

両脚ホッピングのピッチ変化に伴う位相変化と 下肢動作についての基礎研究

山田 悟 史

1. はじめに
2. 目的
3. 実験方法
4. 分析方法
 - 4-1. 位相差の分析
 - 4-2. 下肢動作の分析
5. 結果
6. 考察
7. 今後の研究課題

1. はじめに

跳躍動作は、基本動作といわれる走・跳・投の一つであり、比較的低位年齢で獲得される動作である。深代らは『動作獲得の順序という点では、1) 両足でけて両足で着地する型、2) 片足でけて他方の足で着地する型の発達のはやく』¹⁾と述べている。その場での両脚跳躍は、そこから高さを求めての跳躍(以下「垂直跳び」、両脚で遠くへの跳躍(以下「立ち幅跳び」)へと発展していく基本中の基本と言える。ただ跳躍するだけの動作は幼児でも可能な動作であるが、垂直跳びで跳躍者の体力を最大限に用いて最大の高さの跳躍を行うには「腕の振り」、「背筋による上体の起こし」、「膝の進展」、「つま先での床の蹴り」などがタイミング良く連動する事、瞬発的に筋力を発揮する所とジワッと筋力を発揮する所、筋力を抜く所を使い分けることが大事であり、相当難しい。さらに立ち幅跳びでは、前方への動きと、前傾から後継への姿勢変化なども含まれるため難しさが増す。最近では小学校6年生になっても立ち幅跳びができない子どもたちが増え、それに対応するように「体育の家庭教師」などの活動も増えてきている。

同様に両脚連続ジャンプ(以下「両脚ホッピング」)も、簡単な跳躍の連続ではあるが、

1) 深代千之「跳ぶ科学」大修館書店、1990、P163

「リズム良く」あるいは「素早く」行うとすればそれなりに難しいものである。低位年齢の子どもに両脚ホッピングをさせると、リズムはバラバラである(一定でない)し、両脚の動きもばらついたり、バランスなどが崩れて跳躍動作そのものが乱れたりすることはよく見かける光景である。リズムの乱れやバランスの崩れは、跳躍動作の再現性(安定性)の低さやバランス能力の低さが当然考えられるが、連続ホッピングがただ単に両脚跳躍の繰り返しではなく、連続することそのものが難しさを持つのであろう。

また、この連続ホッピングの巧みさは、縄跳びをタイミング良く跳んだり、スポーツの中で動作を繰り返したりするスキルに関わると予想され、連続ホッピングの難しさの要因を見つけ、スキル評価を可能にすることは、幼児の運動指導に資することになるであろう。そして、現在幼児の体力測定で行われる横跳びにおいても技術的な評価を可能にすると思われる。

2. 目的

本研究ではこの両足ホッピングが周期運動であるということに着目し、両足ホッピングのピッチ変化に伴い、頭部とつま先の周期的な上下運動の位相がどう変化するか、早いピッチでの両脚ホッピングにおいて下肢がどのような動きをするかを明らかにし、両足ホッピ

ングの運動特性を検討する事を目的とした。

男性2名 (KM、OM)、女性1名 (KF) の3名で、いずれも高校まで運動部に所属していたことのある大学4年生である。

3. 実験方法

両足ホッピングを

- ① 108回/min
- ② 120回/min
- ③ 150回/min
- ④ 180回/min
- ⑤ 210回/min
- ⑥ 240回/min
- ⑦ 270回/min

の7種類のピッチで、電子メトロノームに合わせて行い、ハイスピードデジタルカメラ(240コマ/秒)により側方より全身を撮影した。

被験者には、ある程度の跳躍高を維持するため、5センチくらい跳ぶように指示した。ただしその達成か否かの判断は被験者の主観的判断とした。

被験者は、電子メトロノームの音に合わせてホッピングを行い、リズムに合わせて安定的に5回以上ホッピングができたと感じたところでホッピングを中止させた。被験者は、

4. 分析方法

4-1. 位相差の分析

撮影した映像から、毎跳躍時の頭頂部が一番高くなる時点と一番低くなる時点それぞれ上下振動の極大値、極小値として抜き出し、頭部の上下振動のタイミングを求めた。同じく映像から毎跳躍時のつま先の着地時点と離地時点、空中で一番高くなった時点を抜き出し、着地時点と離地時点の間を上下振動の極小値、空中で一番高くなった時点を極大値として、つま先の上下振動のタイミングを求めた。ここで、求めた上下振動の例として被験者KMのグラフを図1~7に示す。

