慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	子どものリズミカルな運動の調整能の発達について
Sub Title	The development of movement control in repetitive movement sequence of children
Author	佐々木, 玲子(Sasaki, Reiko)
Publisher	慶應義塾大学体育研究所
Publication year	2002
Jtitle	体育研究所紀要 (Bulletin of the institute of physical education, Keio university). Vol.41, No.1 (2002. 1) ,p.1- 14
JaLC DOI	
Abstract	Infants acquire an upright bipedal walk that lasts until they are about one year old, after which they begin to acquire various patterns of movement. In preschool children, both the nervous system and perceptual motor ability have already begun to improve. Therefore, improvement of motor performance would appear in tasks of skill rather than in the tasks of muscular strength. Timing is essential in the execution of skillful movement. There are two temporal elements involved. One is adjustment to am moving target, in which timing involves a single response to a coincident-anticipation task; the other is rhythm, which involves timing movements to correspond to a certain tempo. This paper focused on the repetitive movement sequence and investigated the developmental characteristics of motor control in those movements in children from 3 to 12 years old. In experiment 1, the subjects performed tasks involving, synchronization and maintenance of an externally prescribed tempo, and they were then asked to control and regulate their own movements. A 500-msec interval was considered the preferred tempo for subjects aged 3 to 12 years. When the target pulse (interval) was withdrawn, younger children (3-4 years old) could not maintain the required tempo and changed the tapping frequency to a speed of their own. Children over 7 years old could regulate their movements to adjust to the external stimuli to which they had responded during the movement sequence. It is suggested that some developmental transitions in the central nervous system occur between 4-5 and 6-7 yeas of age, and these'improvements' temporally modify the control of movement. In experiment 2, the subjects executed the task of responding to a set of indicated auditory stimuli as quickly as possible by tapping. In the younger children (3-4 years old), stimuli seemed to promote responsive motion, accelerating the motion itself as the stimuli continued. Although younger children could perceive the time lag, they could not adjust their timing to the stimuli while continuing to tap. Regarding continuous repetitive movement, poor consistency was observed in younger children. On the other hand, in children in early stages of elementary school (7-8 years old), cognition of a time lag in their responses seemed to inhibit the continuity of response. Furthermore, when the subjects executed repetitive movement, attempting to maintain a certain tempo constantly, they could not often do that rhythmically using whole of the body, coordinating upper and lower extremities. It was suggested that movement control was affected also by the level of peripheral maturation. Although a maximal limit of effort is often the focus of developmental study in the field of physical education, regulated movement that required submaximal effort was investigated in this study. From the results, the possibility is suggested that the tempo of the rhythm and movement, particularly self-inhibitory movement, is introduced efficiently to assist in the execution of skilled movement.
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00135710-00410001-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

子どものリズミカルな運動の調整能の発達について

佐々木玲子*

The development of movement control in repetitive movement sequence of children

Reiko Sasaki [1)]

Infants acquire an upright bipedal walk that lasts until they are about one year old, after which they begin to acquire various patterns of movement. In preschool children, both the nervous system and perceptual motor ability have already begun to improve. Therefore, improvement of motor performance would appear in tasks of skill rather than in the tasks of muscular strength.

Timing is essential in the execution of skillful movement. There are two temporal elements involved. One is adjustment to a moving target, in which timing involves a single response to a coincident-anticipation task; the other is rhythm, which involves timing movements to correspond to a certain tempo. This paper focused on the repetitive movement sequence and investigated the developmental characteristics of motor control in those movements in children from 3 to 12 years old.

In experiment 1, the subjects performed tasks involving, synchronization and maintenance of an externally prescribed tempo, and they were then asked to control and regulate their own movements. A 500- msec interval was considered the preferred tempo for subjects aged 3 to 12 years. When the target pulse (interval) was withdrawn, younger children (3−4 years old) could not maintain the required tempo and changed the tapping frequency to a speed of their own. Children over 7 years old could regulate their movements to adjust to the external stimuli to which they had responded during the movement sequence. It is suggested that some developmental transitions in the central nervous system occur between 4−5 and 6−7 yeas of age, and these 'improvements' temporally modify the control of movement.

In experiment 2, the subjects executed the task of responding to a set of indicated auditory stimuli as quickly as possible by tapping. In the younger children (3−4 years old), stimuli seemed to promote responsive motion, accelerating the motion itself as the stimuli continued. Although younger children could perceive the time lag, they could not adjust their timing to the stimuli while continuing to tap. Regarding continuous repetitive movement, poor consistency was observed in younger children. On the other hand, in children in early stages of elementary school (7−8 years old), cognition of a time lag in their responses seemed to inhibit the continuity of response. Furthermore, when the subjects executed repetitive movement, attempting to maintain a certain tempo constantly, they could not often do that rhythmically using whole of the body, coordinating upper and lower extremities. It was suggested that movement control was affected also by the level of peripheral maturation.

Although a maximal limit of effort is often the focus of developmental study in the field of physical education, regulated movement that required submaximal effort was investigated in this study. From the results, the possibility is suggested that the tempo of the rhythm and movement, particularly self-inhibitory movement, is introduced efficiently to assist in the execution of skilled movement.

はじめに

運動発達に関する研究の流れ

運動発達（motor development）は運動機能が成長に伴って分化，多様化，複雑化していく過程であり，それを対

*慶應義塾大学体育研究所助教授　1) Associate Professor, Institute of Physical Education, Keio University.

象とする運動発達研究は「生涯にわたる運動行動の変化，その変化を生み出す過程，そして影響を与える要因を扱う研究領域」[3] と定義される。その始まりは発達心理学の分野から派生し，1800年頃が現代の運動発達研究の萌芽的時期である[3]といわれ，当初は一個人を追って縦断的観察することにより発達を記述していくものであった。1930年代に入り，Gesell[7] や McGraw[17] は生物学的視点に立った発達の過程を論じ，変化の順序を調べることによってそれがいつ生起するのかが問題にされ，段階的な概念が用いられ，さらには個人追跡的研究から各段階としての標準型がモデル化されるようになった（1928-46）。

第二次世界大戦後前後には体育研究者が運動発達研究に関与し，パフォーマンスとして運動のフォームに注目して，ある運動のパターンを発達段階的に示す方法が用いられるようになった。これは「出力結果としての運動」を観察あるいは測定することに着眼点が置かれている[3] ものであり，この種の研究としては，Hellebrandt[10]，Helverson[11]，Wickstrom[43][44] などによる，歩行を始めとした多くの基本的動作の発達パターンが示され，発達キネシオロジー（後年，発達バイオメカニクスに改称）という分野が提唱された。

さらに1970年代以降，運動制御や運動学習研究の影響を受け，「出力結果としての運動」を測定すること（product oriented）から「運動を生み出すプロセス」そのものを分析していくこと（process oriented,[3]）へと研究方法も変わっていった。これは，運動の変化がどのように起こるのか，何がその変化を起こすのかということに視点を置くものである。知覚運動発達（perceptual motor development,[3]）の視点で運動発達を捉える方法も多くみられるようになり，運動の獲得に関しても，知覚，認知研究の知見を導入しての情報理論も用いられるようになってきている。

