

動画像解析に基づく乳幼児行動マーカーレス モニタリングシステム

右田 涼¹ 島谷 康司² 芝 軒太郎³
栗田 雄一¹ 島 圭介⁴ 辻 敏夫¹

A marker-less monitoring system for behavior analysis of infant using video image

Ryo Migita¹, Koji Shimatani², Taro Shibanoki³, Yuichi Kurita¹, Keisuke Shima⁴
and Toshio Tsuji¹

abstract

This paper proposes a behavior analysis system for quantitative evaluation of infants with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) using video images. The system records infants' movements using video cameras without any markers, and quantitatively evaluates each infant's behavior using features extracted from video images based on the behavior model. In the experiments performed, behaviors of infants in nursery school were evaluated using the proposed system. The results showed that the behavior of a high-risk infant significantly different from those of normal infants. These outcomes indicated that the proposed system could discriminate the behavior of normal infants and high-risk infants.

Key words : infant, ADHD, behavior analysis, image processing, behavior model

乳幼児, ADHD, 行動解析, 画像処理, 行動モデル

I はじめに

乳幼児に現れる障害の一つに注意欠陥・多動性障害 (Attention Deficit Hyperactivity Disorder: 以下, ADHDと略記) が挙げられる。ADHD を有する乳幼児には「落ち着きがない」、「注意力が散漫でひとつの遊びに集中できない」、「外からの刺激に容易に気を散らしてしまう」、「指示に従ってやり過ごすことが難しい」などの症状が観察される。このような症状の発見には、乳幼児に普段から長

時間接する保護者や保育士の観察が必要になる。しかしながら、ADHD の十分な知識を有さない場合には、乳幼児の特異的な行動が個性なのか障害であるのかを判別するのは難しい。また、公的な保育施設の保育士は、3歳児であれば通常児童20人につき1人が配置されるため(文部科学省, 2005), 児童1人1人の行動の変化を把握するのではなく、そこで、ビデオカメラを用いて自然な乳幼児の行動を常に計測し、計測した画像より行動の特徴や注意障害や多動性障害の評価指

¹ 広島大学大学院工学研究科

² 県立広島大学保健福祉学部理学療法学科

³ 茨城大学工学部情報工学科

⁴ 横浜国立大学大学院工学研究院

¹ Graduate School of Engineering, Hiroshima University

² Department of Physical Therapy, Prefectural University of Hiroshima

³ Department of Computer and Information Sciences, Ibaraki University

⁴ Faculty of Engineering, Yokohama National University

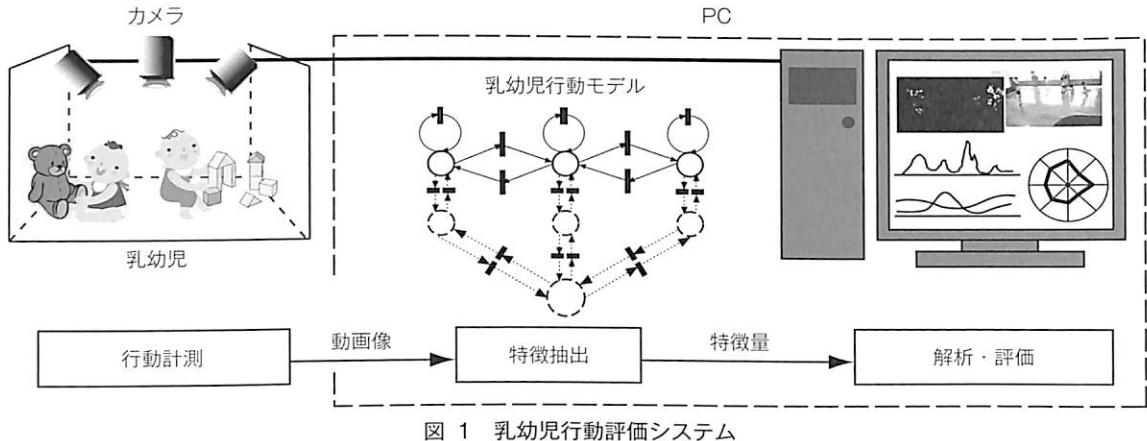


図 1 乳幼児行動評価システム

標を算出することができれば、客観的かつ定量的に行動を把握できると考えられる。また、評価結果を保護者や保育士、または医師に提示することで、ADHD児とその家族の支援ができる可能性がある。加えて、保育施設や医療従事者にとっても大変有意義であると考える。

