インナー型保育所における関節点3次元座標を用いた幼児行動推定
姿勢・移動・モノに基づく推定手法

川路もね[*1]・大佛俊泰[*2]・岸本まき[*2]・荻野光司[*3]・大谷由紀子[*4]

Estimating Preschool Children's Behavior in a Indoor Preschool Using 3D Joint Coordinates : A Posture-, Movement-, and Object-Based Approach

Mone KAWAJI[*1], Toshihiro OSARAGI[*2], Maki KISHIMOTO[*2], Koji OGINO[*3], Yukiko OTANI[*4]

Abstract: In urban areas, many preschools are facing constraints such as limited indoor space and the absence of playgrounds, making it necessary to plan facilities that take into account the unique behaviors of preschool children. This study proposes an approach to automatically and continuously estimate preschool children's behavior, while quantitatively evaluating their relationships with surrounding people, objects, and architectural spaces. Considering behavior as consisting of three fundamental elements: posture, movement, and object interaction, we propose methods to estimate each element and integrate them into a comprehensive model of children's behavior. Furthermore, using the estimation results, we analyze the relationship between preschool children's behavior and physical proximity to preschool staff.

Keywords: 保育所 (preschool)，幼児行動 (preschool children behavior)，姿勢推定 (posture estimating)，移動推定 (movement estimating)，関節点 3 次元座標 (3D joint coordinates)

１．はじめに

保育施設の多様化が進む中で，都市部では室内面積の狭さや園庭がないといった制約を抱えるインナー型保育所が増加している．これらの施設では，限られた空間の中で幼児の健全な成長を促す環境を確保する必要があり，幼児特有の行動を考慮した施設計画が不可欠である．

幼児特有の行動把握に関する既往研究は，目視観察調査に基づくものが多く，網羅的な行動把握には限界がある（徐・小林，2020）．近年は機械学習を用いた映像解析による行動推定の試みも報告されている（飯田ほか，2020）．しかし，幼児行動に関するデータセット構築手法の提案に留まっており，それらを適用した保育施設内における行動検出は行われていない．

本研究では，建築空間と幼児行動の関連性を定量的に評価する手法開発を見据え，ビデオ映像から自動的かつ継続的に幼児行動を推定する手法を提案する（図1(a)）．具体的には，まず，ステレオカメラを用いて間接点 3 次元座標を取得し，これを用いて幼児の姿勢と移動を推定する．次に，幼児行動は姿勢と移動，玩具などのモノの組合せで同定できると考え，行動推定モデルを構築する．さらに，推定結果を用いて幼児行動と保育士の位置関係についての基礎分析を試みる．

２．幼児行動推定のための基礎技術

２．１　ビデオ映像に基づく関節点 3 次元座標の取得

保育所内における幼児行動に関するビデオ映像を分析データとするため，大阪府大阪市に立地するインナー型保育所内で観測調査を実施した（図 2）．2 歳児保育室において 2 台のステレオカメラ（図 2(b)）を設置し（図 2(c)），幼児行動に関する映像を取得した．

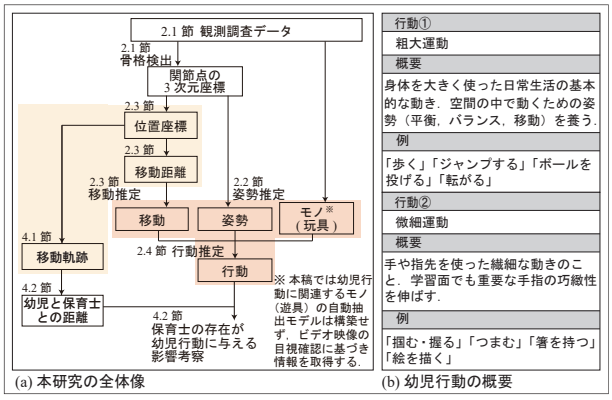


図 1 本研究の全体像と幼児行動の分類

*1　学生会員　東京科学大学　環境・社会理工学院（Institute of Science Tokyo）
〒 152-8550　東京都目黒区大岡山 2-12-1　E-mail:kawaji.m.31e7@m.isct.ac.jp
*2　正会員　東京科学大学　環境・社会理工学院（Institute of Science Tokyo）
*3　学生会員　東京科学大学　環境・社会理工学院（Institute of Science Tokyo）
*4　正会員　摂南大学　理工学部　建築学科（Setsunan University）

