

## 脳波計測による異なる運転環境における認知や車両操作で 生じるドライバの疲労の評価

### Evaluation of driver fatigue related to cognitions and maneuvers underlying driving in different environments

足立真隆†  
Masataka Adachi

稲垣 圭一郎†  
Keiichiro Inagaki

#### 1. はじめに

交通死亡事故の原因は、漫然運転、運転操作不適、安全不確認の順に多い。この交通死亡事故原因のトップとなっている漫然運転は、集中力・注意力が低下した状態での運転と定義されている。漫然運転につながる原因としては、運転に関係のないことを考えている、睡眠不足や疲労により心身機能が低下している、同乗者との会話に夢中になる、単調な道路を長時間運転しているなどが挙げられる。こうした中でも、本研究では車両運転における疲労に着目する。

運転時の疲労の原因は、睡眠不足や長時間運転などの身体的要因、走行環境の認知やそれに基づく操舵行動量などの認知・行動に由来するものに大別できる。我々の先行研究で、継時的な運転により生じた疲労に関するとしてされる脳波である  $\theta\sim\alpha$  波と NASA-TLX により求めたワークロードが運転環境に有意に依存するところが確認された[1]。このように、先行研究では異なる運転環境で疲労に関する脳波である  $\theta\sim\alpha$  波と NASA-TLX により求めたワークロードに差異を見出したが、その違いを生む要因については未確認であった。

異なる運転環境では、運転環境に出現する交通対象物への認知量といった認知的な負荷と、ハンドル、アクセル、ならびにブレーキなどの操作量といった身体・行動的な負荷に違いが多く存在する。そうした負荷の種類や量の違いが、前述の運転環境に依存した疲労の違いに関与する可能性が考えられる。そこで本研究では、脳波に表現される異なる運転環境における認知や車両操作とドライバの疲労の関係の評価するため、ドライビングシミュレータで異なる走行環境を用意し運転実験を実施した。さらに異なる環境の走行実験中における認知対象物と操舵行動量を解析し比較することで認知および身体・行動的な負荷と疲労の関係について検証した。

#### 2. 方法

##### 2.1 実験環境

本研究の実験環境を図 1 にまとめる。本研究では、実運転に近い運転環境の再現と運転環境や環境内の車両や歩行者の量を調整するためのドライビングシミュレーションソフト(City Car Driving)、ハンドルコントローラとアクセル・ブレーキペダル(Logitech G29 Driving Force Feedback Racing Wheel)、PC モニタ(LG ゲーミングモニタ 34GL750-B 34 インチ)、ステレオスピーカ(Logicool Z150 Stereo Speakers)、高さ調節が可能な椅子、脳波計測およびドライビングシミュレーションソフト制御用 PC で実験環境を構築した。脳波計測には Polymate Mini AP108 を用いた。

中部大学 Chubu University

本研究では車両の存在量が異なる 3 種の運転環境をドライビングシミュレータで再現した。走行状況は市街地と高速道路とした。市街地は、交通量の調整により、一般的に順調な運転環境と考えられる状況(交通量 20%、以後、順調環境とする)と渋滞状況(交通量 100%)の 2 種類を用意した。高速道路の運転環境は、交通量を 20%として右左折のないものとした。

##### 2.2 実験内容

本実験では、運転免許取得済みの年齢 19~23 歳の健康な成人男性 8 名がシミュレータ運転時の脳波計測に参加した。被験者は、視力が正常または矯正済み(免許記載の眼鏡またはコンタクトレンズ使用)であり、かつ正常な脳波パターンを呈示する者に限定した。実験に際し、本研究の目的や実験内容を十分に説明したうえで、被験者からインフォームドコンセントを得た。

実験では、実際の運転を想定して、前述の 3 種類の運転環境を運転させた。このとき被験者には、交通ルール、特に運行速度に関しては遵守するように教示した。実験では、総走行時間を 30 分とし、15 分経過した段階で 1 分の休憩を与えた。異なる運転環境に対する被験者の疲労度を公平に評価するため、1 日の実験で 1 つの運転環境を実験し、計 3 日かけて 3 種の走行条件を実験した。なお、それぞれの実験は、同時刻帯に実施した。