新生児運動・乳幼児行動の定量化に関する試みはさまざま検討されており、島ほか（2009）は新生児の自発運動に関してマーカーレスで解析可能なシステムを提案しているものの、複数の乳幼児の行動を評価することは不可能である。また、石川ほか（2008）は健常児の事故防止のための行動評価モデルを提案しており、多数の児童に対する行動評価を行っているが、異常行動の評価を対象としたモデルではない。

本研究の目的は、ADHDを有する乳幼児の行動を定量的にとらえ、異常行動に基づく行動評価システムを構築することである。このようなシステムを実現するためには、(1) リアルタイムで画像の処理を行うことで、長時間にわたり連続撮影が可能であること、(2) 乳幼児の自然な行動計測のために、複数の乳幼児をマーカーレスで同時解析可能であること、(3) ADHDのスクリーニング指標を考慮した乳幼児の行動モデルにより乳幼児の行動が評価可能であること、(4) 乳幼児の行動評価結果や解析動画像をデータベースから参照可能であること、の4つの点を考慮する必要がある。

II 方 法

1. 乳幼児行動評価システム

図1に乳幼児行動評価システムのプロトタイプを示す。プロトタイプは部屋の中で遊具などで遊んでいる多数の児を対象としており、ビデオカメラを用いた行動計測、得られた計測画像に基づく児行動の特徴抽出、そして抽出した特徴を利用した行動評価によって構成される。以下、システムの詳細について説明する。

1) 行動計測

行動計測では複数の児の活動している部屋の全面をカバーするように固定具を用いて複数のビデオカメラを設置し、計測した児の行動の動画をサンプリング f [Hz] でPC内部に保存する。

2) 特徴抽出

計測した画像（図2(a)）を明度成分画像に変換し、隣接するフレーム間の画像の差分から閾値 γ で動いた部分を画素値1（白）、動いていない部分を画素値0（黒）とするフレーム間差分画像（図2(b)）に変換する。続いて、フレーム間差分画像を用いて各児の位置を抽出する。

児の位置抽出においては、まず第1フレームの画像に対して解析対象とする児 i ($i = 1, 2, \dots, I$) を個別に囲む矩形領域 A_i ($\alpha_i' \times \alpha_i''$ [pixel]) をユーザが手動で設定する。次に第2フレーム以降の各フレーム間差分画像に対して矩形領域 A_i 内の白画素の重心 (I) $G_i = ({}^t G_{i,i}, {}^t G_{y,i})$ を求め、フレーム t ($t = 1, 2, \dots, L$) の各児の位置とする。そして、対象の位置を追従するため、各フレーム

