

サービス統合型センシング機能を有する遊具を用いたラダリング行動の大規模データの取得とモデリング

Obtaining large-scale behavior data using the playground equipment with a function of sensing in servicing and modeling laddering behavior

大内 久和*1*2
Hisakazu Ouchi

西田 佳史*2*3
Yoshifumi Nishida

本村 陽一*2*3
Youichi Motomura

溝口 博*1*2
Hiroshi Mizoguchi

*1東京理科大学
Tokyo University of Science

*2産業技術総合研究所
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

*3科学技術振興機構, CREST
Japan Science and Technology Agency, CREST

It is important to develop computational models for designing enjoyable age-appropriate and safe playground equipment. However, data for the purpose is scarce. A playground equipment was created to conduct a case study on a new approach, "sensing in servicing," to developing computational models of human behavior. In this approach, sensor technology are integrated into a product so that the product can not only provide service but also collect behavior data. The developed playground equipment is equipped with sensors to record child behaviors while they are playing. This paper describes large-scale data collecting of child behavior with the equipment and behavior modeling based on the collected data.

1. 緒論

日本では、遊具による事故が発生すると、その遊具が公園から撤去される事例が多い [1]。遊具を撤去してしまうことは子どもの成長機会の消失、モノづくり技術の消失につながる不幸な事態であり、撤去される遊具を減らすために、事故の原因解明を行い、科学的に改善を行うべきである。しかし安全な遊具の設計を科学的に行われた事例はほとんど皆無である。エビデンスベースな遊具設計を可能とするためには、その基礎データとして、子どもがどのように遊具で遊ぶのかという遊具の「日常での使われ方」を知ることが不可欠である。

近年、センサ技術の発展により、例えば日常生活空間にセンサを埋め込み、日常生活空間それ自体をセンサ化することで、大量の日常生活行動のデータが収集可能となっており、また情報処理技術の発展も伴い、これまでは困難であった日常生活現象を定量的に記述することが可能となっている。

本研究グループでは、このような技術を用いて子どもの日常生活行動を計測可能とする環境を開発し、日常における遊具の「使われ方」の大規模データに基づいてモデリングを行い、子どもの行動特性に配慮した製品設計（製品安全）を可能とする行動モデルベース設計論の研究を推進してきた [2, 3]。例えば、位置センサと筋電センサを統合したロケーション EMG センサを用いて保育園の石垣型遊具で遊ぶ園児の行動計測を行い、園児の年齢・身長や、石垣の窪みの深さ、そして行動時の筋電位の大きさといった、各要因の関係構造を確率的にモデリングした研究を行ってきた [4]。このモデルにより、石垣の窪みの深さから、幼児がその石垣を登った場合に発生する筋電位を推論することが可能となり、モデルベースな遊具の設計支援の可能性を示した。

本研究では、楽しく、かつ安全な遊具をデザインする新しいアプローチとして、子どもにセンサを取り付けるのではなく、遊具自体をセンサ化し、子どもが遊んでいる最中の行動計

測ができるセンサ型の遊具（ノボレオン）を開発した。これは、サービス提供とセンシング機能を一体化させた計測方法（Research as a service[5]）を実現する工夫である。本稿では、開発したノボレオンを用いた子どもの遊び行動（ラダリング行動）の大規模のデータを収集し、そのデータに基づいて行った行動モデリングについて報告する。

2. 転倒転落事故の現状

産業技術総合研究所が国立成育医療センターと協力し調査した傷害事故の種類を表 1 に示す。0 歳から 14 歳までの年代で転倒・転落が事故原因の第一位となっており、過半数を超えている。転倒転落の事故は TV 台やタンスに乗って、そのまま TV やタンスが倒れてくる物の転倒事故や、子どもが床の小さな段差や物につまづき起こる転倒事故、階段や遊具から落ちる転落事故など様々な種類があり、傷害による医療費を増大させている第一の原因となっている。