取得した映像から，幼児の関節点三次元座標を取得する（図 3(a)）．具体的には，既存の骨格検出ソフト（図 3(b)）を用いて撮影映像から全 30 か所の関節点 2 次元座標を取得する．次に，ステレオカメラから取得した奥行情報を各関節点に付与して 3 次元座標を取得する．上記の操作を 2 台のカメラで行い，得られた値の平均値を最終的な間接点 3 次元座標とする．

２．２　姿勢推定モデルの概要

ニューラルネットワークを用いた姿勢推定モデルの概要を図 4(a) に示している．本モデルでは，幼児の関節点 3 次元座標情報を基に，時点 t における姿勢を座位・膝立ち・四つん這い・立位・しゃがみの 5 種類に分類する．入力層は，姿勢推定の対象時点 t とその直前の 0.1 秒前 (t-0.1) および 0.2 秒前 (t-0.2) の関節点 3 次元座標とする（図 4(c)）．出力層では，5 つの姿勢の確率を算出し，最大確率を示す姿勢を対象時点 t の推定結果とする．

２．３　移動推定モデルの概要

幼児の移動状態を，位置座標に基づき「移動」と「移動なし」の 2 種類に分類する（図 4(d)）．移動は常に立位姿勢で行われる点に着目し，立位と推定されたデータは図 4(d) のフローチャートに従い推定し，立位以外のデータは全て「移動なし」とする．具体的には，移動推定の対象時点 t の床面に投影した腰座標を算出し（図 4(d) ※ 1），任意時間差 Δt における座標間距離 d を閾値 d_1 と比較することで「移動」・「移動なし」を分類する（図 4(d)）．時間差 Δt および閾値 d_1 は，学習データに対する分類精度が最大となる値を採用する．

２．４　行動推定モデルの概要

図 5 に行動推定モデルの概要を示している．本モデルでは，幼児行動を身体を大きく使う「粗大運動」と手や指先を使う「微細運動」（図 1(b)），「その他」に分類する決定木モデルであり，姿勢推定と移動推定の結果に加え，目視判別する玩具の有無を特徴量（図 5(c)）として用いる．9 つの特徴量に基づき，モデル