これらの流れはすなわち，運動の発達が，単に身体の出力発揮能力だけに関わって成り立つものではなく，身体およびそれを取り巻く様々な要因が相互に関連しながら成されているものだということを示すことに他ならない。

Cratty[4] は，運動に関する諸機能の発達は，運動（motor），知覚（perceptual），知能（intellectual）あるいは認知（cognitive），言語（verbal）といった機能が相互に関係しあって発達し，発達の段階は階層的に重なって示されるものではなく，個々に潜む様々な要素が互いに影響を及ぼし合いながら，拡散，統合していくものであるとしている。矢部[47] は，運動発達の研究へのアプローチに関して，従来の反射を基盤とした中枢神経系の入・出力機構として捉える立場と，運動系と知覚系を含む環境の変化や特性に対応して捉える立場とがあると述べ，前者は運動を構成する要素を階層的に捉えるのに対して，後者は適応性と柔軟性のある環境システム全体として把握する点が特徴であるとしている。

ヒトの運動発達特性の捉え方

ヒトの多くの動作は，全般にみれば年齢に伴う身体的発達にしたがってそのパフォーマンスが向上していくことは周知の事実といってよいであろう。しかしながら，それは必ずしも直線的に一様の発達速度を持って向上していくわけではない。Scammon[31] の発育曲線でもわかるように一般型の発育速度に従う筋出力系と，神経系の，経年的発育量のパターンは異なることがわかる。このことをふまえて運動発達を考えると，その運動にどの要素が強く関わるかにより，その発達様相も一様ではなくなることが予想できる。

幼児から児童にかけての時期は，心身の発育・発達が著しく，さまざまな随意運動ができるようになっていく時期である。特に神経系機能の発達はこの時期に顕著であり，児童期の終わりころにはほぼ成人のレベルにまで達する。したがって，それに伴い，この時期には多様な動作あるいは動作様式を獲得していき，いろいろなことが「できない」ことから「できる」ことへ移行，転換していく時期であるといわれる。身体および身体運動の発達を考える場合に，体格あるいは体力論的なとらえ方，すなわちどれだけ大きくなったか，最大努力下でどれだけパフォーマンスが向上したか，こういった観点からの測定データは多い。しかし，このような発育期にある子どもの運動特性をとらえるためのアプローチは，最大努力での運動だけでなく，動作抑制を含む運動の制御の能力に着目することは重要であろう。

工藤[14]は，子どもの運動能力の発達は，外界からの情報の受け入れの正確性など入力側の発達水準や，出力側の発達水準によって大きく規定されている一方，これらの要素やあるいは情報処理速度といったハード的制約以上に重要な要素が関与しており，入力情報を出力側に反映させるというソフト面において未熟な例がしばしばみられることを指摘していおり，発達の量的な側面に加え，質的な面に注目すべきことを示唆している。またザポロージェツ[48]は随意動作を定位部分と遂行部分に分けてその発達をとらえているが，幼児期の随意運動や課題動作の遂行について観察を行なう際には，課題を正確に確認し，それに応じた運動設計を行なえるかどうか，そしてさらに動作レベルでより高いパフォーマンスの遂行ができるかどうか，という2つの段階を考える必要がある。ザポロージェツのいう「定位」と「遂行」の部分にあてはめてみると，前者がその定位部分であり，後者が遂行部分にあたるものと考えられる。

動作の速度調節

動作の時間的調整能についての研究の多くは，主に動作のすばやさや正確性に着目しているものが多い。ある事象にどれだけ速く反応できるかを測定する反応時間や，一定時間にどれだけたくさんタッピングを行うことができるかをみる急速タッピング回数の測定などは，情報伝達システムを含む神経系機能すなわち神経の情報伝導速度，相反的神経支配下における切り替えの速さなどといった機能の向上などに依存する。したがってそのパフォーマンスは年齢とともに向上し，6歳から14歳位までほぼ直線的に急速に短縮していく。

動作速度については，このような「速い」ことを「良し」とする評価の一方で，どれだけ意図した速さを正確に遂行できるか，すなわち動作の抑制も含めた制御の能力ということも，運動をうまく行っていくにあたっては大切な要素である。これには動作を行うにあたって，出力系の能力，すなわち遂行部分に加え，判断も含めた遂行のための動作プログラム，すなわち定位部分，および両者のかかわりが動作に影響を与えることになろう。

外界との予期一致課題（coincident anticipation task）は動作の正確性を評価するのに用いられる。この場合，ヒトは特定の対象にあわせて時間的，空間的に自己の動きを調節しなくてはならない。これまでの動作発達研究において，子どもの予期一致課題の遂行能力には年齢差がみられることが報告されている。種々の動作速度に対して，5歳児では遅い速度に対しては早すぎ，速い速度には遅すぎるという傾向を示し，この年齢の幼児では“ちょうどよい速さ”のみに正確に応答することができたという[32]。たとえ動作一致課題であっても，低年齢の子どもたちでは，自分の好きな速さ，あるいはある決まった速さのみでの動きになってしまうが，8−9歳頃の年齢になると，課題に対してより正確な応答ができるようになるという[46]。

動作速度の調節には，ある時点あるいは地点に対し，目標点が1箇所いわゆる単発的に合わせていくことと，その一方でリズムに合わせて身体を動かすことなどのように，時間経過の中で連続して調節していくことがあげられる。ヒトの動きの中には歩，走行をはじめとして，ある一定の速さやテンポをもって反復して行われるものは多くみられる。その周期性は，年齢とともに変化していくことや，周期の恒常性が年齢に伴い増していくことなどがこれまでにも報告されている[22]。ヒトには快適と感じたり実際に動きやすいと感じる速さがあるといわれており，この一定の速さ，あるいはテンポは，Personal tempo[4]，Mental tempo[19][22]，Preferred tempo[3]などとよばれている。Mishima[19]はこのようなテンポは，生得的に備わったものであり，個人のパーソナリティの基礎となっているものだとしている。年少の子どものPersonal tempoは年長の子どもより速く，また一連の動作の中でもその変動が大きい，すなわち前述の周期の恒常性が低いということが報告されている。先行研究においては，これらのテンポはおおよそ0.5秒前後であると報告しているものが多くある[1][18][41][45][8]。また，ネコを用いた研究によれば，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[20]。

発達的にみると，年少の子どもの継続した反復動作の特徴は，その動作の恒常性の低さであり，そのばらつきの度合いは年齢とともに減少する[45]。反復動作の継続に関しては，そのペースを調節するメカニズムをヒトが生来持ってい

るという考え方がある。Summers ら[34]，Treisman[37]，Viviani & Laissard[38] らはそのメカニズムを 'Internal clock' とよび，それが連続した動作の時間的正確性に影響を与えると考えている。これらヒトの反復的動作の速さを生み出す基準と考えられるものは，小脳に存在し，運動の時間的制御にかかわるとされる[45]。

