

# 事故回避支援システムによる事故低減効果の定量化のためのドライバの

## 信頼性評価モデルの構築

代表研究者 香川大学工学部准教授 鈴木桂輔  
共同研究者 香川大学大学院博士後期課程学生 望月誠  
大同大学教授 山田喜一

### 1. 緒論

高度なセンサ技術の活用により、積極的にドライバの運転操作を支援し、ドライバの認知エラーの防止をする運転支援システムの実用化が進められている。例えば、車間距離警報システム、車線逸脱警報システムなど、自動車の周辺の交通状態を認識し、衝突の危険が迫った場合に警告の提示や制御を行うシステムに関する報告が数多く見られる。しかしながら、運転支援システムを導入した際の事故低減効果の評価に関しては、例えば、先行車の急減速や歩行者の出現に対するドライバのブレーキ操作反応時間の短縮など実験的評価が中心<sup>1,2,3)</sup>で、反応時間の短縮が事故低減にどの程度寄与するのかの評価に関しては十分なものはなく、評価方法についての提案が急がれている。

一方で、森林浴中の香りが生態に及ぼす影響が注目され、樹木の香りと疲労感軽減効果や覚醒効果との相関を分析する研究が報告されている<sup>4)</sup>。筆者らは、吸引した場合に、副交感神経を活性化させ、疲労軽減や心理ストレスの緩和に効果があるとされている、樹木の香りの一成分である $\alpha$ ピネンに着目している。芳香成分の供給が覚醒効果に与える影響について分析したものは多いが、疲労感軽減に関する研究は少なく、鈴木らは、これまでに、 $\alpha$ ピネンを用いた疲労・ストレス低減効果に着目し、効果の検証、供給パターンの最適化などを行っている<sup>5,6)</sup>。そこで、本稿では、疲労・ストレス軽減効果のある芳香成分である $\alpha$ ピネンを用いた運転支援システムを例にとり、運転支援システムの事故低減効果を定量化可能な手法を提案することを目的とする。具体的な取り組みを以下に示す。

- 1) ドライビングシミュレータ（以降、DS）を用いて、長時間の運転による注意散漫状態下で、見通しの悪い交差点通過時に、音声による交差点接近情報の提示に加えて $\alpha$ ピネンを供給することによる、ドライバの運転行動への影響について評価を行う。
- 2) 運転支援システムの事故削減効果を定量化するために、システム信頼性工学の概念を用いて、ドライバの運転パフォーマンスと交通環境からのデマンドの発生を再現し、

交通事故の発生確率を推定する時系列信頼性モデル<sup>7)</sup>を構築し、DS実験での計測値を入力することで、 $\alpha$ ピネンを用いた運転支援システム導入時の事故低減効果について分析を行う。

- 3) 先行研究により筆者らが提案し、その妥当性について報告されている状態遷移確率モデル<sup>8)</sup>を用いて、同一の運転支援システムについて衝突確率を定量化する。両モデルによる分析結果を比較することで、新たに提案する時系列信頼性モデルを用いた、衝突回避支援システムの使用によるドライバのディストラクションの低減効果を評価する手法の有効性について考察する。また、両手法の特徴について議論する。

### 2. 既存研究と本研究の位置づけ

本章では、筆者らがこれまで提案している状態遷移確率モデルと、新たに提案する時系列信頼性モデルの考え方について述べ、本研究における、時系列信頼性モデルの妥当性検証の考え方について示す。

運転パフォーマンスの観点からみた交通事故発生のメカニズムをFig.1に示す。Fig.1に示すように、ドライバの運転パフォーマンスが交通環境の要求する運転パフォーマンスを下回った場合に、交通事故発生のリスクが高まると考えられる。山田らは、このメカニズムをシステム信頼性工学におけるシステムの故障・回復に見立て、システムの故障確率を推定する信頼度関数を用いて、交通事故の発生確率を推定する状態遷移確率モデルを提案している<sup>8)</sup>。この中で、全国における年間の追突事故の発生頻度を状態遷移確率モデルで推定し、実際の事故統計とほぼ一致していることを確認することで、確率的なアプローチにより交通事故の発生確率を推定する手法の妥当性を検証している。

