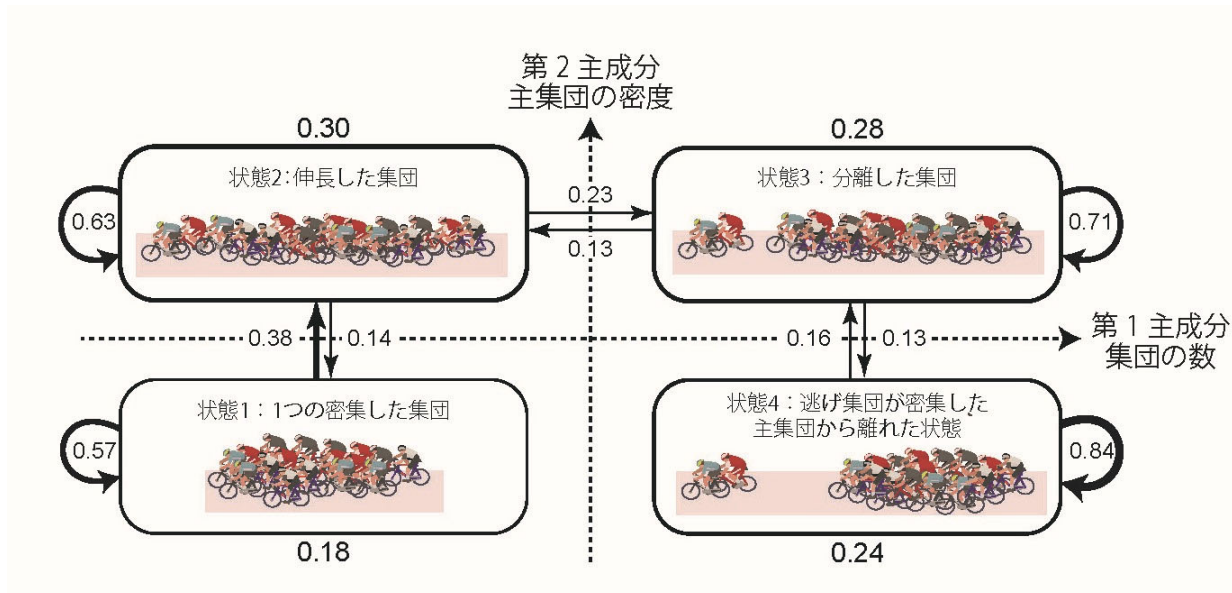




自転車競技における集団秩序の定量化に成功 ～繰り返される駆け引きと離合集散～

名古屋大学大学院教育発達科学研究科の奥村 文浩 博士後期課程学生は、総合保健体育科学センターの横山 慶子 准教授、山本 裕二 教授とともに、3つの自転車競技トラックレースの「ポイントレース」^{注1)}を題材として、競技局面に現れる集団秩序の定量化に成功しました。

集団同時スタートの自転車競技では、各選手は駆け引きをしながら、流動的にお互いの位置取りを変更し続けます。集団は伸びたり縮んだり、複数の集団に分かれたりします。これまで全選手の位置取りを、大域的に捉え分析した研究はありませんでした。

そこで我々は、「ポイントレース」中の、選手全体の配置を定量化し、集団の伸び縮み(集団の密度)や、集団の数を主成分分析^{注2)}によって抽出しました。「ポイントレース」の得点が得られる、スプリント間の10周を4分割して、それぞれの時期での状態遷移確率を分析すると、10周のうちの後半になるに従って、集団が分離した状態になる頻度が多く、一度分離した集団は、再結合することが少なくなることが分かりました。これらの結果は、選手やコーチが、スプリント直前のみの駆け引きだけではなく、集団が分離する際の位置取りに、注意を払う必要があることを示唆しています。自転車競技はその競技特性から、「利己的な個」が、「利他的」に「集団」として協力行動を示すユニークな研究対象のため、ヒトの社会性の解明にも寄与すると考えられます。

本研究成果は、2021年4月18日付で、科学雑誌『European Journal of Sports Science』オンライン版に掲載されました。

この研究は、科学研究費補助金基盤研究(B)「バイオロジカルモーションを用いた対人技能ダイナミクスの解明」及び、科学研究費補助金基盤研究(A)「対人運動技能の制御・学習則の解明」の支援のもとで行われたものです。

