

自転車の走行空間等の違いによる 旅行速度の差異に関する分析

山本 彰¹・大脇 鉄也²・上坂 克巳¹

¹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路研究部 道路研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)
E-mail:yamamoto-a84zx@nilim.go.jp

²正会員 国土交通省 九州地方整備局 宮崎河川国道事務所
(〒880-8523 宮崎県宮崎市大工2丁目39番地)
E-mail:oowaki-t24r@qsr.mlit.go.jp

本論では、自転車施策の推進に活用することを念頭に、自転車の旅行速度に着目して研究を行った。道路幅員や、交通量、信号等の外的要因の影響を受けない状況下における旅行速度（自由旅行速度）と、実際に様々な外的要因の影響を受ける公道における旅行速度との2種類の調査を実施した。なお、調査における走行距離は、どちらも5~6kmと長い距離とした。

その結果、自由旅行速度は、軽快車16.8km/h、電動アシスト付き自転車18.6km/hとなり約2km/hの差が生じた。ただし軽快車を20km/h以上で走行する方は、電動アシスト付き自転車に乗ると速度が低下することが分かった。また、公道における旅行速度では、車道、細街路及び自転車道はいずれも14.5km/h程度、自転車歩行者道は11.6km/hということが分かった。

Key Words : bicycle, travelling speed, cycling space

1. はじめに

自転車は、短距離移動において利便性が高く、環境負荷の低い交通手段であり、CO2排出抑制策の一つとして、自動車から自転車への転換が期待されている。一方で、全交通事故に占める自転車関連事故の割合は、増加傾向にあり、自転車通行空間の安全性向上が求められている。

それら自転車の利用促進と安全な通行空間確保を目的とした自転車ネットワーク計画などの検討に際し、活用が期待される指標の一つとして、本論では、自転車旅行速度に着目する。

想定される活用場面の例としては、①目的地に自転車で行く場合の所要時間（旅行時間）を自動車利用者へ提供できれば、自転車利用を促す動機付けの一つとなると考えられる。また、②各地域において自転車ネットワーク計画等を策定する際には、所要時間から自転車を有効に活用できる地域や計画エリアを設定することができる。さらには、③走行空間毎に旅行速度を示すことができれば、現況道路の円滑性を簡易に把握することができるばかりか、将来の自転車通行環境整備による自転車の旅行速度の向上による自動車から自転車への転換を考慮した自転車分担率の推計などにも有効と考えられる。このよ

うに自転車の旅行速度は、様々な場面で貴重な基礎資料となると考える。

これまでの自転車の速度に関する既存研究としては、自歩道において自転車の通行位置や地点速度を調査し、自転車の歩道通行時における走行実態を明らかにしたもの¹⁾²⁾、歩行者と自転車とが混在する状況下において歩行者及び自転車の存在密度と自転車速度（調査区間20m）の関係性を明らかにしたもの³⁾などがある。これらはいずれも、短い区間における自転車の地点速度についての研究であり、ある目的を持ったトリップを移動する場合の自転車の速度（旅行速度）を扱ったものではない。また、プローブ自転車等を用いて自転車通行経路の走行空間を評価する研究⁴⁾も行われてはいるものの、歩行者交通量等と自転車の旅行速度との関係を分析するまでには至っていない。

また、ある程度離れた2地点間における自転車の旅行時間（所要時間）は、経路選択嗜好等に関する研究⁵⁾で調査されてはいるものの、外的要因の影響を受けない自由走行状態と車道又は歩道といった実際の通行空間での旅行速度の差異を研究したものは少ない。

よって、本論では、自転車旅行速度の基礎的な分析を行うにあたり、約5~6kmの長距離コースを設定して、外

的要因の影響を受けない状況下における旅行速度と、外的要因の影響を受ける状況下における旅行速度とを、同じ被験者でかつ同じ自転車を使用して調査を行い、通行空間の状態と旅行速度との関係を明らかにすることを目的とする。