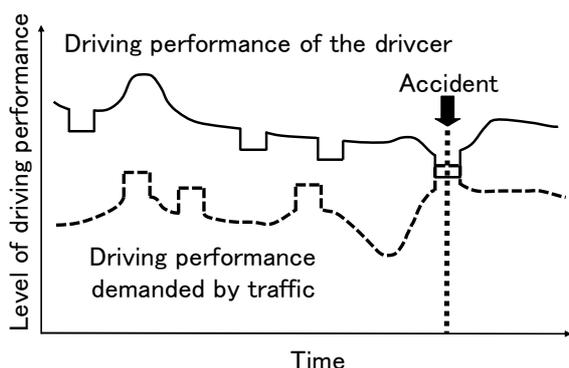


Fig.1 Mechanism of the traffic accident

状態遷移確率モデルでは、信頼度関数を用いて交通事故の発生確率を推定可能であるが、ドライバの認知状態や危険発生時の回避行動といったドライバの行動に関しては、モデルへの反映が限定的であるという課題があった。そこで、本研究では、状態遷移確率モデルの考え方を踏まえながら、ドライバの認知状態や回避行動をより詳細に反映可能な時系列信頼性モデルを提案する。

時系列信頼性モデルの妥当性の検証方法としては、本来であれば、状態遷移確率モデルと実環境における事故発生確率の比較と、時系信頼性モデルと実環境における事故発生確率の比較、を行う必要がある。しかしながら、本研究の対象とする、注意散漫状況下での出会い頭事故の実環境における事故発生率を正確に見積もることは困難と考える。そのため、先行研究において妥当性の確認されている状態遷移確率モデルと、提案する時系列信頼性モデルのシミュレーション結果を比較することにより、時系列信頼性モデルの妥当性の検証を試みた。具体的には、両モデルのシミュレーション結果である衝突確率を、①シミュレーション条件間の相対的な関係の再現性、②運転支援システム導入による事故低減効果（システム導入前の衝突確率からの相対的な事故低減率）、という2つの観点で比較を行うことで、時系列信頼性モデルの妥当性の検証を行う。

### 3. ドライビングシミュレータ実験

DS 実験では、長時間の運転により注意散漫が発生し、見通しの悪い交差点通過時に前方不注意となる状況を再現した上で、運転支援システムの導入がドライバの運転行動に与える影響について計測した。計測した運転行動は、衝突確率を推定するため、時系列信頼性モデルと状態遷移確率モデルへの入力値として使用する。

### 3.1 実験概要

実験には、前方、左右のスクリーンに走行環境を映写する、視野角が 135 度の DS を用いた。実験シナリオを Fig.2 に示す。

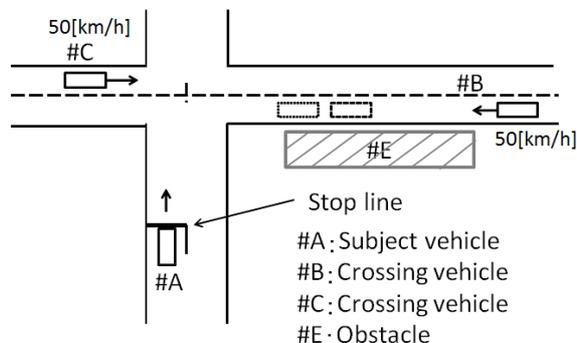


Fig.2 Experimental Scenario

被験者が運転する自車両 (#A) は、信号がなく見通しの悪い交差点に、非優先側の道路から接近する。自車両は一時停止線で一旦停止後、安全を確認して交差点に進入し、交差点を通過する。見通しの悪い交差点での出会い頭事故を想定し、自車両が交差点に進入するタイミングで、交差車両 (#B または #C) を 50km/h で左右片側からランダムに出現させた。交差点付近には、障害物 (#E) を配置し、見通しが悪く、交差車両を確認しづらい状況を再現した。被験者は交差点を通過し、単路を走行後、交差点が 5 分おきに出現するように設定した。また、長時間運転での注意散漫を再現するために、全実験時間は 60 分とし、被験者は計 12 回の交差点を通過した。

### 3.2 芳香成分の供給装置

芳香成分の供給装置の概要を Fig.3 に示す。実験時に使用する  $\alpha$ -ピネンの供給は、23°C で温度管理を行う恒温槽の中に液体状態の香り成分を 200CC 充填し、バブリング方式により気化させ、脈動ポンプで規定の嗅覚刺激レベルを示す流量を保持しながら、ドライバの顔面付近に噴射した。この際、流量の変化から香りの供給タイミングを被験者が知覚できないように、香り供給用のノズルの他、空気のみを常時噴射するノズルを設置した。実験装置の概要を Fig.3 に示す。また、実験において、 $\alpha$ ピネンの濃度水準、供給時間、供給間隔時間は先行研究<sup>9)</sup>によって最適化された値を用いた。具体的には、濃度水準 4 (強い匂い)、供給時間 15 秒、供給間隔 5 分とした。

