

運転能力の変化と精神疲労の測定

石坂 良資* 斎藤 正男** 西野 治***

長距離輸送に用いられる大型車輛は、交通事故発生時に、周囲の道路交通に大きな影響を与える。この交通事故は運転者の精神疲労、特殊な車輛構造、道路状況の悪化などにより発生することが多い。特に運転者の精神疲労が増加すると、運転能力が劣化し交通事故を生じやすくなる。ここでは、様々な交通事故発生要因および精神疲労発生時の運転者の運転能力の変化について述べ、精神疲労の具体的な測定方法について解説を加えている。

Change of Driving Capability and Measurement of Mental Fatigue

Ryosuke HOSAKA* Masao SAITO** Osamu NISHINO***

When large cargo trucks for long-distance transportation happen to cause traffic accidents, they seriously obstruct the traffic. Such accidents are often due to mental fatigue of the drivers as well as special car structure or worse road conditions. Especially, accidents are liable to occur because of a considerable decline in the driving capability due to the accumulation of mental fatigue. This article deals with various causes of traffic accidents and the time change of driving capability of long-distance drivers, together with some brief commentaries on objective methods of measuring the mental fatigue.

1. はじめに

現代社会において、自動車は、カラーテレビその他の家庭用電気機器と同じ位の、著しい普及をしつつある。自家用乗用車だけでなく、大型トラックなど長距離輸送にたずさわる業務用車輛も、急激に増加している。

一方では、昭和54年7月、東名高速道路日本坂トンネルの事故に代表される大型車輛による交通事故が目立ちつつある。普通乗用車に比べて、大型車輛の場合、交通事故を誘発しやすい構造上の要因がいくつある。左側方視認の困難さ、路面標示の見にくさなどがその例である¹⁾。

これら車輛や環境の問題と同時に、運転者の運転能力が時間とともに劣化することも、注意する必要がある。長時間運転の必要がある長距離輸送業務の場合、この問題は特に重要である。また、長距離走行をする普通乗用車の運転者についても、同じ問題が生じるであろう。

1時間走行後と4時間走行後とでは、運転者の運

転能力について明らかに劣化が認められる。このような能力低下は、精神疲労によるものであり、視覚など各感覚中枢機能の低下、思考判断をつかさどる大脳連合野の機能低下を生じていると考えられる。

一般に精神疲労は、高度の緊張状態が長時間持続すると生じる。ほかに、単調な作業を継続して行ったときにも、やはり精神疲労を生じる。精神疲労は、生理学的には、心機能、中枢神経系機能などに変化を生じ、運転者の思考判断能力の低下、反射動作時間の延長、覚醒度の低下などの現象を生じる。

このように精神疲労が増すに従って、運転能力が低下し、交通事故を誘発するおそれが高くなる。したがって、運転能力の低下による交通事故を未然に防止するためには、精神疲労の蓄積をできるだけ正確に知ることが望ましい。この目的のためには、精神疲労を生じる各種要因と、精神疲労に伴って生じる生理学的変化について検討することが重要である。

2. 精神疲労の要因

自動車運転中に緊張および精神疲労を生じる要因は、次の4つに大別される。

- 車輛構造
- 道路設備
- 周囲の交通状況
- 長時間連続走行

これらの要因の具体例を以下に示す。

*工学院大学修士課程 (医用電子工学)
Graduate Student, Kogakuin University

**東京大学教授 (医用電子工学)
Professor, University of Tokyo

***工学院大学教授 (電子工学)
Professor, Kogakuin University

原稿受理 昭和55年10月20日

車輛構造に関する第1の問題は、運転席周囲の空間設計が、人間工学的になされているかどうかということである。運転座席の形状と柔らかさ、変速機シフトレバーや各種スイッチノブと運転者との位置関係、各種計器類の照明照度、長距離輸送用大型車運転室後方の仮眠ベッドなどに、配慮が必要である。

