

周期的変動を含む聴覚刺激を用いた同期タッピング課題における 気付きによるタイミング予測モデルへの影響

吉田 祥平*¹ 横山 正典*¹ 三宅 美博*¹

Effect of cognitive awareness to time predictive model in synchronization tapping with periodical stimuli

Shohei Yoshida*¹, Masanori Yokoyama*¹ and Yoshihiro Miyake*¹

Abstract – In this study, to evaluate effect of awareness to time predictive model in dynamical complex environment, we analyze the synchronization tapping behavior against the periodical auditory stimuli with simple perturbation pattern. Previous researches provide lag 1 cross-correlation between ISI and ITI. But this research provides lag 0 cross-correlation on awareness condition for periodic fluctuation. This result suggested that the timing control mechanism works predictively with the awareness.

Keywords : time perception, cognitive awareness, synchronization tapping, periodic stimuli, time predictive model

1. はじめに

人間は動的に変動する複雑な環境の中で生活するために、環境に対して柔軟に適應する能力を持っている。このような適應能力の中でも時間的側面に深く関与しているのがタイミングを合わせる能力である。このタイミングを合わせる能力は、他者との共同作業やコミュニケーションを円滑に達成する上でも重要な要素のひとつであると考えられる。実際、対話において身振りが自然に同調すること^[1]や、母子コミュニケーションにおいて幼児の動作が母親の発話のタイミングと同調することが知られている^[2]。

こうした動的に変動する環境の中で、タイミングを合わせるためには、環境に対して受動的に行動を選択するだけでなく、予測的に行動を選択し、環境に対して適應することが必要である。つまり人間の特性を活かしたヒューマンインターフェース技術の実現には、タイミング予測のメカニズムが重要な要素のひとつであり、様々な角度から研究が進められている^{[3]~[12]}。またその結果から、様々なモデルが提案されている^{[4]~[8]}。我々の研究グループでは、注意資源の影響を考慮した認知心理学の側面からの解明^{[9]~[11]}や、時系列データ解析によるダイナミクスの推定^[12]など、人間のタイミング予測機構に関連する様々な知見を明らかにしてきた。

このような人間のタイミング予測機構の解析では、感覚運動連関における同期タッピング課題という実験系が用いられてきた。この同期タッピング課題とは、

被験者が周期的に提示されるリズム刺激に対してタップ動作を同期させる課題であり、リズム刺激を用いた研究の有効なアプローチとして正当性も支持されている^{[13],[14]}。この課題において、タップが聴覚刺激に20~50ms先行する負の非同期現象 (Negative Asynchrony, 以後 NA と記す) が観察されることが知られている^[15]。これはタップと聴覚刺激を同期させるために、予測的にタップをしているために生じる現象と考えられる。このことから、タイミング予測機構の解明のために同期タッピング課題を用いる際には、被験者が予測的に適應していることを確認するために NA が観測される必要がある。

複雑な環境下での同期タッピング課題における適應過程を調査した研究として、連続的な一定周期の聴覚刺激だけでなく、試行中に周期変動を加えた実験があり、NA が観測されていることから、周期変動を含んだ刺激に対しても予測的に動作を適應させることが示されている^{[4],[8]}。また試行中に加える刺激の周期変動の大きさを变化させた実験において、被験者が周期変動を認知していない状態から認知している状態へ遷移する際の適應過程、つまり周期変動に気付いた場合と気付かない場合で適應の速度が異なることを示唆する報告もある^{[8],[17]~[20]}。さらに同期タッピング課題中には、側頭葉、前頭葉、視床、頭頂葉以外に運動学習に深く関わるとされている小脳の活動量が増加することが報告されている^{[21],[22]}。以上のように、複雑な環境下での同期タッピング課題における適應過程を調査した研究では、気付きが適應過程に及ぼす影響や学習による影響を考慮することが重要である。

以上のことから、複雑な刺激に対して予測的に同期

*1: 東京工業大学大学院 総合理工学研究科

*1: Tokyoinstitute of Technology, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering

タッピング課題を遂行するためには、まず周期変動に対する気付きがタイミング予測モデルに影響すると考えられる。さらに同期タッピング課題中の適応および運動学習によって獲得されるタイミング予測モデルに気付きが影響を及ぼしていると考えられる。

