

自動車運転者の適性基準判定指針の検討に関する研究*

— 運転適性に関する皮膚電気反応の研究 —

A proposal for judgment of motor driver's aptitude

— On GSR for index of driver's aptitude —

秋葉光俊	宮本芳文	岩佐哲夫
Mitsutoshi Akiba	Yoshifumi Miyamoto	Tetsuo Iwasa
岡本征四郎	金住順二	宮井義裕
Seishiro Okamoto	Junji Kanazumi	Yoshihiro Miyai

On GSR for Index of Driver's Aptitude

Human galvanic skin response (GSR) detected from the outer layer of the skin reflects the subject's level of alertness. The changes in GSR are caused by activities of sweat glands. The sweat glands are anatomically stimulated by fibers from the sympathetic nervous system. It is known that these fibers are mainly cholinergic rather than adrenergic. So these fibers can be physiologically considered to function like parasympathetic fibers. The parasympathetic impulses induce sweating. Sympathetic nervous enter the sympathetic chain from the spinal cord, and the postganglionic fibers from the sympathetic chain pass to the sweat glands to be controlled. Alertness causes cold sweating on the outer layer of the skin. In this case the sympathetic fibers are stimulated by nervous centers in the brain: promotor cortex, basal ganglia or hypothalamus. Stimulation of the autonomic system involving sympathetic system by these nervous centers occurs mostly during emotional states e. g. alertness.

In this study we intended to assess that the above mentioned phenomenon was applied to examine the level of mental equilibrium breaking in motor driving. And we expect to make sure that GSR measurement is one of the proper methods for detecting a motor driver's psychological states. Nine subjects (healthy male students) were participated in our experiments. In the experiments, we examined the transitional response in GSR under auditory stimulation. The stimulus given was a 95dB white noise.

The results suggest that GSR measurement will be able to reflect human mind especially alertness. Also, in these experiments, each subject's data obviously indicated the individual's character. It is believed that GSR will be able to be used as an index for judgment of motor driver's aptitude. Unfortunately several technical problems are remained: (1) detecting technique for a driver's GSR changes in a moving car, (2) difference between various age brackets, (3) system reliability.

*平成5年5月 原稿受理
大阪産業大学 工学部

1. 緒言

運転前、運転時の外的または内的刺激に対する運転者の動揺（驚愕、不安、恐怖、焦燥など）の状態は個体差および環境条件により異なる。個体差の本質は生得的であるが、経験的に個々の行動が中枢神経制御系にフィードバックされ記憶されたものがフィードフォワード要素として積算され個性を形成すると考えられる。本研究では、これら心理的变化の計測指標として皮膚電気反応（galvanic skin response, GSR）に着目した。心因性の生体現象変化は皮質連合系の作用によるので、計測技法としては閉眼状態での脳波周波数の検出が適当であるが、運転時は開眼であるので筋電位などノイズの混入を避けられない。また、他の自律生体現象、例えば血液循環系、呼吸系などを測定する場合には刺激から反応検出までのおくれ時間が大きい難点がある。これらの点を勘案し、開眼状態でも検出でき、電極装着が容易であり、1-2秒の潜時で反応が現れるGSRを研究対象とした。GSR変化の起因は主として交感神経系の線維に刺激された汗腺の活性変化であるとされている。汗は温熱性の汗と冷汗とに類別されている。温熱性発汗は体温調節を行うための自律制御出力と考えてよいが、心理的動揺による冷汗に関しては皮質連合系からの制御指令もその発生源となる。本研究では、刺激による心的反応がGSR変化として現れる神経制御系の回路構成について調査した。実験として95dBの白色ノイズを音刺激として衝撃的に与えたときのGSR変化を求め、GSRがパーソナリティに応じた個々の警戒心理を高感度に反映することを確認したので、その経過を報告する。

