

エージェントベースアプローチによる消費者行動と技術革新の共進化適応過程
の分析

課題番号 17510137

平成 17 年度～19 年度科学研究費補助金（基盤研究(C)(2)）研究成果報告書

平成 20 年 3 月

研究代表者 高橋 真吾
(早稲田大学理工学術院)

業績一覧 (2005年4月～2008年3月)

S.Takahashi and Y.Goto, 26. Agent-based simulation of adaptive organizational structures to environmental change, Agent-based Simulation, pp.99-110, 2005, Springer (査読有)

高島大輔, 高橋真吾, 大野高裕, エージェントベースモデリングによる優良顧客の特徴分析, 経営情報学会誌, Vol.15, No.1, 1-13, 2006 (査読有)

Y.Goto and S.Takahashi, Effective Guidelines for Organizational Learning in the Organizational Cybernetics Framework, Advancing Social Simulation: The First World Congress, pp.201-212, 2007 (査読有)

高橋真吾, エージェントベース組織サイバネティクスによる組織学習問題への接近, 社会・経済システム, no.28, pp.9-15, 2007 (査読有)

大堀耕太郎, 高橋真吾, エージェントベースモデリングによる標準化問題の分析, 社会・経済システム, no.28, pp.17-24, 2007 (査読有)

山本卓史, 高橋真吾, 情報システムの組織学習の観点による定性的評価の試み, 経営情報学会誌, Vol.16, No.3, pp.83-98, 2007 (査読有)

S.Takahashi and K.Ohori, 18 Agent-based Model of Coevolutionary Processes of Firms Technologies and Consumers Preferences – Simulation of Lock-in Behavior –, NAACSOS Conference, 2005

Yusuke Goto and Shingo Takahashi, Organizational Learning Oriented Model of Organizational Adaptation, The First World Congress of the International Federation for Systems Research, 2005, 138-140

Yusuke Goto and Shingo Takahashi, Effective Guidelines for Organizational Learning in the Organizational Cybernetics Framework, The First World Congress on Social Simulation, 2006

S.Takahashi, Agent-based Organizational Cybernetic Approach to Organizational Learning, SICE-ICASE International Joint Conference 2006 (SICE-ICCAS 2006), 2006

Yusuke Goto and Shingo Takahashi, Robustness Analysis of Effective Guidelines in Organizational Learning, Proceedings of AESCS07, 2007

Kotaro Ohori and Shingo Takahashi, Market Model with Consumer Network for Analyzing Phenomena Generated by Lead Users Innovations, Proceedings of AESCS07, 2007

Yusuke Goto and Shingo Takahashi, Agent-based Organizational Cybernetics for Organizational Learning, Proceedings of ESSA07

Kotaro Ohori and Shingo Takahashi, Modeling Essential Micro Interactions for Analyzing Emergent Phenomena in Market, Proceedings of ESSA07

高橋真吾, 金丸大佑, 高次誤認識を考慮したハイパーゲーム的状况における状況認知の学習分析, 経営情報学会 2005年度秋季全国研究発表大会予稿集, pp.6-9, 2005

高橋真吾, 山田伸一, エージェントベースモデリングを用いた企業によるオープンソースコミュニティ利用とサポートビジネスモデル分析, 経営情報学会 2005年度秋季全国研究発表大会予

- 稿集, pp.200-203,2005
- 高橋真吾, 中村浩人, ソフトウェアのシステム仕様要求の獲得のためのSSMに基づく方法論の開発, 経営情報学会 2005 年度秋季全国研究発表大会予稿集, pp.372-375,2005
- 瀬上義人, 高橋真吾, 内部競争状況を考慮したナレッジマネジメントの制度分析のためのエージェントベースモデル, 経営情報学会 2006 年度秋季全国研究発表大会予稿集, pp.152-165,2006
- 宮部雅之, 高橋真吾, 部門間の情報移転を考慮した組織学習支援としての情報システムのデザイン分析, 部門間の情報移転を考慮した組織学習支援としての情報システムのデザイン分析
- 大堀耕太郎, 高橋真吾, 共進化エージェントベースモデリングによるマーケットデザイン, 社会・経済システム学会, 2006
- 高橋真吾, エージェントベース組織サイバネティクスによる組織学習問題への接近, 社会・経済システム学会, 2006
- 大堀耕太郎, 高橋真吾, ユーザーイノベーションによって生じるマーケットダイナミクスの分析, 進化経済学会論集第 10 集, pp.208-217,平成 19 年 3 月
- 大堀耕太郎, 鮎田俊亮, 高橋真吾, エージェントベースマーケットモデルによるイノベーションのジレンマ現象の解明, 社会・経済システム学会, 2007
- 高橋真吾, 社会シミュレーションの問題領域と課題, 経営情報学会 2007 年度秋季全国研究発表大会予稿集, pp.,2007
- 山本卓史, 高橋真吾, 情報システムの組織学習の観点による定性的評価の試み, 経営情報学会 2007 年度春季全国研究発表大会予稿集, pp.,2007
- 並木和憲, 大堀耕太郎, 長谷川隆司, 高橋真吾, ターゲットマーケティング支援のための顧客特性抽出システムの構築, 経営情報学会 2007 年度春季全国研究発表大会予稿集, pp.,2007
- 武富顕彦, 大堀耕太郎, 高橋真吾, エージェントベースモデルによる特許戦略の選択のための意思決定分析, 進化経済学会, 2008
- 藤田登, 高橋真吾, ハイパーゲーム的状况における状況認識改善モデルの分析, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2008 年春季研究発表会, 2008
- (書籍)
- 木嶋, 中條編著, マイケル・C・ジャクソン, 小林憲正, 高橋真吾, 根来龍之, 吉田武稔著, ホリスティック・クリエイティブ・マネジメント, 丸善, 2007
- 高橋真吾, システム学の基礎, 培風館, 2007
- 高橋真吾, 衣川功一, 野中誠, 情報システム開発入門—システムライフサイクルの体験的学習, 共立出版, 2008

Agent-based simulation of adaptive organizational structures to environmental changes

Shingo Takahashi and Yusuke Goto

Department of Industrial and Management Systems Engineering, Waseda University, 3-4-1 Okubo, Shinjuku, Tokyo 169-8555, Japan

Summary. This paper proposes an agent-based simulation model for analyzing adaptive processes of organizational structures to environmental changes. The model is based on a framework of computational organization theory (COT) and performed using the method of inverse simulation with genetic algorithm. The model specifies an activity process in organization that is composed of tasks, agents and environments. The roles of agents: normal and leader, are defined based on some basic tasks of agents: recognizing tasks from environment, sharing knowledge required for processing tasks, and coordinating tasks among agents. Organizational structures are distinguished according to the configuration of the roles of agents resolving the tasks recognized. Adaptation process is represented as learning process of agents' internal models of environments. Environments are expressed as task generators and fall into 5 types. This paper shows some fundamental relationships between organizational structures and dynamically changing environments.

Key words. organizational structure, agent-based simulation, inverse simulation

1 Introduction

The purposes of this paper are to present an agent-based model for analyzing adaptive processes of organizational structures to environmental changes, and to show some simulation results on organizational adaptation. The model developed in this paper is intended to investigate the dynamical change of organizational structures adapted along with dynamically changing environments.

Organizational adaptation has been researched mainly in organization theory. Contingency theory developed by Lawrence and Lorsch (1967) are concerned with static aspects of the relationships between organizational structures and environments, based on empirical studies.

In computational organization theory (Carley and Gasser 1999), though there has been many researches based on agent-based approaches (Deguchi 2000) to analyze learning and adaptation processes in organization (March 1991; Takadama et al. 1999), few research has dealt with similar problems of adaptive organizational structures as in this paper.

Carley and Svoboda (1996) developed a model of adaptive process of organization to environment by applying simulated annealing method. Their model does not consider the processes of formation and convergence of organizational structures adapting specific environments, and does not deal with different types of environments that dynamically change in time.

In our model each organization adapts its structure to environments by selecting autonomously and dynamically its form. We model an organization as a task-based system, which is mainly applied in computational organization theory. Then we use inverse simulation method to classify organizational structures that adapt virtually provided environments and observe adaptive processes of learning in organization.

Each agent in the model is planned to learn his role in an organization for resolving tasks that are supposed to require knowledge. This paper considers an organizational structure to be determined by the formation of the roles of agents in the organization. In our simulation model genetic algorithm and inverse simulation method are used when agents in an organization learn their roles and decision rules in an evolutionary manner.

2 Model of organization

2.1 Activity process in organization

The agents in an organization manage, in a cooperative manner, tasks generated in the environment of the organization. How much tasks are successfully managed in the organization depends on the knowledge and skills the agents have.

The main activity process in an organization for the management of tasks is given in the following flow. Tasks are generated in the environment of the organization.

1. Some agents as leaders in the organization recognize the properties of the tasks that should be processed in the organization.
2. The results of the agents' recognition of the tasks are exchanged with the other agents, and each agent revises his recognition of the tasks if necessary. The exchanged recognition of the tasks is defined as the organizational recognition of the tasks.
3. The leader agents coordinate the assignments of tasks to agents.
4. According to the assignments, the agents exchange the required knowledge necessary to resolve the tasks.
5. Each agent resolves tasks by using his knowledge resource, and gets a positive evaluation if the tasks are successfully done.
6. After a series of tasks, the organization makes some action to the environment and gets some evaluation representing how good the result of the activity is for the current environment.

2.2 Task

We define a task as a set of components of knowledge that are required for resolving the task. In the simulation in this paper, each task is characterized by specifying 8 elements of knowledge. For example, a task characterized as having the 1st and 3rd elements of knowledge represents that the task requires the 1st and 3rd elements of knowledge to resolve it.

A task is expressed by 7 bits strings, each of which is either 1 or 0. If a bit in a task is 1, then the knowledge of that bit is required to resolve the task. For example, a task expressed by (1,0,0,1,1,0,0,0) requires the 1st, 4th and 5th elements of knowledge to resolve it.

2.3 Agent

In an organization we suppose there are an enough number of agents to manage tasks. Each organization is composed of one leader agent and the other normal agents. A normal agent recognizes and specifies what knowledge is required for tasks, and then exchanges the recognized tasks with other agents in an organization. A leader agent coordinates tasks as well as the role of a normal agent, and has a set of decision rules as his internal model for organizational decision making. The rules are (1) how many agents participate in recognizing tasks, (2) tasks of concern are coordinated or not, and (3) how many agents participate in exchanging knowledge to resolve the recognized tasks.

2.4 Organizational structure

Basically there are two types of organizational structures: hierarchical structure and network structure. Every organization lies between hierarchical and network structure. In this paper we represent an organizational structure as a specification of the decision rules of leader agents.

We put two basic provisions for organizational hierarchy. In an upper stratum of an organizational hierarchy tasks are recognized to be resolved. In a lower stratum of an organizational hierarchy tasks are actually resolved, after the required knowledge is exchanged among the agents whom the leader agent assigns to resolve the tasks.

In a typical hierarchical structure one leader agent recognizes tasks and in a typical network structure many agents participate in recognizing tasks.

We classify organizational structures by specifying the values of the decision rules mentioned above. If the number of agents who recognize tasks and exchange the knowledge with other agents is small, then the organizational structure becomes hierarchical.

2.5 Environments

An organization is surrounded by environment that is dynamically changing. We here model environment as a task generator and a response function. An environment as a task generator provides an organization with tasks. An environment as a response function evaluates the output of the activities of an organization. The environment evaluates the output of an organization based on three indicators: quality, cost, delivery. Quality indicator expresses how much complex tasks succeeded. Cost indicator expresses how small number of agents engage in resolving tasks. Delivery indicator expresses how many tasks succeeded.

We consider 5 types of environments according to the marketing concepts in the standard theory of marketing (Cotler and Armstrong 1999): production-oriented environment, sales-oriented environment, consumer-oriented environment, society-oriented environment, environment-oriented environment.

The weighting characteristics of the 5 types of environments are shown (Table 1).

Table 1. Characteristics of environments

Environment	Quality	Cost	Delivery
Production-oriented	very low weighting	high weighting	high weighting
Sales-oriented	low weighting	high weighting	high weighting
Consumer-oriented	medium weighting	medium weighting	medium weighting
Society-oriented	high weighting	low weighting	low weighting
Environment-oriented	very high weighting	very low weighting	very low weighting

Five types of environments are defined by evaluation functions that evaluate the results of organizational activities. The evaluation functions are expressed with a combination of weights for quality of tasks, cost of resolving tasks and delivery evaluation.

2.6 Adaptation process

This paper basically uses the inverse simulation method, which was proposed by Kurahashi, Minami and Terano (1999), to investigate the adaptation process of organization that simulates autonomous organizational learning, structural change of organization by revising decision making rules in organizational activities. Our model of adaptation of organization is composed of the following 5 steps.

1. Organizations as population in simulation are produced from the given gene pool of organizations.
2. Each organization has the given number of agents each of whom has his own initial characteristic values.
3. Each agent makes a series of activities in a given period in accordance with the rules of activity in the organization to which the agent belongs.
4. An environment of which we are interested in investigating the property is represented by an evaluation function to evaluate the results of organizational activities.
5. After the evaluation of the organizational activities, organizations as population revise their genes by applying the genetic operators in genetic algorithm.

Here we should notice an interpretation of the adaptation process on actual organizations. Each organization is described as a chromosome in a gene pool. The adaptation process is applied to the given gene pool. This seems that the adaptation process modeled might be effective for not a single organization but some amount of population of organizations. Our model, however, does not necessarily intend such adaptation process for a set of „real“ organizations.

The gene pool could give executives as decision makers some set of alternatives to be selected in making a decision of an organizational structure adaptive to a currently recognized environment. Then the gene pool represents a „virtual“ set of organizations as alternatives. The whole process of adaptation shows that of executives' adaptive decision making.

3 Simulation model

3.1 Chromosome of organization

The chromosome of an organization C_{org} is composed of genetic attributes P_{gen} and activity attributes $P_{act} : C_{org} = (P_{gen}, P_{act})$. The genetic attributes are specified at the initial stage of the simulation and revised according with the adaptation process. The activity attributes represent the results of the activities of agents in every period of the simulation steps. The initial values of the activity attributes are set as 0, and rewritten in the processes of organization.

The genetic attributes are defined as gene sequences:

$$P_{gen} = (n_p, n_k, cord, AK, AP),$$

where n_p is the number of agents participating in recognizing tasks, n_k the number of agents participating in sharing knowledge, $cord$ expresses the leader's decision on coordination: 1 for coordinating, and 0 for non-coordinating,

$AK = \{ak^1, \dots, ak^{n_a} \mid ak^m = \langle ak_1^m, \dots, ak_l^m \rangle, ak_i^m \in \{0,1\}\}$ the knowledge structure of agents ($l=8$ in this paper) for resolving tasks, $AP = \{ap^1, \dots, ap^{n_a} \mid ap^i \in \{0.90, 0.93, 0.96, 0.99\}\}$ the accuracy indicator of each agent, which provides the possibility to recognize tasks. In the knowledge structure of agents, $ak_i^m = 1$ means that agent m has the i th knowledge. The leader agent has all the elements of P_{gen} , but other normal agents i has only ak^i and ap^i . The accuracy indicator ap^i is coded as 00,01,10,11 corresponding to 0.90,0.93,0.96,0.99 respectively.

3.2 Simulation process

In the simulation each organization first performs tasks during the period that is predetermined as a parameter of the experiment, and the gene pool of the chromosomes of organizations are revised during the generations also predetermined as an experimental parameter.

The simulation is basically composed of 10 steps with two phases.

Table 2. Parameters in environments

Environment	Types of tasks		Weights for evaluation		
	Complexity	Variety of generation dynamics	w_q	w_c	w_d
Production-oriented	simple	constantly	0.1	0.7	0.2
Sales-oriented	simple	gradually	0.2	0.5	0.3
Consumer-oriented	complex	phased	0.3	0.4	0.3
Society-oriented	complex	random	0.5	0.2	0.3
Environment-oriented	complex	random	0.6	0.1	0.3

Types of tasks are defined by the complexity of tasks and the variety of task generation dynamics. The weights for evaluation depict the values w_q , w_c , and w_d used in the evaluation function in each environment.

Task resolution phase.

1. Generation of tasks. Tasks are characterized by complexity and variety of change. What kinds of tasks are generated depends on the environment that generates the tasks (Table 2).
2. Recognition of tasks. Each agent of selected n_p agents recognizes each task by scanning every bit of the task. The possibility that an agent i correctly recog-

nizes a bit of a task is defined by $ap^i \cdot ap_c$, where ap_c is 0.99 or 0.9 that depends on the difficulty of the task. Then $T_a = \{ta_i \mid i = 1, \dots, n_p\}$ is obtained.

3. Constructing organizational recognition of tasks. The results of the recognition of a task are exchanged to be common in the agents. Comparing each bit of the recognized tasks by the agents, the organizational recognition T_{org} of the task is defined by using the majority rule for the bits of the agents' recognition.
4. Coordination. Each agent can perform only one bit in a task. If a task is complex and $cord = 1$, then the leader agent coordinates who should perform the task.
5. Sharing knowledge. The agents who actually resolve the organizationally recognized task T_{org} are randomly selected. The number of agents is n_k . The bit of T_{org} that has the value 1 is needed to be resolved by some agent. Such a bit with 1 of T_{org} is assigned to the agent whose corresponding bit is 1, which means that he can actually resolve that bit of T_{org} . If no agent has a bit of 1, there is no assignment of that bit.
6. Resolving tasks. Based on the sharing knowledge and assignment of a task to the n_k agents, the task is actually resolved. This resolution succeeds if all the bits of T_{org} are assigned to some agent, otherwise the resolution fails. If the resolution of the task succeeds, then 1 adds to $succ$ or $h - succ$ according to the complexity of the task. If the period of task resolution phase does not terminate, repeat from the step 1, otherwise go to the next phase.

Adaptation phase.

7. Evaluation of results. The results of the task activities in an organization are evaluated with a fitness function representing how much the organization adapts the environment of concern. The fitness function is defined by $f = w_q q + w_c c + w_d d$. The values of the weight parameters depend on the environmental types (Table 2). The detail definition of the fitness function is given by

$$f = w_q \cdot \frac{hsucc}{t_c} + w_c \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{n_p} \sqrt{n_k} \cdot cord}{n_a} \right) + w_d \cdot \frac{succ}{t}$$

If the termination condition does not satisfy, go to the next step, otherwise the simulation ends.

8. Selection of organizations. By using the roulette rule of genetic algorithm, organization genes for the next generation are selected. The simulation in this paper a linear scaling is applied to the fitness functions. The activity attributes are initialized for the next generation process of task resolution.
9. Crossover of genetic attributes. A two-point crossover is applied on the genetic attributes of organization genes. The crossover probability is set to 0.6.

10. Mutation of genetic attributes. Mutation with the probability 0.01 is applied on the genetic attributes of organization genes. The steps are iterated for the next generation.

4 Experimental results

We show three types of experimental results concerning the relationships between adaptive organizational structures and environments. The parameters of the experiments are; the number of generations: 500, the number of activity processes of resolving tasks in each generation: 500, the population of organizations: 100, the population of agents: 30.

Table 3. Organizational structures adaptive to environments

Environment	Participants for recognizing tasks	Coordination	Participants for sharing knowledge	Fitness value
Production-oriented	1	1	7	0.94
Sales-oriented	1	1	11	0.94
Consumer-oriented	3	1	28	0.83
Society-oriented	7	1	29	0.90
Environment-oriented	11	1	30	0.94

Participants for recognizing tasks and sharing knowledge mean the number of agents who participate in these activities. The Coordination with value 1 means that the leader agent coordinates who should perform the task.

4.1 Adaptive organizational structure for environment

First we show the result of the experiment in which we search the organizational structures most adaptive to each of the 5 types of environments. The result is shown in Table 3.

From the result on the number of participants for recognizing tasks, we see that in production-oriented and sales-oriented environments hierarchal structures are most adaptive, and in environment-oriented environment network-structures are most adaptive.

4.2 Adaptation process for changing environment

The second experiment is to see the adaptation processes of organizational structures when the type of an environment changes to another type, while in the first experiment the environment is fixed through the adaptation process. We here show the results on two types of the environmental changes: change from production-oriented to sales-oriented, and change from sales-oriented to society-oriented (Fig. 1, 2).

In the experiment, the environments change at 300th generation. The results shown in Fig. 1 and 2 imply that the differences on characteristics between changing environments are critical for the adaptation process of the organization. Though the production-oriented environment and the sales-oriented environment are not so effective to the adaptation process, the characteristics of society-oriented environment are effectively different from those of sales-oriented environment.

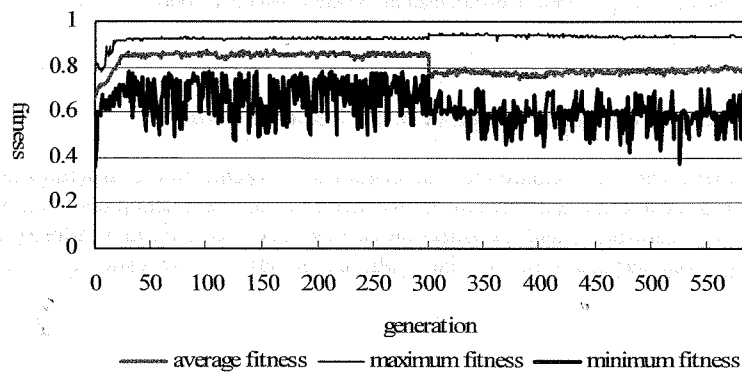


Fig. 1. Adaptation process in changing environment from production-oriented to sales-oriented

The environment changes from production-oriented to sales-oriented at 300th generation.

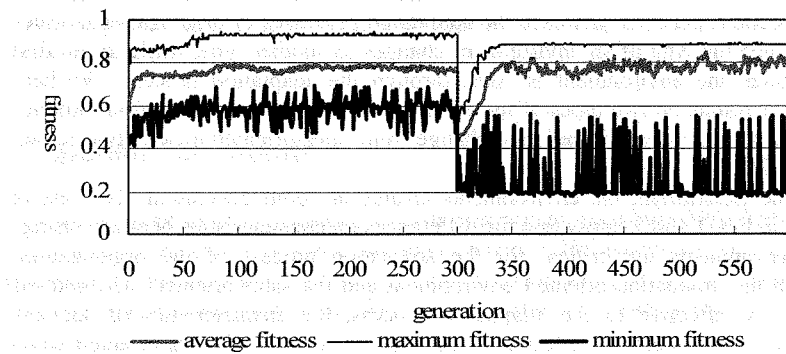


Fig. 2. Adaptation process in changing environment from sales-oriented to society-oriented. The environment changes from sales-oriented to society-oriented at 300th generation.

4.3 Sensitive analysis of adaptive organizational structure

In this experiment, we compare the characteristics of organizational structures and adaptive organizational structures to environment. We are here concerned with the scale of an organization and industrial properties: labor-concentrated industry or knowledge-concentrated industry. The results are shown in Table 4 and 5.

Table 4. Adaptive structure in participants

Environment	Group ($n_a=10, l=4$)			Section ($n_a=30, l=7$)			Branch ($n_a=60, l=10$)		
	n_p	c	n_k	n_p	c	n_k	n_p	c	n_k
Production-oriented	1	0	X	1	1	6	1	1	9
Sales-oriented	1	1	6	1	1	8	1	1	12
Consumer-oriented	3	1	8	3	1	27	5	1	60
Society-oriented	5	1	8	7	1	28	11	1	60
Environment-oriented	7	1	9	9	1	30	11	1	60

Notation: n_a shows a degree to how many agents participate in the activities of recognition of tasks and sharing knowledge; l knowledge length; n_p and n_k the numbers of participants for recognizing tasks and sharing knowledge respectively; and c coordination value taking 1 if the leader agent coordinates who should perform the task, 0 otherwise.

The adaptive organizational structure in a group, which has small number of agents for activities, shows the largest variety concerning the environmental differences.

The number of agents, n_a , can be considered as a degree to how much agents participate in the activities of recognition of tasks and sharing knowledge. The smaller the number of agents is in an organizational structure, to the greater degree agents participate in the activities.

A remarkable result in adaptive organizational structure concerning types of industries can be seen in the relationship of the labor-concentrated industry and the environment-oriented environment, in which a group structure can be found in recognizing tasks and sharing knowledge.

We can also see a general relationship between industry types and knowledge length l . The larger l is, the more agents participate in sharing knowledge.

Table 5. Adaptive structure in industries

Environment	Labor-con. ($n_a=40, l=3$)			Average ($n_a=40, l=6$)			Knowledge-con. ($n_a=40, l=9$)		
	n_p	c	n_k	n_p	c	n_k	n_p	c	n_k
Production-oriented	1	1	6	1	1	7	1	1	7
Sales-oriented	1	1	8	1	1	10	1	1	10
Consumer-oriented	7	1	8	5	1	20	5	1	40
Society-oriented	9	1	10	11	1	29	9	1	40
Environment-oriented	11	1	10	15	1	31	12	1	40

The meaning of notations are similar as in table 4. Three types of industries: labor-concentrated, knowledge-concentrated and average, are specified according to the complexity of knowledge lengths.

5 Conclusion

In this paper we developed an agent-based model for investigating adaptive organizational structures, which seek the structure with the maximum fitness value to environment. We defined 5 types of environments by specifying 3 aspects of quality, cost and delivery. The simulation results partly showed the most adaptive organizational structure for each type of environments. We obtained other simulation results concerning the fundamental relationships between the changing environments and the characteristics of organizational structures. These results are basically consistent with well-known things in the theory of organization. The main contribution of this paper is to provide rigid agent-based framework to build

a model to get adaptation processes of organization in dynamically changing, i.e. non-stationary environment.

The model developed in this paper could become more sophisticated for further research on organizational adaptation in several folds. In theoretical treatments of organization, our model could provide a basic way to consider organizational learning, especially double-loop learning. From a positivism point of view, by adding to the current model more detailed properties of specific organizations that we are actually concerned with, we could get more deep insights on actual problem situations in organizations.

References

- Carley KM, Gasser L (1999) Computational Organization Theory. in Multiagent Systems - A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence - (G. Weiss ed.). MIT Press.
- Carley KM, Svoboda DM (1996) Modeling Organizational Adaptation as a Simulated Annealing Process. *Sociological Methods & Research*, Vol.25, No.1, pp.138-168.
- Cotler P, Armstrong G (1999) Marketing: An Introduction(4th ed.). Prentice-Hall.
- Deguchi H (ed.) (2000) Special Issue: Agent-based Approach. *J. of Organizational Science*, Vol.34, No.2 (in Japanese).
- Kurahashi S, Minami U, Terano T (1999) Inverse Simulation for Analyzing Emergent Behaviors in Artificial Societies. *J. of The Society of Instrument and Control Engineers*, Vol.35, No.11, pp.1454-1461 (in Japanese).
- Lawrence PR, Lorsch JW (1967) *Organization and Environment: Managing Differentiation and Integration*. Harvard University Press.
- March JG (1991) Exploration and Exploitation in Organizational Learning. *Organization Science*, Vol.2, No.1, pp.71-87.
- Takadama K, Terano T, Shimohara K, Hori K, and Nakasuka S (1999) Making Organizational Learning Operational: Implications from Learning Classifier Systems. *Computational & Mathematical Organization Theory*, Vol.5, No.3, pp.229-252.

論文

エージェントベースモデリングによる優良顧客の特徴分析

高島 大輔, 高橋 真吾, 大野 高裕 (早稲田大学)

要 旨 : 本論では, 消費者の異質性と選好の動的変化を考慮した消費者行動のシミュレーションモデルをエージェントベースモデリングの観点から構築する. このモデルは, 高橋(2004)により提案されたエージェントベースアプローチによる消費者行動の分析枠組み(EMoCA)をさらに発展させ, エージェントの特性等を具体的に分析できるようにしたものである. 本論のモデルを用いることで, 分析対象とした商品の優良顧客の特性を抽出することが可能となる. これにより, 従来の優良顧客選別方法とは異なり, 設計段階の新商品のように購買履歴データが存在しない場合においても優良顧客にアプローチできるようになる. また, モデルの有効性と妥当性を検証するために, 具体的に自動車市場を分析対象としたシミュレーション実験を行なっている.

キーワード : エージェントベースモデリング, ターゲットマーケティング, EMoCA, 遺伝的アルゴリズム

Agent-based Model for Analysis of Customers' Features in Target Marketing

Daisuke TAKASHIMA, Shingo TAKAHASHI and Takahiro OHNO (WASEDA University)

Abstract : This paper builds an agent-based simulation model of consumers behavior, the model which describes heterogeneity of consumers and dynamical process of preferences. The model proposed in this paper is developed based on the framework of EMoCA (Evolutionary Model for Customers as Agents) but has an essentially newly feature that can analyze customers' features in a target market. This provides a new way of approach to target markets in which we have no purchasing records such as newly developing goods still in a design process. This paper conducts a simulation experiment on a virtually specific automobile market to verify the effectiveness and validity of the model.

Keywords : Agent-based Modeling, Target Marketing, EMoCA, Genetic Algorithm

1. 序論

企業間の顧客獲得競争は, 近年の不況やグローバル化の影響によってますます激化している. これにより, 企業が新規顧客獲得に要するプロモーション活動費用は膨らむ一方である. また, 一度

自社の商品を購入した顧客との関係を維持し, 再購買してもらうための有効な手立ても求められている. このような状況において, 消費者を自社の顧客として囲い込むため, 企業側には効率的かつ効果的に消費者へ働きかける有効な戦略が必要と

される。

企業はこのような戦略のひとつとして、商品およびサービス毎にプロモーション活動のターゲットとする消費者の絞り込みを行なっている。すなわち、自社のある商品を高く評価し購買してくれる見込みの高い消費者がどのような消費者かを把握し、その消費者を優良顧客としてターゲットに絞り込み、マーケティング活動を行なう。

流行の移り変わりが早く、かつ消費者ニーズの多様化に伴って商品自体も多様化している現在のマーケットにおいて、開発段階でターゲットとする消費者を設定した商品についても、実際に商品化されたものがどのような消費者に高く評価されるのかを把握することは困難である。このような状況において、ある商品の優良顧客を把握することで、企業はその商品に興味をもつと考えられる消費者だけにプロモーション活動を行なうことが可能になる。これにより、企業は新規顧客獲得のためのプロモーション活動費用を削減でき、また自社との関係が既に構築されている消費者に対しても、未購入カテゴリ商品や買い替えのプロモーションを効率的かつ効果的に行なうことができるので、無駄のない活動が可能となる。

マーケティング・サイエンスの領域において、企業が優良顧客を選別するための従来手法は大きく2つに大別される。1つはAID分析やRFM分析に代表されるようなア・プリオリ・セグメンテーションである。これは、顧客の購買履歴データを用いてデモグラフィック要因やRFM要因などを基準に顧客を分類し、そこから優良顧客を選別する方法である。もう1つはクラスタリング・セグメンテーションと呼ばれる方法で、マーケティング変数に対する反応や、ライフスタイルなどの類似度を用いて多変量解析により顧客を分類し、そこから優良顧客を選別する方法である。

しかし、AID分析やRFM分析は顧客の購買履歴データからの事後分析であるため、設計段階にある新商品のような購買履歴データが存在しない場

面において、優良顧客を事前に抽出することはできない。また、クラスタリング・セグメンテーションでは、マーケティング変数に対する反応データや、ライフスタイルなどのアンケートデータをもとに、因子分析やクラスター分析などを用いてモデル上でセグメントを作成する分析方法であるため、実際の市場においてそのような消費者がどこにいるのか分からず、顧客に接近することが困難である。

本論では、従来の優良顧客選別手法の問題を解決するよう、購買履歴データが存在しない場合にも分析が可能で、かつ実際の市場において顧客に容易にアプローチができるモデルの構築を目指す。そのために、デモグラフィック要因のような消費者特性をもとに消費者行動を分析し、優良顧客の特徴を抽出するモデルの枠組みを提案する。

本論で提案するモデルは、エージェントベースアプローチの枠組みを用いて消費者の異質性と選好の動的変化を考慮した消費者行動を考察するためのシミュレーションモデルである。従来のマーケティング・サイエンスにおける消費者行動を記述するモデルの多くは、複雑さを回避するために消費者の選好に関して、斉一性と定常性を仮定してきた。すなわち、消費者は全員が同じ消費行動を行ない、かつ消費者の選好が時間変化しないということである。このような非現実的な仮定は、ミクロ経済学における斉一的特性をもつ合理的意思決定者としての消費者モデルを基礎においていることに起因している。しかし、実際の市場では消費者ごとに選好が異なる。また、市場には常に新しい商品やサービスがマーケットに投入され、商品の価格やプロモーション活動も日々変化している。さらに消費者は購買時点において常に様々な商品やサービスを探し回るといった傾向があり、定常性を仮定するのも現実的ではない。

エージェントベースアプローチでは、複数の意思決定主体（エージェント）が主体間あるいは環境—主体間で相互に作用する複雑なシステム全体

の性質を分析の対象とする。エージェントベースモデリングは、このようなネットワーク的システム状況を複雑なまま扱うことによって、複雑システム全体の性質を解析しようとする試みである。特に社会・経済現象に対するエージェントベースモデリングでは、人や組織を自律的に意思決定して活動するエージェントとしてモデル化する。各エージェントは、環境や他者に対する認識を内部モデルとしてもち、それはまた自らの行動を決定する意思決定ルールとしても作用する。さらに、エージェント間の相互作用からもたらされた外的な変化に基づいて内部モデルを学習し、環境の認識や自らの行動を変化させるものとする。この方法では、各エージェントごとに環境認識や行動ルールをもつことができ、結果としてエージェントは多様性をもつ。

本論では、消費者をエージェントとして表現して、各エージェントは自らの行動を規定する特性とマーケットの商品に対する評価などを内部モデルとしてもち、その内部モデルを参照して商品選択という意思決定を行なうものとする。ここでは、各消費者が自律的な評価と決定行動を行ない、かつ環境や他の消費者の選択行動からの影響を動的に考慮して、商品に対する評価の変更を行なうことが可能となる。また、本論では倉橋ら(1999)が提案した逆シミュレーションの概念に基づき、分析目的に対応した仮想社会を設定して、エージェントの環境への適応度合を示す成功尺度（評価関数）を定義し、エージェントはこの成功尺度を最適とするように内部モデルを変化させていくものとする。このモデルにおいて、エージェント（消費者）は異質性をもち、かつ選好を動的に変化させるものとして扱うことができる。

本論が依拠する基本的な枠組みは、高橋(2004)の提案したエージェントベースモデリングをマーケティングの分野へ応用したEMoCA (Evolutionary Model for Consumers as Agent) である。これは、消費者の選好が環境の変化に影響を受けて進化する

過程を、エージェントベースアプローチにより分析するという枠組みで、各消費者がそのタイプに応じて選択ルールを内部モデルにもち、この選択ルールが進化する過程に焦点を当てて、逆シミュレーションから派生した手法を用いて分析を行っている。

逆シミュレーションでは、多数のパラメータからモデルを設計し、知りたい社会の性質を表す評価関数を設定して、その評価関数を目的関数として遺伝的アルゴリズム(GA)を用いたシミュレーションを実行する。これにより得られたパラメータから、知りたい社会を実現する各エージェントの特性を分析することで、パラメータの操作による結果の恣意性を排し、創発的に環境に適応したエージェントが獲得されるというものである。本論ではこの成功尺度を、分析したい商品を購入するような特性をもった消費者であれば大きな値をとるよう設定し、この成功尺度を最大にする特性をもった消費者を抽出する。

本論は、EMoCAに依拠しながらそれを発展させて、消費者の異質性と選好の動的変化を考慮した消費者行動のシミュレーションモデルを新たに構築する。このモデルにより、モデル内の消費者が分析対象とした商品の優良顧客となるよう設定した仮想社会において、消費者の特性が進化、学習する逆シミュレーションを利用し、優良顧客の特性を抽出することが可能になる。また、このモデルを自動車市場に適用し、具体的な優良顧客を分析してモデルの有効性を検証する。

このモデルは、マーケティング・サイエンスの領域における従来の優良顧客選別方法とはパラダイムの異なる新しいアプローチであるが、本論で提案する枠組みを基にして、各々の使用場面に合ったモデルを構築することにより、従来の方法とは異なった有効な情報が得られると考えられる。また、従来方法では分析できなかった設計段階の新商品のような購買履歴データが存在しない場合においても、優良顧客にアプローチできる分析が

行なえると期待できる。

2. 提案モデル

2.1 EMoCAの枠組み

高橋(2004)は、エージェントベースモデリングをマーケティングの分野に応用して、消費者選好ルールの進化過程を分析する枠組み(EMoCA)を提示している。EMoCAの特徴は、消費者をエージェントとして扱うことで、その異質性をモデル上に明示的に表現し、また消費者がおかれている環境や社会の性質に合わせた選好の変化などを分析できることである。加えて、商品の評価過程を個人の内発的要因だけでなく、他の消費者の意思決定過程や商品を提供する企業を含む他の外部要因までが相互作用する複雑システムであると捉え、これをモデル上に表現している。

2.2 提案モデルの概要

本論ではEMoCAの基本的枠組みを利用しながら、さらにそれを発展させて優良顧客の特性を分析する枠組みを提示する。特に、EMoCAはモデル内のエージェントが設定した仮想社会に適応していく過程自体の分析を行っているのに対し、本論では高橋(1999)の逆シミュレーションの考え方を援用して、適応過程そのものは分析対象とせず、最終的に得られるエージェントのパラメータを分析するモデルとなっている。

ここで、モデル内の消費者が優良顧客となるよ

う特性を変化させることは、図1のように実際の市場において初期に取り出したセグメントよりも“優良な”セグメントを次々に探索していくことを意味する。

2.3 商品空間と消費者集団

モデルは大きく商品空間と消費者集団からなる。ここで、企業は自社が製造・開発した商品を商品空間へ投入するものとする。また、その商品空間に興味をもつ消費者の集まりを消費者集団とする。商品空間は、各消費者には環境として認識され、その認識は各消費者の内部モデルの一部に表現される。また、各消費者は内部モデルに自らの消費者特性も保有する。

(1) 商品空間

商品空間は、企業が商品を供給する場であり、消費者からは環境として認識される。企業は製造した商品を商品空間へ投入するが、各商品はいくつかの属性から構成されており、それぞれに対して属性値をもつ。ここで、消費者はそれぞれの属性値に対して選好をもつものとする。

(2) 消費者集団と内部モデル

商品空間に興味をもつ消費者の集まりを消費者集団とする。各消費者はエージェントベースアプローチの概念に基づき、それぞれを特徴付ける内部モデルで表現される。内部モデルは、各消費者の特性と、商品空間の認知を表現したものからなる。ここで商品空間の認知とは、1つに各商品の各属性値が消費者にとってどれだけ魅力的であるかを示す評価値であり、もう1つに、その属性をどれだけ重視して選択を行なうかという各属性へのウェイトであると考えられ、これら2つによって構成されるものとする。なお、内部モデルにもつ値は消費者それぞれで異なる。

また、各消費者はモデルに記述された行動ルールに従って意思決定を行ない、その意思決定行動によって得られた情報に基づいて、分析対象商品の優良顧客となるよう特性を更新していく。この

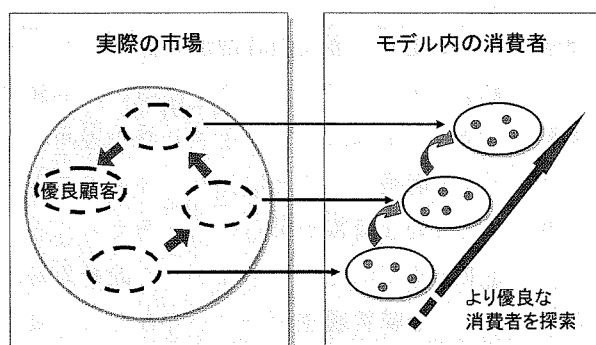


図1 モデルの概要

更新に逆シミュレーションを用いるが、その過程において消費者の特性が調整され、最終的に得られた値から優良顧客の消費者特性を分析する。

2.4 消費者行動ルール

各消費者はそれぞれの内部モデルから自らの購買行動を決め、意思決定（商品選択）を行なうものとする。ここでは、まず消費者は自らの消費者特性に基づき、どの商品属性にどれだけのウェイトをおいて意思決定するかを決める。同様にして、商品空間にある商品の各属性に対してどれだけ魅力的であるかの評価を行なう。次に、各消費者はそのウェイトと評価値から各商品に対する効用を求め、その効用が最も高かった商品を選択する。

消費者特性が異なる消費者であれば当然どの属性を重視するかも異なり、同じ属性値に対しても評価が異なってくる。この差異によって、各消費者で選択する商品が異なってくる。

そして各消費者は商品選択後、他の消費者との情報交換を行ったり、メディアからの情報を収集して、それぞれが内部モデルにもつ商品の各属性に対するウェイトと各商品の評価値について修正を行なう。ここまでの、各世代でモデル内の消費者が購買行動をする際の消費者行動ルールである。消費者はこれを毎世代行なうものとする。

2.5 消費者特性の更新

優良顧客を抽出するために、各世代において分析対象商品をより高く評価し購買した消費者が、環境に適応した消費者となるよう仮想社会の成功尺度を設定する。

商品選択後、各消費者はそれぞれがもつ特性が、設定された仮想社会の中でどれだけ適応していたかを成功尺度によって算出する。次に、この値をGAにおける適応度として、消費者集団の消費者特性を更新するよう逆シミュレーションを行なう。このシミュレーションの過程で消費者特性が調整され、成功尺度を最適とするような消費者特性が

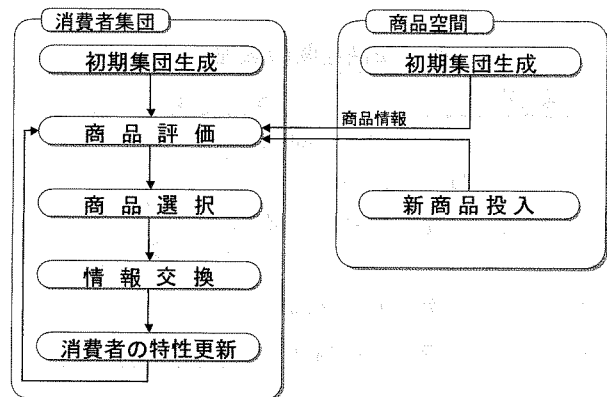


図2 シミュレーションの流れ

得られる。設定した成功尺度より、ここで得られた特性が、分析対象商品の優良顧客がもつ消費者特性であると考えられる。

3. シミュレーションモデル

前節で提案した枠組みに基づいて、実際に分析対象として自動車を取り上げ、その優良顧客を調べるために実行したシミュレーションモデルについて以下で述べる。

本節では、前節で提示した分析枠組みのモデルに対し、分析対象とする自動車の各車種における優良顧客を抽出するためのシミュレーションモデルの設定を提示する。別の対象について分析を行なう場合には、今回とは異なる設定を行なうことにより、分析が可能になる。

具体的なシミュレーション全体の流れは図2のようになる。この詳細について以下で説明する。

3.1 商品空間のシミュレーションモデル

商品空間では各商品の属性値に基づいて消費者の認知が起こる。商品空間の世代は消費者集団における世代と同期で、初期集団生成後は決まった世代でのみ新商品が投入される。

(1) 初期集団生成

まず、商品空間に初期集団を発生させる。各商品（自動車）は、表1のように価格、サイズ、排気量、デザイン、燃費、環境仕様という6個の属性

表1 商品空間の属性

属性名	属性値
価格	50~1,000万円
サイズ(定員)	2~9人
排気量	1,000~4,000cc
デザイン	1(スポーティ) ⇔ 10(高級)
燃費	5~30km/l
環境仕様	10段階評価

から構成されていると考え、それぞれに対して属性値を与えて商品空間に複数の車種を発生させる。ここでは、代表的な車種として8車種(高級セダン、中級セダン、クーペ、ワゴン車、軽自動車、ミニバン、RV・SUV、ハイブリッドカー)を与え、初期集団として発生させる。

ただし、本論で分析を行なうのは車種毎の優良顧客であり、メーカーまでも特定した優良顧客ではない。すなわち、消費者は車種を選択した後、メーカーを選択するものと仮定し、ここでは車種毎の優良顧客の分析を行なうものとする。したがって、メーカーまでも特定する分析を行なう場合には、商品属性としてメーカーを与えるか、もしくは車種選択後の消費者のメーカー選択モデルによる分析が必要となる。

(2) 商品空間の更新

企業は一定期間毎に自社の新商品を商品空間に投入する。投入される商品の各属性値は、初期に設定した各車種の属性値を中心にした正規乱数により発生させる。これにより、マーケットの動的な変化を表現する。

また、今回の実験では商品の淘汰は行なっておらず、ある企業が各車種について異なる属性値をもつ車を新商品としてマーケットに投入し、商品数が増加していく設定となっている。

3.2 消費者集団のシミュレーションモデル

消費者集団は初期集団の生成後、(2)-(5)を1世代として、本実験では1000世代まで繰り返す。

(1) 初期集団生成

まず、消費者の初期集団を発生させる。集団サイズは50とする。

各消費者は、それぞれを特徴付ける内部モデル IM で表現される。ここで、内部モデルは次式のように先天的属性と後天的属性から構成されるものとする。

$$IM = (A_i, B_i) \quad (1)$$

ただし、 A_i は消費者 i の先天的属性、 B_i は消費者 i の後天的属性を示す。先天的属性は各消費者の特性を表し、後天的属性は商品空間の認知を表したものである。なお、内部モデルにもつ値は消費者それぞれで異なる。また、内部モデルはGAの染色体として表現される。

① 先天的属性

今回分析に用いる消費者の先天的属性 A_i は消費者の特性を示し、次の7つで記述される。

$$A_i = (I_i, S_i, L_i, N_i, B_i, E_i, P_i) \quad (2)$$

ただし、 I_i は所得、 S_i は性別、 L_i はライフステージ、 N_i は車保有台数、 B_i は追求便益、 E_i は環境配慮、 P_i は使用用途(距離、頻度)を示す。特性はそれぞれ表2にある範囲の値をとり、初期値はランダムに与える。

表2 消費者の先天的属性

属性名	属性値		
所得	①-500	②500-1,000	
	③1,000-1,500	④1,500-2,000	
	⑤2,000-(万円)		
	性別	①男性	②女性
		①若年(-40歳), 独身	
ライフステージ	②若年既婚, 子供なし		
	③若年既婚, 最少子供6歳未満		
	④若年既婚, 最少子供6歳以上		
	⑤中高年(40歳-), 既婚子供あり		
	⑥中高年既婚, 18歳以下の子供なし		
	⑦中高年独身		
	保有台数	①0台(新規,買替) ②1台-	
追求便益	①経済性 ②他 ③プレステージ		
環境配慮	①低 ②中 ③高		
使用距離	①長距離 ②短距離		
使用頻度	①多い ②少ない		

② 後天的属性

各消費者は、次のような後天的属性 B_i をもつものとする。

$$B_i = (w_{ik}, x_{ijk}) \quad (3)$$

ただし、 w_{ik} は消費者 i の属性 k に対するウェイト、 x_{ijk} は消費者 i の商品 j の属性 k に対する評価値を示す。また、 w_{ik} は合計が1となるよう標準化し、 x_{ijk} は最高評価値を20とする整数値をとるものとする。

(2) 商品評価

各消費者は、それぞれの内部モデルから自らの購買行動を決め、意思決定(商品選択)を行なう。そのために、まず各消費者は自らの先天的属性 A_i から、一定の評価ルールに従って後天的属性 B_i を導出する。すなわち、各消費者は自らの特性に基づき、どの商品属性にどれだけのウェイトをおいて意思決定するか、また商品空間にある商品の各属性に対してどれだけ魅力があるかの評価を行なう。

具体的には、まず商品の属性毎に最も高く評価する属性値(アイデアル・ポイント) μ を定め、その属性値 μ を中心にした正規乱数 $N(\mu, \sigma)$ によって、そのカテゴリーに属する各消費者が最も高く評価する属性値 μ_i をそれぞれについて決める。この μ_i に基づき、今度はその最も高く評価するであろう属性値 μ_i を中心とした正規分布を描いて、他の属性値に対しても評価値をつけるというアイデアル・ポイント・モデルを採用する。

ここで、属性の評価をする際に影響を及ぼす消費者特性について、次のような仮定をおいた。

- ・価格については、その消費者の収入や地位、家族の人数、現在の車保有台数、および消費者の追求便益が影響している。
- ・サイズについては、家族の人数や保有台数、また使用用途や消費者の性別が関係してくる。
- ・排気量は、使用用途や家族の人数、およびその消費者の追求便益に影響される。

- ・デザインは、その消費者のライフステージや所得が関係している。
- ・燃費は、その消費者の追求便益および環境配慮、所得に影響される。
- ・環境仕様については、消費者の環境配慮や所得が影響している。

例えば、サイズに関する評価ルールでは、消費者の世帯人数に見合ったサイズを高く評価し、また保有台数が多ければそれよりも小さいサイズを、使用用途が長距離である消費者は大きいサイズを、女性であれば小さいサイズをより高く評価するよう設定した。実際には、このような設定は分析対象商品が存在する市場における類似商品の購買履歴データなどから把握することが可能であろう。しかし、本論では提案モデルの利用方法を示すことが目的であるので、上記のように簡単な仮定をおいた。この設定は分析にとり重要ではあるものの、評価ルールからシミュレーションの結果を直接推測することは困難である。

これを全商品の全属性、およびウェイトについて同様に行なうことで、後天的属性 B_i を導出する。また2世代目以降の評価値の決定に関しては、前世代の評価と現世代での評価が次式のように一定の割合で影響を及ぼすものとする。

$$w_{ik} = c_1 \cdot w_{ik,t-1} + c_2 \cdot w_{ik,t} \quad (4)$$

$$x_{ijk} = c_1 \cdot x_{ijk,t-1} + c_2 \cdot x_{ijk,t} \quad (5)$$

ただし、今回は $c_1 = c_2 = 0.5$ とし、前世代と現世代の評価が同程度に影響を及ぼすものとする。

(3) 商品選択

各消費者は導出された後天的属性 B_i から、各商品に対する効用 U_{ij} を次の効用関数により求める。

$$U_{ij} = \sum_k (w_{ik}, x_{ijk}) \quad (6)$$

ただし、 w_{ik} と x_{ijk} は後天的属性 B_i に含まれるウェイトと評価値である。各消費者は導出された効用 U_{ij} が最も高い商品を選択する。

(4) 後天的属性の更新

商品選択後、後天的属性を交叉、突然変異させ

る。これにより、消費者同士の情報交換やメディアからの情報によってウェイトや評価値を更新することを表現する。交叉はランダムにマスク数を決め、交叉させないウェイトや評価値をマスクとして選び、マスクのかかっている部分のウェイトや評価値がエージェント間で交換されるように行なう。交叉確率は0.6で、消費者同士の情報交換を表す。また、ウェイトや評価値を突然変異確率0.01で、各ウェイトや評価値を中心とした正規分布に従って変更させる。突然変異は、他の消費者やメディアからの情報によって心境を変化させることを表す。

(5) 先天的属性の更新

本論では、次の評価関数（成功尺度） f_i に従って、分析対象車種の優良顧客だけが残っていく仮想社会を設定する。

$$f_i = \frac{1}{a_1 \cdot \sum_k |W_k - w_{ik}| + a_2 \cdot \sum_k |X_k - x_{ik}|} \quad (7)$$

ただし、 W_k は分析対象車種を選択した消費者の各属性のウェイトの平均、 X_k は評価値の平均、 a_1 と a_2 は各パラメータへの重みを示す。

この関数は、各世代において分析対象車種をより高く評価し購買した消費者ほど優秀な消費者となるよう設定されており、分析対象車種を選択した消費者のウェイトや評価値に近い後天的属性をもった消費者の方が、より評価関数値が大きくなるようになっている。なお、今回の関数形は分母が線形加重となっており、各項の影響度に関してはその係数の大きさで表している。

次に、求められた評価関数値を適応度として、各消費者の先天的属性に対して遺伝的操作を行なう。染色体の選択は適応度比例戦略により行ない、交叉を確率0.6で、突然変異を確率0.01で行なう。

これらの操作を各世代の全消費者に対して行ない、次々と消費者集団内の消費者を更新していく。この過程で消費者特性が調整され、成功尺度を最大とするような消費者特性が得られる。設定した成

功尺度より、ここで得られた特性が、分析対象商品の優良顧客がもつ消費者特性であると考えられる。

ここで先天的属性と後天的属性の意味について注意が必要である。「先天的」という語は、ある時間単位における消費者行動において変化せず、シミュレーションにおける1世代の後に適用される遺伝的操作（選択、交叉、突然変異）により変化することを意味しており、「後天的」という語は、ある時間単位における消費者行動を決定する商品への評価により与えられ、遺伝的操作は他のエージェントとの評価に関する情報交換を意味している。

先天的属性はエージェント固有の特性を与えているものであり、一種のデモグラフィックな特性である。これが簡単に変化するという事は通常ありえない。しかし、本モデルでは特性が変化するという事で、各エージェント固有の特性が変化しているということを示しているのではなく、図1に示した通り、設定した特徴をもつ仮想社会にもっとも適応するエージェントの特性を広大な特性空間から「探索」しているのである。すなわち、先天的属性を変化させる過程は、分析対象となる仮想社会で「別の」優良顧客を探す過程であるといえる。

4 結果

分析対象車種を1車種に絞った仮想社会を設定し、シミュレーションを行なった。用いた評価関数から、各消費者の特性は、分析対象車種の優良顧客となるような特性を目標に進化する。ただし、 $a_1 = 0.7$ 、 $a_2 = 0.3$ とし、新商品の投入は100世代毎に各車種について6商品ずつ行なった。

4.1 結果の分析方法

実験では、まず適応度の推移やその分布、また分析対象とした車種を選択した消費者数の推移について分析する。これにより、仮想社会において

実際に分析対象車種の優良顧客となるような特性をもった消費者群が形成されているか確認する。

優良顧客となるような特性をもった消費者群が形成されていることが確認できれば、次に先天的属性について分析を行なう。ここでは、特に分析対象車種の優良顧客となるような特性をもった消費者群が形成された世代において大多数を占めているエージェントの特性について分析を行なう。これにより、分析対象車種をより高く評価して購買した消費者がどのような特性をもっているか分かる。すなわち、分析対象車種の優良顧客の特性を抽出することができる。

また、今回のシミュレーションで設定したパラメータについて、他にもいくつかのパターンでシミュレーションを実行し、比較実験を行なう。これにより、今回のシミュレーションで設定したパラメータが実験結果にどのように影響を及ぼしているかを分析することができる。

4.2 実験結果

(1) 適応度の推移

分析対象車種を高級セダンに設定した仮想社会と、ハイブリッドカーに設定した仮想社会における適応度の推移を図3、図4にそれぞれ示す。また、分析対象車種を高級セダンに設定した仮想社会において、100世代、200世代、500世代における適応度のばらつきを図5に示す。

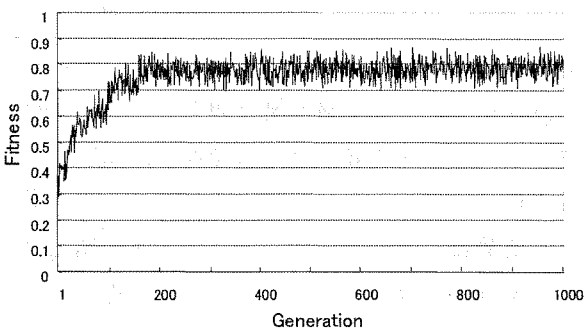


図3 適応度の推移(高級セダン)

(2) 選択した消費者数の推移

次に、分析対象車種を高級セダンに設定した仮想社会と、ハイブリッドカーに設定した仮想社会において、各世代における分析対象車種を選択した消費者数の推移を図6、図7にそれぞれ示す。

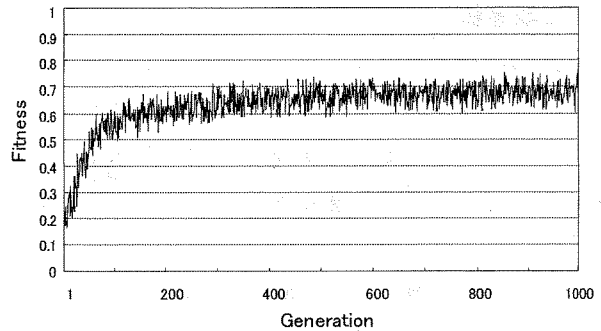


図4 適応度の推移(ハイブリッドカー)

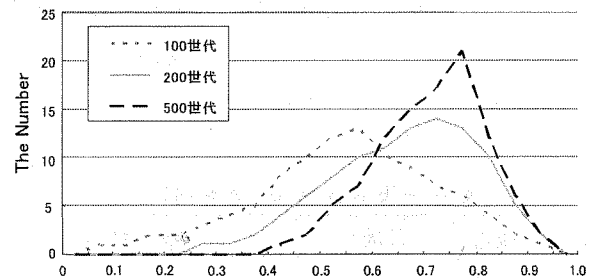


図5 適応度の分布(高級セダン)

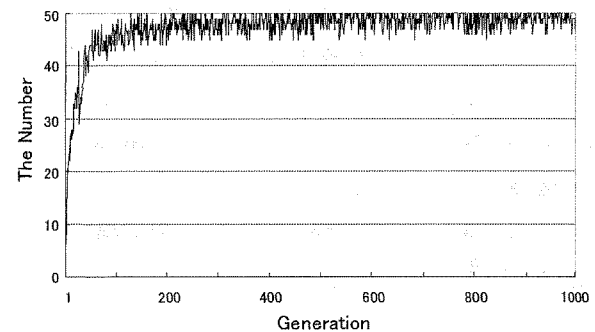


図6 選択した消費者数の推移(高級セダン)

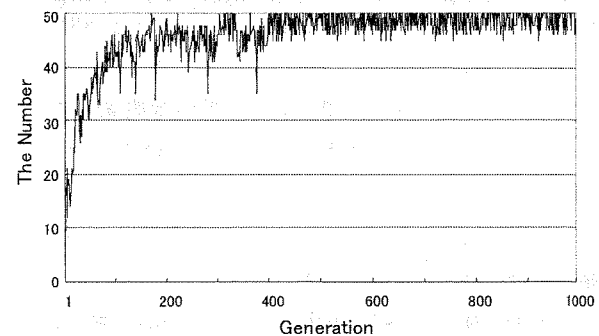


図7 選択した消費者数の推移(ハイブリッドカー)

(3) 先天的属性値

シミュレーションから得られた消費者の先天的属性を表3に示す。また、得られた先天的属性をもった消費者数の推移（高級セダン）を図8に示す。

(4) 比較実験

新商品の投入方法について、いくつかのパターンで比較実験を行なう。これにより、今回のシミュレーションで設定した新商品の投入方法が、実験結果にどのように影響を及ぼしているかを分析する。

これまでの実験では、100世代毎に各車種について6商品ずつ新商品を投入してきたが、ここでは50世代毎に3商品、100世代毎に6商品、200世代毎に12商品という3つのパターンで高級セダンについて実験を行ない、その結果を図9に示す。

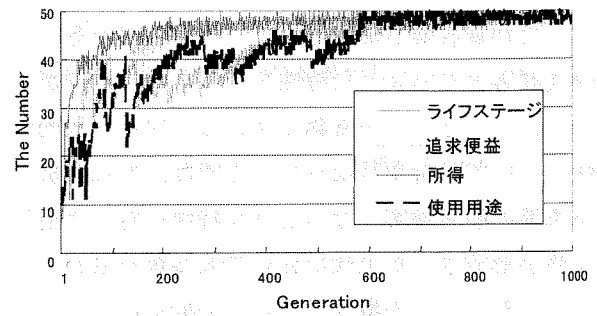


図8 カテゴリ別の消費者数の推移(高級セダン)

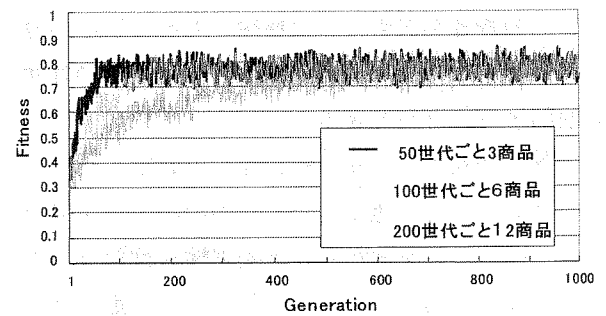


図9 比較実験(高級セダン)

表3 先天的属性値(全車種)

先天的属性	高級セダン	軽自動車
所得	2,000・(万円)	・500
性別	男性	女性
ライフステージ	中高年既婚 子供あり	若年既婚 子供なし
保有台数	0台	0台
追求便益	プレステージ	経済性
環境配慮	低い	高い
使用距離	短距離	短距離
使用頻度	多い	少ない

先天的属性	ワゴン車	ハイブリッド
所得	1,000-1,500	1,500-2,000
性別	男性	男性
ライフステージ	中高年既婚 子供あり	若年既婚 最少 子供6歳以上
保有台数	0台	0台
追求便益	他	プレステージ
環境配慮	低い	高い
使用距離	長距離	長距離
使用頻度	多い	多い

5 考察

5.1 優良顧客の抽出

図3, 図4の適応度の推移より、分析対象車種に抛らず300世代を超える頃から適応度が0.8近くで収束していることが分かる。また図5より、100世代では適応度の高い消費者と低い消費者で大きくばらついているが、世代が進むに連れてばらつきが小さくなっていることが分かる。

図6, 図7の分析対象車種を選択した消費者数の推移より、300世代を超える頃からほとんどの消費者が分析対象車種を選択していることが分かる。

これらは、設定した仮想社会において、それぞれで分析対象とした車種の優良顧客となる先天的属性をもった消費者群がどの仮想社会においても形成されていることを示している。すなわち、用いた評価関数に従って、各消費者の先天的属性は分析対象車種の優良顧客となるように進化、学習したことが分かる。これは、前述した通り「ひとりの」消費者の固有の特性が変化したというのではなく、優良顧客である消費者の探索が進化的に

行なわれたことを示している。

また、分析を行なった他の車種についても同様の推移を示したことから、この枠組みが特定の商品（車種）についてだけでなく、自動車市場という分析対象全体に適用できたことが分かる。

5.2 優良顧客の消費者特性

この実験によって得られた消費者群の先天的属性が表3である。適応度の推移および選択した消費者数の推移より、この表3にあるような先天的属性（特性）をもつ消費者が、各分析対象車種の優良顧客であると考えられる。ここで得られた優良顧客の特性は、現実社会で考えられている、もしくは他の分析手法により選別されるような優良顧客の特性のイメージと掛け離れておらず、今回提示したモデルの妥当性と有効性を示しているといえる。

図8は、最終的に得られた先天的属性に収束するまでの進化の速度に違いがあることを示している。この速度の違いにより、どの特性が最も優良顧客を特定するのに基本的な特性であるかの分析を行なうことができる。たとえば図8より、高級セダンについては所得が最も早く収束していることが分かる。すなわち、この特性が最も優良顧客を特定するのに基本的かつ重要な基準となっていることが推測できる。

5.3 比較実験

シミュレーションで設定した新商品の投入について、その投入方法が実験結果にどのように影響を及ぼしているか分析した。図9より、商品数が投入される間隔は、200世代毎よりも100世代毎、100世代毎よりも50世代毎の方が、先天的属性の進化の速度が速くなっている。

新商品が投入されるということは、商品数が増えるということである。これは分析対象とする商品の数が増えることも意味しており、新商品が投入されるまでに優良顧客となるよう特性の進化を

進めてきた消費者にとって、より分析対象とする商品を選択しやすくなることになる。したがって、分析対象とする商品がより早く増えた方が、先天的属性の進化の速度も速くなるということになる。

このことから、同じカテゴリーの新商品がより頻繁に登場する市場の方が、優良顧客の特徴把握がしやすいことが分かる。

6. 結論

本論では、消費者の異質性と選好の動的変化を考慮した消費者行動のエージェントベースによるシミュレーションモデルを新たに構築した。このモデルにより、分析対象となった商品の優良顧客の特性を抽出することが可能となった。モデルは、技術的手法として逆シミュレーションを用いたが、優良顧客の特徴を反映した仮想社会を設定し、消費者がこの仮想社会に適応するように進化学習していくことで、対象商品の優良顧客の特性が仮想社会での適応エージェントの特性という形で抽出されると理解することができる。

また、本論では構築したモデルを自動車市場に適用して、具体的な優良顧客を分析し、モデルの有効性および妥当性を検証した。

本論で提示したモデルは、従来方法では分析が困難であった設計段階の新商品ような購買履歴データが存在しない場合においても、優良顧客にアプローチができる手法を提供している。その意味で、マーケティング・サイエンスの領域における従来の優良顧客選別方法とはパラダイムの異なる新しいアプローチを与えている。また、このモデルでは、優良顧客として抽出したい消費者の属性は分析の目的に応じて設定することができる。そのため、個々の使用場面に合ったモデルを構築することが可能である。

このように、本論で提示したモデルは分析目的に応じた柔軟な特徴により、エージェントのモデル化の対象が必ずしも消費者行動あるいは顧客と

いった特性に限定されない。たとえば、仮想社会を特定の技術的仕様をもった製品市場に設定して、エージェントとして技術的仕様の特徴を組み入れれば、市場ニーズに適した技術予測といったことも行なえると考えられる。

実際の優良顧客の特性抽出のための分析のためには、エージェントの特性パラメータの選択や適応度関数の設定について、分析対象となる実際の市場に即して試行錯誤的に行なわなければならないだろう。その方法は本論の主目的ではないが、モデル構築を支援してくれるツールの作成は必要であり、今後の課題である。このようなモデル作成支援ツールがあれば、上述した技術予測等の他領域への適用もスムーズに行なえる。また、著者の一人が現在研究を進めている消費者と企業の共進化モデル（高橋・大堀，2005）を本論のモデルに取り入れれば、消費者エージェントと企業エージェントの共進化に基づく分析も可能となってくる。

本論で提示したモデルは、個人の特性に依拠した消費者行動への新たな分析枠組みと方法を示し、概念的な貢献のみならず、上述のような発展が期待できる。現在はまだ実用的なレベルに達しているとはいえないが、支援ツール等の整備により、それらが可能になってくるであろうし、そういう研究を推進していく必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 安居院猛，長尾智晴：「ジェネティックアルゴリズム」，昭晃堂（1993）
- [2] 阿部誠：“消費者行動のモデル化：消費者の異質性”，オペレーションズリサーチ，Vol.48，No.2，pp.121-129（2002）
- [3] 大内東，山本雅人，川村秀憲：「マルチエージェントシステムの基礎と応用」，コロナ社（2002）
- [4] 片平秀貴：「マーケティング・サイエンス」，東京大学出版（2001）
- [5] 倉橋節也，南潮，寺野隆雄：“逆シミュレーション手法による人工社会モデルの分析”，計測自動制御学会論文集，Vol.35，No.11，pp.1454-1461（1999）
- [6] 高橋真吾：“エージェントベースアプローチによる消費者選好の進化過程の分析枠組み”，経営情報学会誌，Vol.13，No.1，pp.1-17（2004）
- [7] 高橋真吾：“ハイパーゲーム的社会状況における認知の学習への遺伝的アルゴリズムの応用”，経営情報学会誌，Vol.4，No.1，pp.43-56（1995）
- [8] 高橋真吾，大堀耕太郎：“企業技術と消費者選好の共進化プロセスのエージェントベースモデル”，進化経済学論集第9集，pp.359-368，進化経済学会（2005）
- [9] 沼上幹：「マーケティング戦略」，有斐閣アルマ（2003）
- [10] 守口剛：“マーケティング・サイエンスにおける今後の方法”，オペレーションズリサーチ，Vol.48，No.7，pp.507-515（2002）
- [11] John H. Holland 原著，嘉数侑昇監訳：「遺伝的アルゴリズムの理論 - 自然人工システムにおける適応-」，森北出版（1999）

高 島 大 輔

所 属：早稲田大学理工学部
経営システム工学科

連絡先：〒169 - 8555

東京都新宿区新大久保 3-4-1

電 話：03 - 5272-4544

高 橋 真 吾

所 属：早稲田大学理工学部
経営システム工学科

連絡先：〒169 - 8555

東京都新宿区新大久保 3-4-1

電 話：03 - 5272-4544

E-mail：shingo@waseda.jp

大野 高裕

所属: 早稲田大学理工学部

経営システム工学科

連絡先: 〒169 - 8555

東京都新宿区新大久保 3-4-1

電話: 03-5286-3303

E-mail: ohno@waseda.jp

Effective Guidelines for Organizational Learning in the Organizational Cybernetics Framework

Yusuke Goto and Shingo Takahashi

Department of Industrial and Management Systems Engineering, Waseda University, 3-4-1 Okubo, Shinjuku, Tokyo 169-8555, Japan

Summary. This paper proposes guidelines effective in organizational learning for organizational functions. We model an organization that has four functional layers (self-organization, adaptation, coordination, and process) as in organizational cybernetics. Agents in each layer take organizational learning to resolve tasks more effectively. We propose guidelines in organizational learning for each functional layer. Then, we test their effectiveness with agent-based simulation: whether or not the guidelines improve organizational performance.

