

知識循環型事故サーベイランスシステム

本村 陽一¹・西田 佳史²・山中 龍宏³・北村 光司⁴・
金子 彩⁴・柴田 康徳⁴・溝口 博⁴

(受付 2006 年 2 月 3 日; 改訂 2006 年 4 月 13 日)

要 旨

IT 技術の飛躍的發展とインターネットの普及により、これまで以上に社会における知識の循環が可能になると期待されている。そのために情報技術が果たす役割は大きい。我々は現在、社会的問題として深刻な子供の事故を予防するための情報技術として、知識循環型の事故サーベイランスシステムの研究を進めている。これはまず社会で実際に起きている事故の情報を大量に収集し、かつその発生メカニズムや関係性、子供の行動などを明示的な知識としてモデル化し、計算機上でシミュレート可能、事故の発生確率を定量的に予測可能にすることで、有効な対策や政策の提言に寄与するものである。本稿ではこの事故サーベイランスシステムの構想と、これにより集められる事故履歴データから確率モデルを構築し、それによりリスク評価や安全対策に寄与する知識を抽出し、活用する各要素技術の概要についても紹介する。

キーワード：ベイジアンネット、統計的学習、確率推論、事故予防、ヒューマンモデリング。

1. はじめに

近年の計算機能力の大幅な向上により大量のデータを高速に処理できるようになってきた。さらにインターネットや電子カルテなどの普及により社会において実際に起きている出来事に関する情報が計算機上で処理しやすいものになっている。こうした時代において、新しい情報技術により知的で質の高い暮らしの実現を目指し、大量のデータから有益な知識を抽出し、これを社会の中で有効に活用するために循環させることが重要な課題となっている。そこで我々は、大量の統計データから知識として抽出する一つの表現(モデル)として、因果構造を含む確率ネットワークを構築し、これを計算機上で活用する確率推論技術を応用した情報システムを実現する枠組みの研究を進めている。社会における様々なデータから抽出した知識を循環させる知識循環型の情報システムの開発方法として、この技術的枠組みを実証し、実際に役立つ場面で普及させることを目指している。

このような知識循環型の技術が必要とされている問題として子供の事故予防がある。現在

¹ 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.motomura@aist.go.jp

² 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

³ 緑園こどもクリニック：〒245-0002 神奈川県横浜市泉区緑園 2-1-6-201; tatsuhiro-yamanaka@nifty.com

⁴ 東京理科大学 理工学部：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641

我が国では0歳以外の子供(1~19歳)の死亡原因の一位が依然として不慮の事故である(田中, 2003)。例えば日本中毒情報センターによって子供の誤飲事故の件数などが報告されているが相談の75%から80%は5歳以下の子供の誤飲であり,ここ数年全く改善される傾向が見られない。さらに事故歴のある報告例も多く見られ,同様の事故が繰り返されているという現実がある(日本中毒情報センター, 2005)。すなわち不慮の事故は子供の健康問題として重要な課題である。他の先進国においても不慮の事故は死亡原因の一位ではあるが,死亡率で比較すると我が国では欧米と比較して高い率となっている。他の先進国では事故の発生を継続的に収集する事故サーベイランスシステム事業が整備され,事故の実態が定常的かつ正確に把握されている。例えばオーストラリアのNational Injury Surveillance and Prevention Project(NISPP),アメリカの国立事故防止センター(National Center for Injury Prevention and Control),イギリスの貿易産業省によるHome and Leisure Accident Surveillance Systemなどがある。一方我が国では死亡以外の事故は記録として管理されておらず,その実態は明らかでない。日々膨大な数の事故が発生しているにも関わらず,その実態が不明であるために子供を事故から守るための知識が利用可能なものになっておらず,適切な場面で十分な対策がとられずに全国で同じ種類の事故が繰り返し起きている現状がある。事故は特定の製品の欠陥が引き起こすものではなく,日常生活の中にあり,子供が大人の予測不可能な行動をとることは,成長の過程では当然であり,確かに対策は容易ではない。しかし,育児の経験や医療現場で蓄積された知識は確かに事故対策には有望であり,これを新しく保育者となる人にどのようにして伝えるか,という知識の伝達(Safety promotion)により改善できる面もある。

こうしたことから子供の事故を予防するための何らかの手段を講じることは国家的,社会的にも急務であり,情報技術の研究開発の枠組みにおいても,こうした社会的に重要な問題に対しても何らかの貢献を果たすことが重要であろう。本研究ではインターネット技術や計算機技術を活用して日常的に発生している事故事例データを収集し,その結果得られた統計データから予防のために活用できる有用な知識を抽出し,子供の行動や事故の関係性を確率モデルとして表す事で,事故の発生状況の再現や定量的な評価,コンピュータグラフィックでのシミュレーションによる知識の伝達といった波及効果の高い応用を可能にすることを狙いとす。

子供の発達と環境との相互作用の結果,様々な現象が重なりあい,ある確率で不幸にして事故が発生する。つまり事故は子供の行動が発達する限り必然的にある一定の確率で発生し,避けられないものであると考えるべきである。この確率的に発生するリスクをコントロールするために,事故の発生の原因とメカニズムや条件などを重要な説明変数としてモデル化することで,事故の確率やダメージの期待値を最小限に抑えられるような条件の判定などが可能になるかもしれない。さらに事故を予測しやすい説明変数を選択し明示的に表すことも重要な課題である。

