

286 運転に対する注意低下の検出のための センサフュージョンアプローチ*

伊藤 誠¹⁾ 稲垣 敏之²⁾

Proactive detection of driver's potentially risky behavior via sensor fusion approach

Makoto Itoh Toshiyuki Inagaki

This paper investigated effects on driver's behavior when a driver is distracted by a secondary cognitive task that demands high mental workload. Two types were found as effects of performing mental arithmetic task on fixations. Both types of effects can be seen in one driver depending on traffic conditions. It has been found that likelihood of occurring type 1 or type 2 effects depends on a driver. With these findings, this paper developed and improved a driver-adaptable algorithm for detection of being in high tension. However, there were several drivers for whom the algorithm did not work well. It is thus necessary to develop a method to detect a driver's psychological state change into risky ones in a sensor fusion manner.

Key Words: Safety, Driver behavior, Preventive safety / Distraction, Sensor fusion ⑬

1. はじめに

交通事故の防止のためには、危険事象が発生したときに回避操作をしなければならないのはもちろんであるが、危険な状態に陥らないようにする必要がある。

たとえば、前方に車線規制があつて他車が自車線に割り込んでくることが予想されるような場合、自車と割り込車との間隔をあけるべく減速操作をあらかじめ行うか、あるいはいつでもブレーキを踏めるよう待機するなどのことが重要となる。このような状況における安全確保のための支援としては、ドライバの動作から意図を推定し、正しく状況認識ができていない場合に警告を発したり、緊急時に安全制御を行うといった、状況と意図に応じて支援を動的に変更する必要がある²⁾。具体的な支援の一例は、文献(3)で論じられている。

周囲に他車が存在しないなどの平穏な状況においては、少しの時間だけわき見をする程度であれば直ちに事故に至ることはない。しかし、長い間運転以外のことへ注意を向け続けると、状況が変化したときに正しく状況認識できない可能性が高まる。危険な状態に陥らないようにするためには、運転行動への積極性の低下を早い段階で検知し、ドライバの状況認識を強化する必要がある。本研究では、運転への積極性の低下を検出する手法の開発に取り組んでおり、本稿ではその現状を報告する。

2. 運転に対する注意低下の検出における フュージョンアプローチの必要性

運転に対する注意低下の様態は多様である。注意のリソースの配分の観点から分類してみると、次のようになる。

(i) 疲労・眠気などにより利用できる注意のリソースの総量が不足している

(ii) 利用できるリソースの総量の不足はないが、運転行動に対して注意の配分が十分でない

ここで、(ii)が顕在化するパターンには、つぎの2通りがありうる。

α : 不必要にわき見をしたり、カーナビやテレビを操作したりするなど、運転以外の行為を実行する

β : 外見上は不必要な行動をしていないが、考え事にふけるなど、運転以外のことに注意を集中している

注意深く運転しているドライバでも、外的事象の発生によってはタイプ β の注意低下に陥りうる。このタイプは、運転タスクに加え、思考を伴う認知タスクが課された状態と考えられることから、ドライバの心的負荷が不必要に高まっていることを検出する問題として帰着できる。

運転中の心的負荷の高まりを検出する手法は、すでにさまざまな取り組みがなされている^(4,5,6,9)。ただし、いくつかの指標は、運転支援の形態によっては利用できなかったり、あるいは状況によっては心的負荷の高まりが反映されにくかったりすることから、複数の指標を相補的に用いることが必要である。また、運転行動への積極性の低下を早い段階で検知することは本来難しいものであるため、検出の精度を高める

*2006年5月26日自動車技術会春季学術講演会において発表。

1)・2) 筑波大学大学院システム情報工学研究科リスク工学専攻(305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

ためには、複数の指標を用いる方が望ましい。また、実用性の観点からは、非侵襲で計測できる可能性のある指標の確立が望まれる。

複数のセンサ情報を相補的に利用するという意味では、個々のセンサ情報に基づいてそれぞれに判定を行い、それらの結果を集約して最終判断を下す方がよい。その際、指標の多様性を可能な限り高める必要がある。

