日常生活ロボタイゼーションと子どもの事故予防 ～大規模データから制御へ～

西田佳史 [1,2], 本村陽一 [1,2], 北村光司 [1,2], 掛札逸美 [1,2], 山中龍宏 [1,2,3]
[1] 産業技術総合研究所, [2] 科学技術振興機構 CREST, [3] 緑園こどもクリニック

概 要

この 10 年，大規模データの蓄積，あるいは，それに基づく検索・個人向け推薦サービスといったビジネスパラダイムが世界を席巻した．大規模データ時代の次は何であろうか？ 本講演では，大規模データから制御への視点を移す必要性と，そこにおけるロボット工学の役割を指摘したい．近年，センシング技術を用いて収集された日常生活の実データに基づいて，日常生活それ自体を，計算機上でシステムとして表現し，日常生活を「制御」の対象とする計算論的アプローチの実現可能性が高まっている．本講演では，不確実で手に負えない日常を，生活環境をロボット化し，日常生活データの計測とそれに基づく日常制御モデルの構築によって，制御可能な状態にしていく新たな科学技術を「日常生活ロボタイゼーション」と呼び，この研究領域の研究課題や今後の展望を述べる．また，このパラダイムによる問題解決が求められている典型例の一つである子どもの事故予防に焦点をあて，実践的研究事例を紹介する．なお，本稿では，講演では触れない内容も含め総説する．

1　人間生活の科学技術

日常生活が，社会ニーズの高まり, 利用可能な技術シーズの成熟の両側面から重要な研究フロンティアとなりつつある．今日，我々を取り巻く日常の生活環境は，少子・超高齢社会化による育児や介護のストレスの増加，身の回りの製造物の安全性に対する不信，成人病患者の増大など多くの問題を抱えており，これを解決する支援技術の開発は喫緊の課題である．他方，技術面では, ユビキタスセンサ技術やウェアラブルセンサ技術，インターネットを用いたテキスト情報収集技術などの多様なセンシング技術の発展により大規模な日常生活データが入手可能になってきた．さらに，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ベースを利用して，決定論的な記述方法では完全に表現することは難しい現象を取り扱う確率論的モデリング技術も利用可能になっている．

このような新しい技術の到来により，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，日常生活空間に埋め込まれたセンサからの大規模な日常生活データを使って，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が可能になりつつあり，新たな人間の情報科学領域（日常生活インフォマティクス）が始まろうとしている [1]．例えば，これまで日常生活の科学の欠如によって進んでいなかった，子どもの住宅内での事故予防，製品安全といった社会問題は，日常生活インフォマティクスの応用が期待されている典型例である．

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，単にモデルとい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使って，日常生活それ自体を計算機上で「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工学（日常系制御工学）が不可欠である．1940 年代に提唱されたサイバネティクス [2] は, 制御工学, 通信工学や統計力学的手法を用いて，体内に様々な通信系を備えた個体としての人間や動物という個体システムのみならず，複数の人間によって構成されている社会組織システムのダイナミクスをも統一的に理解しようとした最初の試みである．今日，日常生活インフォマティクスのアプローチが可能になりつつあることによって，サイバネティクスの考え方を日常生活へと応用し, 不確実で手に負えない日常生活系を，計算論的制御モデルを構築することで制御可能にしていく日常系制御工学への着手が可能になってきた．

計算論的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 [3] 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．筆者らは，制御モデルと呼びうるためには，操作可能変数と制御対象変数の因果関係の構築がポイントであると考えている．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．これに関しては，2.3 節で議論したい．最近新たに利用可能になった日常生活インフォマティクスのアプローチによって，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．従来，我々によって馴染みのある方法は，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的実験を行うことで，効率よく仮説検証型の実験を行うという方法であった．しかし，日常生活インフォマティクスでは，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上統制実験が困難であるような制御対象が扱える可能性を示唆している．

本稿では，日常生活の場にロボット要素を埋め込み，日常生活の場でセンシング→モデリング→サービス提供するという一貫したフィードバック系を実装することで，日常生活インフォマティクスや日常系制御工学の知見を創造・蓄積・更新しながら，同時にサービスの質を向上させていく方法論，換言すれば，実フィールドと研究をシームレスにつなぎフィードバック系を社会機能化させる方法論を日常生活のロボタイゼーションと呼び，日常生活のロボタイゼーションのパラダイムと，そのベースとなる日常生活インフォマティクスや日常系制御工学の可能性と研究課題を概観したい．特に，子どもの事故予防の観点から筆者らが進めている各要素技術や統合技術を具体的に示すことで，日常生活のロボタイゼーションとその方法論を例示したい．

2　日常生活ロボタイゼーションのパラダイムと技術的課題

2.1　日常生活のモデル

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，いわゆる「標準モデル」が存在しているが，我々の日常生活は，身近な現象であるのにも関わらず，実は，科学技術の観点からは未解明の物理現象であり，日常生活の標準モデルと呼びうるようなものは未だ存在していない．人間の日常生活のモデリングは，可能だろうか？　この疑問に答えるために，近年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ーピック現象である．例えば，図 1 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の存在により，神経細胞と脳機能との間のメゾスコーピック現象のモデリングが大きく発展してきた．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．

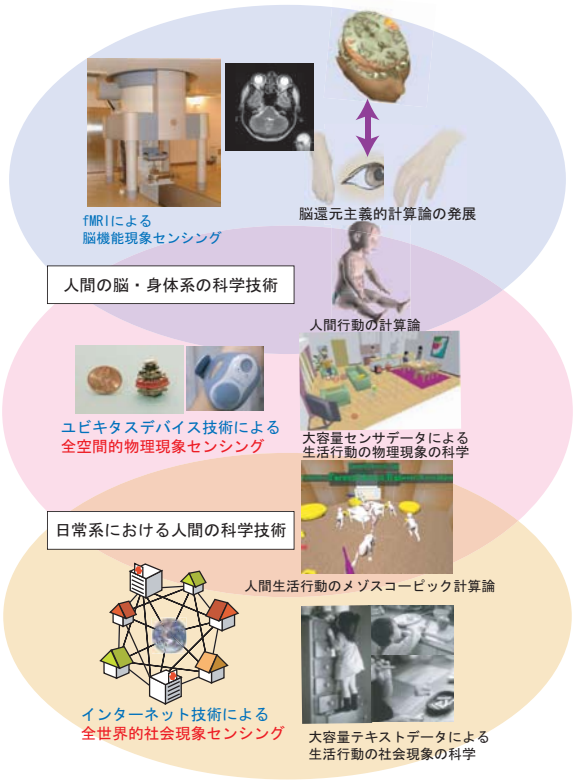

図 1: 人間の計算モデルと日常生活の科学技術

一方，最近，全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現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

キタスセンサや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．ユビキタス技術によるライフログは，個人の詳細な生活を記述することを可能とし，一方，インターネット技術による個人集合体としての現象記述は，社会やコミュニティーの動態を把握することを可能にすると考えられる．いずれも，従来は取得が困難であったデータである．

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，決定論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ゾスコー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示している．

かつて，Marr[4] が指摘したように，人間の全てのことがらを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様々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り，一見，途方も無いようにも見える．しかし，日常生活インフォマティクスの技術が乳幼児の生活行動に関しても利用可能になっていることに加えて，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点，行動に影響を与える環境の要因が局所的である点，また，月齢と行動の間に強い相関がある点などの手がかりも得られているので，学術上まず初めに試みられるべき対象であり，行動の標準モデルが構築できる可能性はあると考えている．

2.2 日常生活ロボタイゼーションのパラダイム

日常生活のロボタイゼーションでは，日常生活支援のための実サービスの社会実装を通じてのみ得られる膨大なデータを基礎として，日常生活インフォマティクスや日常系制御工学といった人間に関する知識体系が創造され，その知見が再度，日常生活支援のための実サービスを通じて還元され，両方が一体となって発展する．このような「サービス統合」によるフィードバック系が可能となれば，日常生活を支えるための技術や知識を持続的に発展させる知識獲得の新たなパラダイム（方法論）[6] が可能になる (図 2 参照)．この日常生活ロボタイゼーションのパラダイムでは，基礎研究や応用研究という旧来型の単純な分類が必ずしも可能ではない．実サービスの社会実装を通じてのみ得られる膨大なデータを基礎として，新たな科学が創造され，その知見が実サービスを通じて還元されていくというように，基礎から応用が混然一体となって進行していく新しいパラダイム [1] である．