気付きが同期タッピング課題中の適応過程に及ぼす影響を調査するために、Thautらは刺激周期の変動を余弦波状にすることによって、周期的な変動に対する連続的な適応過程を観察した^[23]。この研究では、事前に周期変動への気付きの弁別課題を行い、それに基づいて周期変動に気付くとされている領域と気付かないとされている領域で適応過程について調査した。その結果、周期変動に気付くとされている領域と気付かないとされている領域では程度に違いがあるものの、共に応答に周期性が見られるようになることを示唆し、さらに刺激音の周期と応答の周期の相互相関数がラグ1で大きな値を取ることから、それ以前の刺激音の周期と応答の周期の比較をすることによって生じる誤差補正の結果として、応答は直前の音刺激に追従する形でタイミングを予測していることを示した。しかし、同様の課題を用いて脳活動を計測した研究では、周期変動に気付くとされる閾値以上の変動率を与えた場合において、刺激音の周期と応答の周期の相互相関数がラグ0で大きな値を取ることが分かっており^[22]、周期変動に気付く場合と気付かない場合では、タイミングの予測に異なる傾向があることが示唆される。このことからThautらの実験系でも同様の傾向が確認される可能性があるが、周期変動への気付きに対する弁別課題とタップ課題が分離されているために、タップ課題中に被験者が周期変動に気付いているかは調べられていない。

そこで本研究では、Thautらと同様の刺激を用いた実験に加え、試行毎に周期変動に気付いたかを確認することで、聴覚刺激の周期変動に対する気付きがタイミング予測モデルに及ぼす影響について明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

2.1 特徴量の定義

n 回目の音刺激の提示時刻を $S(n)$ 、その刺激に対するボタン押し動作 (以後、タップと記す) の提示時刻を $R(n)$ として、刺激音の周期である ISI (Inter Stimulus-onset Interval)、連続するタップの時間間隔である ITI (Inter Tap-onset Interval)、刺激時刻に対するタップ時刻の時間差である SE (Synchronization Error) を以下の (1) - (3) 式のように定義する。

$$ISI(n) = S(n+1) - S(n) \quad (1)$$

$$ITI(n) = R(n+1) - R(n) \quad (2)$$

$$SE(n) = R(n) - S(n) \quad (3)$$

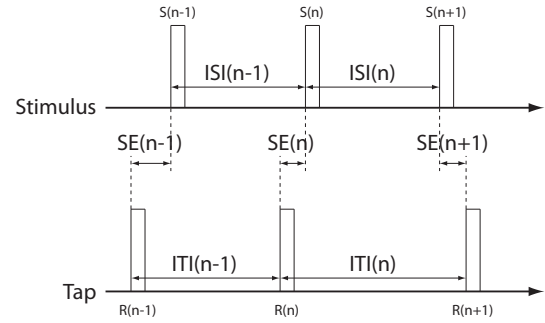


図1 特徴量の定義
Fig. 1 Definition of parameters

2.2 被験者と実験環境

被験者は著者2人を含む20代(平均23.3歳)の健康で右利きの男女6人(男性5人、女性1人)であり、被験者全員が事前に予備的な試行を行い、正常な聴力を持ち、滞りなくタップを行えることを確認した。さらに被験者のうち2人(A, F)は複数回の同期タッピング課題の被験者経験を持っていた。また優れた音楽能力が同期課題の遂行に影響を及ぼすことが明らかにされているため^[24]、特別な音楽訓練を受けたことがない方を対象とした。

実験中のタップはすべて右手人差し指で行い、視覚による影響を排除するために瞑目し、提示した刺激音以外の聴覚刺激を出来る限り排除するために遮音性の高いイヤーマフを使用した。また実験中にタップを行う右手人差し指以外の手足など身体の一部を動かしてリズムを取ることは禁止した。

2.3 実験装置と刺激音

本研究で制作した同期タッピングシステムはMacBookPro(CPU:2.8GHz)、イヤホン、イヤーマフ、USBマウスを用いて構築した。またプログラムはMATLAB2008bおよびPsychtoolbox^[25]を用いて作成し、タップのサンプリング時間精度は1ms以下であった。