2. 皮膚電気活動と応答特性

生体の機能は無意識下の自律制御系の行動と意識指令による中枢制御系からのカスケード行動とに大別される。自律神経系は交感神経、副交感神経系の興奮、抑制によって制御行為を行う。自律神経系機能を調節する中枢は延髄、橋、中脳の網様体といわれているが、とくに視床下部は欲、情動を含む調節を司る。交感神経線維は脊髄前根から交感神経幹に、さらに脊髄線維に沿って下行し全身の皮膚汗腺、毛根立毛筋に至る¹⁾。温熱性汗腺活動は、体温調節のための視床下部の刺激が交感神経系を制御することによる。この場合にはAch (acetylcholine) の作用が発汗を促進する。一方、冷汗の場合は視床下部だけでなく前運動野、辺縁系の刺激も発汗助成効果を促進し、AchのほかにVIP (vasoactive intentioned polypeptide) が作用して周囲血管拡張を促進する²⁾。前運動野、辺縁系は皮質連合系内にあり警戒意識などの情動変化に関与している。

皮膚電気活動の測定は電位法と通電法とに分類され、電位法は生体の発生電位を測定するが、通電法では皮膚に装着した電極に外部から微電流を通じ電極間の電位差を測定する。本実験では通電法を採用する。GSRの導出については、運転時の測定のことも考慮して、測定中に電極装着部の皮膚動揺の少ない箇所を選定すべきで、手掌小指球に双極を並べて装着する方法が適当と考えられる。GSRは直流通電法測定の際の抵抗変化の総称で、皮膚抵抗反応 (skin resistance response, SRR) と皮膚抵抗水準 (skin resistance level, SRL) とが対象となる。例えば、運転時刺激が衝撃的に与えられた場合、ある潜時後の過渡反応としてSRRが現れ、反応回復時あるいは眠気などの長期的な心身状態変動によりSRLが現れる。本研究の意図するところは、持続性の水準変動よりも、被刺激直後の一過性の変動であるの

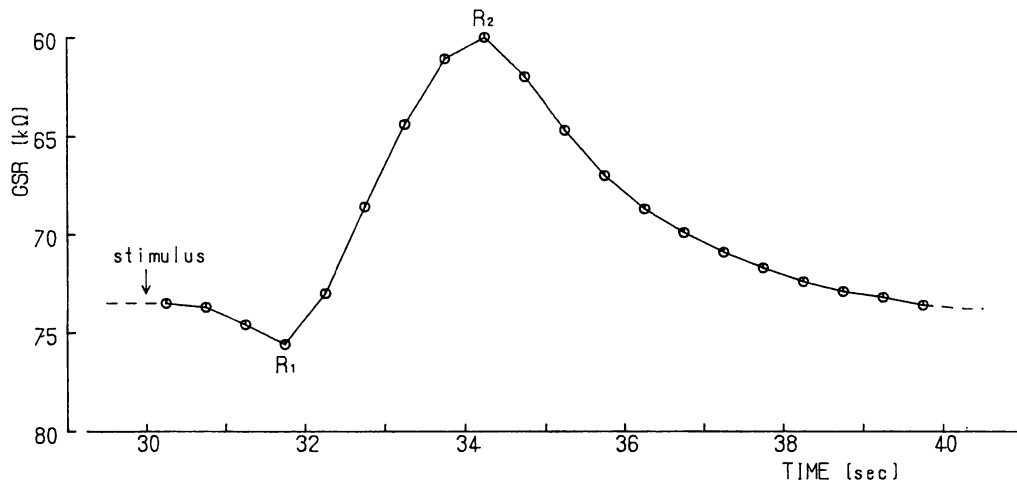


Fig. 1 Diagram of the time course of a skin resistance response.

