

音楽演奏者の時間的制御能力について

山田真司* 井村和孝* 新井裕子** 小田満理子* 西村英樹*

*大阪芸術大学音楽学科

**大阪芸術大学音楽教育学科

音楽演奏者は自らの音楽的表現を行うために、正確に身体運動を制御する能力を有すると考えられる。音楽演奏者の基礎的な時間的制御能力を測定するため、中程度のピアノ演奏能力を有する音楽専攻学生に等間隔タッピングを行わせ、その時間間隔ゆらぎを分析した。その結果、等間隔タッピングの時間的制御に、過去約 20 tap の時間間隔を保持する記憶機構が介在することが示唆された。また、様々なレベルのピアノ奏者、打楽器奏者および非音楽奏者に等間隔タッピングを行わせた結果、熟練したピアノ奏者は、非熟練者や非音楽奏者よりもゆらぎが小さかった。また、打楽器奏者は熟練したピアノ奏者よりも時間的制御が優れてはいなかった。

Temporal Controllability of Musical Performers

Masashi Yamada, Kazutaka Imura*, Yuko Arai**, Mariko Oda* and Hideki Nishimura**

*Department of Musicology, Osaka University of Arts

**Department of Musical Education, Osaka University of Arts

Musical performers have an excellent ability to control their body movements to express through their interpretation. To measure basic temporal controllability, musical students who play the piano in an intermediate level, tapped a board as equally as possible, and the temporal fluctuation of the tapings was analysed. It was suggested that the tapings were governed with a memory that preserved the previous 20 intervals of taps. Consequently, pianists in various levels, percussionists and non-musicians also made equal interval tapings. It was shown that the fluctuation by skilled pianists was smaller than beginners, non-musicians and even percussionists in some frequency regions.

0. はじめに

音楽演奏者は、与えられた楽譜に対し、自らの芸術的解釈を企画する能力と、この企画された解釈を、身体運動を通じて演奏として正確に表現する能力の両方が必要である。この後者の能力のうち、身体運動の時間的な制御能力は、音楽演奏者にとって最も必要な能力のひとつであると考えられる。音楽演奏者は、巧みに身体を制御し、楽器や声を時間的に操作することによって、自らの時間的表現を実現している。従って、音楽演奏者は一般人に比べて、正確に身

体運動の時間的制御を行う能力を有すると考えられる。また一般に、音楽演奏者の中でも、特に打楽器演奏者は他の楽器奏者よりも時間的制御能力に優れていると考えられている。しかしながら、一般人に比べて音楽演奏者、その中でも特に打楽器奏者がどのような時間的制御能力に優れているかを、系統的かつ定量的に解明する研究はなされていない。

音楽の最も基礎をなすリズム形態は、均質な pulse が時間軸上で等間隔に並べられたものであると考えられる[1]。等間隔な時間を正確に刻むことは、音楽家にとって、均一なテンポを維持したり、1:2, 1:3, 2:1 といった様々な単純比の時間間隔からなる様々なリズムを刻む上で、最も基礎となる能力であると考えられる。しかしながら、被験者に pulse 列のような等間隔な時間間隔を刻ませた場合、被験者の制御能力に限界があるため、結果は正確な等間隔にはならず、ある程度のゆらぎを持つであろう。このことを逆に考えれば、等間隔なタッピングを行わせ、その時間的ゆらぎを測定することによって、被験者の時間的制御能力を評価することが出来るであろう。

Musha らはアマチュアとしての楽器演奏の経験歴を持つ者を含めた非音楽演奏者に、等間隔タッピングを行わせ、その時間的ゆらぎのパワースペクトルを測定した[2]。その結果、メトロノームを聴かずにタッピングを行った場合、いずれの被験者も、約 10 秒までの短い周期ではゆらぎが小さく一定で、それ以上の長い周期では周期が長いほどゆらぎが大きくなることを見出された。このことから、等間隔タッピングの制御に約 10 秒を限界容量とする記憶機構が関連する可能性が示唆される。しかしながら、Musha らの実験において用いられたテンポは、300-500 ms/tap の限定された範囲内であるため、彼らが見出した臨界現象が、約 10 秒という時間を限界容量とする記憶に関係しているのか、それとも約 20 tap というタップ数を限界容量とする記憶に関係しているのかについては明らかではない。そこで本研究では、まず、様々なテンポによる等間隔タッピングを行わせ、その時間的ゆらぎを分析することで、等間隔タッピングを制御する機構について検討を行った。