子どもの遊び・運動の中にもリズミカルなくり返しのある動きは多く含まれる。その中でも歌遊び，手遊びのように，ある一定のテンポにあわせた動きを行うことも多く，そのリズムやテンポにうまくのれたりのれなかったりすることなどによって運動がうまくできたりできなかったりする。ヒトに動作をしやすい至適なテンポがあるとすれば，それとあわせるべき速さが異なる場合には，いわゆる自己の至適な速さに抗して，合わせるべき対象の速さに即した動作をしなければならないことになる。規定された速さに対してどれだけ自己の速さを制御できるか，その範囲が広いほど調節の能力は高いということになろう。子どもはどの速さの範囲まで自己の動作を調節できるのか，またどのようにできるようになるのだろうか。幼児から児童にかけての時期は時間的調整を要する事柄を含む多くの動作パターンを習得していく時期であり，またその時に動作パフォーマンスも劇的に変化していくといわれる。これらのことは末梢の効果器の機能ならびに中枢の機能の発達によるところのものである。

本稿では，これらの背景をふまえ，筆者が行なったタッピングを用いた実験的研究（sasaki[28]，佐々木ら[30][26]，他）の結果の中から，子どものリズミカルな運動の調整能の発達について示していく。

◇ ◇ ◇ ◇ ◇

実験 1　～一定テンポ刺激に対する反応と動作テンポ保持～（sasaki[28]）

本実験では，規定されたテンポに自己の動作速度をあわせて行うという課題に対する応答から，どのくらいの動作速度（テンポ）が時間的に調整可能であるかということを中心に，子どもの動作テンポ調整の発達的特性を明らかにしようとした。ここでは，パフォーマンス（動作結果）が末梢の効果器から受ける影響をできるだけ小さく限定すること，および動作時間を定量しやすいことから“タッピング”動作を用い，経時的反復動作における時間的調整能について検討した。

方　　法

被検者

被検者は健康な幼児，児童であり，それぞれ学年でグルーピングし，全 9 群からなるものとした。各群の人数の内訳は以下のとおりである。(3 歳；12，4 歳；9，5 歳；10，6 歳；10，7 歳；12，8 歳；12，9 歳；12，10 歳；11，11 歳；11)

実験手続き

動作は椅座位で行い，机の上に設置された打叩盤（直径 6 cm 円盤）を利き手で叩くというものであった。被検者は，前方に置かれたカセットテープレコーダーから聞こえる刺激音（2 kHz の近純音，1 刺激音の持続時間は，約 80 msec）にあわせて打叩を行い，途中で音が聞こえなくなっても，そのまま同じ速さで続けて打叩を行うようにという指示が与えられた。強さなど，叩き方については特別な指示は与えられなかった。

音刺激は一試行につき一種類の，一定間隔で連続したものが呈示され，その音刺激間隔は，370，420，500，540，620，720，850，1000，1300 msec の 9 種類であった。音刺激は，すべて試行開始から 10 回呈示し，それにひき続いて，11 回目に該当するもの以降，音刺激呈示のない状態で，課題とした時間間隔 30 回分の空白時間が設定された。一試行の終了は実験者の「止め」という合図によった。なお，本実験においては，課題とした 9 種類の一定の音刺激間隔を

「課題テンポ」とよぶこととした。実験は被検者一人ずつ実施し，9種類の課題の試行順はランダムで，全被検者とも同一の試行順序で行った。各試行間には1～2分程度の適当な休息をとり，疲労による影響がないようにした。

データ処理方法

カセットテープレコーダーのステレオ2チャンネルに，刺激音と，打叩を変調して音に変えたものとをそれぞれ録音し，それを，音声周波数解析装置（竹井機器製）を利用してデジタル化し，保存した。

試行開始後10回までは，刺激と打叩のずれの時間を，それ以降の音刺激の呈示が無くなってからは，タッピング1打毎の間隔時間を，それぞれの年齢群および課題テンポについて測定した。解析にあたっては，一試行の前半，すなわち音刺激にあわせ，同期してタッピングすることを課題とされた区間を「同期相」，ひき続いてのタッピングのみの区間を「継続相」とした。

正確性（accuracy）の評価には2つの測定値を用いた。1つは同期相での音刺激とタッピングのずれ時間，もう1つは継続相でのタッピング間隔（ITI；Inter-tap-interval）と課題間隔との時間的差異であり，それぞれ被検者の年齢および課題ごとに平均値を求めた。

継続相におけるタッピング間隔の標準偏差をもって動作の恒常性（consistency）の指標とした。

結果および考察

動作の正確性

表1は，各課題テンポにおける被検者群毎の「刺激（S）－Tap」のずれ時間（第4刺激以降の「S－T」時間）の平均値および標準偏差を示したものである。全般にS－Tの値は，刺激と打叩の同期を示す0 msec近辺に近づく傾向ではあるが，平均値では－125から＋98 msecの範囲でばらつきがみられた。

年齢（9）×テンポ（9）の分散分析を行った結果，年齢の主効果（$F(8,796) = 9.20; p<.001$），およびテンポの主効果（$F(8,796) = 5.69; p<.001$）がみられた。これらの主効果に関して，LSD法による下位検定を行った。その結果，3歳と5歳以上の各年齢，4歳と6歳以上の各年齢，5歳と6，7，9歳，6歳と8，10，11歳，7歳と11歳の間に有意差がみられた（それぞれ，$p<.05$）。刺激とタッピングのずれ時間は，特に3，4歳児で他の年齢より大きい傾向にあることが示された。

テンポに関しては，370 msecと500 msec以上の各テンポ，420 msecと850 msecを除く540 msec以上の各テンポ，500 msecと1000 msecの間に有意差がみられた（それぞれ，$p<.05$）。370，420 msecの速い課題テンポには刺激への遅れが，逆に遅いテンポでは，刺激よりタッピングが先行する傾向であった。

表1　同期相における各年齢群，課題テンポ別に見た「刺激－Tap」ずれ時間の平均値（M）および標準偏差（SD）［M（SD）］

年齢（歳）	刺激間隔（msec.）								
	370	420	500	540	620	720	850	1000	1300
3（n=12）	65（48）	11（103）	63（125）	1（135）	24（13）	－8（159）	40（176）	21（184）	43（248）
4（n=9）	98（78）	47（77）	35（106）	29（166）	－42（144）	0（134）	64（192）	32（208）	－56（176）
5（n=10）	48（27）	34（58）	13（69）	－5（67）	－5（59）	－20（118）	－59（105）	－43（110）	－5（204）
6（n=10）	20（70）	－7（58）	－41（54）	－46（113）	－63（102）	－69（137）	－125（137）	－102（129）	－34（148）
7（n=12）	31（49）	30（115）	－31（64）	－30（77）	－36（91）	－33（90）	－52（89）	－85（107）	－71（131）
8（n=12）	9（61）	－15（78）	－14（59）	－25（61）	－24（72）	17（99）	8（145）	－42（67）	－50（123）
9（n=12）	11（89）	－22（98）	－37（67）	－74（67）	－56（68）	－62（73）	－40（93）	－46（104）	－32（96）
10（n=11）	52（51）	10（103）	－51（64）	－61（42）	7（116）	－19（155）	18（160）	－10（103）	－10（109）
11（n=11）	43（68）	－2（46）	－18（49）	－32（52）	－20（59）	－22（68）	29（164）	－30（80）	15（117）

