

脳波スペクトルによる道路走行安全性の推定*

*Road Safety Estimation Using Brain Wave Spectra**

奥谷 巖**・鈴木範夫***・山崎英成****

*By Iwao OKUTANI**, Norio SUZUKI*** and Tsuneshige YAMAZAKI*****

1. まえがき

道路施設改善が安全に対して効果的に貢献するか否かは運転者の心理と行動に深く関わっており十分に把握・確認されていない。運転者は道路の物的環境そのものに反応するのではなく運転者に知覚され受けとめられる環境すなわち心理的環境に適合するように行動するからである¹⁾。

こうした視点から、本研究では道路の物的環境にそれに反応する運転者の心理量で総合的に把握することを考え、その心理量と交通事故の関わりについて検討しようとするものである。ここで、心理量は計測可能なものでなくてはならないが、本研究では脳波データによってその抽出を行うこととした。計測の容易さ並びに心的活動との関連での過去の研究蓄積²⁾が脳波採用の主たる理由である。計測された脳波データを解析することにより、ある1つの道路区間の事故発生の危険性が推定できるとすれば道路改善の必要性をあらかじめ示唆し得ることとなり、事故の未然防止も可能になるのである。こうしたことが本研究の最終的に目指している方向になる。

なお、交差点は文字通り交通錯綜の場であり、そのこと自体が事故発生に繋がっているため、ここでは単路部のみを対象とする。

2. 脳波計測

心理量の生理学的計測方法として、脳波外に心拍数、呼吸数、電気性皮膚反射 (GSR) 等があるが、これらのうち情動の細やかな変化の追跡に適合し、現

在までに研究蓄積が進んでいると思われるのは脳波とGSRである。しかしながら、GSRは手掌下部に電極を取り付けて計測する仕組みになっており、ハンドルを握る動作が必然である今回の調査には向いていない。こうしたことから、本研究では脳波を心理量計測の手段として採用したものである。

(1) 脳波とその性質^{2),3)}

脳波は周波数によって分類される。一般的には0.5Hz～7Hzの徐波、8～13Hzの α 波 (8～10Hz: α_1 波、11～13Hz: α_2 波)、14Hz以上の速波に分けられることが多いが、まず徐波は熟睡状態や瞑想状態、 α_1 波は非常にリラックスした状態、 α_2 波は平穏な状態、速波は脳が通常活動している状態や、いらいらしてストレスがたまっている状態においてそれぞれ出易いと言われている。

(2) 脳波計測実験

延べ約100kmの対象道路から、まずモデル同定用に過去2年間に事故が発生しておらず予備調査から安全と判断された単路部区間 (安全区間と呼ぶ) を70区間、事故発生があった単路部区間 (危険区間) を70区間選出するとともに、テスト用と推定用の区間をそれぞれ32区間、87区間選出し、それらの区間において運転者の脳波計測を行った。ここにテスト区間というのは同定された走行安全性判定モデルの性能を試す区間のことであり、危険・安全の区間が予め把握されている区間である。これに対し推定用区間はその区別があまり判然としない区間である。なお、ここでは危険区間と安全区間を総称して便宜上同定区間とよぶ。被験者は21歳から24歳の男性14名で、各自の所有車を実験車として利用してもらうようにし、車と運転者の関係で慣れ、不慣れの問題が生じないようにした。本研究は道路の様々な物

*キーワード: 交通安全

**正員、工博、信州大学社会開発工学科
(長野市若里500, TEL 026-226-4101, FAX 026-223-4480)

***非会員、工博、長野市都市開発部

(長野市緑町, TEL 026-226-4911)

****非会員、信州大学大学院工学系研究科

(長野市若里500, TEL 026-226-4101, FAX 026-223-4480)

的環境の安全性への影響を見いだしてゆくことに最終的な目標設定を行っているので、そうした環境視認が可能な昼間に計測実験を行っている。また雨による路面の滑り等天候要因を除外するため、天気は比較的良好の日を選ぶようにした。車を運転する際、周辺交通量も心理的影響を与える要因の一つとなる。この影響が被験者によって大きく異ならないようにするため、実験開始時刻を午後1時頃に統一し、午後4時まで実験を終了するようにした。当該時間帯を選択したことにより、交通渋滞に遭遇することなくかつ1日の平均的な交通の流れの中で実験が遂行できたと思われる。

