

# 環境モデルと発達行動モデルに基づく乳幼児行動シミュレータ

## Infant Behavior Simulator

### Based on Environmental Model and Developmental Behavior Model

○ 北村 光司 (東京理科大)  
 本村 陽一 (産総研 (CREST,JST))  
 溝口 博 (東京理科大)

西田 佳史 (産総研 (CREST,JST))  
 山中 龍宏 (緑園こどもクリニック)

Koji Kitamura, Tokyo Univ. of Science

Yoshifumi Nishida, AIST & CREST, JST

Yoichi Motomura, AIST & CREST, JST

Tatsuhiko Yamanaka, Ryokuen Children's Clinic

Hiroshi Mizoguchi, Tokyo Univ. of Science

**Abstract:** This paper describes a method for simulating infant behavior on a virtually created environment. This paper classifies the determination factors of the infant's behavior into an internal factor, i.e., the physical and cognitive capabilities estimated from the infant's age, and an external factor, i.e., visual stimulus from the objects around the infant. The authors create infant behavior simulator by modeling the internal and external factors. This paper reports the effectiveness of the developed simulator. The authors expects that this kind of simulator will make it possible to analyze infant accidents at home from an engineering point of view and to support designing a room or a home safe for infant.

**Key Words:** Digital Human Model, Human Behavior Simulator, Infant Accident

## 1 緒論

計算機上で構築された仮想的な日常空間内で行動することができる仮想人間 (デジタルヒューマン) 技術が求められている分野に、住宅内で生じる乳幼児の事故を理解したり、シミュレーションする技術がある。このような技術があれば、乳幼児の事故を科学的に解明するための道具として用いることや、事故が起こりにくい安全な環境・モノの設計を支援することや、メカトロニクス機器を用いた見守り支援などが可能になると考えられる。

これまでも乳幼児事故防止に関する研究は行われてきたが、事故の現状調査に留まっている。過去の事故の事例などをもとにした予防策に関する研究が行われたり、様々な事故防止に関する書籍<sup>(1)</sup>が出版されたりしているが、事故原因を科学的に解明するための道具や、事故が生じにくい環境を構築するための設計支援技術がないために、有効な対策が講じられておらず、乳幼児にとって危機的な状態にあると言ってよい。実際、ここ40年間、乳幼児の事故の傾向には変化が起こっていない。

一方、乳幼児の行動をモデル化し、理解する試みは、認知科学、発達行動学などの分野で行われてきているが、ある限られた行動や認知能力のみをモデル化することに留まっている。乳幼児の事故などの現象を扱うには、乳幼児の周辺の環境といった外的な要因、乳幼児の身体的、認知的、運動的能力や、それらの発達などの内的な要因を複合的に扱う必要があり、これまでに得られている様々な知見を計算機上で表現し、統合することで、日常環境で生じる乳幼児の行動を総合的に理解するという新しいアプローチが必要である。

本研究の目的は、人間行動理解の例題として、乳幼児とモノとのインタラクション行動に焦点をあて、乳幼児

の行動を仮想空間内でシミュレーションするシステムを、これまでに得られている乳幼児に関する知見にもとづいて構築し、乳幼児の事故原因の解明、安全な環境の設計支援などへ応用することを通じて、乳幼児行動理解における計算論的アプローチの有用性を検証することにある。また、このようなアプローチを可能とするためのシステムアーキテクチャ、各構成要素のデータ構造を明らかにすることを目的としている。

本稿では、乳幼児の周辺に置かれた対象物のデータ、乳幼児発達行動の知見をもとに、対象物モデルと発達行動モデルを作成し、これらのモデルにもとづいた乳幼児行動シミュレータに関して述べる。