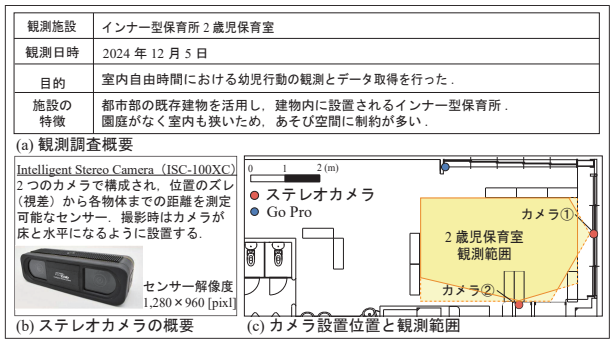


図 2 保育所観測調査の概要

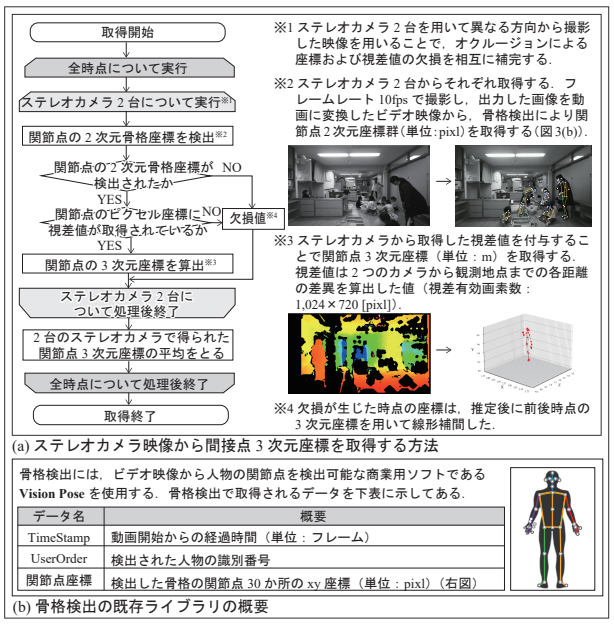


図 3 関節点 3 次元座標の取得方法

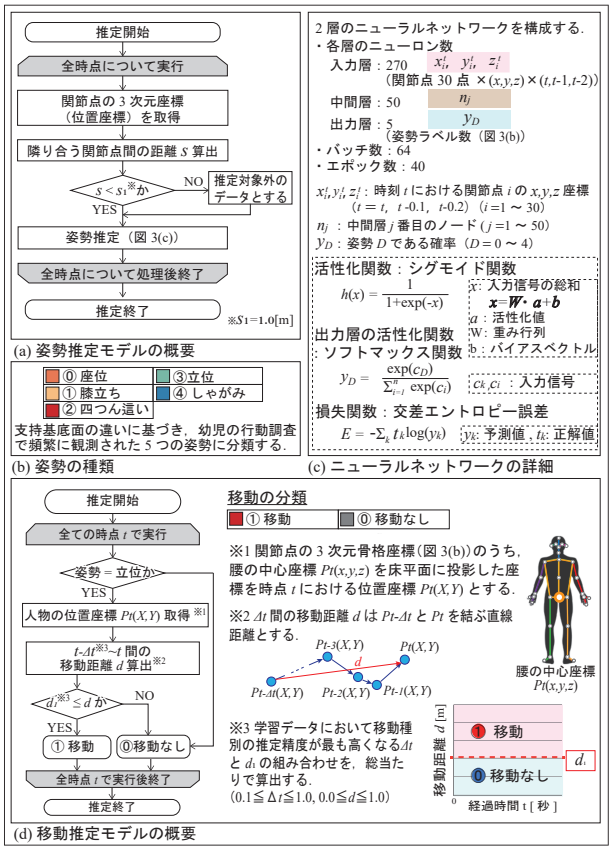


図 4 姿勢・移動推定の各モデル概要

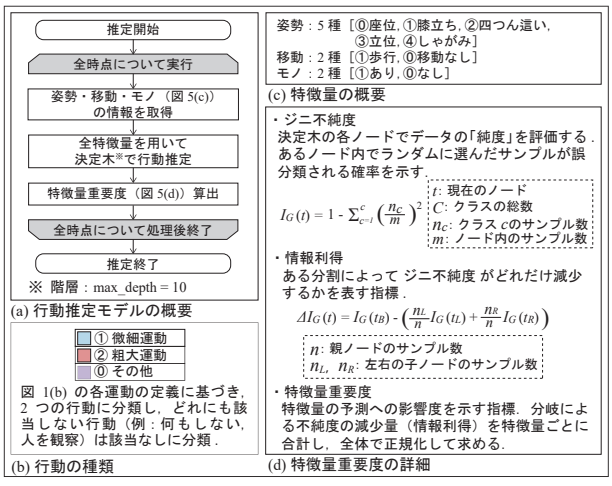


図 5 行動推定モデルの概要

の学習を行い，テストデータを用いてモデルの評価と特徴量重要度（図 5(d)）を算出する．

3．保育所における幼児行動の推定結果

3．1　分析データの概要

分析データの概要を図 6 に示してある．各場面（図 6(a)）について，幼児のあそびを観察し，姿勢，移動，モノ，および，行動に関する時系列的な正解データを作成した．各要素は，それぞれのカテゴリを整数ラベルで符号化したデータとして整理した（図 5(c)）．

