

09 乳幼児事故予防のための 日常行動モデリング



我々は、日常生活を営む上で、さまざまな行動をとっている。量子論や宇宙論といった自然科学分野には、大抵の現象をうまく説明し、再現できるような「標準モデル」が存在しているが、日常行動の標準モデルと呼び得るものはいまだ存在していない。こうした日常行動のモデルを作るためには、現象を記述するためのセンシング技術と、行動の定量化に基づいて理論を構築するためのモデリング技術が不可欠である。近年、ユビキタスセンサ技術を用いた全空間的物理現象センシング技術、インターネット技術を用いた全世界的社会現象センシング技術、また、これらのセンシング技術によって得られた大規模なデータに基づいたモデリング技術が利用可能になっており、我々の日常行動を科学や工学の対象として扱うための基盤技術が徐々に整いつつあるように見える。本稿では、子どもの事故予防の問題を取り上げ、子どもの日常行動のセンシングとモデリングの試みを紹介し展望を述べる。

西田佳史

産業技術総合研究所
y.nishida@aist.go.jp

本村陽一

産業技術総合研究所
y.motomura@aist.go.jp

山中龍宏

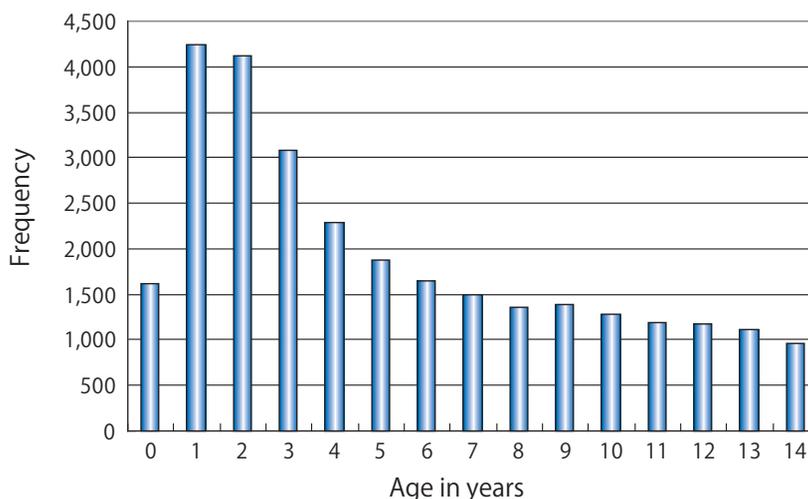
緑園こどもクリニック
CXP03223@nifty.ne.jp

📖 子どもの事故予防のための日常行動モデリング

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、まさに驚きの連続である。子どもがいる家庭では、『今日は、こんなことができるようになったよ。こんなことがあったよ』といった子どもの成長を喜ぶ会話が、日々の会話の多くを占めているのではないだろうか。

ところが、子どもの成長には、喜んでばかりはいられ

ない側面がある。子どもが発達すると、図-1に示すように、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1位は、意外にも、病気ではなく、不慮の事故である¹⁾。最近のレポート²⁾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。日本では、1年間に、医療機関を受診するような事故の発生数は、0歳では4人に1人、1~4歳では3人に1人、5~9歳の年齢層では3人に1人と推定されており、子どもの健康問題の中で「事故」



■図-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⁴⁾)

は明らかに最重要課題である。特に、少子高齢化が急速に進む日本では、国家の存亡にかかわる社会問題として、国を挙げて取り組むことが急務である。

子どもの事故に限らず、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³⁾。

子どもの事故防止に関連する研究プロジェクトがさまざまな国で行われている。オーストラリアの National Injury Surveillance and Prevention Project (NISPP)⁵⁾、アメリカ合衆国の国立事故防止センター (National Center for Injury Prevention and Control)⁶⁾、イギリスのイギリス貿易産業省⁷⁾ による Home & Leisure Accident Surveillance System などでは、事故データを収集するためのサーベイランスシステムが構築され、事故データに基づく統計分析などが行われている。日本では、「健やか親子21」プロジェクト⁸⁾ において、乳幼児事故の件数減少を目的とした取り組みが始まっている。しかしながら、事故の現状調査、事故に関する知識の普及、啓蒙活動を通じてもおお発生件数に歯止めがかからず、有効な事故予防までには十分には手が届いていない。

どうすれば事故の予防が可能になるだろうか？ 鍵は、行動モデリングにある。不慮の事故による死亡数を予測したいのであれば、事故の統計データを使うことで推定することができる。ここ数年の不慮の事故による死亡者数は横ばいなので、たとえば、2006年は、14歳以下の子どもは、800人近くが死亡するという具合に推定可能である。しかし、事故を「予防」するためには、事故という現象をマクロな視点で眺めるだけでなく、よりミクロな視点、すなわち、その背後にある行動のレベルから記述する必要がある。事故や怪我は、必ず行動に伴って生じる現象だからである。こうした行動モデリングに基づく予防に対するまっとうなアプローチは、(1) 子どもの行動や事故に関するデータを収集する。(2) 収集されたデータを解析し、子どもの行動や事故の発生プロセスのモデルを構築する。(3) 行動や事故のモデルに基づいて、事故の予防策を立案する。(4) 事故予防策の効果を定量的に評価し、改善案を持続的に更新する。という不断のループを作る以外にはない。

