

# 確率論的モデルを介したデータ統合による 日常生活行動の制御モデルの構築法

Developing a Model for Controlling Everyday Life Behavior  
by Integrating Heterogeneous Data through Probabilistically Modeling

西田佳史\*1\*2

Yoshifumi Nishida

本村陽一\*1\*2

Yoichi Motomura

北村 光司\*1\*2

Goro Kawakami

\*1産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

\*2科学技術振興機構, CREST

Japan Science and Technology Agency, CREST

A method for developing a model for making everyday life behavior controllable for better life is strongly required in such a field as injury prevention of children and old people, public health, and marketing. This paper describes a method for developing a control model of everyday life behavior by integrating heterogeneous (macro and micro) data through probabilistically modeling. This paper focuses on childhood injury prevention and reports our trial for applying the method for controlling childhood injury in everyday life environment.

## 1. はじめに

日常生活環境において、人間の行動を操作可能な変数を用いて制御可能にする行動制御モデリングの体系的な方法論の確立が様々な分野で求められている。例えば、子供や高齢者の事故予防、公衆衛生、マーケティングなどの分野は、行動制御モデリングに対し強いニーズがある分野の例である。一方、技術シーズを見ると、今日、ノーマルサイエンスのように原理的な方程式を実験室の実験によって発見しようとするパラダイムではなく、大規模データから現実とよく合った説明・再現モデルを構築するデータ駆動型のモデル構築のパラダイム（日常生活インフォマティクス）が可能になりつつあり、日常生活空間に埋め込まれたセンサやなどからの日常生活データを使って、日常生活現象の何らかのモデルを構築することが可能になっている [西田 08]。

しかしながら、安全性や快適性など日常生活の質を実際に向上させるための「制御」には、単に対象となる日常生活現象のモデル化を行うだけでは不十分であり、制御に使える計算モデルが不可欠である。制御のためには、日常生活インフォマティクスの方法を発展させ、日常生活現象を計算機上で「制御システム」として表現し、日常生活の「制御」を計算可能にしていく技術が不可欠である。

こうした行動制御モデリング（計算論的行動制御モデルの構築法）に示唆を与える分野に、行動分析学がある。1930年代にスキナー [Skinner 03] によって始められた行動分析学では、人間行動の可制御性が重視され、何らかの実験を通じて、操作可能な変数（行動分析学で独立変数と呼ばれる変数）と行動との因果関係を明らかにしようとした。すなわち、操作可能な変数を介して、制御していくという発想である。最近新たに利用可能になった技術によって、この行動分析学の方法論が拡張可能であるように見える。これまで馴染みのある、比較的少数の操作可能な変数を仮定し、これを変化させる人工の実験を行うことで、効率よく仮説検証型の実験を行う方法論ではなく、大規模な日常行動データの蓄積とそのレトロスペクティブな分析によって人間行動制御モデルを構築していくアプローチが可能になりつつある。このことは、日常生活や実社会と介入実験が

困難であったり、大規模な操作変数候補があり実際に統制実験が困難であるような制御対象への適用可能性を示唆している。

本稿では、子どもの事故予防の分野において筆者らが進めている傷害制御モデリングの試みを報告する。事故予防で必要とされる包括的アプローチを述べ、そこで必要となる制御モデリングの考え方を示す。また、傷害を可制御する試みとして、センサルーム等で計測された製品の「日常の使われ方」のデータ（マイクロデータ）と、病院で収集された日常生活における事故データ（マクロデータ）を、確率的モデリングを介在することでデータ統合し、日常生活行動の結果である事故を可制御するモデルを構築する試みについて報告する。

## 2. 事故予防に求められる包括的アプローチと制御モデリング

### 2.1 事故予防のための包括的アプローチ

日常生活における事故予防のための計算論的 PDCA サイクルを実現するための基本的な考え方を図 1 に示す。図 1 では、製品のリスクを制御するために我々が制御可能な対象を、大きく環境・製品（図中左側）と、人の意識・行動（図中右側）とに分類し、その全体を一つのシステムとして捉え、環境改善と行動変容の両方を一つの制御系と捉えフィードバックループを作って持続的改善していく包括的なアプローチを示している。改善可能なものに関しては、製品を改善することによって危険性を低減させていく一方で、実際上、製品の改良では危険をゼロにすること（ゼロリスク）が困難である場合がほとんどであることから、その危険に関する情報をコミュニティに伝え、情報の共有化を図るリスクコミュニケーションも同時に扱っていくことが重要である。

