

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19360232  
 研究課題名 (和文) 走行サービスレベルの国際比較にもとづく新しい  
 自転車利用空間システムの提案  
 研究課題名 (英文) Proposal of a new bicycle friendly space system based on  
 the comparative study of level-of-service in different countries.  
 研究代表者 山中 英生 (HIDEO YAMANAKA)  
 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授  
 研究者番号：20166755

## 研究成果の概要 (和文)：

我が国の自転車交通は、歩行者との錯綜、迷惑駐輪、事故への対処が急務となっている。本研究では、自転車等の利用空間に関する走行ルール、道路構造設計の検討を含めた統合的な空間整備のありかたを分析することを目的として、以下の内容の検討を行った。

- 1) プローブバイクによるサービスレベル評価法の開発
- 2) フランス、中国、日本の多様な自転車利用空間の走行サービスレベルの計測・評価・比較
- 3) 多様な自転車利用空間の構成指針

## 研究成果の概要 (英文)：

Problems on bicycles in Japan, such as conflicts in shared use with pedestrians, illegal on street parking, traffic accidents and so on are urgent issues to be treated. The aim of study is to analysis of guidelines for total improvement of bicycle space including of traffic rule and infrastructure design. The following process were carried out.

- 1) Development of evaluation method for level-of-service using Probe Bicycle System.
- 2) Comparing analysis, evaluation and measurement of level-of-service of different bicycle spaces in France, China and Japan.
- 3) Guideline for the selection of variety of bicycle space for Japan.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
2008年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
総計	11,100,000	3,330,000	14,430,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 交通工学・国土計画

キーワード：自転車、サービスレベル、自転車利用空間、走行特性、フランス、中国、自転車レーン、自転車道、自転車歩行者道路

## 1. 研究開始当初の背景

自転車交通は、環境負荷低減や健康増進に寄与する都市交通手段として利用促進の取り組みが進められている。その一方で、歩道通行による歩行者との錯綜、迷惑駐輪、交通事故などの問題への対処が迫られている。しかも今後、高齢化やバリアフリーへの対応を進める上で、様々な歩行支援システムの増加も

予想され、多様化する道路利用主体間の共存をはかりながら、自転車等の利用空間の整備、秩序化を進めることが要請されている、

これらの自転車利用に関わる課題解決とともに利用拡充を図るには、従来から実施されている自転車のための走行空間明示化などに留まらず、既存走行ルールの見直しや、道路構造設計の検討を含めた、新しい社会インフ

ラとして統合的な施策の構築が必要と言える。このためには、空間構成とルールを組み合わせた利用空間システムについて、多様な事例の安全性・利用性（走行サービスレベル）を評価、比較するとともに、既存のシステムからの移行可能性、市民等の受容性を把握して、望ましい施策体系を見いだすことが必要と考えられる。

国内外の自転車研究では、利用空間システムのうち、道路構造、規制などの静的環境要因、交通量や交通密度などの動的条件を、地点や区間で観察した指標で走行空間を評価する方法が多く提案されている。例えば、車道部通行について、自転車レーン幅員、路面性状、車道幅員、交通量などを考慮した利用者体感の指標としてRandisのBLOS (TRB, 1977)や、米国の自転車道路指標BCI、イギリスのCycleReviewなどが提案されている。歩行者との混在交通については、Botmaによる指標 (TRB, 1995) 研究をもとに、HCMのLOS (歩行者遭遇頻度を交通量から推定する方法) が提案されている。これら研究は、いずれも区間別代表値で路線単位の評価方法であり、広い時間空間範囲での計測、評価は考慮されていない。

研究代表者らは、自歩道上での歩行者・自転車の混在交通の定量的評価方法を研究し、ニアミス指標による新しい評価法を開発しているが、小交差点や信号、横断路などからなる多様な空間は考慮されていない。

## 2. 研究の目的

本研究は、自転車のための多様な空間構成とルールを組み合わせた利用空間システムの走行快適性（走行サービスレベル）を評価、比較するとともに、既存のシステムからの移行可能性、市民等の受容性を分析し、新しい街路空間の利用システムを提案することを目的とした。具体的には以下の3点を明らかにすることを目標とした。