2. 自転車の自由旅行速度

(1) 調査概要

道路幅員、交通量、信号等の外的要因の影響を受けない状況下における自転車の旅行速度を自由旅行速度と定義し、国土技術政策総合研究所の1周約6.2kmの試験走路にて実走調査を行った。試験走路のコースを図-1に示す。

なお、自由旅行速度を調査する意義としては、様々な状況下における自転車の旅行速度の低下を定量的に評価するための基準とする速度を得るためであり、得られた自由旅行速度は、自転車に乗った方が何の制約条件もない状況下で選択（希望）した速度となる。

実走調査における被験者については、10～50歳代の年代ごとに男女各1人計10人に協力をいただき調査を実施した。なお、被験者の選定条件としては、日頃から自転車を利用されており、軽快車（ハンドルが曲がっている自転車、通称:ママチャリ）に乗車していること。さらには、一般的な自転車利用者の旅行速度を把握するため、サイクリングを趣味としていない方を選定した。調査概要を表-1に示す。

この調査で使用した自転車は、(財)自転車産業振興協会の報告による国内の販売動向⁶⁾より、最も販売実績のある軽快車（ギアなし）を採用した。さらに、近年、注目を集め、今後の普及が見込まれる電動アシスト付き自転車（以下「アシスト車」という。）についても軽快車と比較するため実走調査を行うこととし合計2車種とした。調査の方法は、GPSを活用した市販の自転車速度計をそれぞれの自転車に装着し、試験走路を1周、合計2周していただいた。なお、被験者が速度計を見て運転をしないように、計測機器の画面は見えないように工夫した。さらに、1周目の疲労が2周目に影響を与えないように、合間に1時間の休憩を設定した。

(2) 調査結果

この調査で得られた結果を図-2に示す。なお、調査結果の分析に当たっては、1周約6.1kmの走行データを、スタート地点から500m毎に切り分け、その区間毎に旅行速度を算出した。

その結果、平均自由旅行速度は軽快車16.8km/h、アシスト車18.6km/hとなり、2km/h程度アシスト車の速度が速くなった。一方で、最大値は軽快車、アシスト車ともに21.7km/hと同値となった。

表-1 自由旅行速度調査の概要

調査日時	平成22年12月12日（日）9:30～16:00
調査場所	国土技術政策総合研究所 試験走路（図-1参照）
走行距離	約6.1km（試験走路1周（反時計回り））
気象状況	天気:晴れ 平均風速:1～2m
(つくば市)	最低気温:9.2℃ (9:30) 最高気温:14.0℃ (14:20)
被験者の 主な 選定基準	日常的に自転車（軽快車）を利用していること
	一般的な交通規則を理解していること
	サイクリングを趣味としていないこと
	5,6kmの距離を走行できること