まず現在の小児の事故についての問題点を整理すると,

- 1) 乳幼児などの低年齢の子供に関しては家庭内(室内)における事故の割合が高い。
- 2) 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,だいたい状況は同じである。
- 3) 同じような事故が繰り返し発生し,事故に関する知識の普及や啓蒙活動を通じてもなお発生件数に歯止めがかからない。
- 4) 典型的なパターンなどが自分の家の状況や子供の状況に照らし合わせて理解できれば事前に事故を防げると思えるが,子供の発達により可能となる行動が予見できなかったり,因果関係の連鎖が複雑である場合には,事故の隠れた原因に気が付かないことが多い。

といったことが挙げられる。

そこで、この問題に対する一つのアプローチとして我々はまず、

- 1) 計算機上に事故を表現し、再現できるようにする。
- 2) 事故を積極的に発生させ、何が危険であるかを理解し、広く認知させる。
- 3) 事故を制御できる要因(効果的に事故の発生確率を下げ、ダメージを軽減できる対処)を探る。
- 4) 事故を予防するために効果的な対策を検討し、シミュレーションにより定量的に評価する。

というアプローチを考えた。

このような観点から、まず事故が発生するメカニズムを計算機上でシミュレート可能な計算モデルとして表す。現実の事故の発生メカニズムは様々な要因が複雑に関係しており、決定的な記述方法では(例えばある種の関数系によって)完全に表現することは難しい。そこで非決定的な表現による確率的なモデリングが有効である。事故については複数の原因の相互作用が当然あり得るため、確率モデルとしては交互作用を含むことが必要である。さらにモデル(分布形)についてあまり強く仮定をすることはできない。確率モデルは大量のデータにより学習する。本稿ではこの枠組みを実現するために重要な各要素技術について述べる。まず2節では事故情報を収集する事故サーベイランスシステムについて述べる。これにより収集したデータからベイジアンネットモデルを構築する方法を3節で述べる。4節では子供の行動の確率的モデル化とそれを使った事故再現シミュレーションについて述べる。5節ではシミュレーションを提供しながら、さらにこれを広く社会に提供することによる、統計調査も可能となる情報提供サービスについて述べる。

2. 事故サーベイランスシステム

山中はこれまでわが国における事故事例の収集システムである事故サーベイランスシステムの必要性を強く訴え続けている(山中, 2004)。またこれまでに来院患者への聞き取り調査として医療現場における事故履歴情報を約300件程度収集した。また大分子ども病院の協力を得て、さらに約3700件のデータも得ている。今回そのうちの家庭内の事故を抜き出し約1200件の事例を電子化した。元のデータは保護者に対して事故の内容を聞き取り、アンケート用紙に記入したもので、事故時の状況は事前いくつかの選択肢として挙げているものの、実際の状況や原因となった子供の行動は主に自由記述で記録されている。また自由記述の記録はテキストデータであっても、いわゆるテキストマイニングの対象となるほど、同一単語の使用頻度は高くなく、人間が読めばおおまかに想像ができるものの、状況などについて完全に記述されていないことが多い(治療中の病院で聞き取られている内容なので必要最小限の文章である)。

そこで我々はまず事故の発生要因に対する特徴として子供とモノや環境、状況との相互作用に注目することにした。結果としての事故としては、家庭内の小児の事故として主要な誤飲事故、火傷、転落事故、切傷事故などを取りあげる。すると、多くの事例から事故原因としては関与したモノ、子供の行動(事故の直前の行動)、関与した相手(第三者)の関係性が強いことが浮かびあがって来た。事故の種類を判別するための各説明変数の相互情報量を比較したものが図1である。これにより例えば事故の種類を予測するには怪我の種類や、行動やモノの種類の情報量が高いことが見てとれる。

相互情報量により比較をすることは対数尤度によるモデル選択とみなせる。ただし説明変数の数や、状態数が異なる場合にはモデルとしての自由度が異なるため、AIC(Akaike, 1973; 坂本他, 1983)などの情報量規準によりモデル選択を行う。

こうしたモデルを構築するためには事故履歴データを継続的に大量に収集することが必要で

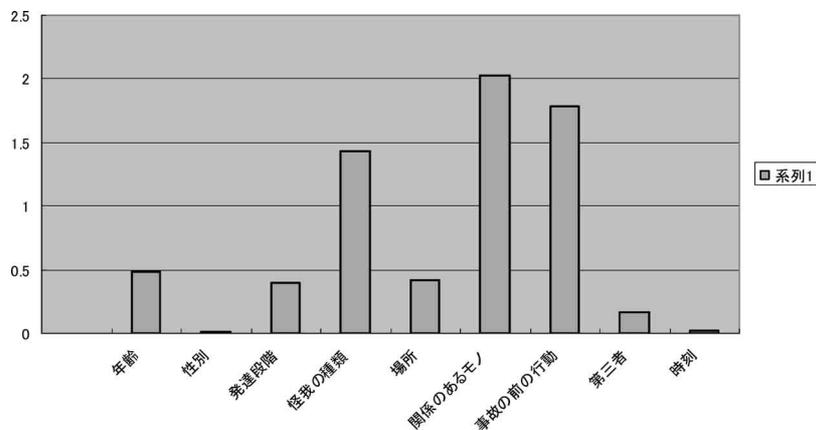


図 1. 事故の種類に対する各説明変数の相互情報量。

図 2. 事故サーベイランスシステムの試作例。

ある．病院の待合時や診療中に記録し，広く参照できるように携帯端末やインターネット上でも活用できる事故サーベイランスシステムが必要となる．以下に述べるように，このデータ収集のためにも，モデル選択は有効である．