① 走行中の自転車から走行状況指標を自動計測し、それによって自転車の走行快適性（走行サービスレベル）を評価する「プローブバイクによるサービスレベル評価法」を開発する。

② 我が国における多様な自転車利用空間システム、および異なった発想による海外の利用空間システムを対象として走行サービスレベルの計測・評価・比較を行い、それぞれの利害得失を明らかにする。利用空間システムとは、道路の断面構成、交差点部構造、通行ルールである。

③ 我が国の道路の状況を考慮しつつ、自転車等の中速系、歩行者等の低速系の交通主体を考慮した利用空間システムの構成について概念整理を行い、整理した既存ルールからの移行可能性、受容性について、意見徴収を行い、得失を整理する。

## 3. 研究の方法

最初の2カ年では、以下の手順で多様な空間のサービスレベル比較を行った。

### 1) プローブバイクの開発

走行中の自転車から走行状況を自動計測し、自転車の走行サービスレベルを評価するシステムを開発した。プローブバイクは、タイヤ回転数による速度、前後ブレーキのON/OFF、フレーム部の上限方向加速度、ハンドル蛇角、荷台部分からの距離センサーによる側方に接近した物体への距離変化を計測できる。また、前方方向の画像をビデオ撮影している。



図1 プローブバイク

### 2) 多様な自転車走行空間での走行状況指標および体感評価の計測

多様な道路区間を対象に、上記のプローブバイクを用いて走行状態を計測し、同時に走行環境に対する体感評価を路線区間別に調査した。これをもとに自転車道、自転車レーン、自歩道と通行規制のタイプ別に走行指標を比較した。

これらの分析では表1に示す評価指標を用いている。速度の指標において、希望速度とは、各調査地区、各被験者ごとに求めた平均速度に速度標準偏差を加えた速度で、これに対する比率を用いることで速度の個人差の影響を除去するための工夫である。

表1 プローブバイクによる走行評価指標

観測	指標	指標の意味
速度	平均速度	停止を含まない速度平均値(km/h)
	速度変動率	速度標準偏差の平均速度に対する比率(%)
	平均希望速度比	希望速度(地区別・個人別の平均+標準偏差の速度)に対する比率(%)
	低速走行時間率	10km/h以下の速度で走行した時間の割合(%)
操舵	舵角標準偏差	操舵角の標準偏差(度)
振動	振動時間率	上下振動加速度が0.5G以上の時間割合(%)
制動	制動時間率	前後いずれかのブレーキがONとなった時間割合(%)
前方撮影	前方高密度時間率	前方約10mの自転車換算密度(歩行者は0.4台)が10/100m <sup>2</sup> 以上となった時間割合(%)