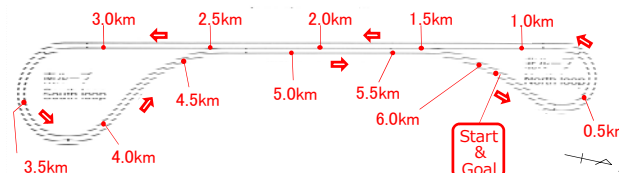


図-1 試験走路のコース概況

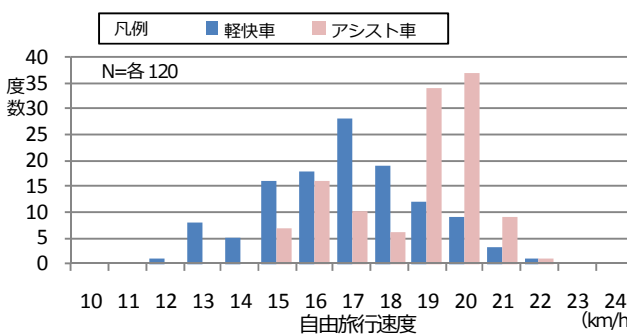


図-2 車種別自由旅行速度の度数分布図と各種データ

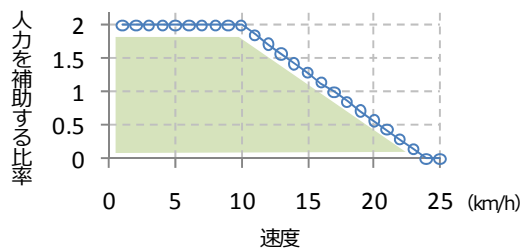


図-3 電動アシスト車における人力の補助率⁷⁾

その要因の一つとして、アシスト車の性能が考えられる。内閣府令で定められたアシスト車の人力を補う比率は、最大で人力の2倍まで許容されているものの、図-3に示したとおり速度が高くなるにつれ、その比率が低下する。よって、車重の重いアシスト車にとって、速度が速くなると電動アシストの性能が十分発揮できなくなることが考えられる。

その点を踏まえ、被験者毎かつ区間毎の軽快車とアシスト車の速度差を軽快車の速度を基準に散布図に示すと

図-4のとおりとなった。

この結果から、軽快車で速く走行する人ほど軽快車とアシスト車との速度差が減少することが分かった。なお、軽快車で20km/h以上で走行している場合は、アシスト車の速度が軽快車の時よりも低下することが分かった。

続いて、性別の特性を把握する。図-5の左側に、男女別に抽出した軽快車の旅行速度を示す。その結果、男性でやや速度の高い傾向が得られたものの、差は中央値、平均値もともに0.6km/hと僅かとなった。また、有意な差があるかt検定を行った結果、t値は1.37となり、有効水準5%において、性別に有意な差はないことを確認した。

また、年齢による速度への影響の有無を把握するため図-5の右側に、10~40歳代と50歳代に分けて抽出した軽快車の旅行速度を示す。その結果、10~40歳代でやや速度の高い傾向が得られたものの、大きな差はなかった。また有意な差があるか同様にt検定を行った結果、t値は1.28となり、有効水準5%において、年齢に有意な差はないことを確認した。