刺激呈示が消失して以降の，タッピングだけが行われた区間（継続相）では，タッピング1打毎の間隔時間を測定した。表2は，各課題毎のタッピング間隔の平均値と標準偏差を，被検者の年齢群毎に示したものである。タッピング間隔はどの年齢群においても，課題間隔が500 msecの時に最も課題間隔の値に近かった。他の間隔については，500 msecを境に，課題間隔が短いとタッピング間隔はそれより長く，逆に課題間隔が長いとタッピング間隔は短くなるという傾向がみられた。また，標準偏差の大きさからみると，タッピング間隔の変動は500 msecより長い課題テンポに対して大きく，さらに低年齢児においては課題間隔にかかわらず大きかった。

表2　継続相における年齢群，課題テンポ別にみたタップ間隔の平均値（M）および標準偏差（SD）［M（SD）］

年齢（歳）	刺激間隔 (msec.)								
	370	420	500	540	620	720	850	1000	1300
3（n=12）	509（192）	492（193）	503（189）	494（154）	530（169）	532（201）	640（325）	625（207）	647（239）
4（n= 9）	407（ 84）	439（ 97）	516（164）	487（119）	565（187）	601（172）	681（107）	598（185）	703（304）
5（n=10）	387（ 27）	446（ 69）	490（ 65）	542（ 88）	606（126）	687（144）	745（126）	855（156）	1045（189）
6（n=10）	383（ 36）	454（ 68）	463（ 38）	498（ 37）	569（ 60）	642（ 68）	693（ 84）	819（ 86）	1063（159）
7（n=12）	366（ 23）	418（ 35）	468（ 38）	508（ 36）	588（ 47）	693（ 54）	797（ 59）	891（ 62）	1194（ 97）
8（n=12）	369（ 34）	419（ 43）	491（ 29）	521（ 39）	593（ 48）	695（ 46）	812（ 57）	961（ 64）	1185（ 92）
9（n=12）	358（ 27）	407（ 34）	468（ 35）	491（ 38）	577（ 37）	698（ 44）	795（ 51）	968（ 64）	1232（ 90）
10（n=11）	368（ 29）	415（ 28）	475（ 39）	518（ 26）	600（ 38）	692（ 46）	774（ 47）	929（ 54）	1127（ 76）
11（n=11）	381（ 21）	440（ 26）	487（ 23）	529（ 23）	628（ 34）	712（ 35）	809（ 41）	933（ 49）	1193（ 82）

テンポ毎に年齢による一要因の分散分析を行った。その結果，370，420，540，720，850，1000，1300 msecの各テンポに年齢差がみられた（420，540 msecで $p<.05$，それ以外で $p<.01$）。500～600 msecを境にして，テンポの遅速，両方向に，それから離れるほど年齢差が大きくなった。さらに，年齢差のみられたテンポにおいてLSD法による下位検定を行ったところ，3歳は，そのほとんどの間隔において，どの年齢とも有意な差がみられた（すべて，$p<.05$）。また間隔が1000 msec 1300 msecになると3歳以外の他の年齢間でも有意な差がみられ，6歳と8，9，10，11歳間にも有意な差がみられた（それぞれ，$p<.05$）。しかしながら，7歳以降では各年齢間にはほとんどのテンポで有意な差はみられなかった。

課題テンポ500 msecと540 msecの標準偏差は小さく，個人内，個人間でも同様の傾向が認められたことから，これらの間隔が，同期しやすい，すなわちタッピング動作を合わせやすい間隔であることが示唆された。渡辺と川原[42]は，3歳から15歳を対象とした実験結果から，快適なタッピング頻度は年齢に関係なく500～600 msecであろうと報告している。また，6歳から10歳の子どもで，550 msec間隔のペースは困難なくその速さを維持できたとの報告[45]もある。

Sheaら[32]は，予期一致課題（coincident-anticipation task）の種々の動作速度において，反応のエラーは5歳，9歳，18歳と年齢に伴い減少していくことを示した。また彼らは5歳児（最年少の被検者群）は遅い速度の呈示には早すぎ，速い速度の呈示には遅すぎる反応を示したことを報告している[32][12]。Nagasaki[22]は年少の幼児期においてメンタルテンポは速く，その恒常性も低いと指摘し，年齢に伴って徐々に遅くなり一定してくると述べている。しかしながら，動作を伴わない認知レベルにおいては年齢差がそれほど明確でないとも述べている。

ヒトがあるテンポを持ったくり返しの動作を継続していく時，そのテンポは“internal clock”によって調節されるといわれる[37][38]。これが動作の時間的パターンを正確に形成する役割を持ち[34]，この動作の時間的調整を行う機能は小脳に存在する。IvryとKeele[13]は，小脳に損傷のある被検者では，リズミカルな反復動作のテンポの不規則性が，健常者に比べて非常に大きいことを報告し，この違いは中枢の時間間隔保持のメカニズム（central time-keeping

mechanism）の変動性が小脳損傷者でより大きいことによると述べている。Williams ら[45]は，年少の子どもの動作調整能の発達的特徴は，動作の経時的過程において恒常性が増していくことにみられると述べ，反復動作反応の反復する間隔の時間的変動には年齢差が顕著にみられることから，この，小脳内の central time-keeping mechanism における動作の時間的保持機能の不安定性が年齢とともに減少するとしている。

動作の恒常性と加齢変化

継続相では1試行中，一定のテンポでのタッピングが求められているにもかかわらず，打叩間隔には時間経過に伴う変化がみられた。図1は，継続相でのタッピングを時間経過にしたがって順に10回毎の3区間に分け，各区間でのタッピング間隔の平均値を経時的に示したものである。ここでは3歳，6歳，9歳の3年齢群を示した。全般に，500 msec より長い課題間隔で，時間経過に伴い打叩間隔が短縮し，テンポが速くなるという傾向がみられたが，3歳ではそれが著しかった。また3歳ではその際，どの課題テンポについても打叩間隔が 500 ～ 600 msec に収束する傾向であった。それに対し6歳，9歳では課題間隔の長短にかかわらず打叩間隔は明確に区別された。間隔別にみると，課題間隔が 500 msec より短いものに対してはタッピング間隔はより長く，540 msec より長いものに対してはより短く，その傾向は年齢が低いほど顕著であった。また特に 1000，1300sec. の長い間隔ではその年齢差が著しいことが示された。

3歳を代表とする年少の幼児では，おおよそどの課題テンポにおいても，試行の終末期には，打叩間隔が 500 ～ 600 msec に収束する傾向がみられたことから，指標となるテンポの呈示がなくなると，動作の発現においては，課題テンポより自己の至適なテンポが優位となっていくものと推察できる。

