

脳波による自転車走行指導帯の定量的効果分析に関する基礎的研究

～自動車ドライバーの視点から～

Quantitative effect analysis of bicycle road by means of brain waves -from a view point of car driver-

北海学園大学工学部社会環境工学科 ○学生員 金子 選 (Suguru Kaneko)
北海学園大学大学院工学研究科 学生員 中村紘喜 (Hiroki Nakamura)
北海学園大学工学部生命工学科 正 員 鈴木聡士 (Soushi Suzuki)

1. 研究の背景と目的

近年、自転車利用の増加に伴い、交通安全性の向上を目的として、歩行者・自転車・自動車の棲み分けが重要視されている。札幌市では、自転車走行指導帯（以降、ブルーレーン）を導入し、歩行者と自転車の安全性と安心性の向上を図っている。これは、自動車ドライバーにとっても安全性と安心性の向上に繋がることが予想されるため、その効果の定量化が求められる。

脳波による自転車運転環境の評価に関する既存研究として、梶原¹⁾は1週約2.6kmのコースを60km/hと120km/hで走行し、向かい風や視界不良のそれぞれが自動車ドライバーに及ぼす精神的負荷を評価している。松島ら²⁾は、前方車両を見失わず、追突することなく追従する状態を10分間維持させた際の脳波を計測し、ドライバーの内面状態の解析を行っている。山越ら³⁾は、走行中におけるドライバーの緊張感（ストレス）と単調感（リラクセス）に基づき、生理活性度を指標化している。太田ら⁴⁾は、カーブ区間の中央線上にポストコーンを設置し、その効果を評価している。これらの研究は、全てドライビングシミュレータを用いた研究が行われており、実走行環境下での研究、あるいはドライバーの視点からブルーレーンの効果を評価した研究は見当たらない。

そこで、本研究ではポータブル型脳波測定器を用いて実際の道路において走行実験を行い、脳波データから得られる α 波出現率に着目して、自動車ドライバーの視点からブルーレーンの効果を定量的に評価する。これらの分析結果を踏まえて、ブルーレーンの効果を定量的に明らかにすることを目的とする。

2. 研究フロー

本研究の分析フローを図-1に示す。

3. 調査概要

国道230号北一条通のブルーレーンの有無による自動車ドライバーの走行時快適性の差を評価する。その際、脳波測定器を装着し、原則左車線を走行する。また、信号区間データを除去するため車載カメラを設置した。さらにドライバーの振動を調査し振動係数を求めるため、ドライバーの頭部に小型カメラを装着させた。

調査概要と被験者属性を表-1に、走行区間を図-2に示す。

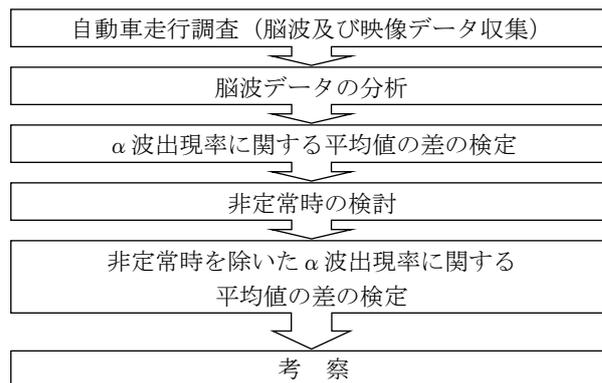


図-1 分析フロー

表-1 調査概要と被験者

被験者	日 時	天 候	性 別	運 転 歴	年 齢
No.1	2014.10.09 AM11:00	晴 れ	男 性	21 年	39 歳
No.2	2014.10.25 AM10:00	晴 れ	男 性	3 年	21 歳



図-2 走行区間

4. 脳波の測定と分析

4.1 脳波データの分析方法と使用機器

本研究で用いた、MUSE BRAIN SYSTEM(株式会社デジタルメディック)は、脳波の測定において、振動ノイズキャンセルシステムが搭載されているため、走行時の振動の影響を除去することが可能なシステムである。

図-3に示すような測定データが得られるが、この中で振幅の大きいものが α 波、振幅の小さいものが β 波としてPCに収集される。

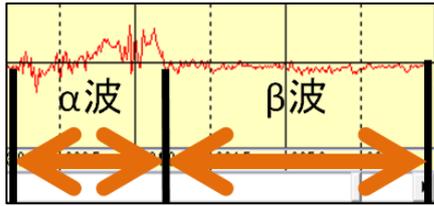


図-3 測定データ

脳波データは1秒ごとに収集され、測定データを高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform : FFT) することで、α波 (リラックス) ・β波 (ストレス) を数値化して、評価することが可能となる。さらに、このFFTされたデータを基に、振動ノイズキャンセルによる解析を行う。

