

「走る」アンサンブル：2人組リズム維持タッピング課題におけるテンポ高速化

岡野真裕^{†1} 進矢正宏^{†1} 工藤和俊^{†1}

概要：音楽演奏のテンポは、演奏者が意図しないにもかかわらず、しばしば速くなる。このことは「走る」と呼ばれるが、その原因には不明な点が多い。本研究では1人および2人組でのテンポ維持タッピング課題を3種類のテンポ（75 bpm, 120 bpm, 200 bpm）で実施し、テンポおよび人数の違いによるパフォーマンスの変化について検討した。その結果、いずれのテンポでも、1人の時より2人組の時において、目標より速いテンポでタッピングが遂行された。

キーワード：sensorymotor synchronization, tapping task, synchronization—continuation paradigm, interval production, interpersonal coordination

1. はじめに

音楽演奏のテンポは、演奏者が意図しないテンポ変化がしばしば発生する。テンポが遅くなる場合は「もたつく」、速くなる場合は「走る」などと呼ばれる。意図しないテンポ変化は、事前に計画した表現の意図が弱まることや、合奏での演奏者間の同期を妨げる原因となり、好ましくない。特に「走る」場合は、「もたつく」場合と比較してミスが誘発される可能性が高まると考えられ、十分な技術を持たない演奏者にとって、より深刻である。興味深いことに、演奏場面では「走る」ことがほとんどである。「走る」原因としては不安や緊張、興奮といった、演奏者の心理状態の影響が指摘されることが多い。しかしながら、演奏が「走る」現象を扱った研究は少なく、特にアンサンブル演奏における同現象を扱った研究は皆無であった[1]。

一定の動作テンポを維持する能力を評価するための課題として、同期—継続課題（synchronization—continuation paradigm）がある。同期—継続課題において実験参加者は、最初メトロノームと同期してリズム動作（指タッピングなど）を行い、そのまま続けてメトロノーム無しで、メトロノームで示されていた元の目標テンポを維持してリズム動作を続けることを要求される。同期—継続課題で一定のテンポを維持することは通常困難で、ほとんどの場合、目標テンポからの逸脱が観察される（ITIドリフト）。ITIドリフトは目標テンポによって傾向が異なることが報告されている。たとえばMadisonの研究では400 ms, 700 ms, 1000 msの目標テンポ（タップ間隔 inter-tap interval: ITI）で課題が行われ、その結果、400 msの条件では74%の試行でテンポが遅くなったのに対し、700 ms, 1000 msの条件ではそれぞれ42%, 43%の試行でテンポが遅くなった[2]。

2人組で課題を行った研究は近年増加している。しかし研究の主眼は2人の結合の方向性や強度とITIの相互関係[3]や、2人のタイミング誤差の相互調整プロセス[4]

およびその神経相関[5]などで、そのため1試行あたりの課題時間は数十秒程度である。ITIドリフトには1/fゆらぎと呼ばれる長周期（たとえばTorreら[6]の研究では、50~100秒程度）の振動を伴うことが報告されていることから、数十秒という時間長はITIドリフトについて検討するには短すぎる可能性がある。

2人組のリズム課題に限らず、単独での動作と集団での動作との関係という点について、同じ課題であっても単独時と集団時ではパフォーマンスが変化するという報告が近年増加している。たとえば2人で並んで揺り椅子を揺らすと、2人の揺れの位相差は、互いの動きを見ない場合は均等に分布するのに対し、互いの動きを見ている場合は、意図していなくとも、同位相および逆位相で揺れている時間帯が長くなったことが報告されている[7]。またGo/No-go課題でも、2人同時に行くと、単独で行う場合より反応時間が遅れるという報告がある[8]。

つまり同期—継続課題のパフォーマンスも、1人で行う場合と2人で行う場合とで、異なる振る舞いが観察される可能性が考えられた。そこで本研究では、1人および2人組での、1試行200秒間にわたる同期—継続課題を3種類のテンポ（75 bpm, 120 bpm, 200 bpm；ITIでは800 ms, 500 ms, 300 ms）で実施し、ITIドリフトの振る舞いが①人数によって異なるか、また②目標テンポによって異なるか、について検討した。

2. 方法

2.1 実験参加者

26名の健康な成人が実験に参加した。参加者は2名を除き、楽器の扱いへの熟達はなかった（熟達者の2名は経験年数5年と10年のアマチュアドラム奏者であった。この2名で1ペアを作った）。

^{†1} 東京大学総合文化研究科
Department of Life Sciences, Graduate School of Arts and Science, The University of Tokyo.