またThautらの研究との比較をするために、刺激音と刺激周期ISIはThautらを用いた値に倣った。刺激音は周波数2000Hz、持続時間30msの矩形波とし、刺激周期ISIは以下の式(4)に示す。これらはすべての試行、被験者を通じて共通である。

$$ISI(n) = D(1 - A \cos(\frac{\pi}{2}n)) \quad (4)$$

D は基準となるISIの大きさであり、 A は周期変動の度合いである。このように設定したとき、ISIは $D(1+A)$ 、 D 、 $D(1-A)$ 、 D の4つを1周期とする非常に単純なパターン、すなわち周期的な変動を持つ。

本研究で用いた D および A を表 1 に示す．なお実験に用いた基準となる ISI の大きさである 500ms は，同期タッピング課題の遂行が容易であるとされる範囲内にある [9], [10], [23], [26] ．

表 1 刺激周期の基準 D および変動の度合い A
Table 1 Basic interval D and disturbance level A

D [ms]	A [%]
500	0, 1, 2, 3, 5, 7

ISI の時間発展例を図 2 に示す．ここで，周期変動による被験者の気付きの閾値は，変動量の絶対量よりも相対量に大きな影響を受けることが明らかにされており [23] ，その閾値は 5～7% であるとされている [27], [28] ．

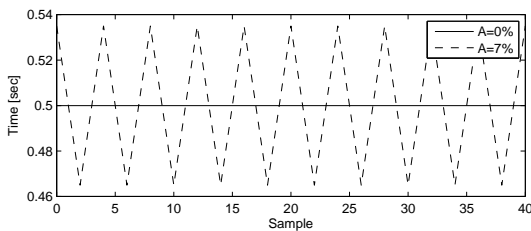


図 2 ISI の時間発展例 ($A=0, 7$ [%])
Fig. 2 Example of time series of ISI

2.4 実験課題

実験課題としてイヤホンを通じて両耳に提示される聴覚刺激に可能な限りタイミングを合わせてタップする同期タッピング課題を用いた．タップは右手人差し指のみで行った．

実験は 3 ブロックから構成されており，各ブロックは周期変動なし 1 種類 (5 試行) と周期変動あり 5 種類 (各 1 試行) の計 10 試行がランダムに提示される．1 試行は 100 回の音刺激で構成されており，試行が終了する毎に周期変動の有無を回答させた．またブロック間では数分間，試行間では 20 秒間の休憩を設けた．つまり実験は被験者毎に 30 試行 (音刺激 3000 回) であり，実験時間は説明や練習を含め 1 時間程度だった．

2.5 解析方法

周期変動への気付きの閾値は 5～7% であるとされている [27], [28] ．そのため本研究の解析の際には，閾値以上とされている $A=5$ および 7% では被験者が周期変動に気付いたと回答した際のデータのみを解析に用い， $A=3\%$ 以下では気付いていないと回答した際のデータのみを解析に用いた．

3. 結果

3.1 SE の分布

被験者 A の各条件における SE の分布を図 3 に示す．ここで SE が負の値を取ることは，タップが音刺激に

先行していることを表している． $A=5$ および 7% では SE の分布がばらつき，横に広い形になっていることがわかる．この傾向は，すべての被験者で共通である．

3.2 周期変動への気付き

被験者毎の周期変動への気付きを表 2 に示す．ここで，表中の値は気付いたブロックの番号であり，空欄の場合はどのブロックでも周期変動に気付かなかったことを表す．つまり，被験者 A および F は周期変動が 0～3% の場合，すべてのブロックの試行で周期変動はしていないと回答し， $A=5$ および 7% の場合，すべてのブロックの試行で周期変動があると回答している．しかし，被験者 B および C の回答は他の被験者の回答とは異なり，被験者 B および C では周期変動が全くない場合にも，それぞれ 2 回ずつ周期変動があると回答しており，弁別課題が正しく行っていないと考えられる．そのため，被験者 B および C の結果からは周期変動への気付きによる影響は考察できないため，以下の考察では被験者 B および C は除外することとする．

表 2 周期変動への気付き
Table 2 Recognition of perturbation rates

A [%]	Sbj.A	Sbj.B	Sbj.C	Sbj.D	Sbj.E	Sbj.F
0		1,2	1,2			
1		1,2	1,2			
2		1	2			
3		3	3	3	2,3	
5	1,2,3	1,3	2	1,2	1,2,3	1,2,3
7	1,2,3	1,2,3	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2,3

