

簡易エネルギー消費推計法を用いた 自転車走行空間の健康便益に関する比較実験

野竹 壮一郎¹・吉田 長裕²・日野 泰雄³・内田 敬³・木村 穰⁴

¹学生会員 大阪市立大学大学院 工学研究科 (〒558-8585大阪市住吉区杉本3-3-138)
E-mail: notake@plane.civil.eng.osaka-cu.ac.jp

²正会員 大阪市立大学大学院 工学研究科
E-mail: yoshida@plane.civil.eng.osaka-cu.ac.jp

³正会員 大阪市立大学大学院 工学研究科

⁴非会員 関西医科大学 医学部 (〒570-8506守口市文園町10-15)

近年、諸外国では、自転車利用が健康に効果のあることが報告されており、わが国でも健康志向の高まりに伴って、適度な身体活動であり、環境負荷の小さい移動手段である自転車利用に注目が集まっている。わが国では自転車の歩道走行が常態化しており、低速の自転車利用では健康によいとは考えにくい。車道を前提とした空間整備が進むことによって健康便益を得られる可能性がある。

本研究では、低速の歩道走行から高速の車道走行に変わることによる消費エネルギーの違いに着目し、実験室実験と、実道路走行実験により、心拍数を用いて消費エネルギーを推計した。その結果、低速の歩道走行時よりも高速の車道走行時の方が単位時間当たりの消費エネルギーは大きくなる一方で、走行空間の違いによっても違いのあることがわかった。

Key Words : health, bicycle path conditions, heart rate, consumption energy

1. はじめに

近年、生活習慣病の増加が目立つようになってきた。厚生労働省の発表では、日本の国民医療費は年々増加しており、平成16年度の国民医療費は32.1兆円であるが、その中で生活習慣病に関する医療費が10.4兆円である。これは全体の約3分の1を占めている¹⁾。生活習慣病の予防の一つである身体活動に対する関心が高まっている。

一般に、適度な身体活動をとる自転車利用は健康によいと考えられており、健康志向の高まりとともに、環境に対する負荷も小さいことから自転車利用に注目が集まっている。

現在、自転車走行空間の整備が進められており、自転車の走行場所が現在の対面通行の歩道走行から、一方通行の車道走行も可能になり、自転車の高速走行が期待できる。また、これらのネットワーク整備により、通勤通学者の交通手段が自動車から自転車へ、末端交通手段から代表交通手段としての利用に転換することで、長時間の高速走行により健康便益を得られる可能性がある。

しかし、現在の自転車利用状況は、都市部では軽車両である自転車の歩道走行が常態化している。歩道は歩行

者優先のため、自転車は低速で走行しなければならない。また、現状の自転車利用は、大部分が5km圏内であるが、1km以内の移動が約7割にも及び、移動距離の短い末端交通手段としての利用が多くなっている²⁾。我が国の自転車利用では健康に効果があるとは考えにくい。そこで、本研究では、低速の歩道走行から高速の車道走行に変わることによる健康便益への影響を実走行実験により、分析することを目的とする。

2. 本研究の位置づけ

自転車利用による健康便益評価に関する研究分野は、大きく疫学分野とスポーツ科学分野に分けられる。

あるレベルで運動を行っている人の群とそれと異なったレベルで運動を行っている人の群を比較し、心筋梗塞、癌、糖尿病といった病気による死亡率やBMI、体脂肪、コレステロール値がどの程度減少するかを調べる疫学的研究ではPaffenbarger, R. S.ら³⁾は運動による消費カロリーが増加するほど死亡率は減少し、一週間に運動で2000kcal以上消費する人は、それ以下の運動量の人と比

べて死亡率は1/3～1/4低くなると報告している。これに基づき、歩行に関しては「1日1万歩」（週当たり2000 kcal）の歩数を確保することで、総死亡率の低下だけでなく冠動脈疾患・高血圧症の発症率の低下につながる事が示されている⁴⁾。自転車走行に関しては、コペンハーゲンで自転車をよく使う人（14km/hの速度で週3時間走行）が病気により死亡する確率は自転車を使わない人の0.72倍であるとしている⁵⁾。WHO-Europeは調査対象地区の（想定）自転車走行距離を上記のコペンハーゲンの自転車をよく使う人の自転車走行距離と比較することにより、死亡リスク減少分を計算し、健康促進効果を考慮した費用便益分析のツール(HEAT for cycling)を開発した⁶⁾。