続いて、車種別にみたスタート地点からの累加距離と旅行速度の関係を図-6,7に示す。

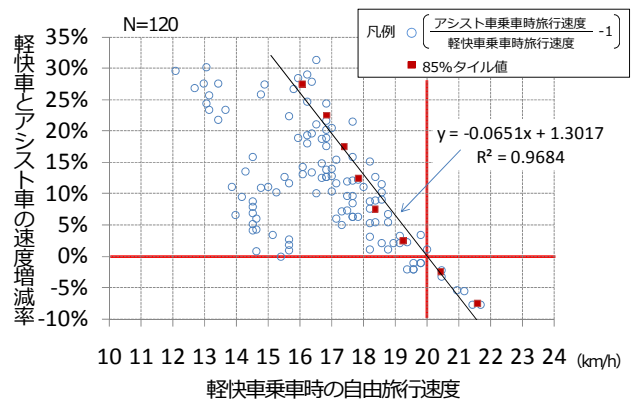


図-4 軽快車とアシスト車の速度変化率

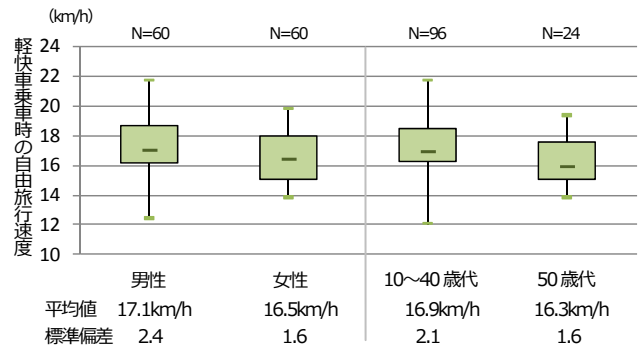


図-5 性別による自由旅行速度の特性

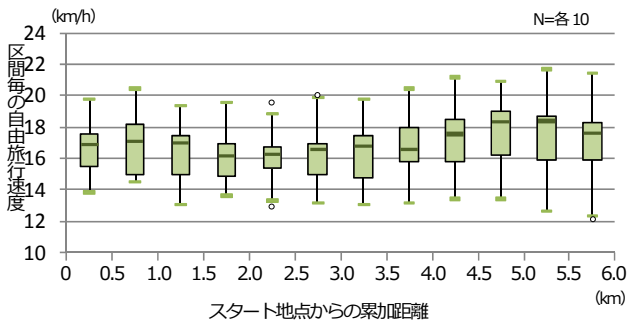


図-6 軽快車における自由旅行速度の推移

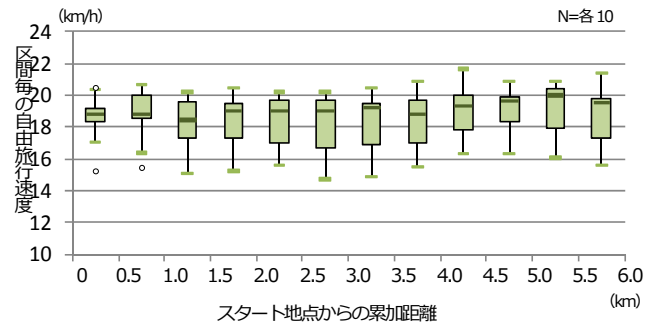


図-7 アシスト車における自由旅行速度の推移

その結果、スタート地点からの累加距離が増加しても速度低下は見られず、スタートから1500mまでと、後半の4500mから6000mまでの各1500mにおける500m区間旅行速度について、有意な差があるかt検定を行った結果、軽快車でt=1.40、アシスト車でt=1.35と、ともに有効水準5%において有意な差はないとの結果を得た。よって自由旅行速度は、6km程度の移動では、距離に応じた速度低下は見られないといえる。

しかし、速度の分布に波状の連続的な変化があったため、第3四分点の75%タイル値に注目し、速度の変動を捉えると図-8のとおりとなった。なお、参照データとして、気象庁の10分毎の風向風速データ及び試験走路の縦断勾配を、位置関係を整理し図-8で示している。なお、試験走路の縦断勾配は、いずれも1%以下である。

この結果から、軽快車の速度が低下又は上昇する区間では、風(1~2m/s)及び縦断勾配が影響している可

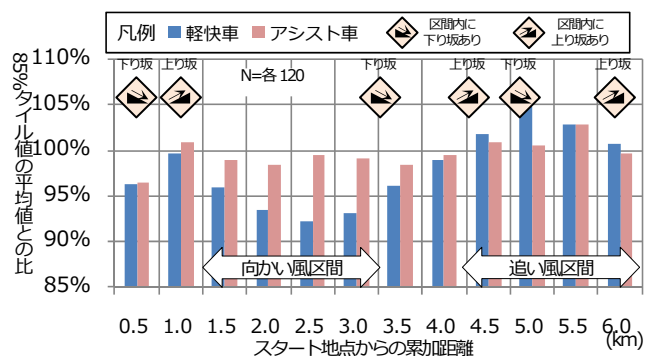
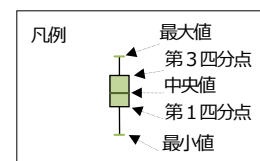


図-8 累加距離における自由旅行速度の変動

能性がある。なお、風速2m/s程度の風とは、「顔に風を感じる。木の葉が動く。風見も動きだす。」⁸⁾程度の風とされ、自転車に関する風の影響については、日平均風速5m/sを越えると自転車の利用が顕著に減少する⁹⁾との研究もある。

今回の調査では、表-2に示すとおり、風や勾配に関する影響の少ないと思われる区間と、それらの影響を受けている区間との間で有意差を確認したところ、軽快車及びアシスト車ともに、有意な差はないという結果となった。また、この調査は、周回コースで調査を行ったため、向かい風と追い風、上り坂と下り坂の相反する影響が、概ね同等に影響していると考え、1周分のデータで平均旅行速度を算出することで、風と勾配に関する影響をキャンセルすることができると思われる。

