二、三の事例からみた緊急時の生理的反応

小木和孝*, 斎藤良夫*, 遠藤敏夫*, 橋本邦衛*

PHYSIOLOGICAL REACTIONS IN EMERGENCY AS OBSERVED IN A FEW CASES

Kazutaka KOGI†, Yoshio SAITO†, Toshio ENDO†
and Kunie HASHIMOTO†

Characteristic patterns of the variation of autonomic reactions such as heart rate and palmar skin resistance could be demonstrated in emergency cases encountered in drivers of traction vehicles.

In four emergency cases: (1) when a driver of an electric locomotive was forced to run over a suicide, (2) when a driver of the New Tokaido Line electric railcar applied the emergency brake taking a white sheet of cloth left on the tracks in a tunnel for a landslide, (3) when another driver of the Line stopped the train regarding a shock by a dog as a human accident, and (4) when an operator of the Centralized Traffic Control room of the New Tokaido Line received a telephone call telling him a human accident caused by a train, the heart rate showed nearly the same pattern of variation, increasing rapidly from the steady level of 60~80 beats/min to reach a peak level of 120~140 within 40~60 seconds,

then decreasing in 1~2 minutes to 80~90 beats/min level which continued for several tens of minutes. In each case, the palmar skin resistance showed a marked decrease together with frequent galvanic skin reflexes. The resistance level increased again gradually or sustained its lowered level for a longer period. On the other hand, in a case at which a driver of the New Tokaido Line discovered on the track a worker who was late to get away and still could get off unhurt, the heart rate increased only temporarily and no after-effect could be observed.

Those patterns of physiological functions may be induced as an emotional reaction to the emergency situation. The relation of those patterns to the mental strain of the driving or the vigilance task or to possible behavioral errors in the emergency was also discussed.

比較的定常な状態のもとにおける制御作業や運転作業にあつては、心拍数・皮膚電気反射・呼吸などにみる自律系反応は、大きな変動はしめさない。作業開始時に比較的大きな動揺をしめす場合でも、身体動作や姿勢の変化がある範囲を出ず、作業状況が定常であれば、これらの自律系反応の動揺はいちじるしくなっている¹⁾。ただ、作業状況に対応して、ある程度の動揺はみられ、一定地区の運転作業のように、作業状況の推移がある一定の順序をもつときには、自律系反応も継時的に一定の変動パターンをしめすことも知られている²⁾。

しかし、比較的定常な作業状況のもとでも、それに応じた神経緊張の維持や注意集中はおこなわれている。そ

の場合に、予期できなかった緊急事態が発生すると、著明な一過性の自律系反応がみとめられる。

列車の運転時は、各種の操作や信号換呼などによる動揺をみるが、運転中の平均心拍数は、安静時にくらべて10~20%増加の範囲を大きくでることはない。私たちが運転負担調査中に偶然遭遇した、いくつかの緊急事例では、これにくらべると反応がいちじるしく、その反応様式に一定のパターンがみとめられ、しかも、かなりの後影響をもつことが知られた。ここでは、そうした緊急事例の生理反応の様式について、まとめて報告することとした。

調査の方法

ここにとりあげた事例は、男子の動力車乗務員または列車集中制御室司令員の作業負担度および疲労調査中に偶然記録されたものであり、その調査の概要はすでに報告した^{1,3,4)}。いずれの場合も、3ないし6素子ペン書オ

*鉄道労働科学研究所労働生理研究室

昭和42年11月9日受付、普通掲載

(註) 本論文の要旨は、1966年11月16日の第11回産業疲労シンポジウムにおいて発表した。

†The Laboratory of Work Physiology, Institute for Railway Labour Science, Received for Publication, Nov. 9, 1967.