一方スポーツ科学の分野では健康便益を得るために、運動量だけでなく運動強度についても明確にしている。アメリカスポーツ医学会(ACSM)の運動処方ガイドライン⁶⁾では、健康便益を得るためには最大心拍数の65-90%の運動強度で20分以上、少なくとも週3回の運動としており中強度以上の運動が必要であるとしている。また、自転車走行時の運動のメカニズムを明らかにし、その運動による効果を検証してきた。例として歩行運動よりも自転車運動の方が血糖値を下げる効果が高く糖尿病に効果的であるとしている⁷⁾。

交通計画、土木計画学の分野では、交通と健康の関係を扱ったものとして、村田ら⁸⁾は既往研究をレビューし、日常的に身体行動が伴う交通手段を選択・実行することで、健康状態の向上に繋がる可能性が高いことを示している。谷口ら⁹⁾は行動群ごとに歩行量を推定し、歩行量増加のための行動変容の可能性を検討した。また、塚口ら¹⁰⁾は実際に消費エネルギーを計測し、歩行状態の違いによる影響を調査した。

以上のように歩行者を対象とした研究は既に行われているが、自転車走行を対象とした研究はそれほど多くはない。とくに、自転車走行は歩行と比べて、速度変化や勾配による影響が大きく、また信号停止による運動の中断の影響も大きいと考えられることから、ネットワークをはじめとする走行空間の整備の仕方が自転車の走行の仕方を規定する。したがって、上記のWHO-Europeのような自転車走行距離による比較では、走行空間の違いによって運動量は大きく異なり正確な健康便益の評価が行えていない可能性がある。したがって、我が国においてより正確な健康便益を評価するためには、走行状態を変化させ、実交通条件に近い状態で評価する必要がある。

3. 研究方法

(1) 研究のフロー

実験室で被験者ごとの心拍数と消費エネルギーの関係

を表す回帰式を求め、これを用いて実際に走行したときの心拍数から、消費エネルギーを推定する。図-1に研究のフローを示す。

本研究では、Paffenbarger, R. S.ら³⁾による消費エネルギーが増加するほど相対的に死亡率は減少するとの知見にしたがって、消費エネルギーが増加すると健康になると仮定する。また、自転車走行空間と速度の変化による消費エネルギーへの影響に着目する。以下の手順で行う。①低速での歩道走行時と高速での車道走行時の消費エネルギーを比較する。②走行空間ごとに心拍数増加の影響要因を分析する。

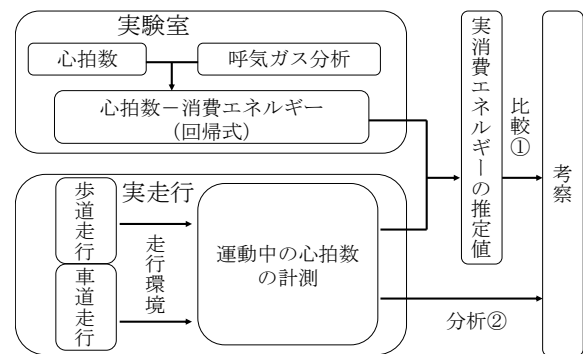


図-1 研究のフロー

(2) 消費エネルギーの推定方法¹⁰⁾¹¹⁾

エネルギー消費量の測定は、間接熱量測定法を用いる。これは、呼気ガス分析を行い、酸素消費量と炭酸ガス産出量を求め、間接的にエネルギー消費量を算出する方法である。その他の方法として、呼気ガス分析機を実際の走行中に行うことも考えられるが、被験者への負担が大きく、消費量の測定誤差も大きくなる傾向があるため、間接法を用いることとした。

上記の測定は、実験室で行い、交通場面では心拍数のみを測定する。そして、実測の心拍数と、実験室で得られた心拍数と消費エネルギーの関係を表す回帰式から消費エネルギーを推定することとした。