第2の問題は、運転席からの視界である。大型車輛の場合には、普通乗用車に比べて車高が高いので、前方の視界は一般に良好である。しかし、キャブオーバー型大型車輛の場合には、運転席が車輛の右前端にあるため、後方と左側方の視認が悪く、そのため、歩行者や自転車の巻き込み事故が発生する。視界については、ほかに前照灯など夜間照明の問題がある。国内の公道を走行する車輛の前照灯照度は、最高10000[cd]に法規制されている。しかし、長時間の夜間走行では、これでは照度が不足する場合がある。夜間走行の機会が多い車輛では、さらに、高照度の前照灯を効果的に使用すれば、運転者の心理負担が軽減され、安全性が高まると考えられる。

運転者は、視覚器など各感覚器を通して車輛の周囲についての情報を受けとり、それによって運転をする。したがって、情報を与える道路標識や路面標示などは、読みとりやすいものでなければならない。樹木に隠れて見にくい道路標識、雨天の夜間に視認が困難な路面標示などは、これに反する例である。特に雨天の夜間には、前照灯の効果が減少し前方視界が不良となる。年間の降雨量が多いわが国では、歩行者などの安全を確保し、運転者の負担を軽減するためにも、このような点を改善する必要がある。

最近、首都圏などの大都市周辺での道路交通状況の悪化が目立っている。この現象は大都市周辺の車輛の急激な増加などによって起る。違法駐車車輛の強制移動、主要道路の信号機の系統制御、東京都内の環状8号線以内への大型車輛の通り抜け禁止などは、車輛が円滑に走行するための有効な処置といえる。他の原因としては、タクシーなどの客待ち停車、急停止による周囲の交通の乱れがある。この業務用小型車輛の特殊な走行パターンは、周囲の車輛の運転者の心理負担を大きくしている。

以上の各例とは多少異なるが、長時間にわたって連続走行しても、精神疲労による覚醒度の低下が生じる。長距離輸送用大型車輛の運転者は、平均して約3.5時間、極端な例では10時間以上も連続して運転しており、これらの車輛の約8割は1名乗車である²⁾。このような長時間連続走行や1名乗車は、運転

の単調さを増加させ、特に夜間の走行においては危険である。

長距離輸送をはじめとする交通の安全を考えるには、まずこれらの問題を解決する必要がある。

3. 緊張、精神疲労による生理学的変化

緊張が生じ、さらにそれが持続し、精神疲労が生じたとき、運転者に次のような各機能の変化が見られる。

- 心機能
- 反射機能
- 中枢神経機能

これらの中で前2者は、緊張度の変化に対して急速な反応を示し、第3者は、緊張の持続の結果として生じる精神疲労の増加に従って、徐々に変化する。以下では、これら各機能の具体的な変化について述べる。

緊張度の増加に従い、心機能では心拍数の増加が見られる。高度の緊張により交感神経活動が昂進し、アドレナリンの分泌が盛んになるため、このような変化が生じる。反射機能の中の精神電流反射も、交感神経の昂進に基づく汗腺活動の変化によるものである。緊張により掌の汗腺活動が活発になると、手掌皮膚抵抗値PSRは低下を示す。

Fig. 1に、車輛速度に対する心拍数とPSRの変化を示す³⁾。この図から、高度の緊張を伴う高速領域で、心拍数が増加し、PSRが低下していることがわかる。これらの値の増加や低下は短時間で変化し、もとの状態に復帰する。したがって、運転能力の変

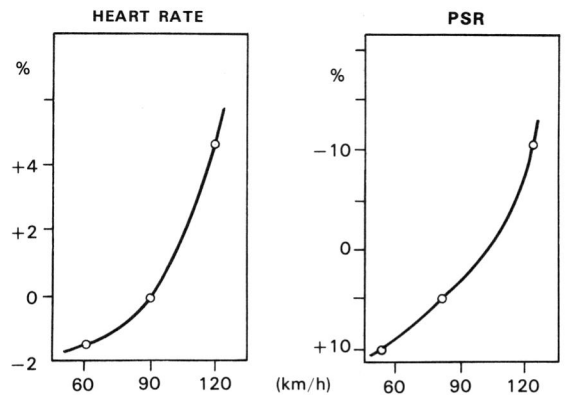


Fig.1 高速走行時の心拍数、PSRの変化
(大島正光;アーゴノミクスより)
Change of heart and PSR at
high speed driving