## 2 発達行動モデルと環境モデルにもとづく乳幼児行動シミュレータ

### 2.1 乳幼児事故要因の分析

乳幼児の事故が生じる主な原因として、以下の三点が挙げられる。

- 乳幼児の急速な発達性  
 乳幼児の時代は大人と比べて急速に身体の大きさ、認知能力、運動能力が変化するという特異な時期であり、単純な行動の組み合わせとはいえ、大人にとって予測が困難である。実際、赤ちゃんが歩き出す1歳を過ぎると、溺死、交通事故、転倒・転落といった「不慮<sup>1</sup>」の事故が死亡原因の一位を占める<sup>(1)</sup>。

<sup>1</sup> おもいがけないこと、不意、意外 (広辞苑)

- 生活環境の個別性と非定常性  
日常生活環境は家庭ごとに違い、またその家庭の中においても状況が時々刻々変化する。どの家庭にも適用できる一般的な予防策を作成することは困難である。
- 乳幼児を常に見守り、危険を回避することの困難性  
そもそも乳幼児を常に見守ることが困難である。多くの事故が親の目の前で生じている。

## 2.2 乳幼児行動シミュレータの必要性

乳幼児行動シミュレータの必要性は、以下で述べる困難性・必要性から帰着される。

- 複合的な要因で生じる事故を取り扱うことの困難性  
事故に関連のある様々なパラメータ（乳幼児の能力や、環境による要因）を変化させて実験・検証することが困難である。
- 事故を実際に起こさせ調査することの困難性  
これまでの事故事例や乳幼児に関する知見から類推するより他に手がない。
- 乳幼児を実験対象にすることの困難性  
被験者である乳幼児が、実験上都合のよいように動作してくれるわけではない。
- 見守り支援のための「一歩先を見る目」の必要性  
将来、乳幼児の行動を実時間センシングする環境の構築が可能になった場合でも、本当に目が離せる環境を構築するためには、今、乳幼児がどこにいて、何をやっているのかをモニターする「今を見る目」と、次の瞬間や明日には何をするのかを予測する「一歩先を見る目」の両方が不可欠である。

## 2.3 乳幼児行動シミュレータの必要機能

本研究では、2.1 節の分析にもとづいて、乳幼児行動シミュレータの必要機能を以下のように整理した。

1. 月齢・年齢にもとづいて行動を生成する機能  
乳幼児の身体的な大きさ、認知的、運動的な能力の結果として出力される行動は、月齢・年齢に伴い急速に発達するため、乳幼児の発達を取り扱う機能が必要である。
2. 環境や対象物にもとづいて行動を生成する機能  
乳幼児の行動は、乳幼児の周辺の環境や環境内の物体に影響を受けやすい。環境の持っている乳幼児の行動を誘発させる性質を取り扱う機能が必要である。
3. 住宅設計や事故要因解明への応用に代表される活用機能  
例えば、入力された環境データにもとづいて、シミュレーションを行うことで、環境の危険度を評価するといったシミュレータを実際の応用場面で利用するための機能が必要となる。

## 2.4 発達行動モデルと環境モデルにもとづく乳幼児行動シミュレータ

本研究では、乳幼児の行動の決定要因を、内的要因である乳幼児の月齢・年齢による発達行動と、外的要因である周辺の環境との2つに分けた。これは、乳幼児は、内的要因である月齢・年齢の変化に伴って、可能な行動が変化し、また外的要因である視覚や聴覚から得られた周辺の情報をもとに行動をとる、という考えにもとづいている。この二つの要因から成るシミュレータの構成図を Fig. 1 に示す。

内的要因のモデルである乳幼児の発達行動モデルは、乳幼児の月齢・年齢にしたがって、可能な行動と可能な行動群の状態遷移が記述されている。外的要因のモデルである環境モデルは、環境内の物体の機能や性質、幾何形状、危険度、誘発する行動といった、物体の特徴を含んでいる。この二つの乳幼児の状態モデルと環境モデルを利用することで、乳幼児が取りうる行動の種類を知ることができる。また、事故データベースと統合することで、ある状況において乳幼児が各行動をとった際の危険度を知ることができる。