3．2　姿勢の推定結果

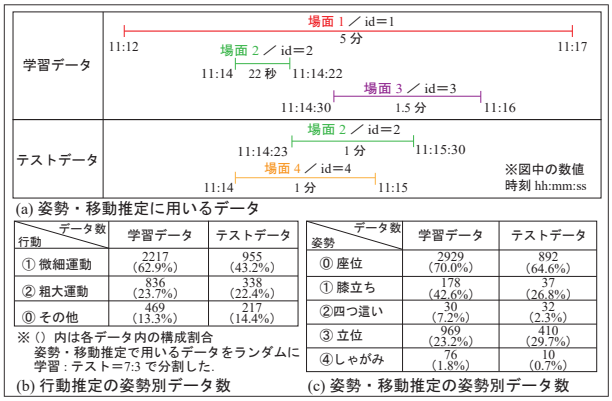
姿勢推定モデルの推定結果を図 7(a) に示してある．テストデータにおける正解率は 88.7% であり，全体として良好な値を示している．特に，⓪座位・①膝立ち・③立位において，再現率・適合率ともに 86% 以上の高い値を示している（図 7(a)(1)）．一方で，⓪座位と類似する姿勢（例えば，②四つん這い・④しゃがみ）では，③立位と誤推定される例が多く（図 7(a)(2)），これらの姿勢に関する学習データが他と比べて少ないことが原因と考えられる（図 6(c)）．推定精度の更なる向上には，姿勢ごとの学習データ数の偏りを解消することが必要と考えられる．

3．3　移動の推定結果

移動推定モデルの未知パラメータおよびテストデータに対する推定結果を図 7(b) に示してある．Δt=0.6, d_1=0.125 の時，学習データにおける正解率が最大（78.8%）となった（図 7(b)(1)）．このパラメータを用いてテストデータを評価した結果，正解率は 73.5% であり，全体としては比較的高い分類結果が得られた（図 7(b)(2)）．テストデータの移動 1 の序盤では「移動なし」とする誤推定が一部みられるものの，中盤においては「移動」を適切に識別できている（図 7(b)(3)）．以上より，本モデルは移動識別に対して十分な性能を有しているといえる．

3．4　行動の推定結果

行動の推定結果を図 8 に示してある．特徴量重要度が最も高い「座位姿勢」は，ルートノードにおける分類基準に採用されており，行動推定において重要な役割を果たしている（図 8(b)）．本モデルでは，はじめに「座位であるか否か」に基づき行動が分類され，座位の場合は①微細運動に分類される（図 8(a)）．座位でない場合は，モノを持ち，姿勢が立位である場合は②粗大運動に分類され，それ以外の場合は⓪その他に



(a) 姿勢・移動推定に用いるデータ

行動 ＼ データ数	学習データ	テストデータ
① 微細運動	2217 (62.9%)	955 (43.2%)
② 粗大運動	836 (23.7%)	338 (22.4%)
⓪ その他	469 (13.3%)	217 (14.4%)

※（）内は各データ内の構成割合
姿勢・移動推定で用いるデータをランダムに学習：テスト＝7:3 で分割した．

(b) 行動推定の姿勢別データ数

姿勢 ＼ データ数	学習データ	テストデータ
⓪ 座位	2929 (70.0%)	892 (64.6%)
① 膝立ち	178 (42.6%)	37 (26.8%)
②四つ這い	30 (7.2%)	32 (2.3%)
③ 立位	969 (23.2%)	410 (29.7%)
④しゃがみ	76 (1.8%)	10 (0.7%)

