

研究報告

競争で生じる2者間の同期と非同期

村上 宏樹¹⁾・山田 憲政²⁾

Interpersonal Movement Synchronization and Asynchronization during Fast Continuous Tapping Tasks in Competition

Hiroki MURAKAMI, Norimasa YAMADA

1. 緒言

個人競技スポーツにおいて、競技者たちは他の競技者よりも強く、速く、高く、より良いパフォーマンスを発揮しようと努めている。しかし、試合中に他者と競争することにより、パフォーマンスが変動することが知られており、そのパフォーマンスの変動性が、社会的促進や精神的な焦点、または他者との競争による心理的側面によって部分的に説明されている (Martens et al., 1990; Zajonc & Sales, 1965)。また、競争下での反応課題を行い、競争がモチベーションや緊張感の増加をもたらし、反応時間の短縮に繋がったと報告した研究 (Church, 1962; 松本ら, 2013)がある。しかしながら、ここでのパフォーマンスは、反応時間のような最終的な結果を指しており、競技中の動きがどのように変動するのかが検証されていない。

近年、Varlet & Richardson (2015) は、陸上競技100m走のウサインボルトが世界記録を出したレースを分析し、2位の選手とボルトの間に知覚的なカップリングによる動きの同期が生じて、相互のピッチに変化が生じたことを報告した。しかし、Blikslager & de Poel (2017) は、Varlet & Richardsonの研究に用いた映像の周波数が低いという欠点を指摘し再分析した。そし

て、Varlet & Richardsonの研究に比べて同期頻度が高くなかったことを報告した。つまり、競争中の他者との同期がパフォーマンスの変化にどのように関与するのかが厳密に検証されていないと言える。

そこで、本研究では実験室環境にて再現可能な単純な身体の往復運動として、腕の周期運動を用いることにした。さらに、その腕の周期運動を行う際に、課題難易度が厳密に統一できる利点からFittsのタップ課題を用いることとした。そして、この課題を2者で競い合いながら行う競争条件を行い、課題中の2者の動きに同期が生じるかを確認する。加えて、他者との同期により運動時間や動きの速度がどのように変化するかを検討することを目的とした。

2. 方法

2-1. 研究対象者

研究対象者は、大学生男女16名(男性:14名、女性:2名)であった。全ての対象者に対して、本研究の目的及び実験参加に伴う危険性についての説明を行い、実験参加の同意を得た。尚、本研究は中京大学大学院体育学研究科倫理審査委員会の承認を得て行った。

¹⁾中京大学大学院体育学研究科

²⁾中京大学スポーツ科学部

2-2. 研究方法

Fitts (1954) の研究で行われた、往復タップ課題を①1人で行う個人条件、②2人で競い合いながら行う競争条件で行なった (図1)。その際、競争に伴ってタップ速度を速くするとタップエラー率が高くなる速度とトレードオフが生じることが考えられた。そこで、村上・山田 (2017、2018、2019) が考案した Fitts の課題においてタップミス率を 0% に制御する方法、すなわち目標に高さ 1.5cm の台を用いて、このトレードオフが生じない中で各対象者の最大速度でのタップを調べることとした。また、タップ目標の幅 (W) と目標間の距離 (A) から決定される課題の難易度 ID ($ID = \log_2(2A/W)$) は 6 とした。1 試技は 15 秒間で各条件を 2 回ずつ行った。

全試技をモーションキャプチャシステム (MAC3D System, Motion Analysis 社、245Hz) を用いて、ペン先、手首、肘関節、肩関節の 3 次元座標値を得た。尚、データは Butterworth ローパスフィルタにより遮断周波数 5Hz で平滑化した。

2-3. 分析方法

2-3-1. エラー率 (%)

モーションキャプチャの画像データから、総タップ回数とエラータップ回数を求め、エラー率を以下の式より、試技ごとに算出した。

$$\begin{aligned} (\text{Error of taps} / \text{Total taps}) \times 100 \\ = \text{Error rate of taps} (\%) \end{aligned}$$

2-3-2. 運動時間 (MT)

Fitts の方法を用いて、運動時間 (Movement Time、以下 MT) を以下の式より、試技ごとに算出した。

$$\text{Trial Time (15s)} / \text{Total taps} = \text{MT (s)}$$

2-3-3. 相対位相からの同期の測定

ペン先の目標間の移動方向 (x 軸方向) の座標データから相対位相を求め、競争条件の 2 者の動きの同期の測定に用いた。手順を以下に示す。

1. 2 つのデータ (元データ) をそれぞれヒルベルト変換する
2. 元データと変換したデータを極座標系で表すと、2 つのベクトルが時々刻々求まり、そのなす角を 0rad から π rad の範囲として 2 者間の相対位相を求める

