

研究報告

山岳丘陵コースにおける持久性運動（サイクリング）の エンジェティクス

学習院大学文学部教育学科 佐藤 陽 治
学習院大学計算機センター 横山 悦 郎
学習院大学理学部数学科 渡辺 一 雄
大阪体育大学 梅林 薫

目的

筆者らは、従来より種々の運動及び身体活動のエネルギー源に関心を持っている。近年とりわけ脚光を浴びつつある自転車走行時のエネルギー源および消費カロリーは、平地ではある程度把握されているものの、山岳丘陵などの登坂時のデータ並びに研究は少ない。

平地での自転車及び歩行、走行の消費エネルギーは、そのスピードを基準として「RMR (Relative Metabolic Rate)」や「Mets (Metabolic equivalents)」などの指標で、ある程度正確に把握することが可能である。しかし、アップダウンの多いコースでの自転車走行はアップ時の自転車変速器（ギア）の使用段階でそのエネルギー消費量が異なると予測されること、歩行及び走行時においても一般的に使用されている歩数計では、体重を変数要因に入力することが一般的で、ある程度の正確性を担保しているもの、歩幅、速度などにより変動し正確性を欠いていることが予測される。そこで本研究では、サイクリングにおいてはGPSを用いてルート的高低差を把握するとともに、心拍数をモニターすることにより逐次の運動強度とエネルギー消費量を精度を上げて把握することを目的としている。また、個人の体力データ（最大酸素摂取量）と登坂時の逐次心拍数（酸素消費量）とルートデータの3変数でエネルギー消費量を把握するモノグラムを作成することも可能となる。

方法

自転車走行時の速度、距離、運動（走行）中の心拍数を計る機材には、(株)ポラール・エレクトロ・ジャパン (POLAR) 社製「Polar Pro Trainer 5」を用いた。GPS情報は、「Polar Pro Trainer 5」とGARMIN社製「GPSMAP 60CSx」の併用で計測した。走行中の状況をモニターするため伴走車で追跡し、Go Pro社製「Hero」で必要に応じて撮影した。

実験地は静岡県伊豆半島の下田から河津を経て天城峠までの登坂コースと栃木県奥日光光徳から金精峠まで登坂し菅沼までのダウンヒルコースの2コースで実施した。被験者は前者が3名、後者が2名、計5名であった。

静岡県伊豆半島の下田から河津を経て天城峠までの登坂コースは、距離27.1km、標高差約680m、

栃木県奥日光光徳から金精峠まで登坂し菅沼までのダウンヒルコースは、距離 17.1km、最低地（奥日光光徳）標高、1371m、最高地（金精峠）標高、1798m、標高差、427m であった。

結果 及び 考察と今後の展開

今回の一連のフィールドワークでは5つのデータが得られたが、例数がまだ足りず統計的処理には不十分なのでここでは両コースに参加した被験者のデータの内、金精峠越えのデータを「Table 1」に示す。

Table 1 Cycling Data over the Mountain Pass of Konnsei : Subject A

items	values	units
Duration	85	min.
Sampling Rate	15	sec
Energy Expenditure	590	kcal
Number of Heart Rate	9036	beats
Recovery	3	beats
Minimum Heart Rate	71	bpm
Average Heart Rate	106	bpm
Maximum Heart Rate	143	bpm
Standard Deviation	21.3	bpm
Minimum Speed	5.3	km/h
Average Speed	14.1	km/h
Maximum Speed	48.8	km/h
Distance	17.1	km
Minimum Altitude	1371	m
Average Altitude	1587	m
Maximum Altitude	1798	m
Ascent	535	m
Descent	257	m
Slope	2	times
Grade %	1.7	%
VAM	378	m/h

走行時間は、1時間25分。走行距離は、21.3（km）。心拍数のモニター間隔は、15秒。エネルギー消費量は、590（kcal）。活動中の心拍数は平均106（bpm）（n：9036、s.d.：21.3）、最高心拍数143（bpm）、最低心拍数71（bpm）であった。

