

満4歳男児の跳躍動作における空中局面の動作分析

Motion analysis in the air phase of jumping in 4-year-old boys

濱口幸亮¹⁾・春日晃章²⁾・福富恵介²⁾・山本紗綾¹⁾

Kohsuke Hamaguchi¹⁾, Kosho Kasuga²⁾, Keisuke Fukutomi²⁾ and Saya Yamamoto¹⁾

1) 岐阜大学大学院教育学研究科

Graduate School of Education, Gifu University

2) 岐阜大学教育学部保健体育講座

Department of Physical Education, Faculty of Education, Gifu University

Abstract

The purpose of this study was to analyze the three-dimensional motion analysis of jumping in 4-year-old boys using the biomechanics viewpoint to clarify the characteristic in the air phase. We selected 20 (10 high-rank boys; 10 low-rank boys) that performed standing long jumping. Four high-speed cameras (CASIO EX-F1) captured an image of both groups subjected to the jumping motion. Three-dimensional motion analysis was performed by using the Frame-DIAS IV. The Mann-Whitney U test was used for statistical analysis. It showed significant inter-group differences in extension of the lower limbs after leaving the ground. Therefore, the jumping motion analysis of young children suggested that it was important to extend the legs.

キーワード：満4歳男児，跳躍動作，空中局面

Key words: 4-year-old boys, jumping, the air phase

I. 緒言

跳躍動作は，幼児期に著しく発達し，7，8歳頃までに成人と同じ動作様式に成熟する⁴⁾。そのため，神経機能の発達が著しい幼児期に多様な運動遊びを通して動作習熟のための適切な働きかけがなされるべきである。ところが，幼児の立ち幅跳びの跳躍距離が男女ともに1973年から2008年にかけて長期的に低下傾向であること¹⁴⁾，加えて，3歳から5歳にかけて動作様式の発達が未熟な段階にとどまっていること⁸⁾が報告されており，幼児期における跳躍力の発達を促すような環境が十分に整備されていないようである。

幼児がさまざまな運動遊びを行うなかで自然と跳躍動作を身につけることが理想であるが，身体活動の減少や遊びの質的变化がみられる昨

今の子どもたちには，ポイントを捉えた適切な指導を行うことも重要である²⁾。そのためには，幼児の跳躍動作の発達過程を理解しなければならない。これまで，跳躍動作の特性を明らかにするため主に観察的な手法が多く用いられてきた⁸⁾¹³⁾。しかし，近年ではハイスピードカメラや動作解析ソフトの普及により，定量的な動作分析も行われるようになってきた¹⁾³⁾⁹⁾¹⁰⁾¹⁶⁾。内藤ら⁷⁾は3歳女児を対象に跳躍距離の優劣による動作様式の違いを，3次元動作解析法を用いて詳細に検討している。また，濱口ら⁹⁾は同様の手法を用いて3歳男児の準備局面から踏切までの動作を分析している。しかし，跳躍距離の獲得に重要な動きが含まれる空中局面の動作は検討されていない。

そこで本研究は，満4歳男児の立ち幅跳び動作

における、踏切から着地までの空中局面に着目し、跳躍力の優れる子どもと劣る子どもの動作の違いをキネマティック的に明らかにすることを目的とした。

II. 研究方法

1. 対象

年少学年に属する、満4歳男児105名の中から、立ち幅跳びテストにおける跳躍距離の上位10名（以下、上位群）および下位10名（以下、下位群）の計20名を分析対象とした。両群の跳躍距離（上位群：105.8±7.7cm，下位群：55.3±5.0cm）の平均値に有意な差が認められた（ $p<0.01$ ）。年齢（上位群：4.2±0.3歳，下位群：4.1±0.3歳）、体重（上位群：17.0±1.5kg，下位群：16.3±2.1kg）および握力（上位群：6.2±2.1kg，下位群：4.9±1.8kg）については、両群に有意な差は認められなかったものの、身長（上位群：103.5±3.0cm，下位群：99.4±3.4cm）については、有意な差が認められた（ $p<0.01$ ）。

