

原著論文

道路交通環境によるタスクディマンドの推定手法

○佐藤 稔久¹⁾, 赤松 幹之¹⁾

¹⁾(独)産業技術総合研究所 ヒューマンライフテクノロジー研究部門

田中 敦²⁾, 畑田 淳²⁾, 傳田 志哉²⁾

²⁾クラリオン株式会社 マーケティング戦略本部

石井 隆昭³⁾

³⁾株式会社日立製作所 デザイン本部

Estimation Method of Task Demands in Road Traffic Environments

○Toshihisa SATO¹⁾, Motoyuki AKAMATSU¹⁾

¹⁾Human Technology Research Institute,

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Atsushi TANAKA²⁾, Jun HATADA²⁾, Yukiya DENDA²⁾

²⁾Marketing Strategy Division, Clarion Co., Ltd.

Takaaki ISHII³⁾

³⁾Hitachi, Ltd., Design Division

Abstract: This study investigates the estimation method of task demands in road traffic environments. We applied occlusion methods to quantitatively measure task demands while driving. First, four kinds of occlusion methods were compared to estimate task demands when following a lead vehicle and while driving without the lead vehicle: (1) depression of a switch allowed the road scene to be viewed for 0.6 seconds, (2) depression of a switch blanked out a driver's vision for 1.5 seconds, (3) The driver was allowed to view the road while depressing a switch, and (4) The driver's vision was blanked out while depressing a switch. Driving simulator experiments suggested that the differences in the proportion of the time that the driver views the roadway between the two conditions were higher in the occlusion methods (2) and (4), implying that these two methods were sensitive to the differences of the task demands between the car-following and the solo driving. Then, the task demands in road environments (straight roads, curves, etc.) were estimated using the two occlusion methods. We discussed which occlusion method was more appropriate to find locations where a driver could operate navigation systems.

Keywords: Occlusion method, Task demand, Road traffic environment and Driving simulator

キーワード: オクルージョン法, タスクディマンド, 道路交通環境, ドライビングシミュレータ

1. はじめに

カーナビゲーションシステムの主な機能は、目的地に到着するまでにどの道を通るのかに関するドライバーの意思決定タスク(右左折する交差点の決定や同定等)を支援することである。日本では1981年に最初に市販されて以降、今では車両の標準装備の一つと言っても過言ではないほど多くの車に搭載されている[1]。今後の車車間、路車間通信の実用化に伴い、経路に関する支援情報のみではなく、経路近隣のお店の情報等、運転タスクに直接関わらないような多種多様な情報をドライバーへ提供することができるようになる。ここで、これらの情報が運転制御タスクの遂行には悪影響を及ぼさないことが、安全運転を実現する上で重要となる。そのためには、提供

2013年2月1日受理。(2013年3月7日シンポジウム「モバイル'13」にて発表)

された情報に対してドライバーが適切に対応可能な状況や状態、すなわち、運転に余裕がある時に、その余裕に応じた情報の授受が行われることが望ましい。

しかし、これまでに作られた車載機器の指針は、日本自動車工業会の画像表示装置ガイドライン第3版[2]での総視認時間8秒や、SAE Recommended Practice J2364[3]での総操作時間15秒という単一基準であり、運転中に変化する運転の余裕度は考慮されていない。これは、運転中の余裕度の測定方法が確立していないためと考えられる。

ドライバーの運転余裕度を定める要因として、ドライバーの内的要因と外的要因の2つに大別することができる。内的要因とは、ドライバー自身の状態が車載機器とのインタラクションが可能な状態にあるのかを検討するものである。ドライバーの疲労や覚醒度の低下が代表的であり、生理指標データによる検知手法等の研究が行われている(例えば[4])。一方、外的要因とは、車載機器からの情報の送受信が可能な道路交通環境に自車がいるのかを検討するものである。道路交通環境の物理的要因に着目し、風景画像の要素からその環境

における負荷を推定する等の研究が行われている[5].