3.3 ISI と ITI の相互相関

被験者 A と D の各条件における ISI と ITI の相互相関を図 4 に示す．ここでラグ N で相関関数が最大値を取るとき，ITI のデータを N 個分ずらした状態で ISI との相関が最も高くなることを示す．つまり N の値が正であれば，ITI が ISI に N 個分だけ遅れて追従していることを表す．

図 4a の被験者 A の結果では， $A=1\sim 3\%$ と $A=5$ および 7% では相互相関関数の変動に違いがあることが分かった．具体的には $A=1\sim 3\%$ ではラグ 1 で ISI と ITI の相互相関関数が最大値を取り， $A=5$ および 7% ではラグ 0 で最大値を取った．また被験者 A と同様の結果を被験者 F でも得た．

図 4b の被験者 D の結果では， $A=1\sim 5\%$ で ISI と ITI の相互相関関数がラグ 1 で最大値を取り， $A=7\%$ ではラグ 0 で最大値を取ることがわかる．また被験者 E では，すべての条件下でラグ 1 で相互相関関数が最大値を取った．

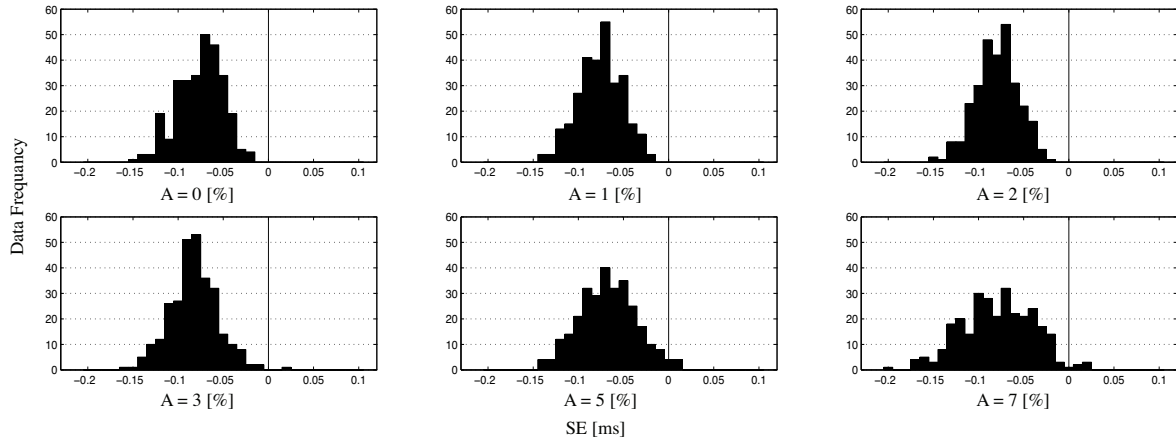


図3 各条件下での SE の分布
Fig. 3 Example of Synchronization Error(SE) distribution for every conditions

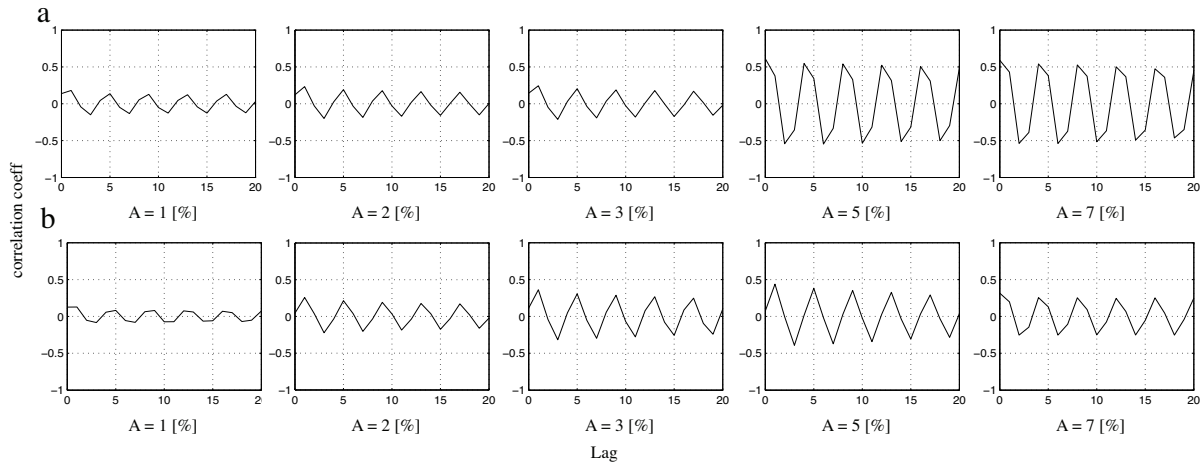


図4 ISI と ITI の相互相関 (a:被験者 A , b:被験者 D)
Fig. 4 Example of cross-correlogram ISI vs ITI (a: Sbj.A, b: Sbj.D)

