3201 運転時の注意散漫検出を目指したドライバの視行動分析

Analysis of Driver Eye Movement for Detecting Drivers' Inattentiveness

〇正 小竹元基 (東大院)¹畔蒜卓弥 (東大院)²正 鎌田実 (東大高齢機構)³¹ Motoki Shino, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku, Tokyo JAPAN² Takuya Abiru, The University of Tokyo³ Minoru Kamata, Institute of Gerontology, The University of Tokyo

In this study, the detection of the inattentiveness state is discussed. If this detection becomes possible, and a driver assistance system which leads a driver to normal state from deviated inattentiveness state is realized, it could prevent the unsafe driving behavior and consequently prevent traffic accidents as well. To propose the indices to detect the inattentiveness state, we focus on the eye movement while driving. The objective of this paper is to extract the feature of the eye movement in the inattentiveness state while driving in the urban area. Especially, we analyzed the relationship between the road environment and the eye movement while driving with the inattentiveness state by using driving simulator and actual vehicle. The result showed that the driver eye movement with the inattentiveness state influences the gazing time and the gazing object.

Key Words: Driving Behavior, Eye movement, Driver's Inattentiveness, Distraction

1. はじめに

2009 年における交通事故件数は 736,688 件、死亡者数は 4914 人であり、交通事故低減化の対策が望まれている。死亡事故に着目すると、その原因は“注意力が低下した状態での運転”と定義される漫然運転が最も高い割合 (16.6%) を占め、対策が必要である^[1]。漫然運転は疲労や眠気が原因の Drowsiness と運転以外の事象に気を取られる注意散漫運転 (Cognitive Distraction) に分けられる^[2]。Drowsiness は、顔表情などに表れやすく、既にその検出方法が提案されている。一方、注意散漫運転 (Cognitive Distraction) は、外見上の変化から検知が難しく、同様の手法を用いることができず、運転時のその状態を検出する手法が望まれる。

既存研究では、視行動に着目した研究で報告があり、秋山らは、高速道路を単独走行している際のドライバの注視停留点および停留時間の分布に着目し、注意散漫時に見られる視線移動、視点の特徴をまとめた^[3]。また内田らは、携帯電話での会話に伴うドライバの注意状態変化について、両眼視線計測手法による評価を行い^[4]、通常運転時と比べ注意散漫時には両眼の注視点にずれが生じるという特徴を見いだしている。このように、視行動がドライバの状態を表す指標になる可能性がある。

本研究では、視行動に着目し、既存研究では検討されていない市街地走行における道路環境と視行動の対応関係から状態推定を行うことを目指し、その検出法を構築するために必要となる、運転時の道路環境に対する視行動を分析することで、注意散漫時に見られる視行動特性を明らかにすることを目的とする。

2. 運転時の視行動特性の把握

2-1 文献調査による視行動の種類の把握

運転時に考慮すべき視行動として以下に示す 2 種類の視線移動を考え、視行動の性質を把握するため、運転時における視行動計測を行った。

- ・操作行動のための視線移動：ステアリング操舵角やペダル操作量といった操作行動を決定するために、路肩やセンターライン、信号や停止線までの位置等の道路形状を認知するためのトップダウンの視線移動である^[5]。

- ・リスク知覚に基づく視線移動：道路環境上に存在するハザードに対してリスク評価を行い、リスクが高い対象へ視線を

移動させ、障害物の観測とより正確な位置予測を行うための視線移動である^[6]。

2-2 実車運転時の視行動計測実験

被験者は運転免許証を取得している大学院生 3 名であり、実験内容を十分に説明し、インフォームドコンセントをえており、東京大学倫理委員会承認のもと実験を行った。また、歩行者や自転車等が多すぎる環境の場合、視行動が複雑になり、先行車が存在する場合、停留してしまう。そこで、先行車が存在しないこと、片側 1 車線であること、歩行者、自動車などがまばらに存在するという範囲を限定し分析した。シーンとしては、右折、左折、直進等、様々存在する。シーンの一例を図 1 に示す。これは、左側に自車から離れる方向に歩く歩行者、右側に自車に向かって走行する自動車が存在し、赤信号から青信号に変わり、自車、自動車、歩行者が同時に動き出すという右折シーンである。

