

自転車競技ポイントレースにおける集団サイズと推定発揮パワー

Relationship between the group size and estimated power output of cyclists in track cycling points race

奥村 文浩*

横山 慶子**

山本 裕二**

Fumihiko OKUMURA*

Keiko YOKOYAMA*

Yuji YAMAMOTO**

In massed start bicycle races, riding in a group to avoid air resistance is profitable for racing cyclist to save their energy consumption. In this study, we estimated cyclists' power output and analyzed the relationship to the group size in a national championship of track cycling points race. The results show that the average velocity of the group increased as the number of riders in a group increased to some extent, but the average velocity of the large group decreased as the size of the group increased. These results suggest that the small groups are formed by cyclists intended to raise the pace and, on the other hand, the large groups are formed to save energy consumption by cyclists intended not to raise the pace.

1 序

人間が自らの力で移動する手段として自転車は最も効率がよいものであるといわれている（グラスキン, 2013）。その自転車を用いて行う競技が自転車競技であり、自転車競技における選手の手は走動作で行われる競技と比較して高速になる。例えば、自転車競技では、1時間で走破できる距離を競う、アワーレコードと呼ばれる種目があるが、その世界記録は54.526kmである。すなわち、この記録を持つ選手は平均時速約54kmで1時間走行し続けたことになる。陸上競技においても1時間競争と呼ばれる同様な種目があるが、その世界記録は21.285kmであり平均速度は自転車の記録の半分以下である。

大気中を運動する物体に加わる空気抵抗は物体の速度の二乗に比例するとされ、運動の速度が速くなればなるほど空気抵抗は大きくなる。そのため、自転車競技では空気抵抗が競技に大きく影響を及ぼす。そのため、ドラフティングと呼ばれる行為が競技に大きく関係する。ドラフティングは前を走行する選手の直後を走ることによって前の選手を風除けとして、自らに作用する空気抵抗を低減する行為である。そのため、多人数で走行する自転車競技では集団内に位置することで体力を温存するため選手が集合して走行する。他方で、集団の先頭を走

行する選手はドラフティングの利益を得ている選手と比較して体力を消耗する。これらのような背景から選手間に駆け引きや協調が行われ、それによって生じられる流動的な集団が自転車競技の特徴の一つである（Albert, 1991）。選手間の協調は集団内の選手が先頭を担当することで行われ、自転車競技におけるこのような先頭交代はローテーションと呼ばれる。

自転車競技に関する研究において、筋組成やパワー発揮能力といった運動生理学的な研究、競技中のペーシングまたはトレーニング方法に関するものが多く、自転車競技の特徴である集合行動に着目した研究は少ない。例えば、Trenchardらは、鳥や魚の群れを取り扱う手法を自転車競技における集合行動に適用し、集団内の選手の流動が競技の速度と選手の能力差から自己組織的に生じることを示した（Trenchard et al., 2014）。しかしながら、集団の分離・集合を詳細に研究した例はほとんどない。

中長距離の自転車競技では、先頭を走り続けそのまま先着することは困難であり集団内で体力を温存することが重要である。しかし、最終的なスパートの能力に劣る選手は他の選手と同様な戦略では勝利できない。そのため、集団内で体力を温存することを意図する選手達に対し、集団から抜け出し先行し逃げ切りを目指すことが考えられる。単独または少人数の集団では風を受け

* 名古屋大学大学院教育発達科学研究科
** 名古屋大学総合保健体育科学センター
* Graduate School of Education and Human Development, Nagoya University
** Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

る先頭の負担が大きい。それに対し、人数の多い集団では先頭を走る負担が相対的に低減される。自転車競技中に生じる集団の人数は競技の展開に大きな影響を及ぼすと考えられる。本稿では、自転車競技中に生じる集団の人数と各選手の発揮パワーを見積もり、両者の関係について検討した。

2 方法

2.1 対象

201X年に実施された全日本自転車競技選手権大会トラックレース・ポイントレース種目エリート男子決勝をビデオ撮影し、競技を分析した。参加選手は24名(年齢: 19.8 ± 2.1)、競技距離は30kmであり、1周250mの自転車競技場を120周回する競技が行われた。ポイントレースは自転車競技トラックレースの種目の1つである。競技中に獲得するポイントの累積により最終順位が決定される。ポイントは、(1)スプリントと呼ばれる決められた周回(本レースでは10周回毎)終了時の先着上位4名(1位から4位までそれぞれ5、3、2、1点、5位以下は0点)、または、(2)主集団(最も人数が多い集団)を周回遅れにした選手には20点が与えられる(今回対象としたレースでは周回遅れによる得点は発生しなかった)。

