

インタラクティブ遊具を用いた遊び行動と発達の分析

井上 美喜子[†] 大内 久和^{††,†} 北村 光司^{†,†††}
西田 佳史^{†,†††} 金 一雄[†]
本村 陽一^{†,†††} 溝口 博^{††,†}

本研究では、遊び場をデザインするための科学的アプローチとして、子どもの行動計測データから構築された計算モデルに基づく遊びのデザイン方法の確立を目的に、遊具で遊ぶ小学生程度の子どもの行動を、センサを子どもに取り付けることなく計測できる機能と、インタラクティブな遊びを可能にする機能を備えたクライミングウォール型センサ遊具を開発した。開発した遊具の54個の各ホールド部には、荷重センサとLED表示装置が取り付けられており、全ての力センサの出力を同期して記録することが可能である。本稿では、開発したインタラクティブ遊具のシステム構成、開発遊具を用いた1226人の子どもの行動計測、登り行動や落下、発達の分析について述べる。

Analyses of Children's Playing Behaviors and Playing Skill Development Using an Interactive Playground Equipment

MIKIKO INOUE,[†] HISAKAZU OUCHI,^{††,†} KOJI KITAMURA,[†]
YOSHIFUMI NISHIDA,^{†,†††} ILWOONG KIM,[†] YOICHI MOTOMURA^{†,†††}
and HIROSHI MIZOGUCHI^{††,†}

In the present study, we developed a new playground equipment in order to establish a new designing method for play based on models of children's behaviors. The developed rock-climbing wall collects data on children's climbing behaviors without attaching sensors to children. It has 54 holds, and a force sensor and LED were installed to each hold that make it possible to extract children's behavior data from force sensors simultaneously. We collected 1226 children's behavior data. In this paper, we discussed climbing and falling behavior and climbing performance improvement analyses.

1. 緒 論

現在、子どもの日常生活を取り巻く成育環境が大きく変化しており、その悪影響が憂慮されている。その変化の1つに子どもの遊び場の減少がある¹⁾。遊び場の減少は、例えば、身体性、社会性、感性、創造性という能力を子ども時代に獲得できず、我が国の人材の枯渇をもたらすことになると危惧されている²⁾。

一方、近年、遊具の事故が多発し、子どもの傷害予防の観点からも、子どもの遊び場の安全性の問題が指摘されている。子どもの公園遊具の設計・管理・運営に対する国の指針³⁾や公園遊具を設計する上で守るべ

き安全基準⁴⁾などが設けられたり、海外でも傷害統計データや事故防止のマニュアルが作成され、現在、遊具の安全は世界中で取り組まれている。しかし、遊具の安全対策が行われているにも関わらず、今も、遊具の事故は多発している。国立成育医療研究センターで行われている傷害サーベイランスデータによると⁵⁾、2008年に、製品が関わる事故による傷害で病院を受診した子ども(0-19歳)のうち、5.7%は遊具に関わる事故であった。特に、5-9歳では、11.6%が遊具によるものであり、自転車に次いで第2位であった。

子どもの成長の観点では、子どもの体力の低下が問題視されている。子どもの運動能力を向上させるためには、子どもの興味や関心に基づいた自発的な遊びによる運動が重要であると言われている⁶⁾。このように、現在、子どもにとって魅力があり、かつ過保護ではない程度に適切な安全性が保たれている遊び場の設計を可能とする科学技術が強く求められている。この問題に対する新たなアプローチとして、本研究では、子

[†] 産業技術総合研究所
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

^{††} 東京理科大学
Tokyo University of Science

^{†††} 科学技術振興機構, CREST
Japan Science and Technology Agency, CREST

もの遊び行動に関する現象を記述し、データに基づいてモデルや理論を構築し、モデルに基づいて遊び場を設計し、評価する方法論の確立が重要である。

今までに、人間の運動スキルを工学的アプローチで解明するスキルサイエンスの分野では、モーションセンシング技術などを用いて、職業演奏家が演奏している時の身体の使い方や、ゴルファーのスイング動作といった、人間の動きに関する研究が行われている^{7),8)}。これらの研究では、実験として計測を行うことで、他者とのインタラクシオンや、環境や状況の変化の影響がない純粋な運動のスキルのデータを収集し、分析することに成功している。それに対し、本研究では子どもの遊び行動を分析することで、子どもの事故予防や、運動能力の発達促進を目指しているため、実際に遊び行動をとる場で行動の計測を行い、環境依存性を考慮することにより、実際の問題解決に応用可能なデータを収集する。