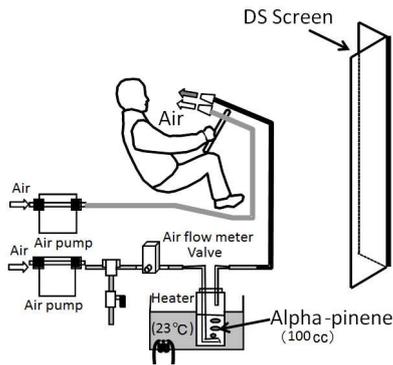


Fig. 3 The outline of supplying Alpha-Pinene

### 3.3 計測指標

DS 実験中のドライバの認知状態を定量化するため、交差点進入時に交差車両に気づくまでの時間と、直線道路走行中のドライバの注意状態の計測を行った。

<交差車両に対する気づき時間>

気づき時間の定義は、Fig.4 に示すように被験者 (#A) が交差点にある停止線で一旦停止した後に (①) 徐行動作を行いながら前方に進んだ際の、交差車両 (#B) がスクリーンに表示されてから (②) 被験者が制動操作を開始するまでの時間 (③) としている。なお、交差点を通過する動作を行う度に交差車両 (#B) が接近すると、学習効果によりドライバは交差車両 (#B) に警戒してしまう。そこで、任意の交差点において交差車両 (#B) が接近しない場合も再現した。

<視覚刺激に対する反応時間>

ドライバの運転中の注意状態を分析するため、LED を用いた視覚刺激に対するドライバの反応時間を計測した。ドライバの正面と左右 45 度の合計 3 ヶ所に赤色のランプを設置し、ランダムな順序で 1 ヶ所を点灯させた。被験者には、ランプの点灯に気づいた時点でステアリングに設置した押しボタンを押す操作を行ってもらった。これは、ランプの点灯間隔時間は、被験者にランプの点灯タイミングを予知されないようにするため、平均 15 秒、標準偏差 5 秒とした。なお、押しボタンを押すとランプは消灯する。

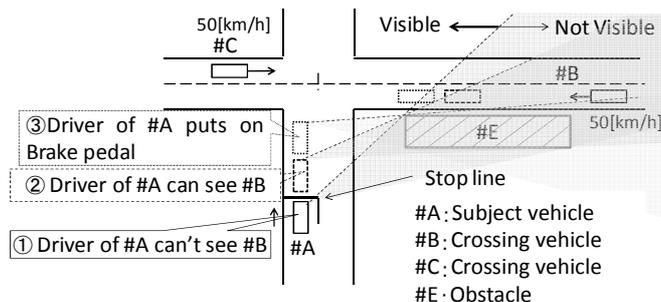


Fig.4 Notice time to the crossing vehicle

### 3.4 実験条件

本実験における実験条件を以下に示す。

- ・ コントロール：交差点出現時に、運転支援を何もおこなわない
- ・ 音声提示：交差点の 10 秒手前から音声による交差点接近情報を提示する（音声内容：「この先交差点があります」）
- ・ 音声提示+芳香成分の供給：交差点の 10 秒手前から音声による交差点接近情報の提示を開始し、このタイミングの前後 15 秒間で芳香成分を供給する

音声や芳香成分を提示する条件では、交差車両の有無に関わらず、常に音声の提示、芳香成分の供給を行った。

また、実験の被験者には、平均年齢 22.0 歳で標準偏差 1.1 歳の男性 18 名に協力を依頼した。被験者の運転歴は平均 3.5 年で標準偏差 0.9 年であった。なお、実験の開始前には、十分なインフォームドコンセントを行った。

### 3.5 実験結果

#### 3.5.1 交差車両に対する気づき時間

交差点の通過行動における、右からの交差車両への気づき時間について、1 条件につき 10 個のデータを計測し、被験者 18 名で 180 個の気づき時間の分析を行った。被験者 18 名の平均値と標準偏差を Table 1 に示す。結果より、音声のみを提示した条件（音声条件）の気づき時間は、コントロール条件とほぼ同等であった（有意差なし）。一方、音声+芳香成分を提示した条件（音声+芳香条件）で、コントロール条件と比較して気づき時間が有意に短縮された ( $p < 0.05$ )。芳香成分の薬理効果により、交差点通過時の運転に対する注意が高まり、交差車両に対する気づき時間が短縮されたと考えられる。

Table 1 Notice Time of the subject at the intersection

Notice Time					
Control		Information presentation		Supplying aroma + information	
average[s]	SD[s]	average[s]	SD[s]	average[s]	SD[s]
1.21	0.66	1.19	0.51	0.98	0.57