本研究は名古屋大学総合保健体育科学センター体育系研究倫理委員会による審査の承認を得て実施した。

2.2 撮影・記録方法

競技場ストレート部の観客席に配置したビデオカメラ(SONY HDR-PJ540)によりレースを30fpsで撮影した。そして、各周回における全選手のホームストレートおよびバックストレートのセンターライン通過時刻を記録した(Fig.1左)。

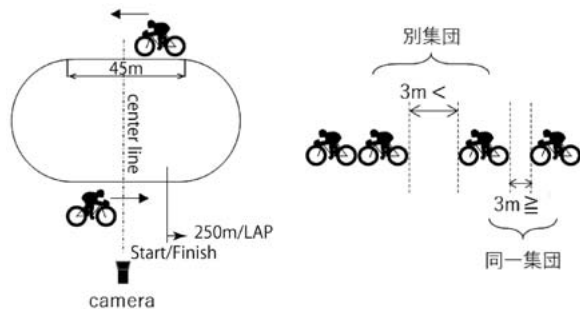


Fig.1 撮影の模式図(左)および集団の定義(右)。

2.3 集団の定義

Olds (1998)による前車の後輪と後車の前輪の間隔とドラフティング効果の関係式によると、間隔が3mより離れるとドラフティング効果が無いとされる(Olds, 1998)。そこで、前車後輪と後車前輪間の間隔3mをクライテリアとし、3m以内であれば同一の集団、3mより離れた場合は別の集団と定義した(Fig.1右)。ただし、測定データは各選手の通過時刻であるため、前後選手の間隔は、選手の通過時間差と後方選手の半周の所要時間より算出した平均速度を用いて概算した。

2.4 パワーの見積もり

Hoeningmanらが行ったシミュレーションで用いた方法に従い、空気抵抗および走行抵抗に抗うためのパワー、それぞれ P_{air} および P_{roll} を、式(1)および(2)のように計算した(Hoeningman et al., 2011)。

$$P_{air} = kCF_{draft}v^3 \quad (1)$$

$$P_{roll} = C_{rg}(M + M_b)v \quad (2)$$

ここで、 v は選手の数であり、本研究では各選手が半周を走行する経過時刻から算出した平均速度を用いた。 k は空気抵抗に関連する係数である。式(1)で表される空気抵抗に抗い必要とされるパワーは抗力 F_D に速度 v を掛けた、式(3)で計算される。

$$P_{air} = F_D v \quad (3)$$

一般的に自転車選手に加わる抗力は式(4)のように表される(グラスキン, 2013)。

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (4)$$

ρ は空気の密度および $C_d A$ は抗力係数 C_d と前面投影面積 A の積であり実効的な抗力係数である。 ρ は乾燥空気の980hPa、15°Cにおける値 $\rho = 1.185 \text{ kg/m}^3$ 、 $C_d A$ は、ドロップハンドルで上体を起した楽な乗車姿勢で0.4程度および空気抵抗を低減しタイムトライアルなどの単独走で使用される前方に延長されたハンドルを持つ専用自転車では0.2程度とされる(Cycling Power Lab, 2008)。本研究で対象としたは競技では、ドロップハンドルで状態を倒した姿勢となる場合が多いため、その中間程度の0.3とした。また式(1)における CF_{draft} はドラフティング係数である。ドラフティング係数は、ドラフティングによる空気抵抗の低減率を示し、式(5)のように表される(Olds, 1998)。 d_w は前車後輪と後車前輪の間の距

離である。3mでほぼ1となり、ドラフティングの効果がほぼ無くなると見なされる。

$$CF_{draft} = 0.62 - 0.0104 d_w + 0.0452 d_w^2 \quad (5)$$

また、式(2)における C_r および g はそれぞれ走行抵抗係数、重力加速度である。それぞれ0.0047 (Lim et al., 2011)、 $9.8\text{kg}/\text{m}^2$ とした。 M および M_b は選手の質量および自転車の質量であり全選手一律にそれぞれ65kgおよび9kgとした。空気抵抗と走行抵抗をあわせ、選手が発揮するパワーは式(6)で計算される (Hoenigman et al., 2011)。

$$P_{total} = P_{air} + P_{roll} \quad (6)$$

3 結果と考察

3.1 ポイントレース競技中におけるパワー

Fig. 2に、レース開始から終了までの、(上)半週のラップタイム、(中)半週のラップタイムから計算された平均速度、および(下)速度より計算された推定パワーを示す。それぞれの図には、各周回における、先頭を走る選手、主集団(最も人数が多い集団)の先頭を走る選手および主集団の2番手を走る選手の値が示されている。半周125mの所要時間から平均速度が計算され、その速度からパワーが見積もられる。さらに、前選手との間隔に従い CF_{draft} が計算される。そのため全体の先頭の選手と集団の先頭の選手はドラフティングの効果は得られないが、主集団の2番目の選手はドラフティングに