こうした事故予防のためのループは、現状では、人手のみによって、きわめて不完全なたちで辛うじて支えられている。不幸にも過去に起こった事故に関するデータは、本来は、貴重な資源として蓄積され、将来の人類が共有できる知恵として活用されるべきものである。そ

れにもかかわらず、科学や工学や医療の対象として、深く追求されることなく放置されているのである。特に、子どもの事故の場合、小児科臨床医によれば、原因・事故の発生パターンはどの事例もその例だけが特殊、というようなことはなく、大体状況は同じであり、同じような事故が日々繰り返し発生している。このことは、非常に稀にしか起こらない大規模災害とは大きく異なる「日常性」の特徴を示しており、現在、急速に発展しているセンシング技術や情報処理技術の活用によって、子どもの日常行動や事故を定量化したり、モデル化することが可能になりつつあることを示唆している。このような観点から、筆者らは、子どもの日常行動のセンシングとモデリングの試みを行っている。

アイディアのポイントを先に述べると、ユビキタスセンサやウェアラブルセンサを用いることで子どもの日常行動のデータを収集する技術、インターネットを利用して事故事例を収集する技術（行動センシング技術）、そして、これらのデータから事故の背後にある因果関係を再利用可能な知見として抽出する技術（行動モデリング技術）、さらに、抽出された因果構造に基づいて、事故を再現できる映像として可視化し、インターネットなどを利用して保護者に情報提供する技術（行動モデル活用技術）を組み合わせることによって、事故予防のループをより強固で意味のあるものへと発展させられると考えている。こうしたループができあがれば、安心・安全な社会を支えるさまざまなサービスが可能になる。たとえば、どこかで生じた子どもの事故の情報が即座に収集され、その子どもと似た子どもの保護者にいち早く伝達することで、同じような事故が繰り返されることを未然に防いだり、子どもにとって安全な製造物や環境の設計支援への応用などが考えられる。

本稿では、乳幼児行動のモデリングの現状と課題を述べ、筆者らが進めている乳幼児の事故予防のための行動センシングとモデリングのアプローチを紹介したい。

乳幼児の日常行動のモデリングの現状と課題

医療・育児の分野では、これまでも、日常生活空間における子どもの行動に関する研究が行われてきた。たとえば、医療の分野では、子どもの発達に従って、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⁹⁾。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¹⁰⁾。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¹¹⁾。しかし、日常生活

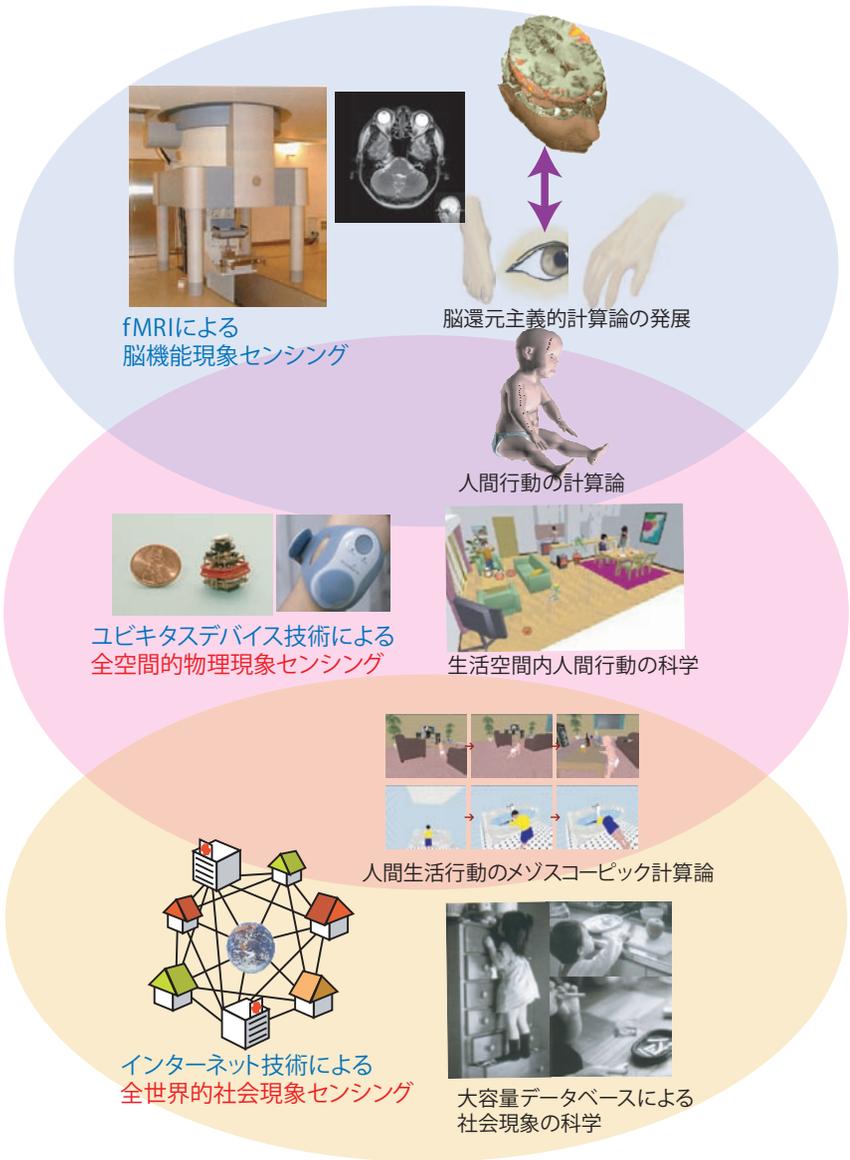
空間で生じる乳幼児の行動を観察・解析するツールがなかったため、そもそも、日常生活空間で生じる多様な乳幼児の行動データが不足しており、これまで得られた知見を、日常行動の観点から総合的に理解しなおすことが困難な状況である。

