

幼児のリズム表現を支える同期能力の発達

——突発的なテンポ変化に対する追従性——

高橋範行*¹・松山貴実*²

1. はじめに

一般的にリズムとは時間経過に沿った事象の発生を指す。たびたび言及されるリズム、メロディー、ハーモニーという音楽の3要素において、メロディーとハーモニーが含まれない音楽は数多く存在する一方で、リズムを欠いて音楽は成立することができない。したがって、リズムは音楽の本質ともいえよう。音楽に限らずとも、周囲のリズムに自らのリズムを合わせることは、人間が環境に適應するための基本的能力である(梅本, 1999)。複数のリズムが同期することによって、社会が破綻することなく成立しているのである。

当然、音楽においてもリズムの同期は重要である。とりわけアンサンブルでは複数の演奏者同士のリズム同期が鍵を握る。音楽におけるリズムの同期の過程は、周期性の知覚と行動の調節に大きく分けることができる。周期性の知覚とは時間の中に存在する周期性を見出すことである。一般的に多くの音楽におけるリズムには周期性がみられる。例えばクラシック音楽では、時間という連続量を特定の時間長によって離散化する「拍」と、それらを体制化する「拍子」という2つの階層による周期性があり、それらを知覚することが同期の第一歩となる。しかし、知覚した周期に自分の行動を合わせることができなければ、同期は成立しない。したがって、行動の調整という運動制御に関わる部分も同期には不可欠である。

梅本(1999)が指摘するように、同期は発達の側面をもっている。外界のリズムの知覚については、かなり早期から備わっていると考えられており(Trehub & Thorpe, 1989; Baruch & Drake, 1997)、幼児の非同期は行動の調整という運動制御面の未熟さによるとされ

る(Ball, 2010)。しかし、少なくとも単純なパルス列への同期については3歳あたりから可能となり(古市, 1971)、6歳ほどでいろいろなリズムパターンに同期できるようになるといわれる(岡野・丹羽, 1976)。このような外部からの直接観察による同期実現は、幼児の身体面の発達によるものであろう。

ところで、先行研究のリズムの発達の研究の多くは一定のテンポによるパルスやリズムパターンに対する同期が扱われている。しかし、音楽演奏において曲が一定のテンポに終始することは少ない。多くの演奏では微細なテンポ変動を伴うことが普通であり(高橋・大串, 2004)、時にはテンポを突発的に変化させるような表現が行われる場合もある。そのため、実際の演奏では、それまでの同期運動から新たなテンポの同期運動へと巧みに移行することが要求される。

おそらく成人であれば、このような急なテンポ変化を知覚したならば、一時的な乱れはあっても比較的早急に同期を復活させることが可能であろう。そのプロセスは、それまでの同期運動を続けながらも、新たに提示されたテンポを知覚し、それに対応した内的クロック(Povel & Essens, 1985)の調整を行い、それによって新たに同期運動をペーシングする、というフィードバックループを含むものと想像される。それでは、幼児の場合はどうであろうか。5～6歳児であれば、個々の同期自体の精度には成人と多少の差はあるものの、それなりの同期能力は備えていると考えられる。しかし、その途中でテンポが変化した場合、どの程度成人と同様に同期を修正できるかについては、ほとんど検討がなされていない。幼児は同期を行いつつも、新たなテンポを知覚することが可能なのであ

ろうか。そしてテンポの切り替えをスムーズに行うことができるのであろうか。これらの点について調べることは、子どものリズムの発達研究に新たな知見を提供してくれるはずである。そこで本研究では、幼児と成人を対象としたテンポ変化に対する同期課題の比較実験を行った。

2. 実験

2.1 協力者

10名の幼児（幼児群）と10名の成人（成人群）が実験に参加した。幼児群の年齢は5～6歳、成人群の年齢は20～22歳である。協力者の音楽訓練経験等は特に問わなかった。またいずれの協力者についても聴覚障害や既往症等は見られなかった。

