

身体情報に着目した DMT(Driver Monitoring Tool)の試作 Development of Driver Monitoring Tool: Focused on Driver's Body Information

沢田石 真史* 佐藤 和人* 伊藤 桃代** 間所 洋和* 門脇 さくら***
Masafumi Sawataishi Kazuhito Sato Momoyo Ito Hirokazu Madokoro Sakura Kadowaki

1. まえがき

日本国内の交通事故による死傷者数は減少傾向にあるが、平成25年のデータでは、死者数は4373人、負傷者数は78万1500人となっており、依然として深刻な状況が続いていると言える⁽¹⁾。事故の発生要因としては、脇見運転や安全不確認等のヒューマンエラー(人的事故要因)が大半を占めている。さらに、現在では様々な交通事故の予防安全システムが検討・実用化されているが、それらは車の外部情報を収集・解析するものが多く、個々のドライバの運転特性の違いに対応できていない問題点がある。一方、ドライバが急ブレーキや急ハンドル等の回避操作を取った際の映像や加速度、車速等のデータは、ヒヤリハットデータとして収集され、予防安全のために活用されている。さらに、ヒヤリハット遭遇時のドライバの心身状態として、「焦り・イライラ」と「行動力低下(注意散漫)」が注目されている。

本研究の目的は、ドライバの状態に着目した危険運転予測である。具体的には、注意散漫状態を検出した際に、それをドライバに通知するシステムの実現を目指す。その前段階として、本論文では、注意散漫状態を模擬した走行実験を行う。計測データとしては、ドライバへの負担が少なく、非拘束的な計測手段で取得可能な顔向き・視線情報に注目する。ドライバがヒヤリハットイベントに遭遇した際の運転行動について、運転集中状態と注意散漫状態の違いを、ドライバの運転特性や負担感受性の観点から考察する。さらに、実験で取得したデータを同期・可視化するためのツールを試作し、ツールを使用した解析結果の有効性を示す。

2. 周辺研究

法令違反別の死亡事故件数を見ると、最も多いのは漫然運転である⁽¹⁾。漫然運転は、ドライバの覚醒程度により「疲労状態」と「注意散漫状態」に分類される。疲労状態の推定技術としては、車載カメラで捉えた顔向きや瞼の状態から注意力や覚醒度を検知する手法⁽²⁾⁽³⁾、車両挙動からドライバの覚醒度低下を検知する手法⁽⁴⁾が実用化されつつある。最近では、脇見運転や注意散漫状態の予兆検出に向けて視線の動きを検知・利用する研究開発も進められている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。また、運転時の表情変化を扱った研究事例としては、ドライバの疲労計測の試みの中で、疲労度と第三者による顔表情評定値との関係性を扱った研究⁽⁷⁾⁽⁸⁾が報告されている。注意散漫状態はドライバの内部状態に起因するため外部からの観測が困難で、その推定方法は未だに確立されていない。注意散漫状態の検出手法は数多く提案されており、主に「主観評価」「生理情報」「操作情報」「身体

情報」の4種類を計測する手法がある⁽⁹⁾。主観評価と生理情報は、ドライバの負担を考慮すると実際の運転状況への適用は現実的ではない。また、ハンドルやブレーキ操作などの操作情報は、注意散漫状態を検出した後にドライバに通知しても、危険回避に間に合わない可能性がある。したがって、本研究ではドライバへの負担が少ない身体情報の指標を採用し、非拘束的な計測手段で取得可能な顔向き・視線の情報に注目する。本研究で扱う注意散漫状態は、注意資源が分散している「考え事状態」「ぼんやり状態」、時間的制約下の運転タスクによる「焦り・イライラ状態」に分類される。考え事状態については安部ら⁽¹⁰⁾が、ぼんやり状態については本間ら⁽¹¹⁾が、それぞれの状態における実験的検証を進めており、周囲状況の変化の見落としや発見遅れが発生しやすい特徴的な場面の存在を確認している。

