

注意散漫状態の検出に向けたドライバの内部状態推定モデル Estimation Model of Driver's Internal State for Distraction State Detection

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

1. まえがき

日本国内の交通事故による死亡者数が最も多いのは歩行者事故であり、平成 22 年度は、死亡事故全体の 32.5% を占めている¹⁾。また、自転車事故は死亡に至る割合は低いものの、年間 15 万人以上が死傷しており、死傷者全体の 20.9% を占めている²⁾。最近の調査結果でも死傷者数は減少傾向にはあるが、依然として深刻な状況が続いている³⁾。交通事故のほとんどがヒューマンエラー（人的事故要因）によるものではあるが、科学的なデータに基づいて、どのような場面で、どのような過程で、どのようにヒューマンエラーが発生し、事故に結びついているかの議論は比較的少ない。加えて、これまで検討が進められている交通事故を未然に防ぐ予防安全システムの機能や性能は、平均的なドライバには対応可能であるものの、個々のドライバの運転状態に即して、適応的に対応することができていない。一方、ドライバが急ブレーキや急ハンドルといった回避操作を取った時の加速度をトリガとして、トリガ発生前後の車両前方映像、ドライバ映像、車速や加速度等の運転操作情報はヒヤリハットデータとして記録され、事故及び事故一步手前の事例としてデータベース化が進んでいる。その中でも東京農工大スマートモビリティ研究拠点では、約 10 万件に及ぶ世界最大規模のヒヤリハットデータベース（HHDB）を構築している⁴⁾。更に興味深い点は、ヒヤリハットとドライバ行動特性の関連付けが行なわれ、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「注意力低下（注意散漫）」が注目されている。

本研究では、運転タスクと暗算タスクを同時遂行する「注意散漫状態」を模擬した走行実験を行ない、交差点進入時に遭遇するヒヤリハットと運転状態の差異による安全確認行動の特徴を解明する。具体的には、ヒヤリハット遭遇前後における視線と顔向きの時系列変化に着目し、交差点進入時の注視行動と一時停止後の安全確認行動に時間区分した分析を通して、注意散漫状態を特徴付ける行動パターンを抽出し、危険運転予測モデルの構築に向けた知見の獲得を目指す。更に、ベイジアンネットワーク(Bayesian Networks: BNs)を用いて、運転シーンに対する注視及び安全確認行動とドライバの内部状態の相互関係をグラフィカルに表現することにより、運転集中状態から注意散漫状態に移行する際の特徴的な身体情報（視線・顔向き）と操作情報（ハンドル・アクセル・ブレーキ）の関連性をドライバの運転特性や負担感受性の観点から分析する。評価実験では、運転特性と負担感受性が対極する被験者の内部状態推定モデルを構築し、各

運転シーンに対応した特徴的な行動パターンを特定することにより、注意散漫状態の影響が現れ易い身体情報と操作情報の解析を試みる。

2. 関連研究

事故統計によると、出会い頭事故が多く発生する無信号交差点では、出会い頭事故におけるヒューマンエラーの約 3/4 が認知性の注意散漫状態による安全不確認であることが指摘されている。歩行者が死亡に至る事故要因の 35% は漫然運転で、ドライバの覚醒程度により「注意散漫状態」と「疲労状態」に分類され、注意散漫状態の検出指標は、生理情報と身体情報の一部に限定される。ドライバの疲労状態の推定技術として、車載カメラで捉えた顔向きや顔の状態（瞬き・瞼開度）から注意力や覚醒度を検知する手法⁵⁾⁶⁾、車両挙動からドライバの覚醒度低下を検知する手法⁷⁾がそれぞれ実用化されつつある。最近では、わき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精力的に進められている⁸⁾⁹⁾。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¹⁰⁾¹¹⁾が報告されており、それぞれ顔表情評定との相関が高くなるような工学的工夫が試みられている。

認知性の注意散漫は、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確立されていない。注意散漫の検出手法は数多く提案されており¹²⁾、計測するモダリティに基づいて 4 種類に分類される¹³⁾。ドライバの「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、危険に直接的に関与する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を有する。本研究で扱う注意散漫状態とは、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」である。考え事状態については阿部ら¹⁴⁾が、ぼんやり状態については本間ら¹⁵⁾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易い特徴的な場面の存在を確認している。

運転行動のモデル化に関する研究では、熊野らが動的ベイジアンネットワーク(Dynamic Bayesian Networks: DBNs)を用いて注視動作のモデル化を行っている¹⁶⁾。熊野らは、前方注視、死角確認、脇見といった 3 種類の注視動作の識別を目的として、身体動作、運転操作、運転状況といった要素から DBNs を用いて注視動作をモデル化した。各注視動作の違いによる観測パラメータを検証した結果、運転操作や運転状況等のコンテキスト情報を用いることで高い識別率を獲得可能なことを示した。

* 秋田県立大学, Akita Prefectural University

** 徳島大学, Tokushima University

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

以上の点を踏まえ、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、非接触・非拘束的な計測手段で取得可能な身体情報（頭部姿勢・顔向き・表情・視線）の中でも顔向きと視線に着目する。交差点進入時に遭遇するヒヤリハットとドライバの運転状態の関係性を解明するために、ヒヤリハット遭遇前後における顔向きと視線の時系列変化に着目した注視行動と安全確認行動の分析を通して、BNs を用いた注意散漫状態を特徴付ける行動パターンの抽出を試みる。