#### 3.5.2 視覚刺激に対する反応時間

次に、視覚刺激に対する反応時間を用いて、運転に対する注意状態の定量化を行った。視覚刺激に対する反応時間が大幅に遅れた場合には、運転に対する注意が低下している状態と考えられる。本研究では、運転走行に支障がないと考えられる反応時間の許容限界を設定し、許容限界を超えた反応時間が発生した状態を、前方に対する注意量の低下によるディストラクションが発生している状態と定義した。

先行研究<sup>10)</sup>において、運転中のカーナビ視認時間（視線が前方からナビ画面に移動し始めてから再び前方へ戻るまでの時間）の許容時間として、1.5秒が検討されている。本研究では、障害物に見立てたLEDの点灯を視覚探索しながら運転しており、LEDに対する反応時間を計測している。反応時間が、通常の視覚探索が行われている状態を示す値（被験者ごとの反応時間の平均値）に、脇見の許容時間である1.5秒を加えた許容限界を上回った場合、注意散漫状態であると捉え、その反応時間をエラー継続時間と定義し、ドライバが注意散漫となる時間の定量化を試みた。

被験者18名のエラー継続時間を定量化し、条件ごとのエラー継続時間の傾向をFig.5に示す。結果より、音声提示条件において、エラー継続時間が大きく増加している。一方、音声に加えて芳香成分を供給した場合には、エラー継続時間の増加が見られず、コントロール条件とほぼ同じエラー継続時間となった。

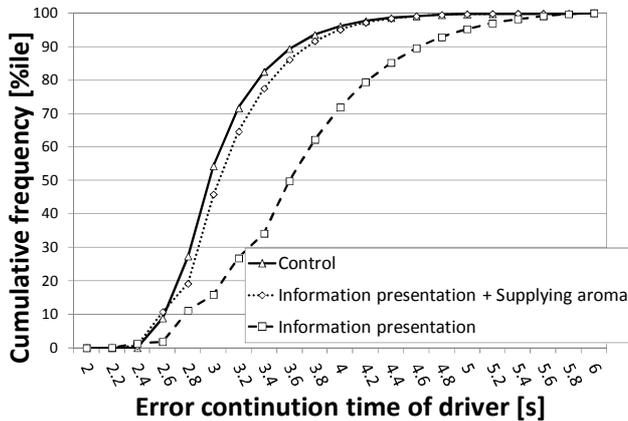


Fig.5 Error-Continuation Time of driver

本実験では、繰り返し提示される交差点手前での音声提示にドライバが過度に依存した可能性があり、直線道路に注意散漫状態が発生し、エラー継続時間が増加したと考えられる。また、音声に加えて芳香成分を供給することにより、音声条件下で発生した注意散漫が、 $\alpha$ ピネンの疲労・ストレス軽減といった薬理効果により低減されたと考えられる。

#### 4. 時系列信頼性モデルによる衝突確率の定量化

DS実験のデータ数は限られているため、非常に低い確率で発生する衝突確率を、DS実験の結果のみから分析することは、統計的な信頼区間の観点から困難であると考えられる。我々は、DS実験により計測した気づき時間やドライバのエラー継続時間の分布から、モンテカルロシミュレーションにより複数の運転行動データを再現し、時系列信頼性モデルを用いて衝突確率の解析を試みた。

#### 4.1 時系列信頼性モデルの概要

筆者らが提案する時系列信頼性モデルの概念についてFig.6に示す。Fig.6は、Fig.1で示した交通事故発生メカニズムを、(1)環境軸、(2)ドライバ軸、(3)ドライバ・環境軸からなる、横軸を時間軸とした“Error/Normal”の時系列列波形時系列の矩形波によりモデル化するものである。

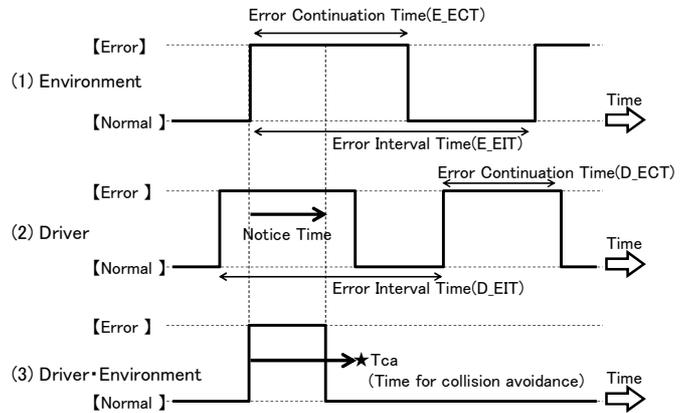


Fig.6 The parallel model of driver and environment for investigating the driver's braking behavior