表 1: 傷害事故に関わった製品

	1位	2位	3位	4位	5位	その他	全体
0歳	転倒・転落 228人 58.8%	誤飲・誤嚥 53人 13.7%	やけど 29人 7.5%	衝突 23人 5.9%	交通事故 8人 2.1%	47人 12.1%	388人
1歳	転倒・転落 262人 51.6%	誤飲・誤嚥 76人 15.0%	衝突 37人 7.3%	やけど 36人 7.1%	はさむ 26人 5.1%	71人 14.0%	508人
2歳	転倒・転落 209人 58.2%	衝突 35人 9.7%	誤飲・誤嚥 26人 7.2%	はさむ 15人 4.2%	肘内障 12人 3.3%	62人 17.3%	359人
3歳	転倒・転落 140人 56.7%	衝突 33人 13.4%	はさむ 19人 7.7%	誤飲・誤嚥 15人 6.1%	やけど 9人 3.6%	31人 12.6%	247人
4歳	転倒・転落 117人 58.2%	衝突 30人 14.9%	はさむ 11人 5.5%	誤飲・誤嚥 7人 3.5%	肘内障 6人 3.0%	30人 14.9%	201人
5歳	転倒・転落 88人 55.7%	衝突 21人 13.3%	やけど 9人 5.7%	はさむ 7人 4.4%	誤飲・誤嚥 6人 3.8%	27人 17.1%	158人
6歳	転倒・転落 74人 53.2%	衝突 22人 15.8%	切創 7人 5.0%	誤飲・誤嚥 7人 5.0%	はさむ 6人 4.3%	23人 16.5%	139人
7歳	転倒・転落 57人 56.4%	衝突 20人 19.8%	交通事故 6人 5.9%	はさむ 4人 4.0%	切創 2人 2.0%	12人 11.9%	101人
8歳	転倒・転落 47人 52.2%	衝突 17人 18.9%	はさむ 5人 5.6%	交通事故 5人 5.6%	誤飲・誤嚥 3人 3.3%	13人 14.4%	90人
9歳	転倒・転落 27人 39.7%	衝突 14人 20.6%	切創 6人 8.8%	被刺す 4人 5.9%	交通事故 3人 4.4%	14人 20.6%	68人
10~14歳	転倒・転落 73人 42.7%	衝突 46人 26.9%	被刺す 9人 5.3%	おられる 7人 4.1%	交通事故 6人 3.5%	36人 21.1%	171人

本研究では、遊具が関係する転倒転落事故について注目する。遊具で起こる事故は転落・落下が 56.6%，転倒が 13.2% であり、転倒転落事故は、遊具の事故の 7 割近くを占める。事故に

連絡先: 大内久和, 産業技術総合研究所, 〒135-0064 東京都江東区青海 2-41-6, (TEL)03-3599-8001, (FAX)03-5530-2061, h.ouchi@aist.go.jp

よる受傷内容は骨折が73.7%であり、受傷内容の多くを占め、大けがになるケースが多い[6]。遊具の転落はラダリング部で多発していることが知られており、本研究では、特に、遊具のラダリングを取り扱う。

3. サービス統合型センシング機能を有する遊具ノボレオンの開発

開発したサービス統合型センシング機能を有する遊具ノボレオンを図1に示す。ノボレオンは意匠的には、カメレオンをイメージとした複合遊具である。ノボレオンは胴体が登りパネル、体が洞穴、舌が滑り台、尻尾がはしご、前足が一本橋、後ろ足が棒すべりで構成されており、ノボレオン1つで色々楽しめるようになっている。



図1: サービス統合型センシング機能を有する遊具ノボレオン

ノボレオンの胴体側面には傾斜70度、75度、80度のパネルが両側面で計6枚あり、6枚のパネルに計91個のホールドが取り付けられている。ホールドには子どもが登る際に加える荷重を計測するための圧力センサと圧力センサで計測された荷重の大きさを表現するLEDユニットが組み込まれている。ホールドに組み込まれたLEDユニットは、ホールド部に加わった荷重の大きさを16階調で表示したり(計測モード)、子どもがどのホールド、どの経路で登ったかを表示したり(履歴モード)、誰も登っていない時に発光させ子どもにアピールしたり(アピールモード)するために使われる。

ノボレオンの胴体側面は、脱着可能なパネルから構成されている。各パネルの寸法は高さ2[m]、幅1[m]になっており、ホールドを自由に取り付けられるように、15[cm]間隔で縦に13個、横に6個穴がある。登りやすい角度の検証をするため胴体側面にパネルを前面から80度、70度、75度で取り付けた。ホールドの寸法は縦8[cm]、横18[cm]であり奥行きが50[mm]、25[mm]の2種類を用意した。

図2に今回の計測で用いたノボレオン胴体側面の登りパネルのホールド配置を示す。ホールドの配置は角度が急なものには簡単な配列で、角度が緩やかなものにはホールドの間隔を広くし、登るのを難しくした。

登りパネルのセンシングシステムのハードウェアは図3に示すように、総合制御装置、データ収集器、LEDコントローラ、圧力センサ増幅器、調光ユニット、圧力センサ、LEDユニットから構成されている。データ収集器とLEDコントローラは外見が一緒で、中身が違うものになっている。これらのハードウェアは図4に示すように、センサネットワーク化されている。PCに総合制御装置を接続し、データ収集器とLEDコントローラを並列に総合制御装置に接続する。データ収集