一方、認知心理学、発達行動学分野では、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。たとえば、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カ月ごろに両眼視差を用いた距離の知覚が始まり¹²⁾、¹³⁾、7カ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¹⁴⁾。対象物の識別に関しては、7カ月ごろに形状情報を用いた識別、11カ月ごろにテクスチャ情報を用いた識別、12カ月ごろに色情報を用いた識別が発達する¹⁵⁾。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¹⁶⁾。しかし、こうした研究にもかかわらず、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とどまっている。

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マイクロなレベル、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行動という中間レベルへ視点を移動し、日常生活空間における乳幼児の多様な行動現象をモデル化することが不可欠である。

乳幼児行動のモデリングは可能か？

本当に、乳幼児の日常行動のモデルを作成することは可能だろうか？ この疑問に答えるために、簡単に、近年



■ 図-2 人間の計算モデル

の人間モデリングの歴史を振り返ってみたい。近年の人間モデリングの歴史は、3つの観点から整理できる。新しい観察装置の出現、新しい現象の写像媒体としての装置の出現、そして、不明現象として常に存在するメゾスコピック現象である。たとえば、図-2に示すように、近年の脳のモデルは、現象観察のためのfMRIの出現や、モデルの表現媒体としての計算機存在により、神経細胞と脳機能との間のメゾスコピック現象のモデリングが大きく発展してきた。近年では、さらに、新たなモデルの表現媒体としてのロボットの出現によって、脳機能と身体機能の間のメゾスコピック現象(身体性)のモデリングが発展しつつある。こうした流れは、現在では、脳還元主義的計算論(脳科学のレベルから現象を記述することが良いこと)とも呼べる強大なパラダイムとなっている。

一方、最近、まったく新しいタイプの観察装置、写像媒体が出現している。まず、新しい観察装置の出現という観点からは、ユビキタス技術を用いた全空間的物理解

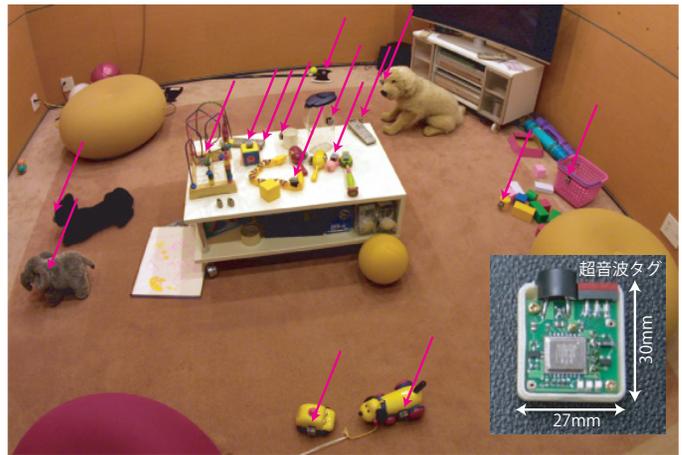
象センシング技術と、インターネット技術を用いた全世界的社会現象センシング技術の存在である。ユビキタスセンサ、ネットワーク技術の発展に伴い、日常生活空間の人間行動現象を観察する装置が利用可能になりつつある。また、インターネットに代表されるような膨大なデータベースも利用可能になりつつある。ブログやWikiなどの例を見ると、インターネットは、必ずしも物理的なセンサではないが、よりマクロなレベルでの人間の活動をテキスト情報として記述するための新しいセンサとして捉えなおすことが可能である。また、新しい現象の写像媒体という観点からは、豊富なメモリとCPUを備えた計算機クラスターや、人間行動を表現するためのCG技術、さらに、決定的な記述方法では完全に表現することは難しい現象を確率的にモデリングする技術の存在がある。このような技術背景は、日常生活における人間の活動現象という新しいメソスコピック現象のモデルを構築できる可能性が出てきたことを示している。