Musha らは、被験者に共通して、等間隔タッピングの時間的ゆらぎのパワースペクトルにこの臨界現象が現れることを示しているが、同時に、被験者によって、パワースペクトルが対数軸上で平行に上下する様子も示している。このようなスペクトルの違いが被験者の音楽経験とどのように関係するのかについては明らかではない。したがって第二に、本研究では、音楽演奏の経験の違いによって、ゆらぎのパワースペクトルがどのように異なるかについて分析し、音楽演奏の経験と時間的制御の関係について検討を行った。

1. 実験 1

1.1. 目的と方法

記憶容量に対応すると考えられる臨界点が、テンポにかかわらず特定の実時間に対応するのか、あるいは特定の tap 数に対応するのかを調べるのがここでの目的である。被験者は、大阪芸術大学音楽学科の学生および教員合計 5 名 (19 ~ 33 歳) である。タッピングに用いたテンポは、180, 370, 800 ms/tap の各テンポ、および、被験者各自が選んだ、最も等間隔タッピングを行いやすいテンポ (自発テンポと呼ぶ) の合計 4 通りである。被験者は椅子に座り、机の上のボードを、できる限り等間隔に右手中指一本で叩くことを要請された。ボードには小型のスピーカが取り付けられており、タッピングによるボードへの圧力変化が電圧変化に変換

される。この圧力変化はクリック音列としてDATに収録されるとともに、ヘッドホンを通して被験者にモニターされた。タッピングに際して、2拍子、3拍子といった特定のリズムを思い浮かべず、できるだけ均等に1音1音を発するよう教示した。また、肘や、足、頭など、指、手以外の身体の部位を、できるだけ動かさないよう教示した。各被験者は、701 tapの連続タッピングを1試行として、各テンポについて3試行ずつの等間隔タッピングを行った。なお、試行中のtap数は実験者がカウントし、701 tapを越えると試行の終了を被験者に合図した。

いずれの被験者も、自発テンポにおけるタッピングをまず最初に行い、続いて3種類の指定されたテンポ(180, 370, 800 ms/tap)におけるタッピングをランダムな順で行った。これら、指定されたテンポのタッピングにおいては、各試行の前に、当該テンポのメトロノーム音を、20秒間ヘッドホンから呈示した。被験者はメトロノーム音の呈示後、メトロノームと同じテンポのタッピングを自由なタイミングで始めるよう教示された。

なお、メトロノーム音、およびモニターしたクリック音のレベルは約63 dB(A)であった。また被験者の要請によって、各試行ごとに休憩をとった。

1.2. 結果と考察

各試行から得られた音響データの、各tapの立ち上がりから次のtapの立ち上がりまでの時間間隔(Inter-Onset Interval, IOI)を測定した。このようにして得られた700 tapのIOI系列のなかで、冒頭100 tapにおいては、徐々に長くなる、または徐々に短くなる直線的なトレンド成分が見られることがあったので、この冒頭100 tapを削除した。次に、残りの600 tapの時間間隔系列を200 tapずつに3分割し、それぞれの時間間隔ゆらぎについて、Hanning窓を用いたDFTにより、パワースペクトルを求めた。このようにして求めたパワースペクトルを、同一被験者、同一条件について集合平均し、平滑化した。

Fig. 1に、このようにして求めた、様々なテンポにおける時間間隔ゆらぎのパワースペクトルの例を示す。a、bともに縦軸はパワースペクトルを示すが、aでは横軸の周波数が、実時間の逆数であるHzの単位で表されており、bでは200 tap中に含まれるサイクル数の単位で表されている。Fig. 1から、aではテンポによって臨界現象は異なる周波数で現れるのに対し、bではテンポにかかわらずほぼ同じ周波数(200 tap中、約10サイクル)で見られることが分かる。この臨界周波数は、約20 tapの周期に相当する。このことは、他の被験者の場合にも共通に観察された。さらに、この臨界周期を計量的に推定するために以下の分析を行った。

約20 tapまでの周期ではゆらぎが小さく、それ以上の長さの周期では、周期が長くなるほどゆらぎが大きくなる現象は、過去約20 tapの時間間隔が記憶され、これら記憶された時間間隔を元に次の時間間隔を決定する機構が存在することを示唆する。このような機構を表現する数理モデルに自己回帰モデル(ARモデル)がある。ARモデルにおいては、(1)式のように、現在のデータが、過去 n 個のデータの線形和に誤差が付加したものと表現される。

$$x(t) = \sum_{i=1}^n a(i) x(t-i) + \varepsilon(t) \quad \dots\dots(1)$$

このような数理モデルと、実際のデータとの適合度を示す指標として、赤池情報量規準(Akaike's Information Criterion, AIC)が広く用いられている[3]。AICの値が小さいほど、