【ポイント】

1. 3つの「ポイントレース」において、自転車競技場の直線部センターライン延長線上の観客席に、ビデオカメラを設置し、各センターラインの全選手の通過時刻を計測、個々の選手位置を定量化した。また、先頭選手通過から1秒ごとの区間を設定し、その区間ごとの選手の人数(密度)をベクトルとすることで、各周回における選手全体の配置を定量化した。
2. 「ポイントレース」の競技局面の特徴である「集団の分離と集団の密度」が、主成分分析によって抽出できるか検証した。定量化した観察結果と主成分分析を比較した結果、第1主成分と第2主成分をX-Y軸とした平面の4つの状態1、2、3及び4が、「1つの密集した集団の状態」、「伸長した集団の状態」、「分離した集団の状態」「逃げ集団^{注3)}が密集した主集団^{注4)}から離れた状態」にそれぞれ対応した。
3. この状態間の遷移確率を求め、ポイント獲得のスプリント間の10周区間を4分割して分析した。その結果、10週の半分を経過した後は、集団が分離している状態の傾向が多いことを示した。結果、「ポイントレース」ではポイントを獲得する周回の直前だけではなく、スプリント間のインターバルの後半には、集団が分離することを想定し、位置取りをすることの重要性を示唆している。

【研究背景と内容】

イワシの大群が、一斉に向きを変え水槽の中を行ったり来たりする、群れをなす習性を利用した様子は「イワシのトルネード」と呼ばれ、水族館の人気の展示です。この習性は、群れの中にいることが生存確率を高めたり、自らに加わる水の抵抗が減って、楽に移動できたりするためと考えられます。これと類似したことが、ヒト同士の集団でも見られることがあります。例えば、多人数同時スタートの自転車競技では、選手同士が接近し、集団の中での位置を、流動的に駆け引きしながら変えている様子が見られます。これは、イワシが群れをなす習性の、後者の理由と関連があると考えられます。すなわち、自転車競技では、空気抵抗の影響を大きく受け、選手たちは「ドラフティング」と呼ばれる、前を走る選手の直後を走ることで、風を避け、空気抵抗を低減し、体力を温存する行動が、自転車競技での集団形成を促します。ただし、イワシの群れと異なるのは、自転車競技は、より上位を目指す個々の選手が、意図を持った競争だということです。体力を温存するために集団の中にいるだけでなく、先頭に立たなければ競技には勝てません。反対に、先頭に居続けると体力を消耗し、後方で体力を温存できる競争相手に勝つ見込みは少なくなるでしょう。このような状況から、自転車競技では、体力を消耗する先頭を、選手同士が交代で分担することが行われます。これは競争相手である、他の選手と協力している状況と捉えることができます。このように、勝利を目指す利己的な行動と、他の選手より体力を消耗する先頭を分担する、利他的な行動の切り替えが現れることが、自転車競技の大きな特徴の一つです。

我々は、自転車競技場で行われる、自転車競技のトラック競技の種目の一つである「ポイントレース」を題材としました。「ポイントレース」は、既定周回ごとにスプリントの着順で与えられる、ポイントの累積で順位を競う競技です。競技は数十分にわたり行われるので、全力で走り続けることはできません。そこで選手たちは、協調して体力を温存しながら、利己的にポ

イントを獲得することを試みます。最終着順だけで競う他の自転車競技と比較して、利己的な行動と、利他的な行動の切り替えの機会がより多く現れると考えられます。

先行研究によると、集団が横に広がり密集した状態から、集団の速度が上昇するのに従って縦長に伸び、そして集団は、速度を維持できなくなった選手の位置で分離することを示しています。ここから自転車競技の集団の状態を特徴づける要素として、集団の密度と集団の数の2つが考えられます。そして、これまでの先行研究では、「ポイントレース」競技局面において、分離した集団を含めて、全選手の配置やその時系列的な推移を分析した研究はありませんでした。

我々は選手の大域的な配置を定量化し、その特徴を抽出するために主成分分析を用いました。具体的には、競技場の直線部のセンターラインを先頭の選手が通過してから1秒ごとに区間を区切り、その区間内にセンターラインを通過した選手の数数を数えます(図1)。

