

# 車道走行する自転車を自動車が進め越す際の走行挙動に関する研究(その1)

福岡大学大学院工学研究科建設工学専攻 辰巳 浩, 吉城 秀治, 堤 香代子, 水尻 翼

## 1. はじめに

2012年に国土交通省、警察庁による「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」の制定および2013年12月の道路交通法の改正により、自転車走行環境は車道を基本として整備が行われており、ガイドラインでは自転車走行空間をネットワークとして整備することが示されている<sup>1)</sup>。ここで、2017年3月時点では自転車専用通行帯(以下、自転車レーン)や車道混在の整備延長は合わせて1,550kmとなっており、空間的な制約がある自転車道の整備延長150kmよりも整備が進められている状況にある。

その中で、自転車利用者は自動車と同一空間を走行することになり、自動車による自転車の追い越し挙動が頻繁に発生することが想定される。この際、道路構造や交通状況によっては自動車が自転車を円滑に追い越すことができず走行自動車の減速を招き、道路の円滑性が悪くなることに繋がる。また、自転車走行空間のネットワークを考えると、そのような自転車追い越し時の自動車の走行挙動への影響が小さいことが望まれる。そのため、道路構造や交通状況を踏まえた自動車の追い越し挙動は自転車と自動車が混在する道路空間における円滑性、さらには自転車走行空間のネットワークを整備する上で重要な挙動の一つと考えられる。そして、自転車追い越し時の対向車や自動車の交通量の違いのように交通状況に着目した知見は未だ十分ではない。

そこで本研究では、実走行空間における一般車両を対象とした観測調査を行うとともに、ドライビングシミュレータを用いた仮想空間での調査から、自動車の自転車追い越し挙動に交通状況が与える影響を明らかにする。



図1 自転車専用通行帯 (自転車レーン)



図2 車道混在

## 2. 実測調査における自転車交通が自動車に及ぼす影響

### (1) 自動車走行速度・離隔距離の計測手法

自転車走行時の自動車の走行速度の計測では、前後2台のビデオカメラと横向き1台のビデオカメラ、サイクルコンピュータを取り付けた自転車を観測対象路線で走行させ自動車の走行速度や離隔距離を計測する。まず、このような計測を行う準備として、前後2台のビデオカメラからそれぞれ10m、30m、50m前方および後方の道路両端に設置されたカラーコーンを撮影し、その映像を用いて基準線を作成する。その後、自動車が自転車を追い越す際の映像に基準線の画像を合成(図3)することで、自動車の移動距離からその距離を移動するのに要した時間で除することで走行速度を求めている。また、同様に横カメラでも50cm間隔で基準線を作成し、離隔距離を求めている。

対象路線として福岡市内の9路線を選定し(表1)、2017年10月~2019年12月にかけて調査を行った。また、自動車の計測台数は各路線計100台とした。



図3 自動車走行速度計測のための合成画像例



図4 実験写真

表1 選定路線

路線名	往復車線数	自転車の走行位置	車線幅員 (m)	路肩幅員 (m)	車道幅員 (m)	規制速度 (km/h)
原799号線 (車道混在)	1車線	車線内	4.40	0.60	6.00	30
高取飯倉線	1車線	路肩内	4.40	0.65	6.10	30
樋井川松原線	2車線	車線内	2.78	0.48	6.23	30
荒江七隈線	2車線	路肩内 車線内	2.65	0.52	6.34	30
七隈梅林線	1車線	車線内	4.60	1.20	6.60	30
野多目片江線	2車線	路肩内	2.91	0.85	7.52	40
下山門団地706号線 (車道混在)	2車線	路肩内	3.00	1.50	9.00	30
壱岐団地線	2車線	路肩内 車線内	3.50	1.02	9.06	30
下山門598号線 (自転車レーン)	2車線	レーン歩道寄り レーン中央	3.00	1.85	9.70	40