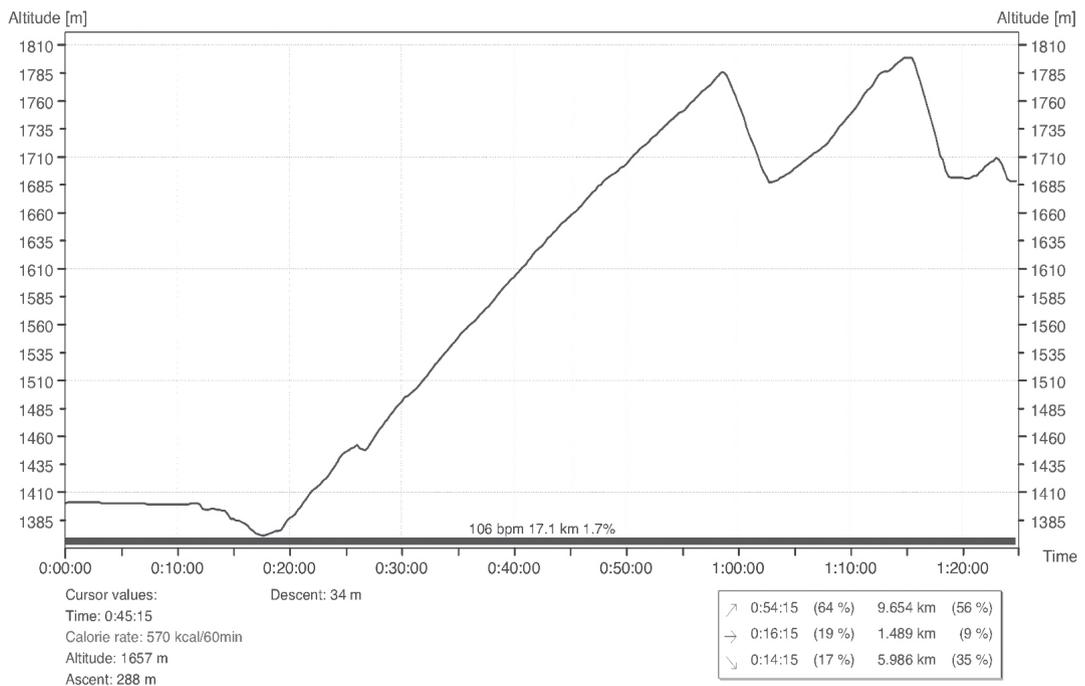
自転車の平均速度は、14.1（km/h）、最高速度は48.8（km/h）、最低速度は5.3（km/h）であった。ルートスタート地点（奥日光光徳）と最高標高地点（金精峠）の標高差は427（m）であった。

「被験者（subject）A」のプロフィールを「Table 2」に示した。被験者の最大酸素摂取量（Maximum Oxygen Uptake）は現時点では、自転車エルゴメーターによる簡易的値である。