シログラフによって、作業中の心拍数、手掌皮膚電気抵抗値を呼吸曲線、眼球運動その他の現象とともに連続記録した。

心拍数は、胸部の皮膚電極から双極性に導出した心電図のR棘間隔を、ペンの振れの長さに変換して記録したカルデオタコグラムによって、15ないし30秒おきの瞬時値をよみとり、毎分当り拍数に換算した。

手掌皮膚抵抗値は、左の第4、第5指の末節の掌側に銀板電極をNaClをふくむペーストを介して貼付しておき、通電法によってみかけの皮膚抵抗値としてオシログラフ上に直記し、心拍数と同様に15ないし30秒おきの抵抗値レベルをよみとった。

そのほか、呼吸曲線、眼球運動図あるいは上肢筋電図、列車スピードなどをあわせて記録し、また附属マーカーによって、地点、制御器の操作、その他の作業行動を同時記録した。作業中、停車時などを利用して、フリッカー値の測定や連続反応時間の測定をおこなうことを常とした。

とりあげた緊急事例は、いずれも調査中に偶然にであったものであるが、被検者は、熟練した運転士ないし列車指令員であり、電極等を装着した予備調査を1～2日おこなったのちに調査に入るのを常としていたので、被検者としては被検状況に一応なれたと考えられる時期のものである。

調査事例

〔事例1〕 Fig.1は著者のうち橋本らがすでに1961年に報告したもので¹⁾、電気機関車運転士が自殺者をれき過した事例を再録したものである。図の各点は各30秒ごとの心拍数および手掌皮膚電気抵抗値をしめす。当日、

Fig. 1. Variations of heart rate and palmar skin resistance when a driver of an electric locomotive was forced to run over a suicide (at A). He began to drive again after 8 minutes' stop.

静岡へ急行列車を運転しての帰途、東京より154分ごろ、カーブにさしかかったとき、軌道上に白シャツの男がうずくまっているのを、約100 m手前に発見した。ただちに非常制動処置をとったが、まにあわず、れき過した。全制動操作の約1秒あとから、必拍数はそれまでの毎分60から、急速に増加しはじめ、10秒後に115、50秒後に124の最高値をしめた。皮膚抵抗値は、同時に急激に減少し、140 kΩ から 40 kΩ になった。事故者の救出には同乗者があたり、運転士は車上で事後措置をおこなって、約10分後に現地を発車したが、その後の必拍数レベルは事故前の運転中にくらべて明らかに高い。皮膚抵抗値も事故後再び漸次増加したが、事故前のレベルに達せず、数十分にわたり事故が自律系反応の上に後影響をもったことが知られる。

〔事例2〕 1966年2月、東海道新幹線の上り超特急「ひかり22号」運転士が、調査のための試験作業として新大阪から東京へ運転する途中に遭遇した例を、Fig.2にしめた。図は、15秒おきの必拍数レベルと手掌皮膚抵抗値をしめす。左端と右端の枠内は、それぞれ運転前、運転後の安静値をしめしている。

Fig. 2. Variations of heart rate, palmar skin resistance and critical flicker frequency when a driver of an electric railcar of the New Tokaido Line discovered on the track a worker (at A) who was late to get away and still could get off unhurt. sp: Speaking with the assistant driver.

新大阪からの運転136分めに、線路内の保線作業員の退避おくれをA点で発見し、警笛をならしたところ、作業員があやうく間にあって退避し得て、事故にいたらなかった。この発見前の運転区間では、途中で京都と名古屋に停車したのみで、最高時速210 kmの運転をつづけてきており、図のように、130分めごろも、心拍数80、

手掌皮膚抵抗値約 $50\text{ k}\Omega$ で、自律系反応の上に、とくに大きい動揺はみとめられなかった。作業員の退避おくれの発見と同時に精神電気反射にともなう皮膚抵抗値の減少がみられ、また、心拍数は約50秒のちまでに118に達し、それとほぼ対称的な時間経過でふたたび事故前のレベルにもどっていった。このあとでは、心拍数レベルが増加しているとはみとめられない。Sp とあるのは、同乗者との会話である。また、退避おくれにであってから約15分後に測定されたフリッカー値は、とくに変化はみられなかった。

〔事例 3〕 つぎの例は、同じく1966年2月に東海道新幹線の上り超特急電車「ひかり34号」を運転中の場合で、Fig. 3 にみるように、新大阪から163分の地点、

Fig. 3. Variations of heart rate, palmar skin resistance and critical flicker frequency of a driver of the New Tokaido Line who took a white sheet left on the tracks in a tunnel for a landslide and applied an emergency brake. t: telephone talk.