エネルギー消費量を求める手順は以下のとおりである。

①実験室において、被験者に身体的負荷変化を与えながら、肺換気量と吸気呼気の酸素、炭酸ガス濃度を測定し、同時に心拍数を測定する。

②呼気ガスを分析し、以下のようにして身体エネルギー負荷を表す消費量を算出する。

本研究で用いる身体エネルギー消費量の単位は、安静時の体表面積1m²当たりの仕事量で表し、これを1METSと定義する。次式で示す。

$$1[\text{METS}] = \text{被験者ごとの安静時消費量} [\text{W/m}^2]$$

したがって消費量は次式で求められる。

$$\text{消費量} [\text{METS}] = \frac{\text{産熱量} [\text{W}] / \text{体表面積} [\text{m}^2]}{\text{被験者ごとの安静時消費量} [\text{W/m}^2]}$$

ここで、

$$\text{産熱量} = f_1 (\text{呼気CO}_2\text{量, 吸気O}_2\text{量, 呼気時間, 吸気時間})$$

$$\text{体表面積} = f_2 (\text{体重, 身長})$$

上記の各変数を次のように定義する。

Y: 消費量[METS], X₁: 産熱量[W], X₂: 体表面積[m²],
X₃: 被験者ごとの安静時消費量[W/m²],
X₄: 呼気CO₂量[l/h], X₅: 吸気O₂量[l/h],
X₆: 呼気時間[h], X₇: 吸気時間[h], X₈: 身長[cm],
X₉: 体重[kg], X₁₀: 呼吸商[ND.]

実験によって直接求められる値はX₃, X₄, X₅, X₆, X₇, 事前の測定で得られる値はX₈, X₉である。人の産熱量は、糖質と脂質における化学的な燃焼熱と酸素消費量の積によって求められ、糖質と脂質における燃焼熱は、以下の式で求められる。

$$\begin{aligned} \text{糖質と脂質における燃焼熱[kcal/l]} \\ = 3.815 + 1.232 \times X_{10} \end{aligned}$$

呼吸商はO₂消費量に対するCO₂産出量の比である。

$$X_{10} = (X_4 X_6) / (X_5 X_7)$$

したがって、産熱量は上記の燃焼熱に吸気酸素量を乗じて以下ようになる。

$$\text{産熱量} X_1 [\text{W}] = (3.815 + 1.232 X_{10}) (X_5 X_7) / 1.163$$

一方、体表面積は

$$\text{体表面積} X_2 [\text{m}^2] = 71.84 X_9^{0.425} X_8^{0.725} / 10000$$

と表わすことができる。

よって、最終的に身体エネルギー消費量は

$$\begin{aligned} \text{消費量} Y [\text{METS}] &= X_1 / X_2 X_3 \\ &= (3.815 + 1.232 X_{10}) (X_5 X_7) / 1.163 \\ &\quad / (71.84 X_9^{0.425} X_8^{0.725} / 10000) / X_3 \end{aligned}$$

として求められる。

- ③被験者ごとに、心拍数と消費量の関係を表す回帰式を求める。
- ④様々な交通場面で心拍数を測定し、これを③で求めた回帰式に代入することで、その交通場面での消費量を推定することができる。

4. 実験室での測定

(1) 実験概要

関西医科大学附属枚方病院・健康科学センターで心肺運動負荷試験(CPX)に基づいて、被験者に徐々に負荷のかかる自転車エルゴメーターを限界までこいでもらい、経過ごとの心拍数と呼気ガスを分析した。実験は2011年1月および2月に実施した。被験者は20歳代前半の8人の男子大学生であり、これらの被験者は後述する実際の交通場面の実測の被験者でもある。表-1に各被験者のプロフィールを示す。