3. 公道における自転車の旅行速度

(1) 調査概要

この調査は、実際に様々な外的要因の影響を受ける公道上において、2. の外的要因の影響を受けない状態と比べ自転車の旅行速度がどのように変化するかを把握するため、東京都江東区の亀戸駅周辺に設定した図-8に示すコースで実走調査を実施した。

使用した自転車及び計測機器は、自由旅行速度調査と同一のものを使用し、かつ被験者についても同じ方に協力を得た。なお、公道における調査は、主に軽快車を調査対象とし、アシスト車は補助的にデータを取得した。

調査ルートは、様々な自転車通行空間でデータを収集することを目的とし、自転車道、自歩道、車道（細街路を含む）を通行する1周約5kmのコースを設定した。なお、被験者には、このコースを順回り、逆回りの各1周、合計2周していただいた。コース上の各通行空間の延長は、表4のとおりである。

なお、自由旅行速度調査時と同様に、計測機器の画面は見えないように、かつ各周回の合間に1時間の休憩を設定した。調査概要を表-3に示す。

表-4 公道調査における各走行空間の走行距離

走行空間	車道	細街路	自転車道	自歩道	交差点	合計
走行距離 (m)	919	2,517	489	4,960	1,543	10,429
割合 (%)	8.8%	24.1%	4.7%	47.6%	14.8%	100%
調査対象区間数	6	11	4	36	54	111
平均区間延長	153	229	122	138	29	-

※交差点の区間設定の考え方は、表-5に示す。

(2) 調査結果

はじめに、コース1周あたりの公道調査での旅行速度と試験走路での自由旅行速度の比較を図-10に示す。その結果、自由旅行速度から7~9km/h程度、速度が低下す

表-2 風及び勾配による速度への影響について

車種	速度の高い区間 4~6km	影響の少ない区間 0~1km, 3~4km
	t値 1.58	
	速度の低い区間 1~3km	影響の少ない区間 0~1km, 3~4km
	16.3	16.7
	t値 -0.79	
アシスト車	速度の高い区間 4~6km	影響の少ない区間 0~1km, 3~4km
	19.0	18.5
	t値 1.37	
	速度の低い区間 1~3km	影響の少ない区間 0~1km, 3~4km
	18.3	18.5
	t値 -0.52	

(有意水準5%)

表-3 公道における自転車旅行速度の概要

調査日時	平成22年12月18日(土) 10:00~16:00		
調査場所	東京都江東区亀戸駅周辺(図-5参照)		
走行距離	約5.0km		
気象状況	天気:晴れ 平均風速:1~2m		
(東京)	最低気温:6.0℃(10:00)	最高気温:9.7℃(14:30)	
備考	20代女性が都合により欠席したため、その他の被験者合計9名で実施した。		