The guidelines tested as effective are as follows. In the self-organization layer it is desirable to evaluate agents' internal models by the evaluation values of organizations. In the adaptation layer the effective improvement comes from using an extent of differences between a realized evaluation value and an expected one in the evaluation of agents' internal models. In the coordination layer it is necessary that agents evaluate their internal models with the degree of improvement of the internal evaluation values in each layer. In the process layer it is important for the successful task resolving to evaluate from an extent of differences between a required resolution plan and the one actually made.

Key words: computational organization theory, organizational cybernetics, organizational learning

1. Introduction

For realizing adaptation and being viable, organizational learning that progresses the ability of organizational decision makings is essential. On organizational learning, Argyris proposed double-loop learning concept that revises agents' internal model (Argyris and Schon 1978). For successful revisions, it is essential to evaluate their internal model properly. Argyris and other empirical researches, however, haven't given us the answer: how to evaluate their internal model properly.

In computational organization theory (COT) (Carley and Gasser 1999), ORGAHEAD (Carley 1997) and OCS (Takadama et al. 1999) especially focus on a general model of organizational learning and organizational adaptation.

ORGAHEAD represents an individual rule-corrective action (individual single-loop learning) and an organizational decision-corrective action (organizational single-loop learning). OCS implements Argyris's four learning-loops as an adaptive mechanism, but they deal with specific situations where agents can get clear feedbacks and their evaluations. In the situations where agents cannot get clear feedbacks and their evaluations, Putro *et al.* modeled the situations as a hypergame. They modeled an organization as a network-based flat agent-group, and proposed an operational process model of revising agents' internal model, and confirm some guidelines effective in organizational learning (Putro et al. 2000). These guidelines suggest that agents had better evaluate their internal model as helpful when the difference between an anticipated payoff and realized one is little, and the difference between an anticipated competitor's strategy and actual one is little.

Problem situations and constraints in decision makings are different in each function in the organization. Effective guidelines in organizational learning for each function depend on these situations and constraints. So we model an organization that has four functional layers (self-organization, adaptation, coordination, and process) as in organizational cybernetics (OC) (Beer 1981; Takahara 2004) and an agent-based organizational learning in each functional layer. In this model we attempt to propose guidelines effective in organizational learning for each functional layer and test their effectiveness with agent-based simulation.

2. Model

We introduce the concept of OC into the framework of COT. An organization has a process function that resolves tasks in COT manner, and three functions (self-organization, adaptation, and coordination) that manage the process function as in OC. Functional layers defines agent-groups and their relations. This agent-based model can grasp organizational learning activities. Our approach enables us to classify problem situations and constraints in decision makings, and to test proposed guidelines by computational ways.

We attempt to observe the progress of the ability of organizational decision makings as the improvement of an organizational evaluation value calculated by a response function in the environment, and test the effectiveness by comparing the organizational evaluation values.

2.1 Environmental model

An environment as a task generator provides an organization with n tasks. For the i th section of the organization, a task is expressed by l_i -valued m_i -long strings. The task means a series of the demand for the service or the product that

the section provides. For example, if the j th digit in the task for the i th section is four, then there is the demand of four units in j th term.

An environment as a response function evaluates the output of the activities in an organization. An organizational evaluation is evaluated by calculating the response function

$$f = \sum_i^n \alpha_i x_i - \left(\beta_1 s + \beta_2 r + \beta_3 \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_4} + \beta_4 g \right) \quad (1)$$

where α_i and $\beta_1 \sim \beta_4$ respectively show a real profit and a cost coefficient, x_i values determined from the degree of task resolutions in the process layer. Organizational costs consist of the total number of agents s , the amount of resources for the task execution r , the interval of how the agents' internal models are revised in each layer $v_1 \sim v_4$, and the number of organizations in an inter-organizational network g .

2.2 Functional hierarchies in an organization

Figure 1 represents an organizational model that consists of four functional layers: a self-organization layer, an adaptation layer, a coordination layer, and a process layer that has n sections. The descriptions of each functional layer are as follows.

- Self-organization layer in which decisions are made concerning organizational restructuring and domains of organizational actions. Agents decide three variables: the total number of agents in the organization s , the amount of resources for the task execution r , and the active vector \mathbf{a} . The active vector $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$ defines which section resolves the task for each section; if a task resolution is taken in the i th section, $a_i = 1$, otherwise $a_i = 0$.
- Adaptation layer in which environmental situations are recognized and policies of the organization are made to be adaptive to the recognized environment. Agents recognize the real profit and the cost coefficient of the response function. The agents decide the values of decision variables x_i for maximizing f after recognizing α_i and $\beta_1 \sim \beta_4$. Decision variables x_i represent the resource allocation plan in the process layer, and the r defines the amount of them.
- Coordination layer in which the agents of the organization are coordinated to be allocated into each functional layer in the organization and each section in the process layer. The allocation is expressed by a sequence of numbers of agents for the functional layers and sections $s_1 \sim s_{3+n}$ under a given total number of agents s , where s_1 for self-organization layer, s_2 for adaptation layer, s_3 for coordination layer and $s_4 \sim s_{3+n}$ for the sections in the process layer. Agents recognize internal evaluations of each functional layer $\tilde{f}_1, \dots, \tilde{f}_3, \dots, \tilde{f}_{n+3}$. The evaluation value \tilde{f}_1 is of the self-organization layer, \tilde{f}_2 of the adaptation layer,

\tilde{f}_3 of the coordination layer, and $\tilde{f}_4, \dots, \tilde{f}_{n+3}$ of the each section of the process layer. By referring their decision criteria h_θ and comparing \tilde{f}_θ with h_θ , agents decide the number of agents s_θ in the functional layer or section θ ; if $\tilde{f}_\theta > h_\theta$, the agent cuts down the number of agents s_θ for the functional layer or section θ , otherwise increases.

- Process layer in which tasks are resolved following a resolution plan. Agents in active sections ($a_i = 1$) make a resolution plan $\mathbf{q}'_i = (q'_{i1}, \dots, q'_{ij}, \dots, q'_{im_i})$ based on their recognitions $\hat{\mathbf{q}}_i = (\hat{q}_{i1}, \dots, \hat{q}_{ij}, \dots, \hat{q}_{im_i})$. When the task i is performed, the degree of resolution is evaluated as $x'_i = \sum_{j=1}^{m_i} \frac{\bar{q}_{ij}}{q_{ij}}$, and $\bar{q}_{ij} = \begin{cases} q_{ij} & \text{if } q'_{ij} > q_{ij} \\ q'_{ij} & \text{otherwise} \end{cases}$ for an active section i .

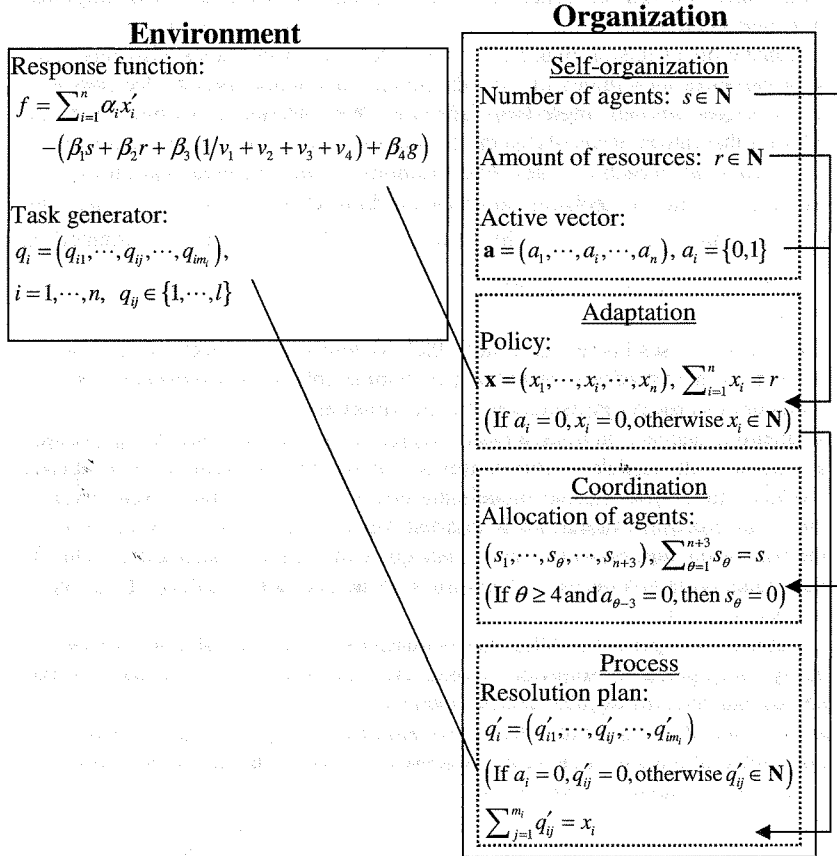


Figure 1. Decision variables in each functional layer and their configurations in the organization.

2.3 Organizational learning

We reinterpret the four learning-loops (Espejo et al. 1996) in an operational way as an agent-based organizational learning model. The described organizational learning cycle is taken in each organizational layer in an organization.

1. Each agent recognizes the problem situation as a model, and defines the value of the decision variables in the model by referring their decision criteria (*individual single-loop learning*). We define the relationship between an agent's internal model and agent's (organizational) decision variables (Table 1). In our model this process (*individual single-loop learning*) is implemented algorithmically and has no influence with the progress in the ability of organizational decision makings.
2. Organizational decision-making in each functional layer values of agents' decision variables into values of organizational (functional layer's) decision variables (*organizational single-loop learning*). We implement this process by averaging the values of agents' decision variables, and take the average value as organizational decision values. For example, in the self-organization layer, if agent k 's values of decision variables are defined as $(s_k, r_k, a_{1k}, \dots, a_{nk}, \dots, a_{nk})$, the organizational decision variables $(s, r, a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$ are determined as
$$\left(\frac{\sum_k s_k}{s_1}, \frac{\sum_k r_k}{s_1}, \frac{\sum_k a_{1k}}{s_1}, \dots, \frac{\sum_k a_{nk}}{s_1} \right).$$
3. Each agent revises his recognition of the problem situation and his decision criteria from the situational response (*individual double-loop learning*). We implement this process by using genetic algorithm (GA).
4. Evaluating agents' internal models subjectively. In the concerning problem situation, with available information for them, agents evaluate their internal models. Since their internal models are not necessarily explicit ever for them, they are forced to evaluate their internal models indirectly via evaluations for their decision variables that are connected with their internal models. The fitness function in GA defines what values of the decision variables of the agents are better or not.
5. Applying GA operators. After the evaluations of agents' internal models, we apply GA operators (selection, crossover, and mutation) to agents' chromosomes that code the agents' internal models.
6. As a result of 'good' individual double-loop learning, each agent shares their good internal models in the relation between agents' role and the problem situation (*organizational double-loop learning*).

2.4 Simulation model

A step that has five processes in the simulation model consists of two parts: the task resolution part and the learning part. Processes of the learning part are optionally performed in accordance with simulation parameters (v_1, v_2, v_3, v_4) .

Task resolution part.

1. Generation of tasks. The Environment generates n tasks at a time. For the i th section of the organization, a task is expressed by l_i -valued m_i -long strings.
2. Activities in the organization. The activity (decision making) process in each layer is as follows: (1) each agent makes a decision from his internal model, (2) the organizational decision making is done based on individual decision makings, (3) the organizational action is taken according to the organizational decision making.
3. Evaluation of the organization. The results of the organizational activities are evaluated with the response function (Eq. 1) that represents the organizational performance in the step. If the revision of the agents' internal models is needed in the step, go to the learning part. If the termination condition is not satisfied, the step returns to the top of the processes and the next step $t + 1$ begins, otherwise the simulation ends.

Learning part.

1. Evaluation of the results in the functional layers. When the step $t \bmod v_i = 0$ ($i = 1, \dots, 4$), the learning part is taken in the i th functional layer. In this model the interval of learning $v_i = 0$ means that the learning part is never taken in i th functional layer. To revise the agents' internal models (individual double-loop learning) in the functional layer, the results of the performances based on the agents' internal models in the functional layer are evaluated with a fitness function representing how much the agents' decision makings adapt to the problem situation. The fitness functions proposed as desirable attempt to realize good organizational double-loop learning described in the agent-based learning cycle model.
2. Applying GA operators. The selection of agents' internal models by using the roulette rule, the two-point crossover, and the mutation are applied on the coded internal models of the agents. After this revising process of the individual internal models, if the termination condition is not satisfied, the step returns to the top of the processes and the next step $t + 1$ begins, otherwise the simulation ends.

Table 1. Elements of an internal model and decision variables in each functional layer

Functional layer	Agent's recognition of the problem situation	Agent's decision criteria	Decision variables
Self-organization	1. present evaluation for the organization f 2. number of agents s 3. amount of resources r 4. active vector \mathbf{a}	To select s, r, \mathbf{a} for better evaluation f	1. number of agents s 2. amount of resources r 3. active vector \mathbf{a}
Adaptation	1. recognized profit coefficients α_i 2. recognized cost coefficients $\beta_1 \sim \beta_k$	To distribute the resources r to active sections effectively	Allocation plan of resources $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$
Coordination	Internal evaluations of each functional layer $\tilde{f}_1, \dots, \tilde{f}_\theta, \dots, \tilde{f}_{n+3}$	To allocate agents to realize better performances in each layer	Allocation plan of agents $(s_1, \dots, s_\theta, \dots, s_{n+3})$
Process	Recognized confronting task from the environment $\hat{\mathbf{q}}_i = (\hat{q}_{i1}, \dots, \hat{q}_{ij}, \dots, \hat{q}_{im})$	To make a plan \mathbf{q}'_i to resolve the recognized task $\hat{\mathbf{q}}_i$	Task resolution plan $\mathbf{q}'_i = (q'_{i1}, \dots, q'_{ij}, \dots, q'_{im})$

3. Proposed guidelines in organizational learning for each functional layer

We propose guidelines that are effective for the confronting situations. In self-organization and adaptation layer, the guideline we propose is to use the inter-organizational learning for the evaluation of agents' internal models. In coordination and process layer, we propose to learn from using the differences between the each functional layer's decision variables and agents' ones (a kind of the feedback action in an organization).

Inter-organizational learning (Knight 2002) provides a reciprocal network that shares their own values of decision variables of organizations and evaluation values for them among g organizations confronting the same environment. The reciprocal network also enables agents in the organization to evaluate their internal models with the shared information. In self-organization layer we think that good values of agents' decision variables realize good evaluation values of the organization. The evaluation function e_k of agent k 's values of decision variables in the self-organization layer is expressed by

$$e_k = f^u, \text{ and } u = \arg \min_u \left(|s_k - s^u| + |r_k - r^u| + \sum_{i=1}^n |a_{ik} - a_i^u| \right) \quad (2)$$

where f^u is the evaluation of the u th organization in the network, s^u, r^u, a^u the values of decision variables of the u th organization in the network, s_k, r_k, a_k the agent k 's values of decision variables in the organization.

In adaptation layer we assume that if good values of decision variables are defined, the anticipated evaluation value f^u is consistent with the actual evaluation value f^u in the organization u . The evaluation function e_k of agent k 's values of decision variables in the adaptation layer is expressed by

$$e_k = \frac{1}{(1+|f^u - f^u|)}, \text{ and } u = \arg \min_u (|\mathbf{x}_k - \mathbf{x}^u|) \quad (3)$$

where f^u is the anticipated evaluation value that is defined by synthesizing values of decision variables of each agent in the u th organization, \mathbf{x}^u the values of decision variables of u th organization in the network, \mathbf{x}_k the agent k 's values of decision variables in the organization.

Internal feedback learning uses the evaluation value for each functional layer as a kind of (negative) feedback from the concerning problem situation to evaluate their internal models with the information. In coordination layer we expect that we can evaluate their internal models well with the degree of improvement of the internal evaluation values in each functional layer. We evaluate agents' internal models with internal evaluation values of each functional layer \tilde{f}_t^θ at the step t and \tilde{f}_{t-1}^θ at the step $t-1$; in self-organization layer, adaptation layer, and process layer, the internal evaluation values of each functional layer are defined like those of agents in the functional layer (in the self-organization layer, $\tilde{f}_t^i = f$), and in coordination layer it is defined as the average of internal evaluation values in other three functional layers ($\tilde{f}_t^3 = \tilde{f}_t^1 + \tilde{f}_t^2 + \tilde{f}_t^4 + \dots + \tilde{f}_t^{n+3} / n + 2$). The evaluation function e_k of agent k 's values of decision variables in the coordination layer is expressed by

$$e_k = \sum_{\theta} e_{\theta}^k, \quad (4)$$

$$\text{and } e_{\theta}^k = \begin{cases} 2 & \text{if } \tilde{f}_{t-1}^{\theta} > \tilde{f}_t^{\theta}, s_{\theta}^k > s_{\theta} \text{ or } \tilde{f}_{t-1}^{\theta} < \tilde{f}_t^{\theta}, s_{\theta}^k \leq s_{\theta}, \\ 1 & \text{elseif } \tilde{f}_{t-1}^{\theta} < \tilde{f}_t^{\theta}, s_{\theta}^k > s_{\theta}, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{where } e_{\theta}^k \text{ is the evaluation}$$

value for the agent k 's decision variable s_{θ}^k in the functional layer or the section θ .

In process layer we think it is important for the successful task resolving to evaluate from an extent of differences between a required resolution plan and the one actually made. We use the stock information ($q_{ij} \geq q'_{ij}?$) and the backlog information ($q_{ij} < q'_{ij}?$) for the evaluation of agents' internal models. The evaluation function e_k of agent k 's values of decision variables in the process layer is expressed by

$$e_k = \sum_j e_{ij}^k, \text{ and } e_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{if } q'_{ij} \geq q_{ij}, q_{ij} \leq q'_{ij} \text{ or } q'_{ij} < q_{ij}, q_{ij} > q'_{ij}, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

where e_{ij}^k is the evaluation value for the agent k 's decision variable q'_{ij} of the j th term of i th section.

Table 2. Parameters in the experiments

Parameters	Value
Number of tasks: n	2
Profit coefficient: (α_1, α_2)	(80,20)
Cost coefficient: $(\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4)$	(0.05, 0.05, 20, 0.2)
Task: (l_1, l_2)	(10,10)
(m_1, m_2)	(5,5)
Number of organizations in inter-organizational network: g	20
Interval of learning: $(\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4)$	(1,1,1,1)
Number of steps:	100

4. Experimental design and results

We test the effectiveness of guidelines with three experiments: (1) comparing the average evaluation values of organizations in various situational settings, (2) the analysis of the process of organizational adaptation, and (3) the sensitive analysis of organizational learning cost. Parameters in the experiments are shown in Table 2.

4.1 Comparing the average evaluation values of organizations in various situational settings

We define $\sum_{u=1}^g f^u / g$ as an average evaluation value of organizations that forms an inter-organizational learning network, and regard a guideline as effective when the average evaluation value increases. First we consider the case where the learning part in the simulation steps is taken in only one functional layer, the others not. In this case, for each functional layer, we compare the average evaluation value of organizations when the agents evaluate their internal models randomly with the one when by the guideline proposed. The results shown in Table3 (separated) suggest that all guidelines improve the average evaluation value of organizations.

Table 3. Average evaluation values of organizations in various situational settings

	Separated		Under Interrelations		Mal-function	
	Without guideline	With guideline	Without guideline	With guideline	Functional	Mal-function
Self-organization	7.2	19.7 **	14.7	27.7 **	32.0	18.6
Adaptation	8.4	9.9 *		15.9 *		30.5
Coordination	12.6	13.7 *		16.0 *		29.9
Process	15.3	18.0 **		18.3 **		24.5

Each situation is simulated 100 times. **: 1%, *: 5%.

Second we consider the case where the learning part is taken in all functional layers. And we compare the average evaluation value of organizations when the agents evaluate their internal models randomly in all functional layers with the one when evaluate by the guideline proposed in one functional layer and randomly in the others. In this case we can consider interrelations (interactions) among effects of each functional layer's organizational learning. The gained results shown in Table 3 (under interrelations) suggest that all guidelines also improve the average evaluation value of organizations under interrelations of effects of each functional layer's organizational learning.

Third we consider the case where the learning part isn't taken in one mal-functioned layer and is taken by the guideline proposed in the others. In this case we can consider the negative effect when organizational learning isn't taken by the guideline proposed in one functional layer. The results shown in Table 3 (mal-function) suggest that the mal-function of organizational learning in one functional layer makes the average evaluation value of organizations lower than the case where organizational learning is taken functionally in all functional layers.

4.2 Analysis of the process of organizational adaptation

We trace a process of the changes of the average evaluation value of organizations (see Figure 3(a)). In the case where the learning part is taken by the guideline proposed in all functional layers, the average evaluation value is firmly improved with the passage of steps. In the case where the learning part is taken by evaluating agents' internal models randomly, the process of the changes of the evaluation value looks like a random walking. And, in the last step, the differential between them is enlarged. This result also validates that our proposed guidelines are effective.

4.3 Sensitive analysis of organizational learning cost

In this model the evaluation of the organization is measured by the profit and the cost of the organization. For identifying the cost situation that organizational learning by the guideline proposed is effective, we make a sensitive analysis of organizational learning cost by manipulating cost coefficients β_3, β_4 . We define a theoretical maximum profit as an evaluation value of an organization when tasks are perfectly resolved ($x_i = 1$) with the minimum number of agents s and the minimum amount of resources r . Then we compare the average evaluation value of organizations when the learning part is taken in all functional layers ($v_i = 1$) by the guideline proposed with the one when the learning part is never taken in all functional layers ($v_i = 0$). The result shown in Figure 3(b) suggests that organizational learning is effective when the organizational learning cost is less than the thirty percent of the theoretical maximum profit.

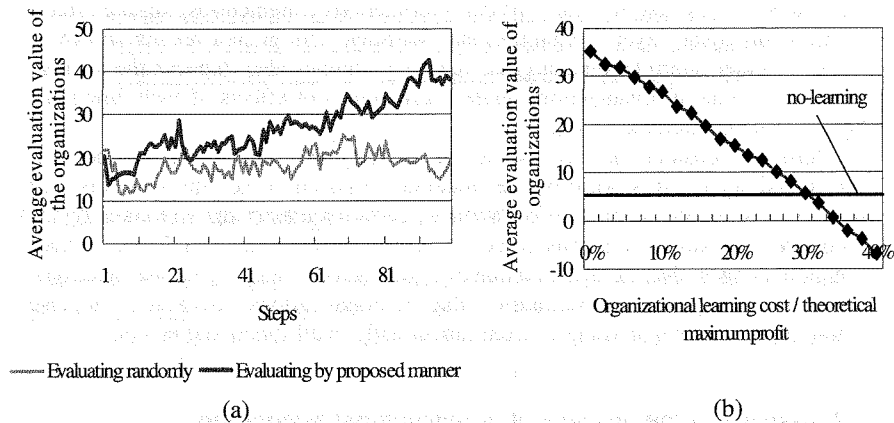


Figure 3. (a) Process of organizational adaptation (b) Sensitive analysis of organizational learning cost

5. Conclusion

We proposed effective guidelines in organizational learning for each organizational function. We modeled an organization based on COT and OC that has four functional layers, and an agent-based learning cycle of organizational learning. Then we tested the effectiveness of proposed guidelines by agent-based simulation. And all of the results from experiments support that our guidelines in organizational learning are effective.

The guidelines tested as effective are as follows. In the self-organization layer it is desirable to evaluate agents' internal models by the evaluation values of organizations. In the adaptation layer the effective improvement comes from using an extent of differences between a realized evaluation value and an expected one in the evaluation of agents' internal models. In the coordination layer it is necessary that agents evaluate their internal models with the degree of improvement of the internal evaluation values in each layer. In the process layer it is important for the successful task resolving to evaluate from an extent of differences between a required resolution plan and the one actually made.

References

- Argyris C, Schon DA (1978) *Organizational learning: a theory of action perspective*. Addison-Wesley
- Beer S (1981) *Brain of The Firm* (2nd edition). John Wiley & Sons
- Carley KM (1997) Organizational Adaptation. *Annals of Operations Research* 75: 25-47
- Carley KM, Gasser L (1999) Computational Organization Theory. In: Weiss G (ed) *Multi-agent Systems - A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. MIT Press, pp 299-330
- Espejo R, Schuhmann W, Schwaninger M, Bilello U (1996) *Organizational Transformation and Learning*. John Wiley & Sons
- Knight L (2002) Network learning: Exploring learning by interorganizational networks. *Human Relations* 55 (4): 427-454
- Putro US, Kijima K, Takahashi S (2000) Adaptive Learning of Hypergame Situations by Using Genetic Algorithm. *IEEE Transactions on SMC - Part A: Systems and Humans* 30 (5): 562-572
- Takadama K, Terano T, Shimohara K, Hori K, Nakasuka S (1999) Making Organizational Learning Operational: Implications from Learning Classifier Systems. *Computational & Mathematical Organization Theory* 5 (3): 229-252
- Takahara Y, Mesarovic M (2003) *Organization Structure*. Kluwer Academic / Plenum Publishers

エージェントベース組織サイバネティクスによる組織学習問題への接近

高橋 真吾

早稲田大学理工学術院

e-mail: shingo@waseda.jp

キーワード：エージェントベースアプローチ，組織サイバネティクス，計算組織論，組織学習，マイクロマクロリンク問題

1. エージェントベース組織サイバネティクスの特徴

本論文では，組織サイバネティクス (organizational cybernetics) [3]の枠組みと計算組織論(computational and mathematical organization theory)[4]とを融合した新しい包括的なエージェントベースの学習モデルを提案する。組織サイバネティクスの枠組みではエージェントの概念は含まれておらず，元来はアシュビーの必要多様度の法則[2]に基づいた組織の失敗に対する診断を行うことが主たる目的である。

一方計算組織論ではエージェントによるタスク処理のプロセスを操作的レベルにおいて詳細にモデル化し，タスクベースによる組織パフォーマンスを評価している。計算組織論における組織モデルはこれまでに多数提案されており，特徴もさまざまである。ORGAHEAD[14]はタスク処理を行うオペレーション層の組織の設計を環境状況に応じてシミュレーテッドアニーリング等の学習ヒューリスティクスにより行うモデルである。VDT[9]は情報処理モデルに基礎を置いた，特定の課題をこなすエージェントチームのモデルであり，エージェントは学習をしない。これまでの計算組織論におけるモデルは，タスクを処理するオペレーション層とそのエージェントを管理する上位層の統合という構造が共通に見られる。しかしながらエージェント間には部門のように機能分化しておらず，階層性についても上位の管理層はエージェントの特性というよりも，分析者の視点による制御則の組み込みを意図しており，組織サイバネティクスのようなシステム的な性質による機能階層モデルとはなっていない。その意味では，エージェントのサブシステム間の階層的關係はなくフラットな組織を記述していると言える。

さらに本論で提案するモデルとのもっとも大きな相違点は，これまでの計算組織論におけるモデルのエージェントの学習では，状況認知を表現した内部モデルの学習をそれらの組織内で共有するプロセスという，組織行動論で理論化されているダブルループ学習[1]が表現されていないということがある。ダブルループ学習のプロセスは，セカンドサイバネティクス (second cybernetics) の概念をモデルとして具現化していると考えられる。

本論の複合的モデルはサイバネティクスの観点からの組織学習の理解を包括的に可能にするもので，学習プロセスは次のステップにより本質的に表現される。1) 各エージェントは組織のどこかの階層的レイヤーにおいてタスクを処理する。2) タスク処理の結果は統合されて組織全体のパフォーマンスとなる。3) 組織全体のパフォーマンスは組織環

境により評価される。4) 各エージェントは評価結果に基づいて事後的に各自の状況認識である内部モデルを修正する。

われわれは今回新しく導入した複合的なアプローチの枠組みをエージェントベース組織サイバネティクス (**Agent-based Organizational Cybernetics(AOC)**) と呼ぶことにする。AOCでは組織は基本的に4つの機能階層レイヤーを持つものとしてモデル化される。その機能階層は組織サイバネティクスで通常定義される、プロセス層、統合層、適応層、自己組織化層である。組織サイバネティクスのモデルには元来エージェントの概念が欠落している。AOCではエージェントとエージェント間におけるコミュニケーションの概念を各階層レイヤーに導入する。また、エージェントは、個別状況性 (**individual situatedness**) と内部モデル原理 (**internal model principle**) により特徴付けられ、エージェントを取り巻く状況の認識を記述する内部モデルを個別に構築する自律的な意思決定者として定義される。

AOCの基本的特徴は以下の通りである。

1. 環境と意思決定者の相互作用が存在する。これは組織サイバネティクスの特徴である。
2. 意思決定者は自律的な行動主体で、各自のもつ意思決定原則に従って意思決定する。
3. 組織は機能的サブシステムをもつ多階層レイヤーの形態に構造化されている。
4. 組織階層の各レイヤーにおいてエージェントのグループがあり、相互作用している。
5. 各エージェントは内部モデルをもち、エージェントを取り巻く状況を個別に記述している。(個別状況性)
6. 各エージェントは内部モデルを学習し、各エージェントのもつ内部モデルをエージェント間で共有することで組織の学習が行われる。

AOCの枠組みにより組織学習を扱うことで、組織の問題を本質的に操作的 (**operational**) に扱うことができ、組織におけるいわゆるミクロマクロリンクの問題に対する有効なモデルを提供することができると期待できる。

AOCが第一に目指すところは、様々なタイプの組織問題について、動的に変化する環境下での組織の適応的な意思決定に関する処方箋をデザインすることである。とくに、まだ実際の状況下で検証されていない、あるいはできないような改善ストーリーについて、その有効性の指針を与えることができる。また、機能サブシステムの構成方法についてもAOCは新しい機能デザインを開発する効果的な方法を提供してくれる。

2. 組織サイバネティクスと組織学習の基本的要素[3,5,6]

組織サイバネティクスはBeerを祖にもち、これまで多くのサイバネティクシアンにより研究および実践されてきた。Beerの**viable system model(VSM)**は組織サイバネティクスの原点的なモデルで、システム1からシステム5までの機能階層が入れ子的な構造をなしている。各機能階層は環境を個別に認知し入力としている。

VSMを用いることで、当該組織の包括的な記述が可能になり、組織における問題、特に組織学習の失敗に対して、Ashbyの必要多様度の法則を基礎にした、記述的な分析を行い、実践的な診断を提供してくれる。この記述的な分析は、組織問題を包括的に捉えることはできるが、実際に認識された組織学習における失敗を理解することに主眼が置かれている。

したがって、認識された問題に対する改善方法については、経験的な言明にとどまり、環境変化における新たな組織システムの設計の観点からの処方箋を提供することは基本的にできない。

VSMの記述的なモデルと対照的に、高原[12]は階層的目標追求システムとして組織モデルをフォーマルに定式化している。組織は、プロセス層、統合層、適応層、自己組織化層という4つの機能階層により構成される(図1)。各機能階層は独自の目標を達成を目指し、機能サブシステム間の構造的関係の理解が促進される。

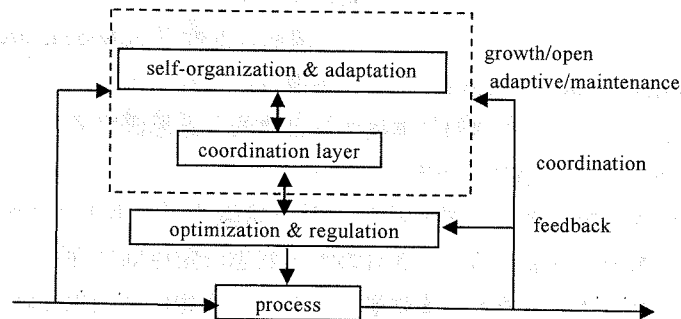


図1 複雑システムの多階層モデル
(Multi-layer Model of Complex System)

サイバネティクスの視点からの組織は、一般的に次のような性質を持つシステムとして特徴付けられる[12]。1) 社会-技術のオープンシステム, 2) 目的の達成を図るシステム, 3) 階層システム, 4) 負のエントロピーによる構造安定性, 5) 動的平衡システム, 6) フィードバックメカニズムの存在, 7) 適応的行動, 8) 内的な学習による成長, 9) オープンシステムとしての等結果性, 10) 組織目標を達成するためのマネジメントシステム。

このような特徴を持つ複雑なシステムとしての組織が、動的に変化する環境下でこれまで経験していない状況に直面したとき、必ずしも実証的方法では妥当性がまだ検証できていない新しい処方箋が必要になる。本論文で提案するモデルはそのような新しい処方箋提供を支援することを意図しているが、そのためには、動的に変化する環境を扱うためのモデルが操作的でなければならない。組織サイバネティクスの記述的モデルでは、処方箋はあくまで経験的であり、いくつかの代替案が可能なときの有効な選択指針を得ることは困難であった。

3. AOCにおける組織学習の概念

AOCではさまざまな組織問題を組織学習の観点から考察できる。AOCでモデル化されるエージェントは内部モデルの学習システムを持ち、組織全体のパフォーマンス向上と本質的に関連付けられている。すなわち、AOCでは組織学習を通じて、ミクロなエージェントの行動とマクロな組織全体の行動とがリンクする。

AOCにおける組織学習の概念は基本的にArgyrisのシングルループ学習、ダブルループ学習のプロセスと同様である[1]。AOCでは個人の学習と組織の学習およびシングルとダ

ブルのループ学習の4つのタイプのループ学習が明示的に区別される。なお、Argyrisによるシングルループ、ダブルループの区別はAshbyのサイバネティクスにおける適応概念[2]をヒントにしていることがArgyris自身により言及されている。Espejo[5,6]はダブルループ学習を実際の組織に適用するための基礎を提供している。

AOCにおける組織学習の本質的構成要素である、個人/組織、シングル/ダブルの4つのループ学習のプロセスは、各エージェントが持っている内部モデルをその評価に基づいて修正を行い（個人ダブルループ学習）、組織内で内部モデルを共有して環境適応する（組織ダブルループ学習）プロセスとして操作的に実現されている。エージェントを用いた組織学習の実現により、複雑システムとしての組織におけるマイクロマクロ問題に対する有効な接近が可能となる。

以下それぞれの学習プロセスを説明する。

（1）個人シングルループ学習

エージェントは個別に自己の内部モデルを作り、環境構造と認識された問題状況とを記述する。内部モデルには、意思決定のための価値基準を示す意思決定基準と、意思決定変数とが含まれる。エージェントは内部モデルを参照して、最適な意思決定変数を選択する。最適性は目標値との差異から導かれる負のフィードバックに相当し、ここでの学習によっては組織の意思決定能力が増大することはない。

（2）組織シングルループ学習

所与の組織目標を達成するために、各階層に所属するエージェントにサブゴールが設定される。各エージェントのシングルループ学習の結果として得られた意思決定変数の値が、組織において統合される。組織は統合された意思決定変数の値にもとづいて決定を行う。

（3）個人ダブルループ学習

各エージェントは、自己の意思決定を実行した結果に基づいて、内部モデルを各自事後的に評価する。評価にしたがって内部モデルを修正し、環境構造および問題状況の認知を改善する。

AOCにおいては、エージェントが内部モデルを修正するプロセスを遺伝的アルゴリズム（GA）を用いて実行することの有効性が示されている。GAによる個人ダブルループ学習の実現において重要なことは、各エージェントがもつ局所的な環境情報のみを用いて、組織としてどのような情報を構成することが内部モデルの評価に有効であるかを探ることであり、GAにおける適応度関数の構成方法が探求の中心的役割を果たす。適応度関数による内部モデルの評価の後、選択、交叉、突然変異といった遺伝的オペレータが適用され、各内部モデルが実質的に修正され、次の意思決定に利用される。

（4）組織ダブルループ学習

個人ダブルループ学習の結果として得られた各内部モデルは、組織のダブルループ学習により、組織内で共有化される。これにより、よりよい意思決定能力をもたらす「良い」内部モデルが組織内で共有化され、組織が生存する（viable）ことを可能にしてくれる。

4. AOCの基本モデル

4.1 階層的組織モデル

AOCの基本モデルは、階層的組織モデル(図2)と状況的エージェントモデル(situated agent model)(図3)からなる。ここではまず前者を述べる。

組織は、多階層レベルモデル: 適応レベル, 統合レベル, 操作レベルにより表現される。従来の計算組織論では操作レベルのタスク処理のみが組織モデルとして実現されてきた。AOCはCOTのタスク処理モデルをサブシステムとして取り込んでいる。

AOCにおける各レベルの機能は自律的エージェントの集団により実現される。各エージェントは機能階層のいずれかのサブシステムに属している。各サブシステムは組織目標とは異なる各階層独自のゴールを達成することを目指している。エージェントの意思決定は所属するサブシステムのゴールに依存して行われる。

適応レベル(adaptive level)は、環境の認知と組織全体に関わる機能からなる。認知された環境に基づいて、組織は所与の組織目標を達成するように政策と戦略を創る。

統合レベル(coordination level)は、下部のサブシステムを分散的に制御する統合変数を決定する。統合の方法は統合の目標を達成するように統合原則により与えられる。

操作レベル(operational level)に属する各エージェントは、割り当てられたプロセスを最適化するように自己の決定変数を自律的に決定する。プロセスは相互作用し、最適化の過程はタスク処理過程のひとつであり、その結果は上位のサブシステムとしての統合レベルに報告される。

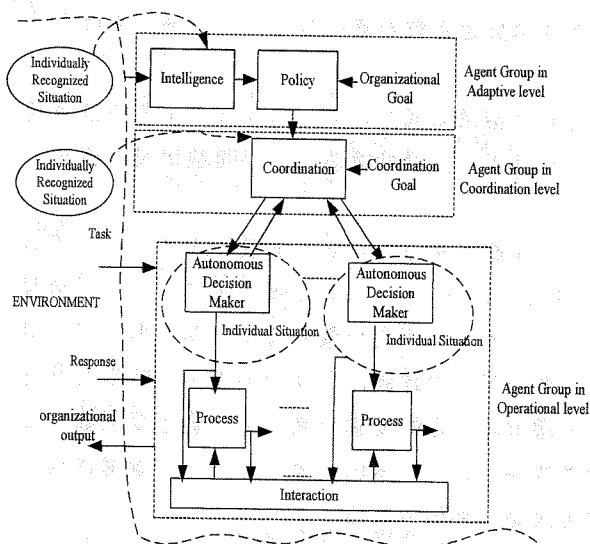


図2 AOCの基本階層モデル

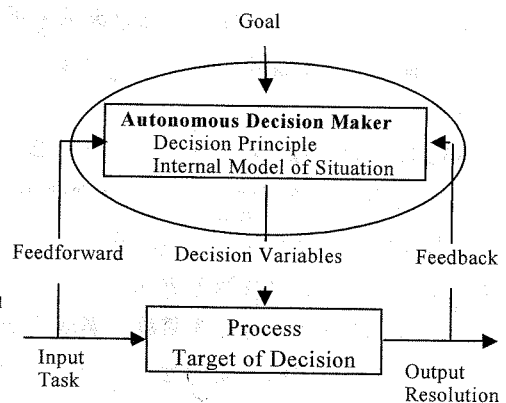


図3 意思決定者としての状況依存的エージェントモデル

4.2 自律的意思決定者としての状況依存エージェント

AOCの自律的意思決定者としてのエージェント概念には次の特徴がある。

- (1) エージェントは意思決定の対象としてのプロセスを認識し、内部モデルと呼ばれる

プロセスのモデルをエージェント内に構築する。内部モデルはプロセスの行動と環境からの外部入力情報を記述し、エージェントを取り巻く状況の個々のエージェントの認知を表している。各エージェントは、自身が個別に認知した状況の中にいる。これを個別状況性 (individual situation) という。

(2) エージェントは、プロセスに関する問題の解決の際に、自身の決定原則を適用し、問題解決のための代替案を評価する。決定原則は代替案の選好順序を決定するための規準を表している。

4.3 AOC が扱う典型的組織問題領域

AOC はダブルループ学習の視点から組織における多様なタイプの問題に操作的な処方箋を提供することが可能である。AOC が貢献できると考えられる典型的な組織問題領域の例として次のようなものがあげられる

- 1) 動的に変化する組織環境に有効な組織学習指針を組織の機能階層ごとに提供する。
- 2) 情報システムを組織に導入する際の有効性の組織学習の視点からの導入前に代替案の検証を行う。
- 3) 組織構成員のモチベーションを促進するインセンティブシステムと組織制度の設計を行う。
- 4) 変動する教育環境の中で生き残るための大学システムの戦略設計を行う。

現在までこれらについていくつかのシミュレーションモデルが提案され実行結果が考察されている[10,11]。

5. 結論

本論では、組織サイバネティクス of 包括的モデルと計算組織論におけるタスクベースの組織モデルをフレームワークとして用いて、エージェントベースのモデルをエージェントベース組織サイバネティクス (AOC) として構築した。AOC の技術的特徴は、意思決定のための状況認知の内部モデルを各エージェントが持ち、遺伝的アルゴリズムによる進化的学習の方法によって内部モデルを各エージェントは学習することで、これにより組織モデルにおける組織学習の概念を操作的にすることが可能になった。

AOC の組織問題への貢献は、複数のエージェント群がそれぞれ異なる機能目標をもち、多様な機能間関係をモデル化し、全体システムとしてのマクロな目標や性質とミクロなエージェント間関係にかかわる組織デザインのための本質的問題を扱うことができることである。そこには、階層構造による機能間関係だけでなく、同じ上位機能への貢献をする役割分化した並列的機能間関係にかかわる問題も含まれている。

このような特徴をもつ AOC は、実際の組織問題に対し直接的な示唆を与えることができるようなモデルの構築を個別に行える。これまでの数理的あるいは計算論的な組織論は、個別具体の組織問題というより、組織に対する一般理論的な貢献が多かった。一方、実証的方法による組織問題へのアプローチは、組織デザインへの代替案の生成や評価が十分ではない。AOC では、実証的なアプローチから得られる個別組織の特徴を反映した上で、規

範的で一般的な組織モデル上での解の十分な理論的評価が可能となる。次のステップとして、AOCは、実証的アプローチとの融合を行い、組織問題状況と規範的なモデル化との有機的な学習サイクルによる包括的方法論への発展が期待できる。

参考文献

- [1]Argyris,C. and Schön,D.A., 1996, Organizational Learning II,Addison-Wesley
- [2]Ashby, W.R.,1960,Design for a Brain, John Wiley and Sons
- [3]Beer,S.1972,Brain of the Firm,McGraw-Hill
- [4]Carley,K.M.,1995,Computational and Mathematical Organization Theory: Perspective and Directions, Computational and Mathematical Organization Theory, 1, 39-56.
- [5]Espejo,R.,Schuhmann,W.,Schwaninger,M.and Bilello,U.,1996,Organizational Transformation and Learning-A Cybernetic Approach to Management-, Wiley
- [6]Espejo,R.,1989,Viabale System Model: Interpretationsand Applications of Stafford Beer's VSM, John Wily & Sons
- [7]Goto,Y., and Takahashi,S.,2006,Effective Guidelines for Organizational Learning in the Organizational Cybernetics Framework, Proceedings of The First World Congress on Social Simulation
- [8]Goto,Y. and Takahashi,S.,2005,Organizational Learning Oriented Model of Organizational Adaptation, Proceeding of The First World Congress of the International Federation for Systems Research, pp.138-140
- [9]Levitt,R.E.,2003,The Virtual Design Team (VDT): A Multi-Agent Analysis Framework for Designing Project Organizations, 115-120,KIMAS 2003.
- [10] 宮部雅之, 高橋真吾, 2006, 部門間の情報移転を考慮した組織学習支援としての情報システムのデザイン分析, 経営情報学会 2006 年度秋季全国研究発表大会予稿集, pp.148-151.
- [11]瀬上義人, 高橋真吾, 2006, 内部競争状況を考慮したナレッジマネジメントの制度分析のためのエージェントベースモデル, 経営情報学会 2006 年度秋季全国研究発表大会予稿集, pp.152-165.
- [12] Takahara, Y., Mesarovic, M.D., 2003, Organization Structure: Cybernetic Systems Foundation, Plenum Pub Corp.
- [13]Takahashi,S. and Goto,Y.,2005,Agent-based Simulation of Adaptive Organizational Structures to Environmental Change (in Agent-based Simulation,pp.99-110), Springer
- [14]Takahashi,S.,2001,An Evolutionary Model of the Double-loop Learning as a Module of Organizational Learning, CASOS 2001 International Conference, pp.76-77
- [15]Takahashi,S.,Kijima,K.,Sato,R.(eds.),2004,Applied General Systems Research on Organizations, Springer
- [16]Weiss,G.(ed.),1999,Multiagent Systems-A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, MIT Press.

Agent-based Organization Cybernetic Approach to Organizational Learning

Shingo TAKAHASHI

Waseda University

e-mail: shingo@waseda.jp

Abstract

This paper proposes **Agent-based Organizational Cybernetics (AOC)**, which combines organizational cybernetic framework and computational organization theoretic approach, especially agent-based computational learning model.

Organizational cybernetics provides a basic framework in which every organization is comprehensively described to be composed of 4 functional layers: process, coordination, adaptation and self-organization. In organizational cybernetics the difference between the overall purpose of an organization and each function of it plays an essential role especially to provide diagnosis for the organization of keeping viable. In this usage of the organizational cybernetic framework no micro-macro problem between learning of each member and that of the whole system can be seen.

On the other hand, computational organization theoretic approach focuses on agents' task resolutions and bottom-up description of organizational activities. Organizational learning process described in computational organization theory mainly consists of error correcting activities by each agent and organization itself based on the agents' decision rules.

Computational organization theory describes explicitly models to define detail dynamics on learning in process levels by agents. It is, however, not straightforward to describe double-loop learning as sharing internal models among agents.

Though organizational cybernetic approach and computational organization theoretic one have considerably different aspects: on micro-level and on macro-level, we can combine them and build newly emergent model.

Our proposed model describes the two loops of organizational learning by representing both processes of learning of internal models and resolving tasks by agents. The model can describe essentially different levels of individual learning and organizational one so as to distinguish effectively the two loops of organizational learning

Keywords: organizational cybernetics, computational organization theory, micro-macro problem, organizational learning

エージェントベースモデリングによる標準化問題の分析

大堀耕太郎

(早稲田大学大学院創造理工学研究科)

oohori@fuji.waseda.jp

高橋真吾

(早稲田大学理工学術院)

shingo@waseda.jp

キーワード：共進化，エージェントベースモデリング，マーケットデザイン，市場ダイナミクス，標準化問題

1. はじめに

近年，多くの市場ではグローバル化や技術開発スピードの向上から，市場シェア獲得競争やデファクト競争が激化している。こういった競争が行われる中で市場において短期的な利益獲得を目指そうとする兆候や勝者と敗者の格差などの市場原理がもたらした影響が見てとれる。市場原理は経済主体にとって最善な方法と富をもたらすが，その一方で市場における競争はその目的を失ってしまうとステークホルダーに対して多大な不便をもたらすことも多々見られてきた [猪木 1998]。

この原因は企業が市場原理に基づいた市場システムの中に埋め込まれているためであると考えられ，仮にこれが非とされるならば，この市場システム自体を問い直すことが必要であると考えられる。しかし，今後の市場システムを再設計する際には，ただ単に現状からのみ判断するのではなく，まずは市場原理に基づいて構成された市場メカニズムと市場ダイナミクスを再考し，解明していく必要があると考えられる。中でも本論では市場における標準化問題に焦点をあて，どのように市場設計（マーケットデザイン）を行っていかればよいかを考える。

19世紀以降，多くの技術革新が生じ，現在の市場と同様にデファクト競争が繰り広げられてきた。その中でデファクト競争を勝利した企業が得る利益は非常に高くなるため，各企業は自社規格をデファクトスタンダードにすることばかりを考えるようになり，結果としてユーザーに不都合

が生じる場面が多々見られてきた。そのため，徐々に専門標準化機関や国家規格作成機関の手による規格作りの介入の必要性が生じてきたのである [田中 2004]。

我々はこのような標準化の問題に対して市場メカニズムや市場ダイナミクスに関連した従来の研究とは異なるアプローチを提案することを試みる。

従来の市場研究の多くはケーススタディアプローチにより行われてきた。規格競争の研究では，過去のデファクトスタンダードの類型化や [山田 2004]，ネットワーク効果や先行者優位性に注目した複数の製品市場の事例分析 [Rohlf 2001] が行われている。また，イノベーション研究では，バリューネットワークなどの概念を用いて優良企業が市場で失敗する理由が説明されている [Christensen 1997]。こういったケーススタディによる研究は今までに市場で生じた多くの現象を知ることができ，今後の経営者やマーケティング部門の意思決定，そして本論が扱う標準化の問題においても役立つであろう。しかし，従来の市場とは異なって近年の競争スピードは非常に速くなっており，市場変化も多様化しているため，過去のケースが今後の現実市場の動的な変化に対応することは難しいと考えられる。

一方で，市場ダイナミクスを捉えた計算機シミュレーションによる市場研究も多く存在している。顧客の期待や満足度に着目した技術普及モデル [Yeon ら 2006] や自動車業界における技術推移モデル [Struben 2004]，異なる集団の相互作用

によるロックインモデル [Deguchi 2003] などが提示され、シミュレーションが行われている。これらは、ネットワーク効果を考慮している研究や制度上の要因に焦点を当てている研究であり、動的な変化については非常に興味深い。しかし、これらの研究に関しては企業、消費者を集団のダイナミクスで考えるため、ミクロな視点における消費者間や企業間の相互作用による創発的な現象を捉えることはできていないのが現状である。

そこで我々はマーケットデザインのための新たなアプローチ手法として共進化の概念を取り入れたエージェントベースマーケットフレームワークにより、本質的に市場の構成要素や相互作用を扱うことを可能にする。さらにはシミュレーションを行うことで、ケーススタディアプローチのように事後的ではなく事前にマーケットデザインの指針を与える可能性が高いことを示す。

2. CAMCaT フレームワーク

本章では、標準化問題を扱うモデルを構築する際に用いるフレームワークについて説明する。本論では、今後、マーケット分析へのアプローチ手法として非常に有力になると考えられるCAMCaT(Coevolutionary Agent-based Model for Consumers and Technologies)フレームワークを用いる(図1)。

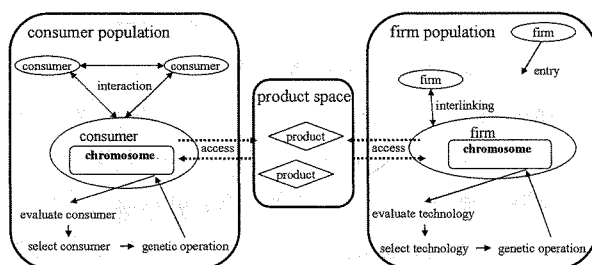


図1 CAMCaT フレームワーク

CAMCaT は企業技術と消費者選好の共進化モデルとして提案され、市場のロックイン現象に焦点を当ててシミュレーションが行われてきた [Takahashi and Ohori 2005]。我々はCAMCaTをフレームワークとして再構築することで、市場における多くの命題を示し、従来のシミュレーション研究では不可能だった複雑な現象説明を行う

ことを可能にした。CAMCaT フレームワークは、消費者集団、企業集団、商品空間の3つの部分から構成され、消費者選好と企業技術は商品空間を介して互いに影響を及ぼしあい、共進化する。以下ではフレームワークの構成要素と消費者や企業といった経済主体の内部モデルと行動モデルの概要について説明する。

2.1 構成要素

消費者集団や企業集団にはそれぞれ複数のエージェントが存在する。消費者は自分がいる市場において自分の満足のいく商品を購入する経済主体であり、企業は自社のターゲット市場において消費者に受け入れられる商品を製造するための技術を開発する経済主体である。

商品空間は企業から投入された商品が複数存在し、消費者はそれを選択し、自らの選好を修正する。商品の選択状況により企業は自社の技術を修正して、新たな商品開発を行う。このように集団間で互いに影響を与えてそれぞれが自ら市場に適応しようとしていることから我々はこれを「共進化」と呼んでいる。

2.2 内部モデル

消費者や企業は経済活動を行うための意思決定ルールとして染色体表現された内部モデルを有する。消費者の内部モデルは主に商品に対する選好、消費の性向、市場における周囲状況等から構成され、企業の内部モデルは主に経営戦略や技術戦略、保有技術等から構成される。

実際にモデリングする際には、対象に見合った内部モデルを構築する必要があり、フレームワークでの細かい制限はない。また、染色体は遺伝子の集合であるため、各遺伝子座への意味づけを詳細に行えば行うほど現実市場により近いモデリングが行え、遺伝子レベルでの分析が可能となる。

2.3 行動モデル

消費者と企業はそれぞれ商品選択、商品開発を行う。その後、消費者、企業共に内部モデルの修正のための進化的学習を行う。

進化的学習のプロセスは基本的には遺伝的アルゴリズムの代表的な遺伝的操作である選択、交

又、突然変異を用いる [伊庭 1994]。最適化手法としての遺伝的アルゴリズムとは異なり、進化的学習プロセスで用いる遺伝的操作は消費者の情報交換・情報収集や、企業のクロスライセンス・技術開発などの経済主体のミクロな相互作用を表現する。このような具体的な経済活動と遺伝的操作の適合に関する研究は少なく、今後どのような遺伝的操作を用いれば良いかを検討していく必要がある。しかし、少なくとも進化の概念が経済主体としての学習と対応すると我々は考える [高橋 2004, Takahashi and Ohori 2005]。

3. 標準化モデル

本章では2章で説明した CAMCaT フレームワークの基で、標準化問題を扱うシミュレーションを行うためのモデルを構築する。モデルは CAMCaT フレームワークに従い、商品空間、消費者集団、企業集団の3つから構成される。

3.1 商品空間モデル

商品空間には企業から投入された複数の商品が存在する。商品 i の属性は価格や品質に関わる5つの項目からなる商品属性 a_{ik} と、規格 s_i から構成される。

商品 i の属性 $= (a_{ik}, s_i)$

$$a_{ik} \in \{1, 2, \dots, 100\}, \quad s_i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

ただし、商品番号 $i \in N$,

属性番号 $k = 1, 2, \dots, 5$, 規格数 $n \in N$ とする。

3.2 消費者集団モデル

消費者集団には100人の消費者が存在する。消費者 i は自らの意思決定に関わるルールである内部モデルを有する。消費者 i の内部モデルは他者への依存度 d_i , 現在使用している規格 s_i , 商品属性に対するカットオフ値 c_{ik} , 商品属性に対するウェイト w_{ik} からなる。

消費者 i の内部モデル $= (d_i, s_i, c_{ik}, w_{ik})$

$$d_i \in \{x \mid 0 \leq x \leq 1\}, \quad s_i \in \{1, 2, \dots, n\},$$

$$c_{ik} \in \{1, 2, \dots, 100\}, \quad \sum_k w_{ik} = 1$$

ただし、消費者番号 $i = 1, 2, \dots, 100$,

属性番号 $k = 1, 2, \dots, 5$, 規格数 $n \in N$ とする。

3.2.1 商品選択

各消費者は商品空間に存在する商品の中から、以下の消費者 i の商品 j に対する効用関数 u_{ij} を用いて自らの効用を算出し、最も効用の高い商品を選択する。

$$u_{ij} = \left(\sum_k b_k * a_{ijk} * d_i + \sum_k w_{ik} * a_{ijk} * (1 - d_i) \right) * c_j * s_j$$

b_k は流行商品の属性値をウェイト表現したものである。 a_{ijk} は消費者 i が商品 j の属性 k に対して付けた評価値である。 Σ の2項のうち前項は流行商品のウェイトをもとに算出した効用であり、後項は自らの商品属性に対するウェイトにより算出した効用である。また、 s_j は自らが使用している規格と商品 j の規格が異なれば0、同じならば1と表現され、 c_j は商品 j をカットオフした場合は0、しない場合は1と表現される。

3.2.2 バンドワゴン効果

各消費者は商品選択の後、以下の市場への満足度や市場への適応度合いを表す関数 fc_i により自己評価し、この評価値に基づいて自らの内部モデルを修正する。

$$fc_i = w_a * (1 - ncut) + w_b * sumcut + w_c * (1 / maxcut) + w_d * (network)$$