子どもの全身運動を対象としたインタラクシオンデザイン研究の分野では、自閉症の子どもの探求心や楽しさ、創造性の発達を促す空間づくり⁹⁾、子どもの成育を促すスライダ遊具¹⁰⁾、全身を使って行う格闘技ゲーム¹¹⁾、音楽学習のためのボディービートスーツやトランポリン¹²⁾、全身ナビゲーション型ハーモニースペース¹³⁾といった、人とモノとのインタラクシオンに関する研究が行われている。これらの研究では、カメラや接触センサなどを使用して、その場で人の動きやモノとの物理的な接触を検出し、音や光などで反応を返し、ゲームや学習を行わせるシステムを扱っている。それに加え、本研究では、その場で計測されたインタラクシオンのデータを蓄積し、そのデータから数理モデルを構築し、モデルに基づいた定量的な遊びの予測やデザインを可能とする手法を開発する。

本研究では、遊び場をデザインするための科学的アプローチの実現のために、遊び行動の計測と、子どもにとって魅力的な遊び場の提供という2つの要素を兼ね備えた遊具として、遊具自体をセンサ化することで、子どもが楽しく遊びながら行動計測が行える遊具の開発を行った。これは遊びの提供というサービスと遊び行動のセンシングを一体化させた新しい研究のアプローチ (Research as a service¹⁴⁾) である。本稿では、クライミングウォール型センサ遊具の開発、子どもの遊び行動データの計測方法を述べ、子どもの登り行動、非意図的な落下、登り上達を対象に行った分析について報告する。

2. クライミングウォール型センサ遊具の開発

2009年3月にセンサが埋め込まれたクライミングウォール(以下、センサ遊具)を開発した(図1)。センサ遊具の利点は、遊具自体にセンサが埋め込まれているため、子どもにセンサを取り付ける必要がなく、大規模データの取得が容易となる。



図1 クライミングウォール型センサ遊具
Fig.1 Sensor-embedded rock-climbing wall

センサ遊具はウォール部、ホールド部、ハードウェアから構成される。ウォール部はウォールとフレームで構成され、ウォールの大きさは高さ2.7[m]、幅1.8[m]である。フレームはウォールの傾斜を70~120[度]まで5度刻みで10段階の変更が可能である。ホールド部は図2の通り、ホールド、LEDユニット、金具で構成されている。ホールドの色は半透明色で、突起部分の形状を難度が変化するように5種類作成した(図3)。これらのホールドが54個センサ遊具に取り付けられている。LEDユニットはRGBの3色を組み合わせることで8色の調色、16階調の調光が可能である。ホールドをウォールに固定する金具にはひずみゲージが貼られており、子どもがホールドに力を加えた際に生じる荷重を計測する力センサとして機能する。ハードウェアは、総合通信制御装置、データ収集器、LED&ひずみゲージ制御装置、力センサ、LEDユニットから構成されている(図4)。遊具のマットには落下衝撃試験機を用いて安全性を十分に確認した物を使用した。

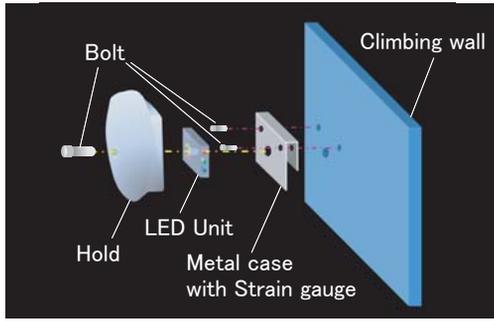


図2 クライミングウォール型センサ遊具のホールド部の構成
Fig. 2 Structure of the climbing hold



図3 ホールドの形状
Fig. 3 Hold pattern

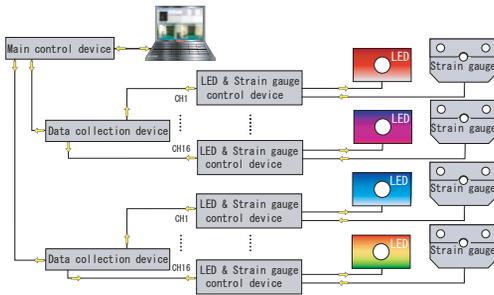


図4 センサ遊具のハードウェア構成
Fig. 4 Hardware structure of developed system

3. クライミングウォール型センサ遊具を用いた子どもの登り行動計測

2009年から2010年にかけて、5箇所の展示イベントでセンサ遊具を用いて子どもの登り行動計測を行った。表1に計測場所と計測人数を示す。本研究では、2年間で合計1226人の子どもの登り行動データの収集を行った。図5は計測中の様子である。

