

「先進的統合センシング技術」

平成 17 年度採択研究代表者

西田 佳史

((独) 産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター
人間行動理解チーム チーム長)

「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」

1. 研究実施の概要

本研究の目的は、ユビキタス型・インターネット型人間センシング技術、大規模な人間行動蓄積データの処理技術、人間行動の計算論を統合することで、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」を観察するセンシングの基盤技術を確立することにある。本研究の狙いは、これらの技術を、要素技術としてだけでなく、社会システム技術として乳幼児・高齢者の事故予防分野へ応用し、実証的な成果をあげつつ、事故予防のためのセンシングおよび計算論の検証を行うことを通じて、「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にある。

これまでに、人間行動センシング技術に関しては、人間の日常生活行動観察システムとして、2LDK サイズのセンサハウスを構築した。また、超音波式位置計測システムやカメラを応用したユビキタス型人間行動観察システムや、一般家庭での人間の生活行動を計測するための加速度センサ、筋電センサからなるウェアラブル型行動観察技術を開発し、センサハウスと統合することで生理量、位置情報、画像音声情報を同時に記録・管理する行動記録機能を実現した。開発した観察システムを用いて屋内、屋外において被験者計測を実施し、これまでに、160 人以上の乳幼児の行動データを蓄積した。蓄積された行動データを解析することで乳幼児の年齢（月齢）、興味、物体との配置などの因果関係に関する新たな知見を得た。

インターネット型人間センシング技術に関しては、これまで収集してきた事故事例を利用し、情報量基準を用いることで、事故と関連のある選択項目を動的に変化させることで、入力者の負担を軽減する機能を有する事故情報入力装置（事故サーベイランスソフトウェア）を開発し、緑園こどもクリニックで運用に開始した。また、平成 18 年度からは、新たに国立成育医療センターと協力し、運用試験と事故事例収集を開始した。このような活動によって、これまでに、5,117 件の事故事例を収集することに成功した。

人間行動の計算論に関する技術では、行動・事故データからベイジアンネットを用いて学習することによって、月齢や物体の種類や物体の配置などのパラメータを変化させるこ

とで、起こりうる行動を予測するための行動モデルの事例を蓄積してきた。作成された行動モデルと可視化技術（ゲームエンジン）とを統合することで、子どもの日常行動シミュレータの基本機能を実現した。さらに、これらの技術に基づいて、家庭内における乳幼児の事故予防を目的とした **WEB** サービス用コンテンツを開発し、企業と協力し、世界初の新しいサービスを開始した。これまでに、約 5,000 人の保護者のアクセスがあり、約 60,000 件以上の動画を配信した。また、このサービスを通じて、約 20,000 件以上のアンケートデータを収集することに成功した。

今後は、本研究の基礎技術として重要である①ユビキタス型センシング技術、②インターネット型人間センシング技術、③人間行動の計算論の開発を継続するだけでなく、平成 18 年度まで進めてきた要素技術の完成度が高まってきたことから、④本プロジェクトの実日常環境における社会実験のためのインフラ作りを大きく展開させる。2 つの保育園と共同研究（内諾済み）を平成 19 年度に本格化させ、ユビキタス型センシング技術とインターネット型人間センシング技術の検証実験を行うことで、平成 20 年度以降に予定している社会実験（フィールド実験）のための基礎作りを行う。

2. 研究実施内容

研究の目的・方法

本研究の目的は、ユビキタス型・インターネット型人間センシング技術、大規模な人間行動蓄積データの処理技術、人間行動の計算論を統合することで、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」を観察するセンシングの基盤技術確立することにある。本研究の狙いは、これらの技術を、要素技術としてだけでなく、社会システム技術として乳幼児・高齢者の事故予防分野へ応用し、実際的な成果をあげつつ、事故予防のためのセンシングおよび計算論の検証を行うことを通じて、「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にある。

研究実施の具体的内容

平成 18 年度は、本研究の基礎技術として重要である、①ユビキタス型センシング技術、②インターネット型人間センシング技術、③人間行動の計算論の開発を進める。以下、平成 18 年度の研究によって得られた主な成果を述べる。