3. 実験方法

3.1 実験環境

本研究では、被験者を擬似的に注意散漫状態にした上で、ヒヤリハットに遭遇させる走行実験を行う。しかし、被験者の安全や、再現性などの点を考慮すると、実際の道路環境で実験を行うのは適切ではない。そこで、走行実験を行うための機器として、ドライビングシミュレータ(Driving Simulator: DS)を使用する。図1に、実験環境を示す。DSは、3台の液晶モニタを有しており、それぞれ車体前方・右方・左方の映像が出力される。操作機器としてはハンドル・アクセル・ブレーキ・方向指示器を有しており、AT車とほぼ同等の運転操作を行うことが可能である。また、中央の液晶モニタと左右の液晶モニタの間にそれぞれ小型の三脚とカメラを設置した。この2台のカメラは頭部・視線追跡装置(faceLAB)と接続されている。2台のカメラの間には赤外線ポッドを設置し、カメラと合わせてfaceLABの頭部・視線追跡に使用する。さらに、中央の液晶モニタの上部にドライバの頭部を撮影するためのカメラを設置する。



Fig.1 Simulation Systems.

* 秋田県立大学, Akita Prefectural University

** 徳島大学, Tokushima University

*** SmartDesign 株式会社, Smart Design Corp.

3.2 走行コース・走行シナリオ

走行コースは、共同研究を行っている徳島大学常三島キャンパス周辺を模擬したものを作成した。走行コースを図 2 に示す。走行コースは 5 ヶ所の無信号交差点で構成されており、通過する順番に交差点 1, 2, 3, 4, 5 と定義する。これらの交差点を全て右折することで周回可能になっている。1 回の走行シナリオでは、走行コースを 3 周する。2 周目の交差点 1 と 2 では、ヒヤリハットが発生するよう設定した。図 3, 4 に、各交差点におけるヒヤリハットの様子を示す。交差点 1 では、自転車が自車の前方右側から出現し、左側へと横断する。交差点 2 では、自転車が自車の前方左側から出現し、自車の進路を塞ぐように右側へと横断する。これらのヒヤリハットは対象の交差点から一定の範囲内に自車が進入すると発生し、自転車は必ず設定されたルートを行く。自転車は回避行動を取らないため、自転車出現中に自転車の進路上に自車があると、接触する可能性が高い。自転車と接触した場合、図 5 に示すように、画面上の表示によって被験者に衝突したことを伝える。また、ヒヤリハットとなる自転車の飛び出し以外にも、対向車などの交通流を違和感の無いよう設定した。

3.3 実験手順

まず、被験者の運転に対する考え方や、どのような運転負担を強く感じるかを調べるために、運転スタイルチェックシートと運転負担感受性チェックシート⁽¹²⁾への記入を行う。次に、生体情報として心拍計を被験者に装着し、1 分間、平常時の心拍数を取得する。さらに、被験者の視線と顔向きを計測するために、faceLAB のカメラ校正を行う。その後、前述した走行シナリオに沿った走行実験を行う。走行実験終了後にヒアリングを行い、各交差点における驚きの程度の主観評価を記録する。また、天候や時間帯による視認性の影響を考慮するため、走行実験は、(a)晴れ昼、(b)雨昼、(c)晴れ夜、(d)雨夜の順に、走行環境を変えて計 4 回行う。被験者は男子学生 10 名(C, D, E, H, I, J, K, L, M, N)、女子学生 2 名(F, G)の計 12 名で、事前に実験内容についての説明を十分に行い、実験への参加の同意を得た。また、実験内容は秋田県立大学研究倫理審査委員会の承認を得ている。

3.4 注意散漫状態を模擬した走行実験

3.3 で説明した運転集中状態を模擬した走行実験に加えて、被験者を擬似的に注意散漫状態にした上での走行実験を行う。基本的な実験内容は 3.3 と同様であるが、注意散漫状態を模擬する手法として、暗算タスクを用いる。暗算タスクは 1 桁同士の足し算で、3 秒おきに 1 問、DS に備えられているスピーカーから音声により出題される。被験者は問題に口頭で回答しながら運転を行う。被験者にはヘッドセットを装着し、回答結果を音声により記録した。また、暗算タスクの音声は、実験が終了するまで出題され続け、問題に対する回答の正誤は、被験者には通知しないものとした。注意散漫状態を模擬した走行実験は、運転集中状態を模擬した走行実験の終了後、翌日以降に行った。

