

ドライバーの覚醒水準と安全

西村千秋*

ドライバーの運転中の覚醒水準の変動を、交通システムにおける安全問題のひとつとして扱った。まず覚醒水準を計測する手法について述べ、その中で皮膚電位が覚醒水準のよい生理指標であることを示した。ついで、この皮膚電位を利用してさまざまな状況でのドライバーの覚醒水準変動を測定し、その実態を明らかにするとともに、覚醒水準低下への対策として、皮膚電位を手がかりとしたフィードバック手法を提案した。

Traffic Safety from a Viewpoint of Car Drivers' Arousal Level

Chiaki NISHIMURA*

The fluctuation of drivers' arousal level is considered to be one of the safety issues in the traffic system. In mentioning procedures for measuring the arousal level, the manuscript first showed that the skin potential is a physiological indicator in this process. It then reported some experiments in which drivers' arousal fluctuations under various conditions were studied using the skin potential index. It finally proposed a feedback procedure with the skin potential as the key in countering lapses in the arousal level.

1. はじめに

1-1 目的

交通安全を考えるにあたって、ドライバー側の生理的な変化が安全限界を超えてしまう場合をいかに評価し、いかに扱うかは、ひとつの重要な視点である。ドライバーを道路交通システムの要素と見た場合、その状態変化は他の要素に比べて予測が難しく、また個人差が大きいので、なかなか一律に扱えないのが現状である。もちろん、酩酊状態や明らかな体調不良状態での運転は法などによって規制できるが、現実には健常者でも陥りがちな危険な生理的変化が存在するので、問題は厄介である。

そのひとつの例が居眠り運転である。これはドライバーの覚醒のレベルが極端に低下した結果である。本稿では、一定の外的および内的条件のもとでは覚

醒のレベル低下が生理的に避け得ないこと、そしてそれがドライバーの反応性の低下につながり安全を脅やかすことなどを示すとともに、その対策について考察を行う。

1-2 覚醒水準とは

われわれの生活は覚醒と睡眠のリズムから成り立っている。覚醒時は脳が活発に活動するが、睡眠時には活動が低下する。また、ぼんやりしている時のように、その中間の活動状態もある。さらに、同じ覚醒中でも脳の活動度はいつも一定であるとは限らない。ある時には頭が目まぐるしく回転しているし、ある時にはリラックスしているであろう。また、睡眠中でも、脳の活動の度合を考えることができる。たとえば、外部刺激に対する反応性という点から見ると、睡眠深度 I および II でも脳の活動を認めることができ、睡眠深度 I では外部刺激によって容易に覚醒段階への移行が起こる。睡眠深度 II では外部刺激に対して意識上での反応は起こらないが、K 複合と呼ばれる脳波レベルでの反応が認められる。外部刺激に対する反応性が全く消失するのは深度 III 以上

* 東邦大学医学部医学情報学研究室助教授
Associate Professor, Dept. of Medical Informatics,
Toho University School of Medicine
原稿受理 1993年11月1日

の睡眠である。したがって、覚醒時から深度 I を経て深度 II の睡眠までは外部刺激に対する反応性という意味で覚醒性が存在し、その程度が時間とともに変動していると考えられる。

このような脳の活動の度合は一般に覚醒水準と呼ばれている。本稿ではそれをよりはっきりさせる意味で脳の賦活状態を反映する一次元的な尺度を仮定し、それを覚醒水準 (the level of arousal) と呼ぶことにする。ただし、深度 III および IV の睡眠時における覚醒水準を 0 とする。なお、覚醒水準と同様な用語として意識水準ということばもあるが、これは意識混濁や昏睡のような病的な状態まで含む概念であるので、本稿では覚醒水準の方を用いることにする。

2. 覚醒水準の計測

2-1 覚醒水準の測定方法

覚醒水準を知る方法としては、本人から内観報告を求める主観的方法と外部から観察や測定を行う客観的方法がある。通常は客観的方法を主とし、主観的方法は補助手段として従とする。

客観的方法はさらに、行動的方法と生理的方法に分けられる。行動的方法とは本人の行動を観察し、その様子やパフォーマンスから覚醒水準を評価する方法である。また、生理的方法とは脳波・心電図・眼球運動・皮膚電気など本人の生理量を計測することによって、覚醒水準を評価する方法である。行動的方法と生理的方法は相補い合うものであり、常に対応づけて考える必要がある。以下にこれらの方法の実際を述べる。

1) 行動的方法

本人に何かの作業を課し、その表情やしぐさから覚醒水準を評価する直接観察以外に、作業成績を数値化して評価する方法や行動能力の余裕を調べる方法¹⁾などがある。行動的方法については次のヴィジランス作業の項でもふれる。

2) 生理的方法

覚醒水準の変動に伴って変化する生理量の主なものについて、その特長や利用上の長所・短所を述べる。

脳波は脳の活動を直接反映する電気信号であるので、覚醒水準の変化に従ってそのパターンが変化する。具体的には、覚醒水準が高く脳が活発に活動している時には β 波と呼ばれる速波がみられ、リラックスしている状態では 10Hz 前後の α 波が主となる。さらに軽い睡眠に入ると θ 波が観測される。このよ

うに脳波は覚醒水準のひとつの指標になるが、入眠からあと (睡眠深度 I 以降) にかけての覚醒水準の検出に鋭敏である。脳波は微弱な信号であるので導出にむずかしさがあると同時にノイズに影響されやすい。また、眼の開閉に影響される (とくに α 波) ので開眼作業時の測定には注意が必要である。

心電図、とくに心拍数の変化は覚醒水準を反映している。一般に覚醒水準が高いと心拍数は多くなり、リズムに乱れが見られるようになる。逆に覚醒水準が低いと心拍数は低下する。ただし、これはあくまで一般的な傾向であり、心拍数は呼吸など他の影響を受けやすいので、作業時の測定には注意が必要である。