2. 動作解析

立ち幅跳びテストにおける跳躍動作の空中局面を分析するために、4台のデジタルカメラ（CASIO EX-F1）を用いてハイスピードモードにて撮影した。対象者には縦3.0m，横2.0mおよび高さ1.5mの空間で、1人につき1回の試技を行わせた。試技前に、高さ1.5mのポールを地面と垂直になるように立て、9か所でキャリブレーションを行った。対象者の体には、分析の手助けとなるように、直径2cmの白色マーカーを身体各セグメント端点に貼付し¹⁸⁾、シャッタースピード1/1000秒，毎秒300コマで動きを撮影した。カメラの設置場所は、対象者から向かって右側方，前方，左前方および左後方とした。

動作分析には、Frame-DIASIV（DKH社製）を用いて、100Hzでデジタイジングを行った。遮断周波数の決定には、バターワース型ローパスフィルターを適用し、データの平滑化を行った（4.5～8.4Hz）。

3. 動作の局面分けおよびデータの規格化

分析区間は、図1に示した離地時から着地時

までの空中局面とした。さらに、離地から最大身体重心高までの動きを空中局面前半，最大身体重心高から着地までの動きを空中局面後半として、それぞれの局面に要した時間を50%に規格化し、規格化時間1%ごとに平均値を算出し、上位群および下位群の平均化した動作を分析した。

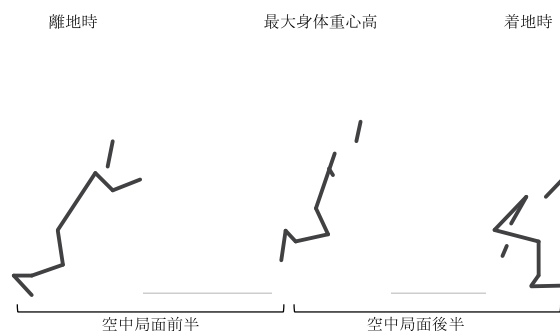


図1 動作の局面分け

4. 分析項目

1) 離地時および着地時における各関節中心点間の水平距離

離地時および着地時における動きを検討するために、水平軸上における足関節，膝関節，股関節および肩関節の関節中心点間の距離を算出し、その身長比を比較した。分析項目は、足関節中心から膝関節中心までの距離（足一膝），足関節中心から大転子までの距離（足一腰），足関節中心から肩関節中心までの距離（足一肩），膝関節中心から大転子までの距離（膝一腰），膝関節中心から肩関節中心までの距離（膝一肩）および大転子から肩関節中心までの距離（腰一肩）とした（図2）。なお、各関節中心点間の傾きが前方にあるときをプラス，後方にあるときをマイナスとした。

2) 空中局面における各関節の角度および角速度

空中局面の動きを検討するために、膝関節，股関節および肩関節の矢状面における角度および角速度を算出した（図3）。なお、肩関節の角度は、上腕部が胴体部（肩峰と大転子の中点を結んだ線分）より前方に位置した場合をプラス，後方に位置した場合をマイナスとした。

5. 統計解析

Excel統計2012 (SSRI社製) を用いて、各分析項目における上位群と下位群の差を検討するために、マン・ホイットニーのU検定を適用した。統計的有意水準は全て5%未満とした。