消費者はカットオフ値の和 ($sumcut$) が大きく、カットオフされずに残った商品数 ($ncut$) が少ないほうが認知努力の削減に繋がることから高い評価を得る。しかし、カットオフ値の最大値 ($maxcut$) が高すぎる場合や自らの使用規格と同じ規格を使用している消費者数 ($network$) が少ない場合は商品の誤認知やネットワーク効果が働かなくなるといった問題が生じてしまうことから評価が低くなる。

この評価値に基づいて消費者集団ではルーレット選択により評価値が高い消費者の選好が市場に生き残るように選択される。この遺伝的操作の現実市場における含意としては、流行商品への選好や上手く商品を認知できるような選好が市場において一層強くなるといった一種のバンドワゴン効果を表している。

3.2.3 情報交換・情報収集

消費者集団の中からランダムに2人の消費者を選び、交叉確率 pC_{cross} で一様交叉により遺伝子を入れ替える。また、突然変異確率 pC_{mut} で突然変異により一部分の遺伝子を変化させる。これは消費者間の情報交換や情報収集を表している。

3.3 企業集団モデル

企業集団には20社の企業が存在する。企業 i は自らの意思決定に関わる内部モデルを有する。企業 i の内部モデルは採用規格 s_i 、技術コンセプト c_{ik} 、保有技術 t_{ik} からなる。

企業 i の内部モデル $= (s_i, c_{ik}, t_{ik})$

$$s_i \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad \sum_k c_{ik} = 1, \quad t_{ik} \in \{1, 2, \dots, 100\}$$

ただし、企業番号 $i = 1, 2, \dots, 20$,

技術番号 $k = 1, 2, \dots, 5$, 規格数 $n \in N$ とする。

3.3.1 商品開発・商品投入

各企業は消費者に受け入れられるように商品を開発し、投入する。商品投入の意思決定は商品投入確率 $pRelease$ に従う。今回の標準化に関わる問題を扱う際に投入タイミングに大きく依存した結果が出ることを避けるために投入に関してはランダム性を持たせた。

商品投入を決定した企業は自社の採用規格 s_i と保有技術 t_{ik} から商品を開発し、商品空間へ投入する。実際は複数の技術から一つの商品属性へ対応させる必要があるが、本シミュレーションでは特定の業界や企業を設定していないため、単純に保有技術と商品属性を1対1対応させた。

3.3.2 企業間提携

各企業は商品投入後、以下の関数 ff_i により自社評価し、この評価値に基づいて自らの内部モデルを修正する。

$$ff_i = w_a * share + w_b * othervalue + w_c * selfvalue + w_d * network$$

$$othervalue = \sum_k c_{ik} * t_{jk}, \quad selfvalue = \sum_k c_{ik} * t_{ik}$$

ただし、 j は提携先企業とする。

企業はシェア (*share*) を多く獲得し、同じ規格を採用している企業数 (*network*) が多い場合にはネットワーク効果を生じることから高い評価を得る。しかし、いくらシェアを獲得していても、自社のコンセプトと提携先企業技術の適合度 (*othervalue*) や自社技術との適合度 (*selfvalue*) が低い場合には評価値が低くなることをこの関数は表している。

3.3.3 クロスライセンス・技術開発

企業集団の中からランダムに2社の企業を選び、交叉確率 pF_{cross} で一様交叉によりマスクのかかっていない部分についての遺伝子を入れ替える。また、突然変異確率 pF_{mut} で突然変異により一部分の遺伝子を変化させる。これは企業間のクロスライセンスや自社での技術開発を表している。

4. シミュレーション

本章では、3章で構築したモデルを用いて標準化に関わるいくつかの命題についてシミュレーションを行い、考察する。

4.1 立ち上がり問題の解消

CAMCaT フレームワークを用いた共進化シミュレーションを行う場合には、結果に影響を及ぼす多くの要因が関わっていることから、命題についてのシミュレーションを行う前に、少なくともシミュレーション結果に大きく影響を与える評価関数のウェイトについては市場の基本特性を満たすように設定を行う必要がある。

本論で言う市場の基本特性とは消費者選好だけが進化している場合、もしくは企業技術だけが進化している場合が生じ、市場における初期段階で需給関係が崩壊してしまう立ち上がり問題のことを指す。検証したい命題についてのシミュレーションを行う前に、この立ち上がり問題が解消されるときのパラメータ (適応度のウェイトや遺伝的操作に用いられる交叉確率、突然変異確率) を設定する必要がある。これ以降の実験では立ち上がり問題が解消されたときの表1のパラメータ設定を用いてこれ以降のシミュレーションを行う。

表1 パラメータ設定

	w_a	w_b	w_c	w_d
f_{c_i}	0.50	0.40	0.05	0.05
f_{f_i}	0.25	0.05	0.65	0.05

p_{Cross}	p_{Cmut}	p_{Fcross}	p_{Fmut}	$p_{Release}$
0.60	0.05	0.60	0.05	0.05

4.2 標準化問題の考察

本章では2つの命題について検証を行うことで本モデルがマーケットデザインを支援する可能性があるかどうかを検証する。以下で示す命題は標準化問題に関わる研究から導いたものである [田中 2004, 山田 2004, 吉川ら 2005]。

実験設計は規格数 $n=5$ とし、最初は市場原理に基づくデファクト競争を行っている状態から、技術調整サイクル(世代)を1000世代繰り返す。

4.2.1 用途無き規格の発生

命題1:『商品を市場に投入する前に企業間で長い間自主調整を行うと、商品投入後に消費者ニーズが存在せず、商品は普及しない』

本シミュレーションでは、企業集団で商品を出す前に数世代の自主調整を行い、その後市場に商品投入するというコンソーシアム型やフォーラム型の標準化の状況を考える。シミュレーションでは自主調整中に企業は商品空間に商品投入せず、企業間での提携やクロスライセンスなどの相互作用のみを行う。この自主調整の期間を(1)0世代(デファクト競争)、(2)50世代、(3)100世代、(4)200世代という変えることで4つのシナリオを設定し、シミュレーションを行った。自主調整期間50世代における各規格の市場シェア推移を示したのが図2である。

この結果より分かることは50世代のように調整が短く、早い段階で商品投入を行ってしまうと商品投入直後に規格競争が生じてしまい、技術がサンクコスト化していることが分かる。

一方で調整期間を200世代としてシミュレーションを行ったときはいずれの規格も市場シェアを全く得ることが出来ない場合が多く生じた。これは、調整が長すぎると消費者選好の進化に影響

を受けることが出来ず、企業は用途無き規格を生み出してしまふことが原因であると考えられる。

そこで、それぞれのシナリオで100試行ずつシミュレーションを行い、いずれの規格も市場シェアを全く得ることが出来なかった場合の試行数を調べた。これを示したのが図3である。

これを見ると分かるように自主調整期間が長すぎると、消費者ニーズとかけ離れた技術を作りやすくなる傾向があることが分かる。

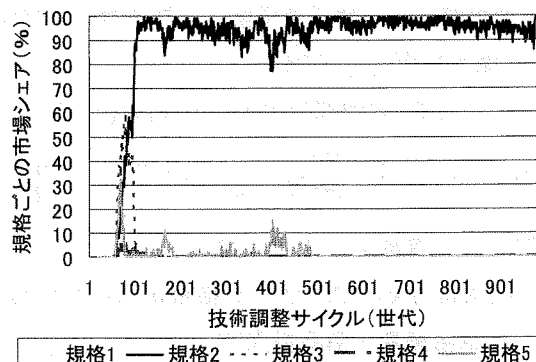


図2 市場シェア推移 (調整期間 50 世代)

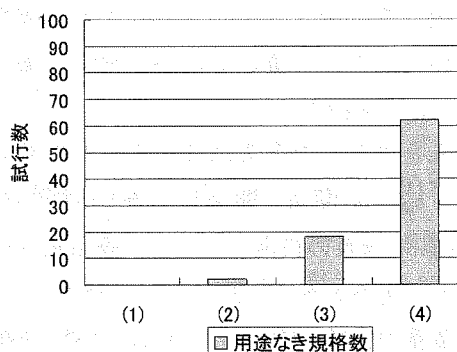


図3 調整期間の違いによる用途無き規格発生数

4.2.2 デジュールスタンダードの失敗

命題2:『デファクトスタンダードが顕在していない中で、デジュールスタンダードを決めると、消費者が望む商品の技術進歩に伴う便益を得られなくなる』

本シミュレーションでは、最初から市場原理に任せて商品投入を行うが、規格競争が長く続かないように100世代目においてデジュールスタンダードを定めるというシナリオを考える。シミュレーションでは、100世代の間に淘汰されなかった

規格のうち1つをデジュールスタンダードに定め、これ以降は全ての企業がこの規格を採用し、商品開発を行うものとする。

このとき、(a) 消費者の大勢に受け入れられているような規格をデジュールスタンダードにした場合と、(b) ランダムにデジュールスタンダードを規定した場合で実験を行ったときの消費者の市場満足度（適応度）の推移を示したのが図4である。

これより、(b) のような場合に比べて (a) のほうが市場満足度の向上が見られる。(a) の場合は、消費者にとって規格乗り換えコストが下がり、好む規格が標準になったために消費者は市場に対して高い適応を行うことができると考えられる。(b) の場合は、標準化団体が消費者集団を無視してデジュールスタンダードを定めた状況であり、この場合は標準が消費者の好む規格と異なるため、消費者は市場での満足を得ることができず、適応できないと考えられる。現実市場において考えると (a) はデファクトでありデジュールである VHS, (b) はデジュールであるがデファクトでない OSI のような事例が考えられる。

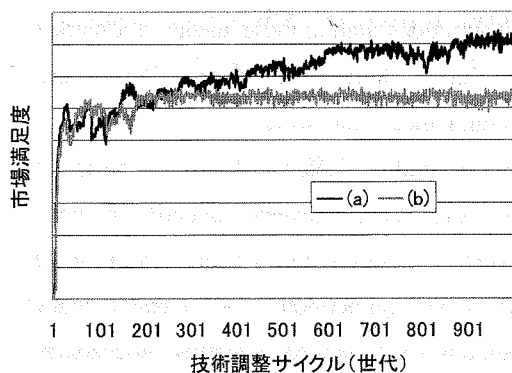


図4 消費者の市場満足度推移

5. おわりに

本論では新たなマーケットデザインの支援として共進化の概念を取り入れたエージェントベースマーケットフレームワークを基に標準化モデルを構築し、シミュレーションを行い、標準化問題について考察を行った。このアプローチは従来研究とは異なり、経済主体間にマイクロな相互作用

用を考慮することで同じパラメータ設定でも様々なシェア推移や規格推移などの市場ダイナミクスが見て取れる点が大きな利点である。そのため、市場ダイナミクスとそのときのエージェントの行動や内部モデルの変化を対応付けて考察することで、マーケットデザインに対する様々な指針を得ることが可能であると考えられる。

しかし、本論では抽象モデルとして簡単な命題を検証することでマーケットデザイン支援の可能性を示したに過ぎず、これから特定市場への対応についても考えていく必要がある。また、遺伝的アルゴリズムにおける世代概念についても現在は技術開発サイクルや商品選択サイクルと対応づけているが、今後は現実市場との整合性をとっていく必要があるだろう。

参考文献

- Christensen, Clayton M., “The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail”, Harvard Business School Press, 1997
- Deguchi, Hiroshi, “Learning Dynamics in Platform Externality, in Applied General Systems Research on Organization”, Springer, pp167-176, 2003
- 伊庭斉志, “遺伝的アルゴリズムの基礎: GA の謎を解く”, オーム社, 1994
- 猪木武徳, “市場競争システムの意味と限界”, 組織科学, vol 32, pp4-14, 1998
- Rohlf, Jeffrey H., “Bandwagon Effects in High Technology Industries”, The MIT Press, 2001
- Struben, Jeroen, “Technology Transitions; identifying challenges for hydrogen vehicles”, MIT, 2004
- Yeon, Seung-jun, Park, Sang-hyun, and Kim, Sang-wook, “A dynamic diffusion model for managing customer's expectation and satisfaction”, Technological Forecasting & Social Change, Vol.73, pp648-665, 2006
- Takahashi, Shingo and Ohori, Kotaro, “Agent-based Model of Coevolutionary Processes of Firms Technologies and Consumer Preferences”, NAACSOS Conference, 2005

高橋真吾, “エージェントベースアプローチによる消費者選好の進化過程の分析枠組”, 経営情報学会誌, Vol.13, No.1, pp1-17, 2004
田中正躬, “公的標準機関の変遷と課題”, 標準化と品質管理, Vol.57, No.11, pp7-13, 2004

山田英夫, “デファクトスタンダードの競争戦略”, 白桃書房, 2004
吉川治, 横田真, “デジュール標準化における戦略的提案”, 研究・技術計画学会年次学術大会講演集, Vol.20, No.2, pp774-777, 2005

Agent-based Model for Analysis of Standardization Problems

Kotaro OHORI¹ and Shingo TAKAHASHI²

¹ Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University, Japan

² Faculty of Science and Engineering, Waseda University, Japan

¹ oohori@fuji.waseda.jp ² shingo@waseda.jp

Abstract

The primary purpose of this paper is to propose a new framework for supporting market design, and to analyze standardization problems. The main features of the framework are as follows: 1) economic units such as firms or consumers are regarded as autonomous agents, 2) essential interactions among these agents in a market are considered, 3) consumers' preferences and firms' technologies coevolute in choices of products. We call this CAMCaT (Coevolutionary Agent-based Model for Consumers and Technologies) framework.

The main target problems of this paper are standardization in market design. In recent years, a technological progress and a globalization have been intensifying competitions between standards in many markets. In these competitions, firms tend to pursuit short-term profits acquisition, and winners can get more profits than losers. Moreover a firm strains on its own standard in the competitions. As a result, many stakeholders suffer various types of inconvenience from these competitions based on a market mechanism. Therefore some problems about the standardization are noticed in many markets. It is a difficult problem how we should specify a standard.

Then we would like to provide a new approach unlike conventional studies of a market structure and market dynamics. This paper builds an agent-based model using CAMCaT framework to examine some essential problems about the standardization and conducts a simulation on some scenarios that show some propositions of the standardization to verify the effectiveness and validity of the model. The result shows that this model has a high potential to support market design process.

Keywords: Coevolution, Agent-based modeling, Market design, Market dynamics, Standardization problem

研究ノート

組織学習の観点による情報システム定性的評価の試み

山本 卓史 (早稲田大学大学院) , 高橋 真吾 (早稲田大学理工学術院)

要旨 : 組織が競争優位を維持するために有効な組織学習の促進には, 組織全体のナレッジマネジメントシステム(KMS)が必要である. 多くの組織が KMS を導入したが, 組織学習が促進されない事例が数多く存在する. 原因として組織学習と情報システム機能の具体的な関係が不明であり, 組織学習の観点から定性的に情報システムを評価できているとはいえない点を挙げる. 本稿ではまず 50 の KMS 事例を, 多変量解析を用いて分類し, 解析結果から営業組織向け理想型 KMS モデルを導出する. 続いて, 理想型 KMS モデルを学習支援箇所毎にモデル化し, 情報システム機能と組織学習支援の関係を明らかにする. 得られた関係を, 組織学習の観点による情報システム定性的評価フレームワークとしてまとめる. 本フレームワークは, 既存の情報システムを組織学習支援の観点から分析する際や, 新規に情報システムを設計する際に, 利用が期待される.

キーワード : 組織学習, ナレッジマネジメントシステム, 定性的評価, 情報システム評価

Qualitative Evaluation of Information Systems in Terms of Organizational Learning

Takashi YAMAMOTO (Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University)
Shingo TAKAHASHI (School of Science and Engineering, Waseda University)

Abstract : This paper proposes a framework for qualitative evaluation of information systems in terms of organizational learning. An organization needs Knowledge Management Systems (KMS) to accelerate its ability of organizational learning for getting sustainable competitive advantages. However, we can find many cases in which introducing KMS failed in improving the ability of organizational learning. Previous researches suggest that qualitative evaluation of information systems in terms of organizational learning requires to make clear the relationships between organizational learning supports and information system functions. This paper tries to explore their relationships, and classifies 50 KMS cases, using a multivariate analysis, and formulates an ideal KMS model focusing on sales organizations. Then, each function consisting of the ideal KMS model is specified to clarify how the information system functions support organizational learning. Finally this paper shows our proposed qualitative evaluation framework in terms of organizational learning.

Keywords : organizational learning, knowledge management system, qualitative evaluation, information system evaluation

2007年6月28日 受付, 2007年11月5日 受理

1. 研究背景と目的

現代の変化の激しい組織環境において、組織が競争優位を維持し生存するためには、組織学習が有効であるといわれ (Espejo, Schuhmann, Schwaninger, and Bilello, 1996), 組織学習促進を志向する組織全体のナレッジマネジメントシステム (KMS) が多くの組織で導入されてきた (Chen, 2003). しかし導入したものの、組織学習が促進されない事例が相次いだ (Alton and Wing, 2005; Chen and Chen, 2006). 原因として、組織学習と情報システム機能の具体的な対応関係が不明である点が挙げられている. 情報システム設計者が、組織学習促進を目的とした情報システムの設計を試みても、組織学習の観点から定性的に情報システムを評価・分析できているとはいえない.

Management Information Systems (MIS) や Computer Integrated Manufacturing (CIM) は、業務効率化や生産性向上が導入の主目的であり、財務指標を用いた定量的な評価で十分だった (Chen and Chen, 2006). 続いて登場した、Strategic Information Systems (SIS) では、SIS の目的“戦略優位の創出”を分析対象の情報システムが実現可能であるか、財務指標を用いて定量的に評価することの困難さに、情報システム設計者は直面した. 当時、非財務指標を用いた評価方法が確立されていなかったことから、“SIS はたとえ評価できなくても、待ったなしの投資である”という論調さえも生まれた (松島, 1999).

この頃から情報システム設計者は、MIS や CIM が主流だった時代から続く評価指標を個別に用いて評価する“慣習”と、情報システム投資のリターン同士に実際は依存関係が存在している“現実”との乖離に直面した. そのため、個別の指標を単独で用いて示唆を得るだけでなく、指標同士の相互依存にも着目するようになった. その一例がバランス・スコアカード (BSC) 手法である. 今日まで、SIS や KMS の評価は、複数の指標を用いた定量的評価を中心に行われてきた.

しかし、KMS は本来、知識創造による環境適応能力向上と組織学習促進を目的としているが、そもそも“知”や“創造”の定量化は困難である. そのため、広く受け入れられた KMS の評価方法はまだ確立されていない (松島, 1999; Chen and Chen, 2006). 知的資産を扱う KMS を、情報システム機能と組織学習の関係から評価し、更なる組織学習の実現に必要な機能について、情報システム設計者に示唆を与えることが可能な、組織学習と情報システムの関係を示す定性的評価フレームワークが待望されている. Cohen (2006) も、知的資産を扱う KMS の評価について、本質を捉えておらず意味の無い数値を示す定量的評価よりも、KMS が戦略目的と整合したユニークな価値を創造していることを示す定性的評価が重要であると主張している. しかし、情報システム機能と組織学習支援の関係性すら解明されていないのが現状である.

そこで、本稿では、組織学習の観点による情報システム定性的評価フレームワークを提案する. 本フレームワークは情報システム設計者に対し、分析・設計対象の情報システムを組織学習の観点から定性的に評価する視点を与え、組織学習支援の実現に必要な情報システム機能について示唆を与えることが期待される.

組織学習の観点から情報システムの定性的評価を行うフレームワーク作成には、情報システム機能と組織学習支援の関係性が必要であるが、両者の関係性について言及した既存研究は存在しない. また、理想型としての KMS が持つべき情報システム機能に関して、広く受け入れられた定義が存在しないため、既存研究の定義から本稿で想定する理想型 KMS の持つ機能を定めることはできない.

そこでまず、50 個の営業組織における KMS 事例を統計的に分析して、組織学習支援の観点から成功している KMS 事例の特徴を抽出し、理想型 KMS の全体像を明らかにする. 導出する理想型 KMS モデルは、一連の解析手順を踏むことで、

機能の網羅性, 特定の事例作成者の認識に依存しないかの客観性, 最新技術の反映度合, といった問題を解決している。

続いて, 理想型 KMS モデルの内部機能を, 4つの組織学習支援箇所ごとに詳細にモデル化し, 情報システム機能と組織学習支援の関係性について分析可能な, 学習支援のための情報システム機能抽出モデルを作成する。そして, 各モデルから得られた関係性や示唆を, 組織学習の観点による情報システム定性的評価フレームワークとしてまとめ, その利用方法や既存評価方法への適用可能性を探る。

2. 情報システムが支援可能な組織学習の概念

組織が環境適応能力を向上し競争優位を維持するためには, 組織学習が必要といわれている。組織学習の観点による組織の診断枠組みとして Kim(1993)は, OADI-SMM モデル(図 1)を提案した。このモデルは個人のメンタルモデルと共有メンタルモデルの交換を通じて学習の移転が発生する様子を示している。また, Argyris&Schön(1996)

に基づく 4つのループ学習を詳細に述べるができるモデルである。

観察(Observe)・評価(Assess)・設計(Design)・実行(Implement)で構成される OADI サイクルを実行してパフォーマンスを向上させるのが個人のシングルループ学習, フレームワークとルーチンからなる個人のメンタルモデルを変化させることでパフォーマンスを向上させようとするのが個人のダブルループ学習, 個人行動の統合からなる組織行動と環境の応答を用いてパフォーマンスを向上させようとするのが組織のシングルループ学習, 個人のメンタルモデルから生成される共有メンタルモデルの変化を通じてパフォーマンスを向上させようとするのが組織のダブルループ学習である。

Kim(1993)は診断における軸となる, 学習プロセスの分断により発生する 7つの不完全な学習, ①役割制約学習, ②聴衆的学習, ③迷信的学習, ④不明確学習, ⑤状況的学習, ⑥断片的学習, ⑦日和見主義学習, を挙げた。本稿では, 情報システムによる組織学習支援を, “不完全な学習を緩和しようとする情報システムによる作用”として

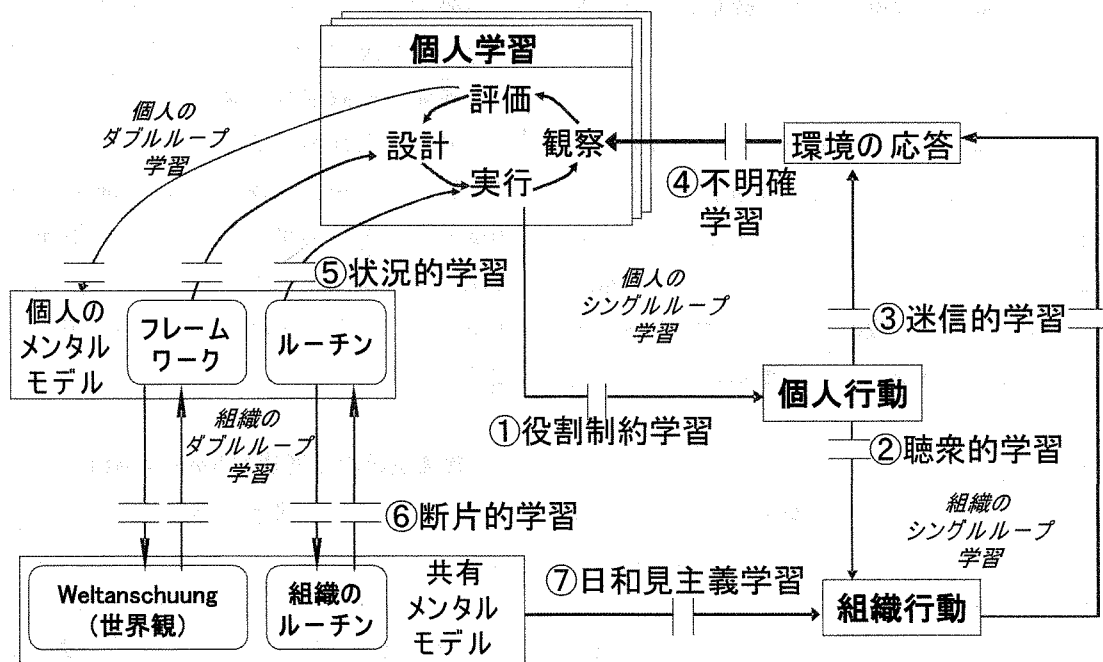


図 1 OADI-SMM モデル(Kim,1993)

考える。以下で不完全な学習の概要を述べ、情報システム機能が不完全な学習を緩和可能であるかという観点から、情報システム機能が支援対象とする学習を同定する。

①役割制約学習

個人の役割・ルーチンに何らかの制約があると、個人が新しい知識に反応して自身の行動を変えることができない不完全な学習である役割制約学習が生じてしまう。これは組織の制度設計や権限付与が主原因であり、情報システム機能が直接作用することができない。本稿では情報システム機能が支援できる学習としては扱わない。

②聴衆的学習

個人の行動が組織全体の行動へ与える影響が不明確な場合に発生する不完全な学習である。組織の政治的状況や権力関係が個人の主導権を抑制する場合に多発する。変化への強い抵抗といった組織の慣性力が強く働く場合、一個人の行動変化が組織行動全体の変化に繋がらないのが原因である。これは組織の政治的状況や権力関係が主原因であり、情報システム機能が直接支援することができないため、本稿では情報システム機能が支援できる学習としては扱わない。

③迷信的学習

個人および組織の行動と環境の応答との因果関係が欠如している場合に、慣習的行動を迷信かのように繰り返してしまい発生する不完全な学習である。組織ビジョンやルーチンの不完全性が主原因であり、情報システム機能による支援が困難であるため、本稿では情報システム機能が支援できる学習としては扱わない。

④不明確学習

ナレッジデバイドのため、行動結果を比較し評価するのに十分なナレッジを保有していない場合や、環境の応答を誤認知すると発生する。環境の応答に関する認知の共有やナレッジデバイドの抑制は、情報システム機能により実現可能であると期待できる。

⑤状況的学習

個人が学習をしない、もしくは学習を忘れると発生する。情報システム機能により、個人学習のサポート欠如を改善し、より多くの学習機会・気づきを与えることができる。

⑥断片的学習

個人学習が組織学習に繋がらない場合に発生する。具体的には、データベースへのアクセス制限や知識の消失、部門間の共有不足が原因で発生する。部門間情報共有を促進する情報システム機能により緩和が可能である。

⑦日和見主義学習

組織は特定のタスクに対して通常のビジネスプロセスを踏むと弊害があると考えた場合、そのプロセスを回避し、共有メンタルモデルに反した日和見的な組織的行動を取る場合があり、その際に発生する不完全な学習である。組織にとっては突発的事態であるため、情報システム機能による対応が困難であり、本稿の情報システム機能の対象としない。

本稿では、7つの不完全な学習のうち④不明確学習、⑤状況的学習、⑥断片的学習を、情報システム機能が組織学習支援可能な対象として扱い、その他の①役割制約学習、②聴衆的学習、③迷信的学習、⑦日和見主義学習は、組織の人事・評価制度や文化が根本原因であるため、情報システム機能による支援が可能な学習としては扱わない。次章より、上記の組織学習の概念を用いて分析を進める。

3. 営業組織向け理想型 KMS の導出

本稿で想定する理想型 KMS の全体像を、事例分析、主成分分析、クラスター分析、およびシーケンス図を用いたモデル化により導出する。主成分分析で最新の情報システムが持つ機能を抽出し、クラスター分析より、最新の情報システム機能を網羅的に持つ理想に近い分析対象とする事例を抽

出する。続いて、抽出した事例のシーケンス図を用いたモデル化、そして複数のシーケンス図の統合により、営業組織向け理想型 KMS を導出する。

KM 促進を志向する営業組織の情報システムを紹介している事例を収集した結果、50 社分を集めることができた。営業組織は、KM がブームになった 90 年代後半から現在にかけて、KMS が多く導入されている領域である。事例が十分な数存在し、さらに最新技術が積極的に導入されているため、営業組織に着目するのが理想型 KMS の構造抽出に最も適していると考えた。事例の収集は文献・論文に加え、雑誌記事を積極的に参照し、調査時点(2006年12月)で最新の情報システム機能を捉えることを試みた。

様々な視点が存在する KM のプロセスを統合し、KM に必要な 7 つのプロセスを挙げたレビュー論文がある(Lai,2000)。7 つのプロセスとは、①創始、②分配と移転、③利用、④回想・評価、⑤生成、⑥表出・入力、⑦貯蔵である。本稿では、7 つのプロセスと対応する 35 の機能分類軸を作成した。機能分類軸は、機能の有無をただ分類するのではなく、機能の用い方や場面について分類できるようにした。例えば、“ナレッジ提供機能”の有無のみを示す分類軸ではなく、情報システム利用者の入力したキーワードに対応するナレッジの提供なのか、情報システム利用者の業務プロセスに応じたナレッジをプッシュ型で提供するのか、を分類できる軸を作成した。

分類は、再現性を高めるために分類ルールを定義した上で行った。分類の際、文章から最新の情報システムと読み取れる事例、または 2005 年以降の事例を改善後事例として区別した。各社は事例調査段階までに複数回、情報システムの改良を繰り返し、その時々で事例を公開していたため、全ての事例が書かれた段階では最新事例である。そこで本稿では、各社複数ある事例のうち、最新の情報システムを示した事例を利用し分類したこ

とを、“改善後”という言葉を用いて明示した。ただし、2005 年以前の情報システムが最後の改良である組織の場合、直近 2 年以内ではない古い事例が改善後事例に区別されてしまう可能性があったため、2005 年以前の事例は改善後事例として用いないよう区別した。

表 1 が事例の分類結果である。本稿では、見易さを考慮して、業種までの表記とした¹⁾。分類における多少の誤差は、以下の多変量解析やモデルの抽象・統合化などにより、吸収されるため問題ないと考える。

理想の改善後事例が持つ情報システム機能を得るために、分類表の主成分分析を行った²⁾。その結果、9 つの主成分を導出した³⁾。各主成分に対して因子負荷量の大きい情報システム機能分類軸を分析することで、各主成分に対して解釈を与える。表 2 に各主成分と主成分得点の高い事例に対する解釈をまとめた。

第一主成分は 2005 年以降、または文章から現在最新の情報システムであると区別した改善後事例の持つ機能群である。第二主成分以降は、第一主成分との差異を与えている。第一主成分の主成分得点が高い事例の解釈は、以下のようである。

業務プロセスのフェーズが移るたびに、検索しなくても適切なナレッジを提供する仕組みが存在し、商談中や意思決定の場面で適宜、有用なナレッジを与えてくれる。ナレッジ共有範囲は広く、部門間共有が盛んである。ナレッジ登録や利用したナレッジの評価が業務プロセスの一つとして強制されている。ナレッジの入力は、利用者が全てを書く形式以外にも、業務プロセスの中で入力した情報のマイニングなどによっても行われる。利用者のコメントがナレッジに適宜追加されていく。頻出する質問やコメントを定期的に FAQ 化する仕組みがある。

他の主成分は、第一主成分の主成分得点が高い事例に対して欠如する機能を示している。例えば、

表 2 主成分の解釈

主成分	主成分得点が高い事例の意味 (第一主成分との差異)
1	規範的な改善後事例
2	プロセス管理機能がなく、ナレッジ評価・生成の強制、プロセスに応じた情報提供が出来ない事例
3	プロセス管理による情報提供やナレッジ評価・生成の強制が出来る。しかし、登録が利用者の能力に依存する事例
4	コード化が利用者に依存し、分類構造はフォルダ構造。接触前情報を提供する事例
5	情報共有はクローズ。他職能データベースを参照可。情報氾濫を防ぐ。有用情報はプッシュ型で提供される事例
6	事前引合を提供。入力済み情報を再編集・レポート化し使わせる形にする機能をもたない事例
7	ナレッジの管理者・共有促進者がいない事例
8	コード化はプル型で、タグも入力者が指定しないのに、情報取捨選択プロセスが存在しない事例
9	情報入力時のタグ付加を入力者に依存し情報到達性が低い、レポート化や再編集はさせる事例

第二主成分の主成分得点が高い事例は、第一主成分の主成分得点が高い事例に対して、プロセス管理機能やナレッジ評価・生成を情報システムが強制する機能が不足しているといえる。

第一主成分は理想の改善後事例が持つ情報システム機能群を示すため、第一主成分で示されている情報システム機能をモデル化し、分析することができるのではないかと考えるかもしれない。しかし、分類する際に利用した機能分類軸は、既存研究が示す KM プロセスを細分化し導出しており、第一主成分が必ずしも、組織学習支援が可能な情報システム機能を網羅しているとは言い切れない。また、第一主成分の主成分得点が高い特定の事例をモデル化したとしても、適用範囲が限定された示唆しか得ることができない。

そこで本稿では、第一主成分で示される理想の改善後事例に類似している、理想に近い改善後事例をクラスター分析により複数抽出し、それらをシーケンス図によりモデル化する。そして各シーケンス図を統合し、情報システム機能と組織学習支援の関係性を分析する際に用いる、営業組織向け理想型 KMS モデルを作成する。

クラスター分析は、第一主成分を分類表に追加した上で行った⁴⁾。第一主成分と同じクラスターに属す事例は、東日本電信電話株式会社、ソニー生命保険株式会社、株式会社三技協、株式会社リ

コー、株式会社三菱東京 UFJ 銀行、アサヒビール株式会社であった⁵⁾。これらの企業は、日経 IT カラニングや、米国 Teleos 社の KM 実践状況に関する MAKE ランキングの上位に入っている企業と対応している。続いてクラスター分析により導出した 6 つの事例を、個別にシーケンス図でモデル化した。図 2 は抽出した 6 つの事例のうち、1 社のシーケンス図(IT・通信・インターネット系)を例として示したものである。そして、情報システム機能と組織学習の関係性が失われないよう注意しながら 6 つのシーケンス図を統合し、営業組織向け理想型 KMS モデルを作成した(図 3)。

営業組織向け理想型 KMS モデルの特徴は、最新の特典事例から求めたのではなく、最新 KMS の機能要件を求めた上で、機能要件を満たす複数事例を理想に近い事例として導出しシーケンス図で各々をモデル化した後、統合し作成している点である。既存研究で明らかでは無かった組織学習支援としての営業組織向け理想型 KMS の全体像を、より一般的な形で示している。次章では、理想型 KMS を組織学習支援箇所ごとに分割し、情報システムの内部機能と組織学習支援の関係について分析する。

4. 組織学習と情報システム機能の関係性抽出

理想型 KMS モデルは、理想に近い改善後事例

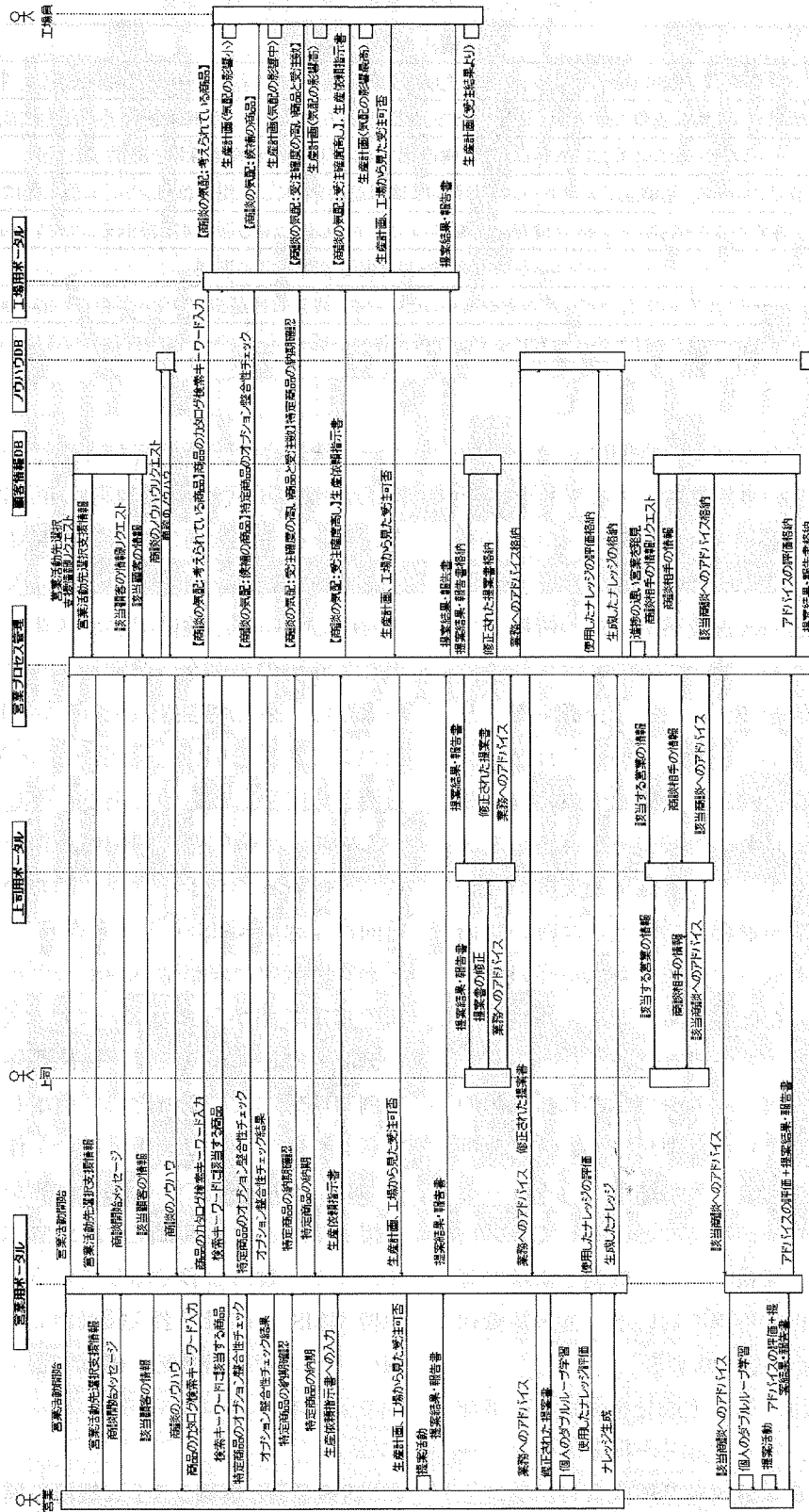


図2 シーケンス図の例(IT・通信・インターネット系)

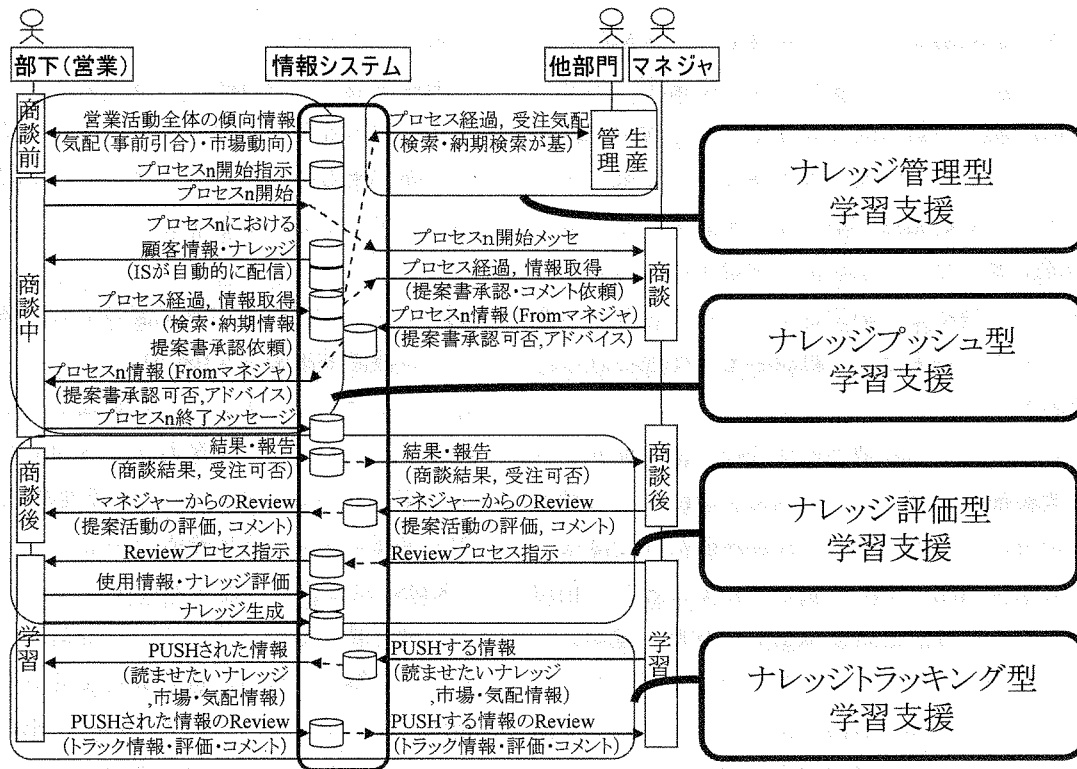


図3 営業組織向け理想型 KMS

から作成したシーケンス図を抽象・統合化し作成したため、時系列に沿って情報システムとアクター間の情報のやりとりを示すシーケンス図の特長を継承している。しかし、情報システムに入出力される情報が組織学習支援内容を表しているにもかかわらず、情報システムの各機能について理想型 KMS モデルでは表現していないため、本稿が目的とする組織学習支援と情報システム機能の関係について分析ができない。そこで、理想型 KMS モデルにおいて、情報システムが組織学習支援を行っている 4 つの支援箇所、①ナレッジプッシュ型学習支援、②ナレッジ評価型学習支援、③ナレッジ管理型学習支援、④ナレッジトラッキング型学習支援、を抽出した上で、支援箇所ごとに Data Flow Diagram (DFD) を用いて、学習支援のための情報システム機能を表すモデルを作成し、組織学習支援と情報システム機能の関係を明らかにする。DFD は、外部実体、システム、情報フ

ロー、データストアを用いて、各システム間・外部実体による情報のやり取りを表す記法であり、本稿では外部実体を KMS 利用者、システムを組織学習支援に有効な各機能、情報フローを組織学習支援のために各情報システム機能から入出力される情報、データストアをナレッジベースであると定義する。

以下が、各情報システム機能抽出モデルの分析結果である。

(1) ナレッジプッシュ型学習支援のための情報システム機能抽出モデル(図 4)

このモデルは、プロセスに応じたナレッジのプッシュ型提供機能を表しており、外部実体は KMS 利用者である営業、システムはプロセス管理機能・検索機能・自然文変換機能・KM 機能である。各機能が行う、情報フローを介した利用者への働きかけが、組織学習支援となる。

利用者が有用なナレッジを得ようと KMS にアクセスしたとしても、キーワードの指定方法といった検索能力が個人間で異なるため、検索の結果得られるナレッジの質・量が異なり、結果、ナレッジデバインドが発生する。ナレッジデバインドは、利用者が誤ったナレッジから学習する、もしくは、ナレッジを得ることができずに学習できない事態をもたらす。結果として組織学習が促進されない問題がある。

ナレッジプッシュ型学習支援のための情報システム機能抽出モデルより、検索能力によって検索結果の質に差が出てしまう検索機能だけではなく、自然文変換機能・KM 機能を用いることで、利用者が入力した自然言語を KMS が解釈し適切なナレッジを提供することが可能になると明らかになった。また、プロセス番号をキーワードへと変換する機能とプロセス管理機能を併用することで、利用者のプロセスや業務の状態に応じて KMS 側

から、必要と考えられるナレッジを、プッシュ型で提供することが可能となる。あるプロセスを行う際に利用者が得るナレッジの質が平準化し、個人の検索能力に依存することなく、学習の機会をもたらすことが可能となる。

(2) ナレッジ評価型学習支援のための情報システム機能抽出モデル(図 5)

このモデルは、ナレッジの評価とコメント支援機能を表しており、外部実体は KMS 利用者である営業、システムはプロセス管理機能・検索機能・評価コメント支援機能である。

KMS 利用者は、各々の仕事において意思決定と行動を繰り返す。そして、行動結果のフィードバックを得て、自らの意思決定を省みることで学習する。しかし、行動結果を得る仕組みが不完全なため、学習が行われない事態が数多く発生している。さらに、入力作業が煩雑であったり業務外

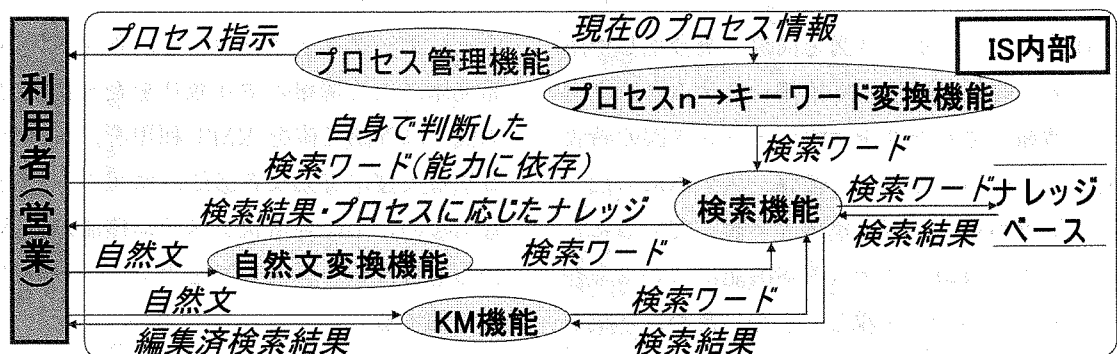


図 4 ナレッジプッシュ型学習支援のための情報システム機能抽出モデル

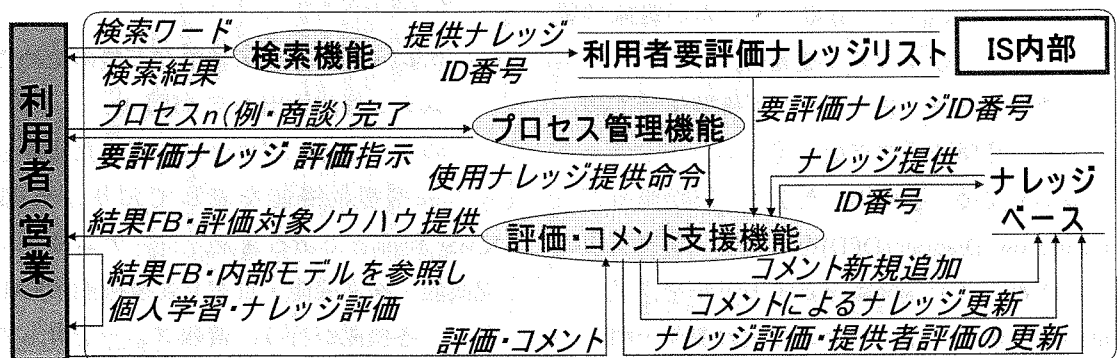


図 5 ナレッジ評価型学習支援のための情報システム機能抽出モデル

のプロセスとして規定されていたりすると、ある人が新たなナレッジを創出したとしても、入力が行われず、組織学習に繋がらない問題状況がある。

ナレッジ評価型学習支援のための情報システム機能抽出モデルより、利用者のプロセスをプロセス管理機能が捕捉し続け、検索機能が利用者要評価ナレッジリストに利用したナレッジを残しておくことで、評価・コメント支援機能が利用者に対して、利用したナレッジへの評価・コメントを強制できることが明らかになった。また、プロセス管理機能により、行動結果が明らかになった時点で、その行動を行った利用者へ、結果をプッシュ型で提供することが可能となり、個人の学習を促進できる。さらに、入力支援を行うことで、データベースへの新規入力およびデータベース上ナレッジの改訂が促進され、結果、個人学習が組織学習へと繋がることもわかった。

(3) ナレッジ管理型学習支援のための情報システム機能抽出モデル(図6)

このモデルは、他部門へのナレッジ移転支援機能を表しており、外部実体は KMS 利用者である営業と他部門・他機能の利用者である上司、システムはプロセス管理機能・検索機能・情報移転機能である。

KMS 利用者にとって他部門へのナレッジ移転は、短期的に直接、自らの利益に繋がることが少

ないため、促進されないことが多い。結果として、例えば営業と R&D 間といった異部門間でのナレッジ移転が促進されず、顧客ニーズに適さない商品開発を R&D が行ってしまうケースが多発している。

ナレッジ管理型学習支援のための情報システム機能抽出モデルより、業務中に入力した情報を他部門に有用なナレッジに変換し配信・共有する情報移転機能が、組織学習支援に有効であると明らかになった。情報移転機能は、営業が日常業務で入力した情報をナレッジに変換し移転するため、営業に追加業務を強いることなく、部門間のナレッジ移転促進が可能となる。結果として、営業が認知した環境変化に R&D がいち早く対応することが可能となり、組織学習が促進される。

(4) ナレッジトラッキング型学習支援のための情報システム機能抽出モデル(図7)

このモデルは、ナレッジのトラッキング機能を表しており、外部実体は KMS 利用者である営業や上司、システムはプロセス管理機能・検索機能・評価コメント支援機能・トラッキング機能である。

マネジャーが部下に対して、有用であると考えたナレッジを読むように指示をしても、部下が読まずに済ませてしまう場合が多い。また、組織内でやり取りされるナレッジ量が多すぎるために情報洪水が発生し、有用なナレッジへの到達可能

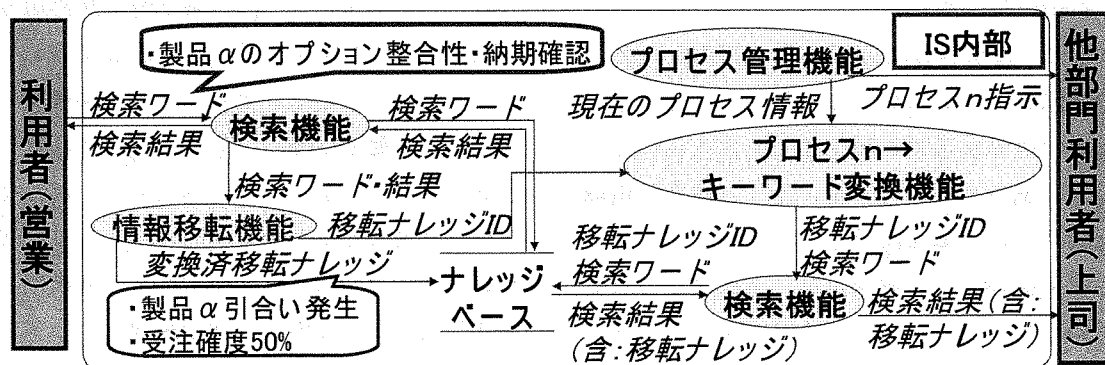


図6 ナレッジ管理型学習支援のための情報システム機能抽出モデル

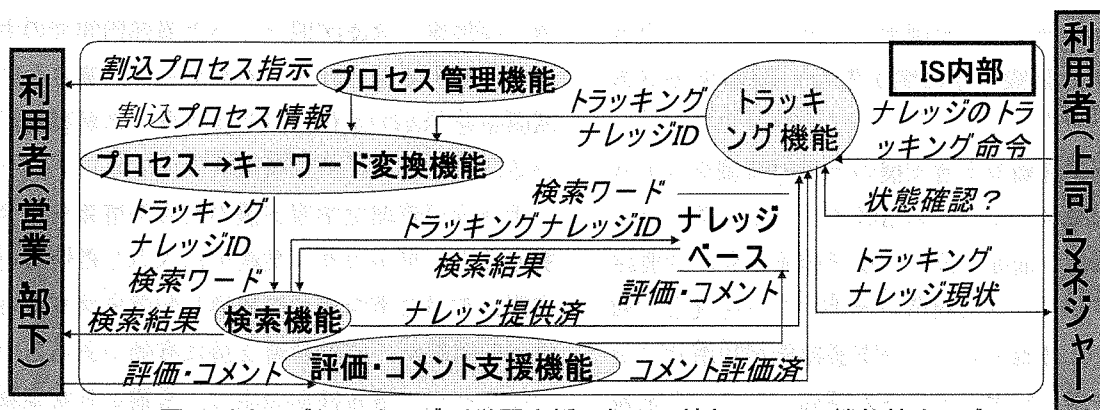


図7 ナレッジトラッキング型学習支援のための情報システム機能抽出モデル

性が低下し、個人学習が阻害される問題状況がある。

ナレッジトラッキング型学習支援のための情報システム機能抽出モデルにより、上司があるナレッジを部下に読むよう指示し、さらにナレッジのトラッキングをトラッキング機能に命令すると、トラッキング機能がプロセスからキーワードへ変換する機能を通して部下へとナレッジを確実に伝達する様子が明らかになった。加えて、評価・コメント支援機能とトラッキング機能を併用することで、ナレッジを読むべき利用者がナレッジを読みコメントを書き評価を行ったかを、マネジャーが追跡することが可能となるメカニズムも明らかになった。トラッキング機能は、部下達への確実なナレッジ提供を可能とし、個人学習を促進する。

5. 定性的評価の試み

これまでのモデル化で組織学習と情報システム機能の関係が明らかになった。しかし、各学習支援のための情報システム機能抽出モデルにおいて、重複して表現されている情報システム機能の組織学習支援については言及できていない。また、各組織学習支援が一つの情報システム機能から実現されているわけではない。そこで本章では、各学習支援のための情報システム機能抽出モデルから得た示唆を統合し、モデル間に潜んでいる関係性

についても示唆を与えるフレームワークを作成する。

分析対象としている組織の組織学習の状態は、組織学習の観点による診断枠組みである Kim の OADI-SMM モデルを用いて分析する(2章参照)。提案するフレームワークでは、4つの学習支援のための情報システム機能抽出モデルから得られた示唆を、情報システムが対処可能な3つの不完全な学習、④不明確学習、⑤状況的学習、⑥断片的学習と対応付けることを試みる。図8が組織学習の観点による情報システム定性的評価フレームワークである。情報システム設計者は、組織学習の観点による診断枠組みである OADI-SMM モデルを用いた診断結果とフレームワークを通して、不完全な学習を緩和し、組織学習支援を可能とする情報システム機能について示唆を得ることが可能になる。

本フレームワークは、組織学習診断枠組みの診断軸である、不完全な学習の観点によるシステム化のテーマを中心に、そのテーマを実現する情報システム機能を左側に、そして期待される効果を右側に示している。システム化テーマは、不完全な学習を緩和するという目的と対応付けが可能である。つまり、システム化テーマの解決が、組織学習の観点からどのような効果をもたらすかについて分析可能である。

既存研究では、組織学習支援と情報システム機

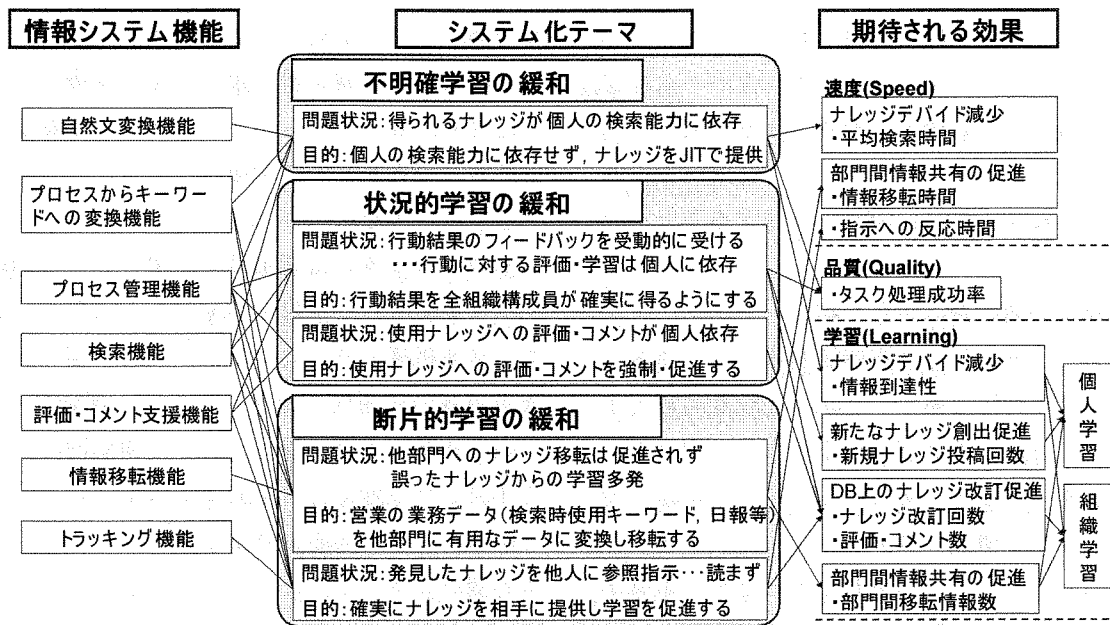


図 8 組織学習の観点による情報システム定性的評価フレームワーク

能の関係が不明であり, 組織学習の観点からシステム化テーマを定めても, 実現に向けた具体的な設計指針を得ることはできなかった。しかし, 本フレームワークより, 組織学習の観点から情報システムの定性的評価が可能となる。

6. フレームワークの利用方法

6.1 一般的な利用方法

本フレームワークは, 情報システム設計者が, さまざまな場面で組織学習の観点から情報システムを定性的に評価・分析する際に示唆を与えることが期待される。情報システムを新規設計する際に, 診断枠組みを通してシステム化テーマが明らかになれば, フレームワークを通し, テーマ実現に必要な情報システム機能がわかる。

たとえば, 診断した結果, 不完全な学習のうち不明確学習が発生しており, 対策として, システム化テーマを“個人の検索能力に依存せずナレッジを得る”にしたとする。このテーマの達成は, 不明確学習を緩和することを目指す, 情報システムによる組織学習支援とみなすことができる。テ

ーマ達成には, プロセス管理機能などによるプッシュ型情報提供機能が有効であり, 期待される効果として, 速度(Speed)の観点から平均検索時間短縮, 品質(Quality)の観点からタスク処理成功率向上, 学習(Learning)の観点から情報到達性向上が予測される, という示唆をフレームワークから得ることができる。

フレームワークは, 組織に導入済みの KMS を診断し, 診断時点で欠如している組織学習の支援にむけて追加すべき機能について示唆を得る際や, 組織学習促進に成功している企業における KMS の成功要因分析の際に利用が可能である。

6.2 既存評価手法に対する適用可能性

本フレームワークは, 情報システム計画段階から実行後の評価・改善までを管理することを一つの目的とする方策である, BSC の作成をサポートすることが可能である。BSC 作成では, 学習と成長の視点から戦略目的を定め, 戦略目的に対応するキー・パフォーマンス・インディケータ(KPI)を定める必要がある。本フレームワークのシステム

化テーマは BSC の戦略目的と対応しており、加えて本フレームワークは、システム化テーマを実現する情報システム機能と期待される効果も示している。設計者は本フレームワークを用いることで、容易に KPI を設定し BSC を作成することが可能となる。

品質機能展開の観点からも本フレームワークは有用であると考えられる。品質機能展開とは、顧客ニーズを品質特性に変換し、完成品の設計品質を定め、さらに各機能の品質から工程までの関係を系統的に展開することである。これまで、組織学習支援を志向する情報システムのニーズを、要求品質に展開することまでは可能であったが、組織学習・情報システム機能・KPI の関係が解明されておらず、要求品質を品質特性に展開し、具体的な情報システム機能に結びつけることは不可能であった。しかし、本フレームワークの利用により、設計者は、組織学習支援を志向する情報システムのニーズから要求品質、品質特性へと品質機能展開が可能となる。

7. 結論

本稿ではまず、事例の分類表に基づく多変量解析とシーケンス図を用いたモデル化を通し、これまで有効な KMS が広く認知されていなかった営業組織向け理想型 KMS の全体像を示した。続いて、組織学習が支援されている箇所ごとに、情報システム内部機能について詳細分析可能な学習支援のための情報システム機能抽出モデルを作成し、そこから得られた結果より、組織学習支援と情報システム機能の具体的対応関係を明らかにした。すなわち、他社との競争優位を生む KMS を構築し、組織学習を促進するためには、プロセス管理機能をベースとした上でプッシュ型の業務プロセスに応じた情報提供機能、ナレッジ評価・コメント支援機能、業務上入力した情報の変換によるプル型入力促進機能、確実な情報移転を支援するトラッキング・情報移転機能を組込んだ KMS が必

要である、との示唆を得た。情報システム設計者は、提案する組織学習の観点による情報システムの定性的評価フレームワークを通し、組織学習支援の観点から定性的に情報システムを設計・分析することが可能になる。

本稿では日本の営業組織を対象とした事例研究から営業組織向け理想型 KMS を作成しているため、営業組織以外および日本以外への本モデルの適用領域の普遍性が懸念されるが、理想型 KMS の内部機能に着目し情報システム機能抽出モデルを作成した段階で、営業組織に限定されない粒度で情報システム機能を表現し組織学習支援との具体的関係を示したため、その関係性から作成したフレームワークは営業組織に限定することなく普遍的に用いることが可能である。ただし、営業組織では利用されておらず、かつ、他機能組織でのみ使われている情報システム機能が存在する場合、その機能については言及できていない。本稿で用いた一連の分析方法論は対象業種や対象国に関して普遍的であるため、日本の営業組織のみならず海外組織・他機能組織の事例を収集・検証し、別視点かつ対象組織を限定しない理想型 KMS モデルを導出し、更なる組織学習と情報システム機能の関係性を抽出することができると期待される。

注

1) 事例研究では以下の企業を分析した(順不同)。

■IT・通信・インターネット系

株式会社三技協、東日本電信電話株式会社、株式会社リコー、富士ゼロックス株式会社、日本ビューレット・パカード株式会社、株式会社アイネス、東芝情報機器株式会社、住商情報システム株式会社、インテック株式会社、株式会社大塚商会、エコー電子工業株式会社、大日本印刷株式会社、武蔵野機構株式会社、キヤノン株式会社、日本電気株式会社、KDDI 株式会社

■アウトソーシング・テレマーケティング系

株式会社メイテック、株式会社スタッフサービス

■機械・自動車・鉄鋼系

株式会社牧野フライス製作所, 株式会社サワーコーポレーション, 新日本製鐵株式会社, JFEスチール株式会社

■金融系

明治安田生命保険相互会社, 株式会社三菱東京UFJ銀行, ソニー生命保険株式会社, あいおい損害保険株式会社, 東京海上日動あんしん生命保険株式会社, 住友生命保険相互会社

■建築・不動産・住宅・設備系

東急建設株式会社, 大阪ガス株式会社, 応用地質株式会社, 日本土地株式会社, 明豊ファシリティワークス株式会社, 関西電力株式会社, 株式会社ららぽーと, 三菱UFJリース株式会社 (旧ダイヤモンドリース)

■コンサルティング・シンクタンク系

株式会社日本総合研究所

■食品・化粧品・アパレル・その他消費財系

サッポロ飲料株式会社, アサヒビール株式会社, ライオン株式会社, カゴメ株式会社, 花王株式会社, 株式会社ファーストリテイリング

■メディカル・ヘルスケア系

エーザイ株式会社, ヤンセンファーマ株式会社

■流通・小売・外食・アミューズメント系

株式会社セブン-イレブン・ジャパン, 株式会社ローソン, 近畿日本ツーリスト株式会社, 全日本空輸株式会社, 株式会社伊勢丹

2)主成分分析の際, 出発行列は相関係数行列, 分散は1とした.