眼球の運動も覚醒水準に関する情報を含んでいる。視認作業などの場合、覚醒水準が下がってくるとサッケード (細かい跳躍的な眼球の運動) が少なくなり、ついには一点凝視のようになり、やがていつのまにか閉眼しているようになる。また、眼球の運動の他に瞬きの様子や回数も覚醒水準を反映する。覚醒水準が高い時には数秒に 1 回の割合で瞬きをするが、その低下とともに頻度が減少し、瞬きの間隔が広がる。それと同時に、バースト状の瞬き (1 秒間に数回) も出現する。さらに覚醒水準が低下すると瞬きが瞬間的でなくなり、しばらく閉眼状態となる。このように眼球運動は作業時の覚醒水準評価に有効であり、自動車運転中の覚醒水準測定に利用されてもいるが²⁾、手軽で信頼性の高い測定器がまだ開発されていない。

皮膚電気活動は測定法によって二つに分類される。通電によって測定される、抵抗値の短期的変動成分 (皮膚抵抗反応、GSR) は情動やストレスを反映することが知られており³⁾、測定の簡便さと相まって運転疲労の測定にも利用されている⁴⁾。一方、直接電位測定によって得られる信号 (皮膚電位) の長期的変動成分は覚醒水準を反映することが知られている⁵⁾。前腕部に基準電極を置いた時に、手掌部から測定される電位は、覚醒水準が高い時には約 50mV の負の値をとるが、覚醒水準の下降とともに減少してその電氣的陰性を失い、睡眠深度 II に至って下に飽和する⁶⁾。すなわち、皮膚電位は覚醒時から入眠に至る広い範囲で覚醒水準と並行に変動し、そのよい指標となる。また、皮膚電位は身体の運動や発汗の影響を受けにくいいため、作業時の覚醒水準の指標として良好な生理量である⁷⁾。したがって、以下では主としてこの皮膚電位を中心に自動車運転中のドライ

バーの覚醒水準変化を見ていくことにする。

そのほか、フリッカー値（目で弁別できる明暗のちらつきの周波数の最大値）も、疲労からくる覚醒水準の低下を評価するための有力な指標である⁸⁾が、測定の際に本来の作業を中断しなければならないという欠点がある。

2-2 ヴィジランス作業

ドライバーの覚醒水準変動を考える前に、作業中の覚醒水準低下をより一般的に扱うことにする。第2次世界大戦中、イギリスが、開発したばかりのレーダーを沿岸に配備してドイツの潜水艦などの24時間監視体制をとった時の話である。監視員が長時間レーダースクリーンを眺めていると、自国船以外に明らかに敵の艦影が映っているにもかかわらず、それを見逃してしまうことがしばしば起こる、と指摘されたことに端を発し、監視作業における作業能率の低下現象が心理学的に研究され始めた⁹⁾。この現象は今日では覚醒水準の低下の結果として解釈されるが、これが引き起こされるための要因が明らかにされている¹⁰⁾。そして、このような作業はヴィジランス作業と呼ばれている。

ヴィジランス作業とは、一般に、ランダムな時間間隔で生起する特定の小さな変化を背景から区別し、検出する作業である。前述のレーダー監視作業などはその例である。ヴィジランス作業の要件は次の4つである。

- ①検出すべき変化がランダムに発生し、予測できないこと。
- ②背景となる事象は繰り返し発生していること。
- ③背景となる事象と検出対象となる事象が似ていること。
- ④検出作業自体は単純であること。

ヴィジランス作業を行わせるとその作業成績は一般に時間とともに低下する。すなわち、検出すべき事象に対する持続的注意の状態が保持できなくなり、見落としが発生し、やがては入眠状態に陥る。このような覚醒水準の低下は次のようなメカニズムによって起こると考えられる。まず、検出すべき事象の非予測性のために、作業者は自己の注意をそれに集中する必要に迫られる（選択的注意）。ところがそれに類似した背景事象が繰り返し提示される結果、選択的注意の対象となる入力経路は慣れを生じ、これが本来の検出能力を低下させる。さらに、この慣れの現象によって中枢に流入する神経刺激がブロックを受け、感覚遮断と同様の状態ができあがってしま

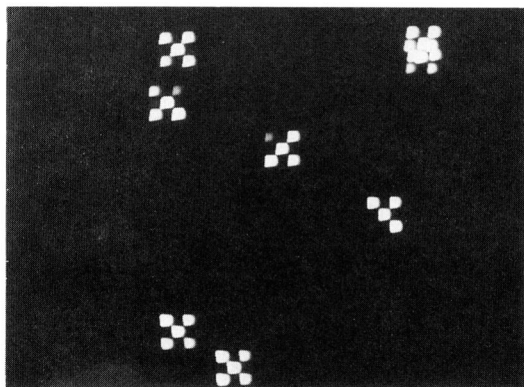


Fig.1 ヴィジランス作業の画面

い、中枢での賦活レベルが下がる。これが眠気を催すと考えられるのである。

以上のメカニズムは人間の脳の活動のしかたの本質に根ざしているため、ヴィジランス作業あるいはこれに似た作業において覚醒水準が低下することは生理的に避けられないのである。作業開始前に身体的なコンディションが良好でも、作業自体の内包する要因によって覚醒水準低下に至る場合があるのである。あとに示すように居眠り運転についても、このようなメカニズムによって引き起こされるものが少なくないのである。