表1 計測場所と計測人数

Table 1 Study locations and the number of participants

	展示イベント	計測場所	日数	計測人数
2009年	開国博Y+150	ヒルサイドエリア	3日間	188人
2009年	キッズデザイン博2009	機械産業記念館	4日間	435人
2010年	キッズクリエイト2010	幕張メッセ	3日間	398人
2010年	子どもの事故予防工学プロジェクト	産業技術総合研究所	1日間	10人
2010年	子どもの事故予防工学プロジェクト	日本科学未来館	2日間	195人

計測の前に、計測の目的の説明と同意書への承認手続きを行った上で、被験者の年齢、性別、身長、体重を記録する。その後、決められたルールで遊んでもら



図5 計測中の様子
Fig. 5 The snapshots of children's playing on the climbing wall

う。計測データとして、遊んでいる最中の力センサの値を記録し、また、遊具のウォール前面全体が映る場所に設置した2つのビデオカメラで、姿勢や、手足の動き方とそれぞれの位置を記録した。ゲームのルールは、1)赤く光る2か所のホールド(以下、ターゲット)を両手で同時に掴む、2)次のターゲットが表示される、3)次のターゲットに向かって登り降りする、この1)から3)を制限時間90秒間繰り返す。ターゲットに到達すると点数が加算されるゲーム形式となっている。未就学児用、小学生低学年用、小学生中学年用、小学生高学年用に合計4段階の難度のゲームを作成し、被験者に合わせて選択できるようになっている。

4. 子どもの登り行動モデルの構築と評価

4.1 ベイジアンネットワークを用いた登り行動モデルの構築

キッズクリエイト2010にて計測した力センサデータとビデオカメラの映像から、センサ遊具で遊んでいる子ども50人分、3824回の姿勢データを抽出した。姿勢データは、右手のホールド番号(右手が掴んでいるホールドの番号、以下同様)、左手のホールド番号、右足のホールド番号、左足のホールド番号で表現される。姿勢データの他に、子どもの性別、年齢、身長、体重を姿勢データと一緒に抽出した。

モデリングを行うために、抽出した姿勢データを正規化、離散化しクロス集計表を作成する。本研究では、以下の変数を用いてモデリングを行う。

- 身体変数...性別、年齢、身長、体重
- 姿勢変数...現在の姿勢(図6のL1~L6)、1ステップ後の姿勢(図6のL1'~L7')
- 遊具の環境変数...右手のホールドの形状、左手のホールドの形状、右足のホールドの形状、左足のホールド

の形状, 動いた部位の次のホールドの形状, ターゲットの方向

整理した 50 人中 25 人分の 1912 回の姿勢データを用い, クロス集計表から確率的モデリング手法の一つであるベイジアンネットワークを用いてモデルの構築を行った. 本稿では, 左右の手足を動かした場合, それぞれに関して 4 つのモデルを構築した. 右手に関する登り行動モデルを図 7 に示す. 構築したモデルは上述の身体変数, 姿勢変数, 遊具の環境変数を与えることで, 次の姿勢が推論できるモデルである.