III. 結果

1. 離地時および着地時における各関節中心点間の水平距離

表1に、離地時における各関節中心点間の水平距離を示した。離地時において、上位群は下位群に比べて全ての項目で有意に高い値を示した。

表2に、着地時における各関節中心点間の水平距離を示した。着地時において、上位群と下位群の間で膝—大転子にのみ有意な差が認められた。

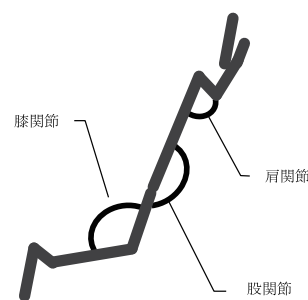
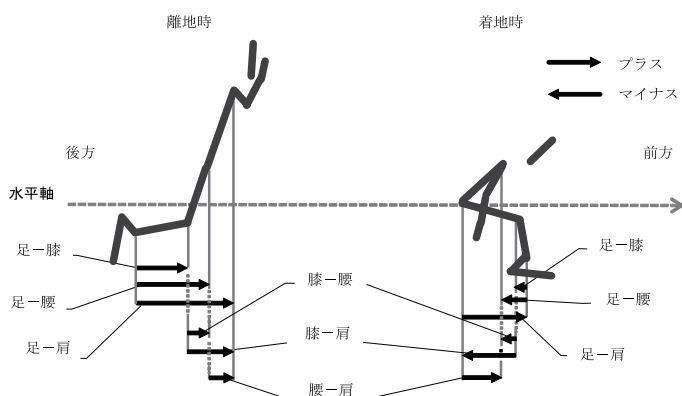