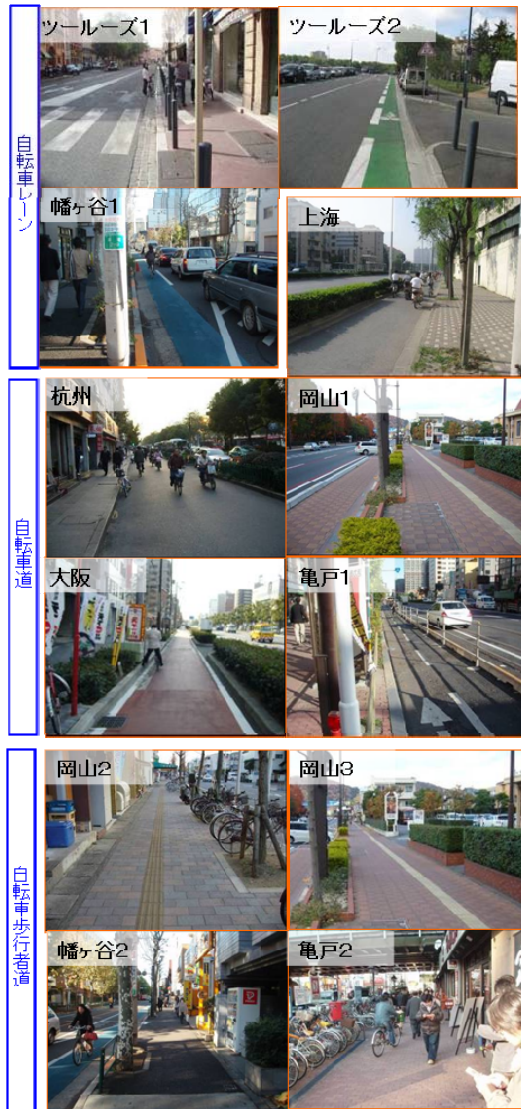


図2 プローブサイクル調査対象区間の例

走行調査は、日本の岡山市、大阪市、東京都幡ヶ谷・亀戸、フランス・ツールーズ、中国・上海、杭州で行った。図2に代表的区間の街路状況を示す。

### 3) サービスレベルモデルの作成

体感評価を外的基準としてプローブデータを説明変数とするモデルを構築し、サービスレベル評価モデルを開発した。

### 4) 我が国の自転車利用空間システム

さらに最終年度においては、土木学会土木計画学研究小委員会「自転車空間研究委員会」等での討議や、米国加州での自転車政策のヒアリングを行い、利用空間システム構成の指針案を作成した。

## 4. 研究成果

### 1) 代表的自転車空間の走行評価

調査区間から、自転車レーン（フランス、日本）、自転車道（中国、日本）、自歩道（交

表2 走行サービスレベルの評価対象区間

分類	国	区間名	幅員	通行	走行回数
自転車レーン	フランス	ツールーズ1	3.5	一方	16
		ツールーズ2	1.3	一方	16
自転車道	日本	幡ヶ谷1	1.4	一方	30
		上海	3	一方	48
	中国	杭州	5.4	一方	24
	日本	岡山1	2	対面	16
		大阪	2	対面	15
亀戸1		2	対面	23	
自歩道	自歩道1	岡山2	3.4	対面	16
		岡山3	2.5	対面	16
	自歩道2	幡ヶ谷2	1.9	対面	30
		亀戸2	3.6	対面	23

ツールーズ1はバスレーンとの共用型

通量の比較的小さい自歩道、比較的多い自歩道)の6種類に分類し、代表として表2の12区間を選定した、それぞれ学生4人から6人が、それぞれ4回~8回走行した。朝8時から17時まで時間帯によって交通状況が異なる条件で計測している。

### a) 平均速度による比較

フランスの自転車レーンの値が最も高く、日本の自転車道よりも約4 km/h高い。中国の自転車道も日本・自転車道より約3 km/h高い。自歩道の速度平均が最も低く、歩行者交通量の多い自歩道2の速度平均は12.5 km/hとフランス・自転車レーン、中国・自転車道路の56-68%である。

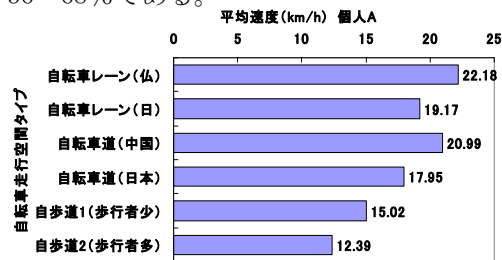


図3 利用空間別 平均速度

### b) 速度の変動

フランス・自転車レーンの値が最も変動が小さく、日本の自転車レーンより約2.5%小さい。日本・自転車道が、中国・自転車道より約6%低い値で続く。中国の変動率が高いのは区間が長く高速走行が可能な区間を含むためと思われる。これに対して自歩道2は低速度かつ変動率が約18%と高い。