3. 提案手法

3.1 実験システム

人間の運転行動は多くの人が毎日行っているが、実環境における道路上での実際の行動から、個人の運転行動特性を明らかにするためには多くの困難が伴う。例えば、運転行動はその時の道路環境や交通状況によって変化するものであり、実際の道路上では、その環境条件や交通状況を一定に保ち再現することができない。そのため、例え行動がばらついていても、それが交通状況の違いによるばらつきなのか、個人の中でのばらつきなのかを明確に区別することはできない。本研究では、運転行動に影響を与える道路環境や交通状況を自由に設定して、それに対する運転行動を計測可能なドライビングシミュレータ(Driving Simulator : DS)を用いる。図 1 に実験システムの構成を示す。実験で用いた DS は、普通車と同程度の操作機器を具備したコンパクトで 6 軸モーション対応のプラットフォーム (SUBARU 型) で、キャビン前方にカラー液晶モニタ 3 画面を有し、水平視野角を自由に設定可能な疑似運転環境が再現できる機能を有する。また、図 1 に示すように、ドライバの身体を拘束せずに頭部・顔向き・視線を計測するために、キャビン前方中央の液晶モニタの左右にカメラヘッドを、キャビン前方計測器の上部に赤外線ポッドを設置した。ここで、左右のカメラヘッドと赤外線ポッドは、頭部・視線追跡装置 (FaceLAB) の入力系センサである。なお、複数の被験者による予備試験走行を通して、ステレオカメラヘッド及び赤外線ポッドの設置が運転時の視認性の妨げにならないことを確認している。さらに、ドライバの表情を撮影するために、キャビン前方中央の液晶モニタの上部に USB カメラ (Xtion pro Live) を設置した。

3.2 実験プロトコル

運転集中状態とは、運転タスクのみを遂行する運転状態を表わす。一方、注意散漫状態とは、運転タスクと簡単な暗算タスクを同時遂行する考え事状態を模擬した運転状態と定義する。実験で用いた暗算タスクは、安部ら¹⁴⁾が実施した実験内容を参考に一桁同士の足し算を 3 秒間隔でドライバに提示し、暗算結果は口頭で回答するように教示した。なお、走行中、各暗算に対する正誤結果については、ドライバに通知しないこととした。初めに、各被験者の個人特性として、運転に取り組む態度、志向、考え方を運転スタイルチェックシート¹⁷⁾、どのような種類の運転負担を強く感じるかを運転負担感受性チェックシート¹⁸⁾を用いて質問紙方式の検査を実施する。1 回の走行実験は、生体情報として心拍計 (RS800CX) を被験者に装着し、事前に平常時における 1 分間の瞬時心拍数



Fig. 1 Experimental system for measuring driver's behaviors.



(a) Running route for simulation



(b) Sudden appearance of bicycle at intersection-1



(c) Sudden appearance of bicycle at intersection-2

Fig. 2 Simulation course with near-miss events of two types (Route-1/Route-2).

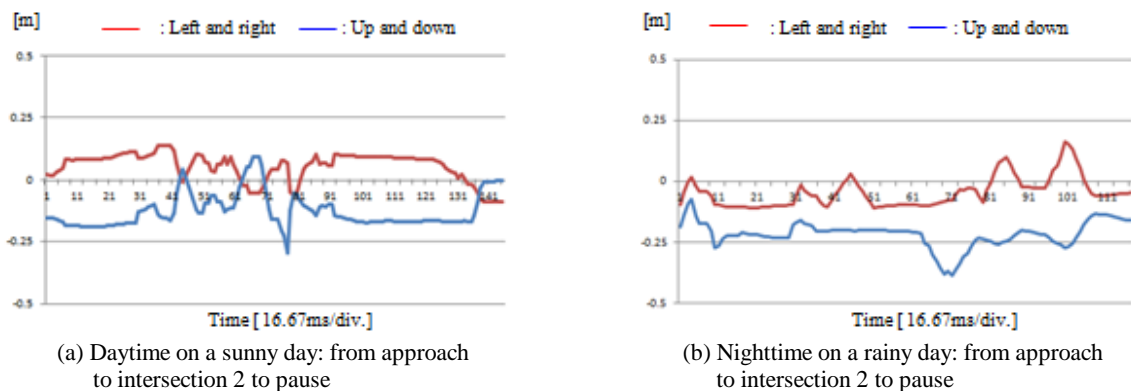


Fig. 3 Time-series changes of eye-gaze movements in concentration state on driving.

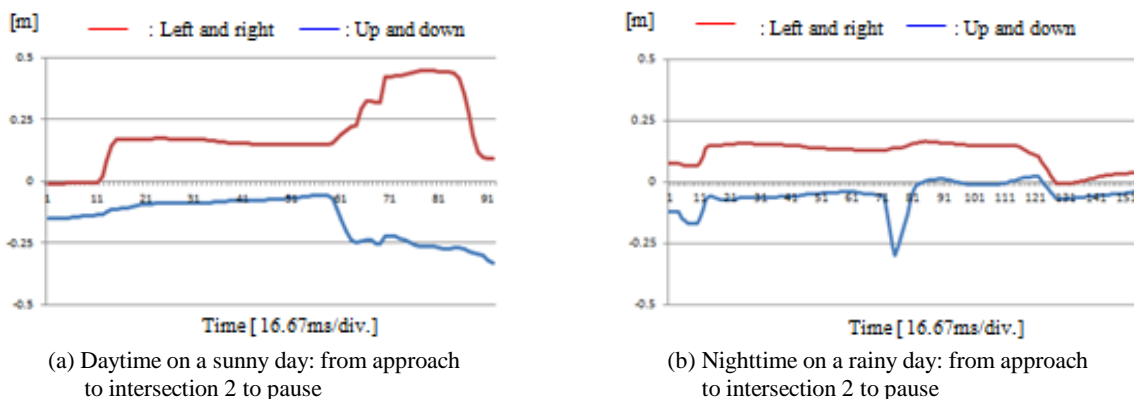


Fig. 4 Time-series changes of eye-gaze movements in distraction state on driving.