でSRRの測定結果に重点をおく。刺激に対するSRR変化はFig. 1に示すような特性となる。図でR₁:反応出現時のSRR値、R₂:反応SRR振幅最大時のSRR値とする。測定結果の注目点としては、①刺激から反応出現までの潜時(刺激時からR₁に至る時間)、②反応頂点時間(R₁からR₂に至る時間)およびSRR最大振幅(R₁~R₂間のSRR値の変化)、③回復時定数(最大振幅の36.8%まで回復する時間)などが挙げられる。これらの値は被験者の心理要因を含むのでそれぞれのパーソナリティによる相異が予測される。最近では皮膚電気活動の指標として皮膚コンダクタンス反応(skin conductance response, SCR)が用いられている。すなわち、反応出現から時間tのSRR値をR_tとすると、tにおけるSCR振幅SCR_tは次のように求められる。

$$SCR_t = 1 - \left[\frac{1}{R_t} - \frac{1}{R_2} \right] \quad (1)$$

Fig. 1の例では、刺激時点のSRR値と反応出現時点のSRR値との間に変動が現れている。これは潜時期間にSRRが変化していることを例示したものである。この変化率の大きさについてもパーソナリティが影響する。

皮膚電気活動の測定に用いる電極としては一般にAg-AgClが標準である。電位法測定では電極面積は結果にほとんど影響しないが、通電法の場合、例えばSCR測定で0.8cm²以下では面積に比例してコンダクタンスが下がることが発表されている³⁾。本実験では電極直径16mmのものを採用している。

3. 実験方法

[被験者、実験装置] 健常男子学生5名を被験者とし、静寂な実験室(平均28dB)内の事務椅子に掛け安静を保ち、実測中は閉眼とする。電極(日本電気三栄(株)No. 1002)は右掌の親指球と小指球とに50mm間隔で装着。SRR実測値の変化をGSR Bridge Box(Unique Medical Co., GSR-201)、コンピュータ(日本電気(株)、PC9801XL)の組み合わせによって処理する。GSR-201の抵抗測定範囲は0~400KΩ、皮膚通電電流は定電流回路により約1μA、

出力は 5 V / 400K Ω と設定する。被験者への刺激として、音刺激装置（日本電気三栄(株)3G13）により 95dB の白色雑音を 1 m 前方、1 m の高さのスピーカから衝撃的に与える。

【実験内容】 被験者は安静を保ち、実験者は PC98 のディスプレイ画面に呈示された被験者の SRR 波形を監視する。SRR 波形が安定してから 30 秒後に刺激音を発射、刺激後 30 秒間の SRR 変化推移を調査する。なお、SRR 波形安定時から刺激後 30 秒までの SRR 変化推移を 100ms ごとの数値としてコンピュータに記憶させる。以上の手続きに従い、各被験者は 5 分間の休憩を挟み連続 7 回の測定を実施する。被験者は初回の刺激に対しては予備知識をもたない突然の刺激であるが、爾後は刺激内容を予知していることになる。

コンピュータに記憶させた各被験者の SRR 値推移を個々に検討し、次に刺激後の SRR 値変化について全被験者の平均値を各回ごとに算出し、反応の潜時、頂点時間、SRR 振幅、回復時間などについて検討する。また、各回ごとに被験者のパーソナリティが如何に現れるかについても注目する。

