

博士（人間科学）学位論文

ファジィ推論を応用した椅子の座り心地予測システムの構築

Construction of Prediction System for Seating Comfort  
by Fuzzy Inference

2004 年 1 月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

三家 礼子

**Mitsuya , Reiko**

研究指導教員： 野呂 影勇 教授

## 第1章 序論

1.1 序論	1
--------	---

## 第2章 座り心地に関する統計学

2.1 物理量の統計的解析手法	7
2.1.1 相関分析	7
2.1.2 ノンパラメトリック法	8
2.1.3 主成分分析	8
2.1.4 時系列解析	11
2.1.5 ニューラルネットワーク	18
2.1.6 足の膨張率計算	20
2.2 心理量の統計的解析手法	20
2.2.1 評点法の結果のレーダチャート	20
2.2.2 ME法(マグニチュード推定法)	22
2.2.3 順位法	23
2.2.4 一対比較法	23
2.2.5 継次範疇法	25
2.2.6 アップダウン法	26
2.2.7 絶対判断法	27
2.2.8 SD法	27
2.2.9 共分散構造分析	29
2.3 座に関する心理量と物理量との関係	32
2.3.1 身体圧分布測定値の時系列解析後の結果と負担評価との関係	32
2.3.2 身体圧分布測定値のニューラルネットワーク解析の結果と負担評価との関係	36
2.3.3 ファジイ推論による小学校の椅子選び支援システム	38
2.3.4 その他の座に関する心理量と物理量との数理モデル	40

### 第3章 座り心地評価におけるクッション性の研究とファジィ推論

3.1 体性感覚と座り心地	43
3.2 体型と座り心地の関係	44
3.3 クッション性の研究	48
3.4 ファジィ推論	53

### 第4章 座り心地予測システム構築のための実験1

4.1 実験方法	57
4.1.1 被験者	57
4.1.2 体型分類	57
4.1.3 実験機材	58
4.1.4 実験手順	58
4.1.5 実験条件	59
4.2 実験結果	61
4.2.1 クッション材の物理特性値の定義	61
4.2.2 実験1の結果	64
4.3 解析方法・結果	67
4.3.1 解析のためのモデリングデータ	67
4.3.2 解析に用いたファジィ推論モデルの構築方法	67
4.4 考察	71
4.4.1 ニューロ・ファジィシステムと結果考察	71
4.5 検証実験	76
4.5.1 被験者	76

4.5.2	実験機材	76
4.5.3	実験手順	77
4.5.4	実験条件	77
4.5.5	実験結果・考察	77
4.6	結論	80

## 第5章 座り心地予測システム構築のための実験 2

5.1	実験方法	81
5.1.1	被験者	81
5.1.2	体型分類	81
5.1.3	実験機材	81
5.1.4	実験手順	82
5.1.5	実験条件	83
5.2	実験結果	84
5.2.1	クッション材物理特性値の曲線方程式	84
5.2.2	実験 2 の結果	85
5.3	解析方法・結果	85
5.3.1	ファジィメンバーシップ関数の数の決定	86
5.3.2	ファジィ推論モデルの再構築	88
5.4	考察	93
5.4.1	ファジィ推論不正出力値	93
5.4.2	構築した予測モデル自体の妥当性	94
5.4.3	クッション性についての検討	95

5.5	検証実験	96
5.5.1	被験者	96
5.5.2	実験機材	96
5.5.3	実験手順	96
5.5.4	実験条件	97
5.5.5	実験2の検証結果・考察	97
5.5.6	ファジィ推論と他の統計手法との比較	98
5.6	結論	101
第6章 ニューロ・ファジィシステムを用いた応用研究		
6.1	身体寸法（体型）の違いによる適正座面高推定の実験	102
6.2	身体寸法の違いによる適正座面高推定モデルの提案	104
6.3	提案したファジィモデルの検証実験結果	110
6.4	官能評価モデルへの応用	111
第7章 結論		
7.1	構築した体型別適合クッション硬さの予測モデル	115
7.2	座り心地に関するファジィ推論モデルの応用	117
7.3	座り心地に関する応用統計学の大系化	119
参考文献		120
研究業績		125
付録1		128
付録2		129
付録3		137
謝辞		

## 第1章 序論

### 1.1 序論

座り心地とは、極めて多様な概念を内包する。

広辞苑によれば「心地」とは 心の状態気持，気分，またそうした気分をつくりだす外界の様子． 身体的な状態の自覚，またその良くないこと． 心の中，考え，思慮，とある．心地を測るのは心の中もしくは脳の中を測るとも考えられる．そもそも脳と心の関わりとはいかなるものであろうか．

養老（1989）[1]によると「脳と心の問題，すなわち心身論とは，じつは構造と機能の問題に帰着する」という．さらに，「脳はたしかに「物理的存在」である．それは「物」として取り出すことができ，したがってその重量を測ることができる．ところが心は脳的作用であり，つまり脳の機能を指している．例えば心臓という「もの」から，循環という「作用」ないし「機能」を取り出せないように，「脳」という「物」から「機能」である心を取り出せるはずはないのである．言い換えると，心臓血管系と循環とは，同じ「なにか」を，違う見方で見たものであり，同様に，脳と心もまた，同じ「なにか」を違う見方でとらえたものである．なぜヒトは，脳つまり「構造」と，心つまり「機能」とを分けて考えるのか．それは，われわれの脳が，そうした見方をとらざるを得ないように，構築されているからである．」と言う．よって，心は「物」でないがゆえに，検査のために心をひとかけら採ってくれといわれても不可能である．これが心を測ることの難しさの所以である．本研究ではこの心を測る課題に取り組み，心の状態の測定結果を心理量と定義する．

心身論には別の側面，すなわち，脳と脳以外の身体との関連がある．ここでは脳と身体とは明瞭に分離できない．なぜなら，身体のほぼいたるところに末梢神経がはりめぐらされており，脳と神経とは一連の連続する構造である．末梢神経つまり脳脊髄神経とは，具体的には神経細胞の突起が集まって作る，索状の構造物であり，脳や脊髄から出て身体の各部に分布する．そして感覚器により脳（心）で感知した刺激は神経系を伝って身体の運動となる．

ここで感覚器と運動についてさらに詳しく述べると、神経系の定義は金光（1983）[2]によると「神経系は受容器と効果器のあいだに介在する器官として定義される。動物の諸器官は神経系にとっては受容器か効果器であり、神経系の末梢器官と総称される。そして神経系は、受容器から情報を得て効果器を駆動し、動物が外部環境に合目的的に適応し、内部環境を恒常的に維持することを可能にしている」とある。すなわち受容器は感覚器、効果器は筋肉と考える。また、発汗と汗腺、脈拍と心臓、呼吸と肺、血圧と血管との関係も神経系の受容器と効果器に対応するといえる。本研究では前述の心理量の定義同様、感覚器 - 神経系 - 効果器への一連の流れの中で、効果器のもたらす結果を物理量と定義する。

次に、「坐り」とは広辞苑によると 坐ること、すわった様子、物体の安定、とある。つまり冒頭の「心地」と「坐り」をつなげた座り心地とは、坐ったときの様子や身体の安定度を人間が心でいかに感じているかということになる。このように坐り心地を評価するには心理量と物理量との対応関係を明らかにすることが重要となる。

座り心地の仮説について、野呂（1990）[3]は「座り心地は、頭と身体で（座り心地だから体性感覚に関与がある）連続的に感じて、判断していると仮定できる」としている。さらに、野呂は椅子の座り心地に関与する項目を三つに分類している（1992）[4]。すなわち、第1に視覚的なデザインの影響、第2に体性感覚、第3に時間的要素としている。

まず視覚的デザインについては視覚器（身体）を通じて人の意識（脳）に影響を与えているとしている。例えば自分の感性に合った椅子、つまり自分の趣味に合った椅子に出会ったとしたら、その人は楽しい気分になるだろうし、同時に購買意欲も高まるであろう。この気分を測るには一般に Semantic Differential 法（SD 法）等の心理的技法を用いることが知られている。椅子の視覚特性と座り心地について、沢口（2000）[5]は椅子の視覚的イメージを明らかにするため、SD 法を用いて因子分析を行い、情緒性、機能性の2因子を抽出している。これらの因子で椅子の視覚的イメージ構造を説明している。

次に体性感覚についてであるが、ヒトの身体は大きさ、形状が異なる、ゆえに各椅子に対する体性感覚もヒトによって異なると言えるが、野呂はここでヒトが体性感覚を用いて椅子を評価する時に「フィット」「サイズ」「感触」という3つの評価次元を提唱した。評価では物理測定機器などを用いずに、上記3つの評価次元より作成したチャートにて、ヒトが感じたままの座り心地を、欲する所の目的別に必要データの取得を行った。また、最近の自動車シートの座り心地に関する研究で、Demontis S. *et al.* (2002) [6]は体性感覚の評価尺度を「stiffness」、「Postural comfort」、「Wrapping」としている。そして、身体と椅子とのインターフェースの物理量として体圧分布測定を行っている。

3つ目の項目、椅子の座り心地における時間的要素であるが、例えば長時間座位姿勢を続けると臀部、腰部や背中などに負担が生ずる。このことから座り心地評価のなかで時間的要素は無視できないものとしている。本研究の自己先行研究として、この時間的要素の評価のために主観評価（心理量）と、客観評価（物理量）としての体圧分布測定を行っている。体圧分布測定においては、測定値に個人の差が反映されず、かつ長時間測定では体圧マップが膨大な量のデータとなるので、体圧マップを見ただけ長時間測定における体圧マップのパターンや代表的なマップを抽出することが困難である。よって、この解決法として先行研究では、パターン認識に有効なニューラルネットワークを用いている（藤巻、三家 2002）[7]。また、体圧分布測定値の長時間に亘る圧力値変化を波形とみて時系列解析を行い、主観評価と総合して予測モデルを構築している（三家 2002）[8]。

既述の通り、座り心地は、ヒトと椅子のインターフェースにおける問題である。当然椅子の種類によっても要求される座り心地は異なる。このインターフェースについて簡単に論じると、その概念は可視性、フィードバック、アフォーダンス、制約、対応づけ、メンタルモデルであると考えられる[9]。これらの名詞に「椅子の～」をつけるとヒトと椅子のインターフェースの意味が明確になる。具体的に示すと椅子の可視性は見た目であり、フィードバックは使いやすいと感じるまたは、反対に負担感を持ったりすることである。椅子のアフォ



ーダンスを論ずるのは難しい，つまりヒトの認知的な面を表すのは難しいからである．またその是非を論ずるのはさらに難しいと考える．本研究におけるアフォーダンスの捉え方は，椅子はヒトを支持することをアフォードしているとする．次に椅子の制約であるがこれは座り難さであり，対応づけとは環境に合った椅子の種類などとなる．最後のメンタルモデルは椅子の調整機構が使いやすい，分かりやすいことを示すことになる．

以上のように座り心地は極めて多様な概念を内包するために，その測定方法も数多く，心理的な評価もその対象によって複雑である．

そして，これまでの椅子の座り心地の評価方法には改善されるべき多くの課題がある．本研究では，この問題を解く鍵として統計学に着目し，さらに Philip J. D. & Reuben H (1988) [10] による数学の分野をそのまま統計の分野という言葉に置きかえた．本研究における統計学の位置づけは，無論応用統計学にあたり，応用統計学とは統計学者が純粋統計学以外の分野から持ちこまれた課題を達成する為に手を染めるものである．天気予報や地震の予知を数式化すること，工場の品質管理に統計学を導入すること，月を目指すロケットの軌道修正計算など，課題は多種多様である．従来統計学は医学，薬学，生物学，経済学，心理学，言語学等の分野に適用され，それぞれ応用統計学として確立されている．近年に至っては，応用統計学は意外なところで活力を発揮しているという (Philip J. D. & Reuben H 1988)．例えば，人間の社会的，経済的行動を統計的に研究しようという動きである．この面で新たに応用統計として登場した分野として，ゲーム理論，オペレーション・リサーチ，統計的決定理論，データ処理，情報理論，計量経済学，人間工学がある．今まさにこれらの分野が発展し，注目されようとしているときであり，本研究の意義が生まれると考える．しかし，椅子とヒトとの関係を調べるという人間工学に係る研究への統計学応用は，未だ明確な体系化がなされていない．

よって本研究は，統計学の観点から，椅子の座り心地評価における概念であるところの物理量と心理量との関係を表す予測モデルを提案し，さらに応用統計学としての座り心地評価について，その統計学の体系化を目指す．研究方法

は、ベッドクッション材やオフィスチェアクッション材を評価の対象とし、座り心地の指標である物理量としては人体寸法の測定値を用いる。座り心地はヒトの性別・体格によっても異なるため、本研究ではヒトの体格と個人が自分に適合していると考えられるクッション性との関係にファジィ推論モデルを適用して、予測モデルを構築することを試みている。また心理量としては質問項目にある個人としてのクッション材適合度を評価尺度として用いる。

本研究は序章を含む7章からなる。

第2章では、従来行われてきた座り心地に関する様々な統計手法を記述する。これらを用いて特に心理量による評価（官能評価）と物理量からの座り心地予測（客観的評価）が行われている。官能評価の解析手法である一対比較法、順序法、継次範疇法等では、質問項目ごとに評点を付け、その平均値や標準偏差を算出して結果を比較することが行われてきた。一方、客観評価には、体圧分布、骨盤傾斜角、脳波、心拍等の測定結果が用いられている。特に体圧分布測定では、得られたマップから負担が生ずる身体部位を経験的に予測し、マップ自体について実験者の主観で良否を判断している。しかし、これら解析手法が予測モデルとして最適か否かについては、未だ議論の余地がある。

本研究で提案する予測システムは物理量として身体寸法（体型）、心理量として椅子に対する適合度に焦点をあて、従来の方法を発展させるために線形では表現することに少々無理がある対象、つまりヒトの心を反映させたあいまいな部分を、非線形モデルで解析するためにファジィ推論モデルを提案する。

第3章では、提案する非線形モデルのファジィ推論を解析手法に用いる必要性を論じる。まず座り心地を評価する際、クッション性は重要な座り心地要因となる。例えば、専門家が椅子の設計のためにクッション性に関して硬さを聞くと、対象者の回答は専門家の意図する結果にならない場合が多々ある。ここでは専門家と対象者の間に共通の言葉が見出せない。また、専門家の間ではクッション特性であるクッションの硬さ等を数量的に表示するのが難しいとされる。つまり、ウレタンフォームなどの非線形性の強いクッション材は、ある点までは柔らかく、ある点からは硬く変化するが、その特性を数値でどう表すか

が問題となる。

次に、ファジィ推論モデルのアルゴリズムを概説する。この推論モデルは、ファジィ推論のファジィ理論と、ニューラルネットワークを融合させたニューロ・ファジィシステムを用いている。両者の長所として、ファジィ理論はルール記述によって明示的に論理が扱える。一方、ニューラルにはこの特長はないが、ファジィ論理にはない学習機能がある。これらを生かした融合化技術を用いているのが、ニューロ・ファジィシステムである。

第4章では、本研究のために2回にわたって行なわれた実験のうち、最初の実験について記述する。この第1実験は、ファジィ推論モデルの初期段階のもので、検証実験も行い妥当性は得られているが、実験条件の拡張とシステム自体の最適化を目指して、次章の実験2へと続く。

第5章の実験2では、第1実験から抽出された課題を解決するために、初期システムの前段階で、ファジィクラスタリングを行い、メンバシップ関数の数やルールの数を決定した。また実験2では、第1実験の評価対象であったベッドクッションではなく、オフィスチェアのクッション材を用いて実験を行い、システムは男性女性別に構築して検証実験も行った。

第6章では、第5章で構築された予測モデルと同じファジィ推論を用いた応用例として、身体寸法を用いた適正座面高予測モデルを示す。また、官能評価モデルへのファジィ推論の応用も今後のファジィ推論を用いる研究として論じる。

第7章では、椅子の座り心地評価において未知なる部分を開拓した本研究の行程を再度たどり、さらなる研究として座り心地に関する応用統計学体系化への端緒を提示する。

## 第2章 座り心地に関する統計学

この章では椅子の座り心地に関する統計的解析手法を記述する。本章において実際に椅子の評価に用いた統計手法について、物理量を対象にしたもの、心理量を対象にしたもの、そして物理量と心理量を同時に対象とした予測モデルとしての統計手法を記す。これらの統計手法は記述統計学における平均や標準偏差などを求める方法以外に用いられる手法である。今後、座り心地を評価する上で変数となるものや、それに対する解析手法が明確になると人間工学に適用される統計学の体系化が期待できる。

### 2.1 物理量の統計的解析手法

#### 2.1.1 相関分析[11]

相関分析は2変量の線形的(linear)な関係を示すパラメータである。従って、非線形的な(例えば曲線的)関係に関しては無意味である。相関分析では散布図を作成することが重要となる。この散布図を描くことにより、パラメータ間の関係を見ることが出来る。しかし、現象的な関係を示すだけで因果関係に関しては何も説明するものではない。

検定については、帰無仮説  $H_0:r=0$ 、即ち無相関に関する検定で、これは試料数、即ち自由度により機械的に決まってしまう。仮に、 $r=0.001$  であっても100万個のデータであれば  $r=0$  で無い可能性が高く、有意になる。一方、 $r=0.7$  であっても、数が非常に少なければ、 $r=0$  の可能性もある。意味がある検定は、 $H_0:r=XX$  といったものや  $H_0:r<XX$  といった母相関係数に関する検定になる。

例えば椅子に関して相関分析を用いた事例として下記のものがある。座面角度、背面角度、フットレスト角度の調節可能な椅子を用いて、ある居室空間における椅子の各角度の快適角度範囲を求める実験を行う。実験条件は読書、音楽鑑賞、仮眠の3条件とし、被験者に各条件において座面、背面、フットレストの角度調整を任意に行ってもらい、各条件ごとの被験者による座面角度と座面・背面の挟角、フットレストの角度の値関係を相関分析して、居室空間における椅子の設定角度の傾向を見る。その結果得られた角度範囲の検定を行い、

有意性を示すことができる。

### 2.1.2 ノンパラメトリック法[12]

サンプルが少ないとか，実験回数が少なくてデータの分布がわからない場合がしばしばある．この場合は，ノンパラメトリック法を使うのが便利である．このようにデータの正規分布性を気にしないで一変数，または一要因の 3 つ以上のグループ差を検定する方法が，Kruskal-Wallis (KW)，別名クラスカル-ウォリス法 (KW) である．この方法では，他のノンパラメトリック法がそうであるように平均値は使わず，中央値が使われる．つまり，中央値が母集団の分布を決めていると考える．

ノンパラメトリック法は，データに順位をつけることから始まる．例えば 3 つのグループのデータがあるとする．これを全体としてまとめ，順位をつける．つぎに各グループ内のデータに順位をつける．この場合，全体の順位の平均と各グループの順位平均との差の 2 乗和を使い，統計量である KW 値を求める．この計算は手作業で十分可能である．2 元配置の分散分析にはフリードマン検定を使う．

かつては有意差を確かめる場合，あるデータの統計量を求めて，あらかじめ用意された表に照らし合わせて判定を行っていたが，最近のパーソナルコンピュータ (PC) の発達とともに，複雑で繰り返し計算の多いノンパラメトリック法も計算が容易となった．

椅子の評価実験では，被験者数が少ない実験においてデータ解析を行うとき，データの分布がわからない場合が多々ある．特に長時間実験では実験前後の負担部位調査等を行うとき，実験時間がかかる割に検定をかける程のデータが採取できない．このような場合ノンパラメトリック検定は有用であると考えられる．

### 2.1.3 主成分分析

主成分分析は多数のパラメータ間の相関関係に着目し，それらパラメータの値をできるだけ情報を損なうことなく，少数パラメータの総合的指標で代表さ

せる手法である．ここではシートに関する座り心地の一評価である身体圧分布測定により得られる測定値（感圧センサ数，平均圧力値，標準偏差，変動係数，最大圧力値）に着眼し，これらを主成分分析にて解析することを試みる．主成分分析を行い，数ある測定値の縮約により得られた因子で条件別椅子の傾向を見ることができる．

まず，得られた因子の因子負荷量を用いて身体圧分布の測定値を 2 変数で散布図を描く．例えば変数 1 が圧力値因子で変数 2 がセンサ数因子であるとして，両者の関係を見ることで椅子の角度条件やクッション素材の特性がわかる．

図 2.1 に主成分分析によって得られたクッション素材の特性を示す．

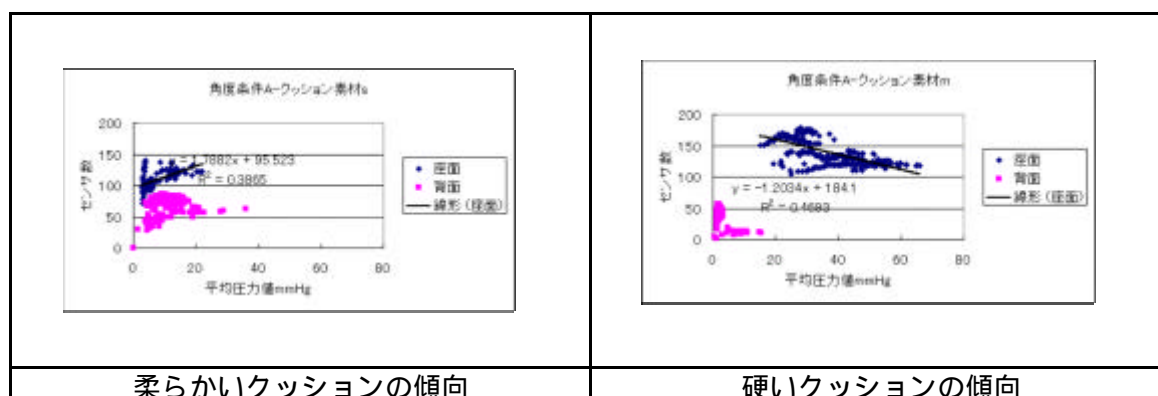


図 2.1 身体圧分布測定によるクッション素材の特性

身体圧分布測定器は人の座り方，横たわり方，歩き方などを評価するためにつくられた圧力測定システムである．システムにはセンサマット，インタフェイスボックス，接続ケーブル，ソフトウェアが含まれている．センサマットは  $16 \times 16$ （あるいは  $15 \times 15$ ）の高感度圧力センサでできている．表示される測定値は座面と背面で，センサ数，平均圧力値，標準偏差，変動計数，最大圧力値，重心位置である．これらの測定値を用いてグラフ化し，散布図を描き，特に短時間実験では身体圧マップの数が少ないのでマップの形状で評価を行ってきた．

例えば，身体圧マップの基本特性として，身体特性，姿勢，椅子の形状・機能や時間経過に関する特性が得られる（藤巻 *et al.* 2000）[13]．中でも長時間の座位における身体圧マップの変化からは，座りなおし時の身体圧測定値の変化

が見出されている．しかしこれらの特性に汎用性をもたせるとすると，個人から得られる測定値の属性による個人差が問題となる．測定値自体の変化を見たりするときは，測定値自体を標準化して用いることができるが，特化した状況（あるクッションに座ったときの平均圧力値等）を代表的数値で表すのは困難である．図 2.2 に本章で用いられた身体圧分布測定器のシステム概念図と図 2.3 に本体を示す．

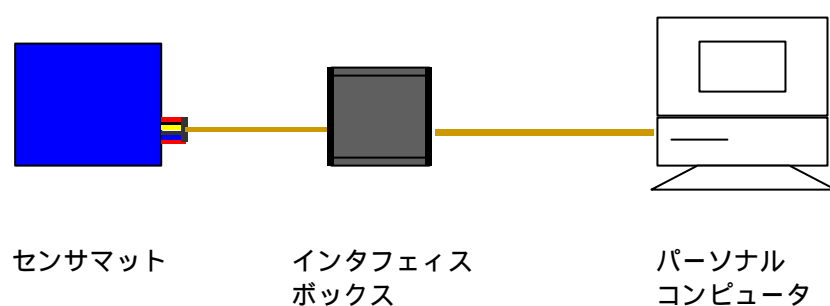


図 2.2 FSA システム概要図

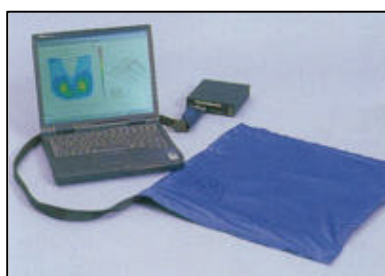


図 2.3 FSA 本体 (Verg Inc.製)

例えば，図 2.4 は異なった被験者の短時間座位において，身体の臀部，大腿部が椅子の座面にかかる身体圧マップを示している．マップにおける色の違いは座面にかかる圧力値の違いを示している．このように実験条件が同じであっても，被験者の属性（身体寸法，座位姿勢など）によって，マップの表示が違っ

てくる。またマップの測定値を比較すると、やはり被験者によって平均圧力値、最大圧力値、感圧センサ数等はかなり違ってくる。つまり体圧測定値は個人差があるので被験者内の数値変化を見るべきである。測定値のみで傾向をみるなら、各測定値で散布図を描き、さらに身体圧マップ自体を大腿部や臀部の境界で2、あるいは3、4分割し、背面も同様に3、4分割して傾向を見る。

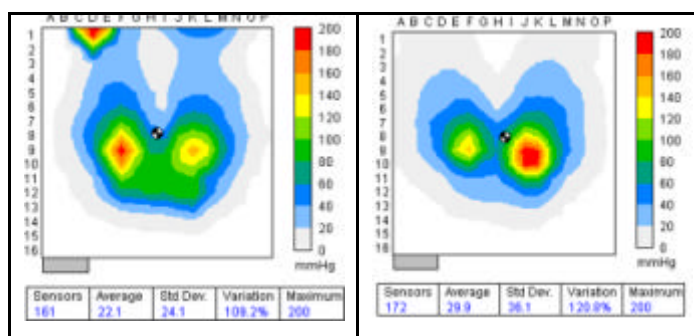


図 2.4 同実験条件下での身体圧マップの被験者による違い

#### 2.1.4 時系列解析

身体圧分布測定値を主成分分析することにより得られる因子の因子負荷量を時系列解析の AR モデルを用いて分析する。AR モデルを用いてスペクトルを推定し、心理量にあたる負担評価結果との関係の有無について探る。また時系列解析によって得られた偏自己相関係数と負担評価の結果を、重回帰モデルを用いて分析し、負担度の予測式をつくる事を試みた。ここでは、因子負過量に時系列モデルをあてはめたが、経験的に主成分分析の結果は新しい成分として圧力関係値となるので、直接平均圧力値、標準偏差や最大圧力値を解析データとしても予測式を作ることにも可能であった。この予測式は自己の先行研究として提案したものである。

本章では、骨盤傾斜角度測定値、脳波測定値や心拍測定値といった物理量を測定し、それらを時系列解析にある周波数解析を用いて、椅子の座り心地を予測している。

まず骨盤傾斜角度について、本章で解析に使用している骨盤傾斜角センサは VR センサ (DATATEC Co.,Ltd.) で、人の動きを 3 次元的に計測するためにつ



くられたものである．振動ジャイロおよび加速度センサを各々3個使用して，姿勢角度を検出する．そして，姿勢角度にあたるピッチ角，ロール角，および方位角（ヨー角）をパーソナルコンピュータに出力する．図 2.5 に本章で用いられている VR センサのシステム概要図を示し，図 2.6 に VR センサ本体と使用図を示す．

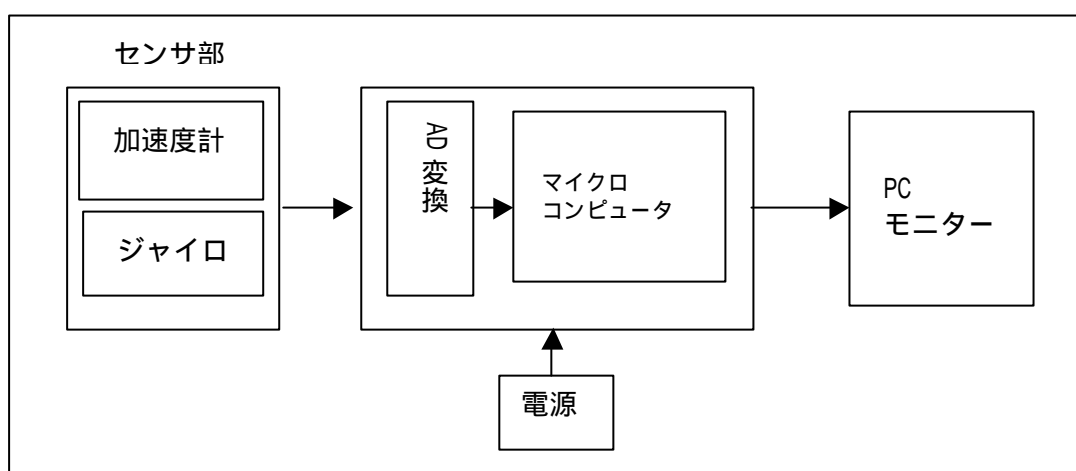


図 2.5 システムブロック図

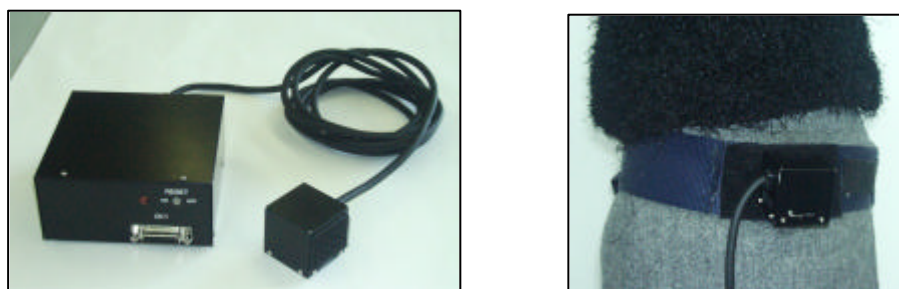


図 2.6 VR センサ本体と装着

出力されるテキストデータは加速度，角速度と角度の順である．統計的解析手法にはデータとして，ピッチ角とロール角が使用された．

従来行われてきた研究の一例を紹介すると，椅子による骨盤傾斜角の違いを見たものがある．例えば，同じ椅子でクッションのヘタリ具合が違う椅子を VR センサによって比較したとする．その結果，得られたデータをピッチ角の変化

で見ると、へたれの大きい方が前後の姿勢変化が頻繁となる。また、作業による骨盤傾斜角の違いを見た実験も行われている。こちらは VDT( Visual Display Terminal ) 作業と従来の事務作業を比較しているが、VDT 作業はほとんどの時間、PC 画面にむかって作業をしているため姿勢の大きな変化は見られない。それに対して事務作業は腕を動かして書類を書き、電卓で計算作業をするため姿勢の変化が多くなる。これらの結果だけでは、骨盤傾斜角度の変化は、座位における心地良さを表しているとは言えないが、時間経過によって心地良さに間接的に影響を及ぼしていると考えられる(野呂 1992)。この点を改善するため、骨盤傾斜角度測定と同時に、ビデオ撮影、主観評価の時間変化をはかり、データの解析では周波数解析が行われた。(小山 *et al.* 2003) [14]解析に周波数解析を用いることで、先に述べた時間経過での動きの分析が可能となったが、その結果と主観評価との対応づけは行われていない。

次に、脳波はヒトの心理量を客観的に測定できる指標である。本章で使用された簡易脳波測定器は、IBVA (クワテック株式会社製)であり、ハードウェアは通信機、受信機とヘッドバンドの三つから構成される。ヘッドバンドは 1 チャンネル型と 2 チャンネル型があって、両者とも前頭部からの脳波を読みとる。2 チャンネル型のヘッドバンドは右脳と左脳の脳波を読み分けることができる。また、この脳波計測定結果の妥当性を示すものとして、波と波の発現率精度が確認されている(萩原 1999) [15]。椅子の座り心地に関しては、脳波を用いて快適性や集中度を見るが多いため、これら 2 つの波形について周波数解析を行ってきている。図 2.7 にシステム概要図を示し、図 2.8 に IBVA 本体を示す。

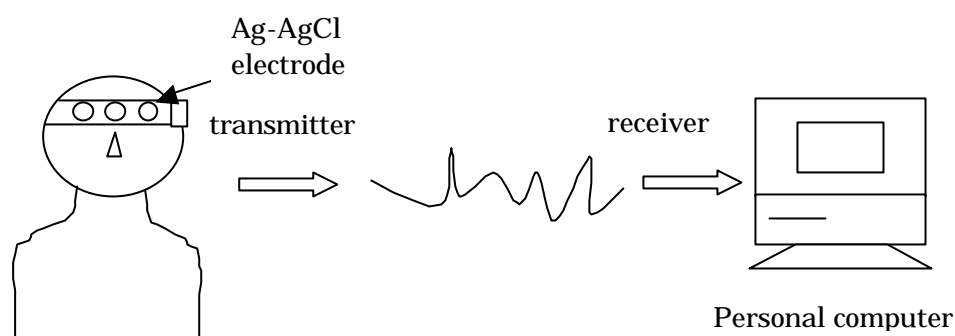


図 2.7 測定システム



図 2.8 IBVA Ver. 1.5

脳波測定後のデータ出力は、Raw Data (生データ)、FFT Data (FFT 計算処理した後のデータ)、Average Data (データの平均値) の 3 種類である。脳波解析の一般的な手法の一つに周波数解析があるが、生データを周期成分に分解して、各成分の強さをとらえることを目的としている。

時系列の周期性を見る解析の基本的な方法として、ピリオドグラムによる周期成分の解析が試みられている。

これは、時系列  $x(t)$  ( $t=1, \dots, N$ ) が周期成分  $f_1, \dots, f_k$  を持ち、かつ雑音  $e(t)$  の影響を受けるとき、つまり  $x(t) = \sum_{i=1}^k (A_i \cos 2\pi f_i t + B_i \sin 2\pi f_i t) + e(t)$  (2.1) であるとき、周波数  $f_i$  とそのときの強さを求める方法である。そのために、 $x(t)$

$(t=1, \dots, N)$  に対して，関数  $I_n(f) = A(f)^2 + B(f)^2$   $-1/2 \leq f \leq 1/2$  (2.2) を定義する．

そして， $N$  が十分大きいとき，それにより  $f_i$  を推定する．ただし

$$A(f) = \sqrt{2}/N \cdot \sum_{t=1}^N x(t) \cos 2\pi f t \quad (2.3)$$

$$B(f) = \sqrt{2}/N \cdot \sum_{t=1}^N x(t) \sin 2\pi f t \quad (2.4)$$

で，関数  $I_n(f)$  はピリオドグラムという．しかし，ピリオドグラムはデータ数が増加しても真のスペクトルは収束しないといわれている．ここでフィルターによる平滑化が用いられているが，フィルターの選択，ラグのとりかたによっては推定されたスペクトルが無意味となる可能性があり，理論的，数値的に問題点とされている．また，FFT 法はフーリエ変換を高速化するアルゴリズムである．しかし，こちらも単にピリオドグラムを求めているに過ぎない．最近はスペクトル解析に Akaike[16] などによる時系列モデル (AR モデル) からの接近が試みられている．

ここで AR モデルにおける AIC (赤池情報量規準 Akaike Information Criterion) の意味について簡単に論述する．AIC は，Akaike (1973, 1974) [17][18] が統計モデルの選択に関して導入したものであり，統計モデルの予測精度には限界があることを考慮して，その範囲内で最良のモデルをめざすものである．予測精度の限界を決定する要因はシステムの特性自体である．限られたデータをもとに現実をもっと把握するために，データの制約に対応した簡潔なモデルが望まれることを具体的に表しているのが AIC である．統計モデルにおける AIC の式の定義は，

$$AIC = -2 \times (\text{モデルの最大対数尤度}) + 2 \times (\text{モデルの自由パラメータ数})$$

としている．

AIC は，最尤法によって決定されるパラメータをもつモデルの悪さを比較するための指標であり，同一データについて AIC が大きいほど悪いモデルとしていいる．本章における時系列モデルの AIC は自己回帰 (AR) モデルへの応用であ

る．時系列データの次数が AIC により決定され，ある変数の時系列的特性を得るのが AR モデルの応用による周波数解析である．

ここで，自己の研究における脳波の解析手法では，Yule-Walker 法の場合の AIC である， $AIC = n \log(2ps(M)^2) + n + 2(M + 1)$  (2.5) を用いている．AR 係数を用いたパワースペクトル  $q_{xx}(g)$  ( $-1/2 \leq g \leq 1/2$ ) は AR 係数を用いて，以下の式で求めている．

$$q_{xx}(g) = \frac{s^2(M)}{\left| 1 - \sum_{m=1}^M a_m(m) \exp(-i2\pi g m) \right|^2} \quad (2.6)$$

例として，ある椅子に座った時の脳波測定値を周波数解析の FFT を用いたデータと AR モデルを適用した周波数解析を図 2.9 に示す．

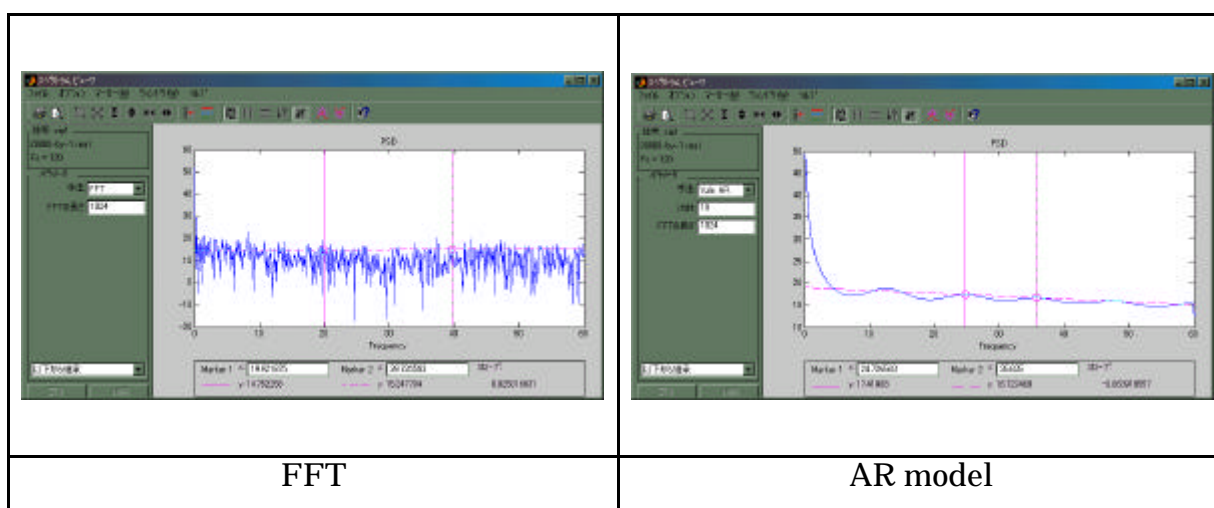


図 2.9 FFT と AR モデルによる周波数解析結果 (Matlab Ver.6.1)

心拍もヒトの心理量を測る客観的指標である．心拍を計測するために，本章では簡易心拍計の Polar S810 (POLAR Electro) を使用した．ハードウェアはストラップベルト，トランスミッターとリストレシーバーの三つからなる．出