2.2 装置

参加者のタップ取得および聴覚フィードバックには、2台の電子ドラムキット (WAVEDRUM Mini, KORG) を用いた。参加者はドラムキットの外部センサーに取り付けられた 9.3 cm × 6.5 cm のプラスチック板をタップした。センサーが振動すると発生する電圧を、16-bit A/D 変換器 (USB-6218 BNC, National Instruments) を用いて、サンプリング周波数 1000 Hz で記録した。参加者間の視覚的コンタクト、および実験者の視線による不快感を避けるため、2人の参加者の間および参加者と実験者の間に間仕切りを設置した。

2.3 手続き

参加者は2人組で入室し、実験手続きの説明を受けた後、タップの練習を行った。続いて1人目のソロ条件第1ブロックの1試行目が開始された。実験者が測定開始の合図とともにメトロノームを提示し、参加者はメトロノームと同期してのタッピングを行った。測定開始後10秒すると実験者はメトロノームを停止するが、参加者はそのまま、メトロノームで最初に提示された目標 ITI をできるだけ維持したまま、200秒間タッピングを続けることを求められた。ソロ条件で一方の参加者が課題を遂行している間、他方の参加者には休憩を取らせた。目標 ITI は 800 ms, 500 ms, 300 ms であった。1人目の参加者のソロ1試行目が終わると、続いて2人目のソロ1試行目を開始した。参加者はこのように1試行ごとに交代しながら、3種類の目標 ITI のソロ条件の試行を遂行した。ソロ条件第1ブロックが完了すると、続いてペア条件第1ブロックを開始した。ペア条件で参加者は、「合奏で同じパートを担当するように、できるだけ目標テンポを維持しながら、2人の間でのシンクロナイズーションも維持する」よう求められた。3種類の目標 ITI でのペア条件の試行が完了すると、以下同様に、ソロ条件第2ブロック、ペア条件第2ブロック、ソロ条件第3ブロックと続けられた。このようにして、参加者は各目標 ITI での同期—継続タッピング課題を、ソロで3回、ペアで2回ずつ行った。

2.4 データ処理

取得したセンサーの波形から、次の手順でタップタイミングを検出した：直流成分の除去および全波整流を行い、100-300 Hz のバンドパスフィルターを通して高周波ノイズを除去した後、ヒルベルト変換を用いて包絡線を求めた。この包絡線の波形について、「閾値以上の値を持ち、かつ直前の 50 ms のデータ窓内の全てのサンプル点が閾値未満の値を持つ」という条件を満たすサンプル点に対応する時刻をタップオンセットと見なして抽出した。得られたタップオンセットの時系列を微分し、ITI 時系列を取得した。さらに ITI 時系列の各値を、対応する目標 ITI で除算し、標準化 ITI を求めた。

3. 統計解析の結果

参加者のうち1人はパートナーとのシンクロを維持できなかったため、該当するペアは分析から除外した。以下、残った12ペア(24名)を分析した結果について記述する。

図1に ITI 時系列の典型例、図2に ITI 時系列の20秒ごとの平均値の参加者間平均の推移を示した。ソロ条件での ITI はおよそ目標 ITI の周辺でばらついた一方、ペア条件での ITI は時間の経過と共に徐々に短くなった。

