

高齢者にやさしい自転車道整備基準を提案するための自転車操作分析と調査*

Analysis and investigation of bicycle operation to propose standard of maintaining bicycle track for accommodating older adults*

斎藤健治**・清田 勝***・井上伸一****・細谷 聡*****

By Kenji SAITOU**・Masaru KIYOTA***・Shin-ichi INOUE****・Satoshi HOSOYA*****

1. はじめに

高齢化の進行にともない、交通機関や道路などの社会基盤となる施設を対応させてゆく必要性が高まっている。高齢者の交通手段の 20～30%が自転車であるともいわれ¹⁾、高齢者人口の増加にともないその自転車利用者数が増加することは明らかである。現実には、高齢者の自転車利用時の交通事故率も増加している¹⁾。

ところが、我が国における自転車利用環境は必ずしも十分なものではない。粗い舗装の路面、段差、車道と歩道の間の段差、狭い幅員、不連続な自転車道ネットワークは、走行者の快適性だけでなく、安全性も損なう。

高齢者は危険の判断力や回避のための身体能力が低下しているため、このような交通環境の不整備は危険を助長する。したがって、高齢者にやさしい自転車道整備は早急な課題である。ところが、歩行環境や自転車走行環境の整備基準に関する報告はほとんどない^{2,3)}。また、これらの環境整備には高齢者の身体機能も考慮に入れる必要があるが、そのような研究もほとんどない²⁾。本研究では、走行路の幅員の問題を視野に入れて、高齢者の自転車走行時における自転車操作の特徴、歩行者と自転車とのすれ違いの実態、自転車とのすれ違い時の歩行者側のストレス感を調べた。

2. 方法

(1) 自転車操作計測

被験者は高齢者 11 名(63～86 歳)、若年者 9 名(22～25 歳)であった。被験者は車輪径 24 インチの自転車に乗り、50 m の舗装された走行路で、直線自由走行(幅員 1 m の走行路を主観の中程度スピードで走行)、幅員制限走行(幅員 25cm)、スラローム走行(5 m 間隔のコーン)の 3 つの試技を行った。このときのハンドルのふれ、走行スピード、前後のブレーキング、自転車の左右のふれを計測した。ハンドルのふれ角変位はポテンシオメータ、走行スピードはサイクロコンピュータ、ブレーキは直径 2.5 cm、長さ 2 cm のアルミ管に貼り付けた箔ひずみゲージ、自転車の左右のふれ角速度、角加速度は 4 個の IC 型加速度センサにより計測した。計測したデータは速度 0.002 s、精度 12 bit、長さ 15～30 s でサンプルし、自転車後部に載せたパーソナルコンピュータに取り込んだ。

ポテンシオメータの出力、IC 型加速度センサの出力は遮断周波数 10 Hz のデジタルローパスフィルタをかけた。その後、走行スピード、ハンドルのふれ角変位、角加速度、ふれ角変位の自己相関関数、自転車の左右のふれの角加速度を計算した⁴⁾。

また、ハンドルのふれ角変位と走行スピードから走行軌跡を算出した。目標方向線とハンドルのふれにより生じる前輪との間の角度を $\theta(t)$ 、走行スピードを $S(t)$ とし、出発時の座標を $(0,0)$ とすると任意の時刻 t_α における自転車の位置座標は

$$\hat{X} = \int_0^{t_\alpha} S(t) \cos \theta(t) dt, \quad \hat{Y} = \int_0^{t_\alpha} S(t) \sin \theta(t) dt$$