### (2) 対向車の有無による自動車走行挙動の比較

表2に自転車追い越し時の対向車の有無別による自動車走行速度、自転車との離隔距離を比較した結果を示す。表より、ほとんどの路線において自転車追い越し時に対向車が走行していない時に比べ、対向車が走行している時に自動車走行速度が低下していることがわかる。また、対向車走行時の自動車走行速度に関しては車道幅員が狭い路線の方が走行速度低下への影響が大きい傾向にある。さらに、離隔距離においても対向車の有無で比べると、多くの路線で対向車が走行している時に離隔距離の値が小さくなっていることがわかる。このように実走調査の結果から、自転車追い越し時の自動車の走行挙動に対向車や道路構造が影響していることが明らかになった。

表2 自動車走行挙動への影響

路線名	走行位置	自動車走行速度[km/h]			離隔距離[m]		
		対向車の有無		P値	対向車の有無		P値
		無	有		無	有	
原799号線 (車道混在)	車線内	38.9	33.9	0.007	1.79	1.82	0.799
高取飯倉線	路肩内	36.9	35.7	0.329	1.78	1.71	0.360
樋井川松原線	車線内	44.6	38.6	0.000	1.95	1.85	0.355
荒江七隈線	路肩内	43.7	38.5	0.000	2.11	1.83	0.000
	車線内	42.4	40.0	0.000	1.79	1.65	0.085
七隈梅林線	車線内	41.9	37.9	0.004	1.76	1.77	0.858
野多目片江線	路肩内	43.4	44.3	0.503	1.83	1.57	0.095
下山門団地706号線 (車道混在)	路肩内	43.6	44.8	0.377	2.05	1.75	0.002
壱岐団地線	路肩内	48.5	47.9	0.738	2.08	1.88	0.003
	車線内	48.8	46.7	0.215	1.98	1.76	0.024
下山門598号線 (自転車レーン)	レーン歩道寄り	46.7	45.1	0.327	2.42	2.14	0.001
	レーン中央	45.4	47.2	0.188	2.07	2.00	0.373

## 3. 自転車レーンにおける自転車を追い越す自動車に影響を及ぼす要因の検討

### (1) 実験概要

前章までの結果を踏まえ、実走行空間では検討が困難な自転車追い越し挙動を検証していくため、第3章~第5章においてはそれぞれ章ごとに実験を行い、ドライビングシミュレータを用いて仮想空間上に走行空間を再現し、検証を進めた。まず、本章での実験パターンについて考えていく。自動車走行挙動に影響を及ぼすと考えられる要因として、対向車の状況(車頭間隔一定)、自転車の走行位置、自転車の走行方向、道路の幅員構成、自転車の走行台数の5要因を取り上げた。これらの要因を実験計画法を用いて表3に示す通りL8直交配列表に組み込み、その検証を行った。仮想空間を作成するにあたって、第2章で取り上げた下山門598号線(図5)をモデル道路とし、FORUM8社のUC-win/Roadを使用し、仮想空間を作成した(図6)。

また、どの走行区間にも自転車レーンが整備されている状態にしており、被験者が運転をする走行車線内には被験者以外の車両は設定していない。そして、被験者は運転免許を所有している男性24名、女性7名を対象に1人8パターンの道路をランダムに走行させ、自動車走行速度、離隔距離等のログデータを取得した。

表3 実験パターン表

No	対向車の状況	自転車の走行位置	自転車の走行方向	幅員構成	自転車台数
1	なし	レーン内	順走	車線3.00m路肩幅員1.85m(着色幅1.50m)	1台
2	なし	レーン外	逆走	車線2.75m路肩幅員1.50m(着色幅1.25m)	3台
3	1,000台/h	レーン内	順走	車線2.75m路肩幅員1.50m(着色幅1.25m)	3台
4	1,000台/h	レーン外	逆走	車線3.00m路肩幅員1.85m(着色幅1.50m)	1台
5	2,000台/h	レーン内	逆走	車線3.00m路肩幅員1.85m(着色幅1.50m)	3台
6	2,000台/h	レーン外	順走	車線2.75m路肩幅員1.50m(着色幅1.25m)	1台
7	渋滞	レーン内	逆走	車線2.75m路肩幅員1.50m(着色幅1.25m)	1台
8	渋滞	レーン外	順走	車線3.00m路肩幅員1.85m(着色幅1.50m)	3台



