

研究報告

競争がもたらす情報処理過程の変化

村上 宏樹¹⁾・山田 憲政²⁾

Effects of Competition on Human Information Processing during Fast Continuous Tracking Task

Hiroki MURAKAMI, Norimasa YAMADA

1. 緒言

スポーツにおいて、特に試合のような結果が問われる状況では、“ミスができない環境”で“他者と競い合う（競争をする）”という要素があると考えられる。“競争”についての研究は、様々な分野から行われており、その数も多くある。例えば、競争意識を持つことによる、課題完了時間が速くなり学習効果が高まったと報告された研究（河村ら、1958）や、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（1962, Church; 2013, 松本ら）がある。しかしながら、“競争”する実験環境を用いて、動作過程の変化やミスが発生する瞬間の動きやダイナミクスを検討した研究はいまだに行われていない。これでは、ミスがなぜ生じるのか、あるいは結果が向上した要因は何であるか詳しく検討することができない。この課題の検討のためには、運動に情報処理の観点を導入する必要があると考えられる。

Fitts（1954）は、身体運動を情報という観点から研究した。Fittsは、2つの目標をできるだけ正確に速くタップする実験を行い、運動中の情報処理能力を検討した。そして、人間の運動中は単位時間あたり10.3bit/sから11.5bit/s間の情

報処理が行われているという結果を導いた。しかし、この情報処理の値と動きの関係性は未だ明確に示されていない。

山田（2015）と村上・山田（2017）の研究では、Fittsの実験を改良し、タップする目標がFitts実験で用いられたプレート（平面）に加え高さのある台（立体）でも立体で行うことにより、タップ成功率は100%を示した。これは、対象者たちがタップをより正確に行おうとする変化を、言語指示を用いず外部環境の変化で自然に導いたと説明した。本実験では、この山田の実験手法を用いることとした。それは、競争による効果がどのようなものかを検討するために、単に成功率を減少させタップ速度を上げることを防ぐためであった。

本実験は、Fittsの実験を改良した山田の方法を用い、さらに競争試技と個人試技を組み合わせで行う。それらの試技から、“競争”による効果を導出し、運動の動作過程の変化から“競争”の効果を検討することを目的とする。

2. 方法

2-1. 実験対象者

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、

¹⁾中京大学大学院体育学研究所

²⁾中京大学スポーツ科学部

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。

2-2. 実験方法

本実験は、Fittsの実験で行われた、試技時間15秒間で2つの目標を正確にできるだけ速く交互にタップする課題を用いた。その際のタップの目標を、高さ1.5cmの台とする立体試技と、高さのない紙とする平面試技とした、山田(2015)の方法を用い、Fittsの課題を行った。さらに、1人で課題を行う個人試技と2人で競いながら課題を行う競争試技を組み合わせ、①個人-立体条件、②個人-平面条件、③競争-立体条件、④競争-平面条件の4条件を設定した(図1参照)。

また、Fittsの実験は、目標の幅(W)と目標間の距離(A)が変化することで難易度(Index of Difficulty、以下ID)が変更される。その際の

式は、 $ID = \log_2(2A/W)$ であり、この式から求められるIDを1~6の6種類準備した。以上の、4条件と6難易度を組み合わせた試技を各2回ずつ行った。したがって、1人あたりの試技数は、(4条件×6難易度)×2=計48試技であった。

全試技をモーションキャプチャシステム(MAC3D System, Nac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、データはバターワースローパスフィルタにより遮断周波数5Hzで平滑化した。

また、モーションキャプチャシステムの画像データから総タップ回数と成功タップ回数を求めた。

2-3. 統計処理

本研究では、対応する2群のデータを比較する際に、ベイズ推定を用いた。比較する実験データを事前データとし、ベイズ推定から事後データを求めた。そして、事後データから2群の平均の差を求め、更にその差がどの程度正し