1.1 道路交通環境のタスクダイヤモンド

本研究では、外的要因を取り上げ、運転時におけるタスクダイヤモンドを推定する手法を検討する。運転時のタスクダイヤモンドとは、「あるドライバーが目指すパフォーマンスレベルを達成するために必要と感ぜられる注意の量や配分、情報処理の深さや行うべき操作内容」と本研究では定義する。

タスクダイヤモンドは常に一定ではなく、直進、カーブ、交差点等の道路構造や、先行車や隣接車両の動き、道路ユーザの多さ等の交通状況の変化に応じてダイヤモンドも変化する[6]. また、同じ道でも車速によってダイヤモンドは変化する。例えば、速く走っている時、横からの飛び出し車両に対して早い反応が求められるが、速度が遅い場合は回避可能な時間が長くなるように、高車速ほどダイヤモンドは高いといえる。さらに、同じ車速であっても、慣れていない道を走る時はダイヤモンドを高く感じて色々なところに注意を向けるが、物理的に同じ道路交通環境でも(道幅、先行車との距離等)、通勤等でいつも走っている道では、そのドライバーにとってダイヤモンドは低く、それほど周りに注意を向けていないというように、同じ環境でもダイヤモンドは異なると仮定される。

このように、道路交通環境の物理的要因のみではなく、様々な要因からダイヤモンドは変化するといえ、運転中のドライバーの余裕に影響する外的要因の測定方法を確立するための障壁の一つと考えられる。

1.2 視界遮断法(Occlusion method)[7]

本研究では、運転時の道路交通環境のダイヤモンドを推定する方法として視界遮断法を用いた。視界遮断法とは、前方視界の表示(Open)と非表示(Close)を、スイッチを押す等のドライバー自身のリクエストで、あるいは周期的に切り替えることで、外部環境のダイヤモンドを推定する方法である。ドライバーは、視覚等を通じてダイヤモンドを知覚し、行動を決定してタスクを遂行する。ここで、ドライバーがタスク遂行に必要と判断した視覚情報の取得量からダイヤモンドの量を推定する。

視界遮断法は、1960年代に Dr. John W Senders によって初めて実路にてデモンストレーションされた[8]。その後、ドライビングシミュレータを用いた様々な実験が行われており、カーブ曲率とカーブ変位角によるダイヤモンドの変化、年齢により取り得るダイヤモンドの違い等の検討が行われている[9]。近年では、車載機器のインタフェースデザインによるダイヤモンドを評価する手法としても用いられており、前述の日本自動車工業会による画像表示装置ガイドラインにおいて、走行中に許容されない車載機器の操作内容の規定として視界遮断法での測定時間が挙げられている[2].

1.3 視界遮断法での Open/Close の方法

道路交通環境のダイヤモンドを計測するために、通常は前方

視界を Close にしてドライバーのリクエストで視界を Open にする視界遮断法が、これまでの研究では主に用いられた。しかし、前述のようにダイヤモンドは様々な要因により変化するため、この方法が必ずしも最適とは限らない。

前方視界の Open/Close の方法としては、次の 4 種類が挙げられる。ここで、前方視界が Close とは、ドライバーが車載機器を見ている時と解釈できる。運転中の車載機器とのインタラクションにおいて、各 4 種類の視界遮断法がどのような状況に相当するのかを次のように仮説を立てた。

- 前方視界を通常 Close にして、ドライバーのリクエストで一定時間(例:0.5秒)Openにする方法:車載機器の操作など車内に主に注意を向けながら、前方をちらちらと見ている状況
- 前方視界を通常 Open にして、リクエストで一定時間(例:1.5秒)Closeにする方法:運転中、主に前方に注意を向けている中で、車載機器など車内を多少視認しても大丈夫と確信の持てる状況
- 通常 Close にして、リクエストしている間(スイッチを押している間)Openにする方法:車載機器に注目しているが、どうしても前を見なければならぬ状況
- 通常 Open にして、リクエスト中 Closeにする方法:前方を見ながらの走行中に、前を見なくても危険な事態に陥らないと確信の持てる状況

1.4 視界遮断法でのダイヤモンドの数値化の方法

これまで視界遮断法を用いた研究では、ある区間で前方を見ていた(Open)時間の比率をダイヤモンドの値と定義している[10]。そのための指標としていくつか提案されているが、本研究では、以下の式を視界開放率として、上記 4 種類の視界遮断法の比較検討に用いた。

$$\begin{aligned} \text{視界開放率} &= \sum \frac{\text{前方視界の Open 時間}}{\text{あるリクエストから次のリクエストまでの時間}} \\ &= \frac{\text{解析対象区間での Open 時間の合計}}{\text{解析対象区間での走行時間}} \end{aligned}$$

1.5 研究目的

本研究では、視界遮断法の Open/Close の方法に着目し、先行車の有無と道路構造の違い(直進、カーブ、合流等)によるダイヤモンドの変化に対して感度の高い(変化を検知可能な)視界遮断法を明らかにすることを目的とする。先行車の有無や道路構造の違いによって視界開放率の差が大きい視界遮断法を、ダイヤモンドの変化に対する感度が高いと定義する。