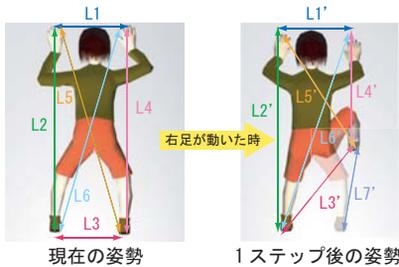


図 6 登り姿勢の表現方法

Fig. 6 Description of climbing posture

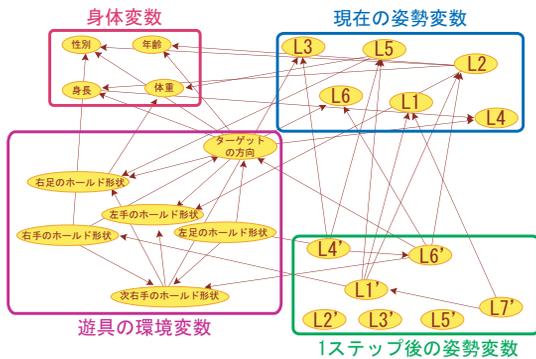


図 7 右手の登り行動モデル

Fig. 7 Right hand's climbing behavior model

4.2 登り行動モデルの評価

構築した登り行動モデルの評価として「1 ステップ後にどこに移動するか」を解析するために「1 ステップ後の姿勢」が予測できるかについて cross-validation 法¹⁵⁾を用いて評価した. モデルを構築するのに使用していない 25 人分のデータを用いて, 「1 ステップ後の姿勢」を表す「1 ステップ後の手足の距離 (図 6 中の L1' ~ L7')」以外の変数の値をモデルに入力して推論させた結果と, 実際の結果を比較した. 評価は北村ら¹⁶⁾が提案している手法で, 従来の情報探索の性能評価指標を発展させ, 推定結果に確率値が得られる場合の性能評価が可能な順位づけ精度に基づく F 値で行った. F 値は 0 から 1 の範囲の値をとり, 1 に近いほどモデルの性能が高いことを意味する. それぞれの

モデルの F 値は, 0.81 (右手), 0.70 (左手), 0.55 (右足), 0.56 (左足) となった. 4 つのモデルの平均は 0.66 であり, 「1 ステップ後の姿勢」を高い精度で予測可能なモデルであることが確認された.

4.3 登り行動モデルを用いたシミュレーションソフトの開発

構築した登り行動モデルを用いたシミュレーションソフトの開発を行った. 開発したソフトは, 性別, 年齢, 身長, 体重, 現在の姿勢, ターゲットの方向 (上, 下), 移動する部位 (右手, 左手, 右足, 左足), を入力することでその部位が次に動き得る範囲を表示するソフトである (図 8). 図中の緑の線は子どもの現在の姿勢を表している. また, その姿勢から子どもが次に移動すると予測されたホールドが赤く表示されており, 赤色の明度でその確率を表している. 図 8 は, 8 歳の子どもが図中の姿勢で, ターゲットが上にある場合に次の姿勢を推論した結果である. 図 9 の結果 1 は身長 110 [cm], 結果 2 は身長 135 [cm] に設定し, 図中の姿勢でターゲットが上にあり, 右手が動く時の条件でシミュレーションを行った結果である. 今回構築した

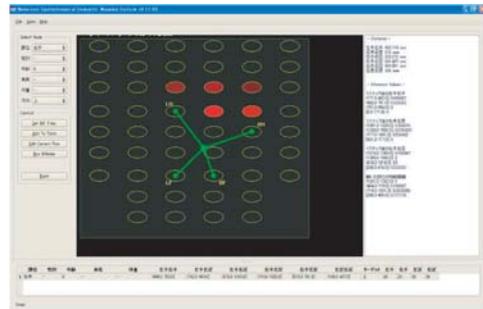


図 8 登り行動シミュレーションソフト

Fig. 8 Climbing behavior simulation software

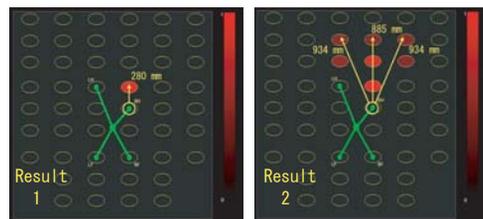


図 9 登り行動のシミュレーション結果の例

Fig. 9 Examples of simulation result of climbing behavior

登り行動モデルとシミュレーションソフトにより, それぞれの子どもに合わせた遊びの提供が可能になる. 年齢などの身体変数と現在の姿勢変数をモデルに入力することで, 1 ステップ後の姿勢の予測が可能であるため, 例えば, 遊ぶ子どもの年齢より少し高い年齢でコースを選定し, 子どもにとって少し難しいコースに挑戦させることで, チャレンジ精神を引き出すことが

できる．このように，センサ遊具の LED の表示機能と科学的根拠のあるモデルを用いることで「楽しさ」，「難しさ」を狙って遊びを提供することができるインタラクティブ遊具の実現可能性が示唆された．

5. 子どもの落下に関するモデルの構築と評価

5.1 落下モデルの構築 Bayesianネットワークを用いた落下モデルの構築

2010 年 8 月，キッズクリエイトで計測された 435 人中 193 人が非意図的に落下した．本研究では，その内，84 人の合計 232 回の落下データを用いて，“落下”と子どもの身体変数や落下直前の姿勢変数，遊具の環境変数などの因果関係を明らかにすることを目的に，Bayesianネットワークを用いて落下モデルの構築を行った．モデル構築には以下の変数を採用した．

身体変数...性別，年齢，身長，体重，利き手・利き足，落下回数，登りスピード
 遊具の環境変数...右手のホールドの形状，左手のホールドの形状，右足のホールドの形状，左足のホールドの形状

