

# 生理指標を用いた準自動運転機能使用時の ドライバーの運転特性把握の試み

## An Analysis of Characteristics of Driving Behavior While Using Semi-Autonomous Driving System based on Physiological Index

小出 瑞<sup>1</sup>・西田 将之<sup>2</sup>・飯田 克弘<sup>3</sup>・澤田 英郎<sup>4</sup>・多田 昌裕<sup>5</sup>

<sup>1</sup>非会員 近畿大学大学院総合理工学研究科 (〒577-8502 大阪府東大阪市小若江3-4-1)

<sup>2</sup>非会員 近畿大学大学院総合理工学研究科 (〒577-8502 大阪府東大阪市小若江3-4-1)

<sup>3</sup>正会員 大阪大学大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

<sup>4</sup>正会員 西日本高速道路エンジニアリング関西株式会社 (〒567-0032 茨木市西駅前町5-4 STD茨木ビル6F)

<sup>5</sup>非会員 近畿大学理工学部 (〒577-8502 大阪府東大阪市小若江3-4-1)

E-mail:tada@info.kindai.ac.jp

本研究では、SAEレベル1の準自動運転技術であるACC(Adaptive Cruise Control)に着目し、ACC機能使用時と非使用時でドライバーの運転にどのような変化が生じるか、心電図データや視線データをもとに把握を試みた。ドライビングシミュレータを用いた実験の結果、ACC機能使用時にはドライバーの運転中のわき見が増加したほか、リラクセス度を示す生理指標(心電図データから算出したHF成分)が増加した。つまり、準自動運転機能がドライバーの運転負荷の軽減を示唆すると同時に、漫然運転を誘発するリスクを否定できないという結果が得られた。

**Key Words :** 生理指標, 準自動運転, Adaptive Cruise Control, ドライビングシミュレータ

### 1. はじめに

自動運転技術の急速な発展に伴い、わが国では速度制御や操舵制御をドライバーが担うのではなく車両側で代替する SAE レベル 1, 2 相当の準自動運転車両の普及が進みつつある。内閣府の自動走行システム研究開発計画では 2025 年を目処に SAE レベル 4 の自動運転車両の市場化を可能にすることが目標に掲げられており<sup>1)</sup>、社会実装に向けた自動運転車両の実証実験が各地で実施されている<sup>2)</sup>。2018 年に発生した交通事故原因に着目すると、ドライバーの安全運転義務違反、すなわちヒューマンエラーに起因する事故が全体の 75%を占め、最多となっている<sup>3)</sup>。自動運転車両の普及により、事故原因の大半を占めるヒューマンエラーによる交通事故減少に寄与することが期待されている。

自動運転技術とドライバーとの関係を取り扱った先行研究は多数存在し、車両技術の観点からは、自動運転システムが破綻するなどの緊急時にドライバーが運転タスクに戻ることが可能な状態か検知する手段の検討<sup>4)</sup>、<sup>5)</sup>や、自動運転時のドライバーの意識低下や眠気を検出する試み<sup>6)</sup>、<sup>7)</sup>などがなされてきた。また、和田ら<sup>7)</sup>は、実交通

環境下において SAE レベル 2 の準自動運転車両の走行実験を実施し、カメラベースのドライバモニタリングセンサで計測したドライバーの運転中の周辺確認行動と主観評価の結果から、準自動運転時にはドライバーの周辺監視の意識が低下する可能性があることを指摘している。

準自動運転機能により、車両速度制御や操舵制御から解放されたドライバーは、生まれた余裕を周辺監視に振り向けることが期待される。一方で、準自動運転機能がドライバーの周辺監視の意識低下といった漫然運転を誘発するなど、自動化による新たな事故リスクが生起するおそれも指摘されている<sup>7)</sup>。しかしながら、漫然運転の誘発をはじめとする、準自動運転機能がドライバーに与える影響の把握には、運転行動指標だけでなく生理指標や主観評価指標など様々な指標・尺度に基づく評価が必要であり、その方法論は確立されていない。

