

# 乳幼児事故予防のための乳幼児行動のメゾスコピック計算論

西田 佳史 (産総研 &CREST, JST)

本村 陽一 (産総研 &CREST, JST)

山中 龍宏 (緑園こどもクリニック & 産総研)

## 1 緒論

子どもの成長は、見ていて楽しい。日々、行動が多様化していくさまは、驚きの連続である。ところが、子どもの成長には、喜んでばかりはられない側面がある。子どもが発達すると、事故の発生率が増すからである。子どもが歩き出せる1歳を過ぎると、子どもの死亡原因の第一位は、病気ではなく、不慮の事故である。また、この時期から、図1に示すように、医療機関の利用件数が大幅に増加する。最近のレポート[1]によれば、アメリカでは、不慮の事故により、年間5,600人(1日平均15人)もの14歳以下の子どもの命が奪われている。日本における子どもの事故による経済損失は、4,500~5,000億円と試算されている[2]。

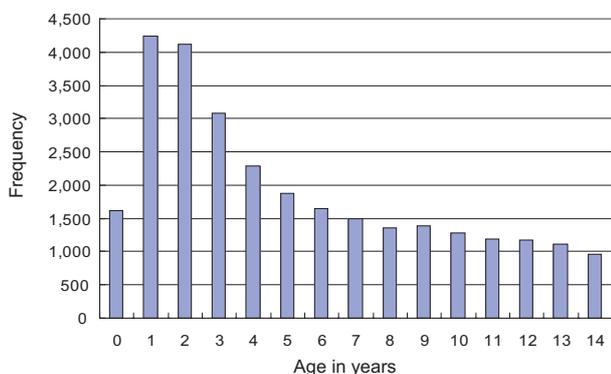


Fig. 1: オーストラリア ビクトリア州の事故の現状 (2002.6 ~ 2003.7 の間の 2.8 万件のデータ。データ提供: Monash 大 事故研究センター [3])

乳幼児の事故に限らず、あらゆる事故の問題について考える場合、1) 事故が起こる前、2) 事故が起こったとき、3) 事故が起こった後、の3つのフェーズに分けて考える必要がある。起こる前は「予防」、起こった時は「救急処置」、起こった後は「治療、リハビリテーション」となる。この中で、最も大切であり、経済的にもすぐれたアプローチは「予防」である[4]。

乳幼児の事故予防のためには、乳幼児の行動を理解する必要がある。しかしながら、子どもの行動は、身近な現象であるのにも関わらず、日常生活空間における子どもの行動の発現メカニズムや、事故の発生メカニズムについてはほとんど分かっていない。

本稿では、乳幼児の事故予防を扱うための乳幼児行動のメゾスコピック計算論の必要性を述べ、その開発の有効なアプローチとして、乳幼児行動のメゾスケール観察アプローチと、乳幼児行動のメゾスケール・シミュレーションについて述べる。また、乳幼児行動の計算論の展望を述べる。

## 2 乳幼児行動のメゾスコピック計算論

### 2.1 メゾスコピック計算論の必要性

これまでも、医療の分野では、乳幼児事故防止に関する研究が行われてきた、統計的な事故の現状調査や、過去の事故の事例をもとにした予防策が提案されている(例えば、[2])。また、子どもの発達にしたがって、どのような行動が発現してくるかに関する統計的なデータも存在している[5, 6]。乳幼児の育児の分野では、行動の臨床的な観察に関する知見が蓄積されている[7]。また、建築学の分野では、事故が生じにくい環境を設計するための基礎データとなる乳幼児の身体データや、運動能力に関するデータの収集も始まっている[8]。しかし、日常生活空間で生じる乳幼児の行動を観察・解析のツールがないため、そもそも、日常生活空間で生じる多様な乳幼児の定量的な行動データが不足しており、これまで得られた知見を、日常行動の観点から総合的に理解しなおすことが困難な状況である。