3)主成分の抽出は, 累積寄与率 80%以下, または固有値 1 以上を基準とした.

4)クラスター分析は多変量データから対象物の間の関係を読み取るための視覚化ツールである. 最も明確なクラスターを作り分類感度の良い, ウォード法をクラスター化法として用いた. クラスター数は7を指定した.

5)分析対象事例は, 最新かつ改善された後の情報システムであり, 企業にマイナス効果は無いと判

断し企業名を明示した.

参考文献

- [1]Alton, C., and Wing, L., "Why KM projects fail: a multi-case analysis," *JOURNAL OF KNOWLEDGE MANAGEMENT*, VOL.9, NO.3, 2005, pp.6-17.
- [2]Argyris, C., and D. A. Schön, *Organizational Learning II Theory, Method, and Practice*, Addison-Wesley, 1996.
- [3]Chen, J. Q., "System Requirements For Organizational Learning," *Communications of The ACM*, Vol.46, December 2003, pp.73-78.
- [4]Chen, M. Y., and Chen, A. P., "Knowledge management performance evaluation: a decade review from 1995 to 2004," *Journal of Information Science*, Vol.32, No.1, 2006, pp.17-38.
- [5]Cohen, D., "What's Your Return on Knowledge," *HARVARD BUSINESS REVIEW*, Vol.84, No.12, December 2006, p.28.
- [6]Espejo, R., Schuhmann, W., Schwaninger, M., and Bilello, U., *Organizational Transformation and Learning*, John Wiley & Sons, 1996.
- [7]Kim, D. H., "The Link between Individual and Organizational Learning," *Sloan Management Review*, Vol.35, Fall 1993, pp.37-50.
- [8]Lai, H., "Knowledge management: a review of theoretical frameworks and industrial cases," *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, Jan 2000, pp.1-10.
- [9]松島 桂樹『戦略的IT投資マネジメント 情報システム投資の経済性評価』, 白桃書房, 1999年.

山本卓史

所属：早稲田大学大学院 創造理工学研究科
経営システム工学専攻

連絡先：〒169-8555

東京都新宿区大久保 3-4-1

電話：03-5272-4544

E-mail：yamamoto.takashi@fuji.waseda.jp

高橋真吾

所属：早稲田大学 理工学術院

連絡先：〒169-8555

東京都新宿区大久保 3-4-1

電話：03-5272-4544

E-mail：shingo@waseda.jp

Agent-based Model of Coevolutionary Processes of Firms Technologies and Consumers Preferences

– Simulation of Lock-in Behavior –

Shingo TAKAHASHI, Kotaro OHORI

Waseda University, Japan
shingo@waseda.jp, oohori@fuji.waseda.jp

Abstract

In this paper we propose a model of coevolutionary processes of firms technologies and consumers preferences, and discuss some economical properties emerged from their interactions in the whole market. The model can represent essential interactions of firms and consumers based on their individual diversity, then would be expected to be a tool for analyzing coevolutionary processes of firms' technologies and consumers' preferences.

Using the proposed framework we also construct a simulation model to simulate macro behavior of lock-in in a market. From the simulation we verify some economical propositions, which should validate a part of the model. Then we apply the model to some real market situation such as memory card market in which de facto standard competitions are going.

Contact:

Prof. Shingo Takahashi
Dept. of Industrial Management and Systems Engineering
Waseda University
Shinjuku, Tokyo, 169-8555, Japan
Email: shingo@waseda.jp

Key Words: coevolution, lock-in, network effect, de facto standard, genetic algorithm

Agent-based Model of Coevolutionary Processes of Firms Technologies and Consumers Preferences

– Simulation of Lock-in Behavior –

Shingo TAKAHASHI and Kotaro OHORI

In this paper we propose a model of coevolutionary processes of firms technologies and consumers preferences, and discuss some economical properties emerged from their interactions in the whole market. The model can represent essential interactions of firms and consumers based on their individual diversity, then would be expected to be a tool for analyzing coevolutionary processes of firm's technologies and consumers' preferences.

Using the proposed framework we also construct a simulation model to simulate macro behavior of lock-in in a market. From the simulation we verify some economical propositions, which should validate a part of the model. Then we apply the model to some real market situation such as memory card market in which de facto standard competitions are going.

1. Introduction

This paper presents an agent-based model as a framework for analyzing the coevolutionary processes of technologies firms possess and preferences consumers use to select products. The model clarifies heterogeneities included in firm agents and consumer agents.

The model represents interactions between firms and consumers through a product space. To keep the model simple, other strategies such as sales, logistics or planning are not included in the model explicitly.

The researches of interactions of firms and consumers have been done mainly in economics. There have been found some influential propositions concerning network effect or lock-in problems (Ida 2003, Rohlfs 2001).

In agent-based approach, some researches can be seen such as lock-in model with replicator dynamics (Deguchi 2003), technology transition (Struben 2004), innovation (Cartier 2004) or consumer behavior (Takahashi 2004).

We consider interactions between firms, between consumers, and between firms and consumers, in essential way that each agent learns and evolves its decision rule.

This paper aims at verifying some well-known conventional propositions in economics within our model. This would provide validity with the model. In particular, we focus on the simulation of lock-in behavior, and apply our model to memory card market.

2. CAMCaT: Coevolutionary Model

We introduce an agent-based model (CAMCaT: Coevolutionary Agent-based Model for Consumers and Technologies) to analyze coevolutionary processes of technological innovation in firms and consumers preferences in choices of goods. The main framework of the model consists of consumer population, firm population and product space (Fig.2.1).

2.1 Model of Firms

Each firm, based on its technology, inputs products into the product space. Each firm primarily performs such activities as getting information on consumers' behavior of choosing goods, recognizing other firms' behaviors as an environment, and developing its technologies.

1) Chromosome of Firm

The chromosome of a firm consists of three parameters that describe management strategy, technological strategy and possessed technologies. The management strategy and technological strategy represent the firm's vision concerning its core competence and technology, while the possessed technologies representing patents or equipments required for further developments.

2) Input of Products

Each firm has its own rule of inputting products, which is defined based on the management strategy and possessed technologies. The input rule specifies how often firms input products into the product space. The attributes of a product are specified depending on the possessed technologies. In our model only the variety of products to be input is specified. The amount of them is constant. The main concern of CAMCaT is to consider the evolutionary process of consumers and firms expressed as chromosomes, though in case of focusing on some marketing research, how much products should be produced and input might be a main problem.

3) Evaluation of Firm

Each firm evaluates the possibility that its possessed technologies survive in competitive markets. The evaluation is calculated from the aspects how the possessed technologies fit the firm's strategy and how the input products are accepted in the market.

4) Acquisition of Technology (licensing, M&A)

Based on its evaluation of a firm, each firm gets other firms' technologies. Highly evaluated Firms inherit their technologies to the next generation in GA. Low evaluated Firms tend to get other highly evaluated technologies. This process is performed with the selection operator in GA. Note that selected are not firms themselves, but technologies.

5) Acquisition of Technology (cross license, R&D)

There are cases where a firm develops technologies by itself or gets cross licenses with other firms. These processes are performed with the crossover or mutation operators in GA. In our simulation the management strategy itself does not evolve.

6) New Entry

In each generation, the population size of firms is renewed by entering new firm agents into the firm.

2.2 Model of Consumers

Each consumer recognizes the product space as a market environment, then selects and buys a product. Technological development including innovation affects the behavior of consumers' selections so that consumers evolve their own selection rules.

1) Chromosome of Consumer

The chromosome of each consumer is defined by characteristics, cutoff values and evaluation weights. The characteristics parameter is originally introduced in our model, the parameter which basically represents the tendency of purchase by each consumer. The model can express very independent consumers who purchase products without being affected from others' behavior or very sensitive consumers to fashion. This formulation provides us with analyzing the so-called band-wagon effect.

2) Evaluation and Purchase of Products

Each consumer evaluates products by the evaluation rule of products and purchases one having the maximum utility bigger than the cutoff values.

3) Evaluation of Selection Rule

After selecting products, each consumer evaluates his own chromosome. Based on the evaluation result, the cutoff values are revised.

4) Band-wagon Effect

The parameters other than the characteristics are revised after consumers evaluate their chromosome. The partial selection of the genetic operators is used to revise the parameters of the chromosome. This can be considered as the band-wagon effect that shows influences from other consumers.

5) Information Exchange and Gathering

Each consumer revises his chromosome after the evaluation of the result of his behavior. The revision of the chromosome represents the core of learning process of the consumer, the learning process which is based on the way of information exchange with other consumers or gathering information from advertising media. The process is performed with crossover and mutation operators in GA.

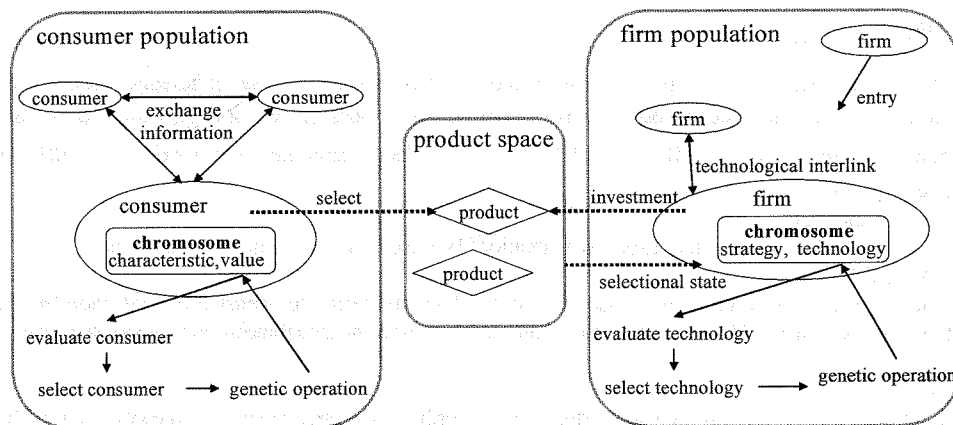


Figure 2.1 Summary of CAMCaT

3. Simulation of Lock-in Behavior

Using the framework of CAMCaT, we present a specific simulation of lock-in behavior in a market. CAMCaT has a very wide applicability for investigating various market situations. This paper aims at simply tracing the lock-in behavior.

3.1 The Parameters in Product Space

The product space is a set of products with some attributes. Here we specify 6 attributes defined by $A = (a_{ik})$, $(1 \leq a_{ik} \leq 200)$ where, $i = 1, 2, \dots, l$, $k = 1, 2, \dots, 6$, i identifies an individual product, the maximum number is l . k is the attribute number of a product.

3.2 The Parameters in Firm Population

The initial size of the firm population is 5. A generation cycle in simulation is set by the steps 2) through 6) described below. We performed 3000 generations in a simulation.

1) Generating Initial Population

The chromosome of a firm consists of the leadership degree L , firm's vision C and possessed technology T , defined by Chromosome of firm $i = (L, C, T)$, where

$$L = (l_i) \quad (0.05 \leq l_i \leq 0.15), \quad C = (c_{ik}) \quad \left(\sum_k c_{ik} = 1 \right), \quad T = (t_{ik}) \quad (1 \leq t_{ik} \leq 200), \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, 6$$

i expresses a firm, the initial value of m is 5. m increases by revising the population size in step 6. k expresses a technology attribute.

The leadership degree affects the frequency of inputting products etc. The firm's vision represents a technological strategy seeing which technology attributes.

2) Inputting Products

Each firm i inputs a product, according to the degree of leadership parameter, with the possibility function $pthrow_i$ defined by

$$pthrow_i(ts) = \frac{1}{e^{l_i} * l_i^t * ts!}, \quad ts = t \bmod 25$$

ts is given by generation number t modulo 25.

The attribute A of input product j is set by calculating from the possessed technology T of the firm.

3) Evaluating a Firm

Each firm i is evaluated using the fitness function defined below.

$$f_i = w_a * share + w_b * (1 - risk) + w_c * selfvalue$$

$$\text{where } share = \frac{\text{the number of consumers purchasing product } i}{\text{total number of consumers}}, \quad risk = \frac{\sum_k |t_{ik} - a_{jk}|}{l_i}$$

$$selfvalue = \sum_k c_{ik} * t_{ik}$$

$share$ shows the share of the product firm i inputs. $risk$ represents the difference between the most purchased product j and firm's technology. $selfvalue$ shows the fitness of technology with firm's vision. The weight parameters are set to $w_a = 0.18$, $w_b = 0.17$, $w_c = 0.65$. Each parameter is normalized to $[0, 1]$, then the maximum value of fitness is 1.

4) Selecting Technology

Chromosomes of firms are selected after the evaluation. We use Baker's linear ranking method.

5) Crossover and Mutation

We use random mask crossover with crossover rate 0.1. The mutation rate is basically 0.03, modified higher in generation of no product entry. The mutated value is decided by a normal distribution with possessed technology as mean.

6) Revising Population Size

The population size is revised in each generation according to some entry parameters such as leader or follower firms' entry rates and new technology.

3.3 The Parameters in Consumer Population

The population size of consumer is 100. A generation is composed of 2) through 6) below. A simulation repeats 3000 generations.

1) Generating Initial Population

The chromosome of a consumer consists of the degree to others D , cutoff value C , purchasing weight for product attributes W , and the common attribute value A defined by chromosome of consumer $i = (D, C, W, A)$ where $D = (d_i)$ ($0 \leq d_i \leq 1$), $C = (c_{ik})$ ($0 \leq c_k \leq 200$), $W = (w_{ik})$ ($\sum_k w_{ik} = 1$), $A = (a_{ijk})$ ($1 \leq a_{ijk} \leq 200$), $i = 1, 2, \dots, n$ $k = 1, 2, \dots, 6$ $j = 1, 2, \dots, l$. i is a consumer index, n is the total number of consumers, j is a product index which varies by inputting products, and k is an attribute index.

2) Evaluating Products

Each consumer rejects products below the cutoff values, and selects a product with the maximum utility. The utility function of consumer i for product j is defined by $u_{ij} = \left\{ \sum_k b_k * a_{ijk} * d_i + \sum_k w_k * a_{ijk} * (1 - d_i) \right\} * c_j$, ($c_j = \{0,1\}$) where b_k represents the attribute of the most purchased product.

3) Evaluating Selection Rule

After selecting product, each consumer evaluates his own selection rule using the fitness function.

$$f_i = w_a * (1 - PS) + w_b * sumcut + w_c * 1 / maxcut$$

PS is the value of non-cutoff products, $sumcut$ is the sum of cutoff values, and $maxcut$ is the maximum. The weights are set to $w_a = 0.56$, $w_b = 0.38$, $w_c = 0.06$. Each parameter is normalized to $[0,1]$.

4) Selecting Consumers

According to the evaluation of consumers, chromosomes of consumers are selected with the roulette method.

5) Crossover and Mutation

Crossover rate is 0.6, and mutation 0.15.

4. Experimental Results

Based on the results seen from the experimentations with CAMCaT, we verify some economical propositions: 1) Ever evolving consumers have cognitive limits of product technologies, 2) Lock-in needs critical mass, 3) Early entry is better for getting de facto standard, and 4) Lock-in wave changes standard. The forth is newly found in our experimentation. Finally we see a memory card market simulation result.

1) Ever evolving consumers have cognitive limits of product technologies

We compare two cases: small and development capabilities by changing attributes in mutation (Fig.4.1)

High technology is difficult to get high fitness value. Consumers can hardly recognize high technology products.

2) Lock-in needs critical mass

This paper defines lock-in as the state in which a standard keeps 100% market share against other standards entries. As a simulation result (Fig.4.2), the lock-in of a standard comes after some critical mass of share is reached. This suggests that before getting the critical mass, acquisition of technology is more effective than product marketing.

3) Early entry is better for getting de facto standard

Short intervals of new entries do not allow early entry product to be a de facto standard. However, if the interval of new entries is long enough, an early entry product tends to be a de facto standard.

4) Lock-in wave changes standard

Once lock-in is built up, how or when does it switch to another? This seems very tough question. Higher technology is not necessarily a successor. In our experimentation, de facto standard 6 switches to a new de facto standard 18 after the share has waved because of other firms non-expected entries (ex. standard no.17)(Fig.4.3). We can see similar wave in consumer population as well. We call this situation "lock-in wave."

5. Conclusions

This paper presents a framework, called CAMCaT, for analyzing coevolutionary processes in which interactions between firms' technology and consumers' demands.

Our model consists of firm population, consumer population, and product space. The agents in each population learn and evolve their own behavior mutually depending on the other population. There are essential interactions between the two populations by exchanging action results.

This paper performed some experimentation especially on lock-in behavior. We verified some economical propositions and applied it to memory card market. This gives a part of validity of the model.

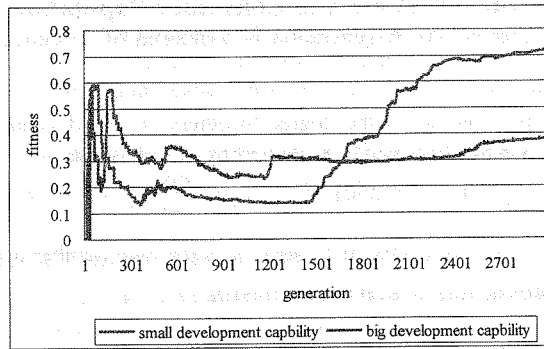


Figure 4.1 Technology Development and Consumers fitness

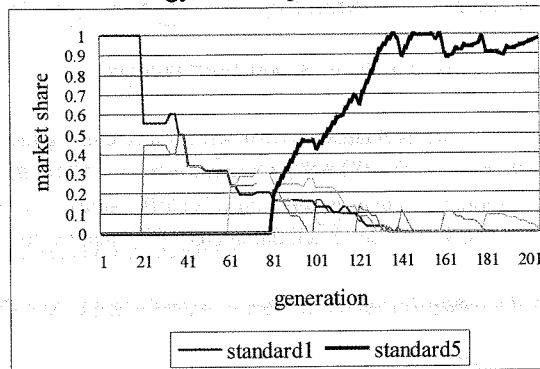


Figure 4.2 Critical Mass for Lock-in

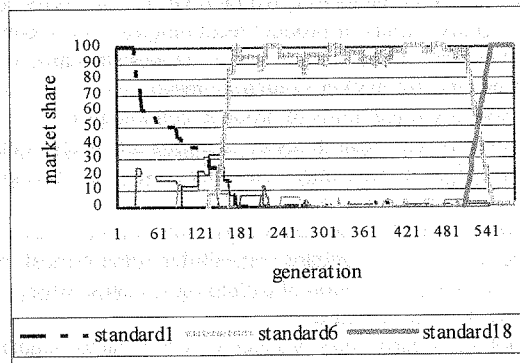


Figure 4.3 Lock-in Wave

References

- [Cartier 2004] M.Cartier, "An Agent-Based Model of Innovation Emergence in Organizations: Renault and Ford Through the Lens of Evolutionism", Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [Deguchi 2003] H.Deguchi, "Learning Dynamics in Platform Externality, in Applied General Systems Research on Organization", Springer, pp167-176, 2003.
- [Ida 2003] T. Ida, "On the Coevolution of the Product Quality and the Consumer Preference", Proceedings of Evolutionary Economics, pp.1-9, 2003.
- [Rohlfis 2001] J.H.Rohlfis, "Bandwagon Effects in High Technology Industries" The MIT Press, 2001.
- [Struben 2004] J. Struben, "Technology Transitions; identifying challenges for hydrogen vehicles", MIT, 2004.
- [Takahashi 2004] S.Takahashi, "Framework in Agent-based Approach for Analysis of Evolutionary Processes of Consumers' Preferences," J.of the Japan Society for Management Information, Vol.13, No.1, pp.1-17, 2004.

Agent-based Organizational Cybernetic Approach to Organizational Learning

Shingo Takahashi

Department of Industrial and Management Systems Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan
(Tel : +81-3-5272-4544; E-mail: shingo@waseda.jp)

Abstract: This paper proposes **Agent-based Organizational Cybernetics (AOC)**, which combines organizational cybernetic framework and computational organization theoretic approach, especially agent-based computational learning model.

Organizational cybernetics provides a basic framework in which every organization is comprehensively described to be composed of 4 functional layers: process, coordination, adaptation and self-organization. In organizational cybernetics the difference between the overall purpose of an organization and each function of it plays an essential role especially to provide diagnosis for the organization of keeping viable. In this usage of the organizational cybernetic framework no micro-macro problem between learning of each member and that of the whole system can be seen.

On the other hand, computational organization theoretic approach focuses on agents' task resolutions and bottom-up description of organizational activities. Organizational learning process described in computational organization theory mainly consists of error correcting activities by each agent and organization itself based on the agents' decision rules.

Computational organization theory describes explicitly models to define detail dynamics on learning in process levels by agents. It is, however, not straightforward to describe double-loop learning as sharing internal models among agents.

Though organizational cybernetic approach and computational organization theoretic one have considerably different aspects: on micro-level and on macro-level, we can combine them and build newly emergent model.

Our proposed model describes the two loops of organizational learning by representing both processes of learning of internal models and resolving tasks by agents. The model can describe essentially different levels of individual learning and organizational one so as to distinguish effectively the two loops of organizational learning.

Keywords: organizational cybernetics, organizational learning, computational organization theory, micro-macro problem

1. INTRODUCTION

This paper presents a comprehensively hybrid model that combines organizational cybernetic framework and computational organization theoretic approach, especially agent-based computational learning model. The framework of organizational cybernetics includes no agent concept innately, but originally aims to contribute to diagnosis of organizational failure based on Ashby's law of variety. On the other hand, computational organization theoretic approach contains agent-based task resolution processes in detail operational manner, but describes only a "flat" organization that has no hierarchical relationship between subsystems. The hybrid model this paper presents is comprehensive in understanding organizational learning in the sense that the learning process includes essentially the following steps: each agent resolves tasks in every functional layer in an organization; the results of the resolutions of tasks are unified to be organizational output performance; the organizational performance should be evaluated from environment; each agent change its internal model based on the evaluation results.

We call our newly developed approach *Agent-based Organizational Cybernetics (AOC)*. An organization considered in AOC is formulated to have 4 functional layers defined in organizational cybernetics: process,

coordination, adaptation and self-organization. Organizational cybernetic model has originally no concept of agent. AOC introduces the concepts of agent and communication process among agents into each functional layer of an organizational cybernetic model. An agent is characterized by individual situatedness and internal model principle, and is defined as an autonomous decision maker who constructs individually an internal model to describe its recognition of situation surrounding that agent.

The basic features of AOC can be listed:

1. Interaction between environment and decision makers (from organizational cybernetic viewpoint),
2. An autonomous decision maker makes a decision according to his decision principle,
3. An organization is structured in a multi-layer hierarchical form with some functional subsystems,
4. In each layer of the hierarchy some agent groups are involved and interact one another,
5. Every agent has its own internal model that describes the situation surrounding the agent (called individual situatedness), and
6. Every agent can learn its internal model and the organization can learn by sharing agents' internal models.

AOC allows us to deal with organizational problems such as organizational learning in essentially operational

manners. Results analyzed using AOC could suggest how we should effectively and operationally manage complex problems on the organization concerned. The principal target of AOC is to provide design criteria of prescription, especially which has been not yet validated in actual situations, on how an organization of concern should make a decision and take an action to adapt itself to dynamically changing environment. AOC can also provide an effective way to evolve new design of functions working in an organization by re-combination of subsystems.

In the sequent sections we see briefly the characteristics of organizational cybernetics, organizational learning as a target problem in AOC, and basic components of AOC model. In the last part a specific simulation model will be explained as an example.

2. BASIC ELEMENTS FOR ORGANIZATIONAL CYBERNETICS

Organizational cybernetics has been developed by Beer as its father, his colleagues and subsequent cybernetic researchers [3,6,19]. Beer's viable system model(VSM), which has been considered as the origin of organizational cybernetics is composed of functional layers from system 1 through system 5 each of which includes again iteratively the 5 functional layers as subsystems. Each layer system separately receives inputs from environment.

VSM could provide a comprehensive description of an organization in question. Then some diagnoses are analyzed for organizational problems such as failures on organizational learning, typically based on the law of requisite variety developed by Ashby.

These considerations by using VSM can give fully comprehensive, but very descriptive analysis so that it can help us only to understand actually recognized failures on organizational learning in the organization.

Takahara [4] formalized a general organization model as a hierarchical goal seeking system. The model is composed of basically 4 functional layers: process, optimization & regulation, coordination, and adaptation & self-organization layers (Fig.1). Based on the general model, a basic organization model is formulated (Fig.2), which can deal with typical and essential organizational problems such as coordination principle in a hierarchical system. This model can be essentially helpful to get general insights and understanding of structural relationships of functional subsystems that seek their own layers' goals.

An organization can be characterized, from cybernetic viewpoint, as a system with the following properties: 1) open socio-technical system; 2) contrived system to achieve its purpose; 3) hierarchical system; 4) having negative entropy for structural stability; 5) dynamical equilibrium system; 6) having feedback mechanism; 7) adaptive; 8) growth by internal elaboration; 9) equifinal and open; 10) managerial system to achieve organizational goal.

Under dynamically changing circumstances we face

inexperienced situations that need new prescriptions that might be difficult to validate their effectiveness in observable ways. Hence we are required to make our models operational to manage such dynamical circumstances.

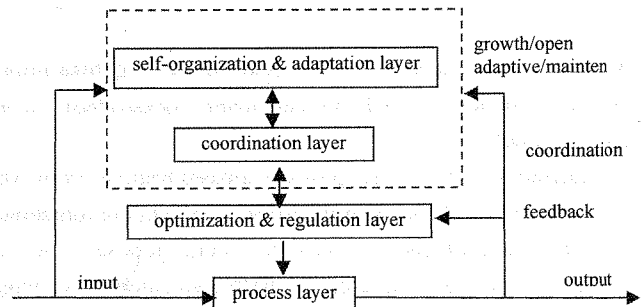


Figure 1 Multi-layer Model of Complex System

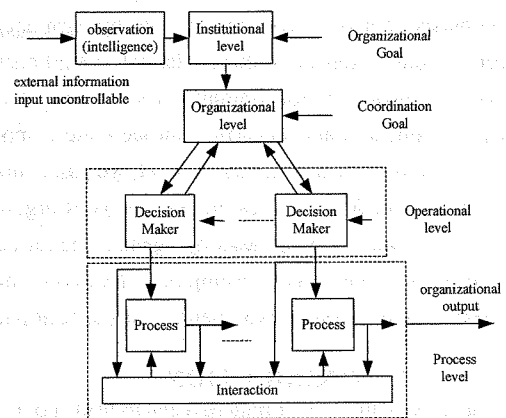


Figure 2 Complex Multi-layer Model of Organization

3. COMPONENTS OF ORGANIZATIONAL LEARNING

The concept of organizational learning we use for our framework has similar aspects of Argyris' concept that individual learning processes are innately connected to organizational learning process. Our framework explicitly distinguishes individual levels of learning and organizational ones, and also does the levels of single-loop learning and double-loop one. We can see the explicit distinctions of the 4 types of learning loops.

The distinction by Argyris of single-loop learning and double-loop one is originated, as Argyris stated [2], from similar notions in cybernetics developed by Ashby[1]. Based on organizational cybernetic approach, Espejo has provided a basis of the way how to apply the double-loop learning notion and process to actual organizations [3].

In AOC the concept of organizational learning, especially the learning-loop processes are realized in operational ways that each agent evaluates and revises its internal model. By implementing actually

mechanisms of organizational learning in agents, the micro-macro problems can be explored effectively so as to tackle complex organizational systems.

The essential elements of organizational learning in AOC are the four learning-loops: individual-/organizational- and single-/double- loop learning. AOC implements the learning processes as evaluating, revising and sharing processes of internal models possessed by agents.

1. Individual single-loop learning.

An agent builds its internal model to describe the environmental structure and the problem situation recognized, which includes some decision variables and decision criteria. The agent uses its internal model to optimize the decision variables. This learning does not enhance any ability of making organizational decisions.

2. Organizational single-loop learning.

To achieve the given organizational goal, subgoals are specified to agents in inferior subsystems. The values of the individual decision variables, which must be the results of the individual single-loop learning, are unified by the organization. The organization makes a decision based on the unified results.

3. Individual double-loop learning.

Each agent evaluates its internal model, based on the results of the decision performed just before. Then the internal model is revised.

This process of revising internal models by agents can be implemented effectively by using genetic algorithm (GA).

The evaluation is defined by a fitness function that indicates what kind of information is available and how it should be utilized for the evaluation.

After the evaluations of the internal models, applying GA operators such as selection, crossover and mutation, the internal models are actually revised for the subsequent decisions.

4. Organizational double-loop learning.

As a result of 'good' individual double-loop learning, the agents share in the organization their good internal models that provide them with better decision capability and allow them to keep the organization viable.

4. BASIS OF AGENT-BASED ORGANIZATIONAL CYBERNETICS

4.1 Hierarchical organization model in AOC

Combining hierarchical model of organizational cybernetics and agent model in computational organization theory, AOC consists of two basic models: hierarchical organization model and situated agent model.

A hierarchical organization model is a multi-layer system that has basically adaptive, coordination, and operational levels (Fig.3).

In AOC the function of each level is realized by a group of agents. Every agent belongs to one of the subsystems of the hierarchy. Each subsystem seeks possibly different goal from other subsystems. Hence an

agent is conducted based on the goal of the subsystem of which the agent is a member.

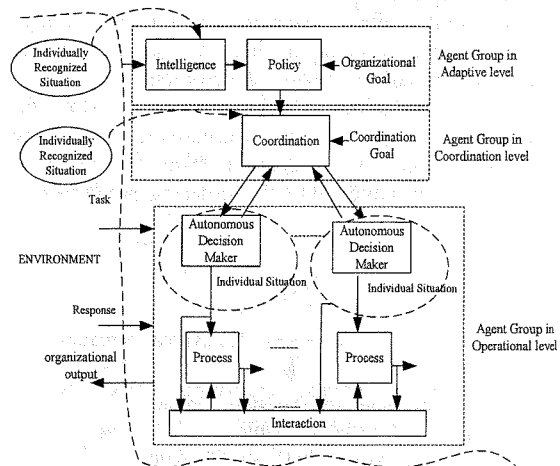


Figure 3 Basic Hierarchical Model in AOC

Adaptive level is composed of intelligence and institutional functions. In this level, based on environmental information observed by the intelligence function, the organization creates policy or strategy that could achieve a given organizational goal. If the organizational goal is recreated, the organization would go to a self-organization phase.

Coordination level has a function that determines coordination variables to control inferior subsystems in a decentralized manner. Coordination principles, which define how to coordinate the inferior subsystems, are essential to achieve a coordination goal.

In operational level agents determine decision variables autonomously, each of whom aims to optimize the process assigned to him. The processes interact with one another. The optimization process is given as a task resolution one, the result of which is reported to the superior subsystem, i.e. coordination level.

Computational Organization Theory has focused so far on models of the operational level. AOC formulates the operational level as a layer of the hierarchical subsystems of the overall organization model.

4.2 Situated agent model in AOC as autonomous decision maker

An agent concept in AOC as an autonomous decision maker has basically the following features (Fig.4).

1) An agent recognizes a process as a target of its decision making, and builds its model internally, which is called *internal model*.

The internal model describes the behavior of the process and external inputs from environment, which can include agent's recognition of the surrounding situation. An agent has its own internal model to describe the surrounding situation. Every agent is considered to be involved in its situation that is individually perceived by that agent. We call it

individual situatedness.

2) An agent applies a decision principle to a problem concerning the process so that the agent evaluates options or alternatives to solve the problem.

The decision principle represents a criterion for preference ordering of the alternatives. It can be formally defined as a function from the class of problems to be solved into the ordering structures of preferences.

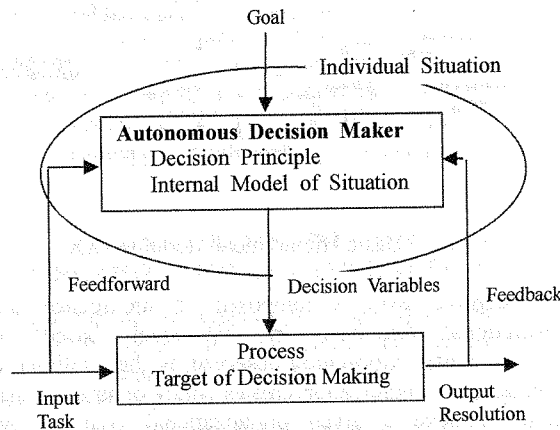


Figure 4 Situated Agent Model as Decision Maker

An eminent feature of AOC is to deal with, in an operational manner, micro-macro problems such as a problem of the relationship between individual learning process of each agent and organizational one. An agent is typically a member of one of the autonomous decision groups defined in the multi-layers of an organization. The overall environment can be recognized as interpreted information from shared internal models of individually perceived situations.

4.3 Typical internal models

We here consider typical internal models in each hierarchical level.

A typical internal model that an agent in adaptive level has is its recognition of the environmental structure, especially the recognition how the environment makes responses to an agent and the organization in a form of cost-profit function.

Another typical internal model in this level is the decision principle that an agent uses to make its decision.

An internal model used in coordination level is the recognition of the process in which assigned tasks should be actually resolved.

In operational level a typical internal model can be how an agent recognizes tasks to be resolved as well as the task resolution process itself.

The point in considering learning problems in an organization is how each agent should evaluate its internal model, based on which the agent revises its internal model, i.e. the recognition of its individual

situation and shares it among agents.

4.4 Target fields of problems in AOC

AOC basically provides effective operational ways to explore solutions for problems on the double-loop organizational learning in various types of organizations.

Typical types of problems to which AOC aims to contribute can be described, for example, as follows.

1) Suggesting effective guidelines for organizational learning in dynamically changing circumstances surrounding an organization.

2) Verifying the effectiveness to introduce information systems to organizations from a viewpoint of organizational learning.

3) Designing incentive systems and organizational institutions to promote the motivations of organization members.

5. BUILDING SIMULATION MODELS

Simulation models should be specified as to problems we should explore. Here we briefly describe a model as an example formulated in AOC [11]. The model aims to provide effective guideline for organizational learning from a general aspect.

1) In adaptive level environmental situations are recognized and policies of the organization are made to be adaptive to the recognized environment.

An environment is recognized as a response function defined by $y = \sum_{i=1}^n \alpha_{ei} y_i - \beta_e r$. An agent recognizes as its internal model the real profit and the cost coefficients of the response function: $(\alpha_{e1}, \dots, \alpha_{en}, \beta_e)$ that represents the structure of the environment.

After recognizing the environmental structure, an agent in this level makes a decision of task resolution structure $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_n)$ and resource allocation r . The task resolution structure is expressed by active vector $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_n)$ that defines which section of agents resolves the task; if a task resolution is taken in the i th section, then we set $a_i = 1$, otherwise $a_i = 0$.

Internal model in adaptive level is decision principle used in making a decision as an ordering and choice criterion on alternatives.

2) In coordination level an agent determines the values of coordination variables that represent how tasks should be allocated into each agent of the operational level.

Given a task structure $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_n)$ and a resource allocation r , an agent in the coordination level determines the values of coordination variables $\boldsymbol{\gamma} = (\gamma_1, \dots, \gamma_n)$ and $\sum_{i=1}^n \gamma_i = r$, which are assigned to the agents in operational level. Each agent in operational level performs task resolution based on the assigned coordination variables, then reports the resolution result to the coordinator. The agents in coordination level again calculate new values of the

coordination variables. The coordination process described here realizes a learning mechanism.

3) Operational level provides detail task resolution processes performed by agents. Given the coordination values $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_n)$ and the recognized task $u_e = (u_{e1}, \dots, u_{en})$, an agent, who is assigned the task according to the task resolution structure in the adaptive level, makes a plan of resolution $q_i = (q_{i1}, \dots, q_{ij}, \dots, q_{im})$. The performance how much the assigned tasks were resolved is evaluated based on the value of the ratio of $u_e = (u_{e1}, \dots, u_{en})$ and $q_i = (q_{i1}, \dots, q_{ij}, \dots, q_{im})$.

These formulations described above can be served as rather general specification of a simulation model. Even this kind of general model can provide us with useful insights; e.g. effective guideline for organizational learning [11].

More specific models would be required for dealing with more specific problems of concern. The complexity of a specific model to what extent we should describe necessarily depends on the specific problem of concern.

6. CONCLUSION

We have propose Agent-based Organizational Cybernetics (AOC) approach, which has the following characteristics:

1. Environment-Decision Maker interaction,
2. An autonomous decision maker with individual decision principle,
3. Multi-layer hierarchical structure of organization,
4. Agent group in each layer in the hierarchy,
5. Agent with its own internal model; individual situatedness,
6. Learning internal models by agents and organization and sharing internal models in organization.

Agents belong to some layer of the hierarchical structure of the organization. The agent concept of AOC includes as basic features:

1. Individual situatedness; each agent is involved in individually recognized situation.
2. Individually surrounding situation is represented as an internal model by each agent.
3. An internal model includes decision principle that is applied to evaluate the problem of concern.

A primary concern in AOC is in problems on how to design a new organization to manage various kinds of failures originated from learning problems. AOC allows us to deal with the organization of concern in an operational manner. Hence we can verify innovative design, for which we have few enough data, by creating and testing "scenarios" on dynamical changes of interactions of organization and environment.

REFERENCES

[1] W.Ross Ashby:Design for a Brain, John Wiley and Sons(1960)

- [2] C.Argyris and D.A.Schon, Organizational Learning II,Addison-Wesley (1996)
- [3] Espejo,R., Schuhmann,W., Schwaninger,M. and Bilello,U., Organizational Transformation and Learning-A Cybernetic Approach to Management, Wiley (1996)
- [4] Takahara,Y., Mesarovic,M.D.,Organization Structure:Cybernetic Systems Foundation, Plenum Pub Corp (2003)
- [5] Takahashi,S.,Kijima,K., Sato,R. (eds.), Applied General Systems Research on Organizations, Springer (2004)
- [6] Beer,S. Brain of the Firm, McGraw-Hill (1972)
- [7] Takahashi,S. and Goto,Y., Agent-based Simulation of Adaptive Organizational Structures to Environmental Change (in Agent-based Simulation,pp.99-110), Springer (2005)
- [8] Goto,Y. and Takahashi,S., Organizational Learning Oriented Model of Organizational Adaptation, Proceeding of The First World Congress of the International Federation for Systems Research, pp.138-140, (2005)
- [9] Takahashi,S., An Evolutionary Model of the Double-loop Learning as a Module of Organizational Learning, CASOS 2001 International Conference, pp.76-77 (2001)
- [10] Espejo,R, Viable System Model: Interpretations and Applications of Stafford Beer's VSM, John Wily & Sons (1989)
- [11] Goto,Y., and Takahashi,S., Effective Guidelines for Organizational Learning in the Organizational Cybernetics Framework, Proceedings of The First World Congress on Social Simulation (2006)

Robustness Analysis of Effective Guidelines in Organizational Learning

Yusuke Goto¹ and Shingo Takahashi²

^{1,2}Department of Industrial and Management Systems Engineering, Waseda University
¹ysk5@toki.waseda.jp, ²shingo@waseda.jp

Abstract. This paper proposes guidelines to evaluate agent's internal model effectively in organizational learning. We developed an approach named *Agent-based Organizational Cybernetics* (AOC) to describe problems in organizational learning with an agent-based model and to design some prescriptions for them. This paper focuses on four typical evaluation problems of internal model in organizational learning: (1) environmental scanning, (2) policy making, (3) coordination, and (4) task resolution. We design some guidelines for each problem, run simulations in various settings, and test the robustness of results. The results provide some robust effective guidelines in organizational learning. *Organizational-performance(OP)-based* evaluation realizes organization's high performance in all four problem situations. The OP-based evaluation, however, cannot guarantee that an agent gets a right internal model all the time. So, it is effective to also consider some other complementary evaluations.

Keywords: organizational cybernetics, organizational learning, computational organization theory, agent-based organizational cybernetics

1 Introduction

Agent-based approach for organizational learning sounds promising. Agent-based modeling can describe the behavior of an organization as a result of individual agents' behaviors. So we can discuss the micro-macro problems of complex organizational systems in an operational manner.

Computational organization theory has attacked some problems in organizational learning. March has described a simple double-loop learning mechanism with a concept of exploration and exploitation (March 1991). Takadama et al. have developed an Organizational-learning oriented Classifier System to model four-loop learning in organizational learning operationally (Takadama et al. 1999). Some models have considered organizational structure in organizational learning (Carley and Svoboda 1996; Takahashi and Goto 2005).

However, computational organization theoretic approach describes either only a "flat" organization that has no hierarchical relationship between subsystems, or higher

subsystems as super-agent activities (Takahashi 2006; Chang and Harrington 2006). The model in this paper represents a “hierarchical” organization that has four functional layers defined in organizational cybernetics: intelligence, policy, coordination and resolution. All functional layers are described as an agent-based system. We call this approach *Agent-based Organizational Cybernetics* (AOC).

This paper focuses on typical evaluation problems of internal model in each functional layer: environment scanning, policy making, coordination, and task resolution. We design and test some guidelines for each problem.

In the following sections we briefly introduce the main features of AOC, and describe the typical problems in organizational learning, simulation model, and guidelines for effective organizational learning. In the last part, we report results and discussion.

2 Agent-based Organizational Cybernetics

AOC is a hybrid model that combines organizational cybernetic framework and computational organization theoretic approach. The main target of AOC is to describe problems in organizational learning with an agent-based model and to design some prescriptions for them (Takahashi 2006).

The basic features of AOC can be listed: (1) interaction between environment and agents, (2) agent’s decision making according to his decision principle, (3) multi-layer hierarchical organization with some functional subsystems, (4) agent-group in each layer of the hierarchy, (5) situatedness of an agent, (6) organizational learning of revising and sharing agents’ internal models.

3 Typical problems in organizational learning

It is natural to be thought that problems in organizational learning are different within organizational functions. We define four functional layers in the AOC manner, and describe typical problems for each layer. An organization considered has the following four functional layers.

1. *Intelligence*. An organization should recognize the environmental structure properly to realize an adaptive organizational policy. The environmental structure is scanned.
2. *Policy*. An organization defines own structure and input to be viable in an environment. A task resolution structure and a resource allocation are defined as an organizational policy.
3. *Coordination*. An organization has to coordinate inferior subsystems to realize better organizational performance. The values of coordination variables are decided.
4. *Resolution*. An organization resolves tasks in an environment. A plan of task resolution is selected.

We can specify a typical problem in each layer.

1. Scanning environment. In intelligence layer the right recognition of the environmental structure is offered.
2. Policy making. In policy layer it is difficult to be viable or adaptive without an adequate decision principle to evaluate organizational policies.
3. Coordination. In coordination layer the proper anticipation of a coordination variable value to a subsystems performance level is essential for better coordination.
4. Task resolution. In resolution layer the right recognition of the task is required for effective task resolution.

Learning is essential for an organization to tackle these four problems. We especially focus on internal model evaluation in learning. If an agent cannot evaluate his internal model properly, he will fail to revise it successfully. So we, in this paper, seek guidelines for the evaluation of an agent's internal model in each typical problem in organizational learning.

4 Model

We here consider a simple maker-type organization that has some processes. The organization anticipates characteristics of an environment, defines a task resolution structure and a resource allocation, distributes resources to each process, and resolves a task in each process by using the resources (see Figure 1).

Task

A task means a series of demand for a service or a product that a process provides. For effective task resolution, supply need to fit demand. Much supply requires a lot of resources. There exist n tasks $\mathbf{u}_{e1}, \dots, \mathbf{u}_{ei}, \dots, \mathbf{u}_{en}$ in an environment. An organization selects tasks to resolve, and resolves them.

We assume that an organization use the common resource that can resolve every task. The i th task \mathbf{u}_{ei} that has a q -long string is expressed as $(u_{ei1}, \dots, u_{eil}, \dots, u_{eiq})$. The l th element of the \mathbf{u}_{ei} means the amount of the demand in the l th term.

Environment

In the AOC framework an agent is confronting her own environment, and an organization is also confronting its own environment. We build an environment model of the organization as a task generator and a response function.

The task generator provides the organization with n tasks every step. We define the task resolution plan \mathbf{m}_i as $(m_{i1}, \dots, m_{il}, \dots, m_{iq})$. Task resolution performance with the \mathbf{m}_i is evaluated by the fitness of the demand and the supply (Eq. 1).

$$y_i = \sum_{l=1}^q \hat{m}_{il} / u_{eil} \times q, \quad \hat{m}_{il} = \begin{cases} u_{eil}, & \text{if } m_{il} \geq u_{eil} \\ m_{il}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

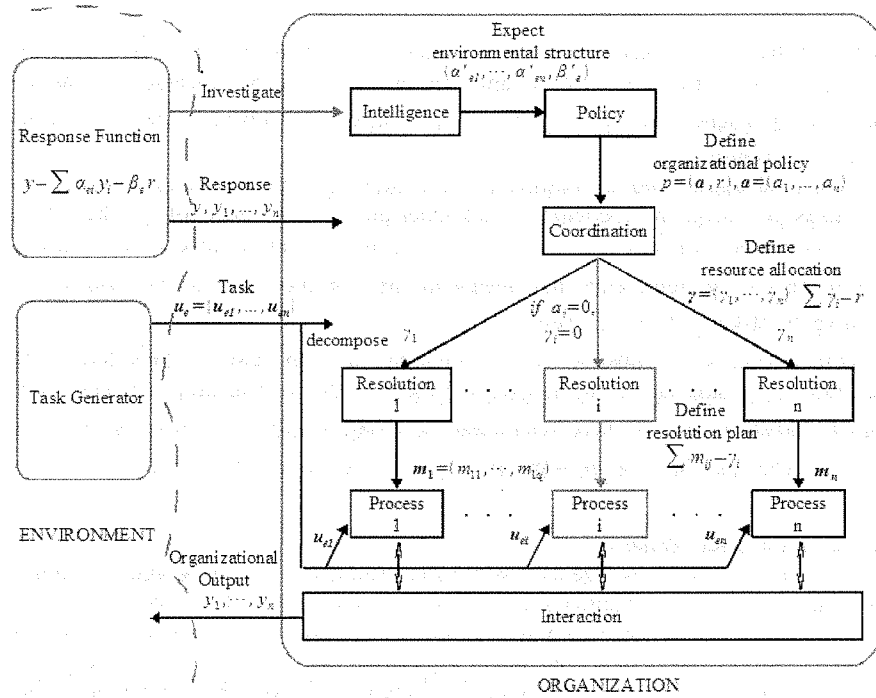


Fig. 1. Hierarchical organization model. Based on a model appeared in WCSS06 (Goto and Takahashi 2006), the model in this paper is newly developed in the AOC manner (Takahashi 2006).

The response function evaluates the output of the task resolution activities of an organization. An organization's performance is evaluated by the response function

$$y = \sum_{i=1}^n \alpha_{ei} y_i - \beta_e r, \quad (2)$$

where α_{ei} and β_e respectively show a real profit coefficient and a cost coefficient, y_i is a task resolution performance in the i th process.

Functional hierarchy

An organization is a three levels hierarchical system: adaptive, coordination and operational levels defined in organizational cybernetics (Beer 1981; Takahara and Mesarovic 2003). Every agent belongs to one of the subsystems of the hierarchy, and makes a decision of the subsystem.

Adaptive level consists of intelligence and policy functions. In an intelligence function the environmental structure st that considers the profit coefficients $\alpha_{e1}, \dots, \alpha_{en}$ and the cost coefficient β_e of Eq (2) is observed. In a policy function a task resolution structure a_1, \dots, a_n and a resource allocation r are defined as an organizational policy p . The task resolution structure defines processes

in which the tasks are resolved; if task resolution is taken in the i th process, then we set $a_i = 1$, otherwise $a_i = 0$. We assume that the tasks and the processes are one-to-one correspondence: the task u_{ei} in the environment is resolved in the i th process in an organization.

In coordination level a coordination function sets the values of coordination variables to manage the operational level under the organizational policy. The values of coordination variables $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_i, \dots, \gamma_n)$ represent how to allocate resources to the processes; γ_i represents that agents in the i th process use γ_i resources to resolve the task u_{ei} ; if $a_i = 0$, then $\gamma_i = 0$.

Operational level consists of a resolution function and n processes. The resolution function has n agent-groups. Based on the coordination variables every agent makes a plan of task resolution $m_i = (m_{i1}, \dots, m_{in})$, $\sum_{l=1}^q m_{il} = \gamma_i$ in the i th process. The plan m_i is a series of the supply for the service of the product.

Agent and Internal Model

An organization has some agents. Every agent belongs to one of the four functions. We call an agent in an intelligence function a *scanner*, in a policy function a *policy maker*, in a coordination function a *coordinator*, and in a resolution function a *resolver*, respectively. Every agent refers his internal model and makes a decision.

A scanner observes an environment structure st , has the recognition as his internal model, and reports the aggregated one to the policy function.

A policy maker gets the anticipated environmental structure from the intelligence function, applies his decision principle of his internal model, and selects the most preferable organization policy. The decision principle consists of three types of preference: coverage pursuit (CP), profitability pursuit (PP) and cost aversion (CA). A policy maker has an attitude for each type: agree (1), disagree (-1) and not considered (0). The decision principle is represented as $DP = (CP, PP, CA)$, and every preference takes a value of $\{1, 0, -1\}$. The CP is a preference for resolving more tasks. The PP is a preference for resolving more profitable tasks. The CA is a preference for paying more costs. We here skip detailed description of them. A policy maker selects the alternative that maximizes the sum of the preference values.

A coordinator has an anticipation of a task resolution performance $y'_1, \dots, y'_i, \dots, y'_n$ realized by a coordination γ .

A resolver in the i th process recognizes the task u_{ei} , and has the recognition u'_{ei} as his internal model, and selects the plan of task resolution m_i that seems to realize the highest task resolution performance.

Organizational Learning

We reinterpret the four-loop learning (Espejo et al. 1996) in an operational way as an agent-based organizational learning model. We represents double-loop learning as three processes: evaluation of agent's internal model, revision of the internal model,

and sharing of agents' internal models in an agent-group. The described organizational learning cycle is taken in each organizational layer in an organization.

1. *Individual single-loop learning.* Every agent refers his internal model that describes confronting environment, applies his decision principle to optimize his decision alternatives, and selects a decision alternative. This process has no influence with the progress in the ability of organization's decision making.
2. *Organizational single-loop learning.* Agent-group's decision is taken by unifying agents' decisions. The most selected decision alternative is adopted as the group's one.
3. *Individual double-loop learning.* An agent evaluates his own internal model from the result of the decision made just before. Then he revises his internal model. These processes are implemented by using genetic algorithm (GA): a fitness function corresponds with agent's internal model evaluation, and genetic operation corresponds with revision of the internal models. The implementation by GA represents the evolutionary aspect of organizational learning. Design of the fitness function is the key to success of effective organizational learning.
4. *Organizational double-loop learning.* As a result of effective individual double-loop learning, agents in the group share their helpful internal models. The group (or an organization) progresses its ability of decision making, and can be more viable or adaptive.

Guidelines in Organizational Learning

We have described four typical problems in organizational learning: scanning environment, policy making, coordination, and task resolution. In these problems proper evaluation of agent's internal model is essential. So we, in this paper, seek effective guidelines to define how helpful agent's internal model is to a situated environment.

A critical constraint in these problems is that agent does not know the "right" internal model in organizational learning. Then we assume that an agent can get data of organizational performance and task resolution performance as a response from an environment.

For scanners' scanning environment

Scanners' problem is to recognize the environmental structure $st = (\alpha_{e1}, \dots, \alpha_{en}, \beta_e)$ correctly. We design the following three guidelines to evaluate scanners' internal model properly.

1. Organizational-performance-based evaluation (OP). If a scanner has a right recognition of the st , then the organizational performance will be improved.
2. Task-resolution-performance-based evaluation (TRP). If the organizational performance will be improved when a scanner has a right recognition of the st , then the task resolution performance will be improved.

3. Organizational-performance-anticipation-based evaluation (OPA). A scanner can get information of an organizational policy: the task resolution structure and the resource allocation. If a scanner has a right recognition st , then the difference between an expected performance y and a realized performance y' will get smaller. We set an expected environmental structure $st' = (\alpha'_{e1}, \dots, \alpha'_{em}, \beta'_e)$ and define the expected performance as $y' = \sum \alpha'_{ei} a_i - \beta'_e r$.

There exists a problem. Each of these three guidelines cannot apply to scanners directly, because these correspond with the function's (group's) decision making. So we take an indirect approach. A scanner uses retrospective data that the organization got, and he evaluates his internal model by the retrospective decision that is most similar with his decision. This approach is common in the following problems. In the retrospective data we set most similar organizational performance y'' , the expected performance of the decision y'' and the realized task resolution performance y''_1, \dots, y''_n . Then OP, TRP and OPA are defined as

$$OP = y'' / \max \text{ of } y, \quad (3)$$

$$TRP = \sum a_i y''_i / \sum a_i, \quad (4)$$

$$OPA = 1 / (1 + |y'' - y'''|). \quad (5)$$

If the value of evaluation is high, then he has a helpful internal model in terms of the guideline.

For Policy makers' policy making

Policy makers' problem is to get an adequate decision principle. We design the following two guidelines to evaluate policy maker's internal model effectively.

1. OP. If a policy maker's decision principle is desirable, then the organization will realize high-level performance naturally (see Eq. 3).
2. TRP. When an organization realizes high-level performance, the task resolution performance will be also high-level (see Eq. 4).

For Coordinators' coordination

Coordinators aim at having a sure anticipation of a task resolution performance realized by a resource allocation.

We design the following three guidelines.

1. OP. If a coordinator's internal model is helpful and realizes effective coordination, then the organization will finally realize high-level performance (see Eq. 3).
2. TRP. Effective coordination realizes high task resolution performance naturally (see Eq. 4).
3. Fitness for retrospective data (FRD). If the anticipated task resolution performance with a coordinator's internal model fits to the retrospective fact data, the internal

model seems to be helpful. We set the j th retrospective data of the task resolution performance y^j_1, \dots, y^j_n by the resource allocation γ , the coordinator's anticipation for the γ as $y^j'_1, \dots, y^j'_n$.

$$FRD = 1 / \left(1 + \sum_j \sum_{i=1}^n |a_i y^j_i - a_i y^j'_i| \right) \quad (6)$$

For Resolvers' task resolution

Resolvers in the i th process should have a right recognition of the task u_{ei} . We design the following three guidelines.

1. OP. The helpful internal model realizes effective task resolution. As a result, the organization will achieve high-level performance (see Eq. 4).
2. TRP-2. If a resolver's internal model is helpful, then task resolution will be taken effectively in his process.

$$TRP-2 = y^u_i \quad (7)$$

3. Difference between task and plan (DTP). If a resolver gets the magnitude correlation between task and plan, he will be able to evaluate his decision. We set the resolver's decision $\bar{m}_i = (\bar{m}_{i1}, \dots, \bar{m}_{in})$.

$$DTP = \sum_{i=1}^n e_i / q, \quad e_i = \begin{cases} 1, & \text{if } (u_{ei} \geq m_{ii}, m_{ii} \leq \bar{m}_{ii}) \text{ or } (u_{ei} < m_{ii}, m_{ii} > \bar{m}_{ii}) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

Experimental design and results

First we confirm two classic propositions in organizational learning for model validation. Next we review which guideline is more effective in each problem.

Model validation

We here test whether the built model can generate results that are compatible with the propositions of foregoing empirical studies. We choose the famous propositions by Argyris (Argyris and Schon 1996).

- P 1: "If the organization has a right recognition of the environment, the optimization of organizational actions by the organizational single-loop learning (OSL) will lead to be adaptive to the environment."
- P 2: "If the organization doesn't have a right recognition of the environment, organizational learning is not significant. The organization requires organizational double-loop learning (ODL) that also revises the recognition of the environment."

In this model the Argyris's OSL can be interpreted as the learning in resolution layer. The ODL can be interpreted as the learning in all four layers. In the proposition

1 situation, scanners, policy makers and coordinators have a proper internal model, though resolvers can have an inadequate internal model that is generated randomly. In the proposition 2 situation all agents can have an inadequate internal model that is randomly generated.

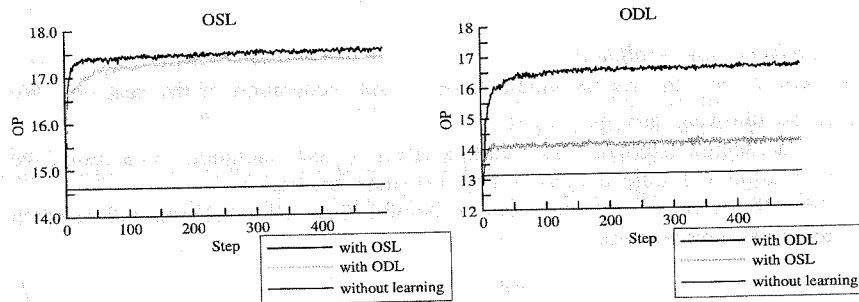


Fig. 2. Process of adaptation with OSL or ODL. OP represents the average organizational evaluation value of 1000 runs in a setting.

The left graph of the Fig. 2 shows the result for the P. 1. An organization with OSL or with ODL improves OP rapidly. On the other hand, an organization without OSL seems to stagnate. Then the P. 1 is confirmed.

The right graph of the Fig. 2 shows the result for the P. 2. Both of organizations with OSL and with ODL improve OP. The organization with ODL improves OP twice as much as the organization with OSL does. An organization without learning seems to stagnate. Then the P. 2 is also confirmed.

Effective guidelines in organizational learning

We here review which guideline is more effective for each problem. We have got results that the OPA (Eq. 5) in intelligence layer and the DTP (Eq. 8) in resolution layer are effective (Goto and Takahashi 2005; Goto and Takahashi 2006). However we haven't compared them with other guidelines.

We set the number of tasks $n=3$ and the number of agents in each layer 30. The task u_{ei} is randomly set its values. A run of simulation consists of 500 steps of task resolving and learning.

In this paper we consider three response function types and three task length settings ($q=3,5,7$) to make robustness tests. The response function types are classified into,

1. all tasks should be resolved: $y = 4y_1 + 3y_2 + 4y_3 - r$,
2. two tasks should be resolved: $y = 4y_1 + 4y_2 + 1y_3 - 3r$,
3. and a task should be resolved: $y = 4y_1 + y_2 + y_3 - 2r$.

Fig. 3 shows the review of the proposed guidelines in three response function types. Basically, we think that the improvement of organizational performance

represents the effectiveness of the guideline. Every proposed guideline is effective itself in almost types. In the case of single guideline, the OP-based evaluation is most desirable in every layer, because the evaluation seems to improve organizational performance most.

However, if we consider combined guidelines, the OP-based evaluation is not always the best one. In intelligence layer a combined evaluation of the OP and the OPA is most desirable. In coordination layer and resolution layer a combination of all evaluations is as desirable as the OP only. We think that the effectiveness of the combined evaluation comes from complementary relations among evaluations.

We show a typical case in intelligence layer. We define Intelligence Fitness (IF) to measure the correctness of scanners' internal model. Higher the IF is, more correct the scanner's recognition of the environmental structure st is.

$$IF = 1/1+d \quad (9)$$

d : hamming distance between the actual structure and the recognized one

When we review the guidelines in terms of the IF, the OPA is outstanding. On the other hand, the OP is very bad. This data suggest us that the OP evaluation learns for the organizational performance, not for the "right" recognition of the environment. So we need to consider some other complementary evaluation for simultaneous pursuit of better organizational performance and right internal model. In this case a combination of the OP and the OPA seems to realize the synergy effect.

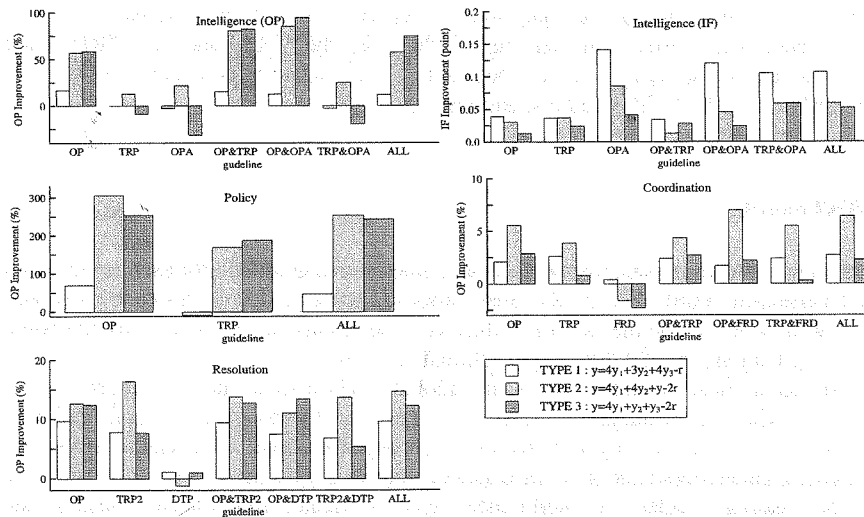


Fig. 3. Review of proposed guidelines for three response function settings. OP (IF) improve means the percent of organizational performance (IF) improvement from the first step to the last 100 step. 1000 runs for each setting.

We here confirm whether the results of this paper consistent with the ones of our previous papers. The results of previous papers (Goto and Takahashi 2005; Goto and

Takahashi 2006) are supported, but partially. In some types the OPA and the DTP are ineffective. These two also seem to be less effective than other single evaluations (*cf.* the OP or the TRP-2).

Figure 4 shows a review of proposed guidelines in resolution layer in three task length settings. We set the response function to $y = 2y_1 + y_2 + 4y_3 - 2r$. The result suggests that the effectiveness of the guidelines in resolution layer is robust for task length setting.

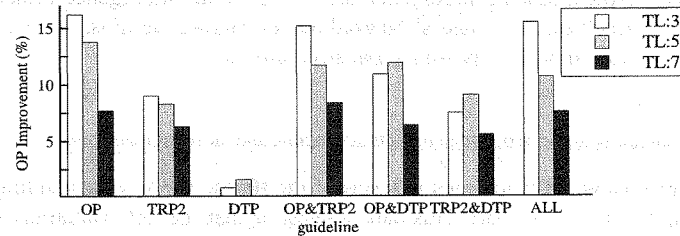


Fig. 4. Review of proposed guidelines in resolution layer for three task length (TL) settings. 1000 runs for each setting.