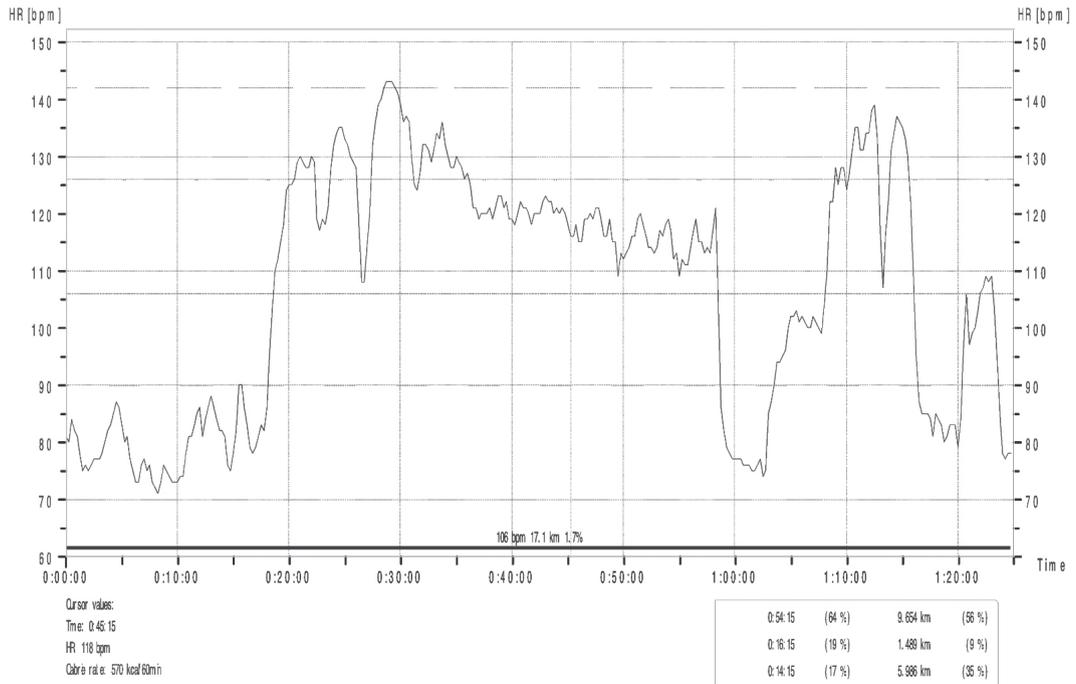
Table 2 Profile of Subject A

items	values and so forth	units
Sex	Male	
Age	56	yrs
Height	182	cm
Weight	72	kg
Maximum Oxygen Uptake	55	ml/kg/min

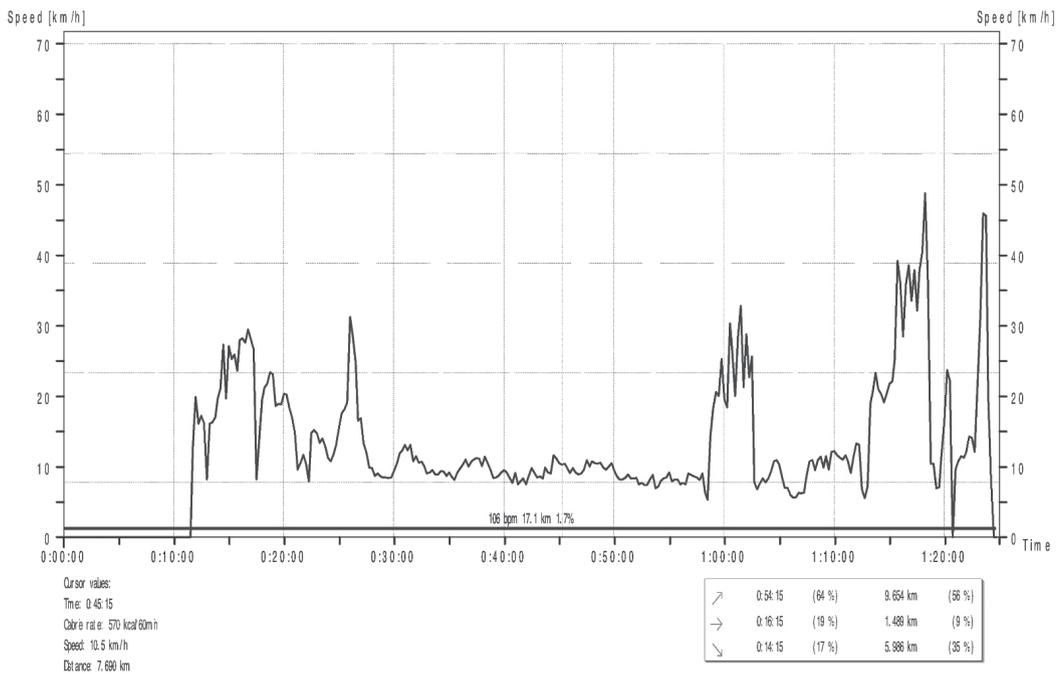
「Fig.1」にルートの標高推移、「Fig.2」に、心拍数の推移「Fig.3」に自転車速度の推移を示した。