と表される。

高齢者と若年者の間の差の検定には t 検定をもちいた。

(2) 自転車歩行者道におけるすれ違い幅の調査

自転車歩行者道(幅員 3.5 m)において、歩行者と自転車がすれ違うときの回避幅を調査した。10 m

*キーワード: 自転車交通行動

**正員、博士(体育科学)、佐賀大学理工学部都市工学科(佐賀市本庄町 1, TEL: 0952-28-8573, E-mail: saiken@cc.saga-u.ac.jp)

***正員、工博、佐賀大学理工学部都市工学科(佐賀市本庄町 1, TEL: 0952-28-8953, E-mail: kiyotam@cc.saga-u.ac.jp)

****非会員、体育修、佐賀大学文化教育学部(佐賀市本庄町 1, TEL: 0952-28-8304, E-mail: inoue@cc.saga-u.ac.jp)

*****非会員、博士(工学)、信州大学繊維学部感性工学科(上田市常田 3-15-1, TEL: 0268-21-5558, E-mail: hosoya@ke.shinshu-u.ac.jp)

の調査区間を設け、150 例のすれ違いを自転車歩行者道上部からビデオ撮影した。撮影した画像をデジタルサイズすることにより、自転車のスピード、すれ違い初期幅(すれ違い前の自転車と歩行者のずれ幅)、回避幅、および自転車と歩行者のすれ違い幅(初期幅+回避幅)を計測した。

(3) すれ違い時の心拍変動計測

実験走行路において、自転車とすれ違ったときの歩行者のストレス感を調べるために、心拍変動(R-R 間隔の変動)を計測した。静止した被験者(学生 9 名)のそばを自転車が走り抜けた。実験条件はスピード 10, 15, および 20 km/h, すれ違い幅 0.5 および 0.75 m で、それぞれ追い越しと対面の計 12 試技であった。

心電図の記録にはテレメータをもちいた。記録電極を被験者の胸骨上縁と剣状突起部に、アース電極を右脇腹(第 8 肋骨近辺)に貼付した。心電図データは速度 0.005 s, 精度 12 bit, 長さ 240 s(すれ違う前 120 s, すれ違い後 120 s)でサンプルした。

サンプルした心電図のスパイク波(R 波)の時間間隔データを補間することにより、R-R 間隔変動を表す 0.005 s 間隔の時系列データを作成した。このデータを AR モデル法によりスペクトル解析した。スペクトルの 0.04~0.15 Hz を LF, 0.15~0.5 Hz を HF とすると、HF は副交感神経、LF/HF が交感神経活動を反映するといわれる。したがって、すれ違い前後の LF/HF の値を比較することで、すれ違いの影響によるストレス感を調べた。検定には、すれ違い幅とスピードを要因とする二元配置の分散分析をもちいた。

3. 結果

(1) 直線自由走行

高齢者と若年者の走行軌跡の典型例(3 名分の重ね書き)をそれぞれ図 1 に示す。これは、高齢者、若年者ともに平均約 10 km/h のスピードで直線自由走行したときの約 20 秒間のデータである。スタート直後のハンドルのふれは高齢者(0.13 ± 0.05 rad)が若年者(0.09 ± 0.04 rad)より大きかった($p < 0.01$)。走行が安定した後は両者に差はなかった。走行軌跡の幅は高齢者が 0.36 ± 0.12 m、若年者で 0.22 ± 0.06 m

で高齢者が有意に大きかった($p < 0.01$)。

図 2 にハンドルふれの自己相関関数を示す。高齢者のハンドルのふれの周期が若年者に比してやや大きかった。

(2) 幅員制限走行

図 3 に幅員を 25cm に制限したときの高齢者と若年者の走行軌跡の典型例(3 名分)を示す。ハンドルのふれ角変位は高齢者が 0.10 ± 0.04 rad, 若年者が 0.07 ± 0.01 rad で高齢者が有意に大きかった($p < 0.01$)。走行軌跡の幅も、高齢者が 0.43 ± 0.23 m, 若年者が 0.19 ± 0.06 m で高齢者が有意に大きかった($p < 0.01$)。