頭部とつま先の位相差は、極大値の出現時点のずれとして定義し、被験者がある程度安定した跳躍だったと判断した5回の跳躍のうち、はじめの3回のずれの相加平均を位相差とした。

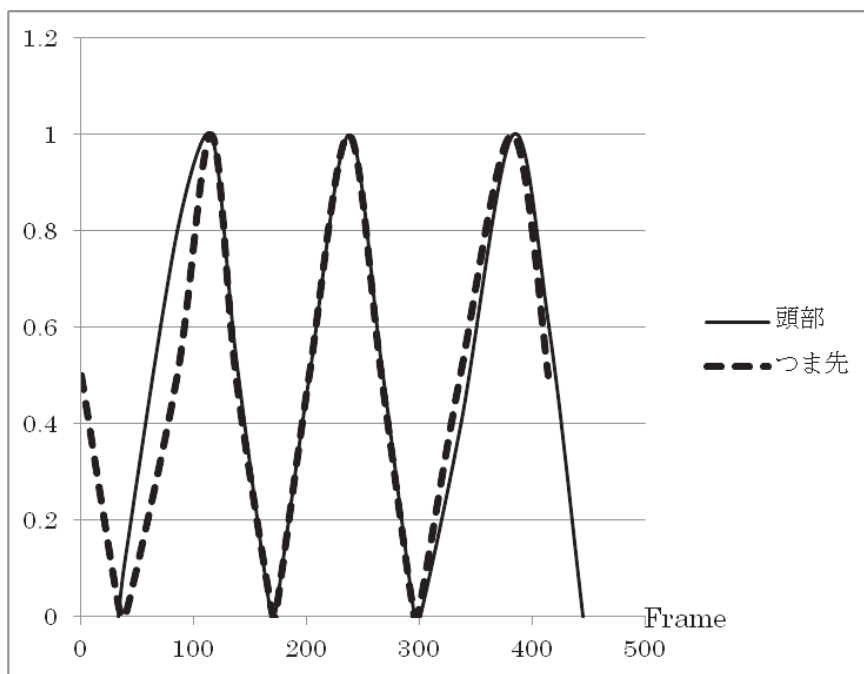


図1 108回/min時の頭部とつま先の振動 (被験者KM、振幅は1に変換)