Williams[46]によれば，5歳児では課題とされるいくつかの動作速度に対しても，自己の至適な，あるいは決まりきった速さで応答し，その速さに対してのみ正確に反応する傾向がみられるという。成人や年長の子どもでは，与えられた動作速度に自己を適応させる幅を持っており，自己のテンポをデフォルトしてあらたに適応させることができるが，年少児では自己のテンポが優位になる[46][32]。また Hay[9]は，リーチ動作を用いて外的指標速度に動作をあわせる課題を行い，7歳以上の子どもでは指標の速度にあわせて自己の動作速度を調節できると報告している。また，連続した動作中にそれを修正する，いわゆるフィードバック機構に基づく動作の修正が，7歳以降の子どもでは可能になるとしている。さらに，Pouthas[24]は6歳から8歳は動作発達において移行期であることを指摘し，たとえば時間間隔予測の正確性が劇的に向上することは，時間に関する論理的思考の習得によるのではないかとしている。

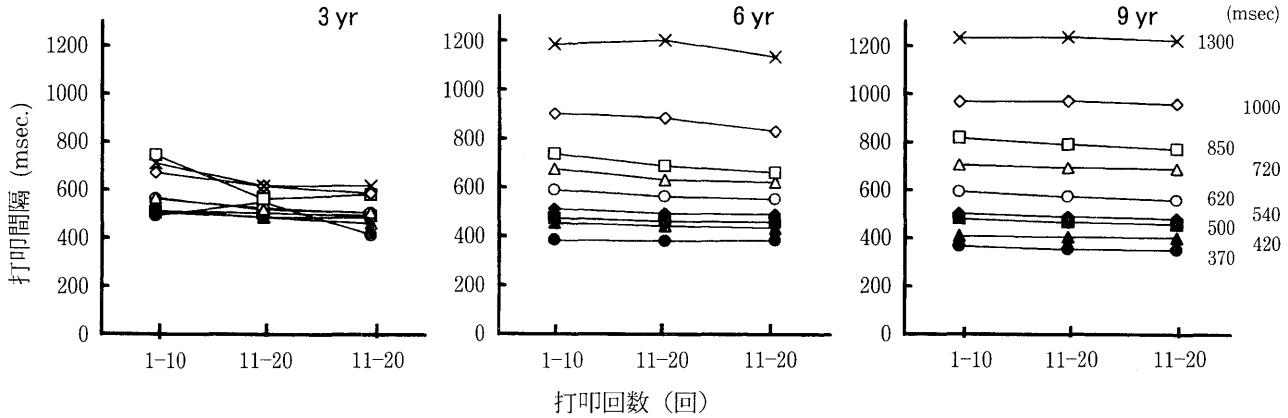

図1　継続相における各課題テンポ毎にみたタップ間隔の経時的変化（3，6，9歳）
継続相を時間経過にしたがって10打叩ずつに分割し，それぞれの平均値で示した。

本実験では，5歳以降にはこのテンポの遅速の順序性に逆転はみられなかった。すなわち課題とされたテンポの遅速とタッピングテンポの遅速の順序は一致していた。これらのことから発達的にみると，4−5歳と6−7歳に，時間的な動作の調整能に関して何らかの発達的な変換点（critical point）があることが推察できる。先行研究において渡部[39]は，3歳から14歳の子どもに連続その場跳びを行わせ，優先跳躍テンポ（好ましいと感じる速さ）は，6〜7歳頃に著しく変容し成人の値に近づくが，テンポの恒常性はまだ低く，それが成人の値に近づくのは12歳頃であると報告している。これらのことは動作の調整能の発達は，7歳ころに変換期があり，それ以前ではホッピング（跳躍）のパフォーマンスは中枢神経系の成熟によるところが大きく，7歳以降では，動作を発現させる効果器系の，いわゆるパワー，エネルギー要素の成熟によるところが大きいのではないかと述べている。本研究では，パワー,エネルギー要素が比較的関与しないタッピングを課題動作として用いたため，7歳ころを境にそれ以降の年齢群でほぼ変化のない同様の傾向を示したのではないだろうか。従ってこのタッピング課題における7歳ころまでのパフォーマンスの向上は，中枢神経系要素の成熟によるところが大きいことを示唆するものと考えられる。

実験2　〜連続反応動作における刺激間隔予測と動作パターン〜（佐々木[30][26]）

一般に，刺激に対して反応をするという場合，できるだけ速く反応することが求められることがある。さらに連続的に「刺激−反応」動作を行うと，繰り返される刺激が規則的であれば，その間隔や速さを予測することができるようになり[23]，それに基づいて動作を行えばより早い反応は可能となる。ここでは，「できるだけ速く反応する」ことを被検者への課題として，連続した「刺激−反応」における予測や判断などの認知レベルも含めた反応動作に着目した。刺激に対する反応という形式を用い，規則性のある刺激を与えることにより，幼児がその規則性をどのように認識し，反応動作を行なうのかを，反応時間と反応の動作様式を指標として検討した。また，子どもが，与えられた刺激（入力）に対してどのように反応（出力）するか，この出力パターンから，入力から出力までの間すなわち情報処理過程を推測し，ハード面だけでなくソフト面にも視点をあて，動作の調整機序について発達的に検討した。

反応時間を用いた「刺激−反応系」の動作発現のメカニズムに関しては，反射レベルにおいて生理学的に明らかにしているものは多いが，認知過程を含む動作としてとらえているものは少ない。本実験の目的は，後者の立場から動作を観察し，子どもの動作調整の特徴を定量的だけでなく，定性的にも明らかにしようというものである。

方　　法

被検者

被検者は健常な幼児，児童であった。それぞれの年齢における人数の内訳は以下のとおりである。(3歳；26，4歳；30，5歳；47，7歳；30，9歳；30，11歳；30)

実験手続き

実験に用いた装置は実験1と同様であった。また被検者も実験1同様，椅座位での片手のタッピングを行った。動作の課題は，ある間隔で連続して呈示される音刺激ひとつひとつに対して打叩動作で反応するというもので，連続した「刺激−反応系」における情報処理の過程を出力結果からみようとするものである。与られた刺激のパターンは以下に示すとおりである。

・連続した刺激の呈示間隔は，1，2，3秒の3種類であり，呈示回数は1，2，3秒それぞれ30回，15回，10回とし，すべての試行時間がほぼ等しくなるようにした。

課題遂行に際し被検者は，「(盤に) 触らないで構えて待ち，音が聞こえたらできるだけ早く，盤を叩いてください。」と指示された。各被検者とも課題の遂行前には，検者の示範をみて，2～3回の練習を行った。実験は各被検者一人ずつ行い，各課題テンポで1試行ずつ行った。

データ処理方法

データの記録方法は実験1と同様であった。刺激の呈示から打叩が行われるまでに要する時間，すなわち「刺激－Tap」間のずれの時間を一打ごとに計測し，動作の時間経過に伴う変化をみた。

同時に，動作手側側方からVTR撮影を行い打叩動作を観察した。

結果および考察

刺激間隔と反応パターン

1秒間隔刺激に対する反応時間について，第1打叩から最終打叩まで1反応毎にその平均値と最大，最小値を時系列に従って年齢群毎に示したのが図2である。どの年齢においても打叩回数に伴い平均値は短縮し0msec近くに移行す