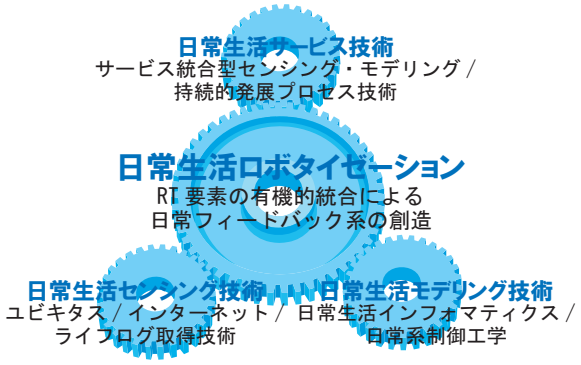

図 2: 日常生活ロボタイゼーションのパラダイム

ロボタイゼーションの対象となる日常生活の場としては，病院，保育園，駅，公園，公園内の遊具などの公共施設から，一般家庭などの私的エリアに至るまで様々な場所が考えられる．これらロボット化された各フィールドが一つの小規模なロボットシステムとして機能するだけでなく，これらの小規模なシステム群が有機的に統合されることで上位のロボティックシステムが構成可能となる．このように，社会全体のロボット化 (人工知能物化) が進行し，社会全体としては，小さなループ，大きなループが混在した社会フィードバックシステムを構成することになろう．このような考え方は，現在広く受け入れられているロボットの定義からみて異質であろうが，社会が人間を中心として有機

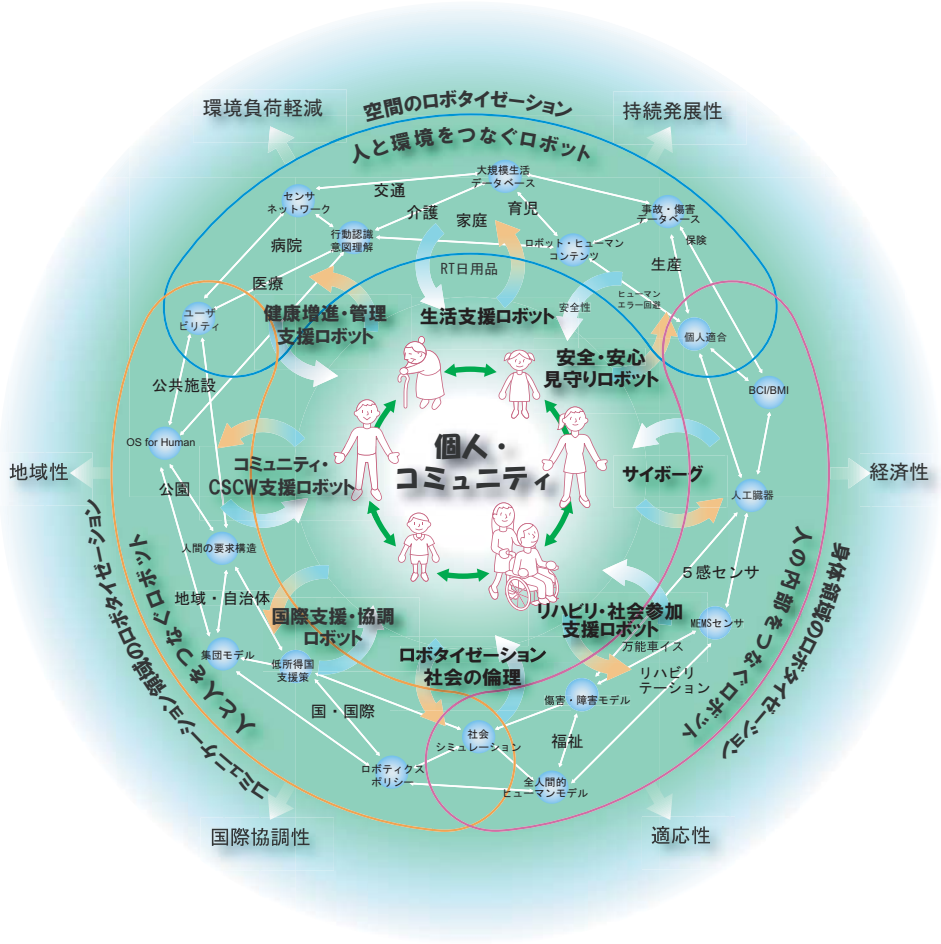

図 3: 人間中心の社会のロボタイゼーション（あるべき社会の将来像）([5] より引用)

的に構成された様々なフィードバック系からなるという考え方は，図 3 に示したように，昨年報告されたロボット技術分野からみた将来のあるべき社会の姿にも示されている．

2.3 日常生活ロボタイゼーションの技術的課題 (大規模データから制御へ)

日常生活インフォマティクスと日常系制御工学における研究課題を以下に述べる．日常生活支援技術に不可欠である日常生活空間で生きている人間の科学を可能とするためには，基礎データ（実日常生活データ）の収集と，この基礎データに基づく生活モデリングの研究が不可欠である．現在でも日常生活のデータに関しては，実験室環境における日常模擬データは取得可能であるものの，実際の実日常データの取得やそれに基づいた日常生活の計算論的モデルの開発は今後の重要な研究課題である．実日常生活データを収集する有効な方法の一つは，何らかのセンシング機能を持つ日用品（RT 日用品）を開発し，これによる実サービスを通じて，大規模な生活データを機械のログとして収集する方法である．

次に，大規模な実日常生活データに基づいて人間の日常生活モデルを開発するための基礎技術としての日常生活インフォマティクスを確立する必要がある．ニュートン力学では，多様な現象に共通して使える変数や支配方程式が発見されているのに対し，我々を取り巻く日常系の力学では，支配的・共通的変数が不明であり，日常を記述する膨大な変数（日常生活ターミノロジー）が存在している．日常を情報科学の対象として取り扱うための変数選択・設計の方法論の確立や，変数の体

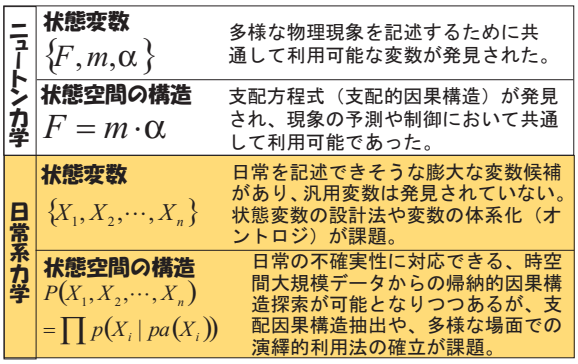

図 4: 日常生活インフォマティクスの技術的課題

系化（日常生活オントロジー）が必要である．技術課題を図 4 に整理した．

さらに，日常生活インフォマティクスによる日常生活の理解をもう一歩進めて，その工学的応用を考えると，不確実な日常現象を制御する体系的な枠組み（日常系制御工学）の確立が必要である．図 5 に示すように不確実な日常現象を説明する変数は，A. 最終的に制御したい変数，B. 操作可能な変数，C. 操作不能であるが重要な説明変数，に分類可能であり，この間の因果構造を発見し，制御目的変数 A を可制御化する方法を開発する必要がある．

最後に，日常生活支援サービスを開発するためには，具体的なニーズを持ったフィールド，ユーザを取り入れる研究体制をデザインする必要もある．これに関する考え方の一つは，研究活動そのものが，現場に対するサービスと一体化し，一方を実施すると他方を実施することとなる関係 (Research as a Service[6]) の構築である．

3　子どもの事故予防分野の現状と日常生活インフォマティクス

3.1　子どもの事故予防分野の現状

近年，子どもの事故の多発により，子どもの事故が社会問題化している．子どもの事故は，１．健康問題，２．経済問題，３．科学技術の問題の 3 つの観点から捉えられる．2008 年 12 月，世界保健機構 (WHO) は，子どもの傷害予防に関するワールドレポートをはじめて発表した [7]．先進諸国だけでなく，発展途上国においても，子どもの事故は，主要な死因であり，全世界で少なくとも年間 95 万人の 18 歳以下の子どもが死亡