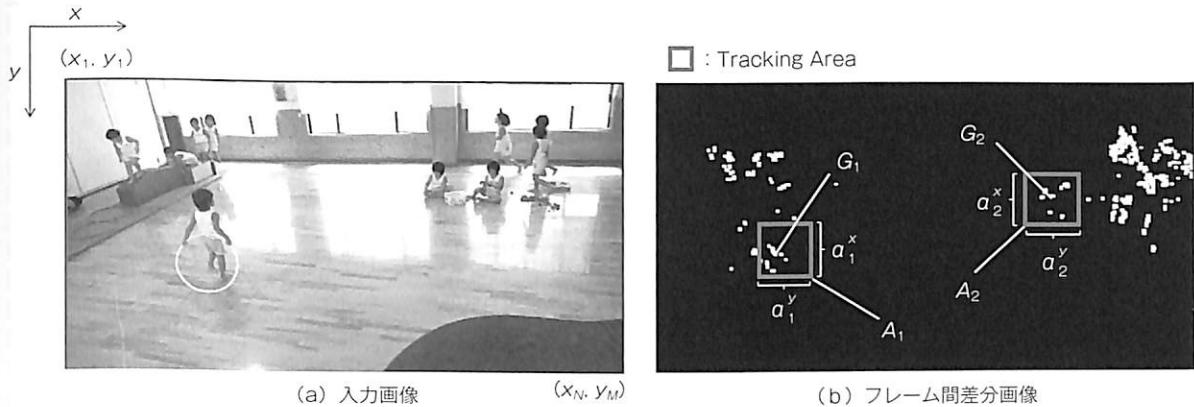


図2 入力画像から得られる二値画像

で算出した位置^(t) G_i を中心に、矩形領域 A_i を更新する。なお、矩形領域内の画素値が全て0(黒)の場合は1フレーム前の重心の値を保持し、矩形領域の更新は行わない。

3) 行動評価

ADHDの評価にはスクリーニングテスト(American Psychiatric Association, 1987; 日本感覚統合障害研究会MAP標準化委員会, 1989)など、医師による長時間の行動観察が必要である。医師はスクリーニングにおいて、遊びへの集中や遊びの移り変わりなどの(a)児の遊びの変化、音や光、保護者・保育士からの(b)外部刺激に対する反応、などの観点から行動を評価している。提案モデルでは、人間の行動のモデル化に広く用いられるペトリネット(貞部ほか, 1997)に基づいて医師が観察している児の行動(a), (b)の状態をモデル化する(図3)。

児の行動をペトリネットに置き換えると、トランジションは行動(遊び)の変化($T_{k,k}$)もしくは刺激の有無(T_{k,I_k} , $T_{I_k,k}$)、プレースは児が遊んでいる状態(P_k)および刺激を与えた場合の状態(I_k)、そして、遊びの移りわりの流れをアーケ(F_i)として表現することができる。したがって児の行動の変化は、(a)遊びの変化および(b)外部刺激におけるプレースの集合 $P = |P_1, P_2, \dots, P_k, \dots, P_K|$ および $I = |I_1, I_2, \dots, I_k, \dots, I_K|$, $I_0 = |I_0|$ 、トランジションの集合 $T_p = |T_{1,1}, T_{1,2}, \dots, T_{k,k}, \dots, T_{K,K}|$, $T_I = |T_{I,1}, \dots, T_{k,I_k}, \dots, T_{K,I_K}|$, $T_{I_0} = |T_{I_0,1}, \dots, T_{I_0,k}, \dots, T_{I_0,K}|$, $T_{I,I_0} = |T_{I,I_0}|$, アーケの集合 $F \subseteq$

$(P \times T_p) \cup (T_p \times P) \cup (T_I \times I) \cup (I \times T_I) \cup (I_0 \times T_{I_0}) \cup (I \times T_{I_0})$ を用いて図3のように表すことができる。また、モデルにおけるトークン(乳幼児)の初期状態を p_0 とする。ここで、 K はあらかじめ定義する状態(行動)の数である。初期状態においてモデル(a)ではトークン(乳幼児)はいずれかのプレース $P = |P_1, P_2, \dots, P_k, \dots, P_K|$ に存在する。モデル(b)ではトークン(外部刺激)は無刺激状態を表すプレース I_0 に存在し、刺激の有無によりプレース間を移動する。例えば児がマット遊びを行なっていれば(a)のマット遊び状態のプレース(P_k)にトークン(乳幼児)が移動する。さらに、保育士の指示や呼びかけなどの外部刺激が発生した場合、遊びの状態に対応した(b)刺激を表すプレース(I_k)にトークン(外部刺激)が移動し、児が保育士の指示に従っていればトークン(乳幼児)は対応するプレース(I_k)に移動する。本論文では、図3のうち(a)遊びの変化に対する行動をモデル化し、行動を評価する。