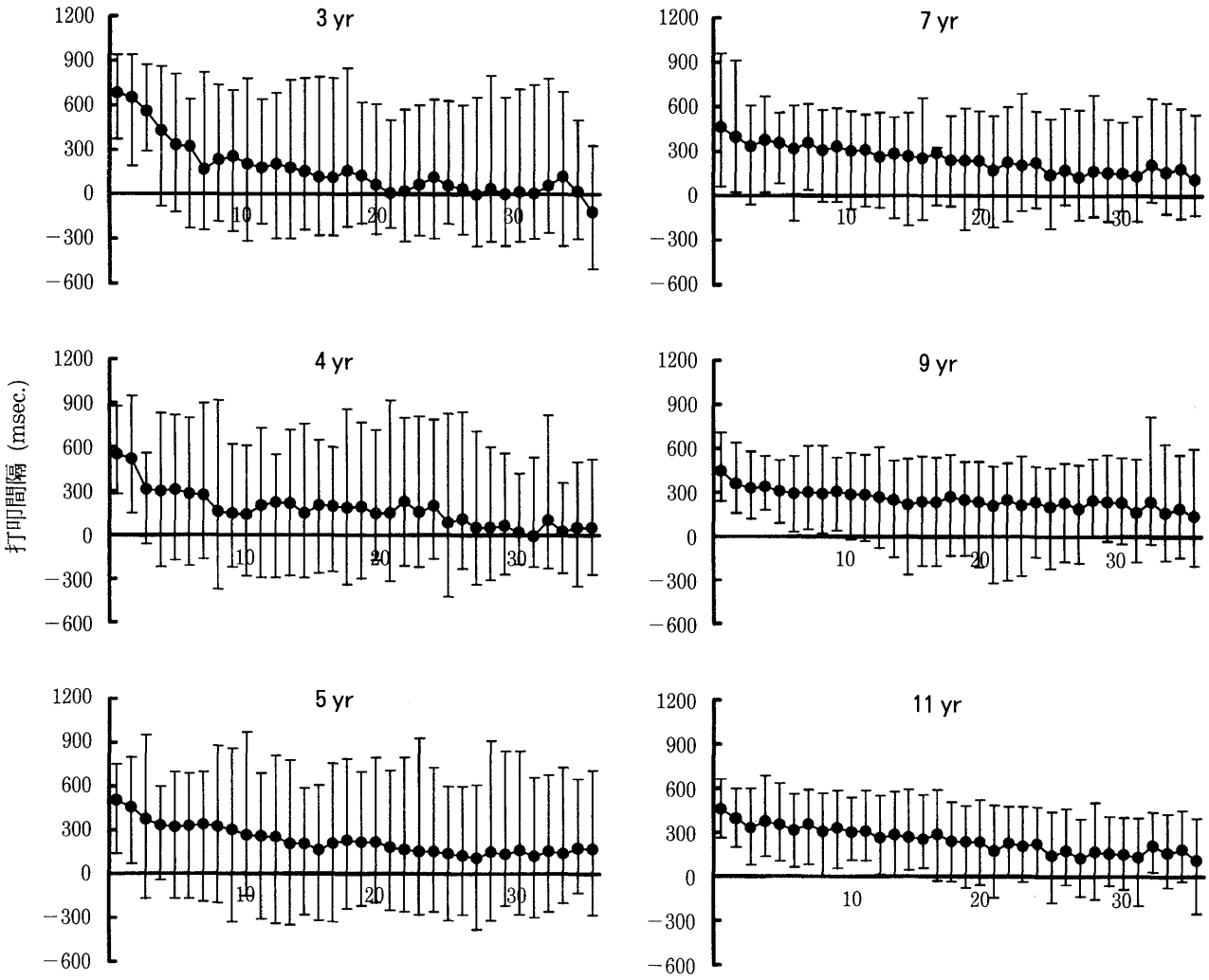

図2　1秒間隔刺激に対する反応時間の経時的変化
(平均値(●)と最大，最小の幅で示した。)

る傾向にあった。刺激の呈示を予測して打叩が刺激に先行した場合，尚早反応（いわゆるフライング）についてはマイナス値として示される。1秒という刺激間隔時間では，試行開始から十数回目位の刺激呈示までの間に，ほとんどの被検者において，反応の遅れ時間の著しい短縮，刺激との同期，尚早反応が出現する。一試行約30回の刺激呈示において，3歳児では平均してこれらの現象の出現は早く，その後の反応も打叩が刺激に先行することが多い。最小値でみると－300～400 msec 程にいたる。また大きく遅れる例があり，3歳全般をみると先取りの傾向が非常に強い（促進型；佐々木[26]）がまたそのばらつきも非常に大きいといえる。4歳では3歳のように先取りの度合いが大きいものはそれはどみられないが，最大，最小のばらつきは大きい。3，4歳では，一試行の中での反応パターンが一定しておらず，刺激に対して大きく打叩が先行したり遅れたりというような混在した例（混在型；佐々木[26]）もみられた。このように，個人間のばらつきが大きいこととともに個人内の変動が大きいことが年少児に特徴的である。5歳では，3歳，4歳に比べて最大，最小の差，ばらつきともに小さく，個人間で違いはみられるが，個人内の変動は少なかった。さらに7歳以降では，最大，最小値のとる幅が小さくなった。

1秒間隔で刺激が連続的に呈示されると，成人[29]と同様に，子どもにおいても予測的打叩が出現した。大築[23]は，「人間というものは規則的な刺激を与えられると，いつの間にかその刺激を予測し，その予測に基づいて，刺激をよく確認せずに反応動作を起こしてしまうものだ」と述べている。また渡辺ら[40]は，一定周期のリズムに動作をシンクロナイズさせた場合，予測要素が強く，早く動作をあわせる傾向がみられ，さらにその周期が固有のリズムに近いほどシンクロニゼーションが容易であり，作業負荷が少ないことを確かめている。

この予測打叩の出現は「刺激の規則的パターンが認識され」，「それに対応した動作を行なっていること」を示すものであり，これはザボロージェッ[48]のいう動作課題に対する「定位」と「遂行」にあたるものと解釈できる。この1秒間隔刺激に対しては，刺激と同期する打叩が多くみられたことは，この間隔がフレス[5]のいう，区切りを同一の現在に緒びつけることが可能であることを示すものである。しかし，低年齢ほど刺激と打叩との時間的ずれが大きくなり，3歳，4歳の年少の幼児に関しては，区切りを同一の現在に緒びつけることが可能な間隔であるとはいいきれない。2秒間隔および3秒間隔に対する反応ではさらにそのずれは大きい。つまり3，4歳にとって2秒，3秒の間隔は持続の知覚が消失している域であることが予想される。この時間間隔知覚における域については，フレスの対象とした成人同様の傾向を幼児についても読み取ることはできる。しかし，各間隔について詳細にみれば，年齢によってその域が異なり，年少児ほど持続の知覚が可能な間隔の上限が低くなるであろうことが推測できる。

