

道路環境が利用者の運転と評価に与える影響の分析

小関 大紀 江山 小林 佑行 志賀 祐紀
アドバイザー教員 糸井川 栄一

1 はじめに

近年、世界中の道路において歩車分離が進められている。歩車分離式の道路は道路上の空間を「車両」「歩行者」で明確に住み分けを行い、交通安全を実現することを目的とした手法である。しかし、道路上の空間を明確に区分することで、道路を利用する際の柔軟さや自由さが失われてしまっている。道路上のスペースを柔軟に利用できないために、ロススペースが生まれたり地域交流の場が失われたりしている。

道路を利用する際の柔軟さや自由さが失われつつある現状に対応するために、近年「シェアード・スペース」という施策が注目を集めている。シェアード・スペースとは、あえて信号や道路標識、道路の区分などを無くすことで、一つの道路上の空間を歩行者や車両が共有している状態を作り出すことを目的とした施策である。シェアード・スペースを導入することで、道路上の空間を様々な形態で利用することができ、道路上の空間をより有効に活用することができる。一見、道路上の区分をなくしてしまうことで、交通事故の危険性が増してしまうように感じられるかもしれない。歩車分離式の道路と比較しても、シェアード・スペースでは歩車が相互に気を配り合い注意するので、交通事故の危険性が格段に上昇してしまうことは無いと考えられている。このような点でシェアード・スペースには歩車分離式の道路と比較して大きなメリットが存在しているため、我々は導入を推進していくべきであると考えます。

シェアード・スペースのような施策を導入する際、問題となるのが導入場所の選定である。もし施策が環境に適さない場合、施策が期待されている効果とは逆の効果をもたらしてしまう可能性が存在する。施策が逆効果を及ぼすことを防ぐためにも、導入の際は十分な調査及び検討を行わなければならない。調査を行った道路交通環境に対して施策を導入した際に、検討を行う際に重要となるのがその施策が道路利用者に対してどのような影響を与えるかという点である。しかし、2章で後述するが、我々の知る限りでは道路交通環境が運転手や歩行者に対してどのような影響を与えるかを定量的に評価した研究は存在しない。今後、効果的にシェアード・スペースを導入していくためにも、シェアード・スペースを導入した際に高い効果が期待でき

る道路交通環境を明らかにしていく必要がある。

2 既存研究

シェアード・スペースの推進者の一人であるハミルトン [1, 2] は海外のシェアード・スペースの事例を紹介した。その一例として信号機をなくし道路を赤色のレンガ塗装するオランダの政策を取り上げた。しかし、海外の事例を紹介するだけにとどまり道路の効果に対する定量的な評価は行っていない。

また、京都市シェアード・スペース検討協議会 [3] は道路上の白線をなくし部分的に道路を塗装してシェアード・スペースを創り出した。実験前後で自動車及び歩行者の交通量、自動車の走行速度、ヒアリングによる歩行者の意識調査を行った。それにより歩行者と運転手が互いに配慮する意識を創り出し、自動車の走行速度の低下する傾向が確認された。しかし、その結果が白線除去による効果かカラー塗装による効果かまでは明らかにしていない。

橋本ら [4] は運転手の意識に着目して速度抑制に効果がある街路空間を調査するために実験を行った。道路をコンピュータグラフィックスで再現した画像を被験者に提示して、その時に運転すると思われる走行速度を尋ねた。その結果、走行速度の決定には道路空間や印象によって左右されることを明らかにした。しかし、画像を用いた評価にとどまり、現実の状況に近い形での評価を行っていない。

3 研究目的

本研究では、様々な道路環境下での運転手の走行データと危険性や快適性の認識に関して運転手と歩行者に対して意識調査することで、どのような環境要因が利用者の評価に影響を与えるかを明らかにすることを目的とする。また、道路環境の要因を統制し動的な環境で客観的なデータと主観的なデータの両面から定量的に検証を行うことに研究としての新規性を持つ。

4 研究方法

自動車の走行時や歩行者の歩行時の危険性や快適性の認識が道路環境のどの項目に起因するのか評価することは実際の道路で計測することは困難である。よっ

て本研究では図1に示すようなフォーラムエイト社製のドライビングシミュレータ (UC/Win - road8.0) を用いて実験を行うこととした。被験者には様々な環境の道路を自動車で走行や歩行者として歩行してもらうことにより評価を行う。