初めに、4 種類の視界遮断法を用いて先行車の有無による視界開放率を比較し、先行車の有無によるダイヤモンドの変化を検知可能な方法を検討すると共に、各手法が道路交通環境によるダイヤモンドのどのような側面を評価しているのかを検討した。続いて、先行車の有無による違いを検知できた視界遮断法を用いて、多様な道路環境を有する首都高速道路を走行場所とし、カーブ、合流等の道路環境の違いによるダイヤモンドの変化を検知可能か検討した。実験は全てドライビング

シミュレータにて実施した。

2. 先行車の有無を検知可能な視界遮断法の検討

2.1 ドライビングシミュレータ

実験には、産総研所有のドライビングシミュレータを使用した(詳細は[11]参照)。ドライバーは、実車と同様にステアリング、アクセル・ブレーキペダルを操作する。自車の位置座標や車速、先行車との距離などの運転行動データは、サンプリングレート 60Hz でホスト計算機により記録される。

視界遮断法でのドライバーによるリクエストは、ステアリングに配置したスイッチにより行った。ドライバーは、ステアリングを握りながら親指でスイッチを操作した。前方視界の Close では、スクリーンに映し出される映像を全て灰色にすることで、視界を遮断した。

2.2 走行ルート

直進区間とカーブ区間を組み合わせた郊外道路を走行ルートとした。全長は約 5,400m で、車速 60km/h の一定車速での走行で約 5 分 30 秒の走行時間であった。2 車線道路であったが、ドライバーは左車線のみを走行した。なお、スタートから 800m は、車速 60km/h までの加速と指定の車間距離に合わせる区間とし、また、ゴール前の 200m は、終了のために減速して停止する区間として、両区間を解析対象からは除いた。その結果、解析対象区間は約 4,400m であった。

2.3 走行条件

車速条件は 60km/h の 1 種類とし、交通条件として先行車有りとし先行車なしの 2 条件とした。本実験での先行車有り条件は、先行車への追従タスクを想定し、先行車なし条件は、一定車速での道路線形に沿った単独走行タスクと想定した。後述のように、スピードリミットの設定により一定車速を容易に実現できるようにしており、先行車有りの方が先行車なしに比べてダイヤモンドの高いタスクを模擬することを意図した。

先行車有りの場合、車間距離を 25m に設定した。実路のバイパス道における先行車追従状況での Time Headway (THW = 車間距離 / 車速) の分布を分析したところ (25~57 歳のドライバー 13 名、合計追従時間 2 時間 20 分)、THW1.0~2.0 秒で約 60% の走行時間を占めていた。また、同じ実路での追従場面での先行車との相対速度 0m/sec 時における平均車間距離 (ドライバーの望む先行車との車間と示唆される距離[12]) は約 26.2m であった。そこで、THW1.5 秒を基準とし、車速 60km/h で THW1.5 秒である車間距離 25m を実験で用いる車間距離とした。実験では、先行車の車速は 60km/h 一定ではなく、おおよそ 57km/h~62km/h の範囲内で変動させた。

本実験では、車間距離を保つために、車間距離が 22m よりも短くなる、もしくは 28m よりも長くなった場合にスピードメータ上部にアイコンを提示し、また音声を与え、車間距離が短い/長いことをドライバーへ知らせた。車速を保つために、スピード

リミットを設定し、アクセルペダルを踏み続けても 63km/h 以上 (先行車との車間距離を調整できるように、先行車の最高車速よりも高い車速に設定) に速度が上がらないようにした。

2.4 実験で用いた視界遮断法

本実験では、以下に示す 4 種類の視界遮断法を用いた。

【リクエストで 0.6 秒 Open】前方視界を通常 Close にしてドライバーのリクエストで 0.6 秒間 Open にする (0.6 秒は、車載機器操作中での前方への視認停留時間の分布から、約 80%ile 値を採用した[13])

【リクエストで 1.5 秒 Close】通常 Open にしてリクエストで 1.5 秒間 Close する (前述の画像表示装置ガイドラインで用いられている車載機器への 1 回あたりの視認時間 1.5 秒を採用した)