まず、計測画像にあらかじめそれぞれの状態 k を割り当てる解析領域 E_k ($\beta_k^x \times \beta_k^y$ [pixel])を設定する。そして、以下の条件に基づき、抽出した児の位置^(t) G_i が設定した各遊び領域 E_k ($k=1, 2, \dots, K$)に存在するかを求め、児の状態 k を推定する。

$$\left(X_k - \frac{\beta_k^x}{2} \leq {}^{(t)}G_{x,i} \leq X_k + \frac{\beta_k^x}{2} \right) \cap \left(Y_k - \frac{\beta_k^y}{2} \leq {}^{(t)}G_{y,i} \leq Y_k + \frac{\beta_k^y}{2} \right) \quad (1)$$

ここで、式中の X_k , Y_k はそれぞれの解析領域 E_k の中心座標である。次に、推定した児の状態から児の状態が移り変わる確率を表す遷移確率 $t_{k,k}$ を

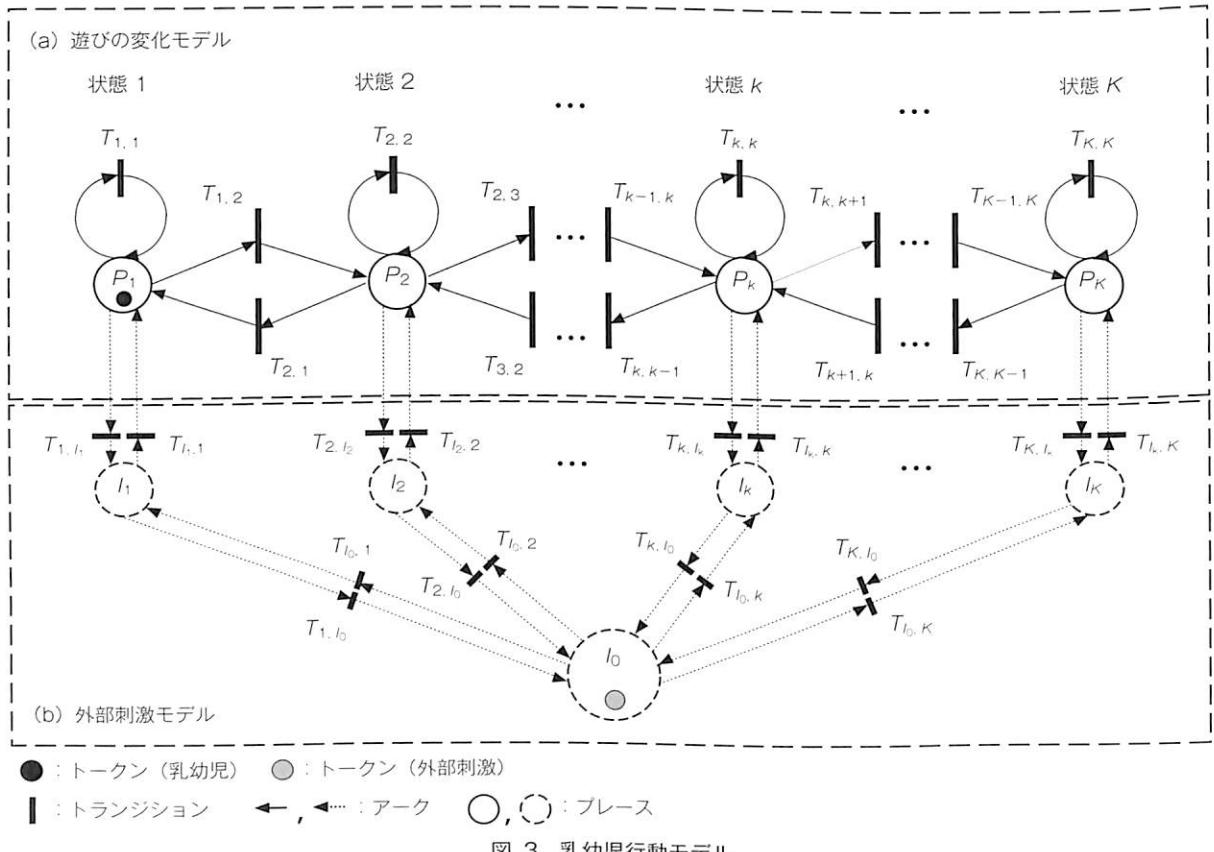


図 3 乳幼児行動モデル

次式により算出する。

$$t_{kk'} = \frac{C(P_k \rightarrow P_{k'})}{L} \quad (2)$$

$C(P_k \rightarrow P_{k'})$ は児が状態 k から状態 k' に遷移した総回数を表しており、 L は解析時間の総フレーム数である。これにより、遊びの移り変わりをモデルから評価する。