「Fig.1」 Altitude



〔Fig.2〕 heart Rate



〔Fig.3〕 Speed

〔Fig. 1〕は、自転車走行時の標高であり、被験者 A は、金精峠のトンネル前で一旦反転して途

中（1690m 付近）まで下り、再び登坂しトンネルを抜け最高到達点に至り菅沼まで下ったことが分かっていてる。

「Fig.2」の心拍数の推移からは、登坂時は一気に拍動が高まり、乱高下を幾度か経て、120 (bpm) 付近で落ち着いていることが分かる。速度も多少の増減はあるもの 107 (m/s) 付近で落ち着いていることから（「Fig.3」）、今回の勾配、被験者の体力、環境での定常状態（Second Wind）は心拍数にして 120 (bpm) の強度であったと推察される。心拍数を基にしたカルボネン法（Karvonen Formula）による運動強度の推定では、次式より、

$$\begin{aligned} \text{「運動強度」} &= (\text{心拍数} - \text{安静時心拍数}) \div (\text{最大心拍数} - \text{安静時心拍数}) \times 100 \\ * \text{「最大心拍数」} &= 220 - \text{「年齢」} \\ * \text{「安静時心拍数」} &= 60 \end{aligned}$$

約 58% HR max（最大運動強度の 58% 負荷）に当たり、継続できる有酸素運動の最大値と呼ばれるいわゆる無酸素性作業閾値（AT：Anaerobic Threshold）であるといわれる 50-70% HR max の範囲に収まっている。しかしながら、被験者の内省では、被験者は山岳登坂自転車競技に頻繁に参加する持久性競技者であり年齢を考慮しても今回の登坂時の心拍数は多少低いような印象であり、ペース及び心拍数はもう少し高い可能性があると思われる。今回簡易的に推測した最大酸素摂取量（55 ml/kg/min）の呼気ガス分析による精査も必要である。

「Table 3」は、当該被験者の自転車走行ペース（1 km 走行に費やした時間）である。

Table 3 Bicycle Pace over the Mountain Pass of Konsei

items	values	units
Average Pace	4:15	min/km
Maximum Pace	1.13	min/km
Minimum Pace	11:19	min/km
Distance	17.1	km

「Table 3」より、この勾配での登坂時のペースは 1 km 当たり 11 分 19 秒ペースであり、この勾配（平均）での AT 水準ということになる。いずれにしても、平地及び勾配別の AT および最大酸素摂取量の精査とデータ数の蓄積が必要となろう。今後の課題である。

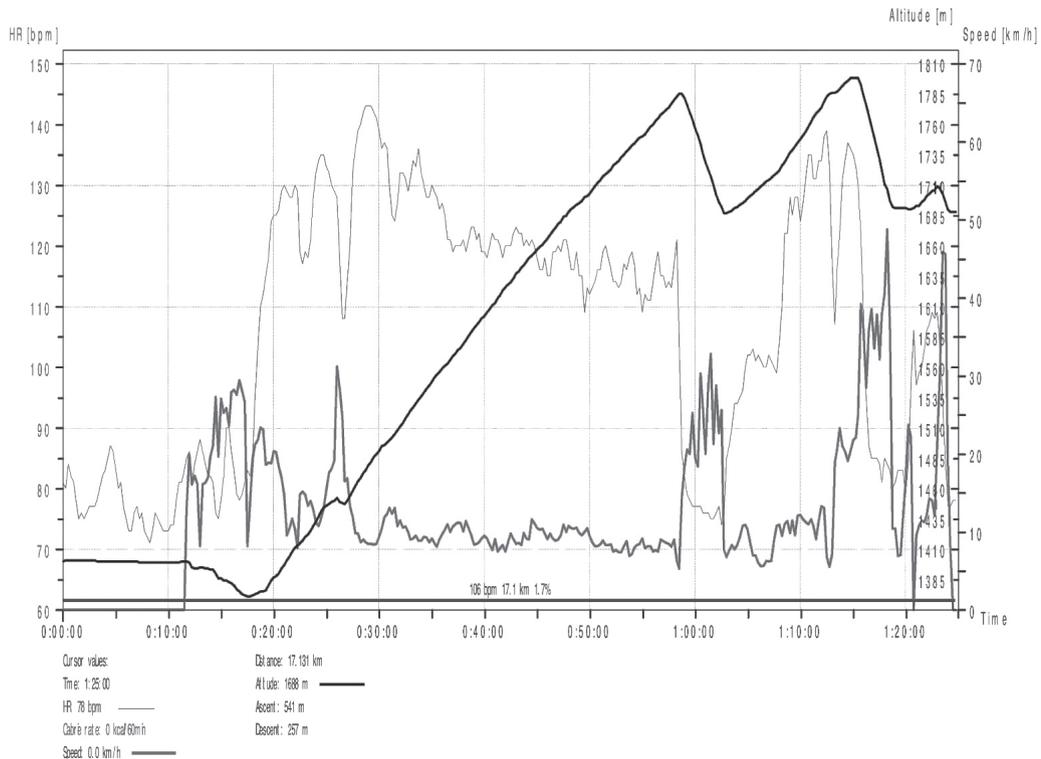
このルートでの消費エネルギーは、「Table 1」より 590 (kcal) であり、次式の「MET s」によるエネルギー消費量の計算式より、今回のルートでの MET s 指数は、約 6 (5.8) METs となる。