【リクエスト中 Open】前方視界を通常 Close にし、ドライバーのリクエストしている間 Open する

【リクエスト中 Close】通常 Open にし、ドライバーのリクエストしている間 Close する

本実験では、スイッチを 1 回押すことはリクエスト 1 回とした。すなわち、リクエストで 0.6 秒 Open とリクエストで 1.5 秒 Close の場合、強制的に Close または Open に戻った後、次に Open または Close するためには、再度ドライバーのリクエスト (スイッチを押す) が必要であり、スイッチを押し続けても強制的に Close または Open に戻るようにした。

2.5 実験参加者

実験に参加したドライバー数は 8 名であった。平均年齢は 36.3 歳 (27~42 歳) で、男女比率は半々であった。実験参加者全員とも、定期的に運転しているドライバーであった。

2.6 実験手順

実験参加者は、初めにドライビングシミュレータに慣れる目的で、実験に用いる走行ルートを 1 回走行した。続いて、各視界遮断法を 1 回ずつ練習走行した。そして、先行車なしで各視界遮断法での計測走行を行い、次に先行車有りでの各視界遮断法の計測走行を実施した。視界遮断法の実施順序は、実験参加者間でランダムに設定した。

実験参加者には、おおよそ車速 60km/h を維持した走行のできる範囲で、また、先行車有りの条件の場合には、車速の維持に加えてある範囲内の車間距離を維持した走行のできる範囲で、ステアリングのスイッチを押してリクエストすることと教示した。毎回の走行前に、各回で実施する視界遮断法の具体的な内容を説明し、リクエストに応じてどのように前方映像が切り替わるのかを実験参加者が理解した後、走行実験を開始した。

2.7 実験結果

各視界遮断法、各先行車条件での実験参加者の車速の結果および車間距離の結果を表 1 に示す。スピードリミットとして車速 63km/h としたため、先行車なしの方が平均車速は高い

ものの、先行車有り条件の中で、また先行車なし条件の中で、4種類の視界遮断法毎の車速および車間距離に有意な差は見られなかった。表1より、どの視界遮断法でも、指定の車速及び車間距離をおおよそ維持して走行したことが示された。また、全実験参加者とも、車線を逸脱することはどの条件においても見られなかった。

各視界遮断法、各先行車条件での視界開放率の結果を図1に示す。視界開放率を従属変数、視界遮断法と先行車条件を説明変数とした分散分析の結果、有意確率1%で視界遮断法の主効果が見られ、先行車条件の主効果は有意確率 $p=0.07$ であった。両先行車条件とも、リクエストで0.6秒Openに比べて他の方法での視界開放率が高かった。通常OpenでリクエストによりCloseとなる視界遮断法の2手法では、先行車有無の差が大きい結果であった。

表1 車速および車間距離の平均値と標準偏差

視界遮断法	先行車条件	平均車速 (km/h)	標準偏差	平均車間距離(m)	標準偏差
リクエストで0.6秒Open	先行車有り	60.78	0.11	26.78	2.01
リクエストで1.5秒Close	先行車有り	60.80	0.04	25.51	1.36
リクエスト中Open	先行車有り	60.82	0.17	25.71	1.65
リクエスト中Close	先行車有り	60.76	0.05	25.67	1.11
リクエストで0.6秒Open	先行車なし	62.26	1.20		
リクエストで1.5秒Close	先行車なし	62.38	0.87		
リクエスト中Open	先行車なし	62.26	0.88		
リクエスト中Close	先行車なし	62.45	1.00		

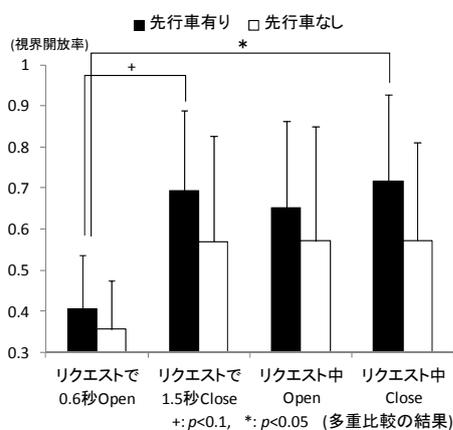


図1 4種類の視界遮断法での視界開放率の結果

2.8 考察

リクエストで0.6秒Openの方法は、先行車の有無によらず4種類の視界遮断法で視界開放率が最も低く、環境から入手した視覚情報は最も少ない結果であった。これは、リクエストで0.6秒Openは車載機器により集中して前方をちらちら見ている状況という1.3節での仮説を支持する結果であり、最小限の運転パフォーマンスレベルの達成を目指したと想定される。ここで、4種類の視界遮断法での車速や車間距離の結果に差は見られなかったことから、リクエストで0.6秒Openの方法では、ここでの車速および車間距離維持タスクを遂行可能な最小限の視覚情報獲得が行われたものと考えられる。