図5 下山門598号線



図6 作成した仮想空間(No.1)

### (2) 自転車を追い越す自動車に影響を及ぼす要因

自転車追い越し時の自動車の走行挙動に影響を及ぼす要因を分析するため、自転車追い越し速度を目的変数に、自転車の走行状況や走行環境、対向車の状況を説明変数として数量化I類による要因分析を行った結果を図7に示す。図より、自転車追い越し速度に最も影響を及ぼす要因は「対向車の状況」であることがわかる。対向車がない場合は自転車追い越し速度が増加し、対向車が存在する場合は自転車追い越し速度が減少することが示されている。他の要因に関しては、「自転車の走行位置」のアイテムレンジが大きくなっている。走行位置がレーン外の場合、自転車追い越し速度は減少する傾向にあることが示されている。

続いて、自転車追い越し時の離隔距離に影響を及ぼす要因について検討を進める。離隔距離を目的変数に、自転車走行環境及び対向車の状況に関する要因を説明変数として数量化I類による要因分析を行った。その結果を図8に示す。図より、対向車が存在しない場合、離隔距離が増加し、対向車の有無で明確な傾向の差が示されており、対向車が存在しない場合に大きく離隔距離が増加していることがわかる。他の要因については、「自転車の走行位置」のアイテムレンジが大きく、自転車がレーン内を走行することで離隔距離を確保することに資するといえる。

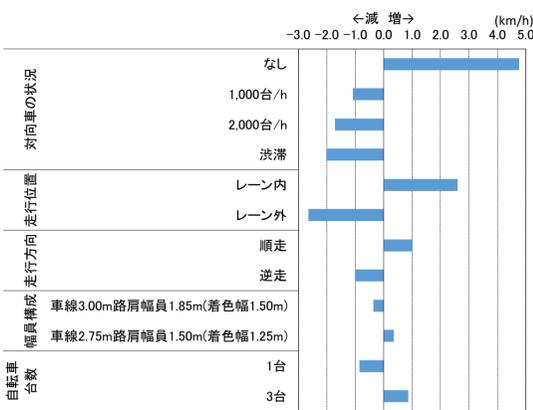


図7 自転車追い越し速度に影響を及ぼす要因

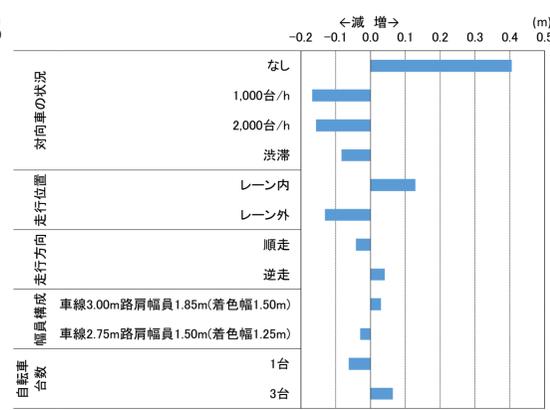


図8 自転車追い越し時の離隔距離に影響を及ぼす要因

## 4. 車道混在における自転車追い越し時の走行挙動への影響

### (1) 実験概要

本章では、車道混在における自転車追い越し時の自動車の走行挙動への影響を明らかにしていく。まず、実験パターンは車線幅員、対向車の走行速度、自転車の走行位置の3要因を取り上げ、表4のように実験計画法のL4直交配列表に組み込み、その検証を行った。仮想空間を作成するにあたっては第2章で取り上げた荒江七隈線(図10)の一部区間をモデルとして仮想空間(図11)を作成した。

