

アップダウンのある自転車競技ロードレースの周回コースで最良のパフォーマンスを
発揮するためのペース戦略の検討
～競技力の高い女子選手を対象とした事例研究～

中井彩子¹⁾, 橋本直²⁾, 山口大貴²⁾, 山本正嘉³⁾

¹⁾鹿屋体育大学体育学部

²⁾鹿屋体育大学大学院

³⁾鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

キーワード: ペダリングパワー, 速度, 斜度, 努力度, 生理応答

【要 旨】

競技力に優れる大学女子自転車競技選手 1 名を対象として, アップダウンのある周回コースにおいて, より高いパフォーマンスを発揮するためのペース戦略について, 2つの研究をもとに事例的に検討した. 研究1では, 基礎データを収集するために, 10.2km のコースを設定して 6 種類の異なる努力度で走行した. その結果, 速度を 1km/h 加速するために必要なパワーは, 平坦地および傾斜の緩い上りや下りで小さくなることが明らかとなった. ただし下りではコース状況により, コーナリング技術の問題も加わり, パワーと速度の相関関係がみられなくなる区間もあった. この結果に基づいて研究2では, 平坦地や緩斜面ではパワーを積極的に発揮してタイムを短縮し, 上りでは無理のない一定ペースで走行し, 下りではコース状況によりタイムを落とさない程度に脚を温存させる, という「戦略A」を立案した. これと合わせて, 傾斜によらず一定の出力を保つ「戦略B」も加え, 2種類の走行を行った. その結果, 戦略Aのタイムの方が 16 秒速く, 主観的運動強度や内省報告からも戦略Aの優位性が示唆された.

スポーツパフォーマンス研究, 12, 220-234, 2020 年, 受付日: 2019 年 7 月 4 日, 受理日: 2020 年 5 月 7 日

責任著者: 山本正嘉 891-2393 鹿屋市白水町 1 yamamoto@nifs-k.ac.jp

* * * *

**Pace strategies for getting optimum performance in cycling road races
on a circuit course with a hilly route:
A female cyclist with high physical power**

Ayako Nakai¹⁾, Tadashi Hashimoto²⁾, Hiroki Yamaguchi²⁾, Masayoshi Yamamoto³⁾

¹⁾ Faculty, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

²⁾ Graduate School, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

³⁾ National Institute of Fitness and Sports in Kanoya.

Key words: pedaling power, speed, slope, degree of effort, physiological response

【Abstract】

Two studies examined pacing strategies for getting higher performance on a bicycle circuit course with slopes. The participant was a female university student cyclist who had high physical power. In Study 1, the cyclist biked at 6 different degrees of effort on a 10.2-km course, while basic data were collected. It was found that the power required for her to increase her speed by 1 km/hr was slightly less on flat ground or on a gentle slope. However, when she was going downhill, the correlation between power and speed depended on her cornering technique. In Study 2, a strategy was tested in which the cyclist tried to shorten her time by exerting power positively on flat ground and gentle slopes, biking uphill at a moderate constant speed, and resting her legs when going downhill, while maintaining the time. Another strategy was tested in which the cyclist kept her power constant, regardless of the slope. With the former strategy, her time was 16 seconds faster. The cyclist's subjective report about the strength of her motions supported this result.

I. 研究の背景

自転車競技の長距離種目には、一般公道を利用して着順を争うロードレースと、タイムを競い合うタイムトライアルの2つの種目がある。ロードレースの場合、国内選手権大会では男子エリートで 200km 以上、女子エリートで 100km 超、個人タイムトライアルでは、男子エリートは約 40km、女子エリートは約 30km の距離で競われる。国内の主要大会では、どちらの種目も 1 周 10km 以上のアップダウンを含む周回コースで行われることが多い。このため、次々と変化するコース状況に対してどのように力を発揮していくかというペーシングが重要な戦略となる。

自転車競技のペーシングに関する先行研究を概観すると、エルゴメーターを用いた 20km のタイムトライアルにおいて、一定の出力で行うペース戦略は、自身の感覚で管理するペース配分や、一定の時間間隔でパワーを変化させる場合と比較して、生理応答や主観的運動強度が小さくなるという報告 (Thomas et al., 2012) があり、一定出力の優位性が示されている。暑熱環境での選手のペーシングおよびパフォーマンスが、暑熱順化の有無によって影響されるのかを検討した研究では、暑熱環境によってペーシングの変化は起こらないものの、順化しているか否かによってパフォーマンスが変化すること (Racinais et al., 2015) が報告されている。また、距離情報のフィードバック条件の違いによってペーシングや主観的運動強度がどのように影響されるのかを検討した研究では、20 km TT における 1 km ごとのスプリットタイムを正しい距離でフィードバックする試技と、実際よりも短いもしくは長い距離でフィードバックを与える試技とで比較したところ、試技間でパフォーマンスやペーシングは影響されなかったこと (Albertus et al., 2005) が報告されている。つまり、これまでは競技者のペーシングが様々な条件の違いによってどのように影響されるのかということが着目されてきた。

しかし、これらの先行研究の多くは、平坦もしくは登坂など、コースが一定の条件下で検討されており、アップダウンを含む周回コースで起こりうるような、刻々と勾配が変化する条件での理想的なペース戦略については、生理応答や主観的運動強度などを用いて検討された報告は見当たらない。このため、選手は自身の実践知に頼る部分が大きく、その方策にも統一性もないのが現状である。

