

# 乳幼児行動の総合的理解のための乳幼児行動シミュレータ：乳幼児行動計測データに基づく乳幼児行動シミュレータの検証

## Infant Behavior Simulator for Comprehensive Understanding of Infant Behavior: Verification of Infant Behavior Simulator Based on Measured Behavior Data

○ 北村 光司（東理大）  
松本 修明（東理大）  
山中 龍宏（緑園こどもクリニック）

Koji Kitamura, Tokyo Univ. of Science  
Naoaki Matsumoto, Tokyo Univ. of Science  
Tatsuhiko Yamanaka, Ryokuen Children's Clinic

西田 佳史（産総研（CREST, JST））  
本村 陽一（産総研（CREST, JST））  
溝口 博（東理大）

Yoshifumi Nishida, AIST & CREST, JST  
Yoichi Motomura, AIST & CREST, JST  
Hiroshi Mizoguchi, Tokyo Univ. of Science

**Abstract:** The authors are developing the system for simulating infant behavior on a virtual environment. We classify 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. As one of key functions of infant behavior simulator, the authors developed a function for simulating "behavior for achievement of grasping," which means that a series of infant behavior involving a having an interest in a object, moving to it, and grasping the object. This paper describes the verification of the developed function by comparing with actual infant behavior.

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

## 1 緒論

近年、人間に関する問題を解決するためのアプローチとして、計算機上に人間の生理的・心理的・運動的機能をモデル化するというアプローチが期待されている。このアプローチで取り組むべき課題として、住宅内で起きる乳幼児事故防止がある。乳幼児の包括的な行動モデルを計算機上で作成することができれば、これまで科学的に扱われてこなかった乳幼児事故のメカニズムを解明するためのツールを提供できると考えられる。

アメリカ合衆国の子供の擁護団体"National SAFE KIDS Campaign"のレポート<sup>(1)</sup>によると、14歳以下の子供の死亡数は、ここ10年間で約40%減少しているにも関わらず、死亡原因の第一位は不慮の事故であると報告されている。アメリカ合衆国では、不慮の事故により年間に5600人以上の子供、すなわち日々平均で15人の子供の命が奪われている。日本でも、不慮の事故は死亡原因の第一位であり、子供の死亡数の21.7%を占める。このように不慮の事故は乳幼児にとって大きな問題となっている。そこで、家庭内における子供の不慮の事故の防止や、子供のためのより安全な環境の設計のためには、子供の行動を解析するための手法が必要とされている。

著者らは、乳幼児の発達行動や、乳幼児周辺の環境を複合的にモデル化することで、乳幼児行動や事故を仮想空間内でシミュレーションするシステムの構築を行っている。そのシステムを、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を目的として研究を進めている。

本論文では、現在開発を進めている乳幼児行動シミュ

レータの基本機能の1つである、乳幼児と物体とのインタラクション機能を取り上げ、把持達成行動のシミュレーションを行い、シミュレータの有効性を検証する。把持達成行動とは、乳幼児がある物体に興味を持ち、移動し、その物体を把持するという一連の行動を指す。乳幼児行動の計測データと把持達成行動のシミュレーション結果の比較を行うことにより、乳幼児行動シミュレータ有効性を検証する。

## 2 乳幼児行動シミュレータ

### 2.1 乳幼児事故の分析

家庭内の乳幼児の事故を、人や物体とのインタラクションという観点から、1)物体とのインタラクションによる事故、2)他者とのインタラクションによる事故、3)物体・他者とのインタラクションが複合した事故の三種類に分類可能である。この中でも、何らかの物体との接触によって生じた事故が最も多い<sup>(2)</sup>ことから、本研究では物体とのインタラクションによる事故に着目する。物体とのインタラクションによる事故の分析を行うために、以下に実際に起こった事故事例を紹介する。

ジュースを飲もうと思い食器戸棚のコップを取り出そうとし、いつも自分が使っているプラスチック製のおもちゃが入るいすを踏み台にした。それでも届かず、いすの上で背伸びをしてやっとコップに手が届いたが、その瞬間バランスを崩し、いすごとひっくり返り、床に頭を打ち付け、打撲した（くらしの安全情報サイト<sup>(3)</sup>より引用）