図1: ドライビングシミュレータ

5 実験内容

本研究において道路環境での危険性や快適性の認識に関連して自動車や歩行者に与える主要要因は表1に示すように、道路の種類、道路の幅、自動車の交通量、自転車の交通量、歩行者の交通量の5つとする。それぞれの要因に関しての環境は表2に示すように、道路の種類は歩道がある歩車分離式の道路、歩道がない歩車共存式の道路、シェアード・スペース、ボンエルフの4種類、道路の幅は大きい小さいの2種類、各種交通量は多い少ないの2種類の組み合わせを用意した。ここで、シェアード・スペースは道路上に障害物がなくレンガ塗装された道路とする。ボンエルフはシェアード・スペースの一つであり、本実験では道路の両側に障害物が置かれてレンガ塗装された道路とした。今回用いた歩道がある歩車分離式の道路と歩道がない歩車共存式の道路をそれぞれ図2,3に示す。シェアード・スペースとボンエルフをそれぞれ図4,5に示す。道路の幅に関しては、道路構造令第十一条に基づいて大きい道路幅として8.5mとする。これは歩道の幅を両側に2.0mとし車道の幅において車間を0.5mとしたときの道幅である。また、道路構造令第八条に基づいて小さい道路幅として6.5mとする。これは半路側帯の幅を両側に0.5mとし車道の幅において車間を1.5mとしたときの道幅である。各種交通量に関しては[5]から歩道を両側に建築する際の基準となる交通量を引用し、自動車に関しては162台/h、自転車に関しては5台/h、歩行者に関しては15人/hを交通量が少ないとし、自動車に関しては540台/h、自転車に関しては15台/h、歩行者に関しては29人/hを交通量が多いとした。

全ての道路環境の組み合わせでは64 (= 4 × 2 × 2 × 2 × 2) 通りを用意する必要があるが、少ない回数で実験を行うために、本実験では16通りの道路環境にて2水準系の直交実験を採用した。直交実験のデータ構造は $y = \mu + a + b + c + d + f + ab + bc + bd + bf + e$

となる。その時の制約条件は $\sum a = \sum b = \sum c = \sum d = \sum f = \sum ab = \sum bc = \sum bd = \sum bf = 0$ となる。ただし、 y はデータ、 μ は全体平均、 a, b, c, d, f はそれぞれ A, B, C, D, F 水準の主効果、 ab, bc, bd, bf はそれぞれ2因子交互作用 $A \times B, B \times C, B \times D, B \times F$ の効果、 e は誤差である。技術的な観点から考えられない交互作用がどれか分からないので、本来であれば全ての2因子交互作用を取り上げるべきである。しかし、全ての2因子相互作用を直交実験の制約上取り扱うことができない。主に道路の種類の効果に着目しているため、道路の種類 A との交互作用を中心に取り上げることが望ましい。制約上の理由により、道路の種類 A とは一つの主要因としか交互作用として考慮することができない。各種の交通量よりも道路の幅を考えるべきだと考え、2因子交互作用 $A \times B$ を採用した。それ以外では各種交通量間の交互作用よりも道路の幅との交互作用を考えるべきと考え、2因子交互作用 $B \times C, B \times D, B \times F$ を採用した。これを基に表3のような16通りの道路環境を作成した。

実験計画においては検出すべき差を設定してから必要なデータ数を決定することが求められる。本実験では4種類の道路での測定値に関する水準変動が誤差変動の3倍を超える場合、これを有意水準10%、検出力90%で検出するためには15個の実験データが必要となる。表4に示すように運転免許を持つ15人の筑波大学の学生に対して実験の協力を依頼した。