(1)の環境軸は、交通環境から要求される運転パフォーマンスを示し、交差車両がスクリーンに現れた瞬間を、システム信頼性工学における故障が発生した状態を示す“Error（交通環境からのデマンドが高い状態）”にセットし、交差点を通過したタイミングで、エラーが回復した状態を示す“Normal（交通環境からのデマンドが低い状態）”としてセットする。次に、ドライバ軸(2)は、ドライバの運転パフォーマンスを示し、ドライバのディストラクションが発生した場合に“Error（注意散漫状態）”にセットし、発生していない場合に“Normal（正常状態）”にセットする。

これらの時系列の矩形波は、エラーの継続時間であるエラー継続時間（Error Continuation Time : ECT）と、次のエラーが発生するまでの時間であるエラー間隔時間（Error Interval Time : EIT）により定義される。環境のエラー継続時間（E\_ECT）は、DS実験において交差車両がスクリーンに表れてから交差点を通過するまでに要する時間を意味し、エラー間隔時間（E\_EIT）は、交差車両が出現する間隔を意味する。ドライバのエラー継続時間（D\_ECT）はドライバのディストラクションが発生している時間を意味し、エラー間隔時間（D\_EIT）は、ディストラクションが発生する間隔を意味する。

環境軸(1)とドライバ軸(2)が共にエラー状態となった場合、事故発生リスクが高まるが、ドライバは事故発生リスクに気づいて所定時間後に回避行動をとるものとして、ドライバ・環境軸(3)は、所定時間（気づき時間 : Notice Time）後にエラー状態を回復する。最終的に、ドライバ・環境軸(3)のエラー継続時間と、交通環境によって決定さ

れる衝突の回避に必要な衝突回避時間 (Time for collision avoidance : Tca) を比較し、ドライバ・環境軸 (3) のエラー継続時間が、Tca よりも長い場合には衝突が回避できないとして、衝突の判定を行う。

#### 4.2 時系列信頼性モデルへの入力値

時系列信頼性モデルへの入力情報を Table 2 に示す。Table 2 に示す入力情報の中で、ドライバのエラー継続時間 (D\_ECT)、気づき時間 (Notice Time) については、DS 実験における、実験条件ごとの計測指標 (Table 1, Fig.5) を用いた。また、Tca に関しては、DS 実験と環境を統一させるために、平均 4 秒、標準偏差 0.2 秒とした。それ以外の入力値については、本研究で分析を行う相対的な衝突低減率には影響がなく、また、交通環境に大きく依存すると考えられるため、便宜的に表に示す値を設定した。

Table 2 Input data of the simulation

Related axis in the driver-model	Parameter	Average[s]	S.D. [s]
Environment	E_ECT	5	2
	E_EIT	10	2
Driver	D_ECT	DS experiment	
	D_EIT	30	10
Driver/Environmental	Notice Time	DS experiment	
	Tca	4	0.2

シミュレーション解析では、DS 実験と同様に、ドライバに心理的なディストラクションが発生している場合を想定し、16,000 回の交差点通過における衝突確率の解析を行った。

#### 4.3 時系列信頼性モデルによるシミュレーション結果

時系列信頼性モデルにより、衝突確率をシミュレーションした結果を Table 3 に示す。Table 3 より、情報提示条件の衝突確率は、コントロール条件よりも若干増加がみられ、本シミュレーションでは、音声提示による衝突回避効果が見られない結果となった。今回の DS 実験では、交差点接近時に繰り返し音声提示を行うことで、システムへの過度な依存が発生した結果、コントロール条件より、反応時間が大幅に増加した可能性がある。一方、交差点通過時の「気づき時間」については、コントロールとほぼ同等の結果となった。以上から、本実験で再現は、音声への過度な依存が発生し、ドライバの自発的な安全確認行動が抑制されたため、通常よりも衝突確率が増加する結果となった、と考えられる。

一方、音声提示に加えて方向成分を供給することにより、 $\alpha$  ピネンの疲労・ストレス軽減の薬理効果により、直線走行中の反応時間の増加が抑制され、交差車両に対する反応時間も短縮されることで、結果として衝突確率の低減につながったと考えられる。

なお、音声提示におけるシステムへの依存については、安全の担保された DS 実験における影響の可能性があるため、実際の道路環境においても、同様の結果が得られるかどうかについては、検討の余地があると考えられる。

Table 3 Result of the Simulation by the Time Series Reliability Model

	Probability
Control	$1.34 \times 10^{-4}$
Information presentation	$1.40 \times 10^{-4}$
Information presentation + Supplying aroma	$0.36 \times 10^{-4}$