2.2 装置

刺激作成および呈示にMIDIシーケンサー(YAMAHA QY 700)、演奏データの記録にPC上のフリーMIDIシーケンサーソフト(OTAMA98)、実験協力者の演奏用にドラムパッド(Roland HandSonic10)、刺激音および演奏音呈示にモニタースピーカー(YAMAHA MS20S)を用いた。ドラムパッドのパッド部分はゴム製で、複数の音色がアサインできるように分割されているが、すべて同じ音色が発音するように設定した上で、幼児が打叩する位置を把握しやすいように、手のひらのイラストが描かれた紙をパッド中央に張り付けた。リズムパッドの打叩に対する聴覚的なフィードバックとして内蔵のスネアドラムの音を用いた。同期刺激呈示用のMIDIシーケンサーと演奏データ記録用のPC上のシーケンサーはMIDI Syncによって同期させた。リズムパッドの打叩データは、接続されたPC上のソフトにMIDIフォーマットにて記録された。

2.3 同期条件と刺激

実験では一定テンポに対する同期能力を検証するための「テンポ一定セッション」と、同期中にテンポが変化する「テンポ変化セッション」を設定した。

テンポ一定セッションでは、Slowテンポ条件(S条件)としてbpm120、Fastテンポ条件(F条件)としてbpm160という2種類のテンポを設定した。両テンポの40というbpmの差は幼児がテンポ変化を知覚するうえで十分なものと考えられる。テンポ変化セッションでは、FS(Fast to Slow)条件とSF(Slow to Fast)条件の2種類のテンポ変化を用意した。これらはテンポ一定セッションにおけるS条件とF条件のテンポ設定を用いている。

MIDIシーケンサー上で上記4種類の同期刺激を作成した。S条件とF条件の刺激はそれぞれのbpmで固定された60個のクリックから成る。また、FS条件はbpm160の30個のクリックの後にbpm120の70個のクリックが続き、SF条件はbpm120の30個のクリックの後にbpm160の70個のクリックが続くものである。いずれの刺激もクリックにはMIDIシーケンサー内蔵のピアノ音色のハ音(C3)を用いた。クリック音の音量は一定とした。

2.4 手続き

実験は静的な環境で個別に実施された。リズムパッドの設置位置は協力者ごとに打叩しやすい位置になるように実験者が適宜調節した。

最初にテンポ一定セッション(S条件・F条件)が実施された。協力者はスピーカーから呈示されるピアノ音に合わせてドラムパッドを利き手でタップするように教示された。両条件とも最大で3試行まで同期課題が行われたが、特に幼児では実験の長時間化による集中力への影響が懸念されたため、実験者の判断により同期が20タップ以上できているとみなされた場合には、その時点で試行を打ち切った。

続いて、テンポ変化セッション(FS条件・SF条件)が実施された。先のセッションと同様に、協力者にはピアノ音に合わせてドラムパッドをタップするように教示し、試行の途中でテンポが変化することについては情報を与えなかった。両条件とも最大で2試行まで同期課題が行われたが、実験者の判断により刺激のテンポ変化後に同期が20タップ以上できているとみなされた場合には、その時点で試行を打ち切った。

両セッションとも、2つの条件の実施順序についてはカウンターバランスをとった。

3. 分析と結果

3.1 データ処理および同期達成基準の算出

得られた各条件のデータのうち、最後の試行のデータを分析対象とした。同期能力の検討において、本研究ではテンポデータによる分析を行う。まずPC上に記録された各打叩時刻から、相互オンセット時間間隔(Inter-Onset-Interval、IOI)を算出した。IOIとは連続した音同士のオンセット間の時間間隔を指す。音響波形の立ち上がり部分のどこを知覚上のオンセットとみなすかは難しいが、スネアドラムのように振幅の立ち上がり方が速く、そのばらつきも比較的少ないと考えられる音色の場合は、打叩時刻自体をオンセット時刻と