病院内での実務に対する影響を最小限にするために入力の手間はできるだけ少なくなるよう，自由記述入力を減らし，さらに選択肢の候補も予測により入力支援を行うことが必要である．そこで，例えば既に入力した項目の値を使い，次の入力項目の選択肢を選ばれる確率が高いも

のようになるように決定する．とくに事故の原因となる子供の行動は実際に親が見ているとは限らず，入力が困難なものである．そこで，既に他の項目の値が分かっているならば，その内容から次の項目を予測することが考えられる．例えば既に入力した項目の値を条件として該当する原因行動を検索し，その条件で最も多い原因行動を選択肢の候補とする．このように実際に病院や家庭で使用される場面を考慮して事故事例の入力システムを試作した(図2)．

病院内で使用する携帯端末は，既に導入されている電子カルテとの連携や，救急医療におけるトリアージと呼ばれる病院内の聞き取り業務形態に配慮した最適化が必要である．またインターネット経由で利用されるものは，一般家庭にあるPCでも動作しながら，先の入力の手間を軽減する知的なインタフェースを実現するためにAJAXと呼ばれる非同期の対話的プロトコルを利用して開発している．これらの入力システムによって収集された事故事例はあるタイミングでSQLデータベースに格納されて分析される．収集された事故事例や分析結果などはWebにより公開でき，病院内の各端末や各家庭のPCからも閲覧可能になるため，事故情報や予防のための対策(アドバイス)などはすぐに社会に反映できる．

3. 統計的学習によるベイジアンネットモデルの構築

大量の事故事例データを先の事故サーベイランスシステムによって収集し，そこから実際に起きている事故に関する知識を抽出し分析したい．先に2変数の相互作用を持つ例を示したが，事故事例が多くなればさらに多くの親ノードや，より複雑な構造を持つモデルを構築することができるようになる．この構造が事故の因果構造を反映したものであれば，事故の発生メカニズムを反映できることが期待される．ベイジアンネットモデル(Pearl, 1988)であれば，複数変数の交互作用や非線形性，非正規性を持つ場合でも自然に表現することができ，またデータからの学習も容易である(本村・岩崎, 2006)．さらにモデルを構築した後に確率推論(本村, 2003a)を実行すれば，ある状況下で事故が発生する可能性などを分析し，定量的に評価することが可能である．

つまり，データの分析結果を単なる統計量としてみるだけでなく，ベイジアンネットとして表し，確率推論を実行することで様々な再利用できる知識として活用することができる．

問題対象の背景にある複雑な依存関係を表すために，依存関係のある変数間を有向リンクで結び，リンクをたどったパスが循環しないような非循環有向グラフで表す確率モデルがベイジアンネットである．例えば1歳6ヶ月の子供の事故による怪我100件のうち10件が火傷であれば，事故のうち傷害の種類が火傷である条件付確率は10%である．このような $P(\text{事故の種類} | \text{年齢}, \dots)$ という条件付確率を網羅的にモデル化しておけば，様々な異なる状況において起こり得る怪我の種類とそれぞれの確率や，ある事故が起こりやすい原因となるものやそれぞれの場合の起こりやすさなどが評価できる．つまり事故事例情報から抽出した定量的な知識として活用することができる．また様々な状況における全ての確率変数の確率値を計算することを確率推論と呼び，これを効率良く実行できることがベイジアンネットでモデル化する一つのメリットである．特に説明変数と目的変数を区別することなく確率計算が可能であることが大きな特徴であり，知識としての再利用性の点で優れていると言える．

ベイジアンネットは確率変数をノードで表し，これらを有向リンクで結合して依存関係を表現した確率分布として定義される．有向リンクの元にあるノードを親ノード，有向リンクの先にあるノードを子ノードと呼ぶ．子ノード X にリンクを張る親ノード(集合)を U とすると，この子ノードの確率変数は条件付確率分布 $P(X|U)$ に従う．確率変数が k 通りの状態を持つ確率変数の場合，子ノードは $X = x_1, \dots, x_k$ のそれぞれの値を取る可能性があるものと考え，それぞれの値を取る確率が $P(x_1), \dots, P(x_k)$ であれば，これにより X の確率分布を与えること

ができる。

離散的な確率変数として親ノード(集合)についても取る値の全ての組み合わせを列挙することができる。 X についての確率分布が親ノード U に依存している時、その条件付確率分布を考えて、全ての U の取り得る値の組み合わせについての確率値 $P(x_1|U), \dots, P(x_k|U)$ を並べた表、条件付確率表(CPT)としてこれを定義する。

また変数間の依存関係、つまり各子ノードについてのどの親ノードが結合しているかという親ノードの集合を定義することでベイジアンネットのグラフ構造が定義される。以上のようにノード集合とグラフ構造と、各子ノードにそれぞれ割り当てた条件付確率表(CPT)の集合によってベイジアンネットが定義される(図3)。

様々に異なる多くの問題に対しても、対象について変数が多段に接続されたベイジアンネットを構築し、その上で確率計算を実行する、という統一的な方法論によって取り扱うことができるのがベイジアンネットの一つのメリットである。

前節で述べた事故サーベイランスシステムで記録、収集したデータから、確率的なネットワークモデルであるベイジアンネットを構築することで、事故に関する説明変数間の関係を知識化する。モデル構築にあたっては、時刻などの属性を適当なカテゴリに分類(離散化)してカテゴリカル変数を複数用意し、その中から情報量規準(AIC)により最適なものを選択する。また交互作用のある複数の親ノードを持つモデルも選択候補となる。