筆者らの研究グループでは、これまで自動運転車両の増加が交通流に及ぼす影響について、道路の効率的利用、新たな事故リスク生起の観点から検討を進めてきた。先行研究<sup>8)</sup>では SAE レベル 1 の定速走行・車間距離制御装置 (ACC : Adaptive Cruise Control) 搭載車両 (以下、

ACC 車両と略記) の混在比率が異なる交通流をドライビングシミュレータ (DS) 上に再現し、混在比率が増加することにより生じる交通状況の変化を評価した。その結果、ACC 車両の混在比率が高くなると運転者の反応遅れに伴う車間距離の開き、およびそれに伴う減速の伝播が緩和され、交通流率が高くなることが明らかとなった<sup>8)</sup>。

ここで、ACC 車両は上り勾配でも減速せず、下り勾配でも加速しないなど、従来の人が制御する車両とは挙動が異なる。この違いが周囲の車両のドライバーに違和感を与え、そこから心理的負荷が生じる可能性も考えられる。そこで本研究では、先行研究<sup>8)</sup>で構築した交通流の特定の車両を ACC 非搭載車両 (以下、MD 車両と略記) と ACC 車両で置き換え可能な実験環境を構築した。この車両を先行研究<sup>8)</sup>とは異なる実験参加者に走行してもらい、運転中の視線を計測するとともに、心拍の時間変動に着目した運転中のストレス指標計測を行った。また走行後にヒアリングを行い、運転中に注意していた対象物や、眠気などについての主観評価データを取得した。本研究では、これらのデータを解析することにより、MD 車両と ACC 車両が混在する近い将来の交通環境において、準自動運転機能がドライバーにどのような影響を及ぼすか検討することを目的とする。なお、実験で計測したデータのうちヒアリングデータの分析結果は文献<sup>9)</sup>にて既報であるため、本稿では視線データおよび生理指標データの解析結果について報告する。

## 2. ドライビングシミュレータ実験

### (1) 実験概要

実験は 2017 年 2 月の 10 日間に、一般募集した日常的に運転する 30～49 歳の男性 20 名を対象に実施した。参加者募集に際し、高速道路の利用頻度が極端に少ない者は排除した。また、心拍を計測することから、睡眠障害や心臓系疾患の既往歴がないものを条件とした。

### (2) 実験に用いた道路モデル

本研究では、先行研究<sup>8)</sup>で使用した全長 11.05km の道路モデル (図-1) を用いた。この道路モデルは、中央道上り線 (拡幅工事前)、山陽道下り線、高松道上り線の 3 区間を結合したものである。実験では、道路モデルのうち、ACC 車両の特性が生じやすいと考えられる上り勾配や下り勾配からのカーブなどを含む 3.0kp (走行開始地点)～10kp (走行終了地点) の区間を用いた。1 回の走行に要する時間はおよそ 4.5 分である。

本研究では、走行開始直後と終了直前の区間を除いた 4.0kp から 9.0kp の区間を解析対象とし、前半 (4.0kp～5.5kp)、中盤 (5.5kp～7.5kp)、後半 (7.5kp～9.0kp) の 3 区間に分けて分析を行う。

### (3) 交通流条件

本研究では先行研究<sup>8)</sup>で構築した交通流のうち、ACC

車両の混在比率が 0%のもの (すべて MD 車両の交通流) と 50%のものを実験に用いる。ここで ACC 車両は、

(1) 事前に設定しておいた目標速度よりも先行車両の速度が遅い場合は、先行車両の速度に合わせて一定の車間距離を維持して走行し、(2) 目標速度よりも先行車両の速度が速い場合は、目標速度を維持し先行車両との車間距離が離れて単独走行となる、という特性がある。