幼年児の動作制御特性

幼児において，動作の促進的機能が抑制的機能に優先することはこれまでにも指摘されており[21]，本実験結果においても，多くの幼児にこのような事例がみられ，それが確かめられた。Gaston[6]はリズムが動作の energizer と organizer としての役割を持つと述べているが，それに従えば，ここでは，規則的な音刺激が動作を統制する動き（organizer）より，むしろ活性化させ動作を鼓舞する役割（energizer）となっているといえる。また Luria[15][16]は幼児の言語による動作調整について，3歳～3歳半の子どもでは，バルブを「押せ」という言葉にも「押すな」という言葉にも，「押す」という動作を実行してしまう。これは発する言葉の意味ではなく音刺激的（インパルス的）側面が働くことにより，言葉が動作の誘発刺激として機能することによる。すなわち，言語教示の鼓舞的部分が抑制的部分よりまだ強く，教示によってひきおこされた運動性興奮は非常に拡散的であると指摘している。同様に本実験においても，3歳頃の幼児にとって音刺激は動作を統制する意味的側面よりは言葉の音刺激的側面，動作の解発刺激としての役割を果たしているといえる。

連続動作における動作の修正

刺激の「定位」から動作の発現までの過程が「遂行」のパターンとして動作に現れる。動作の獲得過程において，反応動作としての連続タッピングがパターンとしていくつかの分類ができた[26]。連続した動作を正確に行うためには，その遂行初期に課題が「定位」され，さらに動作の継続中に出力結果のフィードバックと，それに基づく修正がなされる。規則的なテンポの反復動作がスムーズに継続されるためには，動作遂行中，常に修正が繰り返されるか，あるいは初期の段階でフィードバックにより修正され，自動化された動作パターンができ，それに基づきフィードフォワード型として継続される。しかし幼少期または動作がスムーズにいかない事例では，フィードバックの機構，あるいはフィードバックからフィードフォワードへの変換機構がうまくいかないと思われる事例がみられた。年少の幼児に顕著にみられる事例として，動作遂行中には適切なフィードバックがなされず，したがって一旦動作を開始すると動作の修正はなされないという段階（促進型），フィードバックはなされるがその結果に基づいた修正がなされず動作が一定しない（混在型），試行中の動作が中断する，フィードバックそのものが動作遂行を阻害する段階（欠損型），あるいは反応打叩から予測打叩に急変する（切換型）などがその事例である。さらに発達的段階として，規定された規則性は定位されており，パターン化された恒常性の高い動作ではあるが必ずしも成熟型とは一致しない段階（後打型），フィードバックされ動作遂行中に修正を行い恒常性も高いという段階（同期型，同調型）という発達段階的パターンが見出された。年齢に伴いこれらの動作様相は個人内で一定し，同期あるいは同調型のパターンが増加する。（“型”の記述は佐々木[26]による）

以上にタッピングを用いた動作リズム（テンポ）調整についての結果を示した。さらに動作部位を増やした運動についても加えておく。

◇ ◇ ◇ ◇ ◇

全身を用いたリズミカルな運動の調整

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，神経系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。

連続ジャンプを用いた渡部の報告[39]でも，前述した他の先行研究と同様，幼児の動作リズムは速く，変動が大きいとされている。そこでは，跳ぶという全身の動作課題において，動作を発現する過程を，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，効果器系の未発達をその要因とする度合いが大きいであろうと考えている。つまり，全身ジャンプという動作の特性から，その遂行には，姿勢調節などを含む平衡を保ちながら，連続してジャンプを行うのに十分な筋力等の効果器系の成熟が必要とされる。しかしながら，幼児ではそれが未発達であり，一定した動作テンポの維持を阻害する要因になっているということである。

実際の動きの場面においては，運動が手のみ，足のみで行われるものは少ない。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，渡辺と川原[41]は，タッピングとステッピング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と藤原[36]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，下肢の方が自動化水準が高いことを指摘している。一方，鈴木ら[35]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。また邉と森下[2]は，ホップキック動作の観察から，幼児では左右足の切換えや片足でのはずみに難しさがあること，さらに身体調整に左右差があることを報告している。したがって，より日常的な実際場面における粗大運動では，リズミカルな運動を行うにしても効果器系の発達の程度により，その発現に影響が現れるということであろう。

全身を用いた上下肢の協応運動について，そのテンポの速さの違いによってどのように両者の運動のタイミングが異なるかを確かめたところ[27]，規則的なテンポを持つ反復動作でも動作様式（動作の主働部位）が異なることによって遂行可能なテンポに違いがみられ，動作遂行にかかわる効果器系の発達がパフォーマンスに影響を与えることが示唆された。前出のタッピングと比較し，タッピングでは遂行可能であった動作テンポでも，上下肢の反復的協応運動ではそのテンポでは規則的なくり返しが行えないという事例がみられた。テンポとして認知できても動作を行う場合，動作部位や動作範囲，動作の複雑さが増すことなど，動作様式の変化によってパフォーマンスは影響を受ける。成人では，テンポが増すと動作域を縮小することによって一定の動作速度を補償するが，幼児では成人のようなテンポに応じた動作域の変化はみられず，したがって動作速度が変化し，このことが上下肢の動作タイミングにずれが生じる一つの要因となることも考えられる。

また，動いているなわとびを跳び越すというような，変化する外的刺激に自己の動作を合わせるという場合[25]，受容器予測と効果器予測の両者の時間予測の正確性が必要となるが，全身的動作を用いた反応の場合，幼児では後者の未発達もパフォーマンスの低下に影響を与えることが推察できた。それは効果器予測，すなわち動作そのものの所要時間の予測が未発達であるために，主動作の直前の準備期にかかる時間が長く，また一定しておらず，適切なタイミングでの動作開始が行えないことに現れているものと考えられる。

おわりに

動作の調整能に関する発達的研究は，これまでにも数多く行われてきた。特に，反応時間に代表されるような，単発の動作としてどれだけ速く反応できるか，あるいは急速反復タッピングに代表されるような，継続的動作としてどれだけ速く動くことができるかということに関する発達（年齢変化）をみるものは体育学の分野では数多い。しかし，動作の抑制を含めた制御系に関して年齢を追って発達的に定量化したものは少ない。さらに，動作の遂行結果をもって発達の指標とし，“どのくらい”できるか，すなわち動作の結果（product oriented）に着目するものがほとんどであり，“どのようにして”できるか，できるようになるか（process oriented）を明らかにしたものは少ない。それには，動作の遂行だけでなく，課題動作の定位部分，すなわち認知的側面にも焦点をあてることが必要であった。本稿ではそれらのこれまであまり検討されていないところに着目し，発育期の子どもの動作の発達特性を明らかにした成果を示した。

これらの結果から，子どもの教育場面に対しても，至適なテンポ（速さ）を用いて，それに追随することによって滑らかな動作の獲得を目指したり，あるいは逆にスピードやパワーの増大だけでなく，ゆっくりした動作をあえて遂行したり，一定の速さを維持した動きを取り入れて，動作の抑制的側面にも着目した指導を取り入れることが提案できよう。また巧みな動作を獲得する補助として動作のテンポやリズムを効果的に導入する可能性を見出すこともできると考える。

引用文献

1) Bartlett, N. R., & Bartlett, S. C. (1959) Synchronization of motor response with an anticipated sensory event. *Psychological Review,* 66, 203–218.
2) 邉仁敬，森下はるみ（1995）ホップ系リズム動作の発達とトレーニングの適時性，体育の科学，45–6，439–444.
3) Clark, J. E. & Whitall, J. W (1989) What is motor development? The lessons of history. *Quest* 41, 183–202.
4) Cratty, B. J. (1986) Perceptual and Motor Development in Infants and Children. 3rd ed. NJ: Prentice-hall.
5) フレス，P.（1971）時間知覚，現代心理学 6 知覚と認知，J. ピアジェ，P. フレス共編，波多野完治，南博監修，白水社：東京，pp. 93–142。
6) Gaston, E. T. (1968) *Music in Therapy.* NY: The Macmillan Company, pp. 17–19.