落下直前の姿勢変数...左手右手の距離，左手左足の距離，左足右足の距離，右手右足の距離，左手右足の距離，右手左足の距離，体の傾き，移動した部位の移動距離，移動方向，動いた部位（右手移動，左手移動，右足移動，左足移動）

身体変数の中の「登りスピード」は一回の計測における，ターゲット到達回数を制限時間 90 秒で割ったものであり，一つのターゲットに到達するのにかかった平均時間を指す．姿勢変数の中の「体の傾き」はウォールの四辺のうち，床に水平な辺を x 軸とし，床に垂直な辺を y 軸で表した時，左手と右手の座標の midpoint と左足と右足の座標の midpoint を結んだ直線の y 軸に対する傾きを度数法で表現している．落下したデータに加えて，落下しなかったデータについても上記と同じ変数を，落下したデータと同じ回数の 232 回分算出し，合計 464 回のデータを用いて，モデルの構築を行った．構築した落下モデルを図 10 に示す．

5.2 落下モデルの評価

構築した落下モデルの「落下」の予測性能を cross-validation 法¹⁵⁾によって評価した．前小節で述べた落下モデルの構造を評価するために，モデルの構造は固定し，464 回のデータからランダム選択した半数のデータを用いて事前確率を与えてモデルを構築し，使用していない半数のデータの「落下」以外のパラメータをモデルに入力して推論させ，その結果を実際のデータと比較した．この作業を 5 回繰り返す，その平

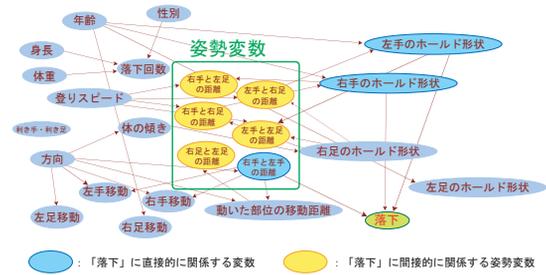


図 10 落下モデル
 Fig. 10 Fall model

均を評価結果とした．評価方法は 4.2 小節の「登りモデルの評価」と同じ方法で行った．評価結果である F 値は 0.70 となり，高い推論性能があることを確認できた．

5.3 落下モデルの考察

構築したモデルから「落下」には落下直前の「右手のホールドの形状」，「左手のホールドの形状」，「右手と左手の距離」の 3 変数が直接関係していることが明らかとなった．そこで，モデルを用いて「落下」の要因を探るために，「右手のホールドの形状」，「左手のホールドの形状」，「右手と左手の距離」が短・中・長，それぞれの場合に関して「右手のホールドの形状」，「左手のホールドの形状」が易・普・難の組み合わせごとに推論した結果を図 11 に示す．推論結果から，右手，左手のホールドの形状が共に難しい場合は，落下する確率が常に 8 割以上となり，ホールドの難易度が落下に影響を与えていることが分かる．また「右手と左手の距離」が「536 mm 以上 948 mm 以下（長）」の時，右手のホールドが易しい場合以外では全ての条件で落下する確率が 0.5 以上となり，その他の条件に比べて落下する確率が高く，左手と右手の距離が遠い時は落下しやすくなる事が分かる．

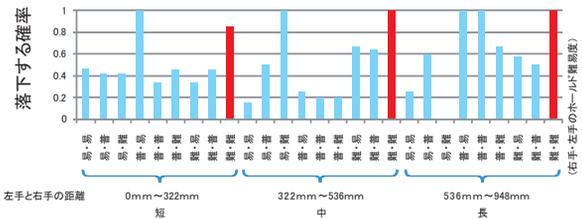


図 11 掴んでいるホールドの難易度と，右手と左手の距離の組み合わせによる落下の確率の違い

Fig. 11 Difference of the fall probability due to combination of difficulty level of the hold type that a child held and distance between the right hand and the left hand

落下モデルからクライミングウォールの落下に関係する変数は右手と左手が掴むホールドの難易度と両手

の距離であることが分かった．今までの遊具の設計では，設計者の勘や経験からのみ設計されていたが，このように計測した実際のデータを用いて，定量的な分析を行うことで，科学的根拠のある設計が可能になる．