(c) 姿勢・移動推定の姿勢別データ数

図 6 分析データの概要

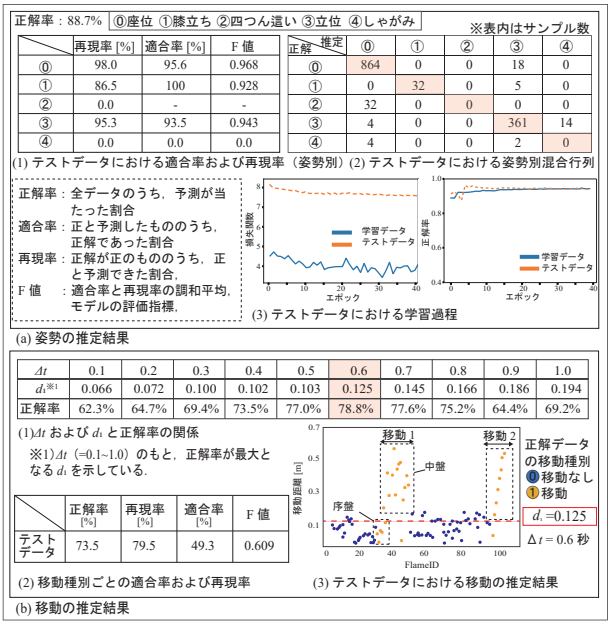


図 7 姿勢の推定結果

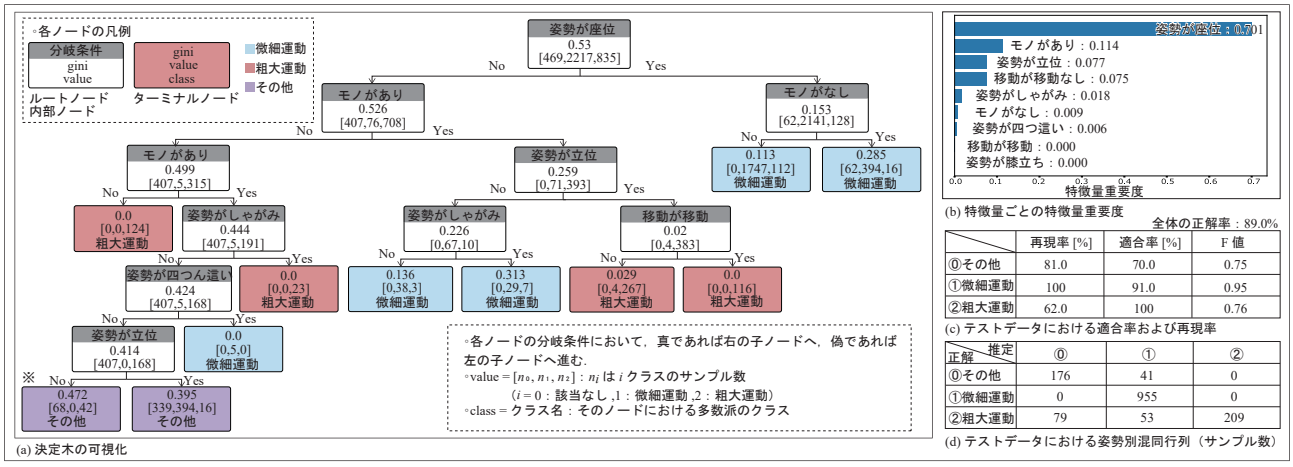


図 8 行動の推定結果

分類されることが多い．テストデータにおける正解率は 89.0% であり，特に①微細運動において再現率・適合率ともに 90% 以上の高い値を示している（図 8(c)）．一方で，②粗大運動の再現率は 62% と低い値を示している．これは，決定木のターミナルノード（図 8(a)※）において，②粗大運動と⓪その他を正しく区別できていないことが一因である．

4．幼児行動推移に関する考察

4．1　移動軌跡データの平滑化

本章では，幼児と保育士の位置関係に着目し，保育士との距離が幼児行動の切り替わりに与える影響を考察する．ビデオ映像から取得した位置座標（図 4(d)※1）には，骨格検出精度などに起因する揺らぎが含まれる．人物間距離を算出する場合，位置座標の計測誤差が影響し，距離の時系列変化の解釈が困難になる可能性がある．そこで，本章では平滑化した位置座標に基づいて算出した相対距離を分析に用いる．

移動軌跡データの取得方法を図 9(a) に示してある．各時点の幼児と保育士の関節点 3 次元座標に基づき，位置座標 $P_t(X,Y)$ を取得する．この時，計測誤差が大きい $P_t(X,Y)$ を外れ値として除外する．具体的には，$P_t(X,Y)$ の前後時点における速度 v_t-1・v_t+1 との差分がどちらも閾値 1.0m/s を超えた場合，$P_t(X,Y)$ を除外する．その上で，Savitzky-Golay 法を用いて軌跡を平滑化する．

幼児の移動軌跡データの例を図 9(b) に示してある．不連続性や過剰な揺らぎを含んでいた移動軌跡が（図 9(b)(1)），平滑化された曲線として再構成されたことがわかる（図 9(b)(2)）．