①ユビキタス型センシング技術の改良、および、乳幼児・高齢者の行動データの蓄積

A. ユビキタスセンシング技術および認識技術の開発

平成 17 年度に開発した加速度センサと統合された超音波タグシステムを、H17 年度に構築したセンサホームに設置し、100 個以内の複数対象物の位置を 10Hz で計測可能な実時間計測機能を実現した。以下で述べる保育園における被験者実験(47 名)と合計し、新たに 76 名の被験者実験を行った(平成 17 年度、18 年度の合計は、169 名である)。

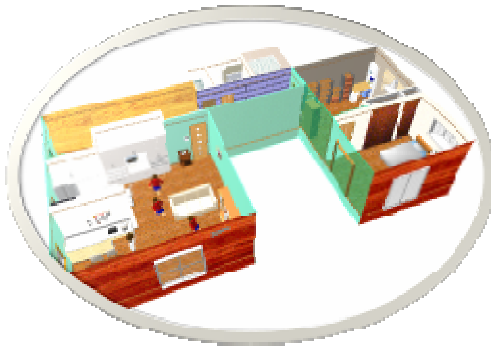


図 1 : センサホーム(2LDK)

とで、立つ、歩く、座わるなどの基本行動に関して、自動認識（識別率は、70%程度）させる機能を実現した。

また、H17 年度までに計測を行った 93 名の全データに関して、行動の意味情報を手作業で付加する作業を完了した。

行動の意味情報追加作業を半自動化させるための技術を開発した。上述した意味情報が付加された行動データを基本データとして、人により付加された意味情報を教師情報とし、画像や 3 次元位置のデータといった生データからの特徴量を入力情報とし、学習アルゴリズムの一種であるサポートベクタマシン (SVM) を用いた学習を行うこ

B. ウェアラブル生体計測センサの開発と乳幼児行動データの蓄積に関する研究



図 2 : 小型ウェアラブル筋電センサ

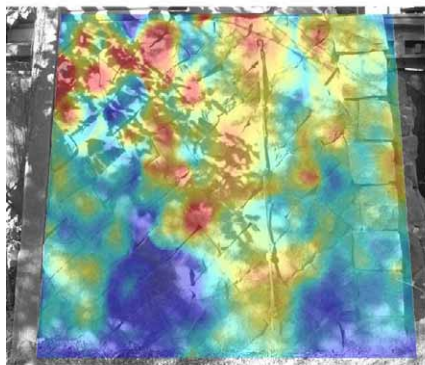


図 3 : 小型筋電センサによって計測・可視化した石垣の筋電マップ

幼児の遊び行動を妨げない無線式小型ウェアラブル筋電センサ（図 2）を開発した（65x44x20mm, 低コスト, 1kHz サンプリング, 1week の連続記録, 2.4GHz 無線通信機能, 2 か所の筋電計測）。開発したウェアラブル筋電センサを、cm オーダ精度のロケーション技術である超音波 3 次元タグシステムとビデオ撮影システムと組み合わせ、筋電, 3 次元位置, 映像の同期取得を可能する行動観察ソフトウェアを開発した。このようなウェアラブルセンサと cm オーダ精度のロケーション技術との統合によってはじめて可能となる技術として、いつ・どこで・どのような大きさの筋電が発生したかを可視化する筋電マップ表示技術を開発した（図 3）。さらに、開発した技術を用いた行動科学の事例として、川和保育園に実験協力を要請し、園児 47 名（3 歳から 6 歳児）を対象とした遊具遊び計測実験を行い、遊び行動を妨げずに、筋電（筋力）計測が可能であることを検証した。

C. 子どもの行動特性に基づく製品開発(遊具)の事例研究

ユビキタス型センシング技術の社会応用研究の一環として、エビデンスベースドなモノづくりプロジェクト（遊具プロジェクト）を主催することで、子どもの行動科学に基づくエビデンスベースドなモノづくりに関する学際的・実践的研究活動を行った。