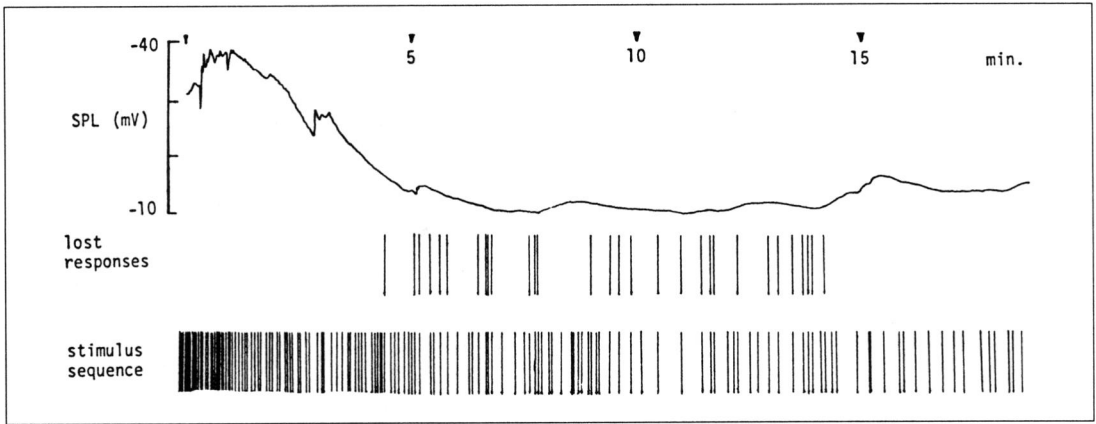
ここでヴィジランス作業としてひとつの例をあげ、作業成績と覚醒水準との関係を見ることにする¹¹⁾。

[実験1]

被験者は暗くしたシールドルーム内の椅子に腰かけ、前方のディスプレイ画面を注視する。被験者はこの画面中に動点（後述）の出現を認めたら直ちにボタンを押すように指示される。画面中にはランダムにばらまかれた8個の点が常時光っている（Fig. 1）。各点には4個の点が付属しており、そのうちいずれかの2個がランダムな組合せ順序で光る。したがって、被験者にとっては四隅にちらつきのある静止点が8個画面中に見えることになる。

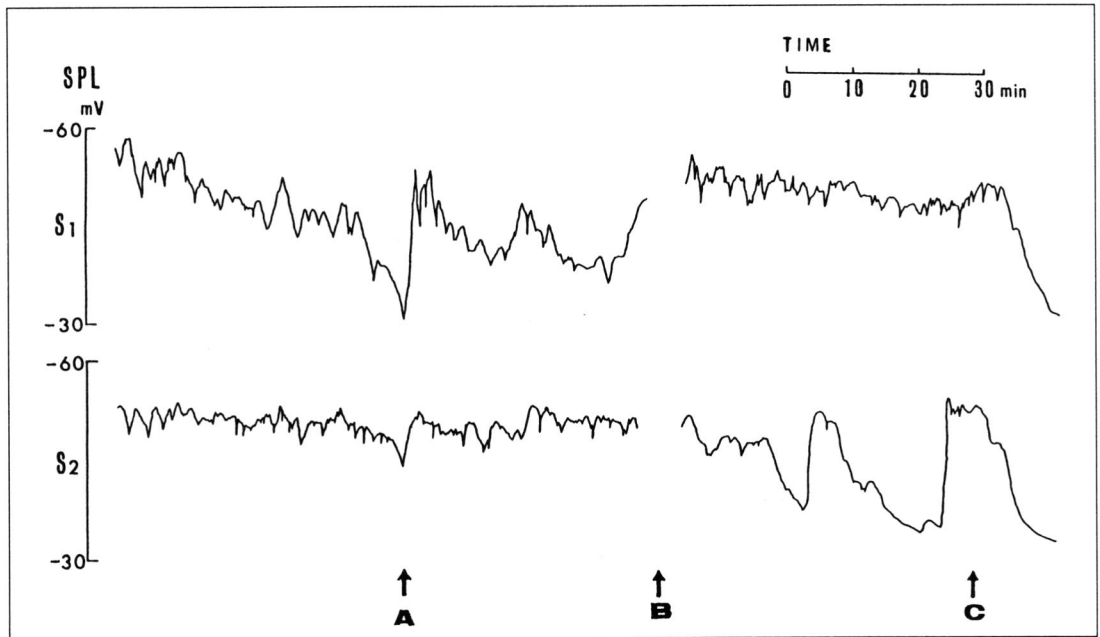
この画面の中に随時もう1個の点（これも四隅にちらつきを伴う）が出現し、画面内を等速度で移動し、やがて画面外に去る。この動点の出現位置、移動方向および出現間隔はいずれもランダム化されている。1つの動点が画面内に存在する時間は1秒程度である。

この実験結果例をFig.2に示す。図の下段に動点の出現タイミングを、そしてそのうちで被験者が見落としをしたものをぬき出して中段に示した。被験



注) 下段：目標出現のタイミング/中段：見落とされた目標/上段：皮膚電位 (SPL)。

Fig.2 ヴィジランス作業における皮膚電位と反応欠落との関係



注) BまではS₂が運転し、BからはS₁が運転した。

Fig.3 路上運転中の皮膚電位変化

者の見落としの発生と皮膚電位を対照させてみると、見落としは皮膚電位の低いところに集中している。しかし、皮膚電位が低いからといって必ずしも見落としが起きているわけではない。見落としは皮膚電位の低い時にときどき起きているのである。この間、被験者は「猛烈に眠かったが、作業はキチンとしていたつもりだ」と報告していることは興味深い。すなわち、被験者には居眠りの自覚はないのである。