そして、様々なパターンの追い越し挙動に関するデータを確保するため、被験者の車と同方向に走行する自転車を計10台、100m間隔で配置し(分析に用いるのは最初の1台目を除いた9台分)、対向車についてはランダムで発生させている。また、被験者は男性22名、女性8名を対象に1人4タイプの道路をランダムに走行している。

表4 作成した道路タイプ

道路タイプ	車線幅員 (m)	対向車速度 (km/h) [規制速度]	自転車の走行位置
1	2.75	40 (30)	路肩内
2	2.75	50 (40)	車線内
3	3.00	40 (30)	車線内
4	3.00	50 (40)	路肩内

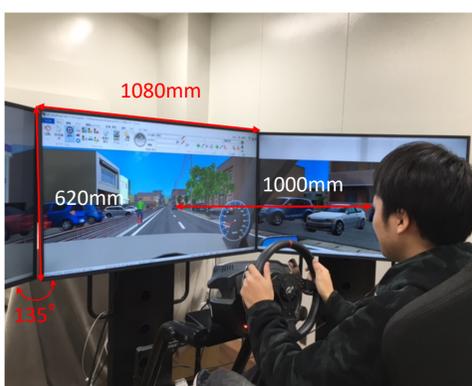


図9 実験風景

# 車道走行する自転車を自動車が進め越す際の走行挙動に関する研究(その2)

福岡大学大学院工学研究科建設工学専攻 辰巳 浩, 吉城 秀治, 堤 香代子, 水尻 翼



図10 荒江七隈線



図11 作成した仮想空間(道路タイプ1)

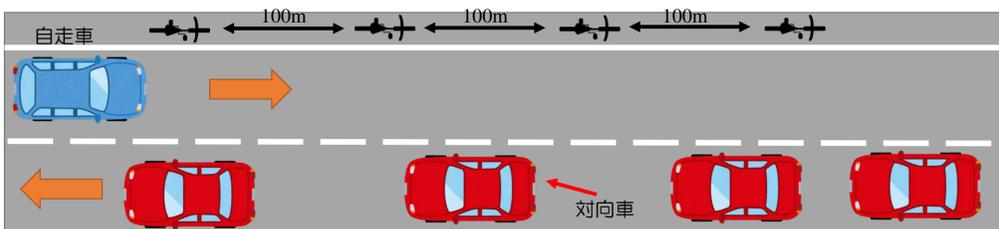


図12 走行環境の概要

## (2) 対向車および自転車までの距離と加減速の関係

まず、各自動車の加減速率について定義した。具体的には、各パターンで自転車までの距離100m毎の平均走行速度のプロファイルを描いた際に速度が最も高かった地点を基準とし、各自動車の1m毎の加減速率を以下の式(1)により算出した。

$$a_x = (v_x - v_{max}) / v_{max} \quad (1)$$

ここで、

- $a_x$ : 次に追い越す自転車からx m地点での加減速率 (%)
- $v_x$ : 次に追い越す自転車からx m地点での走行速度 (km/h)
- $v_{max}$ : 各パターンで平均走行速度のプロファイルを描いた際に速度が最も高かった地点の走行速度 (km/h)

併せて、被験者の自動車に最も接近している対向車までの距離についても整理し、各自動車について自転車までの距離別にその地点での加減速率および対向車までの距離のデータを整理している。このデータを基に、自転車までの距離が30m地点から0m地点まで1m毎に、その時点での対向車までの距離帯別に加減速率の平均値を算出した結果を図13に示す。その結果、どの道路タイプでも対向車までの距離が101m以上の場合は加減速率の変化が小さくなっており、その距離が51~100m、1~50mと近づくにつれて加減速率の変化が大きくなっていった。特に、道路タイプ2ではどの対向車までの距離帯別でも加減速率の値が低くなっており、これは車線幅員が2.75mと狭く、自転車が車線内を走行しているために自動車の減速に繋がったと考えられる。