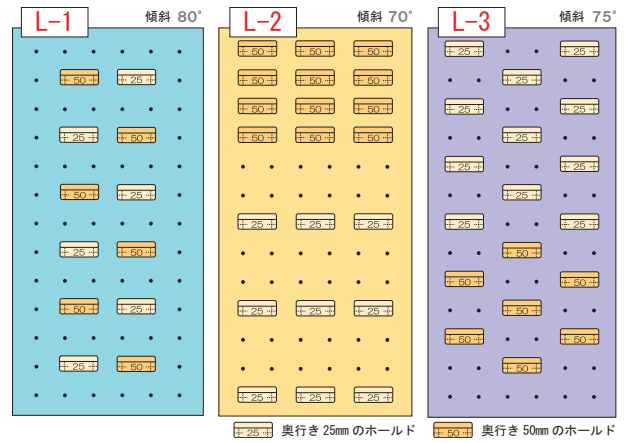


図2: ノボレオン胴体側面の登りパネルのホールド配置

器には圧力センサ増幅器、圧力センサの順に、LEDコントローラには調光ユニット、LEDユニットの順にそれぞれ接続し、データ収集器が圧力センサ値を総合制御装置を介してPCに送信し、その値に応じた信号が総合制御装置を介してLEDコントローラへ転送される。さらにLEDコントローラが受信した信号を調光ユニットに振り分け、調光ユニットがLEDユニットを発光させる仕組みとなっている。

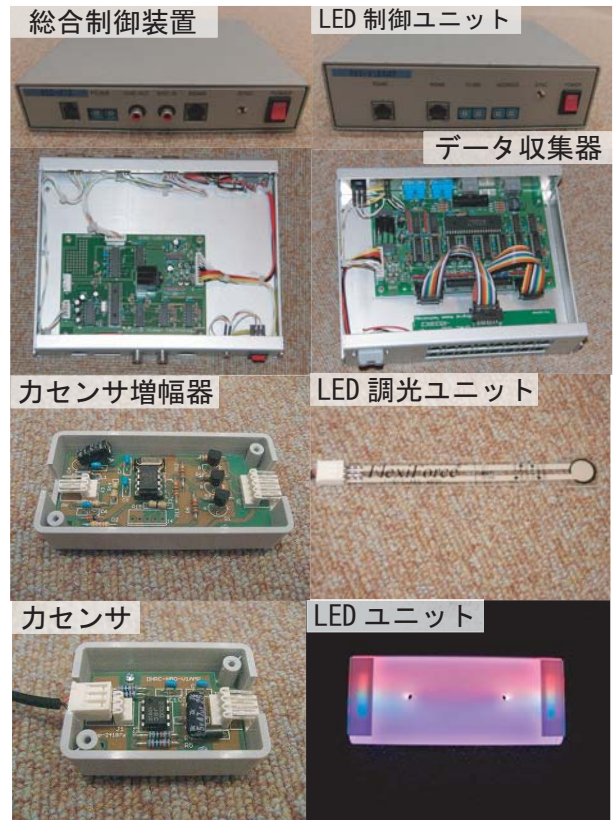


図3: ノボレオンハードウェア機器

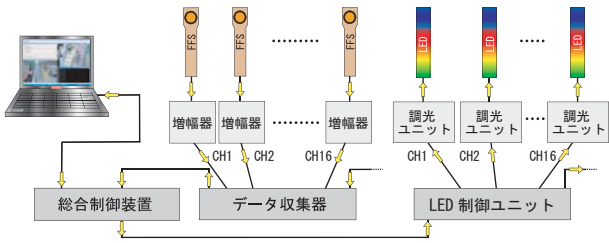


図 4: センサーネットワーク構成

4. ノボレオンを用いた子どものラダリング行動計測

昨年 2 箇所でノボレオンを用いた子どものラダリング行動計測を行った。その詳細を以下に報告する。

4.1 計測場所とノボレオンで遊んだ人数

2008 年 6 月に長野県長野市で行われた日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'08 で計測を 2 日間行った。計測に参加した子どもは、3 歳～12 歳（平均:6.83 歳）の男子 38 名、女子 12 名の計 50 名であった。

2008 年 8 月に都内で開催されたキッズデザイン博 2008 にて、計測を 6 日間にわたり行った。計測に参加した子どもは、3 歳～11 歳（平均:6.75 歳）の男子 336 名、女子 401 名の計 737 名であった。