3. ドライバーの覚醒水準

前項では、ヴィジランス作業を例として覚醒水準

の変動を見たが、本項では、ドライバーが自動車運転中に覚醒水準がどのように変動するかを、さまざまな場合について見ることにする。主として覚醒水準が低下する場合に注目するが、これは危険な居眠り運転に通じるからである。もっとも、ここで問題にする居眠り運転とは、健全なドライバーがヴィジランス作業の原理により覚醒水準が下がり、眠気が生じるために起こるものを念頭においており、例えば極度の疲労や睡眠不足などからくる眠気とは区別して考えていることに注意してほしい。

覚醒水準の生理的指標としては主として皮膚電位

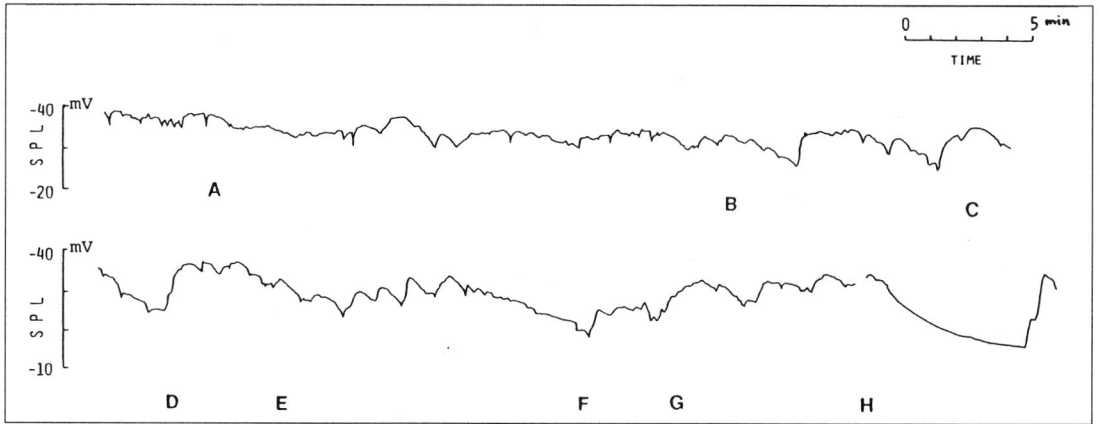


Fig.4 路上運転中の皮膚電位変化 (ドライバー1名による単独運転)

を用いる。なお、皮膚電位には個人差があるため、各個人について、その最高値 (覚醒水準が十分高く、上に飽和した時の値) と最低値 (覚醒水準が十分低く、下に飽和した時の値) の差に対して最高値から低下した割合を百分率で表わすことにする。これを皮膚電位低下率と呼ぶ。すなわち、皮膚電位低下率 0% とは十分な覚醒状態であり、同 100% とは覚醒水準が最低になった状態である。皮膚電位低下率は個人差による影響をほとんど受けない¹²⁾。

3-1 路上運転時の覚醒水準変動

[実験 2]

2名の男子ドライバー (S₁、S₂) の路上運転中の覚醒水準変動を調べた¹³⁾。2名はそれぞれ乗用車の運転席と助手席に座り、休憩をはさんで交代で運転した (Fig.3)。まずはじめに S₂ が運転を行い、図中 B の時点で S₁ と交代した。運転を行ったのは中央高速道路である。A は料金所での一時停車の時である。C の時点で運転を終了し、S₁、S₂ も閉眼安静状態をとった。

両者の行動的観察は次のようであった。S₁ ははじめは助手席で元気であったが、料金所の前あたりではぼんやりした状態になっていた。B で運転を交代してからは十分な覚醒状態であった。また、S₂ も運転中は高い覚醒状態であったが、料金所の直前では S₁ につられて少しぼんやりしたという。さらに、運転を S₁ に譲って助手席についてからは眠気を感じ、停車する前にはすっかり眠りこんでしまっていた。

図の皮膚電位は以上の観察を裏づけている。まず、両者とも、運転中の皮膚電位は十分高く、全体として 20% 以下の皮膚電位低下率に収まっている。唯一の例外は A の直前での S₂ の皮膚電位の低下 (約 30%

の皮膚電位低下率) であるが、これは当時少しぼんやりしたという内観報告と一致する。また、両者とも助手席にいた時の皮膚電位変動は大きく、とくに C での停車の前の S₂ の皮膚電位は下に飽和しており、入眠状態であったことを裏づけている。

以上から、単に自動車に乗っている場合に比べて、運転をしている場合は一般に高い覚醒水準が維持されていることがわかる。これは作業の性質上当然と考えられる。しかし、運転中であるにもかかわらず皮膚電位が低下し、低覚醒水準を示す場合がある。以下にそれを見ることにする。

[実験 3]

ドライバーがひとりで運転する場合と、同乗者がいて運転する場合では覚醒水準の変動のしかたが少し違う。このことを示すために次のような実験を行った。

ドライバーは夜間単独で乗用車を運転し、東京都内の職場から郊外の自宅まで一般道路と高速道路を利用して戻った (Fig.4)。ドライバーの皮膚電位は助手席におかれた小型ペン記録計に記録された。また、ドライバーの襟元には小型マイクが装着され、その声が録音された。ドライバーは、自己の状態、道路事情、自動車の走行状況、その他気づいたことをなるべくメモ録音しておくよう指示された。

はじめ高かった皮膚電位は最初の渋滞 (A) を機に徐々に低下を示している。B から C まで (高速道路) は前方に低速 (約 60km/h) 車があり、そのうしろを追随しながら運転を行った。C 以降は前後に車両がほとんどない状態となった。D 前後では時速約 80km/h で走行、E あたりから軽い眠気を訴えはじめた。眠気が次第に強くなってきたため、それを解

消す目的でFでカーステレオのスイッチを入れ、音楽を聴いた。それにもかかわらず、ドライバーはFからG(料金所)に至る間、眠気が非常に強かったことを報告している。Hで停車後、目を閉じて安静状態をとった。