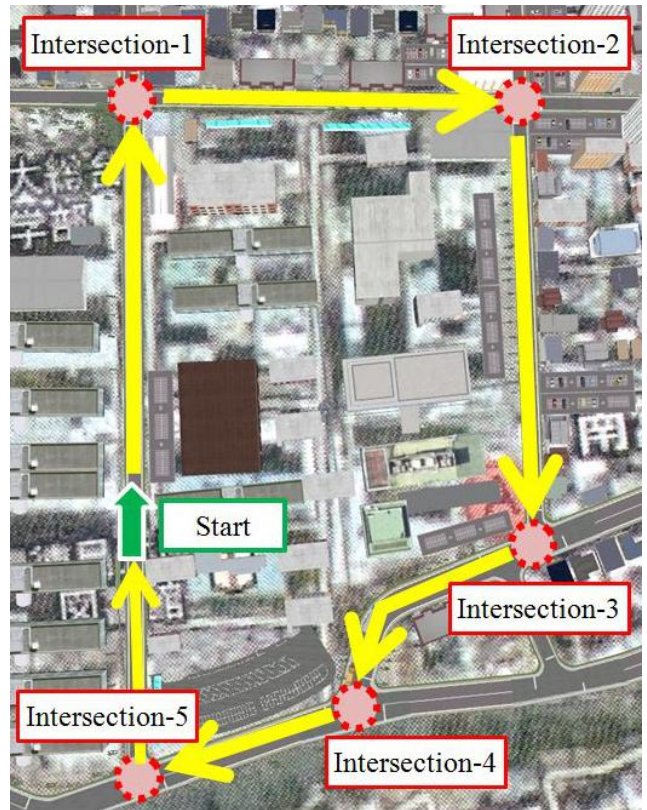


Fig.2 Simulation course.



Fig.3 Near-miss event at intersection-1.



Fig.4 Near-miss event at intersection-2.



Fig.5 Collision with bicycle.

4. 解析ツールの試作

実験で取得したデータは種類が多岐に渡り、複数種類のデータを同期して表示・解析を行うことが困難であった。そこで、この問題を解決するため、複数種類のデータを同期して表示することができるツール（DMT：Driver Monitoring Tool）を試作した。開発言語としては MATLAB を使用した。

図 6 に、ツールを使用して実験データを表示した画面を示す。シーン、顔向き・視線、頭部姿勢、心拍数といったデータを同期して表示している。さらに、シークバーを動かすことで、表示位置を切り替えることができるほか、自動再生機能を用いることで、動画としてデータを見ることができる。以下に、ツールの主要な機能を示す。

(1) シーン画像上への顔向き・視線のプロット

図 7 に示すように、シーン画像上に顔向きと視線をそれぞれプロットする。シーン画像は 15fps、顔向き・視線は 60fps で取得しているため、1 枚のシーン画像に 4 点（顔向き・視線合わせて 8 点）がプロットされる。なお、DS の画面の領域に対して、実験でシーン画像として取得している領域は一部のみであるため、ツールでは、DS の画面における画像を取得していない領域を黒く表示している。

(2) 表示範囲の選択

「1 周目全体」「2 周目交差点 2」などの区間の情報を予め登録しておき、ツール上で区間名を選択することで、その区間のデータのみを表示する。これにより、交差点などに注目した解析を行いやすくなる。

(3) 3 画面表示

図 8 に示すように、シーン画像上への顔向き・視線のプロットを、DS の 3 画面分の領域まで拡大して表示する。これにより、中央画面のみならず、被験者が右画面や左画面を見ている場合も把握することができる。

(4) 表示するグラフの変更

通常、画面下部には心拍数のグラフを表示しているが、この部分に表示するグラフを、速度、ハンドルの回転、顔向きまたは視線の時系列変化に変更することができる。図 9 に、顔向きの時系列変化グラフの一例を示す。

(5) 散布図やヒートマップの作成

現在表示している区間における、視線の散布図やヒートマップを作成することができる。図 10 に視線のヒートマップの一例を示す。散布図やヒートマップのサイズは、DS 中央画面のサイズと対応している。

(6) 手動での同期

ツールを使用して実験データを表示しても、実験データの取得時間に含まれる 1 秒以下の誤差の影響などにより、正確に同期を取れない場合がある。そのような場合、各データを見比べながら、任意の値のフレーム数だけデータをずらすことで、手動で同期を取ることができる。



Fig.6 Driver Monitoring Tool.



Fig.7 Plotting on scene image.



Fig.8 Showing triple scene image.

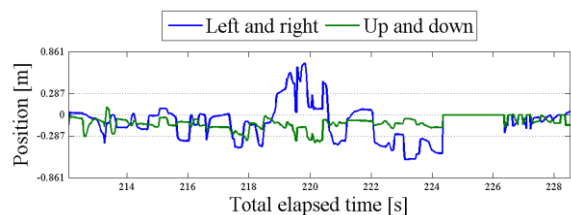


Fig.9 Time-series changes of eye-gaze movements.