各16通りの道路環境においてドライビングシミュレータを用いた運転と道路上を自由に歩行する2種類の実験を行った。具体的には、乱塊法を用いて一人の被験者に対して自動車目線と歩行者目線の実験をそれぞれ16通りの道路環境をランダムな順番で行った。自動車目線の実験では、図6のような信号機のない道路上で右折左折が2回ずつある1,500mの決まった道を30km/h程度の速度で運転してもらった。自動車の運転で計測する項目は平均速度(km/h)、速度分散、アクセル開度(%), 急加速回数, ブレーキ回数の5つである。各通りの運転終了時に表5に示すような危険性や快適性の認識について5段階で評価するアンケートに答えてもらった。質問1,2,3が道路の危険性の認識に関する質問に対応し、質問4,5,6が道路の快適性の認識に関する質問に対応する。歩行者目線の実験では、マウスとキーボードを用いて1分間道路上を自由に歩行してもらった。各通りの歩行終了時に表6に示すような危険性や快適性の認識について5段階で評価するアンケートに答えてもらった。質問1,2が道路の危険性の認識に関する質問に対応し、質問3,4が道路の快適性の認識に関する質問に対応する。

自動車と歩行者目線の実験において得られたアンケート結果から危険性や快適性の認識を評価するために、一対比較法を用いて危険性の認識スコアと快適性

の認識スコアを計算した。具体的には、各質問の評価の総和によってスコアが計算される際に、評価に重み付けして総和を取った。重みを決めるために被験者に全ての運転終了後にそれぞれの危険性や快適性の認識の質問に順位づけをしてもらった。この手法により、危険性と快適性の認識に関するアンケート結果を重みづけされたスコアとして評価することが出来る。以上により本実験で得られるデータの項目を表7に示す。

表 1: 本実験で扱う道路環境の要因

水準	水準数	内容
A	4	道路の種類
B	2	道路の幅
C	2	自動車の交通量
D	2	自転車の交通量
F	2	歩行者の交通量

表 2: 各水準の道路環境

水準	内容
A ₁	歩車分離式の道路
A ₂	歩車共存式の道路
A ₃	シェアード・スペース
A ₄	ボンエルフ
B ₁	道路の幅が小さい (6.5m)
B ₂	道路の幅が大きい (8.5m)
C ₁	自動車の交通量が少ない (162 台/h)
C ₂	自動車の交通量が多い (540 台/h)
D ₁	自転車の交通量が少ない (5 台 ¹)
D ₂	自転車の交通量が多い (15 台 ¹)
F ₁	歩行者の交通量が少ない (15 人 ¹)
F ₂	歩行者の交通量が多い (29 人 ¹)

6 実験結果

本実験の分析において [6] の分析ツールを用いた。表 8 に F 値が 2 未満のときにプーリングを行った分散分析の結果を示す。表 9 に有意水準 10% に対して各データの値が最小最大となる道路環境を示す。

7 考察

表 8,9 に示す実験結果からの考察を述べる。表 8 を見ると道路種類の要因の水準 1-4 を見ると有意差が得られていない。水準 1-4 はアクセルに関する制御に関

¹ 実装上の理由により走行シナリオにおいて定点を通過したら自転車や歩行者を発生させるようにした。

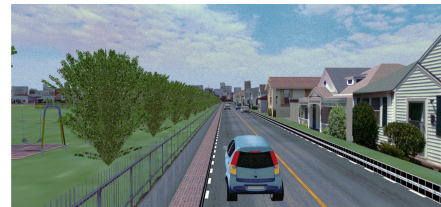


図 2: 歩車分離式の道路



図 3: 歩車共存式の道路

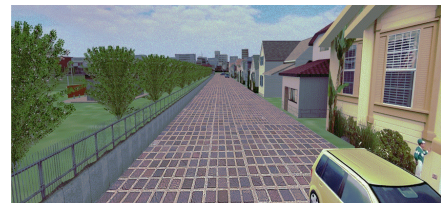


図 4: シェアード・スペース



図 5: ボンエルフ

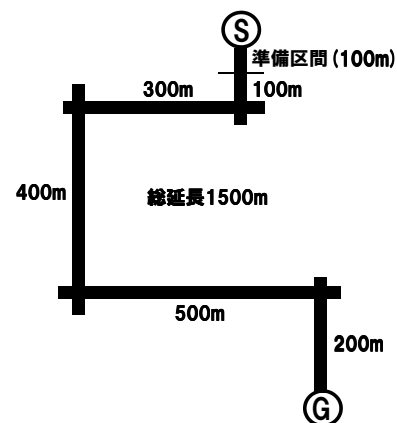


図 6: 自動車の走行経路

わる内容である。つまり道路の種類はアクセル操作に対して影響を与えないということである。一方で、表 9 の 5,6 行を見ると自動車のブレーキ回数と自動車の危険認識スコアに関して歩車分離式の道路が低くなっ