産業技術総合研究所が開発したソフトウェア(本村, 2003b)により構築したベイジアンネットモデルと、それを用いて確率推論を実行した例を図4に示す。

ただし、今回用いたデータの属性やサンプル数の制約からこのモデルは因果をモデル化したものではなく、予測モデルとしての意味を持つものである。子供の年齢、性別、さらに季節や時間を入力し、確率推論アルゴリズムを実行することによって、ある季節、時間において、ある年齢、性別の小児についての事故の中で、発生する可能性の高い傷害の種類や、事故の起こりやすい場所、注意すべきモノなどの事後確率が確率推論の結果として得られる。保育者へのアドバイスとしては特定の年齢、季節、時間における発生する事後確率の高いモノや場所、事故の種類などが注意しておくべき対象として挙げられる。またあるいは逆に、現在環境内にあるモノや、気を付けるべき傷害を入力して確率推論を実行することで、その条件における事故の発生する確率が高い季節や時間などを提示するという使い方もできる。構築されたベイジアンネットモデルはXMLファイルの形式でインターネットを経由して流通させることも容易である。また、確率推論アルゴリズム(本村, 2004)のソフトウェアはC++でコンパクトに書か

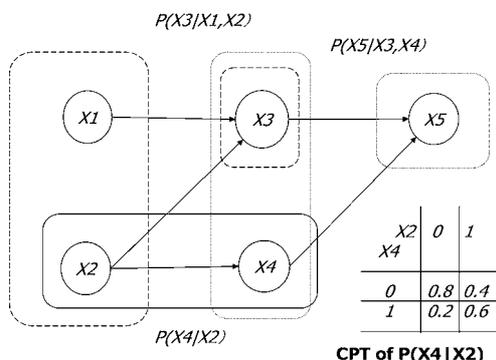


図 3. ベイジアンネット。

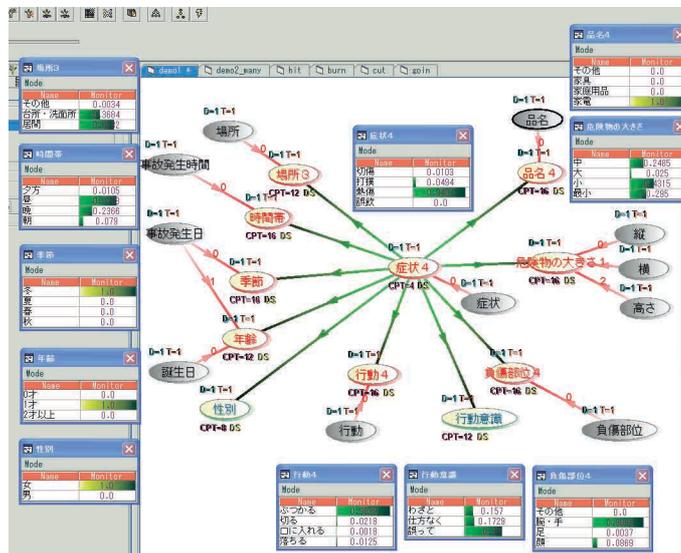


図 4. 統計データから構築した関係モデルとその上での確率推論の実行例。

れたものがあり、これはライブラリとして簡単に他のソフトウェアに組み込むこともできる。この確率推論を実行して事故予防アドバイスや、モノの危険性を評価するソフトウェアを多方面で普及させることができれば、事故サーベイランスシステムで収集し、ベイジアンネットモデルとして表現した知識を社会の中で循環することができるようになるだろう。

4. 事故を再現してみせる子供の行動モデルと再現シミュレーション

実際に子供の事故予防に役立てるためには、事例データから抽出した知識を活用する手段を考えることが重要である。子供の事故が無ならない一つの要因は以前発生した事故が、他の家庭に知識として伝わっていないことがある。これまで保育者へのハンドブックの形で事故予防の知識を普及させる試みがあるが、実際には月齢の異なる子供では無関係な事例などもあり、情報過多となる問題や、文面としては理解できても実際の場面で行動変容を促すほどの強い印象が与えられないなどの問題がある。

そこで、事故予防の試みの一つとして、前節で述べた大量の事故事例データから得られた知識を活用して、事故を再現できるコンピュータグラフィックシミュレーションを作成する方法について述べる。まず、先の事故サーベイランスシステムによって収集した事故事例データや構築したベイジアンネットモデルによる確率推論結果を元にして、注目すべき事故シーンを再現するシナリオを再構築する。しかし、そのようにシナリオを再現する場合、これまでに収集されている事故事例の記録は事故が起こった後に静的に記述された情報が中心となっており、事故の起こった環境や環境の変化、子供の行動など、事故時の状況を完全に再現するのに十分な情報は含まれていないことが多い。そこで事故を再現するためには、まず環境情報と子供が取り得る行動などの情報を得ることが必要である。そのために我々は環境情報や子供の行動を表すモデルを別途実験により作成する。これもグラフィカルな確率モデルとしておくことで、事故事例情報から構築したベイジアンネットモデルと自然に統合することができる(Kitamura