### 5. 状態遷移確率モデルによる衝突確率の定量化

#### 5.1 状態遷移確率モデルの概要

システム信頼性工学においては、システムの故障率  $\lambda$  (単位時間あたりの故障確率) を一定とすると、時刻  $t$  秒後にシステムが故障していない確率  $R(t)$  は、式 (1) の信頼度関数で表すことができる。

$$R(t) = e^{-\lambda t} \dots (1)$$

状態遷移確率モデルとは、Fig.1 の事故発生のメカニズムに基づき、信頼度関数を用いて、衝突確率を推定するものである。

Fig.1 に基づき、ドライバの運転パフォーマンスと交通環境の負荷の変動をタイミングダイアグラムで表したものを Fig.7 に示す。運転パフォーマンスが低下した状態のとき、危険事象が発生したにもかかわらず、運転パフォーマンスが回復しない時に衝突回避失敗となり衝突事故が発生する。

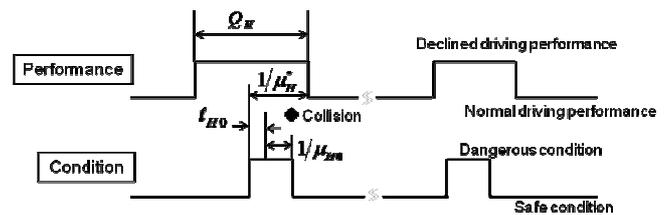


Fig. 7 Timing diagram for collision in intersection

- $Q_H$  : 運転パフォーマンス低下状態確率 (1/s)
- $1/\mu_H^*$  : 気づき時間 (s)
- $t_{H0}$  : 衝突発生開始遅れ時間 (s)
- $\mu_{H0}$  : 衝突確率 (1/s)

モデル化においては、下記を考慮している。  
 (1) 危険事象がある場合、それを察知したドライバの緊張度は急速に回復できると考え、危険事象がない場合の運転パ

パフォーマンス低下率  $Q_H$  と、危険事象がある場合の運転パフォーマンス低下回復率（気づき時間） $1/\mu_H^*$  は分離した。

(2) システム信頼性工学では、システムは、稼働直後においても式 (1) の信頼度関数に基づいて故障する確率を持つことが想定されている。しかしながら、実際の交通環境では、危険事象が発生した直後に衝突が発生することはない。上記を考慮するために、衝突が発生するまでの余裕時間として衝突発生開始遅れ時間  $t_{H0}$  を導入した。

## 5.2 衝突確率の算出

初めに、ドライバの運転パフォーマンスが低下している状態における衝突確率 ( $p$ ) を、信頼度関数を用いて算出する。次に、ドライバの運転パフォーマンスが低下する確率 ( $Q_H$ ) を算出し、最終的な衝突確率である  $P$  を、 $p$  と  $Q_H$  との積として算出する。

ドライバの運転パフォーマンスが低下している状態における衝突確率  $p$  は、式 (1) の信頼度関数と、Fig.7 のタイミングダイアグラムを用いて、式 (2) の様に定式化され、式 (2) を展開することで、式 (3) を得る。 $\mu_H^*$  は、Table 1 に示す気づき時間、 $\mu_{H0}$ 、 $t_{H0}$  は DS 実験シナリオで再現した一般的な見通しの悪い交差点を想定し、2 秒として設定した。

$$p = \int_{\mu_{H0}}^{\infty} e^{-\mu_H^* t} e^{-\mu_{H0}(t-t_{H0})} \mu_{H0} dt \quad \dots (2)$$

$$p = \frac{\mu_{H0}}{\mu_H^* + \mu_{H0}} e^{-\mu_H^* t_{H0}} \quad \dots (3)$$

ドライバの運転パフォーマンスが低下する確率  $Q_H$  は、3.5.2 で計測を行った、視覚刺激に対する反応時間を用いて算出した。視覚刺激に対する反応時間の分布を正規分布とみなし、ドライバの運転パフォーマンスが低下する確率、つまり、反応時間が平均値+1.5 秒を超える確率を、確率密度関数を用いて、式 (4) として算出する。式 (4) における  $\mu$  は、計測した気づき時間の平均値、 $\sigma$  は標準偏差を示す。

$$Q_H = \int_{\mu+1.5}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt \quad \dots (4)$$

最終的に、衝突確率は、式 (3) と式 (4) の積として、式 (5) のように表すことができる。

$$P = Q_H \frac{\mu_{H0}}{\mu_H^* + \mu_{H0}} e^{-\mu_H^* t_{H0}} \quad \dots (5)$$