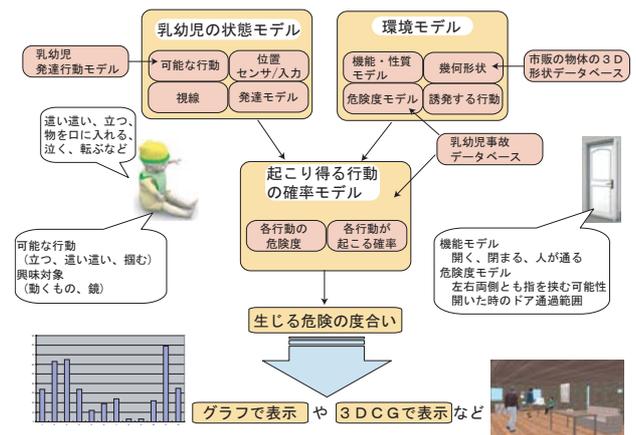


Fig. 1: 乳幼児行動シミュレータの構成

## 2.5 乳幼児行動シミュレータの展望

本研究で作成している乳幼児行動モデルやそれにもとづくシミュレーション技術が発展していけば、以下で述べるような様々な応用を行える可能性がある。

- 安全な環境の設計支援  
乳幼児の主な生活環境である一般家庭や託児所などを設計する際に、本研究のシステムを使用してシミュレートすれば、安全な環境であるかどうかを判断することができると考えられる。また、すでに建設済みの建物に関しても、シミュレーションを行うことで、危険エリアを知ることができ、環境の改善を行うことができると考えられる。

- 乳幼児事故防止のための教育支援  
実際に住んでいる家の環境にもとづいた予防に関する知識を得ることや、その環境で乳幼児に起こり得る事故の様子をコンピュータグラフィックスを用いてリアリスティックに表示することにより、起こり得る事故の把握を支援する。
- 乳幼児実時間見守り支援  
本研究のシステムに、乳幼児の位置などのデータを仮想的なものではなく、実際にセンサなどで計測されたデータを入力することで、乳幼児の見守りを支援することが可能であると考えられる。
- 乳幼児行動情報学の開拓  
乳幼児の行動を情報学の観点からとらえて、環境内の物体と乳幼児の行動に関する理論などを生み出し、検証する学問領域の創造に貢献する。