In summary the guidelines tested as more effective are as follows. In intelligence layer it is desirable to consider both of the OP and OPA. In policy layer a policy maker should evaluate his internal model in terms of the OP. In coordination layer a coordinator had better consider all of the OP, the TRP, and the FRD-based evaluations. In resolution layer it is necessary for a resolver to consider all of the OP, the TRP-2, and the DTP-based evaluations.

Discussion

We, in the preceding paper, have presented an effective guideline for each layer (Goto and Takahashi 2006). We, in this paper, proposed some guidelines for each layer, and reviewed which guideline is more effective. The results in this paper provide some new implications for effective organizational learning.

An agent must consider the organizational performance that is realized by his decision when he evaluates his internal model. The OP-based evaluation generally leads the agent in each layer to achieve high organizational performance. However, achieving better organizational performance doesn't always assure that an agent has a "right" internal model. In intelligence layer a scanner should also consider the difference between the realized organizational performance and the anticipated one. We found some complementary relations between two evaluations. For example, in coordination layer a combined evaluation of all evaluations is as effective as the OP, though the FRD itself is the worst among the three evaluations.

Guidelines in organizational learning should be effective in any situations universally, because it is hard for agents in an organization to appreciate the situation in which they are. So we seek robust guidelines that are independent of environmental

contingency. We presented some robustness tests for the response function types and task length settings. We should additionally test some other key parameters: the task number n , the parameters of GA operations, and so on.

Conclusion

We proposed some guidelines to evaluate agent's internal model properly in each layer, and reviewed which guideline is more effective. We built an organization model in the AOC manner. We confirmed model validity with the Argyris's propositions in organizational learning. We compared each guideline's effectiveness in terms of improvement of organizational performance.

The guidelines tested as more effective are as follows. In intelligence layer it is desirable to consider both of the OP and OPA. In policy layer a policy maker should evaluate his internal model in terms of the OP. In coordination layer a coordinator had better consider all of the OP, the TRP, and the FRD-based evaluations. In resolution layer it is necessary for a resolver to consider all of the OP, the TRP-2, and the DTP-based evaluations.

References

- Argyris C, Schon DA (1978) *Organizational Learning*. Addison-Wesley
- Beer S (1981) *Brain of The Firm* (2nd edition). John Wiley & Sons
- Carley KM, Svoboda DM (1996) Modeling Organizational Adaptation as a Simulated Annealing Process. *Sociological Methods & Research* 25: 138-168.
- Chang MH and Harrington Jr. JEH (2006) Agent-based Models of Organizations. In: Tesfatsion L, Judd KL (eds) *Handbook of Computational Economics*. North-Holland, 1273-1337
- Espejo R, Schuhmann W, Schwaninger M, Bilello U (1996) *Organizational Transformation and Learning*. John Wiley & Sons
- Goto Y, Takahashi S (2005) Organizational Learning Oriented Model of Organizational Adaptation. *Proceedings of the First World Congress of the International Federation for Systems Research*
- Goto Y, Takahashi S (2006) Effective Guidelines for Organizational Learning in the Organizational Cybernetics Framework. *Proceedings of The First World Congress on Social Simulation*
- March, JG (1991) Exploration and Exploitation in Organizational Learning. *Organization Science* 2: 71-87
- Takadama K, Terano T, Shimohara K, Hori K, Nakasuka S (1999) Making Organizational Learning Operational: Implications from Learning Classifier System. *Computational & Mathematical Organization Theory* 5 (3): 229-252
- Takahashi S (2006) Agent-based Organizational Cybernetic Approach to Organizational Learning. *Proceedings of SICE-ICASE International Joint Conference*
- Takahashi S, Goto Y (2005) Agent-based Simulation of Adaptive Organizational Structures to Environmental Change. In: Terano T, Kita H, Kaneda T, Arai K, Deguchi H (eds) *Agent-based Simulation* (vol. 1). Springer, 99-110
- Takahara Y, Mesarovic M (2003) *Organization Structure*. Kluwer Academic/Plenum Publishers

Market Model with Consumer Network for Analyzing Phenomena Generated by Lead Users' Innovations

Kotaro Ohori¹ and Shingo Takahashi²

^{1,2}Department of Industrial Management and Systems Engineering, Waseda University
¹oohori@fuji.waseda.jp, ²shingo@waseda.jp

Abstract. In this paper we focus on some phenomena generated by lead users developing innovations and build a model of a consumer network and a firm population using coevolutionary agent-based framework provided in our previous study. Then we consider mechanism and dynamics of market with the users' innovations. The innovations changes a conventional market concept that consumers and firms are entities that respectively demand and supply products. It is hard for marketers to predict the market dynamics and mechanism generated by the change of market invoked by innovations. Conventional studies related with user innovation have analyzed the lead user's features based on empirical or case studies, but could not see market dynamics generated by the lead user's features. Our model is built based on the lead user's features and actions that are derived from the conventional studies, and simulates artificial market with the users' innovations. From the simulation results, we show two propositions: 1) the innovations developed by lead users are capable of destroying innovations based on conventional firms' strategies, 2) the focus on a innovation community as a new firms' strategy is required to manage the users' innovations.

Keywords: Lead user; Consumer network; Coevolution; Market dynamics

1. Introduction

In recent years innovation researches (von Hippel 1994; Christensen 1997; von Hippel 2005) with novel market concepts discuss marketing strategies, which differ from ones noted in conventional marketing theories. The marketing theories mainly focus on market attributions that are consumer's characteristic or preference. The innovation researches, by contrast, focus on market conditions that are market network or interlinking.

In the future firms will have to create novel strategies for managing the rapid innovations and the changes of market structure. Then they will need to consider not only the marketing theories, but also the innovation researches since their decisions based only on segmentation, targeting, and positioning (STP) in marketing theories especially will have a high risk.

This paper focuses on user innovation phenomena for a consumer product market. The phenomena result from interactions among users including lead users in a consumer population. Hippel(2005) has described that the lead users are ahead of the majority of users in their population with respect to an important market trend, and they expect to gain relatively high benefits from a solution to the needs they have encountered there. The lead user who is both a consumer and supplier drastically changes the market mechanism. Therefore managers and marketers in firms have to create novel strategies to manage such the changes .

The purpose of this paper is to show that conventional firms' strategies based on marketing theories are ineffective in markets with users' innovations, and to provide useful strategies to manage the user innovation phenomena. We apply agent-based approach for archiving this purpose. The approach can analyze some scenarios in artificial market, and consider future market conditions that have uncertainty.

In the following chapters we show key problems of user innovations that are described in conventional studies (see Chapter2), build an agent-based model of lead-users, users, firms, and products with agent-based modeling (see Chapter3), show simulation results with respect to some scenarios (see Chapter4), discuss user innovations phenomena and provide two propositions (see Chapter5), and conclude this paper and note future possibilities of this study.

2. Background: Users' Innovations for Consumer Products

In this chapter we describe conventional studies related with user innovations for consumer products. Some studies have discussed user innovations for industrial products that are OPAC (Urban and von Hippel 1998) and PC-CAD (Morrison, Roberts and von Hippel 2000) etc. In this case the lead users who will develop innovations are firms, and we call them user firms. Since the innovations developed by the user firms need long term, manufacturing firms can observe the source of the innovations and manage them. On the other hand the innovations for consumer products on which this paper focuses have a strong possibility that the innovation take market share from firms, since the consumer product markets has three problems as follows: lead user's features (2.1), information asymmetry and information stickiness(2.2) and innovation community(2.3).

2.1 Lead User's Features

The studies related with users' innovations in consumer product markets have picked up personal digital assistant (PDA), sports-related product, outdoor-related product etc. Especially some studies with the sports-related and the outdoor-related product declared for remarkable lead user's features (Luthje 2004; Luthje, Herstatt and von Hippel 2005). The lead user will purchase a new product immediately after the product is launched, search a new use of the product, and develop yet another one. In particular a third of consumers in the outdoor-related product markets have various ideas for innovations and develop innovations depending on new needs and dissatisfaction at existing products. Moreover consumers who often use the existing

products tend to develop a new product. The consumers who will develop the new product, namely lead users, do not want to make a profit on license of their product, and strongly agree to share their product. From these features lead users freely reveal their innovations to the other consumers and lead users.

2.2 Information Asymmetry and Information Stickiness

Hippel (2005) has taken up two key concepts that are relevant to user innovation. The information asymmetry means that firms and consumers are experts of their own technologies and own needs, respectively. So firms will develop products depending on the technologies, in contrast consumers will prefer and demand the product that fits the needs better than other products that are developed based on the firms' core technologies. The problems concerning information stickiness is that firms cannot find the tacit needs and technologies of consumers since they are very sticky and cannot be transferred to firms from consumers by low-cost. Although firms can find the surface needs and technologies, for example, by surveying questionnaires naturally, they are useless for firms' innovations.

2.3 Innovation Community

Conventional studies related with an innovation community have dealt with open-source software (Krogh, Spaeth and Haefliger 2005). A recent study observed innovation communities in markets with sports-related products (Franke and Shah 2003). Most of members in the sports communities of canyoning and bordercross etc. positively developed innovations. The innovation communities themselves do not have the ability of innovations, but play the key role of assisting among members for innovations and innovation diffusion process.

3. Model

In this chapter we build a market model with user innovation by agent-based modeling. The model is supported by CAMCaT (Coevolutionary Agent-based Model for Consumers and Technologies) framework that can be useful for market analysis (Takahashi and Ohori 2005). In the framework consumers and firms have their respective fitness functions, then they achieve coevolution through the product space. So a model based on the framework can show emergent phenomena that correspond to ones in a real market. The market model in this paper is also based on CAMCaT framework and consists of a consumer population, a firm population, and a product space (see Fig.1). In the following subsections we describe the three elements in the model, which are model of products (3.1), model of consumers (3.2) and model of firms (3.3).

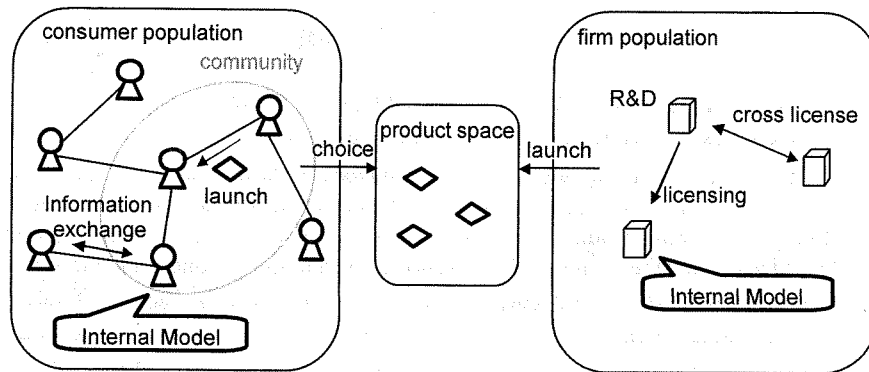


Fig. 1. Market model with user innovation

3.1 Model of Products

There are some products with 5 attributes in the market. The attributes are defined by $A = (a_{ik})$, where $a_{ik} \in \{1, 2, \dots, 100\}$, $i = 1, 2, \dots, l$, $k = 1, 2, \dots, 5$, i identifies an individual product, the maximum number is l . k is the attribute number of a product. The products developed by firms and lead users are launched to the product space and consumer population, respectively.

3.2 Model of Consumers

In the consumer population there are lead users who will develop innovations and choose a product and users who will only choose a product. The population size of consumer is 100. Each consumer has an internal model consisting of some chromosomes. And each one, based on his/her internal model, decides about choice and development of a product, and revises his/her own internal model in an evolutionary learning process. We call a series of these economic activities "generation", since the revision of internal model was performed by genetic operations. The generation cycle in a simulation is given in 3.2.2 through 3.2.5 described in following subsections.

3.2.1 Internal Model of Consumers

The internal model of a consumer consists of the potential of development I , sensibility to other consumers D , edges with other consumers E , link with community N , cutoff value C , purchasing weight for product attributes W , and possessed technology T .

The internal model of consumer i is denoted by $IM = (I, D, E, N, C, W, T)$, where

$$I = (i_i) \quad i_i \in \{0,1\}, D = (d_i) \quad 0 \leq d_i \leq 1, E = (e_{ij}) \quad e_{ij} \in \{0,1\},$$

$$N = (n_i) \quad n_i \in \{0,1\}, C = (c_{ik}) \quad c_{ik} \in \{1,2,\dots,100\}, W = (w_{ik}) \quad \sum_k w_{ik} = 1,$$

$$T = (t_{ik}) \quad t_{ik} \in \{1,2,\dots,100\}, i, j = 1,2,\dots,100, k = 1,2,\dots,5,$$

i, j identifies a consumer index, k is an attribute index.

The potential of development I shows that whether the consumer is a lead-user or a user. The sensibility to other consumers D shows that how degree the consumer is affected by a trend product, and corresponds to “diffusion theory” (Rogers 1995). The edges E and the community N show the information stickiness and information asymmetry that are key concepts of user innovation (see 2.2). The cutoff value C and purchasing weight W for product attributes show the preference of the consumer according to previous our study. The possessed technology T shows the niche technology of the lead user that is depending on his/her hobby or occupation. The lead users, based on the technology, develop the new product that is unexpected for firms.

Finally we build a network model to generate edges and community. Conventional studies that are related to innovation communities have not discussed the network index. So we try to generate some networks, and to analyze market phenomena. Uchida and Shirayama (2006) show that the network index of social networking service (SNS) is similar to the one of connecting nearest neighbor (CNN) model (Vazquez 2003), so innovation communities on web also may be similar to CNN model. Since the network index of many networks in a real world has the structure of scale-free (SF), innovation communities also may be similar to BA model (Barabasi and Albert 1999). In this paper we adopt CNN model, BA model, Random model.

3.2.2 Activity Model of Consumers: Choice of a Product

Each consumer evaluates products by the evaluation rule of products and chooses one having the maximum utility value bigger than the cutoff values. The evaluation rule is defined by the utility function u_{ij} of consumer i for product j .

$$u_{ij} = \left(\sum_k b_k * a_{ijk} * (d_i) + \sum_k w_{ik} * a_{ijk} * (1 - d_i) \right) * c_j$$

$$\text{where } c_j = \begin{cases} 0 & \text{if consumer } i \text{ cutoff product } j \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

b_k represents the attributes of the trend product. a_{ijk} represents the evaluation value of attributes k of product j that consumer i evaluate.

3.2.3 Activity of Consumers: Development of a Product

This phase corresponds to user innovations. Each lead user ($i_i = 1$) develops a product

and launches the product into edges and/or community in the consumer population. The launch timing of a new product is different among lead users, since they will develop the innovations because of a passing fancy, enjoyment, and agency cost. So we set the launch rate 0.05 as constant values simply.

The lead user who is going to launch a product decides attributes of the product by development rule of products $develop_i$.

$$develop_i = \begin{cases} develop\ a_{ik} & \text{if } \exists k(c_{ik} < t_{ik}) \\ not\ develop & \text{otherwise} \end{cases}$$

This formula represents that the lead user will develop and improve the attribute if he/she has a higher technology than a cutoff value. Since this paper does not imply technology attributes in detail, the technology and product attributes are one to one correspondence simply.

3.2.4 Evolutionary Learning: Self-evaluation

After choice and/or development of a product, each consumer i evaluates his/her own decision and internal model.

Evaluation after Choice of a Product

Each consumer i evaluates his/her own choice and preference by using the fitness function fP_i .

$$fP_i = w_a * (1 - ncut) + w_b * sumcut + w_c * (1 / maxcut) + w_d * trend$$

$$\text{where } w_a + w_b + w_c + w_d = 1$$

$ncut$ is the number of non-cutoff products, $sumcut$ is the sum of cutoff values, $maxcut$ is the maximum cutoff value, $trend$ is the difference between attributes of trend product and attributes of the consumer i 's preference. The weight parameters are set to $w_a = 0.30, w_b = 0.30, w_c = 0.10, w_d = 0.30$.

The fitness function shows that a consumer who has a higher evaluation can reduce recognition effort of products' attributes and know market trends very well.

Evaluation after Development of a Product

Each consumer i evaluates his/her own development and technology by using the fitness function fT_i .

$$fT_i = w_a * share + w_b * overcut + w_c * (1 / maxtech) + w_d * sumtech$$

$$\text{where } w_a + w_b + w_c + w_d = 1$$

$share$ shows the share of the product consumer i launches, $overtech$ shows the difference between technology values and preference values, $maxtech$ shows the maximum technology value, $sumtech$ shows the sum of technology values. The weight parameters are set to $w_a = 0.40, w_b = 0.25, w_c = 0.20, w_d = 0.15$.

The fitness function represents that a consumer who has a higher evaluation can gain reputation from other consumers, develop a high spec product, and assist the other consumers' innovations.

3.2.5 Evolutionary Learning: Selective Crossover and Mutation

Based on the evaluation of consumers, each consumer revises his/her own internal model in evolutionary learning. The revision of consumers is not performed by conventional genetic algorithm (selection, crossover and mutation), but are performed by "selective crossover" as a novel genetic operation and mutation. Evolutionary learning of consumers operates preference and technology in the internal model, individually.

Evolutionary Learning of Preference

Consumer i 's preference is revised by the selective crossover and the mutation. The selective crossover is our original genetic operation used in a network structure. The operation is a fusion of the selection and uniform crossover. Next we explain the procedure for the selective crossover (see Fig.2).

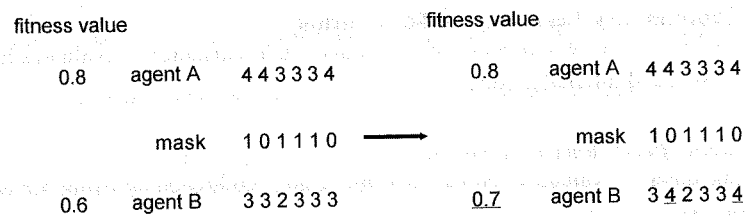


Fig. 2. Selective crossover

By one consumer is selected at random in the consumer population. The selected consumer performs selective crossover with the other consumer linked with him/her according to the probability of crossover. The fitness values of the two consumers are compared, then the preference of consumer who has a higher value copy to the preference of another one.

The operation implies the information exchange among consumers. Lastly each consumer mutates his/her preference, which implies gathering information. The crossover and the mutation rates are 0.6 and 0.05, respectively.

Evolutionary Learning of Technology

Likewise, the evolutionary learning of technology is performed by the selective crossover and the mutation. This implies technology assistance and notice of technology for innovation. The crossover and the mutation rates are 0.6 and 0.05, respectively.

3.3 Model of Firms

We build the model of firms based on one in previous our study (Takahashi and Ohori 2005). The population size of firm is 20. Each firm has an internal model as well as consumer and decides the development and launch of a product. The revision of the internal model is performed in evolutionary learning. A generation cycle in a

simulation is set by 3.3.2 through 3.3.4 described in the following subsections.

3.3.1 Internal Model of Firms

The internal model of a firm consists of the firm's vision V , possessed technology T , and firm's focus F .

The internal model of firm is denoted by $IM = (V, T, F)$, where $V = (v_{ik}) \sum_k v_{ik} = 1$, $T = (t_{ik}) t_{ik} \in \{1, 2, \dots, 100\}$, $F = (f_i) f_i \in \{0, 1\}$,

$i = 1, 2, \dots, 10$, $k = 1, 2, \dots, 5$, i is a firm index, k is an attribute index.

The firm's vision V shows that what technology the firm thinks core or important. The possessed technology T shows the attributes that are used for developing product. The firm's focus F shows whether the firm focuses on only the product space or on the product space and consumer population. In previous our studies a firm can focus on a product space since all products are in the product space. In this paper some products that are launched by lead-users are in the consumer population, so we modify firms' sight. If firm i can focus on the consumer population, we set f_i to 1.

3.3.2 Activity Model of Firms: Development of a Product

Each firm i develops and launches a new product, according to the launching rate 0.05. The attribute A of the launched product is set by calculating from the possessed technology T of the firm.

3.3.3 Evolutionary Learning: Self-evaluation

After launching a product, each firm i evaluates its own decision using the fitness function ff_i (3).

$$ff_i = w_a * share + w_b * (1 - risk) + w_c * selfvalue + w_d * sumtech$$

where $w_a + w_b + w_c + w_d = 1$

$share$ shows the share of products firm i launches, $risk$ shows that the difference between a trend product and firm's technology, $selfvalue$ shows the fitness of its own technology with its own vision, and $sumtech$ shows the sum of technology. The weight parameters are set to $w_a = 0.35$, $w_b = 0.25$, $w_c = 0.30$, $w_d = 0.10$.

3.3.4 Evolutionary Learning: Selection, Crossover and Mutation

The internal models of firms are selected with Baker's linear ranking selection after the evaluation. This implies licensing or M&A. The revision of internal model is performed by the crossover and the mutation. If f_i is 0, the mutated value is decided by a normal distribution with possessed technology, otherwise, by a normal distribution with the trend product. This implies cross license and R&D. The crossover and the mutation rate is 0.6 and 0.05, respectively.

4. Simulation Results

This chapter conducts some simulation experiments with the market model and shows some results by two scenarios. First every firm, based on conventional strategy, focuses on only the product space in the market (4.1). Second every firm, as a new strategy, can focus the product space and the innovation community in the market (4.2).

We put some general assumptions common in both scenarios. A percentage of lead users in the consumer population are 15. A generation of launch started by lead-users is 50. We adopt the CNN model, BA model, and Random model for generating consumer networks. This paper shows some results by using only a consumer network based on the CNN model (see Fig.3), since simulation results with any model came to same propositions that are described in Section 5.

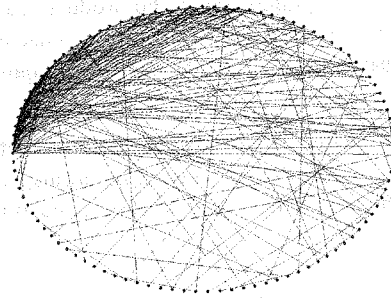


Fig. 3. Consumer network with CNN model

4.1 Scenario1: Focusing on Only the Product Space

In this scenario every firm focuses on only the product space and cannot have access to the consumer population. Lead users develop a new product and introduce it to other consumers. In the scenario 1.1 lead users introduce product developed by them to only consumers linked with them. Additionally they can introduce to the innovation community in scenario 1.2.

4.1.1 Scenario 1.1: Contagion among Edges

Fig.4-(a) shows the transition of the market shares of firms' products and lead users' ones. The lead users' products gradually grab the high market share and spreads to the consumer population. The main reason for this result is that firms did not aware that lead users' development and contagious information among consumers because the model can represent the information asymmetry and stickiness by generating the network structure. Since this paper does not consider the growth of network, the maximum share of lead users' products is given by the number of consumers linked with lead users. In a real market a consumer network must grow rapidly, so firms will

not grab the market share.

4.1.2 Scenario1.2: Contagion among Edges and the Innovation Community

In this scenario lead users can introduce their products to the innovation community and exchange information in the community. The community consists of some lead users and non lead users. 32 percentages of whole consumers belong to the community. Fig.4-(b) implies that the information exchange can be taken wing in the innovation community and the technology of lead users exceeds firms' one. This corresponds to the phrase "Given enough eyeballs, all bugs are shallow" described as Linus's law (Raymond 2000). Though each technology of lead user is inferior to firm' one, the sum of lead users' technologies can destroy firms' ones. So the innovation community can promote the evolutionary learning of preferences and technologies.

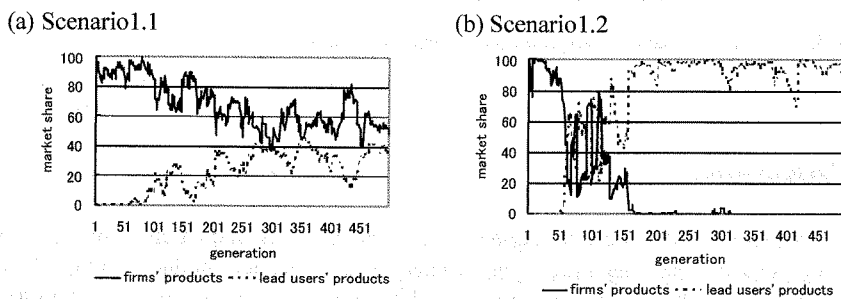


Fig. 4. Transition of market share in scenario1.1 and scenario1.2

4.2 Scenario2: Focusing on the Product Space and Innovation Community

As we have said it is difficult for firms to grab market share in the market with users' innovations. The firms failed to prevail against lead users' innovations mainly because they would consider that the optimum decision is to follow the trend. Firms should focus on consumers' preferences and technologies to overcome the failure. Since consumers' information, as we noted (see Section2), is sticky, firms cannot collect this information directly. Hence we analyze a new strategy for users' innovations as the scenario 2. The strategy is that firms positively focus on a trend product in the innovation community. Since the trend product has consumers' preferences and technologies, firms can gain the consumers' needs and niche technologies that firms cannot develop. Namely it is that firms do not compete with lead users but adopt and manage the lead users' innovations.

In this scenario firms can develop and launch a new product by using the trend product in the innovation community. Fig.5-(a) shows the transition of market share of firms' products and lead-users' ones in this case. And fig.5-(b) shows the transition of average of firms' fitness values in this scenario and previous scenario 1.2. The results show that firms can grab the market share and manage the lead users'

innovations by using the community, compared with previous scenario. Regrettably firms, however, cannot always grab a high market share since the users' innovations is presented as the set of niche technologies.

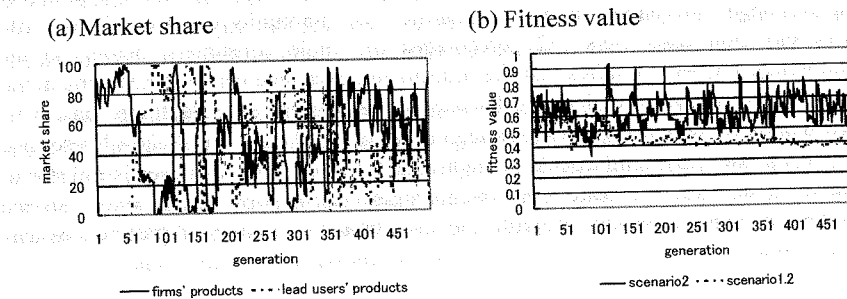


Fig. 5. Transition of market share and fitness value in scenario2

5. Discussion

This chapter discusses the simulation results in the previous chapter and provides two propositions on user innovation phenomena for a consumer product market. First consider the scenario 1 (see Section 4.1). This scenario corresponds to conventional marketing and technological strategies. Firms always pay attention to a market trend and gain only surface information by segmenting the consumer features and product attributes. In a market with users' innovations, however, the most important information that is often ignored in conventional marketing theories is sticky, deep, and asymmetric. So firms, as we mentioned in the section 2, cannot gain the information at the low cost. As the result lead users' innovations take the higher market share than firms' ones do.

Next we discuss the scenario2 (see Section 4.2) that suggested firms' new strategy. The strategy is that firms should focus on the trend product in an innovation community. From the result firms cannot grab the market a little, and manage the lead-users innovations. So the strategy may imply that firms should stop developing its own technology and adopt lead users' technologies that have some niche information fitted with consumers' preferences.

Then we can infer the two propositions as follows:

Proposition 1: If firms take the conventional strategies based only on conventional marketing theories and management of technology etc., lead users' innovations take the high market share from firms' product.

Proposition 2: If firms focus on the innovation community as the new strategy, they can manage the lead users' innovations.

Some conventional studies partly showed the cases that correspond to these propositions. The primary purpose of this paper is to confirm these propositions from the simulation results by modeling lead user's features and the market dynamics.

6. Conclusion

In this paper we have proposed the market model with consumer network, analyzed some scenarios by computational simulations, and provided the two propositions on user innovation phenomena. The primary purpose of this paper is to understand the market mechanism and dynamics in the market with lead users' innovations. The results of our simulations show that the management of user innovation needs to change into the new strategy that is the focus on a innovation community. The phenomena that are similar to the simulation results have been actually observed. This could support part of validity of the results to a real market. We would like to emphasize that the model proposed is built from important characteristics that are derived from various conventional studies on user innovation. This paper analyzes general market phenomena with the proposed model. As a future direction of this study we will analyze specific market with users' innovations by specifying the abstract features of the model.

Reference

- [1] A. L. Barabási and R. Albert, "Emergence of scaling in random networks", *Science*, Vol.286, pp509-512, 1999
- [2] A. Vazquez, "Growing network with local rules: Preferential attachment, clustering hierarchy, and degree correlations", *Physical Review*, vol. 67, 2003
- [3] Clayton M. Christensen, "The Innovator's Dilemma, when new technologies cause great firms to fail", Harvard Business School Press, 1997
- [4] C. Luthje, "Characteristics of innovating users in a consumer goods field; An empirical study of sport-related product consumers", *Technovation*, Volume 24, Issue 9, pp 683-695, 2004
- [5] C. Luthje, Cornelius Herstatt, Eric von Hippel, "User-innovators and local information: The case of mountain biking", *Research Policy*, Volume 34, Issue 6, pp951-965, 2005
- [6] Eric S. Raymond, "The Cathedral and the Bazaar", <http://www.catb.org/~esr/writings/cathedral-bazaar/cathedral-bazaar/>, 2000
- [7] Eric von Hippel, "The Sources of Innovation", Oxford University Press, 1994
- [8] Eric von Hippel, "Democratizing Innovation", MIT Press, 2005
- [9] Everett M. Rogers, "Diffusion of Innovations", Free Press, 1995
- [10] Glen L. Urban, Eric von Hippel, "Lead User Analyses for the Development of New Industrial Product", *Management Science* 34, 1998
- [11] Makoto Uchida, Susumu Shirayama, "Analysis of Network Structure and Model Estimation for SNS", *Transactions of Information Processing Society of Japan*, Vol.47, No.9, 2006
- [12] Nikolaus Franke, Sonali Shah, "How communities support innovative activities : an exploration of assistance and sharing among end-users", *Research Policy* 32, 2003
- [13] Pamela D. Morrison, John H. Roberts, Eric von Hippel, "Determinants of User Innovation and Innovation Sharing in a Local Market", *Management Science* 46, 2000
- [14] Shingo Takahashi, Kotaro Ohori, "Agent-based Model of Coevolutionary Processes of Firms Technologies and Consumer Preferences", NAACSOS Conference, 2005
- [15] von Krogh, G.S. Spaeth, S. Haefliger, "Knowledge Reuse in Open Source Software: An Exploratory Study of 15 Open Source Projects", *Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, pp198-207, 2005

Agent-based Organizational Cybernetics for Organizational Learning

Yusuke Goto¹ and Shingo Takahashi²

^{1,2}Department of Industrial and Management Systems Engineering, Waseda University
¹ysk5@toki.waseda.jp, ²shingo@waseda.jp

Abstract. This paper proposes guidelines in organizational learning. We developed an approach named *Agent-based Organizational Cybernetics* (AOC) to describe problems in organizational learning with an agent-based model and to design some prescriptions for them. This paper focuses on four typical evaluation problems of internal model in organizational learning: (1) environmental scanning, (2) policy making, (3) resource allocation, and (4) task resolution. We design and test some guidelines for each problem. The results provide some effective guidelines in organizational learning. *Organizational-performance-based* evaluation realizes organization's high performance in all four problem situations. However, the OP-based evaluation can not guarantee that an agent gets a right internal model all the time. So, it is effective to also consider some other complementary evaluations.

Keywords: organizational cybernetics, organizational learning, computational organization theory, agent-based organizational cybernetics

1 Introduction

Agent-based approach for organizational learning sounds promising. Agent-based modeling can describe the behavior of an organization as a result of individual agents' behaviors. So we can discuss the micro-macro problems of complex organizational systems in an operational manner.

Computational organization theory has attacked some problems in organizational learning. March has described a simple double-loop learning mechanism with a concept of exploration and exploitation (March 1991). Takadama et al. have developed an Organizational-learning oriented Classifier System to model four-loop learning in organizational learning operationally (Takadama et al. 1999). Some models have considered organizational structure in organizational learning (Carley and Svoboda 1996; Takahashi and Goto 2005).

However, computational organization theoretic approach describes either only a "flat" organization that has no hierarchical relationship between subsystems, or higher subsystems as super-agent activities (Takahashi 2006; Chang and Harrington 2006). The model in this paper represents a "hierarchical" organization that has four

functional layers defined in organizational cybernetics: intelligence, policy, coordination and resolution. All functional layers are described as an agent-based system. We call this approach *Agent-based Organizational Cybernetics* (AOC).

This paper focuses on typical evaluation problems of internal model in each functional layer: environment scanning, policy making, resource allocation, and task resolution. We design and test some guidelines for each problem.

In the following sections we briefly introduce the main features of AOC, and describe the typical problems in organizational learning, simulation model, and guidelines for effective organizational learning. In the last part, we report initial results and discussion.

2 Agent-based Organizational Cybernetics

AOC is a hybrid model that combines organizational cybernetic framework and computational organization theoretic approach. The main target of AOC is to describe problems in organizational learning with an agent-based model and to design some prescriptions for them (Takahashi 2006).

The basic features of AOC can be listed: (1) interaction between environment and decision makers, (2) agent's decision making according to his decision principle, (3) multi-layer hierarchical organization with some functional subsystems, (4) agent-group in each layer of the hierarchy, (5) situatedness of an agent, (6) organizational learning of revising and sharing agents' internal models.

3 Typical problems in organizational learning

It is natural to be thought that problems in organizational learning are different within organizational functions. We define four functional layers in the AOC manner, and describe typical problems for each layer. An organization considered has the following four functional layers.

1. *Intelligence*. An organization should recognize the environmental structure properly to realize an adaptive organizational policy. The environmental structure is scanned.
2. *Policy*. An organization defines own structure and input to be viable in an environment. A task resolution structure and a resource allocation are defined as an organizational policy.
3. *Coordination*. An organization has to coordinate inferior subsystems to realize better organizational performance. The values of coordination variables are decided.
4. *Resolution*. An organization should resolve tasks in an environment. A plan of task resolution is selected.

We can specify a typical problem in each layer.

1. Scanning environment. In intelligence layer the right recognition of the environmental structure is offered.
2. Policy making. In policy layer it is difficult to be viable or adaptive without an adequate decision principle to evaluate organizational policies.
3. Coordination. In coordination layer the proper anticipation of a coordination variable value to a subsystems performance level is essential for better coordination.
4. Task resolution. In resolution layer the right recognition of the task is required for effective task resolution.

Learning is essential for an organization to tackle these four problems. We especially focus on internal model evaluation in learning process. If an agent cannot evaluate his internal model properly, he will fail to revise it successfully. So we, in this paper, seek guidelines for the evaluation of an agent's internal model in each typical problem in organizational learning.

4 Model

We here consider a simple maker-type organization. The organization anticipates characteristics of an environment, defines a task resolution structure and a resource allocation, distributes resources to each process, and resolves a task in each process by using the resource (see Figure 1).

Task

A task means a series of demand for a service or a product that a process provides. For effective task resolution, supply need to fit demand. Much supply requires a lot of resources. There exist n tasks $u_{e1}, \dots, u_{ei}, \dots, u_{en}$ in an environment. An organization selects tasks to resolve, and resolves them.

We assume that an organization use the common resource that can resolve every task. The i th task u_{ei} that has q -long string is expressed as $(u_{ei1}, \dots, u_{eil}, \dots, u_{eiq})$. The l th element of the u_{eil} means the amount of the demand in the l th term.

Environment

In the AOC framework an agent is confronting her own environment, and an organization is also confronting its own environment. We build an environment model of the organization as a task generator and a response function.

The task generator provides the organization with n tasks every step. We define the task resolution plan m , as $(m_{i1}, \dots, m_{il}, \dots, m_{iq})$. Task resolution performance with the m , is evaluated by the fitness of the demand and the supply (Eq. 1).

$$y_i = \sum_{l=1}^q \hat{m}_{il} / u_{eil} \times q, \quad \hat{m}_{il} = \begin{cases} u_{eil}, & \text{if } m_{il} \geq u_{eil} \\ m_{il}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

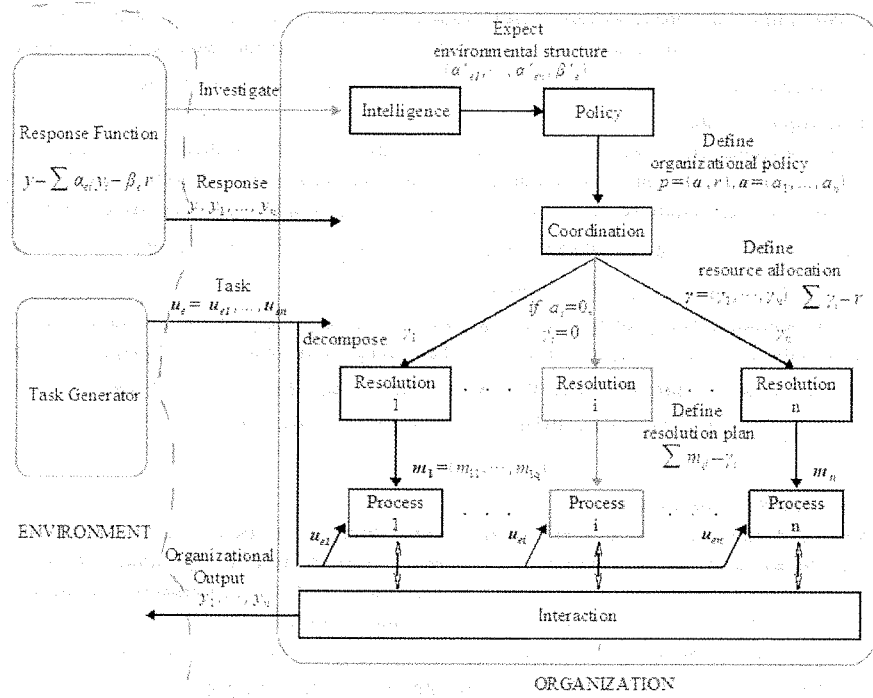


Fig. 1. Hierarchical organization model. Based on the model appeared in WCSS06 (Goto and Takahashi 2006), this model in this paper is newly developed in the AOC manner (Takahashi 2006).

The response function evaluates the output of the task resolution activities of an organization. An organization’s performance is evaluated by the response function

$$y = \sum_{i=1}^n \alpha_{ei} y_i - \beta_e r, \tag{2}$$

where α_{ei} and β_e respectively show a real profit coefficient and a cost coefficient, y_i is the degree of task resolution in the i th process.

Functional hierarchy

An organization is a three levels hierarchical system: adaptive, coordination and operational levels defined in organizational cybernetics (Beer 1981; Takahara and Mesarovic 2003). Every agent belongs to one of the subsystems of the hierarchy, and makes a decision of the subsystem.

Adaptive level consists of intelligence and policy functions. In an intelligence function the environmental structure that considers the profit coefficients $\alpha_{e1}, \dots, \alpha_{en}$ and the cost coefficient β_e of Eq (2) is observed. In a policy function a task resolution structure a_1, \dots, a_n and a resource allocation r are defined as an organizational policy p . The task resolution structure defines processes

in which the tasks are resolved; if task resolution is taken in the i th process, then we set $a_i = 1$, otherwise $a_i = 0$. We assume that the tasks and the processes are one-to-one correspondence: the task u_{ei} in the environment is resolved in the i th process in an organization.

In coordination level a coordination function sets the values of coordination variables to manage the operational level under the organizational policy. The values of coordination variables $\bar{a} = (\gamma_1, \dots, \gamma_i, \dots, \gamma_n)$ represent how tasks should be allocated into each agent of the operational level; γ_i represents that agents in the i th process use γ_i resources to resolve the task u_{ei} ; if $a_i = 0$, then $\gamma_i = 0$.

Operational level consists of a resolution function and processes. Based on the coordination variables every agent in the operational level is assigned into the process, then he makes a plan of task resolution $m_i = (m_{i1}, \dots, m_{im})$, $\sum_{l=1}^g m_{il} = \gamma_i$. The plan m_i is a series of the supply for the service of the product.

Agent and Internal Model

An organization has some agents. Every agent belongs to one of the four functions. We call an agent in an intelligence function a *scanner*, in a policy function a *policy maker*, in a coordination function a *coordinator*, and in a resolution function a *resolver*, respectively. Every agent refers his internal model and makes a decision.

A scanner observes an environment structure st , has the recognition as his internal model, and reports the aggregated one to the policy function.

A policy maker gets the anticipated environmental structure from the intelligence function, applies his decision principle of his internal model, and selects the most preferable organization policy. The decision principle consists of three types of preference: coverage pursuit (CP), profitability pursuit (PP) and cost aversion (CA). A policy maker has an attitude for each type: agree (1), disagree (-1) and not considered (0). The decision principle is represented as $DP = (CP, PP, CA)$, and every preference takes a value of $\{1, 0, -1\}$. The CP is a preference for resolving more tasks. The PP is a preference for resolving more profitable tasks. The CA is a preference for paying more costs. We here skip detailed description of them. A policy maker selects the alternative that maximizes the sum of the preference values.

A coordinator has an anticipation of a task resolution performance $y'_1, \dots, y'_i, \dots, y'_n$ realized by a resource allocation.

A resolver in the i th process recognizes the task u_{ei} , and has the recognition u'_{ei} as his internal model, and selects the plan of task resolution m_i that seems to realize the highest task resolution performance.

Organizational Learning

We reinterpret the four-loop learning (Espejo et al. 1996) in an operational way as an agent-based organizational learning model. We represents double-loop learning as three processes: evaluation of agent's internal model, revision of the internal model,

and sharing of agents' internal model in an agent-group. The described organizational learning cycle is taken in each organizational layer in an organization.

1. *Individual single-loop learning.* Every agent refers his internal model that describes confronting environment, applies his decision principle to optimize his decision alternatives, and selects a decision alternative. This process has no influence with the progress in the ability of organization's decision making.
2. *Organizational single-loop learning.* Agent-group's decision is taken by unifying agents' decisions. The most selected decision alternative is adopted as the group's one.
3. *Individual double-loop learning.* An agent evaluates his own internal model from the result of the decision made just before. Then he revises his internal model. These processes are implemented by using genetic algorithm (GA): a fitness function corresponds with agent's internal model evaluation, and genetic operation corresponds with revision of the internal models. The implementation by GA represents the evolutionary aspect of organizational learning. Design of the fitness function is the key to success of effective organizational learning.
4. *Organizational double-loop learning.* As a result of effective individual double-loop learning, agents in the group share their helpful internal models. The group (or an organization) progresses its ability of decision making, and can be more viable or adaptive.

Guidelines in Organizational Learning

We described four typical problems in organizational learning: scanning environment, policy making, resource allocation, and task resolution. In these problems proper evaluation of agent's internal model is essential. So we, in this paper, seek effective guidelines to define how helpful agent's internal model is to a situated environment.

A critical constraint in these problems is that agent does not know the "right" internal model in organizational learning. Then we assume that an agent can get data of organizational performance and task resolution performance as a response from an environment.

For scanners' scanning environment

Scanners' problem is to recognize the environmental structure $st = (\alpha_{e1}, \dots, \alpha_{en}, \beta_e)$ correctly. We design the following three guidelines to evaluate scanners' internal model properly.

1. *Organizational-performance-based evaluation (OP).* If a scanner has the right recognition st , then the organizational performance will be improved.
2. *Task-resolution-performance-based evaluation (TRP).* If the organizational performance will be improved when a scanner has the right recognition st , then the task resolution performance will be improved.
3. *Organizational-performance-anticipation-based evaluation (OPA).* A scanner can get information of an organizational policy: the task resolution structure and the

resource allocation. If a scanner has the right recognition st , then the difference between an expected performance y and a realized performance y' will get smaller. We set an expected environmental structure $st' = (\alpha'_{e1}, \dots, \alpha'_{en}, \beta'_e)$ and define the expected performance as $y' = \sum \alpha'_{ei} a_i - \beta'_e r$.

There exists a problem. Each of these three guidelines cannot apply to scanners directly, because these correspond with function's (group's) decision making. So we take an indirect approach. A scanner uses retrospective data that the organization got, and he evaluates his internal model by the retrospective decision that is most similar with his decision. This approach is common in the following problems. In the retrospective data we set most similar organizational performance y'' , the expected performance of the decision y''' and the realized task resolution performance y''_1, \dots, y''_n . Then OP, TRP and OPA are defined as

$$OP = y'' / \max \text{ of } y, \quad (3)$$

$$TRP = \sum a_i y''_i / \sum a_i, \quad (4)$$

$$OPA = 1 / (1 + |y'' - y'''|). \quad (5)$$

If the value of evaluation is higher, then he has a helpful internal model in terms of the guideline.

For Policy makers' policy making

Policy makers' problem is to get an adequate decision principle. We design the following two guidelines to evaluate policy maker's internal model effectively.

1. OP. If a policy maker's decision principle is desirable, then the organization will realize high-level performance naturally (see Eq. 3).
2. TRP. When an organization realizes high-level performance, the task resolution performance will be also high-level (see Eq. 4).

For Coordinators' resource allocation

Coordinators aim at having a sure anticipation of a task resolution performance realized by a resource allocation.

We design the following three guidelines.

1. OP. If a coordinator's internal model is helpful and realizes effective coordination, then the organization will finally realize high-level performance (see Eq. 3).
2. TRP. Effective coordination realizes high task resolution performance naturally (see Eq. 4).
3. Fitness for retrospective data (FRD). If the anticipated task resolution performance with a coordinator's internal model fits to the retrospective fact data, the internal model seems to be helpful. We set the j th retrospective data of the task resolution

performance y_1^j, \dots, y_n^j by the resource allocation $\tilde{\mathbf{a}}$, the coordinator's anticipation for the $\tilde{\mathbf{a}}$ as $y_1^{j'}, \dots, y_n^{j'}$.

$$\text{FRD} = 1 / \left(1 + \sum_j \sum_{i=1}^n |a_i y_i^j - a_i y_i^{j'}| \right) \quad (6)$$

For Resolvers' task resolution

Resolvers in the i th process should have a right recognition of the task \mathbf{u}_{ei} . We design the following three guidelines.

1. OP. The helpful internal model realizes effective task resolution. As a result, the organization will achieve high-level performance (see Eq. 4).
2. TRP-2. If a resolver's internal model is helpful, then task resolution will be taken effectively in his process.

$$\text{TRP-2} = y_i^u \quad (7)$$

3. Difference between task and plan (DTP). If a resolver gets the magnitude correlation between task and plan, he will be able to evaluate his decision. We set the resolver's decision $\bar{\mathbf{m}}_i = (\bar{m}_{i1}, \dots, \bar{m}_{in})$.

$$\text{DTP} = \sum_{i=1}^n e_i / q, \quad e_i = \begin{cases} 1, & \text{if } (u_{ei} \geq m_{i1}, m_{i2} \leq \bar{m}_{i1}) \text{ or } (u_{ei} < m_{i1}, m_{i2} > \bar{m}_{i1}) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

Experimental design and results

First we confirm two classic propositions in organizational learning for model validation. Next we review which guideline is more effective in each problem, and analyze the characteristics of organizational learning in each layer.

Model validation

We here test whether the built model can generate the result that is compatible with the propositions of foregoing empirical studies. We choose the famous propositions by Argyris (Argyris and Schon 1996).

- P 1: "If the organization has a right recognition of the environment, the optimization of organizational actions by the organizational single-loop learning (OSL) will lead to be adaptive to the environment."
- P 2: "If the organization doesn't have a right recognition of the environment, organizational learning is not significant. The organization requires organizational double-loop learning (ODL) that also revises the recognition of the environment."

In this model the Argyris's OSL can be interpreted as the learning in resolution layer. The ODL can be interpreted as the learning in all four layers. In the proposition 1 situation, scanners, policy makers and coordinators have a proper internal model,

though resolvers can have an inadequate internal model that is generated randomly. In the proposition 2 situation all agents can have an inadequate internal model that is randomly generated.

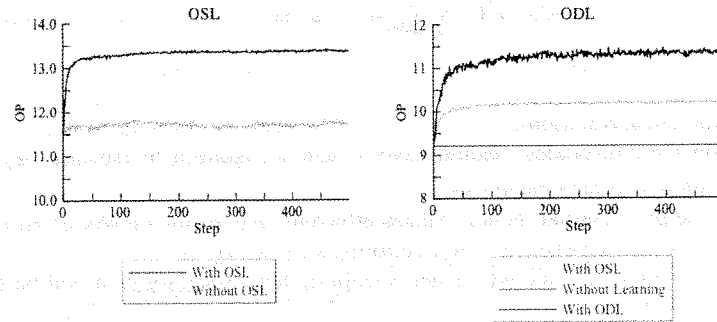


Fig. 2. Process of adaptation with OSL or ODL. OP represents the average organizational evaluation value of 1000 runs in a setting.

The left side of the Fig. 2 shows the result for the P. 1. An organization with OSL improves OP rapidly. On the other hand, an organization without OSL seems to stagnate. Then the P. 1 is confirmed.

The right side of the Fig. 2 shows the result for the P. 2. Both of organizations with OSL and with ODL improve OP. The organization with ODL improves OP twice as much as the organization with OSL does. An organization without learning seems to stagnate. Then the P. 2 is also confirmed.

Effective guidelines in organizational learning

We here review which guideline is more effective for each problem. We have got results that the OPA (Eq. 5) in intelligence layer and the DTP (Eq. 8) in resolution layer are effective (Goto and Takahashi 2005; Goto and Takahashi 2006). However we haven't compared them with other guidelines.

We set the number of tasks $n = 3$, the length of tasks $q = 5$, the response function $y = 2y_1 + y_2 + 4y_3 - 2r$, and the number of agents in each layer 30. The task u_{ei} is randomly set its values. A run of simulation consists of 500 steps of task resolving and learning.

Fig. 3 shows the review of proposed guidelines. Every guideline is effective itself, because they improve organizational performance. In the case of single guideline, the OP-based evaluation is most desirable in every layer, because the evaluation improves organizational performance most.

However, if we consider combined guidelines, the OP-based evaluation is not always the best one. In coordination layer a combined evaluation of the OP and the FRD is most desirable. In resolution layer a combined evaluation of the OP and the TRP is as desirable as the OP only. We think that the effectiveness of the combined evaluation comes from a complementary relation between the OP evaluation and other evaluations.

We show a typical case in intelligence layer. We define Intelligence Fitness (IF) to measure the correctness of scanners' internal model. Higher the IF is, more correct the scanner's recognition of the environmental structure st is.

$$IF = 1/1 + d \tag{9}$$

d : hamming distance between the actual structure and the recognized one

When we review the guidelines in terms of the IF, the OPA is outstanding. On the other hand, the OP is very bad. This data suggest us that the OP evaluation learns for the organizational performance, not for the "right" recognition of the environment. So we need to consider some other complementary evaluation for simultaneous pursuit of better organizational performance and right internal model.

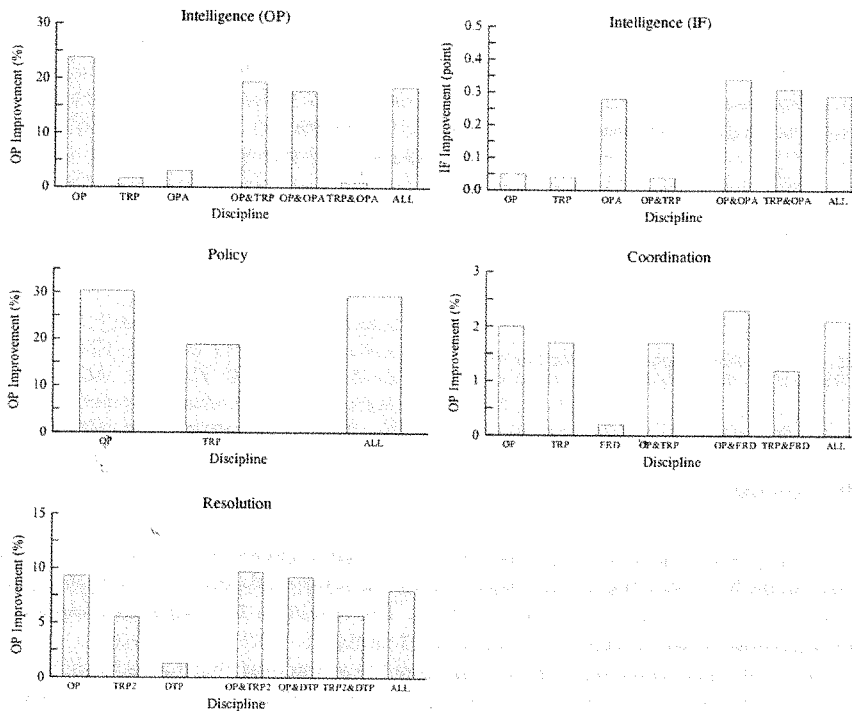


Fig. 3. Review of proposed guidelines. OP (IF) improve means the percent of organizational performance (IF) improvement from the first step to the last 100 step.

Adaptive behavior in each layer

We compare the behaviors of organizational learning. Most of studies discuss the behavior of organizational learning in a single layer. So it is impossible to compare

the behaviors between different layers. An AOC-based model can discuss the characteristics of adaptive behavior in multi-layers and co-affection of organizational learning among the layers.

Figure 4 shows the process of adaptation in each layer. In intelligence, policy, and resolution layer organizational learning is realized rapidly in the first 100 steps. On the other hand, in coordination layer organizational learning is taken gradually in about 400 steps. We can say that organizational learning in each layer has the characteristics described above.

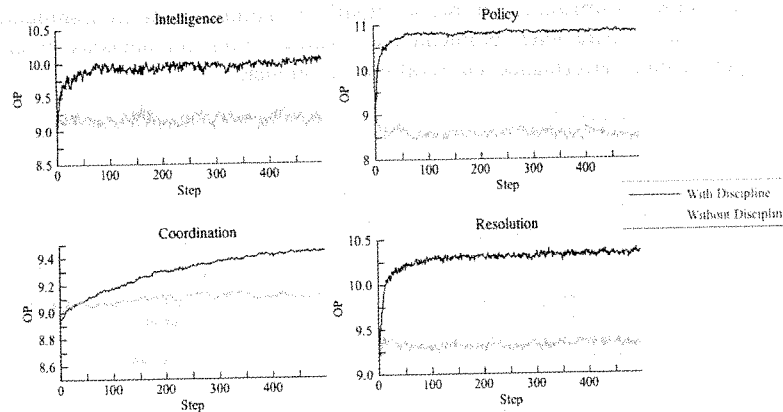


Fig. 4. Process of adaptation in each layer.

Discussion

We, in the preceding paper, have presented an effective guideline for each layer (Goto and Takahashi 2006). We, in this paper, proposed some guidelines for each layer, and reviewed which guideline is more effective. The results in this paper provide some new implications for effective organizational learning.

An agent must consider the organizational performance that is realized by his decision when he evaluates his internal model. The OP-based evaluation generally leads the agent in each layer to achieve high organizational performance. However, achieving better organizational performance doesn't always assure that an agent has a "right" internal model. In intelligence layer a scanner should also consider the difference between the realized organizational performance and the anticipated one. We found some complementary relations between two evaluations. For example, in coordination layer a combined evaluation of the OP and the FRD is more effective than the OP, though the FRD itself is the worst among the three evaluations.

Guidelines in organizational learning should be effective in any situations universally, because it is hard for agents in an organization to appreciate the situation in which they are. We presented the initial results that are examined in particular settings. Since we need to test the robustness of the results, we are now testing some

key parameters: the task number n , the task length q , the environmental structure st , and the parameters of GA operations.

Conclusion

We proposed some guidelines to evaluate agent's internal model properly in each layer, and reviewed which guideline is more effective. We built an organization model in the AOC manner. We confirmed model validity with the Argyris's propositions in organizational learning. We compared each guideline's effectiveness in terms of improvement of organizational performance. We additionally compared the behaviors of organizational learning.

The guidelines tested as more effective are as follows. In intelligence layer it is desirable to consider both of the OP and OPA. In policy layer a policy maker should evaluate his internal model in terms of the OP. In coordination layer a coordinator had better consider both of the OP and FRD. In resolution layer it is necessary for a resolver to consider either the OP or the OP and the TRP-2.

References

- Argyris C, Schon DA (1978) *Organizational Learning*. Addison-Wesley
- Beer S (1981) *Brain of The Firm* (2nd edition). John Wiley & Sons
- Carley KM, Svoboda DM (1996) Modeling Organizational Adaptation as a Simulated Annealing Process. *Sociological Methods & Research* 25: 138-168
- Chang MH and Harrington Jr. JEH (2006) Agent-based Models of Organizations. In: Tesfatsion L, Judd KL (eds) *Handbook of Computational Economics*. North-Holland, 1273-1337
- Espejo R, Schuhmann W, Schwaninger M, Bilello U (1996) *Organizational Transformation and Learning*. John Wiley & Sons
- Goto Y, Takahashi S (2005) Organizational Learning Oriented Model of Organizational Adaptation. *Proceedings of the First World Congress of the International Federation for Systems Research*
- Goto Y, Takahashi S (2006) Effective Guidelines for Organizational Learning in the Organizational Cybernetics Framework. *Proceedings of The First World Congress on Social Simulation*
- March, JG (1991) Exploration and Exploitation in Organizational Learning. *Organization Science* 2: 71-87
- Takadama K, Terano T, Shimohara K, Hori K, Nakasuka S (1999) Making Organizational Learning Operational: Implications from Learning Classifier System. *Computational & Mathematical Organization Theory* 5 (3): 229-252
- Takahashi S (2006) Agent-based Organizational Cybernetic Approach to Organizational Learning. *Proceedings of SICE-ICASE International Joint Conference*
- Takahashi S, Goto Y (2005) Agent-based Simulation of Adaptive Organizational Structures to Environmental Change. In: Terano T, Kita H, Kaneda T, Arai K, Deguchi H (eds) *Agent-based Simulation* (vol. 1). Springer, 99-110
- Takahara Y, Mesarovic M (2003) *Organization Structure*. Kluwer Academic/Plenum Publishers

Model for Generating Emergent Phenomena by Specifying Essential Micro Interactions in Market

Kotaro Ohori¹ and Shingo Takahashi²

^{1,2}Department of Industrial Management and Systems Engineering, Waseda University
¹oohori@fuji.waseda.jp, ²shigo@waseda.jp

Abstract. This paper introduces a new framework for market analysis, and discusses essential micro interactions among economic entities used in the framework. Finally, we observe market emergent phenomena on a simulation using a model supported by the framework, and emphasize the importance of specifying micro interactions. Since various descriptions of interactions on agent-based modeling have directly adopted existing simulation technologies based on computer science and artificial intelligence etc., it is difficult for modelers to specify the essential interactions on a model that correspond to intentions of actions in a real market. So we need to propose novel simulation technologies.

Keywords: essential micro interaction, emergent phenomenon, genetic operation, market analysis

1 Introduction

Some conventional studies of market analysis have focused on market characteristics concerning product diffusion and standard competitions[7]. The Innovator's Dilemma and User-innovation that form novel trends of market studies have shown various influence of innovation on a market[1][2]. Since these studies are ex post case analysis, they seem unable to analyze future market that will change rapidly through globalization and technological innovation.

On the other hand, recent studies try to analyze market phenomena with virtual experiments of computer simulation. Agent-based modeling has been applied to various fields such as society, economy, or organization. The progress of social simulation has been able to simulate some phenomena in a real world.

Some studies with agent-based modeling have focused attention on market dynamics. Deguchi[3] has formalized a lock-in model that different two populations interact each other in various markets with technological innovation, and analyzed a learning process, which is called social learning dynamics. Struben[4] has focused on decisions of consumers and firms, and have proposed a transitions model of technologies. However, most of models for analyzing market dynamics have supposed the premise of economics, and have considered learning only within

population. These models cannot describe emergent phenomena observed in a real world.

In this paper, we introduce a new framework for market analysis that can correspond to various phenomena in a real market. The framework represents essential micro interactions among economic entities and evolutionary learning processes. We discuss the possibilities of these representations and the observation of emergent phenomena.

2 Framework

In this chapter, we would describe the new market framework using a model of coevolutionary processes of firms' technologies and consumers' preferences[8]. The framework has the following features: 1) economic entities as firms or consumers are regarded as autonomous agents, 2) essential interactions among these agents in a market, 3) consumers' preferences and firms' technologies co-affect their evolutionary behavior.

Each consumer recognizes a product space as an environment, and then he/she selects and buys a product for maximizing their utilities. Each firm develops their technologies for gaining higher market share. Consumers and firms affect each other through the launching or choice of products. We call this framework CAMCaT (Coevolutionary Agent-based Model for Consumers and Technologies) (see Fig.1). In the subsequent sections, we describe internal model (2.1), activity model (2.2), and evolutionary learning process (2.3).

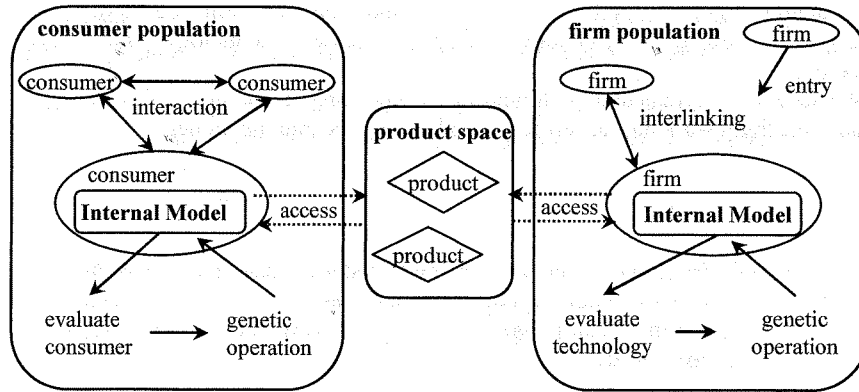


Fig. 1. CAMCaT framework

2.1 Internal Model

An agent has an internal model consisting of the chromosomes that describe market situations and the agent's characteristics in his/her mind. Each economic entity, based

on its internal model, makes decisions of economic actions that are the choice or launching of products in a market that is difficult to forecast the future due to high uncertainty.

Each consumer has some chromosomes that are rules for selecting products. The chromosomes of consumer are defined by Preference, Consumption Propensity, Possessed Technology, and Market Situation (see Fig.2).