表 8: 各データ項目の分散分析結果

	A 種 類	B 道 幅	C 自 動	D 自 転	F 歩 行	A×B 種 幅	B×C 幅 動	B×D 幅 転	B×F 幅 歩
1: 自動車の速度平均		*	**						
2: 自動車の速度分散		**	†						
3: 自動車のアクセル開度			**						
4: 自動車の急加速回数			†						
5: 自動車のブレーキ回数	**	*	**						
6: 自動車の危険認識スコア	**	**	**			*			
7: 自動車の快適認識スコア	**	**	**						
8: 歩行者の危険認識スコア	**	*	**						
9: 歩行者の快適認識スコア	**	*	**						

** : 1%有意, * : 5%有意, † : 10%有意

表 3: 16通りの道路環境

環境	A	B	C	D	F
1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	F ₁
2	A ₁	B ₁	C ₂	D ₂	F ₂
3	A ₂	B ₁	C ₁	D ₁	F ₂
4	A ₂	B ₁	C ₂	D ₂	F ₁
5	A ₃	B ₁	C ₁	D ₂	F ₁
6	A ₃	B ₁	C ₂	D ₁	F ₂
7	A ₄	B ₁	C ₁	D ₂	F ₂
8	A ₄	B ₁	C ₂	D ₁	F ₁
9	A ₁	B ₂	C ₁	D ₁	F ₁
10	A ₁	B ₂	C ₂	D ₂	F ₂
11	A ₂	B ₂	C ₁	D ₁	F ₂
12	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	F ₁
13	A ₃	B ₂	C ₁	D ₂	F ₁
14	A ₃	B ₂	C ₂	D ₁	F ₂
15	A ₄	B ₂	C ₁	D ₂	F ₂
16	A ₄	B ₂	C ₂	D ₁	F ₁

表 9: 各データ項目の最適な道路環境

番号	最小水準	最大水準
1	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁
2	B ₁ C ₁	B ₂ C ₂
3	C ₂	C ₁
4	C ₁	C ₂
5	A ₁ B ₂ C ₁	A ₄ B ₁ C ₂
6	A ₁ B ₁ C ₁	A ₄ B ₁ C ₂
7	A ₄ B ₁ C ₂	A ₃ B ₂ C ₁
8	A ₁ B ₂ C ₁	A ₃ B ₁ C ₂
9	A ₂ B ₁ C ₂	A ₁ B ₂ C ₁

表 4: 実験の概要

実施日	2013年9月18日 - 10月9日
被験者	筑波大学の学生
年齢	20代
人数	15名 (男性14名, 女性1名)
時間	2時間30分/名

ており、ボンエルフが高くなっている。このことは運転手が道路環境に危険を感じ、そのことに応じてより慎重な速度管理を行っていると考えられる。これらの2点を踏まえると、道路の種類を歩車分離式からボンエルフに変更することでリスクテイキングな行動変容を発生すること無く、リスクアヴォイドな行動変容を発生させることが可能である可能性が存在していることを示している。

表9の1,2行を見ると道幅の広い道路、および自動車の交通量の少ない道路では速度平均が高くなっている。しかし、図8を確認すると道幅による影響はごく

小さい。一方で、図9を確認すると自動車の交通量の少ない道路では比較的高い速度域での走行が行われている。もし万が一高速度域で人対車の衝突事故が発生してしまった場合、被害は甚大になりやすい。そのため、高速度域での走行が予想される自動車の交通量の少ない道路では、歩車分離式の道路を導入することが望ましい。

表8の6行を確認すると、道路種類と道幅の交互作用が得られている。図7を確認すると道幅が広い道路では、道路の種類が自動車の危険認識スコアに対して

表 5: 自動車目線のアンケート内容

質問	質問内容
1	走行時、自転車や歩行者にどの程度気を配りましたか.
2	この道は走行時に歩行者や自転車を避けやすいですか.
3	この実験で自転車、歩行者または地物にぶつかりそうなヒヤリハットは何回ありましたか.
4	この道は走りやすかったですか.
5	歩行者と自動車はこの道のスペースを有効に活用していると思いますか.
6	自転車や歩行者にぶつからないようにハンドルや速度のコントロールをするのにストレスを感じましたか.

