

環境とインタラクトした人間の行動生成モデル
の構築に関する研究：乳幼児のよじ登り行動
を例とした基礎モデルの検討

Construction of a Generative Model of Human Behavior in
Interaction with Environment: A Study of a Fundamental
Model Using Infant Climbing Behavior as an Example

2012年2月

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

経営システム工学専攻 人間生活工学研究

野守 耕爾

目次

第 1 章 序論	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 人間の行動生成モデルの従来研究.....	3
1.2.1 行為の生成に関するモデル.....	5
1.2.2 行為の成否に関するモデル.....	6
1.2.3 行為の可能性に関するモデル.....	7
1.2.4 行為の動機づけに関するモデル.....	9
1.3 環境とインタラクトした人間の行動生成プロセスの仮説モデル.....	12
1.4 研究目的.....	14
1.5 研究の対象.....	15
1.6 本論文の構成.....	16
第 2 章 研究方法	18
2.1 人間の自然な行動生成のモデル構築のアプローチ.....	18
2.1.1 モデルの対象行動と説明変数(環境・人間)の候補の設定.....	18
2.1.2 自由な行動の観察実験のデザインと実施.....	19
2.1.3 行為の生成モデルと行為の成否モデルの構築.....	20
2.1.4 モデル統合による人間の自然な行動生成のモデル構築.....	21
2.1.5 モデル構築のアプローチのまとめ.....	21
2.2 モデル化の対象とする人間.....	22
2.3 利用する乳幼児の事故データベース.....	24
2.4 テキストマイニング.....	25
2.5 ベイジアンネットワーク.....	26
2.5.1 ベイジアンネットワークの概要.....	26
2.5.2 ベイジアンネットワークを用いる理由.....	28
2.6 用語の定義.....	30

第 3 章 モデルの対象行動と説明変数の候補の設定	35
3.1 本章の目的	35
3.2 本章の方法	35
3.3 モデルの検討行動の設定	35
3.3.1 本節の目的	35
3.3.2 本節の方法	36
3.3.3 テキストマイニングのための辞書の作成	37
3.3.4 環境と行動の関係データの抽出	39
3.3.5 マイニング結果の検索システムの開発	40
3.3.6 乳幼児の環境に対する行動群の抽出	42
3.3.7 モデルの対象とする乳幼児行動の設定	47
3.4 モデルにおける環境の説明変数の候補の設定	48
3.4.1 本節の目的	48
3.4.2 本節の方法	48
3.4.3 乳幼児のよじ登り行動が生成された環境群の抽出	48
3.4.4 よじ登り行動生成に関連すると思われる環境特性の考察	49
3.4.5 モデルにおける環境の説明変数の候補の設定	51
3.5 モデルにおける乳幼児の説明変数の候補の設定	52
3.5.1 本節の目的	52
3.5.2 本節の方法	52
3.5.3 よじ登り行動生成に関連すると思われる乳幼児特性の考察	52
3.5.4 モデルにおける乳幼児の説明変数の候補の設定	54
3.6 本章のまとめ	54
第 4 章 行動観察実験のデザインと実施	56
4.1 本章の目的	56
4.2 本章の方法	56
4.3 行動観察実験のデザイン	56
4.3.1 本節の目的	56
4.3.2 よじ登り行動観察用の環境の作成	56

4.3.3 実験部屋のデザイン	62
4.3.4 実験計画のデザイン	63
4.3.5 実験における倫理的配慮	64
4.4 実験の実施	64
4.4.1 本節の目的	64
4.4.2 実験の実施手順	64
4.4.3 実験の実施結果	65
4.5 本章のまとめ	67
第5章 行為の生成モデルの構築	68
5.1 本章の目的	68
5.2 本章の方法	68
5.3 モデルの構築のための準備	68
5.3.1 モデル構築のための行為の生成データの収集	68
5.3.2 モデル構築のための変数のカテゴリ化	71
5.4 乳幼児のよじ登り行為の生成モデルの構築と考察	73
5.4.1 乳幼児のよじ登り行為の生成モデルの構築	73
5.4.2 モデルを用いたよじ登り行為の生成確率の計算	74
5.4.3 仮説モデルのプロセスに関する考察	78
5.5 モデルの評価と考察	81
5.5.1 交差検定によるモデルの予測精度の検証	81
5.5.2 高い予測精度に関する考察	85
5.5.3 予測が外れる行為があったことに関して	87
5.6 本章のまとめ	90
第6章 行為の成否モデルの構築	91
6.1 本章の目的	91
6.2 本章の方法	91
6.3 モデル構築のための行為の成否データの収集	91
6.4 乳幼児のよじ登り行為の成否モデルの構築と考察	94

6.4.1 乳幼児のよじ登り行為の成否モデルの構築	94
6.4.2 仮説モデルのプロセスに関する考察	95
6.4.3 よじ登り行為の成否に関係する変数の考察	96
6.5 本章のまとめ	98
第7章 まとめと考察	100
7.1 モデル統合による乳幼児の自然なよじ登り行動の生成モデル構築 ..	100
7.2 本研究の検討結果の要約	101
7.3 計算モデルを構築したアプローチに関する考察	104
7.3.1 説明変数の候補の設定について	104
7.3.2 自由な行動の観察実験の実施について	105
7.3.3 プロセスの分解と統合によるモデル構築について	106
7.4 本研究のアプローチの適用可能範囲と限界に関する考察	106
7.4.1 本研究のアプローチの適用可能範囲に関する考察	107
7.4.2 本研究のアプローチの限界に関する考察	108
7.5 行動生成の基礎モデルとしての利用に関する考察	109
7.6 構築したモデルの環境評価への適用	111
7.6.1 評価対象の環境の設定	111
7.6.2 モデルを用いた評価のための仮定	112
7.6.3 よじ登り行為生成の確率マップの作成	114
7.7 本章のまとめ	116
第8章 結論	118
8.1 結論	118
8.2 今後の課題と展望	119
付録	120
A. 作成した18個のよじ登り行動観察用の箱	120
B. 実験実施の際に被験者の保護者に配布した資料	124
B.1 実験の説明書	125

B.2 被験者の調査書	127
C. 全被験者のよじ登り行為の生成頻度と成否の割合	128
C.1 身長 80cm 未満の被験者の結果	128
C.2 身長 80cm 以上 90cm 未満の被験者の結果	130
C.3 身長 90cm 以上の被験者の結果	132
謝辞	133
参考文献	134
研究業績	141

第1章 序論

本章では、本研究を始めるにあたっての研究背景とそれに関連する従来研究、その従来研究を踏まえて仮説として構築した行動生成のプロセスモデル、そしてその仮説モデルを検討していく本研究の目的とその対象について述べる。

1.1 研究背景

人間の日常生活において、人間に合わせた適切な環境を設計し、人間の生活を支援するためには、人間が環境とインタラクトするときの挙動を理解し、環境を評価することが重要である。(なお、「人間が環境とインタラクトする」とは、その人間自身にとってその環境がどのような存在なのかという、環境と自身の関係性を人間が知覚することを意味するものとして、本研究では定義する。)このような問題意識に対して、環境とのインタラクションにおける人間の挙動を再現するコンピュータモデルを構築し、コンピュータ上で環境に対する人間の挙動を事前に評価するバーチャルヒューマンの研究がある[金出ら, 2002]. バーチャルヒューマンの研究とは、実際の人間を観察し、その観察した結果をバーチャルヒューマンモデルのパラメータとして記述し、観察したのとは別の条件での人間の挙動を再現・模擬し、その結果を再び実際の人に提示する、という一連の技術を包含した研究領域であり、本研究では、環境が与えられたときに、環境に対して実際の人間と同様の挙動をコンピュータ上で再現する仮想人間と定義する。

これまでバーチャルヒューマンに関する研究では、運動学的分析による動作する人間の関節角度の計算[Phillips & Badler, 1991]や、モーションキャプチャによる実際の動作の計測と再現[Lee et al, 2002]など、人間の「動作」の生成に関する研究が盛んに進められてきた[長谷, 1999]. これらは、与えられ

た環境で指定された「行動」をする人間の「動作」を生成し、環境を評価するものであり、人間の動作や関節トルクの観点から、乗りやすい運転シート的设计 [花井, 2001] や負担のない作業ライン的设计 [井上, 2001] など、環境の人間適合性評価に利用されてきた [持丸, 2001]。

人間の日常生活における環境の評価では、人間が環境とインタラクトしたときに、そもそもどのような「行動」をするのか、あるいはしないのか、ということを理解することも重要である。環境や人間の条件に応じてバーチャルヒューマンが人間の自然な行動を自律的に生成できれば、「行動」の観点から環境を評価でき、与えられた環境で起こり得る行動の予測や、行動を促進、あるいは抑制する環境の設計評価などが可能となる。これは例えば、環境において、事故につながるような人間の行動が生成される可能性を評価し、それを通じた事故防止の支援などへ応用が期待される。(なお、「人間の自然な行動」とは、本研究では、実際の人間の振る舞いと同様に、行為することもあればしないこともあり、行為をしても達成することもあれば失敗することもあるような行動を意味するものとして用いている。)

これまで提案されている、環境とインタラクトしたバーチャルヒューマンの行動を生成する方法としては、環境ごとにすでに用意された幾つかの行動の情報をユーザが指定することで行動を生成する方法があるが [Ishii et al, 2000] [保手浜, 2004]、環境や人間の条件が変化した場合には、その都度行動を生成しなくてはならないし、そもそもどのような行動をするのかということユーザがあらかじめ指定しており、行動しないことも含めて、自律的に人間の自然な行動を生成する方法とはなっていない。環境や人間の条件が変化しても、人間の自然な行動を自律的に生成するためには、環境と人間を説明変数に、行動を目的変数として記述した行動生成の計算モデル、すなわち環境と人間の条件から行動生成に関する情報をコンピュータ上で出力可能なモデ

ルを構築することが求められるが、まだそれは十分確立されていない [Thalmann, 2005]. バーチャルヒューマンの行動生成に関する研究は、まだ日が浅く発展途上であり、人間系の科学技術では、特に人間行動の計算モデルを構築することは今後の中期的な課題として指摘されており [富田ら, 2008], まさにこれから築き上げていくべき研究領域といえる。

もしそのようなモデル、つまり環境が与えられたときに、人間の自然な行動を自律的に生成できる計算モデルが構築されれば、人間の「行動」の観点から日常生活における環境をコンピュータ上で事前に評価可能となり、日常生活空間における生活者の行動理解を通じた情報支援サービスへの応用などが期待される [本村ら, 2009].

このように、環境評価に向けた、行動するバーチャルヒューマン開発の初期課題として、環境と人間の条件から、人間の自然な行動を生成する計算モデルの構築が求められるが、そのためにはまず、どのようにしてそれを進めていけばよいかという、考え方の基礎となるモデルを示すことが必要といえる。

1.2 人間の行動生成モデルの従来研究

行動するバーチャルヒューマンのモデル構築には、人間の行動生成をモデル化することを試みた従来の研究が参考になるとと思われる。そこで本節では、人間の行動生成モデルに関する従来の研究について述べる。なお本研究では、「行動」と「行為」という用語を区別して用いている。用語の詳しい定義は第2章で述べるが、「行為」とは行動の構成要素であり、人間の動機づけによって始発された自発的な行いとし、「行動」とは動機づけが形成されて行為が生成され、またその行為の結果が見られるまでのプロセス全体を指す用語として用いる。本節では、人間の行為や行動の生成モデルに関する従来研究を整理する。

人間の行動生成の従来の代表的なモデルには、「行動遷移モデル」と「環境とのインタラクション行動モデル」がある。

前者の「行動遷移モデル」は、複数の行動の時系列的な遷移を確率的にモデル化し、現在の行動から次の行動を予測するものである。例えば、起床から外出までの一連の行動をペトリネットでモデル化したものや[真部ら, 1997], 住宅内での日常的な生活行動をマルコフ連鎖でモデル化したもの[山本, 2007], 市街地での車の走行を if-then ルールでモデル化したものなどがある[永井, 2011]。これらは行動の時間的な変化や習慣性に重点を置いてモデルを構築するもので、現在の行動から人間に適切な支援サービスを提示するシステムを実現したり、普段と異なる異常な行動を検出したりすることに有効である。

後者の「環境とのインタラクション行動モデル」は、環境とインタラクトした際に生じる人間行動を対象に、環境と行動を変数として表現し、その関係をモデル化することで、環境から行動を予測するものである。これは前者の行動遷移モデルと異なり、環境と行動との関係性に重点を置いてモデルを構築するもので、現在の環境の条件から人間に適切な支援サービスを提示するシステムを実現したり、人間の行動に合わせた環境や、人間の行動を促進・制御する環境を設計したりすることに有効である。

本研究では、環境評価に向けて、環境が与えられたときの人間の自然な行動をコンピュータ上で生成可能にするため、環境と人間を説明変数に、行動を目的変数としたモデルを構築することを対象としており、前者の「行動遷移モデル」のような、時間的に変化する行動や習慣化された行動は対象外となり、本研究では扱わない。一方、環境を説明変数として行動生成をモデル化する、後者の「環境とのインタラクション行動モデル」に関する研究が参考となるため、これについて、モデル化の対象、モデル化の条件、モデルにおける具体的な

目的変数と環境と人間の説明変数，モデル化方法という観点でまとめたものを表 1.1 に示し，表 1.1 における各研究の位置づけを整理したものを図 1.1 に示す．以下にそれらの従来研究について述べる．

1.2.1 行為の生成に関するモデル

(1) 関数を用いたモデル

環境とインタラクトした人間の行動のモデル化の始まりには，社会心理学の始祖である Lewin の場の理論がある(表 1.1①)[Lewin, 1951]．Lewin は，人間の行動 b は人間 p と環境 e の関数であるとし， $b=f(p, e)$ でモデル化をした．これはあくまで考え方として提唱されたもので，具体的な計算モデルには結びついていなかったが，近年では，実際の行動データに統計的手法を用いてこれを具体的に計算モデル化する研究がなされている．特にドライビングシミュレータを用いた運転者行為のモデル化が盛んであり，人間の変数は不十分であるが，例えば，右折待ちをしている運転者が，対向車の状況を判断して，どのタイミングで右折をするのかということ，対向車との距離や対向車の速度を説明変数として，ロジスティック回帰式でモデル化している研究や(表 1.1②)[関沢ら，2006]，前方車両を回避する際のステアリング操作量を，前後車間距離や相対速度，相対位置を説明変数として，重回帰式でモデル化している研究がある(表 1.1③)[山田ら，2006]．

(2) 条件付き確率を用いたモデル

一方，本村は，不確実性のある人間の行動を，Lewin のように決定論的な関数によって一般的に定式化することが難しいという点から，環境 e とインタラクトした人間 p の行動 b を，条件付き確率 $P(b|p, e)$ によって確率論的にモデル化することを提案している(表 1.1④)[本村ら，2010]．特に複数の変数間の

確率的因果構造をモデリングでき、変数の確率的推論が可能なベイジアンネットワークを用いて、人間の行為を確率論的にモデル化する研究が近年盛んに行われており、その成果が報告されている。

例えば、一時停止交差点での運転者の減速行為を対象に、ブレーキのタイミングと減速度を目的変数とし、交差点の見通し角度や天候、先行者・通過車両の有無といった環境の説明変数、運転者の減速度傾向という人間の説明変数によってモデル化している研究がある(表 1.1⑤)[大桑ら, 2007]。また、近年では、ユビキタスセンシング技術の発展により、子どもの遊び行為をセンシングしてモデル化する研究も始められている。例えば、ロッククライミング遊具を登る子どもの手足の位置を、ホールド(石)の形状や、年齢、身長、体重、直前の手足の位置から予測するモデルや(表 1.1⑥)[Ouchi et al, 2010]、石垣型遊具を子どもが登るときに発生する腕の筋電位といった、行為生成時の生理情報を、石の窪み深さや、年齢、身長、体重、握力、直前の手足の位置から予測するモデルが構築されている(表 1.1⑦)[川上ら, 2008]。

1.2.2 行為の成否に関するモデル

以上に示した従来研究は、行為が達成されることを前提においてのモデルとなっているが、人間の自然な行動を考えた場合、行為をしたものの身体能力が至らずに行為が達成されないこともある。このことは環境評価上重要なポイントであり、例えば事故防止の点からすると、事故につながるような行為の失敗が起り得る環境を評価し、行為をしてもそれが十分達成できる環境設計や、達成できると過大評価してしまう行為をさせない環境設計を講じることで事故の防止を實踐できる。したがってバーチャルヒューマンにおける自然な人間行動の生成モデルでは、人間と同様に行為に失敗することも生成することが求められる。これに対しては、生成された行為の成否を対象にベイジアンネ

ットを用いてモデル化する研究もあり、例えばロッククライミング遊具を登る子どもが落下するか否かを予測するモデルが構築されている(表 1.1⑧)[井上ら, 2011].

1.2.3 行為の可能性に関するモデル

ここまで示してきた従来研究は、行為生成のタイミングやその仕方、あるいは行為生成時の生理情報がモデル化の対象となっている。これらはいずれも行為をすることを前提とした環境評価に用いるために構築されたモデルであり、道路環境に合わせた運転行為のサポートや、子どもの行為に合わせた遊具設計などに対して有益な示唆を与えている。しかし、人間の自然な行動を考えた場合、環境とインタラクトしたときに必ずしも行為が生成されるとは限らない。例えば、自分の能力では達成できないと判断すれば行為をしない、あるいはそもそも行為をする理由がないため行為をしないということがある。このことは環境評価上重要なポイントであり、例えば子どもが遊ぶ環境について考えた場合、環境における行為の起こりやすさを評価することで、事故につながるような行為をさせない環境設計を講じて安全性を確保したり、逆に発達に必要な行為を盛んにさせる環境設計を講じて発達を促す遊具に活かしたりできる。したがって実際の人間と同様に行動するバーチャルヒューマンは、行為をすることだけでなく行為をしないことも生成することが求められる。つまり環境とインタラクトして行為をするか否かという判断を対象にモデル化することが求められる。

(1) 行為の可能性の判断をモデル化するアフォーダンス理論

行為生成の判断に対しては、行為ができるか否かという、行為の可能性の判断をモデル化の対象とするアフォーダンス理論の研究がある。Gibson は、環境と人間のインタラクションにより生成される行為の可能性は、環境の特性

と人間の特性の関係で以って決定されるとし、その「行為の可能性」をアフォーダンスと定義した[Gibson, 1966]. Gibsonのアフォーダンス理論では、このアフォーダンスの情報がもともと環境に内在し、インタラクトする人間の特性に応じて、その人間にできる行為の情報が環境から提示される、つまりアフォードされると考える(表 1.1⑨). 環境とのインタラクションにおいて人間は、環境の特性と自身の特性を知覚することで、行為の可能性を知覚、つまりアフォーダンスを知覚し、行為可能と判断すればその行為を生成する.

このアフォーダンス理論は、Warren によって定量的にモデル化されており、 $\pi = E(\text{環境特性値})/A(\text{人間特性値})$ という、単位なしの π 数によって定式化されている[Warren, 1984]. 指定された行為が可能と判断した際の環境特性値と人間特性値を記録する実験にこの式を用いることで、環境とインタラクトした人間の行為の可能性が定量的に示されている(表 1.1⑩). 例えば脚だけで登れる高さは股下の長さの 0.88 倍であること[Warren, 1984], 座ることのできる高さは脚の長さの 0.9 倍であること[Mark et al, 1990], バーをまたぐかぐぐるかの境界は、バーの高さが脚の長さの 1.07 倍であること[三嶋, 1994]が示されている.

(2) アフォーダンスの知覚にはずれが生じる

ところがこの「行為の可能性」は、あくまで人間が知覚した環境の特性と人間の特性に基づいて決定されるものであり、その知覚は正しいことが前提とされていたが、その知覚は必ずしも正しくなく、実際の行為の可能性とはずれが生じることも報告されている[廣瀬, 2006]. 例えば、間隙を通過する可能性では、間隙を通り抜けられると判断したときの π 数と、実際に通り抜けられる π 数が異なることが報告されている(表 1.1⑪)[Warren & Whang, 1987]. このように 2 つの特性の知覚を間違えることで、できるのにできないと過小評価して行

為をしなかったり、できないのにできると過大評価して行為を試みてしまったりすることが起きてしまう。特に、過大評価の判断がされた行為は、生成されてもそれは達成されず、失敗することになり、先述したロッククライミング遊具での落下行為のモデル[井上ら, 2011]は、これを確率論的にモデル化したものともいえる。

1.2.4 行為の動機づけに関するモデル

アフォーダンス理論は、行為生成の判断の中でも、「行為の可能性」に着目したものであり、その「行為の可能性」は環境の特性と人間の特性の関係によってのみ決定され、人間の意図とは独立していると考えられる理論である。つまり、先述したアフォーダンス理論のモデルでは、ある行為をしようとする動機づけは前提条件としたときに、その行為生成の可能性の判断をモデル化したものである。しかし、人間の自然な行動を考えた場合、可能な行為でもしないことがある。心理学では、人間の行動は、動機づけによって始発されることが基本とされており[山内ら, 2006]、実際の人間と同様に行為しないことも生成するバーチャルヒューマンを開発するためには、行為の可能性による判断だけではなく、動機づけの形成も含めた行為生成の判断も対象にモデル化されるべきである。

これまで示してきた「環境とのインタラクション行動モデル」の従来研究において、具体的な計算モデルを構築する研究は、いずれも行為というイベントが発生している状況の記述を狙いとするものといえる。そのため、モデル構築に用いるデータを収集する行動観察実験は、行為をすること、あるいは行為をしようとする動機づけを条件として被験者に与えて実施したものであり、モデル化の対象となるイベントを実験的に発生させて、それを観察したものとなっている。そのような条件を与えない自由な行動を観察しないのは、これらの研究はそも

そもイベントが発生しないことはモデルの対象外としており、上記の条件を与えなければ、モデル化の対象となるイベントが発生するまで被験者を観察し続け、待機しなければならず、モデル構築に用いるデータ収集の効率が悪いからだと考えられる。

一方、先述した「行動遷移モデル」に関する従来研究[真部ら, 1997][山本, 2007][永井, 2011]では、人間が環境とインタラクトしたときの行動は対象としていないが、日常的な行動の時間変化や習慣性に着目していることから、日常的に観察される全てのイベントがモデル化の対象であり、モデル構築に用いるデータを収集するために実施している実験は、被験者に特に何も指示を与えない自由な行動の観察実験となっており、動機づけの形成も含めた行動がモデル化されている。

動機づけの形成も含めて、環境とインタラクトした人間の行動生成を具体的にモデル化するためには、行為をすることや行為をしようとする動機づけなどの条件を被験者に与えない、自由な行動の観察実験を実施し、その中からモデル化の対象となる行動のデータを収集してモデル化することが必要といえる。(なお、ここでいう「自由な行動の観察実験」とは、実験者が用意した実験空間の中で、特に何かすることを指示しないで、その実験空間の中で被験者が自由に行動している中から、目的の行動を観察する実験を意味している。)

表 1.1 環境とのインタラクション行動モデルに関する従来研究

No.	モデル名	モデル化の対象	モデル化の条件	目的変数	環境の説明変数	人間の説明変数	モデル化方法	文献
①	場の理論	行動全般	—	行動b	環境e	人間p	$b=f(p,e)$	Lewin, 1951
②	運転行為(右折)モデル	行為のタイミング	行為をすること 行為が達成されること	交差点で右折をするタイミング	対向車との距離・対向車速度	—	ロジスティック回帰式	関沢ら, 2006
③	運転行為(回避)モデル	行為の仕方	行為をすること 行為が達成されること	前方車両の回避におけるステアリング操作量	前後車間距離・前後相対速度・左右相対位置	—	重回帰式	山田ら, 2006
④	確率的因果構造モデリング	行動全般	—	行動b	環境e	人間p	条件付き確率 $P(b p,e)$	本村ら, 2010
⑤	運転行為(減速)モデル	行為のタイミング 行為の仕方	行為をすること 行為が達成されること	一時停止交差点でのブレーキのタイミングと減速度	見通し角度・天候・先行者の有無・通過車両の有無	ドライバの減速度傾向	ベイジアンネット	大桑ら, 2007
⑥	子どもの遊び行為(登り)モデル1	行為の仕方	行為をすること 行為が達成されること	ロッククライミング遊具を登る姿勢(手足の位置)	ホールド(石)の形状	性別・年齢・身長・体重・直前の姿勢(手足の位置)	ベイジアンネット	Ouchi et al, 2010
⑦	子どもの遊び行為(登り)モデル2	行為時の生理情報	行為をすること 行為が達成されること	石垣型遊具を登るときに発生する腕の筋電位	石の窪みの深さ	年齢・身長・体重・握力・直前の姿勢(手足の位置)	ベイジアンネット	川上ら, 2008
⑧	子どもの遊び行為(落下)モデル	行為の成否	行為をすること	ロッククライミング遊具を登るときに落下するかどうか	ホールド(石)の形状	性別・年齢・身長・体重・利き手・利き足・直前の姿勢(手足の位置)	ベイジアンネット	井上ら, 2011
⑨	アフォーダンス理論	行為の可能性の判断	行為をしようとする動機づけ	行為の可能性	環境の特性	人間の特性	環境特性と人間特性の関係性による記述	Gibson, 1966
⑩	アフォーダンスの定量モデル	行為の可能性の判断	行為をしようとする動機づけ	脚だけで登れると判断する高さ	段の高さ	股下の長さ	$\pi = \text{環境特性値} / \text{人間特性値}$	Warren, 1984
				手を使わずに座れると判断する高さ	椅子の高さ	脚の長さ		Mark et al, 1990
				バーをまたぐかかぐの判断の境界	バーの高さ	脚の長さ		三嶋, 1994
⑪	アフォーダンスの知覚のずれのモデル	行為の可能性の判断の正確性	行為をしようとする動機づけ	間隙を通り抜けられると判断する幅と実際に通り抜けられる幅	間隙の幅	肩の幅	$\pi = \text{環境特性値} / \text{人間特性値}$	Warren & Whang, 1987



図 1.1 従来研究の整理 (番号は表 1.1 に対応)

1.3 環境とインタラクトした人間の行動生成プロセスの仮説モデル

本研究では先述したように、行動という現象を、動機づけが形成されて行為が生成され、またその生成の結果が見られるまでのプロセス全体と考えている。そして本研究で対象とする、環境とインタラクトした人間の自然な行動生成のモデルとは、環境と人間の特性によって、行為をすることもあればしないこともあり、行為をしてもそれが達成することもあれば失敗することもあるということまで生成できるモデルとなる。これまでに示した、環境とのインタラクション行動モデルに関する従来研究は、行為をすること、あるいは行為しようとする動機づけ、またその行為が達成されることなどの条件が設定されており、その条件が被験者に与えられた実験データに基づいてモデル化したものであり、行動というプ

プロセスの一つの断面をモデル化したものといえる。

そこで本研究でモデル化の対象とする行動生成のプロセスを、先述の従来研究を参考に、仮説モデルとして構築した。これを図 1.2 に示し、以下にその説明を述べる。

環境とインタラクトした人間の行動生成は、その環境特性と人間特性によって説明される。そしてその行動生成とは、「動機づけ」「認知的な行為の可能性」「実際の行為の可能性」という3つのステップで構成される一連のプロセスと仮定する。以下にそのプロセスについての説明を述べる。

まず人間の行動は動機づけによって始発されることが基本とされているため[山内ら, 2006], 人間の自然な行動を議論する場合には、ここから始めるべきである。そこで本研究では、人間の行為は「動機づけ」によって始発され、そもそも動機づけがない場合には行為は生成されないとする。なお行動の動機づけには、当の行動以外に報酬のない内発的動機づけと、外的な報酬を得るための手段として行動する外発的動機づけがあるが、本研究では、内発的動機づけによる行動を対象とする。外発的動機づけは、その報酬特性や、それに対する個人の価値観といった高次の認知特性が関与するため、モデル構造が複雑化することが考えられ、今回は対象外とする。

続いて、動機づけられた行為はすべて生成されるわけではなく、人間が可能と判断した行為が生成されることを捉え、これを「認知的な行為の可能性」と定義し、これに対しては先述したアフォーダンス理論[Gibson, 1966]を援用する。つまり、環境とインタラクトした人間は、環境特性と自身の人間特性に基づいて、動機づけられた行為の可能性を知覚、つまりアフォーダンスを知覚し、行為可能と判断された場合にはその行為が生成され、行為不可能と判断された場合にはその行為は生成されないとする。

最後に「実際の行為の可能性」を評価することとする。これは、先述したとお

り、アフォーダンスの知覚にはずれが生じるという報告[廣瀬, 2006]があるためである。前ステップにおける行為の可能性の知覚が正しく、実際の行為の可能性があれば、生成された行為は達成されるが、その知覚にずれが生じて、行為の可能性を過大評価していた場合には、生成された行為は達成されず、失敗するとする。

つまり本研究で対象とする人間の自然な行動生成は、環境特性と人間特性を説明変数とする、「動機づけ」「認知的な行為の可能性」「実際の行為の可能性」という3つのステップで表現されると仮定する。

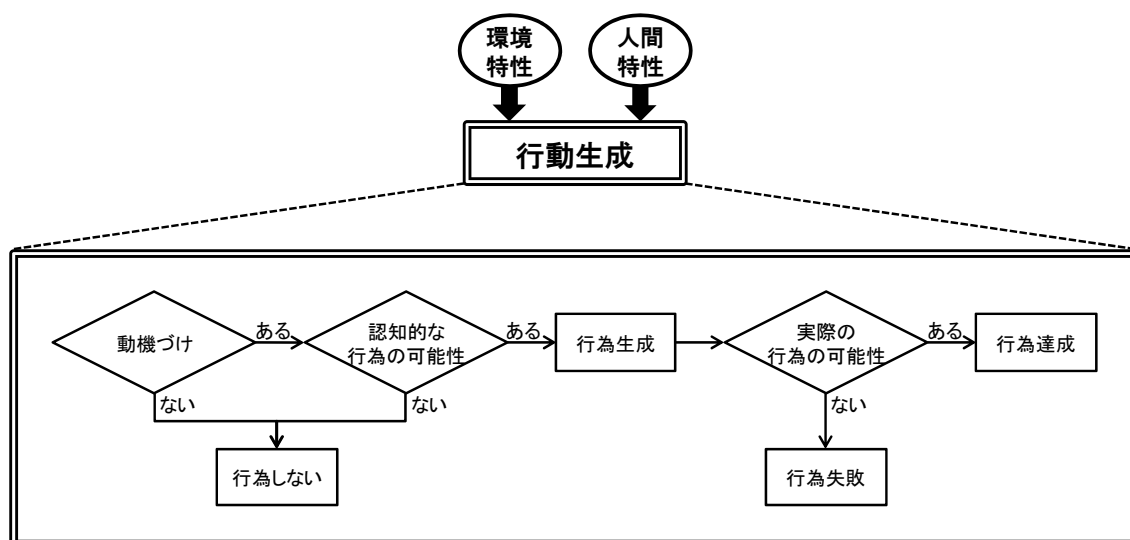


図 1.2 人間の行動生成のプロセスモデル(仮説)

1.4 研究目的

本研究では、環境が与えられたときに自律的に行動するバーチャルヒューマンの開発の第一歩として、環境とインタラクトした人間の自然な行動を生成するための基礎モデルを構築することを目標に掲げる。そこで本研究では、仮説として構築した図 1.2 の行動生成のプロセスモデルをベースとして、このプロセス全体を対象に、行動観察の実験で得たデータに基づいて、人間の自然な

行動生成の計算モデルを構築する。後述するように、本研究では、乳幼児のよじ登り行動を例にその計算モデルを具体的に構築し、それを通じて、仮説のプロセスモデルがバーチャルヒューマンの行動生成の計算モデルを具体的に構築する際の基礎モデルとなり得ることを検討する。(なお、「基礎モデル」とは、データに基づいて具体的に計算モデル化するための基本的な考え方を示すモデルを意味するものとして用いている。)

実際のところ、バーチャルヒューマンの行動を生成させるには、仮説モデルのように人間の心理的、認知的なステップも含むプロセスを仮定せずとも、単に行為が生成されるかどうか、それが達成されるかどうかという結果だけをモデル化すればよいことになる。実際に、行動観察の実験データから具体的に計算モデル化する際にも、観察が困難な人間の内的な要因はブラックボックスとして、行動生成の結果のモデルを構築することになる。しかし仮説モデルのような人間の心理的、認知的なステップも含むプロセスを仮定することは、各ステップにどのような環境と人間の特性が影響しているのかという、具体的なモデルの変数の候補を選択する際の手掛かりとなり得るものである。本研究では、この仮説モデルが、変数選定も含めた、バーチャルヒューマンの行動生成モデル構築の基礎となり得ると考え検討していく。

なお、本研究では、環境が与えられたときのバーチャルヒューマンの行動生成の基礎モデルの検討を対象としており、そのモデルを用いて、バーチャルヒューマンを実際に動かす方法、システムの設計については対象としない。

1.5 研究の対象

本研究で構築する、環境とインタラクトした人間の行動生成モデルを用いた環境評価が求められる分野の一つに、日常生活における乳幼児の事故の予防がある。乳幼児は不慮の事故に巻き込まれることが多く、それが死亡の主な

原因の一つとして知られており、乳幼児の事故予防は大きな社会的課題とされている[日本学術会議, 2008]. 乳幼児は発達過程で日々新たな行動を獲得しており、事故予防のためには、そうした乳幼児の行動特性を理解することが重要とされている[田中, 2007]. また、乳幼児は、自身の身体能力を過大評価しがちな認知特性があり、事故の発生に関連していることが報告されている[Plumert & Schwebel, 1997]. つまり、本研究で構築する行動生成モデルを用いることで、事故につながるような行為の生成や、アフォーダンスの知覚のずれによる行為の失敗が起こり得る環境を評価し、その結果を提示することで、保護者や施設管理者の注意喚起の促進や、それらの現象が起こりにくい環境の設計など、事故予防の実践に向けた支援が可能となる。

そこで本研究では、日常生活において乳幼児が環境とインタラクトして起こる乳幼児の事故理解を研究の適用場面に想定し、その事故の原因となり得る乳幼児行動を対象として計算モデルを具体的に構築することとした。

なお、仮説モデルの検討対象として乳幼児を取り上げる理由については第2章で述べる。

1.6 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

第1章(本章)では、研究の背景とそれに関連する従来研究を述べ、それを踏まえて行動生成の仮説モデルを構築し、それを検討していく本研究の目的とその対象について述べている。第2章では、どのように人間の自然な行動生成モデルを構築するのかという本研究のアプローチ、またモデル化の対象とする人間や、計算モデル構築の際に用いるデータや分析手法、本研究で用いる用語の定義について述べる。第3章では、計算モデルを具体的に構築する対象行動とその環境と人間の説明変数の候補を選択するため、乳幼児の事

故データベースのテキストマイニングに基づいた環境と行動との関係分析や、仮説のプロセスモデルや先行研究に基づいた考察について述べる。第4章では、行動生成の計算モデル構築に用いるデータを収集するために実施した、乳幼児のよじ登り行動の観察実験について述べる。第5章では、行動観察データに基づいて構築した、行為の生成モデルについて述べる。第6章では、行動観察データに基づいて構築した、行為の成否モデルについて述べる。第7章では本研究の検討結果の全体のまとめと考察を述べ、また構築した計算モデルを用いた環境評価の試みについて述べる。第8章では本研究の結論と今後の課題について述べる。

第2章 研究方法

本章では、人間の自然な行動生成のモデルを構築する本研究のアプローチについて述べる。またモデル化の対象とする人間や、モデル構築の際に用いるデータや分析手法について述べる。最後に本研究で用いる用語の定義について述べる。

2.1 人間の自然な行動生成のモデル構築のアプローチ

本研究では、前章で示した仮説のプロセスモデルをベースにして、①モデルの対象行動と説明変数(環境・人間)の候補の設定、②自由な行動の観察実験のデザインと実施、③行為の生成モデル構築、④行為の成否モデル構築、⑤構築した2つのモデルの統合、という手順によって、環境とインタラクトした人間の自然な行動生成の計算モデルを具体的に構築していく。このアプローチによって仮説のプロセスモデルが、バーチャルヒューマンの行動生成モデルを構築する基礎モデルとなり得ることを検討する。図 2.1 にこの研究アプローチを示し、以下にそのアプローチの詳細について述べる。

