

追従走行実験における心理的・生理的反応に基づく運転疲労の定量化に関する研究*

A Study of Quantification for Driver's Fatigue on Psychological and Physiological Response by Driving Experiment*

上田 誠**・近藤 光男***・松本 博次****・早川 晴雄*****・中田 隆現*****

By Makoto UEDA**・Akio KONDO***・Hirotsugu MATSUMOTO****・Haruo HAYAKAWA*****・Takami NAKATA*****

1. はじめに

一般に、自動車の運転を長い時間続けることは、目の疲れや肩こり、腰痛などの身体的疲労の他に、眠気や疲労感などの心理的反応の変化、あるいは周囲環境に対する不注意や交通状況に対する判断・運転操作の遅れなどの生理的反応の変化、さらに居眠り、操作粗雑といった運転パフォーマンスの変化をドライバーにもたらす。このうち、生理的反応の変化として現れる運転疲労は、自覚が困難なばかりか、症状の種類・強さや発現時期が、ドライバーの運転前の条件（サーカディアンリズム、健康状態、年齢、運転経験など）や運転中の条件（運転時間、天候、追従・渋滞・多車線等の道路交通環境による負荷など）によって異なる¹⁾。そして、この自覚し難い疲労症状を放置したまま運転を続けることは、交通流に沿った速度維持や車間距離の確保を困難にするなど交通事故誘発の危険性を増大させる。

近年、我が国では、運転支援システムの高度化を目指した予防安全技術に関する研究開発が、各方面で精力的に展開されており^{2) 3)}、その中で覚醒度の低下等を検知し、ドライバーに危険状態を警報する技術の開発が進められている。しかしながら、上記のような心理的・生理的反応の変化として発現する運転疲労を総合的に捉えて警報する技術の開発は、未だ緒についていない状況である。

一方、最近のストレス計測技術に関する研究⁴⁾によれば、ストレスの定量的、客観的評価には生理的反応に関する指標が有効とはされているが、計測時の利便性や評価時の個人差の問題が依然として残っており、特に、動的状況下において簡易に計測できる適切な指標が必要との指摘がある。また、計測環境による影響を考慮した客観的な評価方法や、指標の多様な特性を考慮して複数指標を同時に計測し、総合判断する方法の必要性も指摘されている。さらに、計測対象と計測方法との適合性、すなわち妥当性の問題を曖昧にしているとの指摘もある。これまでの運転疲労に関する研究^{5)・8)}についてみても、これらの指摘が該当するといっても過言ではない。

このような背景の下で、本研究は、一般交通による影響を受けない公道外において、追従走行という運転条件が与えられた場合のドライバーの運転状態の変化に着目し、走行実験で同期取得した心理的・生理的反応の変化を総合的に捉えることにより、運転疲労を定量的に把握するための実証的な分析を行い、今後の予防安全技術の進展に貢献することを目的とする。

2. 運転疲労の定量化に関する考え方

(1) 運転疲労の捉え方

ISO-6385における運転疲労の定義に基づくと、運転疲労は、“運転によりドライバーの心理的・生理的状态を乱すように作用する外的負担（運転負荷）により生起する内的反応（運転負担）の現れ”であるといえる⁹⁾。したがって、追従という運転負荷が与えられた場合に、ドライバーにもたらされる心理的・生理的反応の変化は運転負担に相当するといえるので、運転疲労はその定量化により捉えられる。

一方、ドライバーの運転状態を表す概念として、

*キーワード：交通安全、交通弱者対策

**正員、工修、徳島大学大学院エコシステム工学専攻
(〒770-8506 徳島市南常三島町2-1、TEL:088-656-7339、
E-mail:ueda@eco.tokushima-u.ac.jp)
復建調査設計(株)総合計画部高松計画課
(〒760-0020 高松市錦町1-4-40、TEL:087-826-1918、
E-mail:ueda@fukken.co.jp)

***正員、工博、徳島大学大学院エコシステム工学専攻

****正員、医博、徳島文理大学人間生活学部心理学科

*****学生員、徳島大学大学院エコシステム工学専攻

交通心理学分野で扱われる「運転行動」がある。一般に、運転行動は、“道路交通環境に対するドライバーの適応行動”と定義され、『認知』『判断』『操作』『結果のフィードバック』という絶え間ない心理的・生理的過程によって営まれる¹⁾。このように、運転行動が、認知・判断・操作といったドライバー固有の運転機能によって規定されていると考え、運転疲労として発現する心理的・生理的反応の変化は、これらの各運転機能の変化に反映されると考えられる。

(2) 運転疲労定量化の概念

図-1は、これら各運転機能を数値によって表すことのできる指標(以下、『運転行動指標』と呼ぶ)を用いることにより、運転疲労を定量化する方法を概念的に示したものである。