化に大きな影響を及ぼすことは少ないと考えられる。しかし、この緊張が持続すると、他の各機能が低下し、運転能力が低下するおそれがある。

中枢神経機能の変化は、脳波のパターンなどの変化から推定できる。中枢神経系の活動が盛んなとき、脳波には、 β 波と呼ばれる波が多く見られる。ところが高度の緊張が持続し精神疲労が誘発されると、 β 波の中に α 波と呼ばれる波が多く見られるようになる。この α 波は“ねむけ状態”や“まどろみ状態”のように、中枢神経系の機能が低下しているときに見られる。したがって、 α 波と β 波の発生率の変化から、覚醒度を推定できると考えられる。

モールス符号の識別を作業対象とした測定結果の1例をFig. 2に示す。この図から、作業の続行に従い、 β 波に比べ α 波が多数発生して、覚醒度が低下していることがわかる。このような覚醒度の低下は運転者において、総合的な運転能力の低下となってあらわれる。

中枢神経系の機能の変化を示すほかの指標として(Hz)は、フリッカー値の変化とまばたき発生パターンの変化が考えられている。フリッカー値とは、点滅する光点が、連続した光点として見えはじめる時の点滅周波数である。この周波数は作業を連続して行うことにより低下する。これは、大脳新皮質の機能低下によるものと考えられている。Fig. 3に、国鉄山手線電車の運転者の、勤務中におけるフリッカー値の変化を示す。この例でも、時間の経過に従いフリッカー値が低下している。

もう1つの指標であるまばたき発生パターンの変化は、精神疲労の増加に従い、次のような変化を示す。

- ① 通常の規則的なまばたき

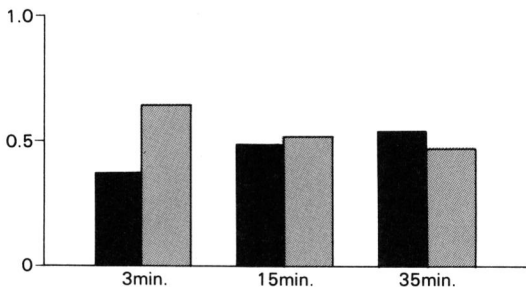


Fig.2 精神的作業による α 波と β 波の発生率変化
Change of ratio between α waves and β waves by mental load

- ② 2発以上の群発の発生
- ③ 群発の多発化
- ④ 発生間隔の長いまばたき、所要時間の長いまばたきの発生
- ⑤ 眼瞼下垂、閉眼

通常のみまばたきは、大脳古皮質の制御による一定のリズムなどによって生じている。したがって、このような発生パターンの大きな変化は、中枢神経系の機能変化によるものと考えられる。

Fig. 4に、モールス符号の識別実験におけるまばたき発生パターンの変化を示す。この例はそれぞれ前記の①、②、③、④、に相当している。これらの中枢神経系機能の変化は、運転者の識別判断能力の低下を招くことになる。

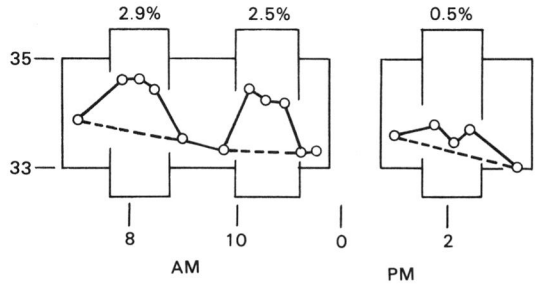


Fig.3 電車運転者のフリッカー値の変化
(橋本邦衛、遠藤敏夫：生体機能の見かたより)
Change of clinical-fusion-frequency (CFF) of railroad operator