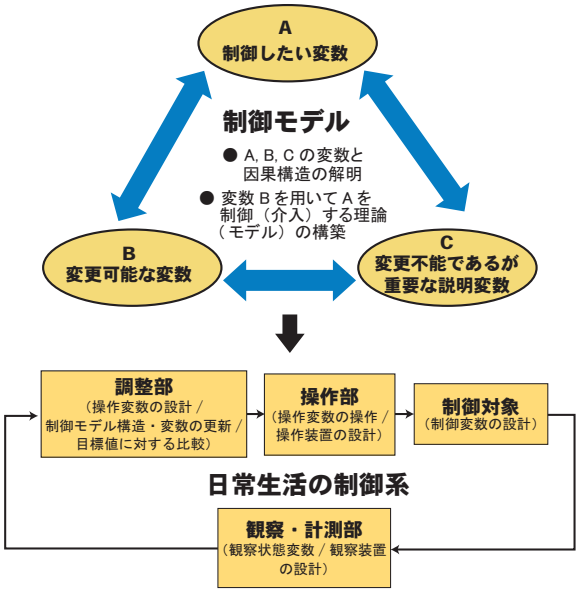

図 5: 不確実な日常系を制御するためのモデル

している．日本でも，1965 年以来，1 歳以上 19 歳までのこどもの死因の第 1 位は，事故に起因する傷害である [8]．このように，子どもの事故は，子どもの健康を脅かす最大の問題である．これを受け，WHO では，2006 年，今後重点化すべきこどもの健康問題として，子どもの事故を取り上げ，事故による傷害予防のための 10ヶ年計画を発表した [10]．国内でも 2008 年に日本学術会議から子どもの事故による傷害予防に関する提言がなされた [9]．

次に，経済の観点から見てみたい．事故による傷害では，コスト面でも多額の費用や経済損失が発生する．治療や入院などにかかる医療費の他にも，死亡や後遺症に至った場合は，本人や保護者の賃金損失 (productivity loss) につながる．日本では，この種の経済損失に関する統計データは無いが，アメリカで行われた試算によれば，アメリカでは，毎年，14 歳以下の子どもの傷害によって約 5 兆円 (50 billion ドル) の経済損失が発生しており [11]，大きな経済問題であることが分かる．経済的観点は，政策決定や対策の評価の上でも重要である．例えば，海外の調査では，チャイルドシートの場合，1 ドルの投資 (購入費) で，29 ドルの経済効果があることが明らかにされている．同様に，煙感知器 (1:65)，自転車のヘルメット (1:29) など様々な対策の損益分析もなされている．このように，海外では，損益分析による事故対策の科学的なアプローチも進んでいる [7]．

子どもの事故予防の問題は，以上述べてきたように，

図 6: 事故予防のための安全知識循環系

死亡数や後遺症の患者数を減らしたり (健康問題)，それに伴う医療費を削減したりする (経済問題) という負の効果を抑えることだけでなく，子どもに配慮した製品づくりや基準づくりは，モノづくり技術の高度化を要請するものであり，日本製品の国際競争力を強化するという産業育成に繋がるだけでなく，逆に，安全性への配慮が足りない危険な海外輸入製品から身を守ることにも繋がる．さらに，子どもと同じく生活弱者である高齢者に配慮した新たなユニバーサルデザイン分野で共通して利用可能な新しい設計論やそのための共通基盤データ・技術の整備にも役立つなど，広い波及効果が期待できると考えている．本稿では，特に，子どもの事故予防の基礎として要請される新たな科学技術が何であるかという観点から述べる．

図 7: 事故予防のための日常生活ロボタイゼーションの例（グローバルな安全知識循環系と連携動作するミクロな制御系）

3.2 事故予防のための事故制御モデリングと安全知識循環系の必要性

事故の予防の鍵は，日常生活行動モデリングとそれに基づく可制御化にある．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，例えば，2009 年は，14 歳以下の子どもは，600 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（制御）」するためには，第一に，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（事故説明モデリングのフェーズ）．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．次に，事故を可制御化するために，行動のレベルで記述された事故発生モデルに基づいて，2.3 節で述べたような事故制御モデルを開発する必要がある（可制御化フェーズ（事故制御モデリング））．さらに，こうした事故制御

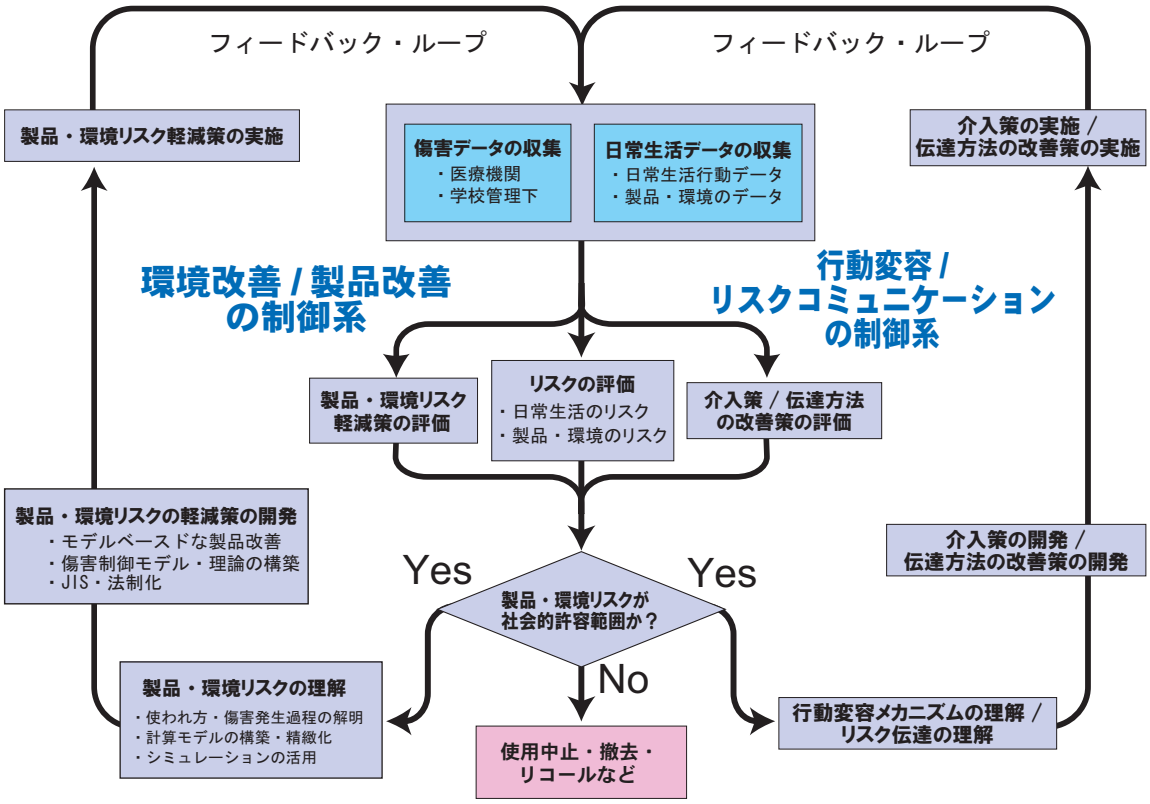

図 8: 事故予防の包括的アプローチ

モデリングに基づく予防のアプローチを社会で実践するためには，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計算モデルを構築する．3) 行動や事故のモデルに基づいて，事故の予防策（事故を制御するための制御モデル）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．という図 6 に示すような持続性のある安全知識循環系 (計算論的 PDCA サイクル) を社会インフラとして構築していくことが不可欠である．

このような安全知識のフィードバック系ができあがれば，図 7 に示すように，制御系の一部として，安心・安全な社会を支える様々なサービスが可能になる．例えば，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．特に，リスク・マネジメントや育児支援の観点からは，子どもの心身の成長や発達を促す「リスク」と，死亡や重篤な障害に生じさせる「ハザード」を分類し，ハザードの回避方法のみならず，リスクの効用 [12] を明らかにすることで，危険を制御したり，設計することへもつながると考えられる．

3.3 事故予防の包括的アプローチ（安全知識循環のエコロジカルアプローチ）

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 8 に示す．図 8 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．

3.4 進行中の研究・社会実装プロジェクト

筆者らの研究グループでは，ユビキタス型･インターネット型日常行動センシング技術，大規模な日常行動蓄積データの処理技術，日常行動の計算論構築技術とを統合することで，日常行動を説明・再現できるモデルを構築し，これを用いて，個々の人の「現在の状態」を観察するだけでなく,「一歩先の状態」を予測するための基盤技術の確立を目的とした研究プロジェクト(「事故予防のための日常行動センシングおよび計算論の基盤技術」(科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST) 先進的統合センシング領域) を 2005 年 10 月より開始している．このプロジェクトでは，開発技術を，要素技術としてだけでなく，持続的に発展可能な社会システム技術として乳幼児の事故予防分野へ応用し，実際的な成果をあげつつ,「日常の知の体系」とでも呼べる新しい知の体系を創造するための具体的な方法論を提示することを大きな狙いとしている．また, この CREST 事業で開発された技術を, 実際に安全知識循環型社会の構築に結び付ける社会実装に関しては，2007 年より，経産省委託事業：「安全知識循環型社会構築事業」が進行中である．

4 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の事例

本節では，我々が進めている事故予防のための日常生活インフォマティクスのアプローチについて述べる．まず，アイデアのポイントを述べると，図 9 に示すように，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（日常生活センシング技術），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（日常生活モデリング技術），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（日常生活支援サービス技術）を組み合わせることによって，事故予防のための安全知識循環系を作ることにある．以下，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日常生活行動モデリングとサービス技術の概要を述べる．各要素技術の相互の関係を図 10 に示した.