脳波計測する電極は、国際 10-20 法[2]に従って配置した。本研究では頭頂部 Cz、前頭部 AF3、AF4、側頭部 T7、T8、後頭部 O1、O2 を計測点とし、サンプリング周波数 500Hz で脳波を記録した。電極の配置に際して、事前に被験者の頭部の電極配置部位周辺をアルコールで拭くことで、油脂などの接触抵抗への影響を低減させた。各電極と被験者頭部は、導電性のジェルを注入し接触させた。

ドライビングシミュレータを用いて各運転環境を運転した直後に、運転で生じたワークロードを NASA-TLX で評価した。NASA-TLX は主観的なワークロード評価手法である[4]。NASA-TLX は、精神的欲求、身体的欲求、時間的圧迫感、作業達成度、努力、および不満の 6 項目について、1~100 のスコアで評価し、さらにワークロードをそれらの平均値として算出するものである。この 6 項目を用いた平均処理では、一対比較を用いた重み付けを用いる。一対比較による重みづけ係数の算出では、6 項目全てのペア(15 組)について、ペアとなった項目のうちワークロードへの関わりが大きいと思うほうを選択させる。全てのペアについて選択終了後、各項目が選択された回数を、その項目の評定値  $v_i$  に対する重み係数  $w_i$  とする。一対比較によって求めた重みを考慮して式(1)のように求めたワークロードは、WWL 得点と呼ばれ、WWL 得点が高いほど、作業負荷が高いことを表す。

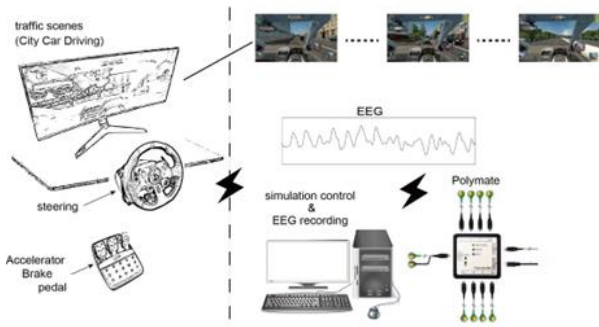


図 1 実験環境

$$WWL = \frac{\sum_{i=1}^6 (w_i \times v_i)}{\sum_{i=1}^6 w_i} \quad (1)$$

### 2.3 実験内容

計測した脳波データを、5-45Hz の通過帯域を持つバンドパスフィルタで処理し、商用電源ノイズの除去した上で、 $\theta$  から  $\gamma$  帯の周波数帯域を抽出した。抽出したデータから 1 秒間を切り出し、切り出しによるスペクトルの漏洩を低減させるためにハニング窓処理を行った。最後にフーリエ変換で振幅スペクトルを算出した。こうした処理を、ずらし幅 125 点(0.25 秒)で繰り返し行い、計測した全区間の振幅スペクトルを求めた。その後、実験終了直前の 2 分間と実験開始直後の 2 分間において、それぞれ求めた振幅スペクトルの加算平均を行った後、時間経過による振幅スペクトル応答の違いをそれらの差分として計算した。脳の後頭部に位置する O2 から計測した脳波を解析に使用した。本研究では、疲労を反映すると報告されている  $\theta$  波(4-7Hz)と  $\alpha$  波(8-13Hz)のスペクトル反応に着目し[4]、各運転環境運転時のスペクトル応答を評価した。

### 2.4 運転の認知・操作量の解析

これまでの研究からは、質や量的に複雑なタスクである方がより疲労を引き起こす可能性が示唆されている[5]。運転に当てはめると、認知や操作量が多いほど複雑なタスクであると考えられる。こうした観点から本研究では、3 種類の運転環境を運転中の認知量と操舵行動量を求めた。認知量は、信号、横断歩道、および標識を対象にし、操舵行動は、右左折、車線変更、前方車の影響によるブレーキを対象に求めた。