4.2 振動ノイズキャンセルによる解析

微弱な脳波データに混入している振動データを除去するために、係数による補正が必要である。その手順を以下に示す。

①(1)式に示すように、脳波データを強振動混入時振動データで割り、補正係数を算出する。その後、(1)式で得られた複数の補正係数を用いて、(2)式に基づき平均値を補正係数として設定する。

$$CC_T = \frac{BWD_T}{VD_T} \quad (T = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$CC = \frac{\sum_{T=1}^n CC_T}{n} \quad (T = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

ここで、 CC は補正係数、 T は強振動混入時、 BWD は脳波データ、 VD は振動データ、である。

②(3)式に示すように、補正係数を振動データにかけて、レベル補正振動データを算出する。

$$LCVD_t = VD_t \times CC \quad (t = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

ここで、 $LCVD$ はレベル補正振動データ、 t は全計測時、である。

③(4)式に示すように、脳波データからレベル補正振動データを差し引くことで補正脳波データを算出する。

$$CBWD_t = BWD_t - LCVD_t \quad (t = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

ここで、 $CBWD$ は補正脳波データ、である。

本研究では、ドライバーの頭部に装着させた小型カメラ映像の揺れと脳波データを基に、強振動混入時を複数特定し、補正係数を算出した。

5. α波出現率に関する平均値の差の検定

5.1 被験者1のα波出現率分析

被験者1のα波出現率を表-2に示す。

表-2 被験者1のα波出現率

ブルーレーン無し		ブルーレーン有り
27.7%	23.5%	26.7%
21.5%	28.2%	30.5%
21.2%	22.6%	30.6%
26.1%		41.4%
24.0%		①19.6%
35.4%		②16.9%
平均	25.6%	27.6%

表-2より、ブルーレーン有りのほうがブルーレーン無しよりも、α波出現率の平均値が高く、よりリラックスして運転できている可能性がある。そこで、この平均値の差の検定を実施した結果を表-3に示す。

表-3 被験者1の平均値の差の検定

	ブルーレーン無し	ブルーレーン有り
平均	0.255	0.276
分散	0.0020	0.0077
観測数	9	6
自由度	13	
t値	-0.5988	
p値	0.2798	

表-3より有意な差は得られないことがわかった。

5.2 被験者2のα波出現率分析

被験者2のα波出現率を表-4に示す。

表-4 被験者2のα波出現率

ブルーレーン無し		ブルーレーン有り
26.9%	23.8%	24.6%
29.2%	19.6%	32.2%
27.6%	19.6%	24.7%
24.4%	20.7%	27.5%
28.7%	⑥16.8%	④20.6%
③18.2%	28.9%	⑤15.7%
平均	23.7%	24.2%

表-4より、ブルーレーン有りのほうがブルーレーン無しよりも、α波出現率の平均値が高く、リラックスして運転できている可能性がある。そこで、この平均値の差の検定を実施した結果を表-5に示す。

表-5 被験者2の平均値の差の検定

	ブルーレーン無し	ブルーレーン有り
平均	0.237	0.242
分散	0.0021	0.0032
観測数	12	6
自由度	16	
t値	-0.2109	
p値	0.4178	

表-5より、有意な差は得られないことがわかった。

ここで、表-2の①、②ならびに表-4の③、④、⑤、⑥に着目する。これらの区間では、他の区間に比べて大

幅に α 波出現率が低いことがわかる。そこで、車載カメラの映像を用いて、当該区間における非定常状態（突発的トラブル等）の有無について、次章で検討する。

6. 非定常時の検討

前述のとおり、明らかに α 波出現率が低い区間に着目し、車載カメラの映像を用いて、走行時間順に非定常状態の有無を検討する。

6.1 区間①

表-1 の①（19.6%）は、図-4 に示すように約 47 分 43 秒（2863 秒）にタクシーがブルーレーンを走行し、加速の上で、右車線に合流した。



図-4 区間①の発生事象

6.2 区間②

表-1 の②（16.9%）は、図-5 に示すように約 57 分 30 秒（3450 秒）にタクシーがブルーレーンに駐車しているため、自転車がブルーレーンをはみ出して車道に膨らんで走行し、ブレーキをかけた。



図-5 区間②の発生事象

6.3 区間③

表-3 の③（18.2%）は、図-6 に示すように約 47 分 15 秒（2835 秒）にタクシーが前方走行中に停車し、それをかわした。



図-6 区間③の発生事象

6.5 区間④

表-3 の④（20.6%）は、図-7 に示すように約 1 時間 5

分 50 秒（3905 秒）に、ブルーレーンから合流しようとするバスと右側走行の乗用車に挟まれ、ブレーキをかけた。その後、図-8 に示すように約 1 時間 7 分 20 秒（4040 秒）に自転車が路上駐車をかわして車道をふくらんで走行した。



図-7 区間④の発生事象 1



図-8 区間④の発生事象 2

6.5 区間⑤

表-3 の⑤（15.7%）は、図-9 に示すように約 1 時間 14 分 4 秒（4444 秒）に対向右折車が曲がりきれずに停車し、前方車両がクラクションを鳴らして急ブレーキをかけて停止したことから、車線変更をして回避した。



