幼児の投運動の特徴に関するキネマティクス研究： 1980 年代の幼児との比較

加藤 謙一¹ 尾高 千夏² 小林 育斗³ 阿江 通良⁴

A kinematics study on the characteristics of throwing movements in young children : comparison with the young children in the 1980s

Ken-ichi Katoh¹, Chinatsu Odaka², Yasuto Kobayashi³ and Michiyoshi Ae⁴

abstract

The purpose of this study was to clarify the difference between the present and the 1980s by comparing the throwing performance and throwing motion for young children from the viewpoint of kinematics. There were 29 children, 14 boys and 15 girls aged five years. Their tennis ball throwing motions were videotaped with two cameras for 3-D motion analysis (120 fps). The kinematic variables computed were the release velocity, release angle of the ball, the joint angles of the upper and lower limb joint and the segment angles of the trunk. The throw distance and release parameters were not significantly different between boys and girls. A significant positive correlation was found between the throw distance, the initial projection velocity, the projection angle, the projection height and the projection height ratio in boys and between the throw distance and the projection angle, steps and step ratios in the girls. In boys, the maximum velocity appeared in order from the shoulder to the elbow, and from the wrist to the hand to the ball, from near the trunk to the end. In girls, the maximum velocity of the elbow appeared earlier than that of the shoulder. These tendency were similar to the characteristics of young children about 35 years ago. There was no significant difference between boys and girls in shoulder angle, hip angle and trunk twist during maximum backswing. Comparing this study with that of about 35 years ago, the initial projection velocity and projection height were significantly decreased in boys, and no significant decrease in all items were observed in girls.

This suggested that the characteristics of throwing motions of boys and girls were similar. The values of the initial velocity and the height of the projection of boys were lower than those of about 35 years ago, suggesting that the throwing motion was poor.

Key words : motor development, fundamental movement skills, throwing motion, developmental biomechanics, annual comparisons

運動発達, 基礎的運動技能, 投動作, 発達バイオメカニクス, 年次比較

¹ 宇都宮大学共同教育学部

² 八街市立八街北小学校

³ 作新学院大学経営学部

⁴ 日本体育大学体育学部

¹ Cooperative Faculty of Education, Utsunomiya University

² Yachimata Kita Elementary School, Yachimata

³ Faculty of Business Administration, Sakushin Gakuin University

⁴ Department of Exercise Physiology, Nippon Sport Science University

I 緒 言

幼児期は走・跳・投などの基本的な運動発達が顕著にみられる時期であり、多様な運動が習得されるとともに、それらの動きが加齢にともなって急速に洗練されることが知られている (Meinel, 1981). 1985 年以降、子どもの体力・運動能力は、低下傾向が指摘されている (文部科学省, 2002). その長期的な低下の特徴は、4-6 歳児にも同様に認められ、とくにテニスボールやソフトボールの遠投能力の低下が顕著であることが明らかにされている (近藤ほか, 1998; 杉原ほか, 2007; 森ほか, 2010). この背景として、屋外での運動遊びの減少 (近藤ほか, 1998) や幼児を取り巻く社会環境・生活環境の変化 (文部科学省, 2002) が指摘されている。また、投運動の発達は走運動や跳運動に比べて、身体の発育発達よりも投運動の経験による影響の方が大きいことが知られている (桜井, 1992; 神事・桜井, 2005). このことから、投運動の発達には日常生活における投に関する運動遊びやその経験も重要であると考えられる。

幼児を対象とした投運動の発達に関する研究では、運動観察によってその特徴を明らかにする定性的研究 (Gesell, 1940; 宮丸・平木場, 1982; Robertson and Halverson, 1984; Wickstrom, 1970; Wild, 1938) と、キネマティクス分析によってその動作の特徴を明らかにする定量的研究 (豊島, 1980; 深代ほか, 1982; 桜井・宮下, 1982) がある。前者の研究では、宮丸・平木場 (1982) は、観察的な評価から投動作を類型化し、加齢につれて未熟な投動作から成熟した投動作に発達する過程を明らかにしている。さらに、どの年齢においても男児の方が女児よりも優れており、3 歳頃から性差は拡大し、6 歳ではその違いが顕著になることが指摘されている。

後者の研究では、桜井・宮下 (1982) は、2 次元座標における動作分析から、投球時のボール・手首・肘の水平方向速度の変化を求め、男女による動作の違いを検討している。その結果、男子では、5 歳になると、肘→手首→ボールのように体幹に近い部位から遠い部位へと順に加速していく動作がみられ、加齢につれて発達していくのに対し、女子では、男子のような投動作の発達がみら