4．2　幼児行動と保育士の位置関係

各幼児行動における距離区分の構成比を図 10(a) に示してある．広い空間を要する活動が多い粗大運動では，幼児と保育士間の距離が大きくなると予測されたが，距離区分「1–2 m」が最も多い．一方，微細運動では，各距離区分に均等に分布していた．これは，粗大運動は微細運動に比べデータ数が少なく（図 6(b)），かつ限られた空間（図 2(c)）における行動のみが分析対象であるため，観測された粗大行動が「保育士を追いかける」などに偏っていることが要因であると考えられる．

場面 4・5 における幼児・保育士間距離を図 10(b) に示してある．粗大運動時に距離が徐々に縮小し，微細運動へ移行する様子がわかる．観測対象範囲をより広く設定できれば，保育士に寄り添い微細運動を行う幼児の様子や，粗大運動を行う幼児を保育士が一定の距離内で見守る様子などが確認できる可能性がある．

5．おわりに

本研究では幼児行動は姿勢・移動・モノの 3 要素から構成されると考え，ステレオカメラを用いた姿勢および移動の推定モデルと幼児行動推定モデルを構築した．今後は，推定した幼児行動に基づき，交流量の定量分析や家具・モノ・設えが幼児行動に及ぼす影響分析を行う予定である．

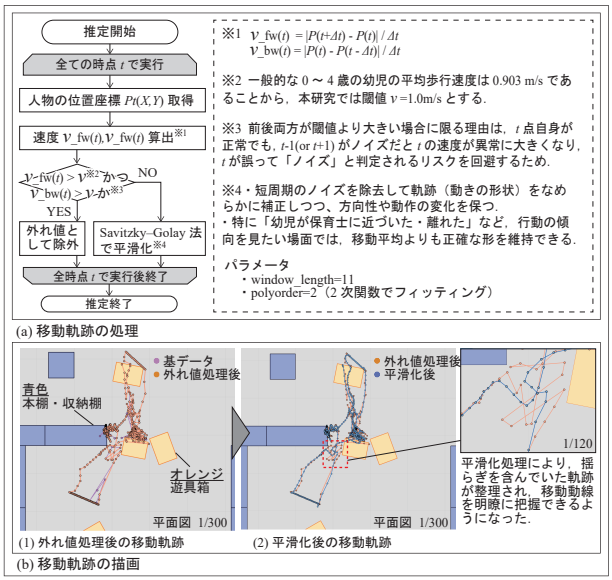


図 9 移動軌跡描画の概要

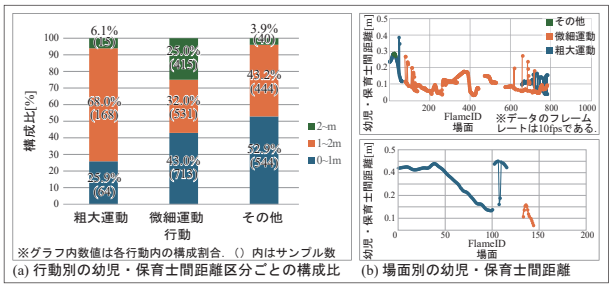


図 10　幼児行動と保育士の位置関係

本研究は，東京科学大学研究倫理審査会の承認を受けて実施している（承認番号：第 2023086 号）．

謝辞

本研究は，JSPS 科研費 JP23K20994 の助成を受けたものである．また，三原正一特定教授（東京科学大学・当時）高木真人准教授（京都工芸繊維大学），榊愛准教授（摂南大学）から多くの示唆を頂いた．ここに記して謝意を表す．

参考文献

飯田啓太・汪雪テイ・山崎俊彦・鳥海哲史・林幹久・野澤祥子・高橋翠・廣戸健悟・遠藤利彦・秋田喜代美（2020）保育施設における行動検出・理解のための映像データセット構築．「人工知能学会全国大会論文集」，34．

徐 華・小林 美紀（2020）２つの保育園の観察調査による空間構成に関する研究（その１）：２歳児クラスの交流行動と空間分布．「日本建築学会大会学術講演梗概集」，85（769），517-524．