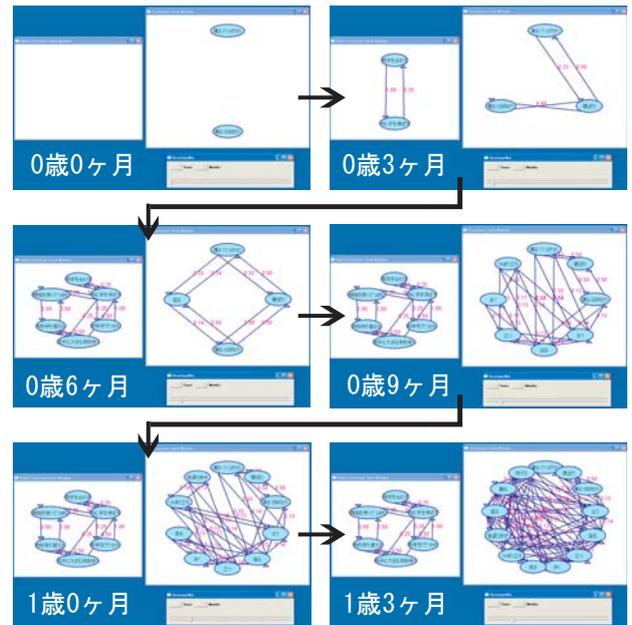


Fig. 2: 発達行動モデル（行動の発達と、行動群の遷移に関するモデル）

### 3 乳幼児行動シミュレータの試作

#### 3.1 乳幼児行動シミュレータ

試作した乳幼児行動シミュレータは、発達行動モデルである発達行動データベースと環境モデルから構成されている。詳細を以下に述べる。

##### 3.1.1 発達行動モデル

発達行動モデルとは、乳幼児が発達する過程で可能となる行動のデータベースである。含まれる情報は、月齢・年齢と行動である。データベースの作成には、乳幼児の発達状況を検査するのに用いられるチェックシートの中でも、広く使われている DENVER II<sup>(2)</sup> を採用した。このチェックシートから、数十種類の行動について、ある月齢・年齢の乳幼児のうち何割がその行動をとれるのかという情報が得られる。例を挙げれば、4ヶ月の乳児がとれる可能性のある行動は、“顔を見つめる”、“玩具をとる”、“物に手を伸ばす”、“ガラガラを握る”、“首がすわる”、“寝返り”などである。これを用いて作成した発達行動モデルを Fig. 2 に示す。Fig. 2 は、発達行動学上のある月齢・年齢でとり得る行動と、とり得る行動の遷移に関して、手による行動と、全身行動が記述されている。

##### 3.1.2 環境モデル

環境モデルとは、環境に置かれた様々な物体の情報をデータベース化したものである。含まれる情報は、物体の幾何モデル、寸法、物体の機能（開閉するなど）、物理的性質（熱くなるなど）、危険部位、その物体によって誘発される行動である。一例を Fig. 3 に示す。

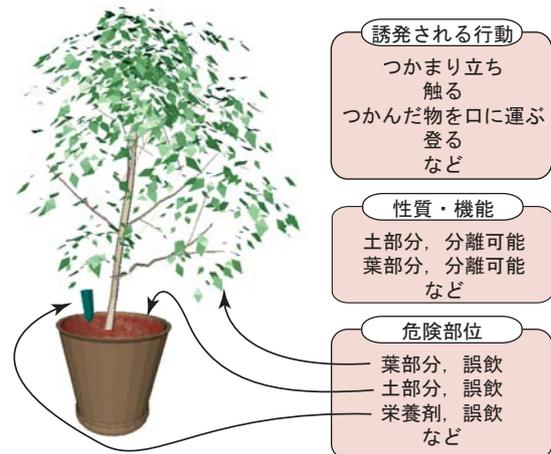


Fig. 3: 環境モデルのデータ構造

##### 3.1.3 発達行動モデルと環境モデルの統合による行動生成手法

乳幼児の行動を生成する手順は次のようになっている。まず、乳幼児の視覚に入りやすい物体として、乳幼児との距離が最も近いものを対象物とする。乳幼児が移動する間、対象物と乳幼児の距離を算出し、その距離に応じて環境モデルを参照し、誘発される行動の候補を決定する。この行動の候補を行動群Aとする。また、乳幼児の月齢・年齢をもとに、発達行動データベースを参照し、とることができる行動の候補を決定する。この際、行動遷移モデルを参照し、現在の乳幼児の行動から遷移が可能な行動だけに絞る。この行動の候補を行動群Bとする。ここで、行動群Aと行動群Bの論理積をとる（行動群A ∩ 行

動群B) . これにより候補として出てきた行動を, 対象物の高さや乳幼児の月齢・年齢を用いて, 次にとる行動として最も確率の高いものを決定する ( Fig. 4 ) .