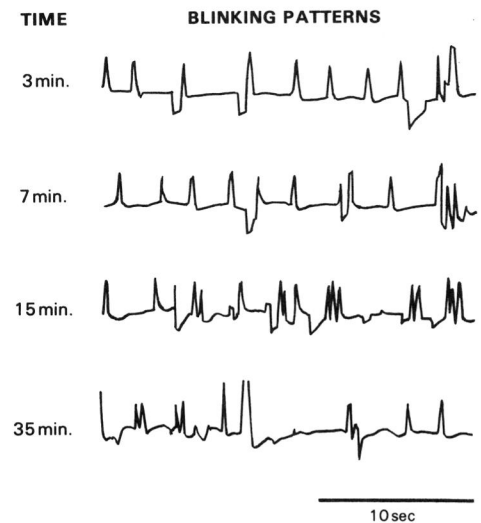


Fig.4 精神的作業によるまばたき発生パターンの変化
Change of blinking patterns by mental load (measured by vertical EOG)

長距離輸送に多く見られる長時間の連続走行では、これらの生理学的変化が運転者に生じ、覚醒度を低下させている。覚醒度の低下は、運転者の思考判断能力の低下や、反射動作時間の延長を招き、その結果として運転能力が低下する。

4. 精神疲労による運転能力の変化

運転者の運転能力は、第2章で述べた原因によって変化し、その変化は、前章で示した生理学的変化に伴ってあらわれる。ここでは、運転能力の具体的な変化について述べる。

Fig. 5に、運転時間によるアクセルペダル操作角度と、ハンドル操作角度の変化を示す。これらは自動車の運転に欠かせないものであり、運転者が常に接している部分である。このため、これらの変化の様子から、運転能力の変化を推定することができる。この図には運転開始直後、2時間後、4時間後の変化が示されている。前述の長距離輸送用大型車輛の平均連続走行時間が、約3.5時間であることから、4時間後の変化は、大きな精神疲労の影響をうけていることが予想される。

アクセルペダル操作に関して、運転開始直後および2時間後では、50~60〔°〕の操作角が中心でその

上下への分散は少ない。ところが、精神疲労の増加が考えられる4時間後には、低操作角への分散が増していることがわかる。一方、ハンドル操作は、運転開始直後および2時間後よりも4時間後の方が、左右への分散が大きくなっていることがわかる。

普通の運転では、一定の車速を保つため、発進や停止時のほかは、アクセルペダル操作角をほぼ一定に保つことが多い。ハンドル操作でも特殊なカーブを除き、大きな角度の操作はあまり行われぬ。これに対してFig. 5に示した変化は、アクセルペダル操作角では平均車速の低下、一定速度の維持が困難という状態を示し、ハンドル操作角では小さな蛇行や、カーブの直前での急激な方向変化の増加を示している。これらの運転動作の変化は、精神疲労の増加のために生じたと考えられる。アクセルペダル操作角の変化は、中枢神経系機能の低下による、車輛速度の判断能力の低下によって生じ、ハンドル操作角の変化も、この機能の低下による反射動作時間の延長によって生じたものと考えられる。

このように運転能力が低下した状態で運転を続けると、やがて交通事故を発生することになる。したがって、このような状態になる前に精神疲労を検出し、運転者に警告を与えることにより、交通安全性