図 4：遊具プロジェクト



図 5：本研究の知見を活かして設計・施策された遊具

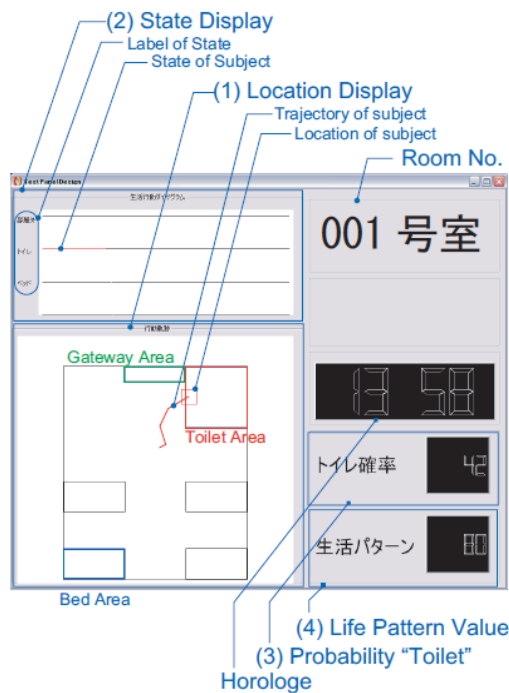


図 6：エビデンスベースド介護支援ソフトウェア

行動計測→行動理解→新たな遊具の提案までを一貫する学際的活動を行った。基本技術として、ウェアラブル筋電計を用いた遊び最中の子どもの計測技術や新たに開発した筋電マップ分析手法を用いた。本プロジェクトの内容は、NHKスペシャル (49分番組: <http://www.nhk.or.jp/special/onair/060218.html>) で放映された (図4)。研究内容の紹介にとどまらず、技術が社会にどのように役立つのかを一般の視聴者に対して広く周知することができた。遊具設計の基準策定への展開に関しては、本研究テーマの参加者の一人が、国交省の「都市公園の遊戯移設の安全性に関する調査検討委員会」に参加することでH19年度も引き続き進める予定である。

D. 特別養護老人ホームにおける高齢者介護支援機能の実現とコストパフォーマンス分析の進捗

特別養護老人ホーム(愛全園)内に、H17年度までに構築した超音波タグシステムを用いた車いすの動線計機能と、超音波レーダシステムを用いた無拘束なベッド上の人の動き計測機能と、高齢者の状態可視化機能を統合し、エビデンスベースドな介護を支援するシステムを構築した。これまでに、開発システムを用いて、46日間(1104時間)の行動データを蓄積した。また、研究所から、システムのメンテナンス(システムの状態監視や再起動など)を行うための遠隔モニタリング機能を実現した。介護士がナースステーションから高齢者の状態のトレンド(日ごと・週ごと・月ごと)を容易に確認できるソフトウェア(図6)を開発し、ナースステーションに導入した。トイレや部屋の外への移動確率・ベッドの在床時間などが表示可能である。

特別養護老人ホームにおける見守りサービス

のビジネス化を念頭に、コスト・パフォーマンス分析を行うための基礎データを得るために、機器を用いた見守りに対する潜在的なニーズ調査を行った。病院・老人ホーム施設を対象として、医師・看護師・介護士を対象(共同研究先である愛全園を除く 7 施設 483 名)として、事故の発生頻度や種類、必要となった示談金に関するアンケート調査を実施した。その結果、①52 件/月の割合で何らかの医療事故が発生していること、②転倒・転落事故が多く、そのうちの 30%程度の事例において 50 万円程度の示談金が必要となっていること、③骨折の場合は、70%程度の事例において、200 万円以上の示談金が必要であることなどの実態が明らかとなった。

②インターネット型センシング技術の開発

A. 事故サーベイランスシステム(ソフトウェア)の開発と病院における運用試験

図 7: 開発した事故情報収集ソフトウェア (入力項目動的変化機能)

