幼児のリズミカルな反復動作における上下肢の協応
～テンポの違いによる動作パターンの変容～
佐々木玲子*

**Characteristics of movement pattern with respect to the coordination of upper
and lower extremities in preschool children**

Reiko Sasaki*

Abstract

The purpose of this study was to examine the movement pattern during a rhythmic movement in preschool children focusing on the coordination of upper and lower extremities. Children were tasked to swing upper limbs with knee bending rhythmically, in three kinds of tempo: 120, 96 and 60bpm. For the analysis of the movement, the angular velocity of shoulder and knee were calculated from VTR images.

In mature pattern, the changing point of movement direction of upper extremities slightly preceded that of lower extremities. Peak velocity of the shoulder angle appeared at the moment of the deepest knee bending, which meant the moment of upward-changing. And irrespective of the tempo, the movement sequence did not change in adults movement. On the other hand, the movement patterns of children changed with tempo. Particularly, under the slow tempo, their movement patterns varied with those tempos. It was suggested that children had not programmed spatial-temporal patterns of their movement in advance.

The older children were superior to the younger, and girls to boys in the movement task.

緒言

全身でリズムをとって動くということは、スポーツ、ダンス、体操など様々な運動場面においても頻繁にみることができる。身体で“リズムをとること”は、発達過程にある子どもにとっても、力強さなどの筋出力系に相対する一方での、神経系の調整力の発達という側面により関与してくる事柄であろうと思われる。

リズムをとることの基本の一つでもある、周期性のある動き、あるいは動作テンポなどについては、これまで多くの発達の研究がなされている。テンポに関しては、ヒトには快いと感じる固有のテンポがあるといわれている。また、ネコ等を用いた動物の歩行研究などによれば、神経機構内に、単純なくり返し運動のための周期的リズムをつくりだすリズムジェネレータの

機構が備わっていることも指摘されている²⁾。

渡辺ら¹³⁾が、任意なタッピングの速さについて3歳～15歳を対象に調べたところ、いずれの年齢でも概して0.5～0.6秒間隔であったという。成人においても、跳躍時の好ましい間隔周期は2.06Hzであるという報告¹⁾がある。このような個人の持つ固有のテンポも実際にを行う運動に対して何らかの関わりを持つであろうことは予想できる。

ある一定のテンポの反復的動作を継続して行くと、幼児の特徴として、そのテンポの恒常性が低いこと、動作パターンに変容がみられることなどが、タッピングなどの局所的で比較的単純な動作において報告されている⁴⁾⁷⁾⁸⁾。また、連続ジャンプを用いた渡部¹²⁾の報告でも、幼児の動作リズムは速く、変動が大きいとい

* 慶應義塾大学体育研究所 Institute of Physical Education, Keio University, Hiyoshi, Kohokuku, Yokohama, 223 Japan

われている。そこでは、跳ぶという全身の動作とした場合、動作を発現する過程として、中枢系と効果器系とに分けて考えると、幼児の動作リズムの恒常性が低いことは、効果器系の未発達であることが要因としてかわる度合いが大きいであろうとしている。

実際の動きにおいては、手のみ、足のみで行うものは少ない。手や足の動きは、相互に協応して行われることが多いことから、渡辺ら¹³⁾は、タッピングとステップを組み合わせて行うことで、四肢の協応能を発達的にみている。さらに、周期的運動における四肢の動きに関して外山ら¹¹⁾は、周期的な上下肢の組み合わせの運動においては、下肢の周期的運動に上肢の運動を挿入する方が、その逆を行うより、動作を乱すことが少なく、下肢の自動化水準が高いことを指摘している。また、鈴木ら¹⁰⁾によれば、上下肢の協調的反復運動（はずみ運動）において、運動の速さ（テンポ）を随意的に調節するにあたっては、上肢が優先するとい

う。本研究では、リズムカルな反復運動を上下肢を用いて全身に行った時の上下肢の協応と、規定されたテンポに合わせた場合のテンポの遅速に伴う動作パターンの変容を、映像分析によってとらえ、幼児の動作特性を明らかにすることを目的とした。