また、算出した遷移確率は児の間で比較するために標準化を行う。基準となる被験児群の遷移確率の平均値 $\mu_{k,k'}$ と標準偏差 $\sigma_{k,k'}$ を用いて、次式により標準正規分布に変換する。

$$I'_{kk'} = y_{kk'} - \frac{\mu_{k,k'}}{\sigma_{k,k'}} \quad (3)$$

以上のように標準化を行うことで、基準となる被験児群の行動の遷移確率は標準正規分布に従う。そして、標準化後の各遷移確率はレーダーチャートにプロットする。レーダーチャートを用いることで児の行動の評価結果をわかりやすく提示でき、また、標準正規分布からのばらつきを評

価することで児の行動が基準に近いか否かを数値として確認できるため、行動を定量化できる可能性がある。

2. 対象

児童福祉施設の児を対象に計測と評価実験を行い、ハイリスク児と健常児の行動の評価結果を比較した。被験者は4歳児27名とし、計測はA保育所の年中クラスにおいて、施設長の許可を得たうえで、理学療法士および保育士の立会いのもとヘルシンキ宣言に則り倫理面に十分配慮して実験を実施した。4台のビデオカメラ(SONY製HDR-PJ40V、解像度720×480 [pixel])を児の手が届かない床から2.4 [m]の高さに設置し、児が自然に遊びを行っている様子を撮影した。このとき、児にはビデオカメラの存在を知らせていない。解析は4台のビデオカメラのうち、最も長く行動を計測できた1台の動画像を用いて1名ごとに行った。解析時間は健常児が19.8±2.7 [min.]、ハイ