4.1 日常系のセンシング技術

4.1.1 ユビキタスセンサによる全空間的物理現象センシング

ユビキタスセンシング技術を用いることで，研究室のレベルでは，あらゆるモノや行動をセンシングする空間を構築可能になりつつある．これまでに筆者らは，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なわれる行動現象を cm オーダで計測可能な超音波位置計測装置を開発してきた [13]．図 11 に示すように，開発システムを日常生活空間を模擬した部屋に取り付け，乳幼児，乳幼児の保護者，部屋に置かれたモノの位置を計測し，後で解析者によってラベル付けされた行動データと位置データからなるデータベースを構築している（図 10 の A）．これまでに，例えば，乳幼児のモノによる興味誘発，モノによる行動誘発，興味の持続時間，行動の出現，移動速度の出現などに関する知見が得られている．一方，ウェアラブルセンシング技術を用いることで，生体信号を頑健に計測することが可能となる．例えば，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ある．筆者らは，日常生活における把持データを計測するためのウェアラブルな筋電計を試作した [14]．これまでに，例えば，図 10 の A の筋電マップに示すように，部屋座標系において筋電位発生の可視化する記述法 [15] を用いることで，日常生活空間における筋力の発生場所や使われ方に関する知見が得られている．

4.1.2 インターネットセンサを用いた全世界的社会現象センシング

乳幼児の事故や怪我を予防する研究を行うことの難しさは，ノーマルサイエンスの研究で行われているような，現象を日常から切り出し，研究室で再現実験を行うことが倫理的に困難である点にある．この種の問題では，社会にセンサを埋め込み，実社会で生じている現象をセンシングするアプローチが有効である．我々

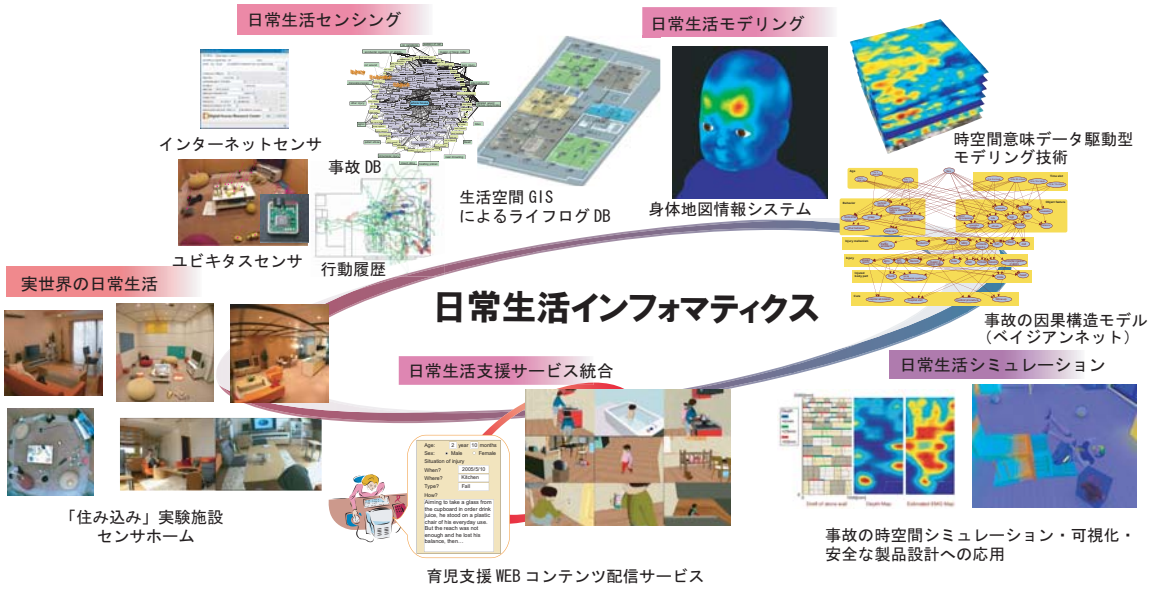

図 9: 事故予防のための日常生活インフォマティクスのアプローチ

図 11: 超音波ロケーションセンサ（超音波タグ）が取り付けられた乳幼児行動計測ルームと行動観察実験の様子

が解明したいと考える現象の中には，この種の問題が数多くある．社会に埋め込まれたセンシングによってデータを収集する場合，実験室環境における実験とは異なり，あらかじめ条件を統制することは困難である．しかし，大量のデータが集められる仕組みがあれば，事後的に条件を設定し，探索することで，統制された条件下での実験データに相当するデータを収集できる可能性がある．

乳幼児の事故や怪我事例を収集するのに最も適した場所の一つは，病院である．一般に，怪我や事故の場合，製品等のクレーム情報として収集される事例は，全体と比較すると極めて少ない．これは，この種の報告が，明らかに製品に原因がある場合の報告や，少数の意識の高いユーザの報告などに限られるといったバイアスのためであると考えられる．そのため，事故による傷害で病院に来院した際に，事故の状況に関する情報を聞き取ることが確実性の高い方法である [16]．最近では，そのようなデータ収集・蓄積技術として，インターネット技術が応用可能である．このような観点から，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 [17, 18]）の構築を進めている．これまでに緑園こどもクリニックで運用試験を行っており，2006 年からは，国立成育医療センターで運用試験を開始した．日常行動の理解という観点から見れば，日常行動理解における基礎データをサンプリング可能にする一