4. 実験結果と考察

初回時の実験における一被験者の刺激応答特性を Fig. 1 に示す。Fig. 1 には全被験者のほぼ平均的な特性と見られるものを選んだ。横軸は SRR が安定した時点からの経過時間（秒）、縦軸は SRR 実測値（K Ω ）を示す。安定時から 30 秒後に音刺激が与えられている（図中↓）。この図では刺激反応が現れるまでの潜時 1.8 秒を示し、反応直前には刺激前の SRR 値から 2 K Ω の抵抗増を現している。これは反応直前の SRL 変動が影響しているものと考えられる。全被験者の潜時値は 1.5～1.8 秒、平均 1.7 秒であった。被験者のうち 2 名は潜時中の抵抗変化が現れなかった。反応出現（R₁）時から SRR 振幅最大（R₂）時までの頂点時間は Fig. 1 では約 2.2 秒を示した。全被験者の頂点時間は 0.6～3.3 秒、平均 2 秒と大幅なばらつきを現した。皮膚抵抗変化は、Fig. 1 では R₁ = 76K Ω 、R₂ = 60K Ω 、SRR 振幅 = 16K Ω 、SCR 振幅に換算して約 3.5 μ S であった。全被験者の SCR 変化については後述（Fig. 2）するが、個体差による著しいばらつきを現した。次に回復時間に注目する。刺激反応の復原は、反応出現直前の値よりもむしろ刺激前の安静時の水準値への復原を検討する方が合理的と考えられる。Fig. 1 では頂点（R₂ の点）時から約 6 秒で回復し、回復時定数は 3.5 秒程度である。しかし、実験全般を通じて全被験者の復原状態については個体差、環境条件に応じて様々な現象を示し、統一的な知見は得られなかった。完全に刺激前の水準に回復したのは半数以下で、他は水準変化を生じている。水準変化の有無に拘らず頂点から安全するまでの時間は結果によるとほぼ 5～10 秒と考えられるが、より長時間を要する場合（約 1/4）、逆に抵抗値が漸減する場合（約 10%）などの現象も見受けられた。回復に関するこれらの不統一な現象は刺激による被験者の感覚意識変動の多様性を示唆する。

Fig. 2 には刺激に対する SCR 変化の全被験者平均推移（7 試行）を示した。図中の縦実線は全被験者中の SCR 値最高値と最低値の範囲、すなわち個体差の状況を示す。初回は SCR 平均値も個体差範囲も次回以後と比較して顕著に大きな値を現している。SCR 平均値は初回 6.2 μ S に対し次回以後は 2～2.5 μ S と減少している。個体差範囲は初回 12 μ S に対して次回以後は 3～5 μ S と減少している。この現象は不慮の突然刺激は強い心身反応を誘起することを示す。初回以外では刺激内容は既知であり同一刺激の繰返しである。同一刺激の繰