相対位相は、0rad から π rad の範囲で求められる。通常、競争中の 2 者が同方向に動く同位相同期を示す場合は、0rad 付近の値を示す。反対に逆方向に動く逆位相同期を示す場合は、 π rad 付近の値を示す。Fine & Amazeen (2011) や Okumura et al., (2012) の研究において相対位相は、0rad から π rad までを 9 分割 (1 区間約 0.34rad) して区間ごとの頻度から同期を検討している。このように先行研究においては 0rad からどこまでが同位相同期あるいは逆位相同期という明確な基準は無ないが、本研究では、0rad から π rad までを 3 分割し、同位相同期、逆位相同期そして非同期を定義する。すなわち、0rad

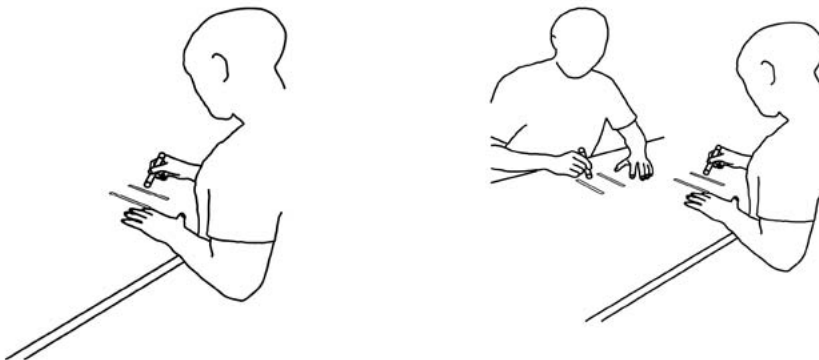


図1 実験の概念図

左は 1 人で行う個人条件、右は 2 人で行う競争条件

から1radまでの値が示された場合を同位同期期として、 π rad-1radから π radの値が示された場合を逆位同期期とした。それ以外の値が示された場合は、非同期とする。

2-4. 統計処理

運動時間MTを条件間で比較する為にベイズ推定を用いた。推定を行うにあたっては、豊田(2015、2016)を参考にした。ソフトウェアはR(Ver3.6.1)のStanとRstanパッケージ(Ver2.19.2)を用いた。ベイズ推定には、本実験で得られたデータを事前データとして、HMC法にてデータを11000回生成し、はじめの1000回をバーンイン(ウォームアップ)期間として後の10000回の推定結果を事後データとした。事後データは、 $\hat{R}<1.1$ を示した為、生成されたデータは問題なく収束していた。事後データから、条件ごとの平均値を求め条件間の差の平均を算出し、更に2条件の差が正しい確率を算出した。事後データの結果は、事後データの平均値と()で事後標準偏差、[]で95%の確信区間を示す。

3. 結果・考察

まず、村上・山田(2017、2018、2019)の先行研究と同様にタップ目標に高さのある台を用いたことで、全試技のエラー率は、0%であった。これは、目標からの逸脱がないことを示し、タップの精度を維持しながら最大速度のタップが行われたと言える。

3-1. 競争による運動時間MTの減少

図2は、両条件のMTを示している。ベイズ推定を用いた事後データの平均MTは、個人条件で0.457s (0.013) [0.432, 0.481]、競争条件で0.416s (0.011) [0.394, 0.437]であり2条件の差は平均して0.041s (0.012) [0.016, 0.065]であった。その差が正しい確率は、10000回の事後分析のうち、9950回正しいと認められた為99.5%であった。これは、競争条件のMTが個人条件のMTより平均して0.041秒速いということを示している。通常、Fittsの課題ではタップの

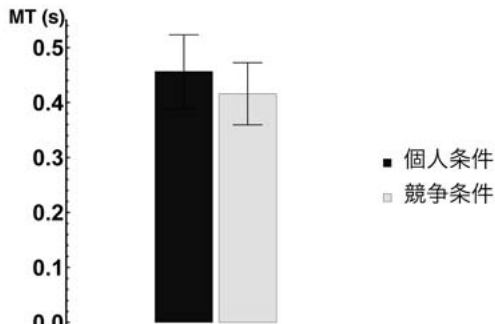


図2 各条件の平均MT

精度を低下させることでMTの減少が生じることが考えられる。しかし、結果で述べたとおり、本実験試技のタップのエラー率は0%であった為、競争によるMTの減少が観察された。