## 5.3 状態遷移確率モデルによるシミュレーション結果

状態遷移確率モデルにより、衝突発生率を算出した結果を Table 4 に示す。Table 4 より、音声提示条件の衝突確率は、コントロール条件と比較して増加し、音声提示に加えて芳香成分を供給することにより、衝突確率の低減が見られた。

Table 4 Result of the Simulation  
by the State Transition Probability Model

	Probability
Control	$2.69 \times 10^{-4}$
Information presentation	$3.46 \times 10^{-4}$
Information presentation + Supplying aroma	$1.10 \times 10^{-4}$

## 6. 時系列信頼性モデルの妥当性の検証

本章では、2章に記載した検証方針に基づき、時系列信頼性モデルの妥当性について検証を行う。

時系列信頼性モデルによるシミュレーション結果 (Table3) と、状態遷移確率モデルによるシミュレーション結果

(Table5) を比較すると、いずれにおいても、情報提示によりコントロール条件から衝突確率が増加し、芳香成分の提示によりコントロール条件と比較して衝突確率が低減されている。これより、シミュレーション条件間の相対的な関係については、両モデルで一致することを確認できた。

また、運転支援システム導入による事故低減効果（導入前との比較）については、コントロール条件における事故発生率からの増減率を算出すると、情報提示条件では、時系列信頼性モデルでは約 4% の増加、状態遷移確率モデルでは約 29% の増加となり、両モデルの結果に差がみられる。一方、芳香提示による事故低減率を算出すると、時系列信頼性モデルでは約 73%、状態遷移確率モデルでは約 60% となり、近い値を取ることが分かった。

一方、絶対的な衝突確率の値について、実験条件ごとの両モデルの結果を比較すると、情報提示なし：2.0 倍、音声のみ：2.47 倍、音声 +  $\alpha$  ピネン：3.0 倍と、2~3 倍の開きがある。本稿では、相対的な事故低減率での評価を重視し、時系列信頼性モデルの一部のパラメータを便宜的に設定して衝突確率を算出したため、絶対的な値は大きな差が生じたと考えられる。

以上より、時系列信頼性モデルと状態遷移確率モデルの衝突確率は、絶対的な数値には差があり、今後の更なる検討の必要があるものの、シミュレーション条件間の相対関係と、コントロール条件からの事故低減効果については概ね一致していることから、時系列信頼性モデルの出会い頭事故への適用について、一定の有効性を確認できたと考える。

## 7. 両モデルの特徴に関する考察

本稿では、長時間運転による注意散漫状態下での出会い頭事故を例にとり、システム信頼性工学の概念を活用した 2 種のシミュレーションモデルを用いて、運転支援システムの事故

削減効果のシミュレーションを行った。シミュレーション結果を踏まえて、時系列信頼性モデルと、状態遷移確率モデルの特徴について考察を加える。

#### <時系列信頼性モデルの特徴>

時系列信頼性モデルは、運転行動と交通環境それぞれの状態に関する入力値を、DS 実験結果や実際の交通環境を想定した分布（平均+標準偏差）に基づいて設定した上で、衝突の発生をシミュレーションする。具体的には、運転行動に関しては、反応時間、気づき時間などの個人差によるばらつきを入力情報の分布として再現可能であり、交通環境に関しては、交差点の出現、車両の通過といったリスクの発生のばらつきを、実際の交通量に合わせた分布として再現した上で、それぞれの分布から任意の値を抽出し、モンテカルロシミュレーションにより衝突確率の推定を行うことができる。また、実際の運転時に想定される、交差点付近では不注意状態になりやすく、単路走行時に不注意状態になり易い、といった注意の変動についても、入力パラメータの抽出方法を変更することで対応可能であり、状態遷移確率モデルと比較して入力パラメータの自由度が高い。（本研究では、DS 実験において、交通環境と注意状態の変動について明確な相関が得られなかったため、衝突確率算出時に考慮しなかった。）以上より、時系列信頼性モデルは、運転行動の個人ごとの分布や、交通環境のリスクの発生頻度分布が明確なシーンにおいて、より正確な衝突確率を把握する目的でのシミュレーションに向くといえる。

#### <状態遷移確率モデルの特徴>

状態遷移確率モデルは、発生頻度が十分に小さく、ポアソン分布に従うと仮定した交通事故の発生確率を、システム信頼性工学における故障率と信頼度関数の概念を用いて、確率的に算出するものである。故障率つまり、ドライバの運転パフォーマンスの低下率及び、運転環境からのデマンドが高くなる確率が十分に小さく、かつ一定と仮定して、衝突確率を確率的に算出するため、事故の発生確率が十分に小さいとみなせるシーンでの事故発生頻度を、大局的につかむためには有効であると考えられる。一方、時系列信頼性モデルとは異なり、個人差など、入力データのばらつきについては、入力値に含まれず、衝突確率の算出に反映することができないため、特徴的な分布を持った入力データを用いる場合は、シミュレーション精度が低下する可能性がある。マクロ的な事故発生率を、シミュレーションモデルを構築することなく、大局的に把握する目的でのシミュレーションに向くといえる。