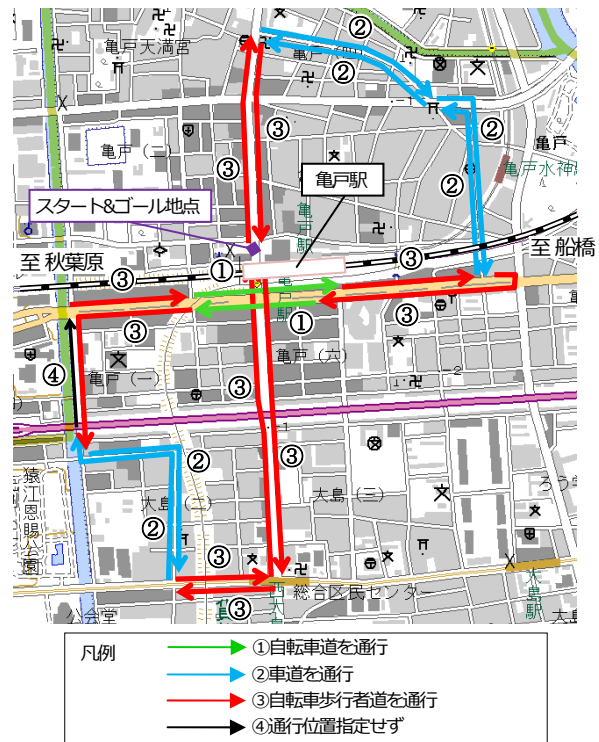


図-9 亀戸駅周辺で設定した調査ルート

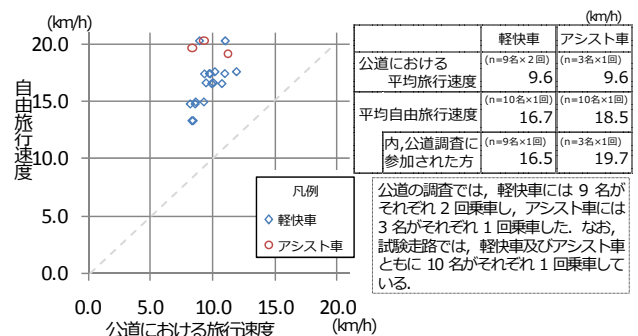


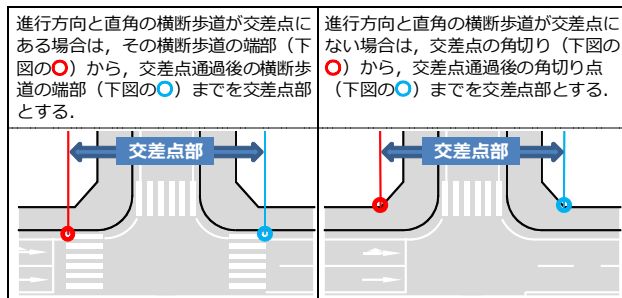
図-10 公道における旅行速度と自由旅行速度の比較

るという結果が得られた。また、公道での旅行速度は、軽快車もアシスト車も、ともに9.6km/h程度という結果になり、外的要因による影響がない状態と異なり、アシスト車による速度向上が見られていない。この原因については、今後、詳細な分析が必要と考える。

なお、自由旅行速度との差については、走行空間別の合計延長と合計旅行時間とを比較して分析を行うと、図-11に示すとおりとなった。

なお、図-11で示したデータは、1周全区間でデータが正確に取得できた12データをを用いている。また、交差点部の区間設定については表-5に示す。

表-5 交差点部の区間設定について



これによると、信号交差点部は、全体の15%程度の延長しかないにもかかわらず、信号交差点の通過にかかる旅行時間は、全体の30~40%を占めていることが分かった。

続いて、走行空間別の旅行速度の結果を図-12に示す。なお、いずれも軽快車のデータを使用する。

これより、どの走行空間においても自由旅行速度より速度が低下していることが分かる。これは有意差検定においても、表-6で示すとおり有意な差が認められた。

また、車道、細街路及び自転車道については、同程度の旅行速度であったものの、自歩道は他と比較し旅行速度が低くなった。これらの結果について、有意差検定を行ったところ、表-6で示したように、自歩道通行時とそれ以外の車道、細街路及び自転車道とでは、旅行速度に有意な差が生じていることが確認できた。

この自歩道における速度低下要因は、自歩道上の歩行者や自転車による混雑が、影響していると考えられるため、一定面積あたりの歩行者存在密度と旅行速度との関係を図-13に示す。

なお、自転車を歩行者に換算するため、山中ら³⁾により提案された歩行者換算存在密度を求める式(1)を本論でも採用することとした。

$$M = \frac{Sc}{Sp} \times Mc + Mp = 2.56 \times Mc + Mp \quad (1)$$

- M: 歩行者換算存在密度
- Sc: 12.8m² (自転車1台の占有面積)
- Sp: 5m² (歩行者1人の占有面積)
- Mc: 区間内の自転車存在密度 (台/m²)
- Mp: 区間内の歩行者存在密度 (人/m²)