3-2. 相対位相から2者の動きの同期の検討

試技ごとに相対位相を求め、同期の測定を行った。結果を図3に示す。この図には、3種類の図を載せている。上段は相対位相のヒストグラム、中段は相対位相の時系列データ、下段は試技中の2者の移動(x軸)方向の正規化された座標値の折れ線グラフを示している。上段の図からは、相対位相の頻度が示されているので試技全体で2者がどのように同期したかの割合を検査することができ、中段の図からは、その同期が時系列でどのように変化したかを検査することができる。ここでは、同期の割合と時系列の変化からグループを分類することとした。そして、各グループの2者の動きを下段の図から検討する。図3には各グループの典型例を示した。

まず、左に示した上段の図から相対位相の頻度を見ると、同位同期を示す0radから1radまでの頻度が高く、その割合は91.8%と非常に高かった。中段の図からも0rad付近で移動を続けていた為、これを同位同期グループとした。このグループは、競争中の2者の互いが継続的にタップの動きを同位同期していると言える。下段の図からも両者が継続的に、同様に動いていることが分かる。次に、中央に示した上段の図から相対位相が0rad付近と π rad付近に

競争で生じる2者間の同期と非同期

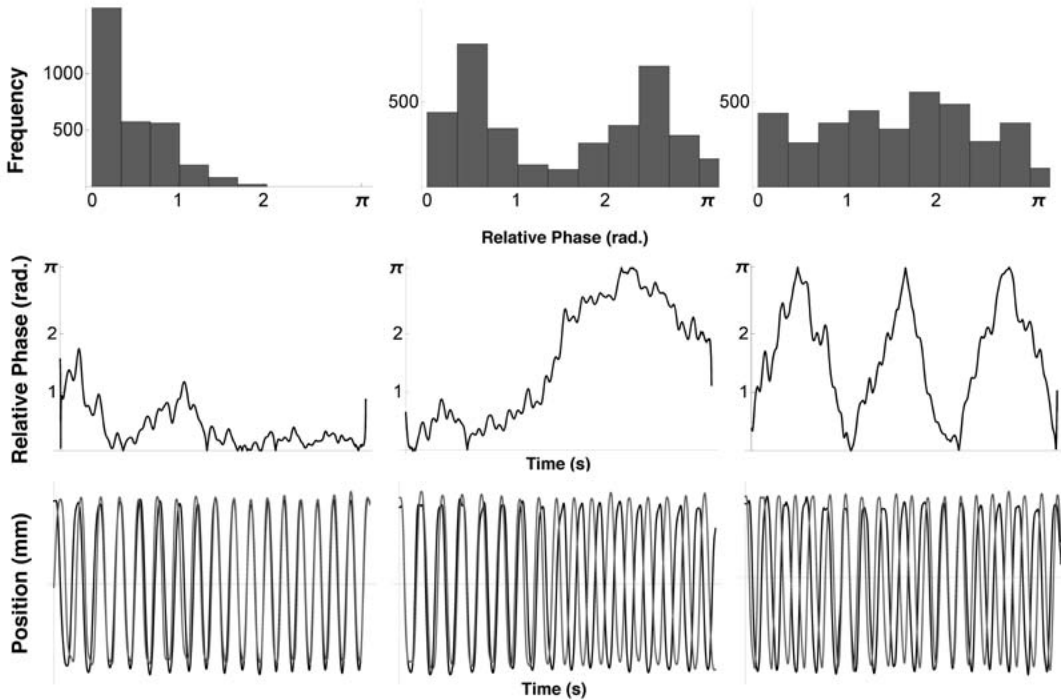


図3 競争条件における、相対位相のグループごとの典型例
 同位相グループ（左）、同位相から逆位相グループ（中央）、そして同位相と逆位相を交互に繰り返すグループ（右）の典型例である。上段は、相対位相のヒストグラムで、中段は相対位相の時系列変化、そして下段には2者の正規化された動き（x軸方向の移動の動き）が示されている。