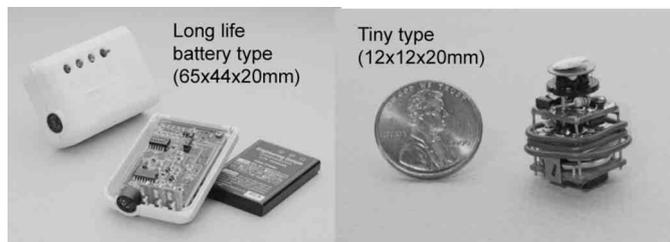


図 5. 子供の位置計測装置(超音波送信機)。

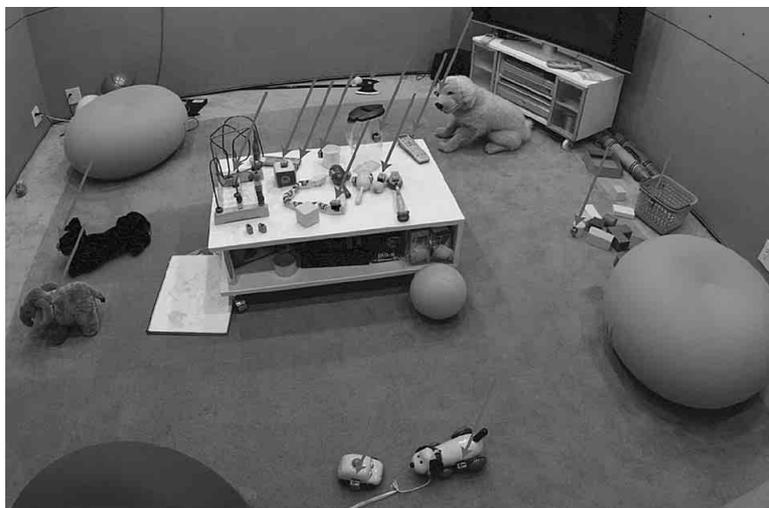


図 6. 子供の行動計測ルーム。

et al., 2005)。

我々はこれまでに、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、図 5 に示すような 10 m 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 単位で計測可能な超音波位置計測装置を開発してきた(Nishida et al., 2003)。

また同時に、これを設置した図 6 の実験室を構築し、乳幼児の行動モデル作成の基礎データとなる乳幼児の行動データの収集を行った。既に、90 組以上の乳幼児とその母親に対する実験を完了し、さらに継続して 100 名以上の乳幼児の行動データの収集を進めている。天井に設置した全方位カメラにより記録した実験中の画像を図 7 に示す。

これらの実験から、ある状況下で子供がとる行動の履歴を大量に収集し、移動時の動線や室内のモノに対して興味を持つ条件などを分析している。これまでに、ある月齢の子供がとる行動の確率は、直前にとった行動と月齢を主要とする説明変数により条件付けられることが明らかになっており、我々はこれを元にした確率的な行動モデルを作成している(Kitamura et al., 2005)。これと事故事例から獲得したモデルと統合することで事故を計算機シミュレーションで再現するのに必要な情報を生成可能にする。ただしシミュレーション映像として事故を完全

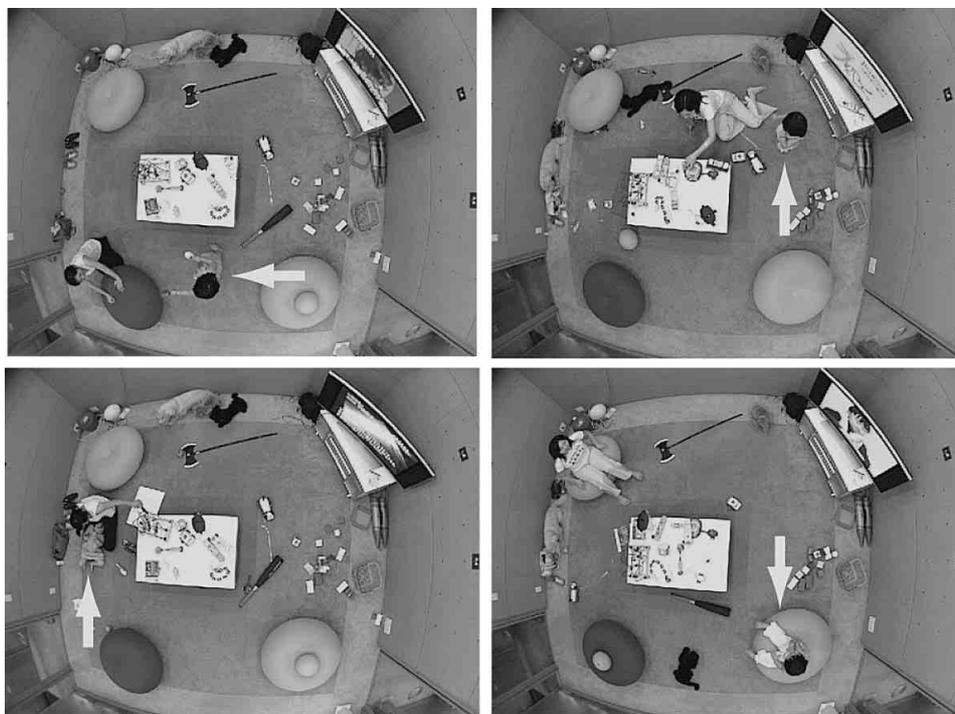


図 7. 子供と母親の行動計測(全方位画像).