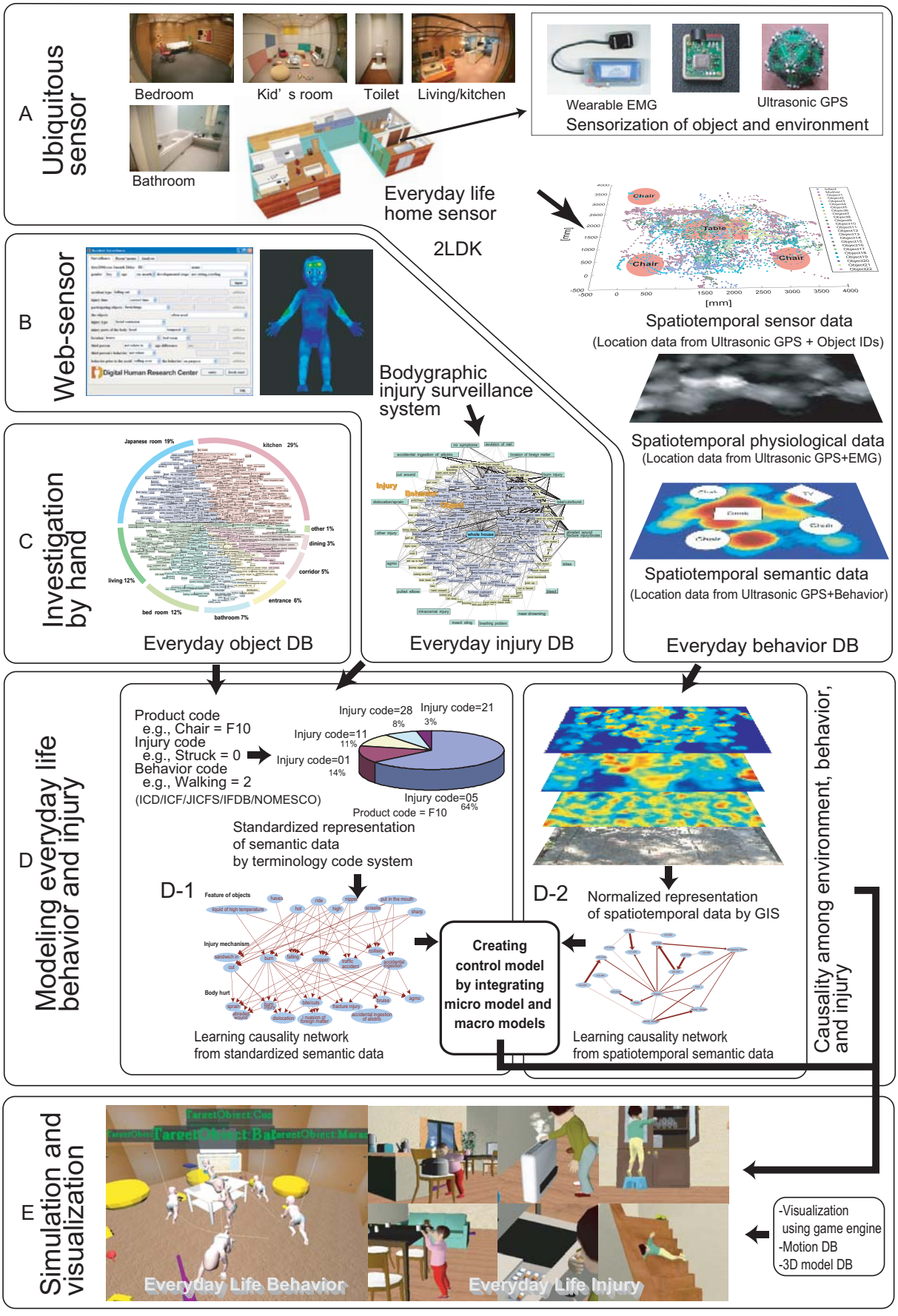

図 10: 日常生活行動のセンシング技術とモデリング技術

種の日常行動計測センサと捉えることができ，日常系の科学技術を切り拓く新しい観察装置としての可能性をもっている．例えば，大抵の子どもは，日常空間で何をしているのか？，大抵の日常空間はどのようなモノから構成されているのか？，大抵の子どもは，身の回りのモノとどのようなインタラクションをしているのか？といったことは，従来，計測することが困難であり，十分に理解が進んでいなかったものの例である．事故データ収集システムは，この種の問題に対する一つのブレークスルーとなる可能性を持っている．図 10 の B に，電子化された収集データの例を示す．

これまでの研究によって事故事例データが約 2 年分集まり，様々な事故統計を試算できるようになった．収集した事故事例は，9,025 件であり，各事例データの項目は，性別・年齢・日時・場所・原因物体・直前の原因行動・事故・傷害・通院回数などである．そこで，2008 年 5 月に，ホームページ [19] を開設し，月ごと，年齢ごと，製品ごとの事故事例を検索するサービスの提供を開始した．2009 年 1 月には，商品情報データベース（JICFS/IFDB)[20] を応用することで製品の曖昧検索機能を実現し，各事故事例の詳細データも閲覧可能になった．また, 2 月より, 図 12 に示すような，身体地図情報システムの一部の機能を持つソフトウェアの無料配布も開始した（http://cipec.jp/#/projects/ からダウンロード可能）．このソフトウェアは，傷害の種類や子どもの年齢などの条件を入力すると，本研究グループのデータベースにアクセスし検索することで，どの部位がどの程度，怪我をしやすいかを可視化するソフトウェアである．事故情報検索のためのホームページと合わせて，製造メーカを始め，事故予防に関わる多くの方に利用して頂きたい．

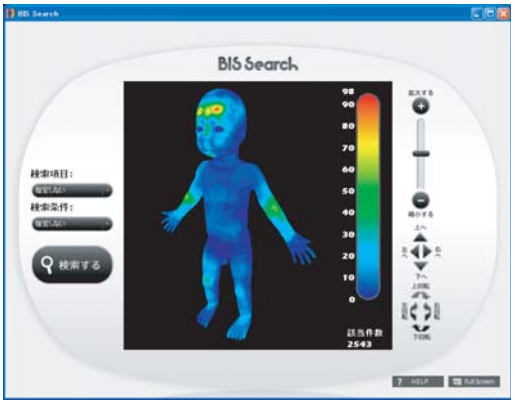

図 12: 傷害の身体地図情報システム

4.1.3 手作業による日常生活で使用されているモノデータベースの構築

どんなモノがどれくらい日常生活空間に存在しているか，すなわち，日常生活におけるモノの様々な確率分布を整備することは，事故の問題に限らず，我々の日常生活を理解したり，モデル化する上で重要である．韓国における，ある家族の生活財やその生活財とのインタラクションに関しては，先駆的な研究がなされている [21]．筆者らは，日常生活空間を構成するモノの科学が日常生活支援技術の基盤になり得るとの観点から，日本人のある夫婦が住んでいる家に存在している全てのモノ，各モノの大きさ，使用頻度，各モノの写真，行動との関係，場所との関係などに関する調査を進めている．図 10 の C に，調査対象となった家一軒に存在するモノと場所の関係を図示した．例えば，この家の場合，1,116 種類，4,289 個のモノが存在しており，その 90% のモノは，20cm 以下の大きさであり，キッチンや玄関においてモノの存在密度が高いなどの知見が得られている．

4.2 日常生活のモデリング技術

4.2.1 時空間センサデータを用いた日常行動のモデリング

情報の統合技術や共有技術として成功している事例の一つに地理情報システム (Geographic Information System: GIS) がある．情報の統合や共有の観点からは，多様な情報を地理空間座標系をベースとして多層的に情報を標準化･構造化し記述する点，地理空間という誰もが理解可能な空間上で情報が表現され可視化されている点が重要である．このような特徴により，単一の学問領域，ビジネス領域を超えた横断的な情報共有が可能となっており，GIS の有用性は産業界，学術界に広く知られている．本研究では，GIS で採用されている空間座標系に基づく多層的情報表現法を人間の日常生活行動の表現法へと応用した．以下, 提案手法の必要性と応用事例について述べる．

日常生活空間は，様々な物体から構成されている．我々は，空間上に展開されたこれらの物理的な物体とインタラクションをすることで生活を営んでいる．空間上に展開された物体と何らかの関係性を持った生活現象は，日常空間座標の上で展開して記述することが可能であると考えられる．一方，比較的スケールの大きな地理情報の場合，多人数のユーザが利用する公共

的な空間に関する情報であるため，特別な加工をせずともそれ自体有用であることが期待できるが，例えば，ある家族が住んでいる家などの私的な空間で記述された情報は，それ自体では公共性に乏しく，再利用性が極めて限られる．ある空間で蓄積された情報の再利用性を高めるには，GIS の考え方を発展させる必要が生じる．すなわち，ある空間情報を，構成物や間取りなどが異なる他の家族の空間情報へと変換する必要が生じるが，そのためには，空間座標系をベースとして多層的に表現された情報を抽象化し，時空間とは異なる状態空間上で安定した構造抽出を行うモデリングプロセスが必要となる．このようなモデリングプロセスがあって始めて，新たな空間情報への再利用・再適用（リターゲット）が可能となる．

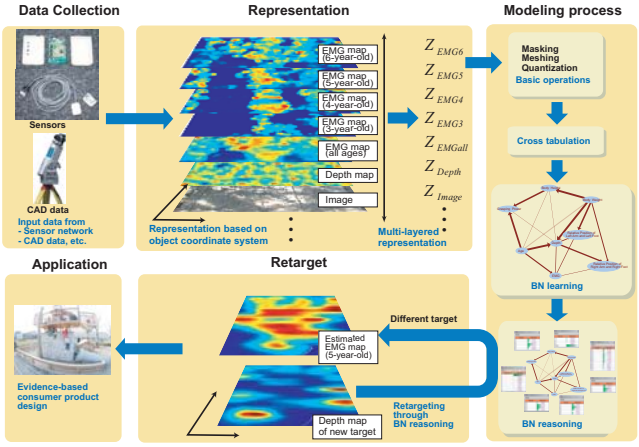

図 13: 時空間意味マッピングシステム

筆者らは, 図 10 の D-II に示すような, 行動の時空間データに基づいたモデリングを行う手法として時空間意味マッピングシステムを提案した [22, 23]．時空間意味マッピングシステムは，行動観察のためのロケーションセンサと非ロケーションセンサ，地理情報システム，機械学習システム [26] を統合したシステムであり，1. 行動に関する時空間データを取得すること，2. 時空間展開された行動データと環境の様々な属性の間の関係性を機械学習を用いてモデル化し再利用可能な計算モデルを構築すること，3. 構築した計算モデルを新たな環境で再適用（リターゲット）することを支援するシステムである．

提案システムの応用事例として，社会的ニーズの高い遊具の製品安全 [25] を取り上げ，遊具で遊ぶ子どもの行動の時空間データを用いて行動モデルを構築し，行動モデルベースドな遊具設計へ応用した．提案システムを用いて，子どもの行動を計測し，遊具の設計パラメータと子どもの属性 (年齢・筋力・身長・体重）と登り易さの確率的因果モデルを作成することで，登り易さが制御された遊具を試作した．図 14 に試作した遊具を示す．ここでの確率的因果モデルは，2.3 節で述べた制御モデルの一例である．すなわち，設計パラメータという操作可能変数とその他の変数の関係を記述するモデルである．現在，保育園の協力を得て，試作した遊具を設置し，そのモデルの有効性の評価とモデルの改良を進めている [24].