力データは R-R 間隔（一拍動の時間間隔）である．R-R 間隔データからは，瞬時心拍[bpm]を算出する．算出した心拍イベントデータは，周波数解析を行うために，等時間間隔データに変換する必要がある．このイベントデータの等時間間隔データへの変換は，3 次スプライン補間を用いて行う．補間によって等時間間隔データに変換するイベントデータは，瞬時心拍（タイミングは R-R 間隔）である．解析後のデータは心拍 LF ，心拍 HF ， R-R 間隔平均 (R-R 間隔 Mean) ， R-R 間隔標準偏差 (R-R 間隔 SD) ， R-R 間隔変動係数(CVR-R 値) といった指標であり，これらを用いた研究例はかなり多くある．心拍 LF は，0.04 ~ 0.15Hz の帯域にみられる低周波成分 (LF) であり，心拍 HF は，0.15 ~ 0.40Hz の帯域にみられる高周波成分 (HF) である．R-R 間隔 CVR-R 値とは，R-R 間隔標準偏差 /R-R 間隔平均 × 100(%) で求められる．スペクトル解析後のデータを用い，低周波成分 (LF:0.04-0.15Hz) と，高周波成分 (HF:0.15-0.50Hz) のパワースペクトル値を求めた．LF 成分は血管運動活動，レニン-アンジオテンシン系，体温調節系による変動を (Akselrod *et al.* 1981 1985 Pagani *et al.* 1986) [19][20][21]，HF 成分は呼吸性洞性不整脈による変動を反映する (Akselrod *et al.* 1981,1985) と考えられている．本章では，LF 成分と HF 成分の比率 (LF/HF) ，およびスペクトル成分の総パワー値 (TO:0.00-0.50Hz) に対する HF 成分の割合 (HF/TO) を指標として用いた．健全者において，LF/HF は起立時に増加することから心臓交感神経活動を反映し，HF/TO は起立時に減少することから心臓副交感神経活動を反映すると考えられており (Akselrod *et al.*1985 , Pagani *et al.* 1986 , Pomerantz *et al.* 1985[22]) ，この指標は体位変換や運動時の心臓自律神経活動の評価に使用されている．また，安静時や作業時の心拍数の違いを測定し，そのときの脳波測定値の結果とで周波数解析を行い，人間の情動変化を調べたりすることができる．

椅子の座り心地に関する心拍の測定値は，ヒトが椅子に座った時の情動変化の指標とした．例えば心拍のような生理的信号を，快 不快の指標に用いる研究も数多く行われてきた．(鈴木 1999) [23] 図 2.10 に本章で用いている簡易心拍計 Polar S810 を示す．



図 2.10 Polar S810

### 2.1.5 ニューラルネットワーク

シートに関する物理量として，長時間座位姿勢実験時の膨大な身体圧分布測定値をニューラルネットワークの自己組織化マップを用いて各データのクラスタ分けをし，クラスタの特性を表す代表的身体圧パターンの抽出を試みた．ニューラルネットワークをあえて解析に用いた理由は，身体圧測定値は血圧と同様に体の重量移動変化による圧力を示す生理データであることから，脳の神経網を利用したアルゴリズムによる分析法のデータとして適していると考えられることによる．ニューラルネットワークの概念図を図 2.11 に，実際の身体圧データを入力した際の学習結果を図 2.12 に示す．

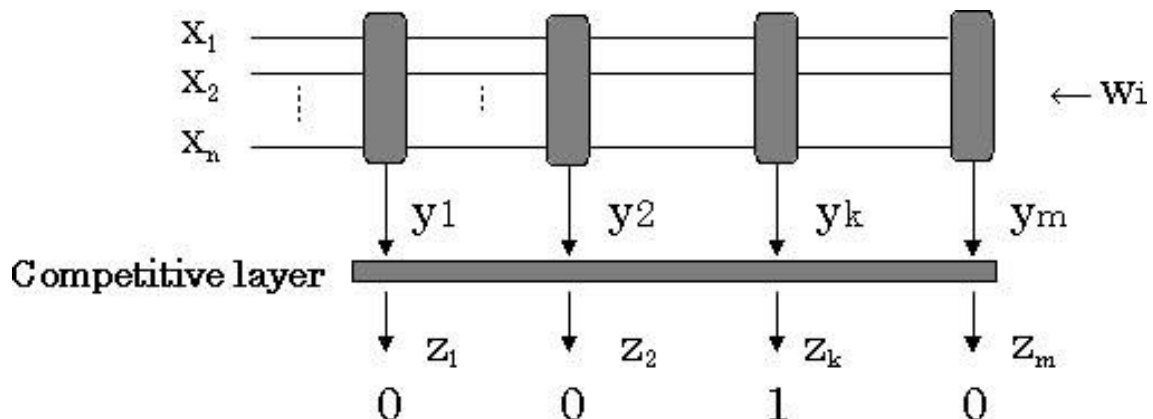


図 2.11 ニューラルネットワーク概念図

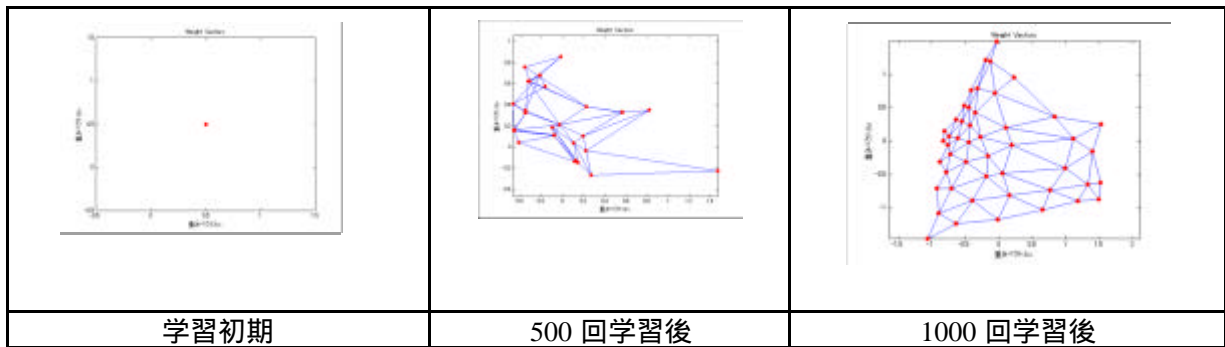
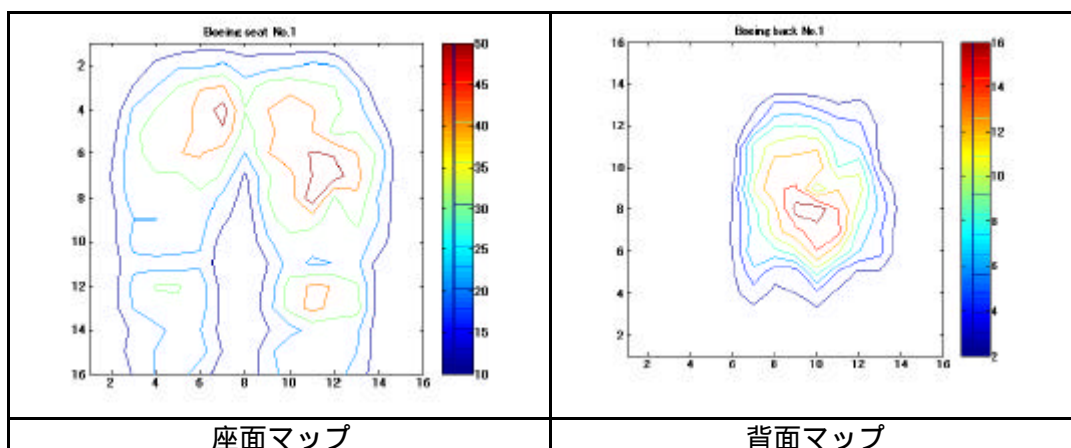


図 2.12 体圧データのニューラルネットワーク学習のマップ変化

ニューラルネットワーク学習後のマップで、評価した椅子を使用した時の身体圧分布測定における圧力値とセンサ数の全体的な傾向がわかる。自己の先行研究では、ニューラルネットワークを用いて抽出した代表マップと負担評価との関係性を評価した。また、最近研究が進み、長時間における身体圧分布マップがニューラルネットワークを用いることによって、身体圧測定値による散布図を用いた椅子の傾向表示でなく、マップ自体で表示できるようになったようだ。

一例をあげると、1 時間半の長時間身体圧分布測定のセンサマット数値情報をデータとしてニューラルネットワークを用いて解析し、代表的マップが得られる。この方法を用いることにより何千枚という身体圧マップを縮約してながめる事ができる。図 2.13 に一例を示す。



( Matlab Ver.6 にて作成 )

図 2.13 長時間作業時の代表的身体圧分布マップ



### 2.1.6 足の膨張率計算

椅子の座り心地を表す指標に足の不快感がある。この足の不快感を表す膨張率の計算自体は簡単であるが、精度を高め、被験者の属性（性別、体格）による膨張率の有意差を見出すために検定を行っている。また、足の不快感測定に関する研究では、例えば三家（2000）[23]が行った VDT 作業時におけるリクライニング姿勢とアップライト姿勢における足の膨張率の違いや、作業時の休憩時間のとり方による膨張率の違いなどがある。最近では足の不快感と心拍数との関係から、深呼吸による深部静脈血栓症（Deep Vein Thrombosis）の予防法を予見している（三家 *et. al* 2003）[24]。

## 2.2 心理量の統計的解析手法

### 2.2.1 評定法の結果のレーダチャート

評定法とは、ある質問に対しその程度を 2 ～ 9 段階などの選択肢で問う。回答者は必ず 1 つの選択肢に をつけることになるので、データの入力時も該当する選択肢に割り振られた数値を入力すればよいことになる。例えば、椅子の評価実験で 6 脚の椅子があったとする。これらは異なる 3 社の椅子 2 脚ずつでそれぞれ新しいもの 1 つ、古いもの 1 つとする。評価の目的はクッションのヘタリ具合を明らかにすることである。

従来クッションの座り心地を評価するには、座感チェックシートを使用してきた。この座感チェックシートは財団法人姿勢研究所と早稲田大学野呂研究室の共同研究により開発されたものであるが、評価カテゴリーがわかりにくく、臀部と大腿部における座感が区別しにくいなど、回答方法にも問題点があった。そこで、再度評価カテゴリーを SD 法による質問紙で改訂を試み、臀部と大腿部の区別をなくした。この結果作成されたのが改訂版座感チェックシートである（付録 1）。この改訂版座感チェックシートを用い、ヘタリを表す代表的な質問項目を抜き取り、表 2.1 のような結果を得たとする。

表 2.1 質問項目結果

	深く沈みこむ感じ	コツンと当たる感じ	底につく感じ	蒸れる感じ	不快な感じ
chair 22	-0.006	-0.340	-0.478	0.200	-0.282
chair 34	-1.018	0.303	0.108	-0.478	0.200
chair 67	-0.326	-0.546	0.121	0.537	-0.507
chair 21	0.803	-0.512	0.199	0.172	-0.688
chair 55	-0.837	1.300	0.646	-0.512	0.356
chair 15	0.709	0.146	0.328	-0.297	0.656

なお、今回は質問項目の回答結果を標準化したデータを用いているが、自分が見たいデータによっては非標準化したデータを用いることもある。表 2.1 の結果をレーダチャートで表すと図 2.14 のようになる。

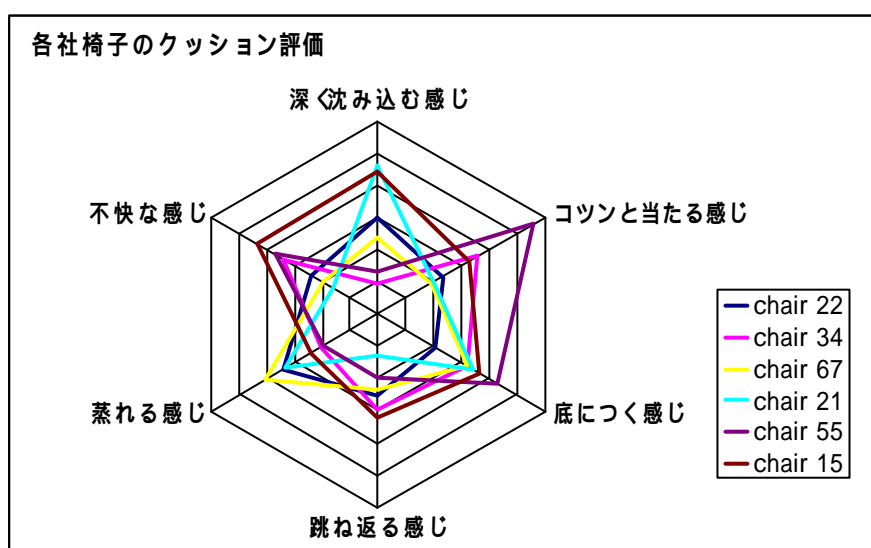


図 2.14 椅子のクッション評価

また、椅子の座り心地に関する質問項目に負担部位調査がある。おもにこの主観評価は長時間座位の場合に用いられてきた。測定する負担部位は頭部、頸部（首）、肩、上腕部、肘、前腕部、腹部、背部、腰部、臀部、大腿部、膝、下腿部と足の 14 箇所を 7 段階評価としている。統計処理は、各部位の平均値を比較、グラフ化、あるいは各データを標準化して処理していた。実験の被験者数の多いときは、非標準化データを用いるが、被験者数の少ないときはデータを標準化して用いた。その後検定を行うが、被験者数如何にかかわらずパラメトリック検定を行っていた。大学の研究において、長時間の実験で被験者数を多

くとることは実際困難な事である．そこで，被験者数が少ないことによるデータの分布が不明なとき，この難点を克服するひとつの方法として，検定にはノンパラメトリック検定を行う必要性がある．

また，負担部位調査を行う時点での被験者の疲労度も考慮しなければならない．鈴木（1999）[25]は快適性の評価尺度についてマグニチュード推定法（ME法）とスティーブンスの法則を適用している．例えば，一定の被験者が評価に関わる場合は，各被験者の基準となる身体負担の状態（負担がない状態）を脳内で感知し，そのときの状態を 10 あるいは 100 とする．その後，実験ごとに基準からどれだけ離れているかを数値で回答してもらい，その結果を感覚量（ $R$ ）は刺激の大きさ（ $S$ ）のべき乗で表される  $R = S^n$ （2.7）の式にあてはめ解析をする被験者が一定であれば，どんな条件でも一貫性のある結果が得られると考えられる．（江部 2000）[26] 次節でME法について，さらに詳しく説明する．

### 2.2.2 ME 法（マグニチュード推定法）

マグニチュード推定法を論述する前に，まず人間の感覚は刺激の対数にほぼ比例すると言われている．聴覚を始めとして，人間は刺激の量の対数にほぼ比例した感覚を覚えるという事実があって，対数関数を使用することは合理性がある．

例えば，椅子の基準となる背面角度を 100 として，それぞれの設定条件角度を数字で答えてもらう．あるいは，基準とする背面角度の何倍の傾きかを答えてもらう．得られる回答は比率尺度として扱われる．

ここで刺激対(i,j)によって起こる感覚強度を  $S(i)$ ， $S(j)$ とし，得られた回答の比率を  $R$  とすると， $R = S(i)/S(j)$

となり，両辺対数変換を行うと，

$$20\log R = 20\log S(i) - 20\log S(j) \quad (2.8)$$

となり，感覚強度の比率が差で表される．（単位 dB）各対数項にある係数 20 は（2.8）式の計算結果を整数で表示するためである．例えば比が 1/2 倍なら感覚強度の差は -6dB，2 倍なら +6dB となり，後述の一对比較法における評価の点数

と同じ扱い方になる．よって感覚の強さを表すのにマグニチュード推定法を用い、データの処理には Scheffe の一対比較法を用いる．

### 2.2.3 順位法[27]

試料 A, B, C, ..., に対し特定の基準に基づいて順位をつけた場合の解析方法である．考え方としては、各判定者がまちまちな判定をすると、全体として、各試料 ( j ) ごとの順位 ( 各判定者がつけた ) の和  $T_j$  は平均化されてばらつきが小さくなる．しかし、順位が一致していると大小の差が大きくなる．このことを理解するため、次の 2 つの場合の  $T_j$  を計算し比較してみる．表 2.2、2.3 にケース 1、2 の場合を示す．

ケース 1 : 12-3=9

ケース 2 : 9-6=3

ケース 1 とケース 2 の順位の和の範囲を見てみると、ケース 1 のほうが大きいことがわかる．

表 2.2 ケース 1 順位が一致した場合

	14	56	93	62
A	1	2	3	4
B	1	2	3	4
C	1	2	3	4
順位の和				
$T_j$	3	6	9	12

表 2.3 ケース 2 まちまちな判定をした場合

	14	56	93	62
A	1	2	3	4
B	4	3	2	1
C	2	1	3	4
順位の和				
$T_j$	7	6	8	9

この点に着眼して、k 個の試料について n 人の順位の一致性を計るものがケンドール ( Kendall ) の定義した一致性の係数 W である．この検定によって各試料につけた順位の意味のあるなしが分かる．

例えば、椅子に関する評価で、食事がしやすく、長時間座っていても疲れにくいダイニングチェアのシートの形状・角度を決定するために 6 種類のチェアがあったとする．それらに実際座ってみて、1~6 位まで順位をつけどの椅子が一番そのコンセプトにあっているかを実験して評価している．

#### 2.2.4 一対比較法[28][29]

一対比較の場合，心理学的尺度によりその値を決めようとするすべての刺激は，その刺激の組み合わせによる対の形で，被験者に提示される．被験者はある一定の観点より，対のうち的一方が他方よりも量的に大であるかどうかを判断する．その判断は 2 範疇で行われる．被験者の回答は，表面上は比較判断である．比較判断から出発して尺度化を行う場合の手がかりを比較判断の法則に見出すことができる．この法則は，二つの刺激に対する判断が，各刺激にそれぞれ特有のものとして与えられた心理学的平均値の差，つまり刺激間の心理的距離を表すとする．

ここで，2.2.3 で述べた順位法では，どの試料が一番で，次はどれかという情報を得ることができるが，一番と二番がどの程度評価が離れているかということまでは分からない．これに対し，一対比較法では，評価が離れている程度（距離や間隔）を定量的に表現することが可能になる．つまり一対比較を用いると試料の主観的な評価値と試料の評価値間の差が同時に得られる．順位法より多くの情報を得ることはできるが，実験に手間がかかるのが難点である．一対比較には質問紙に評点を用いる Scheffe の方法，浦の変法，芳賀の変法，中屋の変法などと，評点を用いず，良いか悪いかの評価で分析する Bradler の方法や尺度構成のための Thurstone の方法などがある．

ここでは順序効果を考慮した Scheffe の方法，順序効果を無視した芳賀の変法と Bradler の方法について論述する．

まず，Scheffe の方法は，試料を対にして，次のような評点を与えて解析する．例えば， $T_i$  と  $T_j$  の組み合わせに対し，後のものを基準に，先のものがどの程度良いか悪いかを +3 から -3 の 7 段階（表 2.4），または +2 から -2 の 5 段階（表 2.5）の評点を与える．

表 2.4 評点 7 段階質問項目

TiiはTjよりたいへん良い	3
TiiはTjより相当良い	2
TiiはTjより少し良い	1
TiiはTjと同じくらい	0
TiiはTjより少し悪い	-1
TiiはTjより相当悪い	-2
TiiはTjよりたいへん悪い	-3

表 2.5 評点 5 段階質問項目

TiiはTjよりたいへん良い	2
TiiはTjより少し良い	1
TiiはTjと同じくらい	0
TiiはTjより少し悪い	-1
TiiはTjよりたいへん悪い	-2

例として 5 脚の硬度の違うウレタンシートについて疲れにくさを 5 段階評価で質問する。質問用紙の項目は、後のものを基準にして、先のものがどうかを評点を与えて評価する。

この実験では評価の組み合わせは  ${}^5C_2$  で 10 通りになる。評価記入シートを以下に示す。

一対比較法用評価シート							
項目	評点	項目	評点	項目	評点	項目	評点
1-2		1-3		1-4		1-5	
2-1		2-3		2-4		2-5	
3-1		3-2		3-4		3-5	
4-1		4-2		4-3		4-5	
5-1		5-2		5-3		5-4	

次に芳賀の変法について簡単に論述する。この方法は順序効果は無視できる場合で、A1, A2, A3, A4 の椅子のデザインについて Scheffe の方法により N 人に評価判断させる。この場合、椅子を 2 脚だけ並べると、比較が空間で行われるので順序効果は無視できる。四つのデザインを 2 脚ずつ並べる組み合わせは  ${}^4C_2$  で 6 組あるから、被験者を 6 群に分け、試料対の組み合わせを割り当て、5 点法により判断させる方法である。

最後に Bradler の方法は、Scheffe の方法のように点数に基づいた分析であるが、どちらが良いかの評価から分析する方法である。例えば椅子 4 脚のヘタリ具合を評価する実験があったとする。検査員は 2 脚ずつの組について（合計 6

組の組み合わせができる), それぞれ良否 ( × ) の判断を行い, これを反復して評価を行う.

#### 2.2.5 系列範疇法

系列範疇法を, この節では官能検査の分野から継次範疇法として論ずる. この手法は, 池田 (1986) [30]によると, 順序づけられているカテゴリーのいずれかに対象を分類することによって尺度化を行う方法であり, 対象の尺度値だけでなく, カテゴリーの境界値を求めることができるという特長がある.

同じような主観的評価の手法として一対比較法や順位法があるが, これらがいずれも刺激対象相互間の序列づけから出発し, 比較判断の法則に基づいて解析されるのに対し, 継次範疇法はカテゴリー判断の法則に基づいて解析される.

継次範疇法では, 各対象に関する好ましさの判断が変動をもつことを前提条件としている. そこで対象  $a_j$  の好ましさを選好尺度上の確率変数  $X_j$  と考え,  $X_j$  は平均  $\mu_j$ , 分散  $\sigma_j^2$  の正規分布とすると仮定する. さらに第  $g$  番目のカテゴリーと第  $g+1$  番目のカテゴリーの選好尺度上における境界も確率変数  $T_g$  と考え,  $T_g$  は平均  $t_g$ , 分散  $\sigma_g^2$  の正規分布をすると仮定する. このとき  $t_g - \mu_j$  がカテゴリーの比較判断となる. これがカテゴリー判断の法則である.

一対比較法や順位法は, 比較される対象が十数個以上になると被験者の負担が極めて大となり, 実用上, 不便となる. このような場合, 通常, 各対象に評点 (たとえば 1 ~ 5 の 5 段階評価) を与えて評価する方法がとられる.

この評点のつけ方にも問題があり, それは根本前提として評価の幅をすべて等間隔とみなしているが, そうでない場合もありうるという点である. 例えば, 意見調査で "反対", "どちらかといえば反対", "中立", "どちらかといえば賛成", "賛成" の 5 つの意見分類に対して 1 ~ 5 の評点を与えた場合に, 評点の差がそのまま心理的判断規準に基づくそれぞれの差にならないということである.

そこで, 等間隔性の前提がみなされないときはカテゴリー間の距離を測りなおし, 新しい尺度値で各刺激の位置を測りなおす必要がある. 継次範疇法は, 通常の評定法に心理的判断の規準に照らして修正を施したものである.

例えば 12 人の被験者に，座面の奥行きがある基準となる奥行きから-20 mm～+20 mmの椅子に座ってもらい，その疲れにくさについて 1～5 の 5 段階で評価（数字が大きくなるほど疲れにくい）してもらおう．

使用する質問紙を下記に示す．

「座面の奥行きについて座り心地を以下の表にしたがって 5 段階で評価して下さい．それぞれのパーツ条件とその評価に対応する欄に をつけてください」

座面の奥行き					
	パーツ番号				
評価尺度	1	2	3	4	5
非常に疲れにくい					
疲れにくい					
どちらでもない					
疲れやすい					
非常に疲れやすい					

### 2.2.6 アップダウン法

アップダウン法は心理学の分野における精神物理学的測定法の極限法にあたる．実験者あるいは被験者自身が，刺激を一定の段階で，徐々に変化させて段階ごとに被験者の判断を求めて判断の切り替わり点を決定する．判断の変化点への接近は強い方から，および，弱い方からの二つの方向から行われ，おののを下降系列・上昇系列という．この手法は感覚の閾値を求めるものである．

この手法を用いた例として，実験者は自分で遠隔操作により座面高さ，座面角度，背面角度が調整可能な椅子を用いて，被験者に低い刺激から高い刺激へと椅子の設定を変化させ，被験者の座り心地に関して座面の高さ，角度の適合範囲を求めるために質問を行う．例えば座面高さについての質問として，上昇系列では低すぎると思うところまでは「Okay」で答えてもらい，下降系列では，高すぎると思うところまで「Okay」と答えてもらう．(2000 Martin G. Helander *et al.*) [31]

解析手法は，算術平均法，加算法，正規補間法，最小自乗法などを用いる．



### 2.2.7 絶対判断法

絶対判断法は1個ずつ提示された試料について判断するものであり、格付け法や採点法がある。

格付け法：各椅子に優・良・可等の格付けをする方法。

採点法：椅子の座り心地の良さの程度を判断するときに1~3点、1~5点等の点数をつけていく方法。

これらの手法とはやや趣を異にするが、形式的には絶対判断法の形をとるものに次に説明するSD法がある。

### 2.2.8 SD法

SD法は、感情やイメージの測定に多用されている手法である。したがって、この手法は嗜好型官能検査に用いられるものであり、感覚と感情の次元から考えると、感覚的次元の処理もできるが、むしろ感情的次元を探る手法である。すなわち、感性の問題を考える場合には、一つの有力な手段になると考えられる。

SD法は米国のオズグッド(C.E.Osgood)が、「言葉の意味」を測定するために考案したものである。いま、具体的に「雨」という言葉を例にして考えると、この雨という言葉には、天気を表すものとして辞書的意味があり、この意味は多くの人の間で一致するはずである。これとは別に、ある人にとって雨の日は落ち着くと感じられ、雨にぬれるのがとてもいやな人にとっては不快に感じられる。このように落ち着くあるいは不快という意味を情緒的意味と言うが、これこそがSD法で問題とする意味である。

次に、SD法の進め方として、まず提示された試料(刺激)について、さまざまな形容詞・形容動詞の対で構成された複数の評定尺度を用いて、刺激の印象を評定する。そして、この評定を何人か被験者に行ってもらい、その平均評定を求めることにより平均プロフィールが得られる。

SD法はイメージや感情などのデータ処理法として、嗜好型官能検査の分野に多用されている。これは一定の分析のプロセスが確立していることのほかに、

パーソナルコンピュータレベルで、容易に因子分析法や主成分分析法のデータ処理が可能になったという背景が大きな影響を与えている。因子分析の結果得られる因子は、評価性、潜在性、活力性の三つのうちどれかに代表される。いずれにしても SD 法は、イメージや感情の評価に欠くことのできない評価方法である。例として、椅子に関する形容詞対を 46 組、反対語辞典より選択し 31 人の被験者に答えてもらう。評点は 7 件法とし、調査後は因子分析にかけ潜在因子を抽出する。この結果作成されたのが改訂版座感チェックシートである。下記に改訂版座感チェックシート作成のために SD 法で使用した形容詞対を示す。

柔らかい-硬い	沈む-浮かぶ
広い-狭い	渋い-派手
あたたかい-つめたい	すばらしい-みすぼらしい
心地よい-不快	ふさわしい-そぐわない
気持ちよい-気持ちわるい	たのもしい-たよりない
大きい-小さい	楽しい-苦しい
高い-低い	強い-弱い
厚い-薄い	乏しい-豊か
うつくしい-みにくい	長い-短い
楽しい-悲しい	なにげない-わざとらしい
古い-新しい	ぬくい-つめたい
浅い-深い	恥ずかしい-誇らしい
粗い-細かい	ひかえめ-おおげさ
淡い-濃い	ぶあつい-うすっぺら
ありふれる-めずらしい	ふさわしい-ふにあい
すき-きらい	まあたらしい-ふるめかしい
おちつく-いらだつ	みすぼらしい-りっぱ
きれい-きたない	めずらしい-ありふれた
おもおもしろい-かるがるしい	めったにない-ざらにある
重い-軽い	女々しい-雄々しい
暗い-明るい	柔らかい-硬い
けばけばしい-しぶい	よい-わるい
こころやすい-気むずかしい	よわい-つよい

## 2.2.9 共分散構造分析

アンケートの質問項目を解析するときに決まった数理モデル、例えば重回帰分析や因子分析などを当てはめてきたのが従来の方法であるが、本章で述べる共分散構造分析は分析者自身がモデルを作成するので、データにあったモデルを探索して、仮説がデータと一致しているかを統計的に検証可能という利点があり、心理学の分野で幅広く使用されている。

重回帰分析では、単一の目的変数を複数の説明変数ないしは予測変数の重み付き合計点として説明するモデルを仮定した。この重回帰分析では、モデル式の左辺（目的変数）も右辺（複数の説明変数）も共にデータとして観測できることが前提となっている。つまり、重回帰分析は、ある1つの観測変数の値を複数の観測変数の値でもって説明するモデルとすることができる。

ここで、観測変数とは、観測が可能な変数の意味よりも、観測された変数の意味で使われることが多いが、潜在変数との対比を考えると前者の意味の方が適切である。なぜならば、潜在変数は少なくとも心理学の分野では、もともと直接的な観測が不可能な変数、の意味で用いられているからである。

これに対して、因子分析では、観測できる変数は分析にかける変数ののみであり、分析の結果説明する複数の共通因子も、各観測変数に固有な独自因子も共に潜在変数である。つまり、因子分析は観測変数の値を複数の潜在変数の値でもって説明するモデルである。

これら伝統的な2つの解析方法と比較すると、この章で述べる共分散構造分析は観測変数を潜在変数のみで説明するモデルであることから、後者の因子分析に近いと言える。ただ、重回帰分析も因子分析も共に変数間の因果関係については、厳密な議論はしないのが普通である。

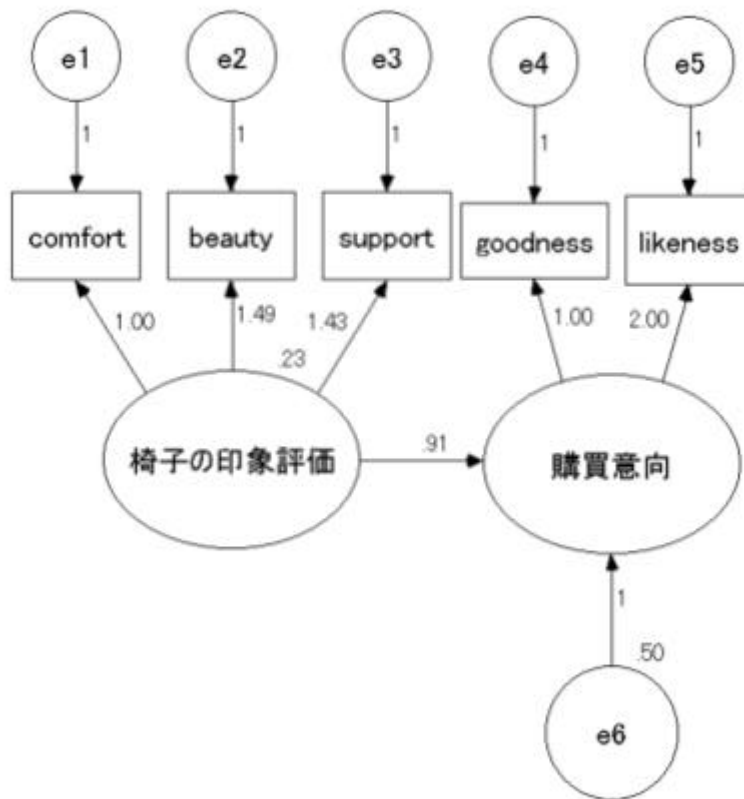
それに対して、共分散構造分析では変数間の因果関係についてはっきりとした仮説を立てる点が対照的である。共分散構造分析は、伝統的な因子分析に対して、1960年代の後半に統計学者 Joreskog が確証（認）的因子分析として提唱したのがその始まりである (Joreskog, 1969)[32]。この意味からは、伝統的な因子分析は探索的因子分析と呼ばれる。

共分散構造分析は、例えば Joreskog からも指摘しているように、確証的因子分析、パス解析、時系列データに対する計量経済学的モデル、重回帰分析、分散分析、多変量分散分析等や、複数の共分散行列、相関行列、回帰、因子パターンなどの等質性の検定、平均値の構造についての推定、等まで扱える有用な統計解析の方法である。しかし、一方ではモデルの識別性の問題、同値パスモデルの問題などが存在し、分析の仮定そのもの、例えば「観測従属変数は潜在

変数のみで説明できる」というモデルの（原則的な）仮定そのものも、現象によっては妥当でない可能性もあり得るようである。

さらに、科学哲学的視点とりわけ 実証主義の立場からは、たとえモデルの適用対象が社会・行動科学中心であるとしても、共分散分析における一種の仮説構成概念としての複雑な潜在変数、及び、その構造を仮定したり推定すること自身の妥当性より、正確にはそのような仮定の検証や操作可能性が問われるようである。また、共分散構造分析モデルの線形性は、因果モデルとしては制約が大きいと考えられる。最近では AMOS[33]に代表されるようなアプリケーションソフトの出現で、簡単に分析できる反面、安易な利用の危険性もあることから、使用には細心の注意が必要となる。

例えば、椅子の市場調査に共分散構造分析を行う：分かり易くするために、共分散構造分析に特有のパス図を以下に示す。



上記の解析結果は、椅子に関する意識調査から購買意向をみた構造モデルの

結果である。

この結果は、解析結果の出力値で判断する。例えば出力値で GFI ( Goodness of Fit Index ) や AIC を設定しておくこと、自分の作った仮説構造モデルが使えるか否かがわかる。

このように共分散構造分析の特徴は、本章では、椅子に関する総合評価や購買意向などの構造につき、定量的に把握することができることにある。しかしモデルが不適合の場合があり、これについては階層構造の予備知識・分析能力が必要とされる。アンケート処理には適していると言える。

### 2.3 座に関する心理量と物理量との関係

ここでは、2.1 で述べた物理量の統計的解析手法である時系列解析、ニューラルネットワークによる身体圧分布測定の結果と、官能評価との関係を探る方法を事例をあげて説明する。

身体圧分布と主観評価とは相関が高いと言われている。よって本節では、自己の過去における提案である、物理量として身体圧分布測定値を用い、心理量には負担度を用いた椅子の座り心地評価の予測モデルを記述する。また、他の先行研究による座り心地予測モデルについても記述する。

#### 2.3.1 身体圧分布測定値の時系列解析後の結果と負担評価との関係

ここで用いられている物理量は身体圧分布測定によって得られた測定値の圧力関係値にあたる。圧力関係値とは平均圧力値、標準偏差や最大圧力値を示す。どれを解析の物理データとするかは、全身体圧データの主成分分析の結果による。身体圧のデータは単にプロットするとわかるように不規則に変化している時系列データである。

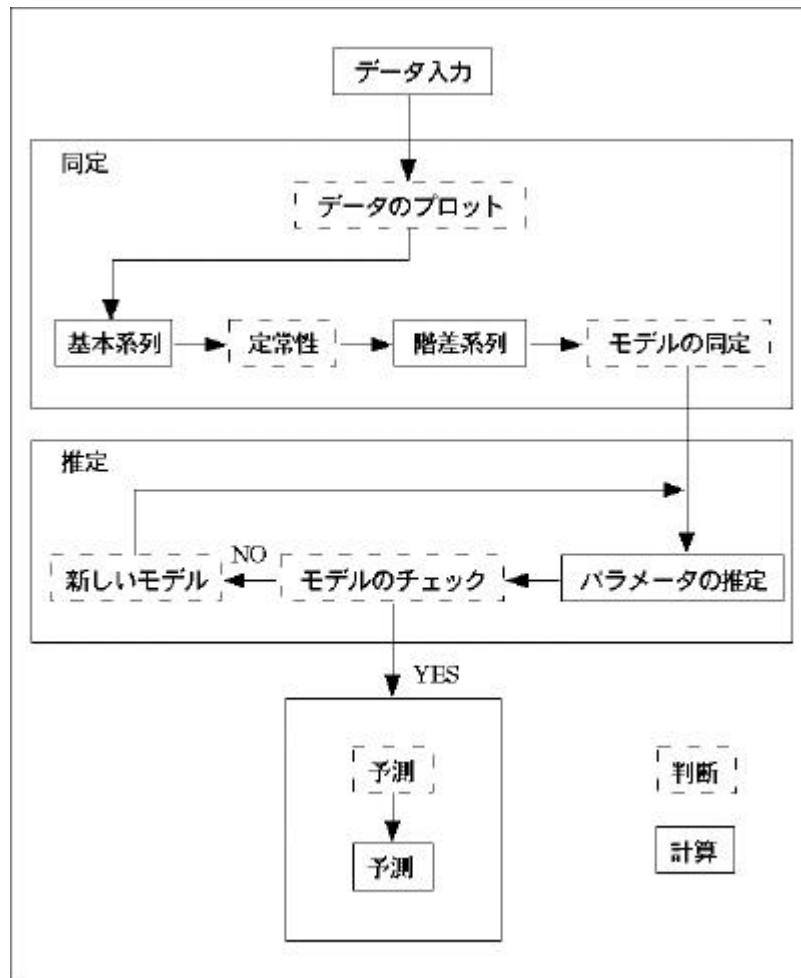


図 2.15 時系列解析の流れ図

本章のデータは上記図 2.15 の時系列解析の流れ図[34]によって解析される。解析の手順マニュアルを付録に添付する。(付録 2 参照)

簡単に解析の流れを論述すると、まず非定常波である生データ(圧力値)を定常波にするためデータの階差をとる。この階差データから、Timsac という時系列解析ソフトを用いて、偏自己相関係数を求めておく。負担を説明するために重回帰モデルの説明変数にこの偏自己相関係数を用いている。偏自己相関係数とは、時系列データにおいて偏相関係数をさす。多くの変数を考えるとき、その中から任意の変数を 2 つだけ選択し相関係数を求めたとき、これを単相関係数と呼ぶ。単相関係数だけでは、2 変数間に真の相関があるかどうかを判定で

きないので、ほかの変数の影響を一定にして真の相関を求めたとき、これを偏相関係数という。少なくとも偏相関係数の方が、見かけの相関係数より間違いのない判断ができるので、本章で過去に自己の提案したモデルでは時系列解析の流れにそって偏自己相関係数を選択した。

従来は様々な計測データで重回帰分析を用いて官能量の推定式が作られてきた。例えば背面形状と座り心地との関係を見るときは、骨盤角度と座り心地、腰部湾曲角度とランバサポートの総合評価といった具合である。一方、本章で紹介する評価は独立変数が身体圧の圧力値変化であり、従属変数を総合的な負担評価としたものである。ここで負担評価の方法について説明しておく。

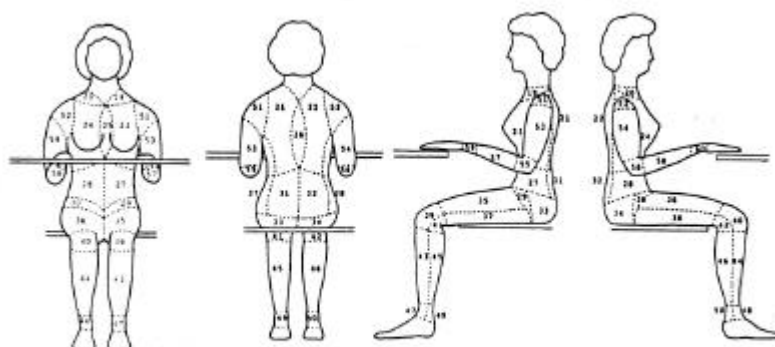


図18.2 女性用立位作業、座位作業別の身体疲労部位調査票

(職場の人間工学，中央労働災害防止協会，1986 抜粋)

座位における官能評価を行うとき、上記の図を参考にして負担部位の質問紙を作成している。作成した質問紙の例を図 2.16 に示す。

負担部位調査表

下記に示す部位の負担度に 印をつけてください。

例 |——|——⊕

	負担が大きい						負担が小さい
肩							
首							
胸							
背中							
上腕							
前腕							
腹部							
腰							
臀部							
大腿							
下腿							
肘							

