

[研究助成 (C)]

対人間同期が走パフォーマンスに及ぼす影響とその影響範囲の解明



2227010

研究代表者 (助成金受領者)	東京大学 大学院総合文化研究科 博士課程	古 川 大 晃
共同研究者	東京大学 大学院総合文化研究科 教 授	工 藤 和 俊

[研究の目的]

アスリートが発揮するパフォーマンスは、各個人の能力のみではなく、他者との相互作用（例：他の選手、観客）を含む環境条件にも依存する。例えば、陸上走種目では、60 m, 1500 m, 3000 m のタイムトライアルにおいて、1人で走るよりも2人で走ることでパフォーマンスが向上することが示されている（Takehata et al., 2022; Tomazini et al., 2015; Yamaji et al., 2019）。先行研究において、空気力学的影響（Hirata et al., 2012; Pugh, 1971）、覚醒水準の変化（Triplett, 1898; Zajonc et al., 1969）、注意の焦点の変化（Williams et al., 2015）やそれらに伴うペース方略の変化などの様々な要因がこのパフォーマンスの変化をもたらすことが示されている。さらに、その要因の1つとして、他者と動作テンポが近づく「対人間同期」も挙げられている。2009年にベルリンで開催された世界陸上100 m 決勝では、ウサイン・ボルトが世界新記録を樹立し、2位のタイソン・ゲイが世界歴代2位の記録を達成した。この2人のステップタイミングが分析された結果、別組を走った準決勝ではステップ頻度（単位時間あたりの歩数）が異なっていたものの、隣のレーンを走った決勝では一時的に接近し、同期の可能性が示唆された（Varlet & Richardson, 2015）。走動作が最適化されたトップアスリートにおいても、同期現象が生じる可能性が開かれたことから、同期とパフォーマンスの関係や、その発

生メカニズムについての研究が求められている。

本研究では、対人間同期が生じる知覚的条件と同期とパフォーマンスの関連を明らかにすることを目的とした。

[研究の内容、成果]

方法

実験参加者

本研究では、大学の陸上競技部に所属する13名の健康な男子長距離ランナーを対象とした。

実験手順とセットアップ

参加者には「1人で走ったときと2人で走ったときのHRを調べる実験」が目的であることが示され、本来の目的は明らかにされなかった。胸部にHR計測センサー（HRM-Run, Garmin）を、体の背面のウェアのウエスト部分（仙骨付近）に加速度センサー（Running Dynamics Pod, GARMIN）を装着し、心拍数とステップ頻度のデータを5秒ごとに毎分拍数（bpm）と毎分ステップ数（spm）として取得した。2台のトレッドミルのうち1台（前方）で10分間のウォームアップ走を行った。5分間の休憩の後、実験の最初の試行が開始された。ウォームアップ走中に参加者が自己選択の快適なペースを規定し、その走速度で本実験における全ての試行を行った。

条件

参加者に対して、他走者からの視覚情報の有

無を操作する視覚条件と、他走者が SF を -3 spm, 0 spm, $+3$ spm するテンポ条件の 2 つの被験者内要因を組み合わせた被験者内 2 要因計画とした。いずれの条件においても彼らは設定速度で 5 分 30 秒間、自由に走行するだけであった。一方、他走者は参加者と同じ速度で同じ時間走りながら、ステップ頻度を操作した。テンポ条件に関する各条件の手順は下記のとおりである。

刺激

2 台のトレッドミルは前後に整列させて配置し、2 人のランナー間の距離は約 1.6 m であった。前方のランナーの頭部から約 1.5 m 前方、約 20 cm 下方に注視点を設けた。1 試行あたりの走行時間は 5 分 30 秒と、走速度はウォームアップ時に規定された自己選択の快適なペース（以下「設定速度」）を設定した。同じ設定速度で計 7 回の試行を行った。以下 7 つの条件は無作為に設定され、1 回ずつ、カウンターバランスをとった順序で実施された。試行と試行の間の休息時間は 5 分間であった。聴覚情報とランナーのステップ頻度の関連を示した研究（Van Dyck et al., 2015）を参考に、隣接走者のテンポの変化は ± 3 bpm（約 $\pm 2\%$ に相当）とした。