を計測する。次に、被験者の顔向きと視線の計測精度を向上させるために頭部・視線追跡装置 (FaceLAB) のカメラ校正を行なう。なお、被験者の表情を撮影するための USB カメラ (Xtion pro Live) で運転時の顔動画を同時に記録する。これら事前準備の後、各計測装置の時間軸を同期させて、3.3 で後述する走行シナリオに沿ってコースを 3 周する。最後に、交差点で発生する事象に着目した問診表を用いて、ヒヤリハットに遭遇した際の主観評価 (4 段階評価) も実施した。なお、全ての被験者に対して、秋田県立大学研究倫理審査会の承認を得た後、事前に実験内容を十分説明し、被験者の自由意志により書面による実験参加の同意を得た。特定の被験者からは、実験参加の同意と併せて顔画像掲載の許諾に関する同意も得ている。

3.3 ヒヤリハットと走行シナリオ

走行ルートと自転車の飛び出しを想定したヒヤリハットの定義を図 2 に示す。走行ルートは、共同研究を実施している徳島大学常三島キャンパス周辺の無信号交差点を模擬した周回コースを作成し、図中の交差点 1 及び交差点 2 を対象に、2 種類の自転車の飛び出しルートを設定した。交差点 1 では、自転車が自車の前方右側から出現し、左側へ横断するルート (以後ルート 1 と定義する) に設定した。交差点 2 では、自転車が自車の前方左側から出現し、自車の進路を妨害するように右側へ横断するルート (以後ルート 2 と定義する) に設定した。走行ル

ートは、キャンパス正門をスタートに交差点 1 から交差点 5 の順に走行する。なお、交差点 1 及び交差点 2 は、見通しの悪い無信号交差点である。

次に、走行シナリオの概要を以下に示す。基本の走行シナリオは、前述した走行ルートを 3 周するもので、1 周目と 3 周目はヒヤリハット無し、2 周目は交差点 1 でルート 1 の自転車の横断が発生し、交差点 2 でルート 2 の自転車の飛び出しが発生するようにヒヤリハットの制御を行なった。その他の交通流として、交差点 1 で対向車の直進、交差点 2 と交差点 3 では自車前方を自動車横断するように交通流を制御した。前述の基本走行シナリオをベースに、天候 (晴れ/雨) と時間帯 (昼/夜) をそれぞれ変化させ、晴れ昼/雨昼/晴れ夜/雨夜の 4 種類の走行環境を用意した。

4. 実験結果と考察

走行実験では、運転タスクのみを遂行する運転集中状態と運転タスクと暗算タスクを同時遂行する注意散漫状態の 2 種類を実施した。3.3 で記述した走行シナリオをベースに、天候と時間帯を変化させた 4 種類の走行環境について、1 つの走行環境で同じ走行ルートを 3 周する実験を行なった。また、走行環境は、晴れ昼/雨昼/晴れ夜/雨夜の順に変更し、すべての被験者に対して同一とした。被験者は、すべて普通自動車第一種運転免許を有する本学の学生で、その内訳は、男子学生 10 名 (C, D, E,

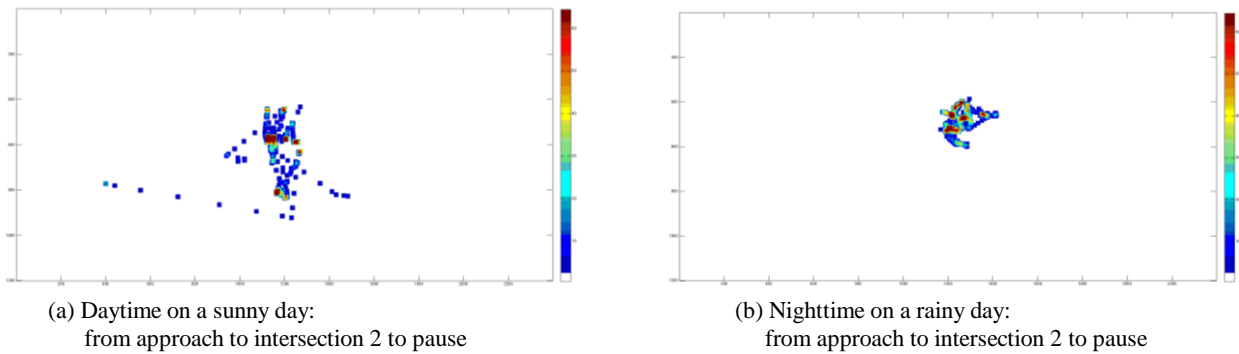


Fig. 5 Heat maps of eye-gaze movements in concentration state on driving.