方法

<手順>

被検者は健康な4歳3か月から6歳2か月の同一幼稚園に通う幼児74名であった。

課題動作ははずみ^{*}をつけた定位置での連続下肢屈

伸と上肢の前後方向のスイングの組み合わせからなる全身の運動（図1）であった。被検者は、はじめに実験者の動作教示（師範）に従い、任意の速さで課題動作を行った。続いて規定された3種類のテンポにあわせて同様の動作を行った。規定テンポは1.00（テンポ Fast）、1.25（テンポ Moderate）、2.00（テンポ Slow）sec/cycleの3種類で、各試行前に当該テンポをメトロノーム音によって聴き、確認した上で、試行もその音に合わせて行った。動作の継続はそれぞれ30～60秒程とし、各試行の間には、説明やテンポの確認等を行う程度の間隔をとった。音の呈示は、1周期に等分割した2音、すなわちテンポF、M、Sそれぞれ、120bpm、96bpm、60bpmとした。試行順はテンポM、F、Sの順とした。

<分析1>：動作分析

動作の記録は、被検者の真横からのVTR撮影（Sony, HandyCam, 30f/sec）によった。記録された画像から、肩関節及び膝関節の角度変化などを指標に（図1）、上下肢に着目して動作の分析を行った。分析にあたっては、Ariel Performance Analysis Systemを用い、記録したVTR映像上から、マークした肩峰点、肘関節、手関節、指先点、大転子、膝関節、足関節、足先の各点の動作遂行に伴う変位を求めた。さらに、上肢と下肢の動きをそれぞれ、肩関節角度変化と膝関節角度変化からみた。角度変化、上下肢の動作時相に着目し、テンポの違いによるそれらの差異をみた。なおこの分析1については、課題動作を遂行できた幼児の中で、代表的事例を分析の対象とした。そして同様の課題を遂行した成人の事例と比較し、幼児の動作

図1 課題動作と測定関節角（肩関節、膝関節）

特性を定量的、および定性的に明らかにしようとした。

<分析2>：加齢

加齢、あるいは性差による課題動作の遂行の成否をみた。遂行に困難を呈する事例や、不十分な遂行動作の動作パターンを観察、分析し、協応的動作の未熟な動作の特徴を明らかにしようとした。

結果と考察

1. 上下肢の動作時相—成人—

上肢と下肢の動きは、肩関節と膝関節の角速度の変化を指標とした。図2は、成人の事例で、両関節角速度

図2 肩関節および膝関節角速度変化

(動作2周期分：成人：テンポM)

度の時間経過に伴う変化を、両方を対応させ、テンポM継続途中の動作2周期分（動作開始後3～7周期より抽出）を示したものである。ここで取り上げた成人の事例は、成熟型としての典型的なものである。動作の継続にあたり、その動作パターンに変容はみられず、一様のパターンが繰り返された。すなわち、両肢の動作時相の関係からみると、上肢の屈曲伸展1周期に対し、膝関節の屈曲伸展は2回行われるが、肩関節の屈曲時、伸展時ともに、膝関節の最大屈曲時に肩関節角速度のピークがみられた。また、両肢ともに屈曲、伸展の動作方向が変わる時点はほぼ一致するが、膝関節の方がわずかながら先行する傾向がみられた。この

上下肢の順序性の傾向は、テンポの遅速に関わらず同様であり、また動作の継続に伴っての変化もみられなかった。

上下肢の動作時相、いわゆる動作タイミングからみると3つのテンポで違いはなかったが、角速度の変化曲線そのものは、最も遅いテンポSにおける上肢だけが形状が異なり、角速度の変化量も小さかった。これは1周期の動作時間が延長したことに伴って、上肢全体としては動きをゆっくり調節しているためにひきおこされたものと考えられる。しかしながら時系列上の順序性からみた上下肢の動作パターンは変わらない。