II. 本事例研究の目的

アップダウンを含む周回コースでのペース戦略について、自転車競技選手である筆者の経験を振り返ると、周囲の選手には一定出力を維持しながら走る選手や、上り・平坦・下りという3つの局面でそれぞれ力の配分を変えて走る選手など、個人によって様々である。また筆者自身については、競技を始めた高校時代には最初から全力で走ることのみ指導され、大学に入ってから上りではリラックスし、下りで出力を上げるように指導された。そしてその後、自身の経験も交えて試行錯誤した結果として、現在では上りでは努力度を抑え、平坦や下りでは積極的に速度を上げる走りが良いと考えて競技を行っている。

しかし、このような方策が妥当なものかについての裏付けはなく、客観的なデータで検証する必要があると考えた。またその具体的なプロセスとして、まず平坦・上り・下りという斜面の違いによって、積極的なパワー発揮をした方がよいか否か、またその傾向が斜度の大きさとどのよ

うに関連するのかを検討し、それらの結果を踏まえて立案したペース戦略の有用性を検討することが必要であるとも考えた。

そこで本研究では、筆者自身でアップダウンを含む周回コースを様々な努力度で走行し、その際の走行タイム、パワー、生理応答、および主観的運動強度をもとに、最良のパフォーマンスを発揮するためのペース戦略を考案し、その良否について事例的に検討することを目的とした。具体的には以下の2つの検討を行った。

研究1:同じコースを6種類の主観的努力度で走行した際のパワーと生理応答を測定し、平坦、上り、下りの傾斜と努力度との関係から、パワーを加減すべき条件を明確にする。

研究2:研究1の結果をもとに、最適と考えるペースを立案して走行するとともに、同じコースを一定のパワー出力で走行した場合の結果と比べて、両者の優劣を明らかにする。

Ⅲ. 研究1 傾斜との関連から見た努力度と発揮パワーとの関係

1. 目的

研究1では、筆者自身でアップダウンのあるコースを6種類の異なる努力度で走行し、その際のパワーや生理応答を測定した。そして、傾斜の条件と努力度とがどのように関連するかを検討することで、努力度を上げるべき区間や、抑えるべき区間についての示唆を得ることを目的とした。

2. 対象者

対象者は、ロードレースを専門とする大学女子自転車選手1名(筆者自身)である。競技歴は7年で、主な戦績は全日本選手権ロードレースU23(99.0km)優勝、全日本大学対抗自転車競技選手権大会ロードレース(60.0km)優勝などであった。また、エリートカテゴリーを含めたツールドおきなわの女子国際ロードレース(100.0km)において3位の成績も収めていた。

体格および体力の特性は、年齢22歳、身長158.7cm、体重58.7kg、体重あたりの最大酸素摂取量61.9ml/kg/min、最大酸素摂取量出現時のパワーは336W、最大心拍数は192bpm、血中乳酸濃度2mmol/lに相当する運動強度は236W、4mmol/lに相当する運動強度は272Wであった。

3. 測定方法

(1) 体力測定

周回コースでの測定に先立ち、初回の試技の2日前に多段階運動負荷試験を行った。室温を22-24℃に設定し、自転車エルゴメーター(Powermax V3, コナミ社製)を用い、回転数を90rpmとして、1.2kpから3分ごとに0.4kpずつ増加させた。各ステージの終了30秒前に指先から採血し、簡易血中乳酸測定器(ラクテートプロ2, Arkray社製)を用いて血中乳酸濃度をモニタリングし、4.0mmol/lを超えた時点で運動終了とした。

また上記の運動終了から15分間の休息を挟んだ後、4.0mmol/lを超えたひとつ前のステージ

の負荷から、1分ごとに0.2kpずつ増加させる運動を行い、最大酸素摂取量と最大心拍数などの測定を行った。この運動は90rpmを維持できなくなった時点で運動終了とした。運動中の酸素摂取量は携帯型呼吸代謝計測装置（K4b2, Cosmed 社）を用いて測定し、心拍数を心拍計（プレミアムハートレートセンサー, Garmin 社製）を用いて測定した。両者のデータは30秒ごとに平均値で算出し、最大値をそれぞれ最大酸素摂取量、最大心拍数とした。なお、携帯型呼吸代謝計測装置の校正は、PCを用いてガス濃度校正、換気量の校正の順に、測定開始のおおよそ5分前に終わられるように行った。

(2) 周回コースの概要

図1には、本研究で使用した周回コースの概要および俯瞰図を示した。1周の距離は10.2kmで、獲得標高は163mであった。傾斜の違いによる検討を行うため、平坦、上り、下りを主とする10の区間に区分した。10の区間を区分する手順として、まず初めに行ったのは対象者が明らかに傾斜の程度が異なると感じた地点で区分することである。その後、データ解析 Web サービス（Cyclo-Sphere, Pioneer 社）を用いて区間の平均勾配を算出し、平均勾配が $\pm 1.0\%$ の区間を平坦区間、 1.0% より大きい区間を上り区間、 -1.0% より小さい区間を下り区間とした。この定義は、本対象者は $\pm 1.0\%$ の範囲を超えると傾斜を識別できる感覚を持ち合わせていたことを受けて独自に決められたものである。