認知心理学、発達行動学の分野では、乳幼児の行動の発現メカニズムを理解しようとする試みが古くから行われてきている。例えば、比較的研究が進んでいる乳幼児の視覚に関しては、以下のような知見が得られている。生後3, 4ヶ月ごろに両眼視差を用いた距離の知覚が始まり[9, 10]、7ヶ月ごろになると両眼視だけではなく、pictorial depth cue (単眼視) を利用した、対象物までの距離知覚が発達してくる[11]。対象物の識別に関しては、7ヶ月ごろに形状情報を用いた識別、11ヶ月ごろにテキスチャー情報を用いた識別、12ヶ月ごろに色情報を用いた識別が発達する[12]。視覚情報と乳幼児の把持行動の関係に関しては、対象物との距離、対象物の大きさ、対象物の動きなどによって、リーチング動作の出現頻度が変化することが判明している[13]。しかし、こうした研究にも関わらず、日常生活空間における乳幼児の多様な行動と比較すると、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。

このように、神経科学、認知心理学、行動発達学で取り扱われている行動現象と、統計データとして蓄積されている乳幼児の事故現象や臨床的に知られている乳幼児の行動との間には、大きな隔りがある。このMissing Linkを埋めるためには、事故の統計データというレベルからすればよりミクロなレベル、神経科学的・認知心理学レベルからすればよりマクロなレベルである日常生活行動のレベルで行動・事故現象を記述する必要がある。すなわち、メゾスコピックな観点から、日常生活空間における乳幼児の多様な行動現象

を扱うことが、その総合的な理解に不可欠である。人間の神経科学的レベルでの情報処理過程で計算論・アルゴリズム論・ハードウェア論という3つの水準 [14] から理論構築が可能であったように、筆者らは、日常生活空間というメゾスケールで現れる乳幼児の行動現象においても、何を計算し（計算論）、どんな身体を使って（ハードウェア論）、どのように行動しているか（アルゴリズム論）といった観点からのモデル化を目指している。本研究では、このような情報处理的観点から、日常生活空間における乳幼児の多様な行動現象を扱う理論をメゾスコピック計算論と総称することにする。

## 2.2 乳幼児行動のメゾスコピック計算論へのアプローチ

日常生活空間における乳幼児の多様な行動を総合的に理解することを目的として、日常生活空間における乳幼児の計算論を構築するには、日常生活空間というスケールで現象を観察・記述することと、現象を理論化することの両方が不可欠である。本研究では、以下の2つのアプローチを利用する。

**日常行動のメゾスケール観察** 本研究では、日常生活空間内の乳幼児の多様な行動現象を科学的に取り扱うためのアプローチとして、まず第一に、10m 程度のオーダである日常生活空間で行なわれる多様な行動現象を cm オーダで記述するメゾスケール観察アプローチをとる。現在、小型で安価な様々なユビキタスセンサが入手可能となっており、こうしたアプローチが可能になってきている [15, 16]。本研究では、日常生活空間において、実際にどのような行動が生じるのかを観察し、定量的に捉えるためのツールとして、日常生活空間を模擬した部屋を構築し、この部屋に多数のセンサ群を埋め込むことで、乳幼児の心理学的、生理学的、行動学的現象を多次元的に記録・解析するシステムを用いる。

**日常行動のメゾスケール・シミュレーション** 乳幼児の多様な行動現象は、一種の複雑系であり、その理解のために、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る。複合的な現象をうまくモデル化するアプローチとして計算論的アプローチがしばしば利用される。例えば、地球シミュレータに代表されるような大規模なシミュレーションが可能になっており、社会科学の分野でも研究ツールとして広く認知されている [17]。また、膨大なデータを用いて数理モデルを作成したり、必要な情報を効率よく検索するための情報理論も利用可能になっている。こうしたアプローチによって、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、行動生成可能なモデルとして統合し、数値実験をしてみることで、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可能となる。そこで、本研究