かつて、Marr¹⁷⁾が指摘したように、人間のすべてのことからモデル化できるような単一の方程式や法則は見つかっていない。Marrが問うた疑問「何が説明(モデル)を構成するのか?」は、今なお、人間モデリングにおける本質的問題であり続けている。したがって、いつしか、人間の標準モデルの作成といった課題に挑戦するためにも、現状では、観察装置が存在しているさまざまなレベルで人間の活動を記述し、モデル化を試みる努力を積み重ねる必要がある。本稿で取り上げる乳幼児の事故の問題は、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のモデリングが必須となる事例である。乳幼児の多様な行動現象をモデル化するためには、乳幼児の周辺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、一見、途方もないようにも見える。しかし、乳幼児の行動モデリングを、成人の場合と比較すれば、とり得る行動の多様性が小さい。行動に影響を与える環境の要因もずっと局所的である。また、月齢と行動の間に強い相関があるなどの手がかりも得られているので、行動の標準モデルが構築できる可能性は十分あると考えている。本稿では、我々が進めている、ユビキタスセンシング技術を用いた日常行動の観察、インターネット技術を利用した日常事故情報の収集、および、これらのデータに基づいた行動モデリングを述べる。

乳幼児の日常行動のセンシングとモデリングの試み

研究室におけるセンシング —全空間的物理現象センシング—

安価なセンサや、マイコンの発展により、研究室の

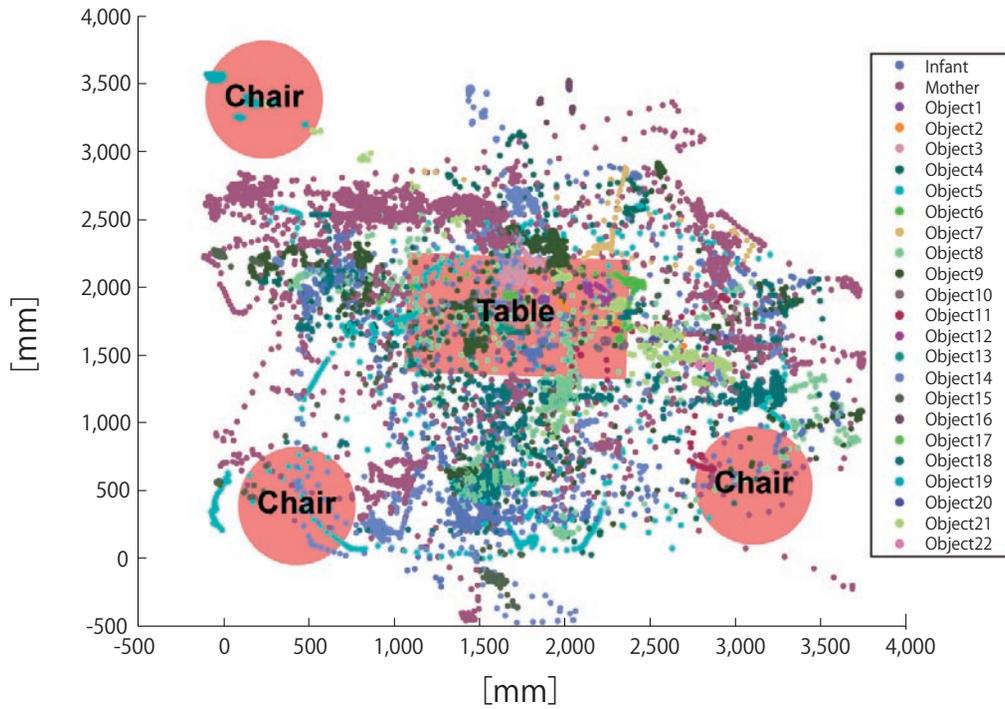


■ 図-3 超音波タグを用いた子どもの行動観察

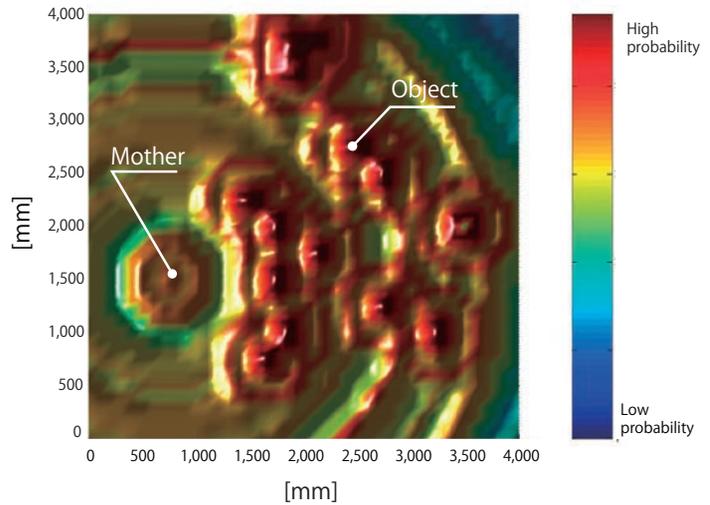