6. 登りの上達に関する分析

開発したセンサ遊具には，子どもの興味を維持しつつ，それぞれの子どもに合った遊びを提供し，運動能力の発達を促せる可能性がある．センサ遊具は，LEDで次に向かうターゲットを提示できるため，プログラムを変更することで，子どもに特定の登り方を指示することができる．この機能とセンシング機能を用いることで，個人に合わせて，上手な登り方をナビゲーションしたり，登りを上達させるための練習を促すことが可能になると考えられる．これを実現するには，センサ遊具で遊んだ子どもの登りデータをマイクロ分析することで「上手な登り方の要因」を探り，登り上達モデリングを行い，センサ遊具における登り上達支援システムの開発につなげる必要がある．本節では，そのための第一歩として，上手な登りの要因を探るための分析について述べる．本研究では，ターゲットの到達回数が増えることを，上達と定義する．

6.1 個人の登りの上達分析

本小節では，同じ難度のゲームに5回参加し，参加するたびにターゲットの到達回数が増えた特定の被験者（年齢6歳，身長106cm，体重16kg）に着目し，実際に観測された登りデータを用いた上達分析について述べる．

6.1.1 移動する手・足の方向分析

被験者が手足を動かすたびに，その部位の移動方向を全8方向で記録しその頻度を算出したところ，ゲームに参加する度に「右斜め上」への動きの頻度が急激に増えていることが分かる（図12）．今回，被験者が参加したゲームでは，右斜め上に向かうターゲットの提示がコース中にあり，その到達過程において，右真横と真上の動きではなく，右斜め上に移動する動作の頻度が増えたことが，ターゲットの到達回数を増やす要因となったと考えられる．図13は，上述の右斜め上に提示されたターゲットに移動する場合の，動作の違いを示している．右斜め上に移動するスキルを使うことによって，同じターゲットに到達する場合でも，右真横と真上の動作のみで提示されたターゲットに到達するよりも，到達に要した動作回数が1/3に減少していることが分かる．これらの結果から，このゲーム難度では「斜め上の動き」が，上達の要因であることが分かった．

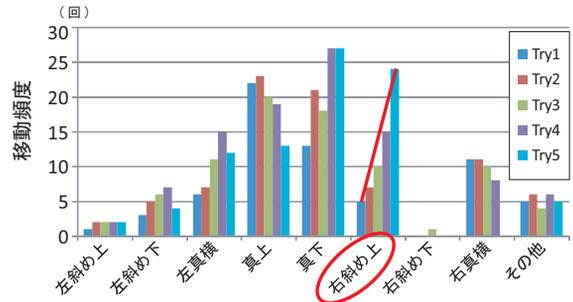


図12 参加回数ごとの移動方向と頻度の変化
Fig. 12 Moving direction frequency by each participation



図13 斜めの動き
Fig. 13 Observed oblique movement

6.2 上手な登り方の要因分析

本小節では，ベイジアンネットワークを用いてモデリングすることによって行った上手な登り方の要因分析について述べる．

6.2.1 上手な登りに関連する要素のベイジアンネットワークモデルの構築

本少々節では，前節で取り上げた被験者と同じ難度のゲームに参加した6歳の子ども34人のデータを使って，登り上達のベイジアンネットワークモデルの構築を行った．モデル構築に用いたパラメータは，全体の動作回数に占める 1. 左右移動の割合 2. 上下移動の割合 3. 斜め移動の割合 4. 安定姿勢回数の割合 5. 有効に使った時間の割合と，6. ターゲットの到達回数の6つである．パラメータ1から3は，登っている子どもが手足を動かすたびに，動かした部位の移動方向を記録し，左右の2方向，上下の2方向，斜めの4方向，それぞれの合計を全動作回数で割り，それぞれの移動方向の割合を算出した．パラメータ4に関しては，手同士・足同士の位置が水平で，右側と左側の手足の位置がそれぞれ垂直になる姿勢を安定姿勢とし，その回数を全動作回数で割り，割合を算出した．パラメータ5は，ターゲットに到達するために有効に使った時間のことである．具体的には，ゲー

ムの制限時間から、ゲーム中に一か所に留まっている時間や手・足を一度動かしたが、すぐ元の位置に戻すといった動作に要した時間を引いた時間の、ゲーム制限時間に対する割合のことである。本分析では、各変数をクラスタリング手法 k-means を用いて、低・中・高の3状態に分けてモデリングを行った。例えば、「有効に使った時間の割合」は、割合が 0.82~0.89 の場合を低、0.89~0.96 の場合を中、0.96 以上の場合を高とした。構築した登り上達モデルを図 14 に示す。