ハンドルのふれの自己相関関数は、自由走行に比べて両者の差が大きくなった(図 4)。すなわち、高齢者のハンドル操作は若年者に比して、周期が大きくやや不規則だった。

(3) スラローム走行

図 5 にスラローム走行時の高齢者と若年者の走行軌跡の典型例(3 名分)を示す。ハンドルのふれ角変位は高齢者が 0.18 ± 0.01 rad, 若年者が 0.15 ± 0.02 rad で高齢者が有意に大きかった($p < 0.01$)。また、走行軌跡の幅も、高齢者が 1.00 ± 0.08 m, 若年者が 0.79 ± 0.12 m で高齢者が有意に大きかった($p < 0.01$)。ハンドルのふれの自己相関関数は、若年者においてより周期的であるのに対し、高齢者では減衰傾向が見られた(図 6)。

(4) 自転車と歩行者のすれ違い幅

自転車の平均スピードは 12.2 ± 2.4 km/h, 歩行者の回避幅は 0.35 ± 0.2 m, 自転車と歩行者のすれ違い幅は、 0.91 ± 0.21 m であった。ただし、自転車と歩行者のすれ違い初期幅が小さいほど、回避幅が大きくなった。

(5) すれ違いによる心拍変動

歩行者の心拍変動に及ぼす、すれ違い幅とスピードの交互作用はなかった。したがって、それぞれについて検定した結果、すれ違い幅において有意な影響が認められた。つまり、幅 0.5 m のすれ違いにおいて幅 0.75 m のすれ違いより有意に LF/HF の値が大きかった($p < 0.05$)。