図2 離地時および着地時における各関節中心点間の水平距離規定

図3 各関節の角度規定

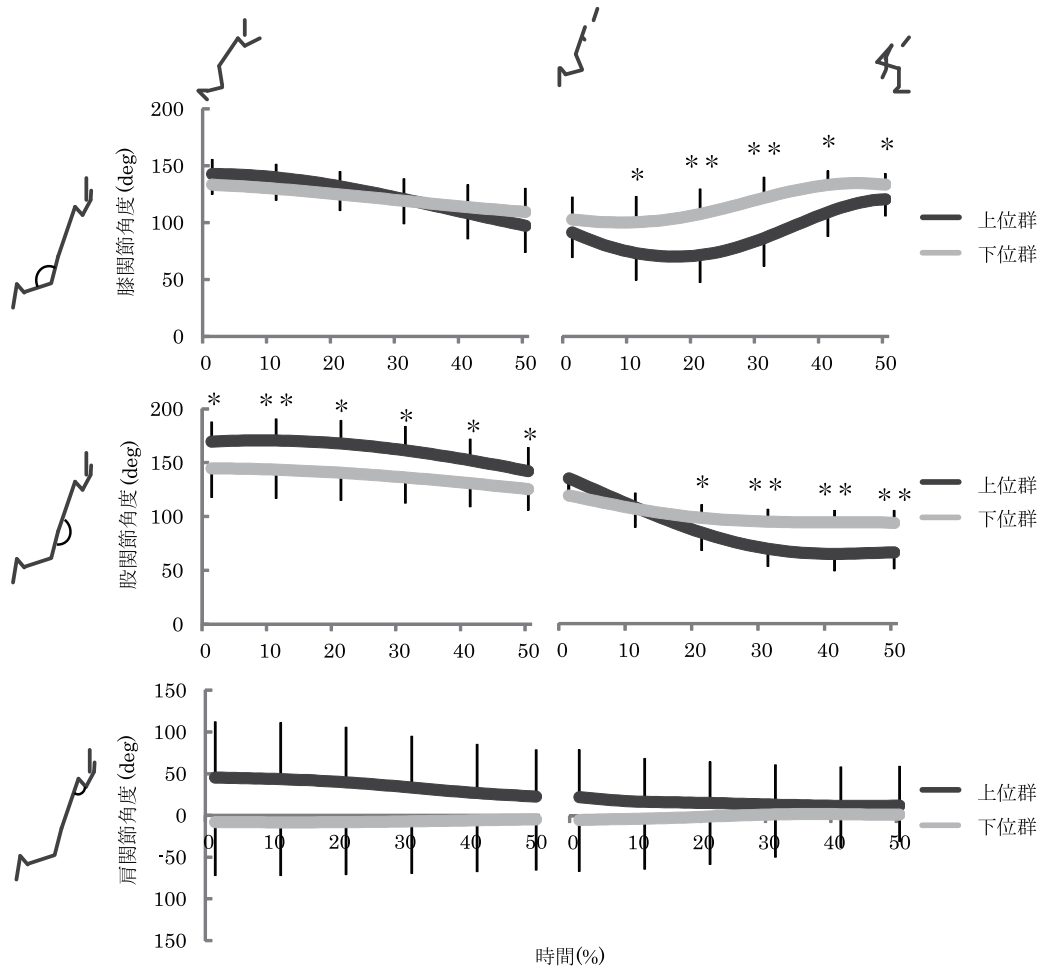
表1 離地時における跳躍力別の各関節間の水平距離

	上位群		下位群		検定結果
	関節間距離/身長		関節間距離/身長		
	MEAN	S.D.	MEAN	S.D.	p値
足—膝	0.17	±0.02	0.12	±0.06	0.008 上位>下位
足—腰	0.24	±0.06	0.09	±0.12	0.002 上位>下位
足—肩	0.41	±0.07	0.23	±0.12	0.001 上位>下位
膝—腰	0.07	±0.06	-0.03	±0.08	0.005 上位>下位
膝—肩	0.24	±0.06	0.11	±0.08	0.001 上位>下位
腰—肩	0.17	±0.04	0.14	±0.03	0.041 上位>下位

表2 着地時における跳躍力別の各関節間の水平距離

	上位群		下位群		検定結果
	関節間距離/身長		関節間距離/身長		
	MEAN	S.D.	MEAN	S.D.	p値
足—膝	-0.03	±0.05	-0.03	±0.04	0.597 n.s.
足—腰	-0.22	±0.06	-0.18	±0.06	0.112 n.s.
足—肩	-0.03	±0.06	-0.01	±0.06	0.226 n.s.
膝—腰	-0.19	±0.02	-0.15	±0.03	0.002 上位>下位
膝—肩	0.00	±0.03	0.02	±0.03	0.257 n.s.
腰—肩	0.19	±0.03	0.17	±0.03	0.112 n.s.