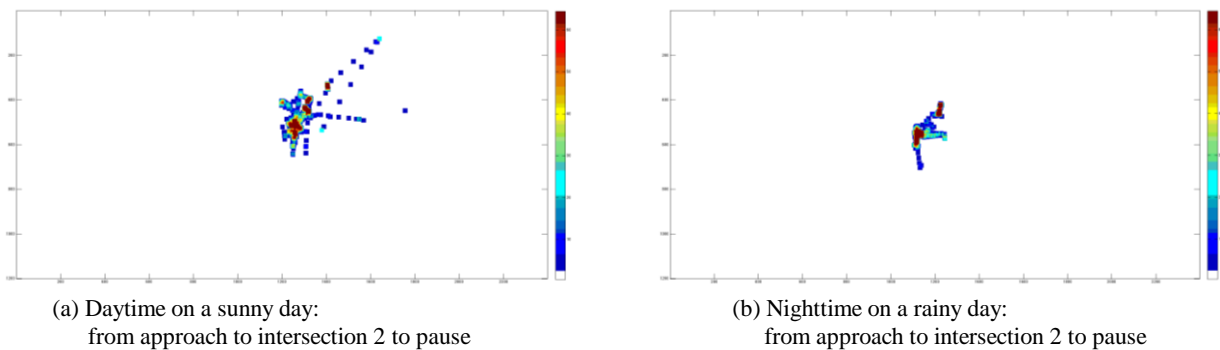


Fig. 6 Heat maps of eye-gaze movements in distraction state on driving.

H, I, J, K, L, M, N), 女子学生 2 名 (F, G) である。なお、走行実験に際しては、一時停止など道路交通法に基づく交通ルールと制限速度を守って運転するよう指示を与えた。

4.1 視線の時系列変化による内部状態の分析

図 3 及び図 4 は、交差点 2 で発生する自転車の飛び出しに遭遇した際の視線の時系列変化を示している。図 3 は運転集中状態における視線の時系列変化、図 4 は注意散漫状態での視線の時系列変化である。ここでは、4 種類の走行環境の中で視認性が最も良い「晴れ昼」と視認性が最も悪い「雨夜」に着目した。図中の(a)は晴れ昼の区間 1, (b)は雨夜の区間 1 の結果で、何れも交差点進入時における注視行動の時系列変化を表現している。図 3 の運転集中状態と図 4 の注意散漫状態を比較すると、運転タスクのみを遂行する集中状態では、ドライバの視線が上下左右に小刻みに変化している。一方、暗算タスクを同時遂行するよう指示された注意散漫状態では、ドライバの視線が上下左右の大まかな時間変化に留まっている。図 3 の結果は、ドライバの注視行動が交差点進入時のシーン映像に追従して上下左右に変化したことを示唆している。それに反して、図 4 の結果は、シーン映像の変化に対して局所的な特定箇所に滞留していたことを示唆する時系列変化として捉えられる。すなわち、暗算タスクの遂行に注意資源が割かれた結果、本来在るべき注視行動に変化が現れたものと考えられる。

次に、視認性の影響について(a)の晴れ昼と(b)の雨夜の結果を考察する。運転集中状態における図 3 の(a)と(b)を比較した場合、交差点に進入する前半部分では「晴れ

昼」の振幅変化に比べて「雨夜」の振幅変化が小さく、後半部分でその傾向が逆転している。また、注意散漫状態における図 4 の(a)と(b)を比較した場合、交差点進入時の全ての区間で「晴れ昼」の振幅変化に比べて「雨夜」の振幅変化が小さい。夜間で雨が降っている走行環境では、一般的に有効視野が狭くなると共に同一箇所の注視時間が長くなることが予想される。特に、運転集中状態の「晴れ昼」(図 3-(a))と注意散漫状態の「雨夜」(図 4-(b))でその傾向が顕著に現れている。

4.2 視線のヒートマップによる内部状態の分析

図 5 及び図 6 は、4.1 と同一条件下の「晴れ昼」と「雨夜」に着目した視線の集中度合いをヒートマップで表現したもので、赤い領域ほど視線の集中度合いが高いことを意味する。図 5 は運転集中状態における視線のヒートマップ、図 6 は注意散漫状態での視線のヒートマップである。図中の(a)は晴れ昼の区間 1, (b)は雨夜の区間 1 の結果で、何れも交差点進入時における注視度合いの 2 次元空間分布を表わしている。図 5 の運転集中状態と図 6 の注意散漫状態を比較すると、運転集中状態の晴れ昼(図 5-(a))では、視線の集中度合いの高い領域(赤い領域)が広範囲に点在するのに対し、注意散漫状態の雨夜(図 6-(b))では、集中度合いの高い領域(赤い領域)が局所的に偏在している。すなわち、運転タスクに集中した状態で交差点に進入する場合、運転シーンの変化に対する注意資源を確保した注視行動が取られているが、注意散漫状態では、暗算タスクへ注意資源が割かれた結果、運転シーンの変化に対応しきれない注視状況を表わしたものと考えられる。