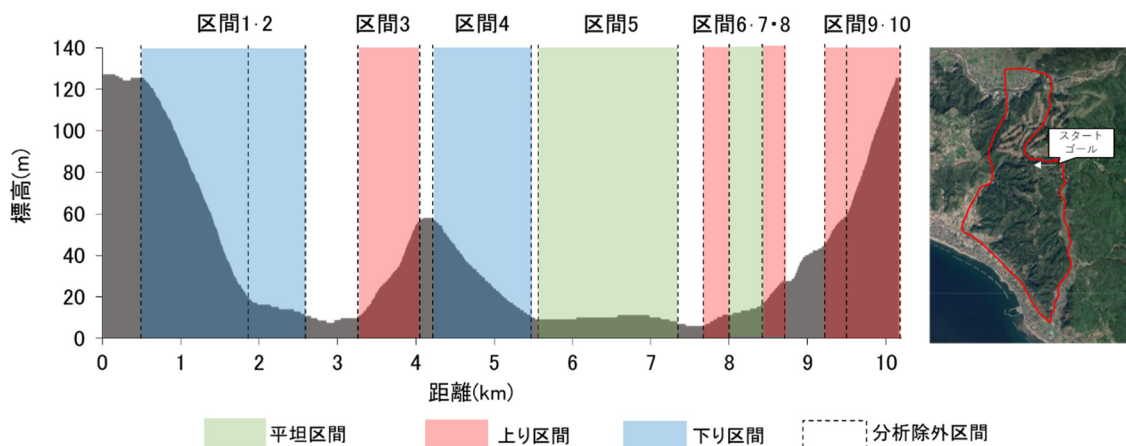


図1. 研究1で使用した周回コースの概要および10の区間と俯瞰図

なお、局所的に勾配が変化するような区間や、上り区間から平坦、あるいは下り区間から上り区間といった斜度が切り替わるような局面では、生理応答や速度が安定しないと考えられたため除外した（図の白い部分）。また、交差点でのコーナー時にはペダリングをやめ、ブレーキをかけて減速するため、このような部分についても除外した。

(3) 走行方法

表1に示した6種類の「一定の努力度」で、それぞれ1回ずつコースを走行しパフォーマンス

を比較した。なお一定の努力度とは、1 周回を通して一定の努力度であるように、上りや下りなど条件が異なる場面でも、コースの傾斜によって生まれる加減速に伴って努力度が変動しないように、常に同等の努力度となるようにギア変速をして調整して出力するという意味である。

表1. 実施した 6 試技の主観的な努力度と実施した試技

	主観的な努力度	実施
20		○
19	非常にきつい	
18		○
17	かなりきつい	
16		○
15	きつい	
14		○
13	ややきつい	
12		○
11	楽である	
10		○
9	かなり楽である	
8		
7	非常に楽である	
6		

各試技において対象者は十分なウォーミングアップ（W-up）を行った。全 6 試技は、1 日当たり 2 試技ずつ、3 日間で 1 日置きに実施した。1 日目には努力度 10 と 20、2 日目に努力度 12 と 18、3 日目に努力度 14 と 16 を実施した。全ての試技は午前 10 時～午後 12 時 30 分の間に実施され、天候は晴れ、気温は 31～35℃の中で行われた。1 試技目が終了した後、安静座位により 15 分間休息を取り、スタート前の安静時心拍数と同程度まで落ち着いたことを確認して次の試技をスタートした。心拍数が落ち着いていない場合はさらに 5 分間の休息をとり、同様の手順を心拍数が落ち着くまで繰り返して 2 試技目を開始した。なお、姿勢の違いによって空気抵抗が大きく変化しないように、乗車フォームは下ハンドルで統一させた（藤井，2008）。

(4) 使用機材

自転車のフレームは Supersix Evo Carbon（Cannondale 社製）、ホイールは Aksium（Mavic 社製）、タイヤは Race D Evo 3（Panaracer 社製）を用いた。また、給水用のボトルは車体に装備せずに走行した。

(5) 測定項目

1) パフォーマンス（走行タイム，走行速度，パワー）

GPS 機能を搭載したサイクルコンピューター（SGX-CA500, Pioneer 社製）を用いて走行タイム（min ' sec）、走行速度（km/h）を測定した。なお、以後より示す結果について、GPS 機能の限界により距離、速度、時間の関係が一致しない数値があることを述べておく。また、クランク型パワーメーター（SGY-PM930H, Pioneer 社製）を上述のサイクルコンピューターと接続することで、

パワー (W), 仕事量 (KJ) を測定した。なお, メーカーが示すパワーメーターの精度は $\pm 2\%$ であった。分析はデータ解析 Web サービス (Cyclo-Sphere, Pioneer 社) によりダウンロードを行い, パワーデータ解析ソフト (Golden Cheetah) を用いて出力した 1 秒ごとの時系列データから, 区間ごとおよび 1 周回での平均値を算出した。

2) 生理応答

生理応答の指標となる運動中の心拍数 (HR) を, 心拍計 (プレミアムハートレートセンサー, Garmin 社製) を用いて 1 秒毎に算出した。

酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) は, 携帯型の呼吸代謝計測装置 (K4b2, Cosmed 社製) を用いて 10 秒ごとに算出した。なお, 携帯型呼吸代謝計測装置の校正は, PC を用いてルームエアーキャリブレーション, リファレンスガスキャリブレーション, およびタービンキャリブレーションの順に, 測定開始のおおよそ 5 分前に終わられるように行った。 $\% \dot{V}O_{2\max}$ は, 事前に室内条件の多段階運動によって測定した最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2\max}$) を 100% とし, 周回コースを走行中に得られた酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の値を除算し, 100 を乗算して求めた。

3) その他の項目

周回コースの平均勾配 (%) や獲得標高 (m) については, 上述のサイクルコンピューターおよび Web サービスを用い, 始点と終点を選択することで区間の平均勾配, 獲得標高を算出した。また試技中の気温 ($^{\circ}\text{C}$) は上述のサイクルコンピューターを用いて算出した。