では、乳幼児の多様な行動現象を包括的に扱う第二のアプローチとして、メゾスケール・シミュレーションアプローチをとる。

## 3 乳幼児行動の計算モデルの試作

### 3.1 ユビキタスセンサを用いた乳幼児行動のメゾスケール観察システム

**乳幼児行動観察システムの構築** 構築した多次元観察システムは、生活空間を模したセンサルーム、センサルームに取り付けられた超音波3次元タグ [18]、乳幼児の行動を動画で記録するための魚眼カメラ、乳幼児の生理情報を計測するための携帯型生体計測装置から構成されている。超音波式3次元タグシステムは、mm オーダと m オーダの間の中間であるメゾスケールなオーダでの現象の記述が可能である。対象物や人に取り付けられた超音波タグ（超音波発信モジュール）によって発せられた超音波を、天井や壁に設置された超音波受信モジュールで受信し、到達時間から距離を算出することで、cm オーダでの3次元位置の計測が可能なシステムである。mm オーダの精度で位置が計測可能なモーションキャプチャが市販されているが、それらの装置と比較すると、精度は cm オーダで、価格は、1/100~1/10 程度あるため、同じコストで 10~100 倍もの広範囲の空間の計測や、冗長なセンサの使用によるロバストな計測が可能になる [18]。図 2 に、開発した超音波タグとセンサルーム内の 22 個の対象物に超音波タグが取り付けられている様子を示す。

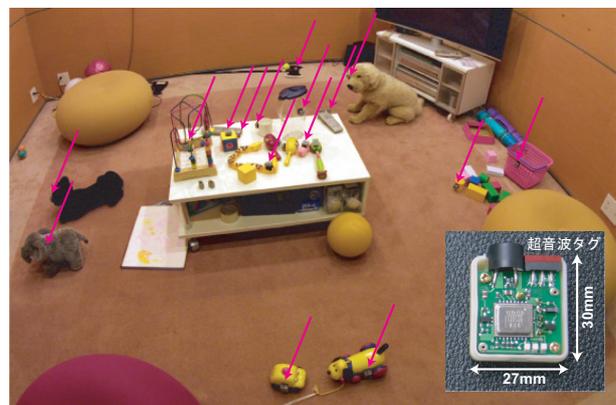


Fig. 2: 超音波タグと乳幼児行動観察システム

**乳幼児行動の観察と解析** 本研究では、構築した乳幼児行動多次元観察システムによって計測されたデータの解析は、人がマニュアルで行っている。解析者が、記録された画像を再生・巻き戻し参照しながら、Sit, Stand, Walk, Run といった行動ラベルや、”Look at Ball”, ”Look at Dog Toy” といった注目ラベルなどを、画像フレーム番号と関連付けることが可能である。現在、開発した乳幼児行動観察システムを用いて、乳幼児の位置や速度情報、乳幼児の生理情報（発汗量、体温）、モノの位置や速度情報、画像の時系列データ、解

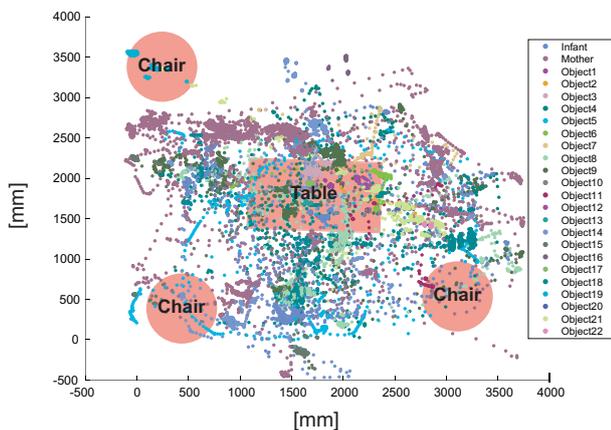


Fig. 3: 乳幼児行動観察システムを用いた計測例

析者によるラベリング結果 (モノへの注目, 情動, 行動, 把持物体) などの多次元的な時系列データを蓄積している. このように取得された時系列データを用いることで, 例えば, 乳幼児とモノの相対距離と, 対象物に対する注目の関係などが解析可能となる. 図4は, 解析例を示しており, ある複数のモノの配置条件下における, モノによる注目誘発度の分布を可視化したものである. この図は, 空間内のある位置に乳幼児が存在していた場合に, どのモノに注目しやすいかを示している.