表 6: 歩行者目線のアンケート内容

質問	質問内容
1	自動車にどの程度接触事故の危険性を感じますか.
2	自動車接近時に、歩行者は車を避けやすいと思いますか.
3	この道は歩きやすそうですか.
4	歩行者と自動車はこの道のスペースを有効に活用していると思いますか.

表 7: 本実験で得られるデータ項目

番号	内容
1	自動車の速度平均 (km/h)
2	自動車の速度分散
3	自動車のアクセル開度 (%)
4	自動車の急加速回数
5	自動車のブレーキ回数
6	自動車の危険認識スコア
7	自動車の快適認識スコア
8	歩行者の危険認識スコア
9	歩行者の快適認識スコア

影響を与えていない。これは道幅が広い道路では、歩行者回避の際に道路の種類にかかわらず十分なスペースを確保することができたためであると考えられる。一方で、道幅が狭い道路では自動車の危険認識スコアが歩車分離式<シェード・スペース<ボンネルフとなっている。これは歩車分離式の道路は運転手の危険に対する意識を低下させる可能性があることを示唆してい

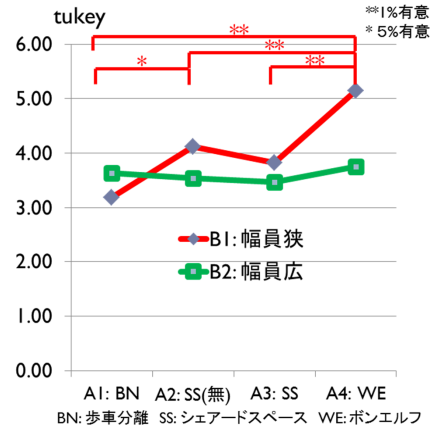


図 7: 自動車の危険認識スコア

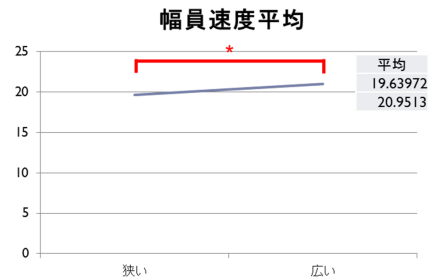


図 8: 幅員速度平均

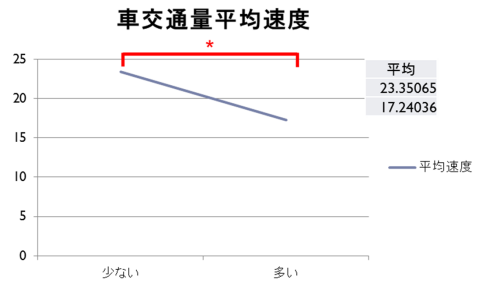


図 9: 車交通量平均速度

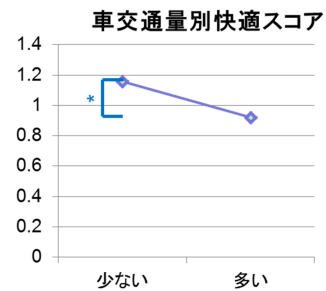


図 10: 車交通量別快適スコア

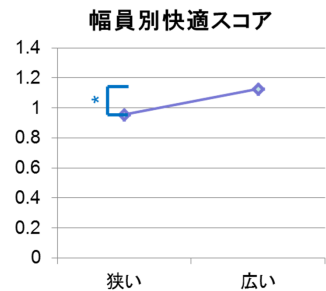


図 11: 幅員別快適スコア

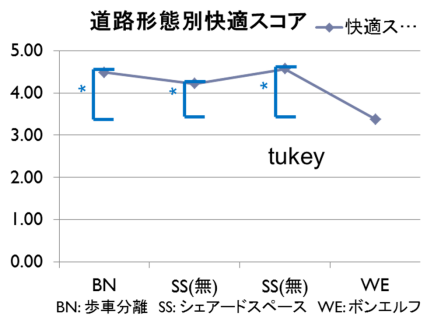


図 12: 道路形態別快適スコア

る。逆にシェアード・スペースとボンエルフは危険に対する意識を向上させる可能性を示唆している。つまり、シェアード・スペースとボンエルフは高い警戒心が求められる環境への導入が適しているということである。また、表 8,9 の自動車の危険認識スコア水準を再び確認すると、自動車の交通量が多い環境で危険スコアが最大化されている。これは自動車の交通量が多い環境は高い警戒心を必要としているということである。これらを踏まえると、シェアード・スペースは道幅が狭いかつ自動車の交通量が多い環境に導入することが望ましいと言える。