テンポ条件

最初の 3 分間、他走者はワイヤレスイヤホンを通じて参加者のステップ頻度（1 分間に両足の歩数）と同じテンポで鳴るメトロノーム音を聞き、その音を自分のステップと同期させた。メトロノーム音のテンポを調整するために、加速度計で測定した参加者のステップ頻度を multi-functional watch（ForeAthlete245, GARMIN）に表示し、メトロノームのテンポをこの値に調整した。したがって、参加者は自分の足音と、それとほぼ同じテンポで鳴る他走者の足音の両方を聞くことになる。隣接走者は、2 分 40 秒から 3 分までの参加者の平均ステップ頻度（「基準時間」）に基づき、各試験の開始 3 分後からステップ頻度を 3 spm 増加（ $+3$

spm 条件）/ 3 spm 減少（ -3 spm 条件）/一定に維持（ 0 spm 条件）させた。それらを隣接走者が前方を走る場合（視聴覚条件）と後方を走る場合（聴覚のみ条件）で 1 回ずつ行った。これらの 6 条件に加え、1 人で走る場合でもステップ頻度の変化が異常に大きい特性を持つ参加者がいないかを確認するため、参加者が前方のトレッドミルを単独で走る単独条件を加えた。したがって計 7 条件をランダム化しカウンターバランスをとった順序で行った。

計測

ステップ頻度変化率

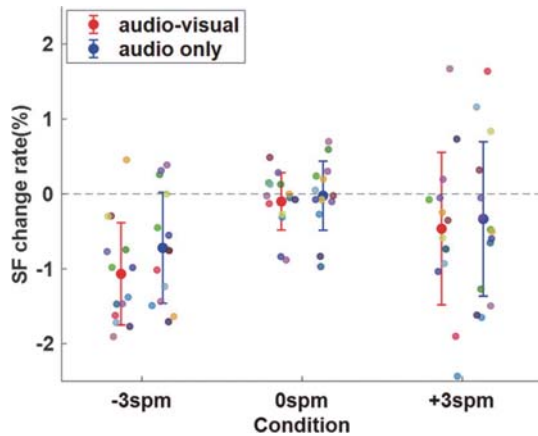
基準時刻のステップ頻度を“基準ステップ頻度”，基準時刻以降のステップ頻度を“変化後ステップ頻度”と定義した。参加者のステップのテンポ変化によるステップ頻度の増減の程度を確認するため、基準ステップ頻度の平均値に対する変化量の割合を「ステップ頻度変化率（step frequency change rate: SF change rate）」として算出した。

データ分析

統計データ分析は、IBM SPSS Statistics version 25.0（IBM Corp）を用いて行った。2 要因反復測定分散分析は、ステップ頻度変化率、心拍数について、テンポ条件（ $+3$ spm, -3 spm, 0 spm 条件）と視覚条件（視聴覚、聴覚のみ条件）を因子として用いた。有意な主効果または交互作用が認められた場合、一対比較の評価にはボンフェローニ法を用いた多重比較検定を用いた。球面性に違反した場合には Greenhouse-Geisser 補正を適用した。有意水準は 5% とした。すべての結果は平均値 $\pm$ SD で示した。

結果

各試験開始 3 分後から終了までの平均ステップ頻度変化率をまとめたものを図 1 に示す。2 要因分散分析（テンポ条件 $\times$ 視覚条件）の結果、テンポ条件と視覚条件の間に交互作用は見られなかった（ $F[2, 24] = 0.228$, $p = 0.80$, $\eta_p^2 =$



各プロットは1人の参加者のデータを示し、データは各試行開始3分後から終了までのステップ頻度変化率の平均である。同じ参加者のデータは同じ色でプロットされている。各条件の平均値は線で結ばれており、エラーバーは参加者間のSDを表す。0 spm 条件に対し、-3 spm 条件ではステップ頻度変化率が有意に低下した。

図1 各条件における平均ステップ頻度変化率

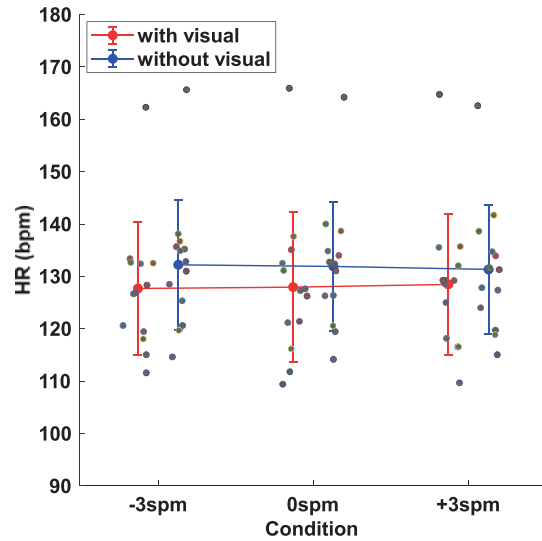
0.019)。テンポ条件はステップ頻度変化率に有意な主効果を示した ($F[2, 24]=11.29, p<0.001, \eta_p^2=0.49$)。Bonferonni 法を用いた多重比較の結果、-3 spm 条件と 0 spm 条件の間に有意差が認められた ($p<0.001$)。視覚条件はステップ頻度変化率に有意な主効果を示さなかった ($F[1, 12]=1.08, p=0.32, \eta_p^2=0.083$)。