表1 各協力者の11打叩目から20打叩目の10打叩ぶんの平均テンポと変動係数（括弧内）と群平均（最下段）

| S条件 (bpm120) | | F条件 (bpm160) | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 成人群 | 幼児群 | 成人群 | 幼児群 |
| 120 (4.1%) | 121 (6.0%) | 159 (4.4%) | 139 (8.6%) |
| 121 (2.6%) | 122 (9.7%) | 160 (2.8%) | 162 (5.7%) |
| 121 (6.3%) | 122 (7.9%) | 161 (1.1%) | 158 (6.5%) |
| 120 (2.4%) | 120 (6.4%) | 160 (5.8%) | 170 (5.0%) |
| 121 (2.1%) | 114 (4.5%) | 159 (1.2%) | 156 (3.5%) |
| 120 (2.7%) | 120 (3.4%) | 157 (3.3%) | 161 (5.9%) |
| 114 (4.2%) | 117 (4.5%) | 160 (3.5%) | 154 (10.2%) |
| 121 (3.1%) | 122 (6.4%) | 164 (4.3%) | 164 (5.4%) |
| 121 (2.1%) | 118 (8.2%) | 160 (3.8%) | 157 (5.1%) |
| 121 (5.2%) | 118 (5.6%) | 160 (4.4%) | 165 (6.1%) |
| <i>M</i> = 120 (3.5%) | <i>M</i> = 119 (6.3%) | <i>M</i> = 160 (3.5%) | <i>M</i> = 159 (6.2%) |

みなして IOI を算出しても、大きな問題はないと考えられる。このように算出された各 IOI をテンポ値に変換した。

以上のようにして得られたテンポデータを観察したところ、テンポが切り替わった直後でテンポがその前後部分に対して半分近く低下している箇所が局所的に見られた。これは、例えばテンポをはっきりと知覚するためなどの理由により、協力者が打叩を一時的に止めたために、その箇所の IOI が局所的に長くなることで生じているものと考えられる。この打叩の欠如による変動は同期過程の分析に大きく影響を及ぼすため、当該箇所についてはその IOI を2つに等分し、その分割された IOI に基づいてテンポを再計算した。つまり、当該箇所については等しいテンポによる2打叩ぶんの所要時間としてみなしている。

さらにテンポ一定セッションの S 条件と F 条件の結果から、それぞれについての両群のテンポ変動がどの程度異なるのかを検討した。人間の打叩には運動制御能力に起因するような非意図的なゆらぎが存在する(山田, 1997)。おそらく打叩開始から数打叩は同期が不安定であり、さらに打叩が進むと再度打叩が不安定になると考えられる。そこで、各協力者のテンポデータについて、比較的安定していると予想される11打叩目から20打叩目を切り出した。この10打叩ぶんのデータについて、各協力者の平均値と変動係数 (CV) を求めた(表1)。CV は平均テンポで基準化された各協力者のテンポのばらつきであり、言い換えれば、bpm120と160による一定のパルスに同期する場合でも、この程度のテンポのゆらぎが常に存在することを示している。

平均値をみる限り、協力者によって若干の差はあるものの、両群とも比較的設定テンポに近い値で打叩しており、同期できていることが窺える。しかし、CV については成人群に比べて幼児群のほうが少ない傾向にある。両群の平均 CV について対応のない *t* 検定によって比較したところ、bpm120と160の両テンポにおいて、有意水準1%未満で幼児群よりも成人群の平均 CV の値が小さいことが確認された。このことは、成人群よりも幼児群のテンポの安定性が劣っていることを示唆している。ここから、テンポ変化に対する追従性の検討においては、両群のテンポの安定性の相違を考慮する必要があると考えられる。そこで、bpm120と160のそれぞれにおいて、両群の平均テンポに両群の平均 CV を乗じた値を算出し、これを当該テンポの上下に加えた範囲をもって同期達成基準とすることにした。得られた同期達成基準は、幼児群については bpm120で±8、bpm160で±10、成人群については bpm120で±4、bpm160で±6である。bpm120よりも bpm160で、また幼児群よりも成人群で、厳しい同期達成基準となっている。テンポ変化セッションにおける FS 条件と SF 条件については、刺激のテンポ変化後にこの同期達成基準の範囲内にテンポが入ったときに、同期がなされている状態とみなすこととした。

3.2 FS 条件の結果

生のテンポデータには微細なテンポ変動が含まれているため、テンポ追従のトレンドを観察することが難しい。そこでテンポ変化時点から以降のデータについて4ポイントの移動平均をとり平滑化処理を行った。本研究では追従に必要な絶対的な時間長ではなく、成人との相対的な比較を主たる分析上の観点としている