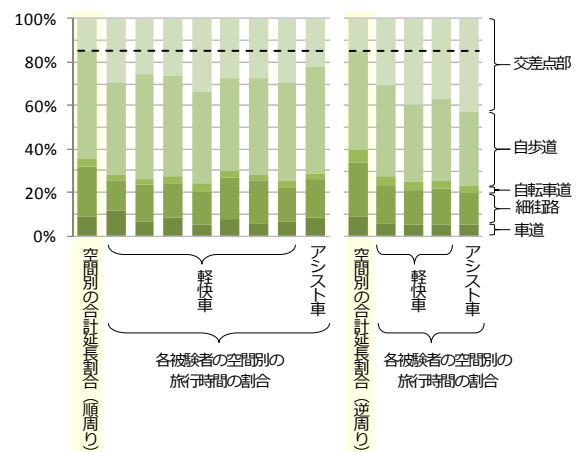


図-11 各走行空間の延長割合及び旅行時間割合

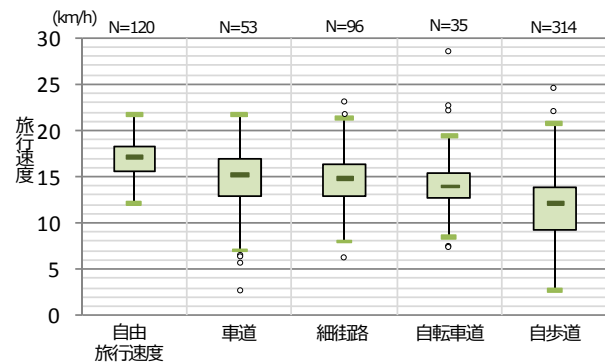


図-12 各走行空間の旅行速度

表-6 各走行空間の旅行速度

(いずれも有意水準5%)					
	自由旅行速度	車道	細街路	自転車道	自歩道
平均値	※ 16.8	14.5	14.7	14.4	11.6
t値 (対自由旅行速度)		5.13	6.38	4.69	14.85
	車道	細街路	自転車道	自歩道	
平均値	14.5	14.7	14.4	11.6	
t値 (対車道)		-0.49	0.06	5.31	
	細街路	自転車道	自歩道		
平均値	14.7	14.4	11.6		
t値 (対細街路)		0.52	7.89		
	自転車道	自歩道			
平均値	14.4	11.6			
t値 (対自転車道)		4.33			

※試験走路 500m 毎の旅行速度による平均値である。(図-2参照)

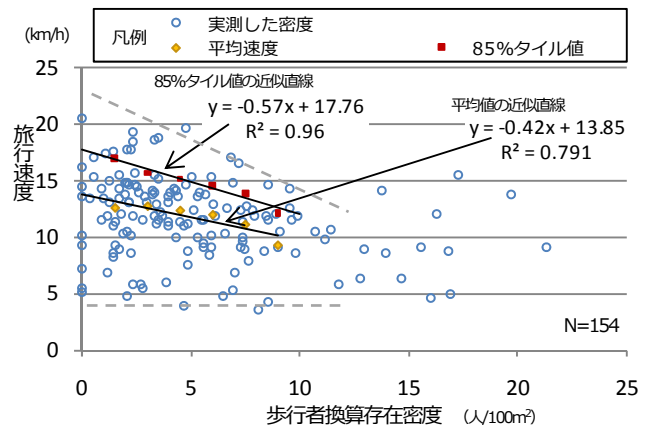


図-13 通行空間別の旅行速度

この結果、データを密に取得できた歩行者換算存在密度0~9人/100m²の区間において、0~1.5, 1.6~3.0, 3.1~4.5, 4.6~6.0, 6.1~7.5, 7.6~9.0という間隔で旅行速度を集計し、それぞれ平均値と85%タイル値を算出した結果、図-13に示した2本の近似値線を描くことができた。これにより、歩行者換算存在密度が増加すると旅行速度も低下する傾向が分かった。

なお、この傾向は、山中らが東京都江東区西大島等で実施した不特定多数を対象としたビデオ調査で、自転車・歩行者の通行状態から得られた歩行者換算存在密度と自転車速度の分布状況⁹⁾とほぼ一致した。