れないことを明らかにしている。また、豊島 (1980) は、肩および腰の動きに着目し、男女による動作の違いを検討している。その結果、男子では、準備局面で腰、肩、腕を後方へ引き、軸足の接地直後に腰の回転から肩の回転へと連動しているが、体幹のひねりが行われているが、女子では、男子のような傾向が見られず肩および腰の回転を利用した投動作になっていないことを報告している。

これらの先行研究は、幼児期における投運動の発達の様相を明らかにする有益な知見を提供している。しかし、これらは体力・運動能力の水準が高かった 1985 年以前のもが多く、投能力の低下が指摘されている現在の幼児を対象に、投運動の特徴やその性差を明らかにしたものは数少ない。福富ほか (2013) は、男児 3 歳の 3 次元動作解析から脚のステップの有無によってその動作を比較検討している。その結果、ステップがある子どもは肩や腰の回転運動を大きくしていることを明らかにしているが、女児の特徴については言及していない。投運動は、幼児期からその能力や動作に明確な性差が指摘されていることから、現在においても幼児の投運動の特徴およびその性差を検討することは有意義であると考えられる。

本研究の目的は、幼児の投能力および投動作をキネマティクスの観点から分析し、1980 年代の幼児と比較することによって、現代の幼児における投能力の特徴およびその性差を明らかにすることである。加えて、幼稚園における運動遊びの実態を調査することによって、現代の幼児の投能力に影響する要因を探ることである。

II 研究方法

1. 被験児

被験児は、栃木県内の幼稚園に在籍する年長の男児 14 名 (身長 1.10 ± 0.05 m, 身体質量 18.7 ± 2.5 kg, 月齢 68.4 ± 2.7 カ月) および女児 15 名 (身長 1.10 ± 0.05 m, 身体質量 18.8 ± 1.9 kg, 月齢 68.3 ± 2.4 カ月) の計 29 名であった。

2. 実験手順および実験設定

実験は平成 27 年 5 月 25 日に実施した。試技の

図1 撮影条件

撮影に先立ち、キャリブレーションボール（高さ2.5mで9個の較正点を取り付けたボール）を撮影範囲（X軸方向1.6m、Y軸方向3.2m、Z軸方向2.5m）の15ヶ所に垂直に立てて撮影した。幼児の運動能力調査（文部科学省、2012）に準拠して、被験児に対して、硬式テニスボールを「できるだけ遠くに投げなさい」という指示で2回試技を実施した。そのうち記録の良い方を採用した。2回とも測定ができなかった場合（投げ損ない）は、追加測定を1回実施した。

図1に、撮影条件を示した。2台のビデオカメラ（スポーツセンシング社製GC-LJ20B、撮影速度120fps、露出時間1/1,000s）を、光軸が一直線上に並ばないように配慮して、投てきサークルの中心点から投射方向に向かって右側方20mの地点と右斜め20mの地点に配置し、2方向から同時に撮影した。また両映像の時間的同期は、2台のカメラを同期ケーブルで繋ぎLEDパルス光（DKH社製；PH-105）を映し込んだ。

3. データ処理および分析区間

1) データ処理

撮影されたビデオ画像をコンピューターにスー

パーインポーズさせ、1フィールドごとに身体計測点の24点と、ボールの中心である1点の計25点を、ビデオ動作解析システム（DKH社製Frame-DIAS V）を用いてパーソナルコンピューターに取り込んだ。その後、DLT法を用いて計測点の3次元座標値を算出し、後の平滑化や演算処理などを考慮して、分析範囲の前後10フィールドを加え、各点の座標を実長に換算した後、デジタルフィルターにより遮断周波数12Hzで平滑化した。また、基準座標系は、投射方向に対して前後方向をY軸、左右方向をX軸、鉛直方向をZ軸とした。なお、本研究における較正点の実測3次元座標と計測値との標準誤差は、X軸方向6mm、Y軸方向5mm、Z軸方向6mmであった。