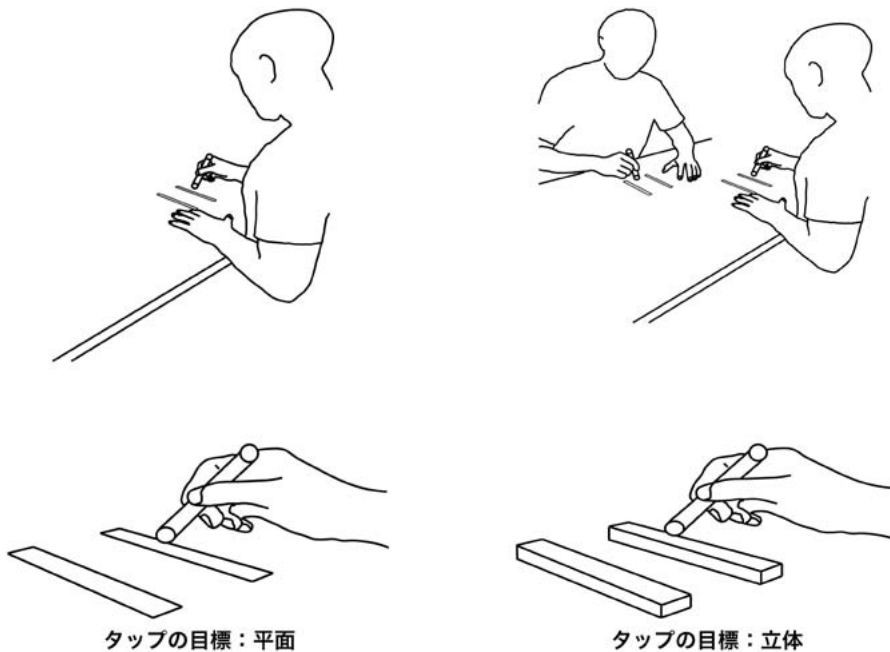


図1 実験の概念図

上は、個人で行う時と競争で行う時の概念図

下は、タップする目標が、立体の時(立体条件)と平面の時(平面条件)の概念図

いと言えるかの確率を求めた。

まず、ベイズ推定の利点を以下にまとめる。

Kruschke (2013) は、ベイズ分析について「NHST(Null hypothesis significance testing)と違ってヌルな値を受けいられる、正規分布の代わりにデータに合わせた分布が使用可能」「ベイズ推定は、手段、標準偏差、効果サイズ、および正常性を含む信頼できるパラメータ値の共同分布に関する豊富で完全な情報を提供する」と述べている。

また、Ozechowski (2014) の論文中には、「事前分布の利用により、小さいサンプルサイズでも安定した分析が可能になる(Song & Lee, 2012, p.36)」と述べている。

これらの研究から、ベイズ推定を用いる利点として、データの分布に対する柔軟性、Null Hypothesis Significance Testing (NHST) よりも情報量が豊富、p 値に頼らない分析が可能であることがわかる。

ベイズ推定を行うにあたっては、豊田(2015)と豊田(2016)の著書を参考にした。本研究でのベイズ推定は、CmdStan (Ver.2.17.1)を用いて、事後分布を2000回のサンプリングを行って、後半の1000回の母数の標本を利用した推定結果を事後データとして扱った。本研究で得られたデータが正規分布に従っていることから、事後分布は正規分布に従うとした。

事後データの結果には、EAP (事後期待値)を用い、事後データの平均値を算出し、()で事後標準偏差を、[]で95%の確信区間を表すとする。

3. 結果・考察

3-1. 目標が変わることの実験への影響と競争効果の導出

図2に、難易度ごとにおけるタップ成功率を各条件に分けて示す。まず、タップの目標が立体である条件では、タップ成功率が100%を示したが、タップの目標が平面である条件では難易度が増加するとタップ成功率は低下した。