トンネル内を走行中のA点で、線路上に白いかたまりを発見し、急制動をかけて停車した。この場合、運転士は、白いかたまりが線路上にうずたかく、大きくかぶさっているのをみとめたので、土砂くずれと考え、事故にいたるおそれをいできて急制動をかけたとのことであった。しかし、「白いかたまり」による衝撃はなく、異常音のみがみとめられた。結局それは作業員がかたづけを忘れた白布であったのであるが、運転士は、停車後、東京駅にある中央制御室とくりかえし電話連絡(図のt)をおこなったのち、車外において点検して、それを知りえた。

この時の自律反応のおこり方は、きわめて特徴的であった。それまで心拍数約80、手掌皮膚抵抗値約 $20\text{ k}\Omega$ であったものが、異常を発見して急制動をおこなった直後から心拍数が増加しはじめ、45秒で140に達し、また、手掌皮膚抵抗値の上でも、 $12\text{ k}\Omega$ までの抵抗値低下をみた皮膚電気反射をおこした。心拍数はピーク値から、いったん降下したのちなお120であった。Fig. 3 で記録が中断している部分は、運転士が車外において、移動・点検しているあいだである。点検からもどってからのちの心拍数は、体動の影響もくわわって140にふたたび達しており、その後8分ていどは110のレベルにあった。車外の点検動作にともなう心拍数上昇のほか、停車事故による心理的な影響が長く後のこっていることは、心拍数レベルの復帰がいちじるしくおくれ、約30分のちの東京駅到着時にもなお95程度より以下にさがらなかったことからうかがわれる。新横浜駅通過ののちは、心拍数の動揺はもはやみとめられなかったにもかかわらず、心拍数レベルは事故前の約80よりもかなり高い95前後であった。手掌皮膚抵抗値も、東京駅到着まで、事故前の運転中のレベルに復帰しなかった。

また、事故発生の約16分後にはかったフリッカー値は、事故約5分前のフリッカー値にくらべて約1サイクル/秒上昇していたが、東京到着後の安静値はふたたび低下していた。

〔事例 4〕 Fig. 4 に、同じく東海道新幹線上り超特急電車「ひかり34号」が、1966年2月に、別の運転士によって力行中、急制動で停車した例をしめした。運転134分め、トンネル内をでた途端にA点でショックをうけ、原因不明のままただちに急制動にいたった。この例では、運転士は運転室内にとどまり、同乗者が車外点検にあたったので、身体運動による変動を除外しえたのであるが、Fig. 3 とほぼ同様の経過がみとめられたのは注目される。Aでショック音をうけて急停車したのち、原因が不明であったので、人身事故の疑いもあり、電話連絡を中央制御室と頻回におこなったのち、約8分おくらせて発車した。その後B点で、後続列車が、犬のれき断であったことを確認したむね、連絡をうけた。A点で急制動をかけたさいの心拍数は、それまでの68から急上昇して、30秒後に116、最高118となり、約2分かってふたたび約80にもどるといふ特徴的な経過をしめした。皮膚抵抗値は、 $150\text{ k}\Omega$ から $40\text{ k}\Omega$ に大きく低下し、事故以後は、それまでしめしていたような漸次的増加の傾向はみられなくなった。電話連絡などにもなっこうした自律系反応のレベルがもとに復しがたいのは当然である

Fig. 4. Variations of heart rate, palmar skin resistance and flicker fusion frequency when a driver of the New Tokaido Line train got a shock by a dog and stopped the train taking it for a human accident (A). At B he was told that it was a dog.

が、発車して定常運転にもどってのちも、心拍数は事故前の運転にくらべて約10高いレベルのまま推移し、皮膚抵抗値も40~60 kΩに長くとどまっていた。この経過は、Fig. 1 にみられた経過と非常によく似ている。

事故後約20分をへて測定されたフリッカー値は、事故のすぐ前の測定値とほぼ同様であった。

〔事例 5〕 Fig. 5 は、1966年9月に、東京駅にある東海道新幹線の列車集中制御室（CTC）の列車司令員の司令作業中にみとめられた緊急事態発生例である。図のA点で、被検者は、「385 km 地点で人をひいて急停車した」との電話通報を電車運転士からうけた。この場合は、被検者自身は事故に直接関係していないが、その緊急事態に対する措置を指令する立場にある。電話通報をうけたのみで心拍数は急上昇し、約50秒でピークの120程度に達し、いったん90内外のレベルに2分程度でもどった。しかしその後の回復には長時間を要し、事故後、数十分にわたって心拍数が事故前の作業中よりも10拍程度以上高いままであったことが知られる。皮膚抵抗値レベルは、A点で連絡をうけた直後に大きく減少し、その後漸次的に増加し、ほぼ10分で事故前のレベルにもどった。B点で指令を発し、C点で後続列車が退避おくれ作業員の負傷事故であったことを確認した連絡をうけて、

Fig. 5. Variations of heart rate, palmar skin resistance and critical flicker frequency of an operator of the Centralized Traffic Control room of the New Tokaido Line who received a telephone call telling him a human accident caused by a train (at A). At B he gave an order to the train driver and at C he got the report that it was an injury case.