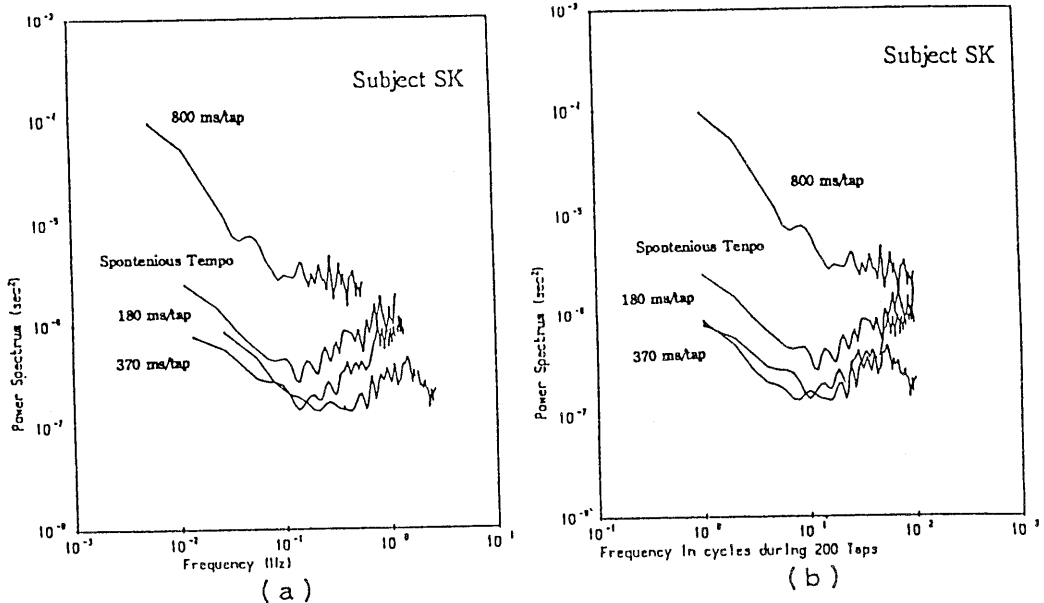


Fig. 1 Examples of power spectra of temporal fluctuations in equaled interval tapings for various tempos ranging from 180 to 800 ms/tap. In panel (a), each spectrum is plotted as a function of frequency in Hz. Whereas, it is plotted as a function of frequency in cycles for 200 taps in (b). The critical phenomenon is commonly observed at the frequency of 10 cycles for 200 taps, which corresponds to the period of 20 taps.

数理モデルが、効率よく実際のデータを表現していることを示す。そこで本研究では、101の時系列に対し、AICを最小とする次数 k を、最適 AR 次数と定義し、この次数によって、等間隔タッピングを支配する記憶機構の限界容量を推定した。Table 1 に、各被験者の各テンポにおける 101 系列に対して推定された、最適 AR 次数を示す。Table 1 から、被験者、テンポによってある程度ばらつきはあるものの、最適 AR 次数は、ほぼ 20 次を中心に分布することが分かる。分散分析の結果、テンポの効果 ($F[3, 12]=2.63$)、被験者の効果 ($F[4, 12]=0.60$) とともに、危険率 5% 未満で有意ではなかった。したがって、等間隔タッピングを制御する記憶機構の限界容量の値は、テンポや被験者に特有のものではなく、いつも約 20 tap を中心に分布することが分かる。

Table 1 Order of the best fit AR model to temporal fluctuation in equaled interval tapings for various tempos.

Tempo \ Subject	Subject					Mean
	MO	SK	CI	MY	NS	
180 ms/tap	—	24	—	21	14	19.7
370 ms/tap	12	15	24	13	17	16.2
800 ms/tap	16	16	20	11	16	15.8
Spontaneous Tempo	33	30	16	18	24	24.2
Mean	20.3	21.3	20.0	15.8	17.8	19.0

ここで得られた限界容量約 20 tap は、一般的に言われている Miller の言う短期記憶の限界容量 7 事象よりかなり大きい[4]。ひとつの解釈として、被験者達が無意識的に 3 tap 毎のチャンキングを行っており、3 tap×7 事象 = 21 tap に近い値が得られたと考えることが出来る。そこで、実験2では、周期的に強勢をおいた等間隔タッピング（リズム打ち）を被験者に行わせることによって、意識的にチャンキングを行わせ、このような場合に推定される AR 次数に変化が生じるかを調べた。