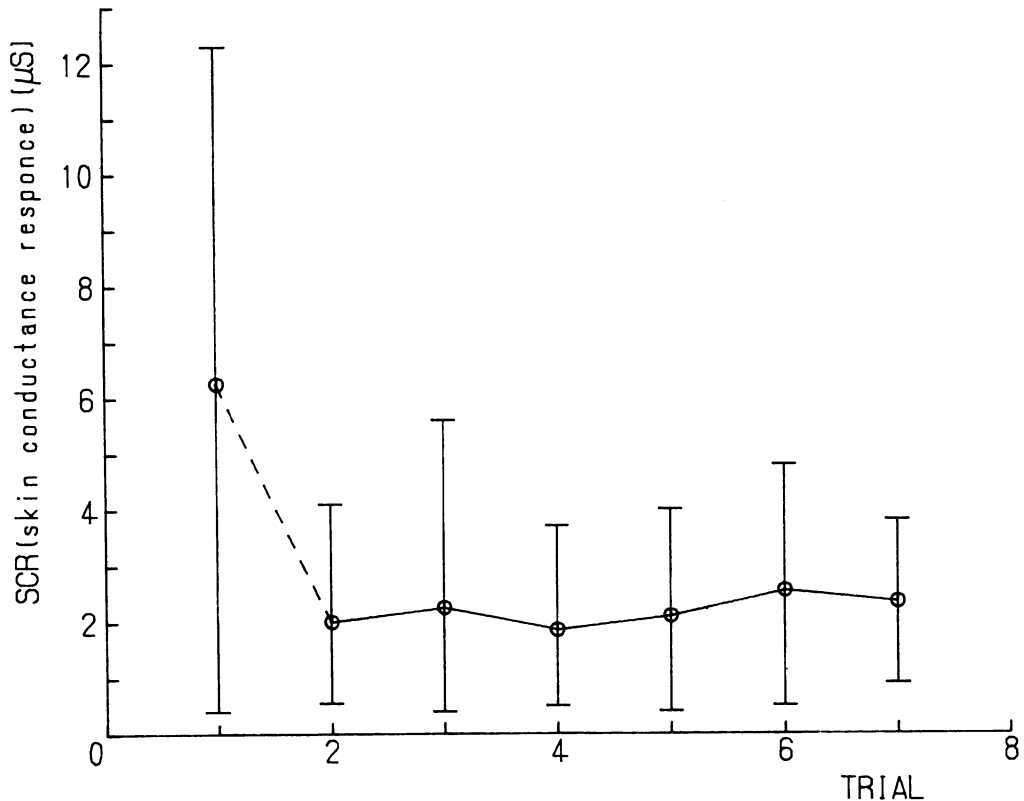


Fig. 2 Mean SCR changes under auditory stimulation.

返しに対する覚醒反応慣化現象については多くの研究がなされている。Sokolov (1960)⁴⁾の説によると、定位反応には皮質下の機序も関与していて、その機序は皮質—網様系の働きによる。この機序は以前の刺激により皮質に形成されたニューロンモデルと新刺激と比較し、両者が一致していることが判明すれば定位反射は起らなくなる。また、Sharpless and Jasper (1956)⁵⁾が睡眠中のネコに音刺激を与えたときの脳波慣化に関する著名な研究がある。筆者らは、以前、被験者の下腕皮膚面にゴム紐で痛み刺激を与えたときの反応慣化について、脳波 (EEG)、筋電位 (EMG)、心電図 (ECG)、心拍 (HR) を指標として実験した⁶⁾。これらの結果では、何れも繰返回数を増すにつれて反応の大きさが指数関数的に減少する学習特性をもつことを示している。しかし、本研究で得られた Fig. 2 の繰返し反応の結果では回を追って慣化が進むとは言えない。この原因について考察する。初回の反応では音刺激に対する感覚情報が皮質に至り、辺縁系、視床下部など情動部位の働きにより交感神経系を活性化させた。その時皮質は、この程度の音刺激情報は恐怖警戒などの情動変化に働かないものであることを完全に記憶した。次回の刺激入力するとき、Sokolov の説のように皮質内ニューロンモデルと比較されたが、旧情報との一致が即座に判明された。GSR は他の自律生体現象に比し恐怖警戒意識への関与がとくに強いので、2 回目の刺激については恐怖警戒不要の刺激であると判定し、以後応答出力を削減したと見られる。

次に反応の立上がり時間について考察する。前述のごとく全被験者の潜時は1.5~1.8秒、

頂点時間は0.6~3.3秒と短時間で応答の頂点に達している。反応復原は特殊の場合を除いて頂点時から最大10秒である。いま、この特性について考察するにあたって、別の被験者群8名による同一音刺激に対する α 波出現時間率(%Time α)、動血圧(AP)、心拍(HR)の反応を調査した実験 Fig. 3を示す。Fig. 3は全被験者の平均値を示すが、何れの応答もGSRに比べて緩慢である。とくに自律循環系のAP、HRは反応出現までの時間が10秒を要しその後の反応経過判定が難しい。これは計測技法にも問題があるが、循環系など皮膚電気反応以外の自律系が生理的に相互干渉し合う複雑性を示唆しているものと考えられる。