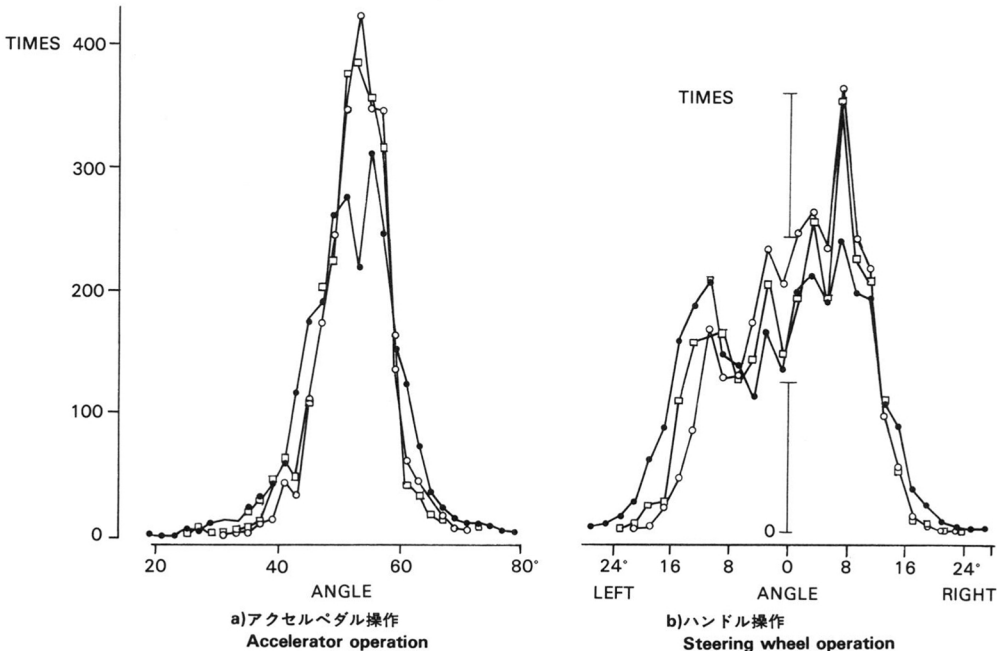


Fig.5 精神的疲労による運転動作の変化
(麻生 勲：ドライバーの生理反応と運転パフォーマンスの変化より)
Change of driving performance by mental fatigue

が高められる。

5. 精神疲労の測定方法

5-1 脳波による測定

精神疲労は、中枢神経系の疲労が大部分である。また、測定精度に関しては、脳波の識別が最良と思われる。

脳波は、頭皮上に装着された電極により、導出される。この脳波の測定精度を上げるためには、電極を装着する部分の毛髪を除去することが効果的であ

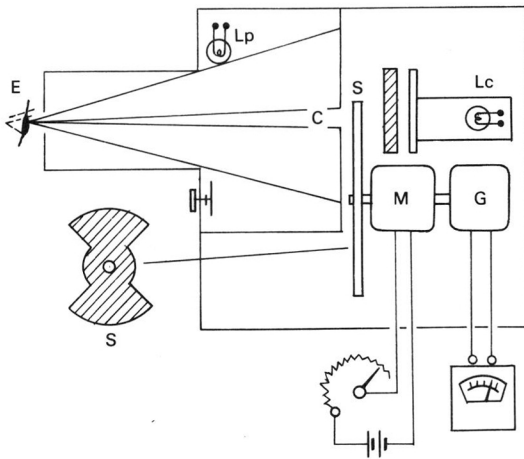


Fig.6 フリッカー値測定原理
(橋本邦衛、遠藤敏夫：生態機能の見かたより)
Principle of measurement of CFF

る。また、毛髪を除去できない場合には、針状電極を利用することが有効である。しかし、作業中における精神疲労の測定への応用を考えると、以上の方法を実際に用いることはできない。また、毛髪を残したまま皿状電極で測定を行うことは、電極の接触不良や分極電圧の変動を生じ、測定精度を低下させることになる。

このような理由から、脳波による精神疲労の測定は、走行中の車輛上では必ずしも適当とはいえない。

5-2 フリッカーテストによる測定

Fig. 6 に、セクタ式フリッカー値測定器の構造を示す。被験者は小窓を通して、光点に相当する小穴 c を視察する。 c の後方には、対称形セクタ S 、それを回転させるモータ M 、光源のランプ Lc が位置している。セクタ S はモータ M によって回転し、その結果、被験者は c の位置に、点滅する光点を見ることができる。モータ M の回転数すなわち点滅周波数は、同図下方の可変抵抗器によって調整できる。

点滅周波数の調整方法には、周波数を上げていく上昇法と、周波数を下げていく下降法とがある。海外では上昇法が好んで用いられるが、わが国では下降法が多く用いられている。この2つの方法による測定値は一般に一致せず、ヒステリシスを有する。

フリッカー値の変化は前述のように、大脳新皮質の活動状態の変化を示しているため、これを測定することは脳波の測定と同様に有効といえる。しかし短時間でも、点滅する光点を視察しなければならないため、車輛の運転などの作業を続けながら測定を行うことは容易ではない。

5-3 まばたき発生パターンの変化の測定

まばたき発生パターンの変化から精神疲労を測定する場合、脳波による測定のように、連続した変化としてとらえることがややむずかしい。しかし、パターンの大きな変化であるまばたきの群発が、精神疲労の発生に先立って生じると考えられるため、まばたきの群発を検出することにより、精神疲労の発生を予知することができる。