乳幼児と物体に着目してみると、食器戸棚という高い位置に ”コップ ”が存在していたこと（環境要因）、”いす ”が近くに存在していた（環境要因）、乳幼児がそれを運ぶことができ、その上に乗ることができるくらい行動能力が発達していたこと（発達行動要因）に気づく。

この事例から、物体とのインタラクションによる事故をモデル化するためには、乳幼児の発達行動と周囲の環境をモデル化する必要があると考えられる。そこで、本研究では、乳幼児の発達行動と周囲の環境をモデルし、統合することで乳幼児行動シミュレータを開発する。

## 2.2 発達行動モデル

発達行動モデルは、乳幼児の年齢と関係のある行動のリストと、このリストに基づいて作成した状態遷移に関する情報からなっている。本研究では、小児科医が乳幼児の発達段階を検査するために使う DENVER II<sup>(4, 5)</sup> を用いて、発達行動モデルを作成した。DENVER II から、ある行動をとれる乳幼児の割合（25%、50%、75%、90%）と年齢の関係を知らることができる。例えば、”つかまって立ち上がる ”は、乳幼児が7ヶ月の時には25%の乳幼児ができ、8.4ヶ月の時には50%の乳幼児ができ、9.7ヶ月の時は75%の乳幼児ができ、11.1ヶ月になると90%の乳幼児ができるようになるということが分かる。今回、発達行動モデルを作成する際には、25%の乳幼児が行動をとれるときの年齢を用いてモデル化を行った。状態遷移の一例を図1に示す。状態遷移は、図のように年齢によって大きく変化する。この図より、状態遷移は年齢が増すと伴に急激に複雑になることが分かる。

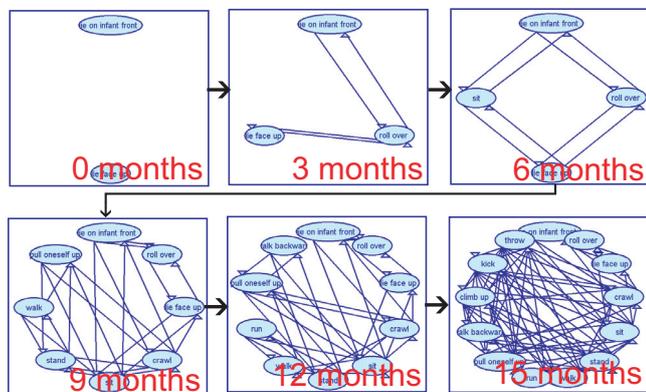


Fig. 1: 年齢による行動遷移の変化

## 2.3 環境モデル

本論文では、環境が持つ ”乳幼児の意図・興味を誘発する機能 ”に着目し、環境モデルを作成する。環境のモデル化の対象は、興味を誘発する機能、行動意図を誘発する機能である。行動意図を誘発する機能とは、ある物体に対して乳幼児がとる行動を、物体がその行動意図および行動を誘発しているのとらえなおした場合の誘発機能を指している。また、誘発された行動のことを、本論文では誘発行動と呼ぶ。

行動を誘発する機能のモデル化は、物体と誘発行動を関連付けることで行なった。本論文では把持達成行動のシミュレーションを行うため、誘発行動は把持と移動行動の”Crawl”, ”Walk”, ”Run”である。把持は、乳幼児が把持できる物体と関連付けた。移動行動は、全ての物体が誘発するとし、全ての物体と関連付けた。誘発行動の種類は、発達行動モデルに用いた行動から選択した。

興味を誘発する機能に関しては、乳幼児行動の計測から得られた知見である距離と興味誘発確率の関係を用いて作成した。興味誘発確率とは、乳幼児がある物体に興味を持ったとき、それは物体が興味を誘発していると考え、その興味を誘発する確率のことを指している。以下に、乳幼児行動の計測について述べ、その後、興味誘発確率の導出方法について述べる。

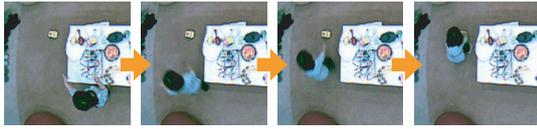
### 2.3.1 乳幼児行動計測

本研究では、乳幼児の行動に関するデータを収集するために、乳幼児の行動計測を行っている。計測は、計測ルーム内に無作為に玩具・家具類 30 種類弱を配置し、その部屋に乳幼児 1 名、母親 1 名に入ってもらい、約 1 時間経過してもらって行い、乳幼児、母親、玩具・家具類の位置と部屋の天井に取り付けられたカメラ画像を計測した。位置計測には、本研究グループで開発してきた超音波式 3 次元位置計測装置<sup>(6)</sup>を用いた。乳幼児行動の計測時には、発信器を乳幼児、母親、玩具・家具類 30 種類弱に取り付けた。