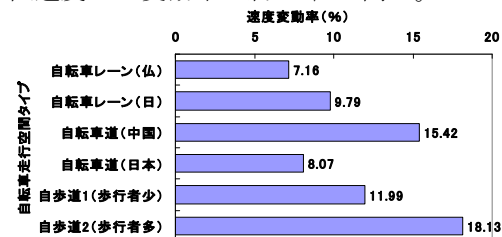


図4 利用空間別 速度の変動率

### c) 希望速度に対する比率

フランス・自転車レーンの値が最も高く、日本の自転車レーン、自転車道はそれに次いで良好である。中国・自転車道は9%低く、歩行者の多い自歩道2は約60%で最も低く



なっている。中国の自転車道が低いのは調査地区全体の速度が高速であるためである。

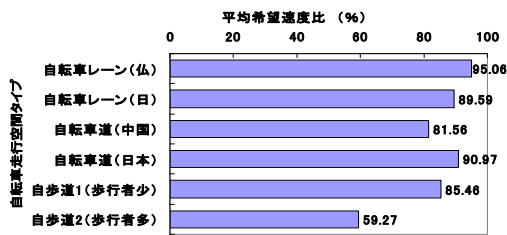


図5 利用空間別 希望速度比

d) 低速走行の割合

フランス・日本の自転車レーン、日本の自転車道、自歩道1の値は、ほぼ1%程度、中国自転車道も約3%と低いのに対して自歩道2は30%以上となった。

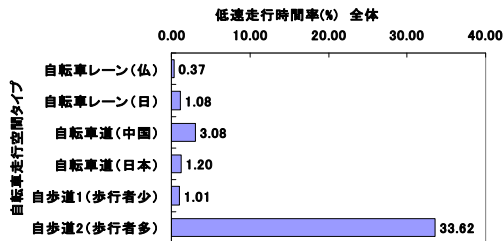


図6 利用空間別 低速走行時間率

d) ハンドル操舵量

操舵については、中国の自転車道が最も低く、フランス型自転車レーンが続く。自歩道2の値は最大で約4度であった。自歩道のような障害物のある場合を除くと、副因の広い空間ほど操舵量が少ない傾向が見られる。

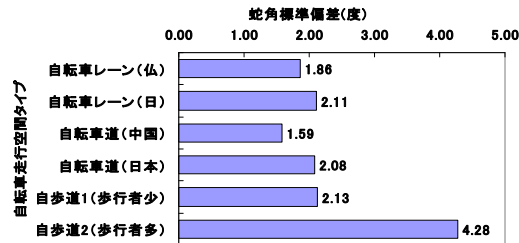


図7 利用空間別 蛇角標準偏差

e) 上下振動

日本・フランスの自転車レーンは同程度で低い。自歩道2も低い値であるがこれは速度が低いためと言える。中国・自転車道は速度が高いことに加えて、路面性状が良好でない部分などがあるためか、日本の自転車道より7%ほど高く、最も高い振動値を示している。

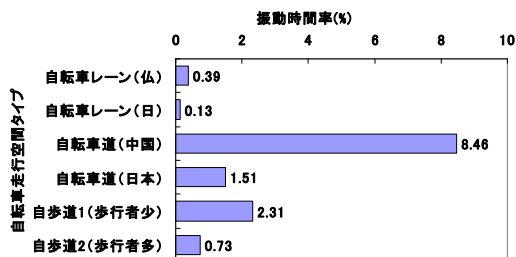


図8 利用空間別 振動時間率

f) ブレーキ操作時間

日本の自転車道の値が最も低く、中国の自転車道より3.5%ほど低くなっている。これも自歩道2が高い値を示しており。時間にして10%もブレーキをかけて走行している状態が示されている。

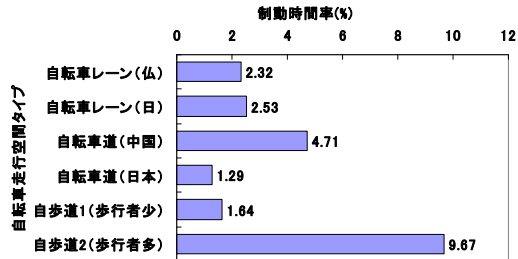


図9 利用空間別 制動時間率

g) 前方交通密度と走行特性

フランス・日本自転車レーンで前方密度は低くなっており、一方通行でレーン上の密度は高くなっていないことがわかる。このことが速度や速度変動が少ない要因の一つとなっていると考えられる。一方、中国の自転車道路は日本の自歩道1よりも高い前方密度を有している。一方通行であるため、すれ違い交通がないことから速度は自歩道1よりも高い値を示しているが、速度変動や制動などは自歩道1よりも高く、錯綜度は高い状況と言える。日本の自転車道は中国の自転車道ほど密度は高くなっていない、対面通行であることから、速度が低く、操舵量も比較的高くなっており、自由度の制約された空間であることが示唆された。