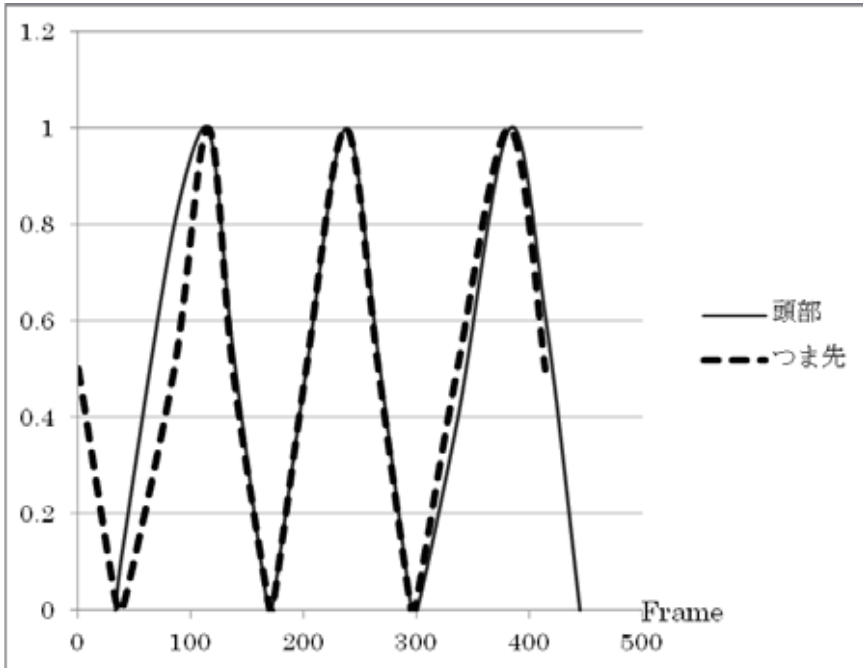


図2 120回/min時の頭部とつま先の振動（被験者KM、振幅は1に変換）

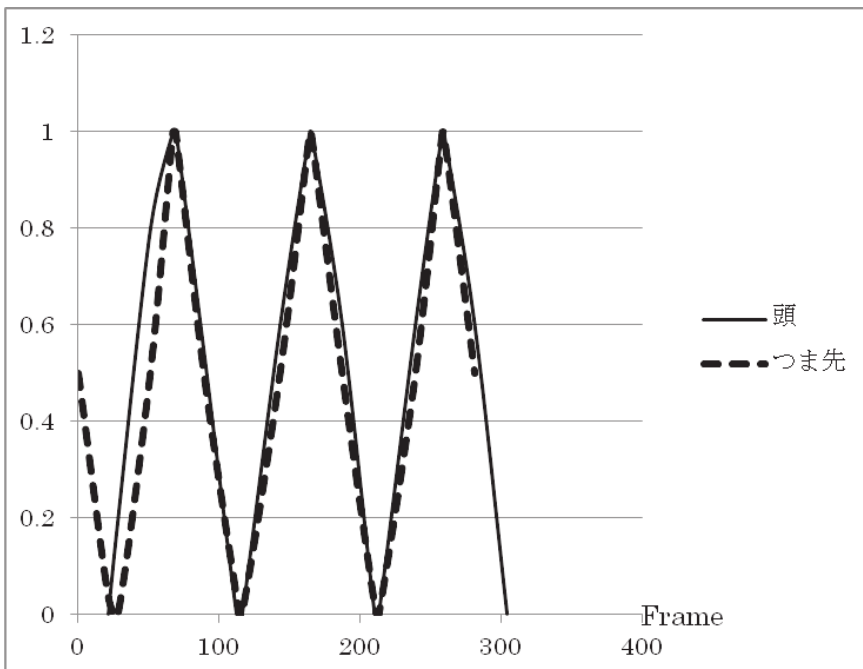


図3 150回/min時の頭部とつま先の振動（被験者KM、振幅は1に変換）

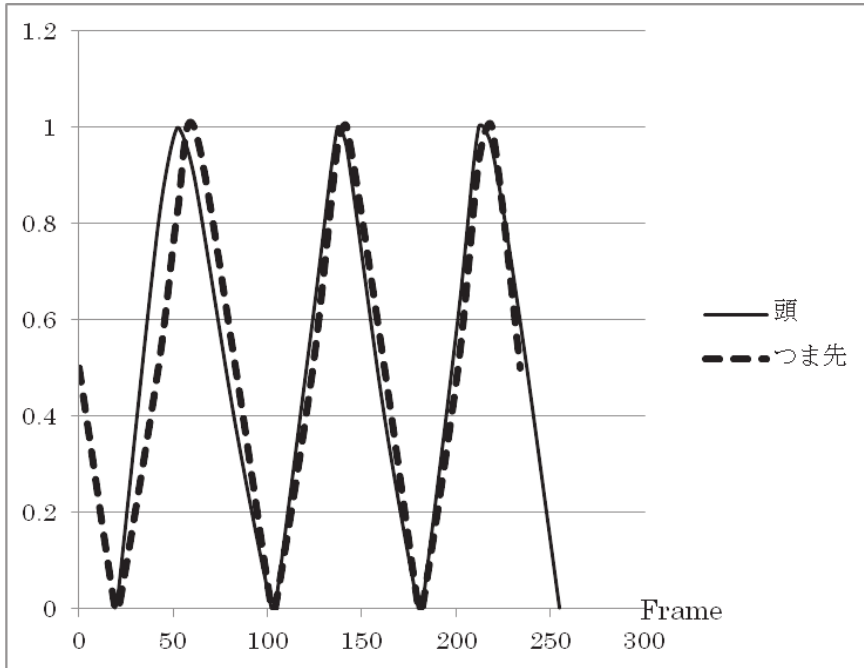


図4 180回/min時の頭部とつま先の振動（被験者KM、振幅は1に変換）

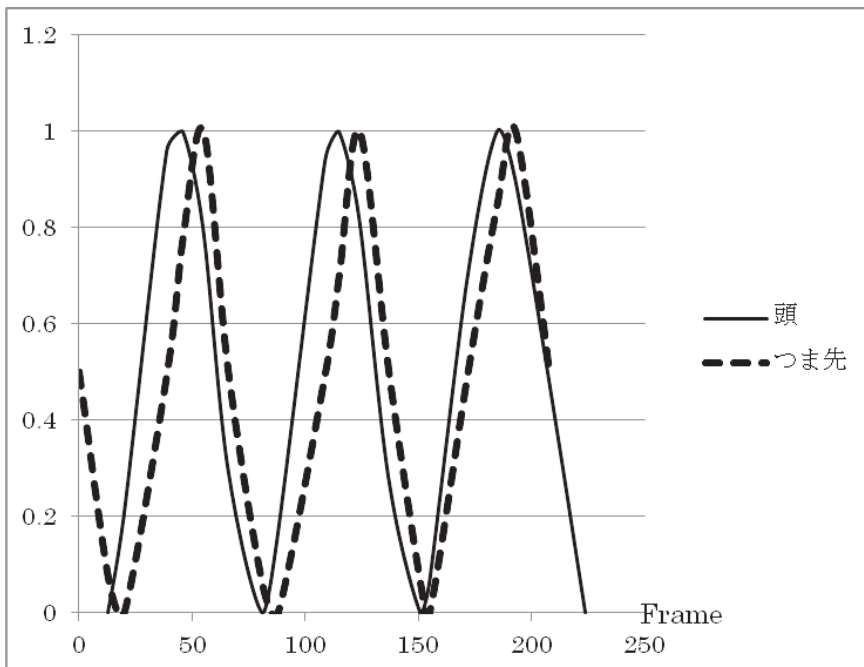


図5 210回/min時の頭部とつま先の振動（被験者KM、振幅は1に変換）

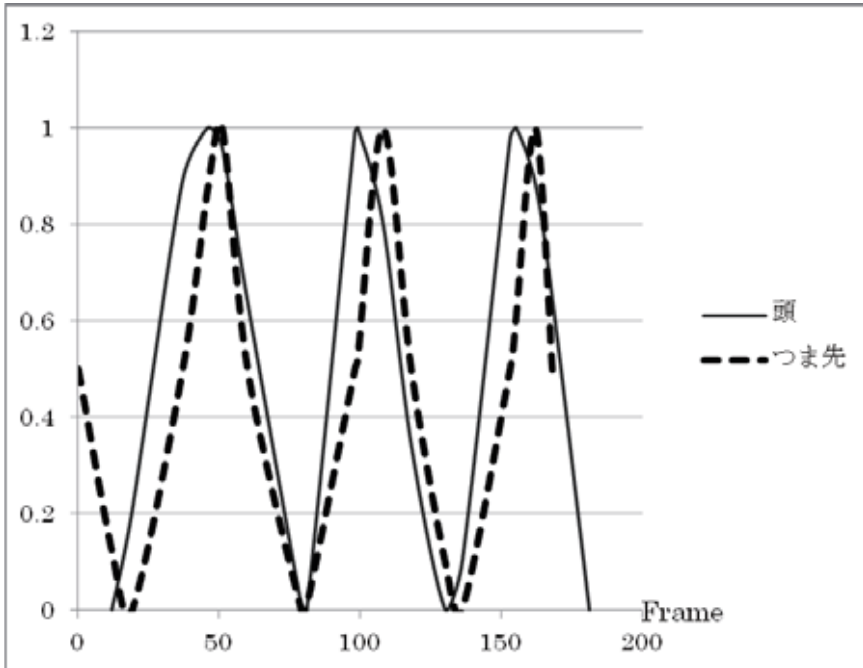


図6 240回/min時の頭部とつま先の振動（被験者KM、振幅は1に変換）

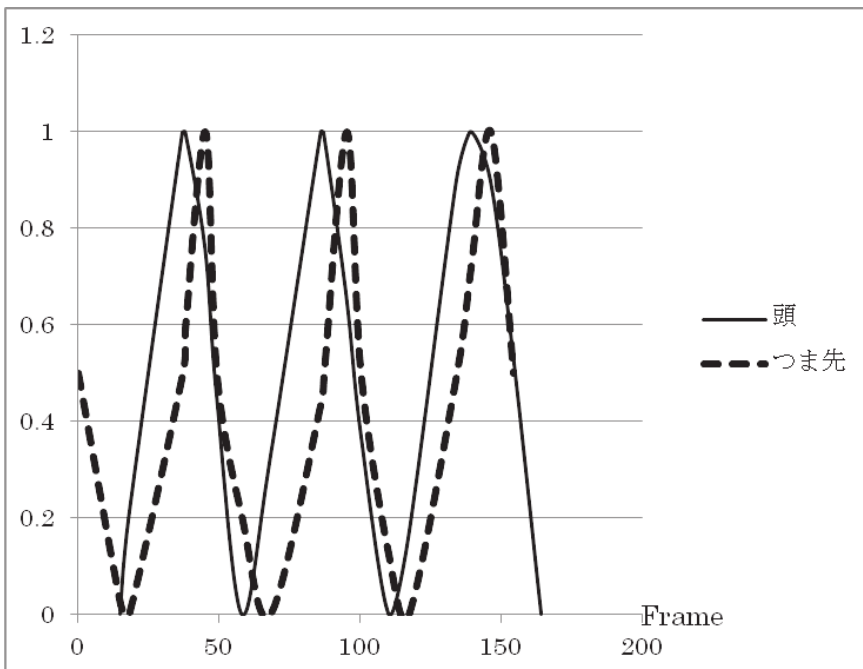


図7 270回/min時の頭部とつま先の振動（被験者KM、振幅は1に変換）

4-2. 下肢動作の分析