計測後、カメラ画像を見ながら、本研究で開発した解析支援ソフトウェアを利用して、人がマニュアルで解析を行い、行動ラベル、把持対象物ラベル、興味ラベルをラベル付けていく。行動ラベルは、発達行動モデルの作成に用いた Denver II をもとにして、重複している行動（1 秒以上立つ、3 秒以上立つ）、特殊な行動（かかと歩きなど）を省き、逆に、日常行動を説明する上で役立つと思われる行動（寄りかかる、降りる、寝転ぶ）などを増やすことで、以下のように定義した。Sit, Stand, Walk, Run, Climb up, Climb down, Lie down, Roll over, Jump, Lean, Crawl, Fall down の 12 種類である。把持対象物ラベルに関しては、30 種類弱の玩具・家具の名称をラベル名と定義し、何を把持したかを記述するために用いた。興味ラベルに関しては、乳幼児が興味を持った物体の名称をラベル名と定義した。ラベル付けの一例を図2に示す。この例では、乳幼児が立っている状態で、車のおもちゃに興味を持ち、歩いておもちゃの所まで行き、把持するまでの一連の把持達成行動に対してラベル付けを行なっている。

### 2.3.2 興味誘発確率の導出

計測・解析データを基に、各物体に対して、興味を持った確率と、乳幼児と物体・母親との距離の関係 ( $P(\text{Interest} \cap \text{Distance})$ ) と、物体・母親がある距離に存在していた確率 ( $P(\text{Distance})$ ) から、次式を使うことで、物体がある距離に存在していたとき、その物体が興味を誘発する条



Grasping Object				Car
Interesting Object	Car	Car	Car	Car
Behavior	stand	walk	walk	sit

Fig. 2: 行動・興味・把持物体に関するラベル付けの一例

件付確率が得られる。

$$P(\text{Interest}|\text{Distance}) = \frac{P(\text{Interest} \cap \text{Distance})}{P(\text{Distance})}$$

その結果得られた、距離と興味誘発確率の関係を、図3に示す。このグラフより、乳幼児は近いものほど興味を強く持ち、遠くなるにつれて興味が弱くなるという傾向が見られる。一方、母親の興味誘発確率は距離に関係なく一様に分布しており、母親による物体への興味に対する影響は弱いと言える。

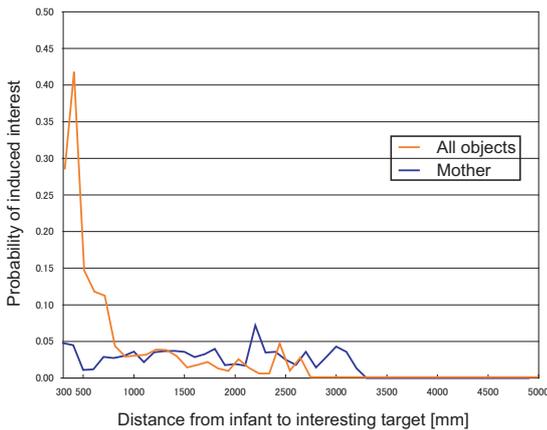


Fig. 3: 乳幼児と興味対象との距離と興味誘発確率の関係

## 2.4 確率的統合による把持達成行動のモデル化

本研究では、図4に示すように、発達行動モデルと環境モデルとを確率を用いて統合することで、乳幼児行動シミュレータにおける行動生成エンジンを作成した。以下にその行動生成の手順を示す（説明中に用いる数字は図4中の数字に対応している）。

### ①物体に対して興味を持つ確率の算出

乳幼児が物体に対して興味を持つ確率の算出には、前述の環境モデルに含まれる距離と興味誘発確率の関係を用いる。この関係を用いると、乳幼児と物体との距離を算出することにより、物体の興味誘発確率を得ることができる。これにより、条件付確率  $P(\text{InterestingObjects}|\text{Distance})$  を導出可能である。