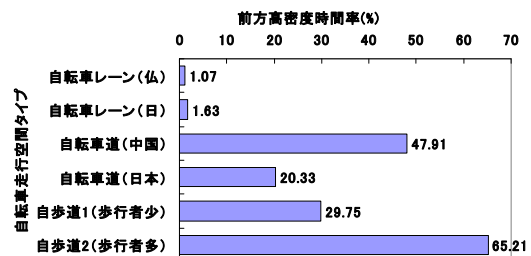


図10 利用空間別 前方高密度時間率

2) 体感評価とサービスレベル評価モデル

a) 走行時の体感評価の比較

図10は区間を走行し終える度に、被験者が6項目の走行時体感に回答した結果を集計したものである。6項目の体感評価はすべて5件法で質問されており、図では、走行空間のタイプ別に走行した全被験者の評点平均を示している。評点が高いほど危険感が高い、または不快感が増すことを示している。これによると、総合的な快適感とは走行速度の計測結果の順とほぼ同様になっており、レーン型(仏)、中国自転車道、日本レーン、日本自転車道の順に快適性が高くなっている。全体傾向に比して、日本の自転車道は走行副因へ

の不満感が比較的高く、中国自転車は路面の不快感が高い傾向が見てとれる。日本の自転車レーンは、路面の快適性が全体の傾向から比べて良好になっている。

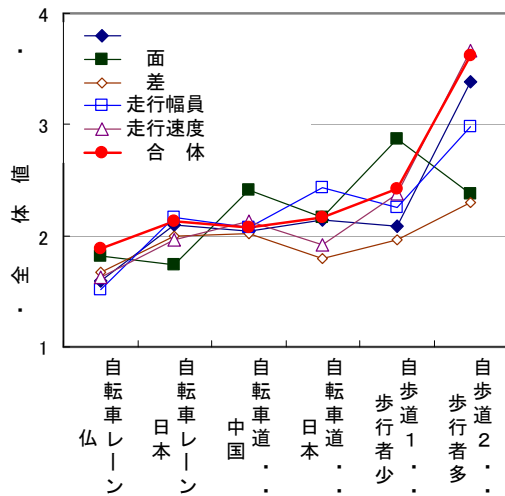


図11 体感評価の比較

b) サービスレベル評価モデル

さらに、体感評価とプローブバイクから得られた指標の関連分析を行った結果、以下の5つの自転車走行空間評価のモデル式が得られた。表3に、モデルに用いた走行状況指標を示す。それぞれ評価値のロジスティック関数値が危険感、不快感を感じる比率(0~1.0)の推定値となる。

$$\begin{aligned} \text{他交通に対する危険感} &= -0.002 \times \text{希望速度比} + 0.023 \times \text{側方障害} + 0.205 \times \text{制動回数} \\ &+ 0.029 \times \text{減速} + 0.054 \times \text{密度} - 1.118 \\ \text{路面振動不快感} &= -0.014 \times \text{低速} - 0.010 \times \text{希望速度比} + 0.057 \times \text{振動} + 0.258 \\ \text{歩道幅員不快感} &= -0.011 \times \text{希望速度比} + 0.014 \times \text{側方障害} + 0.250 \times \text{制動回数} + 0.149 \\ \text{走行速度不快感} &= -0.015 \times \text{希望速度比} - 0.022 \times \text{高速} + 0.031 \times \text{振動} + 0.236 \times \text{制動回数} \\ &+ 0.061 \times \text{減速} - 0.618 \\ \text{総合的不快感} &= -0.009 \times \text{希望速度比} + 0.016 \times \text{急操舵} - 0.020 \times \text{高速} + 0.44 \times \text{振動} \\ &+ 0.203 \times \text{制動回数} + 0.060 \times \text{減速} + 0.009 \times \text{制動} - 1.464 \end{aligned}$$

表4 サービスレベル評価モデルの説明変数

指標	説明変数	定義
速度	平均希望速度比	希望速度比の平均値(%)
	低速走行時間率	低速(10km/h以下)の時間割合(%)
	高速走行時間率	高速(18km/h以上)の時間割合(%)
速度	速時間率	速度が0.02G以下の時間比率(%)
操舵	操舵時間率	操舵速度が15度/以上以上の時間比率(%)
振動	振動06時間率	上下の振動加速度が0.6G以上となる時間比率(%)
ブレーキ	制動時間率	前後のブレーキをかけた時間割合(%)
	ブレーキ回数	前後のブレーキを使用した回数
方	時間率	前方10m以下の時間割合(%)
前方平均密度	密度	前方約10mの自転車換算密度の平均値(台/m2)

