

自動車運転映像による手掌部発汗・SPRと脳波周波数成分の変動

小林正義¹ 山鹿隆義¹ 黒川 卓¹ 佐々木努¹ 千島 亮¹ 大橋俊夫²

¹信州大学医学部保健学専攻、²信州大学医学部器官制御生理学講座

はじめに

近年、高齢ドライバーによる自動車運転事故の増加により、運転行動の適性評価が求められている¹⁾。

現在開発を進めている「自動車運転認知行動評価装置」は、自動車運転の映像を被検者に提示し、被験者に映像に合わせて模擬運転操作を行わせ、ブレーキ、アクセル、ハンドルの動作反応と、危険な場面で生じる手掌発汗反応と皮膚電位反射 (Skin Potential Reflex: SPR) を評価するものである²⁾。これまでの基礎的研究において、咄嗟に危険を回避する場面では、はじめに視線動作がみられ、次いでハンドル操作、アクセルとブレーキの踏み替え、SPR、手掌部発汗の順に反応が生じることが確認されている³⁾。こうした一連の反応は、危険認知の結果として生ずる反応と考えられるが、本装置による運転映像視聴時の脳内活動の評価はこれまで行われていない。

本研究の目的は、本装置を用いて運転映像を視聴した際の脳波周波数成分の変動を探索することである。

対象と方法

研究への参加に同意の得られた健常学生3名 (平均 22 ± 2 歳) を対象とした。実験は静音が保てる常温環境下 ($22^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$) で実施し、背もたれの無い椅子を使用した。

自動車運転認知行動評価装置と実験風景を図1に示した。実験では、被検者に映像を提示して運転操作をイメージさせ、脳波 (Electroencephalogram: EEG)、眼球電図 (Electrooculography: EOG)、SPRの反応を同時記録した。

EEGとEOGの測定には携帯型脳波計ポリ

メイト II AP216 (TEAC) を用いた。電極装着部位の角質などを皮膚処理剤で除去した後、Ag-AgCl小型皿電極を装着した。導出電極は国際10-20法に準拠して配置し⁴⁾、頭皮、両側乳様突起部、前額面の計7ヶ所に電極を装着し、同時にEOGをモニターした (図2)。なお、電極装着後にインピーダンスチェックを行い、各電極配置において安定計測した。自動車運転認知行動評価装置に含まれるSPRの計測は、皮膚電位計SPN-01 (SKINOS) の電極を拇指球、前腕内側中間部、近位部の3ヶ所に装着し測定した。

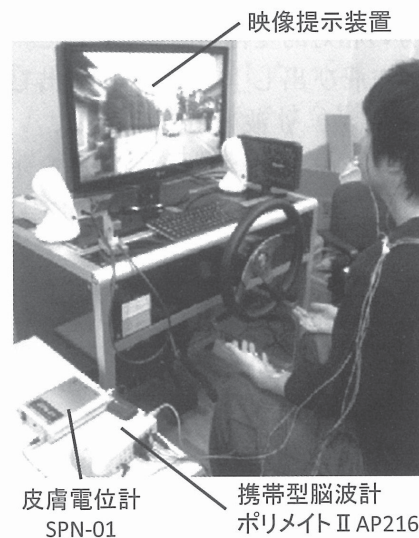


図1 自動車運転認知行動評価装置と実験風景

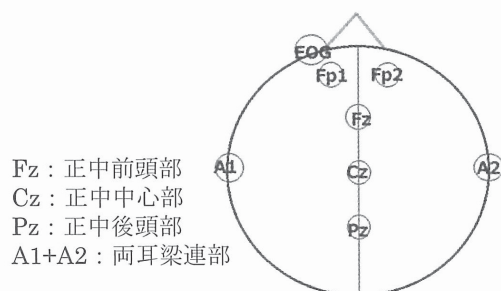


図2 EEGの電極配置

運転映像は、住宅地を走行する映像(約5分)を使用した。この映像には、見通しの悪い交差点での「一時停止」他、危険が予測される「対向車すれ違い」、「自転車の追い越し」、咄嗟に危険を回避する「ボール飛び出し」や「人飛び出し」場面などが含まれている。なお、本実験では脳波導出にあたり、身体動作による影響を避けるため、ハンドル、アクセル、ブレーキの操作は行わなかった。