### ②物体により行動を誘発される確率の算出

乳幼児が環境や物体から行動を誘発される確率を計

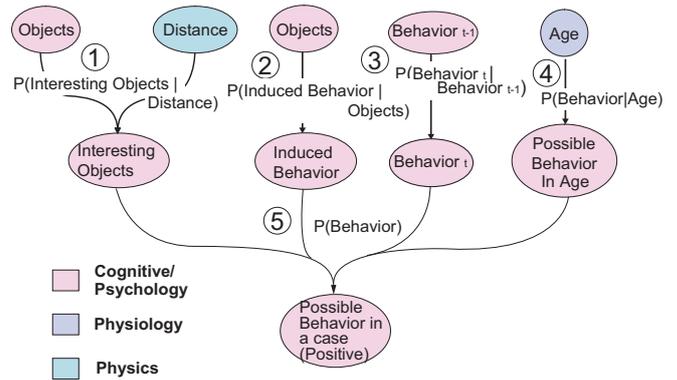


Fig. 4: 行動生成の手順

算するには、それぞれの物体に関して環境モデルを参照する。環境モデルから誘発行動を得ることができるので、誘発行動に含まれる行動の確率を1、含まれない行動の確率を0とした。これにより、条件付確率  $P(\text{InducedBehavior}|\text{Objects})$  を導出可能である。

③状態遷移確率に基づく次にとる行動の確率の算出  
乳幼児が次にとることができる行動は、現在の行動に依存する。例えば、現在 "はいはい" をしているとき、直後に "歩く" ことは不可能である。現在は、このようなルールを用いて、確率を0か1とした。これにより、 $P(\text{Behavior}_t|\text{Behavior}_{t-1})$  を導出可能である。

### ④発達段階に基づく行動をとる確率の算出

年齢に依存する乳幼児の可能な行動は、乳幼児の年齢を発達行動モデルに入力することで、その年齢時に可能な行動を得ることができる。入力された年齢が、行動をとれる年齢に達しているか否かで、行動をとる確率を0か1とした。これにより、 $P(\text{Behavior}|\text{Age})$  を導出可能である。

### ⑤次にとる行動の確率の算出

図4のようにモデル化することで、環境にある物体が何であるかと位置、乳幼児の年齢、現在の行動、位置、全てが既知であるとき、乳幼児が次にとる行動の確率を計算することができる。これは、①～④の手順で算出されたそれぞれの確率を統合することで算出できる。乳幼児が次にとる行動の確率  $P(\text{Behavior})$  は次のように導出可能である。

$$P(\text{Behavior}) = P(\text{InterestingObjects}|\text{Distance}) \times P(\text{InducedBehavior}|\text{Objects}) \times P(\text{Behavior}_t|\text{Behavior}_{t-1}) \times P(\text{Behavior}|\text{Age})$$

## 3 乳幼児行動計測データを用いたシミュレータの検証

### 3.1 シミュレーション手順と評価方法

開発した乳幼児行動シミュレータの有効性を検証するために、把持達成行動のシミュレーションを行い、その結果と計測・解析データとを比較した。今回の検証では、

把持達成行動の開始時では、興味を持った物体を、その後の移動行動に関しては、どの物体に対する移動行動なのかを、把持達成行動の達成時では、何を把持したのかを確率的に予測するシミュレーションを行った。把持達成行動の開始時とは、乳幼児が物体に興味を持った瞬間を指し、達成時とは、乳幼児が物体を把持した瞬間を指す。

シミュレーションは、以下の手順で行う。計測で得られた乳幼児、母親、玩具・家具類の位置情報と乳幼児の年齢、現在の乳幼児の行動をシミュレータに与える。それらの情報をもとに次の瞬間に乳幼児がとり得る把持達成行動のシミュレーションを行う。シミュレーションでは、結果として、次に乳幼児がとる行動のリストと確率値が出力される。この確率値に閾値を設定し、その閾値以上の確率値を示した行動をシミュレータが予測した行動とした。その閾値を、0.1 から 0.9 まで、0.1 刻みで変化させて、シミュレーションをそれぞれ行う。今回の検証には、1 歳 4 ヶ月、2 歳 2 ヶ月の幼児の計測データを用いた。

本論文では、シミュレータが予測した把持達成行動の候補の中に、実際にとった把持達成行動が含まれている割合を指標とした。その割合を包含率と呼んでいる。乳幼児が次にとる行動の確率に対して設定されている閾値を変化させてシミュレーションを行い、それぞれの閾値に対する包含率を算出する。さらに、閾値の変化が、どれだけ包含率の向上に寄与したかを表す寄与率を求め、算出された包含率と寄与率を用いて、乳幼児行動シミュレータを評価する。