タップ1回当たりの平均時間 (Movement

Time、以下MT)は、試技時間15秒間を総タップ回数で割ることによって求めることができる。このMTを、難易度ごとに各条件で示したのが図3である。条件内でMTを見ていくと難易度が上がるとその値は増加していることがわかる。特に、ID6において立体試技・平面試技それぞれの中での競争と個人のMTを比較すると差が大きくみられた。しかし、平面試技における競争試技のMTが、個人試技のMTよりも速い値を示した理由としては、正確性を落としてタップ速度を増加させたことが考えられた。従って、平面条件では、競争によるMTの減少をパフォーマンスの増加と説明することが困難

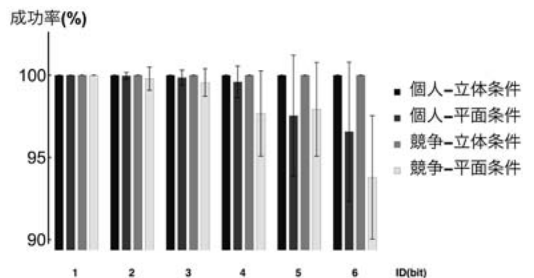


図2 各条件のIDごとにおける平均タップ成功率(%)

各IDにおける平均タップ成功率を4条件に分けて示している。

ID6のタップ成功率において、タップの目標が同様の条件間での差が最も大きいことがわかる。

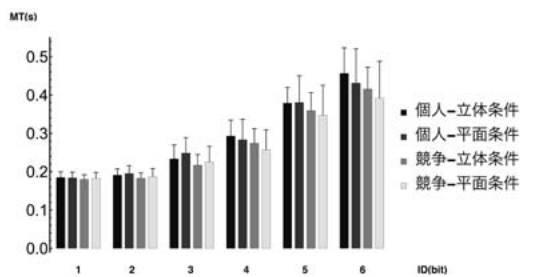


図3 各条件のIDごとにおける平均MT

各IDにおける平均MTを4条件に分けて示している。

ベイズ分析により、ID6におけるMTは、競争-立体条件の方が個人-立体条件より平均0.0404秒遅いことが示された。

であった。

そこでID6におけるMTを、個人－立体条件と競争－立体条件で、ベイズ推定を用い2群の差の比較を行った。結果の記載は、以下にする

事後データの個人－立体条件の平均MTは、0.4557 (0.0126) [0.4299, 0.4788] であり、同様に事後データの競争－立体条件の平均MTは、0.4153 (0.0107) [0.3945, 0.4353] であった。

2条件の差異 $\delta^{(0)}$ は、0.0404 (0.0130) [0.0655, 0.0147] であった。すなわち、競争－立体条件のMTは個人－立体条件のMTよりも平均して0.0404秒速いと推定されたと言える。また、競争－立体条件のMTは個人－立体条件のMTよりも速い]が正しいという値は、ベイズ分析によって算出された1000回の事後データのうち998回で正しいことが認められた為、998/1000であった。従って、ID6におけるMTにおいて、競争－立体条件が個人－立体条件より速い事がおよそ99.8%の確率で正しいと言え、その差は平均して0.0404秒であった。

以上より、各パフォーマンス変数を4条件のそれぞれで比較検討した。その結果として、まずタップの成功率は、立体で行う条件（個人－立体条件、競争－立体条件）の全てのIDで、100%を示した。これは、先行研究を支持するとともに、競争下でのタッピングを行う環境においても、対象者がタップを正確に行おうとする変化を導くことができたと言える。

また、タップ目標が同様な環境での個人・競争のMTを比較すると、ID6の立体・平面どちらにおいても競争のMTが減少したことがわかる。しかしながら、目標が平面の際の個人－平面条件と競争－平面条件を用いて、“競争”によるMTの減少がなぜ生じたかを検討するには、難しいと思われる。なぜなら、この条件間のMTの減少は、他者より速くタップを行おうと速度を上げた結果、タップの精度が疎かになるという速度と正確性のトレードオフが生じたと考えられることができる為である。