そこで本研究では、実験参加者が運転する車両が追従する先行車両 (以下、先行車両と略記) の条件として、

(1) 先行車両 (ACC 車両) が前方の車両群を追従している条件 (50%追従) と、(2) 先行車両 (ACC 車両) が前方の車両群よりも少し距離が離れて走行している条件 (50%クルージング) の 2 条件を設定した。今回の実験では、50%追従条件と 50%クルージング条件は、同一の交通流データに基づいて作成し、両者の違いは道路線形の良い区間 (概ね 5.5kp～8.0kp 付近) において先行車両が前方車両群に追従しているかどうかのみである。

以上の 2 条件に、混在比率 0%を加えた交通流 3 条件のそれぞれを、車両 2 条件 (MD 車両、ACC 車両) で走行する、合計 6 条件で実験を行った。なお、今回の実験では実験参加者数が 20 名と少数であったため、本稿では交通流別の解析は行わず、自車両が MD 車両の場合と ACC 車両の場合の 2 条件間で比較検討を行う。

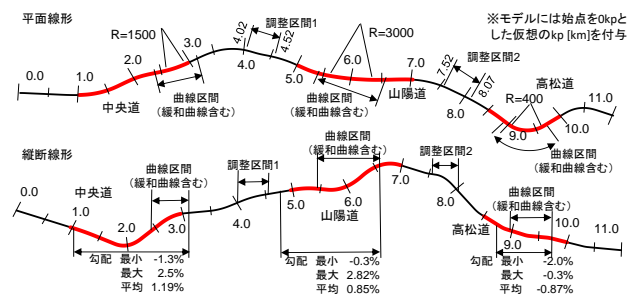


図-1 本研究で使用した道路モデル

### (4) 実験手順

実験参加者には、実験に先立ち、個人情報の取り扱いや実験上の注意事項を説明し、実験参加への同意書に署名・捺印頂いた。

実験では DS (図-2) の操作方法、走行コースおよび ACC 機能について説明した後、DS や ACC 機能に習熟してもらうための練習走行を行った。まず、実験参加者が DS の操作に慣れたと自己申告するまで MD 車両で走行してもらい、次に ACC 車両に乗り換え、ACC 機能・走行特性を理解したと自己申告するまで走行してもらった。その後、先行車両が見えなくなるような周囲の車両の流れに沿って追越車線を走行すること、そしてガードレールや周辺車両に接触した場合には走行をやり直すことを教示したうえで 2-(3) 節に示した 6 条件の実験走行をそれぞれ 1 度ずつ、計 6 走行を行った。走行する順序は実

験参加者ごとにランダムに入れ替えた。なお本実験は、実験参加者の覚醒が低下しやすい実験であると予見されたため、3走行した後に3時間の休憩を入れ、残り3走行をするというスケジュールで実験を行った。

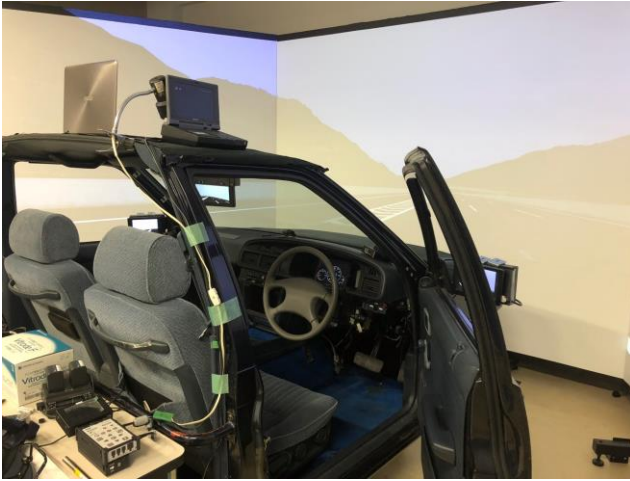


図-2 ドライビングシミュレータ

#### (5) 計測データ

実験参加者には、走行中の視線データを計測するためのアイカメラ（ナックイメージテクノロジー社、EMR-9）のほか、走行中の心拍変動を計測するため心電計（キッセイコムテック株式会社、NeXus-10 MARKII）を装着してもらった。心電図誘導方法は、図-3 に示すように3点誘導を用いた。