表-1 各被験者のプロフィール

| 被験者 | 年齢 | 性別 | 実験室における測定実施日 | 実験室内温度(°C) | 身長(cm) | 体重(kg) | 体表面積(m ²) | BMI | 体脂肪率(%) |
|-----|----|----|--------------|------------|--------|--------|-----------------------|------|---------|
| A | 22 | 男 | 2011/1/7 | 23.3 | 172.2 | 67.1 | 1.7941 | 22.6 | 17.0 |
| B | 23 | 男 | 2011/1/7 | 23.4 | 176.5 | 60.1 | 1.7429 | 19.3 | 16.2 |
| C | 24 | 男 | 2011/1/11 | 25.7 | 172.8 | 67.0 | 1.7975 | 22.4 | 20.6 |
| D | 23 | 男 | 2011/1/11 | 25.2 | 181.8 | 84.0 | 2.053 | 25.4 | 23.3 |
| E | 22 | 男 | 2011/1/14 | 22.5 | 167.6 | 63.1 | 1.7139 | 22.5 | 18.4 |
| F | 23 | 男 | 2011/1/14 | 23.0 | 166.1 | 53.2 | 1.5836 | 19.3 | 14.5 |
| G | 22 | 男 | 2011/1/15 | 21.9 | 163.8 | 74.2 | 1.8058 | 27.7 | 29.3 |
| H | 22 | 男 | 2011/2/5 | 25.9 | 176.0 | 56.0 | 1.6879 | 18.1 | 12.3 |

測定方法は、運動開始5分前に自転車エルゴメーターに座してもらい、運動開始後は50rpm(1分間に50回転)を目安にこいでもらった。運動開始後、まずウォーミングアップとして20Wの重さで4分間こいでもらい、それ以降は1分ごとに20W重さが上昇する状態で限界までこいでもらった。呼気ガス採集と心拍数の計測は運動開始5分前から運動終了後4分の間計測した。

(2) 心拍数と消費エネルギーの関係を表す回帰式

結果を示す前に心拍数の特性について説明すると、心拍数は心理的影響によって増加するが、この影響は安静時に強く働き、運動強度が高くなるにつれ、小さくなっていく¹²⁾。

図-2に各被験者の心拍数と消費エネルギーの関係を示す。実験室での実験は閉鎖環境で行ったので、被験者による緊張の度合いは異なるが、何らかの緊張を受けて安静時の心拍数は増加していると考えられる。そこで、安静時の心拍数を正確に求めるために回帰式は3次式を用いた。3次式は心臓が停止した際に身体エネルギー消費が0となるようになっている。運動中は心理的影響による心拍数の増加が小さいと考えられるので、運動中の心拍数は有意である。運動中は1次式がよく当てはまる¹³⁾ので3次式と1次式の交点を境にして、安静時から低強度までの運動を3次式で、低強度以降の運動は1次式で表すこととした。METS数とは運動時消費量が安静時消費量の何倍であるかを表し、消費エネルギー(kcal)はMETS数に体重(kg)、運動時間(h)、係数1.05をかけて求まる。心拍数は負荷時に通常見られる範囲内にあるが、被験者によって1次式の切片、傾きが異なり身体的特性による個人差の影響が少ない。しかし、各被験者においては、両指標間に明確な関係が得られているため、実際の交通場面において心拍数を測定しておけば、その被験者に関する自転車走行時のエネルギー消費量の推定値を求めることは可能であると考えられる。