2.1.1 モデルの対象行動と説明変数(環境・人間)の候補の設定

まず、具体的に計算モデルを構築する対象行動とその説明変数の候補を設定する。

本研究では、第1章第5節で述べたように、乳幼児の事故理解を想定しているため、乳幼児の事故の事前行動をモデルの対象行動に設定する。また計算モデル構築のためのデータは、自由な行動の観察実験から収集するため、日常的によく観察される行動を対象に設定することが望ましい。これを場当たりのではなく、事実に基づいて設定するため、乳幼児の事故発生までの経緯が記述された乳幼児の事故データベースを分析する。乳幼児の事故は、

特殊な原因によって発生するものではなく、日常的な行動から発生するとされており[西田ら, 2005], 事故データを分析することで、日常的によく観察される、事故の事前行動を抽出できることが期待される。具体的には、乳幼児の行動を含む事故発生の経緯が詳細に記述された事故データにテキストマイニングを実行することで、環境と行動の関係データを抽出し、その結果から、環境とインタラクトしてよく生成される行動を選択し、モデルの対象行動として設定する。

続いて、モデルの説明変数の候補として、設定した行動の生成に関係すると思われる環境特性と人間特性を設定する。説明変数の候補も場当たり的ではなく、根拠に基づいて設定するため、環境特性に関しては、テキストマイニングで抽出した環境と行動の関係データを利用し、事故が発生したときに、設定した対象行動が実際に生成された環境群を抽出し、その行動生成に関連する環境特性を考察して設定する。一方人間特性(乳幼児特性)に関しては、事故データベースには細かい特性が記録されないため、仮説のプロセスの各ステップにおいて関連すると思われる人間特性を、先行研究を参照しながら考察して設定する。

このモデルの対象行動と説明変数の候補の設定に関しては、第3章で述べる。

2.1.2 自由な行動の観察実験のデザインと実施

行動生成の計算モデル構築に用いる行動データを収集するため、設定したモデルの対象行動と説明変数の候補に基づいて、対象行動を観察する実験をデザインし、実施する。

環境とインタラクトした人間の行動生成モデル構築に関する従来の研究は、行為をすることや行為が達成されること等が条件として被験者に与えられた規

定実験を実施し、そこで得られた行動データに基づいてモデル化をしていた(例えば[大桑ら, 2007][Ouchi et al, 2010][Warren, 1984]). これに対し本研究では、人間の自然な行動生成をモデル化するため、被験者に行為をすることなどの条件を与えず、あくまで実験室での自由な行動の中から、モデル化する行動を観察し、行動データを収集する。

この行動観察実験のデザインと実施に関しては、第4章で述べる。

2.1.3 行為の生成モデルと行為の成否モデルの構築

仮説のプロセスモデルにおいて、行動観察実験で観察できる対象は、行為が生成されたか、されなかったか、という“行為の生成の有無”と、行為が生成されたならばその行為が達成されるか、失敗されるか、という“行為の成否”である。この観点から仮説のプロセスモデルは大きく2つに分解でき、それは、「動機づけ」と「認知的な行為の可能性」のステップに基づく“行為の生成モデル”と、「実際の行為の可能性」のステップに基づく“行為の成否モデル”である。この2つのモデルはそれぞれ条件が異なるものであるので、仮説のプロセスモデルは、その全体を対象として一度に計算モデル化することは困難である。そこで本研究では、仮説のプロセスモデルをこの2つのモデルに分解して、それぞれを計算モデル化し、再び統合することで、環境とインタラクトした人間の自然な行動生成の計算モデルを構築する。

それぞれのモデルの計算モデル化手法には、前章で示した従来研究において、環境とのインタラクション行動の計算モデル化に近年よく用いられ、その成果が報告されており、複数の変数間の関係構造のモデル化と変数の確率的な推論が可能なベイジアンネットワークを用いる。これにより、“行為の生成モデル”に関しては、行動観察実験から行為の生成の有無に関するデータを収集し、①環境特性、②人間特性、③行為の生成の確率的な関係構造をモ

デル化する。一方“行為の成否モデル”に関しては、行動観察実験から行為の成否に関するデータを収集し、①環境特性、②人間特性、③行為の成否の確率的な関係構造をモデル化する。

行為の生成モデルの構築に関しては、第5章で、行為の成否モデルの構築に関しては、第6章で述べる。

2.1.4 モデル統合による人間の自然な行動生成のモデル構築

構築した2つの計算モデルを統合することで、環境特性と人間特性という変数から、その人間がその環境とインタラクトしたときに、行為をする確率、しない確率、また行為をするならば、それを達成する確率、失敗する確率を計算することが可能となるモデルを構築する。つまり、実際の人間と同様に、環境や人間の条件によって、行為をすることもあればしないこともあり、行為をしてもそれが達成することもあれば失敗することもあるということまで生成できる、環境とインタラクトした人間の自然な行動生成の計算モデルを構築する。

このモデル統合による人間の自然な行動生成のモデル構築に関しては、第7章で述べる。

2.1.5 モデル構築のアプローチのまとめ

仮説のプロセスモデルをベースとした以上のアプローチによって、人間の自然な行動生成の計算モデルを具体的に構築することで、その仮説モデルが、バーチャルヒューマンの行動生成モデルを具体的に構築する際の、考え方となる基礎モデルとなり得ることを検討する。さらに構築した計算モデルを用いて環境の評価を行うことで、モデルの有用性についても検討する。

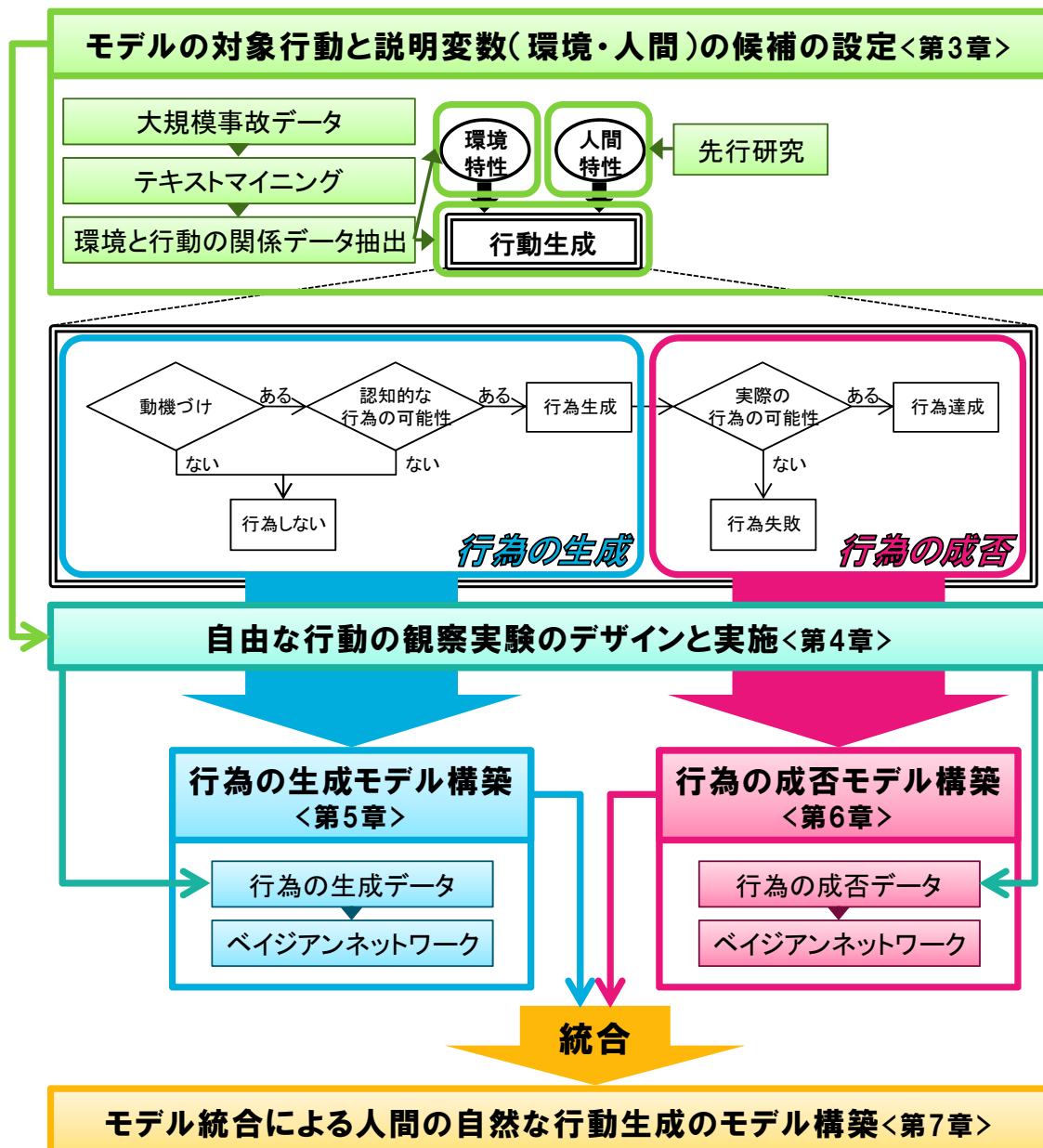


図 2.1 人間の自然な行動生成の計算モデル構築のアプローチ

2.2 モデル化の対象とする人間

第 1 章第 5 節で述べたように、本研究では「乳幼児」を対象に、仮説のプロセスモデルを具体的に検討していく。その理由は以下の 2 つが挙げられる。

(1) 環境とインタラクトして生成する行動が観察されやすいため

一般に人間は、成長に伴い、生得的な行動から、学習された行動を獲得していく。Minsky の 6 階層思考モデル[Minsky, 2006]によると、乳幼児期は本能や衝動により行動や思考が左右され、成長するにつれて自我が生まれ、成人になると、価値観や理想、タブーという思想や倫理観が複雑に絡み合っ、て、思考や行動に影響されることが示されている。つまり乳幼児は、環境とインタラクトして生成する行動が生得的であると期待され、その行動の生成には上記のような学習された要素が入り込まないことが大多数と考えられる。

また乳幼児は、発達段階の過程において、環境の中の特定の要素に敏感に反応し、集中してこれと関わりを持とうとする一過性の敏感期があり [Montessori, 1982], 発達段階によって好まれる行動、挑戦する行動が明らかとされている[田中ら, 1981a][田中ら, 1981b]. 人間の自然な行動生成において、その動機づけは心理的なものである、それを同定することは困難であるが、乳幼児の場合には、行動の敏感期が動機づけ形成の大きな要因として考えられる。またその敏感期は月齢に対応して区分されるため、計測が容易となる。そこで本研究では、仮説のプロセスモデルにおいて、「動機づけ」に「敏感期」を当てはめて検討していく。

乳幼児期の子どもは自身の身体能力を過大評価する傾向があることが報告されており[Plumert, 1995][Adolph et al, 1993][根ヶ山, 2000], 仮説モデルにおいて、アフォーダンスの知覚のずれが観察されやすいと思われる。

このように本研究では、環境とインタラクトした人間の自然な行動生成のモデルを構築する研究の第一歩として、その行動が観察されやすいと期待される乳幼児を検討対象に取り上げる。

(2) 社会的意義が高いため

第1章第5節で述べたように、乳幼児の事故予防は大きな社会的課題であり、乳幼児の事故を理解し、その予防を支援する上で、乳幼児の行動生成をモデル化することは意義あることといえる。

2.3 利用する乳幼児の事故データベース

モデルの対象行動と環境の説明変数の候補を設定する際には、乳幼児の事故データベースを利用することとなるが、本研究では独立行政法人産業技術総合研究所の事故サーベイランスシステム[本村ら, 2006b]によって大規模に収集され、公開がされている子どもの事故データベース[産総研, 2011]を利用する。

この事故データベースは、医療機関において、医療従事者が来院患者(子ども)の保護者から事故の内容の聞き取り調査を行い、その記録情報が収集されたものである。その記録項目は、性別・年齢・発達段階といった事故にあった子どもの情報や、事故の種類・怪我の種類・怪我の部位といった事故の情報であるが、実際の事故の詳しい状況や原因となった子どもの行動などは自由記述によって記録されている。

医療機関には、あらゆる子どもが来院するので、医療機関で収集された事故データの子どもの分布に大きな偏りが生じる心配は少ないといえる。またこの事故情報の記録方法は、アンケート用紙に保護者自らが記入する形式ではなく、医師や看護師という、傷害の専門家がインタビュアーとなって実施する聞き取り調査であるため、どのようにして傷害が起きたのかという事故発生の詳細な情報を収集できるだけでなく、事故の直後の記録であるため、保護者の記憶がまだ鮮明であり、詳細な事故状況を記録できる。

このようにこの事故データベースは、子どもの行動を含む事故発生の詳細が

記録され、それは信頼できるものであり、本研究の目的に適するものと考えられるので、本研究では、この事故サーベイランスシステムによって収集された4,238件の子どもの事故データを用いて、特に事故の詳細な状況が記録された自由記述文に対してテキストマイニングを実行し、どのような環境に対してどのような行動がとられているのかという、環境と行動との関係データを抽出する。

2.4 テキストマイニング

テキストマイニングは、テキストデータを対象としたデータマイニングの技術であるが、主に2つの機能を持っている。1つは文章を意味を持つ最小の文字列(形態素)に分割し、その品詞を特定する形態素解析であり、もう1つは抽出した形態素を文節にまとめ、文節間の係り受け関係(主語と述語、修飾語と被修飾語などの関係)を抽出し、文章の構造を解析する構文解析である。

本研究では、子どもの事故データから、環境とそれに対する行動の関係データを抽出するため、まず事故データの自由記述文に含まれる名詞を形態素解析により抽出し、その中から「環境」といえるものを選択し、その抽出された環境に対する行動(「動詞」と「～する」という接続で動詞となる「サ変接続の名詞」)の係り受け関係を構文解析により抽出することで、どのような環境でどのような行動が実際に発生しているのかという、環境と行動の関係データを抽出する。本研究では、テキストマイニングソフトウェアとして、(株)数理システムのText Mining Studio 3.1を使用する。

またこのテキストマイニングソフトウェアには、自然言語解析エンジンが用いる各単語の品詞が網羅されたマスター辞書と、漢字と読み仮名の統一辞書という2つの辞書が搭載されているが、自由記述文において、使用される表現には統一性が保証されないことが多く、単純に自由記述文のテキストデータをソ

フトによってテキストマイニングしても質の高い結果が得られにくい。そこで本研究では、今回利用する子どもの事故データにおいて、不統一な表現を統一したオリジナルの辞書を作成し、これを併用する。

2.5 ベイジアンネットワーク

本研究では、行為の生成モデルと行為の成否モデルの計算モデルを行動観察データから構築する手法としてベイジアンネットワークを用いる。以下にベイジアンネットワークの概要と、本研究の具体的なモデル化手法として用いる理由を述べる。

2.5.1 ベイジアンネットワークの概要

ベイジアンネットワークとは、複数の確率変数の間の定性的な依存関係を非循環有向グラフによって表わし、その変数間の定量的な関係を条件付き確率表によって表わした確率計算モデルである[本村ら, 2006a]。ベイジアンネットワークを用いた計算には次の2つがある。1つは統計データと変数の定義から、それらを最もよく説明するモデルを計算機が構築する「統計的学習」であり、もう1つは構築したモデルを用いて、観測した変数群から未観測の対象の確率分布を計算する「確率推論」である。この両者が組み合わさることで、1)まず実環境で得られるデータから計算モデルを自動的に構築し、2)さらにこれを利用して予測や推論、最適な制御を行うシステムが実現できる。

ベイジアンネットワークでは、確率変数をノード、変数間の依存関係を有向リンクによって表わす。例えば X_i , X_j の間の条件付依存性をベイジアンネットワークでは $X_i \rightarrow X_j$ と表す。リンクの先に来るノード(この場合は X_j)を子ノード、リンクの元にあるノード(この場合は X_i)を親ノードと呼ぶ。親ノードが複数あるとき子ノード X_j の親ノードの集合を $\pi(X_j) = \{X_1, X_2, \dots, X_i\}$ と書くことにする。 X_j

と $\pi(X_j)$ の間の依存関係は次の条件付確率によって定量的に表される。(ただし $\pi(X_j)$ が空集合の時は事前確率分布となる.)

$$p(X_j | \pi(X_j)) \quad (1)$$

さらに n 個の確率変数 X_1, X_2, \dots, X_n のそれぞれを子ノードとして同様に考えると, 全ての確率変数の同時確率分布は式(2)のように表せる. こうして各子ノードとその親ノードの間にリンクを張って, 図 2.2 に示すようなベイジアンネットワークが構築され, これらの変数の確率的な関係がモデル化される.

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod p(X_j | \pi(X_j)) \quad (2)$$

ベイジアンネットワークを使うことで, 一部の変数を観測した時のその他の未観測の変数について, その確率分布を推論することができる. 例えば観測された変数の情報(e)から, 求めたい確率変数(X)の確率値, すなわち事後確率 $P(X | e)$ を求め, それにより X の期待値や事後確率最大の値, ある仮説の確信度(いくつかの変数が特定の値の組をとる同時確率)などを評価できる.

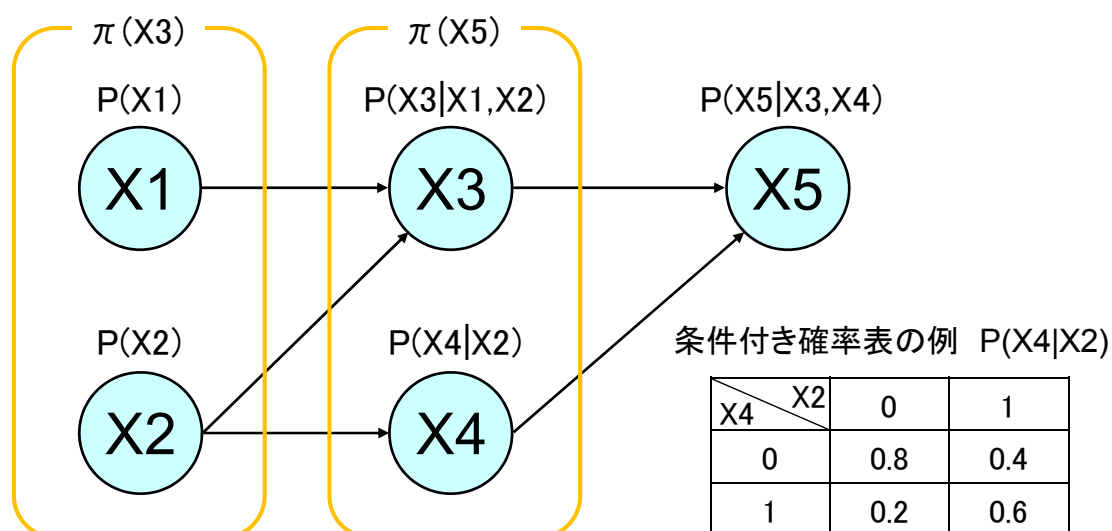


図 2.2 ベイジアンネットワークの概要図

ベイジアンネットワークにおけるグラフ構造の決定は、各子ノードごとに最適な親ノードの接続を探索する Greedy アルゴリズムとして以下の手順で実現される。

- ① 各ノードについて親ノードとなり得る候補を限定する。
- ② ある子ノードを一つ選び、候補となる親ノードを一つずつ加えてグラフを作る。
- ③ そのグラフの下で条件付き確率を学習し、情報量基準を評価する。
- ④ 評価が高くなったときだけ親ノードとして採用する。
- ⑤ 親ノードとして加える候補がなくなるか、加えても評価が高くならなかつたら他の子ノードへ移る
- ⑥ 全ての子ノードについて①～⑤を繰り返すことで、最適なグラフ構造を探索する。

なお、上記のアルゴリズムにおける全てのグラフ構造の探索では、親ノードの数が増えるとその探索空間が爆発的に増大し、全解探索が困難となる。そこで③でのモデルの評価基準には尤度に加え、できるだけ少ない親ノードを取るようなペナルティ項を考慮する必要がある。本研究ではモデルを評価する情報量基準として、AIC(Akaike's Information Criterion)[Akaike, 1973]を用いる。AIC とは式(3)のように表わされ、モデルの当てはまりの悪さと複雑度を足し合わせた指標となっている。

$$AIC = -2\log(L) + 2k \quad (3)$$

(L: 最大尤度, k: 自由パラメータ数)

2.5.2 ベイジアンネットワークを用いる理由

本研究では、環境や人間の複数の説明変数から人間の行動生成(行為の生成と成否)を生成できる計算モデルを構築することが目的である。

まず、人間の行動は非常に不確実性のある現象であるため、本村が提案しているように[本村ら, 2010], 決定論的な関数ではなく確率論によって非決定論的にモデル化をすることが適切だと考えられる。特にベイジアンネットワークは、(1)実データから複数の変数間の因果構造モデルが構築可能、(2)構築されたモデルを用いて観測した変数群から未観測の対象の確率分布が推論可能という特徴を持つため、行動生成における環境特性と人間特性の関係を把握でき、またその環境と人間の複数の変数から、人間の行動を確率的に生成可能なモデルを構築でき、本研究の目的と合致する。

またベイジアンネットワークは、情報量基準を用いることで、複数の説明変数の候補から、統計的に有意な説明変数を絞ることにしても有効な手段である。本研究では、まずモデルの説明変数(環境と人間)の候補を仮説として複数設定し、それに基づいて実験をデザインし実施するが、ベイジアンネットワークを用いることで、その中でも意味のある説明変数を選択し、シンプルな計算モデルを構築できる。

さらにベイジアンネットワークは、不連続な確率分布によるモデリング手法であり、変数間の線形の共変関係に基づいてモデリングが行われることが多い回帰モデルや因子分析、共分散構造分析などと比べて、線形性や正規性の仮定がなく、交互作用も表現可能であり、モデル化の自由度は高いといえる。このようにベイジアンネットワークは、どのような分布を形成するのか、交互作用があるのかないのかを事前に分からない対象に対して、実データに基づいてモデル化する手法として有効であるといえる。

以上から、本研究では、環境や人間の複数の説明変数から人間の行動生成を予測計算可能なモデルを、行動観察の実験データから構築する手法としてベイジアンネットワークを用いることとする。

なお本研究では、実データから最適なベイジアンネットワークを自動的に構

築し、そのうえで確率推論が実行できるソフトウェア, BayoNet[Motomura, 2001]を使用する.

2.6 用語の定義

本研究で用いる用語に対して、本研究の目的に基づいて以下のように定義する.

(1) 環境

本研究では、環境とインタラクトした人間の自然な行動生成のモデルを構築することを目的としているので、人間の外界にあり、人間とインタラクトして行動を生成させる全ての対象を環境と呼ぶことができる. その中でも本研究では、例えば、椅子に座る、階段を登る、食器を掴むなど、日常的な「もの」を目的語とした、人間の姿勢が連続的に変化するような行動に着目している. そこで本研究で扱う環境とは、人間の身体と同様のスケールで計測できるような、物理的な形・大きさという静的な状態の特性を持つ「もの」とする.

人間の身長を大きく超えたビルや、人間が視覚的に認知できないほどの小さな粒子などは該当しない. また一度力を加えると運動を続けるもの(例:ブランコ, ボール)や、時間的に状態が変化するもの(例:燃えるろうそく, 溶ける氷, 煙を出すタバコ, 映像の変わるテレビ)といった、動的な状態の特性を持つものは除外される. これに伴い、自分以外の他の人間や動物, 植物といった生命体や、他の人間によって操作・操縦された乗物・機器, 人間が構築した知能に基づいて動くロボットなど, 自らの意思, あるいは他の意思によって自身の挙動を変化させているものも除外される.

(2) 乳幼児

本研究では、学習された行動を十分獲得しておらず、行動のほとんどが生得的であることが期待される人間として乳幼児を取り上げている。一般に、人間は、成長に伴い、生得的な行動から学習された行動を獲得していくため、より生後に近い子どもが対象となる。また先述したとおり、乳幼児期の動機づけられる行動は、敏感期の影響が大きいと考えられるが、その行動の敏感期は3歳を境に、前期(0～3歳)と後期(3～6歳)に分けられており、前期で基本的な行動を獲得し、後期で複雑な行動へ発展させていくとされる[Montessori, 1982]。そこで本研究では、3歳未満の子どもを対象とする。

特に本研究では、第3章で述べるように、よじ登り行動を対象に検討していくので、よじ登り行動に関連する発達行動が多く見られる子どもが対象となる。よじ登り行動に関連する発達行動とは、つかまり立ちをする行動から、階段などを容易に登る行動とし、これらの行動が見られる月齢児を対象とする。子どもの発達判定法であるDENVER II(日本版)[日本小児保健協会, 2003]や、子どもの発達行動に関する先行研究から[田中ら, 1981a][田中ら, 1981b], それに該当するのは、月齢10ヶ月～2歳半ばであり、本研究で乳幼児と呼ぶ子どもとはこの範囲となる。

(3) 行為と行動

本研究では、人間が環境とインタラクトしたときに、行為をすることもあればしないこともあり、その行為をしてもそれが達成されることもあれば失敗することもあるということまでを対象としてモデルを構築し、それを人間の自然な行動生成のモデルと呼ぶ。そこで行為と行動という用語を区別して用いることにする。行為とは、人間の動機づけによって始発された、環境に対して人間の姿勢が連続して変化するような自発的な行いとする。行動とは、行為を含むプロセス

であり、行為をしようとする動機づけの形成から始まり、その動機づけに基づいて行為が生成され、その行為の結果(成否)までを呼ぶことにする。つまり、行為とは、動機づけを前提とした、外的に観察可能な環境に対する行いを指し、行動とは、行為だけでなく、行為前の動機づけの形成や、行為後の結果(成否)も含めたプロセス全体を指す。なお、動機づけがなく、人間の姿勢がたまたま偶発的に変化したと思われる現象や、注視点の移動、頭の中での思考といった人間の姿勢が変化しない現象は、行為に含めない。

(4) 行為の生成・達成・失敗，行動の生成

上記の定義に基づき、行為の生成とは、人間の姿勢が連続して変化する自発的な行いが外的に観察されたことである。行為の達成とは、行為の生成の結果、最初に動機づけられていた行為が生成できたことであり、行為の失敗とは、それが生成できなかったことである。しかし、動機づけは外的に観察が難しい人間の内的なものであるため、客観的にその生成された行為が達成なのか失敗なのか区別することは困難であり、対象とする行為ごとにその達成と失敗の状態を定義することが必要である。本研究では、環境に対するよじ登り行為を対象に検討していくが、よじ登るのは環境の上に乗りたいからだと仮定し、よじ登り行為の達成とは、よじ登ろうとした結果、立つ、乗る、座るなど、環境の上に身体を乗せきれた状態と定義し、よじ登り行為の失敗とは、よじ登ろうとした結果、環境の上に身体を乗せきれなかった状態と定義する。

一方、行動の生成とは、上記の定義のプロセスが観察されたことであり、動機づけに基づく行為の生成が観察され、その結果、その行為の達成か失敗が観察されたこととする。

(5) 動機づけ

本研究では心理学で用いられる「動機づけ」の定義を引用する。動機づけとは、行動の理由を考える時に用いられる大概念であり、行動を一定の方向に向けて生起させ持続させる過程を指す[中島ら, 1999]。人間の行動は、人間の欲求に基づいて、欲求の対象となる誘因を求め、行動の直接的な推進力となる動機によって生起すると考えられている。動機づけは、これらの行動の発現と維持に関わる要因を含むプロセス全般に対する概念である。動機づけの概念の捉え方は、各研究パラダイムによって異なり、確定的な定義はないとされているが、本研究では、行為を生起させる心理的過程として用いる。

動機づけは、内発的動機づけと外発的動機づけに大別して用いられることがある[無藤ら, 1990]。内発的動機づけとは、当の行動以外には明白な報酬が全くなく、行動をすること自体が目的となる動機づけであり、一方外発的動機づけとは、外的な報酬を得る手段として行動をする動機づけである[無藤ら, 1990]。例えば、ある乳幼児がソファの上に登ればお菓子をあげると言われ、そのお菓子をもらうために環境によじ登る行為は外発的に動機づけられた行為であるが、何も報酬が与えられないのにソファによじ登る行為は内発的に動機づけられた行為である。

第1章で述べたとおり、本研究で用いる動機づけは、内発的動機づけを対象とし、外発的に動機づけられる行動は対象としないこととする。特に本研究では乳幼児を対象に具体的にモデルを構築していくが、本章の第2節で述べたとおり、その内発的動機づけに、乳幼児の発達段階による「行動の敏感期」を当てはめて検討する。

(6) アフォーダンス

本研究では Gibson のアフォーダンス理論における定義を引用する[佐々木, 1994]. アフォーダンスとは, 環境と人間との関係で決定される, 環境の持つ「行為の可能性」である. この行為の可能性は人間の意図には依存せず, 環境の特性と人間の特性との関係によって, その人間のできる行為とできない行為が決定される. 本研究ではこの行為の可能性を, 「認知的な行為の可能性」と「実際の行為の可能性」に分類して用いる.

認知的な行為の可能性とは, 人間の知覚したアフォーダンスであり, 人間の知覚した環境の特性と自身の特性によって決定される行為の可能性である. 認知的な行為の可能性があるということは, その人間がその行為をできると判断しているということであるが, 本当にその行為ができるかどうかは分からない.

実際の行為の可能性とは, 実際の環境の特性と人間の特性によって決定される行為の可能性であり, 不変的な意味でのアフォーダンスである. 実際の行為の可能性があるということは, その人間がその行為を実際にできるということである.

この認知的な行為の可能性と実際の行為の可能性が一致しないとき, アフォーダンスの知覚にずれが生じていると呼ぶことにする.

第3章 モデルの対象行動と説明変数の候補の設定

3.1 本章の目的

本章では、仮説のプロセスモデルをベースとして、具体的に構築する計算モデルの対象とする乳幼児行動と、その行動生成の説明変数の候補を、環境と乳幼児という2つの視点から設定する。

3.2 本章の方法

乳幼児の事故データベースを利用し、そのデータにテキストマイニングを実行することで、環境と行動の関係データを抽出し、その結果から、環境とインタラクトしてよく生成される、事故の事前行動を選択し、モデルの対象行動として設定する。

続いて、モデルの説明変数の候補として、設定した行動の生成に関連すると思われる環境特性と人間特性を設定する。環境特性に関しては、先程のテキストマイニングで抽出した環境と行動の関係データを利用して、設定した対象行動が実際に生成された環境群を抽出し、その行動生成に関連すると思われる環境特性を考察して設定する。乳幼児特性に関しては、仮説のプロセスの各ステップにおいて関連すると思われる乳幼児特性を、先行研究を参照しながら考察して設定する。

3.3 モデルの対象行動の設定

3.3.1 本節の目的

本節では、乳幼児の事故データベースを利用し、そのデータにテキストマイニングを実行することで、環境とインタラクトしてよく生成される、事故の事前行

動を選択し、具体的に構築する計算モデルの対象とする乳幼児行動として設定する。

3.3.2 本節の方法

独立行政法人産業技術総合研究所の子どもの事故データベース[産総研, 2011]における自由記述文のデータにテキストマイニングを実行することで、環境と行動の関係データを抽出する。これにより、事故が発生したときに各環境に対して実際に生成された行動群を抽出し、その結果からよく生成されている行動をモデルの対象として設定する。

なお、テキストマイニングは日本語の文法に基づいて、品詞分解された単語を文章データから抽出する手法であるので、名詞や動詞といった品詞を指定したときの単語やその係り受け関係を抽出できるが、本研究で独自に定義した「環境」と「行動」は認識ができないためそのまま抽出することはできない。そこで、テキストマイニング用に「環境」と「行動」を設定してそれを抽出し、その結果の一覧において、本研究の定義に基づいた「環境」と「行動」を取捨選択することにする。

具体的に、テキストマイニングにおける「環境」は、「名詞」のうち、固有名詞や語幹としての名詞を除いた「一般名詞」として抽出する。テキストマイニングにおける「行動」とは、「動詞」と「～する」という接続で動詞となる「サ変接続の名詞」として抽出する。本研究では「もの」に対する行動に着目しているため、抽出した「一般名詞」の中から「もの」といえる名詞を選択し、その「もの」に対する「動詞」と「サ変接続の名詞」の係り受け関係を分析することで、環境と行動の関係データを抽出する。そしてその中から本研究の定義に従う「環境」と「行動」の関係データを利用することとする。

3.3.3 テキストマイニングのための辞書の作成

事故データの自由記述文において、使用される表現には統一性が保証されないことが多い。例えば「おもちゃ」と「玩具」や「体重計」と「ヘルスメータ」はそれぞれ同じ意味だが表現の仕方が異なっている。また「椅子」と「イス」や「けんか」と「ケンカ」など、同じ意味を表す言葉でも漢字やひらがな、カタカナなどの表記ゆれが存在したり、コンピュータに入力する際の変換ミスが生じたりすることも多い。そのため単純に自由記述のテキストデータをテキストマイニングしても質の高い結果が得られにくい。

そこで本研究では、テキストマイニングソフトウェアにすでに搭載されている辞書(自然言語解析エンジンが用いる各単語の品詞が網羅されたマスター辞書と、漢字と読み仮名の統一辞書)を使用してテキストマイニングを実行し、それらの辞書でも対応できない不統一な表現に対して、同じ意味を持つ複数の表現を一つの表現に統一する類義語辞書を独自に作成した。本研究における類義語辞書作成の基本手順は、ソフトを用いたテキストマイニングによる単語の抽出結果を確認し、その結果の中の不統一な表現に対して類義語とそれらの代表語を設定することで類義語辞書を作成し、それを反映させたテキストマイニングを再度実行する、という作業を繰り返すことで辞書の作成・更新を行った。

本研究では、事故データのテキストマイニングによって環境と行動の関係データを抽出することが狙いであるので、「環境の種類」と「行動の種類」に関する類義語辞書を作成した。「環境の種類」の辞書では、テキストマイニングによって抽出された「一般名詞」の中から、「もの」と考えられる名詞に関して辞書を作成し、「行動の種類」の辞書では、その辞書によって統一された環境に対する「動詞」と「サ変接続の名詞」の係り受け分析を行い、そこで抽出された結果に対して辞書を作成した。「環境の種類」では全 2,389 語の類義語辞書を、

「行動の種類」では全 697 語の類義語辞書を作成した。それぞれの辞書の例を表 3.1, 表 3.2 に示す。

表 3.1 環境の類義語辞書

代表語	品詞	類義語		
炊飯器	名詞 一般	炊飯器	炊飯ジャー	
テレビ	名詞 一般	テレビ	TV	液晶TV
		液晶テレビ	TV(液晶TV)	
カメラ	名詞 一般	カメラ	デジカメ	デジタルカメラ
丸イス	名詞 一般	丸イス	丸椅子	丸いす
懐中電灯	名詞 一般	かいちゆう電灯	かいちゆうでんとう	懐中でんとう
こたつ	名詞 一般	コタツ	こたつ	コタツテーブル
		こたつの机		
体重計	名詞 一般	体重計	ヘルスマーター	
ベビーチェア	名詞 一般	ベビーチェア	ベビーチェアー	離乳食椅子
		子供用の椅子	子供用椅子	椅子(子ども用)
		子供専用のイス	子供用のイス	子供用イス
		子ども用テーブル付きラック		
ケース	名詞 一般	ケース	衣装ケース	箱
		ボックス	プラスチックケース	衣類ケース
		木の箱	ダンボール箱	人形ケース
		プラスチック衣類ケース	ガラス製の人形ケース	
ドライヤー	名詞 一般	ドライヤー	ドライアー	
足台	名詞 一般	足台	木の踏み台	脚立
		子供用の踏み台	踏み台	
積み木	名詞 一般	積み木	積木	つみ木
		つみき	大型積木	カラー積木
		積み木(50cm四方のもの)		
縄	名詞 一般	縄	わら縄	長縄
		ロープ		
乾燥剤	名詞 一般	乾燥剤	アイディシート	シリカゲル
		おせんべい内の乾燥剤	靴の乾燥剤	お菓子の乾燥剤
殺虫剤	名詞 一般	殺虫剤	巣コロリ	アースノーマット
		アリノスコロリ	アリの巣コロリ	
おわん	名詞 一般	おわん	お茶碗	お椀
		おわん	御椀	味噌汁のおわん