本研究では、ドライビングシミュレータ(Fig. 1)において被験者に走行をさせたときの運転行動を解析して、将来的に非侵襲的な方法で計測可能で、なおかつ心的負荷の高まりの検出に利用できる指標の探索ならびにその指標を用いた検出手法の開発を行っている。本シミュレータにおいて、ドライバの行動の評価に利用できるデータの例を以下に示す。

- ・ アクセル・ブレーキペダル操作量
- ・ 右足位置 (ペダルに触れる前の準備状態をレーザ変位計によって検出する)
- ・ ステアリングホイール操作量
- ・ 着座時座・背面の接触圧分布 (面圧分布センサ)
- ・ 頭部位置・角度 (ヘッドトラッカ)
- ・ 視線方向 (アイマークレコーダ)
- ・ 指尖・耳朶脈波
- ・ 顔の表面温度 (サーモレーサ)

これまでの平穏な交通状況における検討結果^(1,7) から、心的負荷の高まりの検出に利用できる可能性のあるものとしては、視点の停留と座面荷重重心の変化が挙げられる。



Fig. 1 Fixed-based driving simulator

3. 視点の停留と体動にもとづく思考負荷の検出

本稿では、平穏な状態から危険事象の発生までも含む現実的な様々な交通状況において、思考負荷 (ここでは暗算タスク) を課すことによる視点の停留を例に、状況認識能力と運転行動への影響を調べる。また、その結果を用いて、思考負荷が課されている状態を検出する機構を開発する。

4.1 実験の方法

10名の大学・大学院生が実験に参加した。道路環境は、片側2車線で、直線路と、ゆるやかなカーブ (R800, R2000) と

で構成されている。被験者には、高速道路上で左車線を維持して安全に走行することを課す。

すべての被験者に、1回6分の走行を32回行わせる。そのうち半分の16回の走行において、走行開始後[2,6]分の間に暗算 (MA) タスクを課す。暗算タスクは、3秒ごとに、「5+8は？」と問いかける音声で提示され、被験者がそれに口頭で回答する形式で行わせる。

実験は、1日8走行で4日間かけて行われる (Table 1)。実験の初日には、教示ならびにシミュレータに慣れさせるためのトレーニングを実施する。

Table 1 Schedule of the experiment

Day	1								2		3		4	
Run	1	2	3	4	5	6	7	8	1	8			1	8
MA	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	N	Y			N	Y

すべての走行が終了したあとで、各被験者にアンケートとインタビューを行う。ここでは、つぎの4つの質問に9段階のスケールで答えさせた。すなわち、暗算タスクのない走行とくらべて暗算タスクのある走行における、(Q1) 運転の困難さ、(Q2) 前方への注意の払いやすさ、(Q3) 側方への注意の払いやすさ、(Q4) 後方への注意の払いやすさ、である。

4.2 実験の結果と考察

Fig. 2は、運転の困難さに関する主観評価の結果である。暗算タスク自体は一桁同士の加算の暗算という簡単なタスクであるにもかかわらず、走行中に課されることによって、主観的には運転操作を困難にさせている。とくに、側方や後方へ注意を向けるのが難しくなっていることが伺われる。

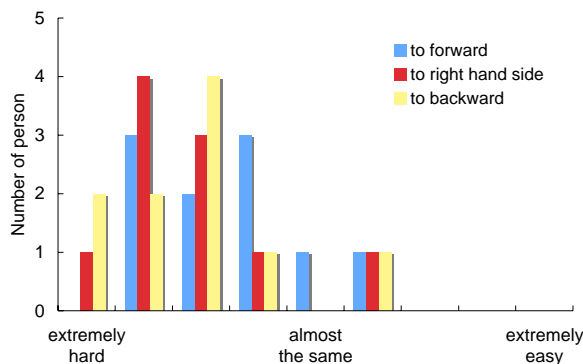


Fig. 2 Subjective rating of difficulty in driving when MA task is imposed. (Q2-4)