注) n.s. : no significant differen



注) **: p<0.01, * : p<0.05

図4 跳躍力別の膝関節, 股関節および肩関節角度

2. 空中局面における各関節の角度および角速度

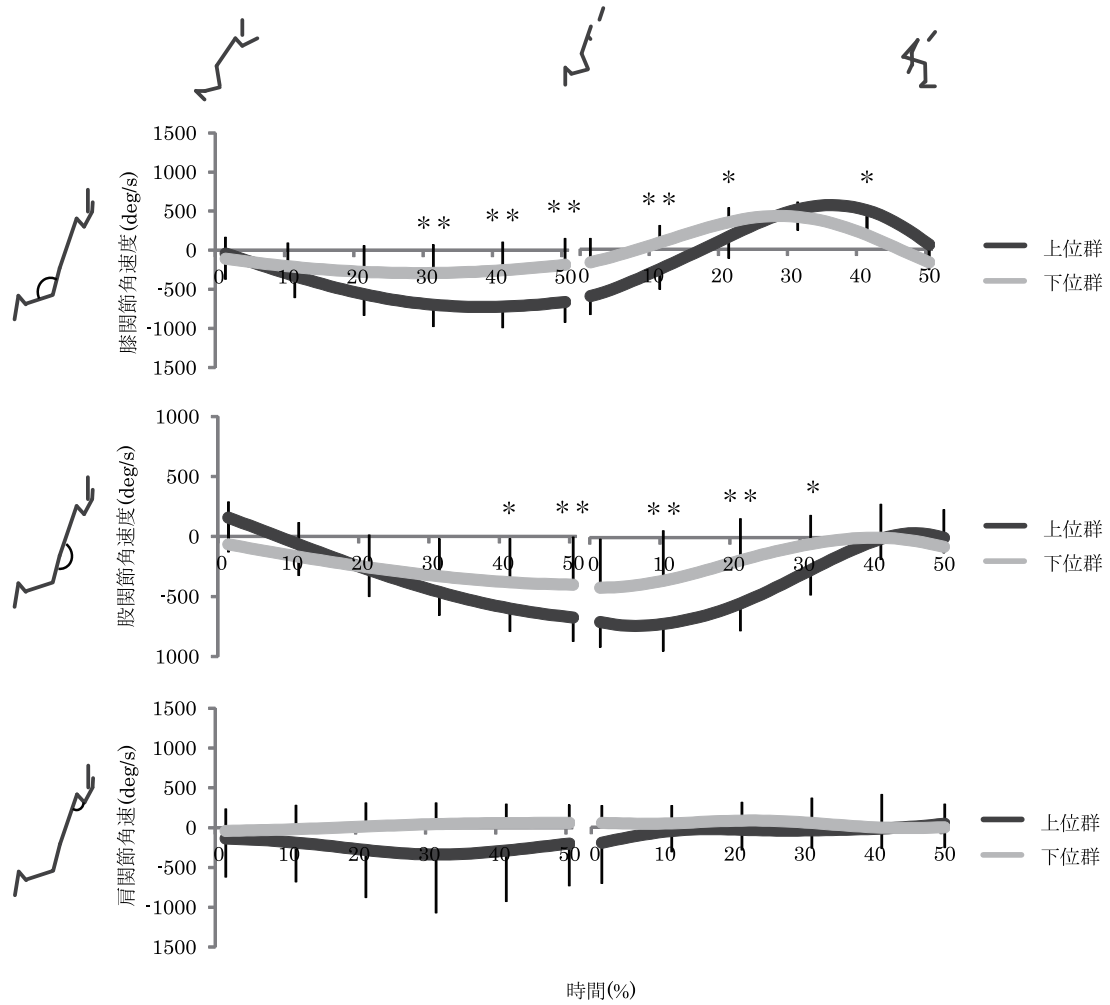
図4に跳躍力別の膝関節, 股関節および肩関節角度を示した. 空中局面前半において, 上位群は下位群に比べて, 股関節角度が大きい傾向を示した. また, 空中局面後半においては, 上位群の方が膝関節および股関節をより屈曲させて着地していた. 肩関節については, 両群に有意な差は認められなかった.

図5に跳躍力別の膝関節, 股関節および肩関節角速度を示した. 空中局面前半において, 上位群は下位群に比べて, 有意に速い角速度で膝関節を屈曲させていた. さらに, 空中局面前半から後半にかけて, 下位群に比べて上位群の方が有意に高い角速度で股関節を素早く屈曲させていた. 肩関節については, 上位群と下位群の間に有意な差は認められなかった.

IV. 考察

本研究は, 満4歳男児を跳躍力の優劣によって2群に分け, その空中局面における動作をキネマティクス的に比較することで, 跳躍距離に影響を及ぼす動作ポイントを明らかにすることを目的とした.

宮丸¹³⁾は, 幼児期における立ち幅跳びの踏切の瞬間について, 下肢関節の伸展動作が運動範囲を増大させる要因であることを述べている. 立ち幅跳びは, 水平方向への最大距離を求める跳躍であり, 前方への大きな運動量が要求される. したがって, 運動範囲の増大は前方への運動量を増大させるために重要な働きである. 本研究で対象とした満4歳男児の上位群と下位群の離地時の動きを比較した結果, 上位群の方が股関節を大きく伸展しており, 各関節の水平方向の運動範囲も大きかった(表1). 股関節の伸