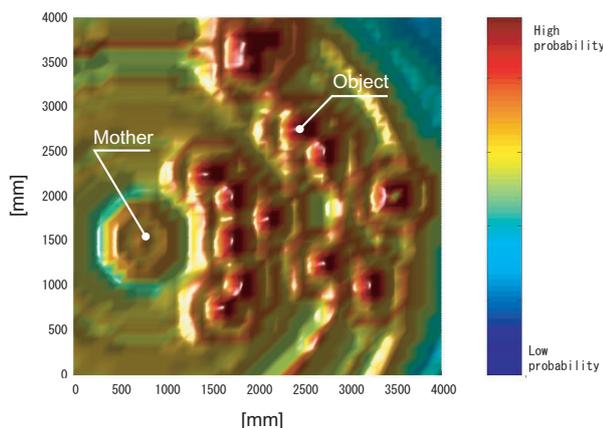


Fig. 4: 対象物による注目誘発分布の解析例

### 3.2 メソスケールな乳幼児行動の包括的モデリング

乳幼児の多様な行動現象は, 一種の複雑系であり, その理解のために, 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る. 複合的な現象をうまくモデル化するアプローチとして構成論的アプローチがしばしば利用される. こうしたアプローチによって, 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, 統合し, 合成してすることで, 日常環境で生じる乳幼児行動の計算論の開発が可能となる. 複数の不確定な要因の結果として表

れる行動を計算機上で表現するための方法として, 確率的な枠組みが便利である. 子供の行動の発達に関するデータなどは, いずれも統計的なデータとして蓄積されることが多く, 適切な因果関係を用いて, 行動のモデルとして統合することが可能である.

乳幼児事故の分析 筆者らの分析によれば, 乳幼児のあらゆる事故には, 乳幼児の認知・心理の側面, 物理・行動の側面, 生理の側面が関わっている. このことを説明するために, 事故事例を挙げる. 『ジュースを飲もうと思いきや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, 打撲した.』『ジュース』を飲みたいという意図を持ったこと (認知・心理の側面), 『いす』を使って, 高いところに登ろうとしたこと (物理・行動の側面), 『歩く・上る』といった動作が可能で段階まで行動が発達していたこと (物理・行動の側面), 転倒の結果, 床と体が衝突し, 『打撲』が生じたこと (生理の側面), が読みとれる. 本研究では, このような観点から, 乳幼児の認知・心理の側面, 物理・行動の側面, 生理の側面を取り扱うことが可能な, 乳幼児行動の計算論的モデルを試作した. 乳幼児行動の要素モデルと要素モデルの統合 これまでに得られている乳幼児に関する様々な知見をもとに, 発達行動モデル, 行動遷移モデル, 環境の興味誘発モデル, タスクモデルを開発し, これらを統合することで, 乳幼児行動モデルを試作した. 図5に試作した乳幼児行動モデルを示す. 認知・心理レイヤ, 物理レイヤ, 生理レイヤに分類されている.

## 4 乳幼児行動の計算論と事故予防の展望

乳幼児事故のモデルを構築する上で, 有用な情報源は事故データベースである. オーストラリアでは電子化されている事故サーベイランスシステム (The Victorian Injury Surveillance and Applied Research System (VISAR))[3] が存在しており, 1988年から2005年5月現在までに185万件もの事故データがテキスト情報として蓄積されている. 筆者らは, 本稿で述べた乳幼児行動の計算論を構築する試みに加え, こうした事故データベースを用いて乳幼児の事故をモデル化する試みを始めている [19]. こうした乳幼児行動の計算論開発の試みやそれに基づく多様な支援技術が, これまで電子化され蓄積されてきたが, 有効活用されることは無かった過去の事故事例の新しい活用例を示すことにつながると考えている.