に再現するためには、なお必要な情報がある。今後、間取り情報やより詳しい事故発生時の状態、子供が興味を持つモノ、などを記録し収集することが必要である。一般的な住環境の形態や(初期)間取りなどは、今後事故事例を収集する際に新たに取得することを検討している(図8)。また後で述べるように、事故を再現した動画を Web によって広く公開できれば、それを見た保護者に動画の提示と同時にアンケートを実施することで、広く統計調査を行い、子供や保護者の属性などと統計的に対応づけることも可能である。当面はこうした今後のアンケート調査も念頭に置きつつ、典型的な間取り情報を用意しておく。

子供が取り得る行動の種類については、発達行動学の知見から子供の成長段階(主に月齢が影響)から確率的に推測できることが分かっている。子供の発達行動については、アメリカにおける大規模な統計調査により、月齢と各種の行動の関係の調査が行われ、月齢が有意な説明変数であることが知られている。我が国においても広範囲の統計調査の結果、各種の発達行動と月齢の間の統計的關係がデンバー式発達スクリーニング検査法(DENVER II)(日本小児保健協会, 2002)としてまとめられている。これは同じ月齢の子供のうち、標本集団のうち何%の子供がある発達行動を実行できるかを示すことにより、行動発達の遅れが見られるかどうかを検査するものである(図9)。これを、ある月齢の子供がある行動を取り得る可能性を示す条件付確率としても解釈することができる。つまりある月齢の子供が取り得る行動(または失敗確率)を予測するベイジアンネットとして表すことができる(図10)。このベイジアンネット上の確率推論により、ある特定の行動を取る可能性が評価できる。またさらに行動に影響する説明変数をモデルに追加していくことで、特定の状況下における子供の行動をより細かく推定すること

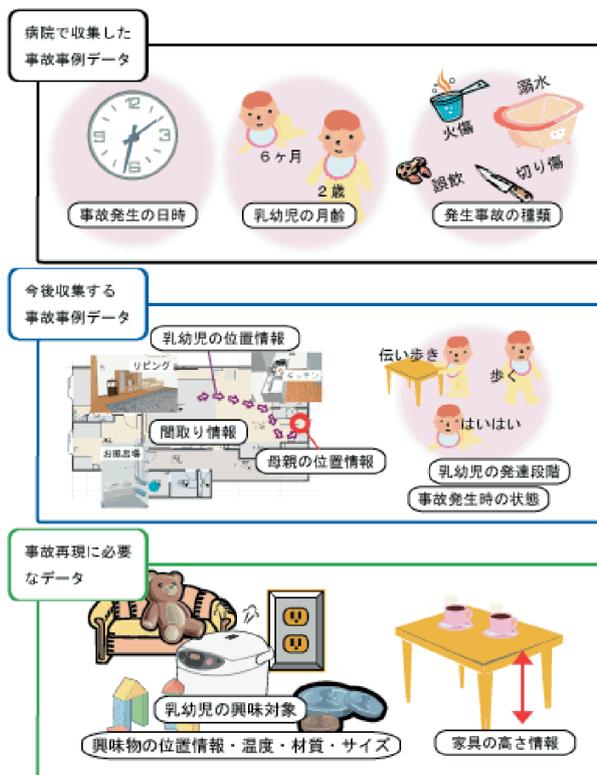


図 8. 事故を再現する計算モデルに必要なデータ。

も可能になる。

ある環境内の行動のモデルに事故サーベイランスシステムから構築したベイジアンネットワークモデルを共通の変数を介して統合することができる。例えば、モノの種類、子供の属性(月齢)、環境の特徴などである。そして、その上で確率推論を実行すれば日常空間で発現する乳幼児の行動の生起確率と、それに伴う事故の危険性が計算できる。環境依存性や子供の属性との依存性がモデルに反映されているので、事例に含まれていた事故だけでなく、別の環境、別の月齢の乳幼児が取り得る行動を予測可能なシミュレーションが実現できる。

今回用いた変数は事故に関連する要因のうちまだほんの一部であるが、与えられた統計データの中で最も主要な変数と分類が抽出できることが重要である。さらにデータの質と量を増やし、新しい主要な変数が追加されることによって、同じ枠組みによりモデルは拡張できる。

事故時のシーンを再現するためには、事故の原因となるモノ(例えば「炊飯器の蒸気による火傷」などにおける「炊飯器」)の位置や子供がそれにどのように接近し、接触到至る過程をコンピュータグラフィックとして再現するためのプログラミングが必要である。我々はオブジェクト指向、イベント駆動でプログラムを記述するソフトウェア Virtools (Virtools, 2006)を用いて、事故シーンの記述を行う。図 11 にシミュレーション作成の手順、図 12, 13 に作成したシミュレーションの例を示す。

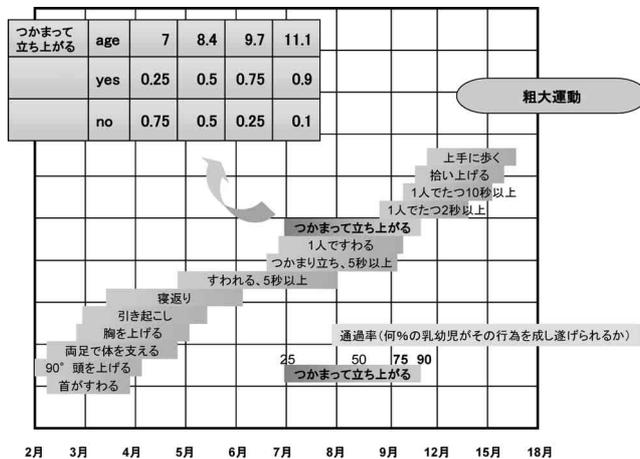


図 9. DENVER II 発達検査シート.