心拍数

図2は、各条件における3分以降の平均心拍数を示している。心拍数について2要因分散分析(テンポ条件×視覚条件)を行った結果、交互作用は認められず ($F[2, 24]=1.89, p=0.17, \eta_p^2=0.14$)、心拍数に対するテンポ条件の主効果はなかった ($F[2, 24]=0.048, p=0.95, \eta_p^2=0.004$)。しかし、心拍数に対する視覚条件の主効果は有意であった ($F[1, 12]=45.43, p<0.001, \eta_p^2=0.79$)。

考察

本研究では走者間の知覚情報(視覚および聴覚)が走者のステップ頻度や生理的負荷(心拍数)に及ぼす影響について検討した。前後に並べた2台のトレッドミル上を2人が一定の速度で5分30秒間走行した。最初の3分間では、隣接走者は参加者とステップ頻度を合わせるよう



データは各試行開始3分後から終了までの心拍数の平均である。同じ参加者のデータは同じ色でプロットされている。各条件の平均値は線で結ばれており、エラーバーは参加者間のSDを表す。他者の視覚情報がある条件では、他者の視覚情報が無い条件と比べて心拍数が有意に低かった。

図2 各条件における平均心拍数

に走った。3分経過後、隣接走者はステップ頻度を3 spm 速く(+3 spm 条件)または3 spm 遅く(-3 spm 条件)した。その結果、テンポ条件において有意な主効果が見られ、特に-3 spm 条件ではステップ頻度が有意に低下することが確認された。また、心拍数に対して、視覚条件の有意な主効果があった。主観的運動強度に関してはテンポ条件も視覚条件も有意な主効果を示さなかった。

ステップ頻度に関し、0 spm 条件において、ステップ頻度は0%付近に局在しており、対照条件として機能していたことに留意したい。その0 spm 条件に対して、-3 spm 条件ではステップ頻度が有意に低下した。この結果は並走するランナーの足音テンポを操作することで、ステップ頻度が低下する方向に同期が生じるとという先行研究の結果を再現しており、隣接走者間に同期に生じるという仮説(Furukawa et al., 2024; Varlet & Richardson, 2015)を支持するものであった。

さらに隣接走者の視覚情報の影響を検討するため、我々は視覚と聴覚を組み合わせた条件(視聴覚条件)と聴覚のみで視覚なし(聴覚の

み条件)を設定した。その結果、視覚条件には主効果がみられず、視覚の追加効果があるとは言えなかった。すなわち、主走者は隣接走者のステップ頻度変化に影響を受けるものの、その影響は視覚というより主に聴覚情報に起因する可能性を示している。

これまで、視覚情報が運動の対人間同期を引き起こす主因の1つであることが示されてきた (Schmidt & O'Brien, 1997)。そのため、互いの視覚情報がランナー間の同期引き起こす可能性が提案されてきたものの (Varlet & Richardson, 2015)、実証的な研究は不足していた。これらの背景に対し、本研究はランナー間の同期における聴覚情報の重要性を強調し、視覚情報の追加効果が大きくないことを示した点で、新たな示唆を与えるものである。

心拍数に対するテンポ条件の主効果はみられなかった。これまでの研究において、ランナーのステップ頻度に対して同期的な聴覚情報は生理的負荷を軽減し (Terry et al., 2012)、パフォーマンスに好影響を与えることが示されている (Bood et al., 2013; Simpson & Karageorghis, 2006; Terry et al., 2012)。本研究においては、隣接走者のステップ頻度が同期的である 0 spm 条件と非同期的である ± 3 spm 条件の間に心拍数の差はみられなかった。今回、ステップ頻度に主に注目しており、疲労が生じにくい低強度の走行とした。本研究と実験状況が類似した我々の先行研究においても、隣接走者の足音と心拍数の関連は確認されておらず (Furukawa et al., 2023)、低強度走行中の心拍数に対する足音の効果は重要でないと考えられる。