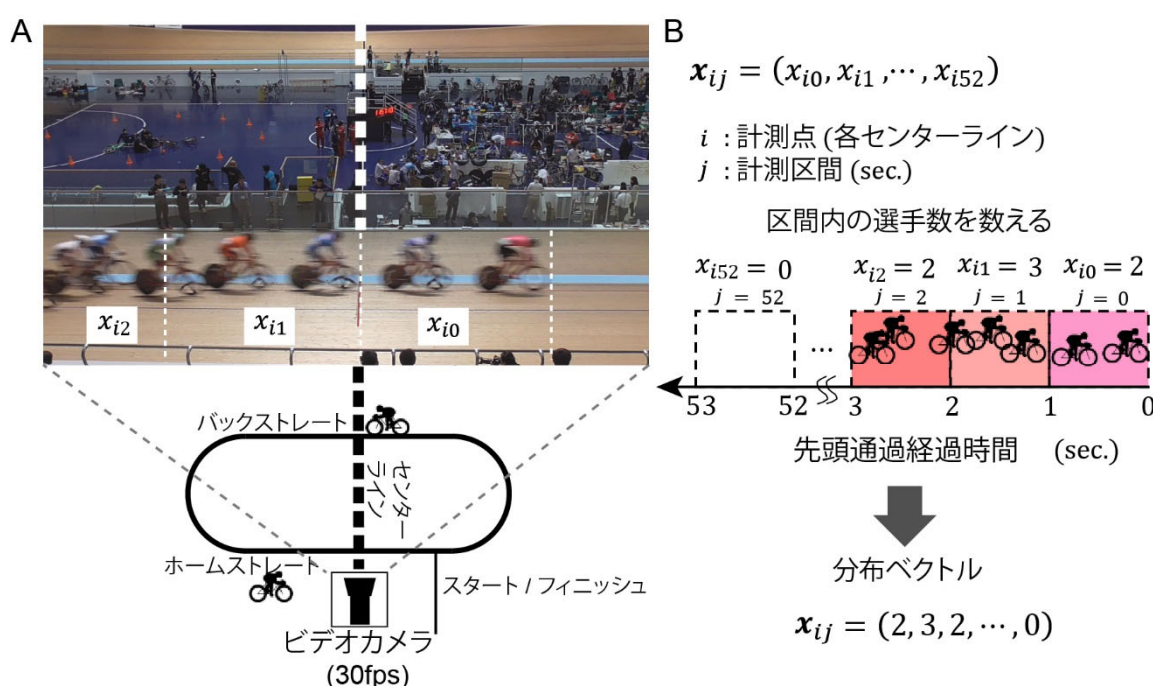


図 1. 測定の模式図と選手配置の定量化(分布ベクトルの定義)

これによって先頭から何秒くらいのところに選手が集中していたり、選手があまりいなかったりといった選手の密度が分かります(図2A)。この各センターライン通過時の計測を1まとまりとしてベクトルで表現し、これらの全周回のデータを主成分分析します。このやり方は、2次元の人の顔を映した、たくさんの画像データから共通する顔の特徴を抽出する、顔認識の代表的な手法の一つと原理的には同じことです。