4.3 内部状態推定のモデル化

BNs は、対象問題の複雑な依存関係をグラフ構造で可視化し、変数間の依存関係を非循環有向リンクで表現した確率モデルである¹⁹⁾。BNs は、確率変数をノードで表し、ノード間を有向リンクで結合して変数間の依存関係を確率分布として定義する。有向リンクの元にあるノードを親ノード、有向リンクの先にあるノードを子ノードと呼ぶ。ここで、 X を求めたい確率変数とし、観測された変数の値を e とする。 α を正規化定数、親ノード、子ノードから伝播する確率をそれぞれ π , λ とすると、次式により任意の事後確率を局所的に計算できる。すなわち、BNs を使って確率推論することにより、目的とする確率変数の確率分布を求めることができる。

$$P(X_j|e) = \alpha \lambda(X_j) \pi(X_j) \quad (1)$$

本研究で扱う内部状態推定モデルは、身体情報の顔向きと視線に相応する2ノード (Head, Eye)、生体情報の心拍に相応する1ノード (Heart)、操作情報のハンドル、アクセル、ブレーキに相応する3ノード (Handle, Accelerator, Brake)、及び運転シーンとドライバの内部状態に相応する2ノード (Scene, State) を合わせた計8ノードから構成される。なお、ノードの一覧をTable 1に示す。“Head”から“Brake”までの各ノードは、走行実験における暗算タスクが3秒ごとに1問出題される形式であるため、3秒ごとの値の変化量を用いた。“Scene”は、走行コースの特性から3種類 (直進/交差点進入/右折) の運転シーンに応じて状態を示す番号を割り当てた。

内部状態推定モデルの構築では、NTT データ数理システム社製のベイジアンネットワーク構築支援ソフト BAYONET²⁰⁾を用いた。BAYONET は、対象データセットの特性を学習し、ネットワークを自動的に構築する機能を有する。ここで、運転シーンに応じてドライバの内部状態や操作情報が影響されるという前提条件に基づき、運転シーン (Scene) を親ノードとし、内部状態 (State) と操作情報 (Handle, Accelerator, Brake) を子ノードに指定して有向リンクを手動設定した。更に、ドライバの内部状態は身体情報や生体情報に現れ易いという仮説に基づき、身体情報 (Head, Eye) と生体情報 (Heart) を親ノードとし、内部状態 (State) を子ノードに指定して有向リンクを手動設定した。

ドライバの内部状態 (State) は、運転タスクと暗算タスクの遂行に伴う注意資源の配分状況によって決定されると考える。そこで、運転タスクと暗算タスクに対する注意資源の配分状況を定量化し、それらの値を用いてドライバの内部状態を定義する。

運転タスクに対する注意資源配分の評価値としては、3秒毎のサッケードの発生回数を用いる。サッケードは、注視点から注視点への視線の素早い移動であるため、サッケードが多く発生していた場合、周辺環境に注意を払いながら運転していたものと捉えられる。 i 点目の運転タスクの評価値 D_i は、次式を用いて定義する。なお、サッケードの発生回数 S_i を 0~1 の値として正規化する。

$$D_i = \frac{S_i - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}} \quad (2)$$

Table 1 Definition of Nodes

Nodes	Contents
HEAD	3秒間の顔向きの移動量[m]
EYE	3秒間の視線の移動量[m]
HEART	3秒間の心拍数の変動量[s ⁻¹]
HANDLE	3秒間のハンドルの操作量(-1~+1)
ACCEL	3秒間のアクセル操作量(-1~+1)
BRAKE	3秒間のブレーキの操作量(-1~+1)
SCENE	運転シーンの種類 (1:直進, 2:交差点進入, 3:右折)
STATE	ドライバの内部状態 (1:注意散漫状態~3:運転集中状態)

暗算タスクに対する注意資源配分の評価値としては、問題が出題されてから回答が終了するまでの時間を用いる。回答が早いほど暗算タスクに集中し、多くの注意資源を割いていたと考えられるため評価値は高くなる。一方、無回答や誤回答の場合は、暗算タスクに注意資源を割いていないため評価値が最低となるように設定した。具体的には、各被験者の最も長い回答時間と同じ値に設定した。 i 点目の暗算タスクの評価値 A_i は、次式を用いて定義する。なお、問題が出題されてから回答が終了するまでの時間 T_i を 0~1 の値として正規化し、回答が早いほど 1 に近づくように設定する。

$$A_i = 1 - \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (3)$$

以上より、 i 点目のドライバの内部状態の評価値 $State_i$ は、運転タスクの評価値 D_i と暗算タスクの評価値 A_i から次式を用いて定義する。

$$State_i = \frac{D_i + A_i}{2} \quad (4)$$

4.4 内部状態推定モデルの分析

運転シーンに応じて適切に注意資源が配分されない状況、いわゆる注意散漫状態が継続すると危険運転に繋がり、事故を引起す確率が高くなる。また、ドライバの内部状態として定義した運転集中状態と注意散漫状態は、ドライバ個々の運転スキルに依存することが予想されるため、チェックシート^{17) 18)}に基づく運転スタイルや運転負担感受性に着目した分析が重要と考える。ここでは、運転する機会の少ない被験者 C と日常的に運転している被験者 I に焦点をあてる。図 7 に運転スタイルの検査結果、図 8 に運転負担感受性の検査結果を示す。図 7 及び図 8 の平均値は、人間生活工学研究センターが約 540 名の男女を対象に実施した調査結果の値である。図 7 の運転スタイルでは、被験者 C は、「運転に対する消極性」と「心配性的傾向」が高く、被験者 I は「運転スキルへの自信」と「ステイタスシンボルとしての車」に高い傾向が認められることから、対極的な運転スタイルの被験者である。また、図 8 の運転負担感受性では、両被験者共に「運転への集中阻害」が高く、更に被験者 I は「運転ペー

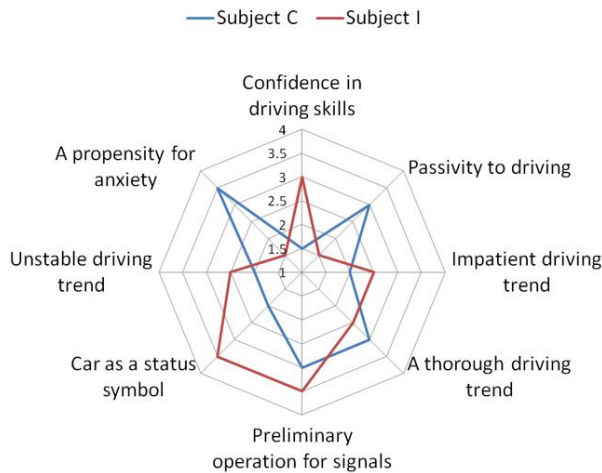


Fig. 7 Driving style results of subject C and I.