一方、心拍数に対する視覚条件の主効果は有意であった。このことは、前の走者からの視覚情報を受けることにより、心拍数の低下が生じた可能性を示唆している。

参考文献

- ・ Bood, R. J., Nijssen, M., van der Kamp, J., & Roerdink, M. (2013). PLoS ONE, 8(8).
- ・ Borg, G. A. (1973). Med. Sci. Sports, 5(2), 90-93.
- ・ Borg, G. A. (1982). Med. Sci. Sports Exerc., 14 (5), 377-381.
- ・ Furukawa, H., Kudo, K., Kubo, K., Ding, J., & Saito, A. (2023). PLoS ONE, 1-19.
- ・ Furukawa, H., Miyata, K., Richardson, M. J., Varlet, M., & Kudo, K. (2024).
- ・ Hirata, K., Okayama, T., Teraoka, T., & Funaki, J. (2012). Procedia Eng., 34(1), 32-37.
- ・ Kakehata, G., Tsukamoto, H., Goto, Y., Iso, S., & Kanosue, K. (2022). Sci. J. Sport Perform., 1(2), 94-102.
- ・ Pugh, L. G. C. E. (1971). J. Physiol., 213, 255-276.
- ・ Schmidt, R. C., & O'Brien, B. (1997). Ecol. Psychol., 9(3), 189-206.
- ・ Simpson, S. D., & Karageorghis, C. I. (2006). J. Sports Sci., 24(10), 1095-1102.
- ・ Terry, P. C., Karageorghis, C. I., Saha, A. M., & D'Auria, S. (2012). J. Sci. Med. Sport, 15(1), 52-57.
- ・ Tomazini, F., Pasqua, L. A., Damasceno, M. V., Silva-Cavalcante, M. D., de Oliveira, F. R., Lima-Silva, A. E., & Bertuzzi, Rô. (2015). Physiol. Behav., 149, 39-44.
- ・ Triplett, N. (1898). Am. J. Psychol., 9(4), 507-533.
- ・ Van Dyck, E., Moens, B., Buhmann, J., Demey, M., Coorevits, E., Dalla Bella, S., & Leman, M. (2015). Sports Med. Open, 1(1).
- ・ Varlet, M., & Richardson, M. J. (2015). J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform., 41(1), 36-40.
- ・ Williams, E. L., Jones, H. S., Andy Sparks, S., Marchant, D. C., Midgley, A. W., & Mc Naughton, L. R. (2015). J. Sci. Med. Sport, 18(4), 486-491.
- ・ Yamaji, K., Kawai, K., & Nabekura, Y. (2019). Jpn. Soc. Sports Perform. Res., 11.
- ・ Zajonc, R. B., Heingartner, A., & Herman, E. M. (1969). J. Pers. Soc. Psychol., 13(2), 83-92.

[成果の発表, 論文など]

学術誌等に発表した論文

1. Furukawa H., Kudo K., Kubo K., Ding J., Saito A. Auditory interaction between runners: Does foot-step sound affect step frequency of neighboring runners? PLOS ONE, 18(1), e0280147, 2023.
2. 古川大晃, 西川優, 斉藤篤司, 工藤和俊. 走者間にピッチの同期現象を生じさせる知覚情報の検討. ランニング学研究, 第36巻1号, 2024.

国際会議における発表

3. Furukawa H., Kudo K., Saito A. The footsteps of a neighboring runner affect the step frequency of the main runner. European College of Sport Science (ECSS), Sevilla, Spain, August, 2022. (ポスター)
4. Furukawa H., Miyata K., Richardson M. J., Varlet M., Kudo K. Interpersonal Synchronization between Sprinters: An Observational Study of the Japanese 100-m Record Racer. European College of Sport Science (ECSS), Paris, France, July, 2023. (ポスター)
5. Furukawa, H., Kudo, K. Interpersonal synchronization among top marathon runners. Symposium: Adaptive behavior and its ecological foundations, Kobe, Japan, March, 2025. (ポスター)

国内会議における発表

6. 古川大晃, 西川優, 齊藤篤司, 工藤和俊. 視聴覚を介したランナー間の協調. 科学研究費助成事業 学術変革領域研究 (A) 「階層的生物ナビ学」2024 年度領域会議, 名古屋, 愛知. 2024 年 6 月. (ポスター)