表 3.2 行動の類義語辞書

代表語	品詞	類義語		
かぶる	動詞 自立	被る かぶり行う	かぶせる	かぶり乗る
けんかする	動詞 自立	喧嘩	ケンカ	けんか
なめる	動詞 自立	取りなめる	舐める	開けなめる
飲む	動詞 自立	飲み込む のみこむ	持ち飲む 飲みこむ	飲むこむ 内服
滑る	動詞 自立	すべる すべり降る	滑り下りる 滑らせ倒れる	すべり降りる
下りる	動詞 自立	おりる 下る	降りる	降る
挟む	動詞 自立	はさむ 挟まりひく	挟まる はまる	はさまる 挟み泣く
見る	動詞 自立	みる 聞かれ見る	見ている	見ていする
座る	動詞 自立	腰掛ける 坐す	腰かける 正座	すわる
衝突する	動詞 自立	激突	追突	衝突
乗る	動詞 自立	乗車 のる かぶり乗る	乗っかる 乗り遊ぶ 乗り込む	のっかる 乗りつかまり立つ 乗りこむ
着替える	動詞 自立	着替え 着換える	着がえ 着がえる	着換え
登る	動詞 自立	上る 上がり遊ぶ 上がる 上り触る	のぼる よじる よじ登る 上れる	昇る よじのぼる 登る
飛び降りる	動詞 自立	飛び下りる 跳び下りる	跳び降りる	上り下りる
立つ	動詞 自立	立ち上がる 立ちあがり	たつ 立ち上がり振りむく	立ちあがる
落ちる	動詞 自立	落下 ずり落ちる	すべり落ちる おちる	滑り落ちる
片付ける	動詞 自立	片づける	片づく	片付け

3.3.4 環境と行動の関係データの抽出

本研究では、4,238 件の子どもの事故データの自由記述文のテキストマイニングによって、文章中に含まれる環境を抽出し、その各環境に対する行動の係り受け分析を行うことで、環境と行動の関係データを抽出した。

係り受け分析の対象とした環境の種類は、テキストマイニングによって抽出された環境のうち、出現頻度が 5 件以上となる 209 種類の環境とした。これらの全 209 種類の環境に対し行動の係り受け分析を行った結果、439 種類の行動が抽出された。

3.3.5 マイニング結果の検索システムの開発

本研究ではこの抽出結果を用いて、モデルの対象行動と、環境の説明変数の候補を設定し、行動生成の具体的な計算モデルを構築していくが、今後、仮説モデルをベースとした本研究と同様のアプローチで異なる対象の計算モデルを構築していく場合には、その対象に応じて条件を新たに変えたときの結果を見られるツールが求められる。そこで本研究では、今回のテキストマイニングの抽出結果の検索システムを開発する。

なお、今回の抽出結果は、4,238 件の子どもの事故データの自由記述文から、環境と行動の関係のみを抽出した結果であるが、モデルの対象行動や環境の説明変数の候補を設定する際には、この情報だけでなく、モデル構築の対象とした人間に限定した結果や、その環境と行動の結果どのような事故が関係しているのか、その背景となった事故の詳しい状況などの情報も得ることが望まれる。そこで 4,238 件の事故データの自由記述文のテキストマイニングによって抽出された環境と行動の関係データに対して、事故データベースの定型入力項目となっている、事故に遭った子どもの年齢(0歳から19歳)の情報と、その事故の種類(その他を含む全 27 種類)の情報、さらにテキストマイニングの分析基となった、事故データの自由記述文を対応させ、これらの全関係データをデータベース化し、指定した条件からその条件に関する情報を検索できる検索システムを開発した。本検索システムの開発方法は、データベース管理システムである SQLite を用いることで、これらの「環境」「行動」「事故」「子どもの年齢」の関係データと、事故データの自由記述文のデータをデータベース化し、C++と GUI デザインライブラリ Qt を使って開発をした。開発した検索システムを図 3.1 に示す。

開発した検索システムでは、「環境」「行動」「事故」「子どもの年齢」という項目から条件を設定して検索ができる。各項目の中から指定したい検索条件を

選択し、その検索条件下の事故データにおいて、条件を指定しなかった項目の内容が、出現頻度の高いものから順に出力される。さらに検索結果の中から、各項目の内容を選択し、条件を絞り込んで、分析基となった自由記述文を出力できる。例として示す図 3.1 では、「環境」を“椅子”と指定したときの他の項目の検索結果が表示されている。特に、その検索結果の中から、“登る”という「行動」を指定し、その条件下での自由記述文が出力されている。

なお、本検索システムで検索対象となる環境の種類と行動の種類は、テキストマイニングによって抽出された 209 種類の環境と 439 種類の行動のうち、行動との係り受け関係が 2 件以上存在する 205 種類の環境と、その 205 種類の環境に対して 2 件以上の係り受け関係が存在する 256 種類の行動を検索対象としている。

本検索システムを用いることで、ある環境で実際に発生した各年齢児の子ども行動、あるいはある年齢児の行動が発生した環境を、発生した事故の種類とともに把握することが可能となる。また分析の基となった事故データの自由記述文も閲覧することで、その詳細を把握することもできる。このような利用が可能という点で本検索システムは、本研究とは異なる対象でモデルを構築する際にも利用が期待できる。

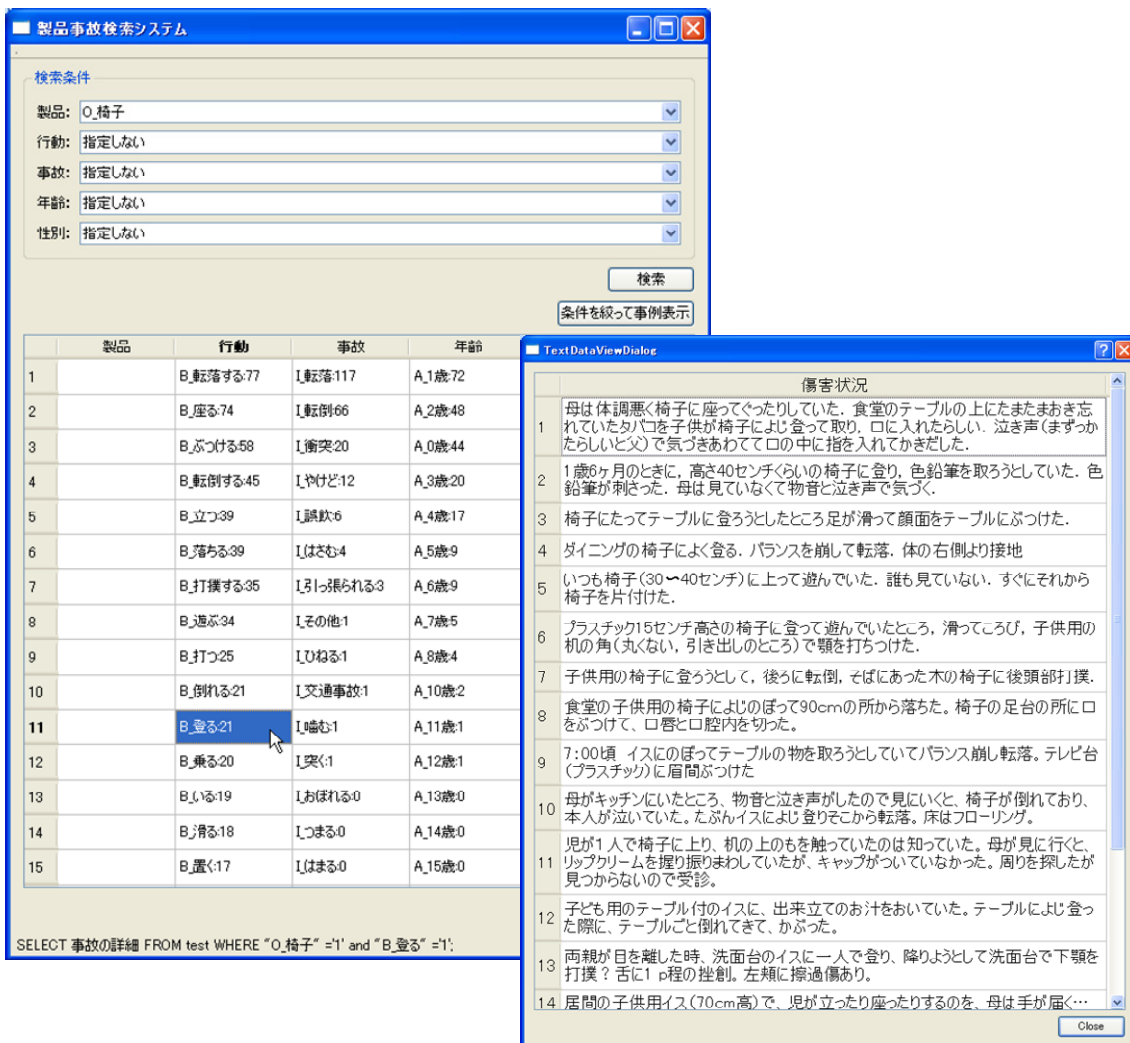


図 3.1 環境・行動・事故・子どもの年齢の関係データの検索システム

3.3.6 乳幼児の環境に対する行動群の抽出

開発した検索システムを用いて、乳幼児が環境とインタラクトした際に実際に生成された行動群を検索する。

まず、本研究で対象としている乳幼児は第 2 章第 6 節の用語の定義でも示した通り、3 歳未満の子どもを対象としており、これに該当する年齢 (0 歳児, 1 歳児, 2 歳児) を条件として指定し、テキストマイニングによって抽出された環境の種類を検索した。検索結果を図 3.2 に示す。なお図中の環境の種類は、検索結果のうち、出現頻度が 20 件以上で、第 2 章第 6 節で定義した「環境」と読

み取れたものに限定している。

続いて、乳幼児が環境とインタラクトした際に実際に生成された行動群を抽出するため、各年齢児の乳幼児において、図 3.2 で抽出された各環境を条件として、その環境と係り受け関係のあった行動の種類を検索した。特に出現頻度の多い、「テーブル」「椅子」「階段」「ベッド」を条件として、係り受け関係のあった行動の種類を検索した結果を図 3.3～3.6 に示す。図中の横軸は、テキストマイニングの係り受け分析によって抽出された行動の種類を示し、縦軸は、その出現頻度を示しており、乳幼児の年齢で内訳されている。なお、図中の行動の種類は、検索結果のうち、各環境との係り受けの出現頻度が 2 件以上で、第 2 章第 6 節で定義した「行動」と読み取れたものに限定している。つまり環境に対して姿勢を変化させるような乳幼児の自発的な行いに限定し、検索結果から、事故を意味するもの(転落する、打撲する、ぶつける等)や保護者の行いと思われるもの(寝かせる、座らせる等)、対象に他の環境が関係しているもの(置く、乗せる、かける等)、表現が抽象的なもの(遊ぶ、使う等)は除いている。

さらにその環境に対する行動がどのような事故に結び付いているのか把握するため、「テーブル」「椅子」「階段」「ベッド」において、図 3.3～3.6 で抽出された、各環境に対する行動を条件として、その環境・行動と関係のあった事故の種類を検索した。その検索結果を「テーブル」「椅子」「階段」「ベッド」に対して、それぞれ図 3.7～3.10 に示す。出現頻度が 2 件未満の事故の種類はその他とした。なお棒グラフの内訳として示された事故の種類は、図 3.3～3.6 で抽出された、環境と行動の係り受け関係を自由記述文に含んだ事故データの事故の種類を示したものであるため、その環境に対する行動が必ずしもその事故の直接的な原因とはなっていないとは限らないことに注意しなければならない。

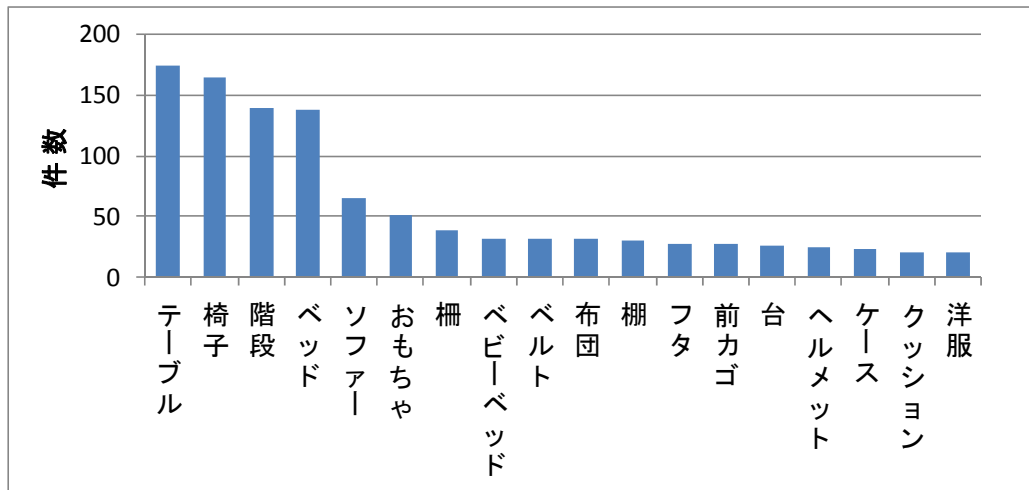


図 3.2 抽出された環境の種類と出現頻度

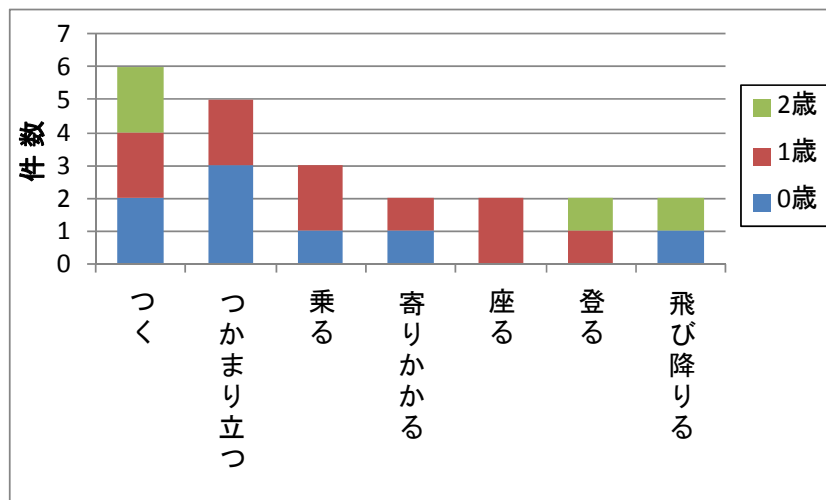


図 3.3 テーブルに対する行動群(年齢別)

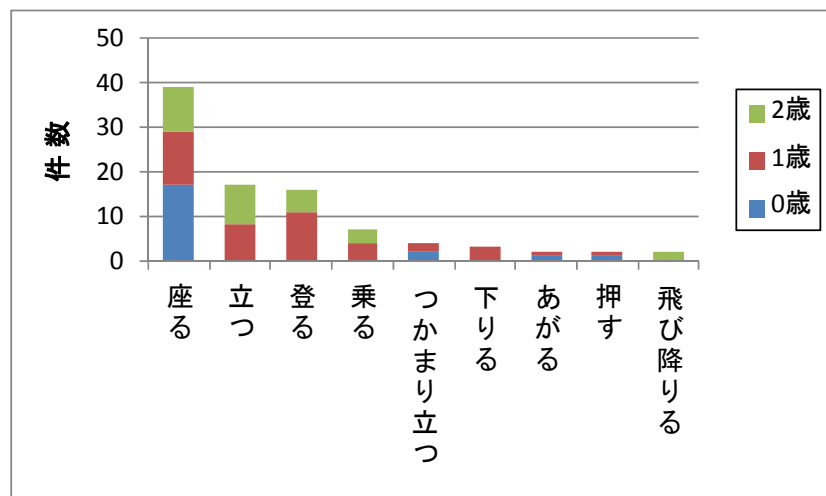


図 3.4 椅子に対する行動群(年齢別)

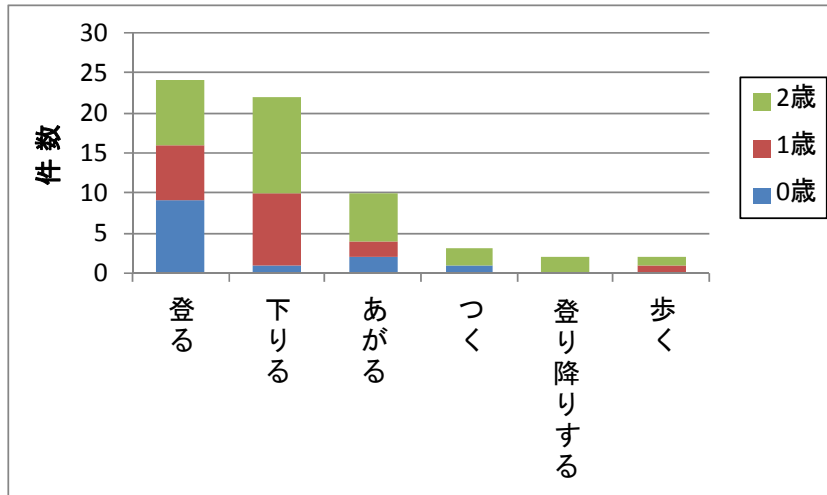


図 3.5 階段に対する行動群 (年齢別)

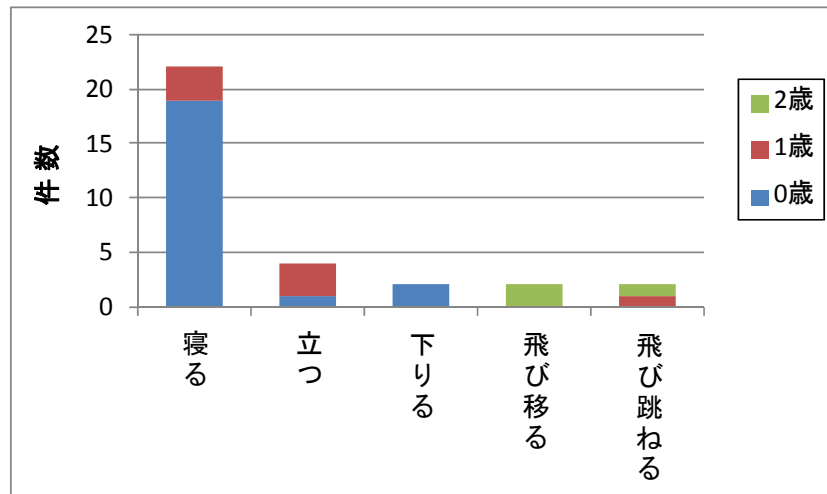


図 3.6 ベッドに対する行動群 (年齢別)

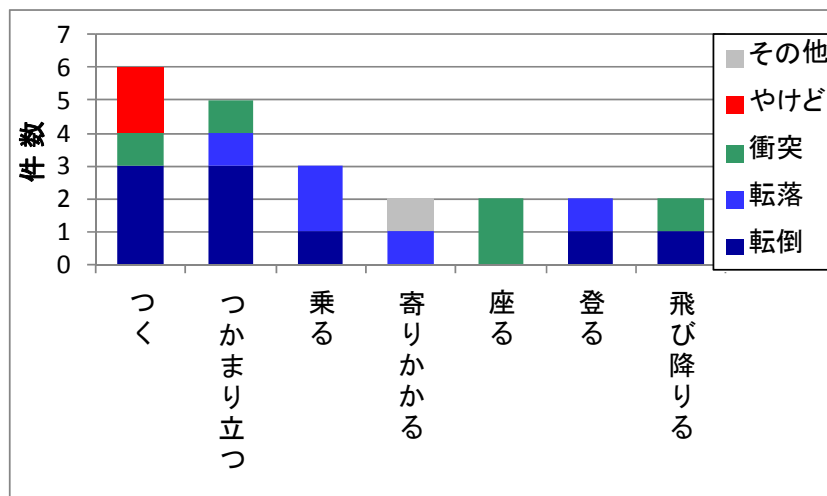


図 3.7 テーブルに対する行動群 (事故の種類別)

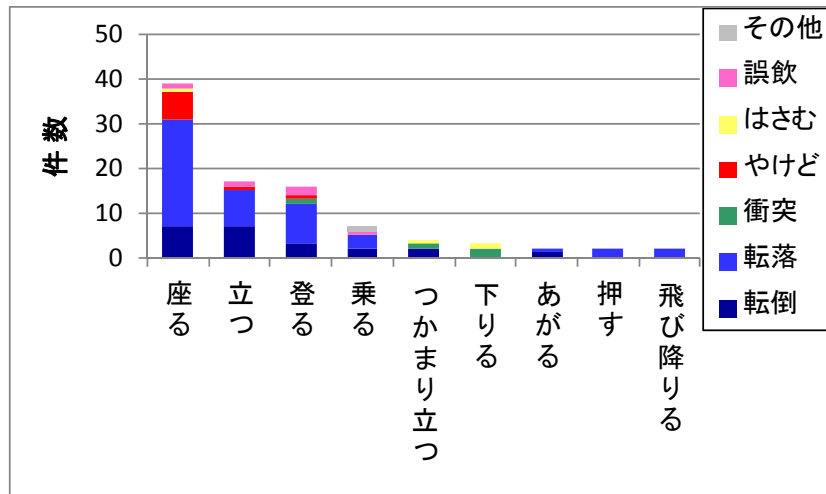


図 3.8 椅子に対する行動群(事故の種類別)

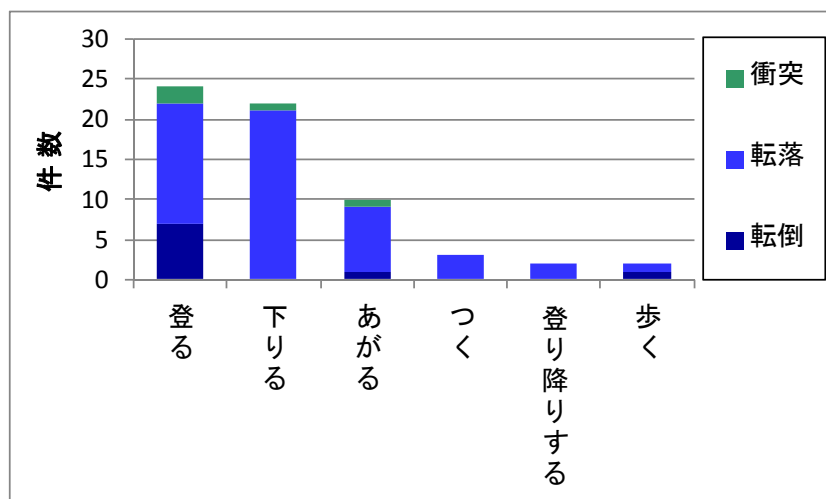


図 3.9 階段に対する行動群(事故の種類別)

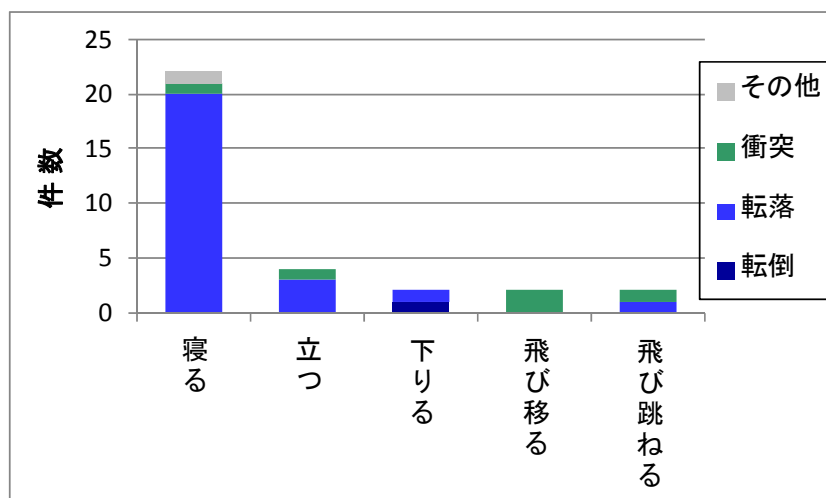


図 3.10 ベッドに対する行動群(事故の種類別)

図 3.3～図 3.6 より、「登る」、「乗る」、「あがる」など、環境に対して垂直方向上方に移動する行動が多く見られる。また「座る」「立つ」「飛び降りる」「飛び移る」なども、「登る」、「乗る」、「あがる」などの行動が事前に生成されて生じる、環境上での行動である。またこれらの行動は、0 歳児、1 歳児、2 歳児のどの年齢の乳幼児でも生成されている。つまり環境の上に身体を乗せようと、環境に対して身体を垂直方向上方に移動する行動が、本研究で対象とするどの乳幼児でもよく観察されると思われる。また、図 3.7～3.10 より、このような行動が転倒・転落のような事故の事前行動となっていると思われる。

一方このような行動は、外的に観察がしやすく、またその行動自体がすぐに転倒・転落などの事故に結びつくものではないので、安全な行動観察実験が可能な対象といえる。

3.3.7 モデルの対象とする乳幼児行動の設定

本研究では、「登る」、「乗る」、「あがる」のように、乳幼児が環境の上に身体を乗せようと、環境に対して身体を垂直方向上方に移動させ、環境の上に身体を乗せる行動を「よじ登り行動」と称して、具体的に構築する計算モデルの対象とする。

なお本研究では、第 2 章第 6 節で定義したとおり、行動は、行為をしようとする動機づけの形成から始まり、その動機づけに基づいて行為が生成され、その行為の結果（成否）までを含めたプロセスとして扱っており、行為の生成とその成否を分けて行動生成モデルを検討する。これに従い、「よじ登り行為」と「よじ登り行動」を以下のように区別する。

「よじ登り行為」とは、環境の上に身体を乗せられたか、あるいは乗せられなかったかという結果は問題とせず、その結果以前を対象とし、外的に観察される、環境に対して身体を垂直方向上方に移動させようとする試みと定義する。そこ

には、手を使わずに足だけで環境の上に踏みあがろうとする行為や、身体全身を使って這いながら環境に登ろうとする行為も含め、環境に対して身体を垂直方向上方に移動させようとして両足がもともと置かれていた面から完全に離れたことが観察されれば、それをよじ登り行為と呼ぶことにする。一方、「よじ登り行動」は、このよじ登り行為という試みに加え、その試みの結果、環境の上に身体を乗せられたか、あるいは乗せられなかったかという行為の成否を含めたプロセスとする。

3.4 モデルにおける環境の説明変数の候補の設定

3.4.1 本節の目的

本節では、具体的に構築する計算モデルの対象として設定した、乳幼児のよじ登り行動の生成に関連すると思われる環境特性を、モデルの説明変数の候補として設定する。

3.4.2 本節の方法

先述の子どもの事故データのテキストマイニングの結果得られた、環境と行動の関係データを用いて、特に図 3.1 の検索システムを用いて、乳幼児のよじ登り行動が実際に生成された環境群を抽出し、よじ登り行動の生成に関連すると思われる環境特性を考察することで、モデルにおける環境の説明変数の候補を設定する。

3.4.3 乳幼児のよじ登り行動が生成された環境群の抽出

図 3.1 の検索システムを用いることで、本研究で対象とする乳幼児の年齢(0 歳児, 1 歳児, 2 歳児)を指定し、よじ登り行動に関連する、「登る」「乗る」「あがる」という行動に対して、それらの行動と係り受け関係のあった環境の種類

を抽出した。その結果、220件のよじ登り行動(「登る」「乗る」「あがる」と係り受け関係を持つ34種類の環境を抽出した。結果を図3.11に示す。図中の横軸は、環境の種類を示し、縦軸は、その環境に対するよじ登り行動(登る・乗る・あがる)の出現頻度を示している。なお図中の環境の種類は、検索結果のうち、出現頻度が2件以上で、第2章第6節で定義した「環境」と読み取れたものに限定している。

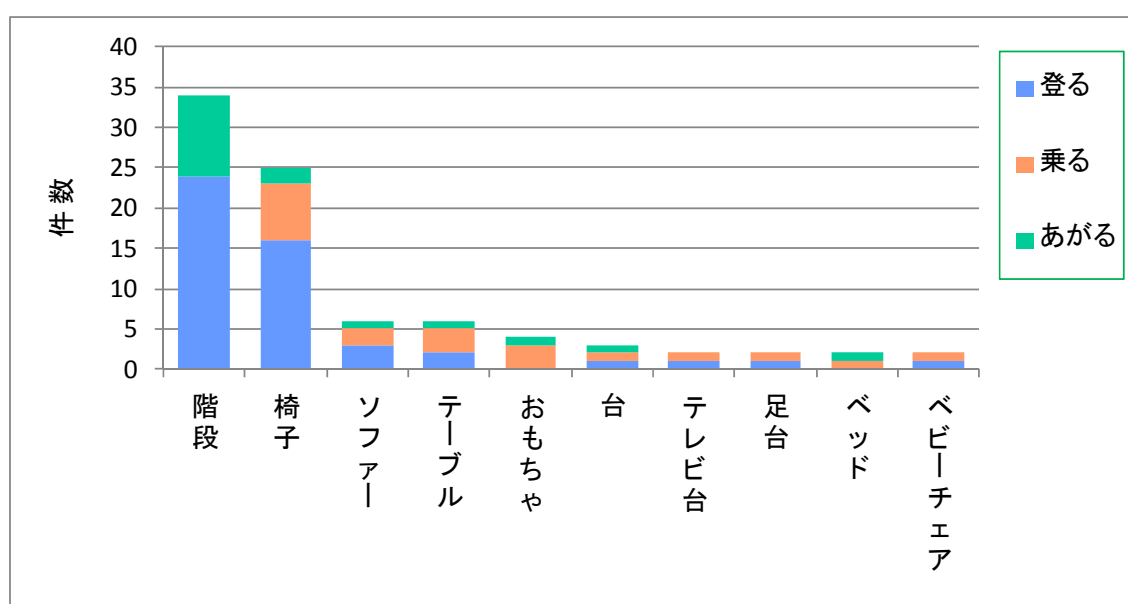


図 3.11 よじ登り行動(「登る」「乗る」「あがる」と係り受け関係をもつ環境の種類と頻度

3.4.4 よじ登り行動生成に関連すると思われる環境特性の考察

図3.11の抽出された10種類の環境それぞれに対して、よじ登り行動の生成において、乳幼児の身体スケールで関連しそうな物理的な特性について考察した。その結果を表3.3に示す。なお高さや重さなどの具体的な特性値は、環境の種類名からだけでは特定できないため、一般的なものを参考にして記述した。高さとは、その環境自体の高さではなく、その環境が持つ、よじ登って乗れ

る面までの高さである。なお環境の色に関しては、同じ種類の環境であっても様々であり特定することが難しく、またその特性は乳幼児の身体スケールで行動生成に関連する特性というより、興味生成に関連する特性であると考えられるため、本研究では色の特性は考慮しないこととした。

表3.3に示した考察を参考にしながら、よじ登り行動の生成に関連すると思われる環境特性を考察し、まとめた。これを表3.4に示す。

表 3.3 抽出された各環境に対する考察

環境	乳幼児の身体スケールで関連しそうな物理的な特性の考察
階段	高さはおよそ20cmである。固定されて動かない。形は直方体で、面積のやや狭い平坦面を持っている。素材は固い。
椅子	高さはおよそ40cmである。重さは数キロ程度である。形は4本の足で支えられており、面積のやや広い平坦面を持っている。製品によって素材は固いもの、柔らかいものがある。
ソファ	高さはおよそ40cmである。重さは数十キロほどあり、ほぼ固定されているといえる。形は直方体が組み合わさった形といえ、面積の広い平坦面を持っている。素材は柔らかい。
テーブル	高さはおよそ70cmである。重さは十数キロ程度である。形は4本の足で支えられており、製品によって異なるが、面積の広い平坦面を持っている。素材は固い。
おもちゃ	製品によって寸法は異なるが、おもちゃに関して、基の事故データの自由記述文を見たところ、車や自動車のおもちゃを意味していたため、その高さはおよそ20cmである。重さは数キロ程度であるが乗物のおもちゃであれば車輪がついているので並進運動をする。形は製品によって大きく異なる。素材は固いものが一般的である。
台	製品によって寸法は異なるが、一般的に使う足台と考えれば、高さはおよそ30cmである。重さは数キロ程度である。形はいくつかの足で支えられているものが多く、面積のやや狭い平坦面を持っている。素材は固い。
テレビ台	製品によって寸法は異なるが、高さはおよそ40cmである。テレビやレコーダーが置かれていると想定すれば、重さは十数キロある。形は4本の足で支えられているものが多く、平坦面を持っているが、テレビが置かれていれば、その面積はやや狭いといえる。素材は固い。
足台	製品によって寸法は異なるが、高さはおよそ30cmである。重さは数キロ程度である。形はいくつかの足で支えられているものが多く、面積のやや狭い平坦面を持っている。素材は固い。
ベッド	高さはおよそ40cmである。重さは数十キロほどあり、ほぼ固定されているといえる。形は直方体といえ、面積のとても広い平坦面を持っている。素材は柔らかい。
ベビーチェア	高さはおよそ50cmである。重さは数キロ程度である。形は4本の足で支えられており、面積のやや広い平坦面を持っている。製品によって素材は固いもの、柔らかいものがある。

表 3.4 よじ登り行動の生成に関連すると思われる環境特性

環境特性	よじ登り行動の生成に与えると思われる影響
形状	表3.3より、足で支えられているものや直方体といえるものがあるが、ほとんどの環境が高さのある平坦面を持っている環境である。よじ登り行為はその環境に乗ろうとする行為であるので、面は平坦の方が登りやすいと考えられる。
高さ	表3.3より、大体30cm,40cm前後の環境でのよじ登りが目立つが、高さの低い環境ほど登りやすいと考えられる。
広さ	表3.3より、狭い面を持つ環境から広い面を持つ環境まで登っているが、広さは広い方が登った後に乗りやすいため、よじ登りが生成されやすいと考えられる。また、固定されていない環境では、高さに対して広さが狭いほど不安定となり、転倒の可能性があるため、広い方が登りやすいと考えられる。
重さ	表3.3より、数キロの重さの環境から数十キロ、あるいは固定されている環境までであるが、重さは重い方が安定し、登る際に転倒する可能性が少ないので、登りやすいと考えられる。
感触	表3.3より、ほとんどが固い環境だが、柔らかい環境でも登っている。感触は、登る際の手との摩擦に影響して登りやすさに関係することが考えられる。また、行動の生成自体に影響するかは分からないが、感触は柔らかい等、良い感触の方が好まれると考えられる。

3.4.5 モデルにおける環境の説明変数の候補の設定

説明変数の候補としてここで設定した環境特性に基づいて、後に実施する行動観察実験の環境をデザインするが、表 3.4 で示した全ての環境特性を説明変数の候補として設定することは実験実施上難しいため、取捨選択が必要である。

「形状」については、よじ登りやすい形状というものがあるかもしれないが、表 3.3 において、多くの環境が高さのある平坦面を持つ環境で、直方体といえる環境が多かったことから、本研究では、「形状」は直方体に固定し、説明変数の候補にしないこととする。そこで本研究では、表 3.4 において、「高さ」「広さ」「重さ」「感触」をよじ登り行動の生成モデルの環境の説明変数の候補として設定することにする。この選択した4つの環境の説明変数の候補に基づいて、後に実施する実験で行動観察のために用いる環境をデザインする。

3.5 モデルにおける乳幼児の説明変数の候補の設定

3.5.1 本節の目的

本節では、具体的に構築する計算モデルの対象として設定した、乳幼児のよじ登り行動の生成に関連すると思われる乳幼児特性を、モデルの説明変数の候補として設定する。

3.5.2 本節の方法

仮説のプロセスモデルの各ステップにおいて関連すると思われる乳幼児特性を、先行研究を参照しながら考察し、設定する。

3.5.3 よじ登り行動生成に関連すると思われる乳幼児特性の考察

まず“行動生成”という大きな枠で考えてみると、「月齢」や「発達段階」と行動の発現には相関があることが報告されており[日本小児保健協会, 2003], 乳幼児の「月齢」や「発達段階」によってよじ登り行動が見られる頻度が変化することが考えられる。

続いて、仮説のプロセスモデルの各ステップにおいて関連すると思われる乳幼児特性の考察を以下に示す。

(1) 動機づけのステップ

まず、仮説のプロセスにおける“動機づけ”のステップで考えてみると、第2章第2節で述べたとおり、乳幼児期は発達段階による行動の敏感期があり[Montessori, 1982], 発達段階によって好まれる行動、挑戦する行動が異なることが報告されており[田中ら, 1981a][田中ら, 1981b], 「月齢」や「発達段階」によってよじ登り行為の動機づけの大きさが異なることが考えられる。また女児よりも男児の方が環境に対して活発であることが報告されてもいるので