図-9 区間⑤の発生事象

6.6 区間⑥

表-3 の⑥（16.8%）は、図-10 に示すように約 1 時間 16 分 40 秒（4600 秒）に背の高い軽自動車を追従走行し、前方の見通しが悪かった。



図-10 区間⑥の発生事象

6.7 除外区間の検討

①、②、④、⑤は、明らかに定常状態ではないと考えられることから、データを除外することが妥当であると考えられる。また、③、⑥は一般的に他の区間でも発生していた事象であることからデータを除外しなかった。

7. 非定常時を除いた平均値の差の検定

7.1 被験者1の分析

被験者1の非定常時を除いた α 波出現率の平均値の差の検定結果を表-6に示す。

表-6 被験者1の平均値の差の検定

	ブルーレーン無し	ブルーレーン有り
平均	0.255	0.322
分散	0.0020	0.0040
観測数	9	4
自由度	11	
t値	-2.2094	
p値	0.0246	

表-6より、 p 値 <0.05 から5%有意であることがわかった。このことから、ブルーレーンの有無は α 波出現率に差をもたらすことが明らかになった。

7.2 被験者2の分析

被験者2の非定常時を除いた α 波出現率の平均値の差の検定結果を表-7に示す。

表-7 被験者2の平均値の差の検定

	ブルーレーン無し	ブルーレーン有り
平均	0.237	0.272
分散	0.0021	0.0013
観測数	12	4
自由度	14	
t値	-1.4094	
p値	0.0903	

表-7より、 p 値 <0.10 から10%有意であることが分かった。このことから、強い有意性ではないものの、ブルーレーンの有無は α 波出現率に差をもたらすことが明らかになった。

8. 結論

8.1 結果の考察

脳波測定器を用いて実際にブルーレーン有無の道路を走行し、ブルーレーンの定量的な効果分析を行った。

本研究の分析結果から以下のことが考察される。

- ① 平均値の差の検定を行った結果、非定常時を含む場合、 α 波出現率についてブルーレーンの有無による有意な差はみられなかった。しかし、非定常時データを除去した場合、被験者1は5%有意、被験者2は10%有意という結果となった。
- ② このことより、ブルーレーンの存在は、 α 波出現率の増加をもたらしていることから、自動車ドライバーの視点からも安全性と安心性の向上につながっていることがわかった。

③ ただし、自動車のブルーレーン走行や駐停車によって、自転車や歩行者が車道に膨らむなどの予期せぬ突発的な事象が起きた場合、 α 波出現率が大幅に減少し、リラックスして走行することができなくなることが明らかになった。このことから、ブルーレーンの運用方法を間違えると、逆に危険性やストレスが高まる可能性が示唆される。

④ ブルーレーン運用方法を改めるにあたって、自動車の走行や駐停車を禁止するため、自転車走行指導帯を自転車専用道に変更する必要があると考えられる。また、タクシーの駐停車によるアクシデントが多く見られたので、タクシードライバーのマナー向上を図る必要がある。

⑤ 以上のように、運用方法を改めることによって、ブルーレーンの安心性・安全性を確保することが可能になると考えられる。

8.2 今後の課題

① 被験者数の増加や、天候、時間帯を変化させるなど、様々な条件下で実験を行うことで、評価精度を向上させる必要がある。

② α 波出現率が高すぎるとリラックスしすぎており、逆に危険な状況も想定されることから、山越ら³⁾が指摘しているように、最適な α 波出現率（最適活性化度）の検討を行う必要がある。

③ 道路の区間評価に加えて、箇所評価を行うことが可能であるかもしれない。よって、 α 波が減少し β 波が増加したときの車載カメラと視線カメラの映像を検証し、事故発生に繋がる要素を自動車ドライバーの視点から探索し検証する必要がある。

④ 交通事故総合分析センター⁵⁾ (ITARDA) 等が提供しているデータを活用して、事故発生箇所において、脳波データとの関連性を調べ、被験者の視線や車載カメラの映像を合わせて検証することで、事故原因等の調査が可能になることが期待される。

⑤ 以上の課題を明らかにすることで、道路構造を設計段階から検討することが可能になり、事故発生を未然に防ぐことに繋がることを期待される。

参考文献

- 1) 梶原伸治：脳波計測を用いた運転者の視覚および触覚の負荷推定、近畿大学理工学部研究報告、Vol.47、pp.9-14、2011
- 2) 松島寛樹、奥田裕之、稲垣信吉、鈴木達也、早川聡一郎：ドライビングシミュレータ運転時における脳波計測とその解析、日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会、2009
- 3) 山越健弘、山越憲一、日下部正宏：単調運転時の生体反応計測と生理活性化指標の基礎的検討、自動車技術会論文集、Vol.36、No.6、pp.205-212、2005
- 4) 太田洋、片倉正彦、大口敬、鹿田成則：交通安全施設がカーブ区間の運転挙動に及ぼす影響、土木学会土木計画額研究・講演集、pp.26 (CD-ROM)、2002
- 5) 公益財団法人 交通事故総合分析センター (ITARDA) : <http://www.itarda.or.jp/>