計測した脳波は7~14Hzを α 波、15~35Hzを β 波として評価した。運転映像に含まれるイベントのうち、危険を認知する場面として「ボール飛び出し」と「人飛び出し」場面を、また、危険度の少ない場面として「一時停止」場面をそれぞれ取り出し、各場面の前後2秒間の脳波を高速フーリエ変換(FFT)してパワースペクトルを求め、 α 波成分と β 波成分の相対的変化を比較した。

結 果

計測波形の一例を図3に示し、 α 波成分と β 波成分の相対的変化を図4に示した。

「ボール飛び出し」と「人飛び出し」場面では、 α 波、 β 波ともに増加し、いずれも β 波の占める割合が大きい傾向を示した(図4-a,b)。一方、「一時停止」場面では、 α 波、 β 波ともに減少する傾向がみられた(図4-c)。

「ボール飛び出し」、「人飛び出し」、「一時停止」の各場面の後に、 β 波が増加した被験者の人数を表1に示した。「ボール飛び出し」と「人飛び出し」の場面では、3例ともにFz領域で β 波の増加が認められた。また、「一時停止」場面では、3例ともに正中後頭部(Pz)領域に β 波の増加が認められた。

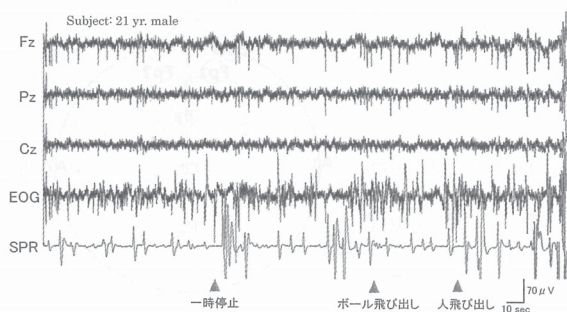


図3 計測波形の一例

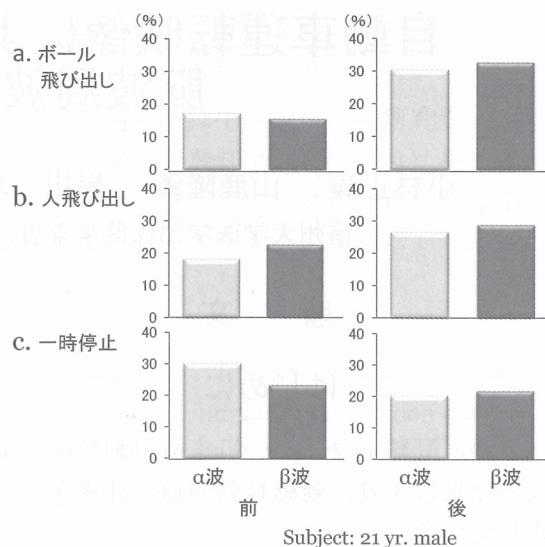


図4 脳波 α 波成分と β 波成分の変化

表1 β 波成分の増加した人数 (n = 3)

観測度数	Fz	Pz	Cz
ボール飛び出し	3	1	1
人飛び出し	3	2	1
一時停止	1	3	2

図5に「人飛び出し」場面における、脳波およびSPR波形の一例を示した。

「人飛び出し」場面では、映像(モニター)に人が現れた直後(▲)に脳波波形に振幅の変動がみられ、1.5秒ほど遅れてSPRの陽性波が認められた。これに対して「一時停止」場面では、場面に対応するSPRの反応は認められなかった。

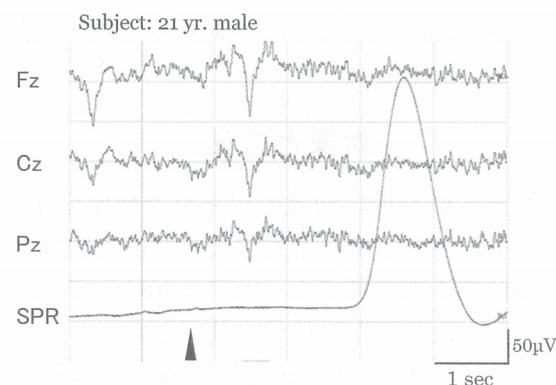


図5 「人飛び出し」場面の脳波変動とSPR

考 察

1. 運転映像による脳波周波数成分の変化

α 波は覚醒時に頭部後方部分に現れやす

く、皮質の α 波は視床からの入力によることが指摘されている⁵⁾。個人差はあるものの、 α 波の振幅は閉眼時に認めやすく、リラックスした状態、精神的に活動していない状態で観察され、視覚的注意や精神的な努力によって抑制、あるいは減衰するとされている⁵⁾。