(3) 脳波種別ごとのパワー値と α 波ゆらぎ指数

脳波種別ごとに、対応する周波数帯域でスペクトル密度を積分してそれらを特性値とした。これをここではパワー値と呼ぶこととする。さらに α 波については周波数ゆらぎ分析も行った^{4),5)}。いわゆる1/fゆらぎという概念は、近年、家電製品や除痛医療器具等に実用されているものである。原脳波からバンドパスフィルタで α 波を抽出し、ゼロ交差法で周波数データに変換した後スペクトル解析を行う⁵⁾。そのスペクトル密度を周波数に対応させて両対数グラフにプロットしたときの回帰直線の傾き g が-1に近いとか否かにより心理的快適性の度合いを把握するが、このため次式のようなゆらぎ指数 f を考えた。

$$f = h - |g + 1| \quad h: \text{定数} \quad (1)$$

3. 走行安全性の判定方法

(1) 判別分析による方法⁶⁾

今 p 個の脳波特性値を使うものとしたとき、第 i 番目の道路区間の走行安全性判別指標 z を $x_j^i (j=1 \sim p)$ の線形関数によって求めその正負によって判定する。ただし x_j^i は道路区間 i における脳波特性値 j の被験者全員にわたる平均値である。

(2) ファジィ推論を応用した方法

予想される脳波特性値のばらつきを考えると、その曖昧性を推定メカニズムに組み込んでおくことは、走行安全性判定上有利に働く可能性がある。本研究で採用するファジィ推論は、IF~THEN形式による直接法であり、推論の合成則としてはMamdaniの方

法を利用する⁷⁾。一般に、ファジィ推論ルールの前件部は、考察する全空間を適当な部分空間に分けるという方法により構築している例が殆どであるが^{8),9)}、ここでは個々の危険・安全区間における脳波特性値をファジィ化したものをそのまま前件部に対応させる独自の方法を採用する。すなわち、ファジィ推論ルールは危険区間と安全区間の区間数だけ準備されることになる。このことにより、すべての観測データを直接推論に反映させることが可能となる。

理解の容易のために、 α_1 波、 α_2 波の2つのパワー値を扱う場合を例に図-1に従って説明する。第 i 番目の道路区間におけるそれぞれのパワー値を x_1^i 、 x_2^i としたとき、それらの値を中心に持つ三角形ファジィ数を考え、それを第 i 番目推論ルールの前件部に位置づける。このようにして作られたルール i の前件部は、2つのファジィ命題がandで結ばれた形となる。

当該推論の後件部は道路区間 i が危険区間か安全区間かという事実である。このことを数値的に扱うために、ここでは危険区間を1、安全区間を0という1点から成るクリスプ集合で表すことを考える。いま危険区間に $1 \sim n$ 、安全区間には $n+1 \sim n+m$ の番号が付されているものとし、区間 i を改めて危険区間、区間 k を安全区間とすると、ファジィ推論ルール i と k の前件部は図-1の実線で表した三角形ファジィ数、後件部は高さ1の棒グラフのようになる。

各脳波特性ごとに、前件部ファジィ数と与えられた区間の入力ファジィ数(図-1の破線で示した三角形)の共通集合を表すメンバシップ関数の最大値を見いだした後、それら2つの最大値のうちの最小値を求める。今、危険区間に対応するルール i から得ら

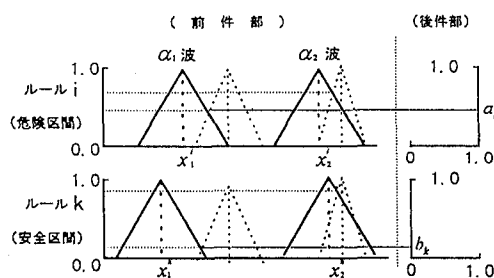


図-1 危険と安全区間のルールによるファジィ推論

れたその最小値を a_i 、安全区間に対応するルール k から得られた値を b_k としたとき、 $n+m$ の多重ファジィ推論の結論 z は次式によって求められる。

$$z = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \times 1 + \frac{1}{m} \sum_{k=n+1}^{n+m} b_k \times 0}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i + \frac{1}{m} \sum_{k=n+1}^{n+m} b_k} \quad (2)$$