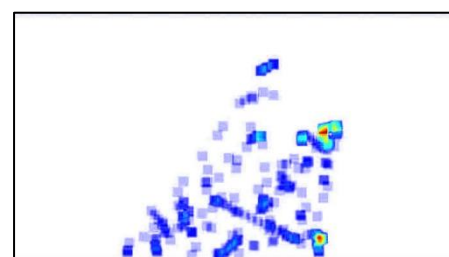


Fig.10 Heat map of eye-gaze movements.

5. 実験結果

見通しの悪い交差点におけるドライバの運転行動は、交差点進入時の注視行動と、一時停止後の安全確認行動の 2 種類に分けることができる。そこで、解析対象の交差点を「進入から一時停止」と「一時停止から右折完了」の 2 区間に分け、前者を区間 1、後者を区間 2 として定義し、それぞれ注視行動と安全確認行動について解析を行った。今回は 4 種の走行環境のうち、「晴れ昼」のみを解析対象とした。

5.1 注視行動の解析

まず、各被験者の固有の視線の特徴が存在しているかどうか調べるため、解析を行った。図 11 に、被験者 I が、運転タスクのみを遂行した際の、1 周目の交差点 1 と 2 における視線のヒートマップを示す。交差点 1 と 2 は、どちらも見通しが悪く、形状も似ている交差点である。また、1 周目ではヒヤリハットが発生しない。ヒートマップを見ると、交差点 1 と 2 の視線の分布が類似していることが分かる。他の被験者についても同様に、分布が類似している被験者が多く見られた。つまり、一人の被験者が似たような交差点を複数回走行した場合に、視線の分布が類似する傾向にあることが考えられる。

次に、運転集中状態と注意散漫状態で、視線がどのように変化するか調べるため、解析を行った。図 12 に、被験者 I の、ヒヤリハットが発生する 2 周目の交差点 2 における視線のヒートマップを、運転集中状態を模擬した場合(運転タスクのみ遂行)と注意散漫状態を模擬した場合(運転タスクと暗算タスクを同時遂行)について、それぞれ示す。ヒートマップから分かるように、暗算タスクの遂行の有無で、視線の分布が大きく変化する結果となった。他の被験者についても同様の結果が得られた被験者が多く見られた。このことから、注意散漫状態になった際に視線の分布が大きく変化する傾向にあることが考えられる。また、先行研究では、注意散漫状態になった際は視線の動きが少なくなり、局所的に偏在する分布になる傾向にあるとされている。今回の実験では、そのような分布を示した被験者は、被験者 F, I, K であった。図 13, 14 に、被験者 F, K のヒートマップを示す。

5.2 安全確認行動の解析

運転集中状態と注意散漫状態で、交差点を右折する際の安全確認行動がどのように変化するか調べるため、解析を行った。図 15 に、被験者 K の、2 周目の交差点 2 における顔向きの時系列変化を、運転集中状態を模擬した場合と注意散漫状態を模擬した場合について、それぞれ示す。図 15(a)では、顔向きが左右に大きく変動している。また、頭部姿勢画像からも、安全確認行動を行っている様子が確認できた。これに対し、図 15(b)では、顔向きの変動が小さく、頭部姿勢画像からも、安全確認行動を十分に行っていない様子が確認できた。また、5.1 で特徴的な視線の分布を示した被験者 F, I については、暗算タスクの遂行の有無にかかわらず、安全確認行動を行っている様子が確認できた。

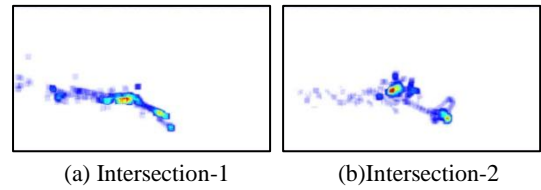


Fig.11 Heat maps of eye-gaze movements in concentration state(subject-I).

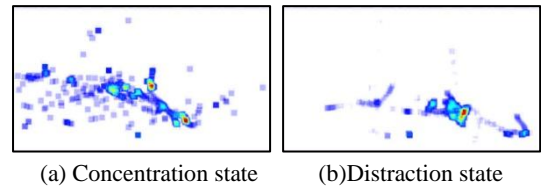


Fig.12 Heat maps of eye-gaze movements at intersection-2 (subject-I).