図 14: 行動モデルを用いて設計し試作したラダー型遊具 (上) と遊び方観察のためのカメラシステム (下)

4.2.2 事故データを用いた日常事故のモデリング（事故説明モデリング）

日常系の確率分布を導出しようとしたり，統計数理的手法を適用して因果構造を抽出しようとする際に問題となるのは，1. 状態空間（変数や項目）の設計, 2. 抽出された因果構造の解釈の問題である．

子どもの事故の場合，その分布は一様ではなく，同様のモノによる事故が何度も繰り返されることが多い．事故の大部分はこのタイプの事故である．そのため，超膨大なデータベースがあれば，全く同じモノが何度も出現するため，過去のデータベースを検索すること

で，あるモノの危険性を知ることができる．しかしながら，大規模と言っても数万程度の件数であり，限られたデータから再利用可能な知識を導き出そうとしたり，事故とモノの属性との関係を理解し，事故予防策を検討したりしたい場合には，モデリング（知識化）が必要となる．筆者らが行った調査によれば，リビングだけでも数百種類のモノが存在しているので，全く同じモノの出現回数は非常に少ないものになり，モデリング不在でのデータの再利用性は限定されたものになる．特に，モノ，怪我の原因，直前の行動，怪我などは，日常生活の上で，様々な言い回しが可能であり，同じものが別の呼び方で呼ばれている場合が少なくない．こうしたターミノロジーの問題は，日常系を扱おうとした場合の共通の問題である．

本研究では，モノ，怪我の原因，直前の行動，怪我のターミノロジーを標準化し，整理・分類するために，すでに広く普及している商品情報データベース (JICFS/IFDB[20]) や，北欧の医療グループによって提案されている怪我の原因，行動 (NOMESCO[27]), WHO で取り決められた傷害の分類コード体系 (ICD10 国際疾病分類第 10 版 [28]) を利用することで，データを標準化する技術を開発した [29]．図 15 は，ターミノロジーの標準化や分類を行うために JICFS/IFDB から構築したオントロジーの一部を表している．ターミノロジー標準化技術により，データを標準化し，クロス集計表を作成し，AIC 情報量基準などの情報量基準に基づく構造探索によって因果構造の抽出を行っている [30]．図 10 の D-I 上に一連の手順を図示した．抽出されたモノの属性=事故=怪我の因果構造ネットワークを利用することで，あるモノがどんな事故が起こし得るかを推定することが可能となる．使用しているコード体系は，階層性があり，様々な粒度で情報をまとめたり，分解したりすることが可能である．一般に，データ数が不足している項目に関しては，より大きなまとまりで情報をまとめる必要があり，粒度を適切に制御することは重要な問題である．

次に，抽出された因果構造の解釈の問題について述べる．ターミノロジーを標準化したり，粒度を制御することで状態空間を設計した後で，そのまま構造学習を行うと，特に，状態変数が多い場合，解釈不可能な複雑すぎる構造が抽出されることが多い．この際，予測精度だけでなく，解釈可能性も考慮したい場合，構造学習すべき構造にあらかじめ制約を与え，対話的に学習を進める必要がある．この際，場合によっては，状態空間を再設計する必要も生じる．図 16 の上が構造の制約無しに構造探索した場合に抽出されたネットワーク図，図 16 の下が構造に制約条件を設定して探索した場合の例である．ベイジアンネットワークでは，構造のノード自体が，解釈可能であるために，このような構造学習→状態空間の再設計や構造の制約条件の再設定を繰り返すことで，対話的なモデリング作業が可能となる．本研究は，ベイジアンネットワークの構造学習を行う際に，構造に関する事前知識（構造オントロジー）を導入することで，構造に制約条件を与えつつ，データ駆動型のモデリングを行う手法を開発している．

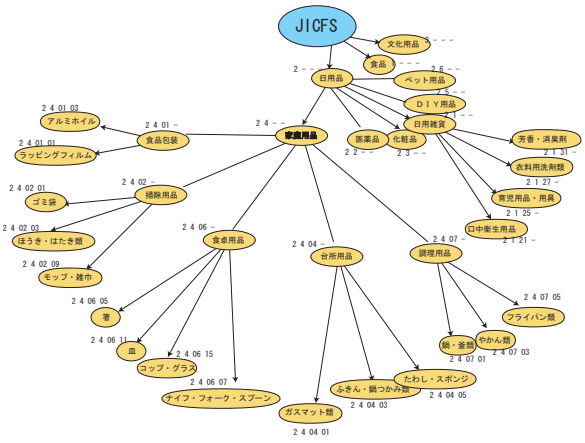

図 15: 商品情報データベースを標準化オントロジーとして利用

4.2.3 確率論的モデルを介したデータ統合による事故「制御」モデルの開発

これまでの経験で言えば，事故データのみからは，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，それがそのまま予防法に繋がることはない．事故「説明」モデルを，2.3 節で述べたような事故「制御」モデルへと拡張するためには，行動とモノのレベルの詳細な情報が不可欠であり，事故統計レベルのマクロなモデルと行動特性レベルのミクロなモデルの統合が，制御モデル構築の鍵であると考えている．

このような観点から本研究では，確率論的モデリング手法を，これまで述べてきたユビキタスセンシング技術を用いた日常生活に関するミクロな現象に関するデータ，インターネット技術を用いた日常生活に関するマクロな現象に関するデータ，手作業で収集した日常生活中に存在するモノに関するデータに対して適用

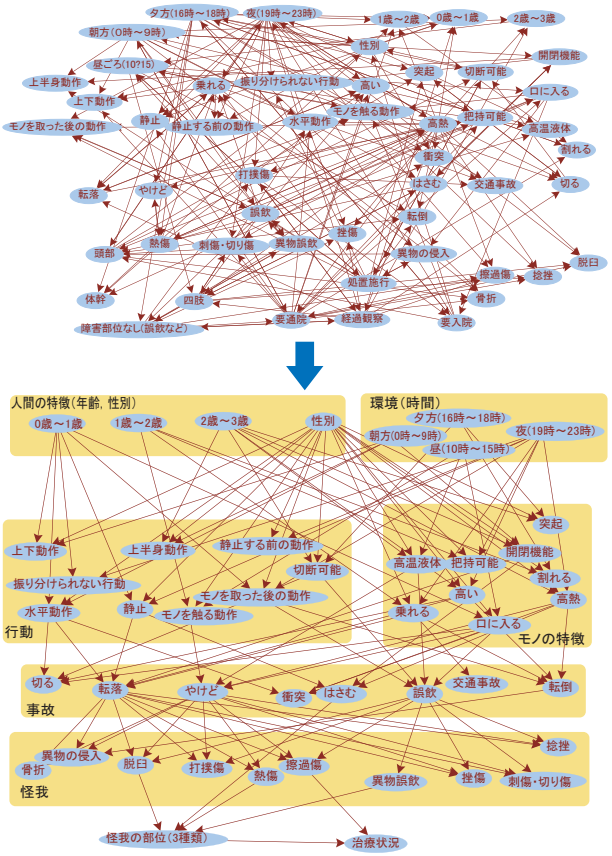

図 16: 事故事例データベースにより作成した因果構造モデル（上：構造制約無し，下：構造制約有りの場合）

することで，乳幼児の日常行動やそれに伴う日常事故の包括的制御モデルの構築を進めている [31]．制御モデリングの手順は，次のとおりである．

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 17 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 [32]．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．

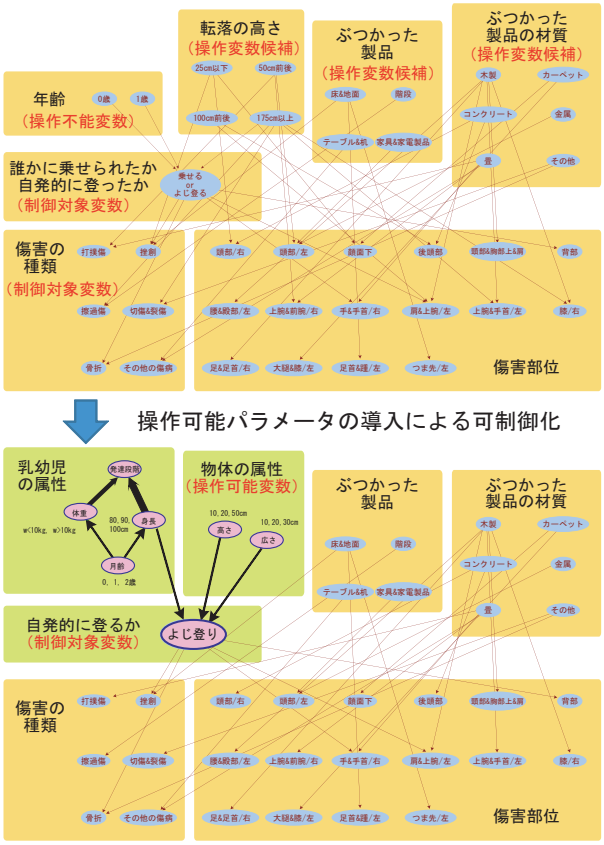

図 17: 転落事故制御モデリングの例（上：転落事故「説明」モデル，下：転落事故「制御」モデル）

この他，本研究では，図 10 の E に示すように，月齢や物体の配置などの入力情報に基づいて，子どもの日常行動を再現する行動モデルや，重篤な怪我にいたる日常事故を再現する事故発生モデルとゲームエンジンを利用して行動や事故を可視化する技術の開発を進めている．