### 2.2 事故予防のための制御モデル

事故予防を行うこと、言い換えれば、重篤な事故による傷害発生を制御するための理論の概念図を図 2 に示す。事故現象を記述するのに必要な変数を分類すると、必ず以下の 3 つに分類可能である。

A. 制御したい変数: 例えば、重症事故の数、事故死の数といった変数である。ただし、直接、制御できないことが多い。

B. 操作可能な変数: 例えば、人工物の設計パラメータ、製品の配置などのパラメータは、我々が直接制御可能なパラメータである。安全教育によって、完全ではないにしても、ある程

連絡先: 西田佳史, 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン  
研究センター, 〒 135-0064 東京都江東区青海 2-41-6,  
y.nishida@aist.go.jp

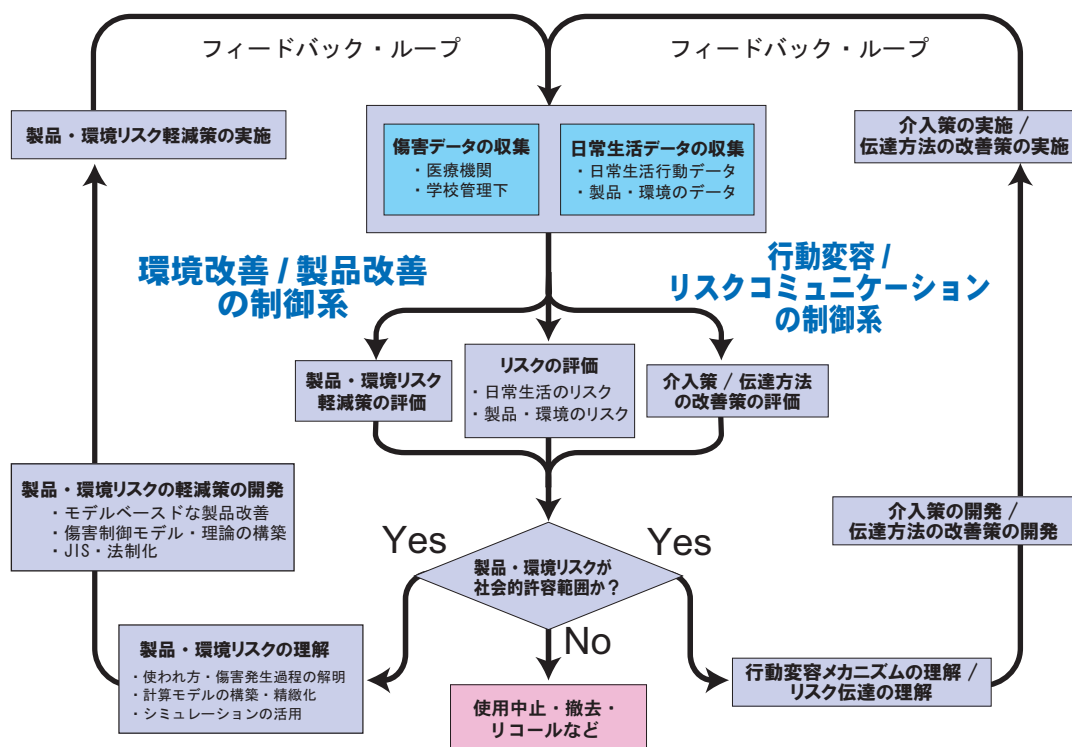


図 1: 事故予防に求められる包括的アプローチ

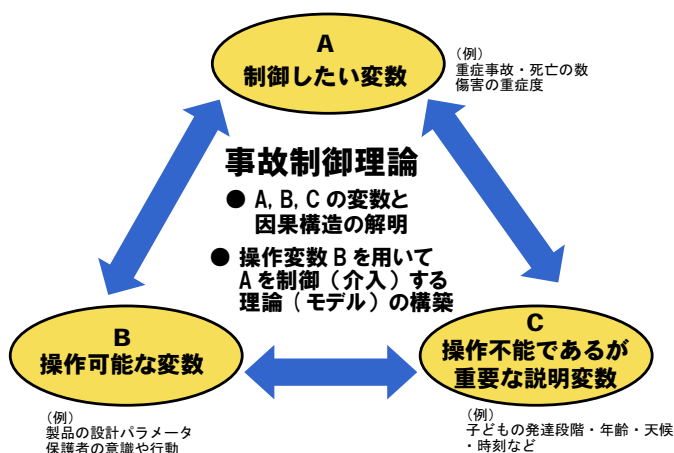


図 2: 事故予防のための制御モデル

度, 保護者の意識を変容可能であると考え、保護者の危険に対する考え方なども (少なくともその一部は), 操作可能なパラメータである。

C. 操作不能であるが重要な説明変数: 例えば, 事故の現象を説明する上で, 子どもの年齢・発達段階, 天候や季節, 時間といった変数が重要となるが, 我々人間にとって操作不能なパラメータである。

A が直接制御できれば話は簡単であるが, 実際には, A は直接的には制御困難であることが多い。事故や事故に起因する傷害を制御する問題はこの類の問題である。このような場合, A の制御したい変数, B の操作可能な変数, C の操作不能であるが重要な変数の間の因果構造を分析し, その結果得られた