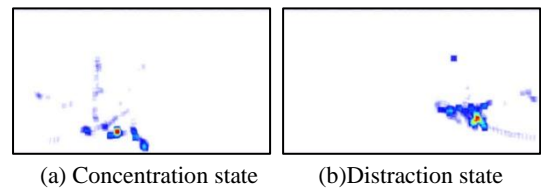


Fig.13 Heat maps of eye-gaze movements at intersection-2 (subject-F).

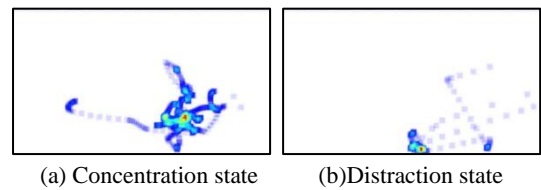
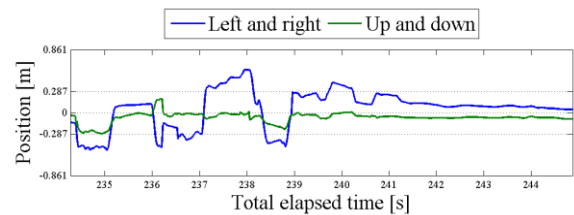
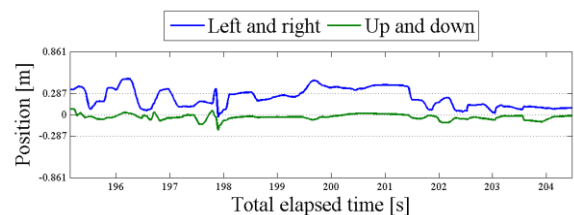


Fig.14 Heat maps of eye-gaze movements at intersection-2 (subject-K).



(a) Concentration state



(b) Distraction state

Fig.15 Time-series changes of face orientations(subject-K).

5.3 暗算タスクに対する回答結果

図 16 に、走行シナリオ全体における、各被験者の暗算タスクに対する回答率を示す。被験者 I, K は全ての問題に回答したため、100%であった。これに対し被験者 F は、全被験者中最も低い回答率を示し、47.7%であった。5.1 の注視行動の解析において特徴的な視線の分布を示した 3 名ではあるが、回答率には大きな差が出る結果となった。

次に、図 17 に、走行シナリオ全体における、各被験者の暗算タスクに対する回答の正答率を示す（ここで言う正答率とは、被験者が回答した問題に対する回答の正誤のみを計算している。回答しなかった問題については正答率の計算には含めていない）。正答率については、若干の差はあるものの、全員の被験者が高い値を示した。これらの結果から、回答率が低い値を示した被験者 F は、問題に回答する余裕がある時のみ回答し、余裕が無い時は無理をせず、回答しないで運転を行っていた可能性が考えられる。実際に被験者 F の音声聞いて検証したところ、被験者 F は直進時などにおいては問題に回答し、交差点が近くなると回答をやめている様子が確認できた。つまり、運転タスクの難易度が低い区間においては、注意資源を暗算タスクの方に多く分配し、運転タスクの難易度が高い区間においては、注意資源を運転タスクの方に多く分配していたものと考えられる。

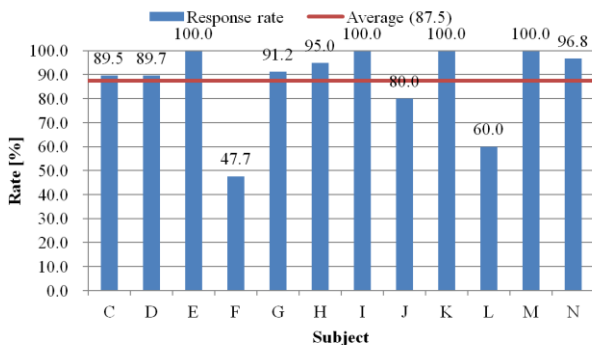


Fig.16 Response rate.