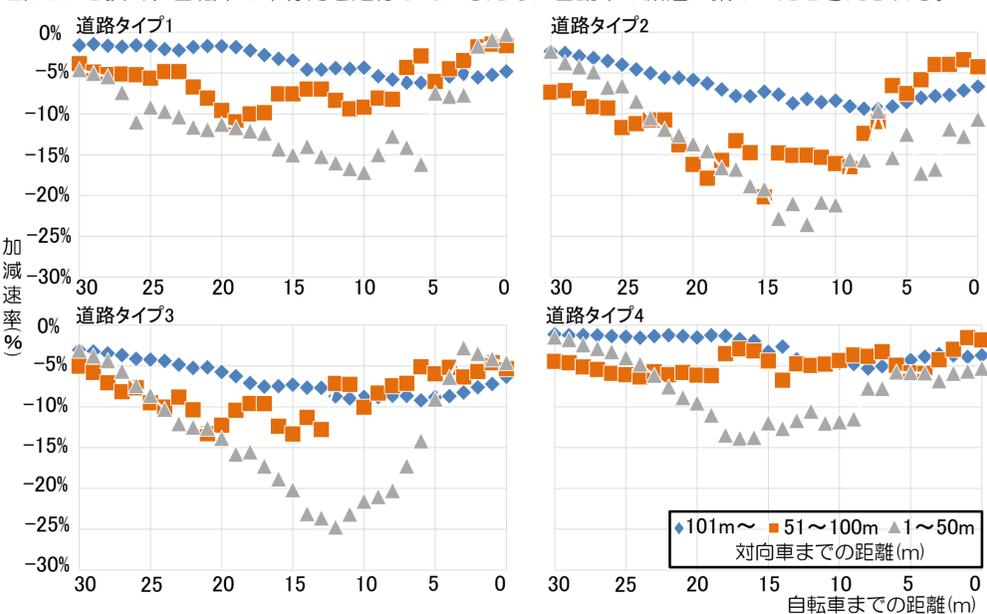


図13 対向車および自転車までの距離と加減速率

## (3) 自転車を追い越す自動車の追い越し判断について

続いて、自動車の自転車追い越し判断に関する分析を行う。まず、全走行速度プロファイルを平均した際に最も標準偏差が大きくなっていった自転車までの距離12m地点以内のデータを用い、アクセルを踏んでいるデータは「追い越す」、ブレーキを踏んでいるデータは「追い越さない」(アクセルもブレーキも踏んでいないデータはその地点の前にアクセルを踏んでいれば「追い越す」、ブレーキを踏んでいれば「追い越さない」と判断したとして追い越し判断の定義を行った。そして、自転車を追い越す自動車の追い越し判断を分析するため、この追い越し判断を目的変数に自転車までの距離(3m間隔)、対向車までの距離(5m間隔)、車線幅員、自転車の走行位置を説明変数として数量化Ⅱ類を行った結果を図14に示す。図より、対向車までの距離の影響が最も大きくなっており、特に対向車までの距離が10~50mの距離間の際に運転者は自転車を追い越さないと判断している割合が高く、自転車を追い越すに感じていないことがわかる。一方で、対向車までの距離が80~100m以上の時は追い越すと判断しており、対向車の影響が小さいことがわかる。