図 2.16 負担部位調査

特に長時間身体圧測定後のデータ数は膨大なものとなる。よって測定で得られた測定値を他の変数に縮約し、この結果と負担評価によって得られた結果とで重回帰分析を用いて、両者の関係を見る。すると確かに身体圧測定による圧力値の偏自己相関係数と負担度に相関関係があり、この結果から予測式をたてる事が可能となる。椅子の評価をする時、何人もの被験者が長時間その椅子に座って評価しなくても、この予測式を使えば、短時間の身体圧測定で長時間後の負担度の予測ができる。

予測式の一例を示す。



$$Y = \beta_{11} \times 2.5 + \beta_{55} \times 34.0 - \beta_{12,12} \times 12.8 + 0.2 \quad (2.9)$$

(Y は負担評価で得た負担部位の平均， $\beta$  は実験で得られた偏自己相関係数，添字の係数は偏自己相関係数の次数．例えば次数 11 は 1 秒間隔の次数を示す 12,12 は 12 秒間隔である)

次数の決定は，時系列解析の FPE (最終予測誤差) による．FPE を求めることにより，時系列データにおける偏自己相関係数の次数が決定される．この偏自己相関係数の変化と負担評価とに関係があるという仮説のもとに予測式を構築した．

### 2.3.2 身体圧分布測定値のニューラルネットワーク解析の結果と負担評価との関係

シートに関する物理量として，長時間座位姿勢の場合の膨大な身体圧分布測定値をニューラルネットワークを用いて各データのクラスタ分けをし，クラスタの特性を表す代表的身体圧パターンの抽出を試みる[35]．ネットワークは，競合学習型ニューラルネットワークとして自己組織化マップを用いた[36]．このモデルは，配置されたニューロンの競合により，勝者ニューロンだけでなくその近傍ニューロンも同時に学習することを特徴とする．自己組織化マップではニューロンが 1 次元あるいは 2 次元の位置関係をもち，競合に勝ち残ったニューロンだけでなくその近傍に位置するニューロンも含め集団で学習が行われる．

解析方法は，使用したデータの主成分分析結果より求められた二つの成分の各主成分得点で示される 2 次元のデータを用い，教師なしアルゴリズムにて自己組織化マップを作成する．自己組織化マップ作成のために解析ソフトは MATLAB Ver.6.1 を用いた．さらに，各データの条件椅子ごとの発火ニューロン番号をクラスタ分析し，各条件の椅子をクラスタ分けした．その結果，条件別椅子における代表的体圧パターンを抽出し，そのパターンから負担部位の予測をし，実際の負担評価結果と比較することができた．クラスタ分析して抽出された身体圧パターンを図 2.17 に示す．

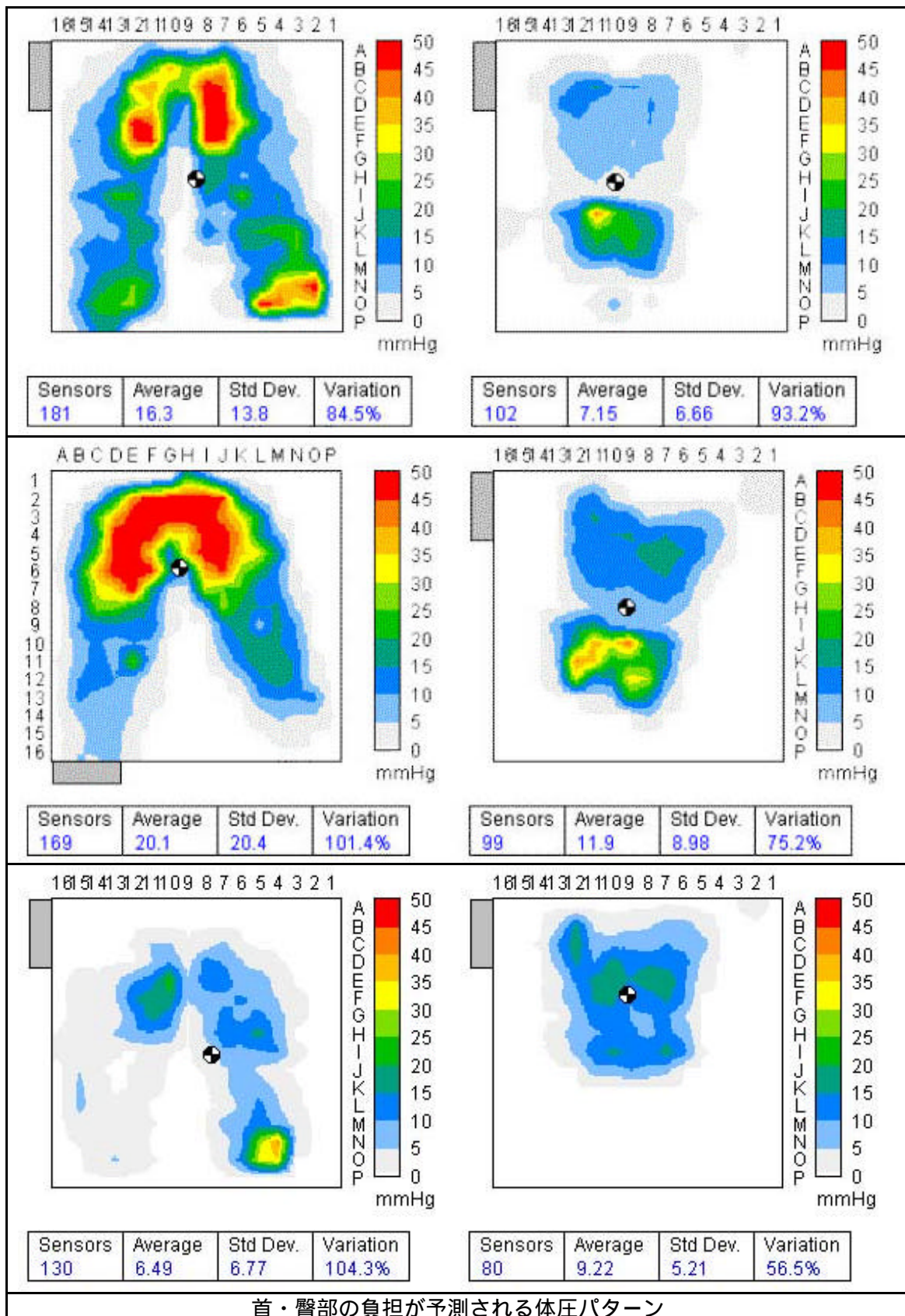


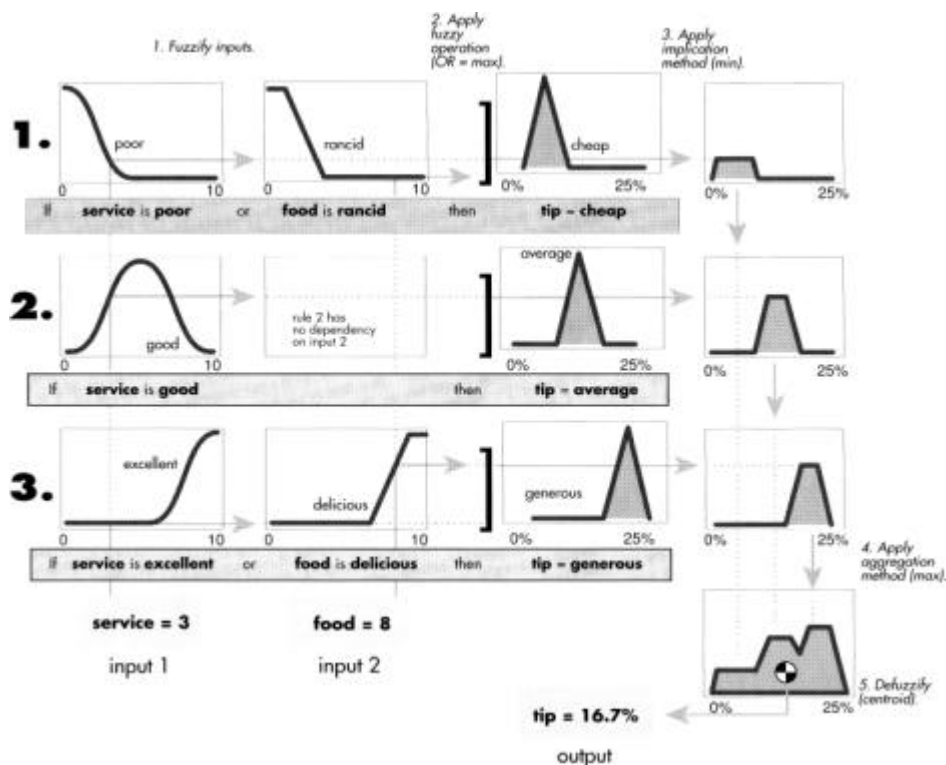
図 2.17 クラスタ 1 の代表的身体圧パターン

図 2.17 の抽出されたパターンは確かに臀部中心の最大圧力値が高く，背面のパターンは下部接触部分の圧力が高くなっている．このことより，長時間座位姿勢を続けると臀部，首の負担をまねくことが予想される．実際の負担評価の結果もこれら部位の負担度が他の部位に比較して高い値となっていた（2001 三家）[37]．

本章で述べたニューラルネットワークの身体圧分布測定値の評価方法への応用は，身体圧分布の測定値から主観評価の結果との関連性を見られる点で意義がある．最近ではニューラルネットワークのパターン認識への有用性を応用して，長時間の膨大な身体圧マップ数から代表的パターンを直接身体圧マップの形で抽出することも可能となった（2001 藤巻）[38]．

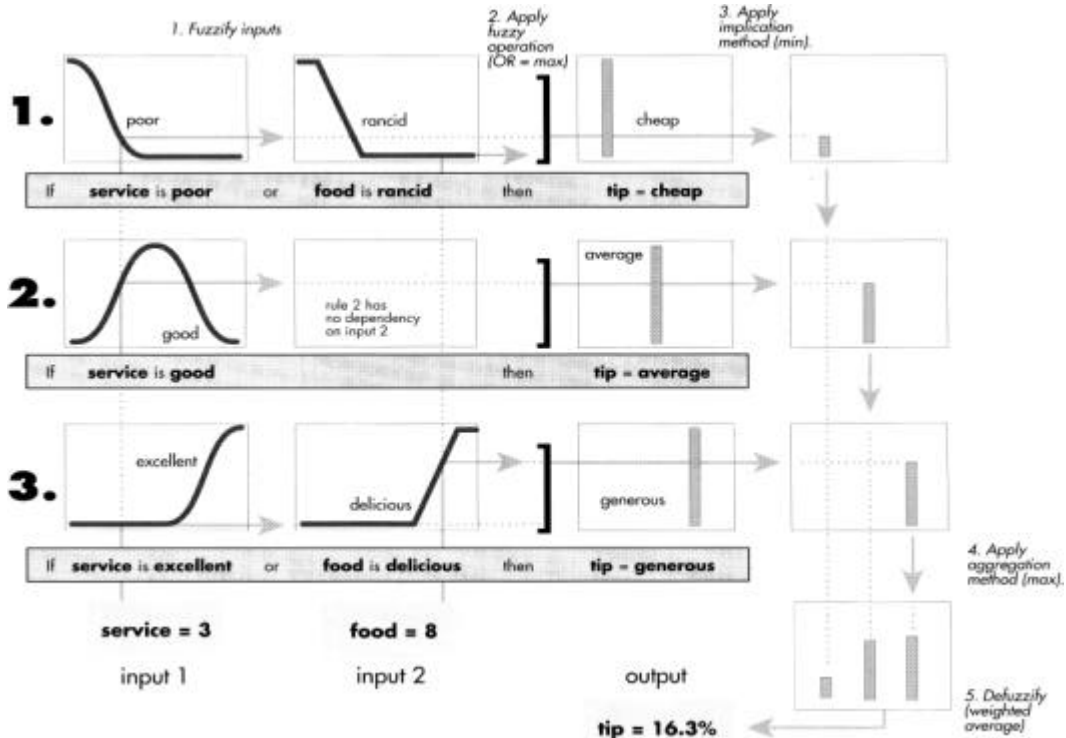
### 2.3.3 ファジイ推論による小学校の椅子選び支援システム

最近 PC 上の計算ソフトの著しい発達で，かつてかなりの時間を要したファジイシステム構築が，調査データから容易にシステムを組めるようになった．ここではまず，ファジイ推論について概要を論述する．



上図の推論は前件部が if レストランのサービスが～で，食べ物が～なら，後件部は then チップは何パーセントであるというルールを表している．結果は重心法で出力される．この方法はメンバーシップ関数の同定のために，質問紙によるデータをかなり採取しなければならない．

例えば，かつてこのファジイ推論を用いて子どもの学校椅子選びを行ったことがあった（藤多 *et al.* 1990）[39]．このシステムは子どもを日頃見ている養護の先生というエキスパートによるものであった．小学生一人一人の身体寸法に適した椅子の配分手間を省くため，このシステムが構築された．エキスパートの持つ知識収集のための調査や，メンバーシップ関数を求めるためのチューニング計算に時間を費やしたが，小学生の椅子選びの簡便法開発という目的は達成された．



上図は，本章で用いられる菅野理論によるファジイ推論過程であり，

if x is A and y is B then z = k (定数) 後件部が定数で表される。

これを椅子に関する評価手法に適応させると、例えば前件部は身体寸法で、後件部はそのヒトが選択した「自分が心地よいと思うクッション」の硬さというルールが考えられる。そこで、本研究では、ヒトの身体寸法から、そのヒトが評価の高いクッション材を予測するシステム構築を試みる。

#### 2.3.4 その他の座に関する心理量と物理量との数理モデル

座の研究のための官能検査ハンドブック(1998)[40]にある、平尾らによる物理量の計測による官能量の定量化において、著者らは身体部位別の弾性係数を計測すると同時に、OA チェアにおける座面に関する官能評価を行っている。そして、その結果から官能量と物理量の関係を検討している。

身体部位別の弾性係数測定のためには、押し込み硬さ計が用いられた。物理量として身長、体重、ローレル係数が使われ、弾性係数の計測は腰部、座骨部、大腿部の3箇所で行われた。官能量として検査項目とされたのは、大腿、座骨と腰部の圧迫感、座面と背もたれの硬さ感、の5項目であった。そして、物理量と標準化した官能評価データとの相関係数を算出した。その結果は、各項目ごとに有意な相関は見られなかった。

仮説として圧迫の嗜好や感覚は身体の弾性に関係するであろうといわれていたが、これを支持する結果は得られなかった。したがって、人の感性は身体の物理量に反映されるとは言いきれない。

Demontis(2002)によると、自動車シートの座り心地の特性には、Aesthetics、Static Comfort、Usability of Adjustmentがあり、さらにStatic ComfortはStiffness、Postural Comfort、Wrappingに分かれている。ここで提案されているモデルは、Stiffness、Postural Comfort、Wrapping及び体圧分布の評価の相関関係を算定して、重回帰分析から各感性の予測モデルを得ている。実験は32人の被験者で、小型車用の六つの座席に対して、48×42のマトリックス状に身体圧分布測定を行い、さらに被験者に対するアンケートも行った。その結果、座席座り心地を構成する要素の重み付けを得て、平均的な顧客の評価を示す数

学モデルを構築している。本章における、身体圧分布測定値の圧力値変化と負担評価との関係について、その妥当性を得るために検証実験を重ねていかなければならないのと同様に、この数学モデルもさらにこのモデルの妥当性を得るために研究を続けていくとしている。

また、加藤（1996）[41]は身体圧分布と主観評価との関係について、身体圧力の時系列的変動をパワースペクトル化し、それと周波数とで回帰分析を行い、重回帰直線の傾きを快適性の一指標である  $1/f$  ゆらぎ特性とみなし、被験者ごと、また身体圧マップの分割部（大腿部、臀部、背中）ごとに主観評価と対応させて座り心地評価の解析としている。結果は、背もたれ部と主観評価の間に高い相関が見られたが、他はきわめて相関が低く、統計的にも有意な差は得られなかったとしている。

本章でも、身体圧分布測定の時間的変化の中で、膨大な量となる身体圧マップをニューラルネットワークを用いてクラスタに分け、その代表的身体圧マップと負担評価との関係を検討している。しかし、被験者ごとに身体圧マップと主観評価との対応を決定づけるまでには到っていない。

以上のように、統計的解析手法を用いて、座り心地に関する物理量、心理量、そして物理量と心理量の対応関係を調べようとする従来の試みは、個々の解析法にデータの最適化、統合化の点で様々な問題があることを浮き彫りにした。

本章では自己の先行研究として、物理量については、相関分析を用いた場合は母相関係数の検定を行い、サンプル数が少なくデータの分布がわからないときのノンパラメトリック検定、生データの散布図でなく主成分分析を用いてデータの縮約を行って散布図を表示により、椅子の特性についての傾向を検討した。さらに座り心地に関する測定値（身体圧分布測定値、脳波、骨盤傾斜角度、心拍）の時間的変化を1種の非定常波とみて時系列解析を適用した。特に、身体圧分布測定値については、測定値の解析手法としてニューラルネットワークの適用も行った。

心理量については、今まで使用してきた椅子の座り心地に関する質問紙を改訂し、官能評価で行われてきた解析手法を座り心地の評価に適用し、心理学の

分野で盛んに行われている共分散構造分析等を用いて、椅子の印象評価と購買意向の関係を導いた。さらに数理モデルを構築するのが難しいとされている心理量と物理量との対応関係を時系列解析、重回帰モデル、ニューラルネットワークなどを用いて結果を得ている。

本研究は、それら問題の克服に向けてひとつの解決方法を提案するものである。

### 第3章 座り心地評価におけるクッション性の研究とファジィ推論

第1章にて、座り心地は様々な概念を内包することを述べ、第2章にて座り心地に関する評価を統計学的観点からみた従来の座り心地の評価解析手法、自己の提案してきた数理モデルを述べた。本章では、これらの章から得られた知見より、座り心地の概念である体性感覚と体格に焦点をあて、研究対象として、座り心地を左右する重要な因子であるクッション性に着目する。クッション性に関する研究は数多くあり、研究内容は様々なクッション特性に及んでいるが、本章では、それらの問題点をあげ、本研究の目的であるファジィ推論を用いた座り心地予測モデルの意義を述べる。

#### 3.1 体性感覚と座り心地

本節では、まず体性感覚について簡単に述べる。真島(1986)[42]は、体性感覚を皮膚感覚と深部感覚に分けている。皮膚感覚は皮膚およびこれに接する粘膜にある感覚で、触覚(圧覚)、温覚、冷覚、痛覚に分けている。この中で、触覚は皮膚面に投射されるので、刺激がどこに与えられたかを認知できる。深部感覚は、目を閉じていても手足の位置や関節の角度、運動、物の重量、抵抗がわかる感覚である。

西松(2002)[43]は、座席の「座り心地」とクッション性能との関係を論じる上で、体性感覚を以下のように定義した。

本研究で定義する感覚は、以下に述べる「座り心地」に関する体性感覚に従う。

西松は体性感覚を触知覚という言葉で表している。まず触知覚は手や指の動きと相互に関係していて、ヒトは対象物から触覚情報を得ようとするとき、必ず指でなでる、なぞる、押し付けるといった能動的触運動を行うという。また、得られる触覚情報が触っている対象の属性だけでなく、皮膚そのものの特性に依存しているという。さらに、触知覚には複合感覚性という特徴もある。つまり、皮膚にある触覚の受容器には特性の異なる複数の神経の存在だけでなく、温度情報の関与、視覚などの他の感覚情報との統合が影響を与えている。今日、



この統合的な触覚を皮膚や筋肉の感覚受容器が相互に結合して発生する感覚という意味で触知覚，あるいは体性感覚と呼んでいる．

稲垣ら（2000）[44]は車のシート感性品質評価法で，車のシートは座り心地，乗り心地という主観的な感覚でしかとらえることができないとしている．そして，感性品質の評価を行うとき，製品のもつ物理特性と感性品質との間に人間の要因が介在しているので，人間の感覚器を介した効果を考慮する必要があるとしている．また，座り心地評価で，この効果を導出する人間の感覚器を体性感覚の中の皮膚感覚（触覚および圧覚）としている．稲垣らの唱える車シートの座り心地とは，静的な状態をさし，乗り心地をまた別の心地としている．それは動的状態における心地を示し，乗り心地の感覚器としては，体性感覚の中の皮膚感覚に加え，深部感覚と前庭感覚が関与しているとしている．

稲垣の研究では，官能評価を物理量で定量化するために，物理量として体圧分布とシートたわみ計測を行っている．本研究でも，物理量を出力結果にする時，物理量としてシートたわみ計測値に相当するクッション材の硬さで，間接的に心理量を定量化している．

### 3.2 体型と座り心地の関係

本節では，体型を表す感性用語，人体寸法の研究について述べ，本研究で行っている体型分類について述べる．さらに体型と座り心地の関係について，研究事例をあげて考察する．

まず体型についてであるが，河内ら（1997 1999）[45][46]は，体型を表す感性用語として21の言葉を選定した．さらに，色々な体型のヒトの写真について，選定した感性用語の適合度を調べたデータに基づき，感性用語間の相関分析を行った．その結果表 3.1 に示すように，体型に関する感性用語を8グループに分けた．

表 3.1 体型に関する感性用語

1	太っている	2	やせている	5	がっしりした
	こぶとり		ほっそりした		骨太
	かっぶくがいい		きゃしゃな		固太り
	ずんぐりした		すらりとした	6	豊満
	しまりのない		骨細な		ふくよかな
	ぶよぶよした	3	がりがりにやせた	7	筋肉質
	でぶ	4	中肉	8	ひきしまった

本研究では，体型分類において身長を，やや低い，中くらい，やや高いとし，体重をやや痩せている，中くらい，やや太っているという言葉を用いて表現している。

一般に，人体をあらわす物理量は，国際標準規格ISO-7250などで規定された人体寸法項目に従って計測する．身長，体重を始め，頭部，体幹部，四肢，皮下脂肪圧などの項目がある．河内らは，身長，体重を除いた人体寸法で太っていることを表す用語は体幹部周囲長と，やせていることを表す言葉は上腕囲，肩甲骨角部，上腕三頭筋部の皮下脂肪と相関を持つという．また，1921年にKretschmerは性格と結び付けて，肥満型（躁鬱性気質），闘士型，痩せ型（分裂性気質）に分類した．Sheldon（1940）は体型を外見から，1）脂肪質でまるみを帯びた内胚葉型（endomorph），2）筋肉質で頑丈な中胚葉型（mesomorph），3）細長で神経系，皮膚の発達した外胚葉型（ectomorph）に分類した．彼もまた気質と体型の関係を論じている．このように性格の元となる気質と関連づけた体質か，外形のみをとりだしたものが体型であり，Sheldon以降の体型をソマトタイプ somatotype と呼ぶのが普通である．因みに，Sheldon の体型分類法は主観に頼るところが大きい．一般に行われるソマトタイプの求め方には，Heath とCarter (1980,1990)[47][48]の計測法と，計算式によるソマトタイプピングがある．

ソマトタイプを求める計算方法は次の通り：

(1)内胚葉型はからだのまるさ（脂肪太り）を表し，次式で求められる．

$$\text{内胚葉型} = -0.7182 + 0.1451X - 0.00068X^2 + 0.0000014X^3 \quad (3.1)$$

ここで、X は肩甲下，三頭筋，腸骨棘上皮脂厚の合計値に補正值， $170.18 \div$ 身長，を掛けた値。

(2)中胚葉型は筋・骨格系の発達による体型（筋肉太り）を表し，次式で求められる。

$$\text{中胚葉型} = 0.858 \times \text{上腕骨顆間幅} + 0.601 \times \text{大腿骨顆間幅} + 0.188 \times (\text{屈曲上腕囲} - \text{三頭筋皮脂厚} \div 10) + 0.161 \times (\text{下腿囲} - \text{下腿内側皮脂厚} \div 10) - 0.131 \times \text{身長} + 4.50 \quad (3.2)$$

(3)外胚葉型は細長の体型を表し，次式で求められる。

$$\text{外胚葉型} = 0.732 \times (\text{身長} / (\sqrt[3]{\text{体重}})) - 28.58 \quad (3.3)$$

もしも，身長 / ( $\sqrt[3]{\text{体重}}$ ) が 38.25 ~ 40.75 のときは，外胚葉型 =  $0.463 \times (\text{身長} / (\sqrt[3]{\text{体重}})) - 17.63$ ，である。また，身長 / ( $\sqrt[3]{\text{体重}}$ ) が 38.25 以下のときは，外胚葉型 = 0.1，とする。

それぞれのスコアが 0.5 ~ 2.5 のときは低値，3 ~ 5 のときは中等度，5.5 ~ 7 のときは高値，7 以上は極高値と考える。この 3 つの数値を，内胚葉型 - 中胚葉型 - 外胚葉型の順に並べて体型を全体的に表している。

例えば，9-1-1 は極端な内胚葉型を，1-9-1 は極端な中胚葉型を，1-1-9 は極端な外胚葉型を，そして 4-4-4 はいずれにも偏らない中間的な体型をあらわす。以上，ソマトタイプの変量による体型分類は，かなり精度の高い分類法と考えられる。が，身体計測には熟練者の腕が必要とされ，スコアの算出法がめんどろであることや，見方にも馴れが必要である。

また，体型を表す尺度としては他に，身体の太り具合を表す BMI (= 体重(kg)  $\div$  身長(m)  $\div$  身長(m)) (3.4) やローレル指数 (= 体重(kg)  $\div$  身長(cm)  $\div$  身長(cm)  $\div$  身長(cm)) (3.5) などがある。

本研究では体型を表す物理量として身長，体重，BMI を求めたが，体重と BMI の相関が高かったので，BMI は除外した。また，男女差で身長と体重によって，人種が同じであるなら，特殊な場合（例えば，高齢者，スポーツ選手，病人，特別に肥満であったり，痩せていたり）を除いて，ほぼ体型を表すことができ

ると考えられる。

人体寸法の多くは正規分布にしたがって分布している。正規分布とは、例えば、横軸に寸法を、縦軸に人数をとったとき、平均値に近い値をもつ人の数が多く、両端にいくほど少なくなるという釣り鐘状で左右対称の分布である。正規分布は平均値（分布の中心の位置）と標準偏差（左右への広がり）という2つの統計量で、分布の状態を完全に表すことができる。平均値は50パーセンタイル値（100人の人を寸法が小さい順に並べた時、小さい方から50番目の人の値。中央値とも呼ぶ）と一致し、平均値 $\pm 1$ ×標準偏差の範囲に約68%の人が、平均値 $\pm 2$ ×標準偏差の範囲に約95%の人が入る。人体寸法の中でも、身長や転子高のように、骨格の大きさで決まるような寸法は正規分布に従っているが、乳頭位胸囲やウェスト囲、さらには体重というように、軟部組織が多く関与する項目ほど、正規分布からはずれ、値が大きい方に尾をひく傾向がある（分布のかたちが左右非対称になる）。

本研究の体型分類で用いた「日本人人体寸法データベース1997-98，通商産業省工業技術院くらしとJISセンター」のデータで、身長、体重のデータをstatview Ver.5.0を用いて正規性の検定を行ったところ、両データとも正規分布をしていた。よって体型分類は正規分布曲線を単純に3領域に分け、境界線を33.3%ile，66.6%ileとした。

体型と座り心地の関係については、数多くの研究がある。特に最近、椅子や車シートの設計で、高齢化社会に対応するために福祉関係の椅子の設計も重要視され、その際、設計上で体型あるいは身体寸法は重要な要素となる。

例えば、椅子の座面高で、自分が普段使用している座面高の値は、作業面高優先理論値との相関が比較的高く、下腿高優先理論値との相関は小さい。実際には自分の身体寸法を基本にしながらも机高にそって座面の高さを決定していると考えられる（武岡 1993）[49]。座面高を調整することによって、身体への負担が防げる。よって設計者は、対象者の身体寸法から、座面高理論値や椅子における様々な機能を考える。

また、高齢化社会をむかえ、在宅や施設介護を考えると、既存の椅子やテ

ーブルは高齢者には大き過ぎる傾向がある．そこで“ 高齢者の体型と生活動作に適応した寸法調整を可能化する ” 簡易モジュール型椅子とテーブルの開発を目指している（金城 *et al.* 2000）[50]．

さらに、身体特徴と、座り心地の評価で重要な要素となるクッション材の関係についての研究例もある．この研究は、心地良いと感じる寝具のクッション条件には個体差があって、立位背面形状や肥満度などの身体特徴が好みに関係しているという知見を元に、可変ばね式実験ベッドを用いて、好みのクッション特性を調べて、実用的なその個人に合ったベッドを試作、検討したものである（水谷 1998）[51]．

以上の研究例は、ごく一部ではあるが、体型と座り心地についての研究には様々なアプローチがある事を示している．まさに、ヒトと椅子の間にあるインターフェースの問題を研究することに他ならないためであろう．次節では、座り心地を評価するとき、クッション性について研究する意義について述べる．

### 3.3 クッション性の研究

ヒトは一日の中で、寝る、立つ、座るの動作を繰り返している．その生活の中で、クッションはあらゆる場面に使われている．しかしクッション性については、未だに明らかでない部分が多くある．

まず寝るという動作においては、小原（1969）[52]によると、クッション材により安眠に一番影響を与えるのは寝姿勢のちがいが、寝心地のよさ、寝返りのしやすさだという．健康なヒトは一晩に 20～40 回くらい寝返りを打つが、生理学的には背骨をまっすぐに伸ばした状態仰臥したときに、眠りが深いとされている．最終的に落ち着く寝姿勢のよしあしは、支持面の条件により変化する．例えば、柔らかすぎるベッドクッションでは、胸と尻が沈んで腰の部分が突き上げられた状態となり、寝心地が悪くなる．寝心地の良さと体圧分布も密接な関係があり、好ましいクッション材のときは、感覚の鈍い部分は圧力が大きく、鋭い部分は圧力が小さい．寝返りは、クッション材が硬すぎても柔らかすぎても、身体の筋への負担は大きくなる．ちょうどその硬さの中間に筋への働きの

小さい適当な範囲があるという。

高齢化社会を迎えた今日、高齢者・障害者のニーズに応じたユニバーサルデザインを考慮した寝具の開発も盛んに行なわれている。特に最近では、リハビリテーションの分野を中心に、臥位における褥瘡への配慮が重要視されている。褥瘡とは一般に、体の接触面から受ける圧迫により組織の末梢血管が閉塞し、壊死を起こす病態である。褥瘡防止用クッションの開発も盛んに行なわれている。また、褥瘡は予防により回避できるものであるが、できてから注意をすることが多い。褥瘡の原因として、感覚低下、骨への圧集中、血行不良、皮膚の状態などがあるが、それらに対して互いの関連性、対策は理解されていない。国立身体障害者リハビリテーションセンター病院で行うシーティング適合サービスで指導している日常生活場面における褥瘡予防法として、除圧と体位変換、車椅子のクッション、ベッドマット、自動車シートなどの項目についてその指導をしている（岩崎 2002）[53]。

次に立ち動作であるが、この動作にもクッション性は関わりがある。例えば座り心地には直接関係はないが、靴に足が接触するクッション材や、動作環境にある絨毯マットなどである。これらのクッション材も歩行負担の軽減や作業能率を考慮したら、クッション性の評価対象としては重要である。座り心地に関する研究で、長時間作業を木靴、柔らかい靴、柔らかい絨毯、コンクリート床上で条件を変えて行い、筋電や足のむくみを測定して比較、検討している（Lone H. *et al.* 1998）[54]。

最後に座り動作である。小原は、理想的な椅子の支持条件、例えば座の傾斜や背もたれ角度がどのように精密に指示されたとしても、クッションがそれを満足させるものでないと、実際良い椅子にはならないとしている。クッション材によって座位姿勢に常に数センチの変形が起こるからである。つまり、最終座位姿勢のアプローチから、クッション性能が明らかにされなければならない。

クッション材の試験は、一般に以下の項目に沿って行われる。

1. 表面硬度
2. 荷重・撓み曲線

- 15kg 時バネ常数 撓み量
  - 45kg 時バネ常数 撓み量
  - 85kg 時バネ常数 撓み量
3. 追従特性 45kg 時瞬間もどりバネ常数
  4. 揺動特性 45kg 負荷時について測定

また小原により，クッション性能について個人の嗜好を調べる目的で，クッション材のみが異なる色々な椅子を作り評価が行われた．そして，クッション性の因子と考えられる 8 項目（表面硬度，点荷重分布，荷重特性（バネ感），加圧曲線（沈み具合），側圧感，揺動感，減衰特性，最終荷重特性（底つき感））が座の評価，背の評価，総合評価にどのくらい寄与しているかを重回帰分析によって求めた．その結果，総合評価に一番影響力があったのは底つき感であった．体型とクッション材についても研究が行われ，この研究では，体型は脊柱の形状の違いをさし，クッション性とは密接な関係をもつと考えられている．実際脊椎の形状を 3 タイプに分け，特に背もたれの腰椎部分の形状を変化させ評価が行われた．ここで評価が高かった椅子は，休息用あるいは自動車シートの後部座席用の原型となるようなものであった．

椅子の座り心地に関するものでは，クッション性の研究も数多くなされている．また評価の対象もオフィスチェアを始め，福祉椅子，安楽椅子，車シートなど多種多様である．

オフィスチェア的设计で座り心地を考えると，重要な因子となるクッション材は，ヒトの疲労や，快適感に強く影響を及ぼす．特に，長時間の着座では，硬いクッション材は「圧迫感」，「痛み，しびれ感」が大きくなり，柔らかいクッション材は全体的に着座直後は評価が高いが，時間経過とともに評価が大きく低下するという（本間 2000）[55]．さらに，張りぐるみ椅子で，クッション材の厚みを変化させ，素材の組み合わせを変えて座面クッション材の評価をしている（佐藤 2000）[56]．佐藤の研究結果では，座り心地の良さと沈み込みの深さ感覚，弾力感，底付き感などの変数を数量化 類を用いて解析し，偏

相関係数を求めると、沈み込みの深さが座り心地に一番影響しているとしている。本研究では、先行研究（山家 2001）[57]により、クッション材の総合評価と相関が高いのはソフトな感じ、ハードな感じとしている。

福祉椅子については、日本だけでなく欧米では、シーティングという考え方が、一般的になっており、かつその重要性が提唱されている。シーティングは「座位保持」と訳される事があるが、「すでに変形した身体を保持する」従来の日本の座位保持とは目的が大きく異なり「できるだけ早い時期に処方すること」で身体の変形や褥創を予防し、明るく豊かな生活を支援することを目的としている。ここでクッションは、車椅子とともに正しいシーティングを処方する上で、欠くことのできないアイテムととらえられている。米のリハビリテーションの現場で最も推奨されているクッションは、臀部に加わる圧力を分散し、骨の突起部分をやさしく包み込み、圧による褥創を防止すると共に、「ずれ」を取り除く。「ずれ」による褥創を防止する流動体や、片側に傾く骨盤を正しい位置に矯正し、背骨の変形を予防する骨盤矯正用ビルドアップ、脚を正しい位置に保持する外転防止ウェッジや内転防止ビルドアップなどを使用して正しい座位を確立している。

車のシートの座り心地、あるいは乗り心地でも、クッション性を評価することは重要なポイントとなる。シートの性能を左右するものはクッション性である。

八田（1987）[58]らはクッション性と呼ばれているものの中味は、最終安定姿勢、体圧分布、荷重たわみ特性、振動特性などであるという。そして、これらの特性を数量的に表示するのが難しいために、シート設計は、今まで経験をたよりに柔らかさを決めてきたという実情があると報告している。そこで、一般のヒトが自動車シートのクッション性に対し、どのような嗜好傾向があり、クッション性をどう理解しているかについて調査を行った。この嗜好調査は、様々な属性のヒトを対象に行われ、その結果は次のようにまとめられた。

- (1) 最も好まれるシートは、硬いものでもなく、柔らかいものでもない、中間の柔らかさのシートの評価が高い。



(2) 一般のヒトが柔らかさとしてとらえているクッション性は、かなり細かい段階までその区別を感知できる。

(3) シートの柔らかさの嗜好は、職業別、体形別などの属性によって差が認められる。

また、自動車用シートの柔らかさの好みに関する調査は、野口(1985)[59]が先に行なっている。野口の場合もシートの性能は定量的に評価しにくいという問題があるとしている。この調査の目的は、シートのクッション性を一般ユーザーはどのように理解し、評価しているか、そしてクッションの柔らかさの違いをどこまで識別しているか、さらにどの程度の柔らかさのシートを好み、それはヒトの属性によって違いがあるかどうかを調べることであった。そして、(1)被験者はクッション性のうち柔らかさについては、かなり正しく判断している、(2)シートの嗜好は嫌いなものを答えさせるほうが、はっきりした答えを得ることができる、(3)シートのクッション性にユーザーは高い関心がある、などの結果を得た。

以上のように座り心地に関して、クッション性を研究対象とすることは価値あることであり、応用範囲の広さも期待できる。しかし、クッション性について調査、検討を行っても、対象者(椅子を選択するヒト)全てのヒトの属性とクッション材の関係を線形で表すことはなかなか難しいと考えられる。社会が個を考える時代になり、個人が使いやすく、個人に合ったモノを考える時流をむかえた。今までは専門家が主体となってモノ作りを行ってきたが、これからは一般のヒトもモノ作りに参加することが大切になっていく。一方このモノを作る側にも、クッション性を表す言葉が対象者と専門家の間で共通していなかったり、専門家の間でも柔らかさの意味が一致していなかったりとなかなかモノ作りも難しいわけである。

そこで、本研究ではこれらの問題点に着目して、ヒトの属性を体型とし、その体型から、自分に適していると思われるクッション材の硬さを予測するシステムを提案することとした。予測するために用いる統計手法をファジィ推論とし、この手法を用いることにより、自然言語のあいまいさを使って現象をモデ

ル化する．つまり，ファジィ集合によって記述すると，自然言語によるモデル構築が可能になる．ファジィ推論については，次節に従う．

### 3.4 ファジィ推論[60]

ファジィ推論については，第 2 章 2.3.3 で簡単に述べた．この節では，さらに詳しく，本研究で用いたファジィ推論とニューラルネットワークを融合した手法であるニューロ・ファジィシステムについて論述し，研究例を示す．

ファジィ制御（推論）とニューラルネットは，1980 年代後半から基礎技術として世間で認められている．ファジィ制御は，オペレータの経験的な知識をファジィ集合を含むルールで記述し，ファジィ推論により制御操作を決定する方法である．1974 年 Mamdani らによってスチームエンジンの実験装置の制御に応用され，有効性が示された．その後，菅野らのファジィモデリングなど多くの推論法が提案された．1990 年代には，重工業，自動車，家電などの分野で多くの製品が開発されている．ファジィ制御では，if-then というファジィルールで制御規則を表現できるので，モデルの構造が分かりやすく非線形な入出力を表現できる．しかし，エキスパートの知識から作成したルールだけでは実際の入出力を表現していない場合があり，ルールの調整が必要となる．

一方ニューラルネットは，人間の脳神経細胞を模擬した情報処理モデルであり，パターン分類・認識，予測問題において多くの手法や研究が行なわれている．ニューラルネットは自己学習機能により，モデルの環境が変化しても非線形な入出力関係を同定できるという特徴がある．しかし，学習状態や結果を明示的に表現できないという問題点がある．