2) 分析区間

分析区間は、先行研究（関根ほか、1999；尾縣ほか、2001）を参考に以下のように設定した。ボールが投げ腕手先から完全に離れた時点をボールリリース（以下「リリース」とする）とした。原則としてテークバック時にボールがもっとも後方に位置した時点からリリースまでの動作を主動作、主動作の前の動作を準備動作とした。準備動作から主動作に向けて軸脚と反対側の脚を前へ踏み出す動作をステップとし、準備動作に入る時点で既に脚が前後に開いているものはステップとみなさないこととした。分析範囲は、準備動作からリリースまでとした。なお、左投げの被験児については、座標を反転して右投げとして扱った。

4. 投動作データの算出項目

1) リリースパラメータ

リリース時のボールに関する以下のリリースパラメータを算出した。

- ・投射初速度：リリース時のボールの合成速度
- ・投射角度：ボール初速度のベクトルが水平面となす角度
- ・投射高：リリース直後のボール中心の高さ
- ・投射高比：身長で投射高を除した値

2) 投動作要因

準備動作および主動作におけるボールと身体各部位の速度に関する以下の項目を算出した。

- ・手先、手首、肘および肩の最高速度：主動作中における投球腕の手先、手首、肘、および肩の

図 2 角度定義

合成最高速度

- ・ 手部獲得速度：投射初速度と手首の合成最高速度との差
- ・ 前腕獲得速度：手首と肘の合成最高速度の差
- ・ 上腕獲得速度：肘と肩の合成最高速度の差
- ・ 各部分の速度変化：リリース前の0.08秒からリリース後の0.02秒までの0.1秒間におけるボール、手先、手首、肘、および肩の合成速度の時系列変化

さらに、先行研究（桜井・宮下，1982；小林ほか，2012；加藤ほか，2019）に依拠して、身体部分の角度と脚のステップに関する以下の項目を算出した（図2）。

- ・ 体幹の前後傾角度，側屈角度，ひねり角度，肩と腰の角度：説明は後述
- ・ 右肘関節の屈曲伸張角度：リリース時に右上腕と右前腕がなす角度（図2a）
- ・ 右肩関節の内外転角度，水平内外転角度：説明は後述

- ・ ステップ：主動作中にステップを行った左右つま先のY軸方向の距離
- ・ ステップ比：身長でステップを除した値

3) 体幹の角度と肩関節角度の算出方法

体幹の角度を算出するために、静止座標系Z軸と左大転子から右大転子へ向かう腰ベクトル S_{hip} との外積により y_{tr} 軸を求め、 y_{tr} 軸とZ軸との外積により x_{tr} 軸を決定した。体幹の前後傾角度は、大転子中心から両肩中心に向かう体幹ベクトル S_{tr} を y_{tr} Z平面に投影したベクトルがZ軸となす角度とし、直立姿勢から前傾を正、後傾を負とした（図2b）。その中で、主動作中の最大後傾角度とリリース時の前後傾角度を求めた。

体幹の側屈角度は、体幹ベクトル S_{tr} を x_{tr} Z平面に投影したベクトルがZ軸となす角度とし、直立姿勢から左侧屈を正、右侧屈を負とした（図2c）。その中で、主動作中の最大右侧屈角度とリリース時角度を求めた。

左肩関節から右肩関節へ向かう肩ベクトル S_{sh} ，

表 1 運動遊びに関する質問調査票

Q1. 自由遊びのとき、屋内遊びと屋外遊びのどちらが多いですか.	
1. 屋内遊び →	Q2. 1~6の中から最もあてはまるもの一つに丸をつけてください.
2. 屋外遊び →	Q2. 7~14の中から最もあてはまるもの一つに丸をつけてください.
Q2. 一番好んで遊ぶ活動は次のどれですか.	
<屋内遊び>	
1. 制作活動（折り紙・粘土・工作）	
2. 表現活動（歌・楽器・お絵かき）	
3. 知的活動（絵本・数遊び）	
4. 静的なごっこあそび（ままごとや人形遊び）	
5. トランプ・カードゲーム・積木	
6. ダンスなどの運動活動	
<屋外遊び>	
7. 動的なごっこ遊び（戦いごっこや鬼ごっこ）	
8. ボールゲーム【蹴】（サッカー）	
9. ボールゲーム【投】（ドッジボール・野球）	
10. ボールゲーム【その他】（種目名：_____）	
11. 跳躍的な運動活動（なわとび・ゴム跳び、タイヤ跳び）	
12. 自然を対象とした遊び（水遊び・虫取り・砂場）	
13. 固定遊具を使った遊び（ぶらんこ・滑り台・シーソー・うんていなど）	
14. 乗り物を使った遊び（三輪車・一輪車・キックボード）	