## 3. 結果

はじめに、NASA-TLX ワークロードの評価結果について述べる。図 2(a)は、NASA-TLX で算出した運転環境毎のワークロードの平均値である。順調環境と渋滞では、ほぼ同様の値となったが、高速道路ではそれらより低い値となった。3 種類の走行環境の NASA-TLX ワークロードの有意差を、t 検定によって評価した。順調環境と高速道路( $p<.05$ )および渋滞と高速道路( $p<.05$ )では、有意差が認められたが順調環境と渋滞では、有意差が認められなかった( $p=.32$ )。次に、脳波の評価結果について述べる。図 2(b)は、時間経過による  $\theta \sim \alpha$  波の変化である。各運転環境間の  $\theta \sim \alpha$  波の変化を t 検定で評価したところ、順調環境と渋滞( $p<.05$ )、順調環境と高速道路( $p<.01$ )では、 $\theta \sim \alpha$  波の変化に有意差が

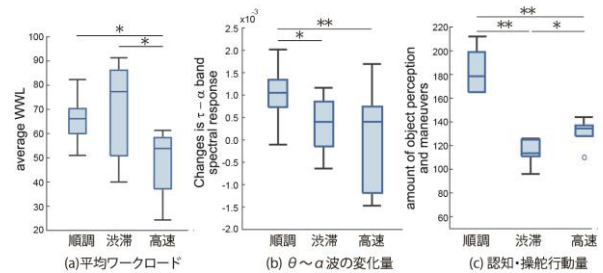


図 2 結果 図中の長方形は四分位数を表す。上下のひげは最大値と最小値を表す。ひげの長さは、データの存在範囲を表す。\*、および\*\*は有意差 ( $p<.05$ ) と ( $p<.01$ ) を表す。

認められたが、渋滞と高速道路( $p=.2$ )では有意差は認められなかった。

次に、認知・操舵行動量の評価結果について述べる。図 2(c)は、認知・操舵行動量をまとめたものである。各運転環境間で認知・操舵行動量を t 検定で評価したところ、順調環境と渋滞( $p<.01$ )、順調環境と高速道路( $p<.01$ )および渋滞と高速道路( $p<.05$ )の全ての組み合わせで有意差が認められた。

## 4. まとめ

本研究では、ドライビングシミュレータを用いて順調環境、渋滞、高速道路の 3 種類の運転環境を運転させ、脳波計測、平均ワークロード、認知・操舵行動量を比較することで、各運転環境でドライバーに生じる疲労との関係性を評価した。順調環境と高速道路および順調環境と渋滞の運転時において疲労に関係する脳波である  $\theta \sim \alpha$  波に差が認められた。図 2(b)の脳波の評価結果と図 2(c)認知・操舵行動量を比較すると、順調環境の認知・操舵行動量他の走行環境と比べて多く、さらに渋滞と高速道路のもの順調環境に比べて低いところで同水準であった。こうした認知・操舵行動量と、各環境の運転によるワークロードや疲労を反映するとされる脳波帯である  $\theta \sim \alpha$  波の変化傾向に関係性がみられた。これらから認知・操舵行動量が異なる運転環境において生じる疲労の要因となることが示唆された。

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 22K12138 の支援を受けて実施されたものである。

### 参考文献

- [1] M. Adachi, K. Inagaki "Evaluation on induction of driver fatigue in driving different traffic condition: An EEG study" IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Australia 2023
- [2] H. Jasper, "The ten twenty electrode system of the international federation." Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Vol.10, pp. 371-375, 1958.
- [3] 三宅晋司, "特集③人間工学のための計測手法第 3 部: 心理計測と解析 (6) メンタルワークロードの計測と解析-NASA-TLX 再考-", 人間工学, Vol.51, No.6, 2015
- [4] S.K.L. Lal, A. Craig, "Driver Fatigue: psychophysiological effects." The Fourth International Conference on Fatigue and Transportation, Australia 2000.
- [5] M.H. Alhaag et al., "Determining the fatigue associated with different task complexity during maintenance operations in males using electromyography features" International Journal of Industrial Ergonomics Vol. 88, 2022.