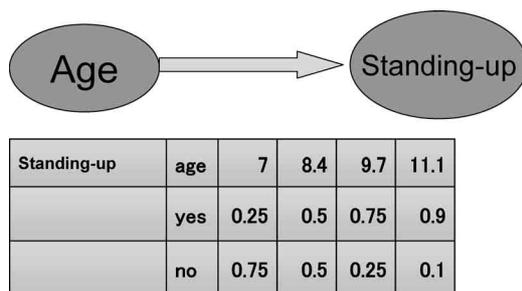


図 10. DENVER II から作成した 0-1 歳児の行動モデル(立ち上がり動作確率を表すベイジアンネット).

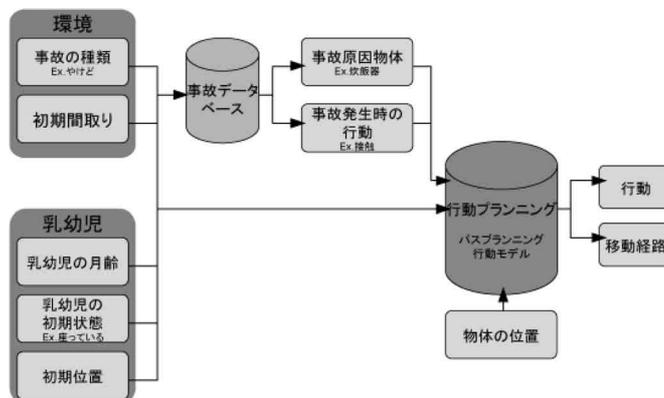


図 11. 事故を再現するシミュレーション作成の手順.



図 12. 事故再現シミュレーション(炊飯器で火傷).



図 13. 事故再現シミュレーション(風呂場で溺死).

5. 情報提供サービスによる統計調査

これまでに述べた方法で我々は様々な月齢の子供, 様々な環境に関する様々な事故を再現するシミュレーションを 100 種類以上作成した. またシミュレーションを構成するモノや, 行動, 環境変化などをさらに体系的に分類して, さらに多くの事故シーンを構成要素の組み合わせによって再現するライブラリの開発を進めている.

こうした大量のコンテンツを使い, これらを Web によって多数の人に提示するサービスを実現した. これまでの事故予防アドバイスを冊子で配布するのと違い, アクセスしてきたユー



図 14. 事故事例の認知度(known/unknown)とその発生可能性に対する評価(low/high probability)。

月齢と発達の関係 (Odaiba) (n=1105)

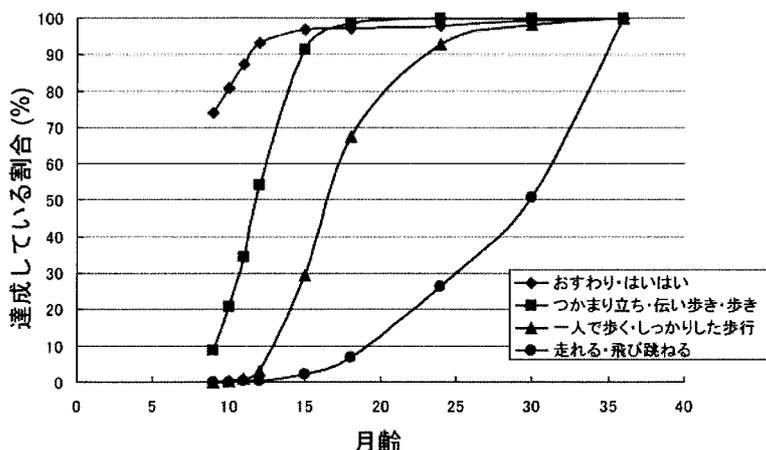


図 15. 各発達行動における月齢と 1105 人中の達成割合の関係。

にに合わせて Web コンテンツを見せるパーソナライゼーション技術を応用して、子供の年齢や生活環境に応じた適切なアドバイスを選択的に提示することが可能になる。

さらに、単に提示するだけでなく、提示した後に「この種の事故を知っていたか」、「この種の事故が起きる可能性は高いか低いか」というアンケートを同時に実施した。このインターネットを利用したサービス提供とアンケート調査を連携させることにより、これまでは難しかった膨大な被験者数の調査結果を短時間で得ることが可能となった。最近のインターネット普及率、また幼児の保育者のインターネット利用率の高さから 1ヶ月の間に各事例に対し延べ 5000 件以上のアンケート回答を収集できた。その結果により今回作成したシミュレーションに提示した事故事例の認知度とその発生可能性に対する評価が明らかになった(図 14)。また同時に自分の子供の発達段階についても調査したところ、1105 人からの回答が得られ、いくつかの行動に関する月齢との関係は図 15 のように得ることができた。

またその後、さらに調査を継続した結果、約 4ヶ月間に延べ 8590 件、人数にして約 1900 人の回答が得られている。これは先に挙げた DENVER II における調査対象人数(1800 人)を超えるものであり、このような情報提供サービスを実施することによる調査が、短時間で有用な統計情報を獲得できることを示す結果である。同様の情報サービス提供型のインターネット調査

により先に述べたような子供の住環境や事故の原因となるモノが実際に利用されている頻度, そうした事故自体が知られている認知度, 事故の予防対策の認知度なども効率良く調査することができる。これは刻々と変化する社会の様子をリアルタイムに知り得る一種の調査技術として幅広い用途に利用することもできるだろう。