この実験の場合は前の実験2にくらべてドライバーがややリラックスして運転しているといえる。実際、同乗者がおらず、話しかけられもしないし、ルートもふだん通いなれた道路である。皮膚電位の変化から覚醒水準を推測すると、前実験に比べて覚醒水準の低下傾向がみられる。覚醒水準の低下する場合は道路状況や車の走行状況などによる。この他同様の実験の結果などを総合すると、路上運転の際にドライバーの覚醒水準が低下する傾向にある場合とは、①交通渋滞にまきこまれ、停止・発進を繰り返すノロノロ運転の場合、②前後にほとんど他の車がなく、すっかり自分のペースで運転できる場合、③車が一定のペースで流れており、ただそれに合わせていけばよい場合、などである¹⁴⁾。

これらはいずれもドライバーの四囲に対する注意負担を軽減させる方向に作用する状況であり、いわゆる単調な運転になりがちである。そのため運転作業がヴィジランス作業の様相を帯び、覚醒水準低下につながるものと考えられる。このような環境条件は次節に述べる試走路の環境に通じるものがある。

なお、上記①～③の場合の皮膚電位低下率は、多くの場合は50%内外であるが、最高では約80%に達する場合もあった。

3-2 試走路運転時の覚醒水準変動

前節で指摘した、ドライバーの覚醒水準低下が起

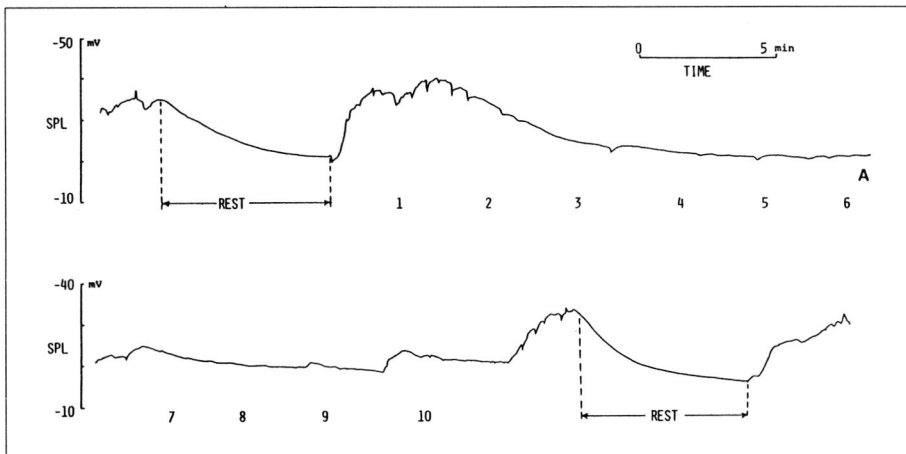
りやすい場合の極端な場合として、自動車の試走路にて他の車がない状態での運転実験を行い、ドライバーの覚醒水準の変動を観測した。

[実験4]

ドライバー(22~45歳の非職業ドライバー10名)は、1周約3.2kmの平坦な試走路(4車線)において、他車のない状態で、指定車線の定速周回運転(約60km/h)を行った¹⁵⁾。約30分の運転を行ったがほとんどのドライバーは覚醒水準の大きな低下を示し、多くは居眠り状態に陥った。なお、運転の前後にそれぞれ約10分の閉眼安静状態をとり、皮膚電位の上下の飽和値を確認した。

Fig.5はその結果例である。3周目後半よりドライバーの上脛が下がり、半眼に近い状態となった。4周目から眠気を訴え始め、6周目に強い眠気を訴えた。このころから一時的閉眼が観測されるようになった。6周目(A)では車の左側への寄りすぎが起こり、9周目ではドライバーの気づかないうちに逆に右側の車線に入り込んで走行していた。とくに9周目の内的状態として「居眠りというよりは、何か別の想念が湧いてきて、それに捉われていた」という内観報告が得られた。

これらの実験結果から、試走路運転では、適当な走行条件を設定すれば、ドライバーは自己の意思に反して容易に覚醒水準低下に陥ってしまうことがわかる。これは試走路という閉鎖空間により、運転作業がヴィジランス作業の要件を満たしやすくなるからである。もちろん、路上運転においてもその条件に当てはまるような場合があることは、すでに述べた通りである。