表 9 の 7 行と図 12 を見ると、ボンエルフは自動車の快適認識スコアが最小となっている。これは研究学園周辺の道路で発生している事態の原因の一部と同一の原因であると考えられる。このような効果が得られた理由として、自転車や歩行者を回避する際に、道路上のスペースを自由に利用することができなかったことに原因があると実験風景から推測できた。表 9 の 7 行と図 12,10,11 を見ると、この観察結果を裏付けるように自動車の快適認識スコアは、より自由に車両を制御することのできるシェアード・スペースかつ道幅が広く自動車の交通量の少ない環境で高くなり、対向車により車線のスペースの制限を最も受けたボンエルフかつ道幅が狭く自動車の交通量の多い環境で低くなっている。つまり、快適性を向上させることを目的とする場合、道路上のスペースを区分無く自由に通行できるようにすることに留意して道路の設計を行う必要がある。

ここまでの考察をまとめる。歩車分離式の道路は運転手に安心感を与えてしまい、ボンエルフと比較すると警戒心の低下を招いてしまう。しかし、歩車分離により歩行者の保護がなされているため、歩行者の安全の確保が行われている。これを踏まえると歩車分離式の道路は自動車の交通量の少ない環境に導入するのに適している。一方、シェアード・スペースは運転手の警戒心を向上させる効果がある。そのため、シェアード・スペースは警戒心向上の効果が期待でき高い警戒心が求められる道幅の狭い、かつ自動車の交通量の多い環境に導入するのが最も効果的であると考えられる。シェアード・スペースに障害物を加えたボンエルフで

はより高い警戒心の向上を期待できる。しかし、ボンエルフは通行スペースが狭くなり快適性を低下させてしまうという欠点も存在している。そのためボンエルフを設計する際は注意をする必要がある。

今後の課題について述べる。道路は自動車のみが利用するわけではないので、今回現実に近い評価を得られなかった歩行者視点の実験を検討していく必要がある。また、自動車の視点においても、今回実験を実施した環境がステアリングの操作感に違和感があったため、その点を改善した環境で実験を行い、ステアリング関係の分析も行っていく必要がある。今回実験を実施した環境も限定的であったため、さらに多くの環境で検証を行っていく必要があると考えられる。主観評価に関しても、アンケートの設問項目に大きな影響を受けてしまうものであるため、更なる検討を行っていく必要がある。

謝辞

本研究の遂行にあたりご指導ご鞭撻を頂いた筑波大学システム情報系の糸井川栄一教授に心より感謝いたします。また、ヒアリングに協力して頂いた筑波大学の西川潔名誉教授、筑波大学システム情報系の谷口守教授、UR 都市機構首都圏ニュータウン本部 茨城地域事業本部の瀬田禎久氏と森川昇平氏、筑波大学施設部の皆様、そして本実験に協力して頂いた皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] Hamilton-Baillie, B.: Shared space: reconciling people, places and traffic. Built environment vol.34 no.2, pp.161-181 (2008)
- [2] Hamilton-Baillie, B.: Towards shared space. Urban Design International vol.13 no.2, pp.130-138 (2008)
- [3] 京都市シェアード・スペース検討協議会：京都市シェアード・スペース実証実験について。一般財団法人 道路新産業開発機構 道路行政セミナー 10 月号 (2011)
- [4] 橋本成仁, 谷口守, 吉城秀治, 水嶋晋作: ドライバー意識に着目した街路空間による自動車走行速度抑制の可能性。土木計画学研究・論文集 vol.27 no.3, pp.457-462 (2010)
- [5] 福島県道路環境グループ: 「歩道・自歩道」の幅員や片側・両側設置等の計画の考え方。 (2005)
- [6] 星野直人, 関庸一: Excel で学ぶ理論と技術 実験計画法入門。ソフトバンククリエイティブ (2007)