さらに, 初期のモデルは多少不正確であっても, データ量が増加することによって確率パラメータの推定値は精緻化される。統計データが増えることによって確率モデルは更新され, コンテンツの質も向上していく。コンテンツの質が向上することで利用者が増えれば, 調査結果として得られる統計データも増加するという正のフィードバックが期待できる。

6. おわりに

本稿では事故状況における時間や場所, 子供の行動と事故の種類などの事例を収集する事故サーベイランスシステム, 事例データに基づいて構築したベイジアンネットによる確率推論, また事前知識や子供の実験から構築した確率的な行動モデル, これらによる事故を再現する計算モデルとシミュレーションを実現する方法について述べた。さらに実際の事故シーンを動画として再生し, 予防対策を適切に提示するサービスの開発を行った。この情報提供サービスを通じてさらに大量の統計調査を実施することが可能になる。統計データを再利用可能なモデルとしてコンテンツ化することの意義は深い。日本でも誤飲事故の統計のように, 乳幼児の事故に関連するデータはこれまでも集められ分析されているが, それらは十分活用されてきたとはいえない。これまでに述べた枠組みで, 新たに収集するデータから行動の計算論的モデルや, それを活用したアプリケーションを実現した後は, 事故の当事者だけでなく, 多くの人にとっても有益なコンテンツとすることで, さらに大きな波及効果を生むことを狙っている。その波及効果が大きければ大きいほど, さらに大規模に支援サービスとデータ収集インフラを展開できるだろう。十分な投資効果が見込めれば, 家にセンサを埋め込んだ環境と連動して予測と制御, 学習を行うシステムによって, 発達段階に合わせた乳幼児の実時間見守り支援など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, このような子供を見守るシステム, 親の負担を軽減できるシステムは日常生活を支援する重要な事例の一つである。

今後はこうして得られたデータからさらに計算モデルを精緻化し, より有用な事故関連知識を抽出していくことが重要な課題である。この中で, 事故の発生原因や傷害の程度の定量的な評価を進め, 有効な予防対策手段を発見, 検証していくことも考えている。またインターネットを通じた情報収集や情報提供サービスの運用を多方面に働きかけ, 日常的な育児支援技術として普及させていくことも現実的には重要な活動である。このような活動を通じて得られる実際に社会で起きている事故関連情報を収集することで, 提案手法の有効性の評価, 改良などが可能になると思われる。

謝 辞

本研究は科学技術振興機構 JST, CREST の助成を受けた。また有益なご議論をいただいた事故サーベイランス勉強会, インターネット調査に協力していただいたベネッセコーポレーションの皆様へ感謝する。

参 考 文 献

- Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, *2nd International Symposium on Information Theory* (eds. B. N. Petrov and F. Csaki), 267–281 Akademiai Kiado, Budapest.
- Kitamura, K., Nishida, Y., Matsumoto, N., Motomura, Y., Yamanaka, T. and Mizoguchi, H. (2005). Development of infant behavior simulator: Modeling grasping achievement behavior based on developmental behavior model and environmental interest induction model, *Journal of Robotics and Mechatronics*, **17**(6), 705–716.
- 本村陽一(2003a). ベイジアンネットワークによる確率推論技術, 計測と制御, **42**(8), 649–654.
- 本村陽一(2003b). ベイジアンネットワークソフトウェア BayoNet, 計測と制御, **42**(8), 693–694.
- 本村陽一(2004). ベイジアンネットワークにおける確率推論アルゴリズムと実験評価, 信学技報, **103**(734), 157–162.
- 本村陽一, 岩崎弘利(2006). 『ベイジアンネットワーク技術』, 東京電機大学出版局, 東京.
- 日本中毒情報センター(2005). 財団法人日本中毒情報センター, <http://www.j-poison-ic.or.jp/>.
- 日本小児保健協会(2002). 『DENVER II—デンバー発達判定法—』, 日本小児医事出版, 東京.
- Nishida, Y., Aizawa, H., Hori, T., Hoffman, N. H., Kanade, T. and Kakikura, M. (2003). 3D ultrasonic tagging system for observing human activity, *Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS2003)*, 785–791.
- Pearl, J. (1988). *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*, Morgan Kaufmann, San Mateo, California.
- 坂元慶行, 石黒真木夫, 北川源四郎(1983). 『情報量統計学』, 共立出版, 東京.
- 田中哲郎(2003). 『新子どもの事故防止マニュアル』, 株式会社診断と治療社, 東京.
- Virtools(2006). Virtools, <http://www.virttools.com>.
- 山中龍宏(2004). 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, 16–17.

Injury Surveillance System for Preventing Children's Injury that Circulates Reusable Knowledge

Yoichi Motomura¹, Yoshifumi Nishida¹, Tatsuhiro Yamanaka², Kouji Kitamura³,
Aya Kaneko³, Yasunori Shibata³ and Hiroshi Mizoguchi³

¹Digital Human Research Center, AIST

²Ryokuen Children's Clinic

³Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

We introduce our research project on prevention of accidents to children. In this research, Injury surveillance systems, probabilistic modeling, and 3-D computer simulations are studied. We collect statistical data from hospitals and homes, and construct computational models that can be used for prediction, evaluation and control of infant's behavior and injuries in using computer simulations. Computational models such as probabilistic networks are represented and utilized as knowledge by using probabilistic reasoning and information technologies described in this paper.