リスク知覚に基づく視線移動の性質を把握するため、國分らが提案するジョイスティックを用いた評価方法^[7]を参考に、道路環境上のハザードに対するドライバの主観的リスクを把握した。具体的には、実車走行時の前方映像 (画角約 100deg) とドライバの顔を記録することにより、その前方映像を 24inch 型ワイドディスプレイ上で再生し、ジョイスティックを上下させることにより、各ハザードに対するリスクを 0~100% の間で評価した。なお、リスク評価はハザード 1 体ごとに 3 度行い、解析の際には 3 回分の平均値を用いた。また、カメラによって記録された顔画像を視線解析ソフト Nvpupile^[8]によって解析することで、水平方向の注視位置を記録し、水平方向の注視位置と前方の映像を対応させることで、ドライバが注視している対象の把握を行った。

Fig. 1 Right turn situation

2-3 実験結果

前方向カメラにより記録された前方映像および、顔カメラにより記録された顔画像を解析し、水平方向の注視位置を基に注視対象の分析を行った。注視対象は自転車、歩行者、自動車、対向車線、進入車線、道路中央、その他（信号機、メータなど）の7つに分類した。

図2に代表例として被験者1名分の右折シーンにおけるリスク評価および注視対象の分析結果を示す。濃いラインは自動車に対するリスク評価、薄いラインは歩行者に対するリスク評価を0～100%の間で表している。また、階段上に変化するラインは注視対象の変化を表しており、右側の縦軸に示す注視対象と対応している。

自車が発進するまでの間（0～5秒）は、自動車、道路中央、歩行者に目を配り、各ハザードの位置、属性を確認する視行動が見て取れる。事前にハザードの情報を取得しようとするこの視行動は、将来的に接触の危険があるかどうかを検討するための視線移動と考えられるため、“リスク知覚に基づく視線移動”と考える。発進した後（5～8秒）は、自動車に対する注視が中心で歩行者に対する注視時間は短い。自動車が通過（8～12秒）した後は、対向車線に他の自動車がないかどうか確認し、進入車線を注視するという行動が見られた。

リスク評価に着目すると、自動車に対するリスク評価は、すれ違う瞬間に最も高まり約30%となっている。しかし、歩行者に対するリスク評価は最大で5%でほとんど上昇しなかった。自動車に対するリスク評価が歩行者に対するリスク評価を上回っているのは、ドライバーが走行しようと考えている走行ラインと対向車の走行軌跡が干渉するためであると考えられる。自動車に対するリスク評価が上がり始める7～10秒の間は、自動車に対する注視が中心となり、歩行者に対するリスク評価が最大の6秒付近では、歩行者に対する注視が見られる。これらの注視は、リスク評価値に応じて注視対象を決定する“リスク知覚に基づく視線移動”であると考えられる。

注視時間とリスク評価との関係に着目すると、自動車に対するリスク評価の最大値が、歩行者に対するリスク評価を上回っており、それに伴って自動車に対する注視時間が歩行者に対する注視時間を上回っていることが確認できる。

Fig. 2 Eye movement and risk evaluation while turning right (Real car environment)

2-4 ドライビングシミュレータを用いた視行動計測実験

2-4-1 実験概要

実車実験で見られたドライバーのリスク評価と視行動の関係を確認するため、実験環境の統制がし易いドライビングシミュレータ（以後 DS）を用いて 2-3 節で検討した走行環境を再現し、視行動計測実験を行った。被験者は図3に示す3種類のシーンが存在する実験コースを走行し、視行動をNAC製アイカメラ EMR9により記録した。その際、前方の映像をDS上で記録した。次にその映像を再生することにより、各ハザード（歩行者、自動車）に対するリスク評価を行い、被験者にはその状態でハザード1体ごとにジョイスティックを