運転行動を規定する各運転機能のうち、認知機能は注視範囲や心理的負担の大きさで、判断機能は覚醒度で、操作機能は挙動反応で表されると考えると、これらを適切に計測できる心理的・生理的指標(例えば、眼球運動や心拍変動、主観的疲労尺度、反応時間、頭部運動など)を運転行動指標として用いれば、ドライバーの各運転機能に現れる運転負担を定量的に捉えることができる。

一方、ドライバーが運転疲労状態に陥ると、交通状況に応じた速度維持や車間距離の確保が困難になるなど他の車両との関係にも影響を及ぼすことが考えられ、そのような走行状態の変化の程度は、ドライバーの運転機能の状態、すなわち、ドライバーの運転行動指標値の変化の程度に影響されると考えられる。ここで、運転車両の走行状態を示す指標(例えば、走行速度、車間時間など)を総じて『走行状

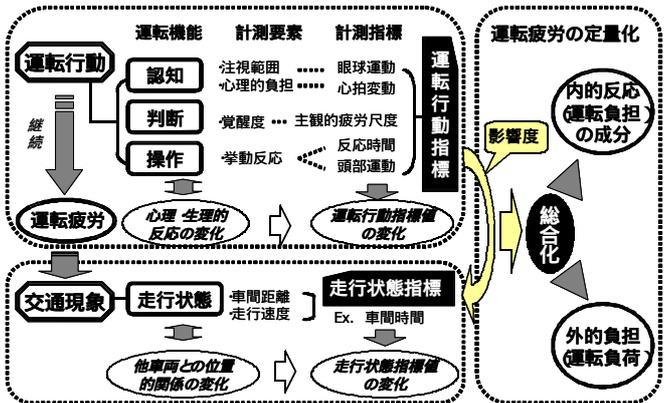


図-1 運転疲労定量化の概念図

態指標』と呼ぶ。

この運転行動指標の走行状態指標に対する相関の強さ(影響度)を求め、それに基づき運転行動指標を総合化して走行状態を表すモデル式を求めれば、追従という運転負荷が与えられた場合に、ドライバーにもたらされる運転負担の大きさ(成分)を定量的に求めることができると考えられる。

(3) 運転疲労度の求め方

次に、運転行動に伴う心理的・生理的反応の時系列的变化に着目すると、運転機能の状態は、能動的適応行動の出現により反応が大きく変化しやすい運転早期段階(変動期)、道路交通環境に適応した運転行動により反応が安定する段階(安定期)を経て、疲労発現により反応が不安定となる段階(疲労期)を迎えると想定できる。ここで、運転疲労の大きさは、安定期から疲労期に至る間の運転負担成分の変化量で把握できると考える。

図-2は、運転行動指標を総合化したモデル式で求めた運転負担成分から、運転疲労度を把握する方法を示したものである。まず、安定期以降の運転負担成分について累加曲線を求め、その変曲点を疲労発現期として特定する。そして、疲労期のある時刻での運転疲労は、その時刻における成分値と安定期の成分値平均との差異(変化量)で求められる。

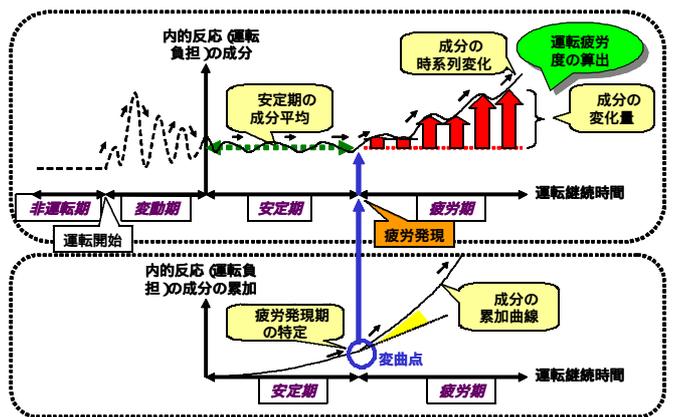


図-2 運転疲労度の算出イメージ

3. 走行実験による運転行動の計測

(1) 計測指標と計測装置

運転機能のうち、認知機能は眼球運動と心拍変動で計測できると考え、アイマークレコーダ(アイカメラ)と心電計を用いた。判断機能は覚醒度に依存

していると考え、眠気等を計測要素とする主観的疲労尺度調査票¹⁰⁾を用いた。操作機能は反応時間と頭部運動で計測することを前提に、各々の計測装置を製作した。『走行状態指標』については、車間距離が計測できるように車内にビデオカメラを設置した。これら計測装置と各計測データの同期取得装置をセットして実験車両に搭載した状況を図 - 3 に示す。