注) 下の数字は周回数を表す。

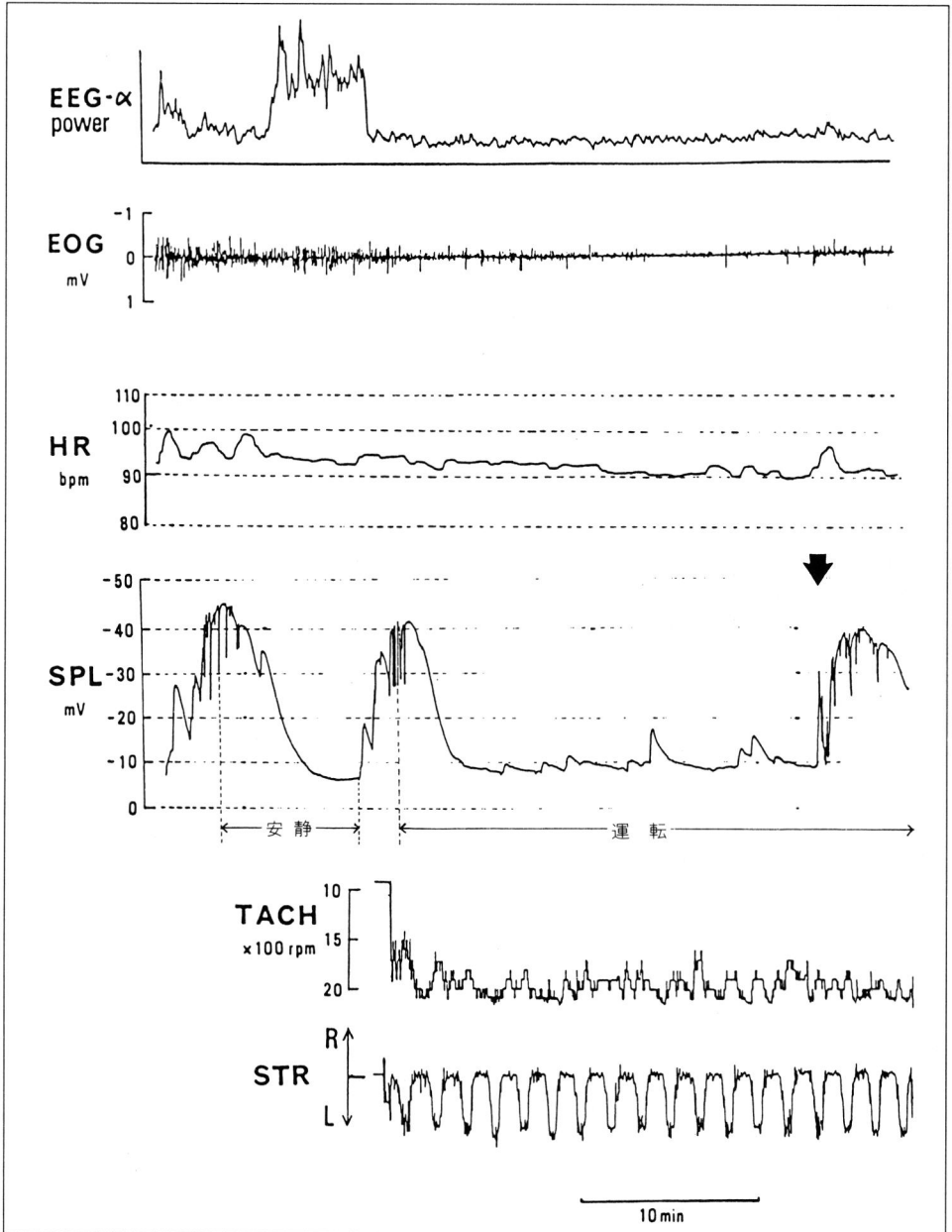
Fig.5 試走路運転中の皮膚電位変化

実験中に観測された危険な運転状態は、車線逸脱、速度異常、衝突寸前での障害物回避などであり、その時のドライバーの様子は、眠気を訴えたり、閉眼したり、ため息をついたりしていた。この時のドライバーの皮膚電位は一様に低く、低下率は80~100%にのぼった。路上運転時の覚醒水準低下率はせいぜい80%であったことを考え合わせると、覚醒水準低

下率80%という数字は、危険な運転行動につながる覚醒水準低下の定量的指標といえよう。

[実験5]

前実験において、試走路ではドライバーの覚醒水準低下の観測が容易であることがわかったので、同じく試走路において、運転中のドライバーの各種生理指標を測定し、覚醒水準変動との関係を相互に比



注) EEG-α: 脳波のα波成分/EOG: 眼球運動/HR: 心拍数/SPL: 皮膚電位/TACH: タコメータの読み/STR: ハンドル回転角。

Fig.6 試走路運転中の諸生理量の変化

較した¹⁶⁾。

車の走行条件は前実験と同じであるが、本実験においては各ドライバーから、運転中の脳波（頭頂部）、心電図、眼球運動、皮膚電位の生理指標を同時に測定・記録した。また、自動車の走行状態をモニターするために、タコメーターの読みとハンドルの回転角とを記録した。

Fig.6 にその記録例を示す。運転開始5分後あたりからドライバーは眠気を訴え続けていた。ときどき眠気を追い払うようなしぐさを行っていたが、効果は少ないように見えた。そして、運転開始23分後に手が無意識のうちに警音器に触れ、その音に驚いて目を覚ましている（図中の矢印）。

この様子は皮膚電位には忠実に反映されている。脳波についてはその α 波成分を抽出して示した。図からわかるように、運転作業中の α 波の量は少なく、覚醒水準の大きな変動があったにもかかわらず、その変化に乏しい。また、心電図から得られる心拍数に関する情報についても、この実験に関する限り、覚醒水準の変動と系統的な関係は見いだせなかった。一方、眼球運動に関しては2-1の項で述べたようなパターン変化が、覚醒水準の変動に伴って観測された。

以上から、本稿で扱っているような覚醒水準の変動の生理指標としては、皮膚電位および眼球運動が他よりすぐれているといえる。ただし、皮膚電位には覚醒水準をアナログ的にとらえられること、眠気の自覚に先行して低下することなどのほか、導出部位や起電力の大きさなどの点でも扱いやすいという利点がある。

3-3 トンネル運転時の覚醒水準変動

ウィジランス作業に通じるような単調な運転環境が、ドライバーの覚醒水準の低下を容易にもたらすことを見てきた。そこで、単調な運転をドライバーに強いる典型的な例として、長いトンネル内の運転をとりあげてみた。

近年、土木技術の進歩により長さが5 kmを超えるような長大トンネルが増えてきた。しかも、最短距離で掘削するために、トンネルは直線状となる傾向にある。このような経済性の要請の結果は、ドライバーにとっては好ましいことばかりではない。ドライバー側から見れば、長大トンネルを通過するためには、景観に全く変化のない空間内を、ハンドル操作をほとんど行うことなく長時間運転しなければならないからである。これは単調な運転の極端な場合とみなすことができる。すでに前項までに、然るべき条件がそろった単調運転の場合、ドライバーが生理的に覚醒水準の低下をきたさないで正常な運転作業を継続できるのは、せいぜい数分程度であることを見てきた。ところが、長大トンネルの通過時間は数分あるいはそれ以上となってしまうのである。そこで、長大トンネル通過時のドライバーの覚醒水準変化を検証するために、以下のような実験を行った。