つぎに、視点の停留への影響を解析する。1回の走行を、2分ごとにフェーズ1, 2, 3に分割し、各フェーズにおいて、各停留の継続時間 (FL) について、1秒以下、1秒から2秒以下、2秒より大、の各区分での度数を調べる (Fig. 3)。フェーズ2, 3における区分1の度数を用いて、暗算タスクの有無を被験者内要因とする分散分析を被験者ごとに行ったところ、10名中

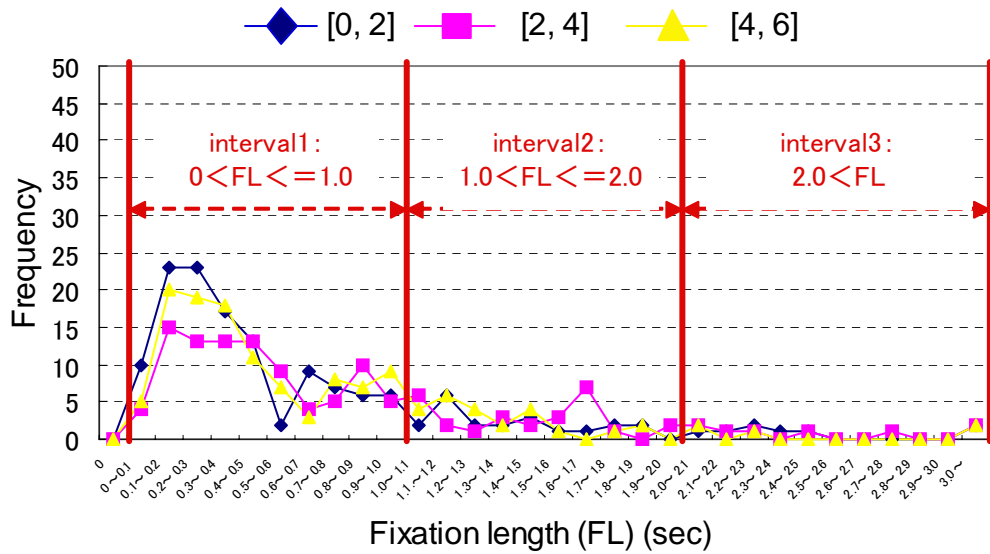


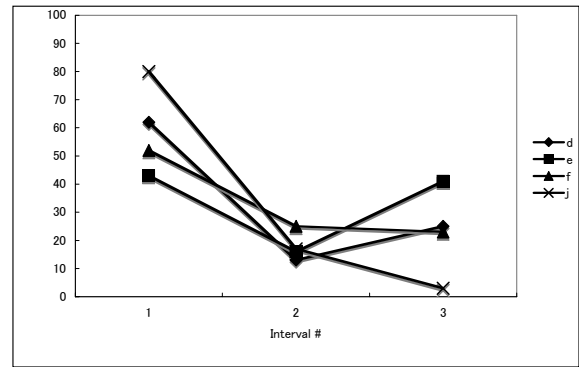
Fig. 3 Categorization of fixation length

7名の被験者で、暗算タスクの有無間での統計的な差異が認められた。ただし、暗算を付加することによって区間 1 の停留の出現頻度が高くなりやすい被験者（傾向 1：被験者 e, f, j）と、逆に区間 2 の停留の出現頻度が低くなりやすい被験者（傾向 2：被験者 a, c, g, j）とに分かれることがわかった。