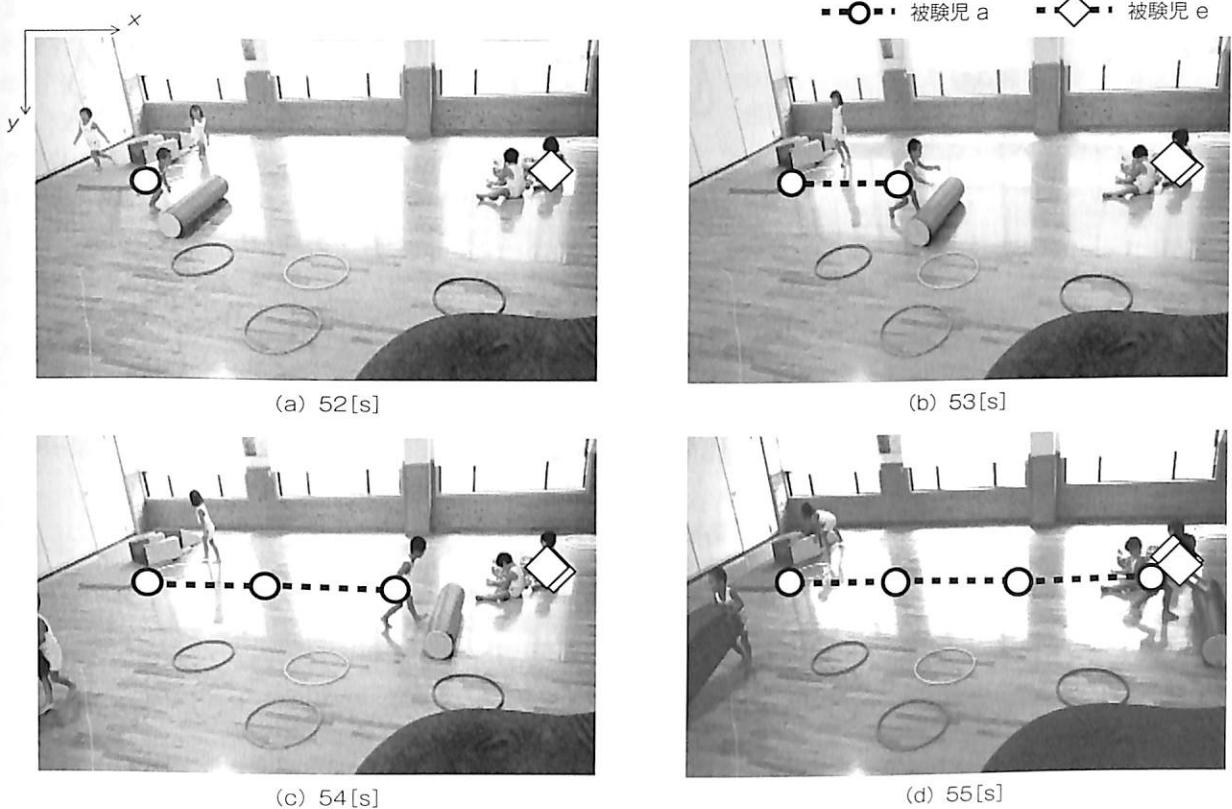


図4 乳幼児の位置抽出の一例

リスク児を12.0 [min.]とした。ただし、対象の児ごとにビデオカメラの画角に映っている時間が異なるため3.0 [min.]ごとに遷移確率を算出している。なお、本実験におけるハイリスク児とは、小児精神科医によってADHD疑いのためにフォローアップを受けており、かつ撮影した動画を理学療法士と担当保育士が観察評価して行動に問題があると指摘している児である。

モデルの状態数は3状態とし、状態1 (P_1) をマット遊び、状態3 (P_3) をブロック遊び、そして状態2 (P_2) をその他の遊びとした。標準化には健常児5名の解析結果(各2データ)の計10データを使用した。実験に利用するパラメータは $f=30$ [Hz], $\gamma=10$, $\alpha'_-=\alpha''-=30$ [pixel], $\beta_k^x=\beta_k^y=200$ [pixel]とした。ただし、対象としていない児や遊具と対象の児の位置が重なった場合、その都度、対象の矩形領域 A_i を手動で設定した。

III 結 果

図4に計測した動画像の一例を示す。図中の凡例はそれぞれ提案システムで抽出したマットで遊んでいる児(被験児a)、ブロックで遊んでいる児(被験児e)の位置の軌跡を示している。

次に、図5は動画像を解析して得られたレーダーチャートのうち、各児が特徴的な行動をした区間の一例である。図の各軸は各指標値を表している。レーダーチャートは健常児を解析して得られたデータのうちランダムに選択した10データの平均値、標準偏差を用いて標準化を行なっている。また、図6は図5に示す評価指標において、図中の各点は各解析時間における各被験児の特定の遊び(P_1 , P_3)からその他の遊び(P_2)に移る確率を散布図として示している。なお、図中の各点は各被験児の各解析時間に対応しており、各軸は標準化後の指標値を表している。