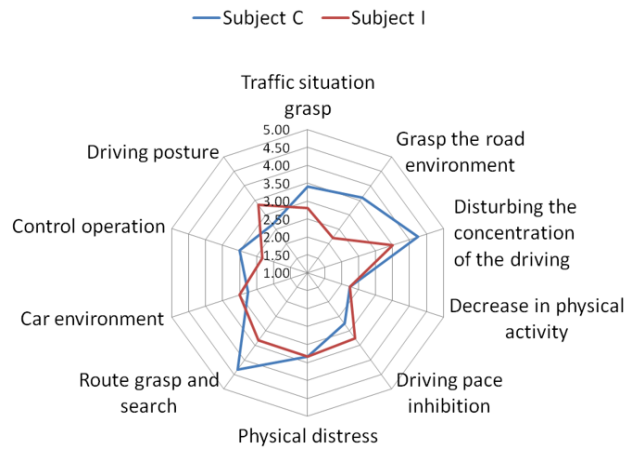


Fig. 8 Driving workload sensitivity results of subject C and I.

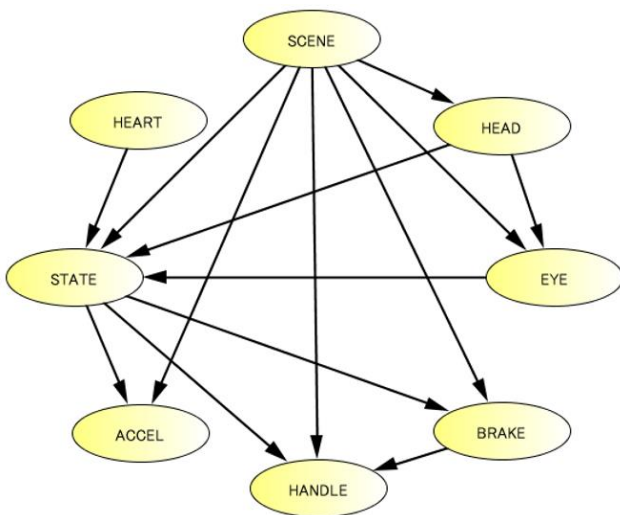


Fig. 9 Internal state estimation model for risky driving (Subject C).

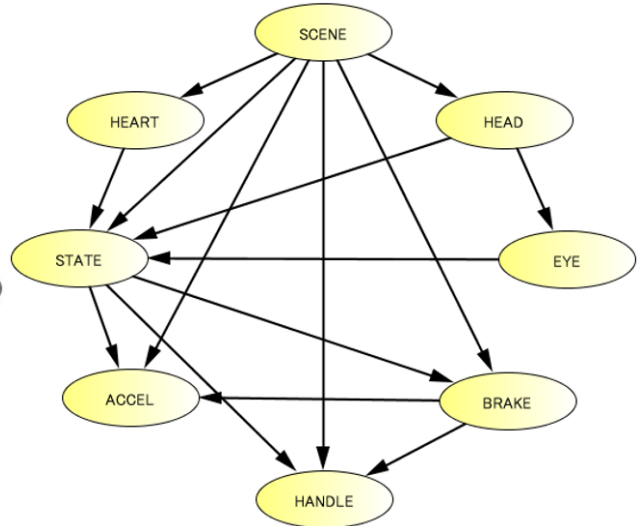


Fig. 10 Internal state estimation model for risky driving (Subject I).

ス障害」が高い傾向が認められる。すなわち、両被験者共に運転タスクと暗算タスクの同時遂行により、注意散漫状態に陥り易い特性を有するものと推察する。

内部状態推定モデルの構築に用いた学習データは、天候と時間帯を変えて行った 4 回の走行実験で取得した全データを結合したもので、被験者 C のデータ数が 634 点、被験者 I のデータ数が 619 点である。また、これらのデータは K-means 法により 3 段階に離散化した値を用いた。被験者 C のモデルを図 9 に、被験者 I のモデルを図 10 に示す。図 9 と図 10 を比較すると、各被験者に固有な有向リンクの存在を確認できる。有向リンクは、推論の精度が上がるように最適化された形でノード同士を結ぶため、有向リンクが張られたノード同士には有意な相互関係が存在する。例えば、図 9 の被験者 C では、“Scene”ノードから“Eye”ノードへ有向リンクが張られているが、図 10 の被験者 I には、その有向リンクが認められない。すなわち、被験者 C は運転シーンによって注視時の視線移動が影響され易いが、逆に被験者 I は影響され難いことが考えられる。また、図 10 の被験者 I では、“Scene”ノードから“Heart”ノードへ、“Brake”ノードから“Accelerator”ノード

へそれぞれ有向リンクが張られているが、図 9 の被験者 C には、それらの有向リンクが認められない。特に、“Brake”ノードから“Accelerator”ノードへの有向リンクは、ブレーキとアクセルに関する各操作量の明確な因果関係を示すことから、運転操作の熟練度として捉えられる。以上に示した特徴は、運転スタイルや運転負担感受性の違いにより、被験者固有の内部状態推定モデルの構築が可能であることを意味する。