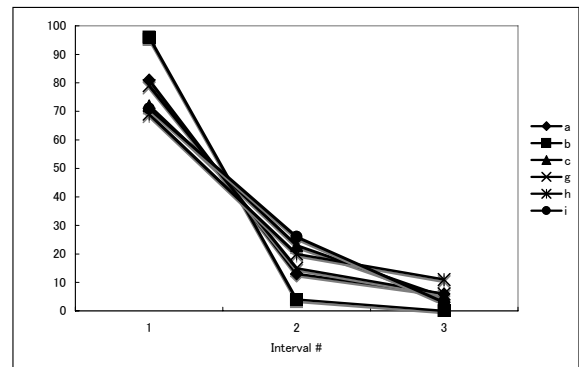
暗算タスクを付加した場合にいずれの傾向が生じやすいかは、通常運転中の視線移動のさせ方に依存するようである。Fig. 4 は、暗算タスクを行っていないときの区間 1-3 の出現頻度の割合を示したものである。傾向 1 の被験者（Fig. 4 (a)）は、傾向 2 の被験者（Fig. 4 (b)）と比べ、区間 1 の停留の出現頻度が小さいようである。このことから、通常運転中の視線移動を観測することによって、あるドライバーがいずれの傾向を示しやすいかを予測できると考えられる。Fig. 4 では、さきの分散分析で暗算タスクの有無による区間 1 の出現度数に差異が見られなかった被験者についても、通常での視線移動のデータから、いずれの傾向に属するかを判定してある。

上の結果を用いて、視点の停留の解析に基づく暗算タスク付加状態の検出アルゴリズムを構築する。 f_i を、全区間に占める区間 1 の停留の発生の割合とする。暗算タスクのない場合に、 f_i が、平均 m 分散 s^2 の正規分布に従うものとする。ここで、 $[m - s, m + s]$ を「通常状態」と定義する。暗算タスクを付加することによる傾向 1 の影響とは、 f_i が $m + s$ を超えることであると考える。逆に、傾向 2 の場合は、 f_i が $m - s$ を下回ることに相当する。これらのことから、検出アルゴリズムとして、次のものを考えることができる。

アルゴリズム 1 (original) : “傾向 1(2) の人について、過去 2 分間のデータから算出された f_i が $m + s$ をこえる ($m - s$ を下回る)ならば、暗算タスクを実施していると判定する。”



(a) Type 1



(b) Type 2

Fig. 4 Proportions of fixations in intervals 1-3 to all under no-mental-arithmetic condition.

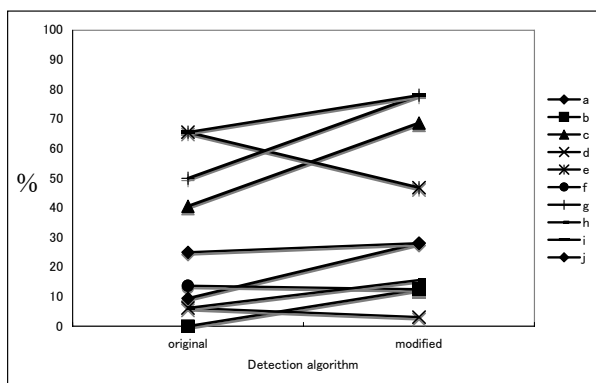
このアルゴリズム 1 を、本実験で得られたデータで検証したところ、Fig. 5 左に示すとおりとなった。アルゴリズムの性質上、約 15%の誤検出を見込まねばならないことからすると誤検出は総じて妥当なレベルであるものの、検出率も低い。これは、暗算タスクなしでの分布と、暗算タスクありでの分