運転制御成績は同じであっても、ドライバー自身が目指す

運転パフォーマンスによって、そのドライバーにとって必要な視覚情報は変わり、より注意を向ける範囲を広げる等の行動変化が表れると仮定される。リクエスト中Openの方法では、リクエストで0.6秒Openに比べて先行車なし条件で視覚情報獲得量が多い結果であった。リクエスト中Openではどうしても前を見なければならない状況と仮定したが、最小限の視覚情報よりも多くの情報を獲得していたといえ、より安全にスムーズに運転タスクを遂行するための情報獲得(必要最小限の情報量+安全性やスムーズさを実現するための情報量)を行っていたと考えられる。ドライバー自身がOpen時間を調整できる視界遮断法では、必要最小限よりも多くの情報を求めていたと思われる。

リクエストで0.6秒Openとリクエスト中Openは、通常Closeであることから車載機器操作にプライオリティを置いている状況であり、一方、リクエストで1.5秒Closeとリクエスト中Closeは、運転にプライオリティを置いていると仮定した。先行車なし条件でのリクエストでCloseの2手法の視界開放率は、リクエスト中Openとほぼ同じであり、両手法ともより安全でスムーズな運転パフォーマンスを目指したといえる。

リクエストで0.6秒Open以外の3種類の視界遮断法における先行車の有無による視界開放率を比較すると、リクエスト中Openの方法が、リクエストでCloseする2手法に比べて、差が小さい結果であった。リクエスト中Openは、基本的には車載機器により注目している状況であり、先行車挙動に対してはそれほど注意しておらず、先行車追従に対して求める視覚情報はより小さかったと考えられる。リクエストでCloseする2手法は、運転にプライオリティを置いており、先行車追従タスクにおいてもより確実な車間距離制御を目指し、そのため、獲得したい視覚情報はより大きかったと考えられる。

以上のことから、リクエストで0.6秒Openでは、運転制御での必要最小限のダイヤモンドを測定しており、リクエストでCloseとなる2手法では、より安全でスムーズな運転制御とより確実な車間距離制御のためのダイヤモンドを測定したと示唆される。先行車の有無によるダイヤモンド変化への感度という点では、通常OpenでリクエストによりCloseとなる2手法が、より感度が高いと示された。最小限を達成するためのダイヤモンドよりも、より安全で確実な制御を達成するためのダイヤモンドの方が高く、先行車への追従走行と単独走行間でのダイヤモンドの差は、より安全で確実な制御を目指している方が大きいと示唆される。

3. 道路環境の違いを検知可能な視界遮断法の検討

3.1 実験方法

本実験では、先行車の有無によるダイヤモンドの変化に対して感度の高かった2種類の視界遮断法(リクエストで1.5秒Closeとリクエスト中Close)を用いて、道路環境の違いによるダイヤモンドの変化を検知できるか、また、ダイヤモンドのどのよう

な側面を検知しているのかを検討する。実験は、前章と同じドライビングシミュレータを用いて実施した。

首都高速道路の6号向島IC付近から都心環状線内回りを經由して3号渋谷IC付近までの区間で、現実と同等の道路構造および風景を有する道路データベースをドライビングシミュレータに構築した。この道路データベースの中で、6号線の駒形PA付近をスタート地点とし、4号新宿線への分岐地点までを走行コースとした(図2参照)。走行コースの全長は約7500mであった。車速60km/hの一定車速での走行で約8分の走行時間であった。

車速条件は60km/hの一種類とし、異なる道路環境における視界開放率の違いに着目するため、車速調節を容易にできるようにスピードリミットを設定し、アクセルを踏み続けても60km/h以上に速度が上がらないようにした。本実験では道路環境によるディマンドのみに着目するため、先行車は無しとした。

実験参加者は前章に示した参加者を含む21名(男性10名、女性11名)のドライバーであった。平均年齢は38.3歳(22~58歳)で、ほとんどのドライバーがほぼ毎日運転しているドライバーであった。運転経験は、10年未満が5名、10年以上20年未満が8名、20年以上30年未満が7名、30年以上が1名であった。

視界遮断法は、リクエストで1.5秒Closeとリクエスト中Closeという2種類を用い、実施順序は、リクエストで1.5秒Closeを先に実施する群とリクエスト中Closeを先に実施する群を実験参加者間で約半数ずつとした。