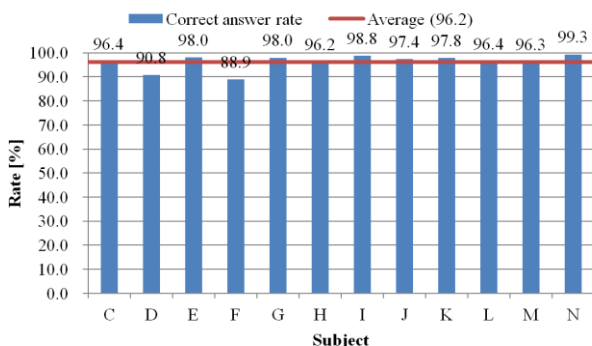


Fig.17 Correct answer rate.

5.4 運転負担感受性との関係

運転負担感受性の、検査結果として算出される尺度の一覧を表 1 に示す。これらの尺度のうち、実験で使用する暗算タスクと関係するのは、「運転への集中阻害」である。運転負担感受性の値は、最小 1.00 から最大 5.00 までの値として算出される。また、チェックシートを作成した社団法人人間生活工学研究センターが 20 歳~74 歳までのドライバーを対象に行った調査では、「運転への集中阻害」の平均値は 2.63 となっている。

チェックシートへの記入結果から算出した、各被験者の運転への集中阻害に対する負担感受性の値を図 18 に示す。5.1 で特徴的な視線の分布を示した被験者 F, I, K は、いずれも平均値より高い値を示した。しかし一方で、高い負担感受性の値を示した被験者 C や G は、特徴的な視線の分布を示さなかった。

Table.1 Scales of the workload sensitivity.

Scale	Description
1	交通状況把握 周囲交通との関わり合いや情報取り込みの複雑さ
2	道路環境把握 車外環境（道路、天候、明るさ）の変化、複雑さ、悪さ
3	運転への集中阻害 車内の人（自分も含む）やものに対する配慮
4	身体的活動度の低下 運転に際しての心身状態（体調、生活リズム）の悪さ
5	運転ペース阻害 自分に合った運転ペースの阻害
6	身体的苦痛 身体的苦痛の発生、長時間拘束
7	経路把握や探索 自転車位置や行き先情報の取り込み、位置関係の把握
8	車内環境 車室内環境（寒暖、空気質等）の悪さ
9	制御操作 運転操作の複雑さ
10	運転姿勢 シートやレイアウトのフィット性の悪さ

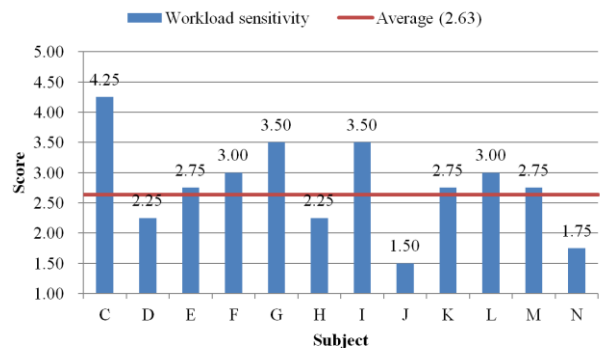


Fig.18 Workload sensitivity(Disturbing the concentration of the driving).

5.5 運転スタイルとの関係

運転スタイルの、検査結果として算出される尺度の一覧を表 2 に示す。これらの尺度のうち、今回は「運転スキルへの自信の有無」と「心配性的傾向」に注目した。運転スタイルの値は最小 1.00 から最大 4.00 までの値として算出される。また、社団法人人間生活工学研究センターが行った調査では、「運転スキルへの自信の有無」の平均値は 2.57、「心配性的傾向」の平均値は 2.48 となっている。

各被験者の運転スキルへの自信の有無の値を図 19 に示す。被験者 I, K は平均値よりも高い値を、被験者 F は平均値よりも低い値を示した。また、各被験者の心配性的傾向の値を図 20 に示す。被験者 K は平均値よりも高い値を、被験者 F は平均値とほぼ等しい値を、被験者 I は平均値よりも低い値を示したが、視線の分布との関連性は確認できなかった。

Table.2 Scales of the driving style.

	Scale
1	運転スキルへの自信の有無
2	運転に対する消極性
3	せっかちな運転傾向
4	几帳面な運転傾向
5	信号に対する事前準備的な運転
6	ステータスシンボルとしての車
7	不安定な運転傾向
8	心配性的傾向
9	虚偽発見尺度

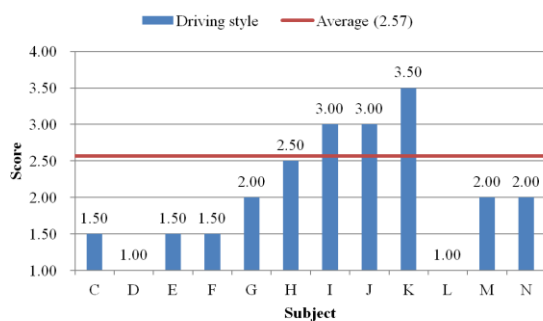


Fig.19 Driving style (the presence or absence of self-confidence for driving skill).