[Hutt, 1972][Matthews, 1992], 動機づけの大きさは「性別」の影響も考えられる。

(2) 行為の可能性のステップ

続いて、仮説のプロセスにおいて、認知的あるいは実際の“行為の可能性”のステップで考えてみると、「身長」や「体重」は身体能力と関連することが報告されており[八藤後ら, 2002][八藤後ら, 2003], 「身長」や「体重」の発達した乳幼児は、よじ登り行為をする可能性が大きいと考えられる。特に、「身長」は乳幼児の垂直方向の長さであるので、よじ登り行為において、環境の高さに対応する身体スケールと考えられる。一方「体重」は乳幼児の体の大きさとも言えるので、よじ登り行為において、環境の広さに対応する身体スケールと考えられる。また発達が進むと、乳幼児は徐々にバランスを取ることができるようになるので[田中ら, 1981a][田中ら, 1981b], 「月齢」や「発達段階」は、よじ登り行為において、環境の安定性、つまり環境の高さ・広さ・重さに対応するバランス能力に関係すると考えられる。

(3) アフォーダンスの知覚のずれ

仮説のプロセスにおいて、“認知的な行為の可能性”と“能力的な行為の可能性”との間のギャップ、つまりアフォーダンスの知覚のずれについて考えてみると、第2章第2節でも述べたとおり、乳幼児期の子どもは自身の身体能力を過大評価する傾向があること、特に「月齢」がそれに影響していることが報告されており[Plumert, 1995][Adolph et al, 1993][根ヶ山, 2000], アフォーダンスの知覚のずれを生じさせる要因として考えられる。

以上の考察をまとめたものを表 3.5 に示す。

表 3.5 よじ登り行動の生成に関連すると思われる乳幼児特性

乳幼児特性	仮説のプロセス	よじ登り行動の生成に与えられる影響	引用文献
月齢 発達段階	行動生成	月齢・発達段階と行動発現には相関があることが報告されている。	(日本小児保健協会, 2003)
月齢 発達段階	動機づけ	発達段階による行動の敏感期が挙げられ、発達段階によって好まれる行動、挑戦する行動が異なることが報告されている。	(Montessori, 1982) (田中ら, 1981)
性別	動機づけ	性別と活動性には関係があることが報告されており、環境に対して女兒は抑制的で男児は活発であることが指摘されている。	(Hutt, 1972) (Matthews, 1992)
身長	行為の可能性	身長は、垂直到達距離や乗り越えられる高さなどの身体能力と相関があることが報告されている。 また身長は、環境の高さに対応する垂直方向の長さに関係する身体スケールと考察できる。	(八藤後ら, 2002) (八藤後ら, 2003)
体重	行為の可能性	体重は、押す力引く力などの身体能力と相関があることが報告されている。 また体重は、環境の広さに対応する身体の大きさに関係する身体スケールと考察できる。	(八藤後ら, 2002)
月齢 発達段階	行為の可能性	環境の安定性(高さ・広さ・重さ)に対応するバランス能力に関係すると考えられる。	(田中ら, 1981)
月齢	アフォーダンス の知覚のずれ	自身の身体能力を過大評価する傾向が月齢と関係づけられて報告されている。	(Plumert, 1995) (Adolph et al, 1993) (根ヶ山, 2000)

3.5.4 モデルにおける乳幼児の説明変数の候補の設定

本研究では、表 3.5 より、「月齢」「発達段階」「性別」「身長」「体重」をよじ登り行動の生成モデルの乳幼児の説明変数の候補として設定することにする。

3.6 本章のまとめ

以上より、本章では図 3.12 に示すように、仮説のプロセスモデルをベースとして具体的に構築する計算モデルの対象とする乳幼児行動と、その行動生成に関連すると思われる環境特性と乳幼児特性をモデルの説明変数の候補

として設定した。

モデルの対象となる乳幼児行動の設定では、乳幼児の事故データベースをテキストマイニングすることで、事故が発生する状況で、乳幼児が環境とインタラクトしたときに実際によく生成されている行動を抽出し、乳幼児のよじ登り行動を設定した。

環境の説明変数の候補の設定では、事故データのテキストマイニングの結果を用いて、乳幼児のよじ登り行動が実際に生成された環境群を抽出し、よじ登り行動の生成に関連すると思われる環境特性を考察することで、環境の「高さ」「広さ」「重さ」「感触」を設定した。

乳幼児の説明変数の候補の設定では、仮説のプロセスの各ステップにおいて関連すると思われる乳幼児特性を、先行研究を参照しながら考察することで、乳幼児の「月齢」「発達段階」「性別」「身長」「体重」を設定した。

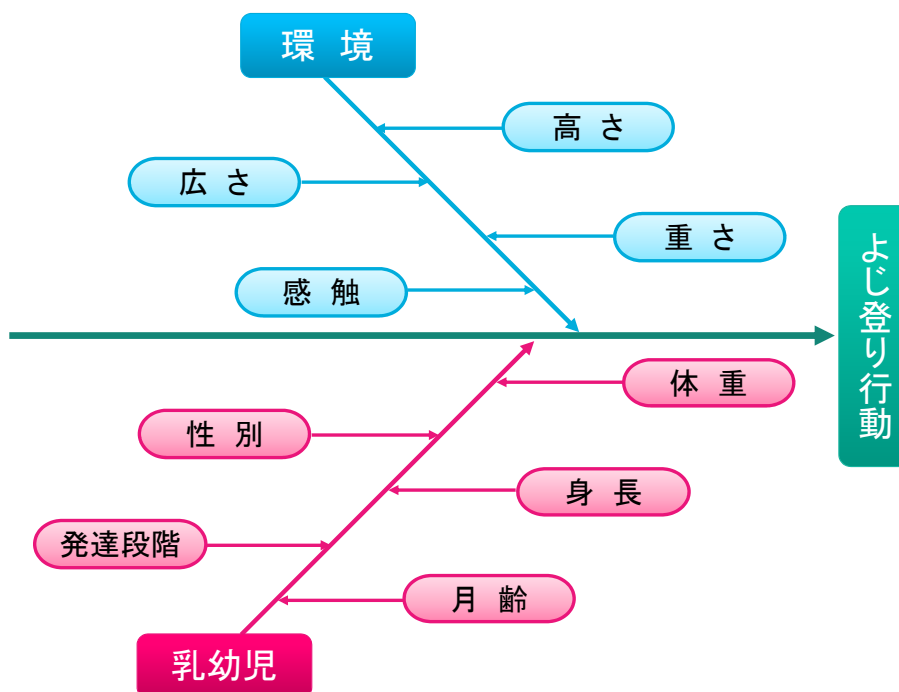


図 3.12 モデルの対象行動と環境と乳幼児の説明変数の候補

第4章 行動観察実験のデザインと実施

4.1 本章の目的

本章では、前章で設定した環境の説明変数の候補に基づいて、乳幼児の自然なよじ登り行動を自由な行動の中から観察する実験をデザインし、それを実施することで、乳幼児のよじ登り行動生成の計算モデルを具体的に構築するための行動データを収集する。

4.2 本章の方法

まず、前章で設定した環境の説明変数の候補に基づいて、乳幼児の自然なよじ登り行動を観察するための実験用の環境を作成し、実験を実施する部屋と実験計画をデザインする。

続いて、そのデザインした実験を実施し、後ほど乳幼児のよじ登り行動生成の計算モデルを具体的に構築するための行動データを収集する。

4.3 行動観察実験のデザイン

4.3.1 本節の目的

本節では、前章で設定した環境の説明変数の候補に基づいて、乳幼児の自然なよじ登り行動を観察するための実験用の環境を作成し、実験を実施する部屋と実験計画をデザインする。

4.3.2 よじ登り行動観察用の環境の作成

実験では乳幼児のよじ登り行動を観察するために、よじ登り行動の対象となる環境を、前章で設定したモデルの環境の説明変数の候補に基づき複数作成する。

(1) 作成する環境の構成

よじ登り行動観察用の環境は、「形状」を全て直方体(ただしトップ面は正方形)に統一し、環境の説明変数の候補である「高さ」「広さ」「重さ」「感触」に対して、それぞれ水準を設け、その組み合わせによって複数の直方体の箱を作成する。実験では、被験者となる1人の乳幼児において、その作成した全ての箱に対する行動を観察するため、作成する箱の数は、一度に実験が可能な程度の数でなければならない。環境の説明変数の候補は4つあり、各変数の水準の全組み合わせの箱を作成すべきだが、そうしてしまうと、その箱の数は水準数の4乗となり、多くの水準を設定することはできない。

そこで、L18直交表を用いて各変数の水準を割り当てた18個の箱を作成することとした。L18直交表では、2水準の1変数と3水準の2変数に関しては、各水準の全組み合わせとなり、4つ目の変数からその3種ある各水準が割りつけられる。本研究では、表4.1に示す狙いのもと、「高さ」3水準、「広さ」3水準、「重さ」2水準を設定し、その全組み合わせに対して、「感触」3水準をL18直交表を用いて割り当てることで18個の直方体の箱を作成することとした。「高さ」と「広さ」の水準に関しては、子どもの身体寸法データベース[HQL, 2008]を用いて、本研究で対象となる乳幼児の転子点高(脚の付け根までの高さ)、脛骨点高(膝の高さ)、腸骨稜幅(腰の幅)、足長などに基づいて、よじ登り方を想定し設定した。なお「広さ」とは直方体のトップ面(正方形)の面積を意味する。

4つの説明変数の候補のうち、その水準が全て組み合わせられる3つの変数に「感触」を選択しなかった理由は、表3.4で述べたとおり、「高さ」「広さ」「重さ」はよじ登り行為において、乳幼児の身体スケールや発達能力と関係し、行為生成に与える影響が大きいと思われる特性であるが、これらに対して「感触」の影響は比較的大きくないと考えたためである。

(2) 環境の特性の表現方法

「重さ」の“軽い”とは、図 4.1 に示すような発泡スチロール材(硬さ 40 倍)を用い 1kg 未満とし、“重い”とは、図 4.2 に示すようなアクリル材(厚さ 5mm)の箱に重りを入れて 1kg 以上の箱を表現した。

「感触」に関しては、表 4.1 の各水準の特徴のある素材で箱をコーティングすることで表現した。その 3 水準の箱の表面の感触を図 4.3 に示す。“滑る”感触に関しては、図 4.3 の①に示すようなカッティングシート(素材:ソフト塩ビ)を、“滑らない”感触に関しては、図 4.3 の②に示すような滑り止めシート(素材:アクリル, PVC(PER))を、“柔らかい”感触に関しては、図 4.3 の③に示すような厚さ 2.2mm のフェルト(素材:ポリエステル 80%, レーヨン 20%)を使用して表現した。

また前章で述べたとおり、本研究では環境の色の要因を考慮しないとして、全ての箱の面を赤・黄・青で構成した。色の影響を無視するためには、全ての箱を同一色で構成することが考えられるが、この場合、乳幼児にとってはどこから見ても同じ色の箱を 18 個見させられることになり、箱に対する魅力を失うことが考えられる。そこで、色の三原色である赤・黄・青の色で箱の表面を構成することにした。

作成した全 18 個の箱の特徴を表 4.2 に、また外観の例を図 4.4 に示す。作成した全 18 個の箱の外観に関しては付録 A を参照のこと。

表 4.1 環境の説明変数の水準と狙い

変数	水準	想定
高さ	10cm	膝の高さまで脚を上げれば登れる高さ.
	30cm	股の高さまで脚を上げれば登れる高さ.
	50cm	脚だけでは登れない高さ.
広さ	10cm × 10cm	座るには不十分, 足を置くにはやや不十分な広さ.
	20cm × 20cm	座る, 足を置くには十分な広さ.
	30cm × 30cm	座るにはとても十分な広さ. 身体を乗せるにも十分な広さ.
重さ	軽い	不安定で登りにくい.
	重い	安定していて登りやすい.
感触	滑る	手を使った登り方では滑りやすく登りにくい.
	滑らない	手を使った登り方では滑りにくく登りやすい.
	柔らかい	感触が良く行為の対象物として気に入る.



図 4.1 軽い箱の作成



図 4.2 重い箱の作成

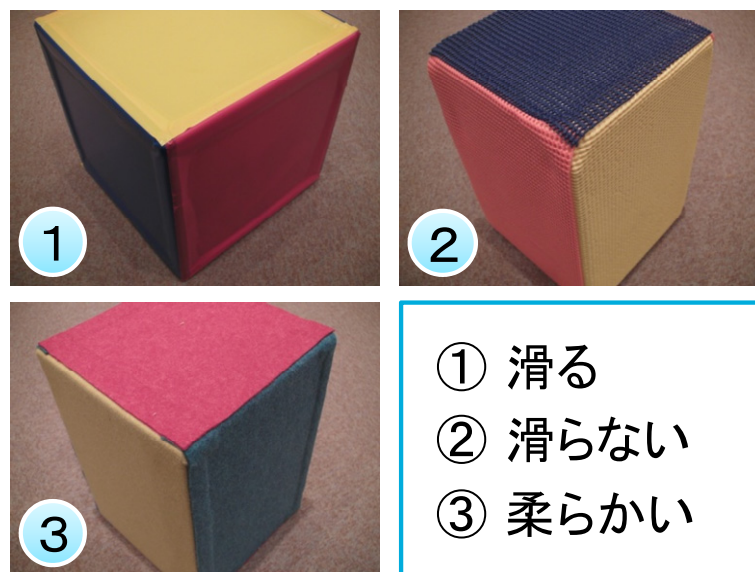


図 4.3 箱の表面の感触

表 4.2 作成した 18 個の直方体の箱

箱No.	重さ〔kg〕	高さ〔cm〕	広さ〔cm×cm〕	感触
1	軽い (0.03)	10	10×10	滑る
2	軽い (0.18)	10	20×20	滑らない
3	軽い (0.32)	10	30×30	柔らかい
4	軽い (0.09)	30	10×10	滑る
5	軽い (0.42)	30	20×20	滑らない
6	軽い (0.75)	30	30×30	柔らかい
7	軽い (0.23)	50	10×10	滑らない
8	軽い (0.59)	50	20×20	柔らかい
9	軽い (0.95)	50	30×30	滑る
10	重い (1.15)	10	10×10	柔らかい
11	重い (3.15)	10	20×20	滑る
12	重い (6.30)	10	30×30	滑らない
13	重い (3.05)	30	10×10	滑らない
14	重い (8.35)	30	20×20	柔らかい
15	重い (15.95)	30	30×30	滑る
16	重い (5.10)	50	10×10	柔らかい
17	重い (14.30)	50	20×20	滑る
18	重い (21.85)	50	30×30	滑らない



図 4.4 作成した箱の例

4.3.3 実験部屋のデザイン

実験を実施する部屋の様子を図 4.5, 4.6 に示す。実験部屋は、独立行政法人産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センターにある、子どもの観察実験ルームを利用した。部屋の大きさは、(縦)3.3 m×(横)4.7 m×(高)2.7 m であり、天井中央に部屋全体を撮影できる魚眼カメラ 1 台を固定し、部屋の角に CCD カメラ 2 台を三脚で設置した。実験ではこの計 3 台のカメラで被験者の行動の様子を記録する。

また被験者となる乳幼児が楽しく行動でき、日頃の自然な行動を観察できるようにするため、部屋の中には、実験で使用する直方体の箱以外に、クッションやぬいぐるみも置き、BGMも流すことで、実験空間をより日常空間に近づけた。しかし今回用意した直方体の箱よりも著しく興味を持ってしまうようなもの(おもちゃやゲームなど)は、本実験の支障となるとして置かないようにした。

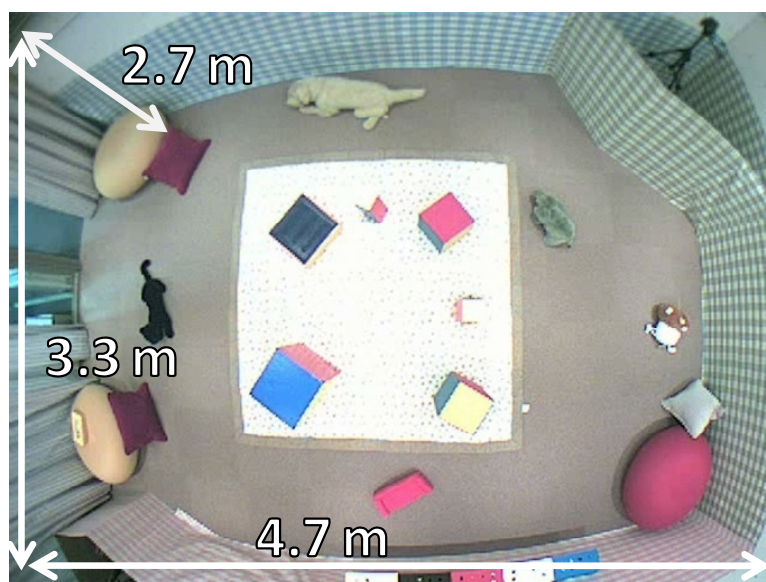


図 4.5 実験部屋の様子(天井から)

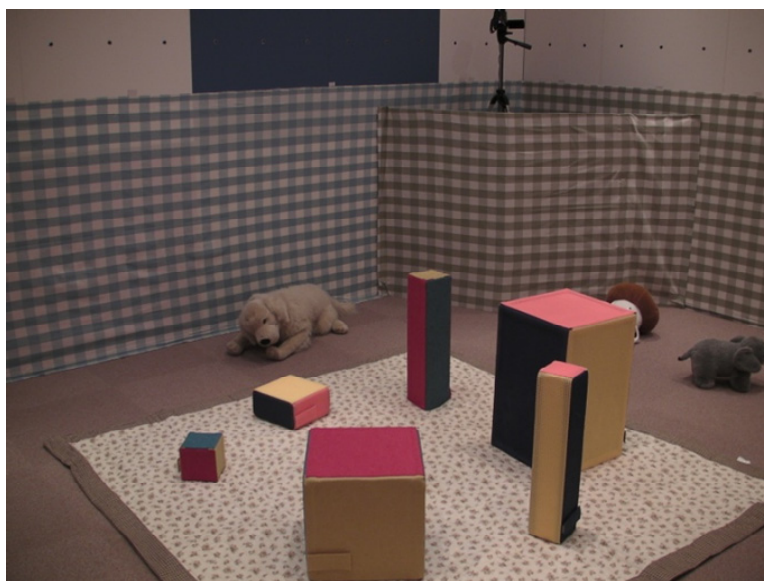


図 4.6 実験部屋の様子(横から)

4.3.4 実験計画のデザイン

本研究では、乳幼児の自然な行動生成をモデル化するため、行為をすることを条件として与えず、あくまで実験室での自由な行動の中から、よじ登り行動を観察する。

作成した箱は全部で18個であるが、一度に18個の全ての箱に対して長時間の行動観察実験を実施する場合、これまでの子どもの行動観察実験実施の経験から、実験の途中で被験者である乳幼児が飽きてしまうことや、疲れてしまうことが考えられ、飽きや疲れが生じない程度で実験を分割し、間に休憩を挟む必要があると考えた。そこで実験では、18個の箱の中からランダムに選ばれた6個の箱を実験部屋に設置し、20分間保護者とともに自由に行動してもらった実験を、10～20分間の休憩をはさんで3セット実施することとした。

保護者同伴で実験を実施する理由は、被験者となる乳幼児を不安にさせないためと、実験実施上の安全性を確保するためである。だが、乳幼児の箱に対する自然な行動を観察することが目的であるので、保護者から乳幼児に箱

で行動するように勧めることはしないで、あくまで乳幼児の自由な行動を見守ってもらうことにした。乳幼児の行動を見守っている中で、その行動が危険と判断した場合には、その行動をすぐに止めてもらうことにした。

4.3.5 実験における倫理的配慮

本実験は、今回利用した実験ルームを所有する産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センターの傷害予防工学研究チームのチーム長で、小児科医師である山中龍宏先生の監修の下計画をし、独立行政法人産業技術総合研究所の実験倫理委員会にて承認を得た。

実験における被験者(乳幼児)の安全確保のため、実験では保護者も一緒に実験部屋に入り、子どもの行動を見守ってもらうようにし、怪我の応急処置にも対応できるように、看護師の資格を有した産業技術総合研究所の職員とともに実験を行った。また実験中に、子どもの気分が悪くなる、泣きやまい、寝てしまう、授乳が必要となるなど、これ以上実験を進められない状況となった場合には、実験を一時中断した。

4.4 実験の実施

4.4.1 本節の目的

本節では、デザインした実験を実施し、後ほど乳幼児のよじ登り行動生成の計算モデルを具体的に構築するための行動データ(動画データ)を収集する。

4.4.2 実験の実施手順

実験は以下の手順で実施した。

- (1) 公募によって被験者(月齢 10 ヶ月～2 歳半ばの乳幼児)を募集し、連絡を受ける。
- (2) 被験者とその保護者を産総研の実験部屋に招く。
- (3) 実験部屋とは異なる部屋で、保護者に実験の説明を書面及び口頭で行い、実験参加同意書に署名してもらう。保護者に配布した実験の説明書に関しては、付録 B.1 を参照のこと。
- (4) 被験者となる乳幼児の説明変数の候補となる「月齢」「発達段階」「性別」「身長」「体重」に関する調査書を保護者に記入してもらう。なお「発達段階」に関しては、子どもの発達判定法 DENVER II (日本版)[日本小児保健協会, 2003]に基づき、よじ登り行動に関連する発達段階として、「つかまり立ちができる」「上手に歩ける」「容易に階段を登れる」という 3 つの段階をあらかじめ用意し、この中から保護者に選択してもらう。本調査書に関しては、付録 B.2 を参照のこと。
- (5) 6 個の箱が置かれた実験部屋に移動し、20 分間保護者とともに被験者に自由に行動してもらい、3 台のカメラで撮影する。
- (6) 部屋に設置する箱を入れ替えて、(5)を 3 セット行う。それぞれの実験の間には 10～20 分間の休憩を実験部屋とは異なる部屋でとってもらう。
- (7) これらの実験によって、18 個の箱に対する乳幼児の 60 分間の自由行動の様子を 3 台のカメラで撮影して、行動の動画データを取得する。

4.4.3 実験の実施結果

実験は、表 4.3, 4.4 に示す 13 名の乳幼児が参加した。実験中の様子を図 4.7 に示す。本研究では、第 2 章第 6 節の用語の定義で述べた通り、よじ登り行動に関連した行動が見られる月齢 10 ヶ月～2 歳半ばの乳幼児を対象としており、この範囲の中でむらなく被験者が集められている。

実験中に事故は生じず、実験部屋に初めて入った瞬間は戸惑う子もいたが、次第に慣れ、どの乳幼児も自由に自然な行動を安全に計測することができた。なお実験中、途中で寝てしまったり、泣きやまなかったりと、実験の一部を中断せざるを得ない被験者が4名ほどいたが、この4名の被験者が中断した実験は、3セット中1セットの実験であり、これらの被験者の行動データに関しては、中断するまでに計測したものを行動データとして収集した。

表 4.3 被験者

性別	年齢	身長 [cm]	体重 [kg]	発達段階
男	0歳10か月	70	9.5	つかまり立ちができる
男	1歳1か月	78	10.8	上手に歩ける
男	1歳9か月	80	12.0	容易に階段を登れる
男	2歳0か月	90	11.0	容易に階段を登れる
男	2歳3か月	86	14.0	容易に階段を登れる
男	2歳6か月	90	12.0	容易に階段を登れる
女	1歳1か月	80	9.0	上手に歩ける
女	1歳1か月	72	9.0	つかまり立ちができる
女	1歳2か月	73	10.0	上手に歩ける
女	1歳2か月	75	9.3	上手に歩ける
女	1歳7か月	76	8.5	容易に階段を登れる
女	1歳8か月	80	9.3	容易に階段を登れる
女	2歳4か月	90	13.0	容易に階段を登れる

表 4.4 被験者の分布

性別		月齢 [ヵ月]		身長 [cm]		体重 [kg]		発達段階	
男	6名	平均値	18.9	平均値	80.0	平均値	10.57	つかまり立ちができる	2名
女	7名	最小値	10	最小値	70	最小値	8.5	上手に歩ける	4名
計	13名	最大値	30	最大値	90	最大値	14.0	容易に階段を登れる	7名

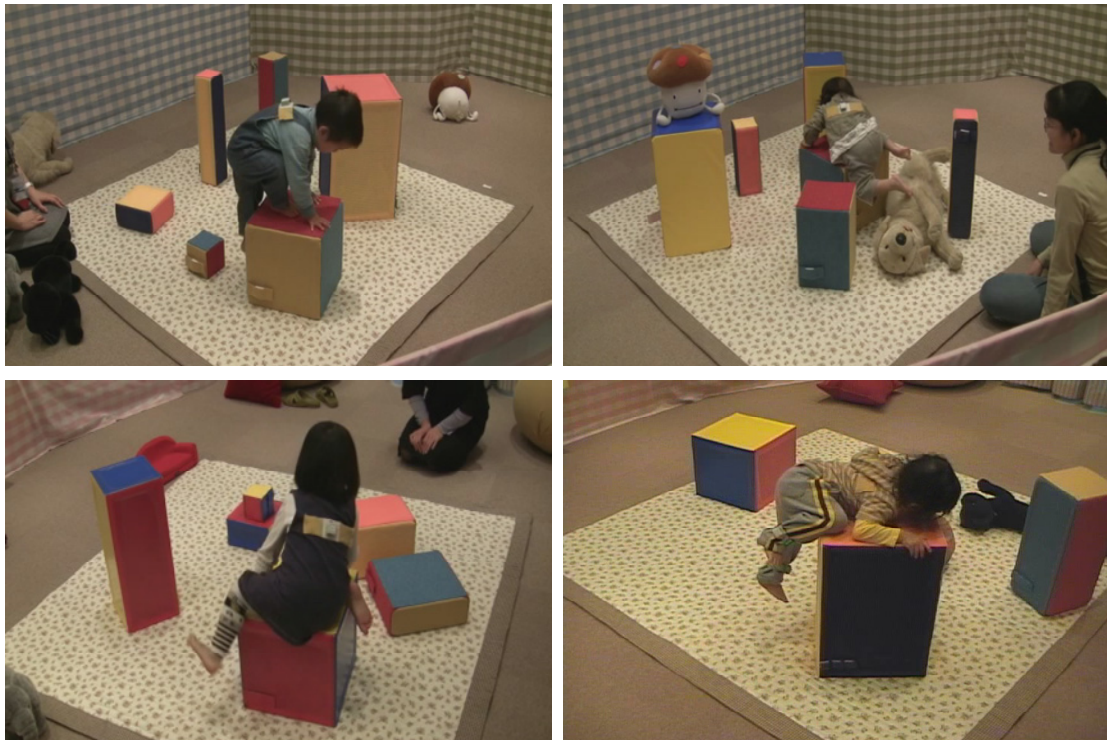


図 4.7 実験中の様子

4.5 本章のまとめ

本章では、乳幼児のよじ登り行動の生成モデルを具体的に構築する際に用いる行動データを収集するための、乳幼児の行動観察実験のデザインと実施について述べた。

第5章 行為の生成モデルの構築

5.1 本章の目的

本章では、仮説のプロセスモデルをベースとして、「動機づけ」と「認知的な行為の可能性」のステップで決定される、乳幼児のよじ登り行為の生成の有無を、前章の行動観察実験データを用いて具体的に計算モデル化する。また仮説における行為の生成の考え方の妥当性を検討する。

5.2 本章の方法

前章の行動観察データに基づいて、①環境特性、②乳幼児特性、③よじ登り行為の生成の有無の関係を、ベイジアンネットワークを用いて確率論的にモデル化する。

構築したモデルの結果から、よじ登りの行為の生成にはどのような変数のどのような要因が関係しているのか、仮説のプロセスモデルをベースに考察する。また構築したモデルを用いて、関係した変数を条件として、よじ登りの行為の生成を確率的に推論し、モデルの予測精度を交差検定によって検証・考察する。

5.3 モデルの構築のための準備

5.3.1 モデル構築のための行為の生成データの収集

計算モデルを構築するためのデータとして、第4章の行動観察実験で収集した動画データを用いて、被験者である乳幼児が、インタラクトした箱に対して、その箱によじ登ったのか、よじ登らなかったのか、というよじ登り行為の生成の有無を記録し、そのデータを収集した。

なお、観察における「インタラクトした」とは、「箱に触れてその箱を見ているこ

と」と定義した。図 5.1 にその例を示す。人間が環境とインタラクトすることによる自発的な行為生成では、その環境を人間が知覚していることが条件となるが、インタラクト＝見ていることとすると、今回の実験の動画データからこれを外的に観察することは困難であるため、外的に観察しやすい“触れる”ということも条件として定義に加えた。

また「よじ登った」とは、「箱の上に身体を乗せようと、箱に対して身体を垂直方向上方に移動させ、両足が床面から完全に離れる行為」と定義した。図 5.2 にその例を示す。本研究では、第3章の3.3.7で定義したように、環境の上に身体を乗せようとする試みをよじ登り行為と総称し、それには手を使わずに足だけで環境の上に踏みあがろうとする行為や、身体全身を使って這いながら環境に登ろうとする行為も含めている。これらの共通の条件は両足が床面から離れることであるので、上記のように定義した。なお次のような行為は本研究の「よじ登り行為」としてカウントしなかった。

- ・ 倒れた箱に登った（「高さ」と「広さ」が変化してしまうため）
- ・ 保護者によって上に乗せられた（自発的な行為ではないため）
- ・ 箱につまずき、たまたま両足が浮き、箱に覆いかぶさった（偶発的な行為であるため）
- ・ すでに箱の上に乗っており、そこから隣接している同じ高さの箱に移動した（垂直方向上方への移動ではないため）

乳幼児と箱とのインタラクションが観察されればデータとしてカウントし、インタラクトしたそれぞれの箱に対し、その環境変数と乳幼児変数の値とともに、よじ登り行為の生成の有無を 0（よじ登らない）と 1（よじ登る）で記録した。その結果、得られた行為生成に関するデータ数は 176 となり、そのうちインタラクションが観察された箱に対して、よじ登りの行為が観察されたデータは 37 であり、

よじ登りの行為が観察されなかったデータは 139 であった。そもそもインタラクションが観察されなかった箱に対しては、データとしてカウントしなかった。また、ある乳幼児が 1 回の実験で、同じ箱に 2 回以上登ったとしても、よじ登り行為の有無は“1”とカウントした。収集したデータ例を表 5.1 に示す。

実験の動画データを用いたよじ登り行為の観察結果の客観性を保証するため、複数の調査者の一致度と定義の明確性を測定する指標である Cohen's Kappa[Cohen, 1960]を用いた。本研究に関わっていない 2 人の評価者に対し、個別に一部の実験動画(6 個の箱に対する 20 分の実験動画を被験者 10 人分)を見せ、実験部屋に配置された各箱に対し、先述した本研究の定義に従って、被験者が「インタラクトした」か、さらに「よじ登った」かについて判断させた。2 人の評価者の間の判断の一致度(κ 係数)を算出したところ 0.78 となり、一般に信頼性があるとされる基準 0.70[Gardner, 1995]を上回り、この観察結果には客観性があるといえる。

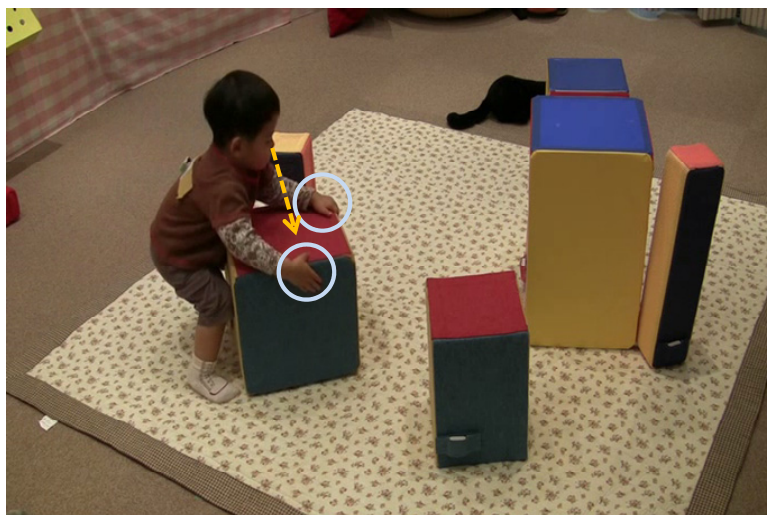


図 5.1 「インタラクトした」と判断する行動例



図 5.2 「よじ登った」と判断する行動例

表 5.1 実験によって得られたデータセット

環境				乳幼児					よじ登り 行為の 有無
重さ	高さ [cm]	広さ(幅) [cm]	感触	性別	月齢 [ヶ月]	身長 [cm]	体重 [kg]	発達段階	
重い	50	20	滑る	男	24	90	11	容易に階段を登れる	1
軽い	30	20	滑らない	男	24	90	11	容易に階段を登れる	0
軽い	50	20	柔らかい	男	24	90	11	容易に階段を登れる	0
重い	30	30	滑る	男	24	90	11	容易に階段を登れる	1
重い	50	30	滑らない	男	24	90	11	容易に階段を登れる	1
軽い	50	30	滑る	女	13	80	9	上手に歩ける	0
重い	10	30	滑らない	女	13	80	9	上手に歩ける	1
重い	50	20	滑る	女	13	80	9	上手に歩ける	0
軽い	30	30	柔らかい	男	10	70	9.5	つかまり立ちができる	0
重い	50	10	柔らかい	男	10	70	9.5	つかまり立ちができる	0
軽い	30	30	滑らない	男	10	70	9.5	つかまり立ちができる	0

5.3.2 モデル構築のための変数のカテゴリ化

ベイジアンネットワークによる確率モデルでは、変数が質的となるため、収集した表 5.1 のデータの各変数を表 5.2 に示すようにカテゴリ化した。なお表中のデータ数であるが、本研究では、行為の生成の有無のデータ(インタラクションが観察されたデータ)1 件に対して、環境と乳幼児の全ての変数の値が記録されているため、「環境」と「乳幼児」と「行為の生成」の各変数の全データ数は 176 で一致している。

環境の変数に関しては、実験用の箱の作成の際に設定した各変数の水準（前章の表 4.1）をそのままカテゴリとした。一方、乳幼児の変数に関しては、特に、月齢・身長・体重に関しては、先行研究[日本小児保健協会，2003][厚労省，2000][田中ら，1981a][田中ら，1981b]に基づいて、表 5.3 に示すように、乳幼児のよじ登り行動に関連した3パターンの発達段階における活動特性と、その発達段階時の月齢，身体寸法値をまとめ、各発達段階に対応するようにカテゴリ化した。

表 5.2 変数のカテゴリ化

環 境					乳 幼 児						
変数	カテゴリ	データ数	N	割合[%]	変数	カテゴリ	データ数	N	割合[%]		
高さ	10cm	54	176	30.7	月 齢	～18ヵ月	69	176	39.2		
	30cm	61		34.7		19～24ヵ月	53		30.1		
	50cm	61		34.7		25～30ヵ月	54		30.7		
広さ	10cm×10cm	59	176	33.5	発達段階	つかまり立ちができる	15	176	8.5		
	20cm×20cm	60		34.1		上手に歩ける	54		30.7		
	30cm×30cm	57		32.4		容易に階段を登れる	107		60.8		
重さ	軽い	88	176	50.0	身長	80cm未満	69	176	39.2		
	重い	88		50.0		80cm以上90cm未満	53		30.1		
感触	滑る	56	176	31.8		90cm以上	54		30.7	体重	10kg未満
	滑らない	63		35.8	10kg以上12kg未満	49	27.8				
	柔らかい	57		32.4	12kg以上	66	37.5				
行為の生成											
よじ登り	0 (よじ登らない)	139	176	79.0	性別	女	90	176	51.1		
	1 (よじ登る)	37		21.0		男	86		48.9		