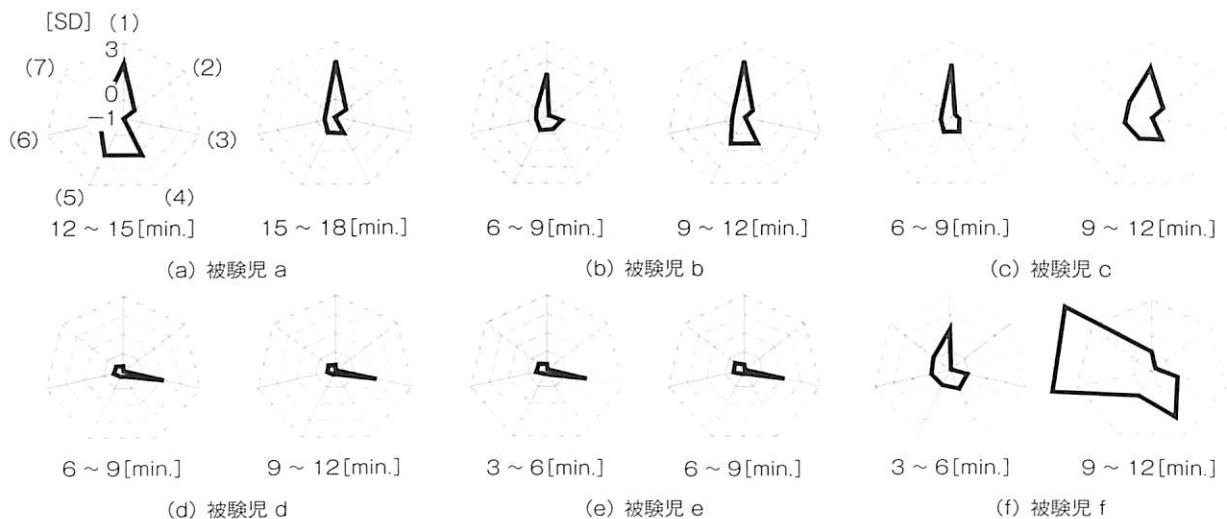


図 5 各被験者の評価結果の一例

- (1) : マットからマットへの遷移確率 $t_{1,1}$
- (2) : その他の遊びからその他の遊びへの遷移確率 $t_{2,2}$
- (3) : ブロックからブロックへの遷移確率 $t_{3,3}$
- (4) : マットからその他の遊びへの遷移確率 $t_{1,2}$
- (5) : その他の遊びからマットへの遷移確率 $t_{2,1}$
- (6) : その他の遊びからブロックへの遷移確率 $t_{2,3}$
- (7) : ブロックからその他の遊びへの遷移確率 $t_{3,2}$

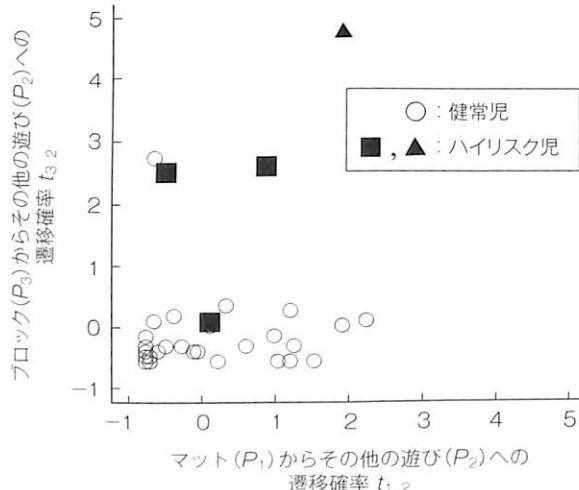


図 6 特定の遊び（マット、ブロック）からその他の遊びへの遷移確率の関係

IV 考 察

図 4 より計測画像における各児の行動と抽出した軌跡がおよそ一致しており、提案システムを用いて児の位置をある程度抽出できていることがわかる。また図 5 (a)～(e) より、健常児は特

定の遊び (P_1, P_3) から特定の遊びに遷移する確率、つまり同じ遊びを続ける確率 ($t_{1,1}$ または $t_{3,3}$) が大きいことがわかる。これは、児がその場にとどまり、マットやブロックの特定の遊びに集中しているような特徴を表していると考えられる。それに対し、図 5 (f) に示すハイリスク児は状態間の遷移する確率 ($t_{1,2}, t_{3,2}$) が大きく、複数の遊びを行っていることがわかる。解析に用いた動画像から、健常児は各遊具の付近に留まっているのに對し、ハイリスク児はブロック遊びから直ちに異なる遊びに移るなど遊びに集中できない様子が確認できた。以上の結果より、提案システムを用いてマーカレスで児の行動をとらえられる可能性を示した。