5. 実走行実験

走行空間の異なる3つのルートを24インチのギアなし自転車で行き、同時に心拍数や速度を計測した。実施日は2010年11月下旬～2011年1月初旬の間に行った。

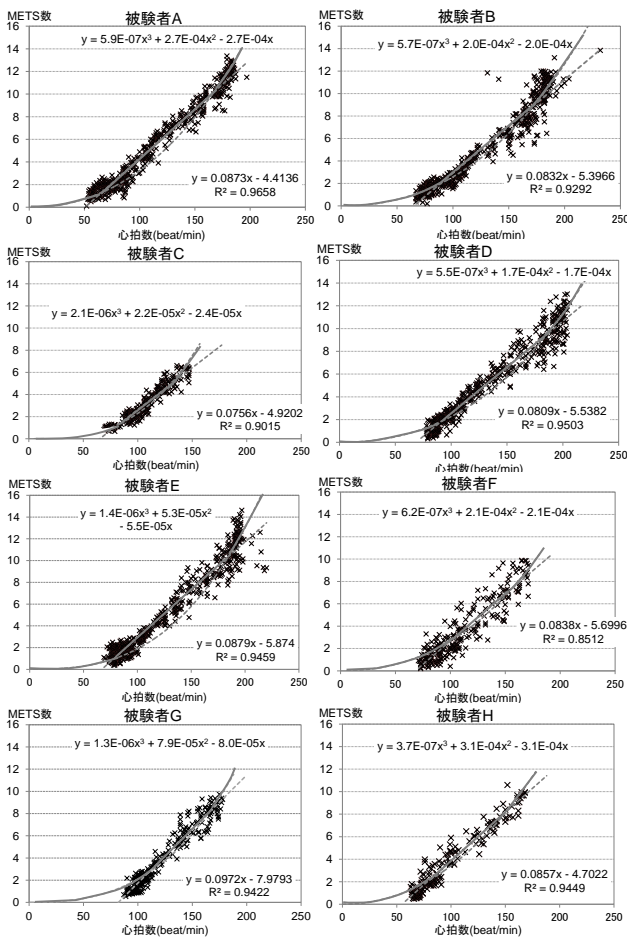


図-2 心拍数と消費エネルギーの関係を表す回帰式

国土交通省¹³⁾は5km以内の移動において、自転車はその手段よりも所要時間が短く、都市内交通として最も効率的な移動手段であるとしているので、全てのルート距離を約5kmとした。走行ルートの情報を表-2に示す。

ルート1は同じルートを5周する周回ルートである。このルートは坂・信号がないだけでなく、歩行者や自動車の交通量がかなり少ないので、心拍数を変動させる要因が少ない。ルート2は大型の自転車道があるルートであり、走行空間は欧米に近い。自転車道のみを走行する。ルート3は坂がほとんどなく、信号が多く、信号間隔が狭いルートであり、日本の都市部の走行空間に近い。このルートは、自動車交通量がルート1と比べてかなり多くなっている。速度は歩道：10~12km/h、車道：15~17km/hを目安に走行してもらった。心拍計(POLAR社製S810i)で心拍数を5秒間隔で計測し、ビデオカメラで信号停止時間・場所、走行位置を把握した。

表-2 走行ルートの走行場所と特徴

| | 走行帯 | 特徴 |
|------|-------|-------------|
| ルート1 | 歩道と車道 | 坂・信号なし |
| ルート2 | 自転車道 | 坂が多い、信号間隔広い |
| ルート3 | 歩道と車道 | 信号多い、信号間隔狭い |

6. 実験結果の比較・分析

(1) 消費エネルギーによる走行場所の比較

4章で求めた回帰式を用いて消費エネルギーを推定するが、安静時の消費エネルギーが含まれている。そこで安静時消費量=1METSであるので、本研究では運動時のみの消費エネルギーを求めるために1METSを差し引いて消費エネルギーを求めた。結果を図-3に示す。走行時の全消費エネルギーとそれを走行時間で割った単位時間あたりの消費エネルギー、およびルートごとの平均速度を示している。図-4はルート1,3のそれぞれの歩道走行前の安静時心拍数から車道走行前の安静時心拍数を引いた値を示している。+側は安静時心拍数が車道走行前よりも歩道走行前の方が高いことを示し、-側は安静時心拍数が歩道走行前よりも車道走行前の方が高いことを示している。

図-3よりルート1,3の歩道走行時、ルート1,3の車道走行時とルート2の自転車道走行時で速度差が大きい被験者もいるが、おおむね±1km/hの範囲内にあるので、速度差による影響はほぼないものとする。同じ速度であっても走行空間の違いによって、消費エネルギーは異なることがわかる。また、被験者によっても消費エネルギーは大きく異なる。

図-3よりルート1,3において歩道走行時と車道走行時の消費エネルギーを見ると、ほとんどの被験者で歩道走行時よりも車道走行時の方が大きくなった。しかし、被験者E,Gでは車道走行時よりも歩道走行時の方が大きくなった。図-4を見ると被験者E,Gはルート1での安静時心拍数の差が10beat/min以上あり歩道走行前の方がかなり高い。高速の車道走行時のように安静時に比べて負荷が大きい運動では安静時心拍数の上昇の影響はほとんどないが、低速の歩道走行時のように運動が安静時とそれほど変わらない場合には、安静時心拍数の上昇はそのまま運動中の心拍数の上昇につながる。そのため、被験者E,Gではルート1で車道走行時よりも歩道走行時の方が消費エネルギーが大きくなったと考えられる。被験者C,Fのルート1で消費エネルギーに差がほとんどないのも、歩道走行前の安静時心拍数が車道走行前と比べて高くなっていたためと考えられる。ルート3についても同様のことが考えられるが、ルート1と比べて、歩行者量・自動車交通量がともに多いので、後述する心理的影響が大きくなり、歩道と車道の消費エネルギーの大小関係が変化すると考えられる。