一方 β 波は能動的で活発な思考や集中と関連し、精神活動に関連する部位に現れるとされる⁵⁾。発生機構は明らかでないが、ウサギの海馬から記録された40-50Hzの早い律動や、扁桃体核切除例で β 波が減少した報告がある⁶⁾。また、側頭葉てんかん患者で β 波が海馬から記録された報告や、 β 波の発生に海馬や扁桃体が関係することを指摘した研究が複数みられる⁶⁾。

本実験の「ボール飛び出し」、「人飛び出し」場面では3例ともに正中前頭野(Fz)領域に β 波の増加を認めた。一般に扁桃体の活動は本能や情動、意識に関与するとされ⁷⁾、「ボール飛び出し」や「人飛び出し」などの危険な場面で生じる“ハッ”とする、“危ない”という危険認知が β 波の増加に関係したと考えられる。また、海馬は記憶の中核として知られており、危険な映像場面では、瞬時に過去の経験が想起され、 β 波の増加に関連した可能性が考えられる。

2. 脳波・SPR・手掌部発汗反応の関連性

塚原ら⁷⁾は文字認知課題における皮膚電位反応の評価から、特定の文字をターゲットとして注意を向けると、交感神経皮膚反応と同程度の潜時で手掌のSPRが出現するとしている。また、oddball課題でも同様の交感神経皮膚反応や皮膚交感神経発射が生じることが報告されており、P300事象関連電位との関連から、定位・注意反応のメカニズムがSPRの出現にも関連すると考えられている。

「人飛び出し」などの危険場面においては、運転映像への注意が増し、過去の体験から瞬時に“危険”が認知または予測され、これによって正中前頭野(Fz)で β 波が増加し、同時にSPRが出現したものと推測される。

自動車運転認知行動評価装置では、認知機能の観察指標として手掌部(精神性)発汗とSPRを測定する。手掌部発汗は随意動作とも

強く関わり、ヒトの意図や意思を反映する生理学的指標といえる⁷⁾。また、皮膚電気活動は、エクリン汗腺の活動による電気現象が、表皮や汗腺管等の状態によって修飾されて出現するものと解され、SPRは皮膚交感神経のバーストと対応し、手掌部発汗反応との関連が深いことが知られている⁸⁾。SPRは皮膚電位の変化を捉えるもので、発汗反応に比べて応答が素早い。このため危険な状況に注意を向けて“ハッ”とするなど、危険認知のタイミングを評価するのに適していると思われる。一方、反応の量的評価には絶対量を評価できる発汗測定が適している^{2), 9)}。自動車運転認知行動評価装置では、SPRによって危険認知のタイミングを、手掌部発汗によって反応の量を捉えることで、自動車運転に関わる危険認知行動を反応時間と反応量の視点から定量評価できると考えられる。

まとめ

健常学生3名を対象に「自動車運転認知行動評価装置」を用いて運転映像を提示し、脳波(Fz, Cz, Pz)を測定した。「ボール飛び出し」「人飛び出し」の後では全例で正中前頭部(Fz)に β 波の増加を認めた。「ボール飛び出し」場面では、脳波変動にわずかに遅れてSPRが認められ、危険認知と関連する脳内活動の変化と、これに連動する皮膚交感神経活動の興奮を表すものと思われた。

文 献

- 1) 岡村和子：運転者教育における運転適性検査の役割と今後の課題. 自動車運転技術 59,113-118, 2005
- 2) 小林正義, 佐々木努, 千島 亮, その他：手掌部発汗反応を用いた自動車運転認知行動評価システムの開発研究. 発汗学, 18, 31-34, 2011
- 3) 内堀志野：自動車運転認知行動評価装置による模擬運転時の視線解析. 信州大学医学部保健学専攻学生研究論文集,6,14-19, 2011
- 4) Sutton S, Braren M, Zubin J, John ER : Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. Science,1187-1188, 1965
- 5) 一條貞雄, 高橋系一：脳波判読に関する

- 101 章. 28-31, 38-39, 医学書院, 東京, 2003
- 6) 加藤元一郎: 前頭葉機能障害. 老年精神医学雑誌, 23, 1134-1140, 2012
- 7) 塚原玲子: 動作イメージと皮膚電位反応. 自律神経, 45, 138-140, 2008
- 8) 岩瀬敏, 間野忠明: 皮膚交感神経活動と発汗. 発汗学, 4, 2-10, 1997
- 9) 朝比奈正人: 交感神経性皮膚反応. 自律神経機能検査第4版, 243-248, 分光堂, 東京, 2007