[実験6]

中央高速道路にある長さ8.5kmのトンネルを繰り返し走り、その間のドライバーの覚醒水準変動を皮膚電位を用いて測定した¹⁷⁾。

実験セッションごとに道路状況は異なるが、トンネル通過時に共通の皮膚電位変動パターンが観測された。Fig.7 にその典型的な測定結果を示す。トンネル進入時には皮膚電位が上昇するが、2分経過後あたりから徐々に下降を始める。そしてこの緩徐な下降傾向は出口直前まで続く。出口を出たところで皮膚電位は急上昇し、もとの高いレベルを回復する。最も低くなる出口付近での皮膚電位は低下率が約75%であった。

この時のドライバーの様子は、トンネル進入後4分ごろからぼんやりとした感覚を訴え出し、6分を過ぎるあたりから目の開き方が不十分となり、よく目をつぶるようになった。そしてこの状態が出口まで続いた。この様子は皮膚電位にそのまま反映されている。

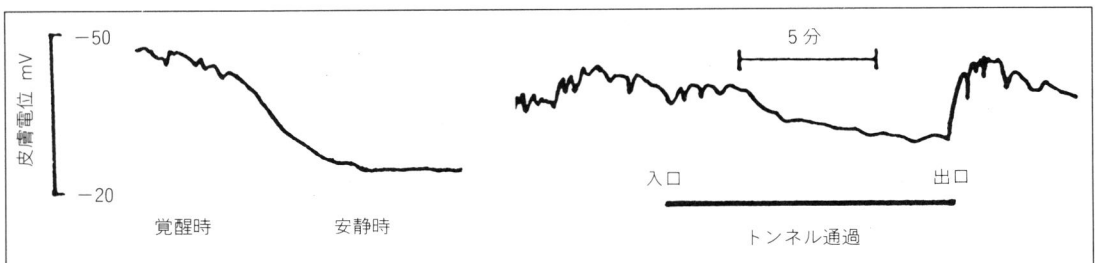


Fig.7 長大トンネル通過時のドライバーの皮膚電位変化

今までに見てきたように、行動上に危険な影響を及ぼす覚醒水準低下とは、皮膚電位低下率が表わすと約80%以上になる場合であった。トンネル通過の最後あたりでの皮膚電位低下率はこれに近い。出口まで皮膚電位の漸減傾向が続いたことを考えると、もしトンネルがこれよりも長く、この状態が続いたなら、皮膚電位は危険ゾーンに達した可能性もあろう。

今後経済効率の要請から長大トンネルは増えていくであろうが、長大トンネルそのものが覚醒水準の低下をもたらしやすい構造であるので、その形状、内装、照明などさまざまな点でこれまで以上の配慮が必要になるであろう。

4. 覚醒水準と安全

ヴィジランス作業に見られるように、作業自体は単調であるが、いつ起こるかもしれない変化に対して常時身構えているということは、それを熱心にやろうとすればするほど覚醒水準が知らぬ間に低下し、やがて居眠りなどを引き起こす結果となる。しかも、ある程度以上覚醒水準が下がってしまうと、自分の力でそれから脱却することは容易でなくなる。そこで、覚醒水準がまだそれほど下がらないうちに低下傾向を察知し、その対策を講じることが望ましい。その可能性を探るべく、つぎのような実験を行った。

[実験7]

3-2で述べたのと同様に試走路での周回運転を行った。この時ドライバーの皮膚電位を覚醒水準の指標として導出するばかりでなく、その低下率が常時モニターし、それが50%を越えた時に、同乗の実験者が予め定められた方法でドライバーに指示を出し、その結果ドライバーが覚醒水準低下から回復で

きるかどうかを見た¹⁸⁾。

実験者のドライバーへの介入方法は3段階から成り、第1段階では口頭で簡単な質問をする。その効果が十分でない時、第2段階として、回答に何らかの努力が要求されるような質問をする。それでも効果がない時は第3段階としてドライバーが身体の一部を動かすような動作を指示することにした。

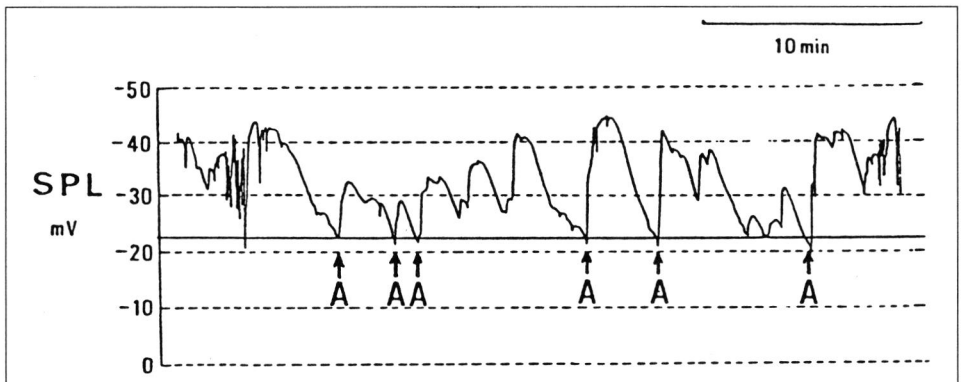
Fig.8はその結果例である。矢印の時点でドライバーへの介入が行われた。そのたびにドライバーの皮膚電位は上昇し、結果として約30分の走行を通じて覚醒水準の低下を示すような兆候はなかった。ほとんどのドライバーは第1段階の介入で十分であったが、一部では第2段階の介入まで行った場合があった。しかし、通常のドライバーに対して、第3段階の介入が必要な場合はなかった。