左側方より撮影した映像を用い、跳躍時の左大転子、左膝関節、左踝、左つま先をデジタルサイズし、左大転子と左膝関節を結んだ大腿部の水平面に対する角度（以下「股関節角度」）、左大転子・左膝関節・左踝を結んだ角度（以下「膝関節角度」）、左膝関節・左踝・左つま先の角度（以下「足関節角度」）を算出し、3点加重移動平均を用いて平滑化した。デジタルサイズには動作解析システムTOMOCO-Lite（有限会社東総システム社製）を用いた。

5. 結果

グラフの極大点付近の3つの数字は、頭頂部とつま先の差（frame数）である。頭頂部とつま先の時間差の平均値を表1、図8に示す。それを位相差（度）にしたものが表2、図9である。表3、図10は、跳躍の間隔時間に対するずれ時間の割合（%）を示している。

図8～10を見るとピッチの遅いときには、頭頂部とつま先の上下への振動のタイミングはほぼ一致しているが、ピッチが速くなるに

つれ、頭頂部の上下動のタイミングに対してつま先のタイミングは遅れる傾向、つまりつま先に位相遅れが生じる傾向が見られた。

その位相遅れは、ピッチの増加に対して漸増的に生じるのではなく、あるピッチから急激に位相遅れが増加する傾向があった。位相遅れが急増するピッチは被験者KMとKFでは180回/minから、被験者OMでは210回/minからであった。