どのテンポでも共通して、膝関節の伸展から屈曲への変化時に上肢の速度ピークが同期する。このことはすなわち、上方への立ち上がり時に上肢が最も速くスイングされていることになり、成人ではテンポにかかわらず連続してはずみをつけた動作では同一のタイミングをもってそれがくりかえされていた。鈴木ら¹⁰⁾は、下肢の屈伸運動と上肢の前額面方向のスイング動作を行い、はずみをつけた周期動作の上下肢の協応をみているが、はずみをつけた運動には上肢の動きが優位に貢献すると報告している。

2. 上下肢の動作時相—幼児—

幼児における上下肢の動作パターンを成人と同様に示したのが図3である。ここで取り上げた幼児A（5

図3 肩関節および膝関節角速度変化

(動作2周期分：幼児A：テンポM)

歳6ヶ月)はテンポMでは比較的成人に近い動作パターンであった事例である。成人に比べると全般に膝関節の角速度が最大値は大きい、上下肢の動作順(タイミング)からみた動作のパターンは類似していた。遅いテンポSでは、図4にみられるように肩関節の

図4 肩関節および膝関節角速度変化
 (動作2周期分：幼児A：テンポS)

角速度曲線は、成人と同様の变化パターンであるが、動作方向の変換時に注目すると、上肢が下肢に先行し、成人あるいはテンポMでの順序は逆転した。また、特にテンポSでは、図5の幼児B(5歳0ヶ月)のように著しく動作が乱れるものがみられた。この事例では、遅いテンポにもかかわらず他のテンポと同様の速度で動き始めたために早々に肩関節の可動範囲の限界に到達し、その位置で上肢を静止させて待つ、という動きの経過をたどる。一連の動きの中に停滞する時が生じ、周期的で連続したスムーズな動きではなくなる。このことは、動作範囲とテンポに伴う1動作の所用時間を適合させることができなかった、つまり動作開始に先立って、時空間のプログラミングができていなかったものと解釈できる。

3. 全身運動としてのテンポ

動作リズム、テンポについてはこれまでも多くの研究がなされている。さらに発達の観点からの研究も多い。ヒトが持つといわれる固有のテンポについて、

図5 肩関節および膝関節角速度変化
 (動作2周期分：幼児B：テンポS)

子どもを対象にしたものでは、タッピングなどの部分的な動作では任意に行った場合の周期は0.5~0.6秒ほどで年齢によらないというもの¹³⁾や、加齢に伴って短縮していく傾向にあるという報告⁵⁾がある。しかしいずれにしても、加齢に伴いテンポ(タッピングなどの時間間隔)の変動率が減少することは共通している。本研究において課題とした間隔は、上肢のスイングの片方向を一つの拍を刻む動作と考え、テンポFはちょうど0.5秒になるが、実際にこのテンポに合わせて動作を行えない事例は多かった。このことは、課題とした動作がタッピングと違い大筋群を使う動きであること、さらに上肢と下肢を協応させて動かなければいけないことであるため、動作遂行にあたって中枢性の調整の複雑さもかわるため、タッピングでの任意の快適なテンポとは異なるものとなったと考えられる。各テンポの成就率からみると、テンポMを遂行できたものに対して、テンポF、Sは50~60%であり、全身運動としての快適なテンポはタッピングなどの動作よりやや遅いテンポであることが推測できる。

4. 動作の時空間的調整

動作中の膝関節の動きから、屈伸の角度変化分をもって動作域とし、各テンポ(F, M, S)毎に比較した(図6)。成人ではテンポの違いにより動作域が異なってくる。すなわち速い動作ではその域は小さく、

図6 課題動作中の膝関節角度変化分からみた各テンポにおける動作域

逆にゆっくりした動作では大きくなる。成人に比べ幼児では、どのテンポでも角度変化そのものが大きく、それぞれの差もテンポの差に必ずしも準じていず、成人ほど各テンポ間での差が明確ではない。タッピング等の動作を用いてこれまでも、幼児では、動作の速さ、大きさ、力強さの調整が未分化であることが指摘されている^{4) 6) 8)}が、ここでも速さの区分に伴う動作の大きさは、成熟型に比べ顕著ではなく、そのことが支持された。