4. 統計処理

各項目間の関係を検討するために, Pearson の積率相関係数を算出した。有意水準は 5% 未満とした。

5. 結果および考察

(1) パフォーマンスの比較

表 2 は, 6 種類の努力度により走行した際の走行時間と, 酸素摂取量, 心拍数, パワー, 速度の平均値を示したものである。全ての項目において, 努力度との間に, 高い正の相関関係がみられた。このことから, 筆者の主観による努力度と実際の走行時の負担度との間には, 高い関係性があることが確認できた。また, 本対象者が優勝したレースにおける速度と比較すると, 全日本選手権 (99.0km) が 29.1km/h, 全日本大学対抗選手権自転車競技大会 (60.0km) が 32.2km/h であり, 独走と集団走の速度の違いを考慮すると, おおむね努力度 14~16 がレース強度に相当すると考えられた。

表 2. 各努力度の走行時間・平均酸素摂取量・平均心拍数・平均パワー・平均速度

努力度	走行時間	平均酸素摂取量		平均心拍数		平均パワー	平均速度
	min' sec	ml/kg/min	%VO2max	bpm	%HRmax	W	km/h
20	19' 19	50.7±6.3	82.0	183±10	95.3	227±76	31.5±15.7
18	20' 23	49.3±7.8	79.6	178±15	92.7	210±61	29.9±15.0
16	20' 47	45.3±5.6	73.2	175±13	91.1	205±55	29.4±15.2
14	22' 25	44.3±7.4	71.6	161±11	83.9	175±49	26.8±15.6
12	25' 03	35.2±7.5	56.9	142±13	74.0	140±47	24.5±14.8
10	29' 01	28.3±7.5	45.7	126±14	65.6	113±45	20.9±13.0
努力度との相関	$r = -0.94^{**}$	$r = 0.95^{**}$	$r = 0.95^{**}$	$r = 0.96^{**}$	$r = 0.96^{**}$	$r = 0.98^{**}$	$r = 0.97^{**}$

*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

図 2 は、各努力度で走行している時の速度を生データで示したものである。各区間での、努力度の違いによる速度の相違に注目してみると、平坦区間や傾斜の比較的緩い区間でより大きな速度差が生じている傾向が見られた。そこで以下、傾斜の違いに着目し、図 1 で定義した区間ごとに生理応答、パワー、走行速度の関係を検討していくこととした。

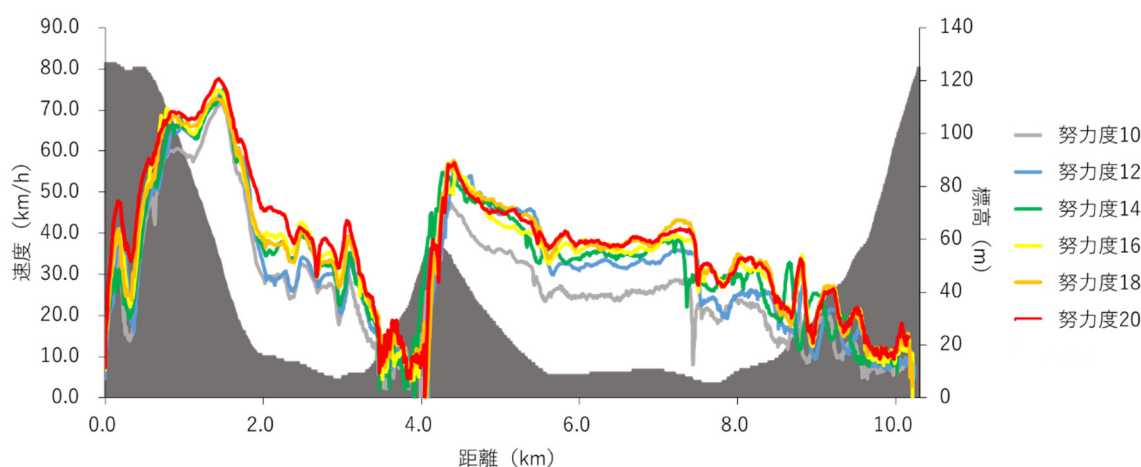


図 2. 各努力度で走行した際の走行速度

図 3 は、区間ごとのパワーと酸素摂取量の関係を示したものである。区間 1 および区間 2～10 において、パワーと酸素摂取量との間に有意な正の相関関係（区間 1: $r=0.96$, $p<0.01$, 区間 2～10: $r=0.94$, $p<0.01$ ）が認められた。区間 1 のみ同一パワーに対して酸素摂取量が多くなっているのは、区間 1 の直前で傾斜がアップダウンしており、生理的負担が高まった状態で区間 1 に差し掛かってしまったためであると考えられる。しかしながら、それ以後では区間の違いによらず、対象者の生理応答は発揮しているパワーと密接に関連していることが示された。