表 5.3 乳幼児期に見られるよじ登り行動に関連した活動特性

発達段階 1 つかまり立ち ができる	月齢	10ヶ月頃		つかまり立ちに挑戦する。
	身長	男児	76.2cm (月齢10ヶ月)	
		女児	74.5cm (月齢10ヶ月)	
	体重	男児	10.3kg (月齢10ヶ月)	
女児		9.6kg (月齢10ヶ月)		
発達段階 2 上手に歩ける	月齢	15～18ヶ月頃		上手に歩きはじめる。ちょっとした段差やくぼみなど、変化のあるところを喜んで歩き、高さのあるところには登ったり降りたりする。
	身長	男児	83.5cm (月齢18ヶ月)	
		女児	82.3cm (月齢18ヶ月)	
	体重	男児	11.8kg (月齢18ヶ月)	
女児		11.2kg (月齢18ヶ月)		
発達段階 3 容易に階段を 登れる	月齢	18～30ヶ月頃		容易に階段を登れる。腰を入れた斜めの姿勢から次の姿勢へ移る際にバランスを取ることができる。それまで獲得した発達の力をもとに、抵抗を乗り越えようとする。
	身長	男児	90.9cm (月齢30ヶ月)	
		女児	89.7cm (月齢30ヶ月)	
	体重	男児	13.8kg (月齢30ヶ月)	
女児		13.3kg (月齢30ヶ月)		

※身体寸法値は乳幼児身体発育調査(厚労省, 2000)の90パーセンタイル値を参照

5.4 乳幼児のよじ登り行為の生成モデルの構築と考察

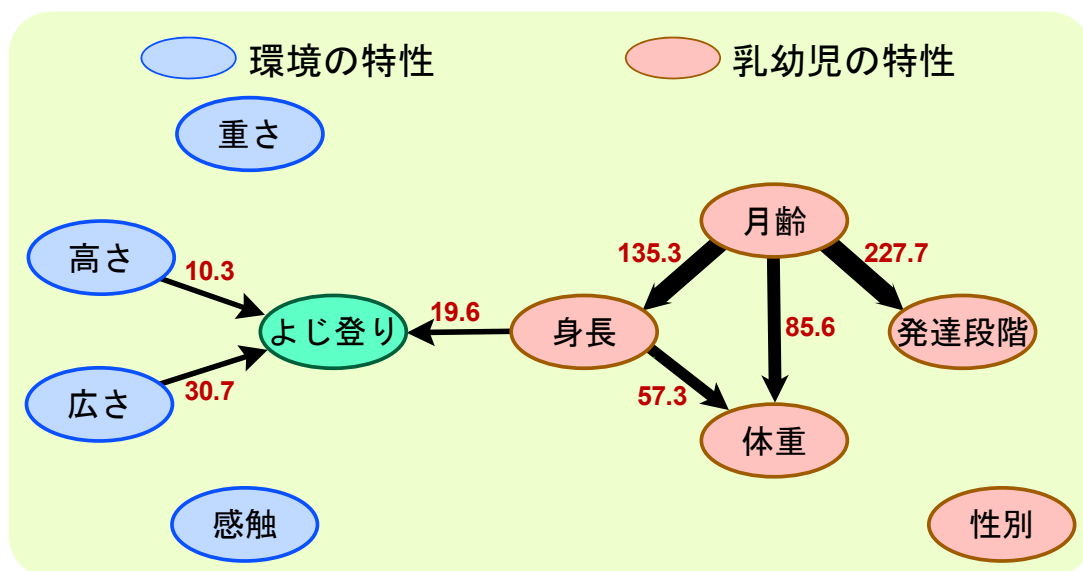
5.4.1 乳幼児のよじ登り行為の生成モデルの構築

表 5.1 の行動観察データと、表 5.2 の変数に基づき、ベイジアンネットワークを用いて、変数間の確率的因果関係をモデリングした。モデリングの結果を図 5.3 に示す。リンクの太さは関係の強さを表している。図 5.3 のモデルから、よじ登り行為の生成は、環境の「高さ」と「広さ」、乳幼児の「身長」と強い関係があることが示されている。関係が見られなかった変数は、よじ登り行為の生成の有無に対する条件付き確率表において分散が小さかった変数といえる。

環境の「重さ」と「感触」は関係が見られなかったが、「高さ」と「広さ」は視覚的な情報であるのに対して、「重さ」と「感触」は触覚的な情報であるので、乳幼児のよじ登り行為の生成においては、触覚的情報よりも視覚的情報が重要であることが推察される。

乳幼児の「月齢」「発達段階」「身長」「体重」という発達に関する各変数は、

互いに関係が強いことが示されているが、今回のモデリングの結果では、よじ登り行為の生成に与える影響は「身長」に集約された結果となったといえる。よじ登りは垂直方向の移動に関する行為となるため、垂直方向の長さに関係する「身長」という乳幼児の身体特性の影響が特に大きかったと考えられる。また「性別」は関係しなかったが、本研究で対象とした乳幼児において、よじ登り行為をするかしないかには性差はないと判断される。



※モデル全体のAICスコア=2673.4(各リンクのスコアはモデル全体に対するAICの寄与度)

図 5.3 乳幼児のよじ登り行為生成モデル

5.4.2 モデルを用いたよじ登り行為の生成確率の計算

ベイジアンネットワークによって構築した図 5.3 の計算モデルを用いることで、各変数を指定したときの、他の変数の確率分布を計算することができる。本節では、よじ登り行為の生成に関する変数の持つ影響を考察し、仮説の考え方の妥当性を検討するため、「よじ登り行為が生成された時の環境と乳幼児の各変数の確率分布」と「環境と乳幼児の各変数を指定した時のよじ登り行為の生成確率」を計算する。

(1) よじ登り行為が生成された時の環境と乳幼児の各変数の確率分布

まず、「よじ登り」の確率を“1(よじ登る)”としたとき、つまりよじ登り行為が生成されるという条件下での、他の変数の確率分布を計算した。「よじ登り」に直接リンクの張られた変数、環境の「高さ」と「広さ」、乳幼児の「身長」に関して、その計算された確率値を図 5.4 に示す。環境の高さが低いほど、広さが広いほど、また乳幼児の身長が高いほど、よじ登る確率が高くなるといえる。

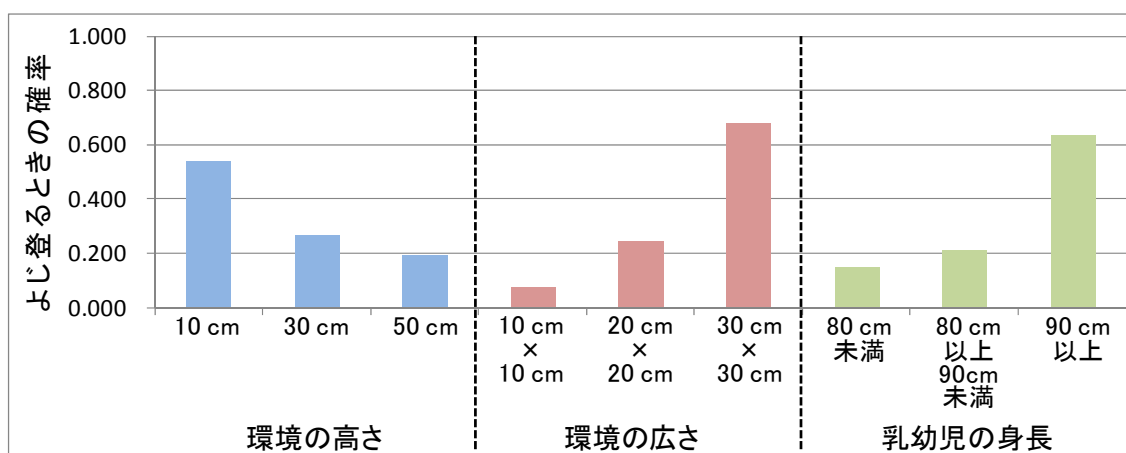


図 5.4 よじ登り確率 = 1 のときの環境の「高さ」・「広さ」と乳幼児の「身長」の確率分布

(2) 環境と乳幼児の各変数を指定した時のよじ登り行為の生成確率

続いて、環境と乳幼児の変数の値を与え、指定した条件下での「よじ登り」の生成確率を計算した。構築した図 5.3 のモデルの構造より、「よじ登り」に直接リンクした、環境の「高さ」と「広さ」、乳幼児の「身長」という 3 つの変数を決定するだけで、「よじ登り」の確率を計算できる。乳幼児の「身長」を、表 5.2 に示した 3 つのカテゴリ、①80cm 未満、②80cm 以上 90cm 未満、③90cm 以上にそれぞれ固定し、環境の「高さ」と「広さ」のカテゴリを変えたときの、「よじ登り」の確率を計算した結果を図 5.5～図 5.7 に示す。

なお、本モデルによって予測計算される「よじ登り確率」とは、モデルの学習

データの構造上、与えた条件下でよじ登る乳幼児の割合を意味している。つまりよじ登り確率が80%とは、10人中8人がよじ登るということとなる。

(2-1) 身長80cm未満の乳幼児のよじ登り行為の確率

図5.5より、「身長」が80cm未満の乳幼児は、「高さ」が30cm以上のよう
に高い環境では、「広さ」にほぼ関わらずよじ登る可能性が極めて低いことが
分かる。また「広さ」が20cm×20cm以下のように狭い環境では、「高さ」にほ
ぼ関わらずよじ登る可能性が極めて低く、特に「広さ」が10cm×10cmの場
合には、よじ登る可能性がないことが分かる。総じて、この身長の乳幼児が環
境によじ登る可能性は低い、「高さ」が10cmのようにとても低く、「広さ」が
20cm×20cm以上である環境ではよじ登る可能性があることが分かる。

(2-2) 身長80cm以上90cm未満の乳幼児のよじ登り行為の確率

図5.6より、「身長」が80cm以上90cm未満の乳幼児は、80cm未満の乳
幼児に比べ、「広さ」が30cm×30cmのように十分な広さがある環境では、
「高さ」が高くてもよじ登る可能性が生じてくることが分かる。特に「高さ」が
10cmのように低い場合には、よじ登る可能性がとても高いことが分かる。一方、
「広さ」が20cm×20cm以下のように狭い環境では、「高さ」にほぼ関わらずよ
じ登る可能性が極めて低く、特に「広さ」が10cm×10cmの場合には、よじ登
る可能性がないことが分かる。これは身長80cm未満の乳幼児と同様の傾向
である。

(2-3) 身長 90cm 以上の乳幼児のよじ登り行為の確率

図 5.7 より、「身長」が 90 cm 以上の乳幼児になると、90cm 未満の乳幼児より一変し、環境によじ登る可能性は総じて高くなる。また、「広さ」が 20cm × 20cm のように、やや狭い環境でもよじ登る可能性が十分ある。「広さ」が 30 cm × 30 cm の環境では、「高さ」が 50 cm 以下の場合であれば、高さに関係なくよじ登る可能性が高いことが分かる。「広さ」が 20cm × 20cm の環境では、「高さ」が高くなるほどよじ登る可能性が低くなることが分かる。「広さ」が 10cm × 10cm のように狭い環境では、「高さ」が 10cm のように低い場合には、よじ登る可能性があるが、それ以上の高さになると、よじ登る可能性がないことが分かる。つまり「広さ」が 10cm × 10cm のように狭く、「高さ」が 30cm 以上のよう高い環境では、乳幼児の「身長」に関わらず、よじ登る可能性がないことが分かる。

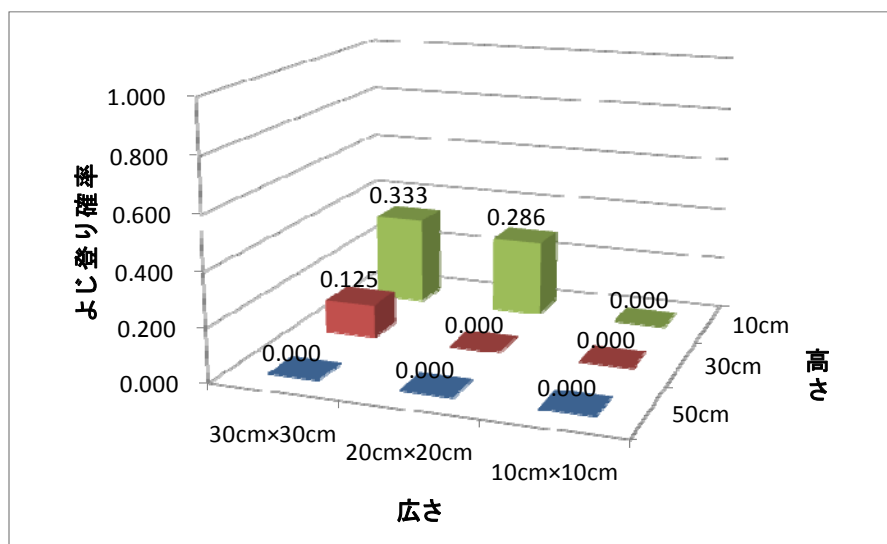


図 5.5 環境の「高さ」「広さ」と「よじ登り」の確率計算結果
(乳幼児の身長: 80cm 未満)

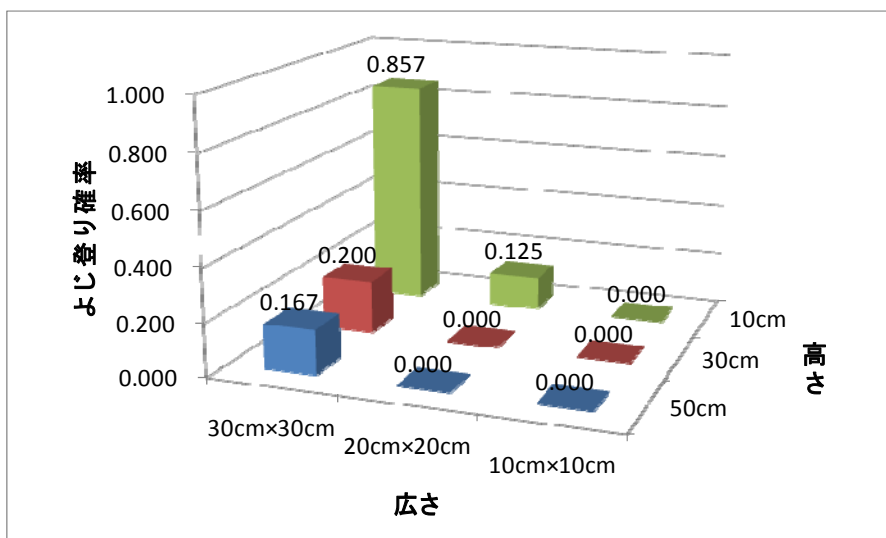


図 5.6 環境の「高さ」「広さ」と「よじ登り」の確率計算結果
(乳幼児の身長:80cm 以上 90cm 未満)

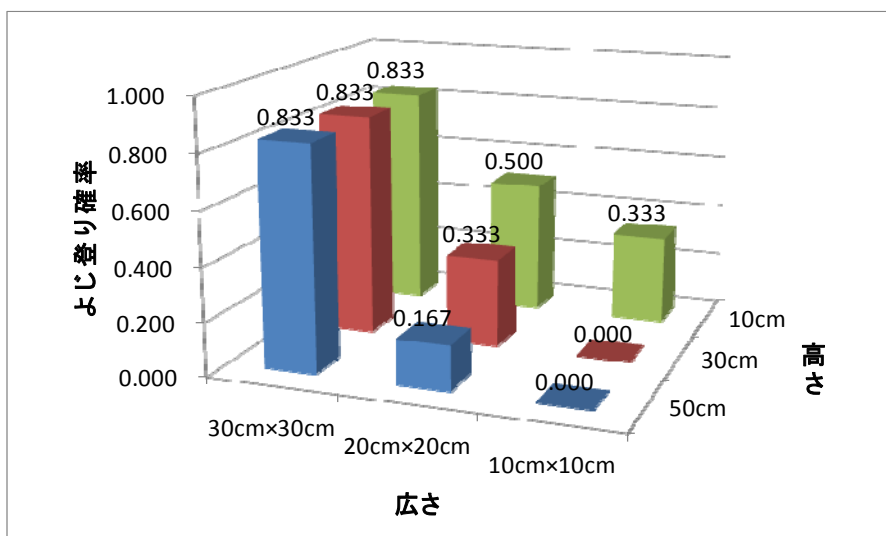


図 5.7 環境の「高さ」「広さ」と「よじ登り」の確率計算結果
(乳幼児の身長:90cm 以上)

5.4.3 仮説モデルのプロセスに関する考察

仮説の考え方の妥当性を検討するため、行為の生成が仮説のプロセスのように「動機づけ」と「認知的行為の可能性」のステップで解釈してよいことを、構

築した計算モデルの結果を用いて考察する。具体的には、よじ登り行為の生成に関係が見られた、環境の「高さ」「広さ」と乳幼児の「身長」という3つの変数に関して、各ステップで与える影響を考察する。

(1) 動機づけ

第2章で述べたとおり、乳幼児の内発的に動機づけられる行為は、発達段階による敏感期の影響が大きいと考えられる。モデルにおける「身長」の変数は、表5.3に基づいて、各発達段階に対応させてカテゴリ化しているため、この変数には発達段階の要素があり、よじ登り行為の動機づけの形成に影響を与えていると考えられる。「身長」のカテゴリは表5.2に示すように、①80cm未満、②80cm以上90cm未満、③90cm以上の3パターンがあるが、それぞれ、①つかまり立ちに挑戦する発達期、②上手に歩き、小さな段差の登り降りを好む発達期、③容易に階段を登り、バランスを取ることが可能となり、これまで獲得した発達力を基に抵抗を乗り越えようとする発達期に対応しており、図5.4～5.7より、それらを裏付ける結果が見られる。

例えば身長が80cm未満の乳幼児では、よじ登りが生成される確率は総じて低い。これは、つかまり立ちに挑戦することが動機づけられる乳幼児である。また身長が80cm以上90cm未満の乳幼児になると、高さ10cmというとても低い環境に対してはよじ登りの生成確率が高くなるが、これは小さな段差を登り降りすることが動機づけられる乳幼児である。一方身長90cm以上の乳幼児になると、全体的によじ登りの生成確率が上がり、広さが30cm×30cmという十分広い環境だけでなく、それよりも狭くより不安定となる20cm×20cmの広さの環境にも登る。また一般的に高さは低い方が登りやすく、図5.4からも高さは低い方が確率は高くなっているが、身長90cm以上の乳幼児

は、広さ 30cm×30cm の環境では、高さが高い環境でも低い環境と同様によじ登る確率がとても高い。これは登ることが容易になり、またバランスがとれるようになり、より不安定で難度の高い環境に登ること、つまり抵抗のある環境を乗り越えようとするのが動機づけられる乳幼児であるので、そのような結果になったと考察される。

(2) 認知的な行為の可能性

「認知的な行為の可能性」に与える各変数の影響を考察する。特に、本研究で援用したアフォーダンス理論によると、行為の可能性は環境特性と人間特性の関係で以って決定されることになるので、環境特性と乳幼児特性の関係が持つ、「認知的な行為の可能性」の意味について考察する。

環境の「高さ」は、高いほど行為の難度が高くなるといえ、図 5.4 からも「高さ」が高いほどよじ登り行為生成の確率は低いが、図 5.5～図 5.7 より、乳幼児の「身長」が高くなるほど高い箱に登る確率が高くなっている。よじ登り行為は環境に対して垂直方向の移動に関する行為であり、「高さ」と「身長」はどちらも垂直方向の長さに関する変数であるので、環境の「高さ」と乳幼児の「身長」は、その身長でそもそも登れる高さかという、“身体スケール的な行為の可能性”の意味を持つと考えられる。

また、環境の「広さ」は、図 5.4 から、狭いほどよじ登り行為生成の確率は低く、図 5.5～図 5.7 より、同じ高さの環境でも、面が狭くなると登る確率は大きく下がっている。図 5.3 のモデルの各リンクのスコアからも環境の「広さ」がよじ登りの行為生成に与える影響は強いことが分かる。環境の「広さ」はよじ登った後に行為者の身体を乗せられる面の大きさであり、「身長」はその身体の大きさに相関する変数であるので、環境の「広さ」と乳幼児の「身長」は、その身体の大きさで、よじ登り後に環境の上に滞在できるかという、“行為後の滞在の可

能性”の意味を持つと考えられる。

また、図 5.4～図 5.7 より、登れる「高さ」、登れる「広さ」であっても、その組み合わせによっては確率が減少したり、確率がゼロになったりしている。例えば、図 5.7 より、「身長」が 90 cm 以上の乳幼児について見てみると、「広さ」が 30 cm × 30 cm では「高さ」が 50cm の環境に登る可能性が高いが、同じ高さでも「広さ」が 20 cm × 20 cm になるとその確率が激減し、「広さ」が 10 cm × 10 cm になるとその確率はゼロとなる。また「高さ」が 10cm では「広さ」が 10 cm × 10 cm の環境には登る可能性があるが、同じ広さでも「高さ」が 30cm となるとその確率はゼロとなる。「高さ」は高いほど、また「広さ」は狭いほど、その環境の安定性は悪くなり、行為の難度は高くなるといえる。また乳幼児期はバランスを取る能力がまだ発達途中であり、今回対象とした乳幼児では、「身長」が 90cm 以上の乳幼児でようやく姿勢を移動しバランスを取ることが可能となる。つまり、環境の「高さ」「広さ」と乳幼児の「身長」は、その身長 of 身体能力で、環境を倒さずに登れるかという、“バランス的な行為の可能性”の意味を持つと考えられる。

以上のように、それぞれの環境の特性と乳幼児の特性が、「動機づけ」の形成や、「認知的な行為の可能性」に影響を与え、行為の生成に関係していると示唆される。

5.5 モデルの評価と考察

5.5.1 交差検定によるモデルの予測精度の検証

(1) 構築したモデル全体の予測精度

構築したモデルを用いることで、環境と乳幼児の特性から、乳幼児が環境によじ登る行為の生成確率を予測計算することができるが、本節では未観測の

行為の生成をどれくらい予測計算できるかという、モデルの予測精度を検証する。その方法として、本研究では、交差検定の手法の一つである、leave-one-out cross-validation 法[Stone, 1974]を用いる。この方法は、標本群から1つの事例だけを抜き出してこれを評価用データとし、残りをモデル構築のための学習用データとする。これを全事例が1回ずつ評価用データとなるように検定を繰り返す方法である。

本研究では13名の被験者の行為データ(n=176)のうち、1名の被験者のデータ群を評価用データとし、残りのデータでモデルを構築する。このときのモデルの構造は、全データで構築したモデル(図 5.3)と同様の構造を学習させる。構築されたモデルによって、評価用データの環境変数と乳幼児変数を条件とした時の「よじ登り」の確率分布を計算し、実際に発生した行為の予測確率をスコアとして採用する。そして全被験者が1回ずつ評価用データ群となるようにこの検定を繰り返し、スコアを計算する。この評価方法の概要を図 5.8に示す。全行為データのスコアの平均を計算したところ 0.798(SD=0.286)であった。これは未観測のよじ登り行為に対して、約8割の確率で予測計算可能ということであり、構築したモデルの行為生成の予測精度は高いといえる。

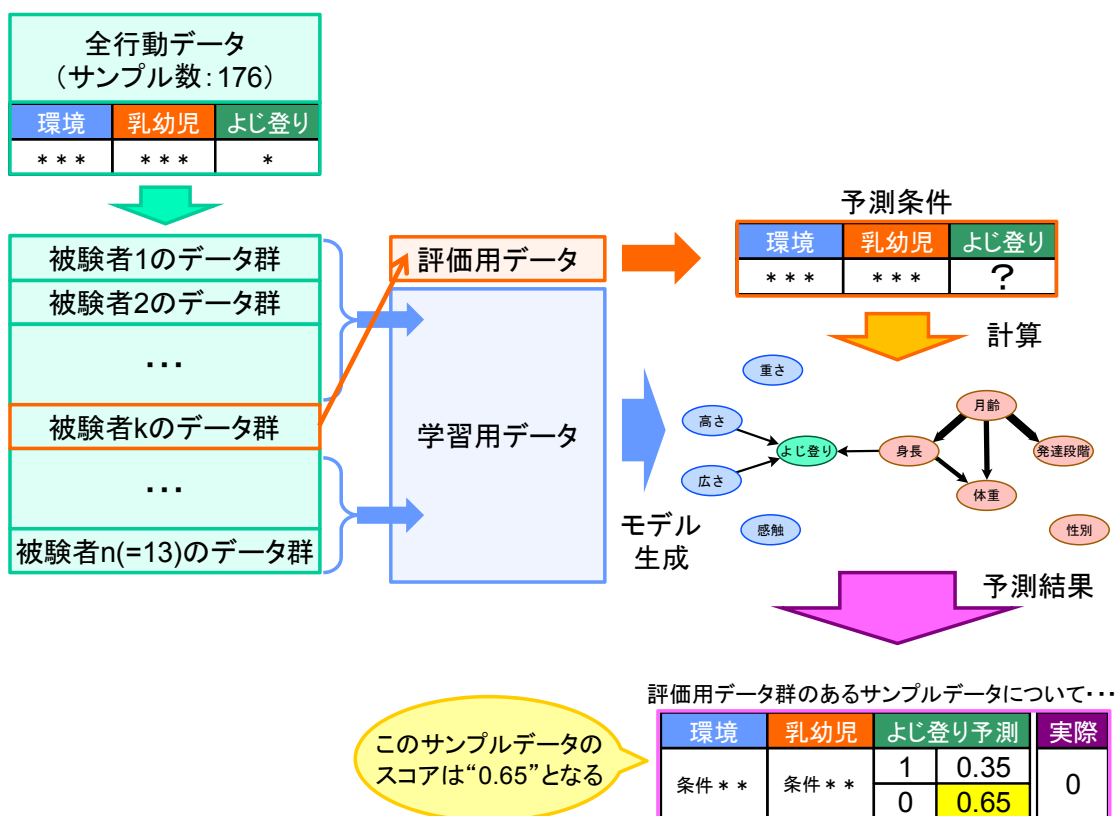


図 5.8 モデルの評価方法 (leave-one-out cross-validation 法)

(2) 条件ごとのモデルの予測精度

構築したモデル全体の予測精度が、与える条件によって、どのように変化するか検討した。構築したモデルにおいて、「よじ登り」を予測するための変数である、環境の「高さ」「広さ」と乳幼児の「身長」に対して、それぞれの条件ごとにスコアの平均を算出した結果を図 5.9 に示す。図 5.4 の、よじ登り確率 = 1 のときの環境の「高さ」「広さ」と乳幼児の「身長」の確率分布のグラフと比較してみると、よじ登り行為が生成しやすい環境、乳幼児では、予測精度が下がることが分かる。これは、よじ登り行為が生成しやすい条件では、モデルによって計算されるよじ登り行為の確率分布がばらつきやすく、モデルの評価において高いスコアが得られにくいからだと考えられる。

例えば、よじ登り行為が生成する可能性の低い環境では、身長の高い乳幼

児は登れるが、身長の高い乳幼児は登れず、よじ登り行為が生成する可能性の低い乳幼児では、登れる環境では登るが登れない環境では登らないというように、条件によって計算されるよじ登り行為の確率分布がどちらかに偏り、予測がしやすいといえる。一方、よじ登り行為が生成する可能性の高い環境では、どの乳幼児でもよじ登る可能性があり、よじ登り行為が生成する可能性の高い乳幼児では、どの環境でもよじ登る可能性があるというように、計算されるよじ登り行為の確率分布において確率値がばらつきやすく、予測がしにくいといえる。

そこで、モデルによって計算されたよじ登り行為の確率分布において、“0(よじ登らない)”と“1(よじ登る)”の確率値の差の絶対値を、その計算された確率分布の分散スコアとし、環境の「高さ」「広さ」と乳幼児の「身長」に対して、それぞれの条件ごとに分散スコアの平均を算出した結果を図 5.10 に示す。この分散スコアは、0 から 1 の値をとり、0 の場合には、“0(よじ登らない)”と“1(よじ登る)”の確率値が完全に二分された状態であり、1 に近づくほどどちらかに分布が偏っていることを意味する。図 5.4, 5.9, 5.10 より、よじ登り行為が発生しやすい環境・乳幼児では、モデルによって計算されたよじ登り行為の確率分布がばらつきやすく、予測精度が下がることが確認できる。

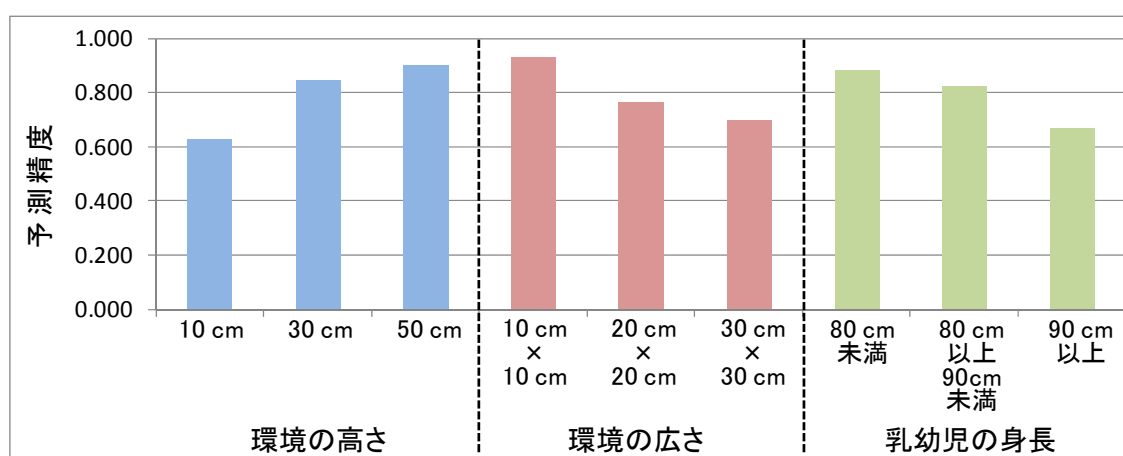


図 5.9 説明変数の条件ごとに算出したモデルの予測精度の平均

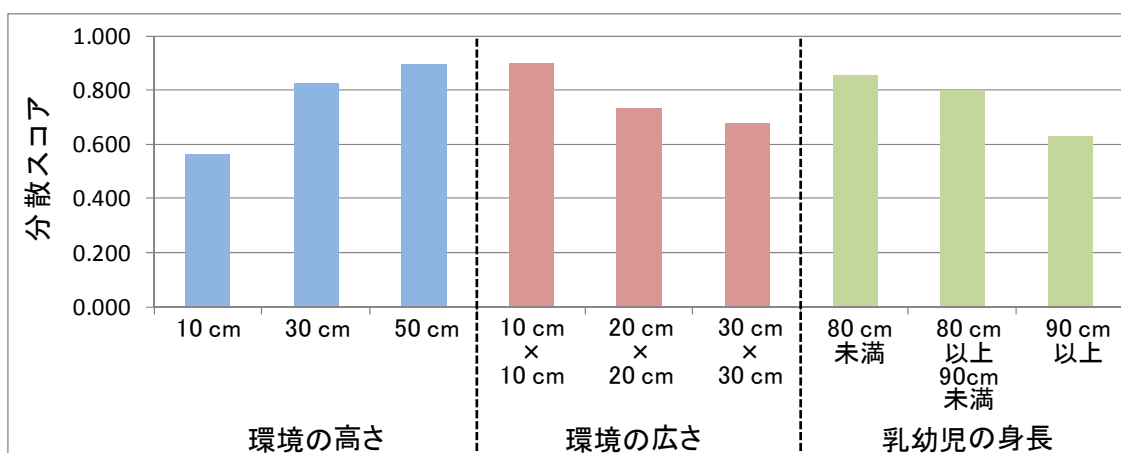


図 5.10 説明変数の条件ごとに算出した確率分布の分散スコアの平均

5.5.2 高い予測精度に関する考察

よじ登り行為が生成しやすい環境，乳幼児では，よじ登り行為生成の計算結果の確率分布がばらつきやすく，予測精度が下がることが分かったが，全体としては約 8 割という，高い予測精度が得られた．この結果について，よじ登り行為の生成モデルを構築した本研究のアプローチを振り返り，(1)モデルの説明変数の候補の設定，(2)データを収集した行動観察実験，という観点から以下に考察する．

(1) モデルの説明変数の候補の設定に関して

本研究では，「環境」の説明変数の候補に関しては，事故データをテキストマイニングすることで，環境と行動との関係を分析し，その分析結果に基づいて，よじ登り行動の生成に関係する環境特性を考察し，モデルの説明変数候補を設定した．一方，「乳幼児」の説明変数の候補に関しては，仮説のプロセスの各ステップにおいて関連すると思われる特性を，先行研究を参照しながら考察し設定した．モデル化の結果，よじ登り行為の生成に影響していた変数は，環境の「高さ」「広さ」と乳幼児の「身長」であり，この 3 つの変数だけでもよ

じ登り行為の生成を高精度で予測計算できるモデルを構築できた。

本研究では、このように行動生成のプロセスを仮定し、環境と乳幼児のどのような特性がインタラクトして行為が生成されるのか、データ分析や先行研究等の根拠に基づいて考察し、ある程度狙いを定めて説明変数の候補を設定したことで、説明力のある変数を選択できたといえる。特に、行為生成における環境特性と乳幼児特性のマッチングは重要だと思われる。よじ登りは垂直方向の移動に関する行為であるが、「高さ」と「身長」はどちらも垂直方向の長さという同次元で計測できる変数であるので、これらのマッチングが行為生成に対して高い説明力を持ったと考えられる。またよじ登りが実際に生成された環境群の抽出結果からも分かるように、よじ登りは、バーをまたぐ、柵を登るといったような、高さという1次元の環境特性だけが影響する行為ではなく、高さに対して面という特性をもつ環境に対する行為であるので、「高さ」だけでなく「広さ」の影響も大きく、よじ登り行為の説明に欠かせない変数であったといえる。さらに乳幼児期は月齢や発達段階と行動発現との間に密接な関係があることが報告されていたので、「身長」という乳幼児の身体スケールに関連する説明変数を、この発達段階に合わせてカテゴリ化をしたことで、発達段階の要素も持った説明力の高い変数を設定することができたといえる。

(2) データを収集した行動観察実験に関して

本研究では、乳幼児の自然なよじ登り行動をモデル化するために、設定した説明変数の候補に基づき、特徴の異なる複数の箱を作成し、その箱に対する乳幼児のよじ登り行動を、特に何も指示を与えず、自由な行動の中から観察する実験を実施した。

乳幼児を対象とした観察実験では、乳幼児が実験空間に戸惑って泣いてしまったり、飽きて寝てしまったりと、実験を中断せざるを得なくなる可能性があり、

成人と比べると被験者としての扱いが困難となる。そこで本研究では、乳幼児の日頃の自然な行動を観察できるように、実験本来の目的達成の支障とならない程度で、乳幼児に飽きさせない、安全で楽しい実験のデザインを工夫した。その結果、ほとんどの乳幼児において、中断することなく自然な行動を観察することができ、このような配慮が機能したと考えられる。

5.5.3 予測が外れる行為があったことに関して

構築したモデルは、約 8 割の確率で未観測のよじ登り行為の生成を予測できるといふ、高い予測精度を持つ一方で、約 2 割の確率で予測が外れていることになる。当然 100%の行為を予測できるモデルを構築することは不可能であるが、予測が外れる行為があったことに関して以下に考察する。

先述したように、よじ登り行為が生成しやすい環境や乳幼児では、予測の確率分布がばらつき、モデルの予測精度が下がる傾向にあるが、その原因としては、モデル構築のための行動観察データの量が十分でないことや、検討しきれていないモデルの説明変数があることなどが考えられる。構築したモデルにおいて、よじ登り行為の生成に影響を与えていた変数は、環境の「高さ」「広さ」と乳幼児の「身長」の 3 つであり、この 3 つだけで約 80%の予測精度を持ったが、一方、この 3 つの変数だけで、環境とインタラクトした乳幼児のよじ登り行為の全てを再現できるとは考えにくい。本研究では、生得的な行動を観察しやすい対象として乳幼児を取り上げたが、乳幼児の行為生成には、月齢や身長・体重といった発達に関わる特性だけでなく、性格や経験、成育環境、生活習慣といった、個人特性も影響していることが考えられる。

このような個人特性は、本研究の仮説のプロセスモデルの中でも、行為生成における「動機づけ」に影響すると考えられるが、よじ登り行為の生成におけるその影響を確認するため、図 5.9, 5.10 において、予測の確率分布がばらつ