この z は 0~1.0 の値をとるが、 $z \geq 0.5$ の場合危険区間、 $z < 0.5$ の場合安全区間と判定する。

4. 分析結果

(1) 走行安全性判定法の選定

図-2は代表的な危険区間及び安全区間に対する被験者の脳波スペクトルの例である。脳波スペクトルの利用により、道路の走行安全性評価がある程度可能であることが予想される。走行安全性の判定は徐波、 α 波、速波の3つを用いるケース、 α 波、 α_1 波、 α_2 波をそれぞれ単独に用いるケース、 α_1 波、 α_2 波の2つを用いるケースおよび α 波ゆらぎ指数を単独に用いるケースの6ケースについて検討した。なお、(1) 式で与えられるゆらぎ指数を求めるための定数 h は、 $g(< 0)$ の最小値が-3.7程度であったので、3.0として与え f が正の値をとるようにした。パワー値の組み合わせについては、たとえば徐波と α 波、速波と α 波といった組み合わせも考えられるが、それらは徐波、 α 波、速波の組み合わせで間接的に評価されると考えられるし、徐波と速波あるいはそれぞれを単独に用いるようなケースはリラックス度との関係が最も明らかになっている α 波成分を除外し

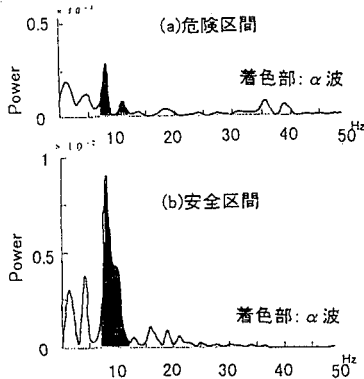


図-2 危険区間、安全区間の脳波スペクトル例

ている点で難点を有している。

ファジィ推論を用いた方法では、前件部を構成する三角形ファジィ数と入力ファジィ数の底辺の長さは試行錯誤的に与える必要がある。推論ルール数が全部で140あり、かつ脳波特性値も6つあるので、精緻な予備実験は行えなかったが、パワー値を用いるケースでは危険区間で標準偏差の約55倍、安全区間で約15倍も前件部三角形ファジィ数の底辺とし、入力ファジィ数については標準偏差の28倍を底辺の長さとするべく、 α 波ゆらぎ指数を用いるケースでは、危険区間で標準偏差の約6倍、安全区間で約4倍、入力値で約6倍の値を三角形ファジィ数の底辺とすればよいという結論を得た。

表-1は判別関数のパラメータ決定やファジィ推論ルール構成に用いられた危険区間と安全区間そのものがどの程度正確に判定されているかを示したものである。パワー値を用いる5つのケースでは、判別分析による方法で20%前後の誤判定率となるのに対し、ファジィ推論を応用した方法については誤判定率はいずれも3%以内に止まっている。特に α 波のパワー値のみを用いるケースでは誤判定された区間が存在しない。残る α 波ゆらぎ指数を用いるケースでは、判別分析による方法およびファジィ推論を用いた方法ともに誤判定率が30%を越えてしまった。 α 波のゆらぎのという要素自体が車の走行性をうまく反映し得ないかあるいは(1)式のような変換に問題があるのかいずれかが原因と考えられるので、今後さらに検討を加える必要がある。

脳波スペクトルのパワー値を変数とした推論による判定法では、上述のように同定区間に対して安定的に良い判定結果を出している。同定区間であるから当然という見方もできるが、本研究で採用しているファジィ推論ルール前件部は個々の区間の計測パワー値そのものから直接構成されており、従って自

表-1 同定区間における誤判定率(%)

脳波特性	判別分析	ファジィ推論
徐波、 α 波、速波	19.3	2.1
α 波	19.3	0.0
α_1 波	20.7	2.1
α_2 波	22.9	2.9
α_1 波、 α_2 波	20.7	0.7
α 波ゆらぎ指数	38.6	33.6