また、非常に興味深い結果となったのが、タップ成功率が100%であった目標が立体の時の競争試技では、同じ目標の時の個人試技と

比較してMTが減少したことである。これは、タップの正確性は一定であるのにMTが減少しており、“競争”による効果を考えることができる。

以上の結果と考察から、競争により、対象者たちの情報処理過程の変化が生じた結果、MTが減少したと推察した。そのため、この情報処理過程の変化を詳細に検討するため、個人－立体条件と競争－立体条件のID6の試技を対象に、ペン先の運動軌道を運動制御的観点から分析をした。

3-2. 競争中の運動制御過程の変化

図4は、ID6の個人－立体条件（以下、①条件）と競争－立体条件（以下、②条件）における1名の被験者（以下、A）の位置－速度の相図と位置－加速度の相図を表したものである。位置、速度、加速度はいずれもx方向の移動から求めた。これらの図は、一連の周期的な左右のタッピングを表しているが、図中に示したaからbまでの動きとして切り取ってその特徴を見てみる。

まず、①条件における位置－加速度の図から、地点aから離れると、地点bに向けて加速が始まり、その後、地点bに近づくほど加速度が線形的に減少して行くが、位置－速度図からこの間の速度は全て正なので、中間点までをパワー正区間、中間点から次の接地点までをパワー負区間(腕+ペン力学系の動きを止める区間)に分けることができる。この止める区間に、①条件の特徴的な動きが現れる。地点bに正確にタップするため、加速度0に向かい、加速度をプラス方向に増加させて接地をする、という特徴が見える。さらに、その加速度が連続的に次の逆方向への加速区間とつながっている。つまり、個人試技の特徴は、加速区間で得たエネルギーを吸収して、タップに向けてのエネルギーを調節して（加速度を増加させて）タッピングを行なっていると言える。さらに、最後の接地がそのまま離地の加速度に連続してつながっているため、ここは接触して停止ではなく、接触後直に離地する「切り返しの動き」をしていると言