き、モデルの予測精度が低い傾向にあった、「身長 90cm 以上」のカテゴリに属する 3 名の被験者に対し、その個人差を検討する。その方法として、環境の「高さ」「広さ」を軸に、各被験者のよじ登り行為の生成頻度を集計し、その頻度の傾向の違いを検討する。モデル構築のために使用したデータでは、ある被験者が 1 回の実験で、同じ箱に 2 回以上登ったとしても、よじ登り行為の有無は“1”とカウントしていたが、ここでは 1 回の実験で観察された、全てのよじ登り行為の件数を環境の「高さ」「広さ」に対して集計する。ここで得られた各環境のよじ登り行為の生成頻度は、その環境へよじ登ることの執着度、つまり動機づけの大きさと捉えることができ、その個人間の違いを検討する。図 5.11～図 5.13 に「身長 90cm 以上」のカテゴリに属する 3 名の被験者に対する、集計結果を示す。なお全被験者のよじ登り行為の生成頻度に関しては、付録 C を参照のこと。

図 5.11～図 5.13 より、同じ身長カテゴリでも、よじ登り行為の生成頻度、つまり動機づけの傾向が各被験者で異なることが示されている。被験者 A では、多くのよじ登りの行為が見られるが、高さが低くよじ登りの簡単な環境に対してはあまりよじ登りが見られず、難度のより高い環境、つまり高さが高く広さが狭い環境でのよじ登り行為が多く動機づけられていることが分かる。一方、被験者 B では、あまり多くのよじ登り行為は見られないが、難度のより低い環境、つまり高さが低い環境、あるいは高さが高くても広さが十分広い環境でのよじ登り行為が動機づけられていることが分かる。また被験者 C では、被験者 A と B の中間のような傾向があり、難度の低い環境に対してとても多くのよじ登り行為が見られる。

このように、発達に関する特性が類似している被験者でも、個人によって行為生成における動機づけの大きさは異なっている。今後このような行為生成における個人差も変数として検討する余地があるといえる。

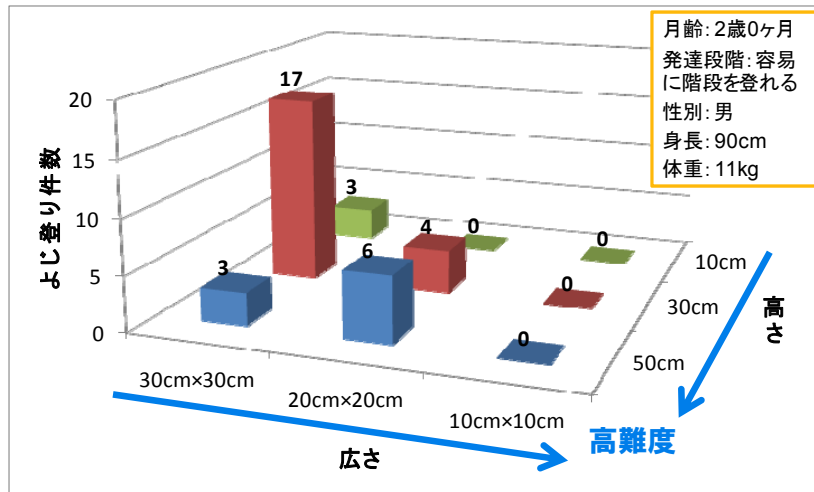


図 5.11 被験者 A のよじ登り行為の生成頻度

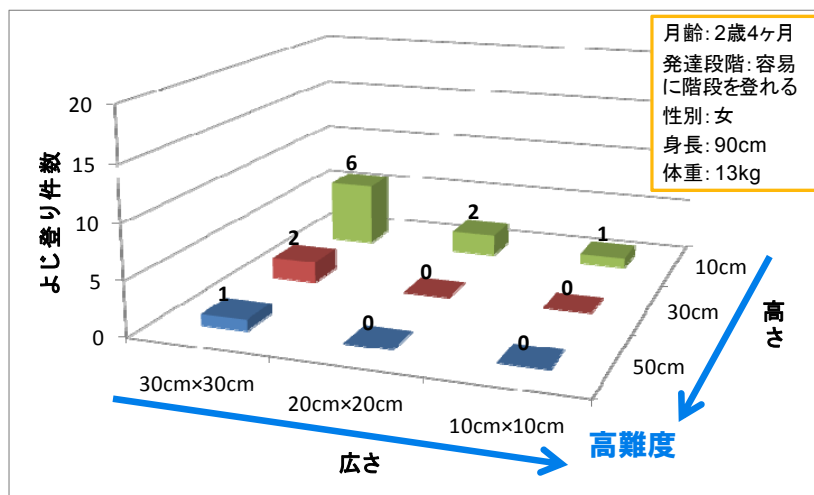


図 5.12 被験者 B のよじ登り行為の生成頻度

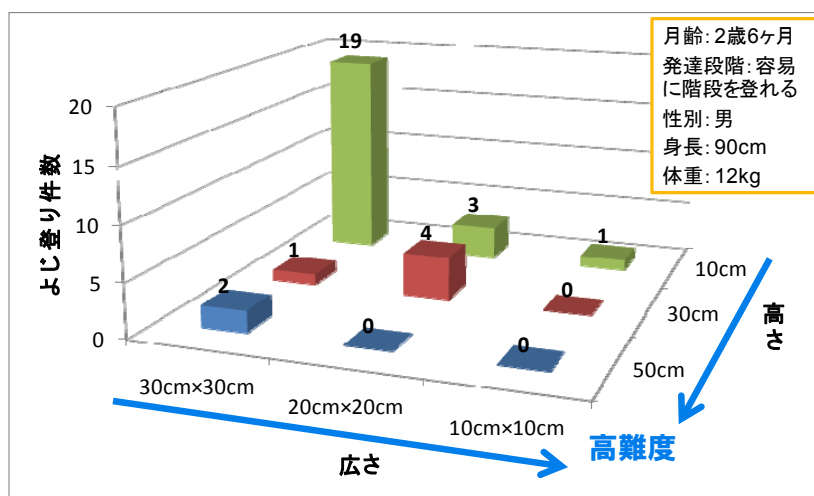


図 5.13 被験者 C のよじ登り行為の生成頻度

5.6 本章のまとめ

本章では、乳幼児のよじ登り行為を対象に、行動観察実験データに基づいて、ベイジアンネットワークを用いて、①環境特性、②乳幼児特性、③よじ登り行為の生成の有無、の関係を確率論的にモデル化し、行為生成の予測精度を検証したところ高い精度が確認された。

本章は、本研究の仮説のプロセスモデルにおいて、「動機づけ」と「認知的な行為の可能性」のステップで決定される“行為の生成”に関して、具体的な計算モデルを構築し、その仮説の考え方の妥当性を検討した。

第 6 章 行為の成否モデルの構築

6.1 本章の目的

本章では、仮説のプロセスモデルをベースとして、「実際の行為の可能性」のステップで決定される、乳幼児のよじ登り行為の成否を、第 4 章の行動観察実験データを用いて具体的に計算モデル化する。また仮説における行為の成否の考え方の妥当性を検討する。

6.2 本章の方法

第 4 章の行動観察データに基づいて、①環境特性、②乳幼児特性、③よじ登り行為の成否の関係を、ベイジアンネットワークを用いて確率論的にモデル化する。その結果から、環境特性と人間特性の関係で以って決定される「行為の可能性」は、知覚と実際にギャップがあり、生成した行為が達成されないこともあることを検討する。また構築したモデルから、その行為の可能性の知覚のずれに影響する変数について考察する。

6.3 モデル構築のための行為の成否データの収集

計算モデルを構築するためのデータとして、第 4 章の行動観察実験で収集した動画データを用いて、よじ登り行為の生成が観察された全事例に対して、よじ登り行為の成否（達成・失敗）を記録し、そのデータを収集した。なお、本研究では、第 2 章第 6 節で述べたとおり、よじ登るのは環境の上に乗りたいからだと仮定し、「よじ登り行為の達成」とは、「よじ登り行為後に箱の上に立った」、あるいは「よじ登り行為後に箱の上に乗った」こととした。「箱の上に立った」とは、図 6.1 に示すような、箱の上で立位姿勢を取ることができた状態、「箱の上に乗った」とは、図 6.2 に示すような、座る、寝そべる等、箱の上に身

体を乗せることができた状態と定義した。一方「よじ登り行為の失敗」とは、図 6.3 に示すような、よじ登り行為後に箱の上に身体を乗せきれなかったことと定義した。

箱に対する乳幼児のよじ登り行為が観察されればデータとしてカウントし、それぞれのよじ登り行為に対し、その環境変数（高さ・広さ・重さ・感触）と乳幼児変数（月齢・発達段階・身長・体重・性別）の値とともに、よじ登り行為の成否を“達成”と“失敗”で記録した。その結果、95 件のよじ登り行為が観察され、そのうちそのよじ登り行為の達成データは 88 であり、よじ登り行為の失敗データは 7 であった。なお、前章では、ある乳幼児において、同じ箱で複数回のよじ登り行為が観察されても、1 件のデータとしてカウントしたが、本章では、その観察された全てのよじ登り行為をデータとしてカウントしている。収集した 95 件のよじ登り行為の成否データにおいて、各変数のカテゴリごとのデータ数を表 6.1 に示す。なお、各変数は、第 5 章と同様のカテゴリ化を行った。本研究では、行為の成否のデータ 1 件に対して、環境と乳幼児の全ての変数の値が記録されているため、表 6.1 において「環境」と「乳幼児」と「行為の成否」の各変数の全データ数は 95 で一致している。

なお、各被験者で生成されたよじ登り行為に対する成否の割合に関しては、付録 C を参照のこと。

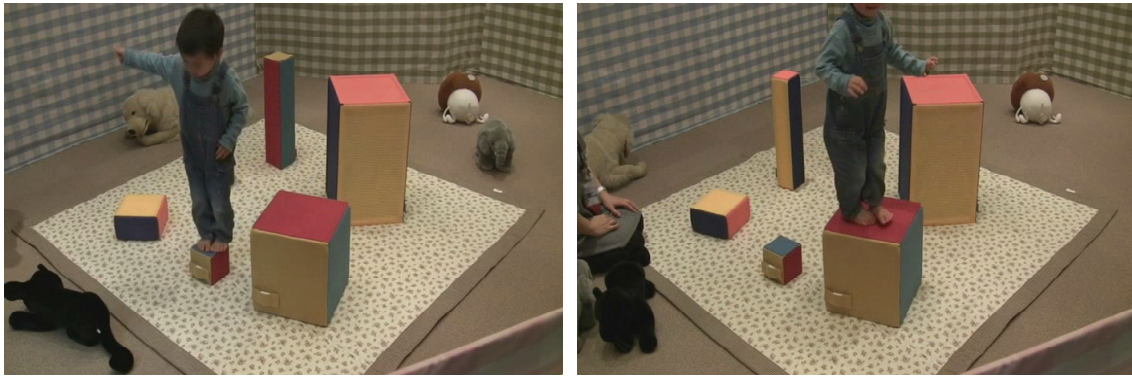


図 6.1 「箱の上に立った」と判断する例

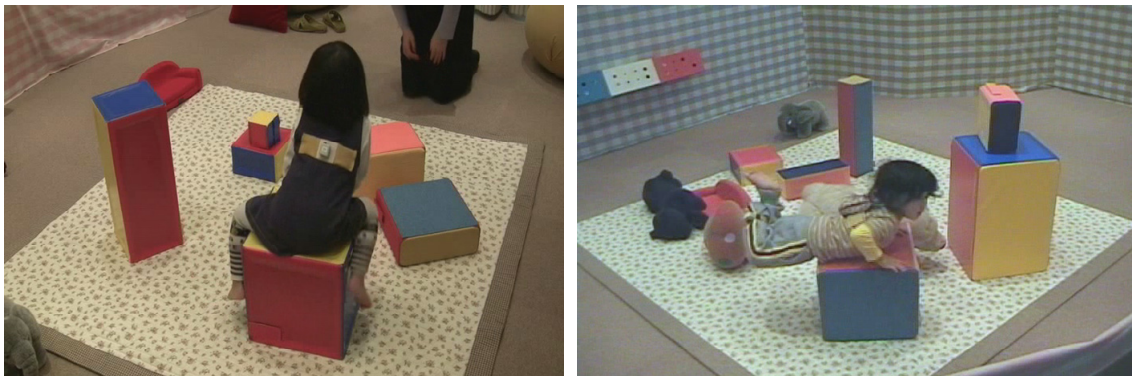


図 6.2 「箱の上に乗った」と判断する例



図 6.3 「よじ登り行為の失敗」と判断する例

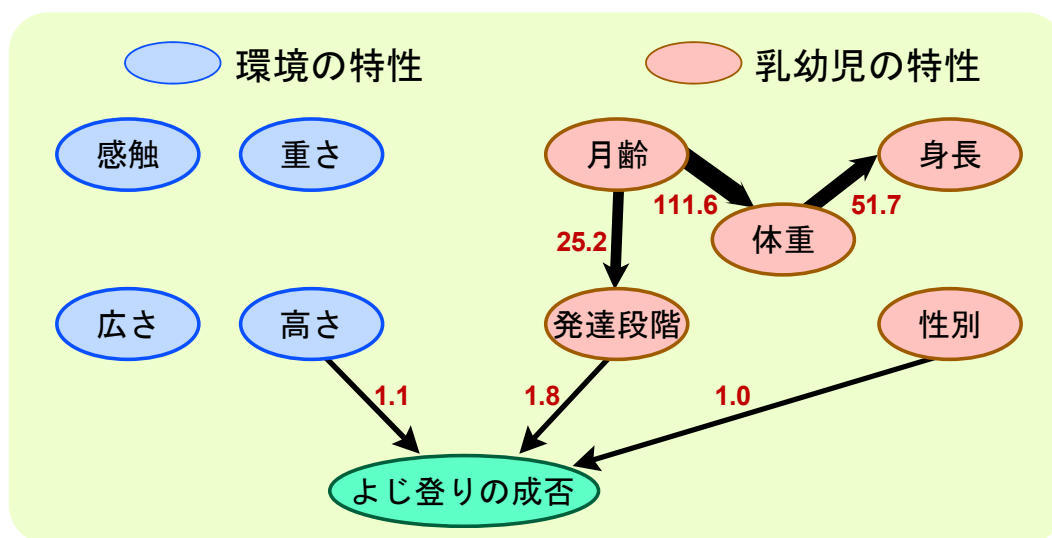
表 6.1 よじ登り行為の成否における各変数の各カテゴリのデータ数

環 境					乳 幼 児				
変数	カテゴリ	データ数	N	割合[%]	変数	カテゴリ	データ数	N	割合[%]
高さ	10cm	51	95	53.7	月 齢	～18ヵ月	4	95	4.2
	30cm	30		31.6		19～24ヵ月	45		47.4
	50cm	14		14.7		25～30ヵ月	46		48.4
広さ	10cm×10cm	2	95	2.1	発達段階	つかまり立ちができる	1	95	1.1
	20cm×20cm	22		23.2		上手に歩ける	3		3.2
	30cm×30cm	71		74.7		容易に階段を登れる	91		95.8
重さ	軽い	42	95	44.2	身長	80cm未満	6	95	6.3
	重い	53		55.8		80cm以上90cm未満	14		14.7
感触	滑る	18	95	18.9		90cm以上	75		78.9
	滑らない	34		35.8	体重	10kg未満	13	13.7	
	柔らかい	43		45.3		10kg以上12kg未満	34	35.8	
行為の成否						12kg以上	48		50.5
よじ登りの成否	失敗	7	95	7.4	性別	女	26	95	27.4
	達成	88		92.6		男	69		72.6

6.4 乳幼児のよじ登り行為の成否モデルの構築と考察

6.4.1 乳幼児のよじ登り行為の成否モデルの構築

収集したよじ登りの行為の成否に関する95件のデータに基づき、ベイジアンネットワークを用いて、変数間の確率的因果関係をモデリングした。モデリングの結果を図6.4に示す。図6.4のモデルから、「よじ登り行為の成否」は、環境の「高さ」と、乳幼児の「発達段階」「性別」と関係があることが示されている。なお、このモデル構築に用いた行為の成否のデータは、特に「行為失敗」のデータが少なく、これらのデータで構築された各変数の条件付き確率表には欠損が目立つが、行為の成否を表現する計算モデルを構築することができた。



※モデル全体のAICスコア=1145.2(各リンクのスコアはモデル全体に対するAICの寄与度)

図 6.4 乳幼児のよじ登り行為の成否モデル

6.4.2 仮説モデルのプロセスに関する考察

本研究の仮説モデルで仮定した人間の行動生成プロセスでは、環境の特性と人間の特性の関係で以って決定される行為の可能性があり、それには、「認知的な行為の可能性」と「実際の行為の可能性」があり、両者にギャップが生じることで、できると知覚して生成した行為でも実際はできないことがあるとした。一方、この2つの行為の可能性にギャップがなく、一致していれば、できると知覚した行為はそのままできることとなる。この場合、「環境の特性と人間の特性の関係で記述された認知的な行為の可能性による行為の生成のモデル」と「環境の特性と人間の特性の関係で記述された実際の行為の可能性による行為の達成のモデル」はそのモデル構造が一致することとなる。第1章の従来研究で示した、アフォーダンスの知覚のずれのモデル[Warren & Whang, 1987]における、知覚した π 数と実際の π 数はこれらの2つのモデルの一例といえる。これらの2つのモデルが一致していれば、できると知覚して生成した行為は達成されることになるので、「行為の成否」を対象としたモデルは

構築されないはずである。

本章では、乳幼児のよじ登り行為を対象として、環境の特性と人間の特性に関係付けられた行為の成否のモデルを構築することができた。この結果から、仮説モデルで仮定したプロセスの通り、確かに動機づけられ生成された行為が実際には達成されないことがあり、環境の特性と人間の特性の関係で以って決定される「行為の可能性」は、知覚と実際にギャップがあることが示唆される。

6.4.3 よじ登り行為の成否に関係する変数の考察

構築したモデルにおいて、「行為の成否」に関係づけられた変数は、アフォーダンスの知覚にずれを生じさせやすい特性であるといえる。本節では、欠損のあるデータで構築されたモデルの範囲において、「よじ登りの成否」と関係があるとされた環境の「高さ」と、乳幼児の「発達段階」「性別」に対して、アフォーダンスの知覚のずれによる行為の成否に与える影響を考察する。

構築したモデルは、得られたデータに基づいて作成された各条件付き確率表に欠損が多く、前章のように、構築したモデルを使って、説明変数を条件としたときの目的変数の確率分布を予測計算し、各説明変数の与える影響を考察することが難しい。そこで、目的変数である「よじ登りの成否（達成・失敗）」を条件としたときの、環境の「高さ」と、乳幼児の「発達段階」「性別」という説明変数の確率分布を計算し、「よじ登り達成」と「よじ登り失敗」のそれぞれの場合における確率分布を比較することで、よじ登り行為の成否において各変数の持つ意味を考察する。

構築したモデルを用いて、「よじ登りの成否」をそれぞれ“達成”と“失敗”と指定したときの、環境の「高さ」と、乳幼児の「発達段階」「性別」の計算された確率分布を図 6.5 に示す。

(1) 環境の高さについて

環境の「高さ」は、「よじ登り達成」の場合には、低い方が行為達成は容易であるので、高さが低いほど確率が高いが、「よじ登り失敗」の場合には、特に高さ30cmで確率が高い。これは被験者となった乳幼児にとって、30cmという高さに対し、行為の可能性の知覚を間違えやすいといえる。10cmや50cmのように、行為生成の難易度が極端に容易、あるいは困難な高さに関しては、行為の可能性の知覚は間違いにくく、その間の高さでは判断が微妙で、知覚のずれが生じやすいと考察できる。

前章で考察した通り、環境の「高さ」は行為の可能性において乳幼児の「身長」と関係し、この2つの変数の関係は、“身体スケール的な行為の可能性”の意味を持つと考えられたが、環境の高さに関して行為の可能性の知覚が正しくないということは、環境の高さに対する乳幼児の身体自己像が正しくないことに関連すると考えられる。環境の高さと乳幼児の身長はどちらも垂直方向の長さという同次元で計測できる変数であるがゆえに、環境の高さに対して自身の身長のスケール感覚が不正確になりやすいと思われる。

(2) 乳幼児の発達段階と性別について

乳幼児の「発達段階」に関しては、今回用いた行為の成否に関するデータでは、行為の生成を条件としているため、そのほとんどが容易に階段を登れる乳幼児のデータとなっており、「よじ登り達成」の場合でも「よじ登り失敗」の場合でも、容易に階段を登れる発達段階の確率が高く、つかまり立ちができる発達段階や上手に歩ける発達段階の確率はほぼゼロである。一方、「よじ登り失敗」の場合には、その確率の約20%は、つかまり立ちができる発達段階や、上手に歩ける発達段階に分布し、「よじ登り失敗」の場合の確率は比較的発達の進んでいない乳幼児にも見られる。乳幼児の環境に対する身体自己像

は発達に伴ってより正確になっていくとされており[根ヶ山ら, 1989], 発達段階が十分でない乳幼児はアフォーダンスの知覚にずれが生じやすく, 行為達成に対して行為失敗の確率が高くなったと考えられる.

乳幼児の「性別」に関しては, 今回用いた行為の成否に関するデータは, そもそも男児のデータが多いため(男児 69 件, 女児 26 件), 「よじ登り達成」の場合でもそれが反映されている結果となっているが, 「よじ登り失敗」の場合では女児の確率が高くなっている. 乳幼児期の身体能力の過大評価に関する研究では, 女児よりも男児の方が過大評価しやすいという報告もあるが[Lirgg, 1991], 性差は見られないという報告もあり[Kontos, 2004], 今回のデータだけでは行為の可能性の知覚のずれにおける性差については明らかとされていないといえる.

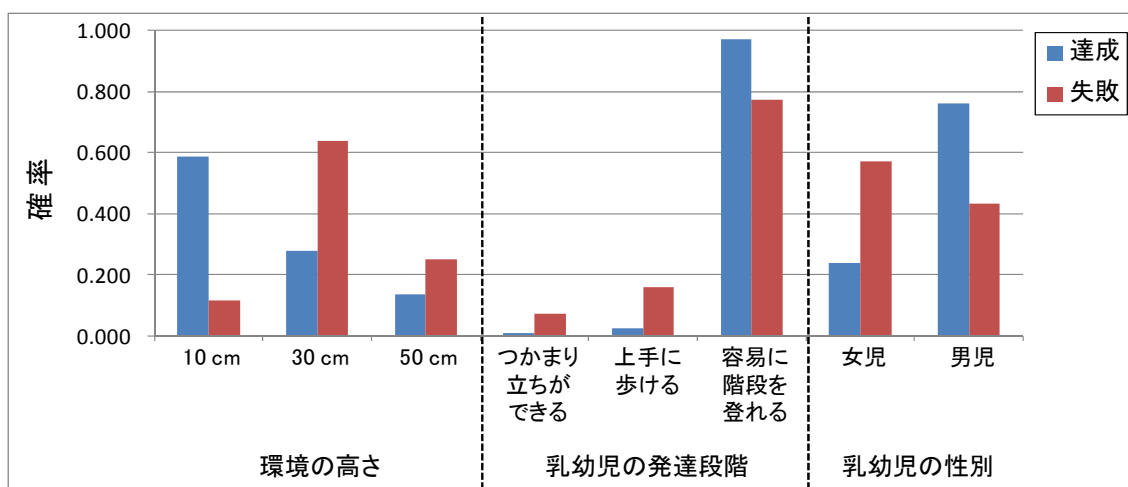


図 6.5 よじ登りの成否を条件としたときの各変数の確率分布

6.5 本章のまとめ

本章では, 乳幼児のよじ登り行為を対象に, 行動観察実験データに基づいて, ベイジアンネットワークを用いて, ①環境特性, ②乳幼児特性, ③よじ登り行為の成否, の関係を確率論的にモデル化した. モデル構築に用いたデー

々に欠損はあるものの、環境の特性と人間の特性に関係付けられた行為の成否のモデルを構築することができた。この結果から、仮説モデルで仮定した通り、確かに動機づけられ生成された行為が実際には達成されないことがあり、環境の特性と人間の特性の関係で以って決定される「行為の可能性」は、知覚と実際にギャップがあることが示唆された。

本章は、本研究の仮説のプロセスモデルにおいて、「実際の行為の可能性」のステップで決定される“行為の成否”に関して、具体的な計算モデルを構築し、その仮説の考え方の妥当性を検討した。

第7章 まとめと考察

本章では、これまでに構築した“行為の生成モデル”と“行為の成否モデル”を統合することで“自然な行動生成のモデル”を構築し、本研究の検討結果をまとめ、全体の考察を述べる。また、構築した計算モデルを用いた環境評価について述べる。

7.1 モデル統合による乳幼児の自然なよじ登り行動の生成モデル構築

仮説のプロセスモデルをベースとし、乳幼児の自由な行動の観察実験から得られたよじ登り行動に関するデータに基づいて、ベイジアンネットワークによって構築した、第5章の“乳幼児のよじ登り行為の生成モデル”と、第6章の“乳幼児のよじ登り行為の成否モデル”を統合することで、“乳幼児の自然なよじ登り行動の生成モデル”を構築した。これを図7.1に示す。

この統合モデルを用いることで、乳幼児が環境とインタラクトしたときに、その環境の特性と乳幼児の特性から、よじ登り行為を生成する確率・しない確率、よじ登り行為をするときそれを達成する確率・失敗する確率の予測計算が可能となる。

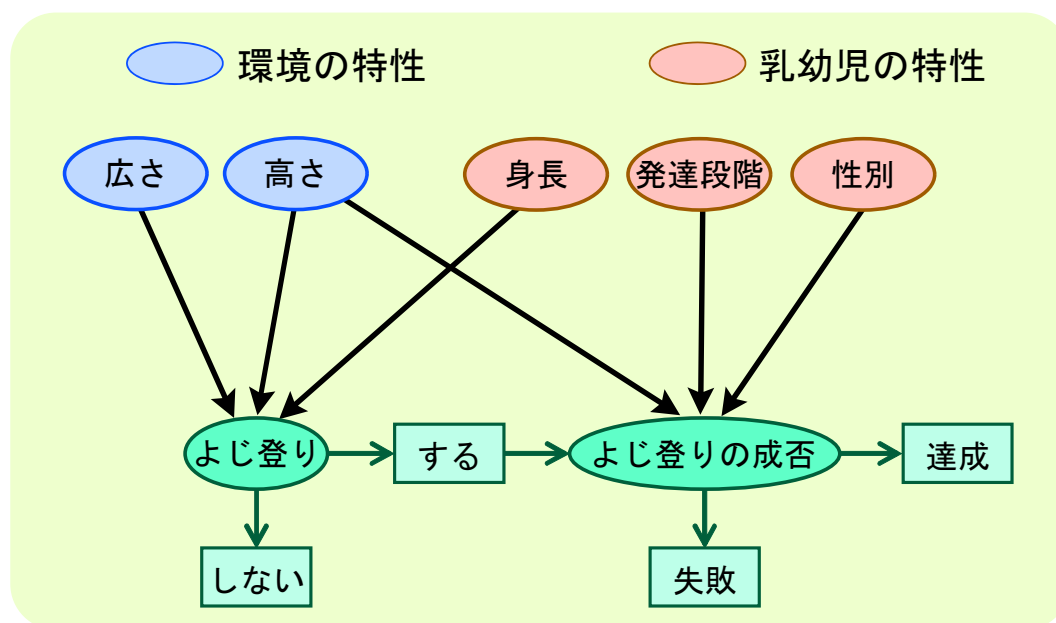


図 7.1 乳幼児の自然なよじ登り行動の生成モデル

7.2 本研究の検討結果の要約

本研究では、仮説のプロセスモデルが、バーチャルヒューマンの行動生成モデルを具体的に構築する考え方を示す基礎モデルとなり得ることを検討するため、仮説モデルをベースとして、乳幼児の事故理解を想定した乳幼児行動を対象に、環境とインタラクトした人間の自然な行動生成の計算モデルを構築してきた。図 2.1 で示した本研究の検討アプローチに対して、これまでの検討結果を位置づけたものを図 7.2 に示す。

本研究では、まず計算モデルを具体的に構築する対象行動と、その環境と人間の説明変数の候補を設定するため、子どもの事故の大規模データをテキストマイニングすることで、環境と行動の関係データを抽出した。その結果から、乳幼児が環境とインタラクトして日常的によく生成される事故の事前行動として、よじ登り行動を設定した。続いてその環境と行動の関係データを用いて、乳幼児のよじ登り行動の生成に関連すると思われる環境特性を考察し、また仮説モデルの各ステップにおいて関連すると思われる乳幼児特性を、先行研

究を参照しながら考察し、モデルの説明変数の候補としてそれぞれ設定した。

その説明変数の候補に基づいて、乳幼児のよじ登り行動を自由な行動の中から観察する実験をデザイン・実施した。その行動観察データに基づき、ベイジアンネットワークを用いて、「動機づけ」と「認知的な行為の可能性」のステップに基づく“行為の生成モデル”と、「実際の行為の可能性」のステップに基づく“行為の成否モデル”をそれぞれ具体的に構築した。

以上構築した2つの計算モデルを統合することで、乳幼児が環境とインタラクトしたときに、よじ登り行為をすることもあればしないこともあり、よじ登り行為をしてもそれが達成することもあれば失敗することもあるという、行動生成のプロセス全体を対象に確率的な計算ができる、環境とインタラクトした乳幼児の自然なよじ登り行動生成モデルを構築できた。

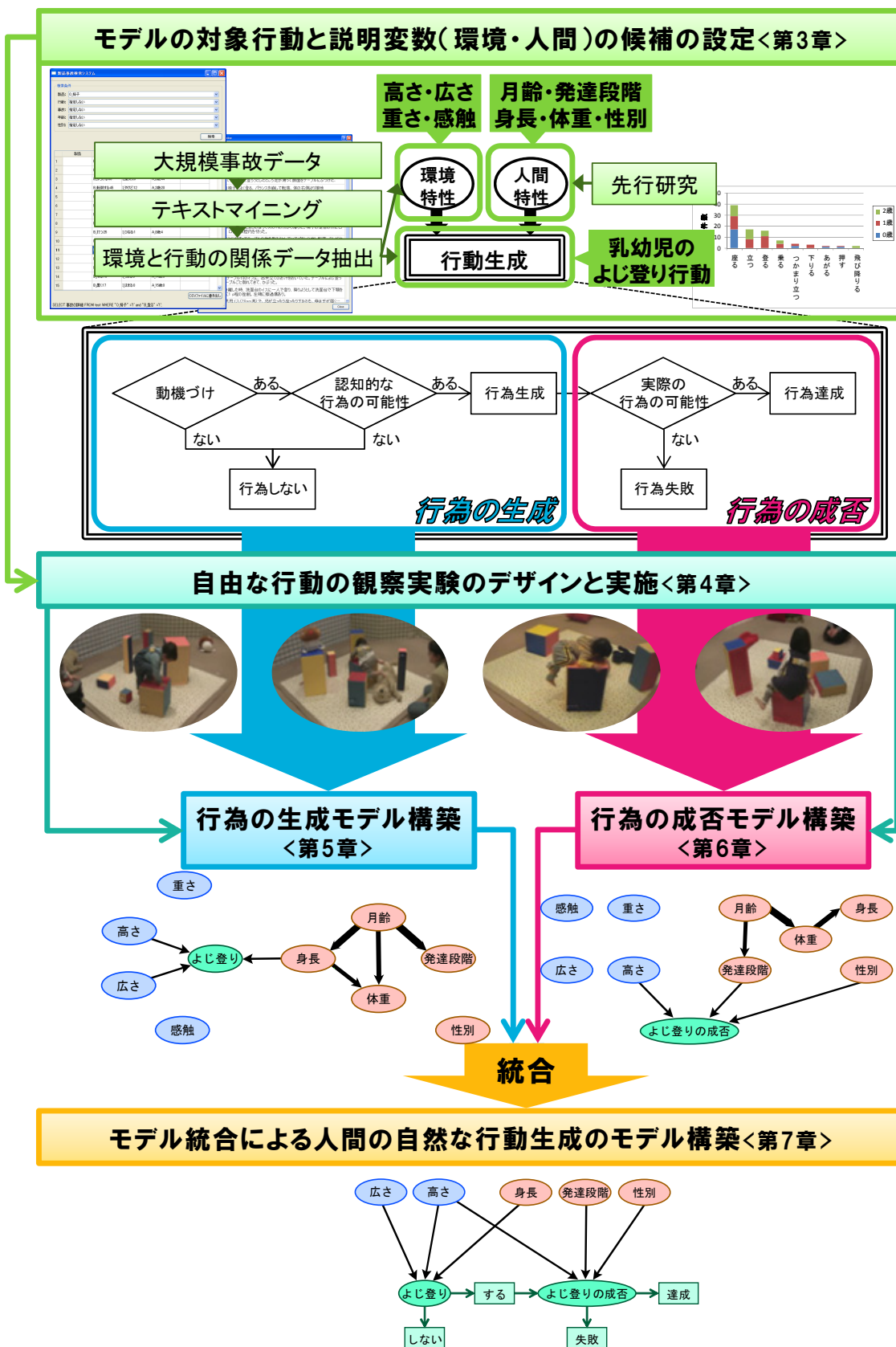


図 7.2 本研究の検討アプローチのまとめ

7.3 計算モデルを構築したアプローチに関する考察

仮説のプロセスモデルをベースにした本研究のアプローチによって、乳幼児のよじ登り行動という、環境とインタラクトした人間の自然な行動生成の計算モデルを具体的に構築できた。その背景について、(1)説明変数の候補の設定、(2)自由な行動の観察実験の実施、(3)プロセスの分解と統合によるモデル構築、という本研究のアプローチの各手順に対して考察する。

7.3.1 説明変数の候補の設定について

モデルの説明変数の候補は、無駄に多いと、その後を実施する行動観察実験の検討範囲が拡大してしまい、大量のデータが必要となり、被験者の負担も増えてしまう。そのため、説明変数の候補はただやみくもに選択するのではなく、根拠に基づいて考察し、ある程度狙いを定めて設定することが求められる。本研究では、仮説モデルにおける行動生成のプロセスを手掛かりに、行動生成において環境と乳幼児のどのような特性が関連しているのか、データ分析や先行研究などに基づきながら考察し、説明変数の候補を設定した。

「環境」の説明変数の候補の設定では、対象行動はどのような環境で実際に生成されているのかということを把握するため、環境と行動の関係データが重要となる。本研究では子どもの大規模な事故データベースにテキストマイニングを実行することで、環境と行動の関係データを抽出し、事故に遭った子どもの年齢や事故の種類の情報も関係付けて、それらを検索できるシステムを開発した。本研究と同様のアプローチで異なる対象の計算モデルを構築していく際には、この検索システムを用いることで新たな対象に応じた結果を閲覧でき、モデル構築を進める際のツールになると期待できる。またこれは、あくまで事故が発生した状況下での環境と行動の関係データだが、子どもの事故は、特殊な原因によって発生するものではなく、日常的な行動から発生するとされ

ており[西田ら, 2005], 子どもの事故データには子どもの日常的な行動が記述されていると考えられ, 開発した検索システムは, 事故の発生に歪曲化しない日常的な行動生成を対象としたモデル構築においても, 今後利用できる可能性がある.

「乳幼児」の説明変数の候補の設定では, 仮説モデルのプロセスの各ステップにおいて関連すると思われる乳幼児特性を, 先行研究を参照しながら考察した. 例えば, 動機づけのステップでは, 乳幼児期にある行動の敏感期を当てはめ, 主に月齢や発達段階が関連することを考察し, 行為の可能性のステップでは, 設定した環境の説明変数の候補において, 環境の物理的特性に関連する乳幼児の身体スケールを考察した.

このように, 行動生成のプロセスを仮定し, 対象行動に応じて, その行動生成に関連すると思われる環境特性と人間特性を根拠に基づいて考察し, ある程度狙いを定めて設定していくことが重要といえる.

7.3.2 自由な行動の観察実験の実施について

従来の行動生成モデル構築に関する研究では, 行動生成のプロセスの一つの断面を対象にモデル化しており, モデル構築のためのデータを収集する実験は, 行為をすることや行為が達成されること等の条件が被験者に与えられていた.

これに対し本研究では, 行為をすることもあればしないこともあり, 行為をしてもそれが達成することもあれば失敗することもあるという, 人間の自然な行動生成のプロセス全体をモデル化の対象としている. そのため, モデル構築のためのデータを収集する実験は, 被験者に特に何も指示を与えず, 自由な行動の中から対象行動を観察する実験を実施し, また実験空間はなるべく日常空間に近づけ, 日常的な行動を観察できる工夫をした.