実験手順は、2章の検討実験と同じであった。実験参加者には、車速60km/hを維持した走行のできる範囲でステアリングのスイッチを押してリクエストすることと教示した。視界遮断法の内容については、毎回の走行前に教示した。また、目的地は新宿方面であることを事前に伝え、走行中、経路誘導は行わず、実験参加者自身が標識を見て経路を選択した。

3.2 実験結果

各視界遮断法での車速の結果は、リクエストで1.5秒Closeでは平均車速59.54km/h(標準偏差:1.05)、リクエスト中Closeでは平均車速59.85km/h(標準偏差:0.34)であった。2種類の視界遮断法で車速の取り方に有意差は見られず、走行ルート中ほとんどの区間で、車速60km/hを維持して走行したことが示された。

首都高速道路での各道路環境別に視界開放率を算出した。ここでは、直進、カーブ、合流、分岐、トンネルの5種類の道路環境を対象とした。抽出した地点を図2に示す。直進は3ヶ所、カーブは8ヶ所、合流は8ヶ所、分岐は4ヶ所で、トンネルは入口と出口を分けて1ヶ所ずつとした。視界開放率の算出方法は、カーブは緩和曲線の開始の50m手前からカーブ終端までの区間で視界開放率を算出した。合流と分岐は、地

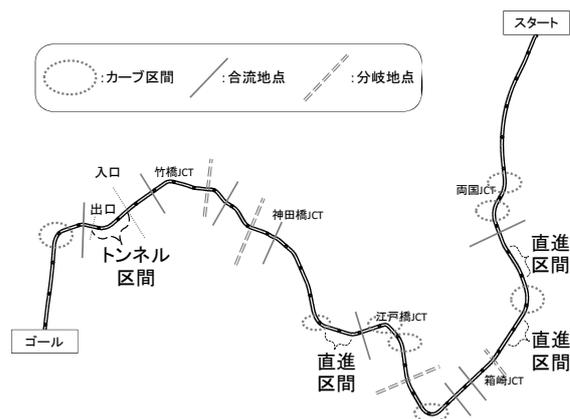


図2 首都高速道路の走行ルートと視界開放率の算出場所

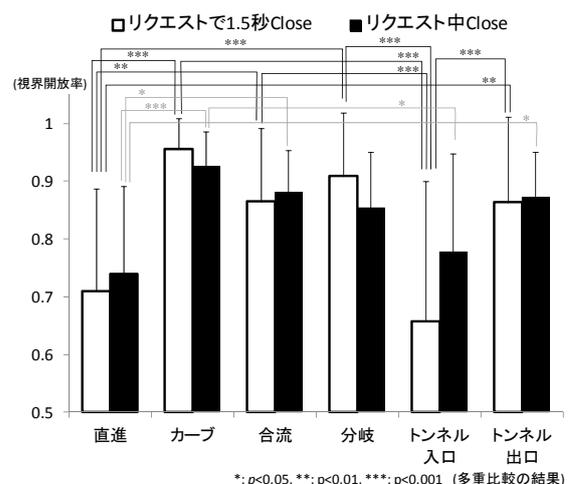


図3 道路環境別の視界開放率の結果

図上での合流/分岐開始地点から前後50m区間の視界開放率を算出した。トンネルは出入口それぞれの開始地点から前後50m区間の視界開放率を算出した。

各視界遮断法での道路環境別の視界開放率を図3に示す。直進、カーブ、合流、分岐は該当箇所の平均を算出した。図3は、実験参加者間の平均と標準偏差である。視界開放率を従属変数、視界遮断法と道路環境を説明変数とした分散分析の結果、有意確率0.1%で道路環境の主効果が見られた。

どちらの視界遮断法においても、カーブでの視界開放率が最も高く、直進とトンネル入口の視界開放率が低い結果であった。トンネルの出入口を比較すると、トンネル入口の方が視界開放率は低く、特にリクエストで1.5秒Closeの方法で低い結果であった。トンネル入口を除いて、2種類の視界遮断法間での視界開放率は、それほど変わらない結果であった。

計測データを走行距離1m単位で区切り、全実験参加者中何名のドライバーがスイッチを押したのかを1m単位で分析した。例として、走行距離800m~1400mの結果を図4に示す。リクエストで1.5秒Closeはスイッチを押してから1.5秒間(車速60km/hで25m)視界が遮断され、リクエスト中Closeは押している間のみ視界が遮断される。リクエストで1.5秒Closeでは、カーブを走行中、全ドライバーがスイッチを押していな