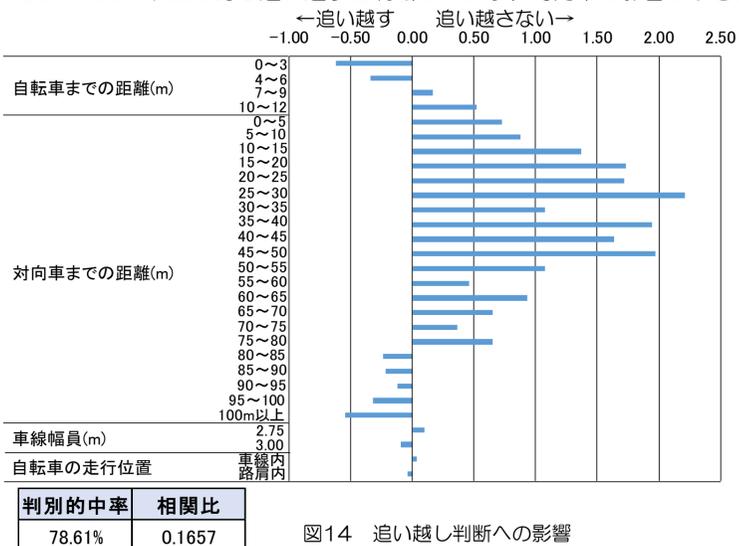


図14 追い越し判断への影響

判別率	相関比
78.61%	0.1657

## 5. 自転車追い越し時に交通量が及ぼす影響の検討

### (1) 実験概要

前章では自転車を追い越すに、あるいは追い越しやすい対向車までの距離の分析を進めてきたが、そもそもこの対向車の発生状況に関わってくるのは交通量であることが考えられる。そこで、本章では対向車の発生に関係してくる交通量に着目して分析を進めていく。まず、実験パターンについては、車線幅員、路肩幅員の異なる3タイプの道路(表5)を作成し、それぞれの道路タイプにおいて交通量を250台/h、500台/h、750台/h、1,000台/hと変化させた計12パターンで検証を行った。仮想空間は前章と同じ荒江七隈線をモデルとしている。

また、被験者の車と同方向に走行する自転車を計5台、100m間隔で配置し、対向車についてはランダムで発生させ(対向車の速度は40km/h)、自転車の走行位置はどの道路タイプでも車道左端から0.5mの位置に設定している。そして、被験者は男性26名、女性5名を対象に1人12パターンの道路をランダムに走行してもらい、各パターンの走行終了後に自転車の追い越しにくさに関するアンケートに答えてもらっている。

表5 作成した道路タイプ

道路タイプ	車線幅員(m)	路肩幅員(m)	交通量(台/h)
I	2.75	なし	250
II	2.75	0.50	500
III	3.00	0.75	1,000



図15 作成した仮想空間(道路タイプI)

### (2) 交通量の違いによる影響

交通量による影響を分析していくために、まず各道路タイプにおける自転車までの距離100m毎の平均走行速度を求め、速度が最も高かった地点を基準とし、速度が最も低い点との各自動車の加減速率を算出した。そして、交通量毎に比較した結果を図16に示す。図より、道路タイプIにおいて交通量が増加していくと加減速率も小さくなり、減速が大きくなっていくとわかる。また、道路タイプII、IIIに関しては交通量による影響が小さかった。続いて、追い越しにかかる時間を比較した結果を図17に示す。なお、ここでの追い越し時間は自転車1台目までの距離が0mになった地点から自転車5台目までの距離が0mになった時間としている。図より、加減速率と同様に道路タイプIにおいて交通量が増加するにつれて、追い越し時間が増していくことがわかる。道路タイプIのように幅員が狭い道路だと自転車を回避する必要があり、その時に交通量が多いと断続的に対向車が発生してしまうためと考えられる。