このように、人間の自然な行動生成をモデル化するという目的においては、より日常的かつ自然な状態での行動観察を実施できる実験をデザインすることが重要といえる。

7.3.3 プロセスの分解と統合によるモデル構築について

行動生成のプロセスにおいて、いきなりそのプロセス全体を対象として一度に計算モデル化することは、各目的変数の条件が異なることもあり困難である。そこで本研究では、仮説のプロセスを“行為の生成”と“行為の成否”に分解し、それぞれを目的変数として、一連の行動観察データに基づいて、ベイジアンネットワークによってそれぞれを計算モデル化し、再び統合するアプローチを採用した。これにより、環境特性と人間特性の条件から、行為が生成される確率、されない確率、また行為が生成される時にそれが達成する確率、失敗する確率を予測計算可能にする、環境とインタラクトした人間の自然な行動生成の計算モデルを構築することができた。

このように、行動生成のプロセス全体を一度に計算モデル化することが困難となる場合、そのプロセスをモデル化しやすい単位に分解し、それぞれの計算モデルを構築した後に再統合することが有効だと考えられる。

7.4 本研究のアプローチの適用可能範囲と限界に関する考察

本研究では、仮説のプロセスモデルをベースにした図 2.1 のアプローチによって、乳幼児のよじ登り行動を例として、環境とインタラクトした人間の自然な行動生成の計算モデルを具体的に構築できた。ではこの本研究のアプローチは、どのような対象まで適用可能なのか、あるいは限界があるのか考察する。

7.4.1 本研究のアプローチの適用可能範囲に関する考察

本研究のアプローチで具体的にモデル構築ができた「環境とインタラクトした乳幼児のよじ登り行動」について、その本質について考えることで、本研究のアプローチで適用可能な対象を考察する。

(1) 環境について

「環境」は、本研究では、人間の身体と同様のスケールで計測できるような、物理的な形・大きさという静的な状態の特性を持つ「もの」とし、動的な状態の特性を持つものや他者は除外した。これによりモデルの説明変数となる環境特性は、外的に計測がしやすい静的な物理的特性に限定された。

(2) 乳幼児について

「乳幼児」を対象としたことで、その行動は学習されたものよりは生得的なものにある程度限定された。特に乳幼児期には発達段階に伴う行動の敏感期があり、これを内発的な動機づけに当てはめて考えることができた。さらにその発達段階は月齢と密接な関係があるため、計測が容易な説明変数であった。また乳幼児期には自身の身体能力を過大評価する傾向が強く、認知的な行為の可能性と実際の行為の可能性にギャップが生じやすく、行為の成否モデルを構築しやすい対象であった。

(3) よじ登り行動について

一方、「よじ登り行動」という対象は、行動観察実験を安全に実施可能で、外的に観察がしやすいため、行動観察実験からデータを得やすい対象であった。またよじ登り行動は、特にその行為の可能性には、環境の物理的特性と乳幼児の身体的特性とのマッチングが密接に関係しており、環境特性と乳幼

児特性という説明変数から行為生成を高精度に予測可能なモデルを構築できた。またその環境の物理的特性や乳幼児の身体的特性は、高さ・広さや身長など、どれも外的に計測が容易な変数であった。

(4) 本研究のアプローチが適用可能な対象

以上から、「環境とインタラクトした乳幼児のよじ登り行動」を対象に、本研究のアプローチによって具体的にモデルが構築できたことには、以下の要因が考えられる。

- ① 仮説として構築した、行動生成のプロセスモデルで表現可能な対象であること
- ② 人間特性と環境特性のマッチングが密接に関係している行動であること
- ③ モデルにおいて説明変数の候補となる環境特性や人間特性、また目的変数となる行動生成がどれも外的に計測可能であること

以上の3つの条件がクリアされている環境とインタラクトした人間の行動であれば、本研究のアプローチで具体的に計算モデルが構築できると考えられる。たとえ乳幼児ではなく成人を対象としても、上記の3つの条件をクリアする行動であれば、同様のモデル構築は可能であると思われる。

7.4.2 本研究のアプローチの限界に関する考察

ではこの本研究のアプローチは、どのような対象には適用が困難なのか考察する。結論的にいえば、先述の3つの条件が満たされない人間の行動では、本研究のアプローチで具体的な計算モデルの構築が難しいと考えられる。

本研究の仮説モデルのプロセスで表現が困難な行動としては、例えば、行為の成否の結果が新たな動機づけにフィードバックされる行動や、他者を環境とした時に、コミュニケーションが発生する行動などがある。これらの行動でも

仮説モデルのプロセスがベースとなることが考えられるが、新たなステップを考慮してモデルを展開していくことが求められる。

また、説明変数となる環境特性や人間特性が計測困難な行為の場合、本研究のアプローチの適用が困難となる。例えば、外発的動機づけによる行動では、その報酬特性やその報酬に対する人間の価値観が変数として考えられるが、これを計測するのは容易ではない。また、人間の経験や倫理観といった特性が複雑に絡み合って影響するような学習された行動でも、その人間特性を計測することは困難である。

また、行動そのものが外的に観察困難であれば、計算モデル構築に用いるデータが得られず、本研究のアプローチの適用が難しいと考えられる。例えば、乳幼児の行動であっても、小さなボタンを押すような、とても小さい動きで、影になりやすく、その行動をしたのかどうかの判別がつきにくい行動は、実験による観察が困難である。また、乳幼児の小さなものをつかむといった行動は、誤飲の危険があり、そのような倫理上行動観察実験が実施できない行動はモデル化できないといえる。

以上のように、先述の3つの条件が満たされず、本研究のアプローチが適用困難で、具体的な計算モデル化がしにくいと考えられる対象もある。今後新たな対象を設定した計算モデル化を進めることで、本研究のアプローチの適用可能性をさらに検討し、拡張することが課題といえる。

7.5 行動生成の基礎モデルとしての利用に関する考察

実際の人間と同様に振る舞うバーチャルヒューマンの行動生成の基礎モデルを構築するという本研究の目標に対し、これまで検討してきた仮説モデルがその基礎モデルとなり得るか考察する。

従来、環境や人間の条件から人間の自然な行動を生成するバーチャルヒュー

ーマンのモデルは十分検討されておらず[Thalmann, 2005], また, 人間の行動生成モデルに関する従来の研究では, 行為というイベントが発生したときの状況記述が焦点とされ, 行為をすることや行為が達成されることなどを前提においてモデル化されていた.

本研究では, 実際の人間の自然な行動は, 行為することもあればしないこともあり, 行為しても達成することもあれば失敗することもあるということを捉え, 行為しないことや行為に失敗することも対象に, ①動機づけ, ②認知的な行為の可能性, ③実際の行為の可能性, というステップで構成されると仮定した行動生成のプロセスモデルを, 環境特性と人間特性を説明変数として記述した.

この仮説モデルをベースとすることで, 具体的な行動生成の計算モデルの構築を進める際に, 何を目的変数としてモデル化すべきかを把握し, 考慮すべき説明変数は何かを考察することができた. また, その行動生成のプロセス全体を具体的に計算モデル化するには, どのようなデータが必要で, 設定した変数の候補に基づいて, どのような実験をデザインすべきかという指針も得ることができた.

また, この仮説モデルをベースとして, 乳幼児のよじ登り行動を例に具体的に構築した“行為の生成モデル”と“行為の成否モデル”の結果を考察することで, 仮説のプロセスによって人間の自然な行動生成を記述できる可能性が示唆された.

以上のように, 仮説モデルをベースとした本研究のアプローチを用いることで, 環境とインタラクトした人間の自然な行動生成の計算モデルを具体的に構築できる可能性が得られ, この仮説モデルは, バーチャルヒューマンの行動生成モデルを具体的に構築する際の, 考え方となる基礎モデルとなり得ると考えられる.

7.6 構築したモデルの環境評価への適用

本研究のアプローチで構築した計算モデルを環境評価に適用することで、環境における行動生成の可能性を評価し、行動が伴う事故の予防を実践的に支援できることが期待される。例えば、モデルを適用した環境の評価結果を、保護者や施設管理者に提供することで、その環境で起こり得る事故の可能性を予め知ってもらい、注意喚起を促すことができるし、また環境の設計者に提供することで、事故につながるような行為の生成や行為の失敗が起こりにくい環境設計を講じることができる。

本研究では、よじ登り行為の生成モデルとよじ登り行為の成否モデルを統合して構築した図 7.1 の計算モデルを用いることで、転倒・転落事故の事前行動となり得る、乳幼児のよじ登り行動が生成される可能性のある環境を評価できる。予測精度の高かったよじ登り行為の生成モデルを用いた環境評価では、環境における行為生成の可能性を定量的に評価し、欠損のあるデータで構築したよじ登り行為の成否モデルを用いた環境評価では、モデルの結果から、本当は登れないが登ろうとしてしまい行為が失敗する可能性のある環境の特性について、先行研究ですでに得られている知見なども交えながら考察し評価することができる。

本節では、構築したモデルの環境評価への適用の試みとして、よじ登り行為の生成モデルを用いて、環境におけるよじ登り行為の生成確率マップを作成し、モデルの有用性を示す。

7.6.1 評価対象の環境の設定

よじ登り行為の生成モデルは、形状を直方体とした環境における実験データで構築したモデルだが、高さのある平坦面を持つ環境は直方体で表現できると考え、そのような環境に対してモデルを適用し評価する。具体的には、一般

家庭のリビングを想定した家具(ダイニングテーブル, 椅子, ソファ, ローテーブル, テレビ台)を評価対象とし, 図 7.3 に示すようにその CAD モデルを用意した. 各家具の CAD モデルは直方体をベースに, その組み合わせなどで作成し, 各家具の寸法は, 実際に製品として一般的な寸法を調査しそれを適用した.

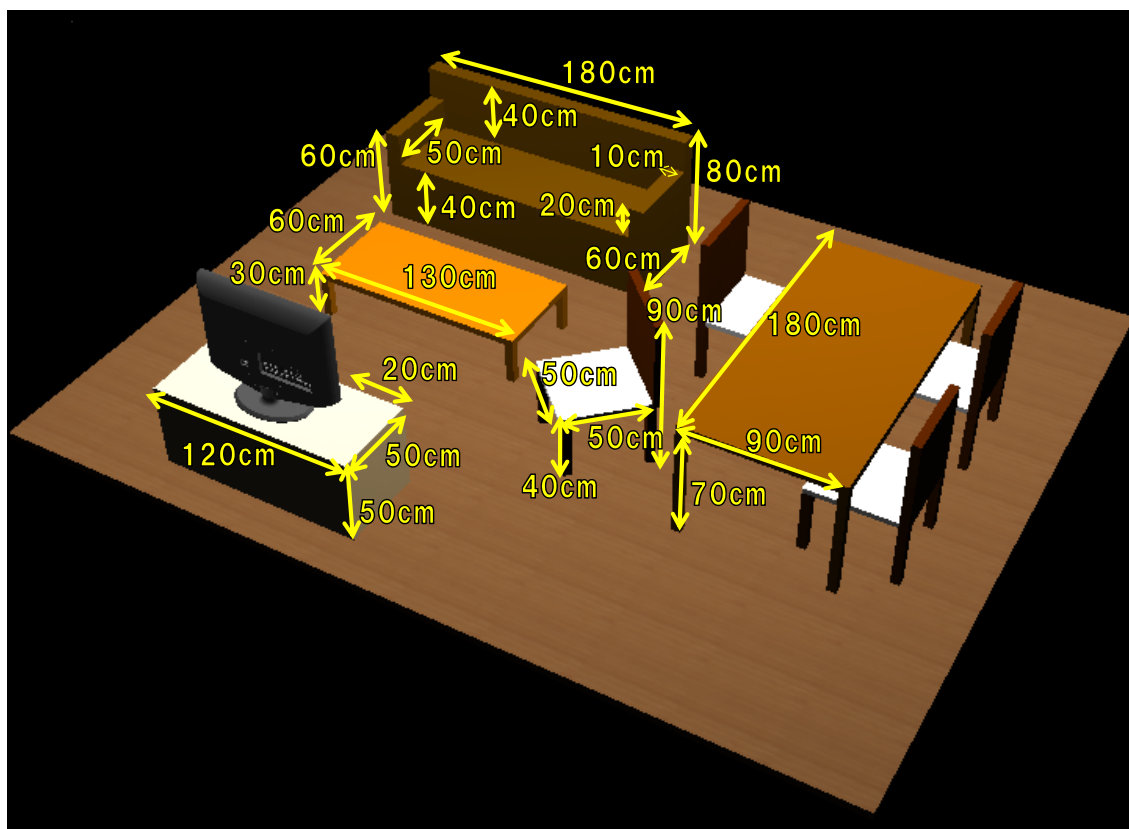


図 7.3 評価対象としたリビングにある家具の CAD モデルと寸法

7.6.2 モデルを用いた評価のための仮定

用意した CAD モデルに対して, よじ登り行為の生成モデルを適用し, 「身長」のカテゴリごとに, 各家具の面の「高さ」と「広さ」に基づいて, その家具へのよじ登り行為の生成確率を計算する. ただし, 本研究で構築したよじ登り行為の生成モデルは, 高さの変数カテゴリは, 10cm, 30cm, 50cm の 3 種, 広さ

の変数カテゴリは、 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 、 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 、 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ の3種であるので、各家具の寸法にそのままモデルを適用することができない。そこで各家具の各寸法をモデルが適用可能な寸法に仮定して計算する。

高さに関しては、ダイニングテーブルやソファの肘掛のように、 50cm を越える高さについては確率が下がると考えられるが、そのデータはないため、計算の対象としない。しかし、ダイニングテーブルやソファの肘掛は、床から直接登る以外に、椅子から登ったり、ソファの座面から登ったりすることも考えられるので、それぞれ椅子からの高さ、座面からの高さに対して計算する。そこで、ダイニングテーブルへのよじ登り確率は、椅子へ登る確率と椅子からダイニングテーブルへ登る確率の同時確率とし、ソファの肘掛へのよじ登り確率は、座面へ登る確率と座面から肘掛へ登る確率の同時確率とする。また 20cm や 40cm という高さは、実際に製品としてある寸法を基に、 10cm か 30cm か 50cm に対応させる。

広さに関しては、縦も横も 30cm を越える面に対しては、 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ の広さを対応させる。2辺のうち1辺が 30cm 以下であれば、その短い辺の長さの正方形と仮定する。また、テレビ台の面の広さはテレビの置かれていない左右の余白の面の広さを対象とする。

各家具の実寸法と計算用に仮定した寸法を表 7.1 に示す。なお、テレビ本体や、ソファと椅子の背もたれに対しては、計算の対象外とする。

表 7.1 各家具の実寸法と計算用寸法

環境	実寸法		計算用寸法(仮定)	
	面の高さ	面の広さ	面の高さ	面の広さ
ダイニングテーブル	70cm(床面から) 30cm(椅子から)	90cm×180cm	30cm(椅子から)	30cm×30cm
椅子	40cm	50cm×50cm	50cm	30cm×30cm
ソファ(座面)	40cm	50cm×160cm	30cm	30cm×30cm
ソファ(肘掛)	60cm(床面から) 20cm(座面から)	10cm×50cm	10cm(座面から)	10cm×10cm
ローテーブル	30cm	60cm×130cm	30cm	30cm×30cm
テレビ台	50cm	50cm×120cm 50cm×20cm(テレビの置 かれていない左右の余白)	50cm	20cm×20cm(テレビの置 かれていない左右の余白)

7.6.3 よじ登り行為生成の確率マップの作成

表 7.1 に示した各家具の面の「高さ」と「広さ」に基づいて、「身長」のカテゴリごとに、その家具へのよじ登り行為の生成確率を計算し、その確率値を、確率=1 に近づくと赤色に、確率=0 に近づくと青色に着色されるように、各家具にマッピングした。その結果を図 7.4～7.6 に示す。なお家具の CAD モデルの作成と確率値のマッピングでは、3DVIA Virtools (ダッソー・システムズ社) を使用した。

図 7.4 より、身長が 80cm 未満の乳幼児は、リビングにあるようなほとんどの家具でよじ登らないことが示されている。図 7.5 より、身長が 80cm 以上 90cm 未満になると、若干よじ登る確率が上がるが、それでもほとんどの家具でよじ登る確率が低いことが示されている。図 7.6 より、身長が 90cm 以上になると、多くの家具でよじ登る可能性があることが示されている。

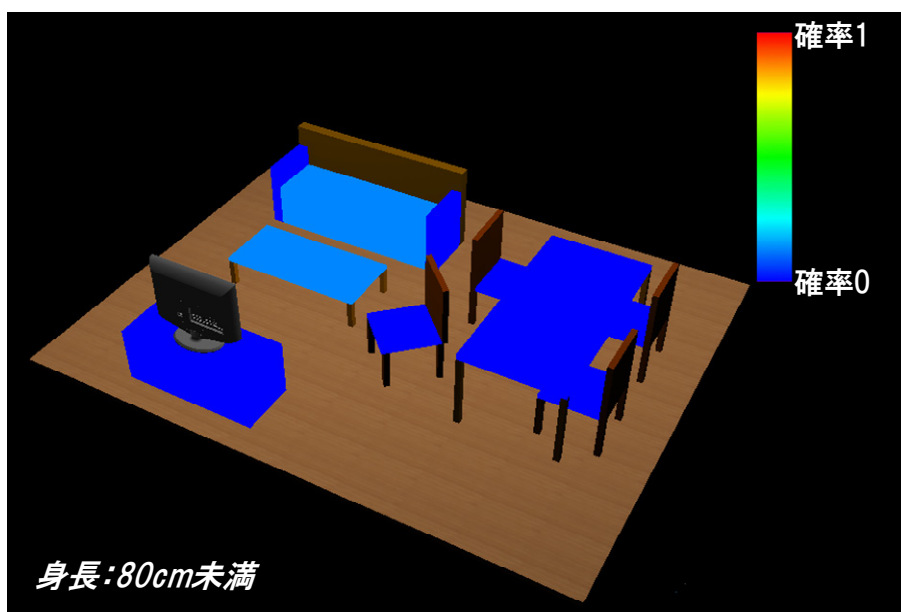


図 7.4 身長 80cm 未満の乳幼児のよじ登り行為生成マップ

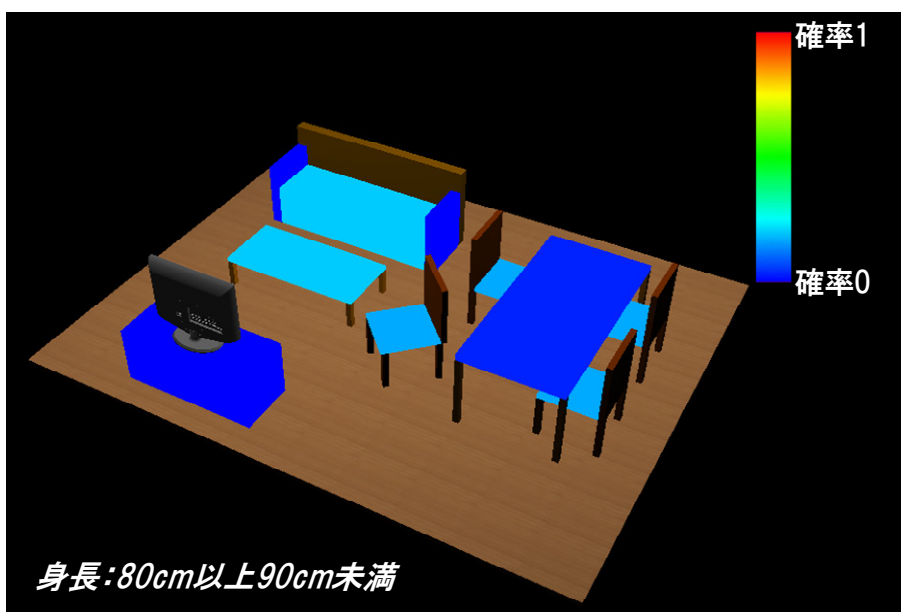


図 7.5 身長 80cm 以上 90cm 未満の乳幼児のよじ登り行為生成マップ

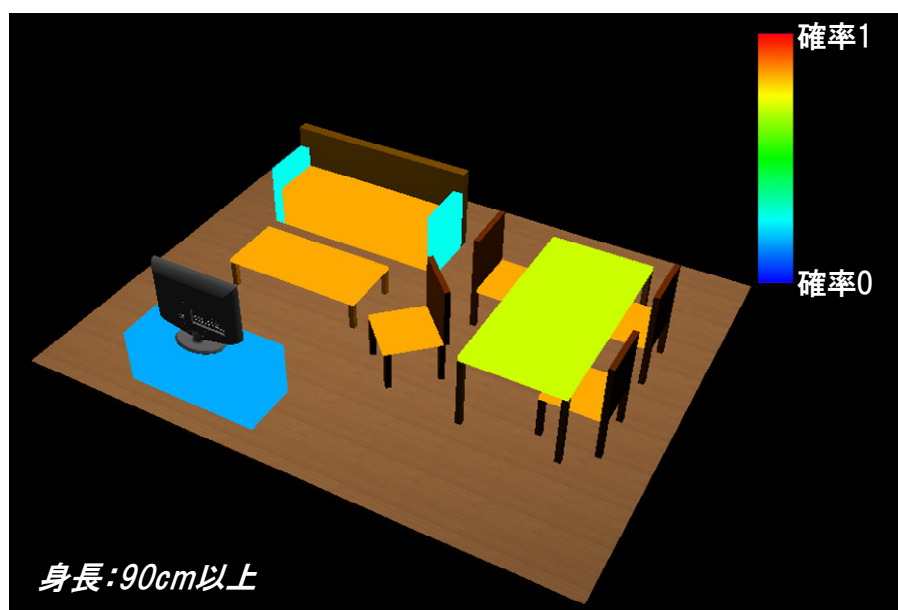


図 7.6 身長 90cm 以上の乳幼児のよじ登り行為生成マップ

なお本研究で構築したよじ登り行動の生成モデルは、直方体の環境を仮定したモデルであり、各変数のカテゴリ数が少ないことなどの制約もあり、今回の評価結果の確率値は厳密なものではないが、あくまでこの結果のような“可能性”があるということを可視化し、事故の予防を支援するためのものである。

このように仮説モデルをベースにした本研究のアプローチで具体的に構築される乳幼児の行動生成モデルは、環境において事故の事前行動が生成される可能性を評価でき、乳幼児の事故予防の実践的な支援へ展開できるモデルといえる。

7.7 本章のまとめ

本章では、“行為の生成モデル”と“行為の成否モデル”を統合することで、環境特性と乳幼児特性を説明変数とする“乳幼児の自然なよじ登り行動生成モデル”を構築した。また、本研究の成果を要約し、そのアプローチの適用可能範囲と限界について考察した。さらに本研究の応用側面として、バーチ

ヤルヒューマンの行動生成の基礎モデルとしての利用に関する考察を述べ、構築したモデルを用いた環境評価の試みについて述べた。これらにより、本研究の成果の有用性が示唆された。

第8章 結論

本章では、本研究の結論と今後の課題・展望について述べる。

8.1 結論

本研究では、与えられた環境で自律的に行動して環境を評価するバーチャルヒューマンの開発の第一歩として、環境とインタラクトした人間の自然な行動を生成する基礎的なモデルを構築することを目標に検討を進めてきた。

環境とインタラクトした人間の自然な行動生成のプロセスモデルを仮説として立案し、この仮説モデルがバーチャルヒューマンの行動生成モデルを具体的に構築するための基礎モデルとなり得ることを検討するため、その仮説モデルをベースとして、乳幼児の事故理解を想定した乳幼児行動を対象に、環境とインタラクトした人間の自然な行動生成の計算モデルを具体的に構築した。

まず仮説のプロセスを手掛かりに、乳幼児の事故データベースの分析や先行研究に基づいて、計算モデルの対象行動(乳幼児のよじ登り行動)と説明変数の候補を設定し、自由な行動から対象行動を観察する実験を実施した。そこで得られたデータにベイジアンネットワークを用いることで、環境とインタラクトした人間の“行為の生成”と“行為の成否”を計算モデル化した。それらを統合することで、行為することもあればしないこともあり、行為をしても達成されることもあればしないこともあるという、人間の自然な行動生成モデルを具体的に構築した。これにより、仮説モデルをベースとすることで、環境とインタラクトした人間の自然な行動生成モデルを具体的に構築できる可能性を示した。また構築した計算モデルを環境評価に適用することで、その有用性を示した。

以上の検討から、仮説のプロセスモデルは、環境評価に適用するバーチャルヒューマンの行動生成モデルを具体的に構築する際の、考え方を示す基礎モデルとなり得ることが示唆された。

8.2 今後の課題と展望

本研究で対象とした、乳幼児のよじ登り行動の生成モデルに関しては、新たな変数を設定してモデルを更新することで、行動生成に対する環境と人間の特性の関係性をさらに検討することが考えられる。例えば、第5章第5節でも述べたように、動機づけの個人差が示唆されたが、乳幼児の個人特性を変数として表現し、それを組み込んでモデルを改めて構築することで、その結果の変化について考察することが考えられる。そのような新たな変数の検討や、あるいは実験データの更なる収集を進めることで、モデルの予測精度を向上させることが課題として挙げられる。

また本研究のアプローチの適用可能性をさらに検討するため、新たな対象における計算モデルの構築が考えられる。例えば学習された成人の行動や、外発的動機づけによる行動などは新たな対象として挙げられる。そのような対象の計算モデル化を通じて、本研究のモデルで表現可能な対象、あるいは不足している要素について検討し、モデルの適用可能性を拡張することが課題として考えられる。

一方、本研究では対象範囲外としたが、構築した行動生成モデルを用いて、バーチャルヒューマンを実際に動かす技術の開発も課題となる。それには構築した計算モデルを用いて、どのようなアルゴリズムでバーチャルヒューマンを動かすシステムを設計するのかということが求められる。例えば、構築したモデルをバーチャルヒューマン自体に格納し、インタラクトする環境の特性に応じて行動を生成するのか、あるいは環境の中にモデルを格納し、環境知能の考え方のように、環境がインタラクトするバーチャルヒューマンの特性に応じて行動を生成させるのかなど、モデルをシステムのどこに位置づけるのかという議論も考えられる。

付録

A. 作成した 18 個のよじ登り行動観察用の箱

(4.3.2 よじ登り行動観察用の環境の作成)

行動観察実験において、よじ登り行動観察用に作成した全 18 個の直方体の箱の外観を以下に示す(箱の No.は表 4.2 に対応する).

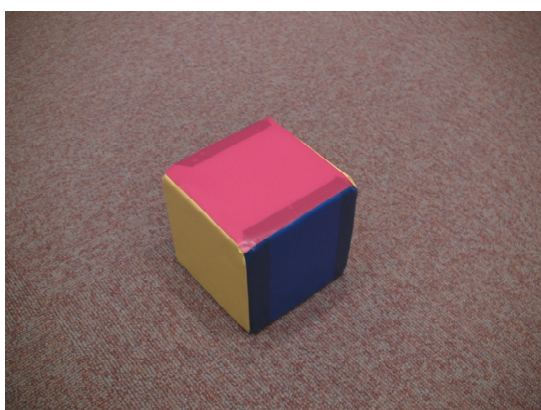


図 A.1 箱 No.1



図 A.3 箱 No.3



図 A.2 箱 No.2



図 A.4 箱 No.4



図 A.5 箱 No.5



図 A.8 箱 No.8



図 A.6 箱 No.6



図 A.9 箱 No.9

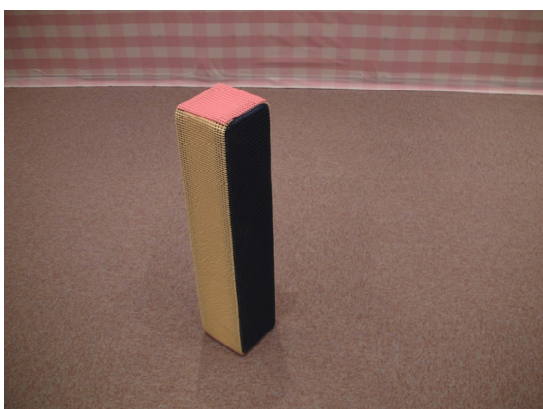


図 A.7 箱 No.7



図 A.10 箱 No.10



図 A.11 箱 No.11



図 A.14 箱 No.14



図 A.12 箱 No.12



図 A.15 箱 No.15



図 A.13 箱 No.13

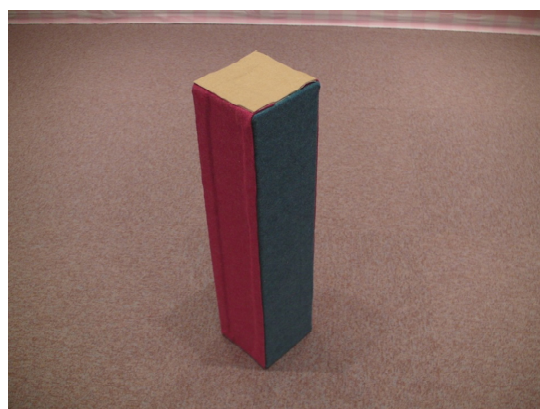


図 A.16 箱 No.16



図 A.17 箱 No.17



図 A.18 箱 No.18

B. 実験実施の際に被験者の保護者に配布した資料

(4.4.2 実験の実施手順)

行動観察実験はその実施の前に、保護者に「実験の説明書」「実験参加同意書」「被験者の調査書」を配布し、実験者である著者が保護者に実験の説明を書面及び口頭で行い、実験参加同意書に署名してもらい、子どもの調査書に記入をしてもらう。以下に、その「実験の説明書」「被験者の調査書」を示す。なお本実験は、独立行政法人産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センターの子どもの観察実験ルームを利用して実施しているため、これらの配布資料は産業技術総合研究所の書式に従ったものとなっている。そのため、「実験の説明書」における連絡先は、産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センターの住所・電話番号となっており、担当者の氏名は、当研究センターにおける子どもの行動観察実験の責任者の氏名となっている。

上記の計測を3セット行います。

- 実際に事故を起こさせる実験ではありません。どんなモノに、どのように興味を抱くのか？、どのように行動するのか？などを調査するための計測です。

データの記録について

センサルームを用いた調査では、以下のデータを記録します。

- センサルームに設置した天井のカメラ1台と床面に設置したカメラ2台で動画と音声を記録します。
- お子様に取り付けられた小型センサで、お子様の位置データを記録します。

保護者の方へのご注意

実験中は以下のことを保護者の方にお問い合わせ致します。

- 実験では、お子様の物に対する自然な行動を計測したいため、保護者の方から物で遊ぶように勧めることはなさらぬようお願い致します。そのため、お子様がまったく興味を持たず、物で遊ぼうとしなくても、それはそれで「興味を持たない物体」という結果となりますので、実験上問題とはなりません。
- もしこれ以上実験を進められない状況(お子様が寝てしまった、泣きやまない、体調が悪くなった等)となりましたら、その時点で実験を中断、あるいは中止致しますので、その場合は実験担当者にお申し付けください。

データの利用について

この調査で得られたデータは、産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センターにおいて、乳幼児の行動に関する研究、および、その成果発表のために使われます。これら以外の目的に使われることはありません。また、各被験者の個人情報が発表されることはありません。各被験者の調査データ(生画像・音声・位置データなど)が、個人が特定されるようなかたちで発表されることはありません。

調査協力費

交通費込みで 10,000 円

実験後（2～3週間後）に銀行振込にて支払われます。

B.2 被験者の調査書

お子様に関する調査書

計測年月日 西暦 年 月 日

保護者のお名前 _____

お子様のお名前(性別) _____ (男・女)

お子様の誕生日 西暦 年 月 日

お子様の身長 _____ cm

お子様の体重 _____ kg

お子様の発達段階

- ・つかまり立ちができる
(目安: 9~11ヶ月)
- ・上手に歩ける
(目安: 15~17ヶ月)
- ・容易に階段を登れる
(目安: 20~23ヶ月)

C. 全被験者のよじ登り行為の生成頻度と成否の割合

(5.5.3 予測が外れる行為があったことに関して)

(6.3 モデル構築のための行為の成否データの収集)

行動観察実験から得られた、よじ登り行為の生成が観察された全事例 (n=95) に対して、13名の被験者ごとに、その生成頻度と成否(立つ・乗る・失敗)の割合について集計した。特に、よじ登り行為の生成モデル(図 5.3)で関係が見られた3つの変数「高さ」「広さ」「身長」を集計の軸として、身長カテゴリごとに、各高さとおきの箱に対するよじ登り行為の生成頻度と、その生成されたよじ登り行為の成否の割合を集計した。この結果を以下の図 C.1～C.13に示す。図中の各棒グラフは、その高さとおきの箱で生成されたよじ登り行為の回数を示し、その棒グラフ横の円グラフは、その高さとおきで生成されたよじ登り行為の結果の状態(立つ・乗る・失敗)の割合を示している。

