

論文要旨

Fitts (1954) は、2つの目標の幅 (Width、以下 W) と目標間の距離 (Amplitude、以下 A) を変化させ、2つの目標を交互にタッピングする実験に基づいて人間の動きをモデル化した。定式化されたモデルは $MT = a + bID$ で、W と A を変化させることで決定される困難度指数 (Index of difficulty、以下 ID) に目標間を移動する運動に要する時間 (Movement Time、以下 MT) が依存することを表している。これは Fitts の法則と呼ばれ、身体運動における最も重要な基本原理であると認められるに至っている。また、Fitts の実験結果は「速さと正確さのトレードオフ」としても広く知られている。そして、人間の基本動作から導かれた Fitts の法則および「速さと正確さのトレードオフ」が、様々な分野、環境や条件に適用される中で、スポーツ中の動作にも当てはまるか否かという観点からも研究が行われている。しかし、競技スポーツでは、正確さを維持しながらも速さを極限まで高めることが要求される場面が観察されるため、Fitts の法則が競技スポーツにおける動作にも単純に適用されるとは考えにくい。そこで、Fitts が体系化した人間のパフォーマンス理論 (human performance theory) を概説したところ、これらの理論で体系化された研究結果は、人間の動きの一般的な特徴は非常に良く抽出できているものの、それがスポーツ動作にどの程度適応できるかは十分には検討されていないことが明らかとなった。そこで、スポーツのような特殊な環境に適応して実行される動作とは高度な技能を要すると考えられていることに着目し (Fitts and Posner, 1967)、Fitts の法則が競技スポーツにおける動作にもそのまま適用されると考えるのは安易すぎではないかと問題提起した。そこで本実験では、スポーツ動作などの高い技能を要する動きにおいて、Fitts の法則が成り立つかを失敗やミスができない環境と他者が影響する環境という2つの観点から検討した。

第1章の文献研究では、上記2つの観点に関する先行研究をそれぞれ検討し、それらの研究から問題点および検討すべき課題を明らかにした。まず観点1では、Fitts の法則を検討してきた複数の先行研究から問題点が2点挙げられた。1点目として、Fitts の実験におけるタッピングのエラー率が4%発生することが指摘されていること (MacKenzie, 1992) に着目した。つまり、人間の身体運動の基本原理と考えられている Fitts の法則は、エラー率の発生が4%許容された環境の下で導出された法則であると考えられた。したがって、1回のミスやエラーが勝敗や記録に直接影響するスポーツの試合や本番を想定した実験として行うには、Fitts の実験を失敗ができない環境に改良する必要がある、その環境下でも Fitts の法則が成り立つかを検討する必要があると考えられた (課題1)。続いて2点目は、課題1で検討する Fitts の法則が変化する場合の動きの変化の定量化に関する点である。Fitts の実験では、情報から定量化された ID が高ければ高いほど伝達すべき情報量の増加に対応するため、MT が長くなると考えられている (Fitts, 1954)。そして、タッピングの軌道にこの情報処理の特徴が表れると考えられており (Mottet et al., 2017)、先行研究では軌道を平均化して導かれた運動学的な特徴と軌道の変動性の変化を考慮した分析から軌道の情報処理が定性的に検討されているが (Huys et al., 2015; 山田, 2015)、この軌道の変動 (ばらつき) の変化を定量的に示し、情報処理の変化を検討する必要があると考えられた (課題2)。次に、観点2では、Fitts の実験で考慮されていない他者が影響する環境に着目して、他者からの影響により運動が変化する問題に関わる他者との動きの同期現象の先行研究から検討すべき課題を導出した。これまで多くの先行研究では、協調や協力の文脈で他者との対人同期が生じて運動を変化させることが報告されてきたが、競争の文脈でも対人同期が生じ得る可能性が報告された (Varlet & Richardson, 2015)。しかし、その結果を否認した研究 (Blikslager & de Poel, 2017) も報告されており、競争における対人同期はそもそも生じるのか不明である。したがって、まずこの同期が生じるかを厳密に統制された実験室環境で検証し、そしてこの

同期がパフォーマンスの変化にどのように関連するかを検討する必要があると考えられた（課題3）。以上の先行研究の検討結果から、1) Fittsの実験の目標を、高さのある台に変更する条件を新たに追加することで、失敗ができないエラー率が0%に制御される環境を再現して、その環境下でのFittsの法則およびエラー率が0%に制御される時の人間の動きを軌道の詳細な分析から検討すること、2) Fittsの実験を2者で競争する条件で行い、ペン先の座標から相対位相を算出して対人同期が生じるかを検証し、その同期とパフォーマンス指標としての運動時間（MT）の関連を検討することを目的として提示した。そして続く2つの章で、これらの課題を実験的に検証した。

