

自転車競技のヒルクライムにおけるペダリング支援システムの検討

村上 広記
Hiroki MURAKAMI

1 はじめに

自転車競技は決められたコースを完走する時間を競う競技である。自転車競技のコースは平地、上り坂、下り坂の 3 要素に分けられ、特に上り坂では競技者の力差が顕著に現れる。自転車運動では、競技者の下半身によるペダルの回転運動（以下、ペダリング）が中心であり、特に高負荷がかかる上り坂ではペダリングのコントロールが難しい。自転車競技における上り坂では重力が負荷として加わり、さらに勾配は一定でないため、平地を進むよりもペダリングのコントロールが困難である¹⁾。初級者が上り坂における適切なギアの設定やペダルの回転数（以下、ケイデンス）を身につけるには、繰り返し上り坂を練習する必要がある。また、自転車走行中は他者からの助言を受けることが困難であるため、上り坂を登る経験を蓄積し、それを頼りにしなければならない。そこで本研究では、自転車に設置されたセンサから得られる走行速度、ケイデンスおよび競技者の心拍センサから得る心拍数を用いて、自転車競技のヒルクライムにおけるペダリング支援システムの検討を行う。提案システムはケイデンスと自転車の走行速度から走行中のギア比を計算し、ユーザの心拍数や上り坂の状況に応じてギア操作やケイデンスの指示を行う。提案システムを用いることで、自転車競技の上り坂（以下、ヒルクライム）におけるペダリングのコントロールを容易にし、ユーザの競技レベル向上を図る。

2 ヒルクライムにおけるペダリング支援システム

2.1 概要

ヒルクライムにおけるペダリング支援システムは、体力消費が激しく、競技者の能力差がでやすいヒルクライムにおけるペダリング支援を行う。本システムは、自転車のケイデンスセンサとスピードセンサ、及び心拍センサから得た値を用いてスマートフォンが適切なギア比とケイデンスを指示する。ユーザは本システムによって指示されたギア操作とケイデンスを達成、維持することで効果的に上り坂を登ることができる。本システムの構成図と使用機材をそれぞれ図 1 と表 1 に示す。スマートフォンはユーザから心拍数、自転車からケイデンスと走行速度を取得し、ヒルクライムに適したケイデンスとギア比を計算する。ユーザはスマートフォンからフィードバックを得ると自転車のケイデンスとギア比を変更する。本システムが提案するギア比を変更することで適切なケイデンスを維持することができ、運動効率のよい心拍数を維持することが可能になる。

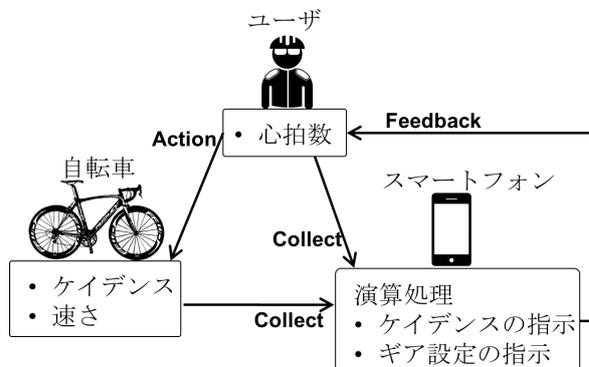


Fig.1 ペダリング支援システム構成

Table1 ペダリング支援システムに用いる機材

| 項目 | 機材 |
|----------|-----------------------|
| スピードセンサ | BLUE SC Wahoo Fitness |
| ケイデンスセンサ | BLUE SC Wahoo Fitness |
| 心拍センサ | CAT EYE HR-12 |
| スマートフォン | iPhone 5S |

2.2 ケイデンスとギア操作の指示

本システムでは現在のギア比および心拍数からギア操作をスマートフォンを用いて指示する。ヒルクライムにおいて、ケイデンスを 70 から 80 rpm 程度の範囲で保つことが筋肉疲労や心肺機能の面で効率的であることが言われている²⁾。そのため、本システムはケイデンスを 75 rpm に保つように指示を行う。

その一方で、ギア操作の指示を行うために現在ギア比を自転車の走行速度およびケイデンスから 1 秒毎に計算している。ギア比の計算式を式 1 に示す。

$$Dr = \frac{speed}{cadence * CIR} \quad (1)$$

Dr : ギア比, $speed$: 自転車の走行速度 [mm/m]
 $cadence$: ケイデンス [rpm], CIR : ホイール周長 [mm]

ギア比が大きいくほどペダルが重くなるため、ユーザにかかる運動負荷は大きくなる³⁾。そのため、心拍数が規定値より上がった場合はギア比が小さくなるように本システムがユーザに指示をだす。また、心拍数が下がった場合はギア比が大きくなるように指示を行う。

3 ヒルクライムにおけるペダリング支援システム検証実験

3.1 実験概要

ヒルクライムにおけるペダリング支援システムが及ぼすケイデンスと心拍数の変化を確認するため検証実験を行った。被験者は20代の初級者を含む大学生3名（被験者A, B, C）とした。被験者は全長4.5 km, 標高差180 mのヒルクライムを提案システムが指示するギア操作とケイデンスに従って登る。開始地点から終了地点までのケイデンスと心拍数を記録し、提案システムを用いずに走行した記録と比較する。