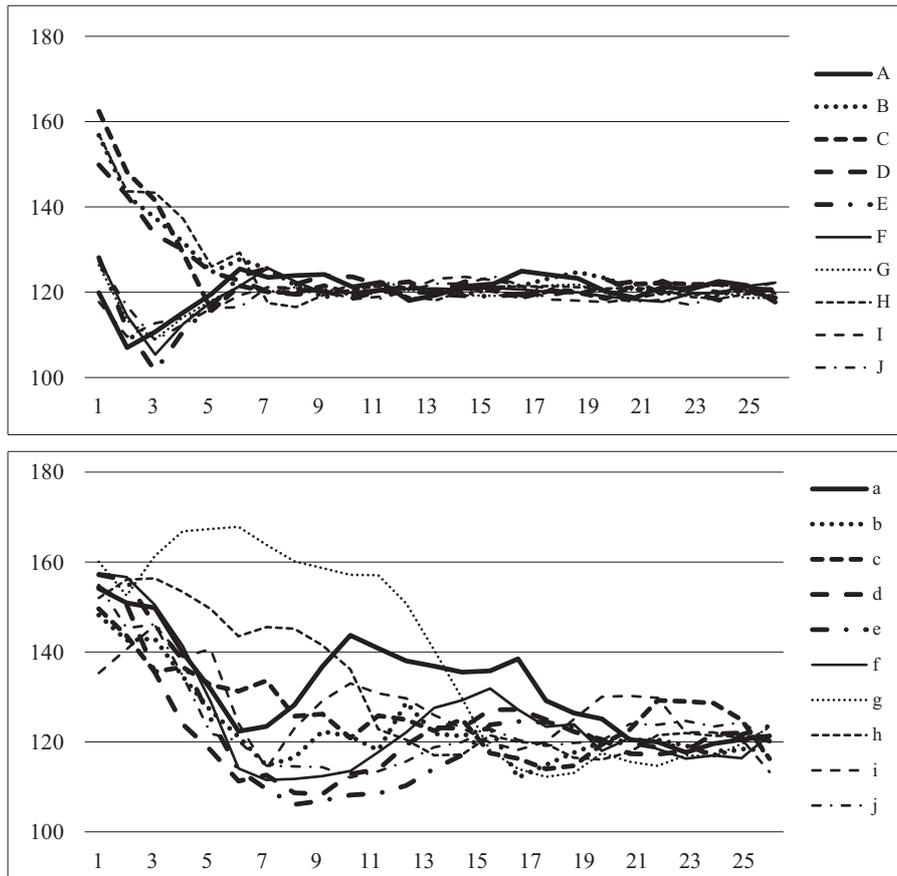


図1 FS条件におけるテンポ変化直後からの平滑化テンポプロフィール
(上が成人群、下が幼児群)。横軸は時点、縦軸はテンポ値。

ため、以降はこの平滑化されたテンポプロフィールをもとに議論を進める。

FS条件における両群のテンポ変化後の平滑化テンポプロフィールを図1に示す。成人群は新テンポへの追従が相対的に早く、6~7ポイント目ですべての協力者が既に bpm120前後へと到達し、その後も安定してテンポを維持している。追従の方略としては大きく2パターンに分けられる。ひとつは、直ぐに bpm を大きく落としアンダースhootした後に、徐々にテンポを上げて目的のテンポに到達するパターン、もうひとつは徐々にテンポを下げて目的のテンポに到達するパターンである。

対する幼児群でも、半数近くの者が6~7ポイント目で bpm120前後へと到達しているが、到達にさらに長い時間を要している者も見受けられる。また目的のテンポに到達しても、すぐに不安定になっているケースもある。

両群のテンポ追従性を定量的に比較するため、平滑化テンポプロフィールの各テンポ値が、3.1節で算出

表2 各協力者の同期達成箇所(平滑化テンポプロフィールにおける、テンポ変化直後からの時点)

| FS条件 | | SF条件 | |
|------|-----|------|-----|
| 成人群 | 幼児群 | 成人群 | 幼児群 |
| 7 | 17 | 9 | 5 |
| 8 | 5 | 9 | 9 |
| 5 | 8 | 2 | 4 |
| 6 | 4 | 5 | 45 |
| 8 | 12 | 5 | 7 |
| 8 | 5 | 8 | 5 |
| 5 | 15 | 6 | 17 |
| 7 | 11 | 4 | 17 |
| 5 | 6 | 4 | 15 |
| 5 | 5 | 5 | 31 |