図 3.1 にファジィ制御とニューラルネットの特徴を示す．

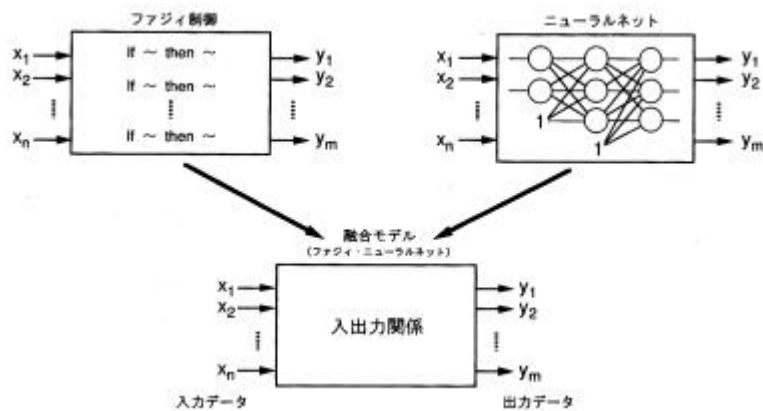


図 3.1 ファジィ制御とニューラルネットワークの特徴

以上のようにファジィ制御とニューラルネットワークには、まだ問題点があるが、それぞれの長短所において相補的な関係にあり、どちらも入出力データの入出力関係を同定するモデルといえる。そして、それぞれの課題を解決するために、ファジィ理論とニューラルネットワークを融合するモデルの研究が行なわれている。

では、実際この融合化研究が、どんな分野でどのように用いられているかを見ていき、ニューロ・ファジィと呼ばれるものがどんなものであるかを明らかにするとともに、応用製品の事例をあげる。

まず家電業界における研究応用では、洗濯機、掃除機、炊飯器、・・・と数え切れないほどのファジィ推論が用いられている。そして、1992年の全自動洗濯機の発売以後は、ほとんどの家電製品に採用されている。また、融合研究により「ニューロ・ファジィ」や「ニューロ&ファジィ」とよばれる製品も登場した。

例えば全自動洗濯機を考えると、ひと昔前の洗濯機では、洗濯時間を予め洗濯機に入力していた。時間は、洗濯物の量、汚れの質などによって洗濯するヒトの経験的カンで決定していた。この人間の高度な推論、判断機能を洗濯機にもたせるために、時間と洗濯物の量、汚れの質の関係を定量的に数式化しマイ

クロコンピュータで計算させることを考えた。

ここで、ファジィ推論なら、洗濯上手なヒトの経験的な知識を「もし ならば、××せよ」という if-then ルールに表現できると考え、ルール中の定性的であいまいな表現をメンバシップ関数で定量化した。しかし、望ましいファジィ推論の結果を得るには、設置したメンバシップ関数を左右に動かしたり、幅を広げたりして、ファジィ推論の結果を変化させなければならない。このメンバシップ関数の形状決定が非常に困難となる。なぜなら推論結果は、複数個のルールが関連する総合的な推論結果であるためである。ルール数や入力数が多くなると人的には、その決定は不可能となる。

これらの問題を解決するために、ニューラルネットの学習機能を用いてメンバシップ関数の形状を自動的に短時間で決定する方法がニューロ・ファジィである。

本研究におけるニューロ・ファジィシステムは、入力を対象者の体型、出力を適合クッション材の硬さとしている。

ファジィ推論の出力にクッション材の硬さを用いたのは、先行研究（山家 2001）よりクッション材の評価項目と総合評価との間では、クッション材硬さに関する評価項目が総合評価と相関があることがわかっていたことによる。表 3.2 にクッション材評価項目と総合評価との相関関係を示す。

表 3.2 クッション材評価項目と総合評価との相関関係

評価項目	相関係数
深く沈み込む感じ	0.349
コツンと当たる感じ	-0.275
底に付く感じ	-0.038
ソフトな感じ	0.432
ハードな感じ	-0.423
跳ね返る感じ	0.190
締め付ける感じ	-0.137
食い込む感じ	0.097
冷たい感じ	-0.304
蒸れる感じ	0.029
心地よい感じ	0.633
不快な感じ	-0.724

さらにクッション材の硬さの嗜好は体型により違いがあることもわかっているが(立川 1993[61] 八田 1987 野口 1985), これらの関係を定式化することは未だになされていなかった。その理由は, 線形で表される結果(肥満型は硬いクッションを好み, 痩せ型は柔らかいクッションを好むといった)に回帰モデル等を用いることはできるが, 非線形の部分, 例えば, 体型でも「やや肥満で背が低い」ヒトはやや柔らかめのクッションを好み, 「痩せ型で背が高い」ヒトは少し硬めのクッションを好むという先行研究とは異なった結果についての定式化が困難であったためである。この非線形な部分をあらわすために, ヒトの情報処理に必須であるあいまいさを表現し処理する手法として確立したファジィ推論を用いた。

ここまで, 座り心地の概念である体性感覚について, その意味と座り心地評価での体性感覚の位置付けに触れ, また体格については, 一般にある体型分類を示し, 座り心地との関係を概観した。次いで, 座り心地評価を行う上で, 本研究の評価対象であるクッション性について, 研究の根拠となった動機や研究例を示した。そして, 研究解析手法にファジィ推論(ニューロ・ファジィシステム)を用いた統計的観点からの提案を行った。次章から, 2章にわたってファジィ推論を応用した椅子の座り心地予測システム構築のための実験方法とその結果を記述する。

## 第 4 章 座り心地予測システム構築のための実験 1

この章では、椅子の座り心地評価における物理量と心理量との関係性を見出すために、第 3 章で既述した非線形モデルに効果的な解析手法であるニューロ・ファジィシステムを用いた実験を行う。椅子の座り心地の評価で、重要な要因となるクッション性の評価にファジィ推論を用いた研究は未だに行われていない。本章では、クッションの座り心地に焦点をあて、体型という属性に着目して、体型の違いと座面クッションの座り心地との関係をファジィ推論により評価・検討した経過を記す。ここで提案する座り心地予測システムの妥当性、再現性を高めるために、予測システム構築のための実験と、各その妥当性検証実験を 2 回にわたり繰り返した。

まず本章では、実験 1 としてシステム構築のために行なわれた最初の実験を記述する。

先行研究により、ヒトの身体寸法により着座感に違いがあることがわかっている。また、「快適度」、「クッション硬度」を表す評価項目は「総合評価」に高い相関関係がある(山家 2001)。実験で得たデータをモデリングデータとし、「身長」と「体重」の入力によって、評価の高い「クッションの物理特性値」(対象者着座時のクッション厚さの変化率)を推論するモデルを構築した。引き続き検証実験を行い、その妥当性の検討を行った。さらに、妥当性をより高め、再現性を改善するために、第 5 章の実験 2 にて予測モデルの再構築を試みた。

### 4.1 実験方法

#### 4.1.1 被験者

健康な成人女性 75 名

#### 4.1.2 体型分類

被験者の体型分類を表 4.1 に示す。なおこの体型分類は、男性、女性の身長、体重を各 S, M, L の 3 グループに分類した。S, M, L は「日本人人体寸法デ

ータベース 1997 98 (厚生省 2000)を元に、身長、体重の 33.3%ile 値、66.6%ile 値をグループの境界とした。

表 4.1 体型分類

	男性(m)				女性(f)		
	やや低い(S)	普通(M)	やや高い(L)		やや低い(S)	普通(M)	やや高い(L)
	~ 168.2	168.2 ~ 172.9	172.9 ~		~ 156.3	156.3 ~ 161.0	161.0 ~
やや痩せ(S)	m/S/S	m/M/S	m/L/S	やや痩せ(S)	f/S/S	f/M/S	f/L/S
~ 55.5				~ 48.1			
普通(M)	m/S/M	m/M/M	m/L/M	普通(M)	f/S/M	f/M/M	f/L/M
55.5 ~ 69.7				48.1 ~ 57.3			
やや太め(L)	m/S/L	m/M/L	m/L/L	やや太め(L)	f/S/L	f/M/L	f/L/L
69.7 ~				57.3 ~			

(単位 身長 cm 体重 kg)

#### 4.1.3 実験機材

- ・ 記録用デジタルカメラ
- ・ アンケート用紙 (改訂版座感チェックシート)(付録 1 参照)
- ・ 病院ベッド, ベニヤ板

#### 4.1.4 実験手順

病院ベッドの枠の上に、ベニヤ板を置き、実験用台とした。ベッドの高さは床から 36cm でベニヤ板は厚さ 1cm であり、実験用台の高さは床から 37cm である。その上に試料を置き、上張りを統一するため生成りの綿布を被せ、上履きを履いた被験者に着座してもらって、改訂版座感チェックシートへの回答を求めた。また、体型を表す特性値として、身長・体重を採用することにし、被験者に申告してもらった。図 4.1 に実験風景を示す。



図 4.1 実験風景

#### 4.1.5 実験条件

収集したベッド用クッション材の試料の中から、硬いもの、中くらいのもの、柔らかいものとして以下の 3 種類の試料（試料番号 1, 3, 5）を選択した。前述の 4.1.4 実験手順で、試料をベッドの上に置き、高さを調節したのも実験が日常の看護環境の設定であったからである。検証実験には、これらの試料を再度使い、さらに 2 種類の試料（試料番号 2, 4）を追加している。図 4.2, 表 4.2 にそれぞれ、実験 1 と検証実験に用いられたクッション材のヒステリシス曲線と物性を示す。このヒステリシス曲線の見方であるが、荷重をかける前の各クッション材の厚さを 1 として、図中の曲線が右下がりになるほど、クッション材の厚みが少なくなる変化を表している。つまり、クッション厚さが 1 に近いほどクッション材は硬く、数値が下がるほど柔らかくなっていく。本研究で、用いられたクッション材の圧縮歪み試験は全て、JIS-K6400 の試験方法に従った。試験方法については図 4.3 に示す。



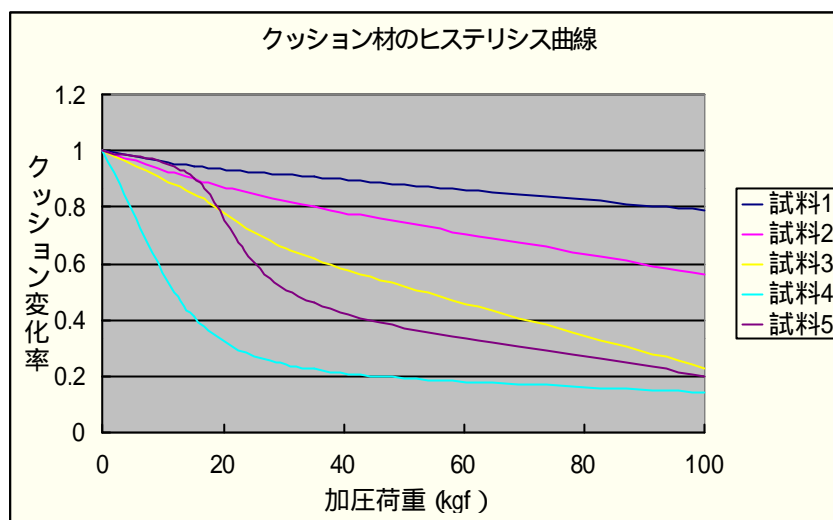


図 4.2 実験 1 (そして検証実験) におけるクッション材のヒステリシス曲線

表 4.2 実験 1 (そして検証実験) におけるクッション材の物性

試料番号	材質, 見かけ密度, 硬度
1	ポリエステル繊維
2	ポリエステル繊維, ラテックス
3	高弾力ウレタンフォーム, ポリエステル繊維
4	低反発ウレタンフォーム 60 10(kg/ ), 15 10(N/100 )
5	低反発ウレタンフォーム 60 10(kg/ ), 25 5(N/100 )



図 4.3 クッション材圧縮歪み試験

(クッション材を万能試験機(オリエンテック(株)製 TENSILON)にセットし, JIS-K6400 に基づき 200 の円盤でクッション材の中央を押す)

## 4.2 実験結果

本節では, 本研究のクッション材の物理特性値について定義し, クッション厚さの変化率を求めるために, ヒステリシス曲線を定式化する. そして, システム構築のためのモデルリングデータとなる被験者の体型分類に基づく属性と, 得られた方程式により選択した適合クッション材の特性値を示す.

### 4.2.1 クッション材の物理特性値の定義

既述の先行研究により, 「総合評価」つまり座り心地と関係の深い要因にはクッション性, 身体圧分布などがあり, また「ソフトな感じ」や「ハードな感じ」といったクッション材硬さを表す評価項目には, かなり相関があることが分っている. そこで, 本研究では, クッション材の物理特性値として, クッション材の硬さに関する値, つまり「着座時のクッション厚さの変化率」を採用することにする. これは, クッション厚さの変化率として最初の状態を 1 として, 本研究で用いた圧縮歪試験により, 荷重をかけたときのクッション厚さの割合を示したものである. 図 4.4 に定義するクッション材の物理特性値のイメージ

図を示す。

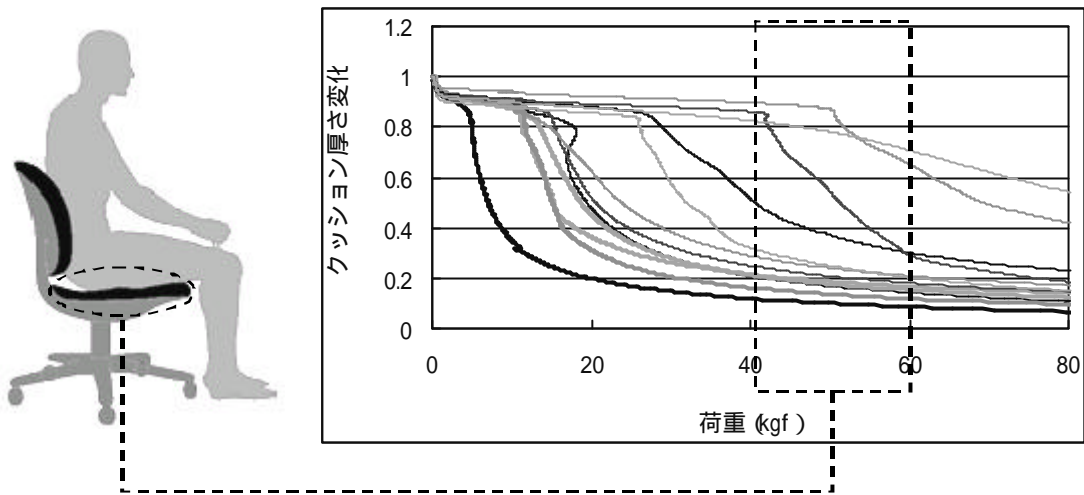


図 4.4 定義するクッションの物理特性値のイメージ

着座時の座面にかかる荷重については、小原（1969）による身体各部の重力配分の概略値より、およその見当をつけることができる。なおウレタンフォームのクッション性については、荷重をかける時、面圧と点圧により変化するが、本研究で用いたクッション材の圧縮歪試験は面圧を考慮したものに従っている。座面にかかる荷重は、頭頸部、胸腹部、腰臀部、上肢、両大腿部を加えたものであると推察される。そこで、着座時の座面にかかる荷重を、体重の 86%の質量とした。被験者の着座位におけるクッション厚さの変化率は、座面にかかる荷重（体重の 86%）とクッション特性曲線であるヒステリシス曲線から求めた。具体的には、SPSS Ver.10.0 の曲線推定より求めたヒステリシス曲線に相当する回帰方程式の変数  $X$  に、座面にかかる荷重を代入することで求めた。なお、本研究にある全てのクッション材ヒステリシス曲線は、これと同様の曲線推定方法により求められた。下記に曲線推定後の SPSS の出力結果例を示す。

SPSS の出力結果例：

Dependent variable.. VAR00002

Method.. COMPOUND

Listwise Deletion of Missing Data

Multiple R

.99534

R Square .99070  
Adjusted R Square .98604  
Standard Error .01186

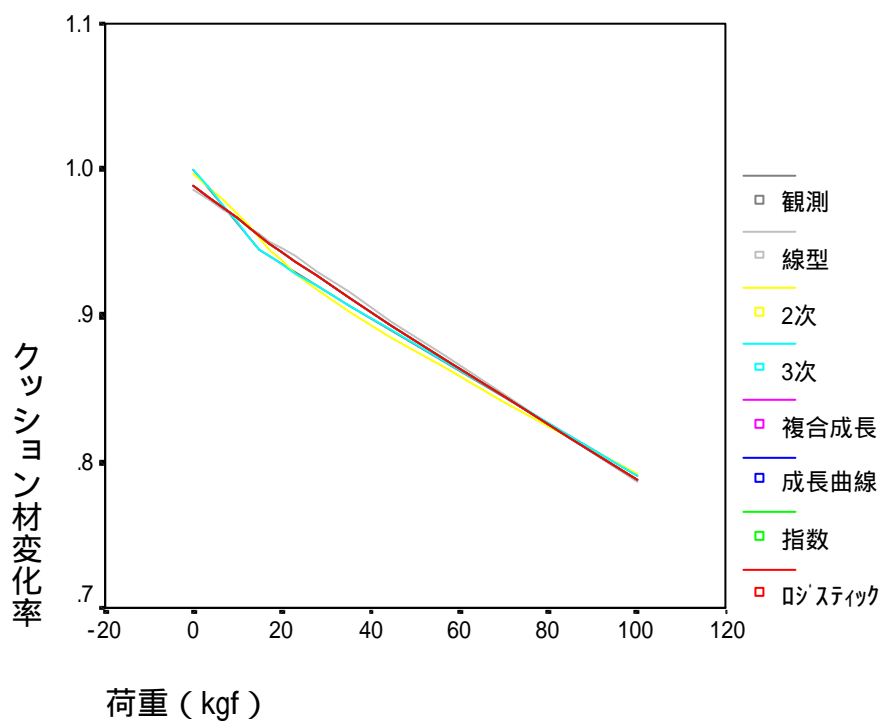
Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	.02995552	.02995552
Residuals	2	.00028131	.00014065

F = 212.97275      Signif F = .0047

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
VAR00001	.997735	.000155	.369599	6435.341	.0000
(Constant)	.988111	.008215		120.281	.0001



出力結果で、GROWTHは成長曲線を意味し、いわゆる指数関数の曲線である。他にもSPSS出力結果の図にあるように当てはまりの良かったLINEAR(線形)、QUADRATI(2次曲線)、CUBIC(3次曲線)、COMPOUND(複合成長曲線)、EXPONENT(指数関数曲線)、LGSTIC(ロジスティック曲線)などがある。本研究では、全てのクッション材の圧縮歪み試験の結果を解析したところ、指数関数曲線(成長曲線)が共通して当てはまりが良かったため、全てのヒステリシス曲線を次の指数関数曲線式であらわすことにした。

$$Y = \exp(b_0 + b_1 \times X) \quad (4.1)$$

(4.1)の指数関数方程式により、図4.2のヒステリシス曲線を方程式で表すと、

試料1の指数関数方程式  $Y = \exp(-0.012 - 0.002 \times X)$

試料2の指数関数方程式  $Y = \exp(-0.012 - 0.006 \times X)$

試料3の指数関数方程式  $Y = \exp(0.03 - 0.015 \times X)$

試料4の指数関数方程式  $Y = \exp(0.451 - 0.017 \times X)$

試料5の指数関数方程式  $Y = \exp(0.001 - 0.017 \times X)$

(Y: Xkgf荷重時のマットレス厚の変化率)

ここで、Xkgf荷重とは、小原による、被験者が着座時の座面にかかる荷重であり、体重の86%の質量に当たる。既述のように、被験者の着座位におけるクッション厚さの変化率Yは、体重の86%の質量を上記の指数関数方程式の変数Xに代入することで求めた。

#### 4.2.2 実験1の結果

被験者の属性による適合クッションを予測するために、推論システムのための身長、体重データと被験者の主観評価の結果から評価の高いクッション材厚さの変化率を被験者の座面にかかる荷重から求めた。主観評価データとしては、5点満点の4点あるいは5点獲得したものが評価が高いとした。

表4.3に被験者の属性と選択した適合クッションの材の特性値を示す。

表 4.3 実験 1 における被験者の属性と選択した適合クッション特性値

体型分類	女性 (F)		
	平均身長 ( cm )	平均体重 ( kg )	適合クッション平均変化率
SS	152.3	45.7	0.549
SM	153.8	52.5	0.575
SL	151.7	60.8	0.503
MS	158.0	46.3	0.498
MM	159.2	52.4	0.450
ML	159.6	67.2	0.273
LS	164.3	47.0	0.678
LM	164.8	53.6	0.630
LL	162.8	60.2	0.543

表4.3を身長と適合クッション厚さの変化率，及び体重とクッション厚さ変化率で，それぞれ2次元表示したものを，図4.5，図4.6のようになる．

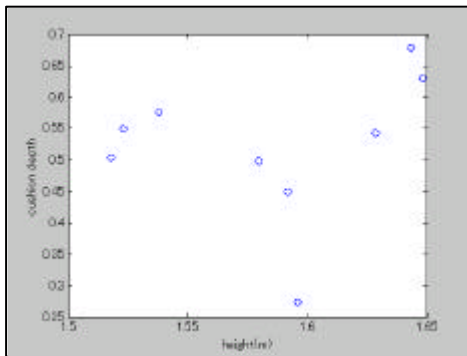


図 4.5 身長と適合クッション厚さの変化率

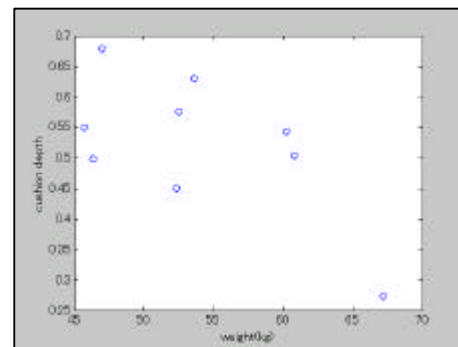


図 4.6 体重と適合クッション厚さの変化率

また，身長，体重と適合クッション厚さ変化率の3次元表示をすると，図4.7のようになる．

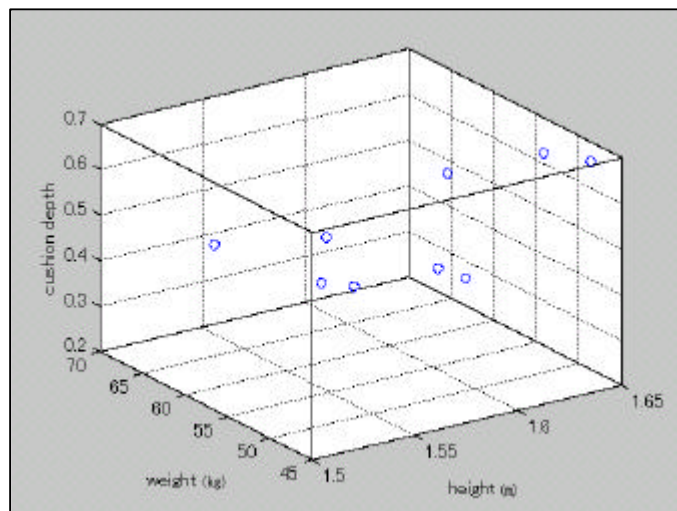


図 4.7 身長，体重と適合クッション厚さの変化率

図4.5，図4.6から読みとれる傾向として，身長が中くらいのヒトは，本研究で用いたクッション材の中で，柔らかめのクッション材を選択している．身長が高めのヒトは，硬めのクッション材を選択している．また，身長による属性からみた適合クッション厚さの変化率は，体重の影響も受けている．例えば，図4.6の体重と適合クッション厚さ変化率をみると，身長が中くらいのヒトでも，体重のかなり重いヒトが，柔らかめのクッション材を選択している．

これらを統合して，実験結果を図4.7にて示すと，身長，体重の属性の組み合わせによって様々な硬さのクッション材を選択しており，はっきりとした傾向は見出せない．

以上の結果より，体型別による適合クッション選定には複雑性が存在し，立川(1993)，八田(1987)，野口(1985)らの先行研究が言うところの，肥満型は硬めのクッションを好み，痩せ型は柔らかいクッションを好むだけでは説明しきれない．この簡単には把握できない部分をさらに評価するために，適合クッションの予測可能なシステムとして，非線形性の解決法に適したファジィ推論を用いることを提案する．

## 4.3 解析方法・結果

### 4.3.1 解析のためのモデリングデータ

後件部に線形関数を用いる推論法では，入出力データを使ったモデリングによって，推論規則を作成する．モデリングのための出力データは，適合クッション材を選択する実験において，総合評価が「ややよい」，「よい」で評価の高かったクッション材の硬さにあたるクッション厚さの変化率を用いる．総合評価の評点は5段階とし，最高点の5を「よい」とする．

### 4.3.2 解析に用いたファジィ推論モデルの構築方法

改訂版座感チェックシートの回答結果から得られたデータによって，身体寸法からそのヒトに適合したクッション材の硬さを予測することを考えた．主観評価の解析手法ということで，提案する予測モデルはファジィ推論とする．モデル構築のために使用した解析ソフトは MATLAB Ver.6.1 の Toolboxes にある Fuzzy Logic で，これによってファジィ推論を行い，メンバシップ関数，ファジィルールを作成する．このツールは，菅野ファジィシステムを作成し，訓練し，テストするものである．この推論システムを用いると，観測された出入力データに基づいて，ニューラルネットワークのバックプロパゲーションアルゴリズムを使って訓練することでメンバシップ関数の形状を整形することができる．

モデリングデータは身長，体重という身体寸法を入力データにし，各回答者が座感チェックシートにより，総合評価が4あるいは5であるクッション材の硬さ，つまりクッション厚さの変化率を出力データとしてファジィモデルを構築する．

クッション厚さの変化率は，クッションの物理特性値の定義により求めた式で算出した．

本節では，ニューロ・ファジィアルゴリズムにより学習されたファジィルールと出力するクッション厚さの変化率である予測画面の意味を記述し，付録に構築マニュアルを添付する．(付録3参照)



表 4.4 学習されたファジィルール(女性の場合)

weight	height			
		short	middle	tall
	slim	0.566	0.567	0.576
	middle	0.554	0.342	0.713
	fat	0.673	0.294	-0.940

表 4.4 をながめると学習されたファジィルールは、改訂版座感チェックシートの回答結果により、身長が中くらいの女性の場合、体重が中くらいか少し重いヒトは、クッション材が柔らかめのものを選択していることがわかる。また、身長が高めのヒトの場合、体重が中くらいのヒトは、クッション材の硬めのものを選択していることがわかる。これら、表 4.4 にあるファジィルールで、適合クッション厚さ変化率が、身体寸法別に出力される。この表 4.4 のファジィルールを記述すると以下ようになる。

ルール 1 彼女の身長が少し低く、体重が少し軽ければ、適合クッション厚さ変化率は 0.566 (やや硬め)

ルール 2: 彼女の身長が少し低く、体重が中くらいならば、適合クッション厚さ変化率は 0.554 (やや硬め)

ルール 3: 彼女の身長が少し低く、体重が少し重ければ、適合クッション厚さ変化率は 0.673 (やや硬め)

ルール 4: 彼女の身長が中くらいで、体重が少し軽ければ、適合クッション厚さ変化率は 0.567 (やや硬め)

ルール 5: 彼女の身長が中くらいで、体重が中くらいならば、適合クッション厚さ変化率は 0.342 (やや柔らかめ)

ルール 6: 彼女の身長が中くらいで、体重が少し重ければ、適合クッション厚さ変化率は 0.294 (柔らかめ)

ルール 7: 彼女の身長が少し高く、体重が少し軽ければ、適合クッション厚さ変化率は 0.576 (やや硬め)

ルール 8: 彼女の身長が少し高く、体重が中くらいならば、適合クッション厚さ

変化率は 0.713 (硬め)

ルール 9: 彼女の身長が少し高く, 体重が少し重ければ, 適合クッション厚さ変化率は -0.94

以上の結果を見ると, 学習後のファジィルールは, 実際の評価結果が全て反映されて出力するわけではない. これはニューラルネットワークのアルゴリズムにより, 当然, 出力値の誤差が最小になるよう計算された結果である. ここで, ルール 9 の出力結果が負の値になってしまった. 負の値が出力された考察については, 4.4.1 のニューロ・ファジィシステムと結果考察で詳細に述べる. そこで 4.4.1 で不正値の出力の理由より, システム出力への影響をなくすため, 今回はこのルール自体を削除することとした.

図 4.8 に構築した座り心地予測システムの出力画面を示す.

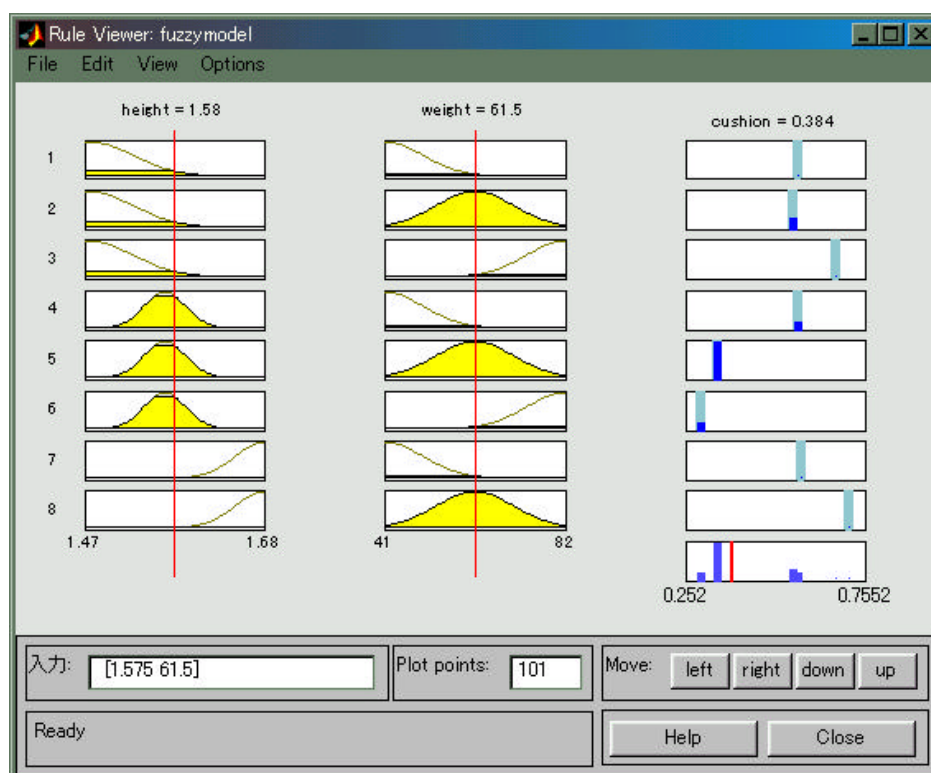


図 4.8 適合クッション厚さの変化率出力画面 (Matlab Ver.6.1)

図 4.8 の出力画面は, 左の二つにあるそれぞれの山が, 順に身長, 体重のメンバーシップ関数を示している. 右端には入力データの身長, 体重で, 選択者

が自分に適合していると予測するクッション厚さ変化率が出力される。上記画面の使用方法として、メンバーシップ関数にある縦棒を移動させることにより、対象者の身長、体重のデータを入力して対象者に評価の高い「クッションの物理特性値」の推定を行う。

また、下段の入力用セルに、実際、各数値を代入して特性値の推定を行うことも可能である。

図 4.8 の出力画面より得られた身長、体重、適合クッション厚さの変化率の 3 パラメータで描かれた三次元表示を図 4.9 に示す。

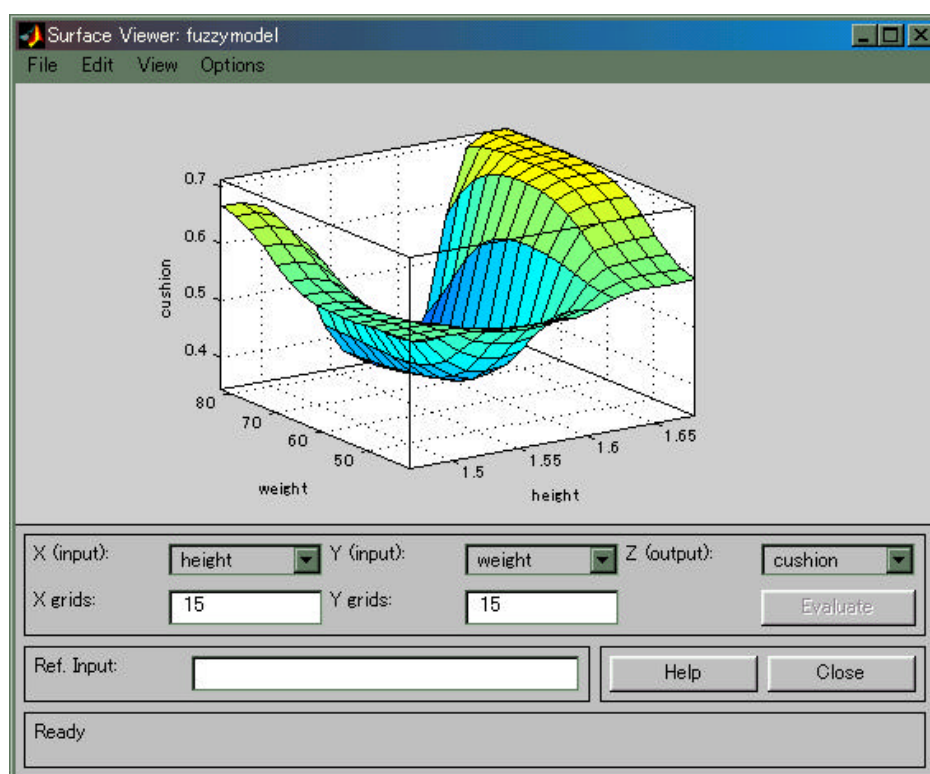


図 4.9 適合クッション厚さ変化率推定の三次元表示 (Matlab Ver.6.1)

図 4.9 の X 軸、Y 軸は、身長、体重で、Z 軸が適合クッション厚さの変化率に当たる。この三次元画面は回転可能であり、様々な方向から各パラメータの関係を見ることが可能である。この 3 パラメータの関係は、ニューロ・ファジィシステムのアルゴリズムにより学習されたファジィルールを反映している。当然のことであるが、表 4.4 のファジィルールの通りに表示画面は、適合クッショ

ン厚さの変化率を出力している。

#### 4.4 考察

以下，本研究で用いたニューロ・ファジィシステムについて記述し，考察する．また，4.3.2 の学習されたファジィルールで，ルール9の「彼女の身長が少し高く，体重が少し重ければ，適合クッション厚さ変化率は-0.94」と，出力値が負の値となったためにルールから除外されたが，その理由についても触れる．

##### 4.4.1 ニューロ・ファジィシステムと結果考察

この節では，ニューロ・ファジィシステムが，どのような概念で構成され，どう実現されているかを示し，結果を考察する．

まずニューロ・ファジィシステムは，ファジィルールにニューラルネット的な学習機能を適用し，ファジィルール中のファジィ集合のメンバシップ関数の形状や後件部の実数値などを調整して，ファジィ推論のチューニングを行うモデルである．図4.10に，本研究で用いられたニューロ・ファジィシステム概念図を示す．

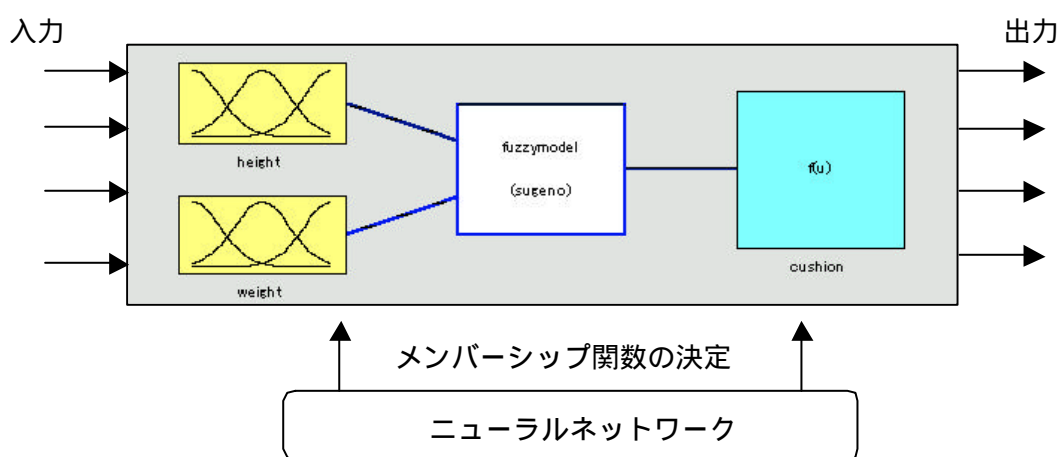


図4.10 ニューロ・ファジィシステム概念図

本研究で用いられた図4.10におけるニューロ・ファジィシステムは，観測された入出力データに基づいて，バックプロパゲーションアルゴリズムを用いて訓練することにより，メンバシップ関数の形状を整形している．

また ,ニューラルネットワークがどのように用いられたかについては ,図 4.11 で ,推論過程の構造体を示す .

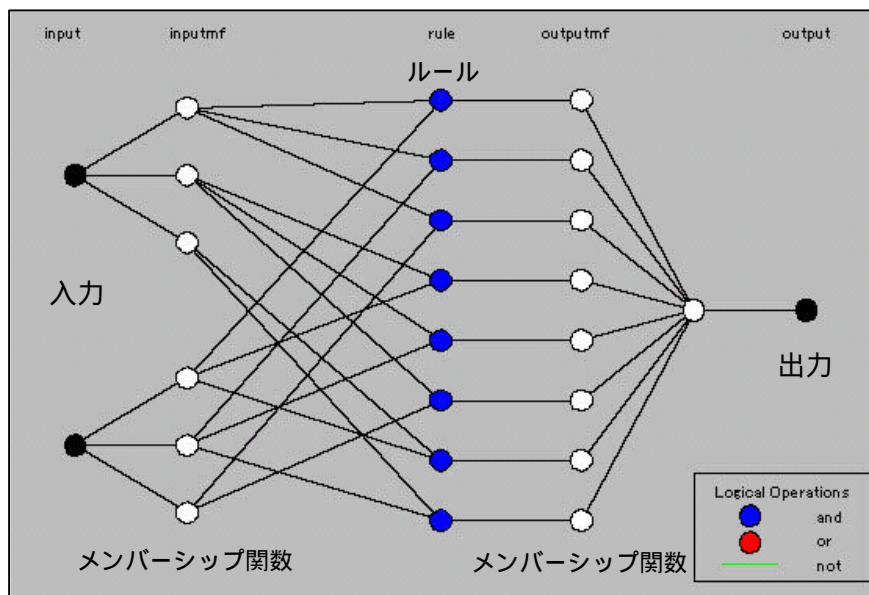


図 4.11 推論過程における構造体

図 4.11 にあるファジィルールは 8 ルールになっている . これは , ニューラルネットワーク学習後のルールで , 出力が負の値になったものを削除したからである . ルールは AND 演算のみで , OR 演算を用いなかったのは , 体型を表す身長 , 体重というふたつの要因を必ず用いる方が , 体型自体をより明確に表現できると考えたからである . 今後は , さらにルールを拡張したほうが , 対象者自身の選択範囲が広がる .

本研究で用いたファジィ推論は , 菅野理論 ( 田中 1991 ) [62] による後件部を簡略化した推論法であり , 後件部のファジィ集合が実数値 ( シングルトン ) である .

例えば , 菅野のファジィ推論法を 2 入力 1 出力の推論規則で次のように記述する .

規則  $i$     IF  $x$  is  $A_i$  and  $y$  is  $B_i$   
               THEN  $z=c_i$  ,  $i=1,2,\dots,l$

( $i$ は規則番号, $l$ は規則数, $A_i, B_i$ はファジィ集合, $c_i$ は実数値)

推論結果にあたる $z$ は,式(4.2)で求められる.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^l w_i z_i}{\sum_{i=1}^l w_i} = \frac{\sum_{i=1}^l w_i c_i}{\sum_{i=1}^l w_i} \quad (4.2)$$

ここで, $w_i$ は規則 $i$ の前件部の適合度であり,式(4.3)のようになる.

$$w_i = \mathbf{m}_{A_i}(x) \mathbf{m}_{B_i}(y) \quad (4.3)$$

( $\mu$ はファジィ集合のメンバシップ関数)

(4.2)式より,ファジィルールから得られた出力値が負の値をとるのは不可能と考えられる. $w_i$ にあたる適合度, $c_i$ も正の実数値であるから,出力は負の値をとりえない.これはあくまでも,最初からルール設定がされた菅野理論に基づく推論ならではのなしである.本研究におけるファジィ推論は,推論誤差を少なくするために,ニューラルネットワークによりバックプロパゲーションを用いて学習される.これらのアルゴリズムにより後件部の実数値が,入出力関係を近似させるように決まって行く.よって,ルール生成のために後件部実数値が負の値,あるいは不適正な正の値をとる可能性もあると考えられる.