多く集まった試技は、同位相同期を示す割合は44.1%で、逆位相同期を示す π rad-1rad から π rad までの割合が40.1%と同位相同期の割合と同程度であった。さらに、中段の図からは、試技の前半では同位相同期であり、試技の後半にかけて逆位相同期に変化していたことが分かる。このことから、同位相同期から逆位相同期に変化したグループとした。このグループの特徴は、試技の前半では両者が同じ動きでタップしていたが、後半から一方の対象者のタップが速くなったことが考えられる。下段の図を見ると、試技の後半からグレーの対象者の波形のピークが、黒の対象者の波形のピークより速く発生していることから、グレーの対象者は試技の後半にかけて黒の対象者よりタップが速くなっていることが分かる。そして、右に示した上段の図から相対位相が0rad から π rad まで全体的にバラついている試技は、同位相同期を示す割合は29.0%で、非同期

を示す1rad から π rad-1rad までの割合が42.6%、逆位相同期を示す割合が28.4%であった。さらに、中段の図を見ると同位相同期の瞬間と逆位相同期の瞬間を繰り返していた。したがって、同位相同期と逆位相同期を交互に繰り返したグループとした。このグループは、競争中に2者が同位相同期した場合と、逆位相同期した場合、そして非同期の場合が繰り返し生じたことを示している。下段の図からは、2者の波形のピークが重なるような瞬間とそうでない瞬間がある為、両者が異なる速度の動きを行なっていることが考えられる。よって、相対位相から2者の動きの同期を検討すると、3つのグループに分類することができた。そして、各グループで2者の動きが同期している瞬間が観察された。

しかし、競争条件では個人条件と比較してMTが平均して0.041秒減少したが、このMTは1回当たりの平均タップ時間を簡易的に求めただけである。したがって、試技中にこの時間がど

のように変化したのかを検討しなければ、2者の相互に変化が生じたのか、一方のみに変化が生じたのかを明らかにすることができない。そこで、図3の3グループの典型例の試技を用いて1回あたりのタップ時間の推移を算出する。そして、競争による各対象者のタップ時間の変化をさらに評価して、動きの特徴を検討することとした。

3-3. 各グループにおける各対象者の動きの特徴

図4に1回あたりのタップ時間の推移を3グループごとに示した。この図から、タップ時間を時系列的な変化から観察し、競争中の各対象者の速度変化を推定する。また、この推定から各グループにおける個人の動きの特徴を検討する。

図4左の継続的に同位相同期を続けたグループは、試技の前半から後半にかけて両者ともタップ時間が短くなっている。実際に初めの10回のタップ時間の平均は0.49s(黒)と0.45s(グレー)であり、最後の10回のタップ時間の平均は0.39s(黒)と0.39s(グレー)であった。これは、競争相手のタップリズムが互いに影響し、競争相手よりも速い動きでタップを行おうとしたことで、両者のタップ時間が短くなったことが示唆される。

次に、図4中央の同位相同期から逆位相同期に変化したグループは、初めの10回のタップ時間の平均は0.48s(黒)と0.47s(グレー)で、最後の10回のタップ時間の平均は0.46s(黒)と

0.44s(グレー)であった。タップ時間の推移を見ると1回ごとに変化はあるが、試技の後半にかけてグレーで示した対象者のタップ時間が短くなっていることがわかる。そして最終的なタップ回数は黒色の対象者が31回、グレーの対象者が33回となり2回差となった。これは、グレーの対象者が同位相同期の関係から脱却し、黒色の対象者よりも速い動きにリズムを変化させてタップをした可能性が考えられる。そして、図4右の同位相同期と逆位相同期を交互に繰り返したグループは、グレーの対象者のタップ時間は初めの10回の平均時間は0.39sで最後の10回の平均時間は0.38sであり、黒色の対象者のタップ時間は初めの10回の平均時間は0.45sで最後の10回の平均時間は0.44sであった。つまりタップ時間は、グレーの対象者は継続的に短く、対照的に黒色の対象者は継続的に長いことが分かる。これは、両者が自己のリズムの動きで試技を最後まで行ったことが考えられる。そして、その動きの中で2者の動きが同期する場合と非同期する場合が生じたことが考えられる。

以上、1回あたりのタップ時間の推移から、相対位相の変化パターンから分類した3グループそれぞれで、競争中の各対象者の速度変化を推定して、各グループにおける個人の動きの特徴を明らかにした。今後の課題としては、本研究で確認された2者間の同期・非同期の瞬間がパフォーマンスの向上やミスの原因にどのように関与するのかをさらに検討することである。