および左大転子から右大転子へ向かう腰ベクトル S_{hip} を水平面に投影し、それぞれのベクトルが静止座標系-Y軸となす角度を肩角度および腰角度として求めた。いずれも前方回転を正、後方回転を負とした。肩ベクトル S_{sh} が最も後方回転したときを最大バックスウィング時（以下「MBS時」とする）とし、MBS時肩角度、MBS時腰角度をそれぞれ求めた。そして、MBS時に肩ベクトル S_{sh} と腰ベクトル S_{hip} がなす角度の差を体幹のひねり角度とした（図2d）。

右肩の角度を算出するために、体幹ベクトル S_{tr} と肩ベクトル S_{sh} との外積により y_{sh} 軸を求め、 S_{sh} と y_{sh} の外積により z_{sh} 軸を決定した。右肩関節の内外転角度は、右肩関節から右肘関節へ向かう右上腕ベクトル S_{ua} を S_{sh} z_{sh} 平面に投影したベクトルと $-z_{sh}$ 軸とのなす角度とし、上腕を体側に下垂した姿勢から外転を正、内転を負とした（図2e）。その中で、主動作中の最大外転角度と最小外転角度の差、およびリリース時の外転角度を求めた。

右肩関節の水平内外転角度は、右上腕ベクトルと S_{ua} を S_{sh} y_{sh} 平面に投影したベクトルと y_{sh} 軸とのなす角度とし、90度より大きい場合を水平外転、小さい場合を水平内転とした（図2f）。その中で、

準備動作開始時からリリースにおける肩関節の最大水平外転角度を求めた。

5. 運動遊びに関する質問調査

被験児の運動遊びに関する調査を行った。表1に調査用紙を示した。調査は、保育士に対して、日常的な自由保育における様子をもとに回答してもらった。その内容は、平日の園内における屋外遊びの場所や時間およびその種類について調査した。なお、上記の硬式テニスボール投げの実験と運動遊びに関する質問調査については、園長、保育者および保護者の実験の趣旨と調査内容の書面をもとに伝え、同意を得た上で実施した。

6. 統計処理

男女児間における投距離および投動作要因の平均値を比較するために、対応のないt検定を行った。また、男女別に投距離と投動作要因の関係についてそれぞれ相関係数を求めた。さらに、先行研究（宮丸・平木場、1982）と本研究の投能力の平均値を比較するために、標本数（被験児数）、平均値、標準偏差を用いて母平均の差のメタ分析を行った。統計処理では有意性の判断基準を5%と

図3 1980年代と本研究の幼児の投距離、投射初速度、投射角度および投射高の比較

した。

Ⅲ 結 果

1. 被験児の特性

本研究の被験児の投距離の平均値は、男女児それぞれ5.9 m, 4.9 mであった。これらの値を幼児の運動能力調査（文部科学省，2012）の同年齢の得点表に当てはめると、5段階評価の3に相当しており、5歳児の標準的な能力であると考えられた。比較対象とした1980年代の値（宮丸・平木場，1982）も、本研究と同じ硬式テニスボールを使用したものであった。しかし、当時のテストは一般的にはソフトボール投げであり、硬式テニスボールでは実施されていないため、この値は、標準的なものであると確定することはできなかった。

2. 男女児間における投能力および投動作

1) 投能力の比較

図3に、1980年代の値（宮丸・平木場，1982）と本研究の値を比較（1980年代 vs 本研究）した。男児において、投距離（7.9 ± 3.3 m vs 5.9 ± 2.1 m）、投射初速度（12.6 ± 2.7 m/s vs 8.2 ± 1.4 m/s）および投射高（1.31 ± 0.20 m vs 1.23 ± 0.08 m）は、1980年代の方が本研究よりもいずれも有意に大きいものであった。

表2に、男女別に各測定項目の平均値を示した。リリースパラメータのすべての項目において男女児間に有意な差はみられなかった。投動作要因において男女児間に有意な差がみられたものは、主動作中の肘の最高速度、リリース時外転角度であった。