レベルでは、センシング機能を持った空間を構築することが容易になりつつある。日常生活空間で発現する乳幼児の多様な行動をセンシングするシステムとして、10m程度のオーダである日常生活空間で行われる行動現象をcmオーダで計測可能な超音波位置計測装置(超音波タグシステム)を開発してきた。この開発システムを、図-3に示すような日常生活空間を模擬した部屋に取り付け、実際の乳幼児やお母さんの行動の計測実験を行うことで、たとえば、9カ月～2歳の乳幼児の場合、40cm程度の距離にある対象物に対して最も興味を持ちやすいといった知見が得られている。図-4は、計測された子ども、母親、モノの軌跡の例であり、図-5は、軌跡データを解析することによって得られたモノと子どもの興味との関係、すなわち、ある場所にあるモノが子どもに興味を抱かせる確率の分布を示したものである。

研究室から実世界へ飛び出すセンシング —全空間的生活現象センシング—

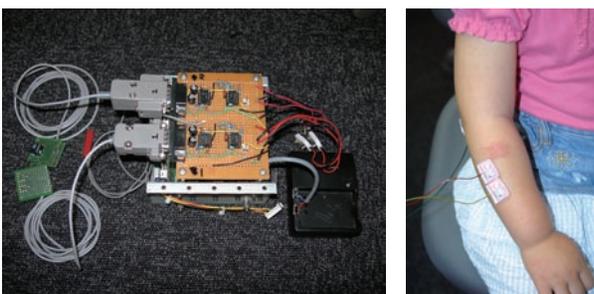
ウェアラブルセンシング技術を用いることで、研究室といった限られた空間内の日常行動だけでなく、一般家庭での日常行動もセンシング可能となる。最近では、低消費電力型のマイコン、無線モジュール、メモリ、センサの種類も豊富であり、ウェアラブルセンシング技術を構成するための要素技術が整ってきており、こうした日常行動をセンシングする試みが始められる状況にある。たとえば、把持行動は、誤飲といった事故の解析における基礎データとなり得るもので、日常生活における把持データを計測するために、図-6に示すようなウェアラブルな筋電計を試作した。およそ3割程度の誤差で把持回数を推定することが可能になっている。把持回数のオーダは推定できそうである。日常把持以外にも、1日何回特定の行動を行っているのか?、いつその行動がとれるようになったのか?などに関する定量的なデータや