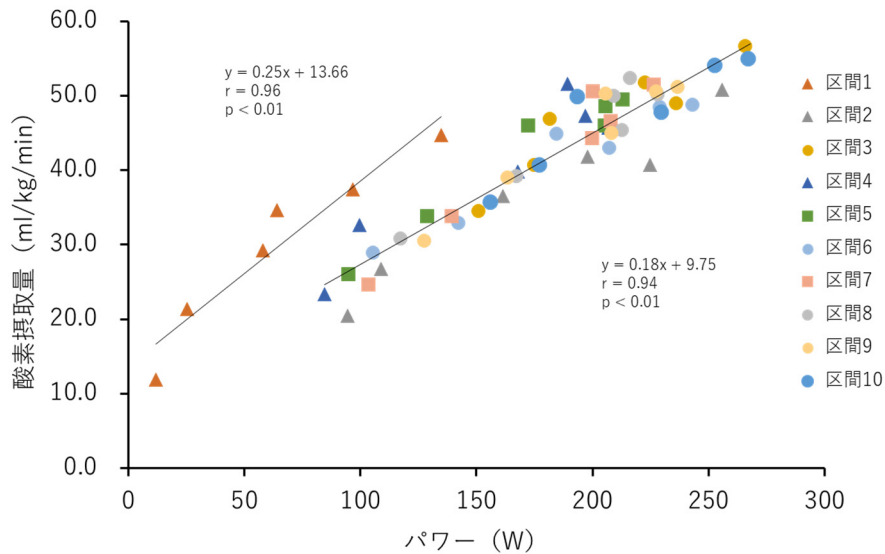


図 3. 走行時のパワーと酸素摂取量の関係

(2) 区間を考慮したパワーと速度の関係

図 4 は、10 の区間におけるパワーと速度の関係について、個別に示したものである。区間 4 以外で有意な正の相関関係が認められた。

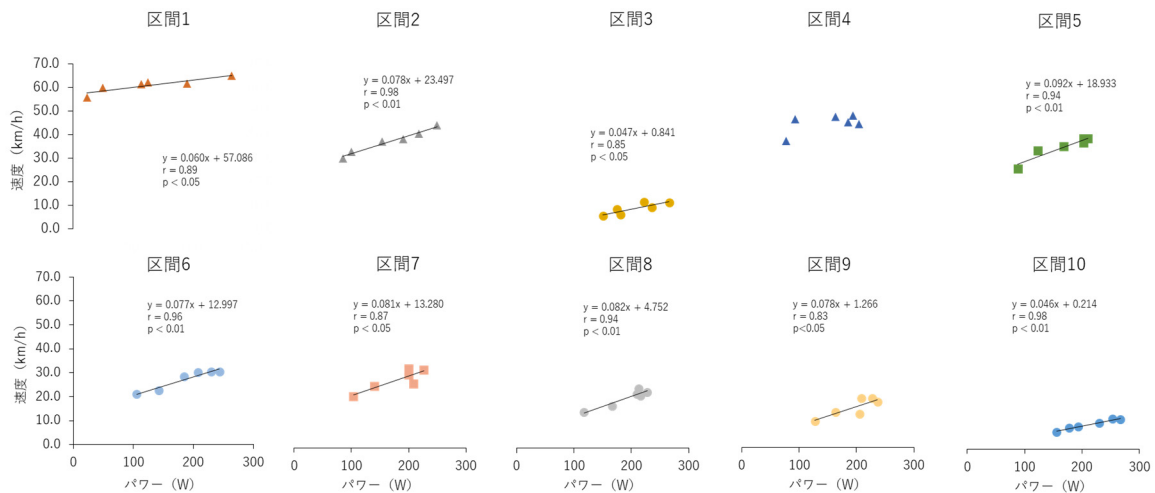


図 4. 10 区間におけるパワーと速度の関係

図 5 は、各区間での平均斜度と、速度を 1km/h 増加させるのに必要なパワーの増加量との関係を示したものである。なお、速度を 1km/h 増加させるのに必要なパワーの増加量とは、図 4 で有意な正の相関関係が認められた回帰式の傾きの逆数をとることによって算出している。その結果、平坦の区間 5 が、最も小さいパワーの増加でより速度を獲得していた。また、およそ -1.0~4.0% の比較的緩い傾斜の区間でも、区間 5 に近い低値を示す傾向が見られた。

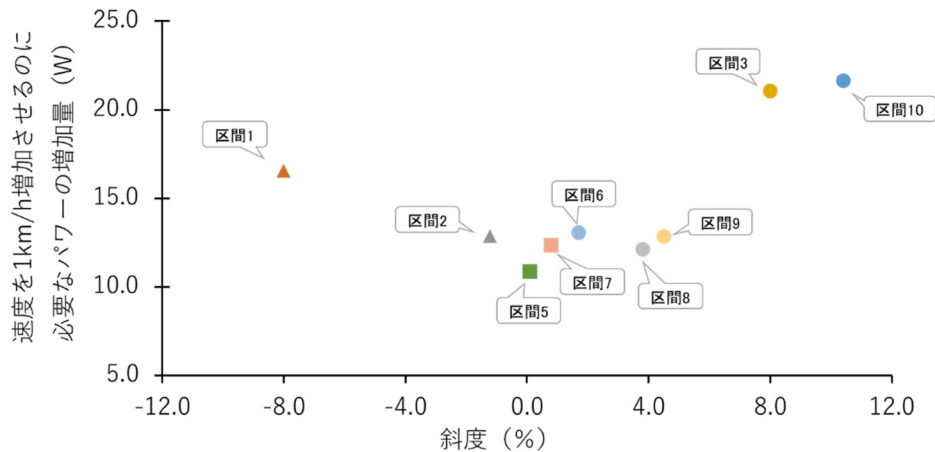


図 5. 速度を1km/h 増加させるのに必要なパワーと斜度の関係

一方で、上り（区間 3, 10）においては、平坦である区間 5 などと比較して高値を示していた。この要因としては、上りでは身体を質量を上昇させるために、より高いパワーが必要となったためであると推察された（高嶋ほか, 2010）。

下り区間 1, 2 では、斜度がきつい区間 1 の方が、加速をするのにより高いパワーの増加が必要であることが示された。この要因としては、下りの傾斜が大きく、絶対的な速度が大きくなる区間ほど空気抵抗も大きくなるため、加速するためのパワーがより必要となるのではないかと考えられた。