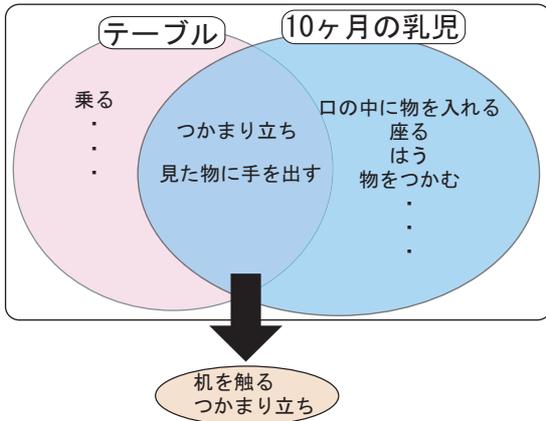


Fig. 4: 候補行動の決定手法

### 3.2 事故シミュレーション

Fig. 5 は, 本研究で試作した乳幼児行動シミュレータを用いて, 数種類の事故事例データベースをもとに事故のシミュレーションを行っている様子である. 例えば, 月齢 10ヶ月の乳幼児についてシミュレーションの場合は, 以下ようになる. 発達行動データベースを参照すると, 月齢 10ヶ月でとれる行動は, 例を挙げると, "見たものに手を出す", "口の中に物を入れる", "座る", "はう", "物をつかむ", "つかまり立ち" などである. 乳幼児が机の近くにいた場合, 環境データベースを参照すると, 誘発される行動は, "触る", "つかまり立ち", "乗る" などである. そこで, 可能な行動と誘発される行動より, 乳幼児が "机を触る", "つかまり立ち" といった行動を次にとると考えられる. 現在の状況とこの行動をもとに, 事故データベースを参照することで, "バランスを崩して転び, 頭部に外傷を負う" などといった, 起こり得る事故を得ることができる. また, ある環境の環境データと, その環境にいる乳幼児について, 事故シミュレーションを行うことで, Fig. 6 に示すようなその環境の危険度マップを作成することができる.

## 4 結論

本研究では, 乳幼児行動理解のための計算論的アプローチの必要性を述べ, その具体例として, 現在, 構築を進めている乳幼児行動シミュレータを述べた. 乳幼児の行動を決定している大きな要因である内的要因と外的要因の2つに分類し, 乳幼児行動シミュレータを試作した. 内的要因とは, 乳幼児の行動の発達に関する要因であり, 外的要因は, 環境に置かれた物体に関する要因である. 乳幼児行動シミュレータの活用の例として, 乳幼児と対象



Fig. 5: 試作した乳幼児行動シミュレータ

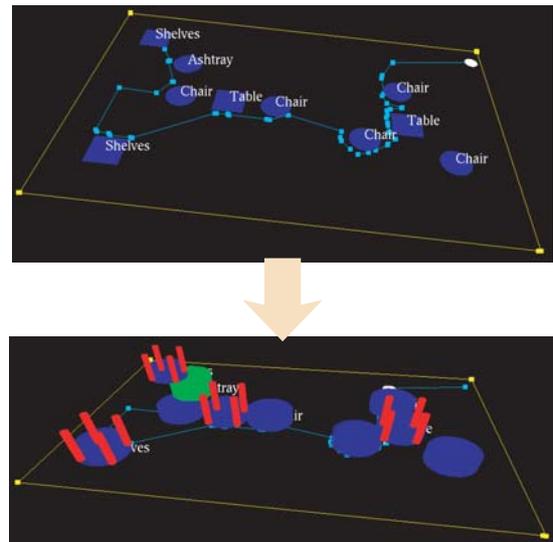


Fig. 6: 乳幼児行動シミュレータによる危険度マップの作成例

物の高さの違いや乳幼児の月齢・年齢を用いて, 次にとる行動として最も確率の高いものを選び, 選択された行動をもとに, ある環境における事故事例や危険度を提示する機能を示した. 今後の課題としては, シミュレータのアーキテクチャの設計を行いながら, 発達行動・環境モデルのデータ構造の設計と充実化, 事故データベースのデータ構造の設計と充実化, シミュレータの3次元化, などを行うことがあげられる.

## 参考文献

- [1] 田中 哲郎, "新 子どもの事故防止マニュアル," 株式会社 診断と治療社, 2003
- [2] 社団法人 日本小児保健協会, "DENVER II -デンバー発達判定法-, "日本小児医事出版社, 2002