上下させ、リスク評価を行った。リスク評価はハザードごとに3回ずつ行い、その平均値を用いた。なお、被験者は実車実験を行った学生3名である。

Fig. 3 Situations of driving simulator experiment

2-4-2 実験結果

図4に代表例として被験者1名分の右折シチュエーションの分析結果を示す。横軸は交差点までの距離を表す。濃いラインと薄いラインはそれぞれ自動車、歩行者に対するリスク評価を0～100%の間で表しており、右側の軸がその注視対象を示している。3名に共通する特徴を以下に示す。

- ・ドライバーの予定走行ラインとハザードの移動軌跡が干渉する場合、リスク評価が高まる。
- ・リスク評価の最大値が大きいハザードに対する注視時間が長くなる傾向にある。

Fig. 4 Eye movement and risk evaluation while turning right (Driving simulator environment)

2-5 運転時の視行動特性

実車実験及びDS実験の結果から、ドライバーは自車の走行を妨げる位置にいるハザードに対してリスク評価が高まる傾向にあり、その対象のハザードに対して注視をする時間が長くなることがわかった。つまり、ドライバーはリスク評価の大きさに応じて注視時間を決定している可能性がある。

本研究で着目している注意散漫状態は、運転以外の事象に意識が向き、運転に集中できていないという状態である。運転以外のものに意識が向くことは、道路環境上に存在するハザードに対する注意配分が低くなると考えられ、その状態ではハザードに対して感じるリスク評価の大きさが、通常時に比べて低くなることが予測できる。DSを用いた実験より、リスク評価の大きさがハザードに対する注視時間と正の相関関係にあることが確認できたため、注意散漫状態を評価するには、“ハザードに対する注視時間”に着目すれば良いと考えられる。したがって、次章以降、ハザードに対する注視時間に着目し、注意散漫状態の評価を試みる。

3. 注意散漫時の視行動特性の仮説

3-1 実験概要

DS上で通常状態と注意散漫時の視行動を比較し、注意散漫状態時の視行動を把握する。注意散漫状態とは、運転に対する注意配分が少なくなる状態と考えられるため、運転中に別のタスクを行うことにより、強制的に運転に対する注意配

分を低下させた。今回用いた課題は3秒ごとに音声により提示される4文字の文字列の中から『あ』の文字数を口頭で回答させる聴覚課題である。

道路環境上に存在するハザードには大きく分けて、ドライバーが直接目にする事ができる“可視なハザード”と直接的に目にする事ができない“不可視なハザード”がある。注意散漫時にはそれぞれ違った視行動の変化が見られると考えられ、それぞれのハザードに対する視行動の変化を検討するための実験を行う。

まず、可視なハザードに対する視行動の変化を検討するため、図3に示すコースを設定した。次に、不可視なハザードに対する視行動の変化を検討するため、図5に示すコースを設定した。一つ目のシーンは、右折をする際に、対向車線で右折待ちをしているトラックが存在するシーンである。トラック脇にできる死角部分にどの程度注意を払えるのかを検討する。二つ目のシーンは、直線道路を走行時に、駐車しているトラックの脇を通過するものである。トラック前部にできる死角部分に対する注視行動を確認する。

各シーンを6回ずつ通過する様にコースを作成し、聴覚課題ありの有無の条件でそれぞれ走行し、視行動を記録した。被験者は前述の学生3名である。

Fig. 5 Situations of hidden hazards

3-2 可視なハザードに対する視行動の変化

解析条件として、交差点手前50mの地点から交差点を通過するまでに各ハザードを注視した時間と定め、分析を行った。各シーンにおいて、聴覚課題の有無により最も注視時間が長かったハザードについて、注視時間に変化が生じたかを表1に示す。この表によると、図3に示す左折・右折シーンではあまり変化が見られないが、直進シーンの歩行者1に対しては、注視時間が低下したことがわかった。