例えば, 事故データベースやそれに基づく乳幼児行動の計算モデルの応用としては, 教育支援, 設計支援などが挙げられる. 筆者らは, 教育支援, 安心で安全な環境の設計支援を念頭に, 図6に示すような, 仮想空間内で, 我々の家庭環境や乳幼児の年齢に合わせて, 起こりうる行動や事故を予知させてくれるシミュレー

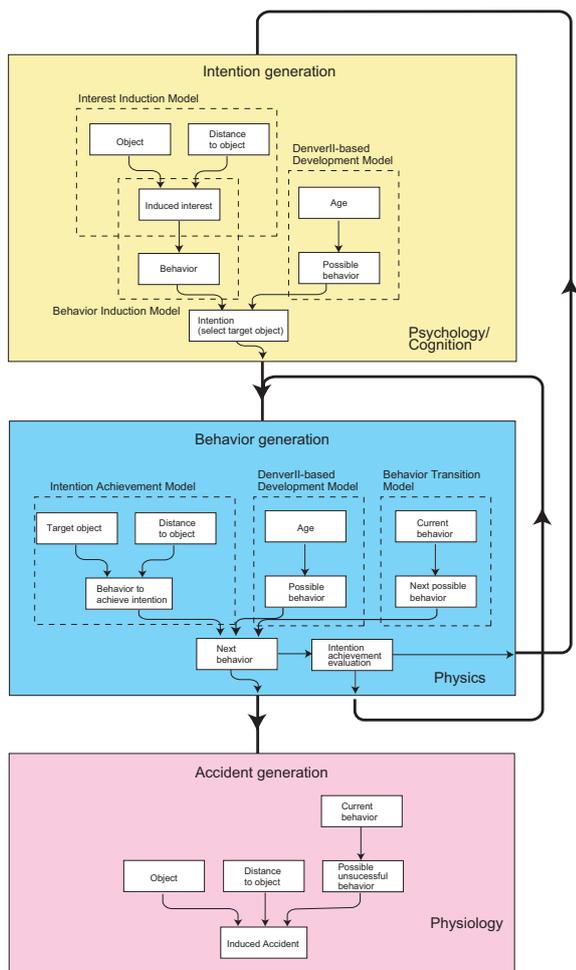


Fig. 5: 乳幼児行動の計算モデルの試作

タの開発 [20, 21] を行っている。

さらに、こうした乳幼児行動シミュレータがユビキタス環境と連動可能となれば、従来の”Location Awareness”を進めた”Human Awareness”とでも呼べる乳幼児の実時間見守り支援 [22] への展開も考えられる。両親に対する事故予防教育のみでは事故が予防できないことは明白であるので、このような目が離せる環境の構築が望まれている。

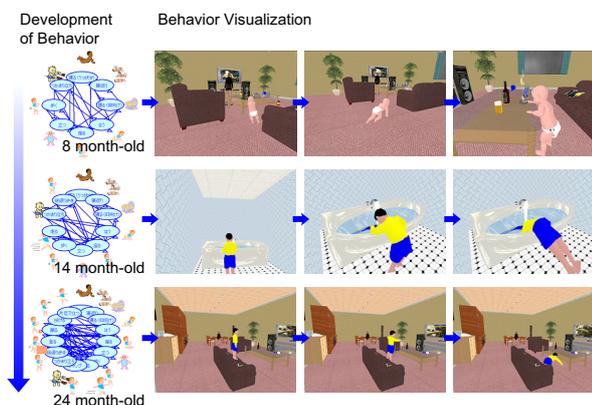


Fig. 6: 事故予知支援のための乳幼児行動シミュレータ

謝辞 乳幼児の行動観察方法に関して、有用な意見を頂いた東京北社会保険病院の神山潤氏に感謝する。本研究の一部は、科学技術振興機構 戦略的基礎研究 (CREST)、文部科学省 科学技術振興調整費、平成 16 年度笹川科学研究助成、及び、平成 16 年度セコム科学技術振興財団研究助成による助成金の交付により実施された。