ここで,後件部の実数値の生成について述べる.図4.12に1入力1出力の場合の後件部実数値生成例を示す.[60]

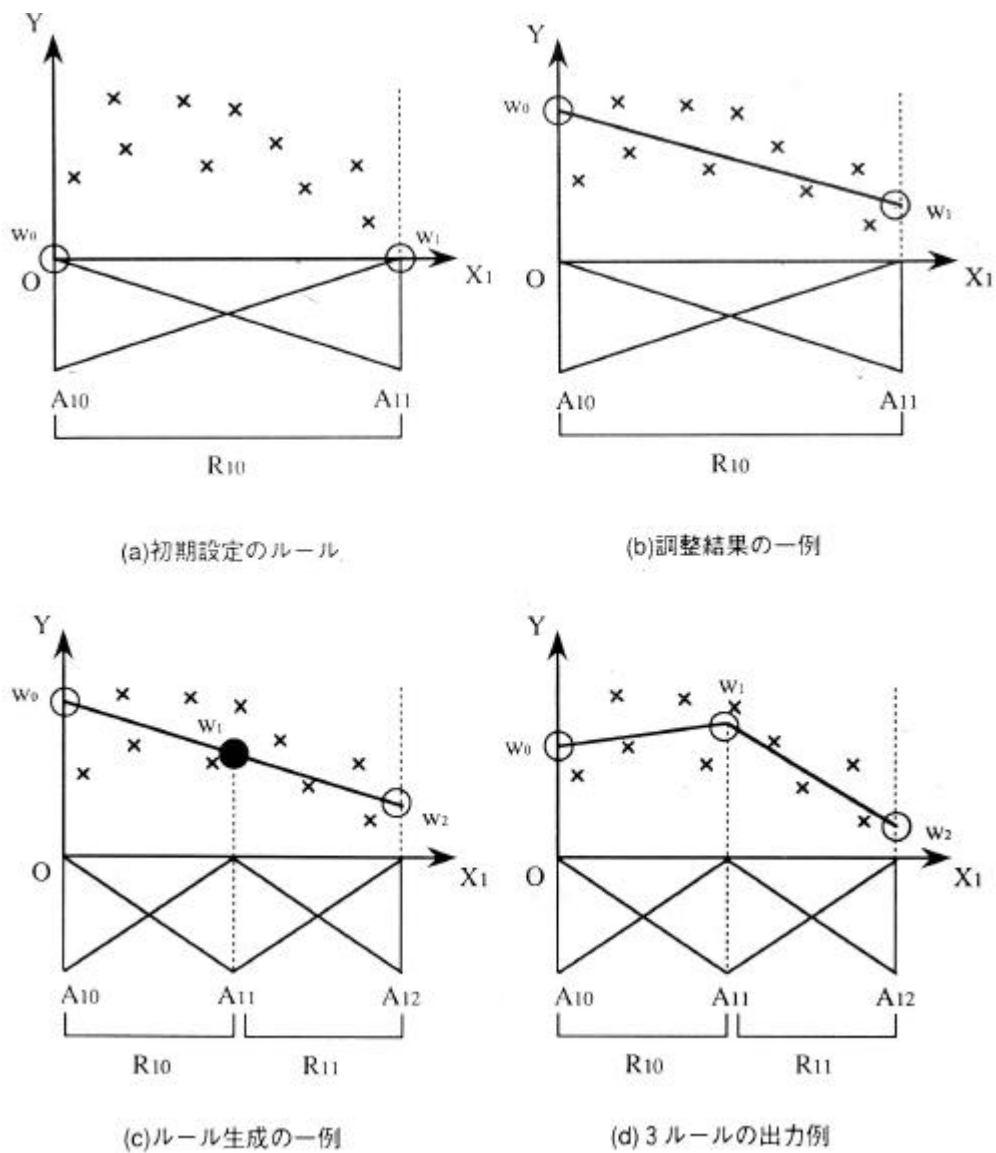


図 4.12 後件部の実数値の生成例 [59]

図 4.12 において  $w_i$  はルール後件部の実数値,  $x$  は入出力データを表している .  
 図 4.12 (a) において, 後件部実数値  $w_0, w_1$  とし, 推論誤差が減少しなくなる  
 まで調整した結果が (b) である . このとき, ファジィ推論の出力は式 (4.4)  
 で表される .

$$y = (1 - x_1)w_0 + x_1 w_1 = (w_1 - w_0)x_1 + w_0 \quad (4.4)$$

式(4.4)によって, ファジィ推論の出力は一本の直線で表されることを示す .  
 この直線による入出力関係の近似が推定誤差  $\epsilon_1$  を満たさないとき, (c) に示す  
 ように新しいメンバシップ関数を生成し, ルールを生成する . このとき (c) の

は、新たに生成したルールの後件部の実数値はメンバシップ関数の頂点の値に対する更新前のルールによるファジィ推論の出力とする。このとき、ルール生成後の出力は (b) と同じ直線で表され、ファジィ推論の出力が変わらないので、推定誤差も増加することなくルール生成が行われる。その後、さらにパラメータの調整を行うと (d) に示すような 2 本の直線で入出力関係を近似する。それは推論誤差の減少を意味する。

以上は 1 入力 1 出力の場合の後件部の実数値の定め方を示したが、一般に多入力の場合、各入力変数について隣り合う 2 つのメンバシップ関数でファジィ分割されている領域では、ファジィ推論の出力は、その領域の端点にある後件部の実数値をパラメータとするひとつの多重線形関数で表される。例えばあるファジィ分割された領域でのファジィ推論の出力を図 4.13 に示す。

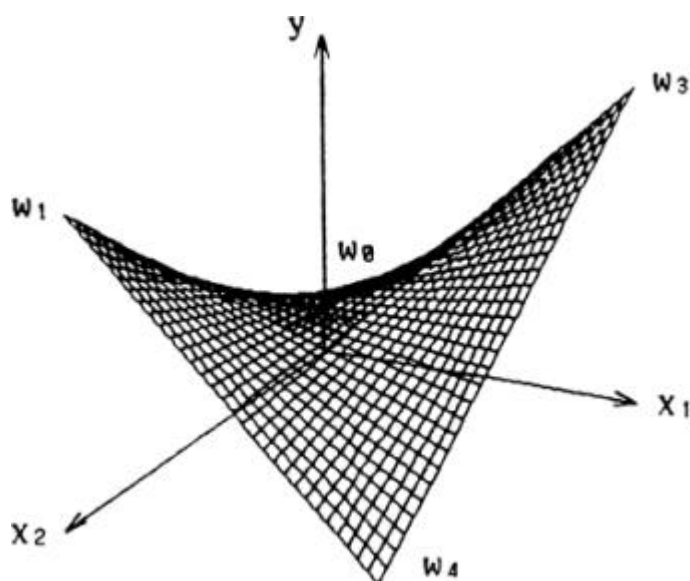


図 4.13 多重線形関数で表されるファジィ推論の出力例 [59]

本研究において構築した予測モデルのファジィ推論は、ルール数を最初に決めて推論行程をニューラルネットワークを用いて学習させている。よって、決められたルール数では、上記の多重線形関数のアルゴリズムにより、負の値が出力される可能性がある。よって既述のように本実験では、不適切なルール (ルール 9) が人手により削除された。



#### 4.4 検証実験

本章で構築した予測モデルの検証実験は、実験を 2 回に分けて異なる場所の被験者を対象に実施した。被験者は実験 1 同様に全員女性である。

実験条件は実験 1 と同様であるが、今回は体型を表す特性値の精度を上げるために身長、体重を人体計測器を用いて測定を行った。

##### 4.4.1 被験者

被験者の女子学生 14 名の属性と選択した適合クッション特性値を表 4.5 に示す。

表 4.5 実験 1 - 検証実験における被験者の属性と選択した適合クッション特性値

体型分類	女性 (F)		
	平均身長 (cm)	平均体重 (kg)	適合クッション厚さの平均変化率
SS	153.9	45.7	0.594
SM			
SL			
MS	157.5	46.2	0.630
MM	157.2	49.5	0.668
ML	160.7	58.0	0.488
LS			
LM	163.3	54.4	0.606
LL	164.0	58.0	0.610

(空欄は該当者なし)

##### 4.4.2 実験機材

- ・ 身長計
- ・ 体重計
- ・ アンケート用紙 (改訂版座感チェックシート)
- ・ 実験用椅子, 足置き台

#### 4.4.3 実験手順

実験 1 と同様に足置き台を用い、各被験者の座面の高さ 37cm に調整した実験用椅子の上に、クッション材をのせて布を被せ、その上に、被験者に上履きを履いた状態で着座してもらった。そして、改訂版座感チェックシートに回答してもらい、かつ被験者の身長と体重を測定した。

図 4.14 に検証実験に用いた実験椅子を示す。

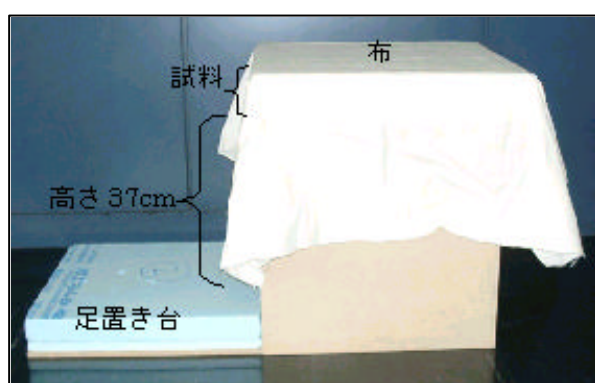


図 4.14 検証実験用椅子

#### 4.4.4 実験条件

実験 1 で用いた 3 種のクッション材に、2 種を加えた計 5 種類のクッション材を試料とした。

#### 4.4.5 実験結果・考察

提案したファジィ推論モデルの妥当性検証は、予測モデルから出力されたクッション材の特性値（予測値）と、その値に近似した特性値を有する（実際実験に使われた）クッション材（実測値）に対する被験者の主観評価を比較することで行われた。予測値と実測値（選択クッション材の特性値）の相関は、各被験者内の評価のバラツキが大きかったので、本実験では全被験者数のうち予測値と高い近似を呈した実測値を回答した被験者数の正答率で示した。

被験者の属性と予測値を表 4.6 に示し、その予測値に近似したクッション材厚

さ変化率における，各被験者の総合評価を表 4.7 に示す．

表 4.6 検証実験における被験者の属性と予測適合クッション厚さの変化率

被験者	身長 (cm)	体重 (kg)	予測適合クッション厚さの変化率
1	158.0	46.0	0.529
2	161.2	55.2	0.534
3	149.5	42.2	0.565
4	156.7	49.0	0.5
5	167.2	50.8	0.641
6	164.0	58.0	0.688
7	164.5	77.4	0.697
8	160.7	58	0.48
9	153.4	46.8	0.54
10	157.7	50.0	0.486
11	155.3	45.3	0.538
12	167.5	55.0	0.677
13	154.6	47.0	0.529
14	156.7	46.4	0.526

表 4.6 から，予測された適合クッション厚さの変化率は，つまり全被験者の選択した適合クッション材は，ほぼ全員中くらいの硬さを選んでいる．また，被験者の属性としては，表 4.5，表 4.6 からわかるように，体型分類中の，S サイズの被験者が少なかった．

表 4.7 クッション厚さの変化率予測値と近似した実測値の総合評価

被験者	試料番号	予測値と近似したクッション厚さの変化率	総合評価
1	2	0.510	3
2	1	0.506	4
3	2	0.539	3
4	2	0.488	2
5	1	0.535	5
6	5	0.732	5
7	5	0.663	4
8	1	0.488	4
9	1	0.563	4
10	2	0.481	4
11	2	0.515	4
12	5	0.744	2
13	2	0.503	2
14	2	0.507	2

表 4.7 から，試料番号 1, 2, 5 のクッション材のみが予測値と近似している．また，試料番号 1, 2, 5 は全ての被験者に総合評価が高いわけではなく，試料 2 については総合評価が低い被験者もいた．この試料 2, 5 の総合評価の低い被験者の属性は，体型普通（身長普通，体重普通）であった．実験 1 で構築したファジィ推論モデルでは，学習されたルール（表 4.4）によると，体型が普通のヒトは柔らかめのクッション材を選択するとなっている．本実験の結果からは，実際，体型が普通のヒトはやや柔らかめのクッション材を適合クッションとして選択しているので，構築されたファジィモデルのルールをだいたい反映していたと考えられる．

ここで，構築した予測モデルの妥当性であるが，検証実験によって，各被験者が自身に適合していると予測されるクッション厚さ変化率で，実際回答した総合評価が，4 あるいは 5 であった被験者は 14 人中 8 人であった．これを正答

率と考えると約 57%となる。また、モデル自体の妥当性をみると、訓練されるデータが、モデルとしてもデータの特性を十分反映しているならば、うまく機能することが考えられる。しかしデータにノイズが多い場合には訓練してもモデルを表現する全体のデータの特性にはならない。そこで、Matlab の ANFIS にあるチェックデータ（訓練データ以外のデータ）にあたる検証実験用のデータで、モデルの検証を行った。その結果、チェック誤差約 0.36 を得て、ほぼ妥当といえる数値となった。この妥当性をもっと確実にするには訓練データをふやすか、メンバシップ関数の数や型を変更することが考えられる。

#### 4.5 結論

本章をまとめると、以下のようになる。

- (1) クッション性を評価する上で、重要な因子であるクッションの硬さを示すヒステリシス曲線を関数方程式で表した。
- (2) ヒトの体型という属性から、対象者が自分に適していると考えられるクッション材の硬さを予測するモデルに、ファジィ推論を適用してモデルを構築した。
- (3) さらに、構築したシステムの改善を行うことにより、将来 Web 上で身体寸法にあたる部分を自然言語に置き換え、出力の硬さも自然言語で表示し、その結果から個々人の体型による適合クッション材を選択できるシステム構築の実現性を予見した。

今後は、クッション材のヒステリシス曲線の意味付け、つまりヒステリシス曲線の関数方程式は、自然言語における硬さ、あるいは柔らかさを意味しているのかを検討する。さらに、構築したシステムの課題である、男性、女性別のシステム構築、他の統計手法との比較、検討を第 5 章の実験 2 において行う。

## 第5章 座り心地予測システム構築のための実験 2

本章では、第 4 章で構築したモデルの妥当性をさらに高め、再現性をもたせるために、実験 2 として予測モデルの再構築を試みる。まず、実験 2 では、メンバシップ関数の数とルールの決定を解決し、男女別のシステムを構築する。また、実験 1 で構築した予測モデルと実験 2 のモデルにチェックングデータとして各検証実験の入出力データを用いて、モデルの妥当性の比較検討を行う。さらに、クッション材のヒステリシス曲線の意味付けを行う。第 3 章で記述したように、専門家の間でもクッション特性の意味解釈が難しい言われている。そこで、本研究で用いたヒステリシス曲線の関数方程式が、クッション材の硬さ、あるいは柔らかさをどう表しているか、また対象者がどう感じているかを検討する。また、実験 1 で問題となったニューロ・ファジィ推論で学習後の不正出力値出現問題の理論的解決を試みる。

さらに再構築したモデルの検証実験を行い、他の統計手法との比較検討も行った。比較する統計手法は、ダミー変数付重回帰モデルを取り上げ、両者とも残差自乗和を求めることによって、この予測モデルの妥当性を示した。

### 5.1 実験方法

#### 5.1.1 被験者

健康な成人男性 10 人、女性 10 人（計 20 人）

#### 5.1.2 体型分類

実験 1 に従う。

#### 5.1.3 実験機材

- ・ 記録用デジタルカメラ
- ・ アンケート用紙（改訂版座感チェックシート）
- ・ 実験用椅子（図 5.1）

- ・ 足置き台
- ・ マルチン式人体計測器

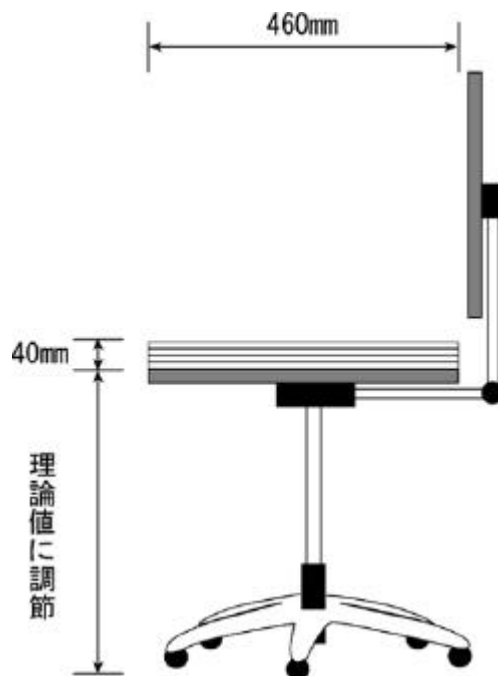


図 5.1 実験用椅子

#### 5.1.4 実験手順

被験者の下腿高に合わせて、座面調整が可能な実験用椅子（図 5.1）を用意した。被験者の下腿高は、通常 of 衣服を着用したまま、実験用椅子に着座し、膝を曲げた角度が 90 度になるよう、座面を調整した。その後、マルチン式人体計測器で、下腿高にあたる、床から膝裏までの長さを測定した。

試料として同素材のクッション材 4 枚を実験用椅子の座面に重ねて置き、その上に上張りを統一させるために布を被せた。この状態で床から座面の高さを被験者の下腿高に調節し、被験者に着座させた。着座後、改訂版座感チェックシートに回答してもらった。また被験者の体型を表す特性値として、身長、座高、体重を測定した。図 5.2 に実験風景を示す。



図 5.2 実験風景

### 5.1.5 実験条件

試料として、座面用クッション材（サイズ 46cm×48cm，厚さ 1cm，ウレタンフォーム素材）を 1 素材につき 4 枚，13 素材を準備した．図 5.3 に，用いたクッション材のうちの 12 素材のヒステリシス曲線を示し，表 5.1 に各クッション材の物性を示す．実験条件は 13 種のクッション材と，座面に何も載せない状態で着座する全 14 条件とした．

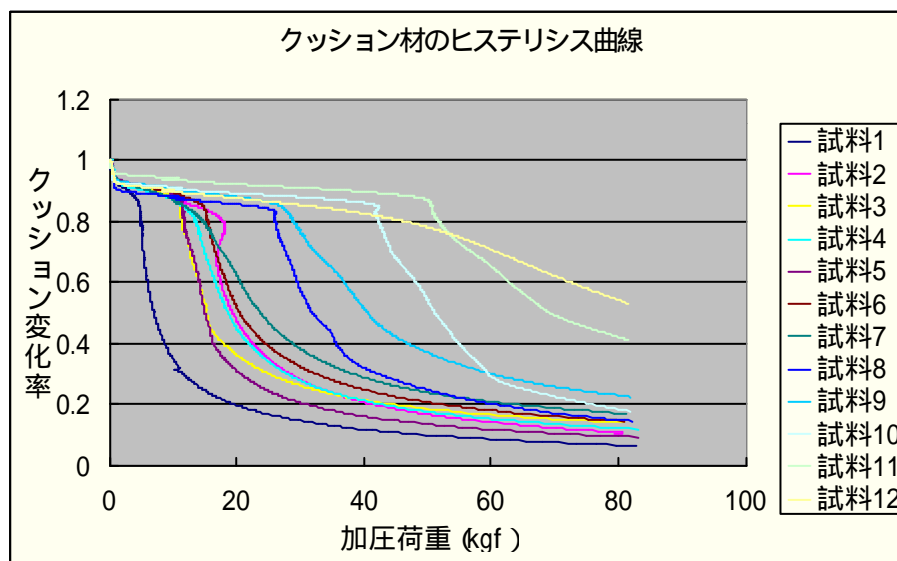


図 5.3 実験 2 におけるクッション材（12 試料）のヒステリシス曲線



表 5.1 実験 2 におけるクッション材の物性

試料番号	見かけ密度 (kg/ )	硬度 (N/314 )
1	24	135
2	50	600
3	45	150
4	25	200
5	30	230
6	40	300
7	50	400
8	35	130
9	34	170
10	55	45
11	75	90
12	50	120

## 5.2 実験結果

本節では，実験 1 と同様にクッション材のヒステリシス曲線から曲線推定を行い，その回帰方程式にあたる指数関数方程式を求めた．そして被験者の属性と，曲線方程式を用いて選択した適合クッション材の特性値を求めた．

### 5.2.1 クッション材物理特性値の曲線方程式

実験1と同様に求められた図5.3のヒステリシス曲線の方程式は，

試料 1 の指数関数方程式  $Y=\exp(-0.108-0.049 \times X)$

試料 2 の指数関数方程式  $Y=\exp(0.12-0.034 \times X)$

試料 3 の指数関数方程式  $Y=\exp(0.042-0.035 \times X)$

試料 4 の指数関数方程式  $Y=\exp(0.078-0.035 \times X)$

試料 5 の指数関数方程式  $Y=\exp(0.097-0.042 \times X)$

試料 6 の指数関数方程式  $Y=\exp(0.1-0.031 \times X)$

試料 7 の指数関数方程式  $Y=\exp(0.067-0.028 \times X)$

試料 8 の指数関数方程式  $Y=\exp(0.106-0.023 \times X)$

試料 9 の指数関数方程式  $Y=\exp(0.118-0.018 \times X)$

試料 10 の指数関数方程式  $Y=\exp(0.004-0.008 \times X)$

試料 11 の指数関数方程式  $Y=\exp(0.059-0.007 \times X)$

試料 12 の指数関数方程式  $Y=\exp(-0.024-0.005 \times X)$

であった。

### 5.2.2 実験 2 の結果

実験 2 における被験者の属性と選択した適合クッション材の特性値，つまりクッション厚さの変化率は表 5.2 に示す。

表 5.2 実験 2 における男性被験者と女性被験者の属性と選択した適合クッション特性値

男性 (M)				女性 (F)			
	平均身長	平均体重	平均変化率		平均身長	平均体重	平均変化率
SS	165.2	53.2	0.388	SS	154.6	45.2	0.318
SM	166.0	58.0	0.242	SM			
SL				SL			
MS	170.6	61.5	0.185	MS	158.2	43.0	0.344
MM				MM	159.1	50.3	0.282
ML				ML			
LS				LS			
LM	177.4	62.8	0.195	LM	166.7	53.4	0.241
LL				LL			

(空欄は該当者なし)

表 5.2 からわかることは，女性も男性もオフィスチェアのクッション材は，柔らかめのものを適合クッションとして選択している。

### 5.3 解析方法・結果

まず，実験 1 では行われなかったファジィクラスタリング手法を用いてファジィルール数，メンバシップ関数の数を設定した。そして，ファジィ推論モデルは，クラスタリングあり，なしの場合分けを行ってモデルを構築した。また男性，女性別にモデルを作成したが，本節では，女性の場合についてファジィ推論結果と説明を記述し，男性については結果のみを記述する。

### 5.3.1 ファジィメンバシップ関数の数の決定

実験 1 においては，メンバシップ関数の数を自分で決め，ツール ANFIS を用いて，関数のパラメータ訓練を行った．実験 2 においては，このメンバシップ関数の数とルール数の決定にファジィクラスタリング手法を用いた．この手法は，ファジィルールがわからないときのファジィ集合の決定に，またファジィ集合がわからないときのファジィルールの決定に使うことができる．

まず，実験 2 で用いた解析ソフト Matlab Ver.6.5 の Fuzzy Logic Toolbox のコマンド `genfis2` は，入力と出力データの別々の集合を与えると，ファジィ抽出クラスタリング関数により，初期段階のファジィ推論システムを作成する．1 つの出力のみが存在するとき，最初にデータに抽出クラスタリングを実現することにより，適応ニューロ・ファジィシステム 訓練用の初期ファジィシステムを作成するために使われる．ルール抽出法では，まず，コマンド `SUBCLUST` を使って，ルールと前件部のメンバシップ関数の数を決め，つぎに最小自乗法を用いて，各ルールの後件部の方程式を決定する．この関数は，全体空間をカバーするファジィルールを含む FIS (ファジィ推論システム) 構造体を出力する．

また関数は，抽出クラスタリング法を使ってデータ集合のクラスタ中心を推定する．抽出クラスタリング法は，各データ点がポテンシャル中心であり，周りのデータ点の密度をベースに，各データ点を中心を定義する尤度の尺度を計算することを仮定している．アルゴリズムは，

- ・ポテンシャルの最も高いデータを最初のクラスタ中心とする．
- ・つぎのデータクラスタとその中心の位置を求めるために，最初のクラスタ中心の近傍のすべてのデータ点を取り除く．
- ・この作業を，すべてのデータがクラスタ中心の半径（各入出力次元のクラスタ中心に影響を与えるレンジを指定し，データがハイパーボックス(レンジ[0 1])までに収まると仮定する)に入るまで繰り返す．

抽出クラスタリング法は，Yager R. (1994) [63]により提唱された mountain clustering 法の拡張したものである．

このファジィクラスタリング手法を用いた結果を図 5.4 , 図 5.5 に示す .

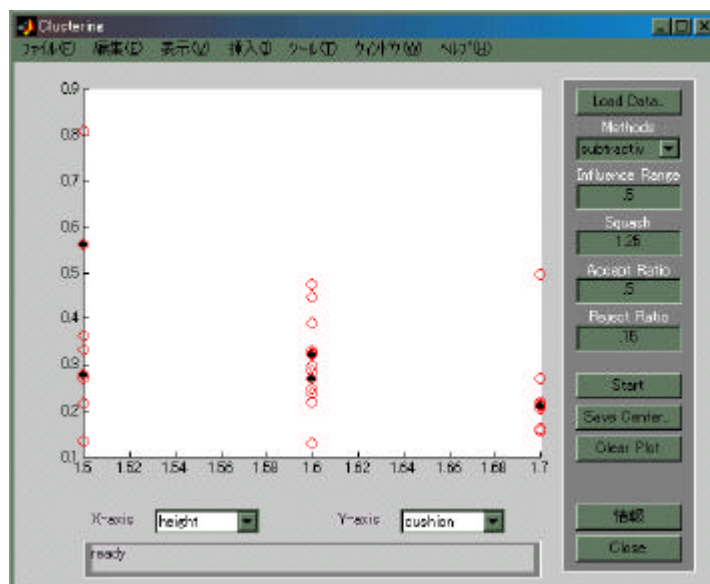


図 5.4 身長とクッション厚さ変化率とのファジィクラスタリング結果 ( MatlabVer.6.5 )

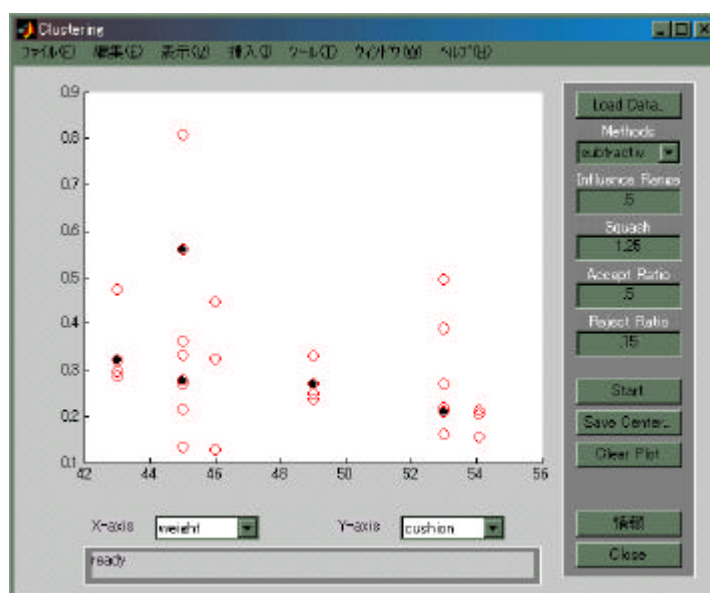


図 5.5 体重とクッション厚さ変化率とのファジィクラスタリング結果 ( MatlabVer.6.5 )

上記出力結果は，ファジィクラスタリング手法を入出力データに用いた結果であるが，生成されたクラスタで，クラスタの中心が身長では，2箇所重なっており，体重では一箇所重なっている．それら中心の値に対し，出力データ

のクッション厚さの変化率が異なった値をとっているので、ルール数を学習しても、その結果は良いとはいえない。何故なら、ファジィルールを前件部全てにおいて and ルールを適用しているので、ひとつの入力に対し出力はひとつになるからである。下記は、Matlab によるファジィクラスタリングの出力結果である。

---

[C S]=subclust( ( 実験 2 データ 3 列 ) , 0.5)

C =	身長	体重	クッション厚さ変化率
	1.5000	45.0000	0.2790
	1.7000	53.0000	0.2115
	1.6000	49.0000	0.2691
	1.6000	43.0000	0.3207
	1.5000	45.0000	0.5607
S =	0.0354	1.9622	0.1202

---

関数は、行列Cにクラスタの中心を出力する。Cの各行は、クラスタ中心の位置である。出力されたSベクトルは、データ次元の各々のクラスタの中心の影響範囲を設定する。すべてのクラスタ中心は、シグマ値（バラツキの指標）の同じ集合に分割される。

### 5.3.2 ファジィ推論モデルの再構築

本節では、女性の場合の体型別クッション厚さの変化率予測モデルを提案する。

まずファジィクラスタリング手法を用いたファジィ推論結果を図 5.6，図 5.7 に示す。

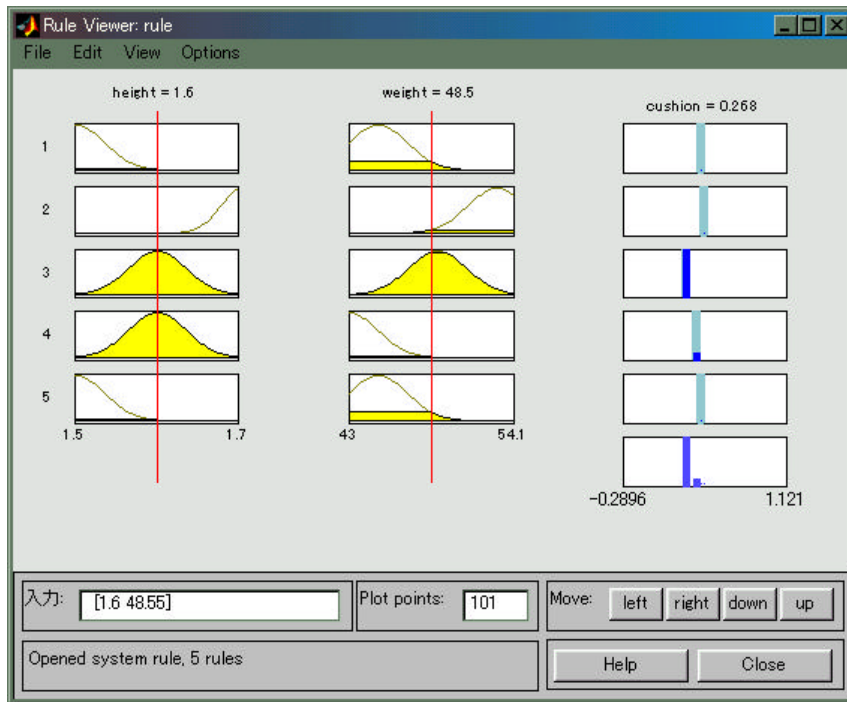


図 5.6 適合クッション厚さの変化率出力画面（クラスタリングあり）（MatlabVer.6.5）

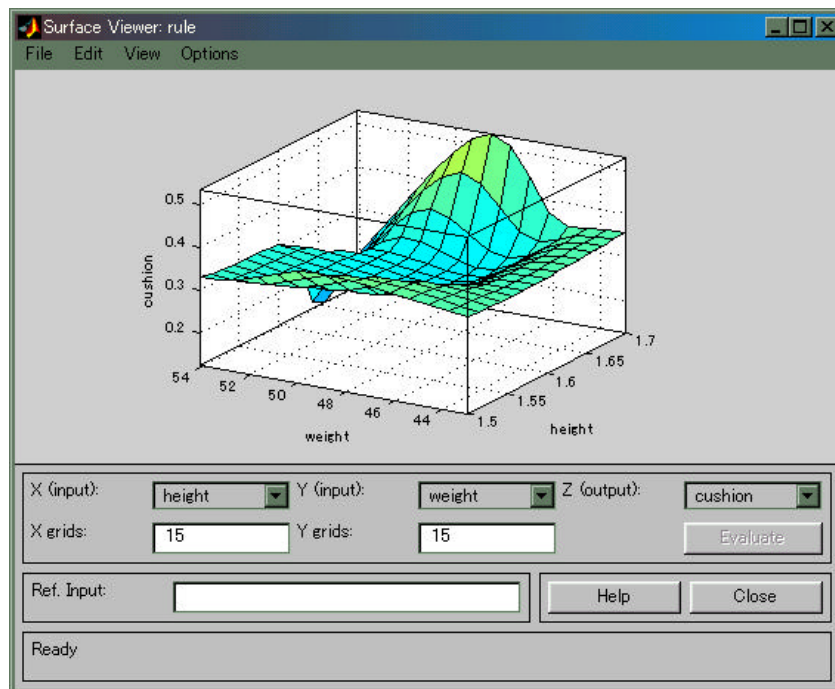


図 5.7 適合クッション厚さの変化率推定の三次元表示（クラスタリングあり）  
（MatlabVer.6.5）

図 5.6 からわかるように，ファジィ推論ルールをファジィクラスタリングにより生成したところ，ルール数は 5 となった．この画面でも出力値の範囲に負

の値がみられた。システムが作動するため一見問題はないかのようであるが、ルールによって出力される値が 0 に近い値をとっている（クッション材が座面に完全に沈むことを意味する）ことと前件部のメンバシップ関数の数が身長、体重とも 5 ずつある。特に後者は、各メンバシップ関数の形状がまったく同じで、重なっているため画面上には 3 つしか見えていない。これは図 5.4, 図 5.5 より明らかである。生成されたルールの FIS 構造体を図 5.8 に示す。当然ではあるが、ルール数は 5 ルールになっている。

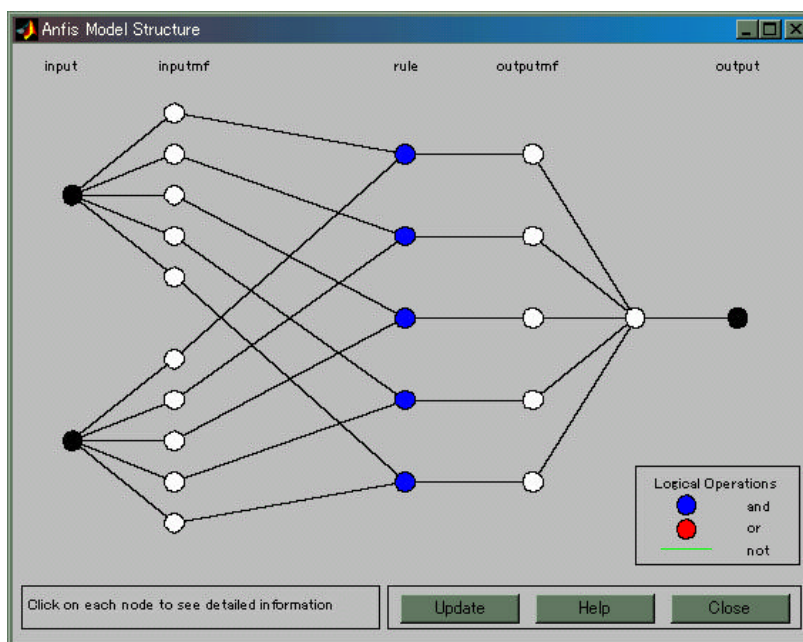


図5.8 推論過程における構造体（クラスタリングあり）（Matlab Ver.6.5）

一方、ファジィクラスタリングを用いないファジィ推論を行ってみた。

出力結果を図5.9, 図5.10に示す。この手法で、実験1の推論を改変したところは、メンバシップ関数の数を被験者の属性の範囲により、人手により変え、出力結果でパラメータの範囲が不正な値も変更した。変更の手順は、実験で用いたクッション材のヒステリシス曲線の範囲から、クッション厚さの変化率の最小値あるいは最大値を用いて行った。つまり、負の出力値の場合は最小値、1以上の値の場合は最大値を適用した。その結果が図5.9, 図5.10の出力画面である。二つの手法で明確に出力の差がわかるのは、出力画面の三次元表示である図5.7, 図5.10である。図5.7においては、身長が高く、体重がやや中くらいの

ヒトは硬めのクッションを選択しているが、図5.10においては身長が高く、体重のかなり軽めのヒトが硬いクッションを選択するようにシステムが構築された。

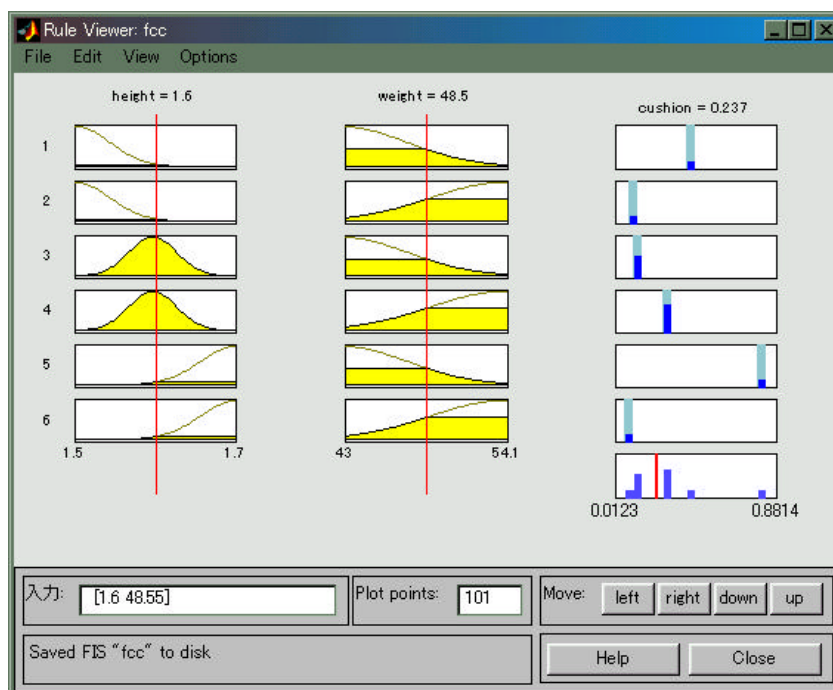


図5.9 適合クッション厚さの変化率出力画面（クラスタリングなし）（Mat labVer .6.5）

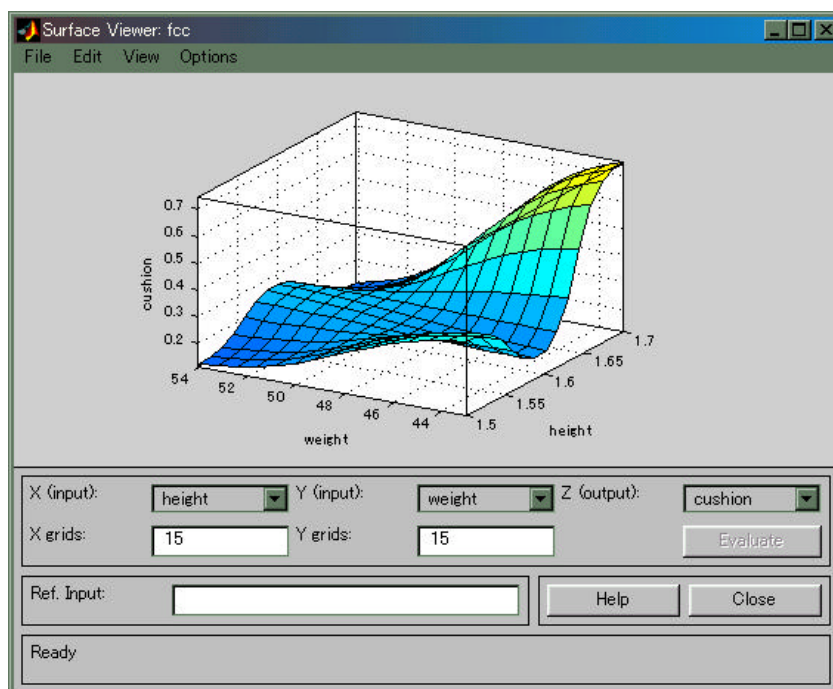


図 5.10 適合クッション厚さの変化率推定の三次元表示（クラスタリングなし）



(MatlabVer.6.5)