4.2 計測方法

計測では、ノボレオンでの遊び方を子どもたちに説明し、約 10 分間ノボレオンで自由に遊んでもらい、ノボレオンの胴体側面のラダリング部で遊ぶ様子を遊具周辺に設置した 2 台のカメラによって撮影した。計測中の様子を図 5 に示す。



図 5: 計測中の様子

4.3 計測結果

ノボレオンに組み込まれた力センサーの値とカメラ映像を同期させることで、荷重と時間の関係を分析した。その例を図 6 に示す。図 6 は年齢 8 歳、身長 121 [cm]、体重 27 [kg] の女子がノボレオンを登った時のデータである。力センサの値により、登っている時のカバランスを定量的に示すことができ、このような同期作業を行うことで、モデルに必要な変数値の整理を行っている。

次に圧力センサで収集したデータにより、ホールドの使用頻度を算出した。ホールドにおける使用頻度マップを図 7 に示す。赤が頻度が高いことを、青が頻度が低いことを表してい

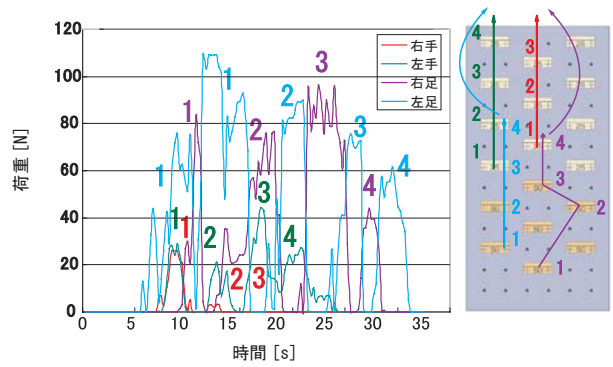


図 6: 登っている時の荷重変化と登った経路の例

る。このように圧力センサで収集したデータにより使用頻度を計測することが可能である。

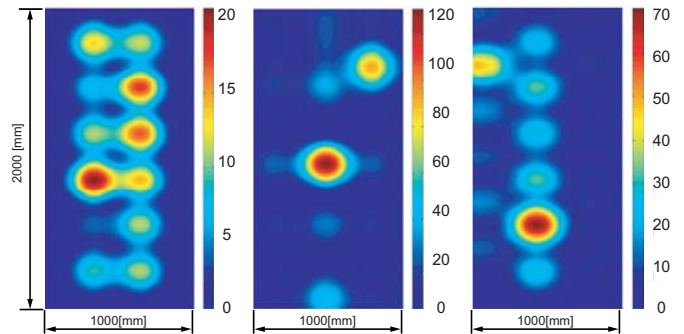


図 7: ホールドの使用頻度マップ

5. 子どものラダリング行動モデルの構築と評価

5.1 ベイジアンネットワークによる解析結果のラダリング行動モデルの構築

行動計測データ（25 人分のデータ）から、要因間の確率的因果構造をモデル化できるベイジアンネットワークを用いてモデルを構築した。使用したパラメータは性別、年齢、身長、体重、登っている時の左右手足の荷重値、その時のホールドの深さ、左右手足のそれぞれの距離である。また、姿勢を推定するために、1 つ前の姿勢の左右手足の距離もパラメータに取り入れた。構築したラダリング行動モデルを図 8 に示す。

図 8 のベイジアンネットワークではリンクの太さが関係性の強さを表している。構築したモデルを見てみると、例えば、1 つ前の各手足の距離（姿勢）が次の各手足の距離（姿勢）と関係性が強いことが分かる。

5.2 構築したモデルの評価

今回構築したモデルについて、「どのような登り方で登っているか」を解析するため、ラダリングにおける子どもの姿勢に注目し、「現在の姿勢」が予測できるかということについて評価した。ここで「現在の姿勢」とは「現在の手足の距離」を表す。構築したモデルにおいて、モデリングに使用しなかった 25 人分の「現在の姿勢」以外の行動データを条件として、その「現在の姿勢」を推論させ、推論結果と実際を比較し、評価した。