3.2 結果および考察

実験開始地点から終了地点までの被験者A, BおよびCの平均ケイデンスと平均心拍数を表2に示す。表2より、本システムを用いた場合、各被験者ともに10 rpm以上の平均ケイデンスの増加が確認できた。心拍数についても、各被験者ともに増加していることが確認できた。被験者Aは20 bpm程度増加しているが被験者BとCは僅かに上昇したのみであった。これは、体力の個人差が原因だと考えられる。実際のヒルクライムを想定した30分以上の上り坂では被験者B, Cにおいても被験者Aと同様の結果が得られると考えられる。以上より本稿で提案するペダリング支援システムが与えるヒルクライムにおけるケイデンスと心拍数の変化を確認した。

被験者Aにおけるケイデンスと心拍数の記録をそれぞれ図2と図3に示す。図2より、提案システムを用いた場合のケイデンスは提案システムを用いなかった場合に比べ高くなっていることがわかる。ケイデンスが高くなることにより提案システムを用いない場合より少ない筋肉疲労で坂を登ることができたと考えられる。さらに、図3より、提案システムを用いない場合はヒルクライムの終盤にかけて心拍数の下降が見られ、効率の悪い運動になったことがわかる。その原因として、ユーザが重いギアの選択をしたために、筋肉疲労が蓄積し一定のケイデンスを維持できなくなったことが考えられる。また、提案システムを用いた場合は心拍数の差が小さく一定に保つことができたため、身体的負担が少なく走行できていることが推測される。一方で、提案システムは急激な斜度の変化に対応できないため、斜度の下降があった場合に、ケイデンスが不安定になる場面もみられた。

Table2 実験結果

| 被験者 | 提案システムの有無 | 平均ケイデンス [rpm] | 平均心拍数 [bpm] |
|-----|-----------|---------------|-------------|
| A | なし | 63.0 | 159.9 |
| | あり | 75.3 | 176.9 |
| B | なし | 65.9 | 175.4 |
| | あり | 75.7 | 179.0 |
| C | なし | 59.0 | 175.4 |
| | あり | 78.8 | 178.0 |

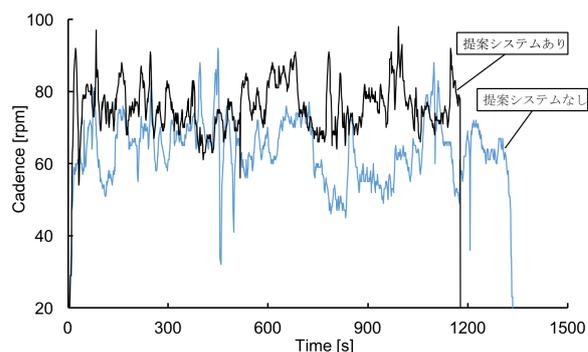


Fig.2 被験者Aのケイデンスの記録

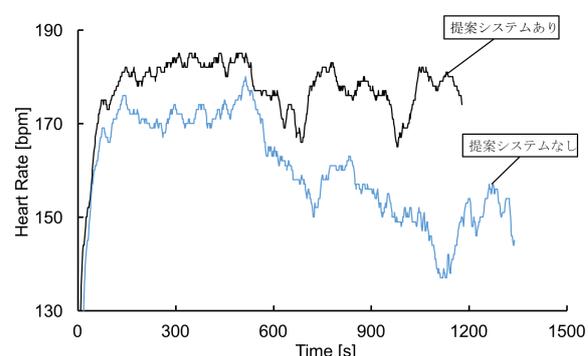


Fig.3 被験者Aの心拍数の記録

4 今後の展望

本システムでは、ヒルクライム中にセンシングしたケイデンスおよび心拍数を用いたギア操作やケイデンスの指示を行った。今後の展望として、上り坂の全長や斜度などの道路情報を考慮したシステムを構築することで、より適切なヒルクライムができると考えられる。さらに、ペダルにかかる力の大きさを考慮することで、ビンディングペダルにおける踏み足や引き足のバランス指示を可能にすることや、立ち漕ぎやゴール前の追い込みをかけるタイミングの指示を実装することで、より自転車競技を志向したペダリング支援システムを構築できると考えられる。

参考文献

- 1) 高嶋 渉, 前川 剛輝, "自転車坂道走行における姿勢の変化および切り替えがエネルギー効率, 血中乳酸濃度および下肢の筋活動に及ぼす影響" トレーニング科学 Vol. 22 (2010) No. 4 p. 331-338
- 2) 矢部 広樹, 今井 正樹, 久保 祐介, 安田 幸平, 西田 裕介"自転車エルゴメータにおけるペダルの回転数の違いが体に及ぼす影響-心拍一定不可による検討-" 理学療法科学 Vol. 22 (2007) No. 2 P 215-218
- 3) 汪 立新, 吉川 貴仁, 原 丈貴, 中雄 勇人, 鈴木 崇士, 藤本 繁夫, "回転数・トルク数の調節が活動筋内の酸素動態およびエネルギー代謝に及ぼす影響" 体力科学 Vol. 54 (2005) No. 3 P 229-235