以上は女性の場合の予測モデルである．次に男性の場合の予測モデルを図5.11，図5.12に示す．なお，男性の場合も，ファジィクラスタリング手法を用いるとルール数が5ルールで，女性の場合と同様に，身長のカスタ中心が同じでクッション厚さの変化率が異なるので，メンバシップ関数が重なっており，出力値も不正な値となった．そこで，ファジィ推論はクラスタリングなしの推論手法を用いた．

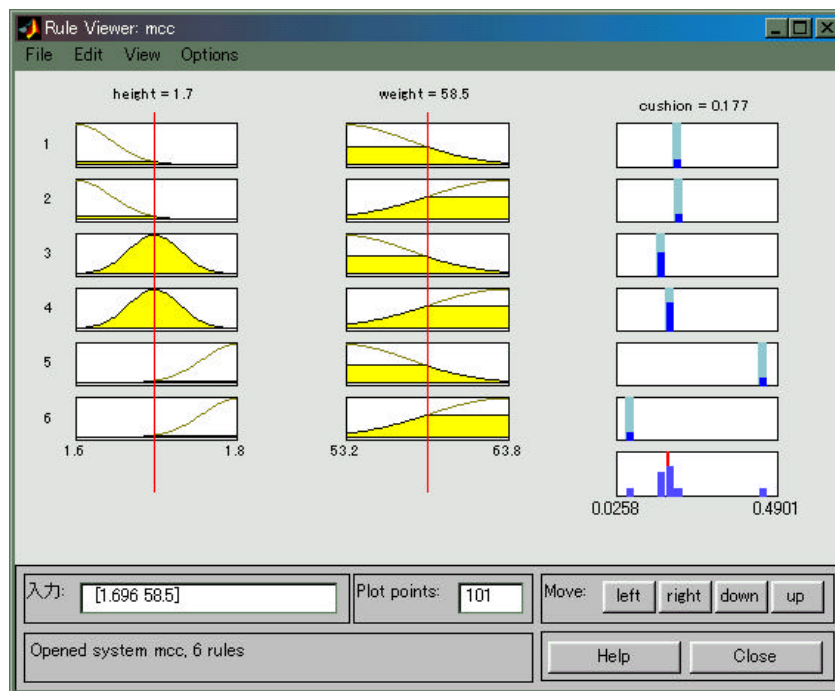


図5.11 適合クッション厚さの変化率出力画面（クラスタリングなし）（MatlabVer.6.5）

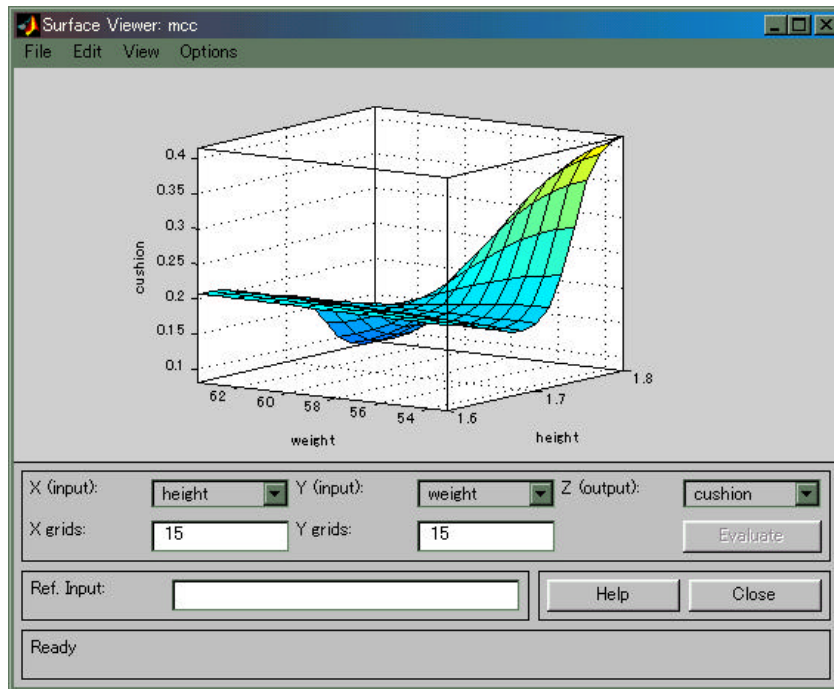


図 5.12 適合クッション厚さの変化率推定の三次元表示（クラスタリングなし）

（MatlabVer.6.5）

## 5.4 考察

本節では、実験 1 と実験 2 で問題となった後件部の実数値が負の値、もしくは 1 以上の値をとるといふ不正出力値については、第 4 章で出力理由を考察したが、さらに最適モデルのためのルール設定について考察した。そして、実験 2 で構築した予測モデル自体の妥当性について検討する。

### 5.4.1 ファジィ推論不正出力値

ファジィ推論の出力の算出法と不正出力値については、すでに第 4 章の 4.4.1 ニューロ・ファジィと結果考察の節で説明した。本実験でも実験 1 と同様に不正出力値となったが、実際の出力データの範囲から、最大値と最小値を用いてルールの設定を行った。モデル自体、妥当性などの点から有用性が得られたが、ここで、新たにもう一つのモデル最適化のために、人手によりルール数を操作することも一案であると考えた。実際、ルール数を変えることにより、不正出力値の出現は解消された。本実験においては、5.3.2 節の方法に従う。両方法の

比較は今後の課題とする。

#### 5.4.2 構築した予測モデル自体の妥当性

構築した予測モデルの妥当性を見る方法として、モデル自体の検証を行う。本研究におけるモデルの検証とは、メンバシップ関数パラメータを訓練するために、訓練データがモデルとしてもつデータの特徴を十分に反映しているならば、うまく機能する。しかし、必ずしもそういった場合だけではない。ときには、データがノイズの多い測定を使って収集され、訓練用のデータが、モデルを表現しているデータの全体の特徴を表していないことがある。このためモデルの検証が行われた。図5.14、図5.15に実験1、実験2のチェックングデータ入力後の予測結果を示す。

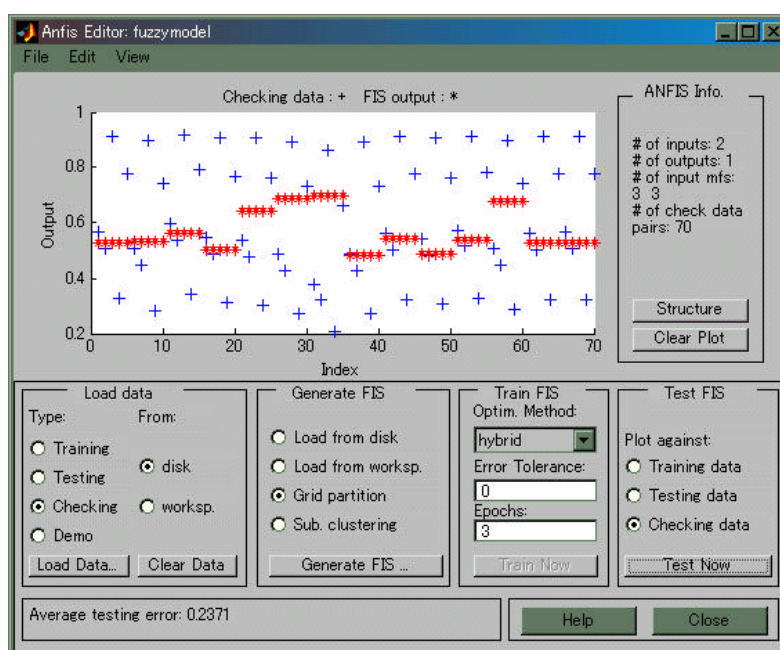


図5.14 実験1におけるモデルの検証 ( MatlabVer.6.1 )

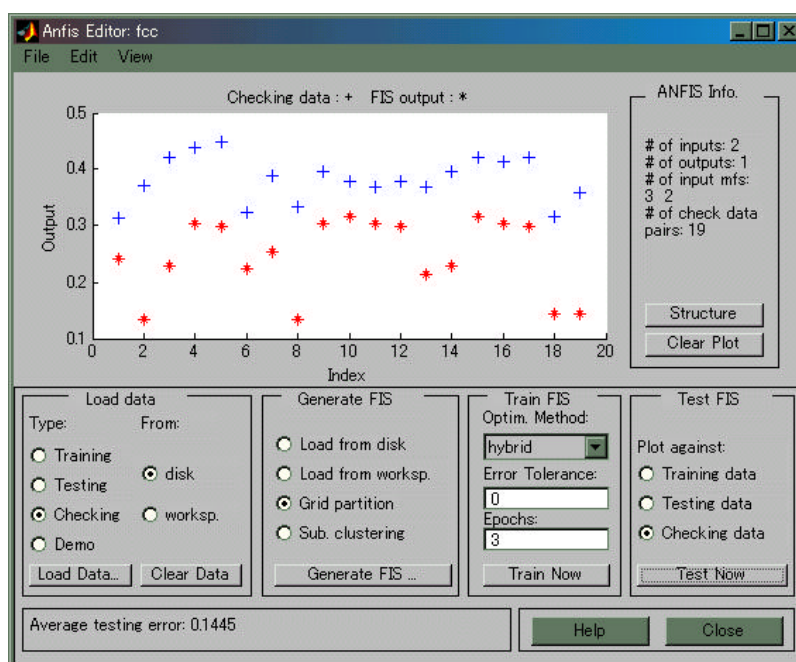


図 5.15 実験 2 におけるモデルの検証 ( MatlabVer.6.5 )

上記，実験 1，2 から構築したモデルの検証は，明らかなものとなった．各図左下方にあるテストエラー値を比較すると，実験 2 の方がかなり良好な結果である．図中にあるグラフの縦軸レンジが異なっていることとデータ数が異なるため，この目盛りレンジを一致させれば，さらに差は顕著になると考えられる．

#### 5.4.3 クッション性についての検討

クッション材の物理特性値についてはクッション材が通常の線形材料であるならば，硬さはほとんどバネ定数と同じと考えても問題はないが，本研究で使ったウレタン素材のような非線形性の強い材料の場合で，一般に硬さが低く柔らかい材料のバネ定数は小さいと考えられる．しかし負荷が大きくなっていくと柔らかい材料ほどウレタンが潰れきってしまい，逆に硬い材料よりバネ定数が大きくなってしまふ．江部 (2001) [64]によると座り心地と相関があるとされる ,50kgf 負荷時のバネ定数は ,硬さの高いウレタンほど小さくなっている．それに対する人間の感性は，そのウレタンの圧縮レベルでは，バネ定数が小さ

いため軟らかく感じると思われ、快適感が高く評価されるという。本研究で用いたウレタン素材のバネ定数は、線形材料と同じく硬さがバネ定数に反映している範囲（35kgf～55kgf）なので、硬いクッション材は硬く、柔らかいクッション材は柔らかいと判断していると考えられる。実際、実験で使用したクッション材の物性と座感チェックシートによる硬さに関する評価項目（ハード感、ソフト感）の結果は相関があった。

## 5.5 検証実験

実験2の検証実験として、硬さの違うウレタン素材を組み合わせた4試料を被験者20人に評価してもらった。なお体型分類は実験1に従う。

### 5.5.1 被験者

健康な成人男性10人、女性20人（計20人）

### 5.5.2 実験機材

- ・記録用デジタルカメラ
- ・アンケート用紙（改訂版座感チェックシート）
- ・実験用椅子
- ・足置き台
- ・マルチン式人体計測器

### 5.5.3 実験手順

実験1と同様に、被験者の下腿高に座面調整が可能な実験用椅子を用意した。被験者の下腿高は、通常の上着を着用したまま、実験用椅子に着座し、膝を曲げた角度が90度になるよう座面を調整した。被験者の属性を表すために身長、体重を測定した。

クッション材は、実験1で総合評価が3.0以上であった素材を抽出した。（乗松 2002）[65]各素材は軟質ウレタン、中硬質ウレタン、軟質ウレタンで組み

合わせて実験を行った。

#### 5.5.4 実験条件

試料となるクッション材の組み合わせを表 5.3 に示す。試料番号は実験 2 で用いたクッション材に従う。

表 5.3 各クッション材の組み合わせ試料

試料番号	クッション材の組み合わせ
A	試料 1 (2cm) 試料 9 (4cm)
B	試料 1 (3cm) 試料 9 (3cm)
C	試料 1 (4cm) 試料 9 (2cm)
D	試料 1 (2cm) 試料 8 (2cm) 試料 9 (2cm)

図 5.16 に用いたクッション材のヒステリシス曲線を示す。実験条件は表 5.3 のとおり、3 種類のクッション材を組み合わせた 4 条件である。

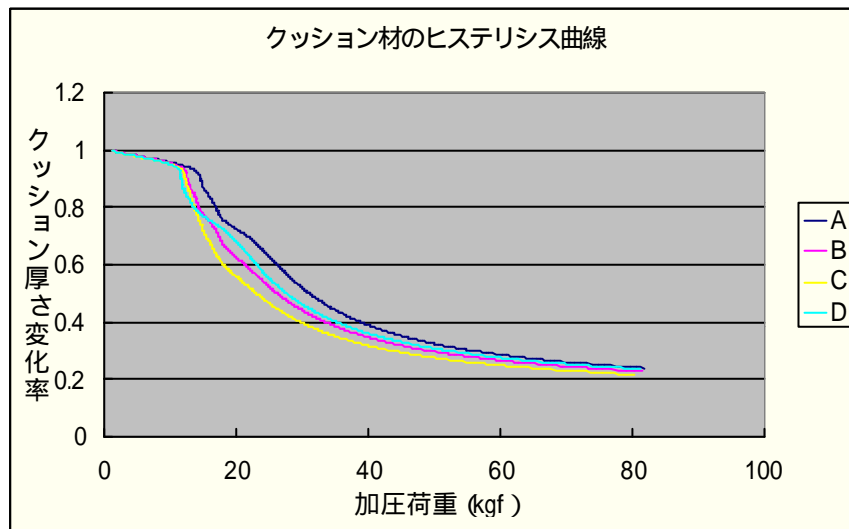


図 5.16 実験 2 検証におけるクッション材のヒステリシス曲線

#### 5.5.5 実験 2 の検証結果・考察

実験 2 で構築した予測モデルの妥当性を見るために、本節では検証実験の結果（実測値）と予測モデルの結果（予測値）との相関係数を求めることにより

モデルの妥当性を得ることとした。表 5.4 に男性女性別に予測値と実測値の相関係数を示す。

表 5.4 モデルによる予測値と実測値の相関係数（男女別）

	相関係数
男性	0.704
女性	0.913

表 5.4 から明らかなように、構築したモデルで予測した値、つまりクッション厚さの変化率は、被験者が選択した適合クッション厚さの変化率に男性、女性ともに相関が高い結果となった。予測モデルの妥当性は裏付けられたといえる。このように良好な結果が得られたのは、実験 2 におけるモデル構築のために使用されたクッション材（13 試料）が、実験 1（3 試料）に比較して多数であったことと、男性、女性別にシステムを構築したためと考えられる。モデルは男性、女性のデータを一緒にして構築した結果より男女別に構築した方が、テストエラー比較においても良好であった。これは、性別という要因がモデル構築に影響しているためと考えられる。この男女差という要因に対する知見は、実験 2 によって得られた。

#### 5.5.6 ファジィ推論と他の統計手法との比較

本研究では、非線形性のモデル構築に適したファジィ推論に着目して、モデルを構築してきた。ここでは、そのモデルを他の統計手法を用いたモデルと比較することにした。そのために、独立変数に身長、体重、2 種類のダミー変数（男女差、クッション材の総合評価の良否）、従属変数にクッション厚さ変化率とする重回帰モデルを考案し比較を行った（田村 1995）[66]。ここで、クッション材の良否とは、総合評価が「ややよい」、「よい」であるものを良とし、その他を否とした。

ダミー変数付き重回帰モデルとファジィ推論を比較する前にダミー変数つき重回帰モデル（数量化理論）について簡単に記述する。

例えば，1人あたりの国民所得を説明させるのに，宗教という名義データを用いるとする．宗教というアイテムには，キリスト教，イスラム教，仏教の三つの分類があったとする．そのとき数量化理論では，このうち二つについて，1-0変数を定義する．

$$y_i (\text{国の1人あたり国民所得}) = a + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} \quad (5.1)$$

$$x_{1i} = \begin{cases} 1 & \text{国}i\text{がキリスト教である} \\ 0 & \text{国}i\text{がキリスト教でない} \end{cases}$$

$$x_{2i} = \begin{cases} 1 & \text{国}i\text{がイスラム教である} \\ 0 & \text{国}i\text{がイスラム教でない} \end{cases}$$

以上のように例題は示されるが，一般の数量化理論類では，数値データと組み合わせても問題はない．本研究で用いた線形モデルは，あえてダミー変数付き重回帰モデルと呼ぶ．

$$\text{一般的なモデルは， } y_i = a + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + b_3 x_{3i} \dots + e_i \text{ と示される．} \quad (5.2)$$

(統計数理研究所 2003 年度公開講座資料抜粋)

実験2の結果を用いて重回帰モデルを構築した．得られた重回帰式は，式(5.3)に示す．

$$y = -0.007 x_1 + 0.002 x_2 - 0.014 x_3 - 0.249 x_4 + 1.568 \quad (5.3)$$

( $y$ ：クッション厚変化率， $x_1$ ：身長， $x_2$ ：体重， $x_3$ ：男女差， $x_4$ ：クッション材の良否)

構築したファジィ推論モデルとダミー変数付き重回帰モデルの結果を男女別に残差自乗和の計算をすることで，比較を行った．両解析手法による残差自乗和の結果を表5.5に示す．

表5.5 両解析手法による残差自乗和の比較



	ファジィ推論モデル	重回帰モデル
男性	0.415	0.186
女性	0.301	0.145

表 5.5 では、ファジィ推論モデルよりも、重回帰モデルの方が残差自乗和の値が低く、モデルとしては良好な結果となった。では、重回帰モデルを評価してみる。下記に示すものは、この重回帰モデルの評価出力結果である。用いた統計ソフトは、SPSS Ver.10.0J である。

#### モデル集計

モデル	R	R2 乗	調整済み R2 乗	推定値の標準誤差	変化				
					R2 乗変化量	F 変化量	自由度1	自由度2	有意確率 F 変化量
1	.523 <sup>a</sup>	.273	.255	.2167	.273	15.326	4	163	.000

a. 予測値: (定数)、良い悪い、身長、性別 (男女)、体重。

#### 分散分析<sup>b</sup>

モデル		平方和	自由度	平均平方	F 値	有意確率
1	回帰	2.878	4	.719	15.326	.000 <sup>a</sup>
	残差	7.651	163	4.694E-02		
	全体	10.529	167			

a. 予測値: (定数)、良い悪い、身長、性別 (男女)、体重。

b. 従属変数: クッション硬さ

#### 係数<sup>a</sup>

モデル		非標準化係数		標準化係数	t	有意確率	共線性の統計量	
		B	標準誤差	ベータ			許容度	VIF
1	(定数)	1.568	.707		2.219	.028		
	身長	6.979E-03	.006	-.194	-1.230	.221	.179	5.595
	体重	1.764E-03	.006	.050	.275	.783	.137	7.274
	性別 (男女)	1.395E-02	.060	-.028	-.231	.817	.308	3.244
	良い悪い	-.249	.034	-.494	-7.274	.000	.968	1.033

a. 従属変数: クッション硬さ

上記の出力で、重相関係数 R は 0.523 でモデルのあてはまりはよく、分散分析の F 値も有意であるので求めた重回帰式は予測に役立つといえる。t 値を見ると、やはりクッション材評価の良否によって、適合クッション硬さに差異があるとみなされる。

本研究において選択したダミー変数は、たまたま重回帰式に当てはまりが良かったが、さらに決定係数を上げるようなカテゴリーの慎重な選択が望まれると考える。

## 5.6 結論

本章で得た結果は、以下のようである。

- (1) ファジィルール数、メンバシップ関数の数を設定するために、ANFIS(適応ニューロ・ファジィシステム)を用いる前に入出力データをファジィクラスタリング手法で解析したが、構築した予測モデルはクラスタリングしないモデルの方が、やや良好な結果であった。
- (2) ニューロ・ファジィシステムにより出力した実数値が不適正になるのは、推論誤差を少なくするためにニューラルネットワークにより出力が学習されるので、入出力関係の近似によりルール生成後の出力値が入力データとは異なる範囲に位置する可能性がある。よって不正出力値の解決方法として、実際の入出力データの範囲における最大値か最小値をルール後件部の値に適用した。
- (3) 本実験で構築した予測モデルの妥当性が得られた。今後新しいデータはチェックデータとして投入して、モデルを訓練することにより、さらにモデル自体の妥当性、再現性を高めることができると考えられる。
- (4) 構築したファジィ予測モデルと他の統計手法との検討を行った。統計手法にはダミー変数付重回帰モデルを用いた。結果は両手法とも良好であったが、重回帰モデルはファジィ推論モデルと比べて、簡易的ではあるが変数選択が難しいと考えられる。よって両モデルは用途に応じて使い分ける必要がある。(三家 2003) [67]

## 第6章 ニューロ・ファジィシステムを用いた応用研究

本章では、椅子の座り心地予測モデル構築に適用したニューロ・ファジィシステムを用いて、他の座り心地に関する評価に応用することを考えた。この予測モデルには、体型と主観評価結果が反映された物理量が必要である。そこで、過去2年間にわたって家具見本市で行われた、身体サイズ（体型）に合った椅子の必要性に関する調査 [68][69]結果を利用することにした。初年度の調査結果では、ダイニングチェアに体型にあったサイズの椅子を設けることの有用性が示唆され、次年度も同様の結果をアンケート調査により得ることができた。本研究の解析手法に必要なデータは初年度見本市来訪者男女 579 名によるアンケート調査結果と、次年度見本市来場者男女 142 名の同アンケート項目のデータ結果をシステムの妥当性検証のために用いた。さらに実験計画の段階ではあるが、ニューラルネットワークとファジィ推論の融合化研究のひとつとして、椅子の座り心地に関する官能評価モデルを提案する。

### 6.1 身体寸法（体型）の違いによる適正座面高推定の実験

アンケート調査から本論文の解析手法に必要な項目を抜粋した。

- ・ 自分にぴったりする椅子の番号（XS～Lサイズまで全11脚）
- ・ 身長
- ・ 体重

表 6.1 に使用した椅子の座面高を示す。図 6.1 に見本市で使用した椅子 11 脚を示す。また、アンケートに答えてくれたヒトの属性と選択した適正座面高を第 4 章 4.1.2 で定義した体型分類に従い、表 6.2、表 6.3 で属性（平均身長、平均体重）と回答者の選択した適正座面高の平均を示す。

表 6.1 各社の出展椅子のサイズ別座面高 (mm)

	L	M	S	XS
A 社	445	420	395	370
B 社	465	440	415	390
C 社	457	435	410	












	XS	S	M	L
A 社				
B 社				
C 社				

図 6.1 サイズ別出展椅子 11 脚

表 6.2 初年度来訪者の属性と選択適正座面高の関係

男性 (M)				女性 (F)			
	平均身長	平均体重	座面高		平均身長	平均体重	座面高
SS	163.3	52.2	42.7	SS	151.6	43.8	41.1
SM	163.7	61.4	43.5	SM	153.0	51.1	41.4
SL	164.1	66.5	43.5	SL	151.2	63	40.8
MS	170.3	53.5	44.1	MS	158.7	44.8	42.8
MM	170.6	62.7	43.5	MM	159.0	51.7	42.4
ML	170.9	72.8	43.6	ML	159.1	60.8	42.8
LS	176.0	53.3	42.8	LS	163.2	46.2	43.4
LM	175.7	64.2	44.8	LM	164.0	52.2	43.8
LL	178.4	77.8	44.6	LL	166.6	62.2	44.2

表 6.3 次年度来訪者の属性と選択適正座面高の関係

男性 (M)				女性 (F)			
	平均身長	平均体重	座面高		平均身長	平均体重	座面高
SS	166.3	53.0	43.7	SS	151.2	43.1	41.6
SM	164.7	61.4	43.0	SM	153.2	50.8	41.5
SL	164.8	72.8	43.3	SL	150.0	70.0	39.5
MS	170.0	55.0	44.5	MS	158.8	46.2	44.5
MM	171.0	60.6	43.1	MM	159.0	51.7	43.1
ML	170.0	76.0	45.5	ML	159.0	59.0	43.2
LS				LS	162.3	46.5	42.9
LM	177.0	63.3	45.5	LM	164.0	53.6	43.2
LL	177.1	76.4	45.0	LL	161.0	58.0	41.0

(空欄は該当者なし)

## 6.2 身体寸法の違いによる適正座面高推定モデルの提案

アンケートの結果、得られた大量のデータの評価解析で、身体寸法からそのヒトに適合したダイニングチェアのサイズを予測することを考えた。主観的な評価を行ったモデルの解析手法ということで、ファジィ推論を用いた。

第 4,5 章で提案された予測モデルと同様にモデリングデータを作成し、身長・

体重という身体寸法を入力データにし、各回答者がアンケートで答えた自分に合ったと思う椅子のサイズ、つまり既知の座面高を出力データとしてファジイモデルを構築する。本節では、ニューロ・ファジリアルゴリズムにより学習されたファジイルールと出力する適性座面高の予測画面を示す。

表 6.4 学習されたファジイルール(女性の場合)

		height		
		short	middle	tall
weight	slim	401	419	465
	middle	370	421	453
	fat	465	376	465

(単位 mm)

表 6.4 から学習されたファジイルールは、アンケートの結果により、女性の場合、身長が高めのヒトは体重の違いにかかわらず、座面高の高いダイニングチェアを選択していることがわかる。しかし、身長が低めのヒトでも体重が太めの場合には、座面高の高いダイニングチェアを選択していることもわかる。このファジイルールで適正座面高が身体寸法別に出力される。

また、表 6.4 のファジイルールを下記に示す。(括弧内は椅子のサイズ)

ルール 1: 彼女の身長が少し低く、体重が少し軽ければ、適正座面高は 40.1cm (S)

ルール 2: 彼女の身長が少し低く、体重が中くらいならば、適正座面高は 37.0cm (XS)

ルール 3: 彼女の身長が少し低く、体重が少し重ければ、適正座面高は 46.5cm (L)

ルール 4: 彼女の身長が中くらいで、体重が少し軽ければ、適正座面高は 41.9cm (M)

ルール 5: 彼女の身長が中くらいで、体重が中くらいならば、適正座面高は 42.1cm (M)

ルール 6 : 彼女の身長が中くらいで , 体重が少し重ければ , 適正座面高は 37.6 cm (XS)

ルール 7 : 彼女の身長が少し高く , 体重が少し軽ければ , 適正座面高は 46.5 cm (L)

ルール 8 : 彼女の身長が少し高く , 体重が中くらいならば , 適正座面高は 45.3 cm (L)

ルール 9 : 彼女の身長が少し高く , 体重が少し重ければ , 適正座面高は 46.5 cm (L)

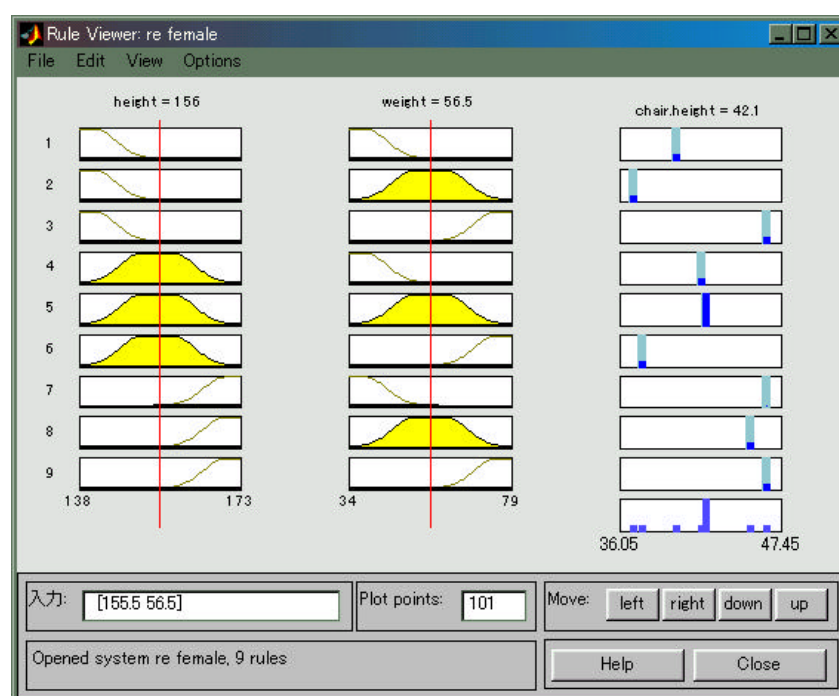


図 6.2 適正座面高出力画面 (女性の場合) (Matlab Ver.6.5)

図 6.2 の出力画面は左の二つが , 順に身長 , 体重のメンバーシップ関数を示している . 右端上部に , 入力データの身長 , 体重で選択者が自分に適正であるとする座面高が出力される . 上記画面の使用方法は , メンバーシップ関数にある縦棒を移動させることにより , 選択者の身長 , 体重のデータを入力して , 適正座面高の推定を行う .

また，下段の入力用セルに実際，各数値を代入して座面高の推定を行うことも可能である．例えば，Web 上で選択システムを作成するときには，入力データを数値データにせず，メンバーシップ関数を文字列表示にして，適正座面高の椅子を選択できると考えられる．

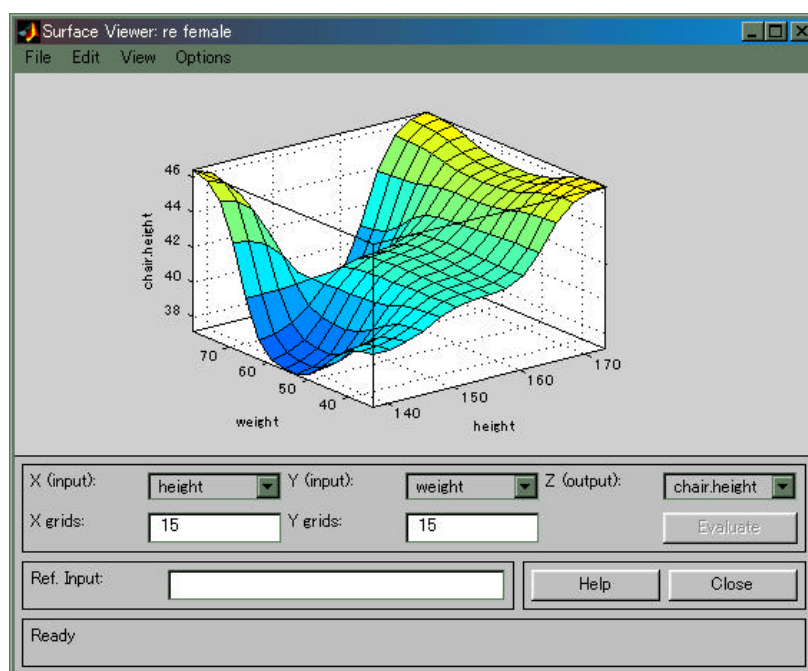


図 6.3 適正座面高の三次元表示 (女性の場合)(Matlab Ver.6.5)

図 6.3 は図 6.2 の出力画面を身長，体重，適正座面高の 3 パラメータで三次元表示をしている．X 軸，Y 軸は身長，体重で Z 軸が適正座面高に当たる．この三次元画面は回転可能で，様々な方向から各パラメータの関係を見ることができる．この 3 パラメータの関係は，ニューロ・ファジィのアルゴリズムにより学習されたファジィルールを反映している．当然のことであるが表 6.4 のファジィルールの通りに適正座面高が出力されている．

同様に男性の場合のファジィルールを表 6.5 に示し，適正座面高の出力画面を図 6.4 に，その三次元表示を図 6.5 に示す．



表 6.5 学習されたファジィルール(男性の場合)

	height			
		short	middle	tall
weight	slim	411	434	465
	middle	433	438	458
	fat	370	465	449

(単位 mm)

男性の場合，表 5 から学習されたファジィルールは，やはり女性の場合と同様に身長の高いヒトは，体重の違いによらずに座面高の高いダイニングチェアを選択することになる．しかし，女性の場合と違う点は，身長が低くても体重が少し太めのヒトは，座面高の低いチェアを選択している．

男性の場合の，学習されたファジィルールを下記に記述する．

ルール 1 彼の身長が少し低く，体重が少し軽ければ，適正座面高は 41.1cm (S)

ルール 2 : 彼の身長が少し低く，体重が中くらいならば，適正座面高は 43.3cm (M)

ルール 3 : 彼の身長が少し低く，体重が少し重ければ，適正座面高は 37cm (XS)

ルール 4 : 彼の身長が中くらいで，体重が少し軽ければ，適正座面高は 43.1 cm (M)

ルール 5 : 彼の身長が中くらいで，体重が中くらいならば，適正座面高は 43.8 cm (M)

ルール 6 : 彼の身長が中くらいで，体重が少し重ければ，適正座面高は 46.5 cm (L)

ルール 7 : 彼の身長が少し高く，体重が少し軽ければ，適正座面高は 46.5 cm (L)

ルール 8 : 彼の身長が少し高く，体重が中くらいならば，適正座面高は 45.8 cm (L)

ルール 9 : 彼の身長が少し高く，体重が少し重ければ，適正座面高は 44.9 cm (L)

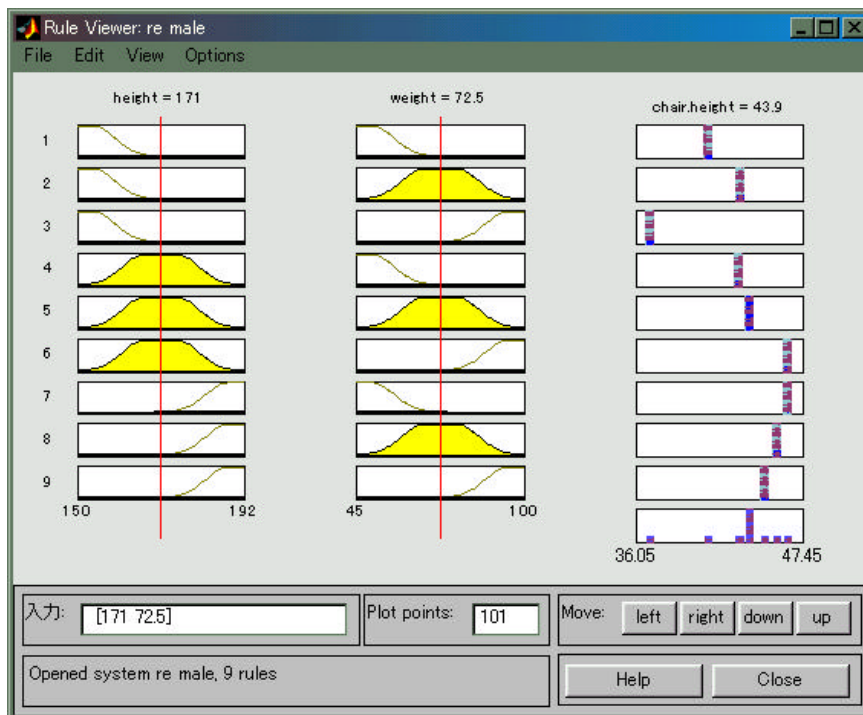


図 6.4 適正座面高出力画面 (男性の場合)(Matlab Ver.6.5)

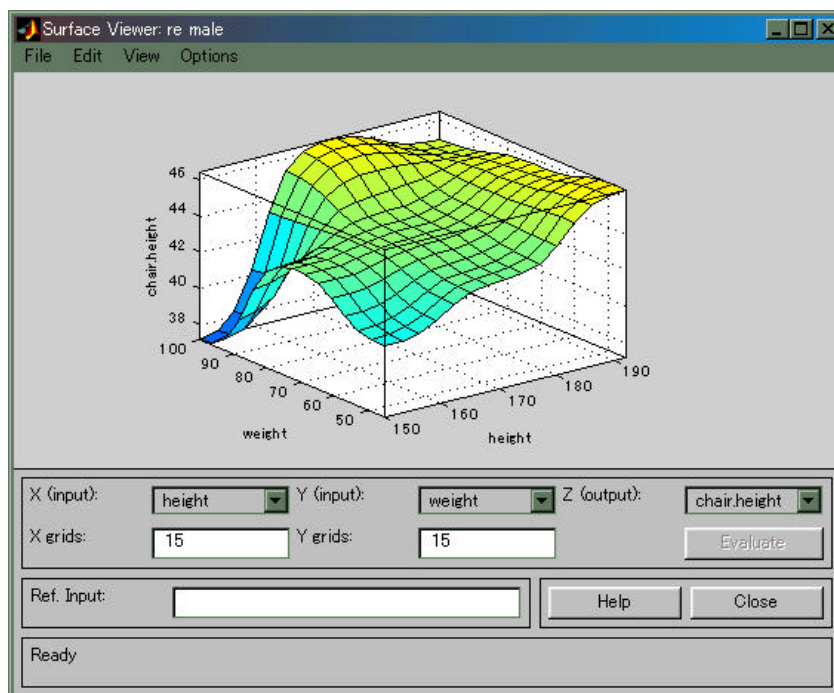


図 6.5 適正座面高の三次元表示 (男性の場合)(Matlab Ver.6.5)

図 6.5 から男性の場合は、全体的に座面高が高めのチェアを選択していることがわかる。しかし、表 5 のファジィルールより、身長が低く体重が少し太め

のヒトは座面高が低いチェアを選択する。

### 6.3 提案したファジィモデルの検証実験結果

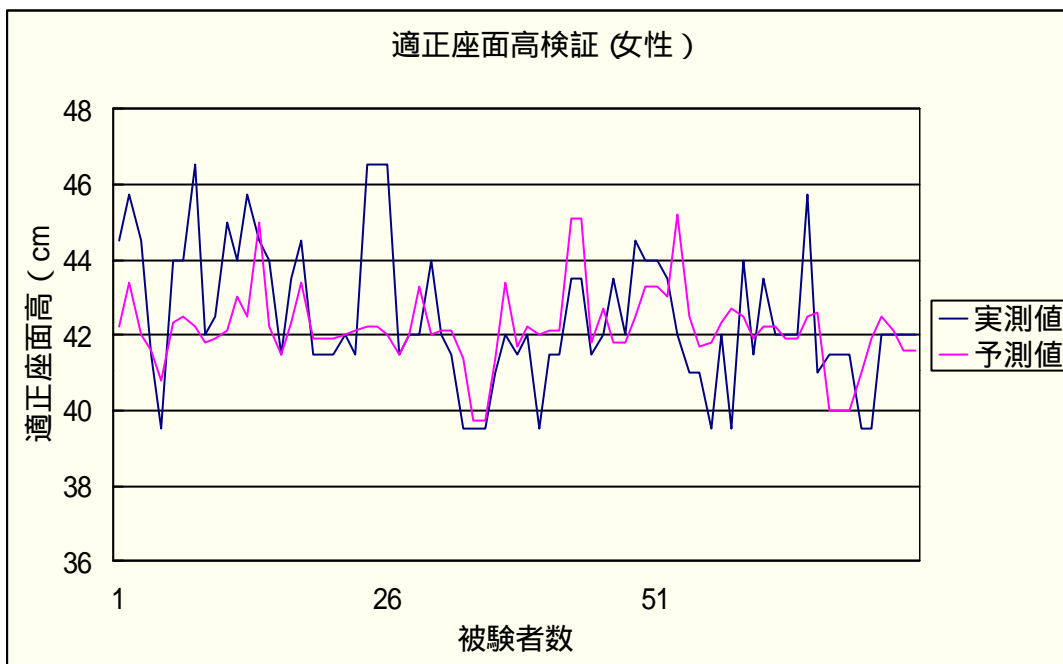


図 6.6 ファジィ推論による適正座面高予測値と実測値の関係 (女性の場合)