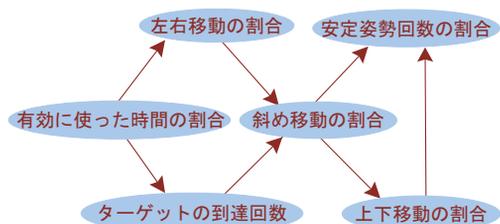


図 14 登り上達モデル

Fig. 14 Climbing skill improvement model

6.2.2 ベイジアンネットワークモデルを用いた上達の要因分析

図 14 の構築したモデルから、「ターゲットの到達回数」には、手足を斜めに動かした回数の割合（「斜め移動の割合」）と「有効に使った時間の割合」が直接関係していることが分かる。これらの変数が、ターゲットの到達回数に与える影響を詳しく分析するために、1) 「斜め移動の割合」のみに条件を与えた場合、2) 「有効に使った時間の割合」のみに条件を与えた場合、3) 「斜め移動の割合」と「有効に使った時間の割合」の両方に条件を与えた場合に関して推論し、ターゲットの到達回数の確率（少・中・多の3状態の確率）の変化を調べる。

「有効に使った時間の割合」の低・中・高で推論を行った結果を図 15(a) に示す。このグラフは、「ターゲットの到達回数」が少・中・多それぞれの場合の確率を示している。「有効に使った時間の割合」が低い場合は、「ターゲットの到達回数」が少ない場合の確率が高く、無駄な時間が長いと、ターゲット到達回数が少なくなることが分かる。しかし、「有効に使った時間の割合」が高い場合でも、「ターゲットの到達回数」が多い場合の確率が特に高いわけではないため、無駄な時間が短いだけでは、ターゲットの到達回数を多くできないことが分かる。次に「斜め移動の割合」の低・中・高で推論を行った結果を図 15(b) に示す。「斜め移動の割合」が低い場合は、「ターゲットの到達回数」が少ない場合の確率が高く、斜めの動きが少ないと、ターゲットの到達回数が少ないことが分かる。「斜め移動の

割合」が高い場合には、「ターゲットの到達回数」が多い場合の確率が高いが、「ターゲットの到達回数」が中間の場合の確率と比較すると顕著であるとは言えず、斜めの動きが多いただけでは、ターゲットの到達回数が確実に多くなるわけではない。最後に、「有効に使った時間の割合」と「斜め移動の割合」のそれぞれの低・中・高で推論した結果を図 15(c) に示す。「有効に使った時間の割合」と「斜め移動の割合」が共に低い場合には、「ターゲットの到達回数」が少ない場合の確率が 80% 以上となり、無駄な時間が長く、斜め移動の動きが少ない場合は、ターゲットの到達回数が少ないことが分かる。逆に、「有効に使った時間の割合」と「斜め移動の割合」が共に高い場合には、「ターゲットの到達回数」が多い場合の確率が全条件の中で最も高いことが分かる。以上の結果から、ターゲットの到達回数を増やすには、「有効に使った時間の割合」と「斜め移動の割合」両方を高くする必要があることが分かった。

6.3 登りの上達分析に関する考察

本小節で行った登り上達分析では、まず、ある特定の被験者に特化した上達の要因を探り、次に、その被験者と同じ年齢で同じ難度のゲームに参加した計 34 名のデータを用いて、ベイジアンネットワークによる上手な登りの要因を分析した。2 つの分析により、今回分析したゲームの難度において、ターゲットの到達回数を増やすには、斜めの動きを行うスキルを身に付け、かつ与えられた制限時間を有効に活用することが重要であることが分かった。本小節の分析結果より、上手な登り方の要因を見つけ、登り上達のモデリングが可能であることが明らかになり、今後、このモデリング技術をベースとした子どもの運動能力を向上するためのシステム開発への応用可能性が示唆されたと考える。

7. 結 論

本研究では、子どもへの遊びのサービス提供と遊び行動のセンシング機能が一体化した計測方法を実現するクライミングウォール型センサ遊具を開発した。本稿では、開発したセンサ遊具のシステムについて述べ、収集したデータから、姿勢推定が可能な登り行動モデルの構築を行い、身体変数や姿勢変数を制御することで、次に取りうる姿勢を推定できることを示した。また、収集した非意図的な落下データから落下モデルの構築を行い、落下する要因として、右手と左手のホールドの種類と両手の距離が関係しているという知見を得た。登りの上達に関する分析からは、本稿で分析した難度のゲームにおいて、上手に登る方法は、斜め移