下りの区間 4 では、パワーと速度に有意な相関関係が認められなかった（図 4）。この要因として、コーナーが多い曲線路であり、対象者はペダリング運動を抑制してコーナーを走行していたことが考えられた。コーナーでは速度が上がるにつれて自転車の操作技術による影響が大きくなるため、パワーと速度との間に高い相関関係が認められなかったと考えられた。コーナーでの操作技術とは、自転車競技において一般的には、最短距離を選択したり、曲がる方に向けてより車体を傾けることで減速せずにコーナーを抜けることなどを意味する。したがって速度の速い下り区間では、見通しのよい直線路か曲線路かの特徴を踏まえた上で、どのように出力をするかという戦略を練る必要があると考えられた。特に曲線路の場合、コーナリング技術によって速度を維持することができれば、ペダリングを緩めて体力を温存できる可能性もうかがえた。しかしながら、風などのコース環境の影響の可能性も否定できないことから、可能性の一つとして提言する。

以上のことから、まず傾斜による特性として、平坦や緩斜面では、上りや下りよりも小さいパワーの増加でより速度を獲得できる傾向が明らかとなった。したがって、コース 1 周を通じての平均速度を高めるには、平坦区間や緩斜面において努力度を高めて（一定の努力度での走行を仮定した際のパワーよりも高くなるように）走行し、さらに上りや下り区間では以後の区間に疲労の影響がでないであろう努力度で無理なく走行することが有効となる可能性が考えられた。ただし下り区間においては、直線路もしくは緩いコーナーでは 1 周を通しての平均的な努力度を維持し、きついコーナーではコーナリングでの操作に集中し、出来るだけ速度を落とさないように車

体を傾けて走行することで体力を温存できる可能性も考えられた。

IV. 研究2 最適な戦略ペースの立案とその有効性の検証

1. 目的

研究1の結果を基に、筆者自身が最も適切と考えた戦略を立案した（以下、戦略A）。具体的には、平坦地および上り下りの緩斜面の区間では相対的により努力度を高めて走行すること、上り区間では努力度を抑えたイーブンペースで走行すること、そして下り区間では、脚を止めても速度を維持できる場合には脚を休めることを意識する戦略である。

そこで研究2では、上記のような戦略Aと、一定のパワーを維持するペース戦略（以下、戦略B）との間で、走行時間、走行速度、パワー、内省報告などを比較し、戦略Aが戦略Bよりも優位なものかを検討することを目的とした。

2. 方法

(1) 対象者、走行コースおよび測定項目

対象者は研究1と同じであり、走行コースも研究1と同じであった。測定項目についても、酸素摂取量を除けば研究1と同様の方法を用いた。なお、酸素摂取量を除いたのは研究1の結果により生理応答とパワーは密接に関係しており（図3）、以後はパワーによる検討のみでも生理的な負担度について検討できると考えたためである。

(2) 2つの戦略

研究1では、10の区間に細分化して検討した。しかし研究2では、このように細分化した区間ごとに努力度を調節することは困難と予想されたため、図6のように大まかに5つの区間（区間①～⑤）に統合し直して検討することとした。

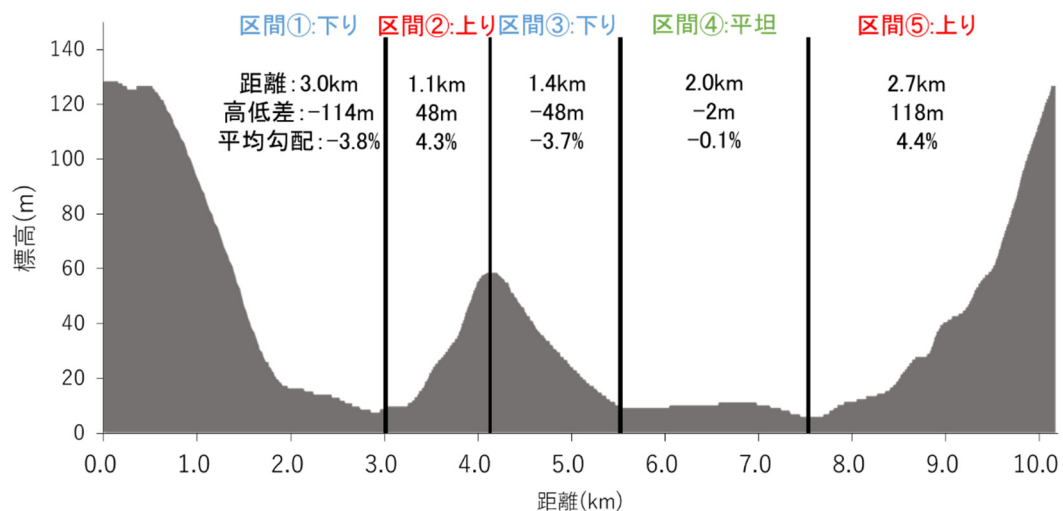


図6. 研究2における5区間の距離、高低差、平均勾配

表3は、この5つの区間において、研究1の結果をもとにより良いと予想された戦略を示したもので、「戦略A」と呼ぶこととした。また、先行研究(Thomas et al., 2012)で推奨されてきた一定のパワーを維持する戦略は、「戦略B」と呼ぶこととした。

表3. 戦略Aの内容

区間①:下り	直線路および緩やかなコーナーでは基準と同等の出力を維持し、きついコーナーでは足を止めて体力を温存しながらコーナリング操作に集中する
区間②:上り	基準を超えない範囲での走行をする
区間③:下り	直線路および緩やかなコーナーでは基準と同等の出力を維持し、きついコーナーでは足を止めて体力を温存しながらコーナリング操作に集中する
区間④:平坦	基準よりも高い出力を積極的に発揮する
区間⑤:上り	基準を超えない範囲での走行をする