単位時間あたりの消費エネルギーを見ると、すべての被験者で歩道走行時よりも車道走行時の方が大きくなった。ルート1,3の車道走行とルート2の単位時間あたりの消費エネルギーの大小は、被験者ごとの信号停止時間・回数、心理的影響の度合いで異なっていた。

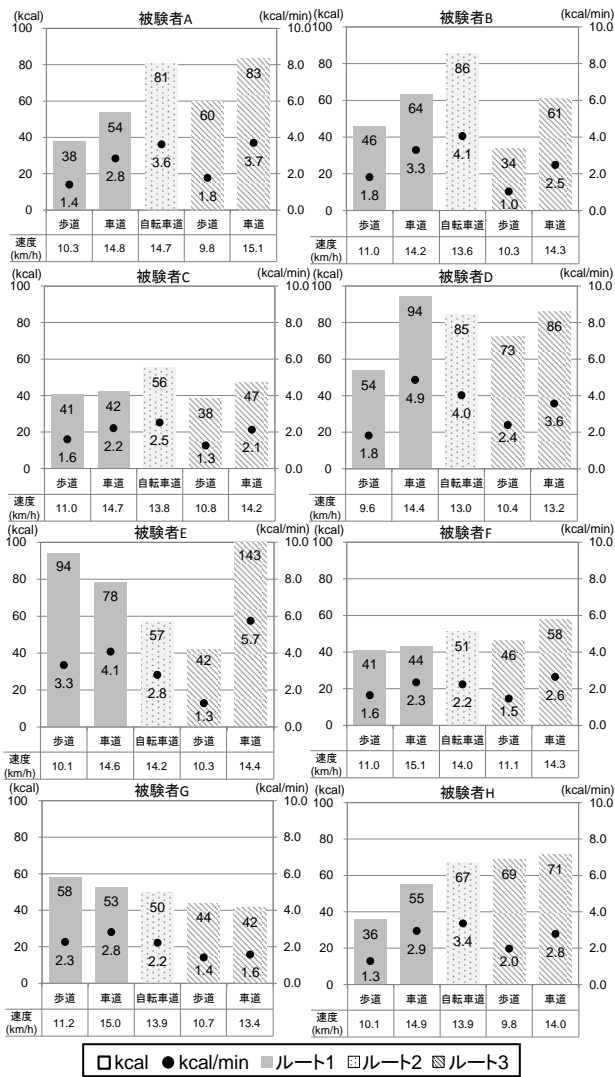


図-3 被験者ごとの消費エネルギーの比較

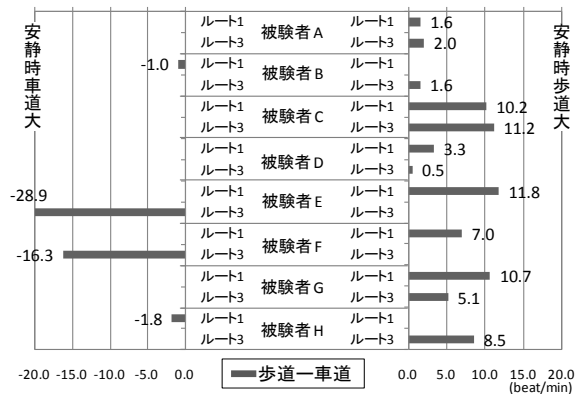


図-4 歩道走行前と車道走行前の安静時心拍数の差

(2) 心拍数の変動要因の分析

心拍数の変動が消費エネルギーを増減させているので心拍数の変動要因を調べた。解析手法として、目的変数に心拍数、説明変数に影響要因として、被験者ごとの走行時の5秒ごとのデータを、走行ルートごとに重回帰分析した。説明変数の経過時間とは、走行時間の長さによ