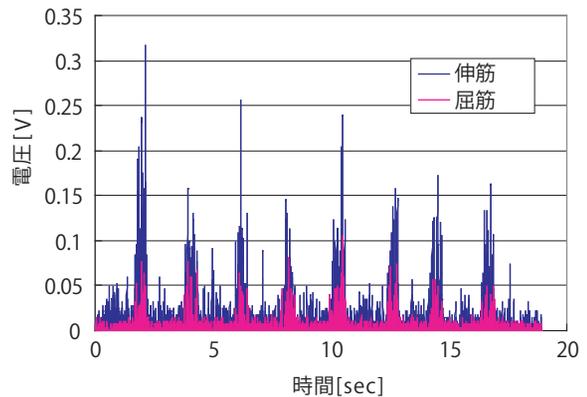
■ 図-4 子ども, 母親, モノの軌跡データ



■ 図-5 写真のようにモノが存在している日常環境におけるモノの興味誘発度分布

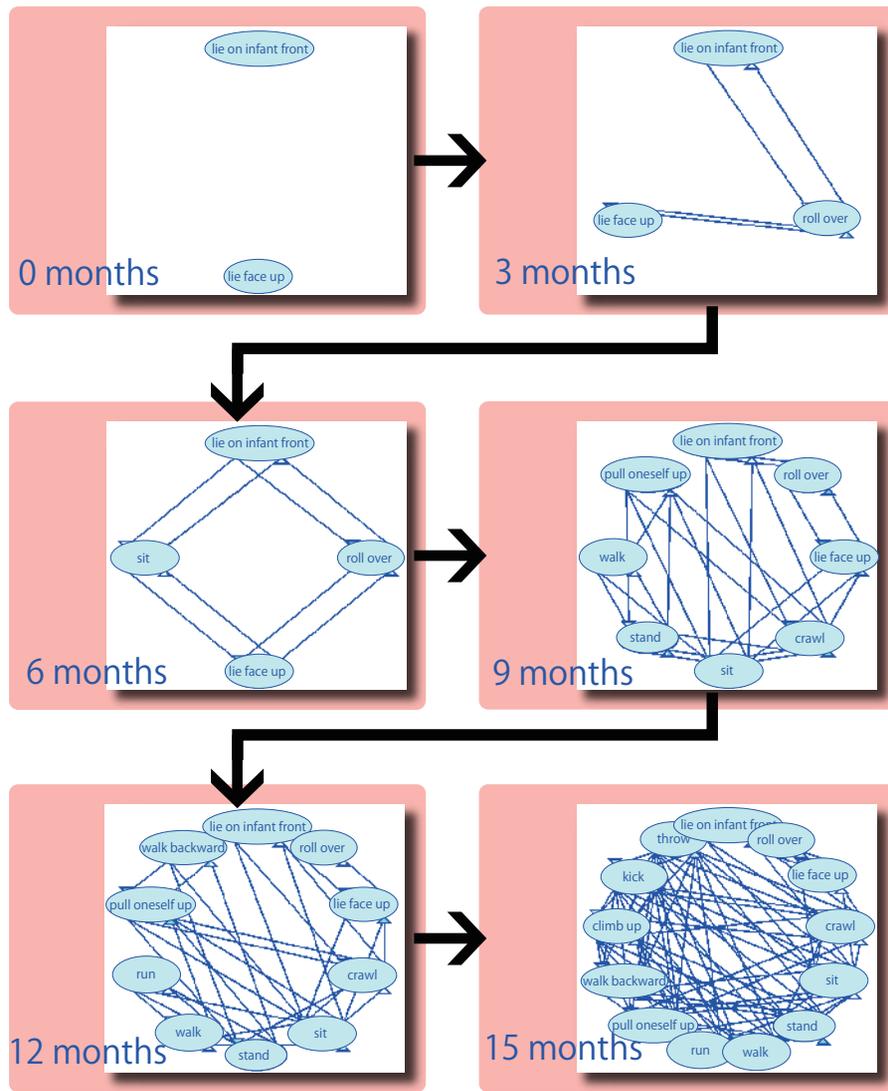


■ 図-6 ウェアラブル筋電計の試作と計測データ



知見はまったくない状態にある。もし、こうした情報が提供できれば、製品開発や、乳幼児行動の科学における基礎データとして有益な情報となるであろう。そのため

にも、研究室だけでは得られ難い、これらのデータを集めるためのウェアラブルセンシング技術が必要である。



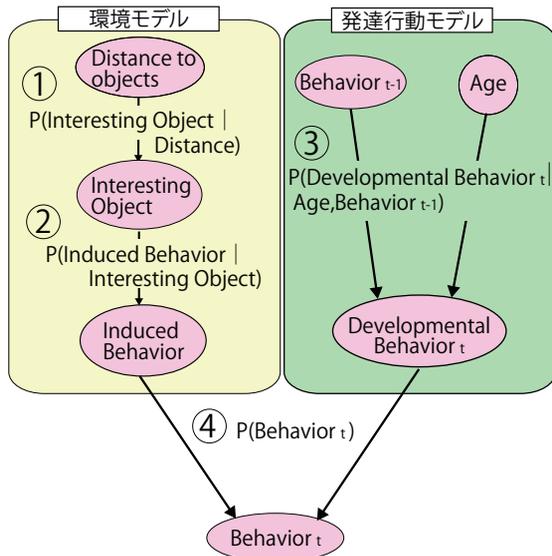
■図-8 子どもの発達行動モデル

もので、月齢ととり得る行動の確率的な関係を示したものである。DENVER II（デンバー発達判定法）は、子どもの発達の異常を早期に発見するための1次スクリーニングとして国際的に使用されているもので、我が国でも標準化され、臨床現場で広く使用されている。月齢と行動の関係や、モノと興味の関係といった知見を図-9に示すような確率ネットワークで表現することで、作業仮説としての統合された乳幼児行動が得られる。たとえば、1歳半の子ども100人のうち30人がある行動をとったという統計情報があれば、条件付の行動生起確率は30%である。このような $P(\text{行動} | \text{月齢})$ という条件付確率を網羅的にモデル化できれば、ある特定の状況において、ある行動をとる確率や、さらにさまざまな要因を条件として起こり得る事故の可能性を見積もることが可能になる。またこの確率の変化率を計算することで、年齢や性別のほかにも確率の計算に強く影響する要因、すなわち事故の原因となり得る条件を見つけることが期待できる。このような要因（変数）の間を結んで多段のネットワークにしたものが確率ネットワークである。そしてそれを使って確率値や可能性の高い行

動や事故を予測する計算が確率推論と呼ばれている。こうして得られた行動モデルを用いて、図-10に示すような行動を再現するシミュレーションを行い、実際の子どものデータと比較することで、各要素を精緻化したり、不足している要素を補うことを繰り返すことで乳幼児行動の統合モデルを作成する試みを行っている。