総合不快感の体感指標でみると希望速度に近く、高速(18km/h)走行時間が長く、急操

舵、制動、減速、振動が少ないほど快適であることを示している。

c) 利用空間システムの評価

以上の結果を整理すると以下の点が明らかになった。

フランス型自転車レーンは、多くの指標で最も優れた値を示す。自動車交通が少ないこと、路面性状が良好であったことが理由と考える。日本の自転車レーン(幡ヶ谷)は、フランスには及ばないが、低速走行が少なく、振動も良好である。自動車交通量が多い点を除くと自転車走行環境としては問題のないレベルにある。日本の自転車道(亀戸・岡山)は、日本の自転車レーンより前方密度が高くなっていたが、他の指標では日本の自転車レーンと大差ない値となっている。ただし、振動がレーンより高い。特に岡山で路面性状の問題が見られた。中国の自転車道は広幅員・一方通行・高密度が特徴で、平均速度が高いが、低速走行や変動が大きく振動も高い。また、密度が高いが、舵角は小さい。つまり、前方交通に阻まれて追い抜けずに、制動が多発する状況になっている。自歩道は、歩行者交通量の少ない場合は、制動や蛇角、低速走行などの指標で日本の自転車道程度の値を示しているが、振動が大きく、総合的な体感も明らかに悪化している。また、歩行者交通量が多くなると、平均速度、速度変動、低速走行、制動、蛇角とも相当に悪化した状態であることが明らかになっている。歩行者への錯綜問題はむしろであるが、こうした空間では自転車としての走行特性を生かせない状況であると言える。

3) 我が国の自転車利用空間システム構成

土木学会土木計画学研究小委員会「自転車空間研究委員会」等での討議や、米国加州での自転車政策のヒアリングを行い、多様な自転車走行空間の得失について、自転車の走行性(LOS)と交通安全性(特に交差点部)の視点から整理した。この結果を表5に示す。自転車LOSからの比較評価は本研究での走行実験をもとにしている。ただし、安全性に関する比較はヒアリングに基づく質的な判断

表5 自転車利用空間の評価

空間タイプ	通行制	車道	自転車	差全
自転車道	一方	差		
	中国	一方		
	日本	対面		
自転車レーン	海	一方		
	日本	一方		
(車道)	日本	一方	なし	
自転車歩行者道・自転車通行歩道	区分	対面	歩車	
	分	対面	歩車	
		対面	歩車	

にもとづくものであり、詳細な科学的評価が必要となると考えられる。

我が国の自転車走行空間は自転車レーンや路肩を除くと路側部の両方向走行ルールが特徴である。海外の研究やヒアリングによると双方向通行は事故多発化を招くとされ、また、我が国の研究でも、右側走行する自転車の事故率が右側走行に比べ高いことが示されている。このため、双方向自転車空間の安全性を×としている。

また、自転車を車両から分離する自転車道では、交差点部での事故が高いことが、米国やデンマークの経験で示されており、交差点部では自転車レーンを車両と混在させる交通処理が導入されている事例が多くなっている。このため、自転車道は自転車レーンよりも安全性で劣るとしている。

以上の評価からみると、車道部を一方通行させる自転車レーンが自転車走行LOSや安全性からみて望ましい形態といえる。しかし、我が国の高齢者や幼児等の自転車利用、さらには自転車の双方向通行に対する市民意識を考慮すると一方通行化の実施には障壁が大きいと考えられる。このため、戦略的には自歩道や自転車通行可歩道を残しつつ、車道部に専用走行帯や路肩カラー化する路線を整備することによって、速度の速い自転車をLOSや安全性の高い車道利用へと誘導することから進めることが考えられる。ただし、こうした空間構成での交差点処理については、世界的にも経験がなく、今後科学的検討が必要になる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計12件)