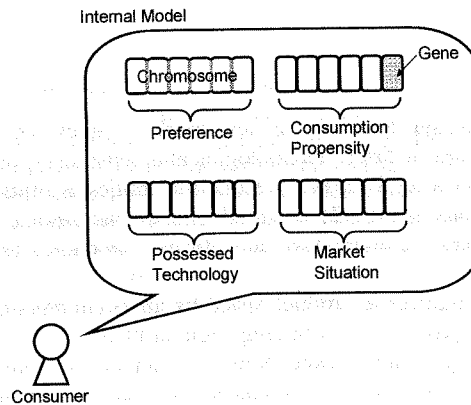


Fig. 2. Internal model of consumer

Each firm also has some chromosomes that are rules for developing a new product, and gaining higher market share. The chromosomes of firm are defined by Management Strategy, Technology Strategy, Possessed Technology, and Market Situation.

We need to set parameters as chromosomes depending on the target of modeling in detail. This framework has no restriction on building the internal model.

2.2 Activity Model

Consumers and firms, based on their internal models, make their decisions in a market. Each consumer evaluates products and chooses a product in a product space (see Fig.3). Each firm decides whether to develop and launch products. These decision makings are considered as micro level activities in a market.

2.3 Evolutionary Learning

After micro level activities, each consumer evaluates his/her own choice and internal model by using a fitness function. Similarly, each firm evaluates its own development, launching, and internal model by using a fitness function. The fitness function defines how desirable each economic entity is in a market. This is formulated depending on a target of modeling. For example, the consumer's fitness consists of

preference values and sensibilities to trend etc. The firm's one consists of technology values and market share etc.

Based on the self-evaluation results, various genetic operations realize a series of economic actions. To take an example of consumers, bandwagon-effect, information exchange and gathering information correspond with the selection, crossover, and mutation in genetic algorithm (GA) [5], respectively. We call a series of operations "Evolutionary learning process".

The long term result of evolutionary learning process achieves the coevolution of consumers and firms through the choice and development of product.

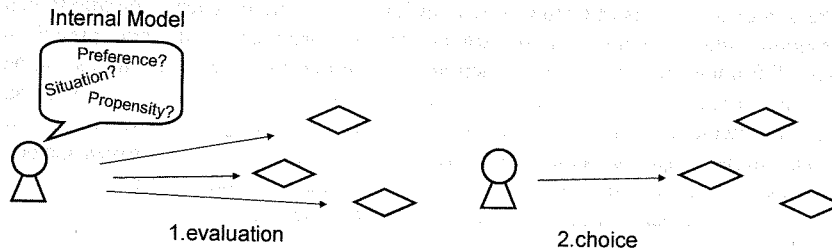


Fig.3. Activity of consumer

3 Micro Interaction and Micro-macro Link

The primary feature of CAMCaT framework is to realize the essential micro interactions among economic entities. The micro interactions represent neither a two player game nor a change of decisions depending on macro information like interactions in conventional studies. We represent the micro interactions as essential individual economic actions that are specified as the revision of internal model as rules for an agent's action (see Fig.4). So the micro interactions do not change the agent's action itself directly.

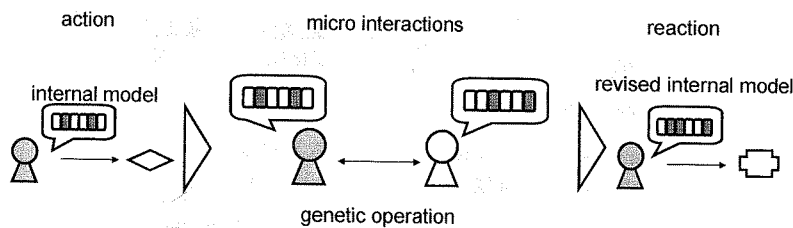


Fig. 4. Micro interactions in CAMCaT framework

Some internal models in a population which are revised by the micro interactions change some agent's actions. This change results in a macro level behavior, then the macro level behavior affects the micro interactions and decisions. Therefore, this

process represents a micro-macro link which corresponds with the change of economic actions and behaviors in a real market.

3.1 Micro Interactions

In this section we discuss evolutionary learning process of consumers' preferences as micro interactions. Our framework applies the analogy of evolution not to the population level learning but to the individual level one. The population level learning can be achieved as a result of the individual level one. These genetic operations that correspond with economic actions are originally introduced and reinterpreted in CAMCaT framework. The economic actions represented by genetic operations can be essentially effective in market analysis since we have been successful in explaining the micro interactions and macro phenomena on the analogy of evolution in our previous studies [8][9]. In following subsections we explain intention-driven genetic operations in own previous studies (3.1.1), discuss genetic operations on evolutionary process (3.1.2), and state necessity of a novel genetic operation (3.1.3).

3.1.1 Correspondence between Intention and Genetic Operations

The micro interactions are composed of three phases using genetic operations. First, a consumer population initially set out in the model selects the consumers' preferences that realize higher evaluation values. This implies a kind of bandwagon effect. Second, a pair of consumers is combined at random in the consumer population, then they uniformly crossover each partial gene in their chromosome of preference. This implies the information exchanging between two consumers. The crossover process has an effect to spread various preferences over the consumer population. Finally, each consumer mutates partial genes in his/her preference. This implies gathering information through advertising media (see Fig.5).

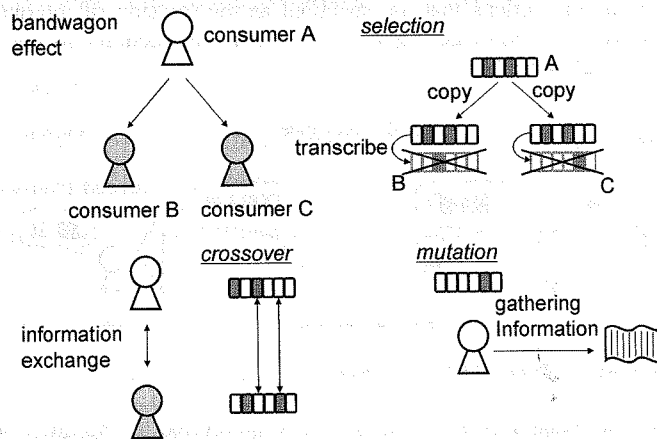


Fig. 5. Implications of genetic operations

3.1.2 Evolution Process by Genetic Operation

We here point how the evolution of a consumer population has achieved in our previous studies with CAMCaT framework. Consumers' evolutionary learning was performed with roulette selection, uniform crossover of a random pair in GA, and mutation. The uniform crossover could cause the temporal decline of the genes values on the chromosome of preferences (see Fig.6). The decline of genes values seemed to prevent the evolution, but it did not fail from the viewpoint of the evolution by combining the selection and the uniform crossover. Though genes values were temporarily declined by the uniform crossover, varieties of the consumer population increased. And then consumers that had higher evaluation were selected with the roulette method. Finally, evolution was achieved in the consumer population (see Fig.7).

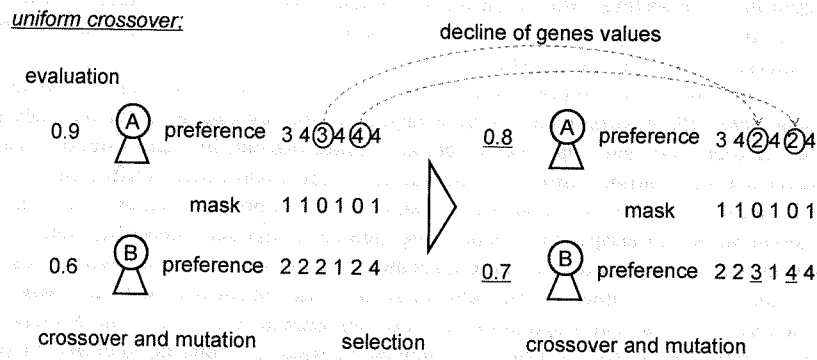


Fig. 6. Decline of genes values caused by uniform crossover

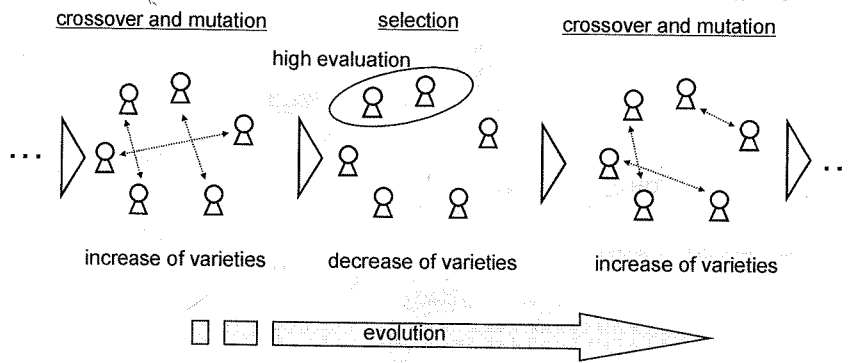


Fig. 7. Evolutionary learning process in previous studies

3.1.3 Necessity of novel intention-driven simulation technologies

So far we explained that genetic operations are correspondence with intention of economic actions. However we here should notice that the existing genetic operations based on classical GA cannot be promised to succeed in future analysis of essentially different types of problems.

Let us consider the analysis of market that has a network structure. A recent study on agent-based modeling has adopted a view of social network that a market structure determines the activities of economic entities[10]. A model with the network structure specifies the links between economic entities, which restrains feasible interactions among consumers.

Agent-based modeling with the network concept does not suit the selection and the uniform crossover adopted in our previous studies. Next we show the reason why these operations are useless in this case.

The selection cannot imply bandwagon effect in a market network because it neglects links of network (see Fig.8). Copy(1) expresses that a consumer affects linked another one and can imply spread of information by bandwagon effect. However copy(2) cannot imply in a real market, since a consumer is affected by not linked another one. So we should not adopt the selection in a network structure. Besides if we do not adopt the selection, the uniform crossover cannot be useless for evolution either. The reason is that a consumer replaces his/her genes with genes of linked and fixed consumer every generation with the uniform crossover, then the varieties in the consumer population do not vary all the time. So these operations cannot achieve evolution, and are not adopted to specify micro interactions in the market network.

Selection:

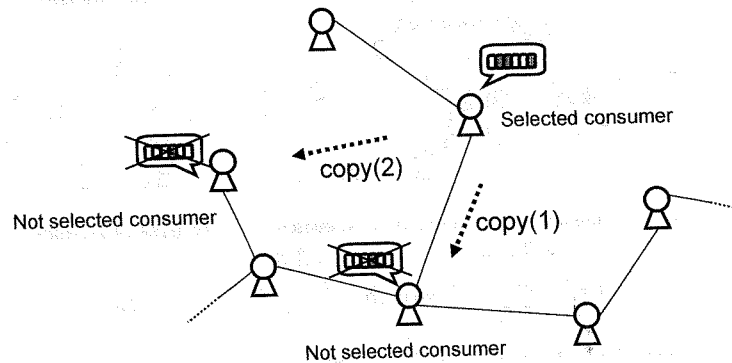


Fig. 8. Non-correspondence between bandwagon effect in network structure and selection based on GA

We propose a new operation for representation of the bandwagon effect and information exchange in the market network. The operation is a fusion of the selection and uniform crossover, and can imply the economic actions in the market network. We call this operation “selective crossover” (see Fig.9).

Selective crossover:

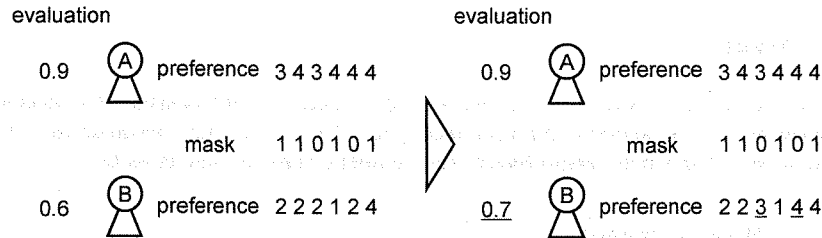


Fig. 9. Selective crossover

Though the selective crossover is based on uniform crossover, it does not perform exchange of the genes between linked two consumers. Fig.9 shows that genes values of consumer B that has lower evaluation values copy from genes values of consumer A that has higher ones. The selective crossover expresses the spread of information over the consumer population depending on the market network structure. This operation, without adopting selection, will achieve the evolution of preferences in the consumer population with the market network structure.

What needs to be emphasized is that we have to consider relation of correspondence between economic actions and genetic operations, and have to propose the intention-driven simulation technologies. Though most of agent-based modelers have agreed with necessity of learning process, effective simulation technologies have not been developed yet. Agent-based modelers have tended to rely on existing simulation technologies in computer science and artificial intelligence etc., and then were restricted on modeling of agent’s actions and internal model. For the future of agent-based modeling we will have to consider some technologies that can represent essential micro interactions as in this study.

3.2 Micro-macro Link

Micro interactions specified as evolutionary learning revise agents’ internal models in populations. The revision should imply economic actions in a real world (see Section 3.1), and change agent’s decision as purchase and launch. The change of decisions in populations affects market products, market share, and a trend product in a product space. The whole market results in different behavior with which are compared a few generations ago. This macro market behavior affects economic actions in the next generation. So micro-macro link is described.

4. Modeling and Emergent Phenomena on Simulations

In this chapter, we provide a market model by using CAMCaT framework and show the macro phenomena that emerge on a market simulation. The target of the provided model is competition among some standards.

4.1 Model

According to the CAMCaT framework, the market model consists of consumer population, firm population and a product space. The size of the consumer and firm population is 100 and 20, respectively. The number of product standards is 5.

4.1.1 Model of Product

In the product space there are a lot of products that firms launched. We specify the attributes of the product which are consisted of specs a_{ik} and standard s_i defined by $A = (a_{ik}, s_i)$ $a_{ik} \in \{1, 2, \dots, 100\}$, $s_i \in \{1, 2, \dots, 5\}$ where $k = 1, 2, \dots, 5$, i identifies an individual product, k is the spec number of a product.

4.1.2 Model of Consumer

1. Internal Model

The internal model of a consumer i consists of the sensibilities to other consumers d_i , standard to adopt s_i , cutoff value for product attributes c_{ik} , and purchasing weight for product attributes w_{ik} , defined by $IM = (d_i, s_i, c_{ik}, w_{ik})$ where $d_i \in \{x | 0 \leq x \leq 1\}$, $s_i \in \{1, 2, \dots, 5\}$, $c_{ik} \in \{1, 2, \dots, 100\}$, $\sum_k w_{ik} = 1$, $i = 1, 2, \dots, 100$, $k = 1, 2, \dots, 5$, i is a consumer index, k is an attribute index.

2. Activity Model

Each consumer evaluates products by the evaluation rule of products and purchases one having the maximum utility bigger than the cutoff values. The evaluation rule is defined by utility function of consumer i for product (1).

$$u_{ij} = \left(\sum_k b_k * a_{ijk} * d_i + \sum_k w_{ik} * a_{ijk} * (1 - d_i) \right) * c_j * s_j \quad (1)$$

$$\text{where } c_j = \begin{cases} 0 & \text{if consumer } i \text{ cutoff product } j \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}, s_j = \begin{cases} 0 & \text{if } s_i \neq s_j \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

b_k represents the attributes of the trend product.

3. Evolutionary Learning Process

After selecting product, each consumer i evaluates his/her own action and internal model by using the fitness function fc_i (2).

$$fc_i = w_a * (1 - ncut) + w_b * sumcut + w_c * (1 / maxcut) + w_d * (network) \quad (2)$$

$ncut$ is the number of non cutoff products, $sumcut$ is the sum of cutoff values, $maxcut$ is the maximum cutoff value, $network$ is the number of consumers which adopt the same standard with consumer i . The weight parameters are set to $w_a = 0.50, w_b = 0.40, w_c = 0.05, w_d = 0.05$. This function represents that a consumer has higher evaluation can reduce recognition effort of products, and can gain advantage by network effect.

We adopt a series of GA (roulette selection, uniform crossover, and mutation) since we do not consider network structure on this model. According to the evaluation of consumers, internal models of consumers are selected with roulette selection. And the revision of internal model of consumers is performed with uniform crossover and mutation. Crossover and mutation rate is 0.6 and 0.05, respectively.

4.1.3 Model of Firm

1. Internal Model

The internal model of a firm i consists of the adopting standard s_i , technological concept c_{ik} , and possessed technology t_{ik} defined by $IM = (s_i, c_{ik}, t_{ik})$ where $s_i \in \{1, 2, \dots, 5\}$, $\sum_k c_{ik} = 1$, $t_{ik} \in \{1, 2, \dots, 100\}$, $i = 1, 2, \dots, 20$, $k = 1, 2, \dots, 5$, i is a firm index, k is an attribute index.

2. Activity Model

Each firm i launches a new product, according to the launching rate that is 0.05. The attribute A of launching product j is set by calculating from the possessed technology T of the firm.

3. Evolutionary Learning Process

After launching the product, each firm i evaluates its own activity using the fitness function ff_i (3).

$$ff_i = w_a * share + w_b * othervalue + w_c * selfvalue + w_d * network \quad (3)$$

$$\text{where } othervalue = \sum_k c_{ik} * t_{jk}, \text{ selfvalue} = \sum_k c_{ik} * t_{ik}$$

$share$ is the share of the product firm i inputs, $othervalue$ and $selfvalue$ (3) shows the fitness of other firms' and own technology with its own technological concept, and $network$ is the number of firms which adopt the same standard with firm i . The weight parameters are set to $w_a = 0.25, w_b = 0.05, w_c = 0.65, w_d = 0.05$.

Internal models of firms are selected with Baker's linear ranking selection after the evaluation. This implies licensing or M&A. The revision of internal model of firms is also performed with crossover and mutation. This implies cross license and R&D. Crossover and mutation rate is 0.6 and 0.05, respectively.

4.2 Simulation results

In this section, we simulate the competition between standards in a market using the model (see Section 4.1) and show emergent phenomena in the market. Fig.10 shows two market share transitions of standards on simulations using the same parameter.

As the simulation result in Fig.10-(a), the market share of standard 5 reaches about 100% at about 50 generation, and keeps high share. This state is called "lock-in" and is also observed on simulation in conventional studies. As for the simulation result Fig.10-(b), de facto standard 5 switches to a new de facto standard 2. We can observe two phenomena that correspond with two simulation results in a real world.

The two points that require clarification are that 1) why did the simulation result in Fig.10-(a) differs from one in Fig.10-(b) ?, 2) why did de facto standard switch to another? It should be clear that the evolutionary learning affects the two points. Agent-based modelers who have ever built a model that had been equipped with learning mechanics do not doubt as to the first point. However, as for the second point, many agent-based modelers must wonder about the market phenomenon. The market phenomenon is one of emergence, and is caused by the essential interactions among economic entities. We call the phenomenon in Fig.10-(b) "lock-in wave". To take an example of mechanism of lock-in wave, the adoption of a standard whose market share is low by opinion leader produces a new trend in the consumer population depending on the change of the product space and consumers' learning.

Therefore CAMCaT framework can represent the various emergent phenomena can be seen in a real market, and has a high potential to explain more interesting phenomena that could not be observed in conventional studies.

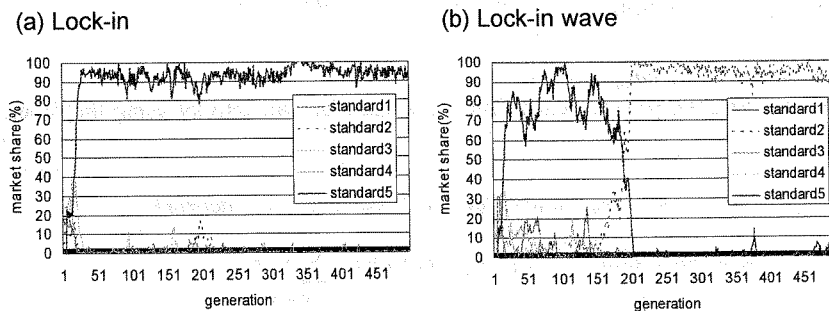


Fig. 10. Emergent phenomena of Lock-in and Lock-in wave

5. Conclusions

In this paper we propose a new framework, called CAMCaT, for market analysis, and suggest that the simulation technologies are required to specify essential micro interactions that are correspondence with economic actions in a real market.

We should note that CAMCaT framework has most of essential elements in a real world that are the micro interactions among economic entities, the decision making of economic entities, the interaction between firm population and consumer population, and macro phenomena in the whole market. The market model using CAMCaT framework can show lock-in wave as an example of emergent phenomena. This observation strongly results from the specification of the micro interaction. We expect that models using this framework can explain various phenomena in real markets and analyze various markets.

Finally, we should emphasize that modelers will have to develop simulation technologies for specifying interactions in order to develop agent-based modeling. Existing simulation technologies in artificial intelligence often restricted modeling of agent. In such case some modelers have ignored the partial characteristics of target that they would explain. Moreover, simplification of modeling has inclined to assist the ignorance. So we will consider the intention-driven simulation technologies to prevent the elimination of important characteristics.

Reference

1. Clayton M. Christensen , "The Innovator's Dilemma, when new technologies cause great firms to fail", Harvard Business School Press, 1997
2. Eric von Hippel , "Democratizing Innovation", MIT Press , 2005
3. H.Deguchi, " Learning Dynamics in Platform Externality,in Applied General Systems Research on Organization",Springer,pp167-176,2003.
4. Jeroen Struben,"Technology Transitions; identifying challenges for hydrogen vehicles" , MIT,2004.
5. John H. Holland , "Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence", Bradford Books, 1992
6. Peter M. Allen, "Knowledge, ignorance and the evolution of complex systems", Frontiers of Evolutionary Economics: Competition, Self-Organization, and Innovation Policy, pp313-350,2003
7. Rohlfs,J.H, "Bandwagon Effects in High Technology Industries", The MIT Press, 2001
8. Shingo Takahashi, Kotaro Ohori, "Agent-based Model of Coevolutionary Processes of Firms Technologies and Consumer Preferences",NAACSOS Conference, 2005
9. S.Takahashi, "Framework in Agent-based Approach for Analysis of Evolutionary Processes of Consumers' Preferences," J.of the Japan Society for Management Information,Vol.13, pp.1-17,2004.
10. Tackseung Jun, Jeong-Yoo Kim, Beom Jun Kim and M.Y. Choi,"Consumer Referral in a Small World Network", Social Networks, Volume 28, pp232-246, 2006

共進化エージェントベースモデリングによるマーケットデザイン

大堀耕太郎

(早稲田大学大学院理工学研究科)

oohori@fuji.waseda.jp

高橋真吾

(早稲田大学理工学術院)

shingo@waseda.jp

キーワード：共進化，エージェントベースモデリング，マーケットデザイン，市場ダイナミクス，標準化問題

1. はじめに

近年，多くの市場ではグローバル化や技術開発スピードの向上から，市場シェア獲得競争やデファクト競争が激化している。こういった競争が行なわれる中で市場において短期的な利益獲得を目指そうとする兆候や勝者と敗者の格差というような市場原理がもたらした影響が見てとれる。市場原理は経済主体にとって最善な方法と富をもたらすが，その一方で市場における競争はその目的を失ってしまうとステークホルダーに対して多大な不便をもたらすことも多々見られてきた（猪木 1998）。

この原因は企業が市場原理に基づいた市場システムの中に埋め込まれていることが原因であると考えられ，仮にこれが非とされるならば，この市場システム自体を問い直すことが必要であると考えられる。しかし，今後の市場システムを再設計する際には，ただ単に現状からのみ判断するのではなく，まずは市場原理に基づいて構成された市場メカニズムと市場ダイナミクスを再考し，解明していく必要があると考えられる。中でも本研究では一つの市場システムとしての標準に焦点をあて，どのように市場設計（マーケットデザイン）を行なっていけばよいかを考えたい。

19世紀以降，多くの技術革新が生じ，現在の市場と同様にデファクト競争が繰り広げられてきた。その中でデファクト競争で勝利した企業が得る利益は非常に高くなるため，自社規格をデファクトスタンダードにすることばかりを考えるようになり，結果としてユーザーに不都合が生じる

場面が多々見られてきた。そのため，徐々に専門標準化機関や国家規格作成機関の手による規格作りの介入の必要性が生じてきたのである（田中 2004）。

我々はこのような標準化の問題に対して市場メカニズムや市場ダイナミクスに関連した従来の研究とは異なるアプローチを提案することを試みる。

従来の市場研究の多くはケーススタディアプローチにより行なわれている。規格競争の研究では，過去のデファクトスタンダードの類型化が行なわれているものや（山田 2004），ネットワーク効果や先行者優位性に注目して複数の製品市場の事例分析が行なわれている（Rohlf s 2001）。また，イノベーション研究では，バリューネットワークなどの概念を用いて優良企業が市場で失敗する理由が説明されている（Christensen 1997）。こういったケーススタディによる研究は今までに市場で生じた多くの現象を知ることができ，今後の経営者やマーケティング部門の意思決定や本研究が扱う標準化の問題においても役立つであろう。しかし，従来の市場とは違って近年の競争スピードは非常に速くなっており，市場変化も多様化しているため，過去のケースが今後の現実市場の動的な変化に対応することは難しいと考えられる。

一方で，計算機シミュレーションによる市場研究も多く存在している。顧客満足度管理のための動的な普及モデル（Yeon ら 2005）や技術推移に関する市場モデル（Struben 2004），異なる集団の

相互作用によるロックインモデル(Deguchi 2003)などが提示され、シミュレーションが行なわれている。こういった研究では、ネットワーク効果を考慮しており、制度上の要因にも焦点を当てているものが多く、動的な変化については非常に興味深い。しかし、これらの研究に関しては企業、消費者を集団のダイナミクスで考えるため、ミクロな視点における消費者間や企業間の相互作用による創発的な現象を捉えることはできていないのが現状である。

そこで我々はマーケットデザインのための新たなアプローチ手法として共進化エージェントベースモデリングにより従来の計算機シミュレーション研究とは異なり、本質的に市場の構成要素や相互作用を扱う。さらにはシミュレーションを行うことで、ケーススタディアプローチのように事後的ではなく事前にマーケットデザインの指針を与える可能性が高いことを示す。

2. CAMCaT フレームワーク

本章では、標準化問題を扱うモデル構築を行なう際に用いるフレームワークについて説明する。本研究では、今後、マーケット分析へのアプローチ法として非常に有力になると考えられるCAMCaT(Coevolutionary Agent-based Model for Consumers and Technologies)フレームワークを用いる(図2.1)

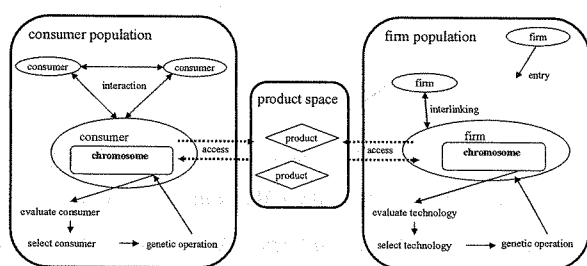


図2.1 CAMCaT フレームワーク

CAMCaT は企業技術と消費者選好の共進化モデルとして提案され、市場のロックイン現象に焦点を当ててシミュレーションが行なわれてきた(Takahashi and Ohori 2005)。我々はCAMCaTをフレームワークとして扱うことで、市場における多くの命題を示し、従来のシミュレーション研究

では不可能だった複雑な現象説明を行なうことを可能にした。CAMCaT フレームワークは、消費者集団、企業集団、商品空間の3つの部分から構成され、消費者選好と企業技術は商品空間を介することで互いに影響を及ぼしあい、共進化する。以下ではフレームワークの構成要素と消費者や企業といった経済主体の内部モデルと行動モデルの概要について説明する。

2.1 構成要素

消費者集団や企業集団にはそれぞれ複数のエージェントが存在する。消費者は自分がいる市場において自分の満足のいく商品を購入し、企業は自社のターゲット市場において消費者に受け入れられる商品を製造するための技術を開発する経済主体である。

商品空間は企業から投入された商品が複数存在し、消費者はそれを選択し、自らの選好を修正する。商品の選択状況により企業は自社の技術を修正して、新たな商品開発を行なう。このように集団間で互いに影響を与えてそれぞれが自ら市場に適応しようとしていることから我々はこれを「共進化」と呼んでいる。

2.2 内部モデル

消費者や企業は経済活動を行なうための意思決定ルールとして染色体表現された内部モデルを有する。消費者の内部モデルは主に商品に対する選好、消費の性向、市場における周囲状況等から構成され、企業の内部モデルは主に経営戦略や技術戦略、保有技術等から構成され、それぞれ染色体表現される。

実際にモデリングする際には、対象に見合った内部モデルを構築する必要があり、フレームワークでの細かい制限はない。また、染色体は遺伝子の集合であるため、各遺伝子座への意味づけを詳細に行えば行なうほど現実マーケットにより近いモデリングが行なえ、遺伝子レベルでの分析が可能となる。

2.3 行動モデル

消費者と企業の行動モデルはそれぞれ商品選択、商品開発、そして共に内部モデル修正のため

の進化的学習プロセスからなる。

進化的学習プロセスは基本的には遺伝的アルゴリズムの代表的な遺伝的操作である選択、交叉、突然変異を用いる（伊庭 1994）。最適化手法としての遺伝的アルゴリズムとは異なり、進化的プロセスで用いる遺伝的操作は消費者の情報交換、情報収集や、企業の提携、クロスライセンス、R&Dなどの経済主体のミクロな相互作用を表現する。このような具体的な経済活動と遺伝的操作の適合に関する研究は未だ少なく、今後どのような遺伝的操作を用いれば良いかを検討していく必要はある。しかし、少なくとも進化の概念が経済主体としての学習において適合すると我々は考える。（高橋 2004, Takahashi and Ohori 2005）。

3. 標準化モデル

本章では2章で説明したCAMCaTフレームワークの基で、標準化に関わる問題を扱うシミュレーションを行なうためのモデルを構築する。モデルはCAMCaTフレームワークに従い、消費者集団、企業集団、商品空間の3つから構成される。

3.1 商品空間モデル

商品空間には企業から投入された複数の商品が存在する。商品*i*の属性は価格や品質に関わる5つの項目からなる仕様 a_{ik} と、規格 s_i から構成される。

$$\text{商品 } i \text{ の属性} = (a_{ik}, s_i) \\ (a_{ik}) \in \{1, 2, \dots, 100\}, \quad s_i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

ただし、属性番号 $k=1, 2, \dots, 5$ 、規格数 $n \in N$ とする。

3.2 消費者集団モデル

消費者集団には100人の消費者が存在する。消費者*i*は自らの意思決定に関わるルールである内部モデル IM を有する。消費者の内部モデル IM は他者への依存度 d_i 、現在使用している規格 s_i 、商品仕様に対するカットオフ値 c_{ik} 、商品仕様に対するウェイト w_{ik} からなる。

$$\text{消費者 } i \text{ の } IM = (d_i, s_i, c_{ik}, w_{ik}) \\ d_i \in \{x \mid 0 \leq x \leq 1\}, \quad s_i \in \{1, 2, \dots, n\},$$

$$c_{ik} \in \{1, 2, \dots, 100\}, \quad \sum_k w_{ik} = 1$$

ただし、消費者番号 $i=1, 2, \dots, 100$ 、

仕様番号 $k=1, 2, \dots, 5$ 、規格数 $n \in N$ とする。

3.2.1 商品選択

各消費者は商品空間に存在する商品の中から、以下の消費者*i*の商品*j*に対する効用関数 u_{ij} を用いて自らの効用を算出し、最も効用の高い商品を購入する。

$$u_{ij} = \left(\sum_k b_k * a_{ijk} * d_i + \sum_k w_{ik} * a_{ijk} * (1 - d_i) \right) * c_j * s_j$$

b_k は流行商品の属性値をウェイト表現したものである。 a_{ijk} は消費者*i*が商品*j*の属性*k*に対して付けた評価値である。 Σ の2項のうち前項は流行商品のウェイトをもとに算出した効用であり、後項は自らの商品属性に対するウェイトにより算出した効用である。この2項を他者依存度に従ってどちらに重みを置くかを算出している。また、 s_j は自らが使用している規格と商品*j*の規格が異なれば1、同じならば0と表現され、 c_j は商品*j*をカットオフした場合は0、しない場合は1と表現される。

3.2.2 バンドワゴン効果

各消費者は商品選択の後、自らの選択が正しかったかどうかを以下の市場への満足度や市場への適応度合いを表す関数 fc_i により自己評価し、この評価値に基づいて自らの内部モデルを修正する。

$$fc_i = w_a * (1 - ncut) + w_b * sumcut \\ + w_c * (1 / maxcut) + w_d * (network)$$

消費者はカットオフ値の和($sumcut$)が高く、カットオフされずに残った商品数($ncut$)が少ないほうが認知努力の削減に繋がることから高い評価を得る。しかし、カットオフ値の最大値($maxcut$)が高すぎる場合や自らの使用規格と同じ規格を使用している消費者数($network$)が少ない場合は商品の誤認知やネットワーク効果が働かなくなるといった問題が生じてしまうことから評価が低くなる。

この評価値に基づいて消費者集団ではルーレット選択により評価値が高い消費者の選好が市場に生き残るように選択される。この遺伝的操作の現実市場における含意としては、流行商品への選好や上手く商品を知ることができるような選好が市場において一層強くなるといったバンドワゴン効果を表している。

3.2.3 情報交換・情報収集

各消費者は他の消費者と情報交換を行なうことによって内部モデルが修正される。消費者集団の中からランダムに2人の消費者を選び、一様交叉によりマスクのかかっていない部分についての遺伝子を入れ替える。また、突然変異により一部分の遺伝子を変化させる。

3.3 企業集団のモデル

企業集団には20社の企業が存在する。企業*i*は自らの意思決定に関わる内部モデル*IM*を有する。企業の内部モデル*IM*は採用規格*s_i*、技術コンセプト*c_{ik}*、保有技術*t_{ik}*からなる。

企業*i*の*IM* = (*s_i*, *c_{ik}*, *t_{ik}*)

$$s_i \in \{1, 2, \dots, n\}, \sum_k c_{ik} = 1, t_{ik} \in \{1, 2, \dots, 100\}$$

ただし、企業番号 $i = 1, 2, \dots, 20$,

技術番号 $k = 1, 2, \dots, 5$, 規格数 $n \in N$ とする。

3.3.1 商品開発・商品投入

各企業は消費者に受け入れられるような商品を開発し、投入する。商品投入の意思決定は商品投入確率 *pthrow* に従う。実際の企業の商品投入の意思決定は企業により独自の公式を利用している場合やマネジャーの指示により行なわれており企業ごとに意思決定関数を定めることは困難である。また、今回の標準化に関わる問題を扱う際に投入タイミングに大きく依存した結果が出ることを避けるためにも投入に関してはランダム性を持たせた。

商品投入を決定した企業は自社の採用規格 *s_i* と保有技術 *t_{ik}* から商品を開発し、商品空間へ投入する。実際は複数の要素技術から一つの商品属性へ対応させる必要があるが、本シミュレーション

では抽象モデルとしてのシミュレーションであるため、単純に保有技術 *t_{ik}* と商品属性を1対1対応させた。

3.3.2 企業間提携

各企業は商品投入後、現在の市場において、どの程度満足しているかを表す以下の関数 *ff_i* により自社評価し、この評価値に基づいて自らの内部モデルを修正する。

$$ff_i = w_a * share + w_b * othervalue + w_c * selfvalue + w_d * network$$

$$othervalue = \sum_k c_{ik} * t_{jk}, selfvalue = \sum_k c_{ik} * t_{ik}$$

ただし、*j* は提携先企業とする。

企業はシェア (*share*) を多く獲得し、同じ規格を採用している企業数 (*network*) が多い場合にはネットワーク効果を生じることから高い評価を得る。しかし、いくらシェア獲得していても、自社のコンセプトと提携先企業技術の適合度 (*othervalue*) や自社技術との適合度 (*selfvalue*) が低い場合には評価値が低くなることをこの関数は表している。

3.3.3 クロスライセンス・技術開発

各企業は他企業とのクロスライセンスや自社での技術開発を行なうことによって内部モデルを修正する。企業集団の中からランダムに2社の企業を選び、一様交叉によりマスクのかかっていない部分についての遺伝子を入れ替える。また、突然変異により一部分の遺伝子を変化させる。

4. シミュレーション

本章では、3章で構築したモデルを用いて標準化に関わる問題を扱ったシミュレーションを行い、考察する。

4.1 立ち上がり問題の解消

CAMCaT フレームワークを用いた共進化シミュレーションを行なう場合には、結果に影響を及ぼす多くの要因が関わっていることから、対象の問題におけるシミュレーションを行なう前に、少なくとも最もシミュレーションに影響のある評価関数のウェイトに関しては市場の基本特性を満たすように設定を行なう必要がある。

ここで言う市場の基本特性とは消費者選好だけが進化している場合や企業技術だけが進化している場合が生じることで、市場における立ち上がりの段階で需給関係が崩壊してしまう立ち上がり問題のことを指し、これが解消されるときのパラメータ (fc_i や ff_i のウェイト) を設定する必要がある (表 4.1)。これ以降の実験ではこのパラメータ設定を用いてシミュレーションを行なう。

表 4.1 パラメータ設定

	w_a	w_b	w_c	w_d
fc_i	0.50	0.40	0.05	0.05
ff_i	0.25	0.05	0.65	0.05

4.2 標準化問題シミュレーション

本章では2つの仮説検証を行なうことで本モデルがマーケットデザインを支援する可能性があるかどうかを検証する。以下で示す仮説は規格競争に関わる研究や標準化問題に関わる研究から導いたものである (田中 2004, 山田 2004, 吉川ら 2005)。

実験設計は規格数 $n=5$ とし、最初は市場原理に基づくデファクト競争を行なっている状態から、技術調整サイクル (世代) を 1000 世代繰り返す。

4.2.1 用途無き規格の発生

『商品を市場に投入する前に企業間で長い間自主調整を行うと、商品投入後に消費者ニーズが存在せず、普及しない』

本シミュレーションでは、企業集団で商品を出す前に数世代の自主調整を行ない、その後市場に商品投入するというコンソーシアム型やフォーラム型の標準化の状況を考える。実験では自主調整の期間を (1) 0 世代 (デファクト競争)、(2) 50 世代、(3) 100 世代、(4) 200 世代という4つのシナリオを用意した。自主調整期間 50 世代における各規格の市場シェア推移を示したのが図 4.1 である。

この結果より分かることは 50 世代のように調整が短い状況で市場原理に任せて商品投入を行なってしまうと商品投入直後に結局規格競争が生じてしまい、技術がサunkコスト化していることが分かる。

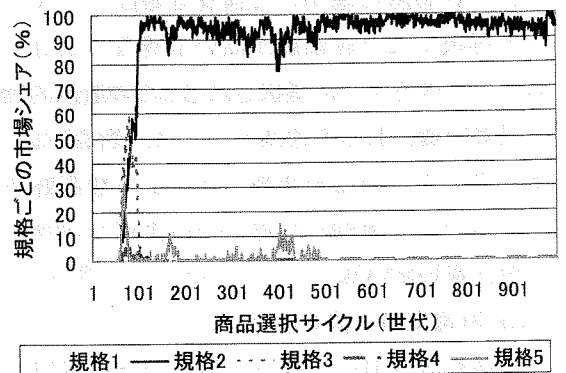


図 4.1 市場シェア推移 (調整期間 50 世代)

一方で調整期間を 200 世代にしてシミュレーションを行なったときはいずれの規格も市場シェアを全く得ることが出来ない場合が生じた。これは、調整が長すぎると消費者選好の進化に影響を受けることが出来ず、企業は用途無き規格を生み出してしまふことが原因であると考えられる。

そこで、それぞれのシナリオで 100 試行ずつ実験を行い、いずれの規格も市場シェアを全く得ることが出来なかった場合の試行数を調べた。これを示したのが図 4.2 である。

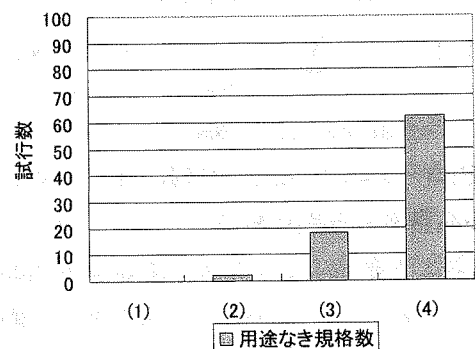


図 4.2 調整期間の違いによる用途無き規格発生数
これを見ると分かるように自主調整期間が長すぎると、消費者ニーズとかけ離れた技術を作りやすくなる傾向があることが分かる。

4.2.2 デジュールスタンダードの失敗

『デファクトが顕在していない中で、デジュールスタンダードを決めると、消費者が望む商品の技術進歩に伴う便益を得られなくなる』

本シミュレーションでは、最初から市場原理に任せて商品投入を行なうが、規格競争が長く続かないように 100 世代においてデジュールスタンダ

ードを定める状況を考える。

このとき、(a) 消費者の大勢に受け入れられているような規格をデジュールスタンダードにした場合と、(b) ランダムにデジュールスタンダードを規定した場合で実験を行なったときの消費者の市場満足度（適応度）の推移を示したのが図4.3である。

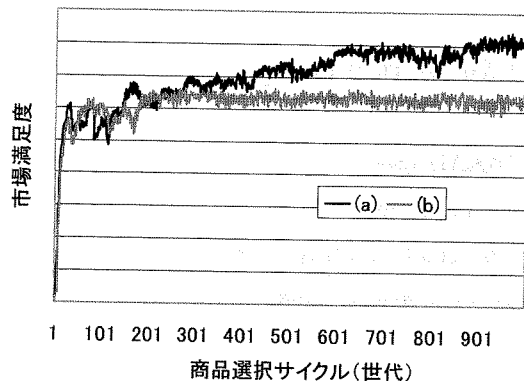


図4.3 デジュールスタンダードの失敗

これより、(b) のような場合に比べて (a) のほうが市場満足度の向上が見られる。(a) の場合は、消費者にとって規格乗り換えコストが下がり、好む規格が標準になったために消費者は市場に対して高い適応を行うことができると考えられる。(b) の場合は、標準化団体が消費者集団を無視してデジュールスタンダードを定めた状況であり、この場合は標準が消費者の好む規格と異なるため、消費者は市場での満足を得ることができず、適応できないと考えられる。現実市場において考えると (a) は VHS、(b) は OSI のような事例が考えられる。

5. おわりに

本研究では新たなマーケットデザインの支援として共進化エージェントベースモデリングにより標準化モデルを構築し、シミュレーションを行い、標準という一つの市場システムについて考察を行なった。このアプローチは従来研究とは異なり、経済主体間にマイクロな相互作用を考慮することで同じパラメータ設定でも様々なシェア推移や規格推移などの市場ダイナミクスが見て取れる点が大きな利点である。そのため、市場ダイ

ナミクスとそのときのエージェントの行動や内部モデルの変化を対応付けて考察することで、マーケットデザインに対する様々な指針を得ることが可能であると我々は考える。

しかし、本研究では抽象モデルとして簡単な命題を検証することでマーケットデザインの支援可能性を示したに過ぎず、これから特定市場への対応についても考えていく必要がある。また、遺伝的アルゴリズムにおける世代概念についても現在は技術開発サイクルや商品選択サイクルと対応づけているが、今後は現実市場との整合性をとっていく必要があるだろう。

参考文献

- Clayton M. Christensen, “The Innovator’s Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail”, Harvard Business School Press, 1997
- H. Deguchi, “Learning Dynamics in Platform Externality, in Applied General Systems Research on Organization”, Springer, pp167-176, 2003
- 伊庭斉志, “遺伝的アルゴリズムの基礎: GA の謎を解く”, オーム社, 1994
- 猪木武徳, “市場競争システムの意味と限界”, 組織科学, vol 32, PP4-14, 1998
- Jeroen Struben, “Technology Transitions; identifying challenges for hydrogen vehicles”, MIT, 2004
- Rohlf, J.H., “Bandwagon Effects in High Technology Industries”, The MIT Press, 2001
- Shingo Takahashi, Kotaro Otori, “Agent-based Model of Coevolutionary Processes of Firms Technologies and Consumer Preferences”, NAACSOS Conference, 2005
- Seung-jun Yeon, Sang-hyun Park, Sang-wook Kim, “A dynamic diffusion model for managing customer’s expectation and satisfaction”, Technological Forecasting & Social Change, 2005
- 高橋真吾, “エージェントベースアプローチによる消費者選好の進化過程の分析枠組”, 経営情報学

会誌, Vol.13, No.1, pp1-17, 2004
田中正躬, “公的標準機関の変遷と課題”, 標準
化と品質管理, Vol.57, No.11, PP7-13, 2004
山田英雄, “デファクトスタンダードの競争戦略”,

白桃書房, 2004
吉川治, 横田真, “デジュール標準化における戦略
的提案”, 研究・技術計画学会年次学術大会講演
習, Vol.20th, PP774-777, 2005

Coevolutionary Agent-based Model for Market Design

Kotaro OHORI¹

Shingo TAKAHASHI²

oohori@fuji.waseda.jp¹

shingo@waseda.jp²

¹Graduate School of Science and Engineering, Waseda University, Japan

²Faculty of Science and Engineering, Waseda University, Japan

Abstract

The purpose of this study is to propose a new framework for supporting market design, and analyze one market system as a standard. The features of this framework are to regard an economic unit of a firm and a consumer as an agent and consider essential interactions among these agents in a market, and consumers' preferences and firms' technologies coevolute through products. So we call this framework CAMCaT (Coevolutionary Agent-based Model for Consumers and Technologies) framework.

A theme of this study that market design intends for is the standardization problem. In recent years, by influence of technological progress and globalization, competitions between standards are intensifying in many markets. Because of these competitions, the symptom that firm tends to aim at short-term profit acquisition was seen, and differential profits between winner and loser arose. Therefore some problems about standardization attracted attentions, but it is a difficult problem how it should establish a standard.

Then we would like to build an agent-based model using CAMCaT framework to examine some problems about standardization and conduct simulation of some scenarios about proposition of standardization. And we show high possibility that this model gives an indicator of a market design by considering a simulation result enough.

Keywords: coevolution, agent-based modeling, market design, market dynamics, standardization problem

ユーザーイノベーションによって生じる マーケットダイナミクスの分析

早稲田大学理工学術院 高橋 真吾
早稲田大学大学院理工学研究科 大堀 耕太郎

要旨

近年の市場においてはイノベーションの影響により、従来の経済学の概念が適用できなくなってきたり、またマーケティングサイエンスや技術経営に基づいた企業戦略が通じない場面が多々見られるようになってきている。ここ数年で多くのイノベーション研究が行われているが、中でも本論ではユーザーイノベーション現象に着目する。ユーザーイノベーションが生じる市場では消費者が需要者だけでなく供給者として存在することで、消費者と企業の需給関係が従来の市場とは異なり、市場メカニズムを大きく変化している。このユーザーイノベーション現象により、企業にとっては従来の市場へのアプローチが通用しなくなり、新たな戦略策定を余儀なくされる可能性があると考えられる。これまで、ユーザーイノベーションに関しては複数の実証研究が行なわれているが、ユーザーイノベーションをもたらす市場メカニズムと市場全体のダイナミクスを明らかにするまでには至っていない。本論ではエージェントベースアプローチを用いたマーケットダイナミクス分析のフレームワーク(CAMCaT フレームワーク)を用いてモデルを構築し、シミュレーションを行うことでユーザーイノベーションが市場へ与える影響を分析し、さらには企業の今後取るべき戦略仮説を与える。

1. はじめに

ここ数年でコンピュータ技術が急速に発展し、さらにはWEB2.0の台頭に伴い、製品やサービス市場における企業は従来の戦略を変化させなければならない必要性が出てきた。特に、近頃よく目を見張るのは企業のマーケティング活動の大きな変化である。WEBを用いたマーケティングでは消費者データを収集して、特定の消費者特性を把握し、詳細な属性に対応したプロモーションが可能になった[4][9][11]。そのため、従来のマスマーケティングはもとよりワンツーワンマーケティングやリレーションシップマーケティングを考へてもWEB利用はその性質から考へて実には有効活用できると考へられる[6][7]。一方で、企業の技術戦略はコアテクノロジーを活かすことや、マーケティング部門との連携が重要視されている。イノベーション促進のためにも技術こそが企業にとって重要であり、顧客へのアプローチも技術ベースで考へることが重要であると技術経営等の最近のマネジメント関連の文献では語られている[16][12][13]。

こういった背景の下で、本論ではイノベーション研究に着目した。企業は急速な技術革新やWEB2.0の影響も伴って戦略変化を迫られている中でマーケティング理論に基づいて消費者選好をうまく掴むことに重要視しているが、実はこれが企業にとって非常に危険な意思決定だと我々は考へる。その理由は、イノベーションのジレンマ[5]やユーザーイノベーション[3][22]などのイノベーション研究では、結局のところマーケティングに関わる部分を述べているにも関わらず、これが従来のマーケティング理論とは食い違った見解を示しているためである。マーケティングはセグメンテーション、ターゲッティング、ポジシ

ョニング (STP) に見られるように従来から属性ベースの考え方であるが、イノベーション研究ではその属性を重要視しすぎると企業は失敗に追いやられるという考えである。これについては 3 章で詳しく述べるが、我々の解釈ではマーケティング理論では属性ベースの考え方なのに対して、イノベーション研究では状況ベースで考える点で大きな違いがあり、また、これらはどちらが良いというわけではなく双方の視点を必要とすると考えられる。

本稿では、こういった背景やイノベーション研究の台頭のもとで、特に今後企業を失敗に追いやる可能性が高いと考えられるユーザーイノベーションに注目し、従来の企業戦略が不十分であることを示すと同時に、それに対応するための仮説を提示する。

本研究では従来のマーケットダイナミクス分析の手法とは異なりエージェントベースアプローチを用いてモデル化、シミュレーションを行い、市場分析、さらには市場予測を行なう。エージェントベースアプローチにおけるマーケットの研究は従来から行なわれてきたが、ミクロな相互作用が仮定されていなかったり、シミュレーション技術により制限されたものが多く、現実市場の分析や予測に利用するのは困難であった。そこで、本研究では Takahashi and Ohori によって提案されたより現実市場に対応したエージェントベースマーケットフレームワークである CAMCaT フレームワークによる補助のもとでモデリングおよびシミュレーションを行なう[29]。本フレームワークについては 4 章で述べる。

2. ユーザーイノベーション

イノベーターがメーカーなのか、サプライヤーなのか、もしくはユーザーなのかを捉えることは企業における研究開発とマーケティングの側面において非常に重要であり、大いに役立つと考えられており、イノベーションの実際の源泉が理解できれば、組織編成上どういった修正が必要か判断でき、さらにはイノベーションを組織内でおこせばいいのか、それとも組織間なのかを把握することが出来る[3]。特にユーザーがイノベーションの源泉である場合には近年のユーザーのニーズの多様化からその役割は非常に重要であると考えられるが、メーカーやサプライヤーのイノベーションについては多くの研究があるものの、ユーザーが起こすイノベーション (ユーザーイノベーション) に関わる研究は非常に少ない。

しかし、近年では多くの財でユーザーがイノベーションを起こす可能性が増えてきており、ますますユーザーがイノベーションの源泉である事例が多くなってきたことから、近年ではいくつかの実証研究が行なわれてきた。

生産財におけるユーザーイノベーションの研究としては PC-CAD や OPAC などの研究がある。PC-CAD におけるユーザーイノベーションではプリント配線に関する設計ソフトウェアである PC-CAD が電子回路の高密度化に伴い、ユーザー企業が不満を持ち始めたことから、配線感覚や回路層などを増やせるようにユーザー企業内で自らイノベーションを起こしソフトウェアを改良が行なわれた[23]。OPAC におけるユーザーイノベーションでは、各地域における図書館ではその図書館で抱える問題を解決するため自ら OPAC の改善をおこなっていることが確認されている[28]。

消費財におけるユーザーイノベーションの研究としては、シャープ・ザウルスでは MORE ソフトという形でユーザーがザウルスのソフトウェアを独自に作成することが可能であり、それらの多くが周りの利用者にとって利便性を上げるものとなっている。また、企業インタビューにより、企業はユーザーイノベーションを注視していることが分かっており、MORE ソフトが今後も伝播していくと考えている[15]。アウトドアやスポーツ用品においてもアンケートなどによる消費者の調査が行われている。この中ではイノベイティング・コンシューマー (innovating consumer) という市場での新商品をいち早く購入し、新しい利用方法を発見し、商品を開発しようとする消費者に注目している。特にアウトドア市場では多くの消費者のおよそ 3 分の 1 がイノベーションのアイデアを持っていて、こ

ういった消費者は一つの市場においてイノベーションを起こし、それは商品の新しいニーズへの直面や既存商品への不満足さなどに大きく依存しており、また、商品の利用頻度が高いほうがイノベーションを起こしやすいことが調査によって分かっている[19][20].

このように、生産財だけでなく消費財においてもユーザーが起こすイノベーションは観察されており、Hippelはこのように市場において他の誰よりもはやく市場ニーズを把握し、自分のニーズに対する解決策を獲得し高い効用を得るためにイノベーションを起こすユーザーをリードユーザーと定義している。また、ユーザーイノベーションと従来のイノベーションの違いや、リードユーザーが商品を購入するか自ら開発するか意思決定の問題、イノベーションの無料公開などについてユーザーイノベーションに関わる実証研究を元に体系的に述べていて、非常に興味深い[22].

一方で、濱岡は自ら開発し創造する能力を持ち、他の消費者とコミュニケーションを行なう消費者をアクティブ・コンシューマーと呼び、こういった消費者の存在が従来のマーケティングが通用しなくなる部分を指摘し、マーケティング現象を消費者と企業との長期にわたるダイナミックな相互作用として捉えるべきであると述べている[10].

上述したHippelが言うリードユーザーや濱岡が言うアクティブ・コンシューマーは自らの効用を最大化し経済財を購入する単なる需要者とは異なるため、もはや従来のマーケティングや経済学の概念が通用しなくなっている。

また、ユーザーイノベーションを考える上でもう一つ大きな市場の特徴としてはイノベーションコミュニティの存在である。コミュニティという場合にはオープンソースソフトウェアに関わる研究が多くなされてきた[26][30]. しかし、近年はスポーツ関連などの消費財においてもイノベーションコミュニティが観測されている。Frankeらは、キャンピングやボードクロスなどのスポーツコミュニティにおいて調査を行い、構成員が多様で、イノベティブな活動が行なわれていることを分かった。さらに、イノベーションコミュニティの特徴としては、コミュニティがイノベーションの可能性を持っているというよりというよりは、アシスタントの場としてのコミュニティがあり、また、イノベーションの普及への役割も担っていることが述べられている[27].

このように近年ではユーザーイノベーションに関する実証研究は日に日に増えてきており、これらがユーザーイノベーションを有効活用するための重要な研究であるのは間違いない。しかし、その市場メカニズムや市場におけるマクロなダイナミクスについては解明されておらず、現実市場においてこれらに対する対応とその効果を捉えることは上述した研究では困難である。

3. ユーザーイノベーションの仮説

本章では2章で述べたユーザーイノベーション研究や他のユーザーイノベーションに関わる研究を考慮したうえで、ユーザーイノベーションがもたらす市場ダイナミクスを仮説として提案する。これまでのエージェントベースモデリングの研究では事例や実証研究から導いた命題をクリアし、その上で仮説検証という形でシミュレーションを行うことが一般的であったが、本研究のように未だ命題を捉えることが困難な市場におけるダイナミクス研究は仮説提唱のための研究となる。本研究で扱うユーザーイノベーションも未だ市場メカニズムが分かっておらず妥当性検証までには至ることは難しいが、基本仮説を他のイノベーション研究から演繹的に導き、それを検証することで仮説提唱のためのモデルが有効であることを示し、その後シミュレーションを行なう。本研究では2章で述べて従来研究から導いた基本仮説を以下のように与える。

また、本論では以下で述べる仮説を生産財市場ではなく消費財市場を対象としたものとする。その理由は生産財市場におけるリードユーザー、特にユーザー企業がイノベーションを起こすには時間がかかり、イノベーションが起こる頃にはそのニーズをベンダーが捉

えてしまっており、製品開発には時間がかかるためベンダーがそのニーズ解決をすることが容易であるのに対し、消費財ではリードユーザー、特にイノベイティング・コンシューマーがイノベーションを起こすことに企業は気づきづらいため、非常に脅威であるためである。

《基本仮説》

「消費者を集団として捉えて、その大部分に受け入れられる商品を生み出そうとする企業はユーザーイノベーションに対応できず、最終的にはその技術は淘汰される」

ユーザーイノベーションが観測される前は、イノベーションは企業が起こすものであり、消費者や顧客はそれを使用する立場にあった。もし、従来のマーケティング理論の概念をユーザーイノベーションが生じる市場においても採用するとすれば、企業は消費者や顧客を単なるニーズの集まりでしか考えることはなく、その大部分に受け入れられるような平均的な商品を作ることしかしないであろう。しかし、実際のニーズはセグメント化された中においても非常に多様であるため、自社技術の強みを活かし、そのセグメント化されたユーザー全てに受け入れられる商品を作っているはやがてその商品は受け入れられなくなると考えられる。その理由としては、マーケットには市場ニーズをいち早く把握し、自分のニーズを満たすために解決策を生むリードユーザーの存在があり、彼らは周囲の消費者へのニーズ伝播や技術伝播を引き起こすため、企業が捉えている平均的なニーズに近い将来において全く存在しないものとなってしまいうからである。また、従来のイノベーション研究としてイノベーションのジレンマがある[5]。Christensen のバリューネットワークのフレームワークによれば、優良企業は彼らが抱える主要顧客の声に耳を傾けすぎると、その声は持続的なイノベーションであるために失敗に陥るといふ。これをユーザーイノベーションの生じる市場において考えると、確かに顧客や消費者は持続的なイノベーションを要求してくるに違いない。リードユーザーは破壊的なイノベーションを要求する場合もあるが、そういったイノベーションに対して企業はコストがかかることから今まで対応してこなかった。そのため、リードユーザーははじめから企業に破壊的なイノベーションを要求することは滅多にないと考えられている。

このように、Christensen のイノベーション研究に準えたとすると、リードユーザーの持つ情報を企業が得ることは難しく、ユーザーイノベーションは企業にとって積極的に反応できるものではない。結果として、企業の技術はリードユーザーの開発や情報の伝播に最終的に敗けることになるだろう。この基本仮説を満たすかどうかで 4 章で提示するモデルの是非を検討する。

次に、ユーザーイノベーションが生じることで企業が失敗に追いやられると同時に市場にとっての非効率が生じることについての対策がイノベーションコミュニティの存在であることと考え、ここではイノベーションコミュニティにかかわる 2 つの仮説を提示する。イノベーションコミュニティとは、ある市場において、リードユーザーが存在し、ユーザー間でコミュニケーションが可能な情報伝達経路で相互に接続されたユーザーネットワークとここでは定義する。イノベーションコミュニティに関する実証研究は複数行なわれているが、各コミュニティについての活動は異なるため、このような広義になってしまった[27][25][24]。主な機能としては共同でのイノベーション創出やイノベーションの普及速度の向上などが挙げられるが、まだまだ研究途上のためここでは定義に入れなかった。しかし、イノベーションコミュニティが担う役割について我々は注視しており、おそらく市場にとっての最善の策になると考える。

《仮説 1：市場の失敗》

「イノベーションコミュニティが存在することにより市場の失敗が解決され、効率的に技術開発が行なわれるようになる」

まず、ここで言う市場の失敗についてであるが、これは Hippel の著書の中では、経済学で述べられているように外部性や公共性などが原因で市場均衡が効率的にならないことを指

しているのではなく、単に市場全体にとって非効率が生じていることを指す[22].