持続的に発展するセンシングとモデリング

最近では、各家庭にインターネットが普及しているので、こうした事故・怪我の収集の場を、一般家庭に広げることで、迅速に膨大なデータを収集し、かつ、その場で乳幼児の保護者に有用な情報を提供できる新しいデータベース構築法も可能になりつつある。たとえば、図-11に示すような、乳幼児の保護者が育児情報をWeb上で見る際に、自分の子どもの月齢や、その子どもが起こした怪我や事故を入力することで、すぐさま、その場で、それまでに蓄積されている子どもの属性や事故事例を参照し、その子どもが近い将来起こしやすい事故を推定し、事故をグラフィカルに提示する機能を有す



■図-9 興味を持つ子どもの行動モデル



■図-10 興味を持つ子どもの行動の可視化

るデータベースである。入力された子どもの属性や怪我や事故の情報は蓄積され、推定精度を高めながら持続的に発展し続けるデータベースである。

我々は、(株)ベネッセコーポレーションの協力を得て、2005年12月からWeb上で、こうした試みの第一歩となるサービスを始める予定である。保護者が入力した子どもの情報（年齢や最近可能になった行動などの情報）に基づいて、その子どもが起こし得る事故の再現動画やその予防策を配信するサービスである。こうしたサービスを発展させていくことで、たとえば、即時性のある事故予防情報、原因物体を画像として見られる情報、動画として子どもの行動を実感できる情報などの適切な育児支援情報が得られることをインセンティブとした膨大なデータベースの素早い構築と、単なる事故統計の公表を超えた、一歩進んだ情報の活用を目指している。

これまでの研究から、3つの情報活用型事故情報収集システムが必要であることが分かってきた。1つ目は、



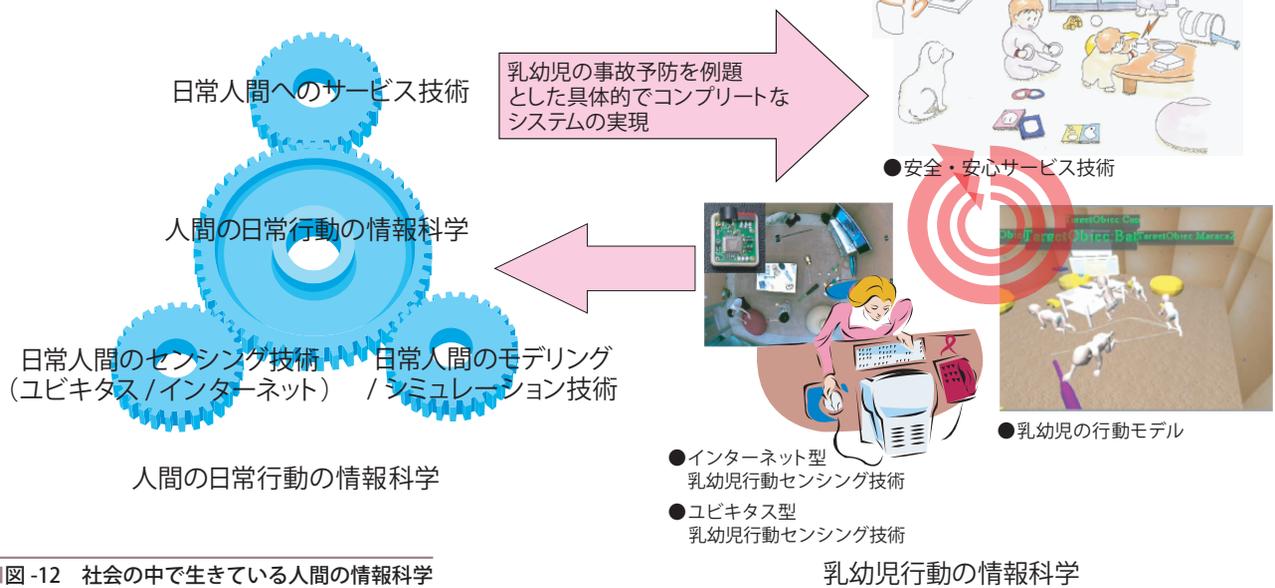
年齢	<input type="text" value="2"/>
性別	<input checked="" type="radio"/> 男子 <input type="radio"/> 女子
事故の状況	
いつ?	<input type="text" value="2005/5/10"/>
どこで?	<input type="text" value="台所"/>
きっかけは?	<input type="text" value="転倒"/>
どのように?	