図4に、身体各部位およびボールリリース前後における速度変化を示した。男児では、肩→肘→手首・手先・ボール、女児では、肘→肩→ボール

表2 男女児間における投動作要因の比較

	男児 (n=14)	女児 (n=15)
投距離 (m)	5.9±2.1	4.9±1.5
投射初速度 (m/s)	8.2±1.4	7.8±1.4
投射角度 (deg)	23.5±16.5	18.7±16.3
投射高 (m)	1.23±0.08	1.26±0.10
投射高比	1.12±0.08	1.15±0.08
ステップ (m)	0.20±0.23	0.10±0.12
ステップ比	0.19±0.21	0.09±0.11
主動作中最高速度		
手 (m/s)	8.7±1.8	7.8±1.4
手首 (m/s)	6.7±1.0	6.1±1.3
肘 (m/s)	4.3±1.0	3.4±1.0*
肩 (m/s)	2.4±0.6	2.0±0.6
手部獲得速度 (m/s)	1.4±1.2	1.7±0.9
前腕部獲得速度 (m/s)	2.5±0.8	2.7±0.5
上腕部獲得速度 (m/s)	1.8±0.6	1.4±0.6
身体角度		
体幹角度		
主動作中最大後傾角度 (deg)	-9.4±3.1	-8.8±8.2
リリース時前後傾角度 (deg)	5.0±5.8	9.4±9.4
主動作中最大右側屈角度 (deg)	-8.4±8.4	-5.0±9.0
リリース時側屈角度 (deg)	8.0±12.3	6.5±13.9
MBS時肩角度 (deg)	15.9±38.5	31.7±41.2
MBS時腰角度 (deg)	46.3±39.4	66.7±57.5
体幹のひねり角度 (deg)	-30.5±18.0	-35.0±37.8
上肢角度		
リリース時肘屈伸展角度 (deg)	128.1±24.8	133.7±19.1
主動作中最大外転角度-最小外転角度 (deg)	51.0±32.9	59.3±34.6
リリース時外転角度 (deg)	113.9±17.8	132.2±15.6**
最大水平外転角度 (deg)	99.8±29.4	116.5±39.8
平均値±標準偏差	*: p<0.05, **: p<0.01	

→手首・手先, の順にそれぞれ最高速度が出現した。

2) 投距離と各投動作要因の関係

表3に, 投距離と各動作要因の関係を示した。投距離と有意な相関関係がみられたものは, 男子では, 投射初速度, 投射角度, 投射高, 投射高比, 主動作中の手, 手首, 肩の最高速度に正の, リリース時前後傾角度に負の相関関係が認められた。一方女子では, 投射角度, ステップ, ステップ比に正の相関関係が認められた。

3. 運動遊びに関する質問調査

幼児の幼稚園における自由時間の屋外遊びと屋内遊びの割合とその遊びの種類を調べた結果, 屋外遊びと屋内遊びの割合は, 男児ではそれぞれ57.1% (n=8), 42.9% (n=6), 女児ではそれぞ

れ13.3% (n=2), 86.7% (n=13)であった。屋外遊びとその種類の割合は, 男児では動的なごっこ遊び(鬼ごっこ, 戦いごっこ)が87.5% (n=7), 固定遊具を使った遊び(ブランコ, 滑り台等)が12.5% (n=1)であり, 女児では, 屋外遊びの種類は固定遊具を使った遊びのみ(n=2)であった。男女児とも運動遊びの種類をみると, 投に関する運動遊びをしている幼児はみられなかった。また, 男女児の屋内遊びの種類には, 制作活動(折り紙, 粘土, 工作), 表現活動(歌, 楽器, お絵かき), 静的なごっこ遊び(ままごとや人形遊び)がみられた。

IV 考 察

幼児の投動作は2-6歳頃までに未熟な動作から

図4 身体各部位およびボールのリリース前後における速度変化
図中の●は、それぞれの最高速度を示している。

成熟した動作へと洗練していくことや、どの年齢においても男児の方が女児よりも優れており、3歳頃から性差は拡大し、6歳ではその違いが顕著になることが指摘されている（宮丸・平木場, 1982）。しかし、本研究では、リリースパラメータのすべての項目において、男児と女児の間に有意な差はみられなかった。このことは、これまでの幼児期における知見とは異なる結果であったことを示唆している。それではなぜ、本研究と先行研究の結果が異なっていたのであろうか。この原因を探ることは、現在の幼児の投動作の特徴やその問題点を明らかにし、この時期における投運動に関する指導に資する知見が得られると考えられる。そこで、本研究では1980年代の幼児と本研究の幼児の投能力を比較するとともに、幼稚園における運動遊びの実態を考慮しながら、男女児間における投距離と投動作の関係を通して、幼児の特徴および性差について考察する。