※1周を通して一定の努力度を維持した走行の出力を基準値とした

(3) 実験手順

十分なウォーミングアップを行った後、まず戦略Aを、実際のレースでの努力度をイメージして走行した。戦略Aを先に行った理由は、まず戦略Aの平均パワーを算出し、そのパワー値を戦略Bで一定に出力するパワーに設定するためである。

戦略Aの試技の終了後、安静座位により15分間休息を取り、スタート前の安静時心拍数と同程度まで落ち着いたことを確認して次の試技をスタートした。心拍数が落ち着いていない場合はさらに5分間の休息をとり、同様の手順を心拍数が落ち着くまで繰り返して戦略Bを開始した。

戦略Bでは、戦略Aの走行で得られた平均パワーと同様のパワーと一致するように、一周を通してサイクルコンピューター(SGX-CA500, Pioneer社製)のパワー表示を確認しながら走行した。なお、対象者は戦略Bにおいてパワー表示を確認することによる心理的および生理的な負担は感じていなかった。また、戦略Aを先に行ったことによる疲労等の影響も感じていなかった。実際のレースでは少なくとも6周以上は連続して走行するため、上記の休息時間であれば戦略Aを先に行ったことによる戦略Bへの疲労の影響は小さいと考えられる。先行研究(小野寺・宮下, 1976)を参考に、各区間の終了直後に主観的な努力度を記録した。

3. 結果および考察

(1) 戦略A(立案ペース)と戦略B(一定ペース)の比較

表4は、AとBのパフォーマンスを比較したものである。走行時間は、AがBよりも16秒速かった。一方で、パワーや心拍数は両戦略間でほぼ同等の値であった。また総仕事量は、AがBより4.5kJ(1.7%)低値であった。

表 4. 両戦略における各項目の平均走行データ

	時間 (min' sec)	速度 (km/h)	パワー (W)	心拍数 (bpm)	仕事量 (KJ)
戦略A(立案ペース)	21' 48	28.1±15.4	204±37	177±7	266.4
戦略B(一定ペース)	22' 04	27.8±15.4	205±30	178±6	270.9
戦略A-戦略B	-16	0.3	-1	-1	-4.5

総仕事量ではAがBより低値であったにも関わらず、タイムは16秒速いという結果であった。このタイム差を距離に換算すると約130mという大きな差である。AとBとで平均値ではほぼ同様のパワーを発揮していたにも関わらず、区間の特徴を踏まえてペース戦略を最適化することで、選手のパフォーマンス（順位）は左右されると言える。

表5は、周回コースを5区間に分けた時のAとBのパフォーマンスを比較したものである。平坦の区間④では、AがBよりもパワーおよび速度において高値を示していた。上りである区間②と区間⑤では、パワーと速度はほぼ等しかった。しかし、下りの区間①と区間③では、AはBよりもパワーは低く、速度は等しい値であった。これらの結果より、AはBよりも、平坦地では努力度を高くし、上りでは同等で、下りは低く走行するという戦略が実行できていたことが確認できた。その結果、平坦の区間④ではAがBよりも30W高く出力することができ、速度も1.7km/h速く走行することができた。

表 5. 両ペース戦略における区間ごとの走行データ

		区間①: 下り	区間②: 上り	区間③: 下り	区間④: 平坦	区間⑤: 上り
時間 (秒)	戦略A	256	218	113	194	527
	戦略B	258	222	113	203	528
	戦略A-戦略B (%戦略B)	-2 (99.2%)	-4 (98.2%)	0 (100%)	-9 (95.6%)	-1 (99.8%)
速度 (km/h)	戦略A	42.8	15.5	46.2	37.5	19.0
	戦略B	42.4	15.2	46.2	35.8	18.9
	戦略A-戦略B (%戦略B)	0.4 (100.9%)	0.3 (102.0%)	0 (100%)	1.7 (104.7%)	0.1 (100.5%)
パワー (W)	戦略A	189	206	170	225	209
	戦略B	203	204	202	195	210
	戦略A-戦略B (%戦略B)	-14 (93.1%)	2 (101.0%)	-32 (84.2%)	30 (115.4%)	-1 (99.5%)
心拍数 (bpm)	戦略A	169	176	179	186	178
	戦略B	170	176	182	180	181
	戦略A-戦略B (%戦略B)	-1 (99.4%)	0 (100%)	-3 (98.4%)	6 (103.3%)	-3 (98.3%)
仕事量 (KJ)	戦略A	48.4	44.9	19.2	43.7	110.1
	戦略B	52.4	45.3	22.8	39.6	110.9
	戦略A-戦略B (%戦略B)	-4.0 (92.4%)	-0.4 (99.1%)	-3.6 (84.2%)	4.1 (110.4%)	-0.8 (99.3%)

表6には、5つの区間でのAとBの主観的な努力度と内省報告を示した。区間①、③ではAはBと比較して努力度が低値であった。内省報告においては、Bの方がより疲労を感じている様子がうかがえた。この要因は、戦略Aでは下りに対して体力を温存することができていたことが影響しているものと考えられる。またBでは、身体を休める時間帯がなくパワーを出力し続けることできつさを感じているので、戦略の差が最後の区間の内省の差に表れているのかも知れない。