因果構造モデルと操作可能変数 B を使って, 制御対象 A を制御する理論 (モデル) を開発する必要がある。

このような制御モデルを開発する基本技術として, 大規模なデータベースと確率的モデリング技術を使ったデータ駆動型モデリングが利用可能であるが, 大規模データに操作可能パラメータをどう導入していくかが鍵である。収集した大規模データに運よく操作可能パラメータが入っていれば制御モデルの構築は容易であるが, 一般にはデータ収集の際によく吟味してデザインしておく必要がある。本研究では, 必ずしも操作可能パラメータが含まれていない事故データに, 操作可能パラメータを導入するための工夫として, 統制された実験環境下で操作可能パラメータと行動データの関係性を記述するデータを取得し, 事故データと行動実験データを確率的モデリングを介して統合することで, 制御モデルを開発する手法について述べる。

### 3. 事故制御モデリングの事例

筆者らのグループでは, 事故情報を収集するためのシステム (身体地図機能を持つ傷害サーベイランスシステム [本村 06, 坪井 08]) の構築を進めている。現在, 緑園こどもクリニックと国立成育医療センターで運用を継続している。こうして蓄積された事故データを使ってベイジアンネットワークの構造学習を行うことで確率的モデリングが可能である。しかしながら, 単純な適用のみからは, 何らかの事故説明モデルを構築することは可能であっても, 多くの場合, それがそのまま事故対策法の開発に繋がることはない。

以下, 転落現象を例に, 具体的に説明する。図 3 に, 病院サーベイランスのデータベース (4,590 件) を用いて, 全転落事故事例 471 件を用いて構築したベイジアンネットワーク (転落事故説明モデル) を示す。この事故「説明」モデルを, 第 2 章で述べたような事故「制御」モデルへと拡張するためには,