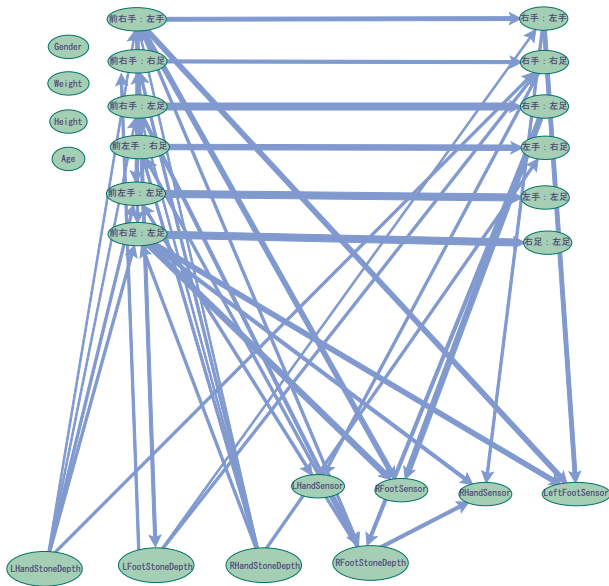


図 8: ラダリング行動の確率モデル図

次に評価方法について述べる．情報検索システムの評価指標には，一般に再現率と精度が用いられている．本研究では，再現率は一般の定義と同等の扱いをするが，精度は以下の理由から採用せず，それに変わる新しい指標を定義する．再現率と精度のみで評価を行うと，適合数だけを評価するため，確率を用いた予測の評価が行えないからである．何らかの順位付け出力がある場合の評価指標として，Järvelin, K. と Kekäläinen, J. によって，DCG(Discounted Cumulative Gain) と呼ばれる新しい評価指標が提案されている [7]．DCG では，適合文書が検索結果の上位に出力された場合は高い得点をつけ，下位に出力されるにつれて得点は減少していく．DCG により，順位付け出力の評価を行えるが，適合文書への重み付けを決定する適切な方法がない．そこで本研究では，重み付けとして予測確率値を得点とする評価法 [8] を採用した．この指標の定義は以下の通りである．

ある時刻 i の予測に対する得点は，以下のように定義される． P_i はある時刻 i の適合した状態に対応する確率値である．

$$Score_i = \frac{P_i}{\sum_{n=1}^N P_n} = P_i \quad (1)$$

$$0 \leq Score_i \leq 1 \quad (2)$$

この指標を以後，順位付け精度 (Ranking Precision) と呼ぶ．再現率と順位付け精度の算出方法は以下の通りである．

時刻 i における再現率	$R_n = \frac{\text{適合手足間隔数}}{\text{全適合手足間隔数}}$
時刻 i の順位付け精度	$RP_n = \frac{\text{適合手足間隔の確率値}}{\text{候補手足間隔の確率値の総和}}$
再現率のマクロ平均	$\bar{R} = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M R_n$
順位付け精度のマクロ平均	$\bar{RP} = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M RP_n$

これらの指標を用いて，モデルの推論結果と解析結果とを比較した．また，その結果から以下の式を用いて，F 値を算出し比較した．

$$F = \frac{2R \cdot RP}{R + RP} \quad (3)$$

評価結果は， $R=1.00$ ， $RP=0.75$ $F=0.86$ であった．R が 1.00 となったのは，今回構築したモデルでは，候補となる状態すべてについて確率値を出力しているためである．この結果により高い精度で次の姿勢が推測できるようになった．

6. 結論

本研究では，日常における遊具の「使われ方」を，大規模データに基づいてモデリングを行い，子どもの行動特性に配慮した製品設計 (製品安全) をモデルベースで行うことを目指しており，子どもが遊んでいる最中の行動計測ができるセンサ型の遊具 (ノボレオン) を開発し，その遊具を用いた行動計測と，収集された行動データに基づいた行動モデルの開発について報告した．開発したモデルの予測精度を，ラダリング時の姿勢予測に関して評価した結果，F 値が 0.86 となり，姿勢が高い精度で推測できることが示された．

今後，サービス提供機能とセンシング機能だけでなく，これらとモデリング機能を統合させ，モデルの予測精度向上のためのアクティブセンシング機能やモデルに基づくサービス提供機能 (難度制御など) を実現していく計画である．

参考文献

- [1] 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.
- [2] 西田佳史, 本村陽一, 山中龍宏, "子どもの遊育のための遊具のロボタイゼーション~日常における製品の「使われ方」の科学と傷害制御工学の実践的研究~, " 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'08 講演論文集, 1P1-B23, 2008.
- [3] 西田佳史, "危なくない遊具," 危険学プロジェクト 2008 年度末報告会資料, pp. 80-87, 2009.
- [4] 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.
- [5] 本村陽一, "大規模データからの日常生活行動モデリング," Synthesiology, Vol. 2, No. 1, pp. 1-11, 2009.
- [6] 田中 哲朗: 保育園における 事故防止と危機管理マニュアル, 日本小児医事出版社, 2004.
- [7] Kalervo Järvelin, Jaana Kekäläinen, "IR evaluation methods for retrieving highly relevant documents," Proceedings of the 23rd Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, pp.41-48, New York, 2000 .
- [8] 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. 705-716, 2005.