$$\text{「エネルギー消費量」} = \text{「METs' Index」} \times \text{「Weight (kg)」} \times \text{「Time (hour)」}$$

巻末に提示した「Table 4」は、自転車運動にともなうエネルギー消費量の目安となる「MET s」の表である。

「Table 4」に当てはめれば、通勤、自分の選んだペース、ほどほどの速さ、非舗装道路や農道、レジャー、15.1 (km/h) などに該当するが、あくまでこれは平地での値に敷衍すると仮定した場合の値であり、今回のルートは坂道登坂は考慮していない。勾配とペース、エネルギー消費量の解明、精査が必要になる所以である。

最後に、今回のルート（勾配）と心拍数、スピード（ペース）の関係を「Fig. 4」に総括する。同一表上、ピークの一番高いのが標高、次が心拍数、一番ピークの低いのがスピードである。基本的に、「Fig. 1」、「Fig. 2」及び「Fig. 3」の合成である。登坂とともに心拍数が上昇し、スピードが遅くなるのは自明だが、勾配の漸増に伴い心拍数とスピードが一定水準で落ち着くことが分かる。この区間に AT に到達している可能性があるが、精度を高めるにはラボラトリー実験により最大酸素摂取量と AT 水準強度の精査が必要である。



「Fig. 4」 Relationship among Heart Rate, Altitude and Speed

Table 4 Energy Expenditure from Index of METs List

METs Indexes	Condition
14.0	bicycling, mountain, uphill, vigorous
16.0	bicycling, mountain, competitive, racing
8.0	bicycling, BMX(motocross)
8.5	bicycling, mountain, general
4.0	bicycling, less than 16.1 km/h, leisure, to work or pleasure
6.8	bicycling, to/from work, self selected pace
5.8	bicycling, on dirt or farm road, moderate pace
7.5	bicycling, general
3.5	bicycling, leisure, 8.9 km/h
5.8	bicycling, leisure, 15.1 km/h
6.8	bicycling, 16.1-19.2 km/h, leisure, slow, light effort
8.0	bicycling, 19.3-22.4 km/h, leisure, moderate effort
10.0	bicycling, 22.5-25.6 km/h, race or leisure, fast, vigorous effort
12.0	bicycling, 25.7-30.6 km/h, race/not drafting, or drafting less than 30.6 km/h, very fast,
15.8	bicycling, more than 32.2 km/h, racing, not drafting
8.5	bicycling, 19.3 km/h, seated, 80 rpm hands on brake hoods or bar drop
9.0	bicycling, 19.3 km/h, standing, hands on brake hoods, 60 rpm
METs Indexes	Condition