女性の場合は、予測値と実測値の相関係数は 0.428 であった。有効被験者数が 75 であり、図 6.6 は予測値と実測値の変動について、良い結果を示していた。

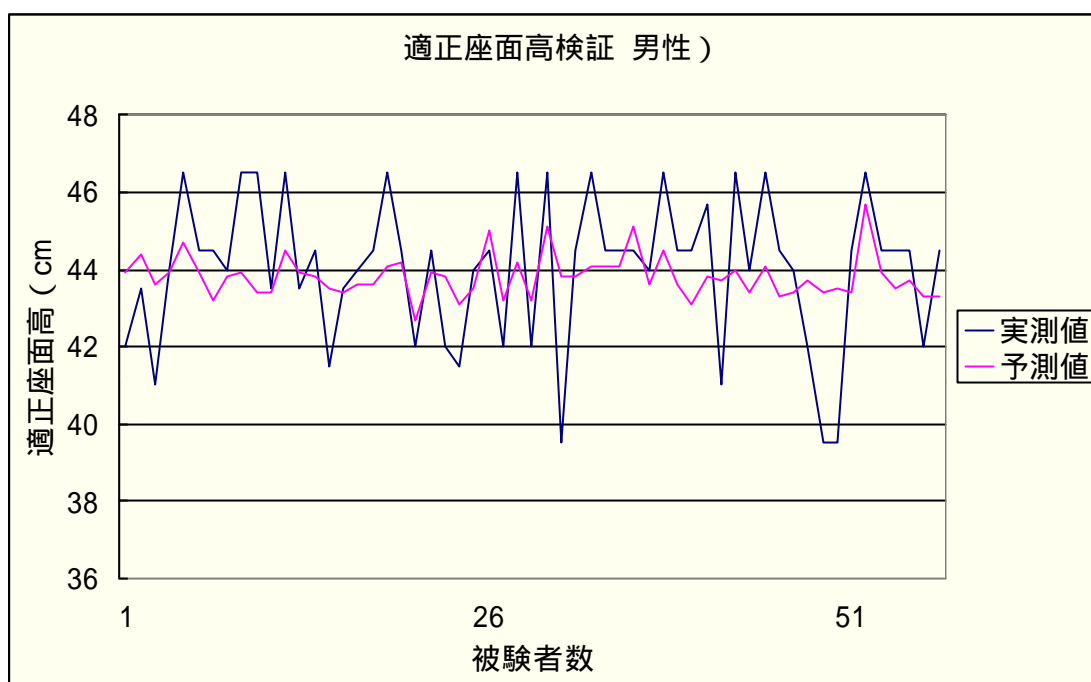


図 6.7 ファジィ推論による適正座面高予測値と実測値の関係（男性の場合）

男性の場合は，予測値と実測値の相関係数は 0.493，有効被験者数は 57 であった．図 6.7 から女性の場合と同様に，実測値と予測値の変動は良い結果を示していた．

以上の結果により，ヒトの心理量にあたるアンケートの結果をファジィ推論の入出力データとして用いた身体寸法の違いによる適正座面高推定モデルは，検証実験によりその妥当性が確認され，ニューロ・ファジィシステムを用いたファジィ推論の有用性が示された．

#### 6.4 官能評価モデルへの応用

本節では，実験自体は行われていないが，ニューロ・ファジィシステムを用いて椅子の座り心地に関する官能評価モデルへの応用を考える．ニューロ・ファジィシステムの官能評価モデルへの応用はすでに様々な分野でなされている（H. Takahashi et al. 1989）[70]．実際，座り心地の予測モデルを官能評価モデルを用いて評価した場合を検討する．

同じ椅子に座っていながら，椅子の角度，材質，張り，クッション材，形状

にあたる椅子特性やヒトの身体寸法，身体特性，作業内容，座位姿勢，そして作業環境などによって，「座りやすい」「快適だ」「座り心地が良い」と感じる場合がある．この「座りやすい」「快適だ」「座り心地が良い」というヒトの感想を官能評価と呼ぶ．例えば椅子の角度が同じ時，作業しているときは「使いやすい」が，休憩時間には「使いにくい」ということがある．この「使いやすさ」「使いにくさ」という官能評価を推定できるなら，その官能評価がよくなるように，角度調整を場面に応じて変化させればよい．そこで，ファジィとニューラルネットを用いて，ヒトに応じた各場面の椅子の角度条件などから，官能評価を予測するモデルを検討できる．

官能評価モデルは図 6.8 に示すように，モデルの入力は身体寸法，椅子の角度条件，クッション材などである．

また出力値は座り心地に関する官能評価値である．官能評価値とは，「使いやすい」を 5 点，「使いにくい」を 1 点としたときの評点である．

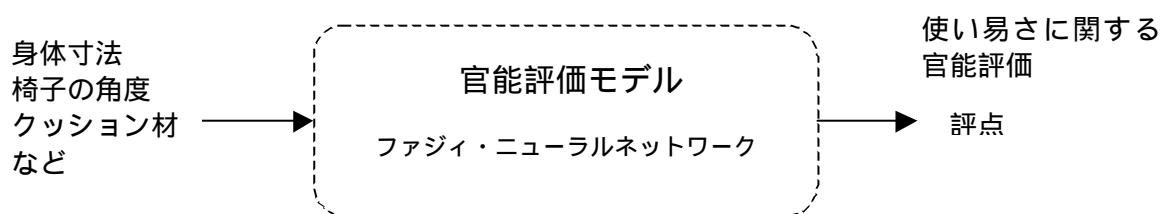


図 6.8 官能評価モデルの概要

一般的に官能評価を予測するのは難しい．特に官能評価は非線形性が強く，評価パラメータが過去，将来の予測，経験知識などで変化すると考えられる．しかし，多くのヒトが座りにくい椅子はある．よってこういった椅子はやはり入出力の間になんらかの定量的関係が存在し，ヒトが判断していると考えられる．この関係を明確に記述するために，ニューラルネットワークを用い，入力の特徴量（身体寸法，椅子の角度条件，クッション材）を表すのにファジィ推論を用いる．

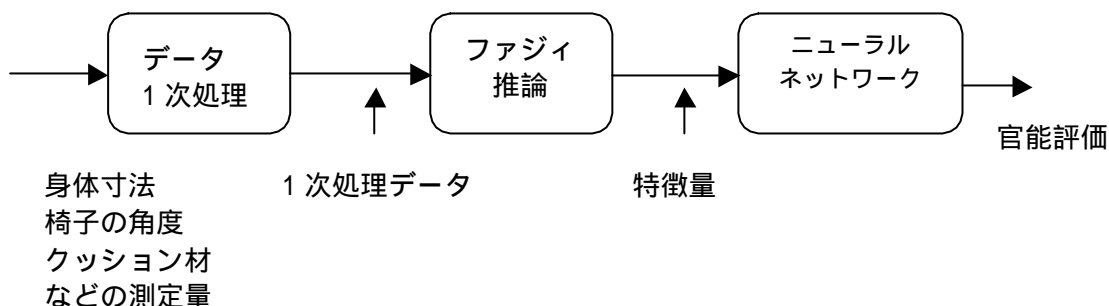


図 6.9 官能評価モデルの内部構成

ここで検討される官能評価モデルの内部構造を図 6.9 に示す。椅子やヒトの測定データは 1 次処理ブロックを介して、椅子に関する特徴を抽出するためにファジィブロックに入力され、ファジィ推論により特徴量に変換される。この特徴量と官能評価値が 3 層構造のニューラルネットブロックに教示され自己組織化される。つまり、教示されてから、特徴量により官能評価値が想起される。本研究で用いたニューロ・ファジィシステムとは異なるファジィとニューラルネットの融合化であるファジィ・ニューロシステムである。

さらに詳しく記述すると、データ 1 次処理ブロックでは測定値から椅子の特徴量を求めるブロックである。この求め方には、主成分分析などがある。本研究では、身体圧分布測定値の時系列解析後の結果と負担評価との関係（第 2 章 2.3.1）で、重回帰分析の変数を決める前に主成分分析をして、独立変数を決定している。このように主成分分析は、数多くのデータ縮約を行うのに有効な手段である。

本節で用いた主成分分析の結果から得られた因子の物理的意味を椅子の特徴量とする。そしてこれらの因子寄与率から、定性的な椅子の特徴量の算定ルールを導く。

ルール作成のために、官能評価に大きく関係する、座っている状況を実験的に見出す。例えば下記のようなルールが考えられる。

もし身長が高く、体重が軽く、椅子の角度が後傾して、クッション材がやや

硬めなら，因子1（身体寸法に関する因子）を大きくし，因子2（椅子の形状）をやや小さくする．

ニューラルネットワークは，3層でありバックプロパゲーションにより学習する構成を用いる．もちろん，この場合入力椅子の特徴量で，出力が官能評価である．官能評価予測式は，式（6.1）によって得られる．

$$\text{官能評価値} = \frac{\sum_{k=1}^i (S_k \times k)}{\sum_{k=1}^i S_k} \quad (6.1)$$

ただし， $S_k$ （官能評価値の重み）： $0 < S_k < 1$ ， $k$ は官能評価

以上のように，ファジィシステムの「定性的記述」とニューラルネットの「概念的自己組織化」という各機能を補完的に適応することができると考えられる．

今後は上記のモデルが構築できるように実験計画をたて，実際のモデル構築を進める．

## 第7章 結論

本研究では、座り心地に関する重要な因子であるクッション性に焦点をあて、短時間において個々人に適合したオフィスチェアのためのクッション材の硬さを予測するモデルを構築した。

予測のための評価手法にはファジィ推論を用い、さらにファジィ推論の中でも現在研究が盛んに行われているニューロ・ファジィシステムを適用した。

これまで、椅子の座り心地に関する評価にニューロ・ファジィシステムを用いて予測モデルを構築した研究は行われていない。本来、ファジィ推論は、エキスパートシステムなどにより人間の知識、経験に基づく制御や病理診断などの支援システム構築に応用された。しかし、本研究は、一般人の感性情報でファジィルールを作成するという、ノンエキスパートシステムであり、まさに「ヒトにやさしいシステム」ということができる。

このシステムと他の統計的解析手法との比較検討を行い、応用事例を実践し、当該予測モデルの有用性を確認できた。今後は、本研究の成果も含め、椅子の座り心地評価に関する統計学の応用研究をさらに進め、応用統計学体系化の一助としたい。

以下に予測モデル構築の流れを要約し、今後の展望として予測モデルの応用を論じ、座り心地に関する応用統計学大系化への端緒を提示する。

### 7.1 構築した体型別適合クッション硬さの予測モデル

本研究では、対象者の体型という属性に着目し、体型の違いと座面クッション材の座り心地との関連性について調査・検討を行った。先行研究により、座り心地の総合評価に有意に相関がある評価項目は、クッション材の硬さに関係する項目であることがわかっていった。従って、体型という物理量の入力で、その体型の対象者が選択した適合クッション材の硬さにあたる物性データが出力されるファジィシステムを構築し、ファジィルールやメンバシップ関数の数を人的に操作し、形状の調整を行って、より妥当性の高いファジィシステム構築を可能とした。予測モデル構築のための実験は、2回行われた。



実験 1 では初期ファジィシステムとして、女性だけのシステムを構築した。この実験により、以下の結果を得た。

- (1) クッション性能を表す項目にヒステリシス曲線がある。この特性値を定量化して、ヒトの体重からクッション厚さの変化率を求めた。
- (2) 女性の体型から、個人が自分に適していると思うクッション材の硬さを予測するモデルを構築した。

さらに実験 2 においては、以下の結果を得ることができた。

- (1) 予測モデルに用いたニューロ・ファジィシステムで、ファジィクラスタリングを行ってメンバシップ関数やルールの数を求めることを試みた。実験 1 では、クラスタリングなしで、メンバシップ関数の形状調整と入出力にニューラルネットワークを用いたが、実験 2 ではその前段階としてファジィクラスタリングを行った。加えて、実験 2 でも、実験 1 と同様にクラスタリングなしのシステムも構築し、クラスタリングありの場合と比較した。その結果、クラスタリングありなしによる予測モデルの妥当性に大差はなかった。本研究では、ファジィ推論にファジィクラスタリングを適用する場合は、入力データの変数が多数あるときに用いることが適当であると考えられる。
- (2) ニューロ・ファジィシステムにより出力した実数値が不適正になる理由は、入出力データをニューラルネットワークで学習させるのに、推論誤差を少なくするようにバックプロパゲーションアルゴリズムを用いて出力値が計算されるからである。つまり、ファジィルール適用後の出力実数値が最適な近似値を示すために、不適正実数値が生の入出力データ範囲外の実数値データが出力される可能性があることがわかった。この理由により、モデルの最適化を目指すためにメンバシップ関数のチューニングを行った。
- (3) 実験 2 で構築した予測モデルは、男性、女性別にシステムが構築を行い、検証実験も行ってかなりよい結果を得ることができた。また、チェッキ

ングデータとして、新しいデータをシステムに再度入力して訓練、学習させると、システム自体がより最適化されると期待できる。

- (4) 他の解析手法と比較するため、ダミー変数付き重回帰モデルを用いて解析した結果、ダミー変数の選択が変数に当てはまっていたため、ダミー変数なしの重回帰モデルの場合よりも説明力が上がった。ファジィ推論という非線形性を考慮したモデルと、線形性を考慮した重回帰モデルの両者から有意な結果が得られた。このことから、椅子の設計者はクッション材選定に容易にシステムを組めると期待できる。
- (5) 今後の課題は、長時間実験を行い、ファジィ推論におけるクッション材の特性値としてヒステリシスロス曲線を用いることで、対象者にあった適合クッション材の選択をより精度が高く評価、検討することが望まれる。重回帰モデルについてはダミー変数を慎重に検討した上で、簡易的システム構築に応用することが期待される。

## 7.2 座り心地に関するファジィ推論モデルの応用

本研究で構築した、ニューロ・ファジィシステムによる椅子の座り心地予測モデルを他の座り心地予測モデルに応用した。実験から導かれた予測モデルとして、体型別適正座面高推定モデルがある。ここでいう適正とは理論的な適正座面高ではなく、個人が自分の身体サイズに合っていると思う椅子の座面高である。このモデルに基づいて、個人が選択した座面高と個人の下腿高から算出される座面高の理論値との相関をとることを試みた。質問紙のデータが家具見本市会場でとられたものであり、下腿高は測定されていなかったため、下腿高は身長をもとに人体寸法の略算値の身長 $\times 0.25$ （小原 1969）より求め、理論的座面高は簡易的に（下腿高 - 1.5 cm）とした。

女性を対象とした場合、この理論的座面高の結果と構築したシステムによる予測値との相関を求めたところ、0.837 となり、予測値は理論値にかなり近似していた。一方、実測値と理論値の相関係数は 0.476 であった。以上のことから、ヒトには自分の体型に理論的に合わない椅子のサイズを選択するという非線形

な部分があること。そして、この部分をファジィ推論でモデル化すると、理論値に近似した予測結果を出力することから、このモデルの有用性が確認された。

次に、実際に予測モデルは構築していないものの、今後の課題として、椅子の座り心地に関する官能評価モデルへのニューロ・ファジィシステムの応用を考えた。

予測モデル構築のための手順を以下に記述する。

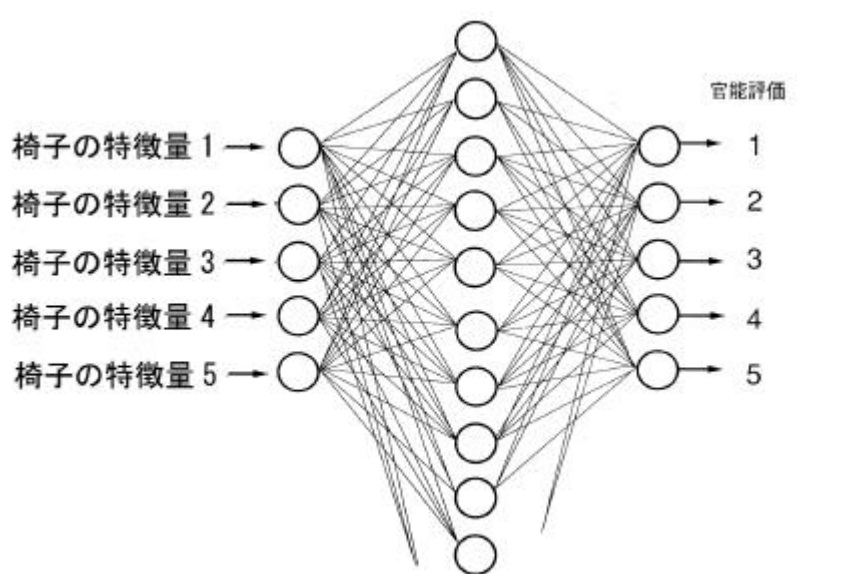
ファジィ推論のためのルール作成のために、官能評価に関わる椅子とヒトの物理量を見出す。

の物理値を主成分分析する。寄与率から有効な因子を抽出する。

と から、座っている状況を実験的に見出してルールを作成する。例えば、「もし身長が高く、体重が軽く、椅子の角度が後傾して、クッション材がやや硬めなら、因子1（身体寸法に関する因子）を大きくし、因子2（椅子の形状）をやや小さくする。」というルールを作成する。

で作られた椅子の特徴量をニューラルネットワークのバックプロパゲーションによって学習させ、官能評価点を出力する。

下記に官能評価モデルの評価イメージを示す。



以上のようにファジィ推論にニューラルネットワークを融合させることによ

って、椅子とヒトの特徴量（入力データ）と官能評価（出力データ）の関係を直観的に把握できると期待される。

### 7.3 座り心地に関する応用統計学の大系化

本研究では、椅子の座り心地に関する物理量と心理量との対応関係を定量化するべく、ファジィ推論を応用して体型別適合クッション硬さの予測モデルの構築を行った。そしてもちろん、椅子の座り心地を評価解析する手法として、このファジィ推論が万能ではないことは明らかである。今後も実験を重ね、第2章で論述した座り心地に関する種々の統計学応用に、本研究の目的であった予測モデル構築に用いたファジィ推論を追加する形で、椅子の座り心地評価の解析手法を考え、それを整理する必要性を考える。

Philip J. D. & Reuben H (1988) は、数学の応用を、記述、予知、指示の三通りとしている。この三つはお互いに関連しあい、各々が違った目的である。そして、ここでいう数学は統計学という言葉にそのまま置きかえることができると考える。

つまり、統計学は医学、薬学、言語学、経済・経営学、人口学、遺伝学、教育・心理学、農業・生物学などの分野において、応用統計学として既に大系化されている。一方、椅子の座り心地に関する統計学の応用については未だに系統的に統一されておらず、上記の記述、予知、指示に相当する、座り心地の評価、予測、開発を統合した応用統計学の新たな一分野としての大系化が大いに待たれるところである。

本研究で適用したファジィ推論なる解析手法を含め、これまで椅子の座り心地を定量的に記述するために、多くの統計的解析手法が試用され提案されてきた。今後は、本研究の成果をさらに発展させ、前人未到の分野である「座り心地に関する統計学の大系化」をめざしたい。

## 参考文献

### 第 1 章

- [1] 養老孟司，唯脳論，青土社，1996（第 26 刷）。
- [2] 金光晟，脳の構造，脳の科学，朝倉書店，1983。
- [3] 野呂影勇編集，図説エルゴノミクス，27～32，日本規格協会，1990。
- [4] 野呂影勇編集，生活のための工学，226～234，放送大学教育振興会，1994（第 2 刷）
- [5] 沢口亮，椅子の視覚的特性と座り心地（ ），職業能力開発研究発表講演会予稿集，159～160，2000。
- [6] Demontis S.，Prediction of Car Seat Comfort from Human-Seat Interface Pressure Distribution.，SAE Technical Paper Series (Society of Automotive Engineers)，8，2002。
- [7] Goroh F. and Reiko M.，An Ergonomics guidebook for Systems with Displays in IT society Chapter3：Study of the sitting posture on a VDT work，Elsevier Science，17～24，2002。
- [8] 三家礼子，藤巻吾朗，田村義保，野呂影勇，時系列解析による身体圧分布の評価尺度の提案，人とシステム，5（1），11～17，2002。
- [9] 「OPEN DESIGN No.7」，CQ 出版社 インターフェース増刊，1995。
- [10] Philip J. D. and Reuben H.，デカルトの夢（DESCARTES' DREAM），アスキー出版，1988。

### 第 2 章

- [11] <http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/lecture/stats-by-excel/work-sheets/tests.html>。
- [12] [http://www.ceser.hyogo-u.ac.jp/naritas/spss/nonpara/kruskal\\_wallis.html](http://www.ceser.hyogo-u.ac.jp/naritas/spss/nonpara/kruskal_wallis.html)
- [13] 藤巻吾朗，三家礼子，野呂影勇，座り心地の物理量と官能量の対応～その 1，官能評価シンポジウム発表報文集，日本科学技術連盟，87～94，2000。
- [14] 小山秀紀，寺岡拓，野呂影勇，ペルビックサポートを備えた座布団の開発と評価（Ergo-Zabuton），人とシステム，6（1），11～18，2003。
- [15] 萩原彰子，環境芳香を用いた空間演出に関する研究，早稲田大学人間科学研究科修士論文，1999。
- [16] 広松毅・浪花貞夫，経済時系列解析，朝倉書店，1998。

- [17] Hirotugu A. , Information theory and extension of the maximum likelihood principle , Akademiai Kiado , 1973 .
- [18] Hirotugu A. , A new look at the statistical model identification , IEEA Trans.Automat.Contr. , 1974 .
- [19] Akselrod S. et al. , Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control , Science , 213(10) , 220-222 , 1981 .
- [20] Akselrod S. et al. , Hemodynamic regulation: investigation by spectral analysis , J Physiol , 249 , 867-875 , 1985 .
- [21] Pagani M. et al. , Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog , Circ Res , 59(2) , 178-193 , 1986 .
- [22] Pomerantz B. et al. , Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis , J Physiol , 248 , 151-153 , 1985 .
- [23] 鈴木浩明 , 快適さを測る , 日本出版サービス , 89-96 , 1999 .
- [24] 三家礼子 , 野呂影勇 , VDT 作業時における足の不快感の一評価 , 日本人間工学会第 41 回大会講演集 , 日本人間工学会 , 36 , 406 407 , 2000 .
- [25] Reiko M. ,Yuichi E. ,Manami N. ,Kageyu N. ,Prevention of Deep Vein Thrombosis in VDU work , The International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE) , 9 ( 4 ) , 2003 .
- [26] Kazushige E. and Michael J.G. , Quantitative prediction of overall seat discomfort , ERGONOMICS , 43(6) , 791-806 , 2000 .
- [27] 野呂影勇 , 官能評価と感性品質 ( 品質管理セミナー・ベーシックコース・テキスト ) , 日本科学技術連盟 , 1999 ( 補訂第 2 版 ) .
- [28] 日科技連官能検査委員会 新版 官能検査ハンドブック 345-391 ,1973 .
- [29] J.P.ギルホード( 秋重義治 ) : 精神測定法( 第 13 刷 ) ,培風館 ,276 301、1976 .
- [30] 池田裕 , 継次範疇法とその応用 , 人間工学 , 22-24、1986 .
- [31] Martin G. Helender, Adaptation and Sensitivity to Postural Change in Sitting , HUMAN FACTORS , 42(4) , 617-629 , 2000 .
- [32] Joreskog K. G. , A general approach to confirmatory maximum likelihood factor analysis , Psychometrika , 34 , 183-202 , 1969 .
- [33] 田部井明美 , 共分散構造分析 ( Amos ) によるアンケート処理 , 東京図書 , 22-23 , 2001 .
- [34] 廣松毅・浪花貞夫 , 経済時系列分析 , 朝倉書店 , 1994 ( 第 2 刷 ) .
- [35] <http://www.mathworks.com>

- [36] T.コホネン, 自己組織化マップ, シュプリンガー・フェアラク東京, 1996.
- [37] 三家礼子ほか, シートに関する統計的解析後の物理量と心理量との関係, 日本人間工学会第9回システム大会講演集, 2001.
- [38] 藤巻吾朗, 早稲田大学人間科学研究科修士論文, 2001.
- [39] 藤多健史ほか, 小学生の椅子選び支援ファジィシステムについて, 人間工学 特別号, 26, 320 - 321, 1990.
- [40] 姿勢研究所 座研究会, 座の研究のための官能検査ハンドブック, 姿勢研究所, 1998.
- [41] 加藤麻樹ら, 事務用回転椅子の圧力分布の時系列変化に関する研究, 人間工, 33 (6), 1997.

### 第3章

- [42] 真島英信, 生理学, 文光堂, 1986.
- [43] 西松豊典, 座席の「座り心地」とクッション性能の関係, 日本ゴム協会誌, 75 (3), 104 - 108, 2002.
- [44] 稲垣大ほか, シート感性品質評価法, 豊田中央研究所 R&D レビュー, 35 (4), 2002.
- [45] 河内まき子・持丸正明, 体型を表す感性用語と身体寸法の関係, 人間工学 特別号, 33, 180 - 181, 1997.
- [46] 持丸正明・河内まき子, 体型を表す感性用語による人体寸法データベースの検索, 人間工学 特別号 (CD-ROM 版), 35, 1999.
- [47] Carter J.E.L., The Heath- Carter Somatotype Method, 3rd Ed., San Diego State University Syllabus Service, 1980.
- [48] Carter J.E.L. and Heath B.H., Somatotyping - - Development and Applications, Cambridge Univ. Press, 1990.
- [49] 武岡元・野呂影勇, 座面高が机高に影響されることの理論的検討, 人間工学 特別号 29, 440 - 441, 1999.
- [50] 金城正治ほか, 高齢者に優しい簡易モジュール型椅子の研究開発, ウェルフェアテクノシステム研究開発 (秋田) 成果報告書, 27 - 32, 2000.
- [51] 水谷恵介・山崎信寿, 身体特徴別高適合ベッドクッションの提案, 日本人間工学会 特別号, 34, 354 - 355, 1998.
- [52] 小原二郎ほか, 建築 室内 人間工学, 鹿島出版会, 1969.
- [53] 岩崎洋, じょくそう 研究・治療の最前線 (3) 運動麻ひ者のじょくそう予防, J Clin Rehabil, 11 (9), 780 - 783, 2002.

- [54] Lone H. et al. ,Significance of mat and shoe softness during prolonged work in upright position: based on measurements of low back muscle EMG, foot volume changes, discomfort and ground force reactions , applied Ergonomics , 29 ( 3 ), 1998 .
- [55] 本間ほか, 座部クッション硬度が OA 用椅子の「座り心地」に及ぼす影響, 日本人間工学会関東支部大会講演集, 30, 50-51, 2000 .
- [56] 佐藤幸志郎・豊田修身, 張ぐるみ椅子の座り心地の評価手法(第2報), 研究報告 大分県産業科学技術センター, 14-16, 2000 .
- [57] 山家真希子, 体型の違いによる座面クッションの座り心地の検討, 早稲田大学卒業論文, 2001 .
- [58] 八田一利ほか, 自動車座席のクッション性に関する研究(第1報), 人間工学, 23(3), 1987 .
- [59] 野口正孝, 自動車シートの柔らかさの好みに関する調査, 千葉工業大学研究報告(理工編), 31, 163-167, 1985 .
- [60] 林勲・古橋武, 「ソフトコンピューティングシリーズ」6 ファジィ・ニューラルネットワーク, 朝倉書店, 1996 .
- [61] 立川律哉, 可変ばね式実験ベッドの開発と身体要因別適合クッションの検討, 人間工学 特別号, 29, 520-521, 1993 .

#### 第4章

- [62] 田中一男, 応用をめざす人のためのファジィ理論入門, ラッセル社, 1991 .

#### 第5章

- [63] Yager R. and D.Filev , Generation of Fuzzy Rules by Mountain Clustering , Journal of Intelligent Fuzzy Systems 2( 3 ) 209-219 ,1994 .
- [64] Kazushige E. and Michael J.G. , Factors affecting static seat cushion comfort , ERGONOMICS , 44 (10) , 2001.
- [65] 乗松美香, 座面クッションにおける座り心地の評価, 早稲田大学卒業論文, 2002 .
- [66] 田村義保, ニューラルネットワークと時系列解析(逆問題とその周辺), 統計数理研究所共同研究レポート, 165-174, 1995 .
- [67] 三家礼子, 藤巻吾朗, 田村義保, 野呂影勇, 体型による適合クッションの推定 - ファジィ推論モデルと重回帰モデルによる検討 - , 39(6), 2003 .



## 第 6 章

- [68] 寺岡拓ほか, 椅子の S, M, L (S, M, L のダイニング・チェアによる実験), JAFICA, 10-17, 2000.
- [69] 寺岡拓ほか, 椅子の S, M, L とテーブル (座面高とテーブル高さ), JAFICA, 13-17, 2001.
- [70] H. Takahashi and H. Minami, Subjective evaluation modeling using fuzzy logic and a neural network, Proc. of the Congress on the Int. Fuzzy System Association, 1989.

## 研究業績

### 1. 本論文に関わるもの

修士論文・著書・論文・学会発表等の別	題目	発行又は発表年月	発行又は発表箇所	掲載誌名等
修士論文	シートの物理量、心理量の統計的解析についての研究	2000年2月	早稲田大学	
論文	時系列解析による身体圧分布の評価尺度の提案	2002年3月	人間工学会	人とシステム
(共著)	An Ergonomics guidebook for Systems with Displays in IT society-Chapter3 : Study of the sitting posture on a VDT work	2002年4月	Elsevier Science	An Ergonomics guidebook for Systems with Displays in IT society
(共著)	An Ergonomics guidebook for Systems with Displays in IT society-Chapter3 : Study of the sitting posture on a VDT work	2002年4月	Elsevier Science	Displays
(共著)	座面高調整による負担軽減の研究(2) 表面筋電図測定とVDT作業姿勢の評価	2003年3月	人間工学会	人とシステム
	Prevention of the Deep Vein Thrombosis on the VDU work	2003年12月	JOSE	JOSE
	体型による適合クッションの推定 ファジィ推論モデルと重回帰モデルによる検討	2003年12月	人間工学会	人間工学
学会発表				
	VDT作業時における足の不快感の一評価	2000年6月	第41回人間工学会	人間工学会誌 Vol.36
(共著)	座位作業の体圧と骨盤角度の長時間測定	2000年6月	第41回人間工学会	人間工学会誌 Vol.36
(共著)	座り心地の物理量と官能量の対応 その1 身体圧分布の基本特性の解析	2000年10月	第30回日科技連官能評価シンポジウム	第30回官能評価シンポジウム発表報文集
	座り心地の物理量と官能量の対応 その2 身体圧分布の経時的変化	2000年10月	第30回日科技連官能評価シンポジウム	第30回官能評価シンポジウム発表報文集
	長時間座位保持の身体負担と体圧	2000年8月	第8回看護人間工学部会 公開研究会 講演会	

修士論文・著書・論文・学会発表等の別	題目	発行又は発表年月	発行又は発表箇所	掲載誌名等
	ニューラルネットワークと時系列解析	2000年11月	イタリアトリノ大学	
	シートの物理量, 心理量の統計的解析 その2 体圧分布測定値の時系列解析	2001年2月	振動ネット研究会	
	シートに関する統計的解析後の物理量と心理量との関係	2001年3月	人間工学会第9回システム大会	人間工学会第9回システム大会講演集
(共著)	人体サイズと椅子サイズ - 4サイズ (XS,S,M,L) のダイニングチェア	2001年3月	人間工学会第9回システム大会	人間工学会第9回システム大会講演集
	ファジイ推論を用いたダイニングチェアの適正座面高の推定	2002年3月	人間工学会第10回システム大会	人間工学会第10回システム大会講演集
	基礎講座: 椅子・シートの評価手法 1	2002年4月	早稲田大学	International Seating Seminar
出版, 雑誌掲載物 (共著)	S.M.L のダイニングチェアによる実験	2000年11月	JAFICA	椅子のS.M.L
(共著)	座面高さテーブル高さ差尺についての実験	2001年11月	JAFICA	椅子のS.M.L とテーブル

## 2. 本論文以外のもの

修士論文・著書・論文・学会発表等の別	題目	発行又は発表年月	発行又は発表箇所	掲載誌名等
学会発表	ステレオグラムによる立体画像における奥行き知覚の評価	1999年5月	第40回人間工学会	人間工学会誌 Vol.35
	看護作業における足の不快感の人間工学的評価	2000年3月	人間工学会第8回システム大会	人間工学会第8回システム大会講演集
(共著)	座位作業の体圧と骨盤角度の違いによる座位姿勢の評価	2000年3月	人間工学会第8回システム大会	人間工学会第8回システム大会講演集
(共著)	座位作業の体圧と骨盤角度の長時間測定	2000年6月	第41回人間工学会	人間工学会誌 Vol.36
	足の不快感の研究	2000年5月	感性商品研究部会第4回研究会	
	看護テキストに関する人間工学的研究	2001年3月	人間工学会第9回システム大会	人間工学会第9回システム大会講演集
	Possibility of the Deep Vein Thrombosis Sideration On the Visual Display Terminal Work	2002年5月	6 <sup>th</sup> International Scientific Conference on WWDU	Conference Proceedings

修士論文・著書・論文・学会発表等の別	題目	発行又は発表年月	発行又は発表箇所	掲載誌名等
	ニューラルネットワークと判別関数の比較	2003年3月	人間工学会第11回システム大会	人間工学会第11回システム大会抄録集
(共著)	Correlation between roll-over patterns in bed and physical characteristics: Development of a roll-over assessment tool	2003年8月	IEA2003	IEA2003 Proceedings
研究報告書	睡眠状態と寝具痕跡に関する研究	1999年	早稲田大学人間総合研究センター 1999年シンポジウム	1999年度シンポジウム &抄録
(共著)	パーラーチェアの人間工学的評価	1999年	株式会社GAP.JAPAN	
(共著)	劇場椅子委託研究報告	1999年	株式会社タカノ	

## 改訂版座感チェックシート

名前 \_\_\_\_\_

試料 \_\_\_\_\_

あなたが今座っているクッションの座り心地に当てはまると思うものにつけて下さい。

		やや しない	やや しない	どちらでも ない	ややする	する
深く沈み込む感じ	┌──────────┴──────────┐					
コツンと当たる感じ	┌──────────┴──────────┐					
底に付く感じ	┌──────────┴──────────┐					
ソフトな感じ	┌──────────┴──────────┐					
ハードな感じ	┌──────────┴──────────┐					
跳ね返る感じ	┌──────────┴──────────┐					
締め付ける感じ	┌──────────┴──────────┐					
食い込む感じ	┌──────────┴──────────┐					
冷たい感じ	┌──────────┴──────────┐					
蒸れる感じ	┌──────────┴──────────┐					
心地よい感じ	┌──────────┴──────────┐					
不快な感じ	┌──────────┴──────────┐					
		しない	やや しない	どちらでも ない	ややする	する

あなたが今座っているクッションの座り心地を5段階で評価して下さい。

		やや よくない	やや よくない	どちらでも ない	やや よい	よい
このクッションの総合評価	┌──────────┴──────────┐					

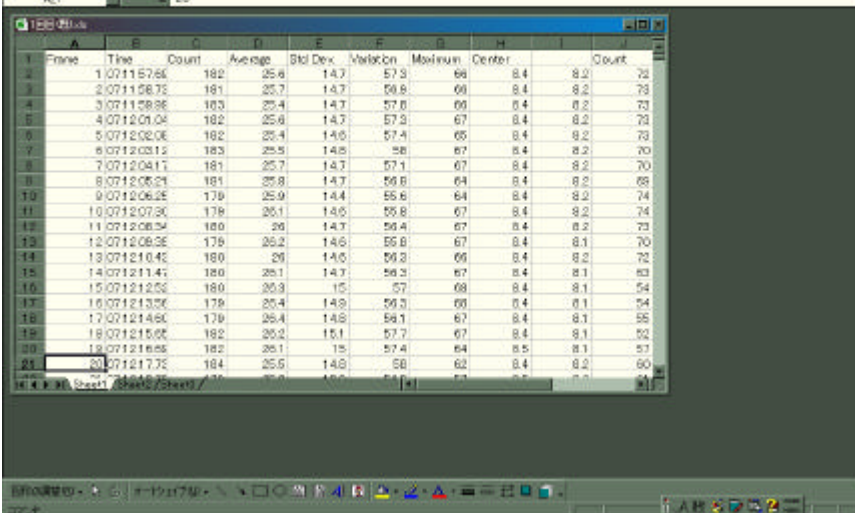
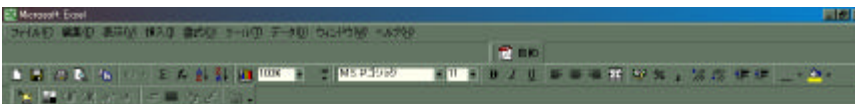
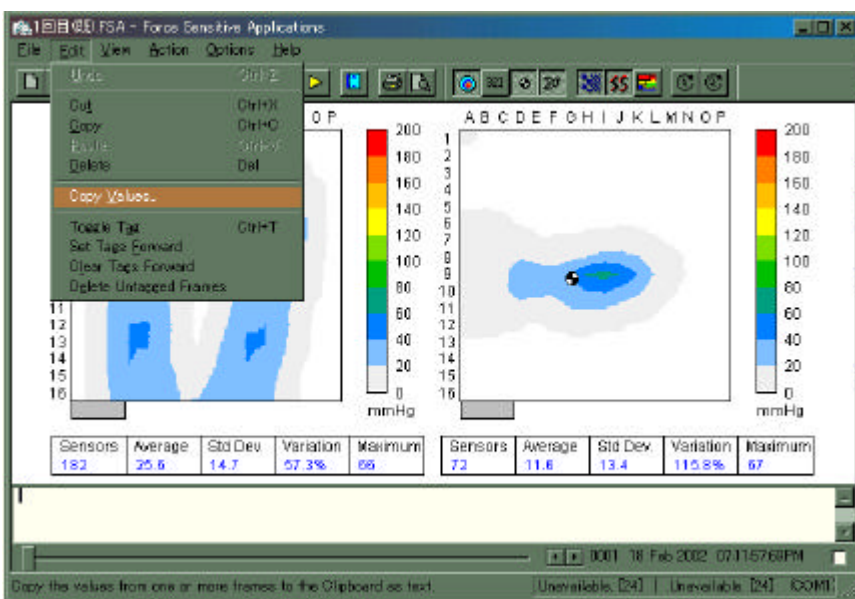
## 身体圧分布による負担度予測マニュアル

長時間座位における身体圧分布測定値による負担度は下記の手順で、予測できる。

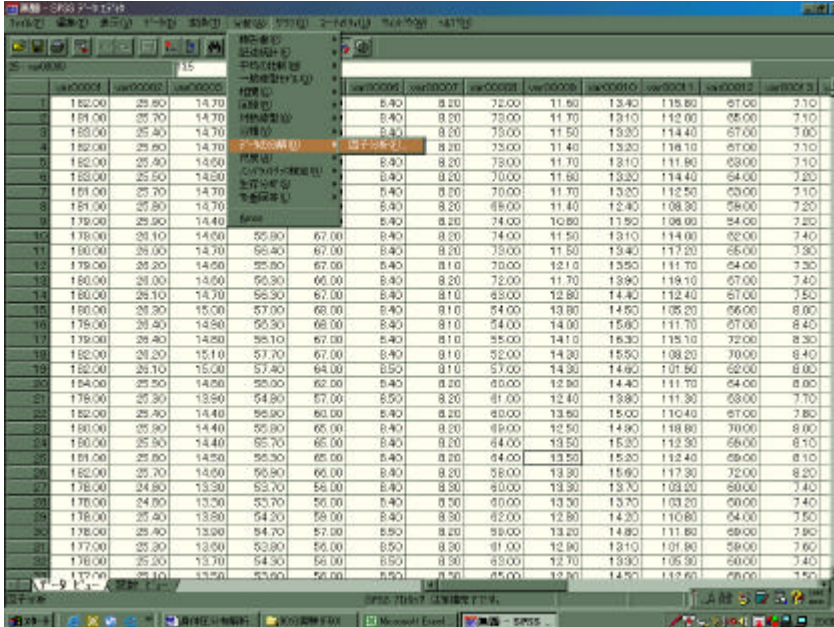
使用ソフトは、FSA(身体圧分布測定アプリケーション)、Excel、SPSS、Timsac(時系列解析ソフト)である。

### 1. 身体圧分布測定値の解析手順

(1) FSAを開き、身体圧測定後にデータを copy value で、Excel に貼りつける。



(2) Excel データを copy し , SPSS を立ち上げて paste する . その後 , 主成分分析を行う .