その位相遅れが急増するピッチ時の下肢動作のグラフを図11～13に示す。被験者KMとKFは180回/min、被験者OMは210回/minのもので、足が地面を離れた離地時からつま先が地面に接地する着地時までのグラフである。これを見ると、被験者KM・KFは股関節と膝関節、足関節の全てが離地から一度屈曲し、着地に向けて伸展しており、その中でも主に膝関節が大きく屈曲伸展している。それに対し被験者OMは、股関節角度はほとんど変わらず、膝関節は着地手前でわずかに屈曲し、足関節のみ明確な屈曲伸展動作が見られた。

ピッチ (回/分)		108	120	150	180	210	240	270
時間差 (秒)	KM	-0.00139	-0.00139	-0.00278	-0.02917	-0.03611	-0.02917	-0.03194
	OM	0	0	-0.00278	-0.00417	-0.02917	-0.03889	-0.03333
	KF	-0.00278	-0.00139	-0.00833	-0.03333	-0.02639	-0.03056	-0.02361

表1 ピッチ変化に伴う頭頂部に対するつま先の時間差

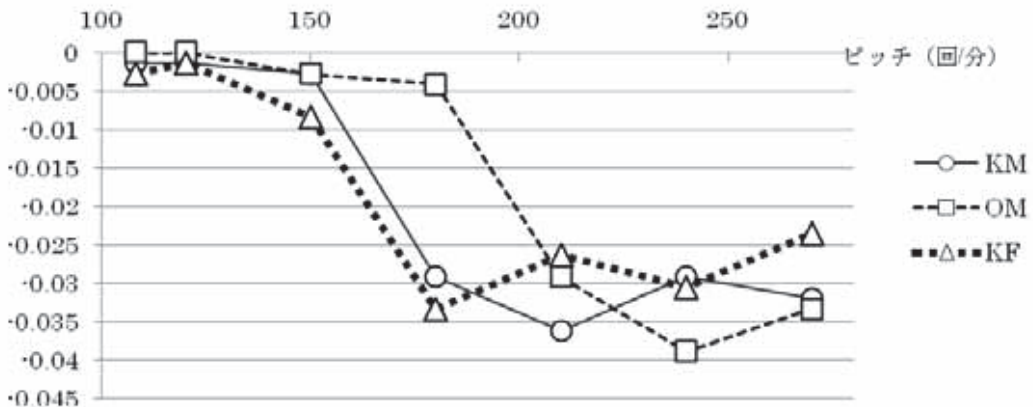


図8 ピッチ変化に伴う頭頂部に対するつま先の時間差 (秒)