## 8. 結論

#### < $\alpha$ ピネン供給によるドライバ行動への影響>

長時間の運転による注意散漫状態下で、見通しの悪い交差点を通過する際に、音声による交差点接近情報の提示に加えて $\alpha$ ピネンを供給することにより、交差点間の直線走行時におけるドライバの注意状態の低下を抑制可能であること、また、交差車両への気づき時間が短縮できることを明らかにした。

#### <時系列信頼性モデルによる事故低減効果の定量化>

運転支援システムの事故低減効果を定量化するため、時系列信頼性モデルを構築し、音声情報に加えて $\alpha$ ピネンを供給することにより、交差車両との衝突確率を、システムなしと比較して約73%低減可能であることがわかった。

#### <時系列信頼性モデルの妥当性の検証>

先行研究において筆者らが提案している状態遷移確率モデルを用いて、同一の運転システムにおける事故削減効果の定量化を行い、音声情報に加えて $\alpha$ ピネンを供給することにより、交差車両との衝突確率を、システムなしと比較して約60%低減可能であることがわかった。両モデルによる事故低減率が概ね一致することを確認し、出会い頭事故予防システムの事故削減効果を定量化する上で、時系列信頼性モデルの妥当性を検証した。

#### <時系列信頼性モデル・状態遷移確率モデルの特徴比較>

時系列信頼性モデルは、運転行動と交通環境に関する入力パラメータの平均値とその分布が明確に得られている場合に、正確に衝突確率を把握するためのシミュレーションに活用可能と考えられる。一方、状態遷移確率モデルは、入力パラメータの平均値のみから、複雑なシミュレーションモデルを構築することなく、事故発生確率を大局的に把握する目的でのシミュレーションに活用可能であると考えられる。

## 9. 研究成果の公表方法

本研究助成による研究成果は、三井住友海上福祉財団からの研究助成を得たことを明記のうえ、以下の学術誌への論文投稿済みである。

・計測自動制御学会 論文集

## 参考文献

- 1) 田中雅樹, 平岡敏洋, 西原修, 熊本博光, 畑中健一, 齋藤裕昭: ドライビングシミュレータを用いた夜間運転支援システムの効果評価, 自動車技術会論文集 Vol.38, No.5, p.185-190 (2007)
- 2) 平岡敏洋, 中田和行, 田中雅樹, 熊本博光, 齋藤裕昭, 畑中健一: 前方障害物の視認性に基づく環境適合型警報タイミングの効果評価, 自動車技術会論文集 Vol.39, No.1, p127-132 (2008)
- 3) 堀井泰聡, 土居俊一: 夜間運転時における歩行者視認性と運転行動の解析, デンソーテクニカルレビューVol.17 (2012)
- 4) 阿部祐大, 佐藤桂, 鈴木桂輔: 香り供給による精神作業の効率向上に関する基礎検討, 第 25 回生体・生理工学シンポジウム論文集, 1B2-4 (2010)
- 5) 鈴木桂輔, 保田将史, 佐々幸哉, 原田茂樹, 森林系エアサプリメントがドライバの運転行動に及ぼす影響, 日本機械学会論文集, 72 巻, 723 号, p.142-150 (2006)
- 6) 鈴木桂輔, 五藤光, 田中尚: ドライバへの  $\alpha$  - ピネン供給による心理ストレスの低減効果, 自動車技術会論文集, Vol.40, No.1 (2009)
- 7) 鈴木桂輔, 田中仁司, 見市善紀, 阿賀正巳: 時系列信頼性モデルに基づく衝突防止支援装置の事故低減効果の分析手法, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.2 (2013)
- 8) 山田喜一, 鈴木桂輔, 佐藤吉信, 川原卓也: 運転パフォーマンスの変動を考慮した運転支援システムの確率モデルの検討, 自動車技術会論文集, Vol.35, No.4, p209-214 (2003)
- 9) 鈴木桂輔, 佐藤桂, 太田浩司: 運転行動を改善する低臭覚刺激の香り供給パターンの最適化, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.12, No.3, p.115-123 (2010)
- 10) 麻生勤, 宇野宏, 野口昌弘, 川崎由美子: 運転中のカーナビ視認時間の許容限界の検討, JARI Research Journal, Vol.24, No.3, p.29-32 (2002)