皮膚抵抗値の低下がふたたびみられた。この例は、日勤作業について129分であったため、午前中の時刻変動の影響も考えられるが、事故の約20分後にはかったフリッカー値は、作業前値にくらべて約2サイクル/秒と大きく増加していた。

考 察

車輛運転などの制御作業による精神的負担を心拍数や、皮膚電気反射などの自律神経系機能の面からとらえようとする報告は、数多くみられるが、その場合の神経緊張は、一般に、制御結果の予測が多少とも可能な状況に対するものである。この報告でとりあげた緊急事態は、その発生前にあらかじめ予測できなかった事態が、とつぜん生じるという点で、これらとはことなる。

作業にともなう神経緊張に関しては、とくに車輛運転作業や監視作業、実験的制御作業などについて、自律系反応の連続記録を中心にしたポリグラムによって解析されている。身体的動作や姿勢変換などによる変動をのぞいて、神経性の負担として考えると、こうした作業については、たとえば、運転速度のはやいほど、あるいは、運転状況の複雑なほど、心拍数レベルがたかく、皮膚抵抗値もひくく、皮膚電気反射の頻度が大きくなるという事実が知られている⁵⁾。しかし、その場合も、作業が比較的定常にすすめられている場合は、神経緊張の度合い

に応じて差はみられるにしても、心拍数レベル、皮膚抵抗値、呼吸曲線などの変動は大きくない。作業が単調なものであれば、かえって心拍数の低下や皮膚抵抗値の漸次的増加がみられることがある^{6,7)}。

作業の推移につれて、一過性にとくべつの緊張、注意集中を要する状況のもとでは、自律系反応も高進することが、自動車運転における追いこし・カーブ・高速道路進入時などや^{8,9)}、離陸・着陸時の航空機操縦について、知られている¹⁰⁾。この場合は、状況の推移が予測できる場合であるが、すくなくとも地上運転では、運転者が熟練していて、被検状況にもなれていれば、心拍数が110～120をこえる事態は、比較的まれのものである。ただ航空機では、反応の度合いがこれにくらべて大きいことが報告されている。

さて、予測できなかった緊急事態が突発したさいの生理的反応は、作業性の緊張よりも強い一過性の反応をしめす。運転作業のように、事故に直結しうる突発的な事態に対する自律系反応、とくに心拍数の反応は、すでに橋本らによって報告されており、それらと本報告を検討してみると、つぎの3点が考察できよう。

第1は、緊急事態にさいしての心拍数・皮膚抵抗値など自律反応の上に、ある一定の反応パターンをみとめることができる点である。緊急事態が突然発生し、その発生前には比較的定常な制御がおこなわれている場合には、心拍数は、その事態に直面した直後から急上昇し、40～60秒以内にピークに達し、120～140あるいはそれ以上になり、そのピークレベルにはとどまらずに、1～2分のうちにあるレベルまで復帰する。この一過性の上昇と復帰のパターンは、本報告の5例にも共通しており、姿勢変動などによるものとはあきらかに異なった、情動性の変動パターンとみとめられる。

もしその緊急事態が、それほど深刻でないことがあきらかになる場合には、この一過性反応は、はっきりした後影響をおよぼさず、2分程度でもとの作業中の定常レベルにもどる。しかし、制御操作の大きな変更をとまない、事故発生によって対処すべき事態が重大と考えられる場合には、心拍数の一過性反応は、ピーク値に一度いたってすぐにあるレベルまで復帰する山をえがいたのち、ひきつづいてもとのレベルまでもどらず、緊急事態発生前より10～15拍高いレベルが、数十分以上つづく。この後影響は姿勢変化、制御操作、会話連絡による心拍数上昇の影響を除外しても、明らかにみとめられる。