ピッチ (回/分)		108	120	150	180	210	240	270
位相差 (度)	KM	-0.87°	-1.02°	-2.56°	-32.31°	-45.00°	-45.00°	-53.77°
	OM	0.00°	0.00°	-2.41°	-4.43°	-36.17°	-54.49°	-53.01°
	KF	-1.81°	-0.98°	-7.69°	-36.30°	-32.11°	-44.49°	-37.55°

表2 ピッチ変化に伴う頭頂部に対するつま先の位相差

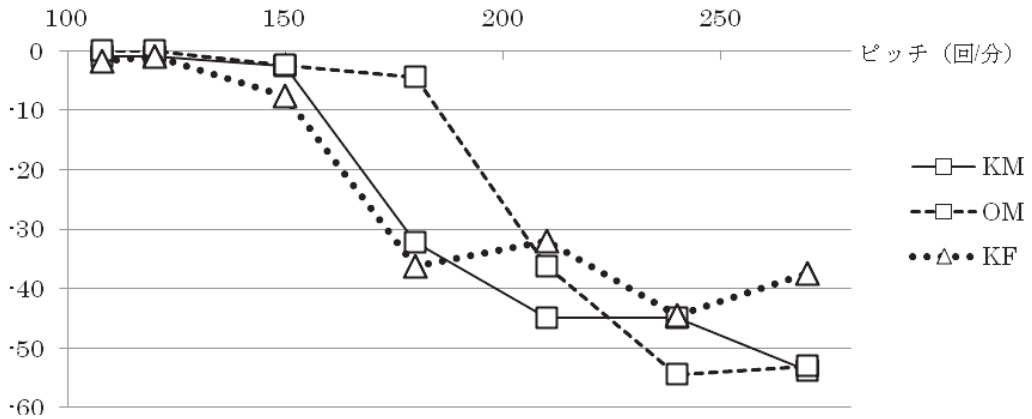


図9 ピッチ変化に伴う頭頂部に対するつま先の位相差 (度)

一周期時間 (秒)		0.56	0.50	0.40	0.33	0.29	0.25	0.22
時間差率 (%)	KM	-0.25	-0.27778	-0.69444	-8.75	-12.63889	-11.66667	-14.375
	OM	0	0	-0.69444	-1.25	-10.20833	-15.55556	-15
	KF	-0.5	-0.27778	-2.08333	-10	-9.23611	-12.22222	-10.625

表3 一周期時間の変化に伴う頭頂部に対するつま先の時間差率

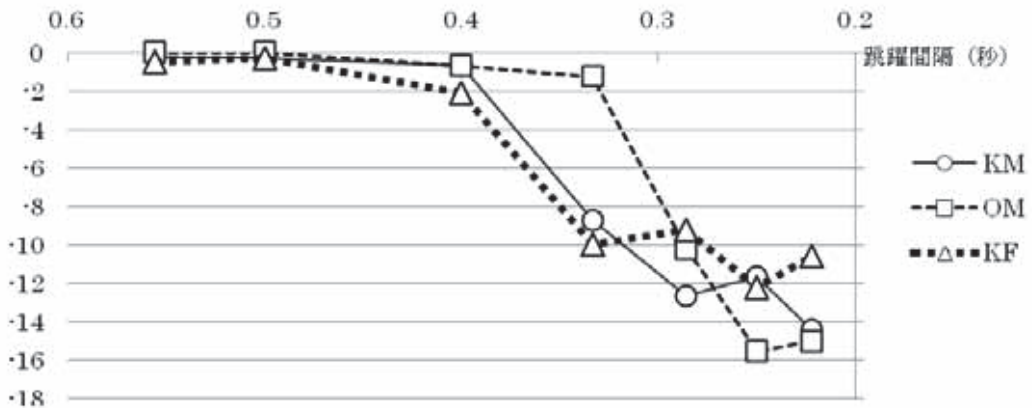


図10 跳躍間隔の変化に伴う頭頂部に対するつま先の時間差率 (%)