- 1) 山中 英生: 自転車に配慮した道づくりの展開, 交通安全教育, No. 498, 2007, pp. 6-16
- 2) H. Yamanaka: Measuring Level-Of-Service For Cycling Of Urban Streets Using Probe Bicycle System, Proc. of the EASTS, Vol. 6, 2007, CD-R, 12p
- 3) 柿原 健佑, 山中 英生, 滑川 達: プローブバイシクルを用いた高齢者の自転車走行時の挙動に関する分析, 交通工学研究発表会論文報告集, Vol. 27, 2007, pp. 297-300
- 4) 山中 英生, 大下剛, 藩 曉東, 趙曉翠: プローブバイシクルを用いた日中の自転車空間の走行性比較, 交通工学研究発表会論文報告集, Vol. 28, 2008, pp. 313~316
- 5) 山中 英生: 自転車交通を使いこなす都市・道路づくりへ, 交通工学, Vol. 43, 2008, pp. 1-2
- 6) 山中 英生: 交通連携と今後の望ましい交通社会, 道路, Vol. 82, 2009, pp. 4-9
- 7) 山中 英生: 四国における自転車の利用促進とその展望, 運輸と経済, Vol. 60, No. 7, 2009, pp. 25-32
- 8) 山中 英生: 自転車走行空間整備持続ある取り組みにむけて, 土木技術資料, 51, No. 4, 2009, p. 3
- 9) 藩 哲, 山中 英生: 自転車への態度と道路環境が将来利用意向に与える影響, 一日本・中国・フランス・韓国の大学生意識分析をもとに, 交通科学, Vol. 40, No. 2, pp. 55-6, 2010
- 10) Zhe P., Hideo Yamanaka and Kakiyama K. : Evaluation of shared use of bicycles and

pedestrians in Japan, Urban Transport -Urban Transport and the Environment in the 21st Century-, Vol. 14, pp. 47--56, 2008.

- 11) 山中 英生: 都市交通モードとしての自転車, -現状とその改善方向-, 道路, V835, pp. 6-7, 2010.
- 12) 山中 英生: 自転車交通ガラパゴス日本の道は? 土木学会誌, Vol. 95, No. 10, pp. 14-16, 2010

〔学会発表〕(計5件)

- 1) 柿原 健佑, 山中 英生, 滑川 達: プローブバイシクルを用いた高齢者の自転車走行時の挙動に関する分析: 土木計画学研究発表会, 2007. 6, 九州大学
- 2) 山中 英生, 藩 哲, 柿原 健佑, 大平 晴加: 中国の自転車道における交通流特性の分析, 土木学会四国支部技術研究発表会, 14, 2008. 5 高知工科大学
- 3) 真田 純子, 金尾 百子, 山中 英生: 夜間の歩行空間評価に関する研究, 土木計画学研究 講演集, 37, 2008. 6. 北海道大学
- 4) 柿原 健佑, 山中 英生, 藩 曉東, 大平 晴加, 藩 哲: 中国の自転車道における交通流特性の分析, 土木計画学研究発表会, 37, 2008. 6. 北海道大学
- 5) 横田 周典, 山中 英生, 柿原 健佑, 亀谷 友紀: プローブバイシクルを用いた日仏中の自転車走行空間の特性比較, 土木計画学研究発表会, 39, 2009. 6, 徳島大学

〔図書〕(計1件)

山中 英生・小谷 通泰・新田 保次: 学芸出版(京都市): まちづくりのための交通戦略(改訂版)2010

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件) ○取得状況(計0件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山中 英生 (HIDEO YAMANAKA)

徳島大学大学院・ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号: 20166755

### (2) 研究分担者

・滑川 達 (SUSUMU NAMERIKAWA)

徳島大学大学院・ソシオテクノサイエンス研究部・准教授

研究者番号: 40332811

・真田 純子 (JUNKO SANADA)

徳島大学大学院・ソシオテクノサイエンス研究部・助教

研究者番号: 60452653

・三谷 哲雄 (TETSUO MITANI)

流通科学大学・情報学部・准教授

研究者番号: 80289115

### (3) 研究協力者

・松原 淳 (榎オリエントタルコンサルタント)

・大脇 鉄也 国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究室主任研究員

・藩 曉東 中国同济大学・教授