C.1 身長 80cm 未満の被験者の結果

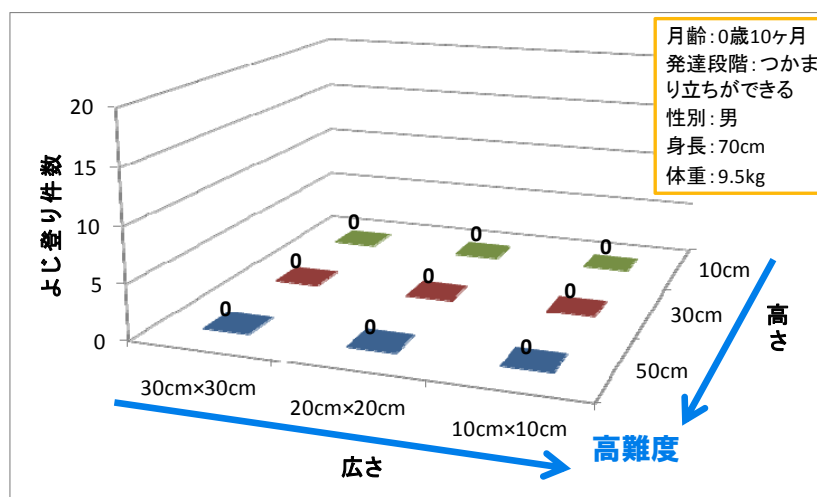


図 C.1 被験者 1

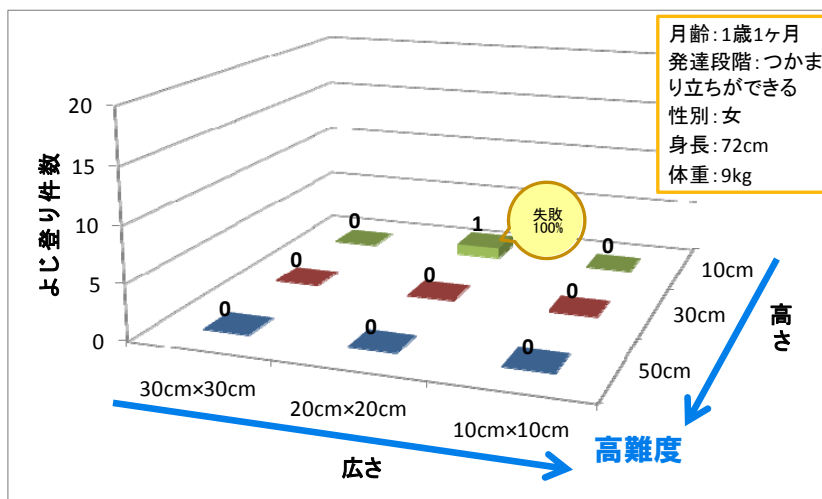


図 C.2 被験者 2

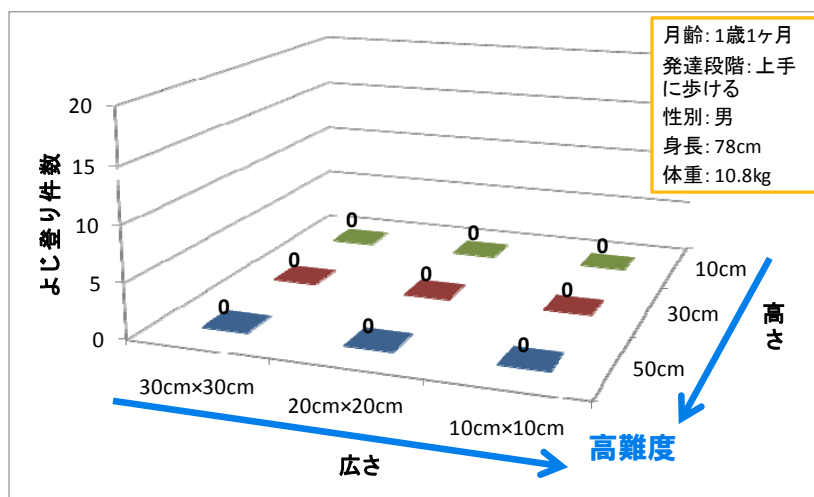


図 C.3 被験者 3

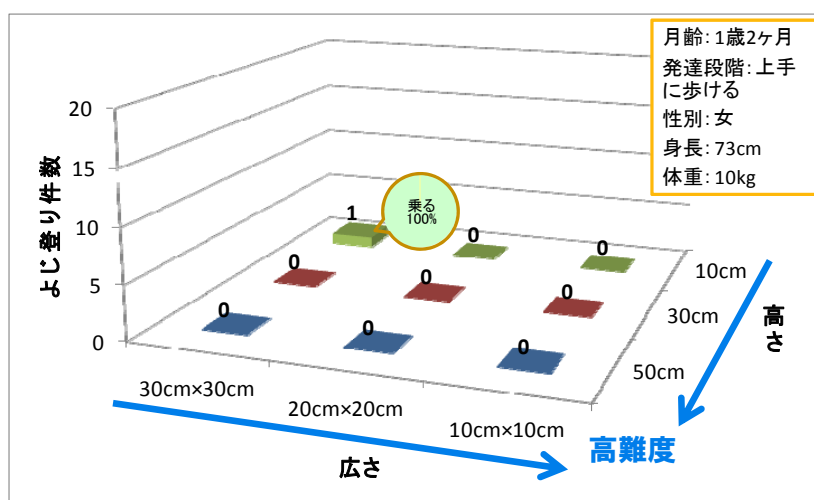


図 C.4 被験者 4

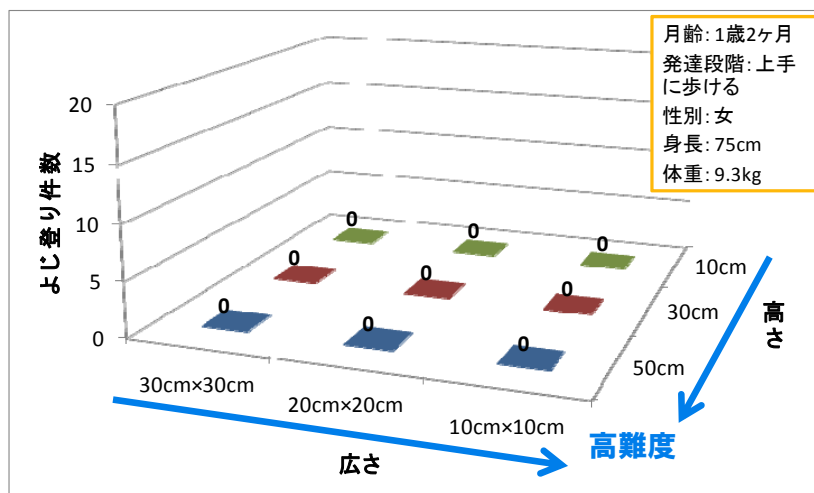


図 C.5 被験者 5

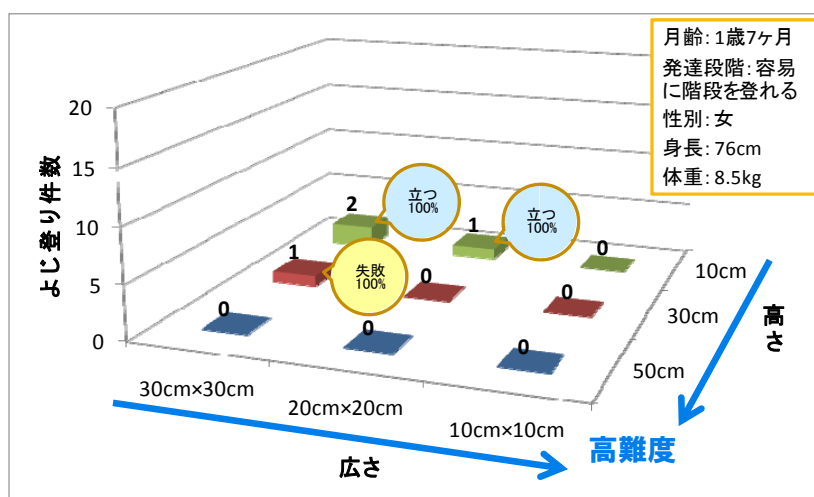


図 C.6 被験者 6

C.2 身長 80cm 以上 90cm 未満の被験者の結果

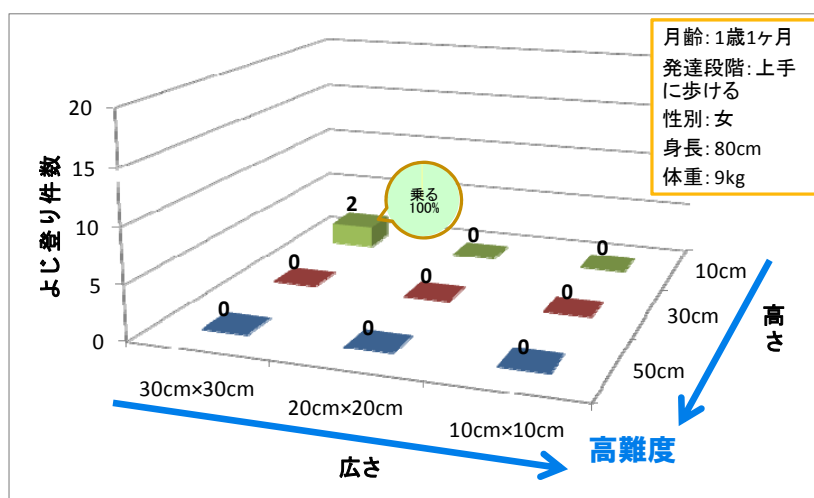


図 C.7 被験者 7

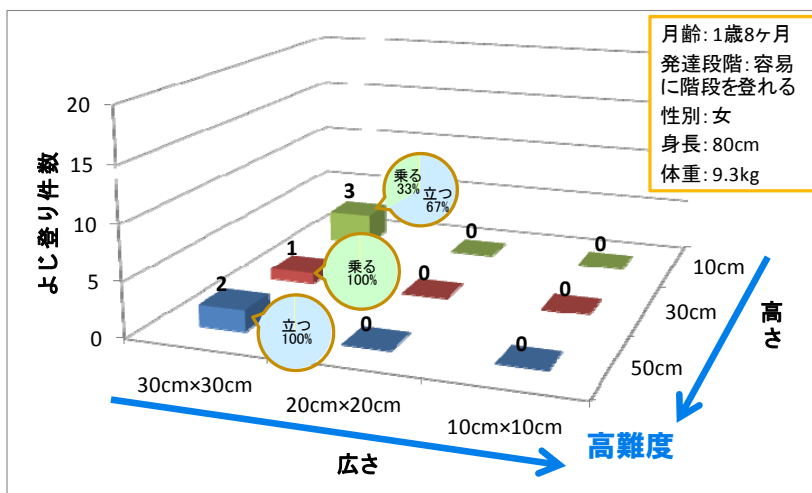


図 C.8 被験者 8

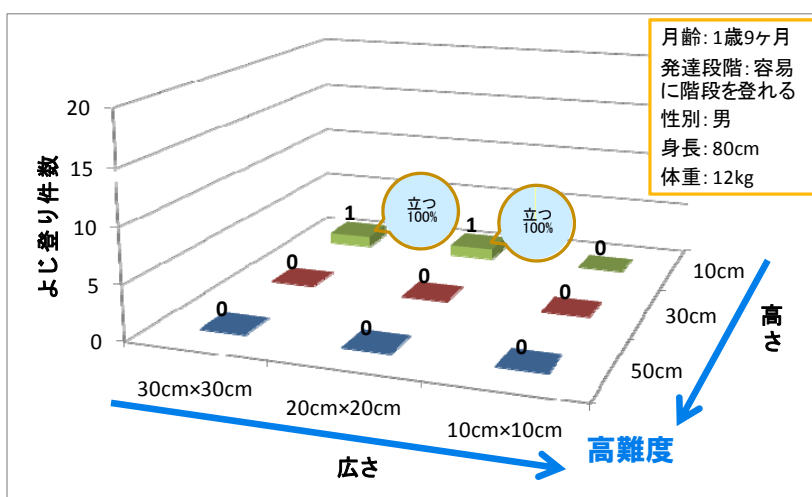


図 C.9 被験者 9

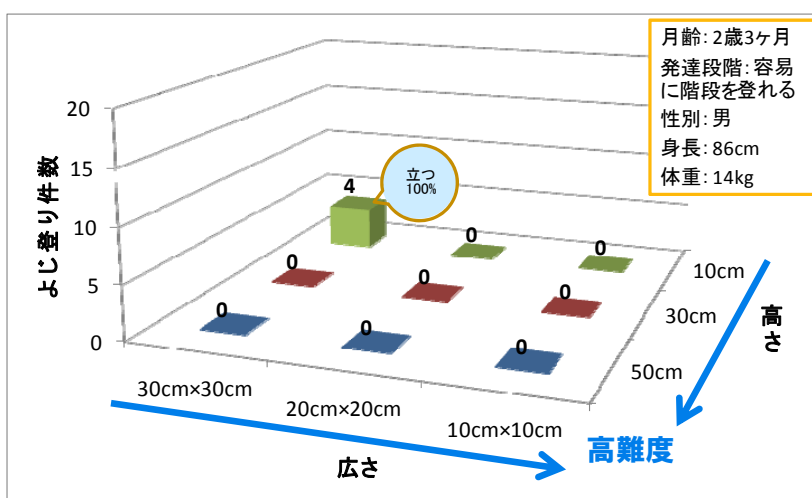


図 C.10 被験者 10

C.3 身長 90cm 以上の被験者の結果

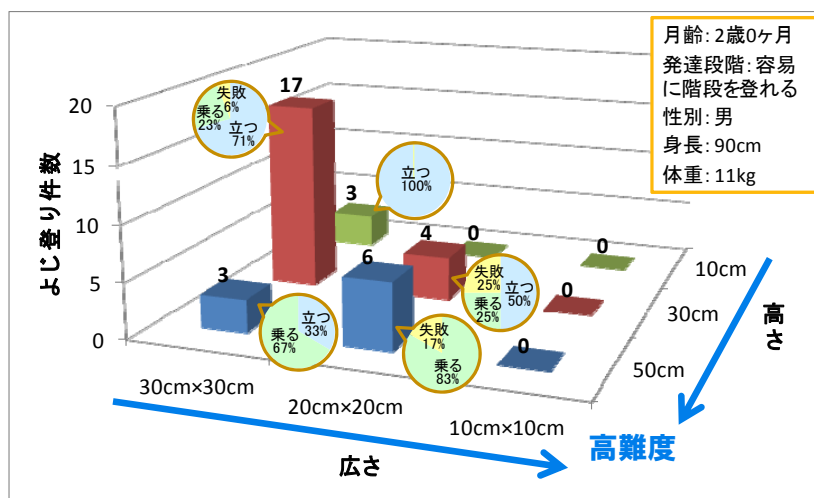


図 C.11 被験者 11

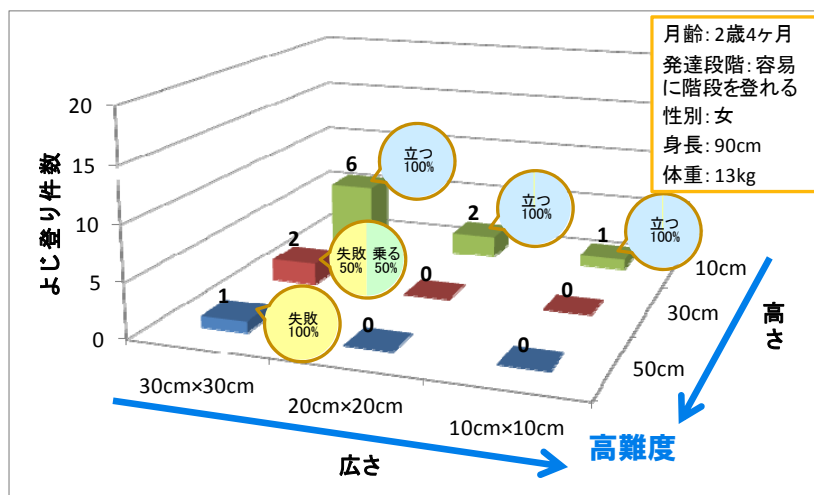


図 C.12 被験者 12

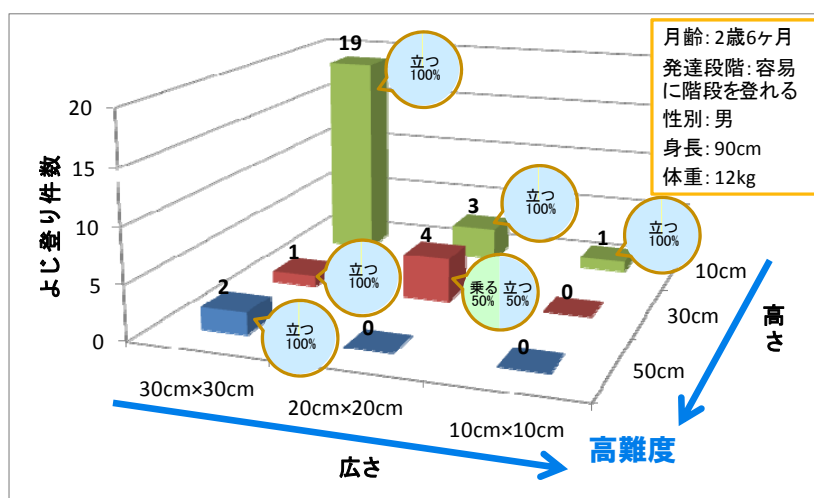


図 C.13 被験者 13

謝辞

本論文は著者が早稲田大学大学院創造理工学研究科博士課程在学中の成果をまとめたものである。この間、(独)日本学術振興会には特別研究員DCに採用を頂き、また(独)産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センター(持丸正明センター長)には技術研修生として受け入れて頂き、同センターの研究施設を利用させて頂き研究を行うことが出来ました。

指導教員である早稲田大学理工学術院創造理工学部経営システム工学科 小松原明哲教授には、研究の進め方、考え方、まとめ方など、研究の基礎から懇切丁寧に御指導頂きました。心より感謝申し上げます。

私を技術研修生として受け入れて下さった、(独)産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センター 西田佳史上席研究員には、日頃より研究の御指導を頂くと同時に、本論文の副査としても御指導頂きました。心より感謝申し上げます。

本論文をまとめるにあたり、早稲田大学理工学術院創造理工学部経営システム工学科 高橋真吾教授、菱山玲子教授には、本論文の副査として細部にわたる数々の御指導と御助言を頂きました。ここに深く感謝の念を申し上げます。

また行動観察実験にご協力頂いた、13名のお子様とそのお母様たちに深く感謝申し上げます。

本研究は、多くの皆様の御支援の中で遂行することができました。お世話になりました皆様に深く感謝の意を表すとともに、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [Adolph et al, 1993] Adolph, K. E., Eppler, M. A. and Gibson, E. J.: Crawling versus Walking Infants' Perception of Affordances for Locomotion over Sloping Surfaces, *Child Development*, Vol.64, No.4, pp.1158-1174, 1993.
- [Akaike, 1973] Akaike, H.: Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle, 2nd Inter. Symposium on Information Theory, Akademia Kiado, Budapest, pp.267-281, 1973.
- [Cohen, 1960] Cohen, J.: A coefficient of agreement for nominal scales, *Educational and Psychological Measurement*, Vol.20, No.1, pp.37-46, 1960.
- [Gardner, 1995] Gardner, W.: On the reliability of sequential data: Measurement, Meaning, and Correction, In *The Analysis of Change* (Edited by John M. Gottman), Psychology Press, 1995.
- [Gibson, 1966] Gibson, J. J.: *The Senses Considered As Perceptual Systems*, Houghton Mifflin, 1966.
- [花井, 2001] 花井利通: コンピュータマネキンの活用事例, *人間生活工学*, Vol.2, No.1, pp.16-17, 2001.
- [長谷, 1999] 長谷和徳: コンピュータマネキンにおける身体動作の生成, *バイオメカニズム学会誌*, Vol.23, No.1, pp.18-23, 1999.
- [廣瀬, 2006] 廣瀬直哉: アフォーダンスとその知覚の測定, *椋山女学園大学研究論集 自然科学篇*, Vol.37, pp.1-9, 2006.
- [保手浜, 2004] 保手浜勝: 人間行動のモデル化とその応用 生活行動シミュレーションを用いた人間適合型生活空間設計支援システム-行動生成モデ

- ルの検証-, 人間工学, Vol.40(特別号), pp.148-149, 2004.
- [HQL, 2008] 人間生活工学研究センター(HQL):平成 19 年度 機械製品の安全性向上のための子どもの身体特性データベースの構築及び身体特性データベースを用いた人体損傷可視化手法の開発に関する調査研究報告書, 2008.
- [Hutt, 1972] Hutt, C.:Sex differences in human development, Human Development, Vol.15, No.3, pp.153-170, 1972.
- [井上, 2001] 井上貴由:製造ラインの設計・改善へのコンピュータマネキンの活用事例, 人間生活工学, Vol.2, No.1, pp.13-15, 2001.
- [井上ら, 2011] 井上美喜子, 大内久和, 北村光司, 西田佳史, 金一雄, 本村陽一, 溝口博:インタラクティブ遊具を用いた遊び行動と発達の分析, インタラクション 2011 論文集, pp.25-32, 2011.
- [Ishii et al, 2000] Ishii, H., Itiguti, N., Komaki, D., Shimoda, H., Yoshikawa, H.:Development of Affordance based Human Motion Synthesizing System, Proceedings of Cognitive Systems Engineering in Process Control 2000, pp.241-248, 2000.
- [金出ら, 2002] 金出武雄, 持丸正明:デジタルヒューマン, システム/制御/情報, Vol.46, No.8, pp.453-458, 2002.
- [川上ら, 2008] 川上悟郎, 西田佳史, 本村陽一, 溝口博:ロケーション筋電位センサを用いた行動の時空間展開に基づく日常生活行動モデリング, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.20, No.2, pp.190-200, 2008.
- [Kontos, 2004] Kontos, A. P.:Perceived Risk, Risk Taking, Estimation of Ability and Injury Among Adolescent Sport Participants, Journal of Pediatric Psychology, Vol.29, No.6, pp.447-455, 2004.
- [厚生省, 2000] 厚生労働省:乳幼児身体発育調査, 2000.
- [Lee et al, 2002] Lee, J., Chai, J., Reitsma, P., Hodgins, J., and

- Pollard, N.: Interactive Control of Avatars Animated with Human Motion Data, *ACM Transactions on Graphics*, Vol.21, No.3, pp.491-500, 2002.
- [Lewin, 1951] Lewin, K.: *Field theory in social science: Selected theoretical papers*, New York: Harper & Row, 1951.
- [Lirgg, 1991] Lirgg, C. D.: Gender differences in self-confidence in physical activity a meta-analysis of recent studies, *Journal of Sport & Exercise Psychology*, Vol.13, No.3, pp.294-310, 1991.
- [真部ら, 1997] 真部靖弘, 服部元史, 田所諭, 高森年: ペトリネットによる人間の行動パターンモデルと行動予測 行動予測に基づくホームロボットの運動生成を目指して, *日本機械学会論文集 C編*, Vol.63, No.609, pp.1693-1700, 1997.
- [Mark et al, 1990] Mark, L. S., Balliett, J. A., Carver, K. D., Stephan, D. D. and Fox, T.: What an actor must do in order to perceive the affordance for sitting, *Ecological Psychology*, Vol.2, No.4, pp.325-366, 1990.
- [Matthews, 1992] Matthews, M. H. : *Making Sense of Place: Children's Understanding of Large-Scale Environments*, Harvester Wheatsheaf, 1992.
- [Minsky, 2006] Minsky, M.: *The Emotion Machine*, Simon & Schuster, 2006.
- [三嶋, 1994] 三嶋博之: “またぎ”と“くぐり”のアフォーダンス知覚, *心理学研究*, Vol.64, No.6, pp.469-475, 1994.
- [持丸, 2001] 持丸正明: コンピュータマネキンとは, その現状, *人間生活工学*, Vol.2, No.1, pp.9-12, 2001.
- [Montessori, 1982] Montessori, M. : *The Secret of Childhood*,

- Ballantine Books, 1982.
- [Motomura, 2001] Motomura, Y.: BAYONET, Bayesian Network on Neural Network, Foundation of Real-World Intelligence, pp.28-37, CSLI California, 2001.
- [本村ら, 2006a] 本村陽一, 岩崎弘利: ベイジアンネットワーク技術, 東京電機大学出版, 2006.
- [本村ら, 2006b] 本村陽一, 西田佳史, 北村光司, 金子彩, 柴田康徳, 溝口博: 知識循環型事故サーベイランスシステム, 統計数理, Vol.54, No.2, pp.299-314, 2006.
- [本村ら, 2009] 本村陽一, 西田佳史: 計算論的日常生活行動理解研究基盤—オープンライフマトリクスプロジェクトの構想, 人工知能学会論文誌, Vol.24, No.2, pp.284-294, 2009.
- [本村ら, 2010] 本村陽一, 西田佳史: サービス可能知識としての日常生活行動の計算モデル 確率的因果構造モデリングによるアクションリサーチ, 人工知能学会論文誌, Vol.25, No.5, pp.651-661, 2010.
- [無藤ら, 1990] 無藤隆, 高橋恵子, 田島信元: 発達心理学入門 I—乳児・幼児・児童, 東京大学出版, 1990.
- [永井, 2011] 永井正夫: 自動車の予防安全技術と運転者の運転行動モデル, システム/制御/情報, Vol.55, No.1, pp.26-31, 2011.
- [中島ら, 1999] 中島義明, 安藤清志, 子安増生, 坂野雄二, 繁榊算男, 立花政夫, 箱田裕司: 心理学辞典, 有斐閣, 1999.
- [根ヶ山ら, 1989] 根ヶ山光一, 伊藤俊彦, 森下活二: 幼稚園児の身体図式と行動の関連性に関する実験的研究, 武庫川女子大学紀要, Vol.37, pp.137-143, 1989.
- [根ヶ山, 2000] 根ヶ山光一: 子どもにおける障害物回避行動の発達に関する実験的研究, 発達心理学研究, Vol.11, No.2, pp.122-131, 2000.

- [日本学術会議, 2008] 日本学術会議 臨床医学委員会出生・発達分科会：提言「事故による子どもの傷害」の予防体制を構築するために, 2008.
- [日本小児保健協会, 2003] 日本小児保健協会：DENVERⅡーデンバー発達判定法ー, 日本小児医事出版社, 2003.
- [西田ら, 2005] 西田佳史, 本村陽一, 山中龍宏：医療のためのデジタルヒューマン技術：9. 乳幼児事故予防のための日常行動モデリング, 情報処理, Vol.46, No.12, pp.1373-1381, 2005.
- [大桑ら, 2007] 大桑政幸, 倉橋哲郎, 坂口靖雄：日常生活における人間行動の理解(全8回)第6回「運転行動」の計測と理解, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.9, No.3, pp.207-212, 2007.
- [Ouchi et al, 2010] Ouchi, H., Nishida, Y., Kimu, K., Motomura, Y. and Mizoguchi, H.:Detecting and Modeling Play Behavior Using Sensor-Embedded Rock-climbing Equipment, Proceedings of the 9th International Conference on Interaction Design and Children, pp.118-127,2010.
- [Phillips & Badler, 1991] Phillips, C. B. & Badler, N. I.:Interactive Behaviors for Bipedal Articulated Figures, Computer Graphics, Vol.25, No.4, pp.359-362, 1991.
- [Plumert, 1995] Plumert, J. M. : Relations between children's overestimation of their physical abilities and accident proneness, Developmental Psychology, Vol 31, No.5, pp.866-876, 1995.
- [Plumert & Schwebel, 1997] Plumert, J. M. & Schwebel, D. C.:Social and temperamental influences on children's overestimation of their physical abilities: Links to accidental injuries, Journal of Experimental Child Psychology, Vol.67, pp.317-337, 1997.
- [産総研, 2011] 独立行政法人産業技術総合研究所：キッズデザインの輪 事

- 故情報検索ページ, <http://www.kd-wa-meti.com/index.html>, 2011.
- [佐々木, 1994] 佐々木正人:アフォーダンス:新しい認知の理論, 岩波書店, 1994.
- [関沢ら, 2006] 関沢省吾, 鈴木達也, 稲垣伸吉, 早川聡一郎, 土田縫夫, 津田太司, 渡辺篤, 天野佳治:運転行動における行動切り替え判断の確率的モデル化とその応用, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.138-06, pp.1-4, 2006.
- [Stone, 1974] Stone, M.:Cross-validation and multinomial prediction, *Biometrika*, Vol.61, No.3, pp.509-515, 1974.
- [田中ら, 1981a] 田中昌人, 田中杉恵:子どもの発達と診断 2 乳児期後半, 大月書店, 1981.
- [田中ら, 1981b] 田中昌人, 田中杉恵:子どもの発達と診断 3 幼児期 I, 大月書店, 1981.
- [田中, 2007] 田中哲郎:新子どもの事故防止マニュアル改訂第4版, 診断と治療社, 2007.
- [Thalman, 2005] Magnenat-Thalman, N. & Thalman, D.:Virtual humans: thirty years of research, what next?, *Visual Computer*, Vol.21, No.12, pp.997-1015, 2005.
- [富田ら, 2008] 富田豊, 堀浩一, 西田佳史:人間系融合領域アカデミック・ロードマップ, *日本ロボット学会誌*, Vol.26, No.7, pp.728-731, 2008.
- [Warren, 1984] Warren, W. H. : Perceiving affordances: visual guidance of stair climbing, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol.10, No.5, pp.683-703, 1984.
- [Warren & Whang, 1987] Warren, W. H. & Whang, S.:Visual guidance of walking through apertures: Body-scaled information for

- affordances, *Journal of Experimental Psychology: Human perception and Performance*, Vol.13, No.3, pp.371-384, 1987.
- [山田ら, 2006] 山田晋, 鈴木達也, 稲垣伸吉, 早川聡一郎, 土田縫夫, 藤波宏明, 津田太司: ハイブリッドシステムモデルに基づく運転行動解析-データクラスタリング手法からのアプローチ-, *人間工学*, Vol.42, No.3, pp.181-189, 2006.
- [山本, 2007] 山本浩司: 日常生活における人間行動の理解(全8回)第4回「異常行動」の計測と理解, *ヒューマンインタフェース学会誌*, Vol.9, No.1, pp.29-34, 2007.
- [山内ら, 2006] 山内弘継, 橋本幸: *心理学概論*, ナカニシヤ出版, 2006.
- [八藤後ら, 2002] 八藤後猛, 野村歓, 田中賢, 中村孝之: 幼児を対象とした人体および動作計測装置の開発と計測による建築安全計画への考察 乳幼児の家庭内事故防止に関する研究 その1, *日本建築学会計画系論文集*, No.562, pp.187-192, 2002.
- [八藤後ら, 2003] 八藤後猛, 野村歓, 田中賢, 中村孝之: 幼児の手すり柵の乗り越えによる墜落防止に関する実験研究と建築安全計画のための考察 乳幼児の家庭内事故防止に関する研究 その2, *日本建築学会計画系論文集*, No.572, pp.67-73, 2003.

研究業績

種類別	題名, 発表・発行掲載誌名, 発表・発行年月, 連名者
論文	(論文)
○	[1] 大規模傷害テキストデータに基づいた製品に対する行動と事故の関係モデルの構築—エビデンスベースド・リスクアセスメントの実現に向けて— 人工知能学会論文誌, Vol.25, No.5, pp.602-612, 2010年8月. <u>野守耕爾</u> , 北村光司, 本村陽一, 西田佳史, 山中龍宏, 小松原明哲
○	[2] 乳幼児の環境誘発行動を予測する計算モデルの開発 人間工学, Vol.46, No.2, pp.166-171, 2010年4月. <u>野守耕爾</u> , 西田佳史, 本村陽一, 山中龍宏, 小松原明哲
講演	(国際会議)
	[1] Computational Prediction and Control of Injury Risk Using Bayesian Network The 1st International Workshop on Advanced Methodologies for Bayesian Networks (AMBN), pp.15, Tokyo, Japan, November 2010. <u>K. Nomori</u> , Y. Nishida, Y. Motomura, T. Yamanaka
	[2] Model Based Control of Infant Behavior for Kid's Design The 3rd International Conference for Universal Design, pp. P-003, Hamamatsu, Japan, October 2010. <u>K. Nomori</u> , Y. Nishida, Y. Motomura, T. Yamanaka, A. Komatsubara
	[3] A Method of Evidence-Based Risk Assessment through Modeling Infant Behavior and Injury The 3rd International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE), pp.607-616, Miami, USA, July 2010. <u>K. Nomori</u> , Y. Nishida, Y. Motomura, T. Yamanaka, A. Komatsubara
	[4] Developing a Control Model of Infant Climbing Behavior for Injury Prevention The 7th IEEE International Conference on ICT and Knowledge Engineering, pp.50-56, Bangkok, Thailand, December 2009. <u>K. Nomori</u> , Y. Nishida, Y. Motomura, T. Yamanaka, A. Komatsubara
	[5] Human Modeling of Infant's Behavior on Daily life for Injury Prevention—Constructing a Model of Causal Relationship of Object's Attributes and Infant's Climbing Behavior— The 17th World Congress of the International Ergonomics Association (IEA), pp.2CH0035, Beijing, China, August 2009. <u>K. Nomori</u> , Y. Nishida, Y. Motomura, T. Yamanaka, A. Komatsubara

種類別	題名， 発表・発行掲載誌名， 発表・発行年月， 連名者
	<p>(国内学会)</p> <p>[1] 製品の傷害リスク分析のためのマクロとマイクロの統合アプローチ 日本人間工学会第 52 回大会, pp.94-95, 東京, 2011 年 6 月. <u>野守耕爾</u>, 北村光司, 西田佳史, 本村陽一, 小松原明哲</p> <p>[2] 分散荷重センサを用いた乳幼児よじ登り行動の記録システムの開発 日本人間工学会第 52 回大会, pp.146-147, 東京, 2011 年 6 月. 金一雄, <u>野守耕爾</u>, 西田佳史</p> <p>[3] カセンサを用いた子どものよじ登り行動センシングシステムの開発 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 ROBOMECH2011, pp.2P2-K10, 岡山, 2011 年 5 月. <u>野守耕爾</u>, 金一雄, 西田佳史</p> <p>[4] 日常生活データベースに基づいた傷害リスクアセスメント デジタルヒューマン・シンポジウム 2011, 東京, 2011 年 3 月. <u>野守耕爾</u></p> <p>[5] 製品安全のための製品に対する行動と事故の関係辞書の構築—傷害データに基づいた製品使用形態の予見のための linkage サービスの提案— 日本人間工学会第 51 回大会, pp.140-141, 札幌, 2010 年 6 月. <u>野守耕爾</u>, 西田佳史, 山中龍宏, 小松原明哲</p> <p>[6] エビデンスベースド・リスクアセスメント—製品使用の予見から計算論的リスク評価まで— 第 24 回人工知能学会全国大会, pp.3J1-NFC1a-7, 長崎, 2010 年 6 月. <u>野守耕爾</u>, 村井庸平, 宮崎祐介, 西田佳史, 本村陽一, 小松原明哲</p> <p>[7] 子どもの事故予防のための制御論的アプローチ—乳幼児のよじ登り行動のセンシングと制御モデルの開発— 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, pp.3E1-03, 横浜, 2009 年 9 月. <u>野守耕爾</u>, 金一雄, 西田佳史, 本村陽一, 小松原明哲</p> <p>[8] 乳幼児のよじ登り行動分析のための確率的因果構造モデリング 第 23 回人工知能学会全国大会, pp.3D2-NFC1-7, 高松, 2009 年 6 月. <u>野守耕爾</u>, 西田佳史, 本村陽一, 山中龍宏, 小松原明哲</p> <p>[9] 物の属性と乳幼児のよじ登り行動との関係性に基づく行動予測モデルの開発 日本人間工学会第 50 回大会, pp.346-347, つくば, 2009 年 6 月. <u>野守耕爾</u>, 西田佳史, 本村陽一, 山中龍宏, 小松原明哲</p>

種類別	題名， 発表・発行掲載誌名， 発表・発行年月， 連名者
その他	<p>[10] 「物」に駆動される乳幼児の日常生活行動のモデリングに関する研究 — 「物」の属性と乳幼児のよじ登りとの関係記述— 日本人間工学会関東支部第 38 回大会, pp.103-104, 千葉, 2008 年 11 月. <u>野守耕爾</u>, 西田佳史, 本村陽一, 小松原明哲</p>
	<p>[11] アフォーダンスの概念に基づく人間の動作モデルに関する研究 日本人間工学会関東支部第37回大会, pp.61-62, 千葉, 2007 年 11 月. <u>野守耕爾</u>, 小松原明哲</p>
	<p>[12] アフォーダンスの概念に基づく障害物回避動作モデル 日本人間工学会第 48 回大会, pp.72-73, 名古屋, 2007 年 6 月. <u>野守耕爾</u>, 小松原明哲</p>
	(国際会議)
	<p>[1] Developing a Safety Education Program for Injury Prevention in Elementary School Environment The 17th World Congress of the International Ergonomics Association (IEA), pp.2CH0036, Beijing, China, August 2009. <u>K. Nomori</u>, I. Kakefuda, Y. Nishida, T. Yamanaka, A. Kobatsubara</p>
	<p>[2] Children's perception of risk and enjoyment associated with school playground equipment National Injury & Violence Prevention Research Conference: From Discovery to Practice, the Society for Advancement of Violence and Injury Research (SAVIR) conference, pp.27, Atlanta, USA, March 2009. I. Kakefuda, <u>K. Nomori</u>, Y. Yasukawa, Y. Nishida, T. Yamanaka</p>
	<p>[3] Geographic Injury Surveillance System for Injury Prevention in Elementary School The 2nd Asia Pacific Injury Prevention Conference, Hanoi, Vietnam, November 2008. I. Kakefuda, Y. Yasukawa, <u>K. Nomori</u>, T. Yamanaka, Y. Nishida, Y. Motomura, H. Hatta</p>
	(国内学会)
	<p>[1] 生活空間における子どもの転倒事故時の頭部外傷危険領域の可視化 日本機械学会 機械力学・計測制御部門 Dynamics & Design Conference, 京都, 2010 年 9 月. 宮崎祐介, 北村光司, <u>野守耕爾</u>, 西田佳史</p>

種類別	題名， 発表・発行掲載誌名， 発表・発行年月， 連名者
	<p>[2] センサが埋め込まれたロッククライミングを用いた子どもの行動計測とベジアンネットワークを用いた行動モデリング 日本人間工学会第 51 回大会, pp.434-435, 札幌, 2010 年 6 月. 大内久和, 西田佳史, 金一雄, <u>野守耕爾</u>, 溝口博</p> <p>[3] 学童保育施設の観察カメラ設置による行動分析 第 11 回日本子ども家庭福祉学会全国大会, pp.90-91, 東京, 2010 年 6 月. <u>野守耕爾</u>, 北村光司, 西田佳史</p> <p>[4] 小学校での傷害予防教育の展開と児童参加型リスクコミュニケーション 第 56 回日本小児保健学会, pp.116, 大阪, 2009 年 10 月. <u>野守耕爾</u>, 掛札逸美, 北村光司, 西田佳史, 八田洋史, 山中龍宏</p> <p>[5] 学校安全のための学童参加型リスクコミュニケーションの提案 第 23 回人工知能学会全国大会, pp.3D2-NFC1-9, 高松, 2009 年 6 月. 掛札逸美, <u>野守耕爾</u>, 北村光司, 西田佳史, 小松原明哲, 八田洋史</p> <p>[6] 学校環境下での傷害制御に関する研究 ～小学生によるリスク・ハザードデータの収集と安全学習のためのリスク認知分析～ 第 26 回日本ロボット学会学術講演会, pp.3G1-04, 神戸, 2008 年 9 月. 保川悠一郎, <u>野守耕爾</u>, 掛札逸美, 西田佳史, 山中龍宏, 溝口博</p>