SPSS の主成分分析結果は以下のようである

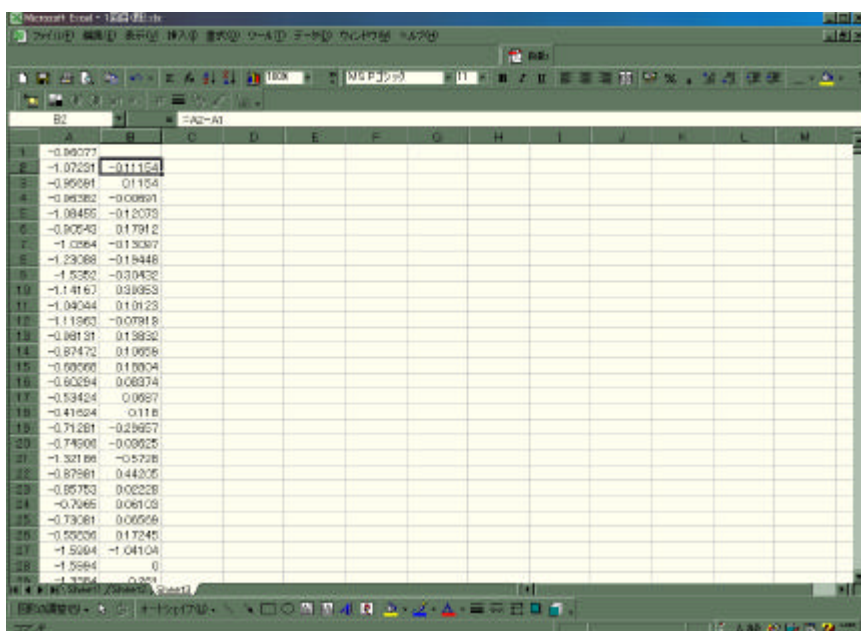
成分行列 a

	成分			
	1	2	3	4
VAR00001	.764	-.441	.127	.324
VAR00002	.863	-.398	.168	-.136
VAR00003	.890	-.433	1.947E-03	-5.744E-02
VAR00004	.740	-.427	-.405	.153
VAR00005	.911	-.324	-9.173E-02	-.120
VAR00006	.149	-1.187E-02	-.502	.635
VAR00007	.230	-.141	.880	.149
VAR00008	-.309	-.645	.428	.139
VAR00009	.524	.710	.124	.105
VAR00010	.543	.798	.109	-.118
VAR00011	.319	.581	.154	-.317
VAR00012	.509	.720	.182	6.504E-02
VAR00013	.270	.805	-.237	.143
VAR00014	-.180	.345	.319	.726

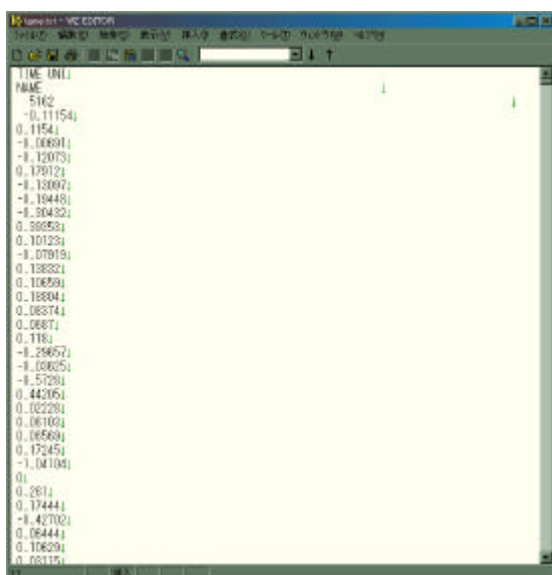
因子抽出法: 主成分分析

a. 4 個の成分が抽出されました

(3) 主成分分析の結果得られた因子負荷得点を Excel に copy , paste しデータの階差をとる .



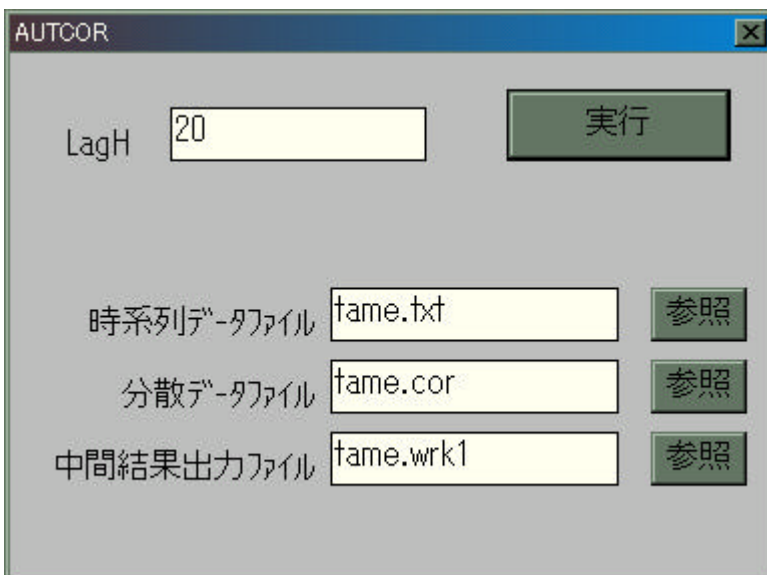
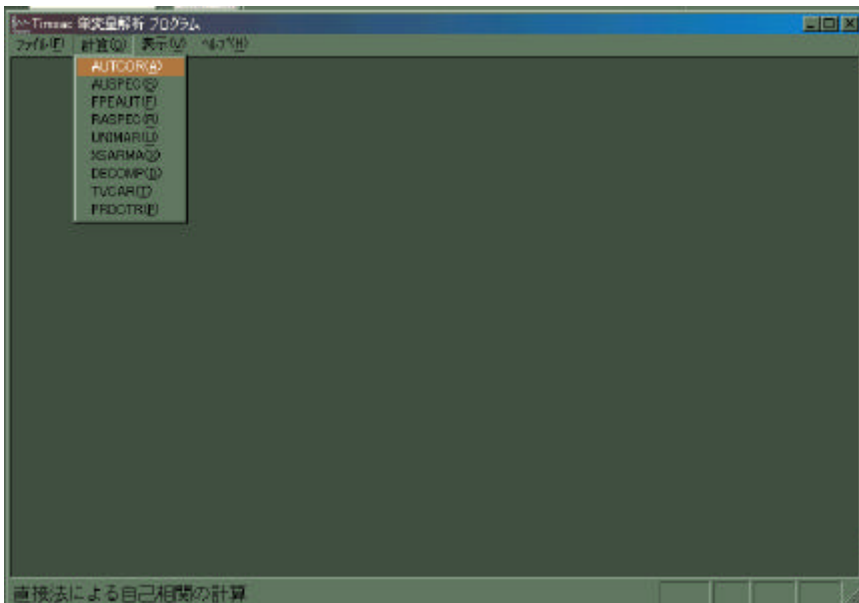
(4) 時系列解析ソフト Timsac 中の単変量解析プログラム Univar を立ち上げる . 解析にかける前に , (3) の階差データで Univar 用のテキストデータを作成する . 階差データを copy 後 Univar テキストデータ雛型に past する . ただし , ファイルのフォーマットを以下に示す .



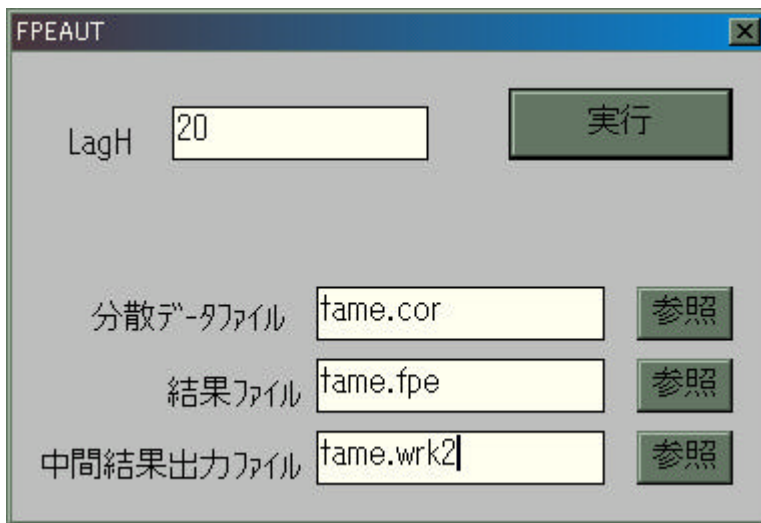
- 1 行目 “ TIME UNI ” キーワード
- 2 行目 コメント自由書式
- 3 行目 N データ個数
- 4 行目以降 D(I) I=1,N 各データ

Univar を立ち上げて , AUTOCOR の計算を選択する .



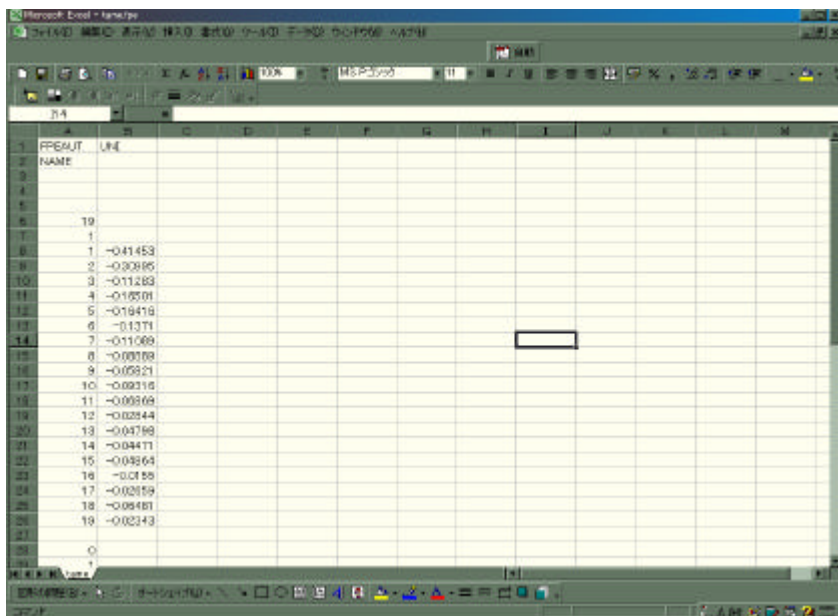


データ（データファイル名：tame）を時系列データファイルに入れ、分散データファイルを出力させる。  
次に、FPEAUT の計算を行う。

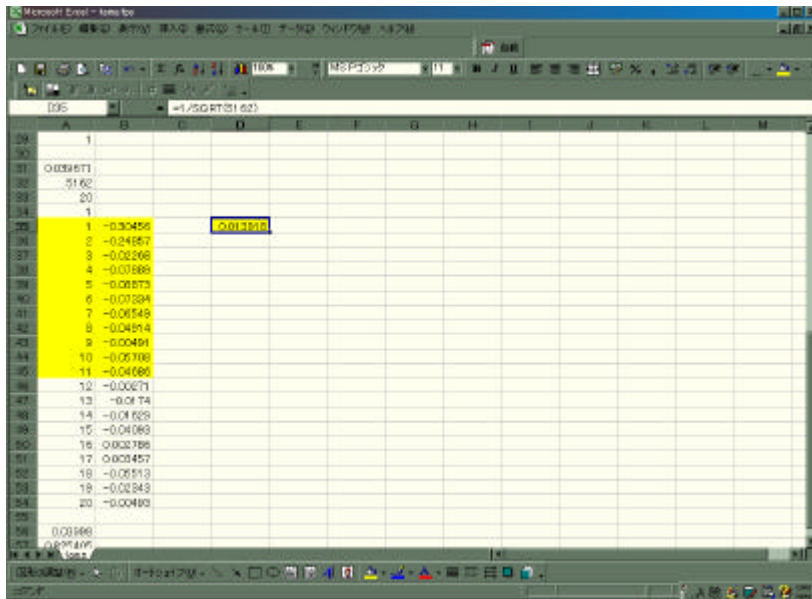


LagH は、AR モデルの最大推定次数を指定する。これは、FPE の性質から適度な数値を入力する必要があり、AUTCOR の LAG 以下の数値である必要がある。

(5) 出力した FPE ファイルを Excel から立ち上げる。



出力値の偏自己相関係数にあたる 1 次から 20 次の値において誤差範囲（この場合  $1/\sqrt{\text{データ数}}$ ）を考慮して次数を選択する。



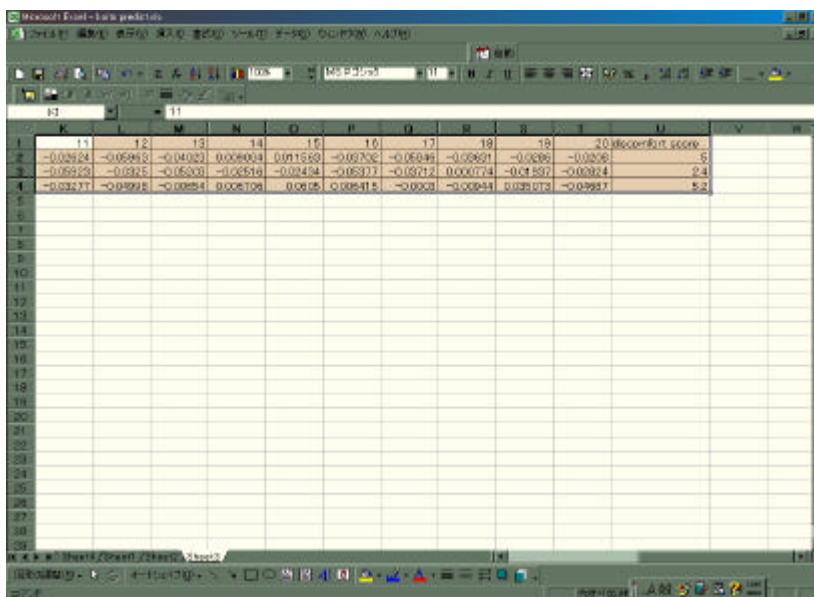
これで、偏自己相関係数が求まる。

各条件別身体圧分布測定の結果により偏自己相関係数を求める。

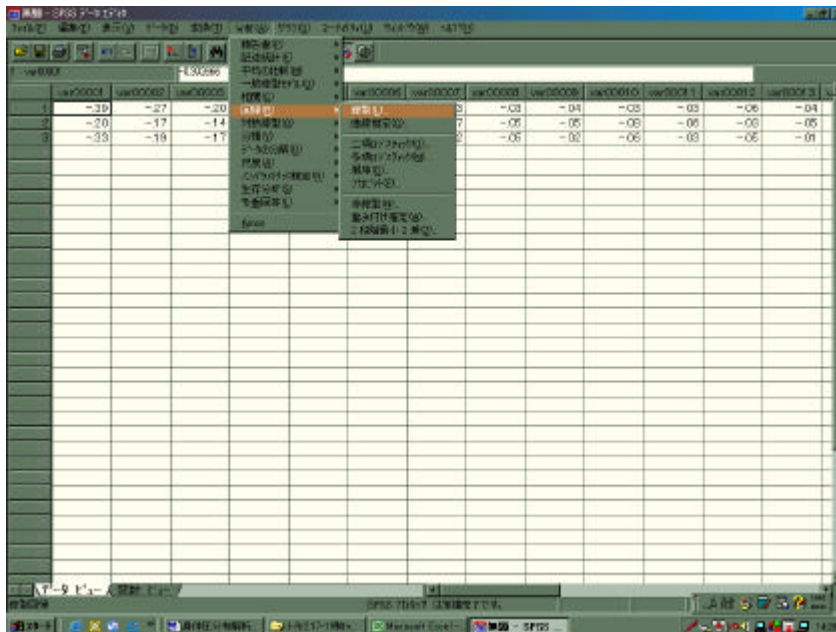
(6) 次に、負担評価結果をエクセルデータに作成し、実験後、実験前の部位別負担度を T 検定にかけ、有意差があったら実験後のデータをそのまま（非標準化）使用する。その際、部位別負担度の平均を各条件でとっておく。

偏自己相関係数を独立変数に、負担度を従属変数にして回帰分析ができるようにデータを並べる。

一例だが下記のような結果が得られとする。



このデータを SPSS に copy , paste して回帰分析のステップワイズ回帰分析を行う。



係数<sup>a</sup>

モデル	非標準化係数		標準化係数	t	有意確率
	B	標準誤差	β		
1 (定数)	6.636	.000		.	.
VAR00011	85.369	.000	.955	.	.
VAR00020	-29.048	.000	-.250	.	.

a. 従属変数: VAR00021

以上の結果から，重回帰式  $y = 85.4 \times \Phi_{1111} - 29.0 \times \Phi_{2222} + 6.6$  が，得られる。

(y : 負担度，  $\Phi$  は偏自己相関係数)

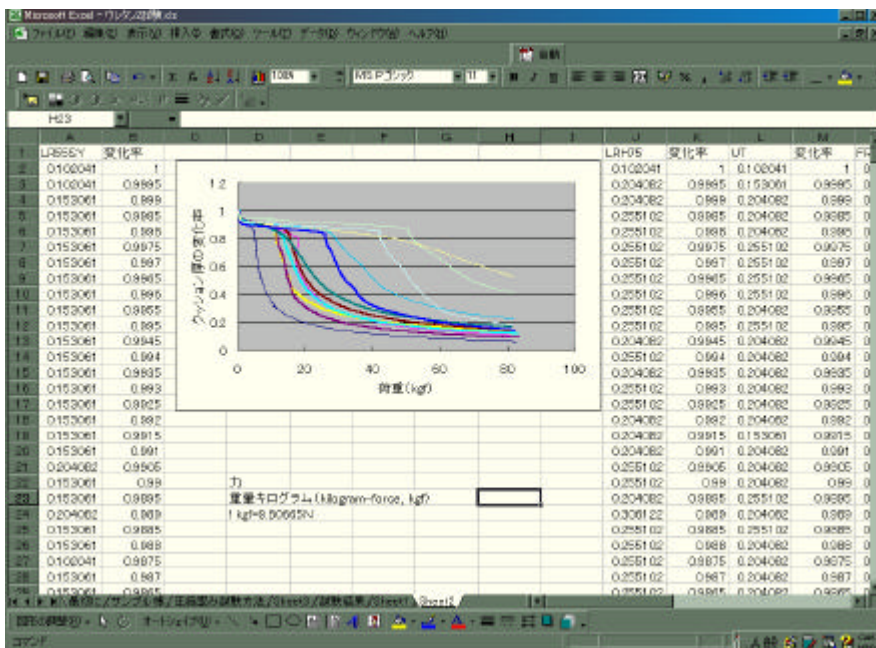
## ファジィ推論解析マニュアル

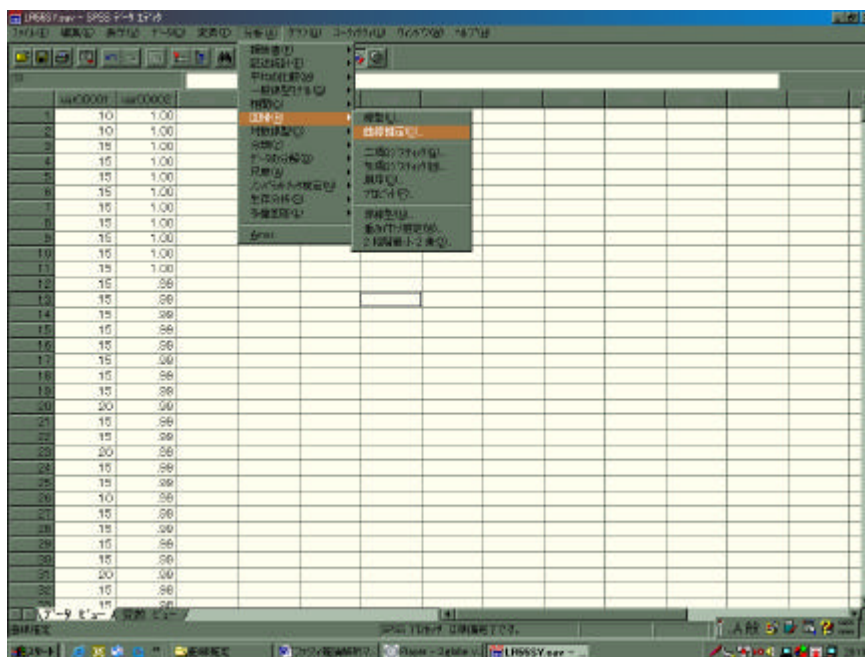
ファジィ推論を応用して椅子の座り心地評価における適合クッション硬さの予測モデル構築の解析手順を記述する。

使用ソフトは、Excel、SPSS、WZeditor、MATLAB である。

### 1. 予測モデル構築手順

- (1) Excel に質問紙の結果を入力しておく。使用する測定項目、質問項目は、身長、体重データとクッション材についての総合評得点である。
- (2) 評価対象であるクッション材のヒステリシス曲線データから、曲線方程式を SPSS で求める。





SPSS では、分析の回帰から曲線推定の分析ツールを選択する。  
 推定結果よりクッション材の曲線方程式は、ほとんどが SPSS で成長曲線である指数関数とする。  
 例えば下記はあるクッション材の、SPSS の出力結果である。ベキ関数方程式は出力された定数  $b_0$ ,  $b_1$  を用いて、 $Y = \exp(-0.108 - 0.049 \times X)$  である。ここで、 $Y$  はクッション厚さの変化率、 $X$  はクッション材にかかる荷重（体重の 86% の重量）である。

Independent: VAR00001

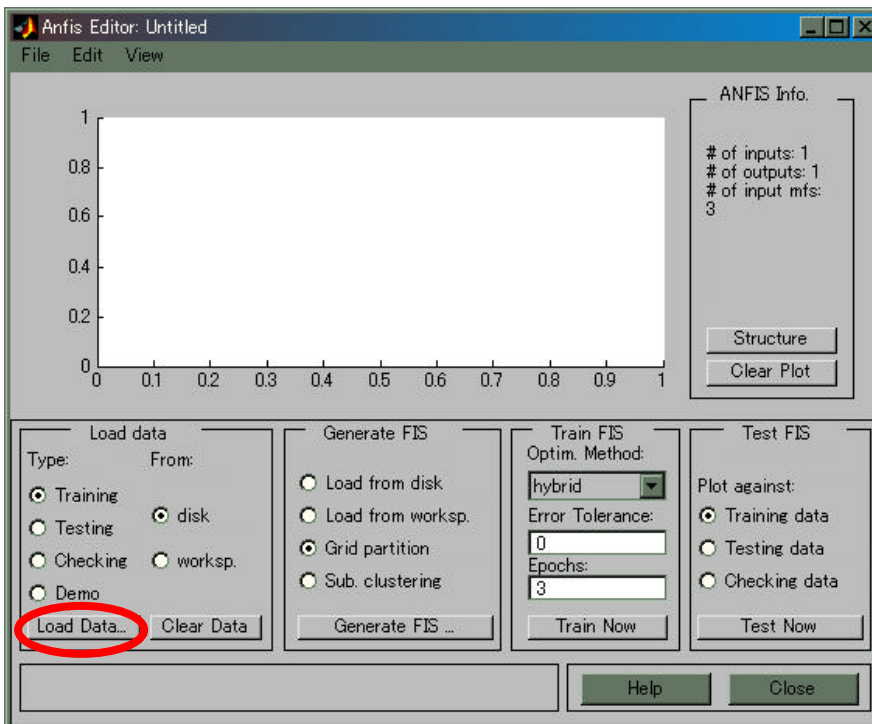
Dependent	Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1
VAR00002	LIN	.594	773	1132.56	.000	.8464	-.0188
VAR00002	COM	.806	773	3214.97	.000	.8980	.9525
VAR00002	GRO	.806	773	3214.97	.000	-.1076	-.0487

(3)(1) の Excel データにもどり、総合評価の良かったもの（例えば 5 段階評点なら最高得点を 5 として、4, 5 にあたる）のクッション材の厚さ変化率を (2) で求めた指数関数方程式で求める。

性別	身長	体重	座面重量	座面重量
m	178.1	98.4	39.5	89
f	150.5	78.7	34.9	40
m	171.7	85.3	37.9	63.0
m	164.8	87.6	37.2	59
m	168.1	89.0	35.9	89
f	159.1	87.4	35.0	54.1
m	168.4	91.1	35.9	57.4
m	168.4	88.4	35.9	55
f	160.1	86.2	35.5	49
f	157.9	82.8	35.8	43
m	165.3	88.2	37.0	53.0
f	157.0	89.9	36.1	53
m	166.5	87.9	35.5	59
f	158.9	86.5	35.4	43
m	171.5	88.6	37.5	62.5
f	164.7	85.0	34.9	45
m	171.3	94.5	35.8	57.5
m	175.7	91.7	45.4	67.4
f	147.0	87.9	40.4	59
f	154.2	88.4	35.5	45
	164.8	88.1	37.4	

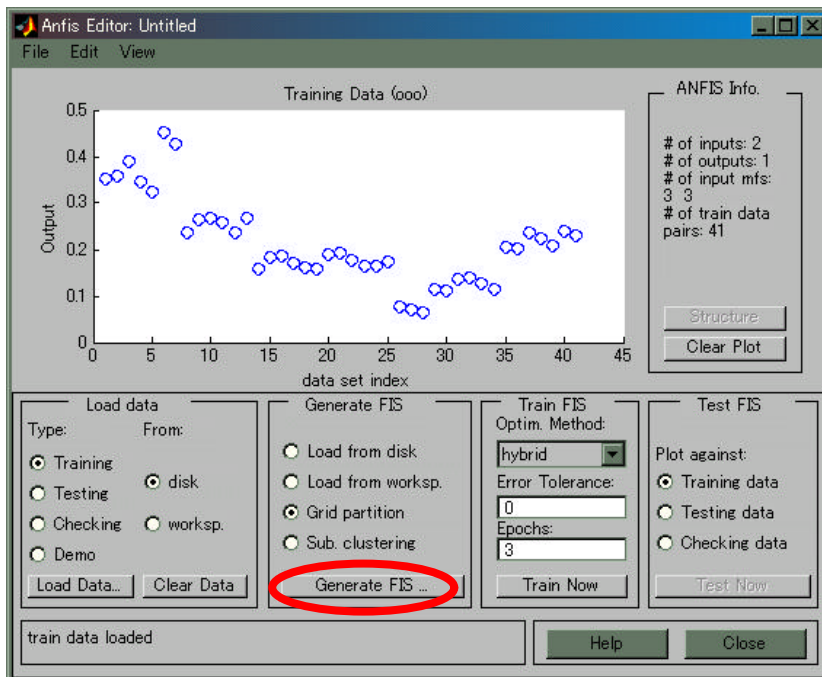
ファジィモデリングデータとして身長,体重,座面にかかる重量を copy し, Wzeditor に paste する. 作成したテキストデータを MATLAB の work フォルダ内に保存する.

(4) MATLAB を起動し, anfisedit とタイプインする.(GUI を使用する)



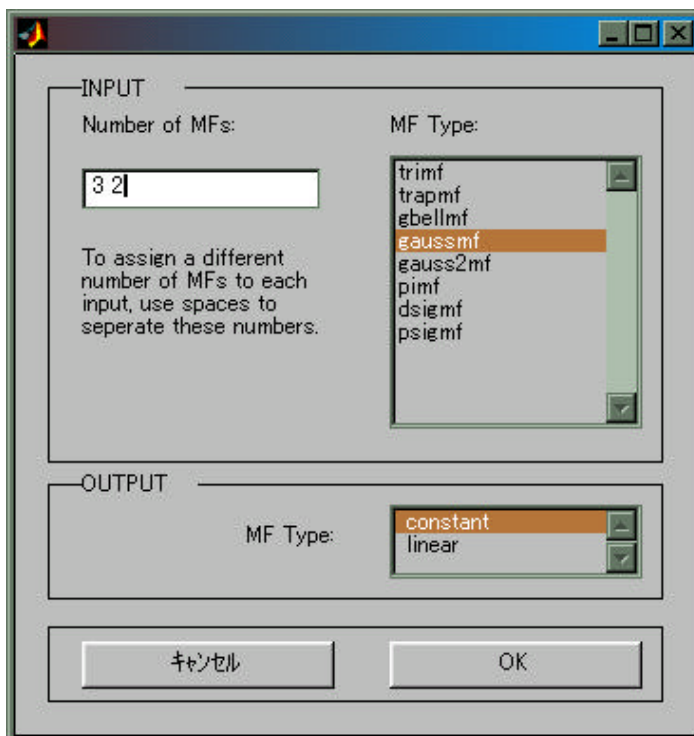
Training data (ファジィモデリングデータ) を work フォルダから load する





る。

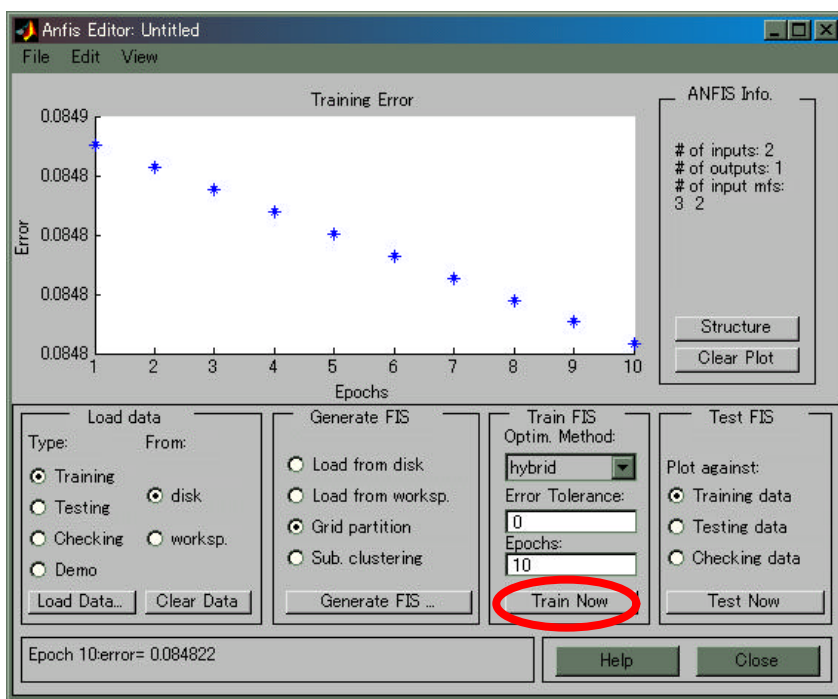
Generate FIS のオプションを使って初期 FIS モデルを作成する。



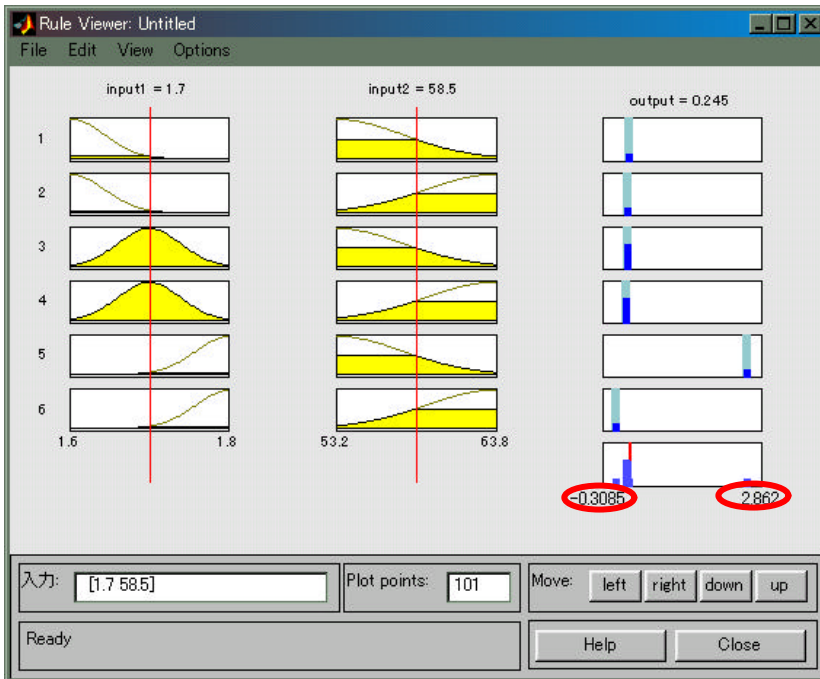
上記のオプションではメンバシップ関数の形状をガウスマンバシップ関数，前件部を二つの入力メンバシップ関数としている．出力メンバシップ関数は，定

数 ( constant ) とする . そして OK する .

FIS の訓練を行うために Epochs を 10 に設定して , Train Now を押す .

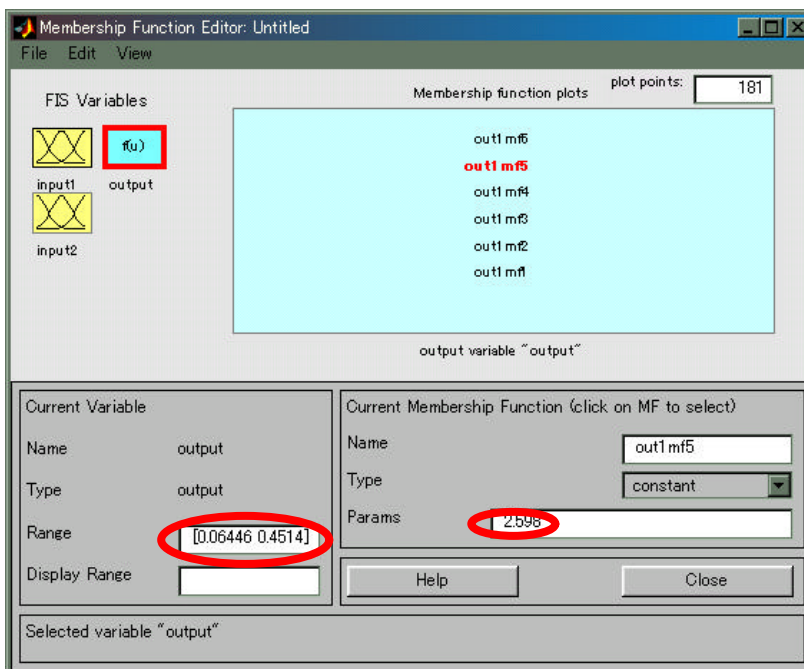


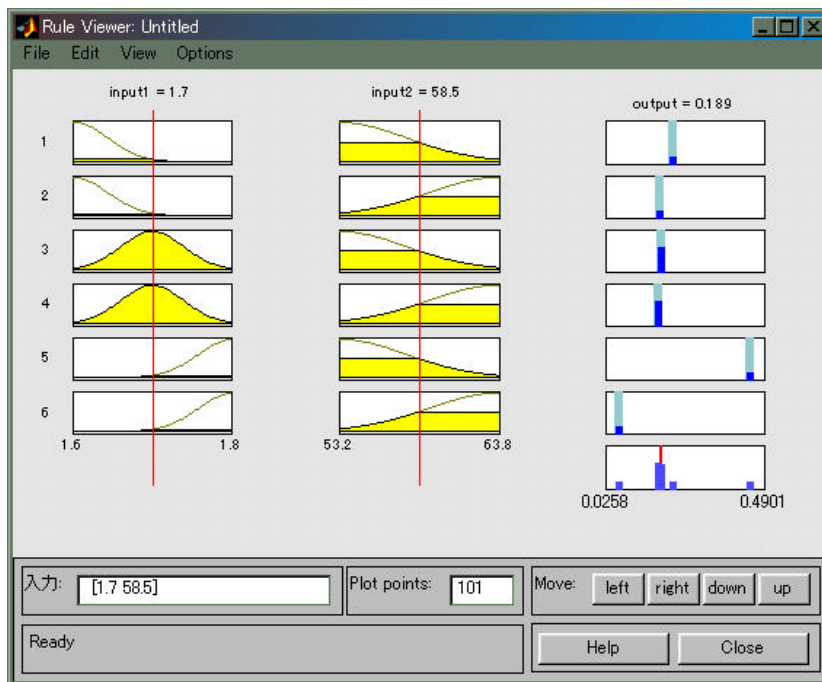
ここで , ルールの確認 , 修正をみるために View から Rules を選択する .



出力値範囲が負の値，あるいは出力データ範囲外であったら，ルールの修正を行う．

Edit から，Membership Functions を選択する．さらに，output をクリックして，不正出力値を修正する．修正値は，モデリングデータのクッション厚さの変化率最大値あるいは最小値で修正する．





修正後の出力画面を options の Rules を選択して確認する .

## 謝辞

本論文は早稲田大学人間科学部野呂研究室において、椅子の座り心地予測システム構築のための研究成果をまとめたものである。

本研究を行うにあたり、修士課程から博士課程と終始熱意のあるご指導を受け賜りました野呂影勇教授に心から感謝の意を表します。

また、本論文を始め、著者の全ての学術論文にも丁寧なるご指導を賜りました文部科学省統計数理研究所の田村義保教授に深く感謝いたします。

本論文の副査を受けくださり、適切な助言を頂きました比企静雄教授と野嶋栄一郎教授に感謝の意を表します。

さらに、本論文執筆において適切なお助言を頂きました慶応義塾大学富田豊教授に深く感謝いたします。

本研究を進めるにあたり、特に博士課程 2 年生の藤巻吾朗君、同じく小山秀紀さん、寺岡拓研究員には論文共著、解析手法を提案する上で椅子に関する様々なことを話せる相手として 5 年間、本当にありがとうございました。

すでに卒業され、社会で活躍していらっしゃる山家真希子さんと乗松美香さんに、本論文の基礎作りに参加して下さったこと、生涯忘れることはありません。

研究を円滑に進めるために、奨学金等で助成していただきましたエルゴシーティング株式会社には多大なる感謝をいたします。本論文のデータ収集にご協力いただいた日本フリーランスインテリアコーディネーター協会の皆様にもありがとうございました。

最後に野呂研究室全ての研究生に感謝するとともに、お礼の言葉を述べさせていただきます。