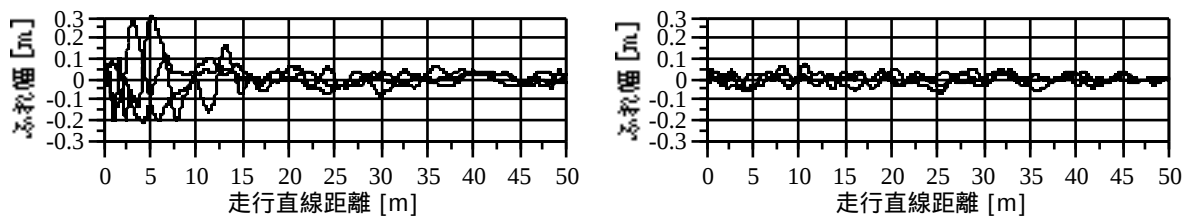


図1 高齢者および若年者が自由走行したときの自転車走行軌跡。

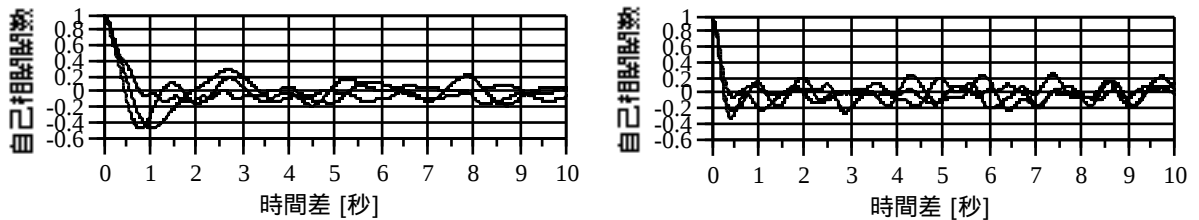


図2 高齢者および若年者が自由走行したときのハンドルふれの自己相関関数。

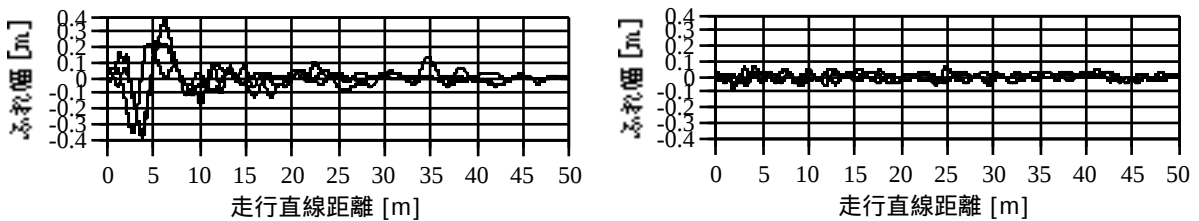


図3 高齢者および若年者が幅員 25cm の走行路を走行したときの自転車走行軌跡。

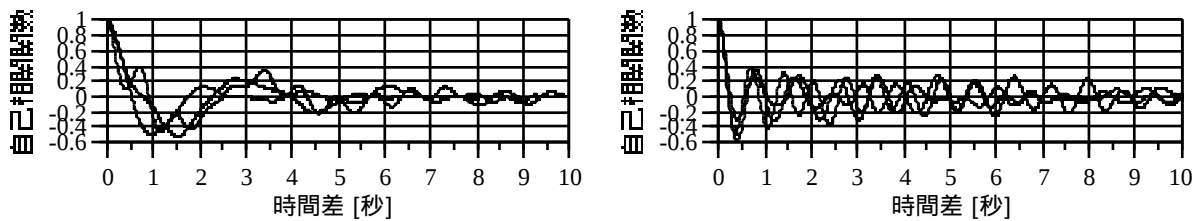


図4 高齢者および若年者が幅員 25cm の走行路を走行したときのハンドルふれの自己相関関数。

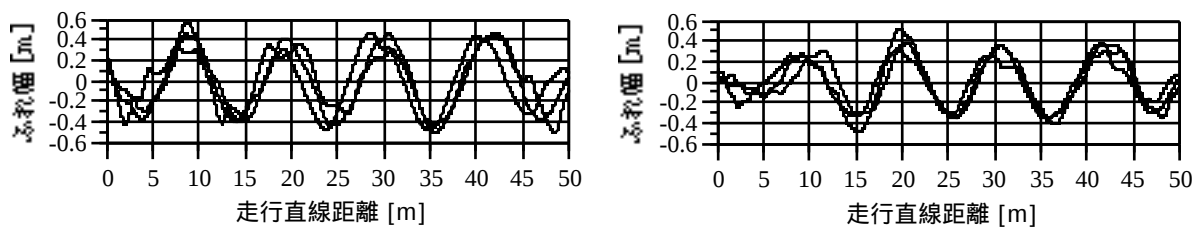


図5 高齢者および若年者がスラローム走行したときの自転車走行軌跡。

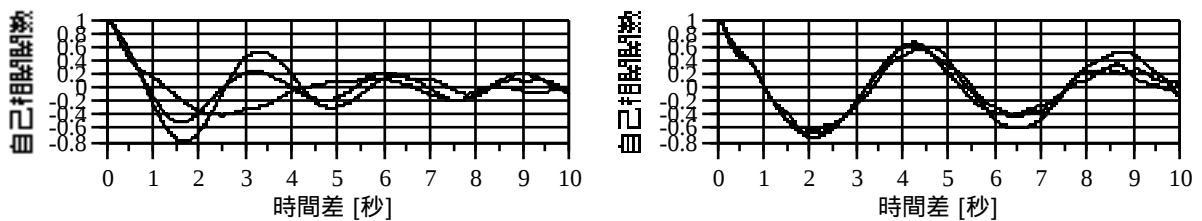


図6 高齢者および若年者がスラローム走行したときのハンドルふれの自己相関関数。

4. 考察

高齢者にやさしい自転車利用環境の整備基準の提案のために、高齢者の自転車走行の特徴を計測した。計測の条件は舗装された走行路における、直線自由走行、幅員制限走行およびスラローム走行の3つであった。