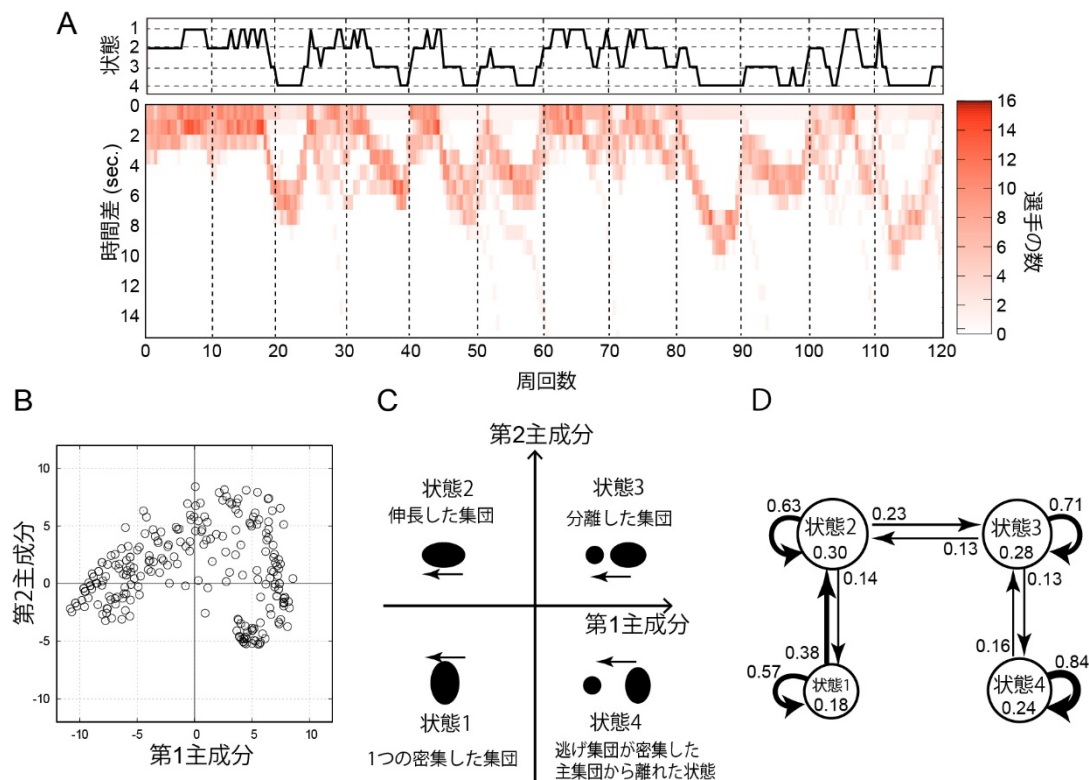


図 2. 観察したポイントレースのうちの 1 つの競技の概観(A)と観察したポイントレースのうちの 1 つの第 1、第 2 主成分の分布(B)、状態の定義(C)および状態遷移図(D)。

3 つの異なる「ポイントレース」のデータを用いて主成分分析を行った結果、主成分分析の第 1 主成分と第 2 主成分をそれぞれ X 軸と Y 軸にして、全周回の第 1 主成分と第 2 主成分をプロットして次のような分析をしました(図 2B)。X 軸と Y 軸で区切られている、左下、左上、右上そして右下にある各周回の集団の状態は似た傾向があり、状態 1、状態 2、状態 3、状態 4 と定義しました。状態 1 は「1 つの密集した集団」、状態 2 は「伸長した集団」、状態 3 は「分離した集団」、そして状態 4 は「逃げ集団が密集した主集団から離れた状態」に対応します(図 2C)。このようにしてみると、X 軸の左側は集団が分離していない状態、一方右側は集団が分離している状態となっています。また Y 軸の下側は主集団が密集した状態、上側は集団が前後に伸びている状態、すなわち密度が低い状態となっています。従って、「ポイントレース」の状況を特徴づける 2 つの要素であると推定した、集団の密度と集団の数を主成分分析によって抽出することができたと考えられます。

上記のように、定義したある周回の状態が次の周回は何の状態になったかを調べることで、状態遷移確率を計算することができます(図 2D)。ここでは、既定のスプリント間の周回数である 10 周を 4 等分して、それぞれの区間における状態遷移確率を分析した結果を示します(図 3)。10 周のうちの後半では、前半と比較して状態 2 から状態 3 への遷移確率が高く、状態 3 を繰り返す確率や状態 4 である割合も多くなります。後半になるのに従って、集団が分離する傾向が大きくなり、また、一度分離した集団が再結合することが難しくなることを示しています。これは 10 周の後半では、分離した後方の主集団では、スプリントでポイントが取るができないため、その次のスプリントに向けて体力を温存する傾向があると思われます。また、ポイントを取るためには、スプリント直前での振る舞いだけでなく、それより以前に、集