次に、構築した内部状態推定モデルを用いて、3 つの運転シーンに対応した特徴的な行動パターンを特定し、注意散漫状態の影響が現れ易い身体情報と操作情報の相互関係の分析手順を示す。3 つの運転シーンは、“Scene”ノードに与えるエビデンスで制御し、「直進区間：“Scene”1」、 「進入区間：“Scene”2」、及び「右折区間：“Scene”3」に分類する。その後、運転シーン毎にドライバーの内部状態を表す“State”ノードにエビデンスを与え、「運転集中状態：“State”3」と「注意散漫状態：“State”1」における各ノードの確率分布を比較する。3 つの運転シーンに対応して、確率推論により求めた被験者 C と I の事後確率分布を図 11 から図 13 に示す。図中、横軸の各ノ

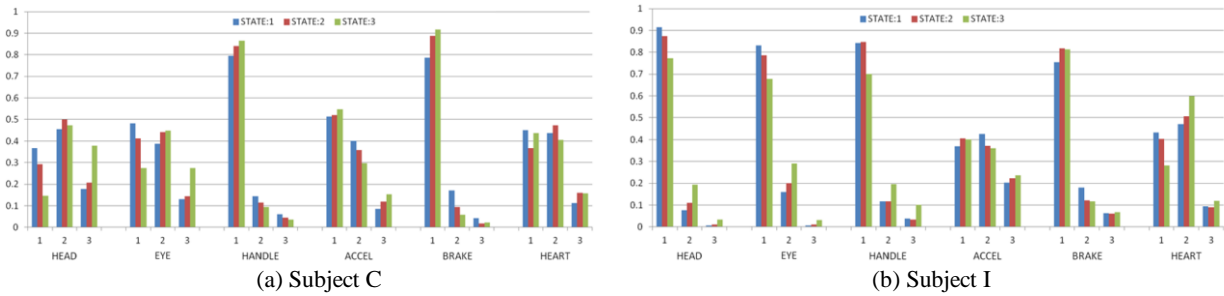


Fig. 11 Probability distribution of each node with the evidence of straight running period.

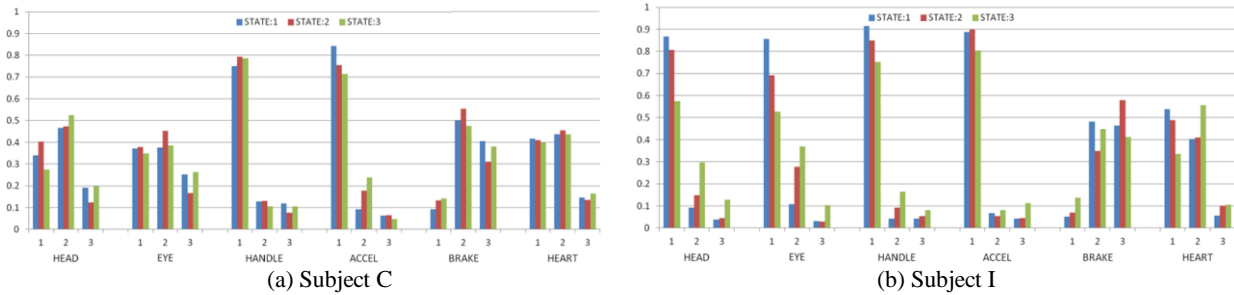


Fig. 12 Probability distribution of each node with the evidence of approaching to the intersection period.

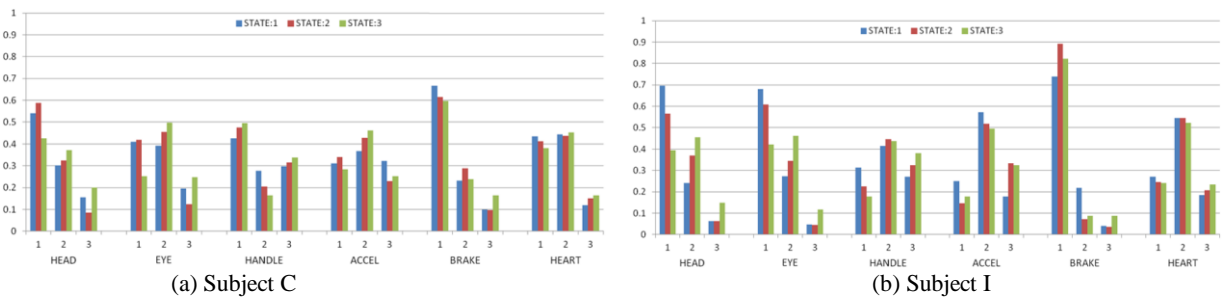


Fig. 13 Probability distribution of each node with the evidence of turning to the right period.