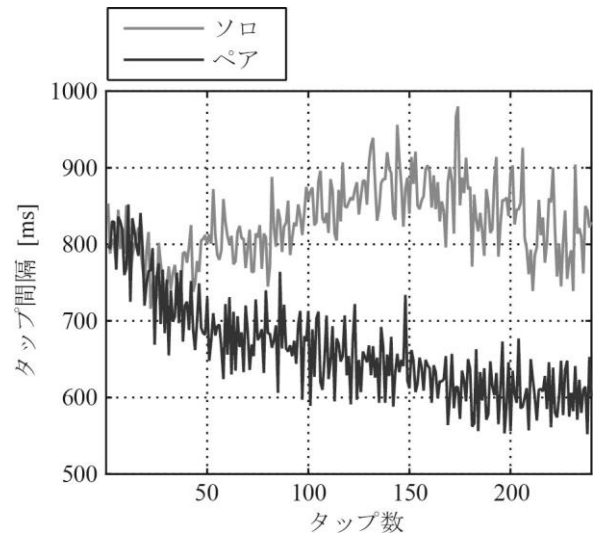


図1 800 ms 条件における ITI 時系列の典型例
 Figure 1 Typical time-series of ITI in 800 ms condition.

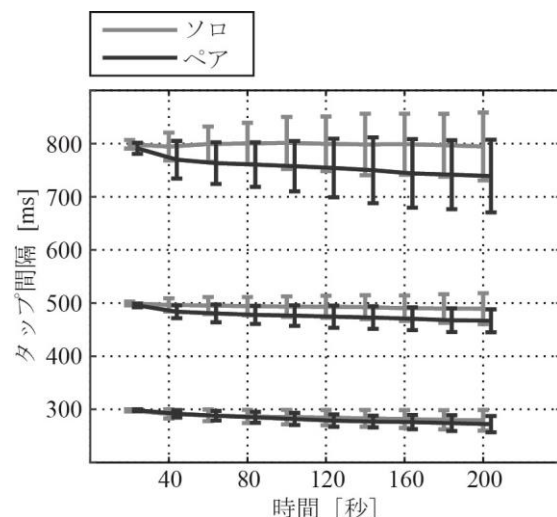


図2 20秒ごとの平均 ITI の推移

Figure 2 Mean ITI transition every 20 seconds across all pairs.

各試行の標準化 ITI の最後の 30 点について、人数(ソロ、ペア) × 目標 ITI (800 ms, 500 ms, 300 ms) を要因とする 2 要因反復測定分散分析により比較した (図3)。人数・目標 ITI の主効果、および交互作用はいずれも有意であった (それぞれ $F(1, 23) = 23.65, p < .001$, $F(2, 46) = 10.02, p < .001$, $F(2, 46) = 3.88, p = .028$)。事後比較の結果、全ての

目標 ITI の条件で人数の主効果が有意で、ペア条件ではソロ条件より最終的な ITI が短かった (800 ms; $t(23) = 3.86, p = .001$; 500 ms; $t(23) = 4.06, p < .001$; 300 ms; $t(23) = 2.46, p = .022$).

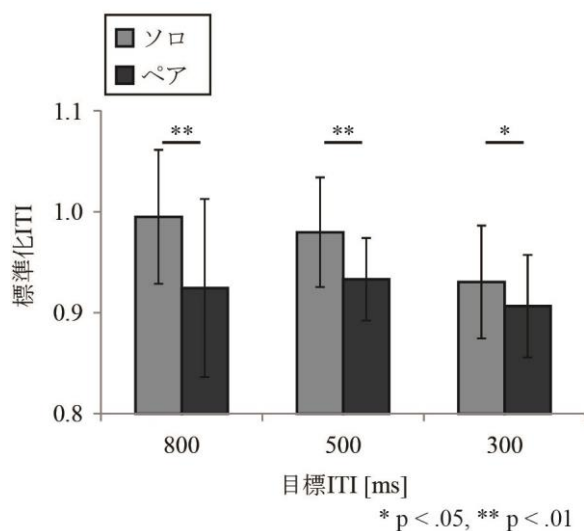


図3 最後の30点の平均標準化 ITI の比較

Figure 3 Comparison of mean normalized ITI for the final 30 ITI.