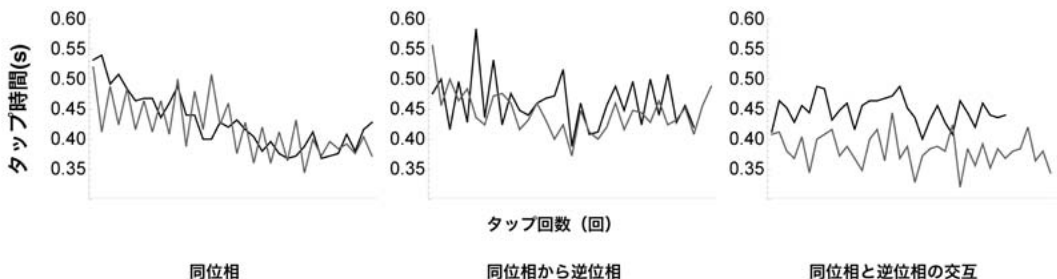


図4 各グループの典型例のタップ時間 (s) の推移
1回あたりのタップ時間の変動を、図3の各グループごとに示した。縦軸は時間、横軸はタップ回数を示している。

4. 結論

本研究では、実験室内における単純なタップ課題を用いた2者が競争する環境においても、2者の動きの相対位相の分析から同期・非同期が観察された。そして、同期・非同期のパターンから3グループに分類され、各グループの各対象者のタップ時間の変化から動きの特徴を検討した。まず、1つ目のグループでは、両者とも動きの速度が徐々に速くなった。2つ目のグループは、試技前半では両者が同じ速度で動いていたが、試技後半から一方の対象者が速い動きに変化した。そして、3つ目のグループは、速い動きでのタップを続けた対象者と、遅い動きでのタップを続けた対象者に分かれていた。

謝辞

本研究は、2019年度中京大学研究所の共同研究費を得て行われた。

参考文献

- Blikslager, F., & de Poel, H. J. (2017). Sync or separate? No compelling evidence for unintentional interpersonal coordination between Usain Bolt and Tyson Gay on the 100-meter world record race. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(7): 1466-1471.
- Church, R. M. (1962). The effects of competition on reaction time and palmar skin conductance. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 65: 32-40.
- Fine, J. M., & Amazeen, E. L. (2011). Interpersonal Fitts' law: When two perform as one. *Experimental Brain Research*, 211: 459-469.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6): 381-391.
- Martens, R., Vealey, R. S., & Burton, D. (1990). *Competitive anxiety in sport*. Champaign, IL:

Human Kinetics.

- 松本清・佐久間春夫 (2013). 競争事態における α 波に及ぼす競争成績と時間の影響について. *バイオフィールドバック研究*, 40(1): 11-19.
- 村上宏樹・山田憲政 (2017). 競争下での動きの変化への情報处理的観点からのアプローチ. *日本スポーツ心理学会第44回大会 研究発表抄録集*: 246-247.
- 村上宏樹・山田憲政 (2018). 運動中の情報処理過程の定量化の試み—往復タップの定量化と情報処理量の推定—. *日本スポーツ心理学会第45回大会 研究発表抄録集*: 22-23.
- 村上宏樹・山田憲政 (2019). 競争がもたらす情報処理過程の変化. *中京大学体育研究所紀要*, 33: 53-58.
- 村上宏樹・山田憲政 (2019). 競争で生じる2者間の同期と非同期そしてパフォーマンスの変化. *日本スポーツ心理学会第46回大会 研究発表抄録集*: 196-197.
- Okumura M, Kijima A, Kadota K, Yokoyama K, Suzuki H, Yamamoto Y (2012). A critical interpersonal distance switches between two coordination modes in kendo matches. *PLoS ONE*, 7(12): e51877.
- 豊田秀樹 (2015). 『基礎からのベイズ統計学 ハミルトニアンモンテカルロ法による実践的入門』, 朝倉書店.
- 豊田秀樹 (2016). 『はじめての統計データ分析—ベイズ的〈ポストp値時代〉の統計学』, 朝倉書店.
- Varlet, M., & Richardson, M. J. (2015). What would be Usain Bolt's 100-meter sprint world record without Tyson Gay? Unintentional interpersonal synchronization between the two sprinters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41, 36-41.
- Zajonc, R. B. & Sales, S. M. (1966). Social Facilitation of Dominant and Subordinate Responses. *Journal of Experimental Social Psychology*, 2: 160-168.