第2章では、失敗ができない環境においてFittsの実験を実施して、Fittsの法則および軌道の詳細な分析から動きの変化を検討することを目的とした。16名の実験対象者は、2つの目標を交互にタッピングする課題をWとAを変更した6つのIDを、目標に高さがないFittsの従来の条件（flat条件）と失敗ができない環境を再現するために、目標からエラーしてはいけないことを明確にする目的で、タップする目標を高さ1.5cmの台にする条件（table条件）の2条件を行った。そして、モーションキャプチャーシステムで取得した座標データをもとに、エラー率やMTなどの変数を算出した。なお、課題2に対応する軌道の情報処理の定量化は、軌道に複数区間を設け、その区間の軌道の座標の変動を主成分分析（PCA）によって定量化した値（ $q_{V_{PCA}}$ ）を算出することによって行われ、その値の目標に向けての変化を条件間で比較した。その結果、table条件では全てのIDでエラー率が0%を示したため、エラー率が0%に制御された失敗ができない環境を再現できた。そして、ID6におけるtable条件のMTがflat条件のMTより長くなることが確認された。この条件間のMTの違いには、軌道の分析から明らかとなった以下の2点に関連していた。1つ目は、ID6のtable条件はflat条件より、目標付近での加速度の減少が生じており、先行研究におけるIDが高くなる時の運動制御様式（Elliott et al., 2001）と類似していた点である。これは、table条件では目標を正確に捉えるためのフィードバック制御が強まることによりMTを延長させ、その結果エラーが制御されたことを示唆している。2つ目は、軌道の中間から目標に向けて、ID6のtable条件ではflat条件より、 $q_{V_{PCA}}$ がより減少していた点である。これは、table条件では目標に向けて軌道の情報処理が増加する、つまり複数の軌道が目標に向けてより収束するという軌道の特徴として示された。さらに、table条件のID6のMTをflat条件の回帰直線の式に代入してIDを再評価したところ、ID6.79となったため、式から計算された難易度よりも困難な難易度として試技が行われた可能性があることが示された。つまり、この結果はエラー率0%の条件のMTを従来のFittsのモデルでは十分に説明することができないと考えられるため失敗が許容された環境での動作を対象としたFittsのモデルに対して、失敗ができない環境での動作を対象とした新たなモデルが提案できる可能性があることが示された。

第3章では、他者が影響する環境である他者との競争環境においてFittsの実験を実施して、対人同期の発生の検討と対人同期とパフォーマンス指標であるMTがどのように関連するかを検討することを目的とした。16名の実験対象者は、研究1と同様のタッピング課題をID6の難易度で、1人で行う従来の条件（個人条件）、そして2者で競争する条件（競争条件）の2条件を行った。そして、対象者ごとにパフォーマンス指標であるMTが競争によってどう変化するかを検討した。さらに競争条件ではペン先端の座標から相対位相を算出することで競争相手との同期が生じるかを検証し、その同期がMTとどのように関連するかを検討した。その結果、MTの変化は、競争条件を行った2名のMTが個人条件よりともに短縮した試技、2名のMTが個人条件よりともに延長した試技、一方のMTが個人条件より短縮し、もう一方のMTが個人条件より延長した試技の3パターンが明らかとなった。さらに同期の分析からは、2者が同方向に同じタイミングで動く同位相の同期をした試技、2者が逆方向に同じタイミングで動く逆位相の同期をした試技、2者が方向もタイミングも異なる動きである非同期をした試技の3つのパターンが確認され

た。この同期が生じた結果は、先行研究が示唆した競争中の2者が同期する可能性を、厳密に統制された実験環境で初めて示したものであり、競争中の2者間に動きに関する何らかの動きに関する情報伝達がなされたことが示唆される。そのため、独立して運動が行われていると考えられてきた競争中の2者間の関係に一石を投じる可能性があることが示された。

第4章では、まず第2章および第3章で得られた結果を振り返り、Fittsの法則が変更される可能性について述べた。そして、それらを総合的に考察することで、スポーツの試合や本番で動きが変化する問題を情報処理の観点から考察した。

第5章では、第4章における実験結果の総合的な考察を踏まえ、結論を以下のように導いた。

失敗ができない環境および他者と競争する環境におけるFittsの実験では、目標の幅と距離から決定される物理的難易度である困難度指数（ID）が高い場合の運動時間（MT）は、Fittsの法則を表すモデル（ID-MT回帰直線）から逸脱する。この逸脱は、IDのみでは決まらない運動時間を生じさせる情報処理的難易度を設定することで説明できると考えられる。