ードが示す 1~3 の数値は、移動量や操作量の大きさを、縦軸はそれらの事後確率の値を示す。

図 11 の直進区間と図 12 の進入区間では、“Head”ノードと“Eye”ノードの事後確率分布に着目すると、被験者 C は顔向きや視線の移動量が大きく、逆に、被験者 I はその移動量が小さい傾向を示す。これは運転スタイルとして、被験者 C が「運転に対する消極性」と「心配性的傾向」が高いのに対し、被験者 I は「運転スキルへの自信」が大きいことから、運転に関する熟練度の差異に起因するものであると推察できる。また、図 13 の右折区間では、図 11 の直進区間に比べて、被験者 I の顔向きや視線の移動量が大きくなる傾向が認められる。すなわち、被験者 I は、被験者 C に比べて、それぞれの運転シーンに応じて注意すべき個所を特定しながら運転している様子が推察できる。

更に、「運転集中状態：“State”3」と「注意散漫状態：“State”1」を比較すると、注意散漫状態では、両被験者共にすべての運転シーンにおいて、顔向きや視線の移動量が小さくなる傾向（“Head”1 と “Eye”1 の事後確率値：注意散漫状態 > 運転集中状態）を示す。一方、運転集中状態では、両被験者共にすべての運転シーンにおいて、顔向きや視線の移動量が大きくなる傾向（“Head”3 と “Eye”3 の事後確率値：注意散漫状態 < 運転集中状態）を示す。こ

れらの傾向は、運転タスクと暗算タスクの同時遂行により注意資源が奪われた結果、両被験者共に顔向きや視線の移動量の変化に現れたものと考えられる。次に、図 11 の直進区間と図 12 の進入区間における“Handle”ノードの事後確率分布に着目すると、注意散漫状態では、被験者 C はハンドル操作量が大きくなるのに対して、被験者 I はハンドル操作量が小さくなる。更に、運転集中状態から注意散漫状態になった時の事後確率値の差は、被験者 C に比べて被験者 I が大きい。この傾向は、被験者 I が「運転への集中阻害」と「運転ベース阻害」に負担を感じ易い特性を有するため、暗算タスクの同時遂行による影響が大きいことを示唆しているものと考えられる。

最後に、瞬時心拍数の“Heart”ノードの確率分布に着目する。図 10 に示した被験者 I の内部状態推定モデルでは、“Scene”ノードから“Heart”ノードへ有効リンクが張られているが、図 9 の被験者 C のモデルにはその有効リンクが認められない。この点に注目して図 11 から図 13 に示した両被験者の事後確率分布を比較すると、被験者 I は、各運転シーンにおいて運転集中状態と注意散漫状態の事後確率値の差が顕著であるのに対して、被験者 C にはその有意差が認められない。この要因としては、被験者固有な内部状態推定モデルにおける有効リンクの有無に起因すると考える。

5. まとめ

ヒヤリハット遭遇前後における視線と顔向きの時系列変化に着目し、交差点進入時の注視行動と一時停止後の安全確認行動に時間区分した分析を通して、注意散漫状態を特徴付ける行動パターンを抽出し、工学的モデル化に有効な知見の導出を試みた。その結果、以下の点が明らかとなった。

- ・注意散漫状態を特徴付ける行動パターンは、交差点進入時の「注視行動」と一時停止後の「安全確認行動」に分類した取扱いが有効である。
- ・交差点進入時の「注視行動」を特徴付ける視線の散布図、ヒートマップ及び時系列変化には、運転集中状態と注意散漫状態で明確な違いが存在する。

更に、BNsを用いて、運転特性と負担感受性が対極する被験者の内部状態推定モデルを構築し、注意散漫状態の影響が現れやすい身体情報と操作情報の解析を試みた。その結果、以下の点が明らかとなった。

- ・運転スタイルや運転負担感受性の違いにより、被験者固有の内部状態推定モデルの構築が可能である。被験者に固有な有向リンクが存在する。
- ・注意散漫状態では、ドライバの顔向きや視線の移動量が小さくなる傾向が存在する。この身体的特徴は、暗算タスクの同時遂行により、運転に対する注意資源が奪われた結果としてドライバの身体情報に現れる。

今後は、視線と顔向きの時系列変化を機械学習と動的ベイジアンネットワークを併用することにより、危険運転予測モデルの構築を目指したい。

参考文献

- (1) 交通事故総合分析センター：イタルダ・インフォメーション No.83, 2010.
- (2) 警視庁：自転車事故関連の状況, http://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/bicycle/pdf/2_shousai.pdf
- (3) 警察庁交通局:平成 24 年中の交通事故の発生状況, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List/>
- (4) スマートモビリティ研究拠点(Smart Mobility Research Center)ドライブレコーダセンター, <http://web.tuat.ac.jp/~smrc/drcenter.html>
- (5) 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)
- (6) 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)
- (7) 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)
- (8) 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 (2009)
- (9) 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)
- (10) 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), pp.251-256 (2012-02-13)

- (11) 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)
- (12) 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)
- (13) T. Hirayama, K. Mase, and K. Takeda, 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)
- (14) 阿部他, ドライバの視覚的な注意に対する認知負荷の影響, 日本機械学会論文集(C編), Vol.76, No.767, pp.14-20 (2010)
- (15) 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 (2011)
- (16) 熊野史朗 他: 人間の内部状態推定のための動作センシング, 東京大学大学院博士論文(2008)
- (17) 石橋基範, HQL式運転スタイルチェックシート解説書 (Driving Style Questionnaire : DSQ) 社団法人人間生活工学研究センター(2003)
- (18) 石橋基範, HQL式運転負担感受性チェックシート解説書 (Workload Sensitivity Questionnaire : WSQ) 社団法人人間生活工学研究センター(2003)
- (19) 本村陽一, “ベイジアンネットワークにおける確率推論アルゴリズムと実験評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, pp.157-162 (2004)
- (20) 株式会社 NTT データ数理システム: BAYONET ベイジアンネットワーク構築支援システム, <http://www.msi.co.jp/bayonet/>