Table 1 Comparison of gaze duration for main hazard between without task condition and with task condition

	◎: p<.01	○: p<.05	△: p<.10	×: NS
	Turn left (Pedestrian1)	Turn right (Car)	Go straight (Pedestrian1)	
Sub. A	×	×	◎	
Sub. B	×	×	△	
Sub. C	○	△	○	

3-3 不可視なハザードに対する視行動の変化

トラック脇の死角に対する視行動については、解析条件として、ハンドル舵角10度以上切り始めてから交差点を通過するまでにトラック脇を注視した時間と定め、分析を行った。その結果、本被験者において、課題ありの場合に注視時間が有意に低下することが確認できた(図6参照)。駐車車両の陰の死角に対する視行動については、解析条件を”駐車車両手前20mの地点から通過するまでの、駐車車両陰への注視時間”と定め、分析を行った。その結果、課題を課した場合に注視時間が有意に低下することが確認できた(図7参照)。

3-4 注意散漫時の視行動特性の仮説

交差点右折時の自動車と交差点直進時の歩行者1との違いは、自車の走行ラインと直接的に干渉するかどうかである。直進時に事故が起きるとすれば“飛び出し”しか考えられず、そのまま進めば明らかに接触する右折時の自動車よりも注視

Fig. 6 Comparison of gaze duration for truck between without task condition and with task condition

Fig. 7 Comparison of gaze duration for a parked vehicle between without task condition and with task condition

優先度が低いと考えられる。同様に駐車車両の陰という不可視なハザードも、何かが飛び出てくるかもしれない程度の危険であり、注視優先度が低いと予想される。以上より、注意散漫時の視行動は、注視優先度が低いと考えられる顕在的なハザードと潜在的なハザードに対する注視行動が損なわれると仮説をたてた。但し、ここでいう潜在的ハザードとは、危険が顕在化していないハザードとして定義する。

4. 注意散漫時の視行動特性の仮説検証

4-1 実験概要

第3章で立てた注意散漫時の視行動特性の仮説検証のため、潜在的なハザードの代表例として見通しの悪い交差点(図8参照)をDS上に設定し、通常時と注意散漫時で死角部分に対する注視行動に変化があるか検討した。注意散漫の再現には前述の文字数エタスクを与え、各々の交差点を課題の有無の条件でそれぞれ8回ずつ走行してもらい、視線行動を計測した。なお、被験者は学生6名であり、実験内容を十分に説明し、インフォームドコンセントを得ており、東京大学倫理委員会承認のもと実験を行った。

Fig. 8 Situations of blind corner intersection

4-2 実験結果

解析条件を交差点手前30mの地点から交差点を通過するまでに死角部分を注視した時間と定め、分析を行った。なお、死角部分を注視したかどうかの判断は、交差点の角部とドライバー位置を結んだ線より注視点が外側にある場合、注視したと判断した。図9に被験者6名の平均注視時間を示す。図より、課題を課した場合、平均注視時間が有意に低下していることが確認でき、仮説が妥当であることが確認できた。

Fig. 9 Comparison of gaze duration for blind area

5. 注意散漫の程度変化に伴う視行動特性の変化の検討

5-1 実験概要

注意散漫時の程度により、注意散漫時の視行動特性がどう変化するのか検討する。そこで、N-back テスト^[9]を用いることにより、3 段階の異なる注意散漫状態を再現し、DS 上で実験を行った。そのテストは3秒ごとに1桁の数字が音声で提示され、提示直後にn個前 (n=0, 1, 2) に提示された数字を回答する認知負荷課題である。また、3種類のN-back テストにより、3段階の注意散漫状態が再現できているかを確かめるため、萩原らの研究^[11]を参考にNASA-TLX という主観評価法を用いて、それぞれの課題難易度を評価した。実験コースは、第4章で用いた右折・直進コースである。各条件で10回ずつ走行記録、視線移動を記録した。