4. 考察

本研究では、外部刺激にタップを合わせる同期タッピング課題において、聴覚刺激が一定間隔のリズム音ではなく、Thaut らが過去に行った周期的な変動を含む聴覚刺激を用いた実験系に試行間での周期変動への気付きの弁別課題を加えて追試を行った。結果として、Thaut らの知見^[23]と一致する以下の結果を確認した。

- SE のばらつきは周期変動率 A の大きさで若干異なるが、いずれの条件下でも平均値が負の値を取る。
- すべての被験者が高い確率で $A=5\sim 7\%$ の条件下で、周期変動に気付く。
- 周期変動率 $A=0\sim 3\%$ の条件下で、すべての被験者の ISI と ITI の相互相関関数がラグ 1 で最大値を取る。
- 有効なデータを取得できた 4 人中 1 人の被験者で周期変動率 $A=5$ および 7% 、4 人中 1 人で

$A=5\%$ で、ISI と ITI の相互相関関数がラグ 1 で最大値を取る。

Thaut らが報告したように、周期的な変動を含む聴覚刺激に対する同期タッピング課題においても、通常の同期タッピング課題で確認されている負の非同期現象が確認できた。これは聴覚刺激が提示されるよりも前に、被験者がタップを行っているということであり、予測的にタップを行ったことを示している。また A の値が大きくなるにつれて、SE のばらつきも広がってきている。この結果も Thaut らの報告と一致する。これは聴覚刺激の周期変動に被験者が気付いたため、その周期変動に被験者が注意を払い、学習を始めていると考えられ、学習初期段階ではそのパフォーマンスが一時的に低下するという知見と一致する^[29]。そのため、長時間データを取った場合、後半のデータではそのばらつきは減少する可能性がある。また試行中に周期に変動を与えたときの注意による影響を調べた研究では、周期変動に注意を向けることで周期誤差補正を

行っているとされており^[17]，その結果とも一致していると言える。

Thaut らの実験系では，周期変動への気付きに対する弁別課題を同期タッピング課題外で行っている。しかし，本研究では周期変動への気付きに対する弁別課題を試行毎に行った。そのため，周期変動への気付きがタイミングの予測に与えた影響について調べることが出来た。その結果，周期変動の弁別閾値とされる $A=5\sim 7\%$ の高い確率で周期変動を認知できたと回答したが，認知できなかったと回答した試行もあった。そのため，周期変動への気付きがタイミング予測にどのように影響を及ぼすかを調査する際には，試行毎に周期変動への気付きの弁別課題を与える必要があることを示唆された。しかし，6人中2人で周期変動の有無に対する認知の弁別課題が正しく行えていなかったため，実験系には未だ問題があり，改善する必要がある。

周期変動の弁別閾値以上では，有効なデータを取得できた4人中3人の被験者で相互相関関数がラグ0で最大値を取った。この結果は，周期変動を含む聴覚刺激を用いた同期タッピング課題中に脳機能計測を行い，周期変動への気付きによる脳活動の変化を調べた研究^[22]で得られている $A=20\%$ での結果と A の大きさは異なるが，周期変動への弁別閾値以上であるという点で一致する。つまり周期変動への気付きの弁別閾値以上では，直前の聴覚刺激に追従してタップするだけでなく，変動する周期に対して予測的にタップすることを示唆した。また $A=5\%$ の領域では，相互相関関数の値がラグ0で最大値を取ったグループ1(被験者A, D)とラグ1で最大値を取ったグループ2(被験者E, F)に分かれた。このグループ間では被験者の同期タッピング課題を用いた実験の経験値が大きく異なり，グループ1の被験者は複数回の同期タッピング課題の経験者であった。そのため，グループ間に見られた結果の違いは，同期タッピング課題を複数回経験することで進む学習の効果である可能性がある。しかし，個体内ではその遷移は確認されていないため，今後確認する必要がある。