操作パラメータの導入が不可欠である．

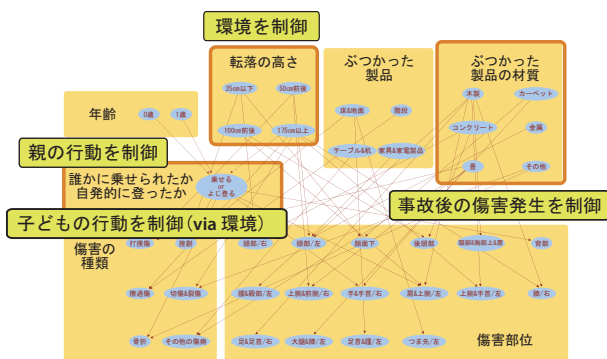


図 3: 転落事故説明モデル

このモデルの説明変数のうち、操作変数候補になりうる変数として、例えば、“転落の高さ”、“乗せる or よじ登る”、“ぶつかった製品の材質”の三つが挙げられる。一番目の“転落の高さ”は、転落によって傷害を受傷するか否かが転落した時の高さに関わるのは明らかであり、操作可能なパラメータである。これを操作することで、傷害を減らせると考えられる。二番目の“乗せる or よじ登る”は、保護者が高い所に子どもを置いたかどうか、または子どもが転落事故を起こしうる高さまで自発的に登ったかどうかを示している。前者は、製品を子どもを置けないような設計にしたり、子どもを置かないように保護者を教育(制御)することで事故を減らせる可能性がある。後者は、“転落の高さ”などの製品の大きさや感触、色などのパラメータや、子どもの運動能力と密接に関係しており、子どもが高い場所へ登らないよう環境を制御する必要がある。三番目の“ぶつかった製品の材質”は、子どもが転落したとしても、ぶつかる床の材質を制御することで、傷害を減らすことが可能であると考えられる。これらの変数が操作できれば事故を可制御化できるようになるが、病院にて収集した事故情報のみで、事故制御モデルを構築するのは難しい。例えば、子どもが製品をよじ登ることができるかどうかは、事故情報だけでは説明できない。

本稿では、まず、上述した操作変数候補のうち、よじ登り行動を環境パラメータ(製品の高さなど)を変えて、可制御化する試みを述べる。

### 3.1 事故発生前の行動(よじ登り)を制御するアプローチ: 事故データと行動観察データの確率的モデリングを介した統合による事故制御モデルへの構築例

図 4 は、転落事故の説明モデルに操作可能変数を導入することによって可制御モデル化した例を示している。この事例では、転落の原因となっている乳幼児のよじ登り行動に着目し、0歳児から2歳児の乳幼児を対象に実験を行うことで、モノの広さ、高さ、重さなどのモノの属性と乳幼児の身長・発達段階などの乳幼児の特性との間の関係性を表す確率的因果構造モデル(平均的中確率 78.9%)を作成した(詳細は、[野守 09]を参考にされたい)。このよじ登り行動制御モデルを転落事故説明モデルと統合することで、よじ登り行動を環境変数を媒介として可制御化するための転落事故制御モデルを構築した例である。このように、製品設計者が操作可能な変数を含んだ確率的因果構造モデルは、制御モデルの例である。

以上で述べた制御モデリングの手順をまとめると、次のよ

うになる。

1. 傷害情報を用いたマクロ事故説明モデル構築
2. 制御変数・操作変数の候補の考察
3. センサールームを用いた行動観察による操作変数が導入された行動制御モデルの構築(ミクロ行動制御モデル)
4. マクロ事故説明モデルと行動制御モデルの統合による事故制御モデルの構築
5. 統合モデルを用いたリスク制御・効果評価