心拍数のこの2様の反応パターンは、重大な緊急事態にさいする特徴的なものと考えられるが、大きな精神電

気反射とそれにつづく反射の頻発とに起因する皮膚抵抗値の低下をとまなう。また、フリッカー値のような、大脳皮質の活動レベルに対応する機能検査成績は、本報告の事例では事態発生後15～20分程度では、かわらないかむしろ上昇しているようであるが、その変化についての考察は、べつの機会にゆずることとしたい。

第2に、こうした緊急時に著明な反応がみられるとすると、そうした緊急事態発生時の可能な作業状況下では、自律系反応などがいちじるしい変動をしめしていなくとも、背景に神経緊張が存在していることをものがたっているとみられる。それは、たとえば、運転作業中は皮膚抵抗値の低下レベルが維持されるということからもうかがわれよう。そうした持続性の緊張が背景にあって、そのことが緊急時の反応のおこり方と関連していることは、十分考えられる。

第3の点は、緊急時に問題となる作業行動の混乱や錯誤が、このような自律系反応と関連しているのではない、という点である。緊急事態が発生した場合、当事者があわてたり、状況判断をあやまったりして、さらに事故をまねくことは狩野によってよく論じられている¹¹⁾。しかし、自律系反応のパターンと行動錯誤の可能性とのあいだの関連はあきらかでない点が多い。だが、運転や実験的精神作業など、作業性の精神緊張による心拍数上昇などと比較すると¹²⁾、緊急事態時の反応はよりいちじるしく、おそらく情動的な因子がより大きく関与しているとみられるから、緊急時の反応が行動錯誤にむすびつく可能性は考えられよう。すくなくとも、自律系反応、とくに心拍数の反応のパターンからみて、緊急事態発生から2～3分の直後までと、それ以後の行動とをわけて論ずる必要があるとみるべきであろう。

要 約

動力車運転士などが、列車運行に支障をきたしたり、人身事故をおこすような緊急事態にであったときの、心拍数・手掌皮膚抵抗値などの変動には、一定のパターンがみとめられた。電気機関車機関士が自殺者をれき過した場合、東海道新幹線電車運転士がトンネル内で、線路上の白布を土砂くずれとおもい非常停車した場合、犬の衝突ショックを人身事故と考えて非常停車した事例、および、東海道新幹線列車集中制御室司令員が人身事故の報告をうけた場合の4事例では、いずれも、心拍数が60～80から急上昇して40～60秒で120～140のピークに達し、そののち1～2分で80～90に復帰し、のち数十分そのレベルがつづくという一定のパターンがみとめられ

た。手掌皮膚抵抗値は、精神電気反射の頻発とともに大きく低下し、再びもとにもどるが、数十分間は復帰傾向をみない場合もあった。他方、東海道新幹線電車運転士が退避おくれの作業者を発見し、あやうく触車をまぬがれた一例では、心拍数は一過性に急上昇したが、後影響はみられなかった。

こうした生理的反応のパターンは、緊急事態にともなう情動性の反応と解され、そうした反応のおこり方と、背景にある作業性神経緊張や緊急事態後の行動錯誤との関連について考察した。

文 献

- 1) 橋本邦衛, 白井薫, 深野重次郎: 鉄道労働科学 16 ; 75—99, 1964
- 2) 橋本邦衛, ほか: 鉄道労働科学 20 ; 1~31, 1967
- 3) 橋本邦衛, 白井薫, 深野重次郎: 鉄道労働科学 14 ; 27—53, 1961
- 4) 橋本邦衛, ほか: 鉄道労働科学 19 ; 1~29, 1966
- 5) 橋本邦衛, 白井薫, 深野重次郎: 鉄道労働科学 15 ; 39—61, 1962
- 6) 橋本邦衛, ほか: 鉄道労働科学 16 ; 1~38, 1964
- 7) 橋本邦衛, 小木和孝: 交通科学研究資料 第7集 ; 91—93, 1966
- 8) 近藤武: 労働科学 37 ; 195—210, 1961
- 9) 末永一男, ほか: 久留米医学会雑誌 28 ; 1091—1095, 1965
- 10) 池上晴夫, 緒方昭二: 航空医学実験隊報告 5 ; 32—39, 1964
- 11) 狩野広之: 不注意物語 74—84, 労働科学研究所, 1959
- 12) 石橋富和: 大阪府立公衆衛生研究所研究報告, 労働衛生編 4 ; 28—32, 1967