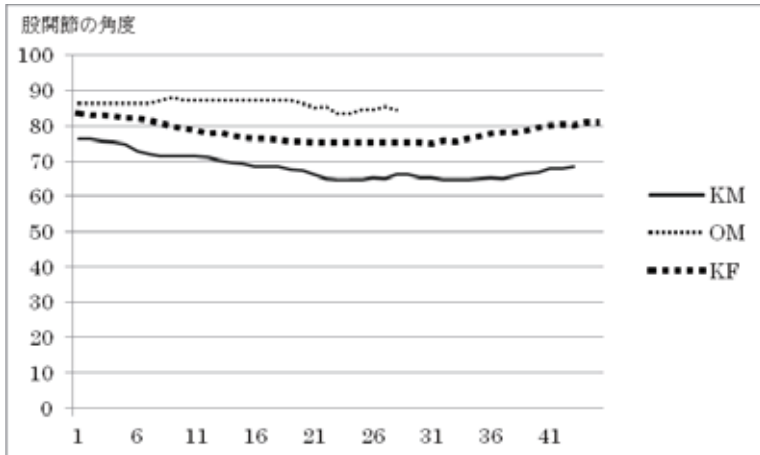


図11 つま先の離地から着地までの股関節角度

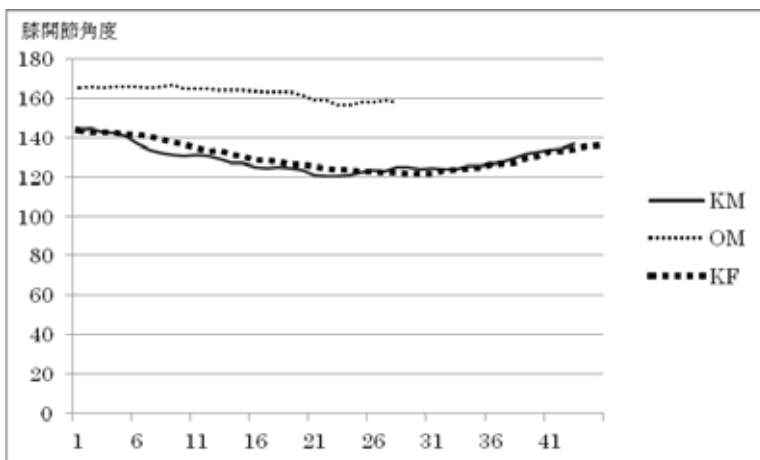


図12 つま先の離地から着地までの膝関節角度

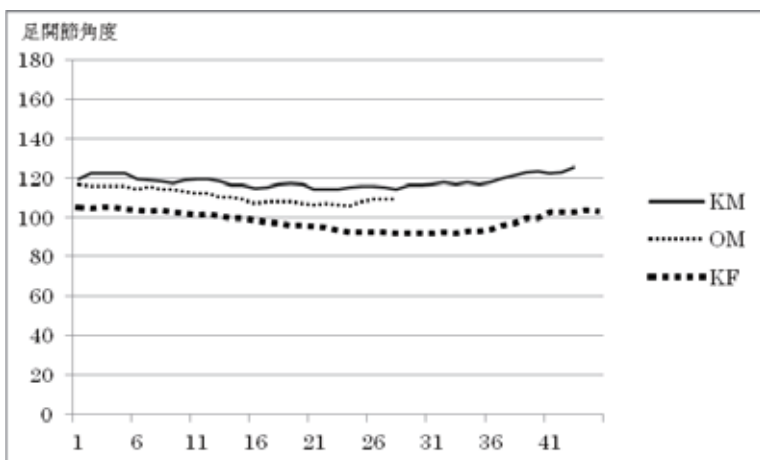


図13 つま先の離地から着地までの足関節角度

6. 考察

両足ホッピングにはピッチの速さによって、つま先に位相遅れがないホッピングと、つま先に位相遅れが生じるホッピングの2つの様相を持つであろうと示唆される。つまり、ピッチが変化することにより、ホッピングの動作モードが切り替わるということである。これは歩行と走行の関係と同様であろう。歩く速度をだんだん早くしていくと、ある速度から急に歩行から走行へと動作が移行する。歩行と走行を、例えば「二足移動動作」というように括れば、その「二足移動動作」はある速さで動作モードが「常時接地モード」から「離地接地繰り返しモード」に切り替わりと表現できる。そしてその切り替わる時の移動速度は絶対的なものではなく、状況（被験者間など）によって異なるものである。同様にホッピングもピッチの変動により動作モードが切り替わるが、その切り替わるピッチは絶対的なものではなく、状況により異なることが、頭頂部に対するつま先の位相遅れの様子から示唆された。