図 - 3 計測装置

(2) 走行実験の概要

徳島市内の自動車教習所コースを実験場所とし、非営業日の日曜日(2003年9月~11月)に実施した。サーカディアンリズムを考慮して午後の実験(14時~16時頃)とし、晴天時を原則とした。被験者は20歳代、40歳代、60歳代の男女計6名とし、いずれも免許取得後3年以上の運転健常者を選んだ。

被験者には、車間距離(概ね10~15m)を可能な限り一定に保つような追従走行を運転条件として与え、先行車両のドライバーには、コースでの規定速度を遵守するように指示した。各被験者とも、図 - 4 に示した走行ルート(1サイクル当たり約1.5km、所要時間約6分)を15サイクル走行させた。



図 - 4 走行ルートと解析対象区間(矢印)

4. 運転疲労の定量化に関する分析

(1) 適用指標の選定

運転疲労の定量化に当たっては、まず、走行状態指標を目的変数とし、それに対して影響度の大きい運転行動指標を説明変数として、追従走行という運転負荷をドライバーの運転負担成分の和(重み付き総和)として求めるモデル式を導く必要がある。なお、計測値の個人差の問題を解消するため、運転時の非運転時に対する指標値の比率を用いる「非運転時を考慮する」ケースについても検討を行った。

表 - 1 は、「非運転時を考慮する・しない」別、男女別に重回帰分析を行って、モデル式の推定を行った結果を示したものである。各指標値の算出は、図 - 4 に示した直線部1区間(スタート地点から約700mの地点、区間長は約70m)における計測データを対象とした。いずれのケースについても、計測値の変動が大きい運転初期(1~3)サイクルおよび計器の不調により計測できなかったサイクルのサンプルを一部除外している。

これによると、モデル式の変数に適用された指標は、「非運転時を考慮する・しない」別、男女別の各ケースを総じて見る限り、目的変数となる走行状態指標には、平均走行速度や平均車間時間が、説明変数となる運転行動指標には、眼球運動(注視点の移動距離や移動速度)、心拍変動(RRI平均)、頭部運動(頭部の移動距離や移動速度、加速度標準偏差)が選定され、主観的疲労尺度や反応時間に関

表 - 1 適用指標の選定結果(「非運転時を考慮する・しない」別、男女別の重回帰分析による)

		目的変数 (走行状態指標)	説明変数(運転行動指標)	定数項	重回帰係数
非運転時を考慮する	男性	ケース1 最大車間距離(m)	注視点総移動距離(deg) (10.518) [0.628]	頭部運動の標準偏差(15.285) [0.573]	13.314 0.771
	女性	ケース2 平均走行速度(m/s)	注視点水平方向平均移動速度(deg/s) (-2.414) [-0.497]	頭部前後方向移動速度(1/s) (2.201) [0.718]	6.991 0.772
非運転時を考慮しない	男性	ケース3 平均走行速度(m/s)	注視点水平方向移動距離(deg) (-0.036) [-0.530]	RRIの平均(-9.766) [-0.572]	18.058 0.709
	女性	ケース4 平均走行速度(m/s)	注視点総移動距離(deg) (-0.001) [-0.602]	頭部総移動距離(1/s) (-0.009) [-0.685]	10.756 0.804
	男性	ケース5 平均車間時間(s)	RRIの平均(10.799) [0.782]	頭部前後方向加速度の標準偏差(0.097) [0.534]	-5.975 0.807

注1) 表中の矢印はサイクル数との相関関係を示している。
 注2) 上段の()は重回帰係数、下段の[]は偏重回帰係数。
 注3) F値ならびにも値は表示していないが、いずれも有意確率は5%未満。
 注4) サンプル数: 男性N=30(20歳代男性が4~14、40歳代男性が4~10、60歳代男性が4~15サイクル) 女性N=36(20歳代女性、40歳代女性、60歳代女性はいずれも4~15サイクル)

する指標は影響度が弱いため選定されなかった。

(2) 運転疲労度の試算例

走行状態指標の中で、最も多く選ばれた「平均走行速度」を目的変数としたケース2～4のうち、モデル式の精度が最も高い「非運転時を考慮しない」場合の女性を対象としたケース4について、運転疲労度の把握を試みた。

まず、モデル式に運転行動指標値を当てはめて求めた安定期以降における各運転負担成分の累加曲線を被験者毎に作成したところ、図-6に示すように、40歳代女性における注視点総移動距離成分については、曲線の変曲点となる10サイクルを疲労発現期として比較的明確に特定できたが、それ以外の被験者毎の各運転負担成分に関しては変曲点の見極めが困難な結果となった。また、頭部総移動距離成分については3被験者とも変曲点を特定できなかった。