5-2 実験結果

図10に被験者4名分のNASA-TLX 総合点の平均得点を示す。NASA-TLX 総合点を比較すると、0-back 条件が約2、1-back 条件が約5.5、2-back 条件が約7となっており、課題の難易度通り、被験者も2-back > 1-back > 0-back の順で難しいと感じている。この結果を踏まえ、3段階の注意散漫状態を再現できると判断した。解析条件、実験条件は4章と同様である。代表例として右折シーンにおける被験者3名の死角部分に対する注視時間の推移を図11に示す。0-back と2-back 条件を比較すると、より注意が散漫になる2-back 条件で注視時間が減少している。ただし、段階的に減少するのではなく、ある一定レベルの以上の注意散漫状態になると、潜在的ハザードに対する注視行動が損なわれる可能性がある。

この現象をドライバの情報処理モデルを基に考察する。運転時のドライバが処理できる総情報量は、個人内では一定であると言われ、それを操作行動、視認行動、余裕部分として図12のように表わされる。程度の低い注意散漫状態では、余裕部分が残る通常時と同じ視認行動を取るが、余裕部分がなくなる程の注意散漫状態になると、視認行動の配分が減り、注視時間に影響すると考えられる。

Fig.10 Comparison of average of NASA-TLX

Fig.11 Transition of gaze duration for blind area

Fig. 12 Transition of information processing capacity

6. まとめ

運転時の注意散漫状態検出に向けて、ドライバの視行動に着目し、道路環境上のハザードと視行動の対応関係を実車実験、シミュレータ実験によって検討した結果、以下に示す知見を得た。

- ・ドライバは道路環境上のハザードに対してリスクを見積もり、その大きさに応じて注視時間を決定している。
- ・注意散漫時の運転は、注視優先度が低いと考えられる顕在的ハザードと潜在的ハザードに対する注視行動が損なわれる傾向にある。
- ・潜在的ハザードに対する注視時間の減少は、注意散漫の程度が一定レベルを超えた時に初めて起きる現象である。

今後は被験者の数、高齢者等の属性を増やした上で実験を行い、視行動特性の検証を行っていく必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、日産自動車総合研究所・モビリティ・サービルの皆様には、多大なる協力を頂きました。心よりお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 警察庁交通局, 平成 21 年中の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締り状況について, pp.24, (2010).
- (2) 川喜田英士他, ドライビングシミュレータを用いた追従走行時における暗算タスクがドライバの生体信号及びペダル操作に及ぼす影響評価, 信学技報, No.107-556, pp.53-58, (2008).
- (3) 秋山知範他, 視点移動の解析によるドライバの漫然状態検出, ヒューマンインターフェースシンポジウム論文集 2005, pp.345-350, (2005).
- (4) 内田信行他, 携帯電話会話時における運転者の注意状態評価について, 国際交通安全学会誌, Vol.30, No.3, pp.57-65, (2005).
- (5) 水谷健太郎他, 自動車運転における運転者の認知的情報処理モデルによる異常検出の検討, 日本認知科学大会, pp.161-164, (2004).
- (6) 大森隆司他, 危険予測に基づくドライバーの視線移動モデル, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.1-09, pp.17-20, (2009).
- (7) 國分三輝他, ドライバのリスク感受特性分析, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.5, No.1, pp.27-36, (2003).
- (8) 松尾治夫, 単眼カメラによる実車走行環境における開閉眼判定と視線推定, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.135-07, pp.17-22, (2007).
- (9) 中田透他, 注意散漫と道路環境が眼球停留関連電位に与える影響, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.65-10, pp.13-18, (2010).
- (10) Sandra G Hart 他, Development of NASA-TLX(Task Load Index):Results of Empirical and Theoretical Research, Human Mental Workload, Elsevier Science Publishers B.V.(North Holland, Amsterdam), pp.139-183, (1988).
- (11) 萩原亨他, メンタルワークロード評価法に基づく運転中の携帯電話利用の影響に関する研究, 国際交通安全学会誌, Vol.30, No.3, pp.66-73, (2005).