※値が少ないほどテンポの追従性が良いことを示す。

した同期達成基準の範囲内に4ポイント連続して収まっている部分を探し、その最初のポイント時点をその協力者の同期達成箇所とした。表2左半分はFS条件における両群の同期達成箇所である。これらの値に

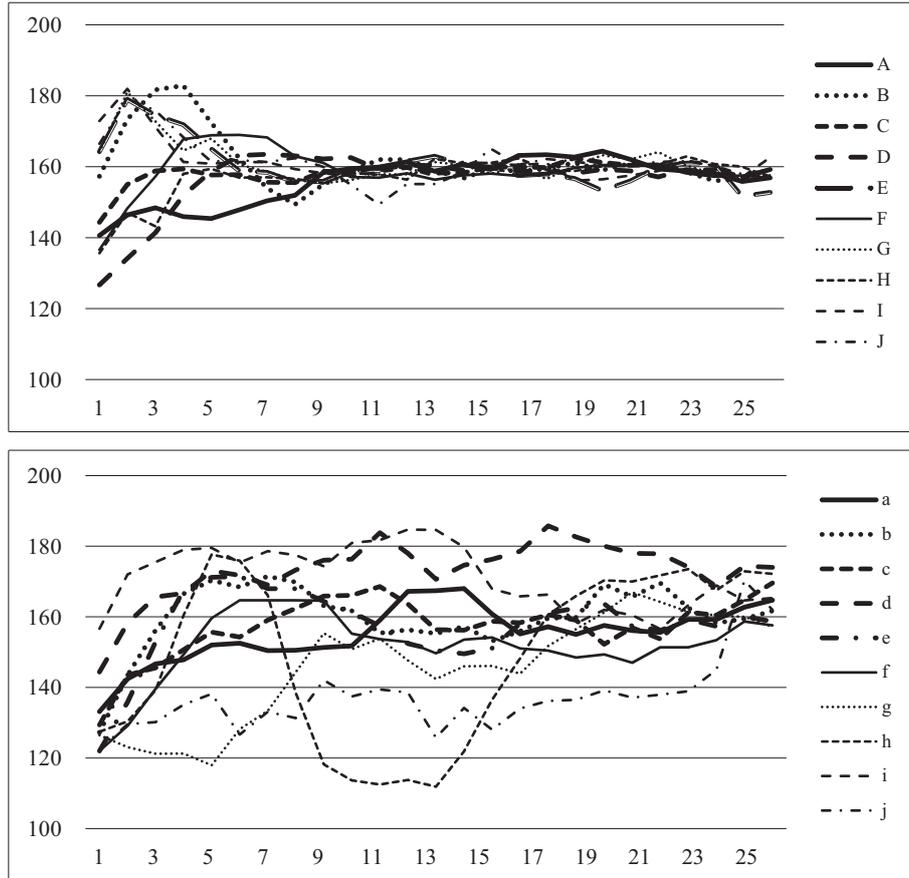


図2 SF条件におけるテンポ変化直後からの平滑化テンポプロフィール
(上が成人群、下が幼児群)。横軸は時点、縦軸はテンポ値。

ついてマン=ホイットニーの U 検定にて両群を比較したが、有意差は得られなかった ($U = 41, p = .485, n.s.$)。

3.3 SF条件の結果

図2はSF条件における両群のテンポ変化後の平滑化テンポプロフィール、表2右半分はSF条件における両群の同期達成箇所である。成人群についてはほぼFS条件と同じようにほぼ6~7ポイント目に新しいテンポに追従している。また一気にオーバーシュートしてから徐々に下降するグループと、徐々にテンポを上げていくグループである。FS条件とSF条件の成人群の同期達成箇所について、ウィルコクソンの符号順位検定で比較したが、有意水準には至らなかった ($Z = -1.140, p = .254, n.s.$)。

幼児群では明らかにFS条件よりもテンポの追従性が悪化しているように見える。6~7ポイントで目的のテンポに近づいている者もいる一方で、オーバーシュートした後に再度テンポが大きく落ち込んだり、テンポ変化後になかなかテンポが上昇していかない場

合などが観察できる。成人群の場合と同様に、符号順位検定により幼児群のFS条件とSF条件の同期達成箇所について比較したが、有意差は見出されなかった ($Z = -1.067, p = .286, n.s.$)。対して、SF条件における両群の同期達成箇所の U 検定による比較は有意であった ($U = 23, p < .05$)。