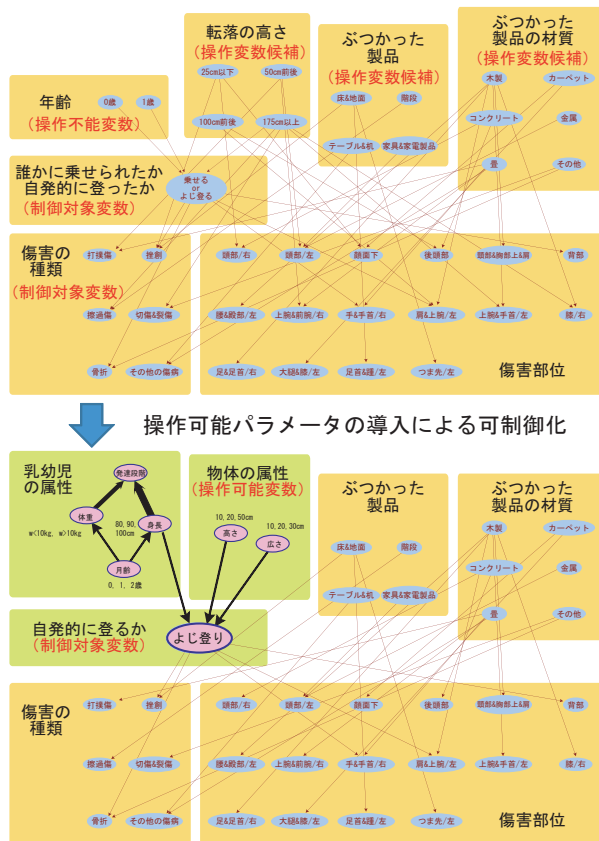


図 4: 転落事故制御モデリングの例(上: 転落事故「説明」モデル, 下: 転落事故「制御」モデル)

### 3.2 その他のアプローチ:

前節では、転落事故の前に生じている“よじ登り”行動に着目し、これを環境パラメータにより制御するための行動制御モデルについて述べ、これと事故説明モデルを統合することで事故制御モデルを構築する過程を述べた。一般に、事故対策には、いくつかの対策を組み合わせたり、適切なものを選択したり、様々な取り組みが要求される。例えば、製品の形状を操作できない場合には、他の要因を可制御化する必要がある。以下で述べるように、他の要因を可制御化するモデル、例えば、リスク認知モデル、インパクトバイオメカニクスモデルを統合していくことで、適切な事故予防策の評価が行えるような包括的な事故制御モデルが可能になると考えられる。以下、各々モデルに関する展望を述べる。