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イスを踏み台にした。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、バランスを崩

■図-11 持続的に発展するセンシング・モデリング統合型データベース

少なすぎず、多すぎず、ほどよく事故情報を収集する事故・怪我情報の収集システムであり、現在、日本や世界で起こっている事故の動態を把握するためのシステムである。2つ目が、事故の状況を再現できる程度に詳細な情報を収集するためのシステムである。1つ目の動態把握のためのサーベイランスシステムによって、どんな事故をまず解明・予防すべきかという目的が与えられるので、これを踏まえて社会的に価値の高い事故や怪我のデータを詳細に調査することが可能になる。3つ目が、事故情報を縮約し、意味のある情報として、保護者や育児支援者に伝達するためのシステムである。

これらの情報活用型事故情報収集システムによって集められた事故・怪我データや、これまで述べてきた研究室で得られる行動データと家庭内での収集された行動データなどを再利用可能なたちでモデル化し、子どもの行動モデルや事故発生のモデルとして統合し、評価を繰り返すことで、徐々に、子どもが日ごろ行っている大抵の行動や、その結果生じる大抵の怪我や事故をうまく説明し、再現できる標準モデルができ上がっていくのではないかと考えている。



■図-12 社会の中で生きている人間の情報科学

日常行動の知の体系構築に向けて

本稿では、ここまで、乳幼児の事故予防という観点から、日常行動のセンシング技術、日常行動のモデル化技術、これらに基づき、日常でサービスを提供する技術の事例を紹介してきた。今後、行動センシング技術に関しては、ハードウェア面を発展させるだけでなく、実際にどのように子どもに取り付けたいのかに関する知見も蓄積することで、乳幼児行動の計測方法を確立していきたいと考えている。また、インターネットを利用した事故情報のセンシング技術の次の段階としては、グラフィクスを用いた事故の再現とデータベースの分析とを繰り返すことで、事故の再現に必要な項目は何か？という観点からデータ収集システムを改善し、さらに、現場の医師、看護師、介護士と協力することで、運用上の課題なども解決することで、データ収集の場を少しずつ広げていきたいと考えている。

本稿で述べたことは、乳幼児の事故の問題に限らず、たとえば、高齢者の事故や、工場や病院における労災など、実は、日常茶飯事に生じている行動に付随した現象一般に当てはまるのではないかと考えている。すなわち、人間のために役立つ技術開発を本当に目指すならば、「日常」に踏み込み、研究対象として取り組む時がきたのではないだろうか。図-12に示すように、情報処理技術をベースとして、センシング技術、モデリング技術、サービス技術という要素技術が、日常生活の中でかみ合わせ、ぐるぐると回り始めたとき、「実験動物としての人間ではなく、社会の中で生きている人間を深く理解する情報科学」という新しい歯車が回り始めることを期待している。

参考文献

- 1) 田中：新子どもの事故防止マニュアル，(株) 診断と治療社 (2003)。
- 2) Wallis, A. L., Cody, B. E. and Mickalide, A. D. : 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>).
- 3) 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(Apr. 2004)。
- 4) <http://www.monash.edu.au/muarc/VISAR/>
- 5) Vimpani, G. and Hartley, P.: National Injury Surveillance and Prevention Project: Final Report, Canberra: Australian Government Publishing Service (1991)。
- 6) National Center for Injury Prevention and Control, <http://www.cdc.gov/nccipc/default.htm>
- 7) The Department of Trade and Industry, <http://www.dti.gov.uk/index.html>
- 8) 健やか親子 21, <http://rhino.yamanashimed.ac.jp/sukoyaka/>
- 9) Frankenburg, W. K., Dodds, J., Archer, P., et al.: The DENVER II Training Manual, Denver, CO:Denver Developmental Materials, Inc.(1992) ((社) 日本小児保健協会, DENVER II - デンバー発達判定法一, 日本小児医事出版社 (2002))。
- 10) 田中, 田中：子どもの発達と診断 1～3, 大月書店 (1981)。
- 11) 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)。
- 12) Birch, E. E., Gwiazda, J., Held, R.: Stereoaucuity Development for Crossed and Uncrossed Disparities in Human Infants, Vision Research, Vol.22, pp.507-513(1982)。
- 13) Fox, R., Aslin, R. N., Shea, S. L., Dumais, S. T. : Stereopsis in Human Infants, Science, Vol.207, pp.323-324(1980)。
- 14) Yonus, A., Granrud, C. E.: Infants Distance Perception from Linear Perspective and Texture Gradients, Infant Behavior & Development, Vol.9, pp.247-256(1986)。
- 15) Wilcox, T. : Object Individuation: Infants' Use of Shape, Size, Pattern, and Color, Cognition, Vol.72, pp.125-166(1999)。
- 16) Kaufman, J., Mareschal, D. and Johnson, M. H.: Graspability and Object Processing in Infants, Infant Behavior & Development, Vol.26, pp.516-528(2003)。
- 17) Marr, D. : Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information, W H Freeman & Co, (1982)(デビッド・マー：ビジョンー視覚の計算理論と脳内表現, 産業図書 (1987))。
- 18) Kitamura, K., Nishida, Y., Matsumoto, N., Motomura, Y., Yamanaka, Y. and Mizoguchi, H. : Development of Infant Behavior Simulator: Modeling Grasping Achievement Behavior Based on Developmental Behavior Model and Environmental Interest Induction Model, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.17, No.6(2005)(in press)。

(平成 17 年 11 月 21 日受付)