表3 男女別にみた投距離と各投動作要因の関係

	男子 (n=14)	女子 (n=15)
投射初速度	0.807**	0.357
投射角度	0.635*	0.709**
投射高	0.582*	0.231
投射高比	0.541*	0.264
ステップ	0.417	0.664**
ステップ比	0.413	0.659**
主動作中最高速度		
手	0.638*	0.437
手首	0.588*	0.345
肘	0.429	0.375
肩	0.524*	0.344
手部獲得速度	0.447	0.054
前腕部獲得速度	0.232	0.164
上腕部獲得速度	0.151	0.288
身体角度		
体幹角度		
主動作中最大後傾角度	-0.055	-0.158
リリース時前後傾角度	-0.659*	-0.166
主動作中最大右側屈角度	0.003	0.046
リリース時側屈角度	-0.031	0.039
MBS 時肩角度	-0.080	-0.415
MBS 時腰角度	-0.025	-0.065
体幹のひねり角度	-0.227	0.353
上肢角度		
リリース時肘屈伸角度	0.145	-0.321
主動作中最大外転角度-最小外転角度	-0.235	0.093
リリース時外転角度	0.010	-0.205
最大水平外転角度	0.177	0.294

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

1. リリースパラメータについて

遠投における投距離は、空気抵抗を無視した場合、ボールの投射初速度、投射角度、投射高の3つの要因によって決定される。1980年代の幼児の投距離の値（宮丸・平木場, 1982）と本研究の値を比較から、男児の投距離、投射初速度および投射高は、1980年代の方が本研究よりもそれぞれ有意に大きい値であった。このことは、男児において本被験児が1980年代よりも、低い高さで遅くボールを投げ出している動作に変容していることを示唆している。加えて、本研究の男児の投距離や投射初速度は、1980年代の女児の値に近いものであり、投能力も大きく低下していることが考えられる。一方、女児においては1980年代と本被験児にはいずれの項目も有意な差はみられなかった。このような年次推移において男児の投能力が

有意に低下した理由については、運動遊びとの関連で述べる。

2. 投動作について

桜井・宮下(1982)は、男女3-9歳を対象に、投球時のボール・手首・肘の水平方向の速度変化に関する研究から、男子では、5歳以降に肘→手首→ボールのように体幹に近い部位から遠い部位へと順に加速していくのに対して、女子では、9歳になっても、男子のような投動作はみられないことを報告している。本被験児の身体各部位の速度変化は、男児では肩→肘→手首・手先・ボールと、体幹部近くから末端へと順序よく最高速度が出現していた。一方女児では、肩よりも肘の最高速度の方が早く出現していた。この傾向は、1980年代の幼児の特徴と同様であり、男児の方が女児よりも体幹で獲得したエネルギーを効率よく末端へ伝えていることが示唆された。また、本研究における男児の投距離と、主動作中の手および手首の最高速度の間にそれぞれ有意な正の相関関係があることから、前述した身体各部位の速度変化も考慮すれば、男児のリリース時の手や手首の動作は、理にかなった動作と考えられる。しかし、前述したように、投射初速度は、1980年代の男児の値と比較すると、約4m/s低下していることを考慮すれば、ボールを投げ出す手の動作が拙くなっていることが示唆される。

豊島(1980)は、幼児から小学6年生を対象に、投動作の体幹の回転に関する研究から、5歳児の投動作の優れた子どもは、肩および腰の動作が大きく使えること、そして肩を後方へ引いて肩と腰のひねりを作ることで投距離を向上させることを報告している。また、宮丸・平木場(1982)は、女児では体幹のひねりがあまりみられないことを報告している。しかし、本被験児のMBS時肩角度、腰角度および体幹のひねりは男女児の間にそれぞれ有意な差はみられなかった。この傾向は、1980年代の幼児の特徴とは異なり、現在の幼児は、体幹のひねりに明確な男女差がなくなっていることを示唆している。また、1980年代の幼児を対象とした投動作の研究(豊島, 1980; 宮丸・平木場, 1982; 桜井・宮下, 1982)では3次元による動作解析が行われていなかったこともあり、

詳細なデータの比較ができないため推測の域を出ないが、これらの動きに男女差がないということは、男児の体幹のひねりが以前とは異なり、女児のような体幹のひねりが小さい動作になったものと推察された。