4. まとめと考察

結果から、いずれの目標 ITI においても、ペア条件ではソロ条件よりも最終的に ITI が短くなりやすかった。つまり、ペア条件ではソロ条件よりもテンポが速くなりやすいことが示唆された。

1人での同期—継続課題における ITI ドリフトの原因としては、体内時計を含む整体信号に偏在する $1/f$ ノイズの影響が指摘されている[9]。しかし $1/f$ ノイズによるドリフトは特定の方向への偏りを持たないため、本研究の2人組同期—継続課題の結果を説明できるとは考えにくい。このことから、パートナー間の相互作用が原因で、ITI が徐々に短くなったと考えられる。ITI が徐々に短くなる結果を生むプロセスの例としては、参加者が、自身がタップしたタイミングと言うより、自身がタップしたタイミングとパートナーがタップしたタイミングのうち早かった方をキューとして自身のクロックの位相をリセットしていた、というものが考えられる。メトロノームとの同期タッピングにおいて、参加者はメトロノームのビートより平均して数十 ms 程度早いタイミングでタップを行うことが知られている[9]。また、本来同期すべきメトロノームのビートより 50~100 ms 程度早いタイミングで distracter tone を鳴らすと、distracter tone が無い場合よりも早いタイミングでタップしてしまうことが報告されている[10]。これら2つのプロセスが同時に働いて、早いタイミングでの位相リセットが積み重なれば、ITI は徐々に短くなることが予想される。こ

の仮説の妥当性については、今後検証していきたいと考えている。

参考文献

- [1] 岡野真裕, 進矢正宏, 工藤和俊. アンサンブルは「走る」?: 2人組テンポ維持課題におけるテンポドリフトの高速化バイアス. 日本音楽知覚認知学会資料平成27年度春季研究発表会資料, 2015, p. 9-14.
- [2] Madison, G. Variability in isochronous tapping: higher order dependencies as a function of intertap interval. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2001, vol. 27, no. 2, p. 411-422.
- [3] Konvalinka, I., Vuust, P., Roepstorff, A., & Frith, C. D. Follow you, follow me: continuous mutual prediction and adaptation in joint tapping. *The Quarterly journal of experimental psychology*. 2010, vol. 63, no. 11, p. 2220-2230.
- [4] Nowicki, L., Prinz, W., Grosjean, M., Repp, B. H., & Keller, P. E. Mutual adaptive timing in interpersonal action coordination. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*. 2010, vol. 23, no. 1, p. 6-20.
- [5] Fairhurst, M. T., Janata, P., & Keller, P. E. Being and feeling in sync with an adaptive virtual partner: brain mechanisms underlying dynamic cooperativity. *Cerebral Cortex*. 2013, vol. 23, no. 11, p. 2592-2600.
- [6] Torre, K., Balasubramaniam, R., Rheaume, N., Lemoine, L., & Zelaznik, H. N. Long-range correlation properties in motor timing are individual and task specific. *Psychonomic bulletin & review*. 2011, vol. 18, no. 2, p. 339-346.
- [7] Richardson, M. J., Marsh, K. L., Isenhower, R. W., Goodman, J. R., & Schmidt, R. C. Rocking together: Dynamics of intentional and unintentional interpersonal coordination. *Human movement science*. 2007, vol. 26, no. 6, 867-891.
- [8] Dolk, T., Hommel, B., Colzato, L. S., Schütz-Bosbach, S., Prinz, W., & Liepelt, R. The joint Simon effect: a review and theoretical integration. *Frontiers in Psychology*. 2014, vol. 5, Article 974.
- [9] Repp, B. H. Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychonomic bulletin & review*. 2005, vol. 12, no. 6, p. 969-992.
- [10] Repp, B. H. Does an auditory distractor sequence affect self-paced tapping?. *Acta psychologica*. 2006, vol. 121, no. 1, p. 81-107.