注) **: p<0.01, * : p<0.05

図5 跳躍能力別の膝関節, 股関節および肩関節角速度

展角度は, 内藤ら⁷⁾が3歳女児を対象に股関節伸展角度を上体角度と大腿角度に分けて跳躍力の優劣で比較した結果, 跳躍力の優れている子の方が大腿角度を大きく伸展していることを明らかにした. このことは, 股関節を中心に大腿部を伸展させながら地面を蹴る動作に違いがあると思われる⁷⁾. 辻野ら⁶⁾は, 立ち幅跳び離地時にみられる床反力の最大値は2歳頃から現われ6歳頃まで経年的に増加するとした. この要因としては, 深代¹¹⁾が腱の伸張を巧みに使う調整能を習得し始めているとし, 必ずしも下肢筋力による床反力の増大ではないことを示唆している. 本研究において, 上位群と下位群の間で静的な筋力における差は認められなかったことから, 下肢筋力による跳躍力の差とは考えられにくい. これについては, 腕を振り上げる動作が

運動量を増大させる推進器として用いられている可能性が考えられる¹³⁾. しかし, 上位群と下位群の間で肩関節の動きに違いはみられなかったことから (図4, 図5), 腕が推進器として機能していたとは言い難い. しかし, 3歳女児においては腕の振り上げ動作が推進力を高めている可能性が示唆されている⁷⁾. このことから, 跳躍離地時にみられる地面を蹴る動作は, 腱の調整能を利用するような大腿を伸展させる動きであることが示唆された. したがって, 4歳児の跳躍指導については, 股関節を中心に大腿部を伸展させながら地面を蹴る動作に加えて, 腕を振り上げる動作も今後詳しく検討する必要がある.

窪ら³⁾は, 大学男子陸上競技選手の立ち幅跳びにおいて, 空中局面前半の股関節屈曲トルクが

下腿を巻き込み、これが下肢の慣性モーメントを小さくし、大腿を素早く前方に引き上げることを容易にすると述べている。下肢関節角度をみると、上位群は下位群に比べて、離地時の股関節伸展角度が大きく、空中局面前半で膝をより屈曲させ、空中局面後半には股関節をより屈曲させていた(図4)。また、角速度データにおいては、上位群は下位群に比べて、空中局面前半の膝屈曲角速度が大きかった(図5)。このことから、満4歳男児においても、離地後に素早く下腿を巻き込み、下肢を小さくたたむことで慣性モーメントを小さくさせ、素早い股関節の屈曲を可能にし、大腿を素早く前方に引き上げたものと考えられる。これらの結果は、窪ら³⁾の空中局面における上位者の動きと同様の傾向であった。また、着地時における各関節間の水平距離をみると、上位群は下位群に比べて、膝を前方へ出して着地していた(上位群: $0.19 \pm 0.02\%$, 下位群: $0.15 \pm 0.03\%$)。着地時の下肢の動きについては、大腿を引き上げる動きが踵を着地させるまでの時間を稼ぎ、跳躍距離を増大させると考えられる³⁾¹²⁾¹⁷⁾。このことから、着地時に大腿を引き上げる動きが膝を前方に出し、踵が着地するまでの時間を稼ぐことによって、跳躍距離が増大したものと推察される。本研究において、肩関節伸展・屈曲動作に、上位群と下位群の間で有意な差は認められなかった。しかし、3歳女児についてみると、離地後に勢いよく後方に腕を振り込むことが下肢を前方に回転させる角運動量の獲得となり、股関節を屈曲しやすくしていることから⁷⁾、空中局面における腕の後方への振り込み動作も、跳躍距離を獲得する要因であるかもしれない。したがって、3歳児の立ち幅跳びにおける空中局面の指導の際には、離地後に大腿を引き上げる動作が重要となるが、腕を後方へ振り込む動作についても検討していかなければならない。

本研究では、満4歳男児における跳躍動作の特徴を局面ごとに分類し、各関節部位が果たす役割について分析したが、幼児は大人とは異なって筋力要因を含んだ動作による影響は少ないものと考えられた。そのため、今後は体力の発達を踏まえて、縦断的に跳躍動作の変容について