団のどの位置で集団が分離するかを見極めて、位置取りすることが重要であることを示唆しています。

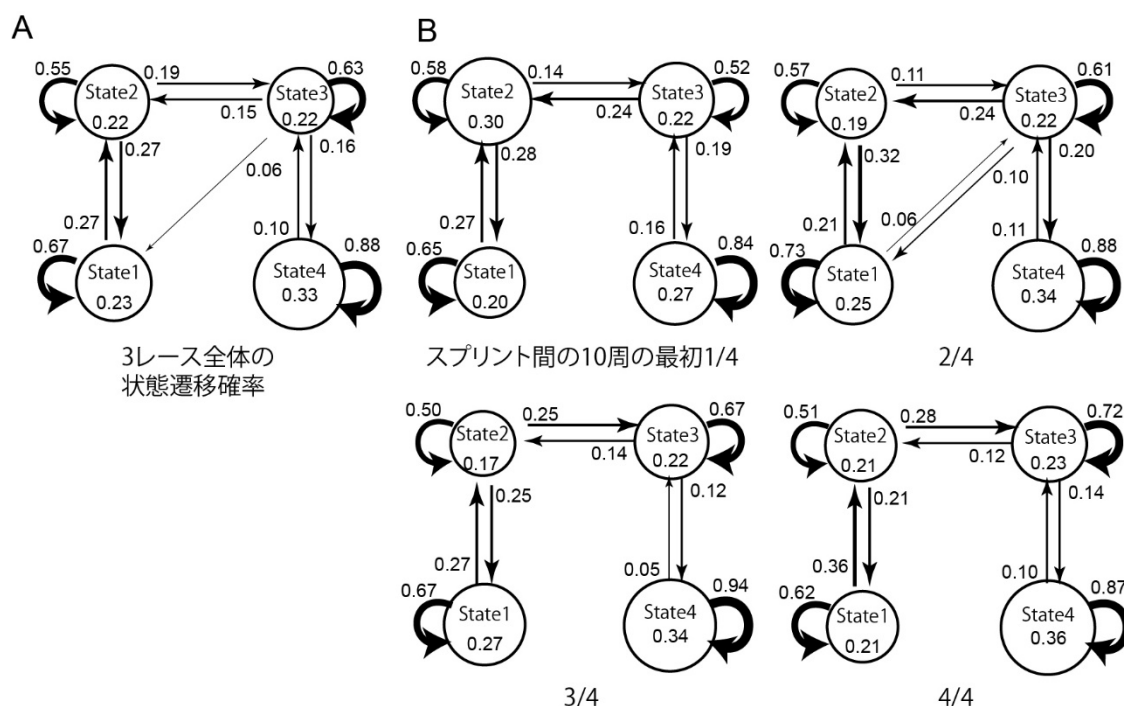


図 3. 観察した 3 つの競技の状態遷移確率 (A) およびスプリント間間隔の 10 周を 4 等分した区間での状態遷移確率 (B)

【成果の意義】

本研究では、自転車競技「ポイントレース」競技中の選手の大域的な配置を定量化し、さらに、その特徴を主成分分析によって抽出しました。ヒトを含めた生物の集合的な行動を分析する上で、個々の相互作用が集団に及ぼす影響を検証すると同時に、集団の全体的な現象を捉え、そこから個々の相互作用について推察することも重要なアプローチです。ヒトは他の動物と比較して身体的に弱い存在であり、協力することで生存し現在に至ったとすると、ヒトはどのように協力するかを明らかにすることは、ヒトとはどのようなものを明らかにすることにつながるかもしれません。スポーツという環境は、現代の日常的な生活では現れにくい利己的な行動が顕著になります。自転車競技は、その特性から利己的な環境の中で生じる協力的な行動が検証できるユニークな研究対象です。

【用語説明】

注1) ポイントレース: 自転車競技のトラックレースの 1 種目。オリンピックでは「オムニアム」と呼ばれる複合競技の中の一様目として行われる。既定の周回ごとに行われる「スプリント」と呼ばれる周回の着順によって 1 位から 4 位までの選手に 5、3、2、1 点が与えられ、その得点の積算で順位を競う。また獲得する得点には先述したスプリントによるものと周回遅れに関するもの(主集団を周回遅れにすると 20 点

獲得、逆に周回遅れになると 20 点減算)がある。

注2) 主成分分析: 主成分分析は多次元データを、より少ない変数で要約するための手法である。主成分分析において元のデータの情報を多く含む順序で変数を並べ替えた場合の最初と 2 番目の要素を第 1 主成分と第 2 主成分という。

注3) 逃げ集団: 自転車競技の中で生じる展開の典型の一つに、1 人や少数の集団で逃げ切りを目指す選手と、体力を温存する多数の選手の集団に分かれる状況がある。その先行した集団のことを言う。

注4) 主集団: 集団の中でもっとも人数が多い集団。

【論文情報】

雑誌名: European Journal of Sports Science

タイトル: State transitions among groups of cyclists in cycling points races

(自転車競技ポイントレースにおける集団間の状態遷移)

著者: Fumihiko Okumura^{1*}, Keiko Yokoyama², and Yuji Yamamoto²

(奥村 文浩^{1*}、横山 慶子²、山本 裕二²)

1. 名古屋大学大学院教育発達科学研究科

2. 名古屋大学 総合保健体育科学センター

DOI : [10.1080/17461391.2021.1905077](https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1905077)

URL : <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17461391.2021.1905077>