直線自由走行では、高齢者のスタート直後のハンドルのふれ、走行軌跡のふれ幅が若年者より大きく不安定であった。走行の安定性は、走行スピードおよび乗り手のバランス能力に依存する。走行スピードが小さいときには、ペダル、サドル、ハンドルへの操作によるバランス維持能力が安定性に大きく影響する。高齢者の場合、これらの操作に劣ることが原因で低速走行時に不安定であったと考えられる。走行が安定した後は、高齢者も若年者と同程度のふれ幅で走行しており、高齢者の自転車走行は一見安定であった。

しかし、一般の自転車歩行者道では、歩行者との錯綜、障害物による幅員減少などの環境悪化が起こる。そこで、本研究では、環境悪化を模擬して、幅員制限走行とスラローム走行を条件として課した。幅員を1 m から25 cm に制限すると、高齢者と若年者の差はより顕著になった。つまり、幅員の制限に合わせて、若年者の走行軌跡の最大幅が小さくなったのに対し、高齢者は逆に大きくなった。スラローム走行においても、高齢者のハンドルふれ、軌跡のふれ幅が大きかった。

このように、走行路の幅員制限と、スラローム強制走行により負荷をかけると、高齢者のハンドル操作の不安定さが露呈した。実際の交通環境においても、歩行者、障害物により幅員が小さくなったり、雨や砂で路面が滑りやすくなるなどの条件の悪化は随所に見られることである。そのような場面では、自転車のふれ幅の大きさが、転倒や衝突につながる可能性は十分にある。

一方、自己相関関数を見ることにより、ハンドル操作の規則性、周期性の違いを知ることができる。若年者のハンドルのふれは、直線自由走行時より幅員制限時の方がより規則的になった。それに対し、高齢者では時間差にともなう自己相関関数の減衰が強くなり、このことから規則性が弱い操作になったことがわかる。これは、スラローム走行時において

も同様であった。つまり、若年者のハンドル操作が、的確にフィードバックのかかったもので、より短い周期で規則的にふれているのに対し、高齢者はそれと対照的であったといえる。この点でも、高齢者の自転車走行は環境の悪化により、不安定さが顕在化しやすいことが推察できる。

これらの結果から、高齢者にやさしい自転車専用道の幅員の基準値について、次のように考えることができる。直線走行で生じた走行軌跡の最大幅は約0.6 m であった。このことから、一方通行道であれば、ハンドル幅（ハンドル長を0.6 m とする）を考慮して最低1.2 m が必要となる。追い越しや対面通行を考慮するならば、さらに倍の2.4 m が最低値となる。また、歩行者自転車道であれば、歩行者との錯綜を考慮しなければならない。スラローム走行において、障害をよける幅が片側約0.5 m であったことから、ハンドル幅を考慮して約0.8 m のスペースが必要になる。そして、歩行者が歩道の真ん中を歩くとすると、歩行者の両側にスペースが必要となり、倍の1.6 m が最低値となる。しかし、0.5 m のすれ違いでは歩行者に有意なストレス感が生じていたことから、1.6 m では不十分といえる。すれ違いの調査結果では、歩行者とのすれ違い幅が約1 m であったことから考えると、2.6 m が望ましい幅員の最低値であるといえる。これらは歩行者と自転車利用者が1対1の場合であり、より多くの歩行者を想定するならば、さらに大きな幅員が必要である。

参考文献

- 1) 山川 仁：高齢社会における自転車交通計画，都市計画, 204, pp.255-263, 1993.
- 2) 久下晴巳，國府勝郎，秋山哲男：高齢者の歩行特性とブロック系舗装の目地部許容段差に関する考察；土木学会論文集, No627/V44, pp.67-76, 1999.
- 3) 銭谷善信：段差が自転車の速度と運転者の心理に与える影響に関する研究；交通科学，27, pp.43-50, 1998.
- 4) 斎藤健治，井上伸一，細谷 聡，他：高齢者の自転車走行時におけるハンドル，ブレーキ操作の特徴，ヒューマンインターフェース学会研究報告集, 3-5, pp.13-18, 2001.