る疲労の影響を表す。また、信号停止による影響は速度変化であるので速度に含まれていると考える。ここでは、被験者 A の結果を表-3 に示す。

表-3 ルート(車道・自転車道)ごとの分析結果

| 変数名 | ルート1 | | ルート2 | | ルート3 | |
|--------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | 標準偏 回帰 係数 | t 値 | 標準偏 回帰 係数 | t 値 | 標準偏 回帰 係数 | t 値 |
| 速度 (km/h) | 0.27 | 4.364 ** | 0.24 | 9.304 ** | 0.28 | 6.251 ** |
| 経過時間(s) | 0.29 | 4.618 ** | 0.18 | 6.492 ** | 0.35 | 7.466 ** |
| 勾配 (%) | | | 0.76 | 27.212 ** | 0.42 | 8.854 ** |
| 定数項 | 72.81 | 21.587 ** | 81.79 | 52.424 ** | 85.06 | 55.034 ** |
| サン プル数 | 228 | | 270 | | 272 | |
| 重相関 係数 | 0.3766 | | 0.9071 | | 0.6927 | |

a) ルート毎の重相関係数

図-5 は被験者 A のルートごとの経過時間に対する心拍数の実測値と重回帰分析によって得られた予測値の変動を示している。重相関係数はルートごとで大きく異なっている(表-3)。速度変化、坂、及び信号がないルート1では、走行状態や走行空間が心拍数に与える変動は小さいにもかかわらず、心拍数は大きく変動している。これは心拍数が安静時や一定の運動中でも変動する(心拍数の特性による変動)ためや、後述する心理的影響のためであると考えられる。これらの変動の影響が大きくなり、重相関係数は低くなったと考えられる(図-5 左上)。また、ルート3では信号停止による心拍数の減少を説明できていないことや、信号停止時の心拍低下の影響が異なるために、重相関係数は低くなった(図-5 下)。ルート2は坂の影響で負荷変化が頻繁に起こり、心拍数の特性による変動の影響が小さくなり、重相関係数は高くなった(図-5 右上)。

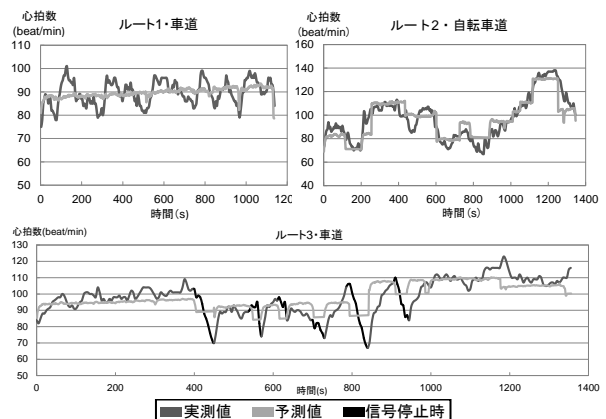


図-5 ルートごとの実測値と重回帰分析の予測値

b) 係数の評価

標準偏回帰係数の符号がすべて正であることから、心拍数は、速度、経過時間、勾配に比例して増加することがわかる(表-3)。また、ルート2やルート3のように勾配があるルートでは、係数のt値が最も大きく、心拍数の増加は勾配に大きく影響されることがわかった。

c) 心理的影響

ルート1は同じ場所を5周する周回ルートであるので、周回ごとの経過時間に対する心拍数と速度の変動を図-6に示す。ここでは被験者Aの結果を示す。ルート1は坂、信号がないルートであり、図-6からもわかるように顕著な速度変化がないので、心拍数は変動しないはずである。しかし、歩道走行時、車道走行時ともに同じ場所で心拍数が増減している。このような増減はほかの被験者でも見られた。歩道走行時では、被験者B, C, D, G, 車道走行時では、被験者B, C, Fが被験者Aと同様の場所で増減している。歩道では歩道幅員や歩道路面形状など、車道では車道幅員や自動車交通量などが心拍が変化する場所として挙げられる。これらによって被験者が心理的ストレスを受けたあるいは解消されたために、同じ場所で心拍数が増減したと考えられる。