周期変動の弁別閾値以下の領域では，すべての被験者で相互相関関数がラグ1で最大値を取り，直前の聴覚刺激に追従してタップすることを確認したが，相互相関関数がラグ0で最大値を取ることは確認されなかった。また周期変動の弁別閾値以下の領域でも，同期課題に対する学習効果が適応過程に及ぼす影響については調べられていない。

以上のことから，本研究では周期変動を含む聴覚刺激に対する気付きがタイミングの予測にどのように影響するかについての知見を得た。しかし，周期変動に気付き閾値以上においても，閾値以下においても，周

期変動への気付きがタイミング予測モデルの獲得にどのように影響しているかは調べられていない。そこで今後は同期タッピング課題に熟練する以前と十分に熟練した状態での周期変動への気付きがタイミング予測に及ぼす影響を比較を行うことで，周期変動への気付きがタイミング予測モデルの獲得へ及ぼす影響について検証していく予定であり，現在予備的な調査や実験を進めている。

5. まとめ

本研究では，Thaut らが過去に行った周期的な変動を含む聴覚刺激を用いた実験系に，試行毎に周期変動への気付きの弁別課題を行う実験系で追試を行い，周期変動への気付きのタイミング予測への影響を調査した。その結果，試行間に周期変動に対する気付きの弁別課題を与えた実験系においても，周期変動に気付き閾値以下で Thaut らの結果を再現することに成功した。また有効なデータを取得できた4人中3人の被験者で周期変動の弁別閾値以上で，相互相関関数がラグ0で最大値を取った。これも Stephan らの先行研究の結果と一致し，周期変動の弁別閾値以上では，直前の聴覚刺激に追従して適応するだけでなく，周期変動に予測的に適応することが示唆された。また今回の実験では周期変動に気付き閾値以下で周期変動に対する予測的適応の様子は観察されなかった。しかし，これまでの研究ではデータを長期間に渡って計測しておらず，同期課題への学習が十分に行われている状態での気付きがタイミング予測へ及ぼす影響は調べられていない。このことから，今後は同期タッピング課題に熟練する以前と十分に熟練した状態での周期変動への気付きがタイミング予測に及ぼす影響を比較を行うことで，周期変動への気付きがタイミング予測モデルの獲得に及ぼす影響について検証していく予定であり，現在予備的な調査や実験を進めている。そして，気付きがタイミング予測モデルの獲得に及ぼす影響についての知見は，人間が動的で複雑な環境の中でどのようにタイミングを合わせながら環境に対して柔軟に適応しているのかを知るための知見となり，人間の特性を活かしたヒューマンインターフェース技術として活用できると考えられる。

参考文献

- [1] 渡辺: コミュニケーションにおける身体性; ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.1, No.2, pp.14-18 (1999).
- [2] Condon, W., Sander, L.: Synchrony demonstrated between movements of the neonate and adult speech; Child Development, Vol.45, No.2, pp.456-462 (1974).
- [3] 高杉, 山本, 他: コミュニケーションロボットとの対話を用いた発話と身振りのタイミング機構の分析; 計