図-3 心電図計測のための電極設置位置

#### (6) 視線データの解析方法

SAE レベル 1, 2 の準自動運転車両では、通常の車両と同様、ドライバーは車両周辺を監視し、自車両に危険を及ぼす可能性のある対象（ハザード）に対して適切な注意を払うことが求められる。そこで本研究では、前方や左右ミラー、ルームミラーなど運転中に注意を払うべきと考えられる対象以外への注視をわき見と定義し、ACC 車両運転時と MD 車両運転時とでわき見回数の比較を行う。具体的には、図-4 に示す左風景と右風景への注視をわき見とみなす。また、本研究では文献<sup>10)</sup>の知見に基づき、視線が同一対象点に 0.165 秒以上停留したときに、注視が生起したと判定する。



図-4 わき見とみなす注視対象物（左右風景）

#### (7) 心電図データの解析方法

本研究では、実験参加者が運転中、どの程度リラックスしているかを測るため、心拍ゆらぎ<sup>11)</sup>に着目する。ヒトの心拍間隔は、座位安静時にも一定の値を示すことはなく、常に揺らいでいることが知られている<sup>11)</sup>。心拍間隔の時間変動データを周波数解析すると、その中の HF 成分（本研究では 0.15Hz~0.4Hz の成分を HF 成分とみなす）の大小は副交感神経系の活動の程度を評価する指標として有効であるとされている<sup>11)</sup>。すなわち、心拍間隔データに含まれる HF 成分が高いほど、ヒトはリラックスしている状態にあるとみなすことができる。

本研究では、計測した心電図データの波形のうち、最も大きな R 波のピーク間隔（R-R 間隔、図-5）を求めることで、心拍間隔を計算し、それを周波数解析して HF 成分の時間変動を求める。今回は、Kubios HRV Premium を用いて HF 成分の時間変動を算出した。

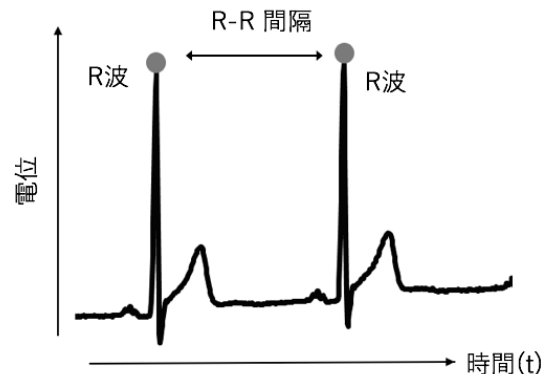


図-5 R-R 間隔

ここで、生理指標データは一般的に個人差が大きいいため、HF 成分が高まっているとみなす共通の閾値を事前に設定することは難しい。そのため本研究では、実験参加者ごとに HF 成分の時系列データから平均値  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  を算出し、時刻  $t$  における HF 成分の値が  $\mu + 2\sigma$  を超えた場合にリラックス状態にあるとみなす方針を採用。なお、2-(4)節で述べたように、今回の実験は前半 3 試行と後半 3 試行の間に 3 時間の休憩を入れているため、 $\mu$  と  $\sigma$  の値は前半と後半でそれぞれ別に算出した。

### 3. 実験結果

#### (1) アイカメラデータの解析結果

本研究では、実験参加者ごとに、車両条件が MD 車両の場合と ACC 車両の場合、各々3 試行分のアイカメラデータからわき見回数を数え、車両条件別にわき見回数の平均値を算出した (図-6)。