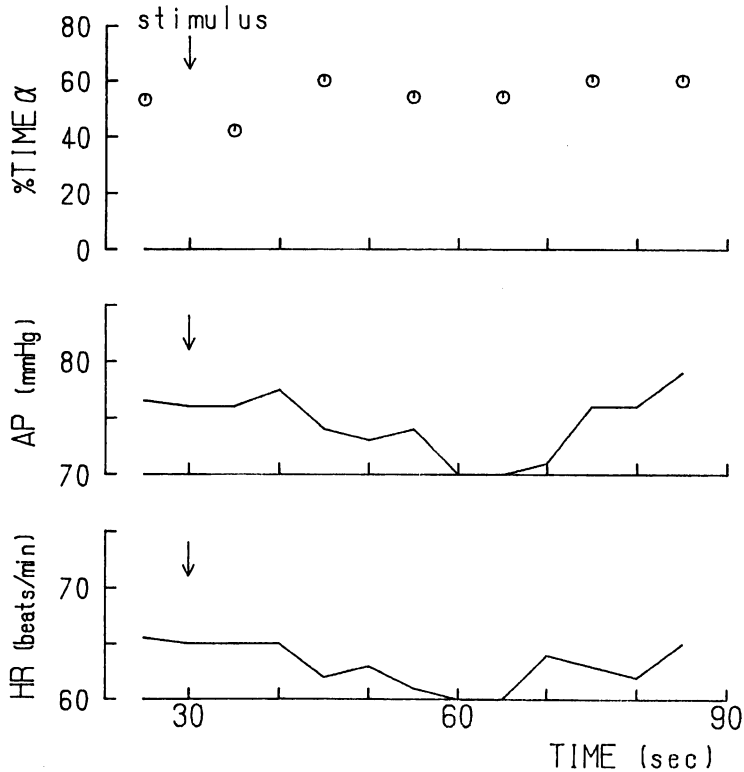


Fig. 3 Alpha activity changes and autonomic responses (in AP and HR) under auditory stimulation.

5. 結言

本研究から刺激に対する運転者の情動変動の検出指標としてGSRが適切であるとの確認と具体的な二三の知見を得た。実験結果からGSRによる検出の特徴として次の諸点が挙げられる。①GSR反応は、他の生体機能システムとの干渉交換の余裕なく直接的に出力されるので、情動変動の状況をはっきりと把握できる。従って応答時間も短く数秒単位である。これに反し、循環系、呼吸系など他の自律系では数十秒単位を要している。②GSR反応はパーソナリティにより大きな差異が現れる。同一被験者でも測定環境、心身状態に左右される。測定環境、心身状態は水準(SRL, SCL)変化を起すのでGSR反応検出には留意したい。③GSR反応は交感神経系の活性状態によるので、交感神経系線維を刺激する要因の有無、あ

るいは強弱に因って変動する。不慮の刺激には大きく反応するが、既知で警戒を要しない刺激に対する反応は微弱となる。

以上の観点から運転者の情動把握の指標として GSR は適当であると推測する。しかし、GSR 反応の結果によって、直ちに運転適性、不適性を判定することは不合理であり、被験者のその他諸々の条件、認識機能、反射機能、運転技能、運転経験、性別、年齢などと併せて判別することが望ましい。本研究は実験室で静的な実測を施行したが、さらに運転時など動的な条件での実測が今後の課題と考えられる。また、GSR については、電極装着位置を適宜選定することにより動的測定が可能であることは利点である。

参考文献

- 1) Guyton, C. : Function of the Human Body, W.B.Saunders Co. 1959, 360-362.
- 2) 日本神経学会編：自律神経機能検査、文光堂、1992、104.
- 3) 宮田洋、藤澤清、柿木昇治編：生理心理学、朝倉書店、1985、98-110.
- 4) Sharpless,S. and Jasper,H.H. : Ha-biuation of the arousal reaction, Brain,79,1956, 655-680.
- 5) 秋葉光俊、宮本芳文：生体制御系のくり返し擾乱に対する適応に関する研究、大阪産業大学論集、開学20周年号、1985、299-305.
- 6) Sokolov, E.N.: Neuronal models and the orienting reflex. In Brazier, M.A.B. (Ed.) CNS and Behavior III, Josiah Macy, Jr. Found, 1960, 187-276.