- 測自動制御学会論文集, **Vol.45**, No.4, pp.215-223 (2009).
- [4] Hary, D., Moore, G.P.: Synchronizing human movement with an external clock source; *Biological Cybernetics*, **Vol.56**, pp.305-311 (1987).
- [5] Haken, H., Kelso, J., Bunz, H.: A theoretical model of phase transitions in human hand movements; *Biological Cybernetics*, **Vol.51**, Vol.51, No.5, pp.347-356 (1985).
- [6] Mates, J.: A model of synchronization of motor acts to a stimulus sequence: I. Timing and error corrections; *Biological Cybernetics*, **Vol.70**, pp.463-473 (1994).
- [7] Mates, J.: A model of synchronization of motor acts to a stimulus sequence: II. Stability analysis, error estimation, and simulations; *Biological Cybernetics*, **Vol.70**, pp.475-484 (1994).
- [8] Thaut, M., Miller, R., Schauer, L.: Multiple synchronization strategies in rhythmic sensorimotor tasks: phase vs period correction; *Biological Cybernetics*, **Vol.71**, pp.241-250 (1998).
- [9] 三宅, 大西, ペッペル: 同期タッピングにおける2種類のタイミング予測; 計測自動制御学会論文集, **Vol.38**, No.12, 1114-1122 (2002).
- [10] Miyake, Y., Onishi, Y., Pöppel, E.: Two types of anticipation in synchronous tapping; *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, **Vol.64**, pp.415-426 (2004).
- [11] Nojima, M., Shimo, H., Miyake, Y.: Subjective Timing Control in Synchronized Motion of Humans -A basic study for Human-Robot Interaction-; *Proc. of 9th Int. Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS2008)*, pp.1-12 (2008).
- [12] 小松, 三宅: 同期タッピング課題における予測的挙動の時系列データ解析; 計測自動制御学会論文集, **Vol.39**, No.10, pp.952-960 (2003).
- [13] Lehrdahl, F., Jackendoff, R.: *A generative theory of tonal music*; MIT press, (1982).
- [14] Vos, P.G., Helsen, E.L.: Tracking simple rhythms: On-beat versus off-beat performance; *Time, action and cognition: Towards bridging the gap*, **Vol.66**, pp.287-299 (1992).
- [15] Dunlap, K.: Reaction to rhythmic stimuli with attempt to synchronize; *Psychological Review*, **Vol.17**, pp.399-416 (1910).
- [16] Repp, B.: Phase correction, phase resetting, and phase shifts after subliminal timing perturbations in Sensorimotor Synchronization; *Journal of Experimental Psychology*, **Vol.27**, No.3, pp.600-621 (2001).
- [17] Repp, B., Keller, P.: Adaptation to tempo changes in sensorimotor synchronization: Effects of intention, attention, and awareness; *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **Vol.57A**, No.3, pp.499-521 (2004).
- [18] Thaut, M., Kenyon, G.: Rapid motor adaptations to subliminal frequency shifts during syncopated rhythmic sensorimotor synchronization; *Human movement science*, **Vol.22**, pp.321-338 (2003).
- [19] Repp, B.: Comments on "Rapid motor adaptations to subliminal frequency shifts during syncopated rhythmic sensorimotor synchronization" by Michael H. Thaut and Gary P. Kenyon; *Human movement science*, **Vol.23**, pp.61-77 (2004).
- [20] Thaut, M., Kenyon, G.: Response to Repp's "Comments on Rapid motor adaptations to subliminal frequency shifts during syncopated rhythmic sensorimotor synchronization" by Michael H. Thaut and Gary P. Kenyon; *Human movement science*, **Vol.23**, pp.79-86 (2004).
- [21] Pollok, B., Gross, J., et al.: The cerebral oscillatory network associated with auditorily paced finger movements; *Neuroimage*, **Vol.24**, No.3, pp.646-655 (2005).
- [22] Stephan, K., Thaut, M., et al.: Conscious and subconscious sensorimotor synchronization prefrontal cortex and the influence of Awareness; *Neuroimage*, **Vol.15**, pp.345-352 (2002).
- [23] Thaut, M., Tian, B., Azimi-Sadjadi, M.: Rhythmic finger tapping to cosine-wave modulated metronome sequences: Evidence of subliminal entrainment; *Human movement science*, **Vol.17**, pp.839-863 (1998).
- [24] Franek, M. M., Mates, J., et al.: Finger tapping in musicians and nonmusicians; *Internal Journal of psychophysiology*, **Vol.11**, pp.187-192 (1991).
- [25] Brainard, D.H.: *The Psychophysics Toolbox*; *Spatial vision*, **Vol.10**, pp. 433-436 (1997).
- [26] van Noorden, L. and Moelants, D.: Resonance in the perception of musical pulse; *Journal of New Music Research*, **Vol.28**, No.1, pp.43-66, (1999).
- [27] Ivry, R.B., Hazeltine, E.: Perception and production of temporal intervals across a range of durations: Evidence for a common timing mechanism; *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performances*, **Vol.21**, pp.3-18 (1995).
- [28] Killeen, P., Weiss, N.: Optimal timing and the Weber function; *Psychological Review*, **Vol.94**, pp.455-468 (1987).
- [29] Karmiloff-Smith, A.: *Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science*; MIT press, (1992).