前述した身体各部位の速度変化における男女の比較では、男児の方が女児よりも効率のよい投げ方をしていると考えられる一方で、体幹のひねりでは、男児の動きが拙くなっていると考えられる。そして、このことが、男児の投射初速度や投射高が1980年代の値よりも有意に減少した要因の一つとして考えられた。すなわち、本研究の男児の投動作が1980年代の男児よりも体幹のひねりが減少したことによって投動作が拙くなったものと考えられた。

投距離獲得の3条件、すなわち投射初速度、投射角度および投射高について、男児ではこれらの3つの要因は全て投距離と有意な正の相関関係が認められた。このことは男児ではボールを遠くへ投げる動作に関して合理的な動きをしているものがよい記録を出していることになる。一方、女児は3条件のうち投射角度のみが有意な相関関係がみとめられた。このことは、投げ出すときの手の速度や投げ出す角度が投距離には関係がなく、まだ投動作の習得が十分でないことが示唆される。その一方で、ステップやステップ比には有意な相関関係がみられることから、男子とは異なり、勢いよく投げ出すために足を踏み出すことが投距離の獲得に影響していることが示唆された。

3. 運動遊びの実態

ボールを投げるという非日常的な動作は、運動構造が複雑であるため、経験を積み重ねれば動作の上達は難しいと指摘されている(桜井, 2003)。1980年代と本研究のリリースパラメータを比較すると、男児では投射初速度および投射高が有意に低下しているのに対し、女児ではすべての項目において有意な低下はみられなかった。

このような男児の投動作が拙くなった理由には、男児の遊びが変化したことが考えられる。中村(1999)は、子ども世代、父母世代、祖父母世代の3世代の遊びの種類について調査し、子どもの遊びの変貌を明らかにしている。そこで、投に

関する運動遊びの実態について、1980年代（父母世代）と本研究を比較すると、女兒ではいずれも投に関する運動遊びを行っていなかった。一方男児では、1980年代は、野球やドッジボールなどの投に関する運動遊びが多くみられたのに対し、本被験児は、投に関する運動遊びは全くみられなかった。このことから、女兒では、1980年代も現在も投に関する運動遊びを行っていないことにより、投動作が拙いままであること、男児では、投に関する運動遊びの機会がなくなったことにより、1980年代と比べて投動作が拙くなっていることが示唆された。したがって、ボール投げなどの運動遊びや身体を動かす機会を増やすことがこの時期の体力低下に歯止めをかけ、投能力を向上させるために重要であると考えられる。

V 要 約

本研究の目的は、幼児の投能力および投動作をキネマティクスの観点から分析し、1980年代の幼児と比較することによって、現代の幼児における投能力の特徴およびその性差を明らかにするとともに、幼稚園における運動遊びの実態を調査することによって、現代の幼児の投能力に影響する要因を探ることである。その結果は、以下のように要約できる。

- 1) 本研究と1980年代の投距離の値を比較すると、男児では2 m、女兒では0.2 m 短いものであった。また、投射初速度、投射角度、投射高を比較すると、男児の投射初速度および投射高は、本研究の値の方が有意に低い値であった。
- 2) 投距離とリリースパラメータのすべての項目において、男女児の間に有意な差はみられなかった。その中で、男児では投距離と、投射初速度、投射角度、投射高および投射高比に、女兒では投距離と、投射角度、ステップおよびステップ比の間にそれぞれ有意な正の相関関係が認められた。
- 3) 身体各部位の速度変化は、男児では肩→肘→手首・手先・ボールと体幹部近くから末端の順に最高速度が出現しているのに対し、女兒では肘→肩→ボール→手首・手先の順に最高

速度が出現した。

- 4) MBS時肩角度、腰角度および体幹のひねり角度は、男女児の間にそれぞれ有意な差はみられなかった。

以上のことから、本被験児の投能力および投動作は、投距離とリリースパラメータのすべての項目において男女児の間に有意な差がみられなかった。このことは、男児と女兒の投動作の特徴が類似してきたことを示唆するものであった。また、男児の投射初速度や投射高の値は、1980年代よりも低下していることから、その投動作は、拙くなっていることが示唆された。

付記

本論文は日本発育発達学会第18回大会（最優秀研究賞）で発表したデータに基づいて書かれたものである。この研究は科学研究費補助金（基盤研究（B）（一般）課題番号26282172、研究代表者：阿江通良）および科学研究費補助金（基盤研究（C）（一般）課題番号19K11616、研究代表者：加藤謙一）の助成によって行われた。本研究に関して、開示すべき利益相反関係事項はない。