4.3 サービス統合による持続的発展機能

これまで述べてきたセンシング技術，モデリング技術などの要素技術をエビデンスベースドなサービスを

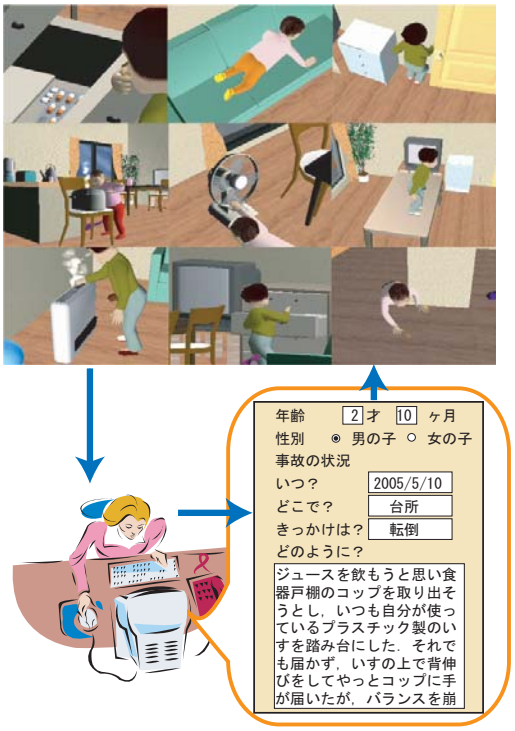

図 18: サービス統合により持続的発展するデータベースのイメージ

媒介として実社会と統合することで，要素技術とサービスの持続的な発展を可能となる．一例を挙げれば, 図 18 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るデータベースである．我々は，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開始した．図 19 に, WEB アプリケーション画面の例を示す．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 で見せるサービスである．2008 年 10 月までに，6,829 人の来訪者があり，50,611 件の動画を配信した．

このサービス提供時に取得される保護者の子供に関する情報を集計して得られたデータの例を図 20 に示す．この図は，子どもの月齢と可能な行動の関係を示したものであり，Denver II[33] と呼ばれる月齢と発達段階の統計データと同様のものが WEB センサを用い

図 19: 事故予知支援のための WEB アプリケーション

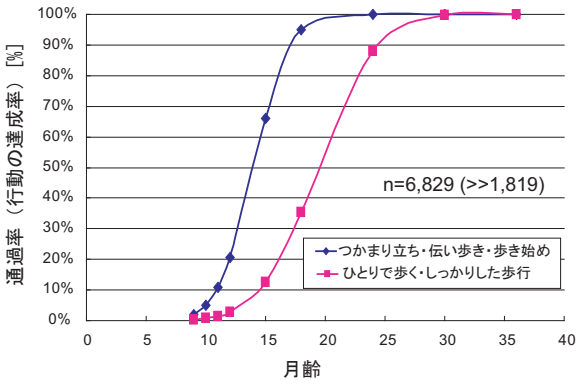

図 20: インターネットセンサ技術を用いた発達行動と月齢の関係の導出 (n=6,829)

ても，導出可能であることを示している．このデータは，さらに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ろう [34]．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 [35], 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も, 2.3 節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, 認知「制御」モデルへ拡張していくことが重要であると考えている. また, 上述したインターネットを用いたサービス一体型のセンシング技術は，インターネットが，実社会で生活している人間の行動や活動を記述するセンサとして，極めて大きな可能性を秘めていることを示しており, 社会と相互作用する研究を推進する上で, 重要な技術となろう.

5 研究体制と研究ネットワークの構築の必要性

5.1 子どもの事故予防の研究体制

本研究グループでは，基礎技術の開発を進めるだけでなく，子どもの事故予防を可能とする社会インフラを実現するための，より実践的な技術開発や技術普及活動も始めている．2005 年に，事故の被災者，小児科臨床医，看護師，育児，製品安全，機械工学，ロボット工学，建築工学，人間工学などの専門家，メーカー，自治体，関連省庁の担当者やジャーナリストをメンバーとする研究会「事故サーベイランスプロジェクト」を発足し，実際に起こった遊具事故を例題として，事故事例の解析から対策法実施までの一連の活動を行った. その中で，事故を予防するための，あるべき社会として「安全知識循環型社会」の概念を提唱した．現在，子どもの傷害予防工学カウンシル (CIPEC) という研究グループを作って，国立成育医療センター，金沢大学，米国コロラド州立大学，NPO 法人キッズデザイン協議会などと連携しながら，安全知識循環型社会システムの実装と社会への情報発信を進めている.

2008 年には, これまでの研究成果の一部が，国交省の遊具の安全確保に関する指針 [36] に反映されたり，日本学術会議からの提言に結びつくなど，徐々に社会的なアウトカムにつながるような事例も出てきた．また，本研究グループのデータベース技術と金沢大学のインパクトバイオメカニクス技術が結びつくことで，新しい製品安全・評価技術も生み出されつつある [37]. 学際的な研究者ネットワークを作る活動としては，日本ロボット学会，人工知能学会，日本小児保健学会などで企画セッションやシンポジウムを行ってきた．今年度は，千葉県柏市立花野井小学校, 高月整形外科病院，千葉大学医学部法医学教室, 日本医科大学千葉北総病院 救命救急センター, 昭和大学, 長崎大学医歯薬学総合研究科, などとの共同研究も始まった．このように，これまで蓄積してきた技術やデータベースが我々の研究グループだけの利用に留まらず，それがベースとなって他の研究機関との連携へと発展するケースも増えている.

5.2 データや技術のオープン化とネットワーク型解決の必要性

日本では，情報を受け取った人が適切に分析できずに，個人情報保護の問題から，外に公開して助けを求めることもできず，その結果，予防に結びつく可能性のある貴重な情報が埋もれてしまうことが頻発している．事故の原因究明には，あらゆる分野の知識を総動員する必要があり，多くの場合，一つの組織だけで対応することは不可能である．原因究明には，医学・法医学，人間工学，バイオメカニズム，心理学，認知科学，情報工学，材料・破壊力学，機械力学，流体力学，熱力学などの知見が要求されるし，これを社会還元させるには，経済学，法学の力も必要となろう．これを解決するには,「公開を前提とした情報の受け取り方」を実施し，情報共有と知識循環の研究者ネットワークを作り，このネットワークを使って事故事象に対応してその都度，課題解決にあたる機能的なグループを柔軟に結成して解決することが現実的であり，有効であり，低コストであるアプローチであると考えている.