車両条件 (ACC 車両・MD 車両) ×地点 (4.0~5.5kp・5.5~7.5kp・7.5~9.0kp) での 2 要因分散分析を行った結果、車両条件の主効果は  $F(1, 19) = 2.641$  ( $n.s.$ ) であった。次に多重比較 (Bonferroni 法) を行ない、各条件間においてわき見回数に差があるか検討した。その結果、7.5~9.0kp 地点において、ACC 車両条件のわき見回数 (平均 5.0 回,  $SD = 4.95$ ) は MD 車両条件 (平均 3.1 回,  $SD = 2.47$ ) よりも有意に多い傾向であり ( $p < .1$ )、また MD 車両条件では 4.0~5.5kp 地点 (平均 2.2 回,  $SD = 2.94$ ) と 5.5~7.5kp 地点 (平均 4.1 回,  $SD = 3.59$ ) との間でわき見回数に有意な差があった ( $p < .05$ )。

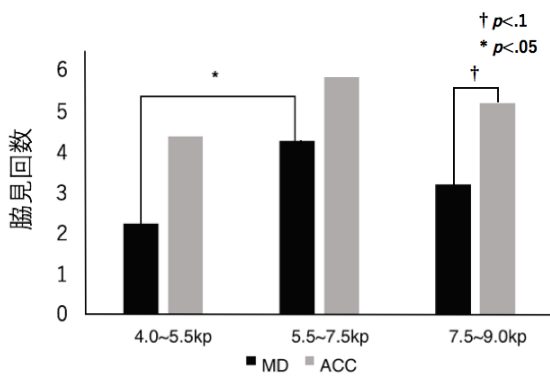


図-6 地点別、車両条件別のわき見回数平均

MD 車両条件では 4.0~5.5kp 地点と 5.5~7.5kp 地点でわき見回数が有意に増加したことから、MD 車両条件では道路線形が良い直線区間を走行するにしたがって、徐々にわき見が増加していることが示唆される。一方で、ACC 車両条件ではそのような傾向は認められなかった。また R=400 のカーブ手前の 7.5~9.0kp 区間において MD 車両条件よりもわき見が有意に多い傾向にあることに着目すると、前後および隣接車線の車両との位置関係、道路線形に注意しなければならない区間において、少なくとも先行車両への注意が軽減された結果、わき見が生じやすくなったのではないかと考察される。

#### (2) 心電図データの解析結果

心電図データ解析では、実験参加者ごとに HF 成分の時間変動を求め、HF 成分が高まっているとみなせる時間 (HF 成分ピーク時間) を地点ごとに算出した。その後、車両条件別に HF 成分ピーク時間の平均値を算出した (図-7)。

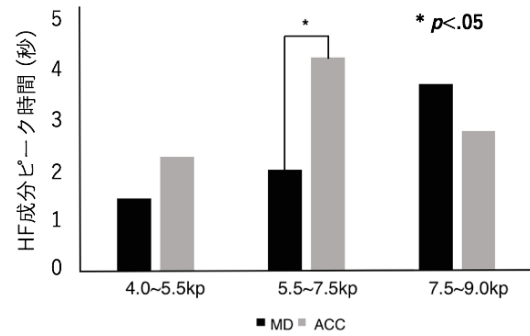


図-7 地点別、車両条件別の HF 成分ピーク時間平均

車両条件 (ACC 車両・MD 車両) ×地点 (4.0~5.5kp・5.5~7.5kp・7.5~9.0kp) での 2 要因分散分析を行った結果、車両条件の主効果は  $F(1, 19) = 1.651$  ( $n.s.$ ) であった。次に多重比較 (Bonferroni 法) を行ない、各条件間において HF 成分ピーク時間に差があるか検討した。その結果、5.5~7.5kp 地点において、ACC 車両条件の HF 成分ピーク時間 (平均 4.3 秒,  $SD = 4.24$ ) は MD 車両条件 (平均 2.0 秒,  $SD = 2.50$ ) よりも有意に長くなった ( $p < .05$ )。

この結果から、ACC 車両条件では道路線形が良く、直線が続く地点において、MD 車両条件よりもドライバーがリラックスする傾向にあることが示唆される。ドライバーがリラックス状態にあるということは、ACC 機能によりドライバーの心的負荷が軽減されるという正の効果を示唆する一方で、漫然運転に陥るおそれという負の効果も同時に示唆するものと考えられる。