表 6. 両ペース戦略における主観的な努力度と内省報告

		区間①: 下り	区間②: 上り	区間③: 下り	区間④: 平坦	区間⑤: 上り
戦略A	努力度	14	16	16	17	18
	内省報告	楽に走行できた	無理しすぎないように走れた	次の平坦に備えられた	ほぼ全力で走行した	最後までいいペースで走行できた
戦略B	努力度	16	16	17	17	18
	内省報告	しっかり踏んだから、序盤なのに疲れた	区間①よりはパワーが出しやすかった	また踏まなければならず戦略Aよりきつい	すでに疲れた状態で走行した	ギリギリで走行した

以上のことから、Aのような戦略はアップダウンを含む周回コースにおいて、パフォーマンスをより高める上で効果的なペース戦略であると考えられた。しかしながら、表5の区間①、③について、パワーに差があるにも関わらず速度が同等であることから、Bが無駄なパワーを発揮しすぎており、Aが優れるというよりBが劣るという見方も想定されたり、風などの環境条件の影響である可能性も考えられる。この点について、実走条件での厳密な条件統制を行って比較検討をすることは現段階では難しく、研究の限界であると考えられる。

V. 本研究の総括と今後の課題

以上をまとめると、アップダウンを含む周回コースにおいて最良のパフォーマンスを発揮するためには、1周を通して一定の努力度での走行を仮定した際の出力を基準とした時に、平坦地および上り下りの緩斜面の区間では相対的により努力度を高めて走行すること、上り区間では先の基準を超えない出力で走行すること、そして下り区間では、コーナーのきつさがペダリングを維持できるほど緩やかか、または足を止めてコーナーリングに集中しなければならないほどなのかを判断し、さらに速度を維持できる場合には足を休めることが有利と考えられた。

これまでではできるだけ一定の出力を維持するような戦略や、傾斜に応じて出力を変えるような指導をされてきたが、それらが経験則にのみ頼って行われているのに対し、本研究ではなぜ緩斜面で出力を高めるべきなのか、などという疑問に根拠を提示することができたという点で価値があると考えられる。そして実際に、このような戦略を実行してみると、全区間を平均した場合に同等のパワー発揮であっても、平均速度はより速くできることが示唆された（表4）。

今後の課題としては、以下の点があげられる。本研究では対象者が1名であった。また設定した周回コースも1種類であった。特にコースに関しては、平坦がほとんどないようなコースも設定される可能性があることから、本研究の知見をそのまま当てはめることは注意が必要である。今後は他の複数の選手が、様々な周回コースにおいて、本研究で提案したようなペースで走行した場合に、本研究と同様の効果が得られるのかを検証することが必要である。

また、本研究の問題点として、研究2の検証を同日に行ったことがあげられる。休息をとり、結果的に平均パワーが同程度であったとは言え、先に行った試技の影響が後の試技になかったことは断言できず、本来は別日のできるだけ気象条件が整った中で検証すべきであったと考えられる。しかしながら、実際のレースでは少なくとも6周以上は連続して走行するため、本研究で採

用した休息時間であれば疲労の影響は小さいと考えられる。特にBで設定よりもパワーが下回った区間があった点については、サイクルコンピューターに表示されるリアルタイムのパワー値を確認しながらの設定パワーの再現に限界があったためであると考えられる。

VI. まとめ

自転車ロード競技において、アップダウンのある周回コースで最良のパフォーマンスを発揮させるペース戦略を検討するために、距離 10.2km、獲得標高 162.9m の起伏のある周回コースで、大学自転車競技選手 1 名による事例的な検証を行った。

研究 1 では基礎的なデータの収集として、6 つの異なる努力度でコースを走行し、勾配との関係を検討した。その結果、速度を 1km/h 向上させるのに必要なパワーは、平坦区間が最も低く、上りや下り区間では、傾斜がきつくなるほど高値を示す傾向にあった。

研究 2 では、以上の結果をもとに、平坦、上り、下りに応じて努力度を変える「戦略 A」と、先行研究で推奨されている一定出力の「戦略 B」とで実際の走行を行い、パフォーマンスを比較した。その結果、平均発揮パワーはほぼ同じであったにもかかわらず、戦略 A では 21 分 48 秒、戦略 B では 22 分 4 秒と、A のほうが 16 秒速いタイムであった。また主観的運動強度や内省報告からも戦略 A の優位性がうかがえた。

以上の結果から、起伏のあるコースではその特性に応じ、努力度を変えて走行することによりパフォーマンスを改善できる可能性が示唆された。

VII. 参考文献

- ・ Albertus Y, Tucker R, Gibson A St C, Lambert E, Hampson D B and Noakes T D (2005) Effect of distance feedback on strategy and perceived exertion during cycling. *Med Sci Sports Exerc.* 37(3):461-468.
- ・ 藤井徳明 (2008) ロードバイクの科学. スキージャーナル株式会社. p.25.
- ・ Katch V, McArdle W and Katch F (2017) 運動生理学大辞典. 西村書店. p.265.
- ・ 小野寺孝一, 宮下充正 (1976) 全身持久力における主観的強度と客観的強度の対応性; Rating of perceived exertion の観点から. *体育学研究.* 21:191-203.
- ・ 高嶋渉, 前川剛輝 (2010) 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.* 22(4):331-338.
- ・ Racinais S, Periard J D, Karlsen A and Nybo L (2015) Effect of heat acclimatization on cycling time trial performance and pacing. *Med Sci Sports Exerc.* 47(3):601-606.
- ・ Thomas K, Stone M R, Thompson K G, Gibson A St C and Ansley L (2012) The effect of self-even-and variable-pacing strategies on the physiological and perceptual response to cycling. *Eur J App Physiol.* 112:3069-3078.