区間以外の前件部は全く独立して存在しているとも考えられる。この意味で自区間を除く139区間との適合性 a_i 、 b_k をも集約してなおかつ数 % 以下の誤判定率という高い判定結果を生成したことは一応評価しても良い。次節ではテスト区間と推定区間の判定結果について述べるが、判定方法としては表-1で最も良い結果を出している α 波のパワー値のみを用いたファジィ推論による方法を採用する。

(2) テスト区間および推定区間における判定

テスト区間は全部で32区間であるが、このうち15区間が事故発生記録のある危険区間、17区間が事故発生もなく安全と判断された区間である。判定結果はテスト区間すべてにおいて正しい判定がなされるという良好な結果となった。

次に推定区間であるが、これらの区間では事故が起生しておらないものの、安全区間か否かは判断しにくいところがある。従って、もし走行安全性判定モデルで危険と判定されれば、適切な道路条件等の改善を図ることで、将来に発生するであろう事故を未然に防止し得るわけで、最も本来の目的に適った判定作業となる。結果は87区間中24区間が危険区間、残る63区間が安全区間となった。危険と判定された区間に対しては何らかの方策を講ずる必要があるが、そのためには同定区間とテスト区間も総合して危険区間と安全区間の道路環境の比較対比がまず必要となる。道路の物的環境条件に関する資料は十分とは言えない状態にあるが、次節において若干こうしたことについて述べる。

(3) 危険区間と安全区間の道路環境

危険区間と安全区間それぞれについて道路環境の特徴を抽出することは必ずしも容易な作業ではないが、現在までに把握している若干の事項について述べると次の通りである。ただし、ここでいう危険区間は同定、テスト、推定の各区間で危険と認定された区間であり、安全区間は推定区間中の安全と判定された区間である（同定及びテスト区間中のものは意図的に選んだ区間で特徴に偏りがある）。

① 200m以下の曲線半径を持つカーブ区間は、危険区間で52.9 %、安全区間で19.1 % の割合となっている。

② これに対して直線区間は、危険区間で27.9 %、安全区間で29.0 % と大差ない。

③ 直線道路が続いた後のカーブ区間に危険区間が多い。速度が超過気味になるからであろう。

④ 上とは逆に、長いカーブの続いた直後の直線区間も危険である。速度を一気に挽回しようとする気持ちを引き金になっているからであろうか。

⑤ 直線区間で左側に空間的余裕がほとんどない狭幅員区間は危険区間となりやすい。

⑥ 狭幅員の平坦道路で両側に視界を遮るものがほとんどない区間も危険である。

⑦ カーブ区間で外側に十分な余裕スペースがないと危険区間となる可能性が高まる。

⑧ 右側に山やコンクリート壁など存在感の大きいものがあると安全区間になりやすい。

5. むすび

ここでは交通事故防止の視点から脳波スペクトルによる走行安全性の判定方法の開発を行いその有効性を実験的に確かめた。しかし、安全性・危険性につながる道路環境の要因抽出はまだ十分ではないので今後さらに検討してゆく必要がある。最後に、データ収集に当たりご協力をいただいた建設省関東地建長野国道工事事務所ならびに長野県警に対し感謝の意を表する次第である。なお、本研究は文部省科学研究費（基盤研究C）の補助を得た。

参考文献

- 1) 野口 薫：交通心理から見た道路環境の改善、高速道路と自動車、Vol.30、No.5、pp.11～14、1987。
- 2) 大熊輝雄：臨床脳波学、医学書院、1990。
- 3) 奥平進之：脳波ポケット知識、日本電気三栄、1988。
- 4) 武者利光：ゆらぎの世界、講談社、1990。
- 5) 吉田倫幸：脳波のゆらぎ計測と快適評価、日本音響学会誌、Vol.46、No.11、pp.914～919、1990。
- 6) 奥野忠一他：多変量解析法、日科技連、1971。
- 7) 本田中二、大里有生：ファジィ工学入門、1989。
- 8) 菅野道夫：ファジィ制御、日刊工業新聞社、1991。
- 9) 青木猛他：階層ファジィルールによる移動ロボットの障害物回避動作計画、電気学会論文誌C、Vol.113、No.7、pp.535～542、1994。