2. 実験2

2.1. 方法

大阪芸術大学音楽学科の学生および教員合計 6 名（20 ~ 33 歳，うち 4 名は、実験1と共通）に、自発テンポで、3 拍子リズムおよび 7 拍子リズムのリズム打ちを行わせた。被験者は右手中指で等間隔なタッピングを行いながら 3 拍子リズムにおいては 3 拍毎に、7 拍子リズムにおいては 7 拍毎に、左手で左膝を叩くことを要請された。その他の条件は実験1と同様である。分析のため記録されたデータは、右手中指によるタッピングのみである。

2.2. 結果と考察

実験1と同じ方法で、最適 AR 次数を求めた結果を Table 2 に示す。分散分析の結果、リズムの種類の効果 ($F[1,5]=0.79$)、被験者の効果 ($F[5,5]=2.22$) ともに有意ではなかった。Table 2 から、3 拍子、7 拍子の別や、被験者に拘わらず、最適 AR 次数は、ほぼ 20 次を中心に分布することが分かる。もし、実験1で推定された約 20 tap の臨界現象が、短期記憶の容量 7 事象と 3 tap 毎のチャンキングを意味すると考えるならば、7 拍子リズムの場合には、7 tap 毎のチャンキングにより、最適 AR 次数は、49 次付近に移動するはずである。しかしながら、実験の結果このような次数の変化は見られなかった。このことから、実験1、実験2で共通に推定された、約 20 tap の限界容量を持つ記憶機構は、チャンキングを反映したものではないと考えられる。

実験1および2では、被験者に大阪芸術大学音楽学科の学生および教員を用いたが、彼らはいずれも音楽演奏を専攻する者ではないが、大学の授業の一貫としてピアノの実技教育を受けている。このような音楽演奏の訓練によって時間的制御の様子がどのように変化するかは不明である。そこで実験3では、ピアノ演奏実技の熟練度と時間的制御の様子との関係について検討した。

Table 2 Order of the best fit AR model for the three-beat rhythm and the seven-beat rhythm.

Subject Rhythm	MO	SK	CI	MY	YA	UA	Mean
Three-beat	15	30	18	12	28	16	19.8
Seven-beat	28	28	29	15	21	15	22.7
Mean	21.5	29.0	23.5	13.5	24.5	15.5	21.3

3. 実験3

3.1. 方法

大阪芸術大学では、ピアノ実技にグレード制度が用いられ、学生たちは、年間2度の実技試験において、それぞれエチュードを含む3曲を演奏し、ピアノ演奏の熟練度を複数の教員に評価される。評価の結果、学生たちは最も熟練度の高い1級から、初心者の10級までのいずれかの級に振り分けられる。

ここでは、これらの級を4群に分け(A;1-3級, B;4-5級, C;6-7級, D;8-9級)、それぞれの群につき3名ずつを被験者として用いた。また比較のため、デザイン、美術など非音楽系学科に属し楽器経験のない非音楽群(G)の5名も被験者として用いた。被験者の課題は、250 ms/tap のテンポで、等間隔タッピングを行うことにある。その他実験の条件は実験1と同様である。

3.2. 結果と考察

実験の結果測定された時間間隔ゆらぎのパワースペクトルを各群毎に集合平均し、更にオクターブ帯域毎のスペクトル密度を求めたものを Fig. 2 に示す。Fig. 2 の周波数は、600 tap 中のサイクル数で表されているが、いずれの群でも約30サイクル付近でスペクトルの屈曲点が見られる。すなわち、いずれの群でも約20 tap の周期において臨界現象が見られる。このことは、ピアノ演奏の訓練にかかわらず、等間隔タッピングの制御に約20 tap の限界容量を持つ記憶機構が用いられていることを示唆する。