### 3.2 シミュレーション結果と考察

シミュレーションの結果を図 5 に示す。図中のグラフの横軸は、次に乳幼児がとる行動の確率に設定した閾値を示している。また、左縦軸は、把持達成行動の包含率を示しており、右縦軸は、包含率に対する閾値の変化の寄与率を示している。

グラフから、閾値を低くしていくと包含率は徐々になくなっていくことが分かる。閾値を低くすることによって、次に乳幼児がとる行動の確率のうち、確率値が低い行動、つまりシミュレータがあまり起こらないと予測した行動も対象に含めシミュレーションを行うことになるので、把持達成行動の包含率が高くなる。寄与率は、閾値を低くしていくと、低下していく。このことは、シミュレータが起こる可能性が高いと予測した行動が包含率に大きな影響を与え、逆にシミュレータがあまり起こらないと予測した行動が包含率に与える影響は小さいということを意味している。つまり、シミュレータが起きる確率が高いと予測した行動が、実際にも起こる確率が高く、逆にシミュレータが起きる確率が低いと予測した行動が、実際にも起こる確率が低いということを意味しており、開発した乳幼児行動シミュレータの有効性を示している。

## 4 結論

著者らは、乳幼児行動理解を目的に、乳幼児の発達行動や、乳幼児周辺の環境を複合的にモデル化することで、乳幼児行動や事故を仮想空間内でシミュレーションする

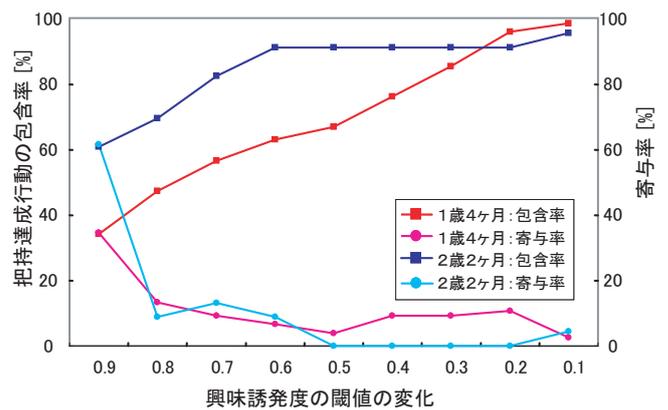


Fig. 5: 乳幼児が次にとる行動の確率の閾値変化による把持達成行動の包含率と包含率に対する寄与率の変化

システムの開発を行っている。本論文では、開発中の乳幼児行動シミュレータの基本機能の一つとして、物体とのインタラクション機能に着目し、把持達成行動のシミュレーション機能を作成した。作成したシミュレータの有効性を検証するために、把持達成行動のシミュレーションを行い、その結果と計測・解析データとの比較を行った。シミュレータの評価実験の結果から、シミュレータが起きる確率が高いと予測した行動が、実際にも起こる確率が高く、逆にシミュレータが起きる確率が低いと予測した行動が、実際にも起こる確率が低いことを確認した。このことから、開発した乳幼児行動シミュレータの有効性を示した。

## 参考文献

- [1] A.L. Wallis, B.E. Cody, A.D. Mickalide, "Report to the Nation: Trends in Unintentional Childhood Injury Mortality, 1987-2000," National SAFE KIDS Campaign, 2003 ([http://www.safekids.org/content\\_documents/nskw03\\_report.pdf](http://www.safekids.org/content_documents/nskw03_report.pdf))
- [2] 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
- [3] 東京都, "くらしの安全情報サイト (<http://www.anzen.metro.tokyo.jp/>)"
- [4] W.K. Frankenburg, J.Dodds, P. Archer, et al., The DENVER II Training Manual, Denver, CO: Denver Developmental Materials, Inc., 1992
- [5] The Japanese Society of Child Health, Japanese Edition DENVER II, The Japanese Child Medical Press, 2003
- [6] Y. Nishida, H. Aizawa, T. Hori, N.H. Hoffman, T. Kanade, and M. Kakikura, "3D Ultrasonic Tagging System for Observing Human Activity," in Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2003), pp. 785-791, October 2003.