検討していくことにより、発達段階にあった跳躍動作の指導ポイントを示すことができると考えられる。跳躍動作は、幼児期から小学校低学年にかけて習熟過程であることを考えると、幼児期における指導ポイントのみでなく、その後の指導ポイントについても追究する必要があることから、小学校教育との連携も重要と思われる。また、本来、系統発達の獲得されていた動作であることを踏まえると、指導現場において、ポイントを絞った指導だけに留まらず、自発的な跳躍動作を促す運動遊びを探索し提供していくことも重要な指導の一環といえるだろう。

V. 参考文献

- 1) 大村一光, 森司朗 (2008): 幼児の運動能力に関する研究～跳運動における運動様式の実態と課題～, 南九州地域科学研究所所報, 第24号, 27-40.
- 2) 加賀谷淳子 (2008): 幼児の身体活動量と運動強度, 体育の科学, 58 (9), 604-609.
- 3) 窪康之, 阿江通良, 藤井範久 (1999): 立幅跳の踏切および空中動作に関するキネティクスの研究, 第14回日本バイオメカニクス学会大会論文集, 344-348.
- 4) 國土将平 (2005): 動作評価チェックシートの試案, 子どもと発育発達3 (1), 21-27.
- 5) 佐々木玲子 (2005): 跳ぶ動作の発達, 子どもと発育発達3 (3), 182-184.
- 6) 辻野昭, 岡本勉, 後藤幸弘, 橋本不二雄, 徳原康彦 (1974): 発育にともなう動作とパワーの変遷について—跳躍動作(垂直跳, 立幅跳)—, 身体運動の科学, 1, 203-243, 杏林書院.
- 7) 内藤讓, 福富恵介 (2013): 3歳女児における能力別にみた跳躍動作のキネマティクスの分析, 教育医学, 58 (3), 283-290.
- 8) 中村和彦, 武長理栄, 川路昌寛, 川添公仁, 篠原俊明, 山本敏之, 山縣然太郎, 宮丸凱史 (2011): 観察的評価法による幼児の基本的動作様式の発達, 発育発達研究, 51, 1-18.
- 9) 濱口幸亮, 春日晃章, 福富恵介, 内藤讓 (2013): 幼児の跳躍動作におけるキネマティクスの研究—3歳男児を対象として—, 岐阜大学教育学部研究報告, 37, 87-89.
- 10) 比留間浩介, 植屋清見 (2007): 発達バイオメカニクスからみた児童の立ち幅跳びの動作特性, 山梨大学教育人間科学部紀要9, 55-62.

- 11) 深代千之 (1997) : 跳動作の発達, 身体運動のバイオメカニクス, 41-45.
- 12) 深代千之 (1985) : より遠くへー跳動作の発達一, 体育の科学, 35 (4), 303-309.
- 13) 宮丸凱史 : 幼児期の基礎的運動技能における Motor Patternの発達 (1973) : -2- 幼児の立幅跳における Jumping Patternの発達過程. 東京女子体育大学紀要 8, 40-54.
- 14) 森司朗, 杉原隆, 吉田伊津美, 筒井清次郎, 鈴木康弘, 中本浩揮, 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 (1), 56-55.
- 15) 文部科学省幼児期運動指針策定委員会 (2012) : 幼児期運動指針ガイドブック～毎日, 楽しく体を動かすために～, 1-60.
- 16) 山田洋, 加藤達郎, 知念嘉史, 相澤慎太, 三上恭史, 植村隆志, 塩崎知美, 長堂益丈 (2009) : 幼児の跳躍動作における「巧みさ」の獲得過程に関する縦断的研究—二次元映像解析より求めた下肢関節の屈伸の順序性—, 東海大学スポーツ医科学雑誌 (21), 51-58.
- 17) 湯浅景元 (1984) : 立幅跳における“よい動き”を評価するためのParameterの検討. 第7回日本バイオメカニクス学会大会論文集, 80-84.
- 18) 横井孝志, 渋川侃二, 阿江通良 (1986) : 日本人幼少年の身体部分係数, 体育学研究, 31 (1), 53-66.