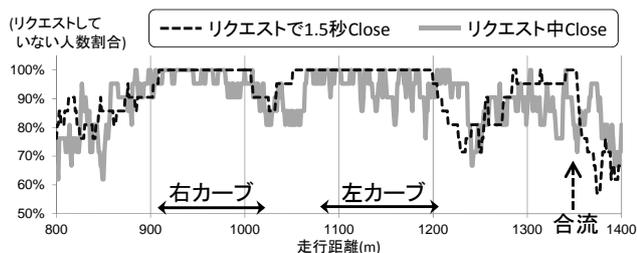


図4 走行距離別のスイッチを押していない人数割合

かったのに対し、リクエスト中 Close の方法では、カーブ走行中でも何名か短い区間でスイッチを押しており、数m程度(0.3秒程度)の非常に短い範囲内で視界を遮断しているドライバーがいた結果であった。また、右カーブ後の左カーブの手前では、リクエストで1.5秒Closeの方がリクエスト中Closeに比べて、約15m程度早い時点からリクエストしていない結果であった。一方、左カーブの終了後や合流の後では、リクエストで1.5秒Closeの方が、より早い時点で多くのドライバーがスイッチを押して、視界を遮断する傾向が見られた。

3.3 考察

両手法での視界遮断を走行距離別に比較した結果、リクエストで1.5秒Closeではカーブ区間中や合流手前ではほぼ全ドライバーが視界を遮断しておらず、視覚情報獲得の要求は高かったと考えられる。リクエストで1.5秒Closeでは、リクエストをすると1.5秒間は前を見ることができないため、カーブのように道路線形を見続ける状況や、合流のように他車の出現に備えて注意を向け続ける状況では、視覚情報を入力し続ける必要があったと考えられる。カーブ後や合流後は、リクエスト中Closeに比べてリクエストで1.5秒Closeの方がより早めに視界を遮断する傾向にあり、リクエストで1.5秒Closeでは、次のカーブや合流に到達する前に視界遮断を戻せるよう早めにリクエストしたと考えられる。一方、カーブ後すぐに次のカーブが連続する状況においては、次のカーブに入る時に視界が遮断されないように、リクエストで1.5秒Closeの方がより早めからリクエストをしなかったと考えられる。このように、ある一定時間、前方からの視覚情報を獲得しなくてもよい地点や情報獲得をする必要のある地点を判断しているといえ、リクエストで1.5秒Closeの方法は、車載機器を操作しても大丈夫と確信を持てる状況と仮説を立てたように、走行中に車載機器操作の可能な地点を特定できる手法と考えられる。

リクエスト中Closeの方法は、前を見なくても危険な事態に陥らないと確信の持てる状況と仮説を立てたが、カーブ中であっても非常に短い範囲内でリクエストをしたドライバーがいたように、カーブ走行中であっても一瞬であれば前を見なくてもよいと感じられた際、視界を遮断していたと考えられる。一方、左カーブ後や合流後の視界遮断の開始はリクエストで1.5秒Closeよりも遅い傾向が見られた。リクエスト中Closeでは、基本的にはより安全な運転パフォーマンスを目指していたと考えられ、カーブや合流というより高い運転パフォーマンスが求め

られる区間を過ぎてから、多くのドライバーがすぐに低いパフォーマンスに切り替えるのではなく、カーブ後や合流後における高い運転パフォーマンスを優先してからリクエストしていたと考えられる。

以上のことから、リクエストで1.5秒Closeは、車載機器操作の可能な道路交通環境のダイヤモンドを測定しており、リクエスト中Closeは、より確実な運転制御を達成するためのダイヤモンドを測定したと示唆される。

道路環境別の視界開放率の比較では、トンネル入口において、リクエストで1.5秒Closeとリクエスト中Closeの差が大きい結果であった。今回のトンネル入口の道路線形は直進であったため、リクエストで1.5秒Closeでは、直進と同じように車載機器の操作可能と想定し、視覚情報の獲得量は直進区間とほぼ変わらなかったと考えられる。一方、トンネル入口は明るさの変化する地点であり、より確実な運転制御を目指すリクエスト中Closeでは、より多くの視覚情報を必要としたと考えられる。トンネルの出口では両手法間で視界開放率に差は見られなかったが、対象としたトンネルでは出口の直前に右カーブがあったため、2手法とも、入口に比べて高いダイヤモンドであったと考えられる。