図-7は、ケース4の40歳代女性における注視点総移動距離成分において、変曲点となる10サイクル

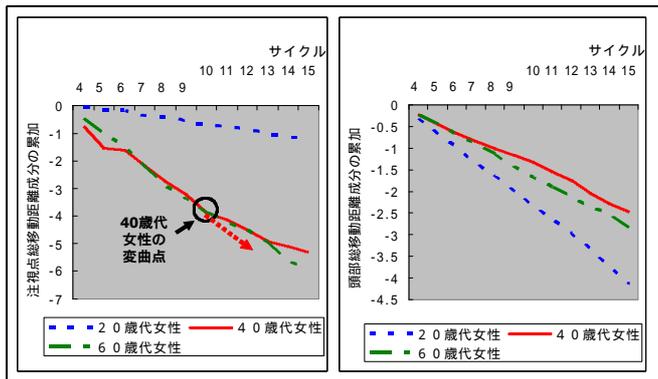


図-6 ケース4における女性被験者の注視点総移動距離成分および頭部総移動距離成分の累加曲線

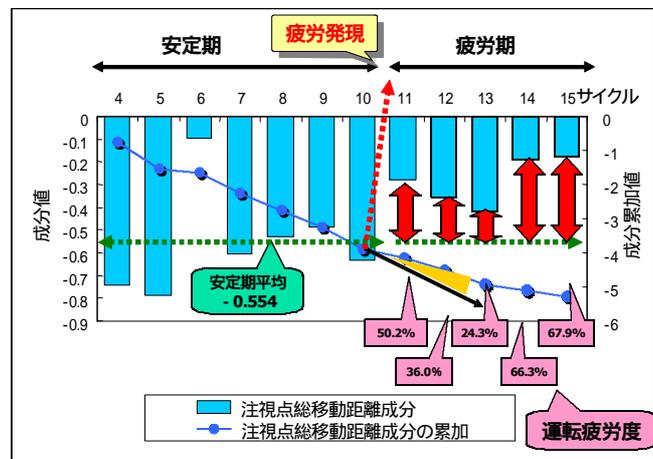


図-7 ケース4における40歳代女性被験者の注視点総移動距離成分から求めた運転疲労度

を疲労発現期として特定した時の運転疲労度を算出して図示したものである。

以上より、疲労発現期を特定するための運転負担成分の累加曲線の変曲点は、モデル式に適用された運転行動指標の種類や被験者によって必ずしも明確に現れないことが明らかとなった。このことから、変曲点の特定が困難な場合に、疲労発現期をいかに明確に見極めるかということが重要な問題として残った。

5. おわりに

本研究では、追従という運転負荷を与えた場合にドライバーに発現する運転疲労の定量化方法について定義付けや概念化を行い、公道外での走行実験データに基づいて運転疲労を定量化するための方法を検討し運転疲労度の把握を試みたが、疲労発現期の特定方法に課題を残した。また、試算例が少なかったことから、定量化方法の妥当性を論じるまでには至っていない。今後は、疲労発現期の特定方法の見直しを行うとともに、曲線部や右折箇所などにおける計測データの分析をさらに進めて試算例の充実を図るとともに、運転疲労定量化方法の妥当性と有効性を追求していく予定である。

参考文献

- 1) 村井健祐：応用心理学の現在，北樹出版，2001.
- 2) 経済産業省 HP：人間行動適合型生活環境創出システム技術（NEDO），<http://www.nedo.go.jp/iry/brochure/2002/HumanBehavior.pdf>.
- 3) 特許庁 HP：先進安全自動車（運転負荷軽減技術）に関する特許出願技術動向調査，http://www.jpo.go.jp/shiryou/pdf/gidou-houkoku/new_g_car.pdf.
- 4) (社)人間生活工学研究センター HP：ストレス計測技術の安全対策への適用可能性に関する調査研究報告書 - 要旨 - ，<http://www.hql.jp/gpd/jpn/www/stress/stressyoushi.pdf>.
- 5) 西田泰ほか：長時間運転による疲労の評価実験用運転シミュレータ・プログラムの開発，第23回交通工学研究発表会論文報告集，(社)交通工学研究会，pp.97-100，2003.
- 6) 大橋正樹ほか：高速道路走行における心理的負担の計測と安全性評価に関する研究，都市計画論文集，(社)日本都市計画学会，pp.541-546，2000.
- 7) 江部和俊ほか：ドライバの視聴覚認知に伴う負担度評価，豊田中央研究所 R & D レビュー，Vol.34，NO.3，pp.55-62，1999.
- 8) 田口敏行：自動車運転時の疲労評価，豊田中央研究所 R & D レビュー，Vol.33，NO.4，pp.25-31，1998.
- 9) 岩倉成志ほか：長距離トリップに伴う運転ストレスの測定 - AHS の便益計測を念頭に - ，土木計画学研究・論文集，No.18，pp.439-444，2001.
- 10) 芳賀繁：メンタルワークロードの理論と測定，日本出版サービス，2001.