なお、介入を行うための皮膚電位の閾値の設定は重要である。これがあまり高いと介入過剰になり、運転作業の妨げとなる。また、閾値が低すぎると介入の時点で覚醒水準が下がりすぎているため、このような介入による覚醒水準回復効果がなくなってしまふ。しかし、適切な閾値設定と介入が行われれば適正な覚醒水準を維持することができ、単調運転による覚醒水準低下を回避できることを、この実験結果は示している。

5. まとめ

身体のコンドィションは悪くないのに、作業内容のもたらす生理心理的な作用により覚醒水準が低下し、やがては居眠り状態に陥ってしまう現象を、交通安全に関連して扱った。

まず覚醒水準を計測する手法について述べ、皮膚電位がそのよい指標であることを示した。つぎに、



注) Aの時点で介入が行われた (介入の閾値は-23mV)。

Fig.8 実験者の介入による、ドライバーの覚醒水準低下予防の試み

皮膚電位を覚醒水準の生理指標として用いて、さまざまな状況でのドライバーの覚醒水準変動を測定し、従来の行動的な手がかりが中心であった覚醒水準の評価を定量的に行った。その結果、ドライバーの覚醒水準が低下しやすい状況や、その対策に関していくつかの知見が得られた。

とくに皮膚電位にはドライバーが気づく前に覚醒水準の低下を検出できるという利点があるので、これをもとにドライバーに適切な介入を行えば覚醒水準の低下を未然に防ぐことも可能であることを示した。そのほか、長大トンネルのような構造はドライバーの覚醒水準低下を招きやすいことなどを指摘した。

交通システムの中で、ドライバーをとりまく環境が機械化されればされるほど、ドライバーの役割として監視作業の要素が大きくなっていく。その時、ドライバーの覚醒水準が適切に保持されるかは、安全にかかわる大きな問題である。したがって、今後、ヒューマンファクターとして覚醒水準がより重要視されるであろう。本稿で述べた皮膚電位を中心とした手法は、そのためのひとつの有力な手段となるであろう。

参考文献

- 1) Brown, I. D.: Measuring the 'spare mental capacity' of car drivers by a subsidiary auditory task, *Ergonomics*, 5・1, pp. 247~250, 1962
- 2) 保坂良資、渡辺瞭「まばたき発生パターンを指標とした覚醒水準評価の一方法」『人間工学』19・3、pp. 161~167、1983年
- 3) 橋本邦衛、遠藤敏夫『生体機能の見かた』人間と技術社、pp. 61~69、1973年
- 4) 大久保堯夫「交通と疲労」『からだの科学』臨時増刊「交通と人間」pp. 20~30、1986年
- 5) 新美良純、鈴木二郎『皮膚電気活動』星和書店、pp. 12~21、1986年
- 6) Koumans, A. J. R., Tursky, B., and Solomon, P.: Electrodermal levels and fluctuations during normal sleep, *Psychophysiology*, 5, pp. 300~306, 1968
- 7) 西村千秋、小坂明生「皮膚電位を利用した覚醒水準の計測とその入眠制御への応用」『電子通信学会技術研究報告』MBE 83-27、pp. 53~60、1983年
- 8) 保坂良資、斎藤正男、西野治「運転能力の変化と精神疲労の測定」*IATSS Review*, 6・4, pp. 43~48、1980年
- 9) Mackworth, N. H.: Researches in the measurement of human performance, in Sinaiko (ed.), *Selected papers on human factors in the design and use of control systems*, Dover Publications, pp. 174~331, 1961
- 10) Mackworth, J. F.: *Vigilance and habituation: a neurophysiological approach*, Penguin Books, 1969 / 福島脩美、井深信男共訳『ヴィジランスと慣れ 双書・現代の心理学 6』岩崎学術出版、1975年
- 11) Nishimura, C. and Nagumo, J.: Feedback control of the level of arousal using skin potential as an index, *Ergonomics*, 28・6, pp. 905~913, 1985
- 12) Lykken, D. T., Rose, R., Luther, B. and Maley, M.: Correcting psychophysiological measures for individual differences in range, *Psychological Bulletin*, 66・6, pp. 481~484, 1966
- 13) 西村千秋、小坂明生、常光和子、吉沢修治、南雲仁一「皮膚電位水準の遠隔測定とその応用」『バイオフィードバック研究』9、pp. 48~52、1982年
- 14) 西村千秋、小坂明生、常光和子、吉沢修治、南雲仁一「皮膚電位水準による自動車運転時の覚醒水準評価の試み I - 路上運転時の皮膚電位変化 -」『人間工学』23・2、pp. 103~110、1987年
- 15) 西村千秋、小坂明生、常光和子、吉沢修治、南雲仁一「皮膚電位による覚醒水準の評価」『第4回バイオメカニズム学術講演会論文集』pp. 145~148、1983年
- 16) 西村千秋、小坂明生、常光和子、吉沢修治、南雲仁一「皮膚電位水準による自動車運転時の覚醒水準評価の試み II - 諸生理量の比較 -」『人間工学』23・2、pp. 111~118、1987年
- 17) 西村千秋、吉沢修治、寺田和子「トンネル内走行時のドライバーの覚醒水準変化」『人間工学会関東支部第20回大会講演集』pp. 198~199、1990年
- 18) 西村千秋、小坂明生、常光和子、吉沢修治、南雲仁一「自動車運転時における覚醒水準のフィードバック制御」『バイオフィードバック研究』11、pp. 28~33、1984年