布とが大きく重複していることに起因する，すなわち暗算タスクの検出は本来困難なものであり，フュージョンアプローチが必要であることの証左といえる。

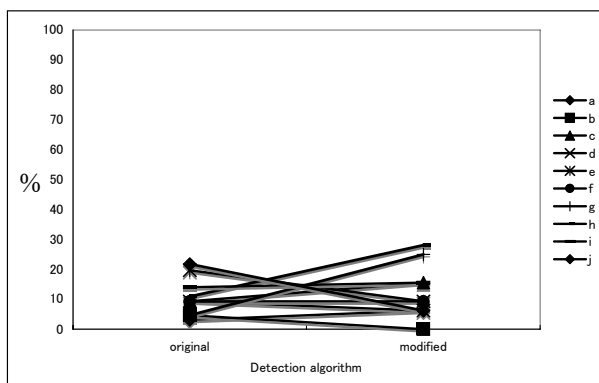
ただし，アルゴリズムのチューニングにより，ある程度の検出率の向上は可能である．走行ごとに視点移動の頻度が異なることが考えられることから，1回の走行において基準を設定し，それに対する増減で判断することを試みる．すなわち， Δf_i を，フェーズ1とフェーズ2（もしくは3）との f_i の差を表すものとし， Δf_i が平均 m' 分散 s' の正規分布に従うものとする．このとき，アルゴリズム2をつぎのように定める．

アルゴリズム2 (modified) : “傾向 1(2) の人について，過去 2 分間のデータから算出された Δf_i が $m' + s'$ をこえる ($m' - s'$) を下回る)ならば，暗算タスクを実施していると判定する.”

このアルゴリズムにより，Fig. 5 右のような結果となった．多くの被験者で，誤検知を低く抑えつつ，検出率を高めることができていくことがわかる．さらにチューニングを施すと，被験者 e, c, g, j の4名については，検出率約 60-90%，誤検出率約 5-17%まで検出性能を高めうる結果も得ている．



(a) Hit rate



(b) False alarm rate

Fig. 5 Comparison between Algorithms 1 and 2

4. おわりに

視線データ解析により，被験者によっては 90%近い割合で暗算タスクの実行を検出しようことが明らかとなった．しかしながら，依然として検出率が 50%にも到達しない被験者も

多く，これらの被験者に対しては，別の指標を用いることを検討しなければならない．これに対して，着座姿勢の座面の荷重重心の変動などを利用して，これらの指標での解析結果を総合させることを検討する必要がある．ただし，平穏な状況では荷重重心位置は心的負荷の変化に対して敏感であるが，やや複雑な交通状況では，ペダル操作などによって重心位置が影響を受けるため，適切な前処理を施さないと必ずしも検出まではうまくいかないことがわかっている⁽⁸⁾．

これまでの検討により，個々の指標の有効性と限界が明らかになりつつあることから，今後は複数の指標を組み合わせることによる検出精度の向上が課題となる．

謝 辞

この研究は，平成 17 年度文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型プロジェクト「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」の一部として行われたものである．また，実験の実施・データ解析に貢献をしていただいた秋山知範君，永作浩君に謝意を表す．

参 考 文 献

- (1) 秋山，他：視点移動の解析によるドライバの漫然状態検出，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005 論文集，Vol. 1, pp. 345-350, 2005
- (2) 稲垣敏之：状況・意図理解によるリスクの発見と回避，ヒューマンインタフェース学会研究報告集，Vol. 7, No. 1, pp. 13-18, 2005
- (3) 稲垣，伊藤：運転行動モニタリングによるアダプティブ・オートメーション，自動車技術会 2006 年春季大会 (2006)
- (4) 内田，他：両眼視線計測による対話タスクの運転への影響評価，計測自動制御学会システム・情報部門講演会 2005 講演論文集，pp. 128-133 (2005)
- (5) 榊原，田口：頭部動揺量を用いたドライバ状態推定，計測自動制御学会システム・情報部門講演会 2005 講演論文集，pp. 163-167 (2005)
- (6) 清水，他：生体計測によるドライバのメンタルワークロード推定，計測自動制御学会システム・情報部門講演会 2005 講演論文集，pp. 134-136 (2005)
- (7) 永作，他：体動情報に基づくドライバの漫然運転リアルタイム検出，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005 論文集，Vol. 1, pp. 351-356, 2005
- (8) M. Itoh, et al.: Analyses of Driver's Body Movement for Detection of Hypovigilance due to Non-Driving Cognitive Task, Proc. IFAC-CTS (2006) (submitted)
- (9) O. Nakayama, et al.: Development of a Steering Entropy Method for Evaluating Driver Workload, SAE Technical paper series, 1999-01-0892 (1999)