従来まばたきの測定には、EOGが多く用いられてきた。これは眼球運動により、眼球周囲に電位変化が生じることと、まばたきにより眼球に上向き反射が生じることを利用している。したがって、この方法では眼球周囲の顔面に電極を装着して電位変化を測定する。EOGは脳波に比べると、測定は容易だが、電極を顔面に装着するため、咬筋などの筋電の混入をさげられない。

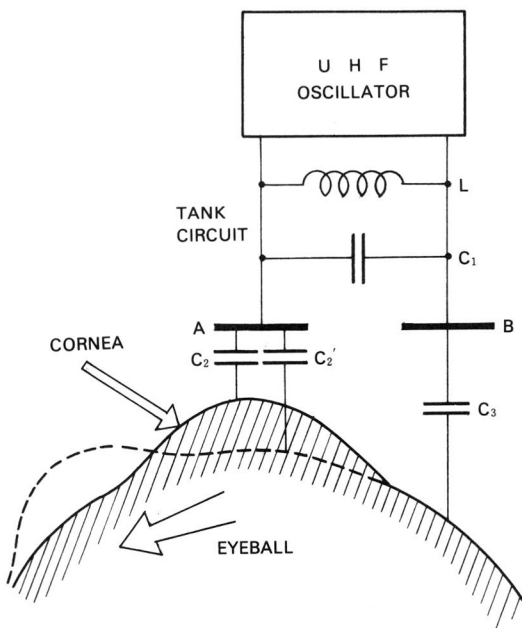


Fig.7 COG測定原理
Principle of COG

まばたきの測定方法としては、(財)国際交通安全学会の昭和54年度研究助成金により、著者らが開発したCOG⁶⁾の応用も可能である。COGの測定原理をFig. 7に示す。眼球運動により、電極眼球表面間の静電容量が C_2 から C_2' に変化し、発振器の発振周波数が変化する。この周波数偏移を検出することにより、眼球運動が測定される。まばたき時に眼球は前述のような上向き反射を生じるため、COGはこの眼球運動と、眼瞼の上下動を検出し、まばたきを測定する。

著者らはこのセンサを、オートバイライダー用のゴーグルに装着して使用しているが、一般のサングラスなどにも装着できる。また、COGは完全テレメータシステムなので、被験者を拘束せず、与える負担も比較的小さい。このため、精神疲労の測定にも有効と思われる。

6. まとめ

運転者の運転能力の変化を、生理学的測定値の変化から推定することは、生物、非生物間の整合を適正に保たねばならないため、容易ではない。しかし、生理学的な測定値は豊富な情報を持っており、精神疲労、運転能力の変化の測定に欠かすことはできない。

また運転者における精神疲労とは単なる測定対象

ではなく、その発生以前に出現を予知し、防止策を講じるべきものである。したがって、精神疲労の測定は実際の運転能力の変化を知るためだけでなく、第2章で述べた各種の問題点の改善に際しても用いられるべきである。このような検討を十分に行ったうえで、精神疲労を測定することにより、長距離輸送にたずさわる大型車輛も含めた、道路交通の安全が高められると考えられる。

参考文献

- 1) 加藤正明：高速道路の事故分析—トンネル内の事故原因について—, 人間工学, 16, 3, p.p. 99~103, 1980
- 2) 堀江良典ほか：トラック運転者の休憩についての一考察, 日本人間工学会第21回大会講演論文集, 16, p.p. 71~72, 1980
- 3) 大島正光編：アーゴノミクス(人間工学), 朝倉書店, p.333, 1965
- 4) 橋本邦衛, 遠藤敏夫：生体機能の見かた——人間工学への応用——, 人間と技術社, p.p. 104~111, 1973
- 5) 麻生 勤：ドライバーの生理反応と運転パフォーマンスの変化, 日本人間工学会第20回大会論文集, p.15, p.69, 1979
- 6) 保坂良資ほか：実用的な眼球運動測定システム(COG), 医用電子と生体工学, 投稿中