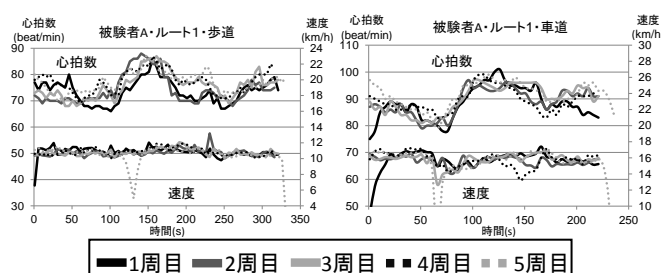


図-6 周回ごとの経過時間に対する心拍数と速度の変動

7. 研究のまとめと今後の課題

自転車走行は歩行と違い速度変化が大きく、坂の影響を強く受けるので、運動強度が頻繁に変化する。そのため、同じ走行距離であっても走行空間が異なることで消費エネルギーが大きく変動すると考え、本研究では、走行場所に注目し、低速の歩道走行から高速の車道走行に変わること消費エネルギーにどの程度影響を与えるかを検討した。

本研究では、走行空間の異なる3つのルートを走行してもらったが、同じ速度でも走行空間が違ふことで消費エネルギーは異なった。自転車走行時の心拍数は、速度に比例して増加する。また、一般的に速度上昇によって運動強度が大きくなれば、疲労の影響は大きくなる。したがって、走行空間によらず、低速での歩道走行よりも高速での車道走行の方が、心拍数は増加し、単位時間あ

りの消費エネルギーも増加し、効率的にエネルギーを消費することができることがわかった。

今後の課題としては重相関係数が低いルートもあり、影響度を正確に表せていないので、今後、心理的影響も含めた心拍数の変動を表す分析方法を検討し、信号停止時の心拍数の回復のメカニズムについても詳細に分析を行う必要がある。また、安静状態を十分にとれていなかった等、実験方法についても検討を行う必要がある。

本研究の測定結果においては、被験者によってエネルギー消費量の個人差が大きいため、平均的な個人のエネルギー消費量という視点からは分析していない。被験者数を増やしてデータを蓄積し、個人差が生じる原因についても分析する必要がある。

参考文献

- 1) 厚生労働省：平成19年4月「全国医療費適正化計画(案)」
- 2) 第82回交通安全工学講習会：自転車～ひとつの交通モードとして～
- 3) Paffenbarger, R. S., Hyde R.T., Wing, A.L., Hsieh, C.C., : Physical activity, all-cause mortality, and longevity of college alumni, *New England Journal of Medicine*, Vol.314, No.10, pp.605-613, 1986
- 4) 健康日本21, 財団法人健康・体力づくり事業財団, 2000
- 5) WHO Europe (2007) : Methodological guidance on the economic appraisal of health effects related to walking and cycling
- 6) ACSM Position Stand : The Recommended Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness, and Flexibility in Healthy Adults, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol.30, pp.975-991, 1998
- 7) 中村博司, 高石鉄雄：自転車健康になる, 日本経済新聞出版社, 2009
- 8) 村田香織, 室町泰徳：個人の通勤交通行動が健康状態に与える影響に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.23, no.2, pp.497-504, 2006
- 9) 谷口守, 松中亮治, 中井祥太：健康増進のための歩行量実態調査とその行動群別特性分析への応用, 土木計画学研究・論文集, Vol.23, No.2, pp.543-549, 2006
- 10) 本多竜, 塚口博司, 里見潤：身体エネルギー消費量を考慮した歩行行動評価に関する一考察, 土木計画学研究・講演集 Vol.32, 2005
- 11) 中山照雄：エネルギー代謝の測定, 温熱生理学, 理工学社, pp.75~80, 1981
- 12) 山地啓司：運動処方のための心拍数の科学, 大修館書店, 1981
- 13) 橋本勲, 山川喜久江, 小林修平, 長嶺晋吉：心拍数による日のエネルギー消費量の測定に関する研究, 日本栄養改善学会講演集, Vol.30, 1983
- 14) 国土交通省：都市交通における自転車利用のあり方に関する研究