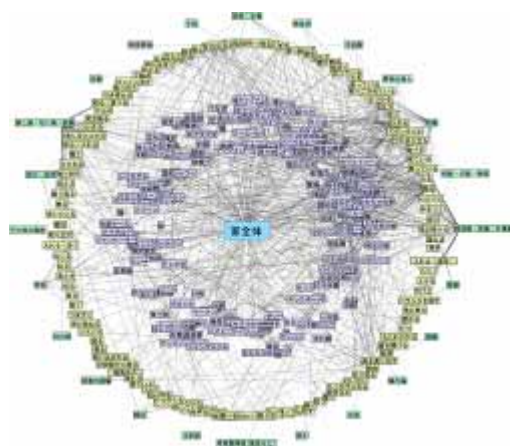


図 8: 病院で収集した事故データ (モノ・行動・外傷の関係を図示)

平成17年度までに収集してきた事故事例を利用し、情報量基準を用いることで、事故と関連のある選択項目を動的に変化させることで、入力者の負担を軽減する機能を有する事故情報入力装置

(事故サーベイランスソフトウェア: 図7) を開発した。これまでの分析から、例えば、事故の種類を予測したいときに必要な聞き取り項目として「関係がある物体」や「原因行動」は情報量が高く、性別(0.014 ビット)は情報量が低いという知見が得られている。このような相互情報量を用いた分析の知見に基づいて、入力する項目の順番の設計を行い、すでに入力済みの情報を用いて、その後に入力すべき項目の内容を推定することで、入力者が必要な項目のみを修正することで、入力が進められる機能(入力項目動的変化機能)を実現した。

開発したソフトウェアの有効性やユーザビリティを検証するために、緑園こどもクリニックで運用試験を行った。また、平成18年度からは、新たに国立成育医療センターと共同研究契約し、国立成育医療センターと協力することで、紙ベースでの収集活動を行い、産総研内で電子化する作業を進めている。上述の活動によって、592件の外傷情報を新たに収集し、合計5,117件となった(図8)。

蓄積された外傷情報を用いた分析への応用として、A. 外傷頻度を特徴量ベクトルとしたクラスター分析によるモノの分類法への応用、B. モノによる治療費の期待値の計算への応用を行った。さらに、今後、事故サーベイランスシステムの導入を予定している青森県十和田中央病院に対して、国立成育医療センターで運用している事故サーベイランスシステムに関する技術提供を行った。

B. ブートストラップ型データベース（WEBサービス）の運用試験と、WEBサービスによるアンケートデータを利用した認知構造分析に基づくベネフィット計算手法の開発

H17年度よりWebコンテンツサービスを利用したブートストラップ型データベースの実証を開始しており、平成19年3月現在の実績は以下のとおりである。4933人の保護者による、のべ、80,000件のアクセス、61,147件の動画配信、21,482件のアンケートデータの収集である。このアンケートデータの結果に基づき、20種類のコンテンツを新たに作成し、サービスを拡張させた。

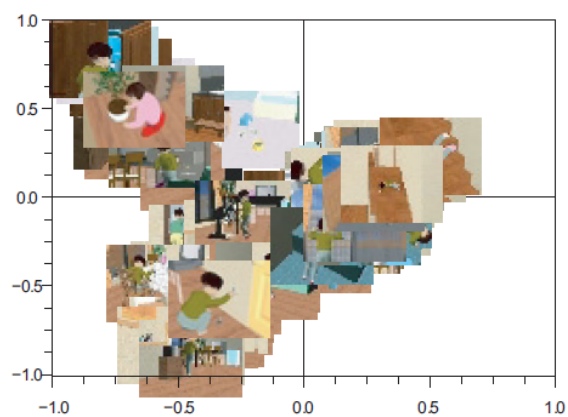


図9：事故映像に特徴量を付加することで、事故シーン間や認知すべき事故と事故シーンとの距離を計算する手法

また、パーソナライズされたコンテンツの自動配信機能を実現させるために、サービスの価値（ベネフィット）を保護者ごとに計算する手法を開発した。小児科医師らが「知っておくべき」と答えた事故事例と、個々の母親が「知っている」事故事例の差を計算し、この差を埋める（より小児科医師の認知に近づける）コンテンツを自動選択させる手法（図9）を提案した。提案した手法は、①各コンテンツを事故の種類、子どもの発達段階、事故発生場所、関連物体、事故に関連した行動などを表す特徴量ベクトルによって表現し、②各コンテンツ