消費財におけるユーザーイノベーションはメーカーやサプライヤーが起こすイノベーション比べてその発生を他者が知るのは非常に困難である。そのため、市場全体ではイノベーションの同時性があり、あらゆるところで同等のイノベーションが発生するため、市場にとって非効率をもたらすと考えられている。Hippel はマーケットにおける多くの複雑性を無視して簡単な意思決定の定量モデルを構築することで商品を購入するか自ら作るかの意思決定を取引コストの影響に焦点を当てて考えており、市場の失敗について、ユーザーがメーカーに問題解決を任せるよりもより低い取引コストで対応できる形態を探す動機を持つことを指摘している[22]。ただし、このモデルは消費者ではなくユーザー企業を対象としており、また、あくまでも説明のためのモデルであって、これが市場メカニズムを解明すること困難に思われる。我々はこの仮説を本モデルが支持するかどうかを検証する。

《仮説2：ユーザーイノベーションへの対策》

「企業は消費者の平均像を掴むことからイノベーションコミュニティにおけるニーズや技術を把握することに戦略を変えることで技術淘汰を防ぐことができる」

これは企業側からの視点であり、事例などではあまり多くの観測はされていないが今後は間違いなく重要となってくると思われる企業戦略の一つがこの仮説である。企業は今後市場においてイノベーションのジレンマに続く、ユーザーイノベーションのジレンマに陥ることになると我々は考える。それは企業が従来のマーケティング理論に基づき、STP を行い、さらには自社のコアテクノロジーを活かして、消費者集団もしくはセグメントの平均像のみにフォーカスするあまりユーザーイノベーションには対応できなくなるというものである。しかし、企業が対応する方法としてイノベーションコミュニティへのフォーカスとその操作が挙げられる。WEB2.0 の台頭により、今後イノベーションコミュニティは盛んに活動が行なわれることとなり、企業はイノベーションコミュニティに常に注視することでユーザーのニーズとリードユーザーのイノベーションを吸い上げることが大事である。この仮説では基本命題で生じる企業の崩壊と比べてイノベーションコミュニティへのフォーカスによる企業の進化過程を捉えることで仮説の検証を行なう。

以上の仮説をシミュレーション実験により示すことが出来れば本研究のモデルは今後の市場における一つの指針を与えることが可能であると考えられる。

4. ユーザーイノベーションモデル

本章ではユーザーイノベーションが生じる市場における経済主体の消費者や企業、そして経済財をモデリングする。本研究では1章で述べたように、エージェントベースアプローチによりボトムアップ的にモデリングを行なう。その際にマーケットダイナミクスを捉えるのに非常に有効であるCAMCaTフレームワークの支援を受けた(図1)。CAMCaTフレームワークの最大の特徴は消費者と企業が異なる適応度関数をもっており、消費者の進化が企業の進化に影響を与え、企業の進化が消費者の進化に影響を与えることで共進化を実現し、現実市場に近い振る舞いを示すことが可能である点である。CAMCaTフレームワークを用いた従来研究では、市場の基本特性や、標準化問題におけるマーケットデザインなどについて研究が行なわれており、マーケットダイナミクス分析に有効である可能性が高いと考えられている[29][8]。

本研究でのユーザーイノベーションモデルはCAMCaTフレームワークと同様に消費者集団、企業集団、商品の3つから構成される。各構成要素について4.1~4.3で詳しく説明する。

4.1 商品

市場には消費者にとっての複数の評価軸をもった商品が存在する。CAMCaTフレームワークにより支援を受けた従来研究では、商品は企業から商品空間に投入され、それを消

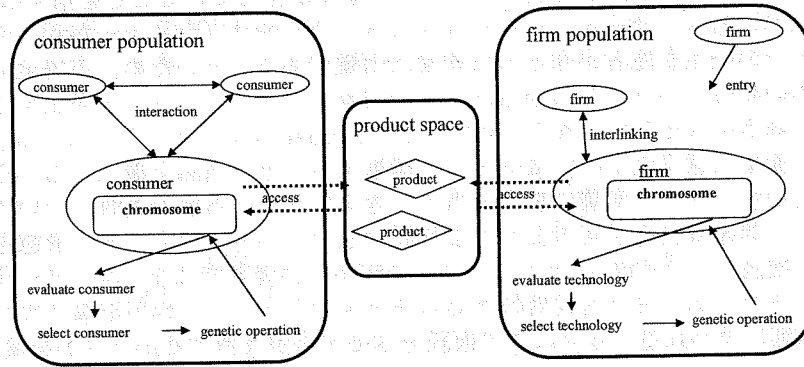


図 1. CAMCaT フレームワークの概要図

消費者が評価し、企業と消費者が互いに影響を及ぼしあっていたが、ユーザーイノベーションモデルでは消費者も商品を購入するため必ずしも商品空間に商品が投入されるとは限らない。

4.2 消費者集団

消費者集団には複数の消費者が存在する。各消費者はそれぞれ染色体表現された内部モデルを持ち、それに従い自らの商品選択（購買）、商品開発に関わる意思決定を行う。その後、内部モデルを進化的学習により修正することで意思決定の変更を行なう。以下では、消費者内部モデルと消費者行動モデルについて詳しく説明する。

4.2.1 内部モデル（染色体）

消費者はユーザーイノベーション市場で意思決定の際に考慮されるパラメータを染色体として有する。染色体は開発可能性、他者依存度、ネットワーク、選好、保有技術という5つのパラメータからなる。

開発可能性とは、市場における消費者の役割であり、消費者がイノベーションを起こすことを考えているリードユーザーなのか、それとも商品購入だけを行なう一般消費者なのかを表現するものである。他者依存度とは、市場において消費者が購買の際に流行に対してどの程度影響を受けるかの度合いであり、Rodgers のイノベーター理論に当たる消費者の市場における分布を表現するものである[2]。ネットワークとは、消費者がどの消費者とエッジが貼られているか、イノベーションコミュニティに属しているかを表現するものであり、ユーザーイノベーションにおけるキー概念である情報の非対称性や粘着性にかかわるものである。情報の非対称性に関わる問題としては、企業は自らの技術に対する専門家であるため自社のコア技術に依存した商品を作るが、消費者は自らのニーズに対する専門家であるため、企業のコア技術に依存した商品よりも自らのニーズを満たす商品こそが最適解として存在してしまう。また、情報の粘着性に関わる問題としては、消費者が持つニーズ情報や技術情報は非常に粘着性が高く、低コストでは移転が出来ないため、企業はどこに消費者情報があるかを探ることが非常に困難となる。これらの問題点から、消費者が持つ暗黙的で粘着性の高い情報は企業に情報移転を行なうことが困難になり、さらに消費者がイノベーションを達成しても消費者は周囲の人間で使うことが多いため企業は消費者の進化に影響を受けづらくなることが考えられる。これにより共進化が妨げられることになると考えられる。選好とは、消費者が商品を購入するための商品属性に対するカットオフ値やウェイトを表現したものであり、従来の CAMCaT フレームワークを用いた研究に準ずる。保有技術とは、消費者が開発可能な技術を表現したものである。消費者は自らの職業や趣味などから非常にニッチであり、企業には困難な商品改良を行なうための技術を有することがある。これが消費者の起こすユーザーイノベーションに反映される。

4.2.2 商品選択

消費者は自らの染色体に基づいて最も効用の高い商品を選択する。このときに消費者が

用いる染色体のパラメータとしては他者依存度、ネットワーク、そして選好である。消費者は企業から投入された商品空間にある複数の商品と、自らとエッジの貼られたリードユーザーが作った商品やコミュニティ内で公開されている商品の評価対象商品とし、その中から選好に基づいてカットオフされずに残った商品を効用関数により効用を算出し、最も効用の高い商品を購入する。

4.2.3 商品開発

開発可能性のある消費者は商品投入をするかどうかの意思決定を行い、投入を決めた消費者は商品開発関数に基づいて商品を開発する。このフェーズがユーザーイノベーションを表現しており、対象とする市場によってその頻度や商品の投入先は考慮する必要がある。

4.2.4 進化的学習（選好）

消費者は商品選択に関して、自らの選好を評価する。このとき、消費者はカットオフ値により認知努力の削減がどれだけ有効であったか、市場ニーズと比べて自らのカットオフ値がどの程度適切であったかなどが考慮される。その評価に従って消費者の選好は修正される。この内部モデルの修正は進化的学習と呼ばれ、市場への適応が高い消費者の選好が市場に残っていく。本研究では選択的交叉・突然変異という一連の遺伝的操作により進化的学習を表現し、現実市場における含意としては消費者間のバンドワゴン効果や情報交換、情報収集などと対応している。

4.2.5 進化的学習（保有技術）

消費者は開発に関して、自らの保有技術を評価する。このとき、消費者は自らの技術によりどの程度他人に受け入れられたか、名声を得ることが出来たか、自分のニーズを満たすことが出来たかなどが考慮される。その評価に従って消費者の保有技術は修正される。この保有技術の修正も進化的学習であり、選好と合わせて消費者の内部モデルには二つの進化的学習プロセスが働いていることになる。保有技術に対しても選択的交叉・突然変異という一連の遺伝的操作により進化的学習を表現し、保有技術における進化的学習の現実市場における含意としては消費者間の共同開発やアシスト、技術普及などと対応している。

4.3 企業

企業集団には複数の企業が存在する。各企業も消費者と同様にそれぞれ染色体表現された内部モデルを持ち、それに従い商品開発・投入に関わる意思決定を行う。その後、内部モデルを進化的学習により修正することで意思決定の変更を行なう。以下では、企業内部モデルと企業行動モデルについて詳しく説明する。

4.3.1 内部モデル（染色体）

企業はユーザーイノベーション市場に関わらず、従来の CAMCaT フレームワークを用いた研究と同様の意思決定を行うため基本的には従来研究のパラメータである戦略と保有技術を染色体として有する。しかし、本研究で示したい企業行動の一つに企業視点を変えるという戦略的行動があるために、上述の 3 つのパラメータに加えて、周囲状況パラメータを染色体に加える。

戦略とは、本研究では技術戦略を表し、どの技術を重視して技術獲得を行なおうとしているのかを表現する。これにより提携先企業の意思決定を行う。保有技術とは、投入商品に反映される技術のことで、複数の技術属性の集合として表現される。周囲状況とは、企業の環境として認識できる範囲を表す。従来の研究では商品空間のみを企業の認識できる範囲として定められていたが、本研究ではこの認識の範囲が企業の失敗へと導いている可能性があるため、このパラメータを加えることで新たな企業戦略を提案する。

4.3.2 商品投入

企業は自らの染色体に基づいて商品投入の意思決定を行い、商品を商品空間に投入する。このときに企業が用いる染色体のパラメータとしては保有技術である。企業は商品投入の意思決定をした際には保有技術を商品開発関数に従い、商品属性に変換し、商品を開発する。

4.3.3 進化的学習

企業は商品投入に関して、自らの内部モデルを評価する。その際に、商品空間で自らの商品がどの程度シェアを得ているか、自社技術が市場において通用するものかどうか、今後の自社だけの開発でリスクはないのかなどが考慮される。その評価に従って企業の内部モデルは修正される。この内部モデルの修正は消費者同様に、適応が高い企業の内部モデルが市場に残っていくように行なわれる。本研究では選択・交叉・突然変異という一連の遺伝的操作により進化的学習を表現し、現実市場における含意としては技術提携やクロスライセンス、技術開発などに対応している。

5. シミュレーションモデル

本章では、4章でのモデル表現をシミュレーションが行なえるように数理的モデルとして抽出する。この部分に関してはエージェントベースシミュレーション技術がまだ確立されていないことから、非常に困難な部分ではある。しかし、本研究で支援を受けた CAMCaT フレームワークの従来研究により、そのシミュレーションモデルの有効性が述べられていることからこれらに準じた効用関数や遺伝的操作を最大限利用してモデリングを行なう。まず、各モデルに対応するシミュレーションモデルを説明する前に、シミュレーションフローについて説明する。シミュレーションは消費者集団と企業集団を生成し、それぞれのモデルに従ったフローとなっている（図 2）。以下ではこのフローの順にシミュレーションモデルを説明していく。

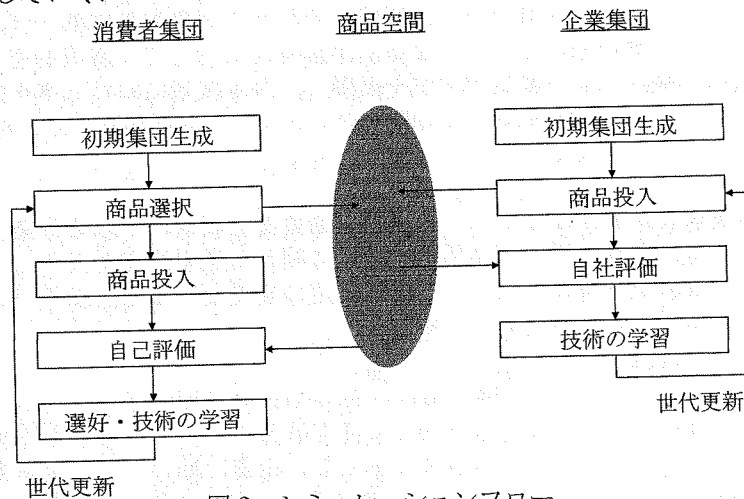


図 2. シミュレーションフロー

5.1 商品のシミュレーションモデル

商品には 5 つの属性軸を与え、最大値を 100 とする。本論では対象商品を定めていないが、市場が決まっている場合は対象商品の認知可能範囲を属性軸の数とする。

$$\text{商品 } i \text{ の属性 } A = (a_{ik}) \quad (1 < a_{ik} < 100)$$

ただし、商品ナンバー $i=1,2,\dots,l$ とし、商品属性 $k=1,2,\dots,5$ とする。

5.2 消費者エージェントのシミュレーションモデル

消費者集団には購買もしくはイノベーションを起こそうとする消費者エージェントが 100 人存在する。初期集団が生成された後、5.2.2-5.2.5 を 1 世代として、これを 500 世代繰り返す。ここで世代という言葉を用いたのは進化的学習に遺伝的操作を用いていることに由来する。現実世界では対象市場における商品選択サイクルや情報交換サイクルなどを

表現している。

5.2.1 初期集団生成

各消費者エージェントの染色体は開発可能性 I 、消費者が流行商品に対してどの程度敏感であるかを表す他者依存度 D 、どの消費者とエッジが貼られているかを表す E 、イノベーションコミュニティに加入しているかどうかを表す N 、各商品属性軸に対するカットオフ値 C 、商品購入を行う際に重点を置く属性を決定するウェイト W 、商品開発の際に必要なとする保有技術 T からなる。

消費者 i の染色体 $= (I, D, E, N, C, W, T)$

開発可能性 $I = (i_i)$ ($i_i = 0, 1$)、他者依存度 $D = (d_i)$ ($0 \leq d_i \leq 1$)、

エッジ $E = (e_i)$ ($e_i = 1, 2, \dots, 100$)、コミュニティ $N = (n_i)$ ($n_i = 0, 1$)

カットオフ値 $C = (c_{ik})$ ($c_{ik} = 1, 2, \dots, 100$)、ウェイト $W = (w_{ik})$ ($\sum_k w_{ik} = 1$)

保有技術 $T = (t_{ik})$ ($t_{ik} = 1, 2, \dots, 100$)

ただし、商品属性 $k = 1, 2, \dots, 5$ とする。

次に、消費者ネットワークについて説明する。消費者ネットワークはイノベーションコミュニティ等を参考に構築することが最良ではあるが、ネットワーク指標に関わる研究までは現在行なわれていない。また、Hippel によるイノベーションコミュニティの定義でもコミュニケーション手段による情報伝達経路で相互接続された個人や企業で構成されるノードと述べており、これではネットワーク指標を表現できるほど詳細ではない[22]。そのため、本研究ではいくつかのネットワーク研究で考案されている CNN モデル[18]や BA モデルでシミュレーションを行なう。また、内田らによる SNS のネットワーク構造を分析した研究を参考にすると、SNS が CNN モデルに類似していることが分かっており、今後は WEB 上のやりとりがイノベーションコミュニティにおいても行われると考えるとネットワークの与え方は CNN モデルが良いと考えられる[1]。しかし、シミュレーションを行った際にネットワークに依存した結果が生じる可能性もあるため、多くの現実市場におけるネットワークが冪乗分布に従うことが知られていることから BA モデルでのシミュレーションも試みる[17]。また、本研究ではエッジによるネットワークだけでなくイノベーションコミュニティの発生が必要であり、三井らの研究で行われている CNN モデルを発展させる形でノードとコミュニティを生成するモデルを参考に CNN の改良モデルを本研究では用いる[14]。

《CNN 改良モデル》

- 1) 確率 p で消費者を追加し、ランダムに選択した既存消費者 i とエッジを貼る。その際、新消費者と選択消費者 i の全ての隣接消費者とのエッジを次のエッジ候補となる潜在のエッジとして保存する。また、選択消費者 i がイノベーションコミュニティに参加している場合には、イノベーションコミュニティと新消費者とのエッジを、次のリンク候補となる潜在的コミュニティリンクとして保存する。
- 2) 確率 q で、潜在のエッジのどれか 1 つを選び実際にエッジを貼る。その際、新しくエッジの貼られた消費者 i, j について、消費者 i とエッジの貼られている全ての消費者と、消費者 j とのエッジを、次のエッジを貼る候補となる潜在のエッジとする。また、消費者 j とエッジの貼られている全ての消費者と消費者 i とのエッジを、次のエッジを貼る候補となる潜在のエッジとする。消費者 i とイノベーションコミュニティがリンクされている場合には、イノベーションコミュニティと消費者 j とのエッジを、次のリンク候補となる潜在的コミュニティリンクとする。また、消費者 j とイノベーションコミュニティがリンクされている場合には消費者 i とイノベーションコミュニティのエッジを次のリンク候補となる潜在的コミュニティリンクとする。

3) 確率 $1-p-q$ で、潜在的コミュニティリンクのどれか1つを実際にリンクする。その際、イノベーションコミュニティと、消費者 i とエッジの貼られている全ての消費者とのエッジを、次のリンク候補となる潜在的コミュニティリンクとして保存する。また、新しくコミュニティに参加した消費者 i とそのコミュニティに参加している既存消費者とのエッジを潜在的エッジとして保存する。

5.2.2 商品選択

各消費者は自らが持つネットワークと全消費者が共通に認識できる商品空間に存在する商品の中から、以下の効用関数を用いて自らの効用を算出し、最も効用の高い商品を購入する。また、対象とする市場によってはコミュニティが存在しない場合もあるので消費者の購買範囲となるネットワークはシミュレーションの際に市場にあわせて設定する必要がある。

$$u_{ij} = \left(\sum_k b_k * a_{ijk} * (d_i) + \sum_k w_{ik} * a_{ijk} * (1-d_i) \right) * c_j$$

a_{ijk} は消費者 i が商品 j の属性 k に対して付けた評価値であり、これは商品を認識した際に商品属性の値を平均とした正規分布により算出されているため、同じ商品に対しても消費者の認識の違いが表現されている。 b_k は流行商品の属性値をウェイト表現したものである。 Σ の 2 項のうち前項は流行商品のウェイトをもとに算出した効用であり、後項は自らの商品属性に対するウェイトにより算出した効用である。この 2 項を他者依存度に従ってどちらに重みを置くかを算出している。また、 c_j は商品 j をカットオフした場合は 0、しない場合は 1 と表現される。

5.2.3 商品投入

商品を開発してイノベーションを起こそうとする消費者は、商品を自ら知人やコミュニティに商品投入を行う。ユーザーイノベーションに関わる実証研究では、消費者は思いつきやエージェンシーコスト、もしくは自らの楽しみのために商品開発を行なうという。本研究ではある一定の商品投入確率 $p_{crelease}$ で消費者は商品投入の意思決定を行う。投入を決定した場合には以下の開発関数の基でどの属性の開発を行なうかの意思決定を行う。

$$develop_i = \begin{cases} develop & a_{ik} & \text{if } \exists k(c_{ik} < t_{ik}) \\ not\ develop & & \text{otherwise} \end{cases}$$

これは、消費者 i は自らのカットオフ値よりも高い技術を持っている場合にはその属性の開発を行なうことを意味している。直近に買った商品の属性のうち開発を決めた属性を a_{ik} に改善することで自らの効用を上げることを試みる。これがユーザー自らのニーズにおける問題を解決するユーザーイノベーションに当たる部分である。

5.2.4 自己評価

消費者は市場における商品選択や商品購入という一連の活動を行なった後、自己評価を行なう。

《商品選択後評価》

消費者は商品購入の意思決定が正しかったかどうかを以下の適応度関数に従って自己評価する。

$$fp_i = w_a * (1 - ncut) + w_b * sumcut + w_c * (1 / maxcut) + w_d * (Trend)$$

ただし、 $w_a + w_b + w_c + w_d = 1$

各消費者はカットオフされずに残る商品 ($ncut$) が多すぎると商品属性を正確に認知することが比較的困難になるためカットオフ値の和 ($sumcut$) は高い方がよいが、カットオフ値の最大値 ($maxcut$) が高すぎるとその属性の認知を誤りやすくなり、また、市場における流行商品と自らのカットオフ値の差 ($Trend$) が大きすぎると市場で望む商品を得ることが出来なくなるため評価が低くなることを適応度関数は表している。

《商品投入後評価》

消費者は商品投入により知人から名声を得ることができたか、もしくは周囲のイノベーションに貢献できたかを以下の適応度関数に従って自己評価する。

$$f_i = w_a * share + w_b * overcut + w_c * (1 / maxtech) + w_d * sumtech$$

ただし、 $w_a + w_b + w_c + w_d = 1$

各消費者は自らの製品を周りの人に使ってもらえること (*share*) は周りから名声を得るといったベネフィットがあるため、高く評価される。また、技術を多く持っている場合 (*sumcut*) や、自らのニーズを解決できる技術 (*overcut*) を持っている消費者は開発能力が高く、アシストも行ないやすいが、あまりにも高すぎる (*maxcut*) と周りの利用者が認知できなかつたり、自らのカットオフ値を大きく上回ってしまい、自らが商品の良さを判断できなくなってしまうため評価が低くなることを適応度関数は意味している。

5.2.5 選好・技術の学習

消費者は自己評価した後、自らの選好と技術を修正する。本研究では染色体で表現された内部モデルの世代における修正を進化的学習と呼ぶ。進化的学習には遺伝的操作を用いる。本研究では一般的な遺伝的アルゴリズムのように個体自体の淘汰、再生を行わず、5.2.4 の評価に基づいて選択的交叉と突然変異を用いた。その理由としては CAMCaT フレームワークを用いた従来研究のように集団全体における内部モデルの修正ではなく、エッジにおけるインタラクションに基づき学習を行なうためである。また、消費者の進化的学習プロセスは選好と保有技術で各々作用している。

《選好の進化的学習》

(i) 選択的交叉

本研究は従来とは異なり新たな遺伝的操作である選択的交叉を用いる。従来は集団におけるバンドワゴン効果を選択によりいくつかの染色体が淘汰されることで表現を行っていたが、本研究ではバンドワゴン効果をエッジやコミュニティ内での情報伝播の形で明示的に表現する。選択的交叉はエッジとコミュニティ内とでそれぞれ行なう。1 消費者ずつ順番に取り出し、その消費者とエッジの貼られている消費者をランダムに交叉相手として取り出す。選択的交叉を行うかどうかは選好に対する選択的交叉確率 pP_{cross} によって決定する。選択的交叉を行なう決定した場合には、5.2.4 での自己評価の値に基づいて 2 者の適応度を比較する。その後、図 3 のように適応度の高い消費者のマスクのかかっている部分のカットオフ値とウェイトを適応度の低い消費者に複製する。本研究でこれを選択的交叉と呼ぶのは一様交叉において適応度の低い方のみが影響を受けていることからきている。これは消費者間の情報伝達を意味しており、本研究の鍵となるシミュレーション技術になる部分にあたる。

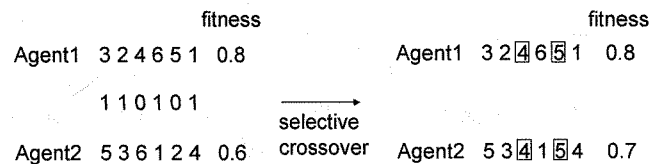


図 3. 選択的交叉

(ii) 突然変異

各消費者は選好突然変異確率 pP_{mut} に従って突然変異を行なう。これは消費者の情報収集による選好の変化などを意味している。

《保有技術の進化的学習》

(i) 選択的交叉

保有技術も選好と同様に消費者間において選択的交叉が行なわれる。ここでは用いる技術の選択的交叉確率を pT_{cross} とする。これは技術を持っている人が他に対して技術を与え

ることでイノベーションのアシストを行なうことを意味している。

(ii) 突然変異

各消費者は突然変異確率 $pTmut$ に従って突然変異を行なう。これは消費者が潜在的に持っている技術が市場における製品に利用可能であることの気付きやひらめきを意味している。

5.3 企業エージェントのシミュレーションモデル

企業集団には技術開発を行い、市場に商品投入をすることでシェアを取る企業エージェントが 10 企業存在する。初期集団が生成された後、5.2.2-5.2.4 を 1 世代として、消費者集団の行動に沿ってこれを 500 世代繰り返す。

5.2.1 初期集団生成

各企業エージェントの染色体は、どの技術を重視して商品開発を行うか、また提携先を決めるために用いる技術戦略 C 、商品に反映される保有技術 T 、企業環境としてどこにフォーカスするかを決める周囲状況 S からなる。

$$\text{企業 } i \text{ の染色体} = (C, T, S)$$

$$\text{技術戦略 } C = (c_{ik}) \left(\sum_k c_{ik} = 1 \right), \text{ 保有技術 } T = (t_{ik}) \ (t_{ik} = 1, 2, \dots, 100)$$

$$\text{周囲状況 } S = (s_i) \ (0 \leq s_i \leq 1)$$

ただし、商品属性 $k = 1, 2, \dots, 5$ とする。

本研究では周囲状況 S を取り入れることで企業が状況把握できる範囲を変えることを可能にした CAMCaT フレームワークを用いた従来研究では企業は商品空間のみの状況を判断していたが、この周囲状況 S を取り入れることで企業は消費者集団の状況も把握することが可能となる。

5.2.2 商品投入

企業 i は一定の確率 $pFrelease$ によって商品投入を行なう。本研究は企業間における商品投入頻度については本論における問題状況と大きな関わりがないため優劣を与えない。企業は商品投入の意思決定をした場合には保有技術 T を投入商品の属性 A に変換することで商品を製造し、商品空間に投入する。本研究では各技術属性に対しては意味を与えていないので単純に技術属性と商品属性を一対一対応させる。

5.2.3 自社評価

企業は商品投入の後、市場において自社商品や自社技術が受け入れられているかを以下の適応度関数に従って自社評価する。

$$f_i = w_a * share + w_b * (1 - risk) + w_c * selfvalue + w_d * sumtech$$

$$selfvalue = \sum_k c_{ik} * t_{ik}, \quad risk = s_i * \sum_k |t_{ik} - a_{pk}| + (1 - s_i) * \sum_k |t_{ik} - a_{ck}|$$

ただし、 $w_a + w_b + w_c + w_d = 1$

企業が市場で優位というのは市場シェア ($share$) を得ており、技術が高く ($sumtech$)、商品空間を重視している企業は商品空間における流行商品 p から自社の技術が離れている度合いが、また、消費者コミュニティを重視している企業はコミュニティにおける流行商品 c から自社の技術が離れている度合いが小さいほうが良く ($risk$)、自社技術と技術コンセプトがうまく適合 ($selfvalue$) している方が市場において高い評価をもらえることを適応度関数は示している。

5.2.4 技術の学習

企業は消費者集団とは異なりネットワークを生成していないので、企業集団での進化的学習は従来研究と同様に (i) 選択, (ii) 交叉, (iii) 突然変異というプロセスで行なった。また、企業で進化的学習の対象となる染色体パラメータは技術戦略と保有技術であり、これ

らは同時に学習する。

《進化的学習》

(i) 選択

企業評価に基づいて染色体の選択を行う。技術選択には Baker の線形ランキング選択を用いる。ここでランキング選択を用いたのは企業集団の数は消費者数に比べて少なく、ルーレット選択などの他の選択方法による初期段階での収束を防ぐためである。予備実験でルーレット選択を用いたが、この場合はバンドワゴンを掴んでいなくても一過性の流行を掴んだ企業がある時点で他企業技術を飲み込んでしまい、現実社会においては考えづらい市場競争の結末が生まれてしまった。

(ii) 交叉

各企業は消費者集団とは異なり、ネットワークが貼られていないので、集団全体からランダムに 2 個体を選び、交叉確率 p_{Cross} で交叉させる。本研究で用いる交叉は一様交叉である。

(iii) 突然変異

ている。このとき周囲状況 $s_i = 1$ の場合は自社技術を用いた改良を行い、 $s_i = 0$ の場合は消費者コミュニティにおける商品を利用して技術開発を行なう。

6. シミュレーション結果

本章では 3 章で提示した基本仮説を示すことでモデルの妥当性を確認すると共に、ユーザーイノベーション市場における仮説の検証を行なう。基本仮説を示すために以下のようにパラメータ設定を行なうことでシミュレーションを行なった。

		適応度				商品投入		交叉・突然変異					
		w_a	w_b	w_c	w_d	$p_{Crelease}$	$p_{Frelease}$	p_{Pcross}	p_{Pmut}	p_{Tcross}	p_{Tmut}	p_{Cross}	p_{Mut}
消費者	f_p	0.30	0.30	0.10	0.30	0.05	0.05	0.6	0.05	0.6	0.05	0.6	0.05
	f_t	0.40	0.25	0.20	0.15								
企業	f	0.35	0.25	0.30	0.10								

表 1. パラメータ設定

《シミュレーション 1: 立ち上がり問題の解消》

リードユーザーが商品投入を行なわない状態で、市場に商品普及が行なわれて、企業技術が向上し、消費者の選好が進化していることを確かめるためのシミュレーションを行なった。図 4 は市場において 100 人中何人の消費者が商品を選択（購入）しているかを示したものであり、図 5 は消費者選好の適応度の推移を表したものである。CAMCaT フレームワークをもちいた従来研究では市場における立ち上がり問題の考察が行われている[29]。企業の技術進化が速い場合には消費者はその技術への認知を行うことができず市場においてカットオフが困難になり、消費者の市場への満足度（適応度）が向上しない場合や、技術の進化が遅く消費者の選好の進化が速いときには商品選択を行わない場合がある。互いがうまく進化していく状況が市場に生まれない場合には需給関係成立せず、それ以降の考察は意味のないものになってしまうために立ち上がり問題が解消できているかを確認する必要がある。本モデルでは図 4, 5 のように商品選択が常に行われ消費者の進化が達成されていることから立ち上がり問題は解消されている。

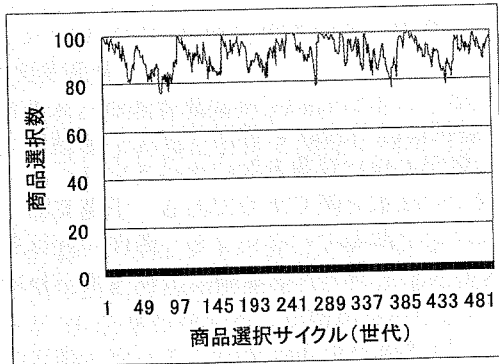


図4. 商品選択数推移

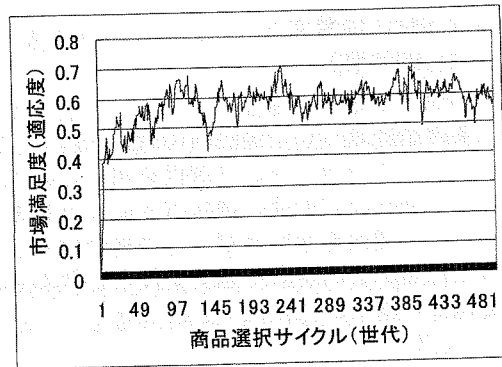


図5. 消費者の適応度推移

《シミュレーション2: リードユーザーの存在》

イノベーションを起こそうとするリードユーザーを市場に15%存在するようにランダムに発生させた場合のシミュレーションを行なった。本シミュレーションではリードユーザーは自ら開発した商品をエッジ上のみ公開するので知人のみがリードユーザーのイノベーションを利用でき、企業の周囲状況パラメータ $s_i=1$ と設定することで、企業は商品空間のみをフォーカスし、消費者集団へのアクセスは不可能とする。消費者ネットワークはCNNモデルを採用し、図6のようなネットワークを生成した。また、リードユーザーが商品投入を開始するのを50世代とした。図7は企業が開発した商品とリードユーザーが開発した商品が選択された推移を示したものである。

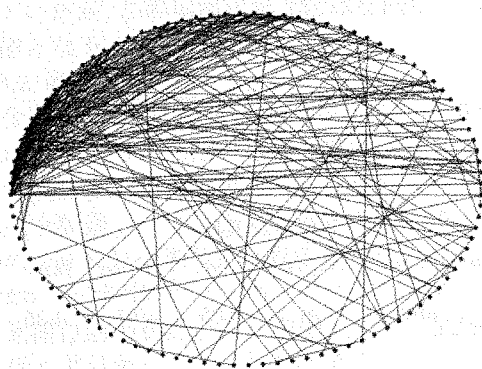


図6. 消費者ネットワーク(CNN)

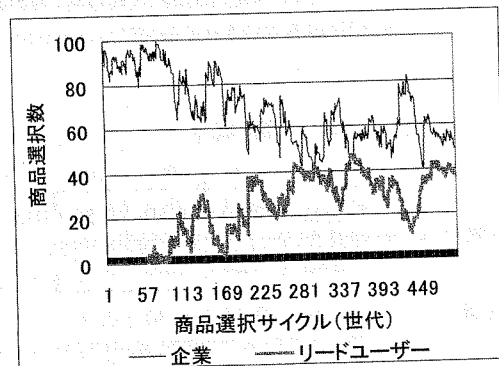


図7. 商品選択数推移 (コミュニティなし)

ネットワークは図4のように一部のエージェントが高い次数を持つ冪乗分布になっている。この中でリードユーザーは自らの知人に商品を紹介し、利用してもらえるように技術開発を行っている。その結果、図7のように徐々にリードユーザーの商品が消費者に選択されていく。企業はリードユーザーにアクセスすることは不可能であり、リードユーザーの商品は商品空間には公開されないことから企業はこのシェア変化に気付くことはできず、やがて企業のシェアは減っていつている。本研究ではネットワークの成長については考慮していないことからシェアはリードユーザーと繋がっている消費者数までしか伸びないが、現実市場ではネットワークは成長するため、企業はシェアを全く得ることが出来なくなる可能性があると考えられる。

《シミュレーション3: コミュニティの生成》

シミュレーション2の条件に加えて消費者コミュニティを発生し、消費者コミュニティにおける消費者間の情報交換を可能にした。また、発生したコミュニティには全エージェントのうち32%が属していた。このときの商品選択数の推移を示したのが図8である。

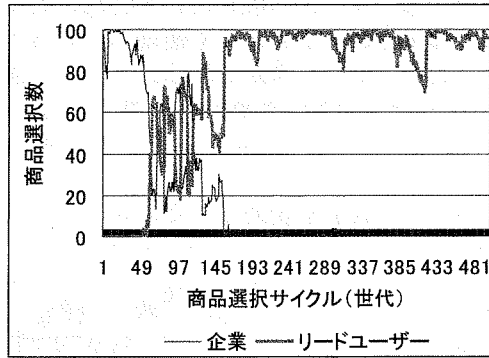


図8. 商品購入数推移 (企業, リードユーザー)

コミュニティが存在することによって消費者の情報交換は活発になり、企業の技術を上回る商品がリードユーザーの手によって開発されていることが図8より分かる。これはリーナスの法則で述べられている「Given enough eyeballs, all bugs are shallow. (目玉の数さえ十分あれば、どんなバグも深刻ではない)」に類似しており、ユーザー一人一人は企業の技術に劣っていてもそれが多数になれば企業を上回ることが可能なのである[21]。また、リードユーザーの技術力はコミュニティがない場合に比べるとコミュニティがある場合は1.25倍の技術力になっていた。コミュニティがない場合はリードユーザー間のインタラクションが少なく商品開発に利用できる技術交換が行なわれないため、リードユーザー一人で商品開発に利用できる技術をひらめき開発しなければならないため無駄な技術開発が行なわれていることになる。しかし、コミュニティが存在することで技術交換が促進され効率よく技術利用と商品開発が可能となり、企業を上回る技術力を得ることができたと考えられる。

《シミュレーション4: リードユーザー対策》

企業はユーザーイノベーションに対応することはここまでを見てきて非常に難しいことが分かった。我々は、企業がユーザーイノベーションに対応できない原因が、企業が市場において商品空間における流行商品を追うことが良いと判断し、自社を高い評価をしてしまっていることだと考える。つまり、企業がユーザーイノベーションに対応していくためには商品空間に目を向けるのではなく、消費者集団の消費者コミュニティに目を向けることが必要であると考えられる。本シミュレーションでは企業の周囲状況パラメータ $s_i = 0$ と設定することで、企業はコミュニティでの流行商品を追随し、コミュニティの商品を利用して技術開発が可能であるようにシミュレーションモデルの設定を行なった。そのときの商品選択数推移は図9である。また、シミュレーション3のときと比べてリードユーザー対策を行った場合の企業の市場適応度推移を示したのが図10である。

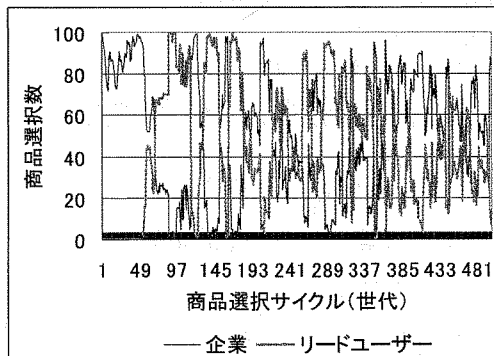


図9. 商品選択数推移 (対策あり)

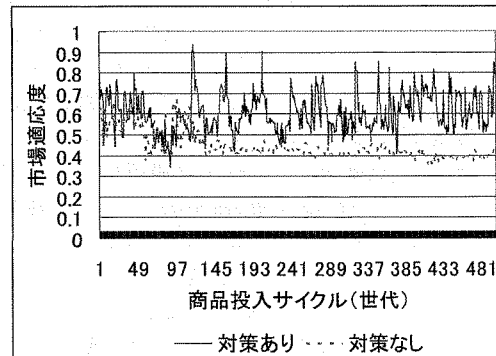


図10. 企業の適応度推移

図9よりリードユーザーと企業のシェアの取り合いが行なわれていることが分かる。図10を見てもわかるように企業は少なからずシェアを獲得しているため、コミュニティへのフォーカスは企業戦略として有効であると考えられる。しかし、消費者集団から生まれる商品は自らのニーズのソリューションという形で商品投入されるため粘着性の高い消費者のニーズを捉えることは企業にとって不可能であるため企業が市場にロックインをかけることは困難である。

次に、表2ようにパラメーター設定を変えてシミュレーションを行なった結果の商品選択数推移を図11に示す。

交叉・突然変異					
pP_{cross}	pP_{mut}	pT_{cross}	pT_{mut}	pC_{cross}	pM_{mut}
0.6	0.05	0.1	0.01	0.6	0.05

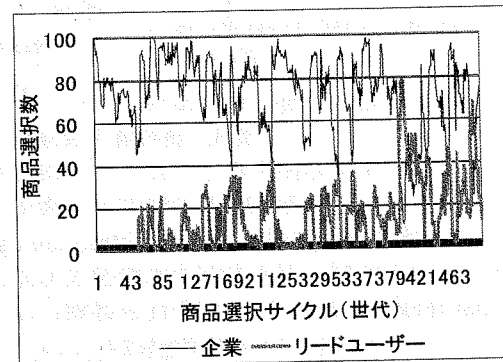


表2. パラメータ設定

図11. 商品選択数推移 (対策あり)

図11より、コミュニティでの技術の情報交換(pT_{cross})が少ない場合や、消費者の粘着性の高い技術のひらめき(pT_{mut})が起こりにくい、もしくは技術が利用しにくい市場において企業は高いシェアをとり続けることが可能であることが分かる。

ここまでのシミュレーション結果から、3章で提示した仮説について検証する。まず、基本仮説である「消費者を集団として捉えて、その大部分に受け入れられる商品を生み出そうとする企業はユーザーイノベーションに対応できず、最終的にはその技術は淘汰される」についてであるが、シミュレーション2, 3により、企業はリードユーザーが起こすイノベーションに対応できないことが分かった。その理由は、消費者が持つ選好や技術は粘着性が高く、また、消費者と企業には情報の非対称性があることから企業が自ら持つ技術や企業集団内だけのインタラクションによって得た技術は多様な消費者のニーズを満たすことが出来ず、商品空間ばかりにフォーカスすることが原因であると考えられる。

次に仮説1「イノベーションコミュニティが存在することにより市場の失敗が解決され、効率的に技術開発が行なわれるようになる」について考察する。シミュレーション2, 3を比べたところ、コミュニティがない場合比べてコミュニティがある場合はリードユーザーの技術力は1.25倍になっていた。これは消費者コミュニティにおけるインタラクションにより、技術のアシストが頻繁に行われるようになったためであり、リードユーザーは周囲のリードユーザーと同じ技術向上を行うことなく、周囲の技術に上乗せする形で商品開発が可能になった。そして、消費者集団全体として非常に効率的な商品開発が行えていると考えられる。

最後に仮説2「企業は消費者の平均像を掴むことからイノベーションコミュニティにおけるニーズや技術を把握することに戦略を変えることで淘汰されなくなる」について考察する。シミュレーション4をみると分かるように、企業はシェアを少なからずとることが可能になった。これは企業が商品空間における流行商品にフォーカスするのではなく消費者コミュニティでの流行商品にフォーカスすることで多くの消費者ニーズにおける問題を解決する商品属性を知ることが可能になり、自社技術ではなく、消費者コミュニティでの流行商品に基づいた技術開発を行うように戦略を変えたためである。近年では企業は自社

のコアテクノロジーを軸に商品を作ることが良いといわれているが、このシミュレーション結果を見ると、ユーザーイノベーションが生じる市場では自社技術を見捨てるのが企業がシェアをとり続けることができる有効な戦略の一つであるということが分かった。以上より、シミュレーション 2, 3, 4 により 3 章の仮説を本モデルが支持することが分かった。

しかし、ここで1つ考えなければならないのはシミュレーション 4 までは消費者ネットワーク構造として CNN モデルを利用してきたが、ネットワーク構造が異なる場合に、シミュレーション 4 までの結果が支持できない場合にはネットワーク構造を含んだ仮説を考える必要があるため、ネットワーク構造の違いによるシミュレーションを行う。また、リードユーザーの生成についてもシミュレーション 4 まではランダムに 15% 生成していたが、リードユーザーが持つ次数やリードユーザーの割合等でシミュレーション結果にどのような影響を与えるかを調べる必要がある。

《シミュレーション 5: ネットワーク構造の違い》

本シミュレーションでは、パラメータ設定をシミュレーション 2, 3, 4 と同等にし、BA モデルを用いてシミュレーション 2, 3, 4 を行った。以下の図 12 は BA モデルにより構築した消費者ネットワークである。図 13 はコミュニティがない場合の商品選択数推移、図 14 はコミュニティがある場合の商品選択数推移、図 15 は企業がコミュニティをフォークス可能にした場合の商品選択数推移である。

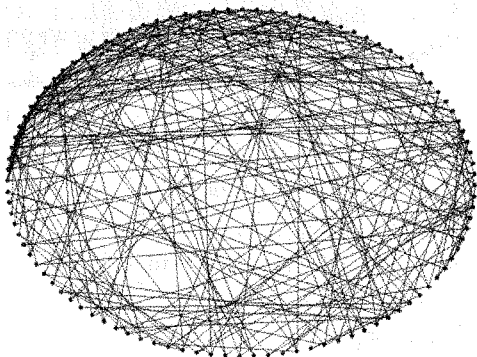


図 12. 消費者ネットワーク(BA)

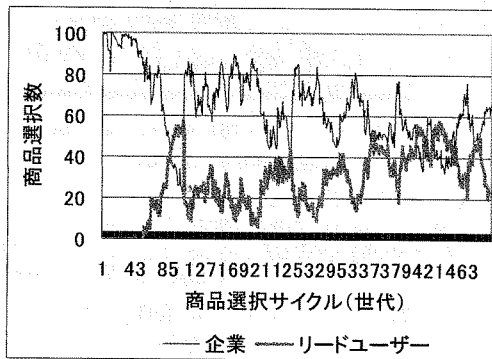


図 13. 商品選択数推移 (コミュニティなし)

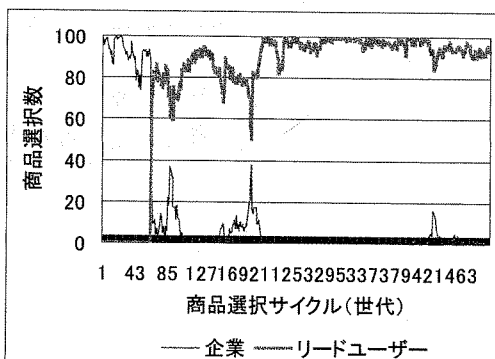


図 14. 商品選択数推移 (コミュニティあり)

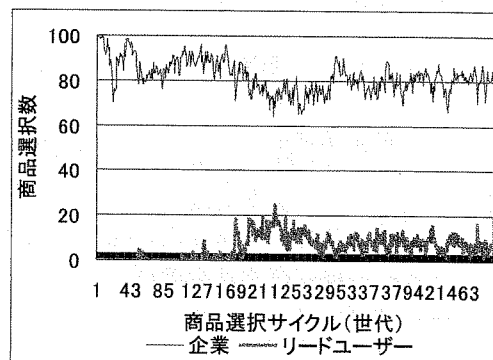


図 15. 商品選択数推移 (対策あり)

消費者ネットワークは冪乗分布であり、図 6 に比べて冪指数の低いネットワークを生成した。図 13 から図 15 で分かるように、このネットワークにおいてもリードユーザーの投入

商品はシェアを獲得しており、コミュニティがない場合に比べてコミュニティがある場合は企業はシェアを獲得出来ている。この結果より、ネットワークによる情報の非対称性と粘着性の表現が行われていれば本モデルによるシミュレーションではネットワーク構造によりそのシェアの獲得度合いには影響があるものの仮説を満たす結果はネットワーク構造に依存しないと考えられる。つまり、今後イノベーションコミュニティが生じる市場においては多くの場合に企業がこのような事態に直面すると考えられる。

《シミュレーション 6: リードユーザーの発生させ方の違い》

本シミュレーションでは、自ら商品開発を行うリードユーザーを異なる発生方法によりシミュレーションを行い、比較分析を行った。はじめにシミュレーション 2 の設定においてネットワークにおける密な部分にリードユーザーを多く発生させた場合と、ネットワークの疎な部分にリードユーザーを発生させた場合、そしてネットワーク全体にランダムに発生させた場合でシミュレーションを行った。このときの商品選択数推移が図 16 である。また、シミュレーション 4 の設定においてリードユーザーがコミュニティ内のみにいる場合とランダムに発生させた場合においてシミュレーションを行った。このときのリードユーザー投入商品の選択数推移が図 17 である。

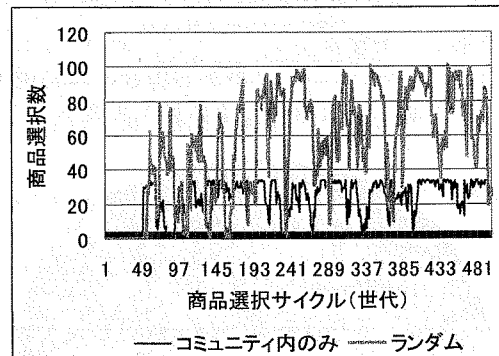
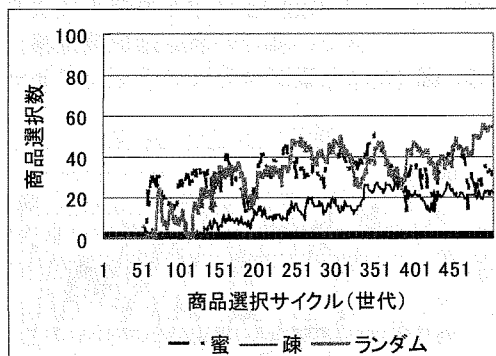


図 16 商品選択数推移 (コミュニティなし)

図 17 商品選択数推移 (コミュニティあり)

図 16 より、ネットワークの疎な部分にリードユーザーがいる場合は周囲の知人が少ないことから企業にとっては大きな危機となるとことは無いと思われるが、世代を重ねていくと、疎な部分においても技術伝播が行われ、さらには同様の選好を持ちやすくなることから普及が進んでいくため、ネットワークの成長を考えると企業シェアを奪う可能性があると考えられる。一方でネットワークの密な部分にリードユーザーがいる場合はリードユーザー間で技術の交換が多く行われると共にリードユーザー以外の周囲のエッジが多く張られていることから普及しやすくなっている。また、ランダムにリードユーザーが発生した場合にはリードユーザー間での技術の交換は活発でないことから、投入直後は密な部分よりもシェアをえることが出来ていないが、世代を重ねるにつれて多くの商品選択数を獲得している。これは疎な部分のリードユーザーが密な部分のリードユーザーが公開できない範囲を補完してくれているためと考えられる。また、図 17 より、コミュニティ内のみリードユーザーを発生させた場合にはコミュニティの外部の消費者は企業がコミュニティ技術を利用して投入した商品より高度な商品を選択することからリードユーザーの商品の多くはコミュニティ内のみの消費者が選択していることになる。一方でランダムにリードユーザーを発生した場合にはリードユーザーの技術がコミュニティ外のリードユーザーにも伝播することによって技術のアシストが活発に行われ、コミュニティ外におけるリードユーザーの商品が普及していく。このようにリードユーザーはコミュニティ内のみ存在し、コミュニティでその商品を普及させるよりもコミュニティ外への伝播経路にリードユーザーが存在することが重要である。コミュニティがあることは一見そのコミュニティ内のみの普及が企業にとっての危機と思われるが、この結果を見ると分かるようにコミュニティ外部

への普及の役割を担う消費者が存在することが重要であると考えられる。

シミュレーション 5,6 の結果より、ネットワーク構造よりも、リードユーザーがどこにどの程度発生するかによって市場のダイナミクスに影響を与えることが分かった。ユーザーイノベーションが生じる市場においては、企業はコア技術に固執して商品投入を行うよりも、消費者間のインタラクションがどこで行われているかを把握できるように消費者ネットワークの管理技法を考え、いかに情報の非対称性を解消できるかが重要となると考えられる。

7. おわりに

ユーザーイノベーションに関わる実証研究の多くはリードユーザーがイノベーションを起こす動機やイノベーションコミュニティの役割などが研究されてきたが、それらが市場全体に及ぼす影響についての研究は行われてこなかった。そこで、本研究では、CAMCaT フレームワークの支援を受けて、ユーザーイノベーションによって市場に生じるダイナミクスを分析するためのエージェントベースモデルを提示し、エージェントベースシミュレーションを行うことで、市場の現象メカニズムを解明、さらには市場全体のダイナミクスの把握を可能とした。今後はこのモデルにより予測困難なイノベーションに対して事後的ではなくあらかじめ市場分析が可能となり、意思決定支援を行う可能性が高くなると考えられる。

本論で想定している消費財の市場では、現在は技術交換の頻度も小さくユーザーイノベーションが観測される市場は限られているため、現在の現実市場においては企業にとってユーザーイノベーションが大きな危機になっていないが、今後、更なるコンピュータ技術の進歩により消費者の商品開発技術が向上することを考えると、ユーザーイノベーションが企業のイノベーションに勝る可能性も高くなってくると考えられる。

本論では1つの抽象モデルとしてユーザーイノベーションモデルを構築したため、特定市場に対してどの程度対応できるかについては分からない。今後、実証研究が進み、ネットワーク指標やリードユーザーの分布が把握可能になれば、実際の特定市場を対象としてシミュレーションを行うことでさらなる知見を得て、モデルの妥当性を高めていく必要があり、これは今後の課題である。

参考文献

- [1] 内田誠, 白山晋 (2006), 「SNS のネットワーク構造の分析とモデル推定」, 情報処理学会論文誌, Vol.47 No9,
- [2] エベレット・M.ロジャーズ (1990), 「イノベーション普及学」, 産能大学出版部
- [3] エリック・フォン ヒッペル(1991), 「イノベーションの源泉—真のイノベーターはだれか」, ダイヤモンド社
- [4] 久保田美樹 (1999), 「顧客属性を 1000 万件蓄積 効果的なバナー配信を実現—データベース・マーケティングの『MatchLogic』」, 日経ネットビジネス, pp146-149
- [5] クレイトン・クリステンセン (2001), 「イノベーションのジレンマ—技術革新が巨大企業を滅ぼすとき」, 翔泳社
- [6] 嶋口充輝, 和田充夫, 池尾恭一, 余田拓郎 (2004), 「マーケティング戦略」, 有斐閣
- [7] 鈴木健一, 飯塚隆司, 秋山哲男 (2004), 「マーケティングマネジメントの理論と実践」, 同文館出版
- [8] 高橋真吾, 大堀耕太郎 (2006), 「市場システム設計のためのエージェントベースモデル」, 第 25 回社会経済システム学会報告要旨集
- [9] 永井学 (1999), 「顧客プロフィールと連動した ワン・トゥ・ワン型が主流に」, 日経ネットビジネス, pp66-71

- [10] 濱岡豊 (2004), 「共進化マーケティング・消費者が開発する時代におけるマーケティング」, 三田商学研究
- [11] 原野守弘 (2000), 「セグメンテーションは Web 繁栄の第一歩」, 日経ネットビジネス, pp 220-224
- [12] 原陽一郎, 安部忠彦 (2005), 「MOT イノベーションと技術経営」, 丸善株式会社
- [13] 藤末健三 (2005), 「技術経営論」, 生産性出版
- [14] 三井一平, 内田誠, 白山晋 (2006), 「コミュニティ構造を有するネットワーク成長モデル」, 情報処理学会研究報告
- [15] 森田正隆 (2001), 「ユーザー・イノベーションとマーケティング戦略——シャープ・ザウルスの事例」, 経営情報学会 2001 年春季全国発表大会予稿集, pp89-92
- [16] 山田肇 (2005), 「技術経営：未来をイノベートする」, NTT 出版
- [17] A. L. Barabasi and R. Albert(1999), “Emergence of scaling in random networks”, Science, Vol.286
- [18] A.vazquez(2003), “Growing network with local rules: Preferential attachment, clustering hierarchy, and degree correlations”, Physical review
- [19] C. Luthje(2004), “Characteristics of innovating users in a consumer goods field: An empirical study of sport-related product consumers”, technovation
- [20] C. Luthje(2005), Cornelius Herstatt, Eric von Hippel, “User-innovators and local information: The case of mountain biking”, research policy
- [21] Eric S. Raymond(2000), “The Cathedral and the Bazaar”, <http://www.catb.org/~esr/writings/cathedral-bazaar/cathedral-bazaar/>
- [22] Eric von Hippel (2005), “Democratizing Innovation”, MIT Press
- [23] Glen L. Urban, Eric von Hippel(1998), “Lead User Analyses for the Development of New Industrial Product”, Management Science 34
- [24] Jeppesen, L. B. (2005), “User Toolkits for Innovation: Consumers Support Each Other”, Journal of Product Innovation Management, Volume 22
- [25] Karim R. Lakhani, Eric von Hippel(2003), “How open source software works: “free” user-to-user assistance”, Research Policy
- [26] Lakhani, K. R., and E. von Hippel(2003), “How Open Source Software Works: ‘Free’ User-to-User Assistance”, Research Policy 32, no. 6, pp923-943
- [27] Nikolaus Franke, Sonali Shah(2003), “How communities support innovative activities : an exploration of assistance and sharing among end-users”, Research Policy 32
- [28] Pamela D. Morrison, John H. Roberts, Eric von Hippel(2000), “Determinants of User Innovation and Innovation Sharing in a Local Market”, Management Science 46
- [29] Shingo Takahashi, Kotaro Otori(2005), “Agent-based Model of Coevolutionary Processes of Firms Technologies and Consumer Preferences”, NAACSOS Conference
- [30] von Krogh, G, S. Spaeth, S. Haefliger(2005), “Knowledge Reuse in Open Source Software: An Exploratory Study of 15 Open Source Projects”, Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, pp198-207

ターゲットマーケティング支援のための 顧客特性抽出システムの構築

Marketing System for Extraction of Target Customers' Features

並木和憲¹ 大堀耕太郎² 長谷川隆司² 高橋真吾³
Kazunori NAMIKI¹ Kotaro OHORI² Takashi HASEGAWA² Shingo TAKAHASHI³

¹早稲田大学大学院 理工学研究科

²早稲田大学大学院 創造理工学研究科

³早稲田大学 理工学術院

¹Graduate School of Science and Engineering, Waseda University

²Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University

³Faculty of Science and Engineering, Waseda University

要旨:

近年では、市場変化がますます速くなっており、企業のマーケティング部門や技術開発部門における意思決定は非常に困難になってきている。特に新商品を市場に投入する際には、過去のデータが通用しない場合や、データが不足していることが多く、データに基づいたマーケット分析において、ターゲットとすべき消費者特性を定めることが出来ない場合が多い。そこで、本研究では市場データが存在しない場合にもターゲット特性を抽出することが可能なシステムを構築する。そして、実際の携帯電話市場を想定した優良顧客抽出シミュレーションを行うことで、このシステムの有効性を検証する。

Abstract:

The purpose of this paper is to provide a marketing system for supporting decision making of firms in target marketing. It is hard for firms' marketing departments to decide the target customers, since they have no past purchase data of customers when developing or launching new products. The marketing system is helpful for them to extract customers who give a higher evaluation to a product developed by them. This paper conducts some demonstrations as an example of simulations in the mobile phone market by using the system. The result shows that the system is valid and effective, since the system developed can extract customers' features based on a system user's cognition to the market.

1. はじめに

近年、流行サイクルの短縮化や顧客の選好の多様化がすすみ、各企業にとって新商品投入の意思決定はますます困難になりつつある。新商品の投入は、企業に大きな利益をもたらす可能性がある一方で、失敗すれば大きな損失を負い、市場で劣勢になってしまう可能性も持っている。そのため、企業が新商品を投入する際には、新商品が市場に受け入れられると考える根拠となる情報が必要である。

従来、企業が新商品を開発、投入する際には、多様な顧客をセグメント化し、その中から自社製品に対応したセグメントをターゲットとすることが重要であると考えられてきた。この一連のプロセスの中で、企業にとって、新商品が受け入れられるかどうかを判断する基準となる情報の1つに、顧客の特性が挙げられる。顧客の特性を把握するための従来手法としては、データマイニング、RFM分析などの統計的な手法が挙げられる。これらの分析手法は、購買データを用いた分析手法であるが、投入する前の新商品には購買データ

は存在しない。したがって新商品投入の際には、新商品と類似している商品の分析を行い、そこから得られた顧客の特性から意思決定を行う。しかし、近年では既存の他社製品とは異なる新しい特性をもった商品を投入することが望まれるため、統計的な手法によって、新商品に対応した顧客特性を正確に抽出することは難しいと考えられる。

そこで、本研究では購買データが得られないような状況でも新商品に対応した優良顧客特性の探索可能なマーケティング意思決定支援システムを提案する。

このシステム構築のために、高島ら[6]が提案した優良顧客特性抽出モデルを利用する。このモデルは、高橋[5]が提案した消費者選好の進化過程の分析枠組みを用いており、消費者エージェントが各自の染色体に基づいて購買活動を行い、その中から分析対象商品を高く評価する消費者である、優良顧客を探索するモデルである。

これらの研究では分析枠組みを提案しているが、実際の市場へのアプローチは行われておらず、分析者が分析対象商品ごとにシミュレーション

モデルを理解し詳細な設定を行わなければならないため、現実のマーケティングの場に利用可能とは言い難い。

本研究では、従来研究に基づき、エージェントベースモデリング（以下、ABM）と遺伝的アルゴリズム（以下、GA）を融合することで、企業のマーケティングや商品開発の場で利用可能なマーケティングシステムを構築する。

ABM を用いたマーケティングに関わる研究ではブランドマーケティング戦略の考察[4]や商品販売をサポートする異なるプロモーション戦略の分析[2]をはじめとして近年では多く行われてきており、今後の発展が期待されている。

GA を用いたマーケティングに関わる研究では Fazlollahi and Vahidov[1]が、マーケティングミックスに関わる問題に関して、GA を用いて候補を絞り込むことにより、代替案の見落としを防ぎ、さらには探索にかかる時間の短縮に成功している。また、Gruca and Klemz[7]は新商品のポジショニングをGAを用いて探索し、他の探索手法で探索した結果との比較から、GAによってより良い解が探索出来ることを示している。

このようにABMとGAのマーケティングへの応用は今後実際のマーケティング活動において期待される手法であり、本研究ではこの2つの手法を融合した従来研究とは異なるシステムとなっている。

2. システムの概要

近年では、ITが普及し企業内において情報システムの重要性が叫ばれている。この中、システムを導入すること自体が目的となってしまう、使用されていないシステムが数多く存在すると言われている。一般的には、システムに対するユーザの要求の定義が不十分であることが原因と考えられている。

また、1999年6月に国際規格としてISO13407[3]が提唱された。ISO13407では、ユーザの視点に立ち、ユーザにとって使いやすいシステムを設計・開発するプロセスを説明している。システムの設計・開発において、ユーザの存在は度外視できない。

このように、システムを構築する際にユーザの存在を忘れてはならず、ユーザとシステムとの間で役割の分担をした上で、要求定義をすることが、機能するシステムを構築するためには必要である。

2.1. 要求定義

本研究で構築したシステムは、ユーザとして、市場調査・分析、商品企画、販促企画、営業企画、広告宣伝に従事している企業のマーケティング担当者を考えている。このようなマーケティング顧客の特性を分析するシステムに対して、要求する事は以下のことが考えられる。

- ・ 新商品のような購買データが存在しない商品でも顧客の特性を分析できるシステムが欲しい。
- ・ 分析商品の属性や消費者特性として、従来の属性軸に縛られず自由に設定したい。
- ・ 分析商品の属性や消費者特性の属性値として、定量的なデータだけでなく、定性的なデータも扱いたい。
- ・ システムを使う際、どのようなデータを入力すればいいか、システムからの支援が欲しい。
- ・ システムへの入力負荷を極力削減できるように、システムからの支援が欲しい。

本研究で構築したシステムでは、このように要求の定義を行った。

2.2. ユーザと使用場面

本研究で構築したシステムでは、ユーザとして以下のようなマーケティングを想定している。

- ・ 分析対象商品の競合商品を把握している
- ・ 商品と消費者を属性の集合として捕らえることができる
- ・ 商品と消費者の属性軸に対し、属性値を与えることができる
- ・ 商品属性と消費者属性の関連を付けることができる

また、本研究で構築するシステムは、このように定義したユーザが、自社商品の顧客特性を分析する際に用いると考える。

3. システムの外部設計

本章ではユーザとシステムの対話やデータの柔軟性など、システムの特徴について説明する。

3.1. インタラクティブシステム

本研究で構築したシステムは、ユーザとシステムが対話可能になるようインタラクティブシステムの形式をとった。そこで、ユーザとシステムのユーザインタフェースとして、GUIを実装した。ユーザは以下の手順でシステムを使用する。

- ① 分析対象商品名と競合商品名を入力する
- ② 商品属性名を入力する
- ③ 消費者属性名を入力する
- ④ 商品属性値と消費者属性値を入力する
- ⑤ 商品属性と消費者属性の関連付けをする
- ⑥ シミュレーションを実行する
- ⑦ 分析対象商品の優良顧客を得る

このいずれのフェーズにおいてもシステム側が質問をユーザに投げかけたり、前フェーズで入力した情報を表示させたり、また、入力説明を行うことでユーザに優しいシステムが設計されている。

ユーザはこのフェーズを通してデータを入力していくことで、入力がうまくできるだけでなく、認識の整理ができる。つまり、入力と同時にターゲットマーケティングにおける顧客分析やセグ

メンテーションのフェーズを支援している。

3.2. データの柔軟性

近年では、商品の属性として定量的に扱える属性だけでなく、定性的にしか扱えない属性にフォーカスされてきている。このことは消費者特性に関しても同様であり、従来のデモグラフィック属性だけでなくサイコグラフィック属性等にもフォーカスされてきている。

この背景を受け、本研究で構築したシステムでは、柔軟に商品属性と消費者特性を設定できるように、データの型やユーザ入力に制限を持たせていない。また、システム側であらかじめ商品属性と消費者特性を用意することも行わず、ユーザが自由に設定できる仕様となっている。

商品の属性と消費者特性の属性値に関しても、より分析したい属性ほどユーザは属性値を細かく設定するという世界観の下、ユーザが設定できる属性値数に柔軟性を持たせた。

3.3. システムの例

作成した GUI のサンプル画面は、図 1 のようになる。

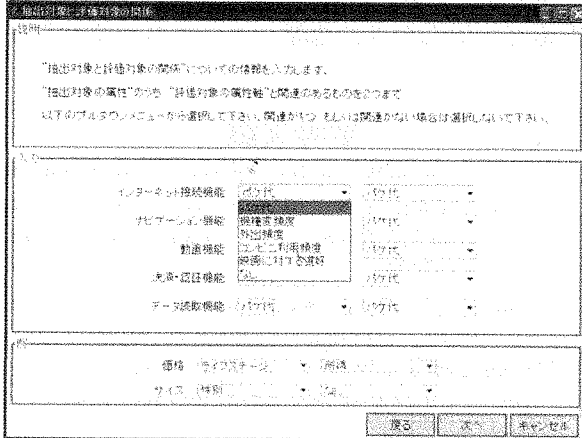


図 1 画面サンプル

以上のような特徴を、本研究で構築したシステムは有している。

4. システムの内部設計

本章では、シミュレーションモデルについて説明を行う。モデルは大きく複数の消費者染色体からなる消費者集団と複数の商品（またはサービス）からなる商品空間（またはサービス空間）で構成される。

4.1. 商品空間初期生成

商品空間に投入される商品は、分析者が設定した商品である。商品は、分析対象商品と分析対象商品の競合商品と考えられる商品からなり、分析者が分析したい商品数だけ設定可能である。

また、各商品はユーザが設定した商品属性の集合で表現される。

4.2. 消費者集団初期生成

消費者集団は、消費者 i の特性を表現した消費者染色体 A_i からなる。消費者属性の初期値はランダムに決定され、その中から優良顧客 S の特性を表す消費者染色体 A_s を探索する。

4.3. 商品評価

消費者 i の染色体から関数 R により、商品の選好 B_i を導出する。

$$R: A_i \rightarrow B_i$$

R は分析者が行った商品属性と消費者属性の関連付け (3.1 参照) によって導かれた関数であり、ここに分析者の市場に対する認識が反映されている。消費者 i の選好 B_i は、属性 k に対するウエイト w_{ik} と商品 j に対する属性 k の評価値 x_{ijk} からなる。

$$B_i = (w_{ik}, x_{ijk})$$

また、商品の評価は各消費者の染色体から導いた選好に基づき、以下の消費者 i の商品 j に対する商品評価関数 U_{ij} で算出し、評価が最大になる商品を選択する。

$$U_{ij} = \sum_k (w_{ij} \cdot x_{ijk})$$

4.4. 消費者属性の更新

最後に GA を用いて消費者染色体の更新を行う。本研究では、分析対象商品の優良顧客の特性を抽出することが目的であるため、分析対象商品に高い評価を与える染色体が残るように適応度関数 f_i を設計した。

$$f_i = \frac{1}{a_1 \sum_k |w_k - w_{ik}| + a_2 \sum_k |X_k - x_{ijk}|}$$

ただし、 w_k は分析対象商品を選択した消費者のウエイトの平均、 X_k は評価値の平均、 a_1 と a_2 は各パラメータへの重み付けを示す。

適応度に基づいて選択、交叉、突然変異を行い、より優良な消費者染色体を探索する。

4.5. 解の抽出

適応度が収束するまで 4.3., 4.4. を繰り返し、収束した時点での残った消費者染色体が優良顧客の特性を表すと考えられる。尚、本システムは、解の信頼性を高めるため、一度のシミュレーション実行で収束までを 100 試行繰り返し、その中からより優良だと考えられる顧客の特性のみを抽出するように設計されている。より優良だと判断する基準は、分析対象商品への評価であり、一定の基準を満たせば解となるため、複数の解が抽出される可能性がある。

5. 実験結果

本研究で構築したシステムにより、携帯電話の

サービス市場の分析実験を行った。携帯電話のサービスは、小さなサービスの集合であり、複合的なサービスを表示している。分析対象サービスは、お財布ケータイ、動画サービスの2つとした。

サービスの属性には機能を採用し、インターネット機能、ナビゲーション機能、動画機能、決済・認証機能、データ通信機能の5つをサービス属性とした。また、各属性の値を決定するにあたっては、各サービスを構成する小さなサービスと数値の対応付けをすることにより決定した。

最後に、抽出する消費者の属性を、パケ代、外出頻度、機種変頻度、映画への選好、コンビニ利用頻度の5つとし、それぞれ低、中、高の3段階で表現した。

本研究で提案するシステムでは前述の通り、複数個の解が抽出される可能性がある。また分析者がつけた商品属性と消費者属性の関連付けによっては、違う消費者属性の組み合わせから同じ選好が導出される可能性がある。このように消費者属性が異なっても導出される選好が同じような消費者属性の組み合わせは同じパターンとした。以下の表は、各サービスに対する優良顧客の例で、ここでは2パターンずつを示した。尚、低 or 中というのはその消費者属性が低でも中でも導出される選好が同じことを意味する。

表1. お財布ケータイの優良顧客例

お財布ケータイ		
パケ代	低	低
外出頻度	低	中
機種変頻度	高	低
映画への選好	低	低 or 中
コンビニ利用頻度	低 or 中	中

表2. 動画サービスの優良顧客例

動画サービス		
パケ代	低	低
外出頻度	低	中
機種変頻度	低	低
映画への選好	高	高
コンビニ利用頻度	低 or 中	低

優良顧客の特性を見ると、2つのパターンで異なる特徴を持っているが、いずれも分析対象商品を高く評価する優良顧客である。

また、分析者がシステムに入力した属性値や関連付けからシステムを使わず分析したところ、同様の優良顧客を抽出することが出来た。つまり、本システムのシミュレーションモデルはユーザの認識を基に、正しい優良顧客の探索に成功しており、妥当だといえる。またシステムを使わずに分析した場合と比べ、時間も大幅に短縮できたため、本システムは有効である。

6. まとめ

本研究では、ターゲットマーケティングにおいてマーケティング担当者の市場への認識に基づいた優良顧客を抽出することが可能な意思決定

支援システムを構築した。また、本システムはユーザとの対話を意識することでユーザに優しい外部設計を行った。

このシステムの大きな特徴は、従来のマーケティングシステムとは本質的に異なり、過去の商品購買データに依存せずに顧客特性を抽出可能なシステムであることである。商品が飽和した現代、企業はますます新商品投入のスピードを速めている。また、近年のIT化の影響から情報が氾濫し、消費者の選好の変化がますます速くなっている。この結果、過去の購買データでは顧客特性の抽出は困難になり、本研究で提案するシステムの活用場面は非常に多いと考えられる。

本研究では、システムの利用の一例として携帯電話市場の分析を行った。その結果、システムがユーザの認識に基づいた結果を生んでいることから、シミュレーションモデルが妥当であり、十分に意思決定支援を行う可能性を持っているシステムであると言えた。

しかし、本研究で構築したシステムは、現段階ではユーザの定義や使用状況が抽象的であり、2章で定義したユーザであれば多種多様な商品の顧客特性が抽出できる反面、まだ実務向きではないと考えられる。今後の研究の方向性としては、実務での使用を更に意識したシステム開発の道も十分考えられるだろう。

参考文献

- [1] Bijan Fazlollahi, Rustam Vahidov, "Extending the effectiveness of simulation-based DSS through genetic algorithms", Information Management, pp53-56, 2001.
- [2] Delre, S. A., Jager, W., Bijmolt, T. H. A., Janssen, M., M.A. Janssen, "Targeting and timing promotional activities: An agent-based model for the takeoff of new products", Journal of Business Research, 2006.
- [3] 黒須正明, "情報サービスのユーザビリティ", 情報の科学と技術, Vol.54, No.8, pp. 384-390, 2004.
- [4] 高玉圭樹, 辻中尚宏, 下原勝憲, "エージェント指向シミュレーションにおけるブランドマーケティングの解釈", 日本シミュレーション学会, Vol.21, No.2, pp.113-122, 2002.
- [5] 高橋真吾, "エージェントベースアプローチによる消費者選好の進化過程の分析枠組", 経営情報学会誌, Vol.13, No.1, Page1-17, 2004.
- [6] 高島大輔, 高橋真吾, 大野高裕, "エージェントベースアプローチによる優良顧客の特徴分析の枠組", 経営情報学会誌, Vol.15, No.1, pp1-13, 2006.
- [7] Thomas S. Gruca, Bruce R. Klemz, "Optimal new product positioning: A genetic algorithm approach", European Journal of Operational Research, pp621-633, 2003.