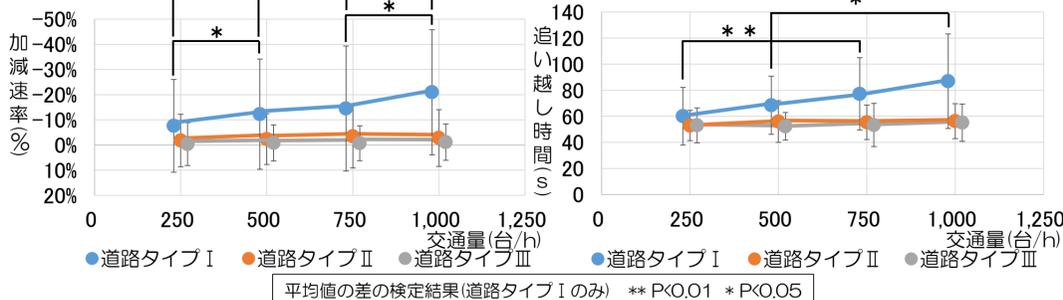


図16 交通量による加減速率の変化

図17 交通量による追い越し時間の変化

### (3) 車道混在の望ましい路線について

これらの結果から、自転車ネットワークとしての車道混在の整備が望ましい路線の分析を進めていく。まず、自転車追い越し時の自動車の走行挙動への影響を総合的に考えていくために、前節の加減速率、追い越し時間、さらに自転車との回避幅(各パターン毎に最高速度地点と自転車までの距離0m地点での離隔距離の差)、追い越しにくさに関するアンケート結果(かなり追い越しにくい~かなり追い越しやすいの5段階評価)を整理したデータを用い、主成分分析を行った。その結果を図18に示す。この主成分分析で得られた第1主成分を自転車追い越し時の自動車への総合的な影響力として考え、道路タイプ・交通量ごとに主成分得点の算出を行った結果を表6に示す。なお、表の得点は値が高くなるほど自動車への影響が大きいことを表し、値が低くなるほど自動車への影響が小さくなることを表している。表より、道路タイプIの値が他の道路タイプに比べ高くなっており、自動車への影響が大きいことがわかる。さらに道路タイプIの交通量で比較すると交通量が増えるごとに値が高くなっており、自動車への影響が増していくことがわかる。このことから、車線幅員2.75m、路肩なしのように幅員が狭い道路では交通量の影響を受けやすいと考えられる。反対に道路タイプIIIは値が低く、自動車への影響が小さい上に交通量による変化も小さい。最後に、得点が一番低かった道路タイプIIIの交通量250台/hの値を自動車への影響がほとんどない理想的な道路と考え、他の道路タイプ・交通量の値と多重比較を行った(表6)。その結果、道路タイプIIの交通量750台/hまでは統計的な有意差がみられなかった。このことから、車線幅員3.00m、路肩幅員0.50m、交通量が750台/h程度までであれば自動車の走行挙動への影響が小さく自転車ネットワークとして取り入れるのに望ましい路線だと考える。

表6 多重比較による結果

道路タイプ	交通量	250台/h	500台/h	750台/h	1,000台/h
道路タイプI		0.803	1.381	1.821	2.424
道路タイプII		-0.525	-0.519	-0.381	-0.358
道路タイプIII		-1.279	-1.088	-1.089	-1.074

道路タイプIII,交通量250台/h (赤字)との多重比較の検定結果  
濃橙色,P<0.01 薄橙色,P<0.05

図18 第一主成分の主成分負荷量

## 6. 総括

本研究では、車道上を走行する自転車が自動車の走行挙動に及ぼす影響について分析を行った。まず、実走実験では対向車の有無や道路構造の違いで自動車走行挙動への影響がみられた。仮想空間での実験では、自転車レーンにおいては、対向車の影響や自転車の走行位置による走行挙動への影響がみられた。車道混在においては、対向車までの距離が10~50mの際に運転者は自転車を追い越しにくく感じていることや対向車までの距離が80~100m以上離れていると対向車の影響が小さいことが明らかになった。その後、交通量による影響の分析を行い、車道混在が望ましい路線を明らかにした。最後に、自転車ネットワークを考えると、自転車レーンに関しては、交通量が多いと対向車の影響を受けやすいこと、自転車利用者にはレーン内を走行するよう注意喚起が必要だと考える。車道混在に関しては、車線幅員2.75m、路肩幅員0.50m、交通量750台/h程度までであれば自動車の走行挙動への影響が小さく自転車ネットワークとして取り入れるのに望ましい路線だと考える。

今後の課題としては、今回の研究では自動車を運転するドライバー目線での自動車走行挙動への影響から自転車ネットワーク整備に向けた考察をしているが、自転車走行空間を考えていく上では自動車利用者だけでなく、その空間を走行する自転車利用者の安全性なども考慮した考察が必要だと考える。また、その他の研究課題として被験者の年齢などにより個人属性による違いや多車線道路での検討が必要だと考える。

参考文献

1) 国土交通省: 安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン,2016.