位相遅れを生じさせる原因を以下のように推察する。跳躍の重心の最高到達点は、離地時の上昇速度と重力により規定され、離地から着地までの時間もそれによって大きく支配される。したがって、今回の実験のようにピッチが固定されると、上昇させられる重心の高さは制限を受けることになる。例えば、240回/minのピッチでは、跳躍1回あたりに要する時間は0.25秒であり、接地時間と滞空時間を同じとすれば、滞空に許される時間は0.125秒である。これは身体動作をコントロールして接地時間と滞空時間の比を変えたとしても、そう大きくは変わらないと思われる。したがって滞空時間を0.125秒、重心は自然な放物線を描くとすれば、その高さは2cmを超えない。そこで、つま先を2cm以上の高さまであげて跳躍しようとする、空中で膝を屈曲させるなどしてつま先を上方へ移動させなければならない。そして跳躍のつま先の離地時には地面を蹴った勢いがあるために、つま先は離地と同時に上方への引きつけができずに、今回のような位相遅れを生じさせ

たとえられる。

つま先に位相遅れが生じている状態での跳躍は、位相遅れのない跳躍に比べて、格段に難易度が上がると考えられる。まず力の切り替えの問題がある。位相遅れの生じていない跳躍では、膝関節は伸展方向への力発揮のみであり、タイミング良く伸展力が発揮されれば良い。しかし、位相遅れの生じている跳躍では、空中で膝関節を屈曲させるなどする必要があり、力の発揮方向を切り換えていかなければならず、しかもそれを高速でタイミングよく行わねばならない。

次に感覚の差が考えられる。頭頂部とつま先で位相差が生じるということは、視覚情報と地面から得られる体性感覚との間に差が生じるということであり、情報の認知に混乱を生じさせる可能性が高い。実際に今回の実験でも270回/minのピッチでは、ホッピングが安定せず、何度か練習をしなければならなかった。

また、つま先の位相遅れが生じる高速ピッチにおける両脚ホッピングでの滞空中の下肢の関節の動きを見ると、つま先の高さを得る方法が被験者により異なっていると推測される。被験者KMとKFは、股関節と膝関節、足関節全てを屈曲させてつま先の高さを得ていると思われるが、被験者OMにおいては、股関節はほぼ動かさず、膝関節においては着地の予備動作と思われる屈曲があるだけである。つまり足関節の屈曲のみでつま先の高さを得ていると考えられる。高速ピッチにおける両脚ホッピングの動作においてもいくつかのやり方があることが明らかとなったが、現段階においてどのような動作が良いのかは述べる事はできない。今後データを増やし、その解明をしていきたい。

7. 今後の研究課題

ホッピングの巧みさは例えば子どもが上手く縄跳びを跳べるかどうかにも関わっている。情報が混乱して安定したピッチでホッピングができなければ当然縄跳びは続かないであろうし、目の情報に偏って行えば、縄は足に引っかかる可能性が高くなるであろう。また、膝

の屈曲と伸展のタイミングが合わず、着地前に膝の伸展が十分に行われていなければ、脚はつかえたような形になり、次の跳躍が上手く行えなくなるであろう。

今後、ホッピングの動作モードの切り替えがどのように行われるのか、それぞれの動作の特徴は何かを明らかにし、幼児や児童がどのようにそれらを学習していくのかを解明し、効果的な運動指導法を開発していく。また、動作モードの切り替えはそれぞれのモードが学習されれば自然と獲得されるものなのか、モード切り替えそのものを学習することが効果的なのかも明らかにしていきたい。

参考文献

- ・ 深代千之、石毛勇介、船渡和男「両脚連続ホッピング中の下肢関節トルク」体力科学、44巻6号、1995、P795
- ・ 深代千之、石毛勇介、福永哲夫「両脚連続ホッピング中の筋・腱連合組織の動態」体力科学、45巻6号、1996、P805
- ・ 深代千之「跳ぶ科学」大修館書店、1990、P163
- ・ 船渡和男、福田隆、石井喜八「連続跳躍運動の機械的効率—影響を与える二、三の因子—」スポーツバイオメカニクス学会編、身体運動の科学Vスポーツバイオメカニクスへの挑戦、杏林書院、1984、pp151-158
- ・ 小林寛道「走る科学」大修館書店、1990
- ・ 森下はるみ「年齢と動きの発達。スポーツと年齢」大修館書店、1977