よって主集団先頭の選手と比較してパワーは低減している。競技はおよそ37分で終了し平均速度は13.7m/sであった。競技中、ペースは一定ではなく、10周ごとのポイント獲得に対しラップタイムが短く速度が上がっている。他方で、スプリント間の10周の間でも、早めに先行するためのペースアップも行われている。

Fig. 3は全選手の全周回のドラフティングの効果を考慮した推定パワーのヒストグラムである。350-400Wの区間をピークに頻度が減少し、高いパワーほど頻度は少なくなる。長く持続可能なパワーの領域で多く選手は走行し、持続時間が短い高いパワーは必要とされる局面で発揮していると推察される。しかしながら、パワー375Wは今回仮定した選手の質量65kgに関して、体重あたりのパワーでは5.8W/kgとなり、比較的強度の高い水準である。これは、競技が厳しいペースで行われたことを示すと考えられるが、実際の選手の体格や能力には分布があるため、このパワーを持続可能であった選手が多くいた可能性も考えられる。

3.2 集団サイズとパワー

Fig. 4に集団に属する選手の数、すなわち集団サイズとそれぞれの集団内において平均した半週のラップタイムと推定パワーを示す。

集団サイズが6名まで大きくなるに従いラップタイムは低減する傾向があるが、さらに集団のサイズが大きくなるとラップタイムは増加する。これは、小集団では、ローテーションによる協調が維持できれば、ドラフティングにより単独走に対して体力の消耗を抑えられるため、ペースを上げることができる。他方で、大集団では