7) Gesell, A. (1940) *The first five years of life.* NY: Harper and Brothers.
8) Grillnaer, S. (1975) Locomotion in vertebrates: Central mechanisms and reflex interaction. *Physiological Review.* 55, 247–304.
9) Hay, L. (1979) Spatial-temporal analysis of movements in children: motor programs versus feedback in the development of reaching. *Journal of Motor Behavior,* 11, 189–200.
10) Hellebrandt, F. A. (1961) Physiological analysis of basic motor skills. *American Journal of Physical Medicine.* 40, 14–25.
11) Helverson, L. E. (1966) Development of motor patterns in young children. *Quest* 6, 44–53.
12) Isaacs, L. D. (1983) Coincident-anticipation in simple catching. *Journal of Human Movement Studies* 9, 195–201.
13) Ivry, R. B. & Keele, S. W. (1989) Timing functions of the cerebellum. *Journal of Cognitive Neurosciences,* 6, 136–152.
14) 工藤孝幾（1989）発達と運動反応スキーマの形成，体育の科学，39–8，621–626.
15) Luria, A. R. (1961) *The Role of Speech in the Regulation of Normal and Abnormal Behavior.* J. Tizard（Ed.） NY: Liveright, pp. 50–96.
16) ルリヤ，A. R.（1976）随意運動の発達，言語と精神発達，（松野豊，関口登訳），第5版，明治図書：東京，pp. 139–171.
17) McGraw, M. B. (1940) Neural maturation as exemplified in achievement of bladder control. *The Journal of Pediatrics* 16, 580–590.
18) Melvill Jones, G., & Watt, D. G. D. (1971) Observation on the control of stepping and hopping movements in man. *Journal of Physiology,* 219, 709–727.
19) Mishima, J. (1956) The mental tempo, its developmental consideration. *Phylosophia* 31, 67–82.
20) Mori, S., Nishimura, H., Kurakami, C., Yamamura, T, & Aoki, M. (1978) Controlled Locomotion in the Mesencephalic Cat: Distribution of Facilitatory and Inhibitory Regions within Pontine Tegmentum. *Journal of Neurophysiology,* 41–6, 1580–1591.
21) 森下はるみ（1978）幼児の動作調整能の発達―保育方法の異なる2群の比較―，体育科学6，114–122。
22) Nagasaki, H. (1980) On the personality traits of infants——a study of the developmental mechanism of behavioral patterns. *Journal of Child Development* 16, 1–7.
23) 大築立志（1991）予測とタイミング，*Japanese Journal of Sports Science* 10–10, 676–682.
24) Pouthas, V. (1985) Timing behavior in young children: a developmental approach to coordinated spaced responding. J. A. Michon & J. L. Jackson (Eds.), *Time and behavior.* Heidelberg: Springer-Verlag. pp. 100–109.
25) 佐々木玲子（1992）長なわ跳び越し動作における幼児の時空間的動作調整，慶應義塾大学体育研究所紀要，32，25–32.
26) 佐々木玲子（1993）連続打叩反応における動作調整の発達過程，発育発達研究，21，1–8.
27) 佐々木玲子（1996）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～，発育発達研究，24，45–51。
28) Sasaki, R. (1997) Developmental characteristics of temporal control of movement in preschool and school children of different ages Perceptual and motor skills, 85, 1455–1467.
29) 佐々木玲子，森下はるみ（1987）打叩動作における予測・反応特性――定時間間隔に対する反応―，お茶の水女子大学人文科学紀要 40，195–210。
30) 佐々木玲子，森下はるみ，鈴木敏朗（1988），幼児の打叩動作調整の発達，体育科学，16，99–110.
31) Scammon, R. E. (1930) The measurement of man. J. A. Harris, J C. M. ancson, D. G. Paterson, & R. E. Scammon (Eds.), *The measurement of the body in childhood.* MN: Univ. Minesota Press.
32) Shea, C. H., Kranpitz, J. B., Northam, C. C., & Ashby, A. A. (1982) Information processing in coincident timing tasks: a developmntal perspective. *Journal of Human Movement Studies* 8, 73–83.
33) Smoll, F. L. (1975) Preferred Tempo in Performance of Repetitive Movements. *Perceptual and Motor Skills* 40, 439–442.
34) Summers, J. J., Bell. R., & Burns, B. D. (1989) Perceptual and motor factors in imitation of simple temporal patterns. *Psychological Research* 50, 23–27.
35) 鈴木智子，森下はるみ，佐々木玲子（1993）「はずみ運動」における上・下肢の協応，体力科学，42–6，740.
36) 外山寛，藤原勝夫（1993）自動化水準と上・下肢の組み合わせ時相，体力科学 42–6，669。
37) Treisman, M. (1963) Temporal discrimination and the indifference interval: implications for a model of the "internal clock" *Psychological Monographs: General and Applied* 77, No. 13 (Whole No. 576).
38) Viviani, P., & Laissard, G. (1991) Timing control in motor sequences. J. Fagard & P. H. Wolff (Eds.), *The development of timing control and temporal organization in coordinated action.* Amsterdam: Elserver Science. pp. 1–36.
39) 渡部和彦（1982）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―，体育科学 10，147–152.
40) 渡辺富夫，石井威望（1984）シンクロニゼーション―人間と機会の調和をめざして，情報システムとしての人間（石井威望，小林登，清水博，村上洋一郎訳），第1版，中山書店：東京，pp. 91–93.
41) 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.
42) 渡辺俊男，川原ゆり（1977）中枢プログラミングの変更に伴う動作の変容，体力科学 26，145–154.
43) Wickstrom, R. L. (1975) Developmental Kinesiology: Maturation of Basic Motor Patterns, *Exercise and Sport Science Review* 3, 163–192.
44) Wickstrom, R. L. (1983) *Fundamental Motor Patterns,* Philadelphia: Lea & Febiger, 3rd ed.
45) Williams, H. G., Woollacott, M. H., & Ivry, R. (1992) Timing and motor control in clumsy children. *Journal of Motor Behavior* 24, 165–172.

46) Williams, K. (1985) Age differences on coincident anticipation task: influence of stereotypic or "preferred" movement speed. *Journal of Motor Behavior* 17, 389-410.
47) 矢部京之助（1997）運動発達理論，運動制御と運動学習，協同医書出版社：東京，pp. 111-136.
48) ザポロージェツ（1977）随意運動の発達（西牟田久雄訳），世界書院：東京，pp. 150-228.