

脳波を活用した実走行環境下における 自動車運転ストレスの定量化

鈴木 聡士¹・金子 選²・中村 紘喜³

¹正会員 北海学園大学教授 工学部生命工学科(〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目1-1)

E-mail: soushi-s@lst.hokkai-s-u.ac.jp

²正会員 株式会社ドーコン 交通部(〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4-1)

E-mail: sk1751@docon.jp

³学生員 北海学園大学修士課程 大学院工学研究科(〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目1-1)

E-mail: nakamurakun2720@yahoo.co.jp

本研究は、近年整備が進む自転車走行指導帯を対象に、自動車ドライバーの脳波データを活用して、運転時ストレスの低減効果を定量化した。特に、既存研究では困難であった実走行環境下において、ポータブル型脳波測定器を用いて走行実験を行い、自動車ドライバーの脳波データを取得した。これらのデータから得られる α 波出現率に着目して、自転車走行指導帯の有無による α 波出現率の差異を定量的に分析した。分析結果から、自転車走行指導帯が整備された道路の運転時の方が、 α 波出現率が高くなる傾向があることから、その自動車運転ストレスの低減効果が示唆された。

Key Words : brain wave, auto driving stress, actual running environment, bicycle travel lane

1. はじめに

(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）を導入した結果、歩行者と自転車の錯綜が約7割減少し、歩行者と自転車の安全性と安心性が向上した。意識調査の結果、歩行者の78%、自転車利用者の84%がブルーレーンを必要と回答していることに加え、自動車ドライバーの75%も必要と回答している¹⁾。このように、歩行者・自転車利用者はもとより、特に自動車ドライバーにとっても、自転車走行空間が明確化されることにより、走行時におけるストレス低減が期待されるが、その効果は定量化されていない。

交通に関するストレスの定量化は、意識調査等による主観データによる方法も存在するが、近年、活動によるストレスを時系列的かつ定量的に計測可能な生体情報計測が注目されつつある。さまざまな計測方法が存在するが、末梢反応における自律神経系反応の代表的な指標として、心拍計測による心拍間隔(RRI)があり、金ら²⁾による自転車利用者のストレス計測など、多くの場面で活用されつつある。また、中枢反応における中枢神経系反応

の計測として、金森ら³⁾は脳血流の測定などを活用し、自動車運転時ストレスを定量化している。

本研究では、自動車運転時のストレス計測方法として、中枢反応の代表的指標である脳波に着目する。脳波を活用した運転環境評価の既存研究として、梶原⁴⁾は走行速度の違いによる自動車ドライバーの精神的負荷の差異を評価している。松島ら⁵⁾は、前方車追従状態を10分間維持させた際の脳波を計測し、ドライバーのストレス解析を行っている。山越ら⁶⁾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⁷⁾は、カーブ区間の中央線上にポストコーンを設置し、その効果を定量化している。しかし、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バーチャル走行環境下で実施されており、実走行環境下での調査、さらに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化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計測システムを活用して、ブルーレーンの有無による実道路環境下における走行実験を実施し、脳波データを収集する。さらに、この脳波データの α 波出現率に着目して、ブルーレーンの有無による自動車ドライバーのストレスの差異を定量的に分析する。これらの分析結果から、ブルーレーン整

備による自動車ドライバーのストレス低減効果を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。

2. 調査概要

札幌都心部の北一条通を主対象に、ブルーレーンの有無による自動車ドライバーの走行時の脳波データを収集する。調査概要と被験者属性を表-1に示す。調査においては、脳波測定器を装着し、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補正係数を求めるため、ドライバーの頭部に小型カメラを装着させた。走行は原則左車線とし、図-2に示す区間を複数回周回走行し、データを収集した。