現在の消費者庁構想の中に事故データバンクがある. 2009 年の 1 月時点で，事故原因究明機関として (独) 国民生活センターなど 7 機関が挙げられている．分析に専門的な知識が必要な場合は，これらの機関のみでの分析は困難な場合も少なくないはずであり，専門家のいる大学や研究者のネットワークなどの参加が不可欠である．これに対する一つのアイデアであるが，例えば，原因究明機関ネットワークを二つに分類し,「過去に類似の分析事例があるような事故」を分析する一次的分析ネットワーク,「過去に類似の分析事例がなく，高度な専門的知識や新たな方法の開発が必要な事故」を分析する二次的分析ネットワークを設け，さらに，二次的分析ネットワークに関しては，競争的資金で運用し，実力勝負で分析を委託するなどの方法が，技術や人材の育成に役立ちそうである．事故には地域性があり，各地域で事故情報を収集し，これを知識化する活動が不可欠である．その知識化の中核機関の候補としては地域大学（地域コミュニティにおいて知の創造・集積・伝承に貢献する大学) が考えられる．今後，この分野における地域大学の役割が増すものと予想して

いる．

6　おわりに

本稿では，実社会や日常生活をそこに存在している人間を含めてセンシングやモデリングの対象とすることで計算や制御の対象とする日常生活インフォマティクス (科学) や，その知見を不確実な日常生活の制御に応用する日常系制御工学（工学）の可能性とそれらの研究課題について述べた．また，日常生活の場にロボット要素を埋め込み，日常生活の場でセンシング→モデリング→サービス提供するという一貫したフィードバック系を実装することで，日常生活インフォマティクスや日常系制御工学の知見を創造・蓄積・更新しながら，同時にサービスの質を向上させていく方法論である日常生活のロボタイゼーション（社会機能化）のパラダイムについて述べた．さらに，そのような方法論の可能性の例示として，子どもの事故予防工学の観点から，日常生活のセンシング技術，日常生活の確率分布の整備技術，日常生活のモデル化技術，これらの要素技術をサービスを通じて社会と統合する技術の事例を紹介した．

本稿で紹介した子どもの事故予防の分野では，知の結晶体としての人工知能物を可能とする仕組みとしての，安全知識フィードバック系の構築が急務となっている．この安全知識循環系は，さらに，WEB を用いた保護者への対話的なフィードバック系，安全な人工物の設計を支援するためのフィードバック系，ユビキタスセンサを利用した実時間見守りフィードバック系などの多層的な制御系から構成されなければならない．いずれの系も，自然と出来上がるものではなく，我々が次世代を担う子どものために創造すべきものである．

長い歴史を持つ学術分野には，社会と積極的に関わり，社会問題の要請に応えることで，学術的到達点の限界を自覚し，これを打破するために理論や技術を飛躍させることに成功した学術分野が数多く存在する．例えば，3 世紀にも渡る歴史を持つ統計学を見れば，その進歩は，いずれもその時代の社会の生産活動という現実を土壌として成し得たものである．本研究グループで推進する日常生活ロボタイゼーションに関する技術開発には，社会と積極的な関わり合いが不可欠である．例えば，子どもの事故予防の解決には，日常生活インフォマティクスや日常系制御工学の発展が不可欠であり，また，これらの技術開発には，現実的な問題との対峙が不可欠である．このような相互作用が，科学技術が真に解決すべき限界の的確な把握と新たな挑戦へとつながる．本研究グループでは，今後，子どもの事故予防や医療安全などの具体的な問題を扱い，解決事例を積み上げていくこと，そして，これらの科学技術の発展に不可欠なデータベースを公開することで，研究分野を活性化し，我々の組織以外の研究仲間を増やすことなどを通じて，日常生活の科学技術の発展に貢献していきたいと考えている．

参考文献

[1] 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

[2] ノーバート=ウィナー, サイバネティクス　第 2 版, 岩波書店, 1962(N. Wiener, ”Cybernetics, 2nd edition,” MIT Press, 1961. 第 1 版は, 1948 に発行)

[3] B・F・スキナー, 科学と人間行動, 二瓶社, 2003

[4] デビッド・マー, ビジョン―視覚の計算理論と脳内表現, 産業図書, 1987（D. Marr, ”Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information,” W H Freeman & Co, 1982）

[5] 経済産業省 平成 19 年度技術戦略マップローリング委託事業 報告書 ロボット分野に関するアカデミックロードマップ, 2008

[6] 科学技術振興機構 研究開発戦略センター, 「知識を生産・活用するための科学構築への挑戦――知識基盤社会を支える知識生産・活用システムの実現を目指して」, 2008

[7] Margie Peden, et.al., World report on child injury prevention, World Health Organization (WHO), 2008

[8] 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

[9] 日本学術会議　臨床医学委員会　出生・発達分科会　提言「事故による子どもの傷害」の予防体制を構築するために，2008（http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t62-9.pdf)

[10] 世界保健機構 (産総研 山中訳), 乳幼児と青少年の事故による傷害の予防 —WHO 行動計画—, ネイチャーインタフェイス (株), 2006(WHO, *Child and Adolescent Injury Prevention —A WHO Plan Of Action—*, 2006) http://www.cipec.jp/#/document/からダウンロード可能.

[11] Doll LS et al., eds., Handbook of injury and violence prevention. Atlanta, GA, Springer, 2007

[12] 大坪龍太, 仙田考, ”子どもの遊び場におけるリスクの効用に関する調査研究のための基礎的整理,” 子ども環境学会, こども環境学研究, Vol.1, No.2, pp.52-55, 2006

[13] Y. Nishida, H. Aizawa, T. Hori, N.H. Hoffman, T. Kanade, M. Kakikura, ”3D Ultrasonic Tagging System for Observing Human Activity, ” Proc. of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2003), pp.785-791, 2003

[14] Y. Nishida, G. Kawakami, H. Mizoguchi, "Everyday Grasping Behavior Measurement with Wearable Electromyography," The 5th IEEE International Conference on Sensors (Sensors 2006), pp. 988-991, 2006

[15] G. Kawakami, Y. Nishida, H. Mizoguchi, "In Situ Measurement of Playing Children by Wireless Wearable Electromyography," The 6th IEEE International Conference on Sensors (Sensors 2007), pp. 993-996, 2007

[16] 山中龍宏, "傷害予防につながる情報収集へのアプローチ," 小児保健研究, Vol. 67, No. 2, pp. 177-190, 2008

[17] 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

[18] 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

[19] http//www.kd-wa-meti.com/

[20] http://www.dsri.jp/company/jicfsifdb/top.htm

[21] 新垣紀子, 野島久雄, 佐藤浩司, 北端美紀, 小野澤昇, "人はどれだけのモノに囲まれて生活しているのか?: ユビキタス環境における人とモノのインタラクション支援に向けて," ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 7, No. 2. pp. 179-187, 2005

[22] Y. Nishida, Y. Motomura, G. Kawakami, N. Matsumoto, H. Mizoguchi, "Spatio-tempora Semantic Map for Acquiring and Retargeting Knowledge on Everyday Life Behavior," Lecture Notes in Artificial Intelligence (K. Satoh et al. (Eds.)), Vol. 4914, pp. 63-75, Springer-Verlag, 2008

[23] 川上悟郎, 西田佳史, 本村陽一, 溝口博, "ロケーション筋電位センサを用いた行動の時空間展開に基づく日常生活行動モデリング," 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 20, No. 2, pp. 190-200, 2008

[24] 西田佳史, 本村陽一, 川上悟郎, 溝口博, "時空間意味マッピングシステムを用いた日常生活行動理解—子どもの遊び行動のモデリングと保育園での長期観測に基づく定量評価—," 人工知能学会全国大会 2008 論文集, 3G3-06, June 2008

[25] 松野敬子, 山本恵梨, 遊具事故防止マニュアル, かもがわ出版, 2006

[26] 本村陽一, 岩崎弘利, ベイジアンネットワーク技術, 東京電機大学出版会, 2006

[27] NOMESCO (http://www.nom-nos.dk/) Classification of External Causes of Injuries. 3rd revised edition. NOMESCO, Copenhagen, 1997

[28] WHO International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision (Version for 2007) http://www.who.int/classifications/icd/en/

[29] 池田涼太郎, 三浦 未生, 本村 陽一, 西田 佳史, 原一之, "標準コード化による傷害事例テキストからのベイジアンネットモデル構築—ICD・ICF・JICFS コード変換モデルを用いた傷害危険性予測システム—," 人工知能学会全国大会 2009 論文集, 2009(in press)

[30] 繁桝算男, 植野真臣, 本村陽一, ベイジアンネットワーク概説, 培風館, 2006

[31] K. Kitamura, Y. Nishida, N. Matsumoto, Y. Motomura, T. Yamanaka, H. Mizoguchi, "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, pp. 705-715, 2005

[32] 野守耕爾, 西田佳史, 本村陽一, 小松原明哲, "「物」に駆動される乳幼児の日常生活行動のモデリングに関する研究〜「物」の属性と乳幼児のよじ登りとの関係記述〜," 日本人間工学会関東支部第 38 回大会講演集, pp. 103-104, 2008

[33] W.K. Frankenburg, J. Dodds, P. Archer, et al., *The DENVER II Training Manual,* Denver, CO: Denver Developmental Materials, Inc., 1992（社団法人 日本小児保健協会, DENVER II -デンバー発達判定法-, 日本小児医事出版社, 2002）

[34] 北村光司, 西田佳史, 本村陽一, 溝口博, "乳幼児事故予防のための情報循環システム," 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No. 6, pp. 887-896, 2007

[35] 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 No1,2009 (in press)

[36] 国土交通省:都市公園における遊具の安全確保に関する指針（改訂版), 2008 (http://www.mlit.go.jp/ common/ 000022126.pdf)

[37] 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, 2008

[38] 北川敏男, "統計学の認識," 白揚社, 1948