4. 考察

成人群におけるFS条件とSF条件の比較で有意差が検出されなかったことは、成人のリズム同期におけるテンポ追従能力について、テンポ変化の向きが影響しないことを示唆している。ここから、成人は同期におけるテンポ変化に比較的うまく追従でき、テンポ変化の方向に対しても頑健性をもっていると考えられる。

幼児群においても両条件の比較では有意差が見出されなかった。しかし、図から判断するに、幼児はSF条件で追従性が悪化しているようにも思われる。FS条件とほぼ同じように追従ができている幼児がいる一

方で、なかなか目的のテンポに到達しない幼児も見られることから、テンポが速い方向に変化する場合には、幼児の追従能力には大きな個人差があるのかもしれない。つまり、幼児のテンポ追従能力は、変化の方向による差異が存在する可能性がある。

FS条件で成人群と幼児群で有意差が得られなかったことは、幼児が成人とほぼ同じ水準でテンポ追従ができていていることを示唆している。これは4～5歳児の同期能力の高さを示すデータといえるであろう。しかしその一方で、SF条件では成人群と幼児群には有意差が見られた。この結果は、テンポが速くなる時、成人に対して幼児の追従性が劣ることを意味している。したがって、総じて幼児はテンポが速くなる場合に追従性が悪化する傾向にあるように思われる。この点については、様々なテンポと変化の方向が存在する同期課題によって、同様の傾向が見られるかをさらに詳しく検証する必要がある。

このようなテンポ変化に対する異方性はなぜ生じるのであろうか。まず幼児は課題においてテンポ変化を認知できていたのであろうか。少なくともFS条件においては成人と同様の水準でテンポ追従ができていていることから、テンポ変化を認知できていたと見て間違いなであろう。もうひとつのSF条件においても、図2の幼児のテンポプロフィールを見る限り、徐々にテンポを上げていく2名を除けば、同期ができていていることはさておき、刺激のテンポ変化直後からプロフィールに大きな変動が生じている。これは、幼児が刺激のテンポ変化を知覚したことを示唆するデータと考えられる。これらを踏まえると、若干の個人差はあるものの、本実験において幼児は同期を行いながらも同期対象のテンポ変化を概ね知覚することができると思われる。すなわち、幼児の聴覚フィードバック情報のモニタリングは同期中であっても常に働いているように思われる。この点を確実に主張するためには、テンポ変化の箇所が様々なテンポに変化するような課題を用いた実験が求められる。

幼児がテンポ変化を知覚できていたとすれば、幼児のテンポ変化に対する異方性は、主として打叩の調整という運動制御の部分に原因があることになる。そのひとつの可能性として「自発的テンポ」との関連を考察することができるかもしれない。自発的テンポとは人間が自然に打叩した場合のテンポのことである。Fraisse (1982)によれば、その代表値はテンポに換算するとbpm100である。仮に自発的テンポを人間が打

叩しやすいテンポとすれば、これに近いテンポの打叩ほど容易になると想像される。本研究で設定された2つのテンポではbpm120のほうが自発的テンポの代表値に近い。そのために、bpm160から自発的テンポに近いbpm120に変化する課題は容易であり、逆にbpm120から自発的テンポから遠いbpm160への移行はより難しいものであったと解釈できる。