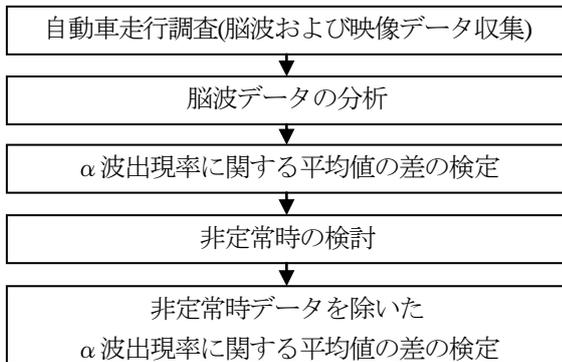


図-1 分析フロー

表-1 調査概要と被験者属性

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
No.2	2014.10.25 AM10:00	晴れ	男性	3年	21

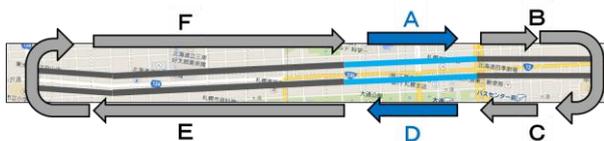


図-2 走行区間(北1条東7丁目～西25丁目)

3. 脳波の測定と分析

(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(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(特許登録)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に示すように簡便に装着可能であり、図-4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(リラックス時)、振幅の小さいものがβ波(ストレス時)としてPCに収集される。

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。

また、ストレス指標として、α波出現率(α波出現量/(α波出現量+β波出現量+θ波出現量))を1秒毎に算出したものの平均値)を使用する。値が低いほど、高ストレス状況であると評価される。

(2) 振動ノイズキャンセルによる解析

脳波データに混入している運転時振動データを除去するために、係数による補正が必要となる。本システムの分析手順を以下に示す。

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。

ここで、 T_i は強振動混入時(1～n)、 CC_{T_i} は T_i における補正係数、 BWD_{T_i} は T_i における脳波データ、 VD_{T_i} は T_i における振動データ、 CC は補正係数、である。



図-3 装着イメージ(出典：デジタルメディックWeb)

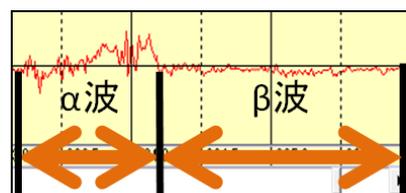


図-4 測定データ

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

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

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、 t は計測時、 $LCVD_t$ は t におけるレベル補正振動データ、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、 $CBWD_t$ は t における振動補正脳波データ、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振動データを基に、強振動混入時 T を複数特定し、補正係数を算出した。

4. α 波出現率に関する平均値の差の検定

(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	ブルーレーン有
	27.7%	26.7%
	21.5%	30.5%
	21.2%	30.6%
	26.1%	41.4%
	24.0%	19.6%①
	35.4%	16.9%②
平均	25.6%	27.6%

表-3 被験者1の平均値の差の検定

	ブルーレーン無	ブルーレーン有
平均	0.256	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-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、より低ストレス状況下で走行し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より有意な差は得られないことがわかった。

(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、より低ストレス状況下で走行し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 α 波出現率がかなり低いことがわかる。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。

5. 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。

(1) 区間①

表-1の①(19.6%)は、図-5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内で客を乗車させ加速の上、左車線に合流した。

表-4 被験者2の α 波出現率

	ブルーレーン無	ブルーレーン有
	26.9%	24.6%
	29.2%	32.2%
	27.6%	24.7%
	24.4%	27.5%
	28.7%	20.6%④
	18.2%③	15.7%⑤
平均	23.7%	24.2%

表-5 被験者2の平均値の差の検定

	ブルーレーン無	ブルーレーン有
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	



図-5 区間①の発生事象



図-6 区間②の発生事象



図-7 区間③の発生事象



図-8 区間④の発生事象1



図-9 区間④の発生事象2



図-10 区間⑤の発生事象



図-11 区間⑥の発生事象

(2) 区間②

表-2の② (16.9%) は、図-6に示すように約57分30秒 (3450秒) にタクシーが交差点付近の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。

(3) 区間③

表-4の③ (18.2%) は、図-7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交差点付近で停車し、それをかわした。

(4) 区間④

表-3の④ (20.6%) は、図-8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-9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。