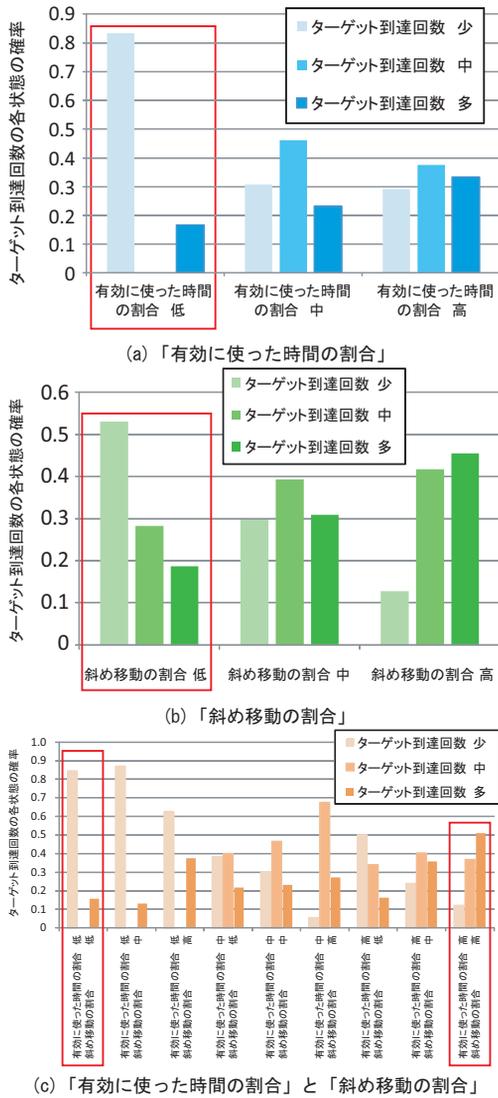


図 15 各条件によるターゲット到達回数の確率の違い

Fig. 15 Differences of the probability of the number of target reached by each given condition.

動を行いながら制限時間を有効に使うという2つの要因が、ターゲットの到達回数を増やすために必要であることが分かった。

参考文献

- 1) 日本学術会議, 我が国の子どもを元気にする環境づくりのための国家的戦略の確立に向けて, (2007).
- 2) 日本学術会議, 子ども達が群れて遊ぶ「公園・ひろば」の復活, (2008).
- 3) 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(改定版), (2008).
- 4) (社)日本公園施設業協会, 遊具の安全に関する基準 JPFA-S:2008, (2008).
- 5) (独)産業技術総合研究所:平成21年度中小企業支援調査・安全知識循環型社会構築事業報告書, (2010).
- 6) 杉原 隆, 運動発達を阻害する運動指導. 幼児の

教育, 107(2): pp.16 - 22, (2008).

- 7) Furukawa, K., Kinjo, K., Shimizu, S., Sawai, K., and Yoshinaga, S. On Modeling Bow Arm Movement in Cello Playing by Whip Motion, in Proc. of the 3rd European Medical and Biological Engineering Conference, (2005).
- 8) Ohgi, Y., Baba, T., and Sakaguchi, I. Measurement of Deceleration of Golfer's Sway and Uncock Timing in Driver Swing Motion, The Impact of Technology on Sport, Subic. A., Ujihashi, S. eds., ASTA, pp.349-354, (2005).
- 9) Pares, N., Carreras, A., Durany, J., Ferrer, J., Freixa, P., Gomez, D., Kruglanski, O., Pares, R., Ribas, J.I., Soler, M., and Sanjurjo, A. Promotion of creative activity in children with severe autism through visuals in an interactive multisensory environment, in Proc. of the 2005 Conference on Interaction Design and Children, ACM Press, New York, (2005).
- 10) Soler-Adillon, J., Ferrer, J., and Pares, N. 2009. A novel approach to interactive playgrounds: the interactive slide project, in Proc. of the 8th international Conference on interaction Design and Children, (2009).
- 11) Perttu, H. Interactive Video Mirrors for Sports Training, in Proc. of the 3rd Nordic Conference on Human-Computer Interaction, pp.199-202, (2004).
- 12) Zigelbaum, J., Millner, A., Desai, B., Ishii, H. BodyBeats: whole-body, musical interfaces for children, in Proc. of CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, ACM Press, pp.1595-1600, (2006).
- 13) Holland, S., Marshall, P., Bird, J., Dalton, S., Morris, R., Pantidi, N., Rogers, Y., and Clark, A. Running up Blueberry Hill: Prototyping Whole Body Interaction in Harmony Space, in Proc. of the 3rd Conference on Tangible and Embodied Interaction, ACM Press, pp.92-98, (2009).
- 14) 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).
- 15) M. Stone: Cross-validation and multinomial prediction, Biometrika, Vol.61, No.3, pp.509-515, (1974).
- 16) 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).