#### 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, "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] <http://www.monash.edu.au/muarc//VISAR/>
- [4] 山中, "子どもの事故予防へのアプローチ," 第 4 回日本赤ちゃん学会学術講演会プログラム抄録集, pp. 16-17, April 2004
- [5] W.K. Frankenburg, J. Dodds, P. Archer, et al., *The DENVER II Training Manual*, Denver, CO: Denver Developmental Materials, Inc., 1992
- [6] 社団法人 日本小児保健協会, ENVER II -デンバー発達判定法-, 日本小児医事出版社, 2002
- [7] 田中, 田中, 子どもの発達と診断 1~3 乳児期前半, 大月書店, 1981
- [8] 八藤後, "乳幼児の身体特性に基づいた住宅内事故防止のための建築安全計画に関する研究", 日本大学大学院理工学研究科博士論文, 2003
- [9] E.E. Birch, J. Gwiazda, R. Held, "Stereoacuity Development for Crossed and Uncrossed Disparities in Human Infants," *Vision Research*, Vol. 22, pp. 507-513, 1982
- [10] R. Fox, R.N. Aslin, S.L. Shea, S.T. Dumais, "Stereoopsis in Human Infants," *Science*, Vol. 207, pp. 323-324, 1980
- [11] A. Yonus, C.E. Granrud, "Infants Distance Perception from Linear Perspective and Texture Gradients," *Infant Behavior & Development*, Vol. 9, pp. 247-256, 1986
- [12] T. Wilcox, "Object Individuation: Infants' Use of Shape, Size, Pattern, and Color," *Cognition*, Vol. 72, pp. 125-166, 1999
- [13] J. Kaufman, D. Mareschal, M.H. Johnson, "Graspability and Object Processing in Infants," *Infant Behavior & Development*, Vol. 26, pp. 516-528, 2003
- [14] マー, "ビジョン," 産業図書, 1982
- [15] U. Hansmann, L. Merk, M.S. Nicklous, T. Stober, *Pervasive Computing Handbook. The Mobile World*, Springer-Verlag Telos, 2001
- [16] J. Hightower, G. Borriello, "Location Systems for Ubiquitous Computing," *IEEE Computer*, Vol. 34, No. 8, pp. 57-66, 2001
- [17] N. Gilbert, K.G. Troitzsch, *Simulation for the Social Scientist*, Open University Press, 1999
- [18] 西田, 相澤, 北村, 堀, 柿倉, 溝口, "センサルームを用いた人の日常活動の頑健な観察とその応用," 情報処理学会研究報告, 2003-HI-106, pp.37-44, 2003
- [19] 本村, 西田, 北村, 山中, "小児の事故予防のためのヒューマンモデリング計画," 人工知能学会第 18 回全国大会論文集, 3D2-06(1)-(2) June 2004
- [20] 北村, シモ, 本村, 西田, 山中, "乳幼児の事故予防のための確率的行動モデル," 電子情報通信学会 技術研究報告 (ニューロコンピューティング), Vol. 104, No. 348, pp. 49-54, October 2004
- [21] A. Simo, K. Kitamura, Y. Nishida, "Children Accidents' Simulation: Planning the Emergent Situations," *Proc. of 4th International Conference on Interaction Design and Children*, June 2005 (to appear)
- [22] 西田, "赤ちゃん見守り支援～今を見る技術・一步先を見る技術～," 第 4 回日本赤ちゃん学会学術集会プログラム抄録集, pp. 14-15, April 2004