(5) 区間⑤

表-3の⑤ (15.7%) は、図-10に示すように約1時間14分4秒 (4444秒) に対向右折車が直進車線の優先を無視して侵入し、曲がりきれずに交差点内で急停車した。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、車線を変更して回避した。

(6) 区間⑥

表-3の⑥ (16.8%) は、図-11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。

(7) 除外区間の検討

以上の非定常時の状況を踏まえ、本研究では道路交通法上の違法性の有無を基準として、除外区間を決定する。

①, ②, ③, ④, ⑤は、駐停車禁止区間の違反等、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判断した。また、⑥のケースには違法性は認められず、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。

6. 非定常時を除いた平均値の差の検定

(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 波出現率に有意な差をもたらすことがわかった。

(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より、 p 値 >0.05 から5%有意ではないことがわかった。しかし、10%有意に近い p 値となっていることから、統計的には有意ではないものの、ブルーレーンの有無は α 波出現率に差をもたらす可能性が示唆された。

7. 結論

(1) 結果の考察

本研究は、自動車ドライバーの脳波に着目して、実走行環境下において、ブルーレーン有無の道路をそれぞれ走行し、そのストレス低減効果を定量的に明らかにした。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5%有意ではないものの、10%有意に近い値となった。

表-6 被験者1の平均値の差の検定

	ブルーレーン無	ブルーレーン有
平均	0.256	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-7 被験者2の平均値の差の検定

	ブルーレーン無	ブルーレーン有
平均	0.242	0.272
分散	0.00195	0.00126
観測数	11	4
自由度	13	
t値	-1.2328	
p値	0.1197	

- ② これらより、ブルーレーン整備は、自動車ドライバーの走行時におけるストレス低減効果があることが示唆された。
- ③ しかし、他自動車のブルーレーン走行や駐停車によって、自転車が車道に膨らむなどの予期せぬ突発的な事象が発生した場合、 α 波出現率が減少し、ストレス低減効果が低下する可能性が示唆された。このことから、ブルーレーンの運用においては、ルール順守のための様々な取り組みが求められる。
- ④ ブルーレーン運用においては、自動車走行禁止や駐車取締りを徹底することが効果的であると考えられる。また、タクシーの駐停車を原因とした非定常時の発生が多く見られたことから、タクシードライバーのマナー向上を啓発する必要があると考えられる。

(2) 今後の課題

今後の課題を以下に列挙する。

- ① 信頼性向上のため、様々な属性の被験者を増加させる必要がある。特に、運転経験年数の違いは、 α 波出現率に影響を与える可能性がある。
- ② α 波出現率が高すぎる状況は、リラックスしすぎている可能性があり、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を検討する必要がある。たとえば、 β 波が急激に増加した箇所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、事故原因等の詳細な検討が可能になるかもしれない。
- 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が期待される。

参考文献

- 1)札幌都心部自転車対策連絡協議会：札幌都心部における都市型積雪寒冷地の自転車走行空間の実証実験結果報告，2013.4
(<http://www.sp.hkd.mlit.go.jp/press/pdf/13041801.pdf>)
- 2)金利昭，渋谷大地：自転車利用者のストレス計測に関する研究，土木計画学研究・講演集 Vol.51，2015.6
- 3)金森亮，久保田穰，安藤章，山本俊行，森川高行：複数生体データ計測による運転ストレスに関

- する基礎的分析, 土木計画学研究・講演集 Vol.51, 2015.6
- 4) 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, 近畿大学工学部研究報告, Vol.47, pp.9-14, 2011.
- 5) 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.
- 6) 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度指標の基礎的検討, 自動車技術会論文集, Vol.36, No.6, pp.205-212, 2005.
- 7) 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, 土木学会土木計画学額研究・講演集, pp.26 (CD-ROM), 2002.
- 8) 公益財団法人 交通事故総合分析センター (ITARDA) <http://www.itarda.or.jp/>

Quantification of auto driving stress in actual running environment based on brain wave

Soushi SUZUKI, Suguru KANEKO and Hiroki NAKAMURA