エージェントベースモデルによる 特許戦略の選択のための意思決定分析

早稲田大学大学院理工学研究科 武富 顕彦
早稲田大学大学院創造理工学研究科 大堀 耕太郎
早稲田大学理工学術院 高橋 真吾

要旨

近年、企業経営における知的財産、そのなかでも取分け特許に対する関心が高まってきている。現実において、特許の活用法を試行錯誤的に決定することは極めてリスクが高いが、シミュレーションを用いることでそうしたリスクを回避することが可能であると考えられる。ところが、特許に関して数多くの実証研究がなされているにもかかわらず、シミュレーションによる研究はあまり行われていない。そこで、本研究ではエージェントベースモデリングを用いて、市場ダイナミクス分析のための特許とその活用法を考慮したモデルを構築する。そして、そのモデルを用いてシミュレーションを行うことで、従来研究から導いた仮説を検証し、特許戦略の策定における意思決定支援モデルとなりえる可能性を示す。

1. はじめに

70年代から80年代にかけて、日本の製品はその品質と価格競争力で欧米市場を席卷した。しかしながら、近年、日本の製造業の国際競争力が低下してきていると言われている。これは、韓国、台湾、中国などのアジア各地域における製造能力が向上し、物的資源に乏しく、労働コストが上昇した日本が製造能力の効率性だけでは収益を確保できなくなったことに原因がある。今後、日本が国際競争力を高めていくには、高い技術力を活かして研究開発集約型の産業構造に移行し、優れた知的財産を創造、適切に保護、活用することによって利益を上げていく必要があると考えられる。こうした背景から、本研究では知的財産のひとつである特許、そして、その活用法に着目する。

特許の戦略的活用法は、オープン型特許戦略とクローズ型特許戦略という2つに大別できる。オープン型戦略とは、特許を他社に対して開放し、その対価としてロイヤルティを取得する戦略である。一方、クローズ型戦略とは、マーケットシェアを独占することにより、マーケットによる経済的利益を追求する戦略である[7]。近年、こうした特許の戦略的活用法が、企業競争における優劣を決定付ける一因となっている事例が散見される。例えば、VTRにおけるソニーのベータと日本ビクターのVHSによる標準化競争の事例が挙げられる[12]。両陣営は自社の商品を市場に普

及させるために、互いに異なる特許戦略を用いていた。その結果、日本ビクターのVHSがデファクトスタンダードとなり、特許の活用法を誤ったソニー陣営はベータの販売を中止せざるをえなくなった。このように、企業が新たなコア技術の開発に成功し、特許化した際に、それをどのように活用していくかということは企業の命運を左右する重大な問題である。

このソニーと日本ビクターの標準化競争の事例研究も該当するが、従来の特許に関する研究はケーススタディアプローチにより行われている。こうしたケーススタディによる研究からは、市場で生じる現象やその要因など、様々なことを学ぶことができ、極めて有効である。しかしながら、市場状況は変化しており、過去の事例が今後の現実市場と厳密に対応することはないと考えられる。

一方で、最近では、エージェントベースモデリングによるシミュレーションを用いた市場研究も盛んに行われている。エージェントベースモデリングによるシミュレーション研究は、市場を構成する本質的な要素を用いてミクロな視点でそれらの相互作用を規定することにより、マクロな視点における創発現象を引き起こすことができ、いくつかの起こってもおかしくない未来を複眼的に捉えることが可能になる。その結果、ケーススタディアプローチのように事後的にはなく、事前にマーケットに指針を与えることができ、特許の活用失敗するリスクを回避できる可能性が高い。それにも関わらず、このアプローチによる特許に関する研究はあまり行われていない。

このような背景から、本研究ではエージェントベースモデリングを用い、特許及びその戦略的活用法を考慮したマーケティングダイナミクスを分析するためのモデルを提案する。さらには、そのモデルを用いてシミュレーションを行うことで特許戦略における仮説の検証を行い、モデルの妥当性を示す。そして、特許戦略の策定を支援するモデルとして、ひとつの活動指針を導く可能性を有していることを明らかにする。

2. 特許戦略に関する2つの仮説

本研究では、以下の2つの仮説について検証を行うことで、提案するモデルが企業の特許戦略に関する意思決定を支援する可能性を有しているかを判定する。以下で示す2つの仮説は、特許戦略に関する従来研究から導いたものである[7][10]。

《問題状況》

ある企業が、他企業がまだ着目していない技術分野において、核心となる技術群の開発に成功した場合、その企業は、その技術の特許化を図る。その場合、他社の技術開発の動向を鑑みて、自社の特許戦略を決定することになる。

〈仮説1：代替特許が生じない場合はクローズ型特許戦略が有効となる〉

上記した問題状況に加えて、他の企業が特許化した技術と同一の技術課題を克服するための系統の異なる技術の開発に成功しない場合を考える。この場合には、クローズ型特許

戦略が有効となる。

＜仮説2：代替特許が生じる場合はオープン型特許戦略が有効となる＞

上記した問題状況に加えて、同時期に、他の企業が特許化した技術と同一の技術課題を克服するための系統の異なる技術の開発に成功した場合を考える。この場合には、オープン型特許戦略が有効となる。

以上2つの仮説をシミュレーション実験により示すことができれば、本研究で提案するモデルは市場におけるひとつの指針を与えることが可能であると考えられる。

3. 特許戦略の分析のためのモデル

本章では、経済主体である消費者や企業、そして商品を、エージェントベースアプローチによりボトムアップ的にモデル化する。その際にマーケットダイナミクスを捉えるために有効であると考えられているCAMCaTフレームワークの支援を受けた[4][16]。CAMCaTフレームワークの最大の特徴は消費者と企業が異なる適応度関数を持っており、消費者の進化が企業の進化に影響を与え、企業の進化が消費者の進化に影響を与えることで共進化を実現し、現実市場に近い振る舞いを示すことが可能な点である。CAMCaTフレームワークは、従来研究において、市場の基本特性や標準化問題におけるマーケットデザインなどについての研究が行われており、マーケットダイナミクス分析に非常に適したフレームワークであると考えられる。

本研究でのモデルは、CAMCaTフレームワークと同様に、図1のように消費者集団、企業集団、商品の3つから構成される。各構成要素について3.1から3.3で詳しく説明する。

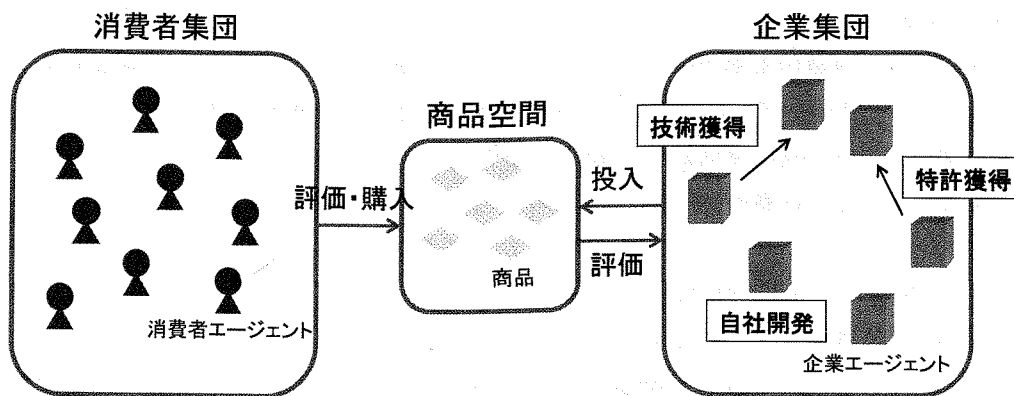


図1 提案モデル概要図

3.1 商品

市場には、消費者が評価する複数の属性軸を持った商品が存在する。商品は企業から商品空間に投入され、それを消費者が評価し、購入する。結果として、商品を媒介にして企

業と消費者が互いに影響をおよぼし合う。

3.2 消費者集団

消費者集団には、複数の消費者が存在する。各消費者はそれぞれ染色体表現された内部モデルを持ち、それに基づいて自らの商品選択の意思決定を行う。その後、内部モデルを修正することで意思決定の変更を行う。以下では、消費者内部モデルと消費者行動モデルについて詳しく説明する。

3.1.1 消費者内部モデル (染色体)

消費者は市場で意思決定の際に考慮されるパラメータを染色体として有する。染色体は他者依存度、選好という2つのパラメータからなる。

他者依存度とは、市場において消費者が購買の際に市場の流行に対してどの程度影響を受けるかの度合いであり、ロジャーズのイノベーター理論における消費者の分布を表現したものである[8]。選好とは、消費者が消費者を評価するための商品属性に対するウェイトを表現したものであり、従来のCAMCaTフレームワークを用いた研究に準ずる。

3.1.2 商品選択

消費者は自らの他者依存度、選好に基づいて最も効用の高い商品を選択し、購入する。

3.1.3 選好の修正

消費者は商品の購入後に、遺伝的操作の突然変異を用いて選好の修正を行う。これは現実市場における含意として情報収集に対応している。

3.2 企業集団

企業集団には、複数の企業が存在する。各企業も消費者と同様にそれぞれ染色体表現された内部モデルを持ち、それに基づいて商品開発、商品投入に関わる意思決定を行う。その後、内部モデルを進化的学習により修正することで意思決定の変更を行う。以下では、企業内部モデルと企業行動モデルについて詳しく説明する。

3.3.1 企業内部モデル (染色体)

市場における特許の効果を検証するために、実験に応じてグループ α 、 β の2種類の企業を用いる。グループ α の企業は初期状態から特許を保有している企業、グループ β の企業はその他の企業である。企業は、グループごとに異なるパラメータを染色体として有する。

グループ α の企業が有している染色体は、技術戦略、保有技術、特許戦略、特許、開発資源である。グループ β の企業の染色体は、初期状態においては、技術戦略、保有技術、開発資源を有しており、状況によってはシミュレーション途中で特許を得る可能性がある。

技術戦略とは、企業がどの技術を重視して技術開発を行おうとしているかを表現する。

保有技術とは、投入商品に反映される技術のことで、複数の技術属性の集合として表現される。特許戦略とは、企業が開発に成功し、特許化した技術をどのように活用していくかを表現する。具体的には、市場を独占することを念頭に置き、市場による経済的利益を追求するクローズ型特許戦略と特許を他社に対して開放し、その対価としてロイヤルティ収入を得ていくオープン型特許戦略が存在する。保有特許とは、特許化された技術を表現する。開発資源とは、企業が自社開発に費やすことができる資源を表現する。

3.3.2 商品投入

企業は自らの保有技術パラメータを用いて商品を製造し、市場に投入する

3.3.3 進化的学習

企業は商品投入後に、市場から情報を得て、自社の内部モデルを評価する。その際に、消費者の購買状況、自社の技術力、自社が考える商品像が消費者の嗜好に合っているか、自社内で齟齬が生じていないか、などが考慮される。そして、この評価に基づいて、技術獲得・特許獲得を行うか、自社開発を行うかを決定する。低い評価しか得られなかった企業は、抜本的な企業改革が必要であるため、他社から技術獲得・特許獲得を行い、技術戦略の修正を図る。一方、高い評価が得られた企業は、その世代において正しい方向に進路を執っていると判断し、保持している技術戦略に沿って自社開発を進めていく。

3.3.4 業績評価

企業は、自社の利益の最大化を目指す。利益は、商品の売上高とロイヤルティ収入の合計として把握される。ロイヤルティ収入の形態としては、ランプサムロイヤルティ、ミニマムロイヤルティなどがある[1]が、本研究では一般的な形態であるランニングロイヤルティを用いる。

4. シミュレーションモデル

本章では、3章でのモデル表現をシミュレーションが行えるように数理的モデルとして抽出する。

4.1 商品のシミュレーションモデル

商品には6つの属性軸を与え、各属性の最大値は100とする。本研究では、対象商品を定めていないが、特定の市場を対象とする場合には、その市場において消費者が評価する際に考慮する評価軸を商品の属性軸とする。

商品*i*の属性 $A = (a_{ik})$, $a_{ik} \in \{1, 2, \dots, 100\}$

ただし、商品ナンバー $i = 1, 2, \dots, 20$ とし、商品属性 $k = 1, 2, \dots, 6$ とする。

4.2 消費者エージェントのシミュレーションモデル

消費者集団には、商品を購入する消費者エージェントが 100 存在する。初期世代が生成された後、4.2.2 から 4.2.3 を 1 世代として、これを 100 世代繰り返す。この世代は、現実世界における商品選択サイクルに対応している。

4.2.1 初期集団生成

各消費者エージェントの染色体は、消費者が流行商品に対してどの程度敏感であるかを表す他者依存度 D 、商品購入の際に重点を置く属性を決定するウェイト W からなる。

$$\text{消費者 } i \text{ の染色体} = (D, W)$$

$$\text{他者依存度 } D = (d_i), \quad 0 \leq d_i \leq 1$$

$$\text{ウェイト } W = (w_{i \cdot k}), \quad \sum_k w_{i \cdot k} = 1$$

ただし、消費者ナンバー $i = 1, 2, \dots, 100$ とし、商品属性 $k = 1, 2, \dots, 6$ とする。また、 d_i の値が小さいほど他者への依存度は小さい。

4.2.2 商品選択

消費者は、商品空間に存在する商品の中から、以下の消費者 i の商品 j に対する効用関数を用いて自らの効用を算出し、最も効用の高い商品を購入する。

$$u_{i \cdot j} = \sum_k b_k * a_{i \cdot j \cdot k} * d_i + \sum_k w_k * a_{i \cdot j \cdot k} * (1 - d_i)$$

b_k は流行商品の属性値をウェイト表現したものである。 $a_{i \cdot j \cdot k}$ は消費者 i が商品 j の属性 k に対して付けた評価値であり、これは商品を認識した際に商品属性の値を平均とした正規分布により算出されているため、同じ商品に対しても消費者の認識の違いが表現されている。 \sum の 2 項のうち前項は流行商品のウェイトをもとに算出した効用であり、後項は自らの商品属性に対するウェイトにより算出した効用である。この 2 項を他者依存度に従ってどちらに重みを置くかを算出している。

4.2.3 内部モデルの修正

消費者は市場における商品選択や商品購入という一連の活動を行った後、染色体の修正を行う。本研究では、一般的な遺伝的アルゴリズムのように個体自体の淘汰、再生、交叉は行わず、突然変異を用いた。

《突然変異》

各消費者は突然変異確率 $cPmut$ に従って突然変異を行う。これは消費者の情報収集による選好の変化を意味している。

4.3 企業エージェントのシミュレーションモデル

企業集団には、消費者に商品を販売する2種類の企業エージェントが20存在する。初期集団が生成された後、4.3.2から4.3.5を1世代とし、消費者集団の行動に沿ってこれを100世代繰り返す。

4.3.1 初期集団生成

実験の目的に応じて、グループ α 、グループ β の2種類の企業エージェントを生成する。企業エージェントの染色体は、どの技術に重視して商品開発を行うかを決定する技術戦略 St 、商品に反映される保有技術 T 、特許の活用法を表す特許戦略 Sp 、特許化された技術を表す保有特許 P 、開発に費やすことができる資源を表す開発資源 R の組み合わせからなる。

$$\text{技術戦略 } St = (c_{i,k}), \sum_k c_{i,k} = 1, \text{ 保有技術 } T = (t_{i,k}), t_{i,k} \in \{1,2,\dots,100\}$$

$$\text{特許戦略 } Sp = (sp_i), \text{ 保有特許 } P = (p_i), \text{ 開発資源 } R = (R_i)$$

ただし、企業ナンバー $i=1,2,\dots,20$ 、商品属性 $k=1,2,\dots,6$ とする。

グループ α の企業は、初期状態において新技術の開発に成功して特許化しており、染色体は、技術戦略 St 、保有技術 T 、特許戦略 Sp 、保有特許 P 、開発資源 R から構成される。

$$\text{グループ } \alpha \text{ の企業の染色体} = (St, T, Sp, P, R)$$

グループ β の企業は、初期生成時には特許を保有していないため、技術戦略 St 、保有技術 T 、開発資源 R からなる。

$$\text{グループ } \beta \text{ の企業の染色体} = (St, T, R)$$

しかし、シミュレーション途中で、グループ α の企業から特許を取得することも可能であり、このとき、染色体として、技術戦略 St 、保有技術 T 、保有特許 P 、開発資源 R からなる。

$$\text{グループ } \beta \text{ の企業の特許取得後の染色体} = (St, T, P, R)$$

4.3.2 商品投入

企業は、毎世代、保有技術 T を商品属性 A に変換することで商品を製造し、市場に投入する。本研究では各技術属性に対しては意味を与えていないので、単純に技術属性と商品属性を1対1対応させる。

4.3.3 自社評価

企業 i は商品投入後、市場において自社の商品や技術が受け入れられているかを、以下の

適応度関数 $f_{i,i}$ を用いて自社評価する。

$$f_{i,i} = w_a * share_i + w_b * sumtech_i + w_c * (1 - risk_i) + w_d * selfmatch_i$$

$$sumtech_i = \sum_k t_{i,k}, \quad risk_i = \sum_k |t_{i,k} - a_{trend \cdot k}|, \quad selfmatch_i = \sum_k c_{i,k} * t_{i,k}$$

ただし、 $w_a + w_b + w_c + w_d = 1$

企業 i が他社と比較して優位であるというのは、市場で高いシェア ($share_i$) を得ており、高い技術力 ($sumtech_i$) を有しており、企業 i が投入した商品と同一世代での流行商品との技術的な乖離 ($risk_i$) が小さく、企業 i の技術戦略と技術属性が上手く適合 ($selfmatch_i$) している状態である。

この適応度関数 $f_{i,i}$ の値に応じて、各企業は技術獲得を行うか自社開発を行うかを決定する。

4.3.4 進化的学習

企業集団は、自社評価した後、自らの技術戦略、技術の修正を試みる。本研究では、一世代における修正を進化的学習と呼び、遺伝的操作を用いる。自社評価において、他社と比較して適応度が相対的に低いと判断した企業は技術獲得・特許獲得を行い、相対的に高いと判断した企業は自社開発を行う。このとき、技術獲得・特許獲得を行う企業数は交叉割合 $fRcross$ で決定される。そして、技術獲得・特許獲得には遺伝的操作における選択的交叉が、自社開発には突然変異が対応している。

《技術獲得・特許獲得》

技術獲得・特許獲得においては、選択的交叉を用いる。適応度が相対的に低い企業 i は選択的交叉を行うにあたって、企業集団に存在する企業 j から交叉先の企業 l を選出するために以下の他社評価関数 $f_{i,j}$ を用いる。

$$f_{i,j} = w_a * share_j + w_b * sumspec_j + w_c * (1 - risk_j) + othermatch_{i,j}$$

$$sumspec_j = \sum_k a_{j,k}, \quad othermatch_{i,j} = \sum_k c_{i,k} * a_{j,k}$$

ただし、 $w_a + w_b + w_c + w_d = 1$

企業 i は、企業 j が市場において高いシェア ($share_j$) を得ており、企業 j が投入した商品のスペック ($sumspec_j$) が高く、流行商品とのスペックの乖離 ($risk_j$) が小さく、企業 i の技術戦略と企業 j の商品スペックが上手く適合 ($othermatch_{i,j}$) している場合に高く評価する。

選択的交叉を行う企業 i は、他社評価値が最も高くなる企業 l を交叉先に決定する。その後、企業 l のマスクのかかっていない部分の技術属性の値を企業 i に複製する。

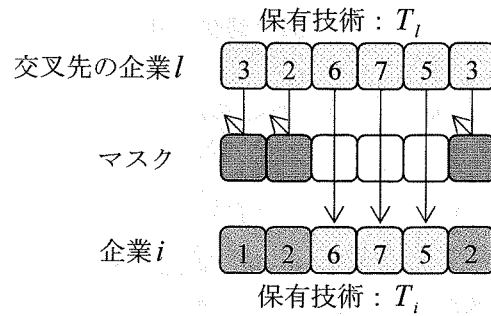


図2 技術獲得・特許獲得

このとき、交叉先の企業*l*、企業*i*が共に特許を保有していない場合、または、交叉先の企業*l*が特許を保有しており、企業*i*が既に同一の特許をもっている場合には、無条件に複製できる。しかし、交叉先の企業*l*が特許を保有しているが、企業*i*が特許を保有していないならば、企業*i*が特許を獲得できるかは、企業*l*が用いている特許戦略に左右される。企業*l*がオープン型特許戦略を用いている場合には、企業*i*はロイヤルティを支払うことを条件に特許を獲得することができる。しかし、企業*l*がクローズ型特許戦略を用いている場合には、企業*i*は特許を獲得することはできない。また、特許の技術を開発した企業からのみ、その特許を獲得でき、一度特許を獲得したならば同一の技術課題を克服するための異なる系統の特許を取得することはできないものとする。

技術獲得・特許獲得時には、交叉先企業の技術戦略 St_l を参考にして、現在の自身の技術戦略 St_i をある程度維持しつつ修正する。すなわち、交叉時の世代 t から次世代 $t+1$ にかけて、次式に従って修正を加える。

$$c_{i \cdot k}^{t+1} = \frac{c_{i \cdot k}^t + c_{l \cdot k}^t}{2}$$

《自社開発》

適応度が相対的に高い企業*i*は、自身の技術戦略に基づいて各技術分野に開発資源を配分する。そして、その配分量を考慮して突然変異確率 $fPmut$ を決定し、突然変異を行う。

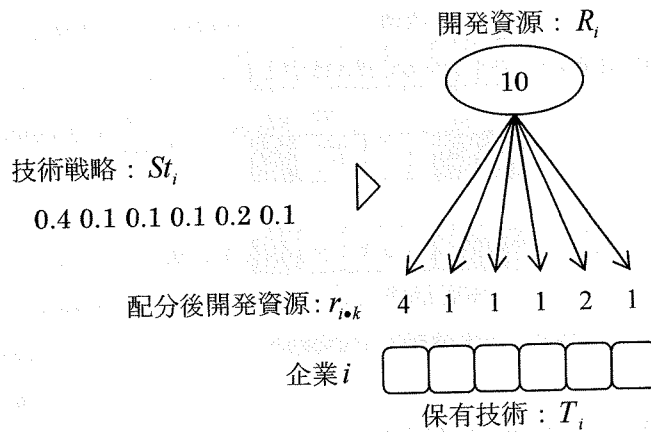


図3 自社開発

4.3.5 業績評価

各企業の優位性を計るために、業績を評価する。業績 $profit_i$ は、自社のシェアと特許を保有し、オープン型特許戦略を用いている場合に得られるロイヤルティ収入の合計として、次式で算出される。

$$profit_i = \sum_i share_i^t + \sum_i loyalty_i^t$$

$$loyalty_i^t = \sum_u share_u^t * patentrate$$

u : 企業 i が開発に成功した特許技術を使用している企業

5. シミュレーション結果

本章では、2章で提示した仮説を示すことでモデルの妥当性を確認し、特許戦略の効果を検証する。しかし、仮説についてのシミュレーションを行う前に、結果に大きく影響を与えるパラメータの設定を行う必要がある。これには、CAMCaT フレームワークを用いた先行研究であり、市場に起こる現象を表現したユーザイノベーションによって生じるマーケティングダイナミクス分析やエージェントベースモデリングによる標準化問題の分析等で用いた設定や事例から合理的に見積もった値を参考にすると共に、次に示す市場の基本特性を示すことができるようにパラメータを設定する。ここで言う市場の基本特性とは、「企業がイコールコンディションから競争を始めた場合、企業の優劣はランダムに決定され、市場を独占できるような企業は発生しない」ということを指し、これがシミュレーション1に対応している。

《シミュレーション1：特許を持つ企業がない場合の企業間競争》

パラメータの設定及びシミュレーションモデルの挙動を確かめるために、企業1から企

業 20 までの 20 社がすべて特許を持たず、イコールコンディションから競争を始めるとい
う条件でシミュレーションを行った。すなわち、グループ β の企業エージェント 20 社で競
争を行わせる。そのとき用いた主要なパラメータの値は表 1 のようになっている。

表 1 パラメータ設定

$cPmut$	$fRcross$	$patentrate$
0.05	0.4	0.2

このケースでは、最大累積売上高を得る企業はシミュレーション毎に代わり、市場にお
いて優位に立つ企業はランダムに決定されることが分かった。図 4 は、シミュレーション
結果の一例であり、市場における各企業のシェアを示したものである。

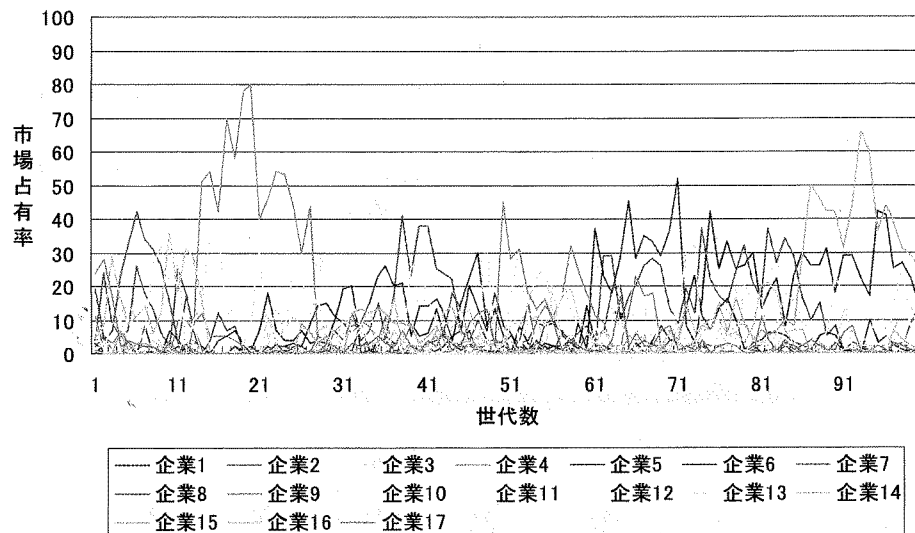


図 4 市場占有率の推移

図 4 から分かるように、このケースでは、ある企業が一時的に高いシェアを得たとし
ても、その状態が継続することは無かった。この結果から、基本特性である「企業がイコ
ールコンディションから競争を始めた場合、企業の優劣はランダムに決定され、市場を独
占できるような企業は発生しない」を示すことができたと考えられる。

続いて、シミュレーション 1 で設定した表 1 のパラメータの値を用い、2 章で示した仮説
を検証していく。

《シミュレーション2：代替特許が発生しない場合のクローズ型特許戦略の有効性の検証》

仮説1のクローズ型特許戦略の効果を明らかにするために、本質となる技術、特許、特許戦略以外の要素を極力排除し、以下の条件でシミュレーションを行った。

- 企業1が初期状態から商品を構成する技術の一部の特許化しており、クローズ型特許戦略を用いる。また、企業1が保有する特許を特許1と呼ぶ。
 - 企業2から企業20までの19社は、特許1の代替技術を開発することができない。
- すなわち、グループαの企業エージェントを1社、グループβの企業エージェントを19社生成する。

結果の一例として、図5のようなシェアの推移及び図6のような累積利益の推移が得られた。このケースでは、ロイヤルティによる収入が発生しないため、全企業において累積売上と累積利益は一致する。

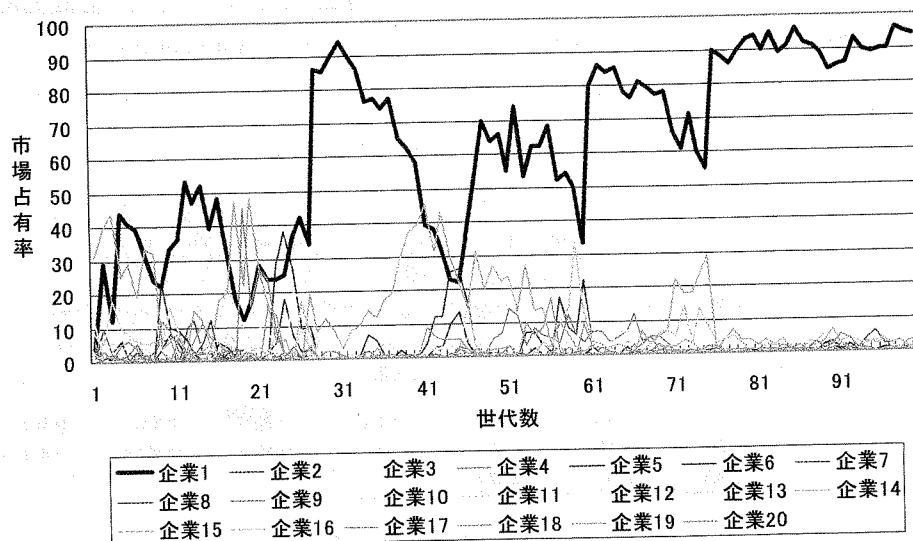


図5 市場占有率の推移

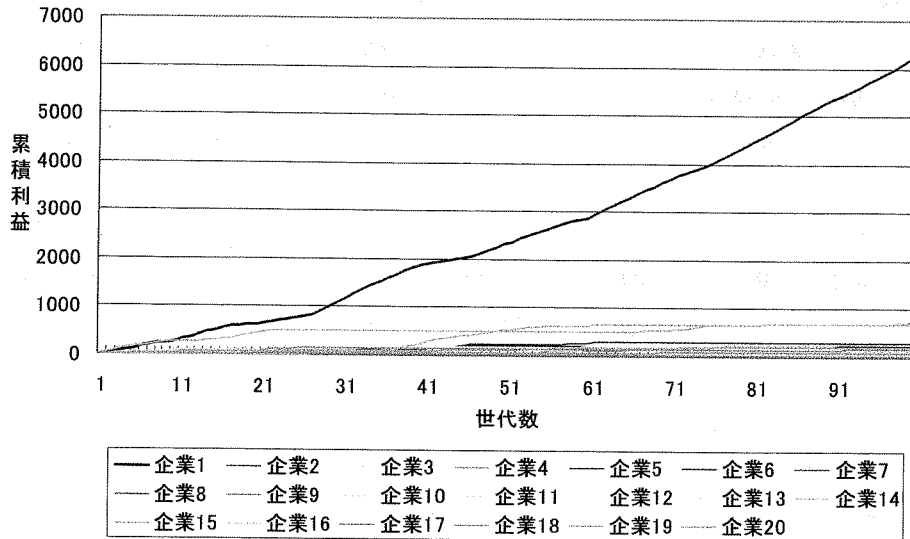


図6 累積利益の推移

図5, 図6から分かるように, このケースでは, 最終的に企業1が継続して高いシェアを得, 企業中最大の累積利益を上げた. すなわち, ある技術の特許化に成功した企業は, 他社がその特許技術の代替技術の開発に成功することが無い場合には, クローズ型特許戦略を用いることによって, 市場をほぼ独占できるということが分かる. しかしながら, シミュレーションを開始した直後は, 一時的に高いシェアを得ることはあっても, それが継続することは無かった. これは, シミュレーション開始直後では, 企業1が特許化した技術分野の開発が進んでいないため, その他の企業がそれ以外の技術分野の開発を行うことで消費者から支持を得ることができるからである. しかしながら, 世代が進行していくに連れ, 企業1は特許化した技術分野の開発を進めることができるが, その他の企業は特許による牽制から代替技術の開発が成功しない限りその技術分野の開発を進めることができないため, その技術分野における技術力の差は拡大していくことになる. 一方で, 特許化されている技術分野以外の技術に関しては, 法的な拘束力が働かないために他社の技術を獲得することも可能であり, この場合は, その世代において, 各技術分野の先端技術を開発することはできないが, 技術的な遅れを挽回することができる. こういった要因から, シミュレーション開始直後は, 企業1のシェアの乱高下が見られるが, 世代が進むに連れてその振れ幅が小さくなっていくと考えられる.

《シミュレーション3: 代替特許が発生しない場合のオープン型特許戦略の有効性の検証》

仮説1のオープン型特許戦略の効果を明らかにするために, 本質となる技術, 特許, 特許戦略以外の要素を極力排除し, 以下の条件でシミュレーションを行った.

- 企業1が1世代目から商品を構成する技術の一部を特許化しており, オープン型特許戦

- 略を用いる。また、企業1が保有する特許を特許1と呼ぶ。
- 企業2から企業20までの19社は、特許1の代替技術を開発することができない。すなわち、生成する企業はシミュレーション2と同様にグループ α の企業エージェントが1社とグループ β の企業エージェントが19社であるが、用いる特許戦略だけが異なっている。

結果の一例として、図7のようなシェアの推移及び図8のような累積利益の推移が得られた。この場合の企業1の累積利益は、累積売上にロイヤルティによる収入の累積分を加えたものであり、それ以外の企業は、累積売上と累積利益が一致する。

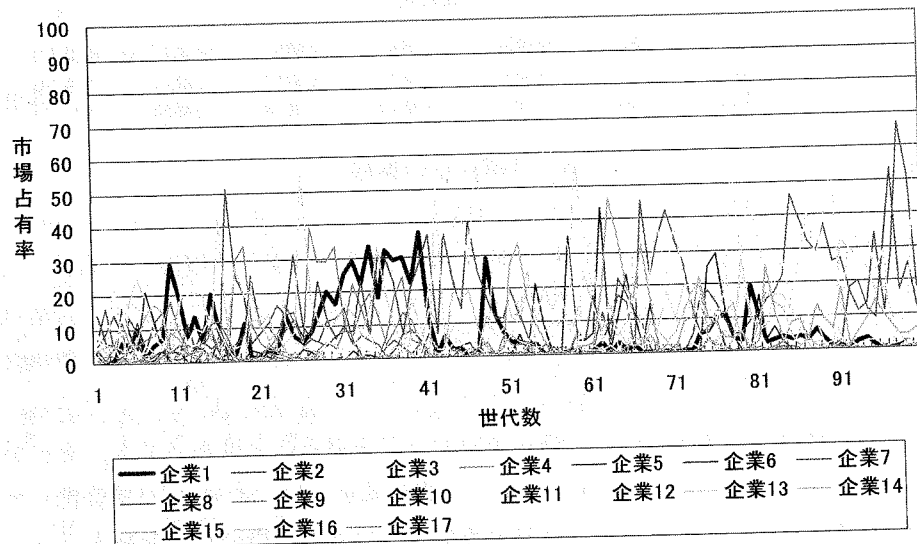
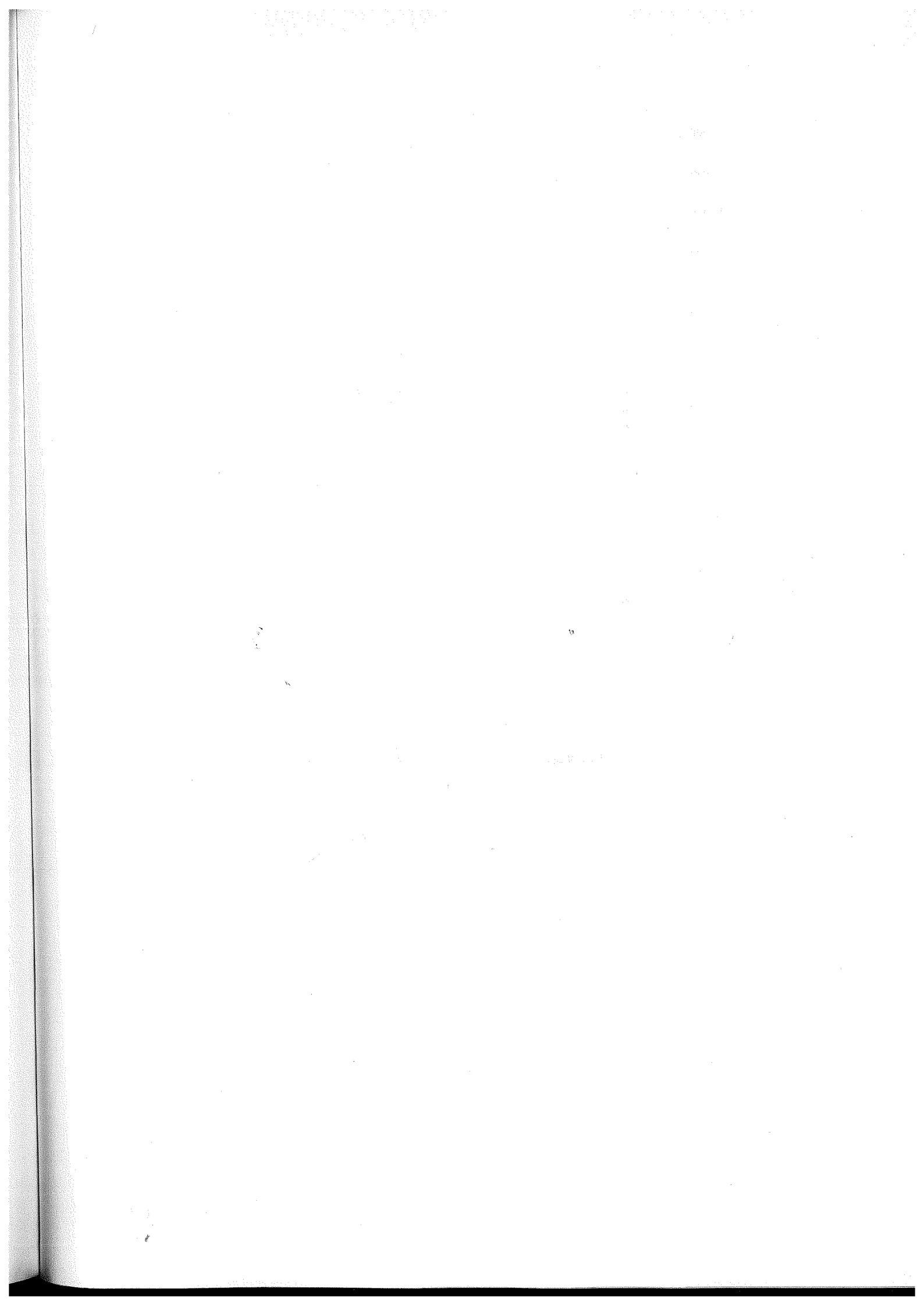


図7 市場占有率の推移



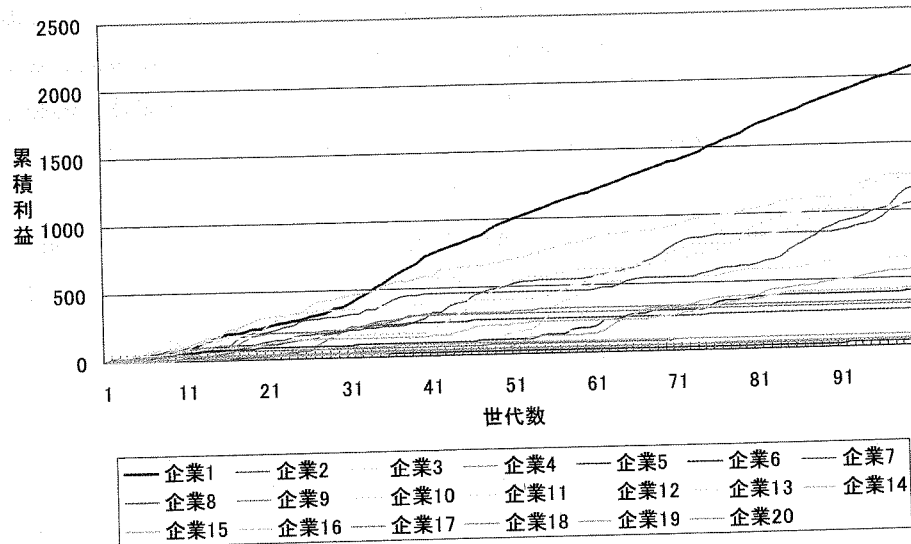


図8 累積利益の推移

図7から、このケースでも企業1は他の企業と比較して高い収益を上げることができたことが分かる。しかし、企業1はオープン型特許戦略を用いているために、その他の企業でもロイヤルティを支払うという条件はあるが、特許1を使用することが可能になっている。結果として、競争状態を生むことになり、シミュレーション2の企業1のように継続して高いシェアを得ることは不可能である。また、世代後半においては特許1が市場でスタンダードな技術となってしまう、企業1は商品の販売による収益をほとんど得ることができていないこともあった。

表2は、シミュレーション2とシミュレーション3において、シミュレーションを100試行行った際の企業1の累積利益の平均と標準偏差の値である。

表2 企業1の累積利益の平均と標準偏差

	平均	標準偏差
シミュレーション2	5176.33	1321.89
シミュレーション3	2589.91	330.81

表2より、シミュレーション2の企業1の累積利益の平均がシミュレーション3の企業1の累積利益の平均よりも明らかに大きいことが分かる。結論として、「ある企業がある技術の特許化に成功し、かつ、その他の企業がその特許技術の代替技術の開発に成功しない場合は、その企業は、オープン型特許戦略よりもクローズ型特許戦略を用いることが望まし

い」といえる。すなわち、仮説 1 を示すことができたと考えられる。しかしながら、シミュレーション 2 の企業 1 の累積利益の標準偏差の値が相対的に大きく、シミュレーション 3 の企業 1 の累積利益の標準偏差の値が相対的に小さくなっている。これは、企業 1 がクローズ型特許戦略を用いている場合には、企業 1 が得る利益が特許化した技術の開発の程度に強く依存するためばらつきが大きくなるのに対し、オープン型特許戦略を用いている場合には、企業 1 の特許部分の開発があまり進行しない場合でも、特許を使用している企業から収益を上げることが可能であるため、利益のばらつきが小さくなるからであると考えられる。

《シミュレーション 4：代替技術の同時発生時の 2 つの特許戦略の効果の検証》

仮説 2 を示すために、本質となる技術、特許、特許戦略以外の要素を極力排除し、以下の条件でシミュレーションを行った。

- 企業 1 及び企業 2 が 1 世代目から同一の技術課題を克服するための同一分野の系統の異なる技術の特許化に成功した。企業 1 の保有する特許を特許 1、企業 2 の保有する特許を特許 2 と呼ぶ。
- 企業 1 はクローズ型特許戦略を用いており、企業 2 はオープン型特許戦略を用いている。
- 企業 3 から企業 20 までのその他の 18 社は、特許 1 及び特許 2 の技術の代替技術を開発することはできない。
- その他の 18 社は、クローズ型特許戦略が用いられているために特許 1 を取得することはできないが、オープン型特許戦略が用いられている特許 2 は取得することが可能である。

すなわち、初期の特許戦略の異なるグループ α の企業エージェントを 2 社、グループ β の企業エージェントを 18 社生成する。

エージェントベースシミュレーションでは、同一の初期設定であっても、シミュレーションの度に異なる結果が生じる。これは、エージェントベースモデリングによって作成するモデルは、ミクロな視点における相互作用を規定するものであり、結果において創発現象が生じる可能性を有していることに起因している。シミュレーション 1, 2, 3 では 1 つのパターンの結果しか生じなかったが、このケースでは、2 つのパターンの結果を得ることができた。

• パターン 1

図 6, 図 7 のように、累積売上高においては企業 1 が企業 2 を上回るが、累積利益においては企業 2 が企業 1 を上回るパターンである。

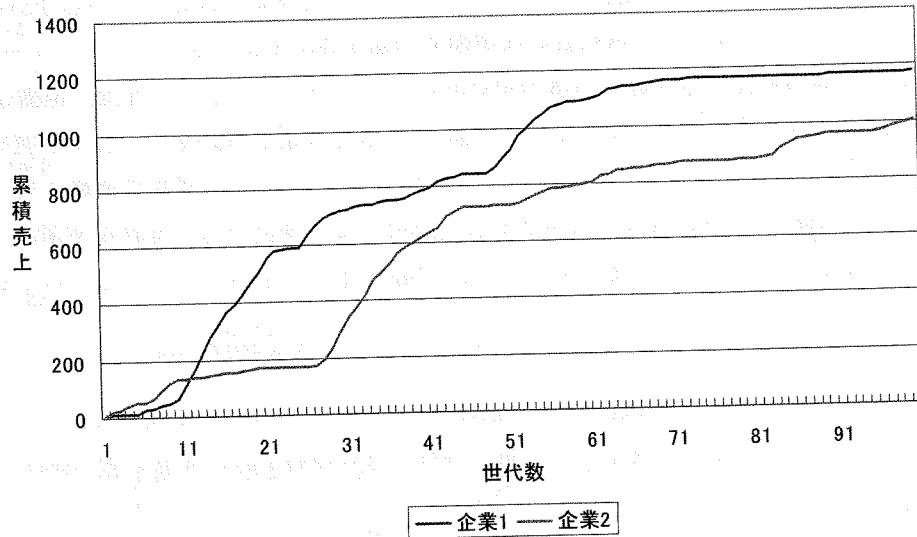


図9 企業1, 企業2の累積売上の推移

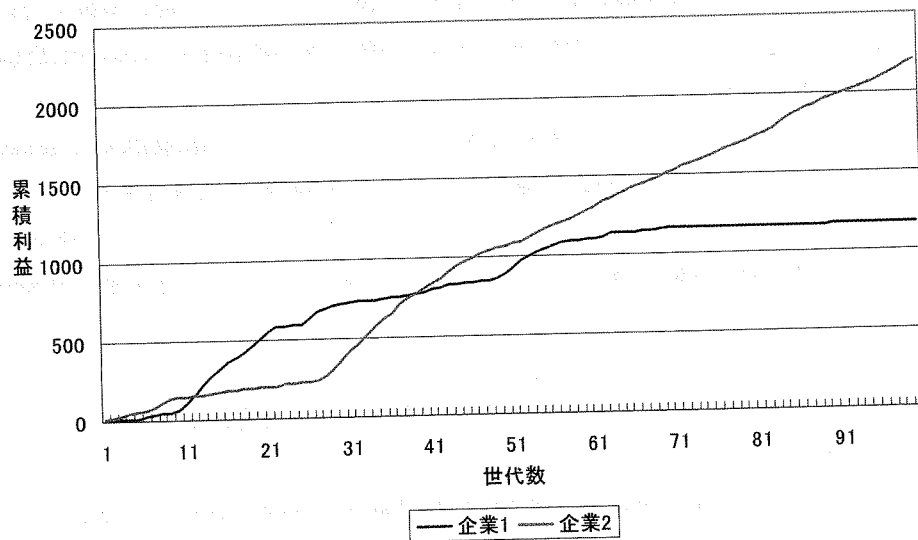


図10 企業1, 企業2の累積利益の推移

● パターン2

図11, 図12のように, 累積売上高及び累積利益, 共に企業2が企業1を上回るパターンである。

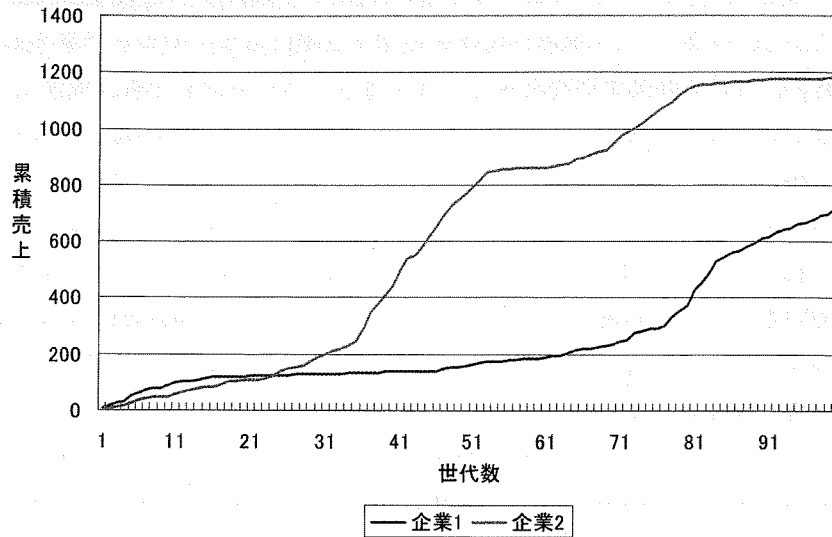


図 11 企業 1, 企業 2 の累積売上高の推移

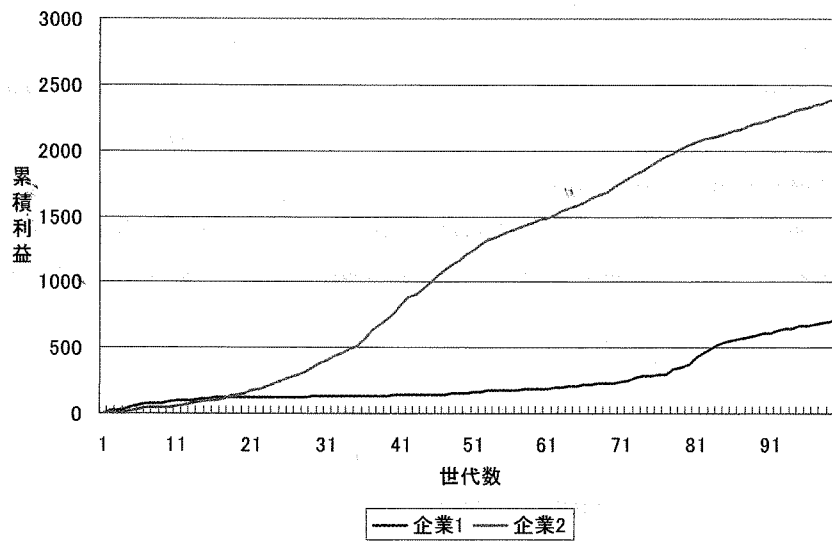


図 12 企業 1, 企業 2 の累積利益の推移

2つのパターンに共通して言えることは、累積利益において必ず企業2が企業1を上回るということである。また、シミュレーション開始直後では、特許としての魅力があまりないために特許2を各企業が欲さず、ロイヤルティによる収入は得られていない。しかしながら、世代が進むに連れて、企業3から企業20までの18社が、特許の有用性を認識し、特許2を取得するようになる。その結果、世代後半においては、多くの企業が特許2を保有するようになり、特許を保有していることによる売上への優位性はほとんどなくなって

しまう。実際に、図 9、図 11 では、世代後半においては企業 1、企業 2 共に売上が低下している。しかし、企業 2 は、他社が特許の使用の際に、ロイヤルティを支払う契約を結んでいるため、自社の商品が消費者から支持を得ることができずとも、特許 2 を使用しているいずれかの企業が消費者から支持されれば、その売上の一部を収入として得ることができる。結果として、特許を使用する企業の割合を上げることで、開発がうまくいかない場合のリスクをヘッジすることができる。企業 2 の売上が落ち込んだ際には、特許 2 を取得したいいずれかの企業が高いシェアを得ており、相対的に高いロイヤルティ収入を得ることができている。一方、企業 1 は、ロイヤルティによる収入が得られないためにリスクヘッジができず、売上（利益）が各世代の開発の成否に強く依存する形になり、競合する企業が多い市場で継続的に優位に立つことが困難になってしまう。

結論として、「ある 2 つの企業が同時期に、それぞれが特許化した技術と同一の技術課題を克服するための系統の異なる技術の開発に成功した場合、特許技術の開発に成功した企業は、クローズ型特許戦略よりもオープン型特許戦略を用いることが望ましい」といえる。すなわち、仮説 2 を示すことができたと考えられる。

これまでの一連の結果から、他の企業に先立って特許技術の開発に成功した場合には、自社が開発した技術を他社に開放せずに、クローズ型特許戦略を用いて自社商品による市場の独占を目指すことが望ましいと言える。しかしながら、その企業と競争状態にある企業がその技術の代替技術の開発に成功し、オープン型特許戦略を用いてきた場合には、クローズ型特許戦略ではその競合企業に比べて市場において劣位になってしまう。すなわち、その様な場合には、オープン型特許戦略を用いて自社の技術の拡散を目指すほうが望ましいといえる。これは、冒頭で挙げたソニーと日本ビクターの VTR における標準化競争の事例の顛末とも一致している。

6. おわりに

近年、知的財産、特に特許が企業経営に与える意義はますます高まっている。それに伴い、MOT などの分野でも戦略的な活用法に関する様々な研究がなされている。しかしながら、そうした研究では、個々の事例に対する事後的な研究が主であり、概念的な研究はあまりなされてこなかった。また、現実において、開発した技術に対し、特許戦略を試行錯誤的に適用することは極めてリスクが高いにも関わらず、シミュレーションによる研究もほとんどなされていない。本研究では、特許を考慮した市場ダイナミクスを分析するためのモデルを提示した。そして、今回提案したモデルを用いてシミュレーションを行うことで、知的財産マネジメントに関わる人が開発した技術にある特許戦略を用いた場合の将来のシナリオを提供することができ、ひとつの活動指針を導く可能性を有していると考えられる。また、この研究を発展させていくことで、特許制度の設計の支援や研究開発における開発資源の戦略的な配

分問題における意思決定の支援を行うことも可能になると考えている。

しかしながら、本研究では、抽象モデルとして簡単な仮説を検証したに過ぎない。今後、この抽象モデルを実証研究と結び付けていき、より実践的な特許戦略策定の支援を行えるように洗練させていく必要があるだろう。

参考文献

- [1] 岡田依里, 「知財戦略経営 - イノベーションが生み出す企業価値」, 日本経済新聞社, 2003.
- [2] 杉光一成編, 「知的財産 - 管理&戦略ハンドブック」, ソフトバンクパブリッシング株式会社, 2002.
- [3] 高橋真吾, 大堀耕太郎, “企業技術と消費者選好の共進化プロセスのエージェントベースモデル”, 進化経済学論集第9集, pp.359-368, 2005.
- [4] 高橋真吾, 大堀耕太郎, “市場システム設計のためのエージェントベースモデル”, 第25回社会経済システム学会報告要旨集, 2006.
- [5] 仲森智博編, 「MOTの真髄 - イノベーションはここから始まる」, No.001, 日経BP社, 2004.
- [6] 仲森智博編, 「MOTを極める - 最強の『知財戦略』と『プロジェクト思考』」, No.002, 日経BP社, 2004.
- [7] 永田晃也, 隅藏康一, 「MOT 知的財産と技術経営」, 丸善(株)出版事業部, 2005.
- [8] ニベレット・M.ロジャーズ, 「イノベーション普及学」, 産能大学出版部, 1990.
- [9] 濱岡豊, 「共進化マーケティング - 消費者が開発する時代におけるマーケティング」, 三田商学研究, 2004.
- [10] 原陽一郎, 安部忠彦, 「MOT イノベーションと技術経営」, 丸善(株)出版事業部, 2005.
- [11] 増山博昭編, 「実践 知的財産戦略経営～事業・R&D・知財の三位一体を実現する MOT の真髄～」, 日経BP企画, 2006.
- [12] 米山秀隆, 「勝ち残るための技術標準化戦略」, 日刊工業新聞社, 2003.
- [13] 「特許四季報 - 創刊号」, No.001, アイ・ピー・ビー, 2003.
- [14] 「特許四季報 - 創刊2号」, No.002, アイ・ピー・ビー, 2004.
- [15] 「特許四季報 - 創刊3号」, No.003, アイ・ピー・ビー/アクセス・パブリッシング, 2005.
- [16] Singo Takahashi, Kotaro Ohori, “Agent-based Model of Coevolutionary Processes of Firms Technologies and Consumer Preferences”, NAACSOS Conference, 2005.