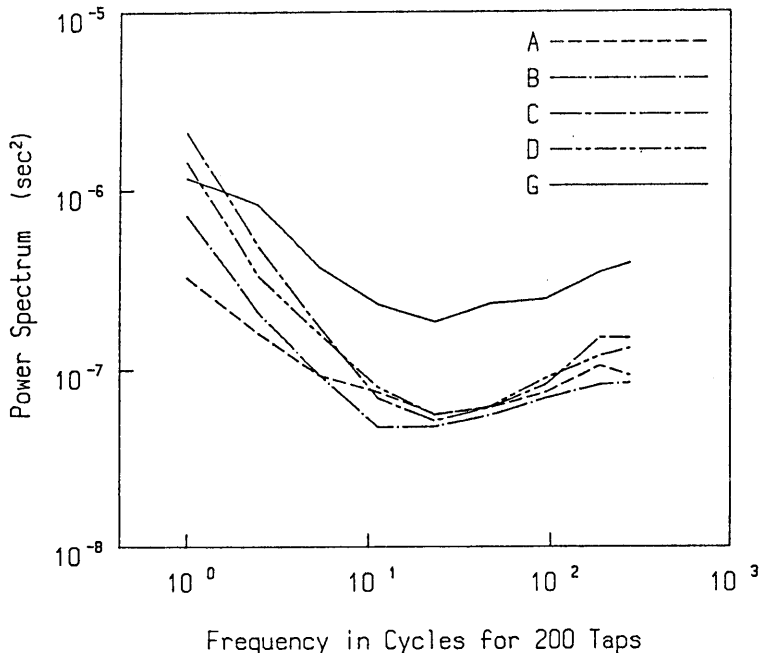


Fig. 2 Power spectra of temporal fluctuation in equaled interval tapplings for various levels of piano performance. Group A and D show skilled and unskilled pianists respectively. Group B and C show intermediate level of piano performance and Group G show non-musicians.

このように群間に共通の特徴も見られるが、一方で、群間で異なる特徴も見られる。まず、非音楽群 (G) と初心者群 (D) を比較すると、数百 tap より長い周期ではゆらぎの量は同様であるが、それ以下の周期においては、ピアノ演奏初心者のほうがゆらぎの量が大きく減少していることが分かる。また、ピアノ演奏経験者間で比較すると、約 20 tap を中心とする周期においては、ピアノ演奏の熟練度によってゆらぎの量は変化しないが、数十 tap 以上の長い周期、および数 tap 以下の短い周期においては、熟練者ほどゆらぎが小さいことが分かる。

数十 tap 以上の長い周期でのゆらぎが小さいことは、長期間テンポを保持できていることを示すと考えられ、数 tap 以下の短い周期でのゆらぎが小さいことは、指が「すべる」、「転ぶ」等と呼ばれる、局所的なリズムのずれが起こりにくいことを示すと考えられる。これらのことから以下のことが示唆される。ピアノ実技の訓練によって、まず全体に時間制御が向上する。ただしこのとき、長期間のテンポの保持能力は簡単には向上しない。約 20 tap を周期とするゆらぎの制御は、訓練の初期段階で飽和するが、その後の訓練によって、長期間でのテンポの保持能力や、局所的なリズムのずれの抑制能力が向上すると考えられる。

4. 実験 4

4.1. 目的と方法

一般に、打楽器奏者は他の音楽演奏者よりも時間的制御に優れていると考えられている。そこでここでは、打楽器奏者群とピアノ奏者群に等間隔タッピングを行わせ、両者の時間的制御能力について検討を行った。打楽器奏者群には、大阪芸術大学打楽器演奏専攻生でピアノグレード 6 級以下の者 3 名を用い、ピアノ奏者群には、大阪芸術大学でピアノグレード 3 級以上で打楽器演奏経験のない者 3 名を用いた。ここでは、自発テンポ、180 ms/tap, 800 ms/tap の 3 通りのテンポを用い、ドラムパッド Roland PD-9 を右手中指で叩く方法と、同じパッドをドラムスティックで叩く方法の 2 通りの方法で叩かせた。その他の条件は実験 1 と同様である。

4.2. 結果と考察

自発テンポはピアノ奏者群においては約 500ms/tap を中心に分布したのに対し、打楽器奏者群では約 250 ms/tap という速いテンポを中心に分布した。このようにテンポの大きく異なる時間間隔のゆらぎを比較しても、直接、制御能力の違いを推定できないため、自発テンポについては以後の分析から除外した。残りの 2 種類のテンポそれぞれについて、各時間間隔列のゆらぎのパワースペクトルを、条件 (指, スティック)、テンポ (180 ms/tap, 800 ms/tap)、および被験者群 (ピアノ奏者, 打楽器奏者) の組み合わせの中で、集合平均を行った。