よって、本調査で得たデータは、一定の代表性を有していると考えられる。

5. 結論と今後の課題

本研究では、試験走路及び公道において、約5~6kmの長いコースを設け、自転車の自由旅行速度及び種々の外的要因による速度低下の状況を調査した。両調査は、同じ被験者でかつ同じ自転車を使って行った。その結果得られた主な知見は、以下のとおりである。

(1) 試験走路における自由旅行速度調査

1周約6.1kmの試験走路において、10~50歳代の年代ごとに男女各1人計10人の被験者により、軽快車及びアシスト車を用いて、自由旅行速度の調査を行った。

- a) 6.1kmという走行距離に対して疲れによる速度低下は見られなかった。
- b) 性別や年齢による自由旅行速度の差異については、多少の差はあったものの、有意な差までは認められなかった。
- c) 自由旅行速度は、平均で軽快車が16.8km/h、アシスト車が18.6km/hなり、軽快車の方が2km/h速いという結果が得られた。しかし、20km/h程度以上の走行速度では、車重の重いアシスト車の方が、軽快車よりも速度が低下することが分かった。

(2) 公道における外的要因下での旅行速度調査

都市部の公道において、自転車道、自歩道、車道及び細街路を通行する1周約5kmのコースを設定して旅行速度の調査を行い、自由旅行速度との比較を行った。

- a) 公道でのコース全体の平均旅行速度は9.6km/hであり、自由旅行速度と比べると、7~9km/h低下している。
- b) 走行した空間別に見ると、車道、細街路及び自転車道での旅行速度は14.5km/h、自歩道では11.6km/hであった。また、今回の実験地域では、延長に対し15%を占

める信号交差点区間を通過する時間は、旅行時間全体の30~40%を占め、信号による停止の影響も大きいと考えられる。

- c) 公道では、アシスト車の旅行速度は軽快車とほぼ同じという結果となり、自由旅行速度におけるアシスト車の優位性は確認できなかった。

(3) 今後の課題

今後の主な課題は、以下のとおりである。

- a) 車道、細街路及び自転車道で旅行速度が自由旅行速度より低下する原因と、公道でアシスト車の旅行速度が軽快車と同等となる原因の分析
- b) 信号交差点による停止の影響の定量化
- c) a), b)を踏まえ、自転車の種類、通行空間の違い、信号交差点の影響等を踏まえた自転車の旅行時間の簡易な推定式の提案

謝辞

国土技術政策総合研究所の試験走路及び亀戸での調査にご協力をいただいた被験者の皆様に、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 高田邦道,木戸伴雄,小柳純也:自転車の歩道通行に関する走行実態,交通工学研究発表会論文報告集 Vol.20, pp.149-152, 2000.
- 2) 高田邦道,木戸伴雄,小柳純也,田中俊輔:自転車歩行者道の形態の違いが自転車の走行挙動に及ぼす影響,土木計画学研究・講演集 Vol.26, No.148, 2000
- 3) 山中英生,田代佳代子,山川仁,半田佳孝:自歩道等における自転車・歩行者混在交通の挙動分析,交通工学研究発表会論文報告集 Vol.20, pp.153-156, 2000.
- 4) 山中英生,土岐源水,二神彩,亀谷一洋:プローブバイシクルを用いた自転車利用環境の評価,土木計画学研究・講演集 Vol.26, No.151, 2000
- 5) 轟修,松村暢彦:実走調査による自転車の経路選択等の傾向に関する分析,土木計画学研究・講演集 Vol.30, No.346, 2004
- 6) (財)自転車産業振興協会:自転車国内販売動向調査月表, 2010.10
- 7) 内閣府令に基づく「人の力を補うため原動機を用いる自転車の基準」を参考とし描画
- 8) 気象庁ホームページ:ビューフォート風力階級表より
- 9) 元田良孝,宇佐美誠史,千葉丈嗣:気象等が自転車交通需要に与える影響に関する研究 一盛岡市の事例一,土木計画学研究・論文集 Vol.27, 2010