同期における追従方略が、一気にテンポを変化させて微調整するパターンと、徐々にテンポを変化させていくパターンに大きく分かれることも注目したい点である。同期を維持するためにはクローズドループによる行動修正過程が存在するはずである。そこでは様々な感覚フィードバックソースが利用されると想像できるが、音楽では行動の直接的な結果となる聴覚フィードバックが中心的なひとつであろう。過去には、固定されたプランの実行においては聴覚フィードバックが必ずしも必要ではないという報告もなされているものの (Takahashi & Tsuzaki, 2008)、テンポが変化するような刺激への同期が求められる場面においては聴覚フィードバックによる修正は不可欠である。その一方で、我々はオープンループによる制御、すなわちフィードバック情報を参照しないで運動を調節するフィードフォワードと呼ばれる方法も採用している。これは時間的な猶予が許されない素早い運動や、高度に習熟した運動などに見られる予測的、自動的な制御である。多くの場合これらの制御はひとつの行為中に混在しており、そのバランスも発達によって変化すると考えられる。例えば乳幼児の手づかみ (リーチング) 行動の発達を調べた研究 (Kawai, 1987) では、月齢が低いほどターゲットへの手の移動に関わる調整が頻繁に行われるのに対し、月齢が高くなるとターゲットへ手を短時間で移動させていることが明らかにされている。これは発達と習熟にともない、運動がフィードバック中心から次第にフィードフォワード的に変化していくことを示唆している。もし発達に応じて運動がフィードバックからフィードフォワードへと変化していくのであれば、本研究で見られた2つの追従方略のうち、一気にテンポを変化させてから微調整するパターン、言い換えれば、打叩のペース制御に関わる内的クロックを短時間に変化させることができることもできるかもしれない。本研究の成人群でこのような追従方略を示した者は、FSとSFの各条件においてそれぞれ半数ほどいるが、その全員が同じ人物で

あったわけではない。幼児群でもこのような追従方略の傾向を示した者はいるが、総じて成人よりもテンポが安定するまでの時間がばらつくため、それをはっきりと区別することは難しい。また、本研究では協力者に対して刺激に合わせて同期するように教示しているだけであり、“できるだけ速く”同期することを求めていたわけではない。したがって、教示によって同期追従のふるまいが変わってくる可能性もある。このように考慮すべき点は多々あるものの、これらの追従方略の違いと音楽能力との関連性を探ることは、音楽技能の発達の観点からも興味深いことである。

本研究はあくまで予備研究という範疇にあり、その結果から示唆されることは極めて限定的であるため、ここから幼児のテンポ変化に対する同期能力の内実について明確な結論を下すことは難しい。しかし、少なくとも追従性という点において、幼児の同期能力は個人差が大きく、さらにテンポ変化について異方性があることが示唆された。これらは今後の実験を計画する上で様々な指針を提供してくれるように思われる。

謝辞

実験の実施にあたり、ご協力をいただきました園児の皆様と先生方に深く感謝の意を表します。

付記

本論文は第2著者である松山貴実による2010年度愛知県立大学文学部児童教育学科卒業論文「幼児のテンポ変化に対する同期過程の観察」の実験データを新たに分析した結果をもとに構成したものである。

注

*1 愛知県立大学教育福祉学部准教授

*2 愛知県立大学文学部児童教育学科卒業生

引用文献

- Ball, P. (2010). *The Music Instinct: How music works and why we can't do without it*. Vintage.
- Baruch, C., & Drake, C. (1997). Tempo discrimination in infants. *Infant Behavioral Development, 20*, 573–577.
- Fraisse, P. (1982). Rhythm and tempo. In D. Deutsch. (Ed.), *The Psychology of Music*. Academic Press.
- 古市久子. (1971). リズム反応の発達の研究—「同期」を手がかりとして—. 体育学研究, 15(2), 69–80.
- 岡野満里, 丹羽劭昭. (1976). 幼児のリズム・パターンへの同期に関する発達の研究. 体育学研究, 20(4), 221–230.
- Kawai, M. (1987). Development of reaching behavior from 9 to 36 months. *Japanese Psychological Research, 29*, 184–190.
- Povel, D. J., & Essens, P. (1985). Perception of temporal patterns. *Music Perception, 2*, 411–440.
- 高橋範行, 大串健吾. (2004). ピアノ演奏における熟達者と非熟達者の演奏表現の比較. 音楽教育学, 34, 1–11.
- Takahashi, N., & Tsuzaki, M. (2008). Comparison of highly trained and less-trained pianists concerning utilization of auditory feedback. *Acoustical Science and Technology, 29(4)*, 266–273.
- Trehub, S. E., & Thorpe, L. A. (1989). Infants' perception of rhythm: Categorization of auditory sequences by temporal structure. *Canadian Journal of Psychology, 43*, 217–229.
- 梅本堯夫. (1999). 子どもと音楽. 東京大学出版会.
- 山田真司. (1997). 音楽演奏に含まれる時間的ゆらぎ—演奏者の制御能力に起因するゆらぎと芸術表現のゆらぎ—. 九州芸術工科大学博士論文.