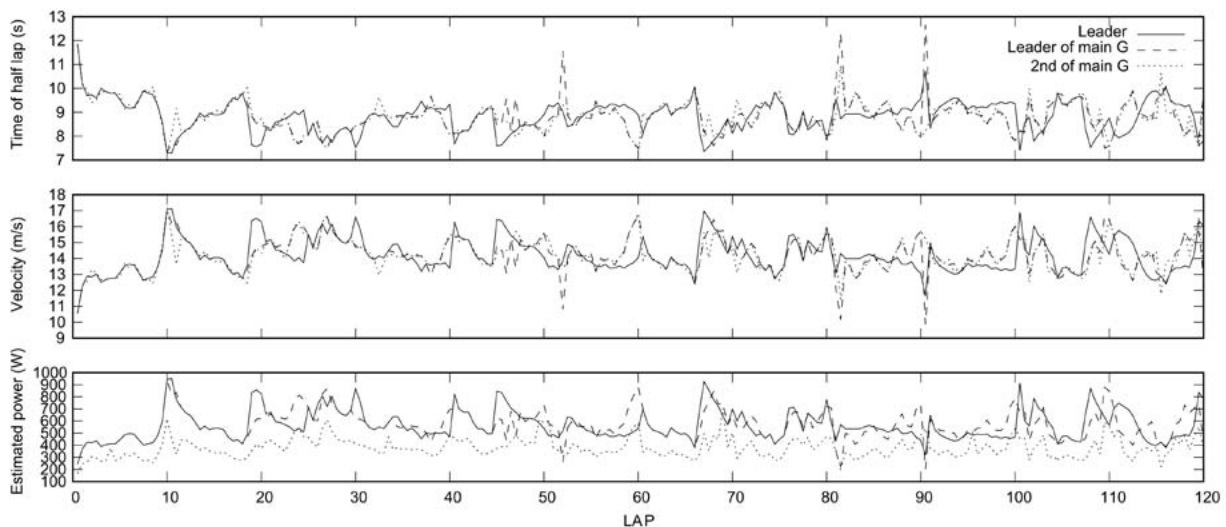


Fig. 2 先頭選手、主集団の先頭選手および2番手の(上)半周ラップタイム、(中)速度(下)推定パワー。

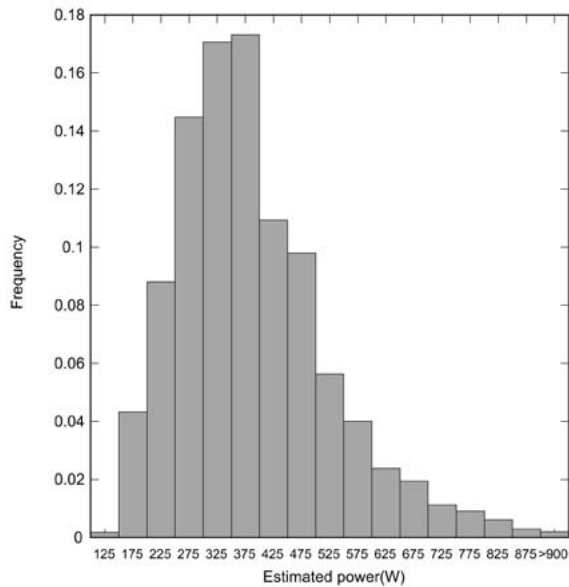


Fig. 3 推定パワーのヒストグラム。

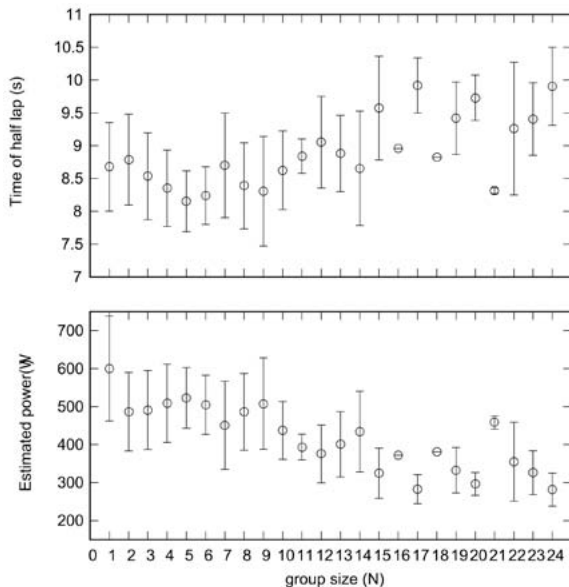


Fig. 4 集団サイズと平均ラップタイム（上）と平均推定パワー。

ドラフティングにより空気抵抗を低減し体力を温存する意図を持つ選手が集団に多く存在し、ペースは遅くなると推察される。

4 まとめと今後の展望

集団で行う自転車競技では、選手はドラフティングを活用し体力を温存しながら、ポイント獲得や先行のため

にパワーを発揮する。本研究では、自転車競技ポイントレースにおける各選手の半周平均速度から発揮パワーを推算し、また、前後選手間の間隔3mをクライテリアとして集団を定義し、競技中に現れた集団サイズとラップタイムや推定パワーの関係について検討した。

その結果、集団は、集団サイズが小さい集団であればペースを上げることができるが、集団サイズの大きい集団ではペースは上がらない。これは、小集団に属する選手はローテーションによって負担となる先頭を分担しペースを上げることを意図しているが、大きなサイズの集団は体力を温存する選手が多く集まり形成されていると考えられるため、ペースを上げる意図を持たないと考えられる。

自転車競技では選手が頻繁に入れ替わり複雑な様相を呈するが、その背景には選手間の協調や利己的な行動の切替があると考えられる。本研究では、簡易的な計測と発揮パワーの推定により自転車競技の定量化を行ったが、集団サイズとペースの関係にはそのような行動の切替が潜んでいるだろう。本研究では1つのレースの分析を行ったが、今後は、多くのケースを分析しさらに普遍的な規則性を明らかにする必要がある。

文献

- Albert, E. (1991) Riding a line: Competition and cooperation in the sport of bicycle racing. *Sociology of Sport Journal*, **8** (4): 341–361.
- Cycling Power Lab. (online) (2008) Cycling Aerodynamics & CdA - A Primer. <https://www.cyclingpowerlab.com/CyclingAerodynamics.aspx> (Accessed 2019-01-11).
- M. グラスキン：黒輪篤嗣 訳・作場知生 監訳 (2013) 『サイクル・サイエンス：自転車を科学する』。河出書房新社。
- Hoenigman, R., Bradley, E., and Lim, A. (2011) Cooperation in bike racing—when to work together and when to go it alone. *Complexity*, **17** (2): 39–44.
- Kyle, C. (1979) Reduction of wind resistance and power output of racing cyclists and runners travelling in groups. *Ergonomics*, **22** (4): 387–397.
- Lim, A. C., Homestead, E. P., Edwards, A. G., Carver, T. C., Kram, R., and Byrnes, W. C. (2011) Measuring changes in aerodynamic/rolling resistances by cycle-mounted power meters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **43** (5): 853–860.
- Olds, T. (1998) The mathematics of breaking away and chasing in cycling. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, **77** (6): 492–497.
- Trenthard, H., Richardson, A., Ratamero, E., & Perc, M. (2014) Collective behavior and the identification of phases in bicycle pelotons. *Physica A*, **405**: 92–103.