Fig. 3 (a), (b) に、それぞれ、中指、スティックを用いたタッピングでの、打楽器奏者とピアノ奏者のゆらぎのスペクトルの違いを示す。Fig. 3 から、中指のタッピングにおいては、被験者群の間で有意な差はあまり見られないことが分かる。一方スティックを用いた場合には 180ms/tap という速いテンポでは打楽器奏者の方が高周波数域で正確に制御できており、800ms/tap については、逆にピアノ奏者が正確に制御できていることが分かる。打楽器奏者の自発テンポが速かったことと考え合わせると、この結果は、ピアノ奏者は「ハノン」等の教則本で様々なテンポで時間的制御を訓練しているのに対し、打楽器奏者は特に速いクロックで、細かい時間制御を特に訓練されていることを反映していると考えられる。

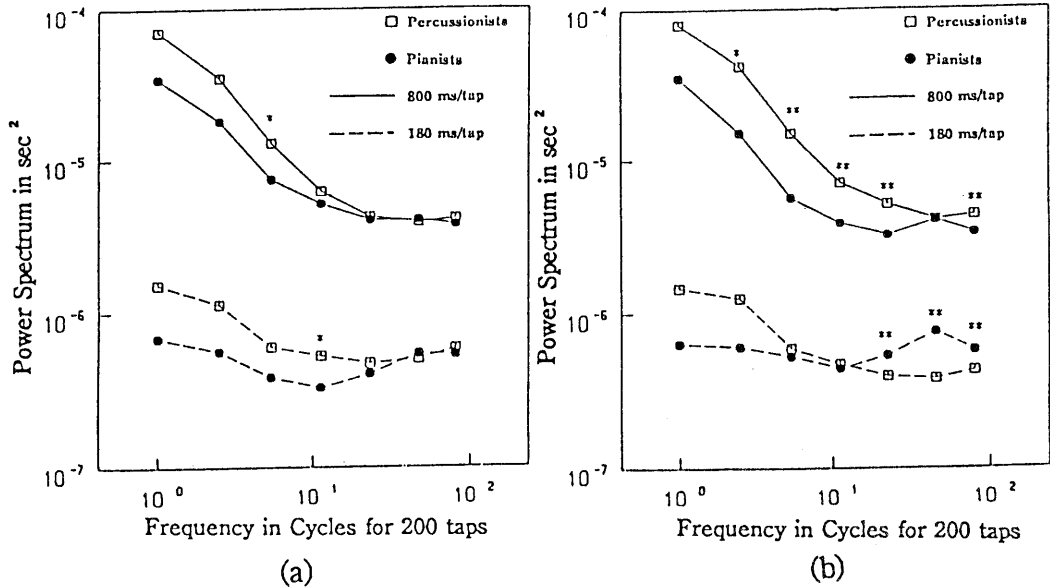


Fig. 3 Power spectra of temporal fluctuations in equaled interval tapplings using the middle fingers of the right hands (a) and drum sticks (b). Marks * and ** show significant differences between percussionists and pianists in the significance levels of $p < .05$ and $p < .01$, respectively.

以上のように、打楽器奏者は、ピアノ奏者に比べ、スティックを用いて、速いテンポで細かい間隔の制御を行うことに優れているが、遅いテンポや、中指を用いた場合にはピアノ奏者より制御がよいとは言えなかった。

5. まとめ

実験1、2、および3より、音楽演奏経験の有無に拘わらず、等間隔タッピングの時間的制御に、過去約20 tapの時間間隔を保持し、これを用いて次の時間間隔を決定するような機構が基本的に介在することが示唆された。また実験3および4から、音楽演奏の訓練によって、ゆらぎが小さくなる様子が示された。このことは、等間隔タッピングを制御する機構は同一でも、訓練によって、その機構の利用の仕方がうまくなることを示しているのではないかと考えられる。実験4で、打楽器奏者がピアノ奏者に比して時間的制御が良いとは言えなかったが、今回用いた被験者群は、大阪芸術大学の学生であったため、一流の演奏家においても同様のことが言えるかについては、今後検討が必要である。

<文献>

- [1] Cooper, G. W. and Meyer, L. B., *The rhythmic structure of music*, (The Univ. of Chicago Press, Chicago, 1960), pp.3-4.
- [2] Musha, T, Katsurai, K. and Terauchi, Y., "Fluctuations of human tapping intervals," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, BME-32(8), 578-582 (1985).
- [3] 坂元慶行, 石黒真木夫, 北川源四郎, 情報量統計学 (共立出版, 東京, 1983) pp.142-146.
- [4] Miller, G. A., "The magic number seven, plus or minus two," *Psychological Review*, 63(2), 81-96.