謝辞

研究を進めるにあたり、快くお引き受け下さった当該幼稚園の園長先生をはじめとする先生方そして幼児及び保護者の皆様に心より感謝申し上げます。

文 献

- 深代千之、稲葉勝弘、小林規、宮下充正（1982）幼児期にみられる投能力の発達。J. J. Sports Sci, 1, 231-236
- 福富恵介、春日晃章、内藤譲、濱口幸亮、高木雄基（2013）脚のステップ動作別にみた3歳児における投動作の3次元動作解析、教育医学, 59, 121-128
- Gesell, A. (1940) The First Five Years of Life : A guide to the study of the preschool child, Harper & Brothers Publishers, 76-107
- 加藤謙一、佐藤裕也、林田浩二、小林育斗、阿江通良（2019）小学5年生のティーボールの授業における投能力の学習効果、発育発達研究, 82, 34-44
- 小林育斗、阿江通良、宮崎明世、藤井範久（2012）優れた投能力をもつ小学生の投動作の特徴とその

- 標準動作, 体育学研究, 57, 613-629
- 近藤充夫, 杉原隆, 森司朗, 吉田伊津美 (1998) 最近の幼児の運動能力, 体育の科学, 48, 851-859
- Meinel, K. 著, 金子明友訳 (1981) マイネル・スポーツ運動学, 大修館書店, 299-314
- 宮丸凱史, 平木場浩二 (1982) 幼児のボールハンドリング技能における協応性の発達 (3) —投動作様式の発達とトレーニング効果—, 体育科学, 10, 111-124
- 文部科学省 (2002) 子どもの体力向上のための総合的な方策について (答申), 中央教育審議会 (冊子体), 2002 (平成14年9月30日)
- 文部科学省 (2012) 幼児期運動指針ガイドブック, 幼児期運動指針策定委員会, 52-53
- 森司朗, 杉原隆, 吉田伊津美, 筒井清次郎, 鈴木康弘, 中本浩輝, 近藤充夫 (2010) 2008年の全国調査からみた幼児の運動能力, 体育の科学, 60, 56-66
- 中村和彦 (1999) 子どもの遊びの変貌, 体育の科学, 49, 25-27
- 尾縣貢, 高橋健夫, 高本恵美, 細越淳二, 関岡康雄 (2001) オーバーハンドスロー能力改善のための学習プログラムの作成—小学校2・3年生を対象として—, 体育学研究, 46, 281-294
- Robertson, M. A., Halverson, L. E. (1984) Developing Children—Their Changing Movement, Lea & Febiger, 102-123
- 桜井伸二, 宮下充正 (1982) 子どものオーバーハンド投げの発達, J. J. Sports Sci, 1, 152-156
- 桜井伸二 (1992) 投げる動きを教える—格好よく投げるためには—, 体育の科学, 42, 627-630
- 桜井伸二 (2003) どうしたらじょうずに投げられるようになるか, バイオメカニクス研究, 7, 353-354
- 関根克治, 豊川琢, 阿江通良, 藤井範久, 島田一志 (1999) 小学生男子における投動作の発達に関するキネマティクスの研究, バイオメカニクス研究, 3, 2-11
- 神事努, 桜井伸二 (2005) 子どもの投動作の指標, 子どもと発育発達, 3, 80-84
- 杉原隆, 近藤充夫, 吉田伊津美, 森司朗 (2007) 1960年代から2000年代に至る幼児の運動能力発達の時代変化, 体育の科学, 57, 69-73
- 豊島進太郎 (1980) ボール投げと体幹のひねり, 体育の科学, 30, 478-482
- Wickstrom, R. L. (1970) Fundamental Motor Pattern, Lea & Febiger, 71-93
- Wild, M. R. (1938) The behavior pattern of throwing and some observations concerning its course of development in children, Res Q, 9, 20-24
- (受付: 2020年10月28日 受理: 2021年3月22日)

加藤 謙一 (かとうけんいち)

現職: 宇都宮大学学術院/共同教育学部
教授

筑波大学大学院体育学研究科修士課程 (コーチ学) 修了。
博士 (体育科学), 日本発育発達学会理事。
専門は, 発育発達, 発達バイオメカニクス。主に幼児から高校生を対象に基礎的な動作の発達とそれらの観察評価について研究している。