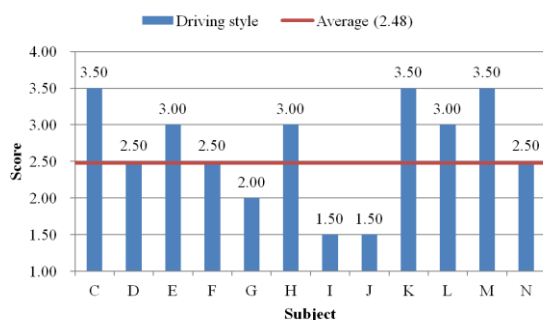


Fig.20 Driving style (a propensity for anxiety).

6. まとめ

本研究では、注意散漫状態を模擬した走行実験を行い、交差点進入時にヒヤリハットに遭遇した際の、ドライバの運転行動の分析を試みた。また、実験データを同期して表示するためのツールを試作し、解析における利便性の向上を図った。ツールを使用した解析の結果、以下の点が明らかとなった。

- 同じドライバが同じ区間を走行した際、視線の分布が類似する傾向にある可能性がある。つまり、人がそれぞれ、固有の視線の特徴を有している可能性がある。
- 交差点進入時の注視行動における視線の分布には、運転集中状態と注意散漫状態で明確な違いが存在する可能性がある。
- 暗算タスクを遂行しながらの走行実験の際、一部の被験者が、意図的に注意資源の配分を変化させている可能性がある。

今回は実験データ数が少なく、主観的評価に留まってしまったが、今後はデータ数を増やし、統計的解析を行う。解析区間としては、ヒヤリハット遭遇前後だけでなく、より長い区間を対象に運転行動の分析を行う。また、注意散漫状態の推定のために、動的ベイジアンネットワークを用いて、ドライバ固有の工学モデルの構築を行う。

参考文献

- [1] 公益財団法人交通事故総合分析センター：交通統計平成 25 年版, <http://www.itarda.or.jp/>.
- [2] T. Ranney et al. : Determining Driver Visual Attention with One Camera , IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, Vol.4, No.4, pp.205-218 (2003).
- [3] Y. Dong et al. : Driver inattention monitoring system for intelligent vehicles: a review , IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, Vol.12, No.2, pp.596-614 (2011).
- [4] 田中 他：車両挙動に基づくドライバの異常状態推定技術の開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.95-12 (2012).
- [5] K. Kircher et al. : Comparison of Two eye-gaze based on Real-time Driver Distraction Detection Algorithms in a Small-Scale Field Operational Test , Proc. 5th Int. Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, pp.16-23 (2012).
- [6] R. Yonetani et al. : Mental Focus Analysis using the Spatio-temporal Correlation between Visual Saliency and Eye Movements, Journal of Information Proc., Vol.20, No.1, pp.267-276 (2012).
- [7] 土田 他：顔表情からの眠気評定特性を考慮した被験者に依存しないドライバ状態分類, 電子情報通信学会技術研究報告, ITS 111(441), 99.251-256 (2012).
- [8] 大見拓寛：運転者の居眠り状態評価の画像センサ, 人工臓器 42 巻 1 号, pp.99-103 (2013).
- [9] T. Hirayama et al. : Timing Analysis of Driver Gaze under Cognitive Distraction toward Peripheral Vehicle Behavior, The 26th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, pp.1-4 (2012).
- [10] 安部 他：ドライバの視覚的な注意に対する認知不可の影響, 日本機械学会論文集(C 編), Vol.76, No.767, pp.14-20 (2010).
- [11] 本間 他：低覚醒時におけるドライバの視認行動特性, 自動車技術会論文集, Vol.42, No.5, pp.1217-1222 (2012).
- [12] 石橋基範 他：運転者特性把握のための運転スタイル・運転負担感受性チェックシートの開発, 自動車技術会 2002 年春季大会学術講演会前刷集, No.55-02, 9~12 (2002)