#### 3.2.1 事故発生後の傷害を制御するアプローチ: 生体衝突シミュレーション技術の利用

図 3 は、傷害の要因の一つは、転落先の製品の材質であることを示している。子どもの転倒・転落事故における頭部傷害

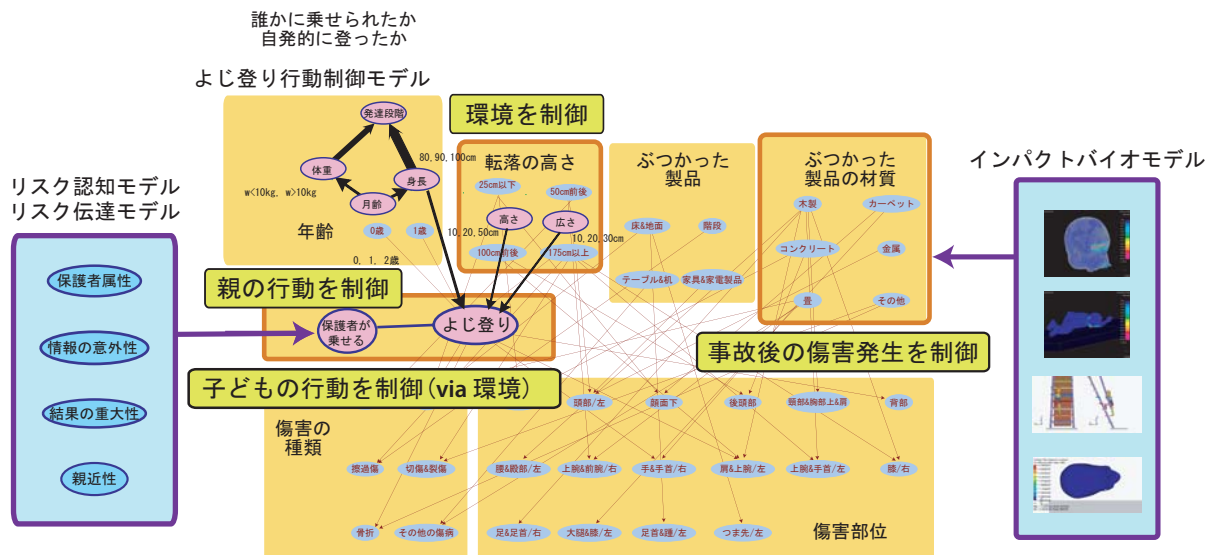


図 5: 転落事故制御のための包括的アプローチの例

の原因究明や対策開発のための生体衝突シミュレーション技術が利用可能になっている。例えば、身長・体重などの子どもの属性、転落時の姿勢、転落先の材質を変化させて、転落時に頭部にかかる衝撃を評価する技術が開発されている [宮崎 08]。一般に、生体衝突シミュレーション技術だけでは、加速度などの物理量は計算できても、その結果、生体組織に生じる傷害の計算は困難である。一方、病院で集められる傷害情報には、加速度などの物理量は含まれておらず、衝撃を表す物理量と傷害の因果関係は、今なお不明である。生体衝突シミュレーション技術と事故説明モデルを用いることで、得られる物理量（転落時の高さなど）と傷害データから、衝撃と傷害の因果関係を構築できれば、転落先の材質などの操作可能パラメータを変化させた際の事故予防効果を評価することが可能となる。

3.2.2 不適切な場所に子どもを乗せる保護者の行動を制御するアプローチ

図 3 は、転落事故の原因の一つは、不適切な場所に子どもを乗せる保護者の行動であることを示している。具体例をあげれば、我々の事故データベースで洗濯機による事故を検索すると、その 6 割は、入浴しようと脱衣所で子どもの洗濯機の上に乗せた際に生じている。本研究グループでは、この種の行動を制御するための方法として、保護者にリスクをアニメーションを使って分かりやすく伝える試みを行っている。乳幼児の月齢と発達段階に合わせて、その時期の子どもが起こしやすい典型的な事故パターンを CG で見せる WEB サービスを 2005 年から開始しているが、そこでのアンケートログは、保護者の事故に対する認知をモデリングするための基礎データとして利用可能であり、認知構造モデリングに基づくサービスの設計と提供を繰り返すことができれば、個人に適合し続けられる知識循環型のコンテンツやサービスが生成可能となる。われわれの調査によれば、事故の典型的な状況を動画を用いて情報提示する方法は、テキストや絵を用いた情報提示法と比較して、心理的なインパクトが大きいことが分かっており [北村 09]、リスクコミュニケーションのツールとして適切に利用することで大きな効果が期待できる。リスクコミュニケーションに関して、第 2 章で議論したように可制御化の観点からは、行動変容や意識変容とユーザの属性や認知構造の関係をモデリングし、

今後、認知「制御」モデルへ拡張していくことが重要である。

4. 結論

本稿では、事故予防で必要とされる包括的アプローチを述べ、そこで必要となる制御モデリングの考え方を示した。また、センサルーム等で計測された製品の「日常の使われ方」のデータ（マイクロデータ）と、病院で収集された日常生活における事故データ（マクロデータ）を、確率的モデリングを介することでデータ統合し、日常生活事故の可制御モデルを構築する試みについて報告した。包括的な傷害制御モデルを作成するための展望についても述べた。

参考文献

[西田 08] 西田佳史, 本村陽一, "日常生活支援のためのロボタイゼーション," 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 7, pp. 736-737, 2008  
 [Skinner 03] B・F・スキナー, 科学と人間行動, 二瓶社, 2003  
 [西田 09] 西田佳史, 本村陽一, 北村光司, 山中龍宏, "子どもの事故予防のための日常生活インフォマティクス," パイオメカニズム学会誌, Vol. 33, No. 1, pp. 16-22, 2009  
 [本村 06] 本村陽一, 西田佳史, 山中龍宏, 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  
 [坪井 08] 坪井利樹, 西田佳史, 持丸正明, 河内まき子, 山中龍宏, 溝口博, "身体地図情報システム," 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 20, No. 2, pp. 155-163, 2008  
 [野守 09] 野守耕爾, 本村陽一, 西田佳史, 山中龍宏, 小松原明哲, "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" 人工知能学会全国大会 2009 論文集, 2009 (in press)  
 [宮崎 08] 宮崎祐介, 持丸正明, 西田佳史, 河内まき子, 宇治橋貞幸, "年齢別子ども転倒シミュレータによる遊具の転倒傷害危険度の可視化," 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 6, pp. 561-567, September 2008  
 [北村 09] 北村光司, 掛札逸美, 西田佳史, 本村陽一, 山中龍宏, "子どもの傷害予防教育・啓発に活かす VR 技術," 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.14 No1, pp. 11-20, 2009