5. テンポの速さと動作プログラミング

動作のテンポ、すなわち動きの速さが異なる3種類の課題では、動作遂行に要する時間が異なってくる。そこで、3種類のテンポでの動作を同一パターンとしてみるために、反復する動作の周期を基準として膝関節角速度の変化をみた。図7に示したのは、2周期分について、1周期めの始まりを同期させ標準化したものである。同図上段にみられるように、成人では、動作時相、角速度の値がほぼ等しく、周期を基準とすると速度曲線が重なる。すなわち動作時間そのものは異なっても、この同一パターンの動作では、そのパターン内の時系列における時間配分は一定しているということが示されている。

それに対し、幼児の事例（下段、5：6歳）では、周期で標準化するとその時間配分には各テンポ間でばらつきがみられ、同一の動作パターンでも動作時相は一定していないことがわかった。

全被検者において全試行とも、動作遂行直前にテン

動作の経過（2周期）

図7 動作の周期で標準化された各テンポ毎の膝関節角速度変化（成人と幼児A）

ポの速さは十分確認した後動作を開始した。従って成人では、動作の開始に先立ち、テンポに合わせた動作の時間分配パターンが予めプログラミングされ、動作が行われているといえることができる。幼児では、それがなされないままに動作を行うので、前述の図5のような動作の乱れが動作開始後に起こってくる。

一方で肩関節角度についても周期を基準としてみると、膝関節ほどの一致はみられないものの、似た傾向はみられた。直立姿勢であるゆえ体重支持のために制限を受ける下肢に比べ、上肢は自由度が大きいためばらつきやすいことは推測できる。

下肢の動きがテンポにかかわらず周期に対して普遍であること、また膝関節の屈曲が常に上肢のスイング開始に優先することから、成熟型の動作では、外山ら¹¹⁾のいう自動化水準の高い下肢が、そのテンポに適応した速さの屈伸運動を行い、それに上肢が時間的微調整を加えながら追従するのではないと思われる。また、上肢は一度プログラムされた通りに動き始めたら下肢の伸展開始時に速度ピークが一致するべく加速し、リズムカルなはずみ運動に寄与する。逆に、幼児にみられるように、上肢のスイング動作、いわゆる腕を振ることが優先するようになると、上肢と下肢の協応動作

としての全身のはずみを持った運動が継続できない未熟な型となるのであろう。

6. 加齢, 性別に伴う動作の成効率

全被検者74名について, M テンポを基準として動作そのものの成効率を示した (図8)。グループ分け

図8 幼児における課題動作の成効率 (テンポ M)

は幼児のクラス別** (年中, 年長) とし, それぞれには4, 5歳, 5, 6歳児が含まれる。各グループ別に割合でみると, 年長グループが男女とも成効率は高く, 男女別にみると, 各グループともに女児が男児を上回っていた。一般にリズム運動の遂行の成績については, 幼児期の中でも特に4, 5歳頃に女児が男児を上回るといわれており³⁾, 本研究における動作課題も, リズム運動的要素が強く, その傾向が認められた。

課題動作の遂行が不十分であった幼児らにみられた典型的事例として, 以下のいくつかが観察された。①上下肢の動作に加え, 体幹を傾斜させるような股関節の伸展屈曲を伴う。②肩関節の屈曲と膝関節の屈曲, 両関節の伸展同士が同時になる。これらはどちらも上下肢の動作方向の変換時が同期し, はずみを持ったつながりのある動作にはならない。この身体部位の同期性については, 幼児の未発達な段階の特徴としても指摘されている⁹⁾¹⁴⁾ ことである。また, ②については, 動作継続の時間経過に伴って上下肢動作のタイミングがずれ, 終局的に現れてくる場合も多く, 屈曲反射が優位となり出現する動作パターンだと考えられる。③速いテンポで, 上肢が緊張して突っ張る, あるいはさ