### 4. まとめと考察

本研究では、ドライビングシミュレータ上に ACC 車両と通常車両が混在する交通流を再現し、運転行動指標 (わき見回数) や生理指標に基づき、準自動運転機能の使用がドライバーにどのような影響を与えるか検討を行った。その結果、ACC 非搭載の MD 車両条件では道路線形が良い直線区間を走行するにしたがって、徐々にわき見が増加していることが示唆された一方で、ACC 車両条件では周辺車両や道路線形に注意しなければならない区間においても、わき見が生じやすいたことが示唆される結果となった。

同様に、ドライバーのリラックス度合いを表す生理指標を ACC 車両条件と MD 車両条件で比較したところ、道路線形が良く、直線が続く地点において、ACC 車両条件では MD 車両条件よりもドライバーがリラックスする傾向にあることが示唆される結果となった。

一方で、わき見回数と HF 成分ピーク時間とでは、車両条件間で有意な差や傾向が認められた地点が異なっていたことから、この 2 つの指標が各々異なるドライバー

状態を指し示している可能性も否定できない。実際、今回の実験では眠気を訴えておらず、また HF 成分が高まっていないにもかかわらず、わき見回数が増加した実験参加者も存在した。そのため、今後は眠気や覚醒度の低下を伴わない注意散漫状態と、覚醒度の低下を伴う漫然運転状態を区別するなど、さらなる検討を進める必要があると考えている。

**謝辞：**本研究の一部はJSPS科研費JP 19K12074の助成を受けた。また、アイカメラデータ解析に多大なる協力を頂いた筑後智弘氏と、統計データ解析に際して助言を頂いた中西誠氏に深謝する。

### 参考文献

- 1) 内閣府：戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)，自動走行システム研究開発計画，2018
- 2) 国土交通省：道の駅等における自動運転サービス実証実験，<http://www.qsr.mlit.go.jp/r-michi/zidouunten/jikken.htm>
- 3) 警察庁：平成 30 年中の交通事故発生状況，2019.
- 4) 松本美紀，宇野伸宏，中村俊之，Jan Dirk Schmöcker：模擬走行実験による自動運転からドライバーへの権限移譲時の影響に関する研究，第 39 回交通工学研究発表会論文集，pp. 775-782，2019.
- 5) 本間亮平，若杉貴志，小高賢二：高度自動運転における権限移譲方法の基礎的検討，自動車技術会論文集，Vol. 47，No. 2，pp. 537-542，2016.
- 6) 佐藤健治，吉田傑，石田肇，平田豊，惠本序珠亜，大前学，安部原也，内田信行，実車走行環境下における自動運転時のドライバ状態（覚醒度）検知に関する研究，JARI Research Journal，JRJ20181202，2018.
- 7) 和田脩平，萩原亨，浜岡秀勝，二宮芳樹，多田昌裕，大廣智則，高速道路における準自動運転車利用時の高齢および一般ドライバの周辺認知に関する研究，自動車技術会 2018 年春季学術講演会講演予稿集，2018.
- 8) 飯田克弘，和田崎泰明，多田昌裕，筑後智弘，安時亨，澤田英郎，紀ノ定保礼，ACC 車両の混在比率が異なる交通流の安全性・円滑性評価，交通工学論文集（特集号 A），Vol. 4，No. 1，pp. A\_238-A\_245，2018.
- 9) 多田昌裕，飯田克弘，紀ノ定保礼，筑後智弘，西田将之，安時亨，澤田英郎：準自動運転車両の混在比率が異なる交通流におけるドライバーの注意傾向把握の試み，計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2017 講演論文集，pp. 170-173，2017
- 10) 福田亮子，佐久間美能留，中村悦夫，福田忠彦：注視点の定義に関する実験的検討，人間工学，Vol. 32，No. 4，pp. 197-204，1996.
- 11) 牧川方昭，南部雅幸，塩澤成弘，岡田志麻，吉田正樹：ヒト心身状態の計測技術，コロナ社，2010.