また、特定の遊び (P_1, P_3) からその他の遊び (P_2) に遷移する確率 ($t_{1,2}, t_{3,2}$) に注目すると、図 6 より健常児の結果は主に $t_{3,2} < 1$ の領域に分布していることがわかる。一方、ハイリスク児の結果は健常児の分布から離れており、理学療法士が指摘する計測画像の区間（黒色）は特に離れている。これは、ハイリスク児の行動が健常児の行動に比べ、頻繁に状態が遷移したことを見ている。

また、解析区間を2[min.]、2.5[min.]として解析を行ったところ、同様の傾向が得られた。理学療法士は児の特定の遊びに集中できず、遊びが完了しないまま異なる遊びに移る様子からハイリスクを指摘している。なお、各解析区間の標準化には3.0[min.]で解析した際の健常児の10データを無作為に選出し、標準化を行った。提案システムは、このような理学療法士の指摘する児の行動の特徴をとらえられている可能性がある。以上の結果から、システムの結果と理学療法士の指摘する結果が一致していることを確認した。

Vまとめと今後の課題

本論文では、児に現れる障害の早期発見を目的とした乳幼児行動マーカーレスモニタリングシステムを提案した。提案システムでは、ビデオカメラを用いて複数の児の行動を計測し、計測画像に画像処理を施すことでマーカーレスに児の行動の特徴を抽出・評価が可能である。実験では、提案システムを用いて複数の児の行動を計測・評価し、ハイリスク児においては、理学療法士の指摘する時間帯における行動が健常児群と大きな差がみられ、提案システムを用いて健常児とハイリスク児の行動を評価できる可能性を示した。

ただし、今回は評価の一例を示したに過ぎず、評価指標やモデルの妥当性についてはさらなる検討が必要である。また、本手法における撮影方法では複数の児が重なった場合その後の分離が困難な場合があるため、リアルタイムに児の行動を解析・評価する手法についてはさらなる検討が必要である。そこで今後は広画角カメラを天井部に設置し、観察対象の重なりを軽減する方法やステレオカメラによる3次元解析等を検討する。そして、被験者数や撮影時間、刺激方法などを詳細に検討し、障害の早期発見のための診断支援システムの実現を目指す。

文献

American Psychiatric Association (1987) Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders Third Edition Revised. American Psychiatric Associa-

tion, 103-107

石川詔三、本村陽一、河田諭志、西田佳史、原一之 (2008) 日常生活における確率的因果構造モデルの構築と行動推論. The 22nd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 3G3-04, 1-4

真部靖弘、服部元史、田所諭、高森年 (1997) ベトリンネットによる人間の行動パターンモデルと行動予測(行動予測に基づくホームロボットの運動生成を目指して). 日本機械学会論文集, 63, 287-294

文部科学省 (2005) 平成17年度総合施設に関する合同の検討会議(第4回)議事次第-参考3(幼稚園・保育制度の比較), <http://www.mext.go.jp/bmenu/shingi/chukyo/chukyo3/018/siryo/04110201/002.htm>

日本感覚統合障害研究会 MAP 標準化委員会編訳 (1989) 日本版ミラー幼児発達スクリーニング検査検査マニュアル

島圭介、大澤裕子、卜楠、辻徳生、辻敏夫、石井抱、松田浩珍、折戸謙介、池田智明、野田俊一 (2009) ビデオ画像を利用した新生児運動のマーカーレス・モニタリングシステム. 計測自動制御学会論文集, 45, 224-232

(受付: 2013年10月31日 受理: 2014年6月16日)



右田 涼 (みぎた りょう)

広島大学大学院工学研究科博士過程前期

現在、広島大学大学院工学研究科博士過程前期に在学中。乳幼児における障害の早期発見を目的とした行動解析システムに関する研究を行っている。