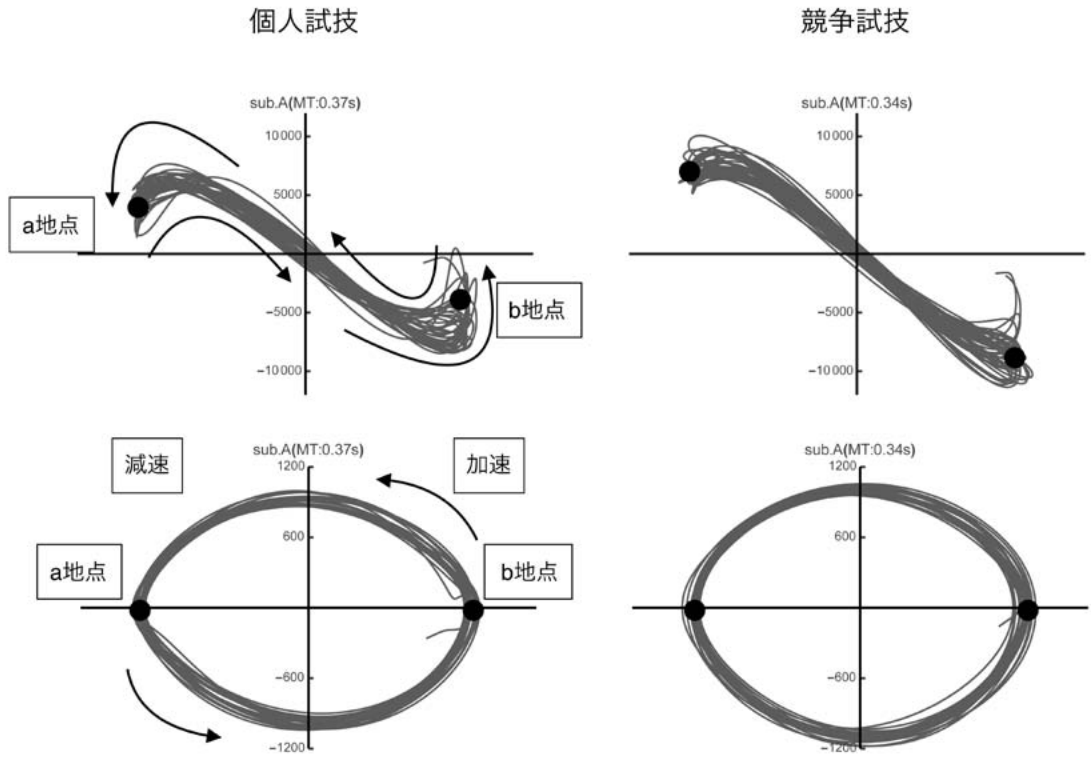


図4 位置-速度と位置-加速度の位相図

ID 6のタップの目標が立体だった試技（個人-立体条件：①条件と競争-立体条件：②条件）の際の、ペン先の位置（横軸）-加速度（縦軸：単位は mm/s^2 ）の関係（上図）とペン先の位置（横軸）-速度（縦軸：単位は mm/s ）の関係（下図）

える。

そして、②条件では、位置-加速度の図がほぼ一直線で表されており、タップに向けてのエネルギー調整がほぼ見られない。この段階では、制御も離地してから中心点までの加速（フィードフォワード）で行い、その後の減速区間では①条件の速度で見られた加速度の方向が変化する区間がないことから、単に力学的に手のエネルギーを吸収して手を止めていると思われる。ただし、繰り返すが、接地と離地が連続する「切り返しの動き」が生じており、目標点に向かう単純なフィードフォワードでは無いことがわかる。

以上の分析は、山田（2015）の研究でのアイデアを基に行なっている。この研究では、Woodworth（1899）の実験を改良し、目標が点

である2つを交互にタッピングする課題を用い、両目標点を0.5Hzから4.5Hzまで0.25Hzずつ増加する外部周波数に合わせてタップする試技と、外部周期音無しに自身の最高速度でタップする試技を行った。そして、そこでの運動制御の変化を試技間で比較検討している。その結果を本研究に当てはめると、外部周波数のテンポが遅い試技が本研究の個人試技に該当し、外部周波数音無しに行った最高速度の試技が競争試技に該当した。山田の実験では、競争を行っていないが本研究の競争試技のような運動制御の変化が導かれていることから、“競争試技”固有の運動制御ではないと言える。

しかし、以上から“競争”により、個人試技からの運動制御過程が変化したことが示唆されたと言え、MTと運動制御には密接な関わりが

あることも考えられる。

さらに、“競争”の効果を詳細に分析するためには、運動制御とともに、運動軌道がどう処理され、どのような変化したのかも同時に追う必要があるが、それは今後の課題とする。

4. 結論

競争中のMTの減少は、運動の制御過程を含む、運動の情報処理過程の変化によるものと推測することができる。

謝辞

本研究は、中京大学特定研究助成、2018年度中京大学研究所の共同研究費を得て行われた。

文献

- 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.
- 川村毅・高木友彦・池田二三夫 (1958). 競争意識と学習効果：特に要求水準との関連について. *体育学研究* 3 (1), 101
- Kruschke, J. K. (2013). Bayesian estimation supersedes the t test. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142 : 573-603.
- 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
- Ozechowski, T. J. (2014). Empirical Bayes MCMC estimation for modeling treatment processes, mechanisms of change, and clinical outcomes in small samples. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 82(5) : 854-867.
- Triplett, N.(1898). The Dynamogenic factors in pacemaking and competition. *The American Journal of Psychology*, 9(4) : 507-533.
- 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.
- Woodworth,R.S. (1899). The Accuracy of Voluntary Movement. *Psychological Review*, 13, 1-114.
- 山田憲政 (2015) スポーツ情報論の試み. *運動学習研究会報告集*, 23 : 42-49.