らに振幅が大きくなる。これは前述した, 動作の時間的, 空間的, 力の調整が未発達で分化されていないために起こるものと考えられる。

まとめ

上下肢を用いた全身のリズミカルな反復運動を行った時の上下肢の協応と, 規定されたテンポに合わせた場合のテンポの遅速に伴う動作パターンの変容を, 映像分析によってとらえ幼児の動作特性をみた。上下肢の動作時相からそのタイミングをみると, 成人では動作テンポの速さにかかわらず, 上下肢の動作の順序性は不変であり, 動作遂行にあたって動作パターンのプログラミングがなされていることが推察された。幼児では, テンポの遅速により, あるいはまた動作の経過に伴い, それが変容する事例がみられ, 特に, 遅いテンポでの動作の乱れが大きく, 動作の時間, 空間, 力の調整が未発達であることが示唆された。課題動作遂行の成効率は, 年齢が高いグループの方が, また男児より女児の方が高く, リズム運動にみられる傾向と同様であった。

注記

* 本論において「はずみ」をつけた運動とは, 垂直方向に瞬時的な加重が連続して加わる運動とした。

** 対象の通う幼稚園は, 特別にリズムに関する指導を行っている園ではない。対象のグループ分けは, 運動にかかわる体験がより似ていると思われる, 実際のクラス (年長と年中組) で分類した。

謝辞

本研究にあたり御協力いただきました相武台中央幼稚園の先生方, 園児の皆様に深く感謝致します。

文献

- 1) Grillner, S. (1975) Locomotion in vertebrates: Central mechanisms and reflex interaction. *Physiol. Review*, 55, 247 - 304.
- 2) Mori, S., H. Nishimura, C. Kurakami, T. Yamamura, and M. Aoki (1978) Controlled Locomotion

- in the Mesencephalic Cat: Distribution of Facilitatory and Inhibitory Regions Within Pontine Tegmentum. *Journal of Neurophysiology*, 41 - 6, 1580 - 1591.
- 3) 松浦義行 (1990) 体力の発達, 朝倉書店, pp.56 - 59.
- 4) 森下はるみ, 佐々木玲子, 鈴木敏朗 (1988) 幼児の打叩動作調整の発達, *体育科学*, 16, 99 - 110.
- 5) Nagasaki, H. (1980) ON THE PERSONALITY TRAIT OF INFANTS - A study on the developmental mechanism of behavioral pattern - *Journal of CHILD DEVELOPMENT*, 16, 1 - 7.
- 6) 大道等, 八木尚江, 森下はるみ (1983) 幼児タッピング動作の観察, *体育の科学*, 33, 240 - 247.
- 7) 佐々木玲子, 連続打叩反応における動作調整の発達過程 (1993) *発育発達研究*, 21, 1 - 8.
- 8) 佐々木玲子, 幼児の動作における速度調整の発達 (1995) *体育の科学*, 45 - 11, 869 - 873.
- 9) 佐々木玲子, なわとびの動作発達 (1994) *体育の科学*, 44 - 8, 651 - 656.
- 10) 鈴木智子, 森下はるみ, 佐々木玲子, 「はずみ運動」における上・下肢の協応 (1993) *体力科学*, 42 - 6, 740.
- 11) 外山寛, 藤原勝夫, 自動化水準と上・下肢の組み合わせ時相 (1993) *体力科学*, 42 - 6, 669.
- 12) 渡部和彦, 動作リズムの研究 - 幼児の跳躍テンポの特徴: 3 - 14歳, 成人の比較 - (1982) *体育科学*, 10, 147 - 152.
- 13) 渡辺俊男, 川原ゆり (1976) 四肢動作にみられる協応能の発達, *体力科学*, 25, 118 - 128.
- 14) Wickstrom, R.L. (1975) *Developmental Kinesiology: Maturation of Basic Motor Patterns Exercise and Sport Science Review* (J.H. Wilmore and J.F. Keogh Eds.), 3, 163 - 192.

(1996年5月10日受付)