間の距離を計算可能にし、③小児科医師が「知っておくべき」と答えた事故事例にもっとも近いコンテンツを選択する手法である。提案手法の有効性を検証するために、新たにWEBコンテンツサービスを作成し、インターネットおよび携帯電話を用いて、20人の一般の母親を対象とした被験者実験を行った。その結果、ランダム選択と比較して、提案手法によって、有意に認知度を高められること（認知度の上昇率平均値は61.2%）を確認した。

③人間行動の計算論の開発

A. 乳幼児行動シミュレータのための行動モデルの開発

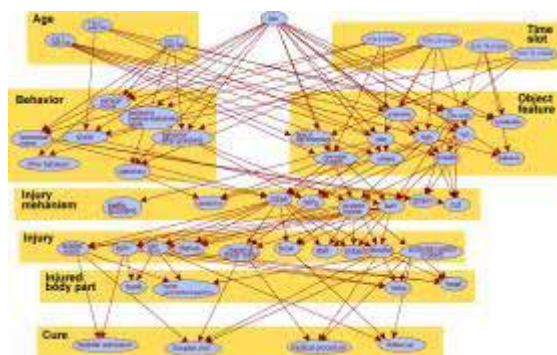


図 10：病院で収集した事故データに基づいて学習を行い作成したベイジアンネットワークモデル

事故データからベイジアンネットを用いて学習することによって、乳幼児の月齢・事故の発生時刻・物の属性・外傷間の因果構造モデルを構築するためのシステムを構築した。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、日常現象を扱おうとした場合の共通の問題である。そこで、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、北欧の医療グループ(NOMESCO^①)によって提案されているモノ、怪我の原因、行動、怪我の分類コード体系に準拠したコードを用いてデータを標準化した後でクロス集計表を作成し、情報量基準(AIC)による因果構造の学習を行うシステムを開発した。さらに、開発したシステムを用いて、実際の事故事例を用いたモデル構築(図 10)を行い、物体の種類や物体の配置などのパラメータを変化させることで、起こりうる行動を予測するための行動モデルの事例を蓄積した。

B. 乳幼児行動シミュレータのための可視化機能の開発と可視化のための乳幼児行動のモーションデータと住宅内の物体の 3 次元形状データの整備



図 11：乳幼児行動シミュレータのスナップショット

①構築したモノ、怪我の原因、行動、怪我の間の因果構造モデル、②センサハウスによって収集されたデータを用いたモノ、興味誘発、行動の因果構造モデル、③これまで蓄積してきた一般家庭のモノのデータベース(1,116 件)、④.事故事例データベース(5,117 件)、⑤.可視化技術(ゲームエンジン)

を統合することで、日常生活空間で起こる子どもの行動・事故を再現する日常行動・事故シミュレータ(図 11)の基本機能を実現した。H18 年度までに、実現された機能は、以下のとおりである。環境情報、乳幼児の月齢、事故の原因物体等の情報を入力することで、その月齢の子どもが取りうる行動系列のみを用いて事故のシーン(動画)を再現する機能で

ある。与えられた環境の可視化機能を実現するために、モノのデータベースのうち使用頻度が高い 200 種類のモノの 3D モデルを作成し、子どもの行動再現に必要な 80 種類のモーションデータを作成した。転倒・転落現象を可視化する機能に関しては、物理学シミュレーションエンジンと統合することで実現した。

3. 研究実施体制

(1)「日常行動センシング・計算論」グループ

①研究分担グループ長：西田 佳史（産業技術総合研究所 人間行動理解チーム長）

②研究項目

- ・ユビキタス型人間行動観察技術に関する研究
- ・ウェアラブル型人間行動観察技術に関する研究
- ・インターネット型人間行動観察技術に関する研究
- ・人間行動の計算論に関する研究

4. 研究成果の発表等

(1)論文発表(原著論文)

- 本村陽一，西田佳史，北村光司，金子彩，柴田康德，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
- 西田佳史，本村陽一，山中龍宏，“日常系の科学技術：乳幼児事故予防のための日常行動モデリング,” 計測と制御, Vol. 45, No. 12, pp. 1010-1017, December 2006