4. まとめと今後の課題

本研究では、ドライバーのリクエストに応じて前方視界を表示または非表示にする視界遮断法を用いて、道路交通環境におけるタスクダイヤモンドを推定可能な視界の表示/非表示の手法を検討した。検討した4種類の視界遮断法は、運転中の車載機器とのインタラクションの多様な状況を再現していると考えられ、通常非表示でリクエストにより0.6秒間表示する方法は、最小限のタスクダイヤモンドを測定する手法と示唆された。通常表示してリクエストにより非表示にする2種類の視界遮断法は、より安全でスムーズな運転パフォーマンスの遂行を目指している状況と示唆され、より高いパフォーマンスの発揮を目指している状況で、先行車の有無によるダイヤモンドの差を大きく知覚していることが示された。さらに、通常表示してリクエストにより1.5秒非表示にする手法は、走行中に一定時間視界を遮断可能な地点を検知する方法であり、走行中に車載機器の操作可能な地点の検出への適用可能性が示唆された。

今後、先行車追従タスクにおいて先行車が加減速をする状況でのダイヤモンドや、道路環境に加えて、先行車追従タスクや他車とのインタラクションの起こる交通状況でのダイヤモンドを視界遮断法にて検知可能かを検討する。また、車速の違いによるダイヤモンドの変化の検知可能性も検討する。

参考文献

- [1] 池田, 小林, 平野: いかにしてカーナビゲーションシステムは実用化されたか, *Synthesiology*, Vol. 3 (4), pp.292-300 (2010).

- [2] 日本自動車工業会: 画像表示装置ガイドライン 3.0 版 (2004).
- [3] Society of Automotive Engineers: SAE Recommended Practice Navigation and Route Guidance Function Accessibility While Driving (SAE J2364) (2004).
- [4] 小栗: 覚醒低下の段階変化を考慮したドライバの眠気レベル推定, 自動車技術, Vol.66 (2), pp.91-95(2012).
- [5] 倉橋, 他: 車両前方風景に対する視覚的認知の困難さ指標の提案, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2002 論文集, pp.455-456 (2002).
- [6] Fuller, R.: Towards a general theory of driver behavior, Accident Analysis and Prevention, Vol. 37, pp.461-472 (2005).
- [7] ISO: ISO16673-2007 Road vehicles –Ergonomic aspects of transport information and control systems – Occlusion method to assess visual demand due to the use of in-vehicle systems (2007).
- [8] Senders, L.W., et al.: The Attentional Demand of Automobile Driving, Transportation Research Board, Highway research Record No. 195, pp.15-33 (1967).
- [9] Tsimhoni, O. and Green P.: Visual Demand of Driving Curves as Determined by Visual Occlusion, UMTRI, available at <http://www.umich.edu/~driving/publications/VIV-Tsimhoni1999.pdf> (1999).
- [10] Cullinane, B. and Green, P.: Visual Demand of Curves and Fog-Limited Sight Distance and Its Relationship to Brake Response Time, Final Reports for SAVE-IT Phase I, available at <http://www.volpe.dot.gov/coi/hfrsa/work/roadway/saveit/docs.html>
- [11] 赤松, 大貫: ドライビングシミュレータにおけるリアルワールドの再現技術の最新動向, 自動車技術, Vol. 61(7), pp.78-84 (2007).
- [12] Zheng, P. and McDonald M.: Application of Fuzzy Systems in the Car-Following Behaviour Analysis, Wang, L. and Jin, Y. (Eds.) Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, pp.782-791 (2005).
- [13] Chiang, D.P., et al.: On the highway measures of driver glance behavior with an example automobile navigation system, Applied Ergonomics, Vol. 35, pp.215-223 (2004).

著者紹介



佐藤 稔久 (正会員)

2003 年慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻後期博士課程単位取得退学。2004 年博士(工学)(慶應義塾大学)取得。2003 年(独)産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門特別研究員を経て, 2012 年より同所ヒューマンライフテクノロジー研究部門主任研究員。ドライバの運転行動の計測と評価手法, ITS のヒューマンインタフェースに関する研究などに従事。日本人間工学会, ヒューマンインタフェース学会, 自動車技術会, モバイル学会各会員。



赤松 幹之 (正会員)

1984 年慶応義塾大学工学部管理工学専攻博士課程修了(工学博士)。その後, 通商産業省工業技術院製品科学研究所に入所。組織再編に伴い, 生命工学工業技術研究所を経て, 2010 年より(独)産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門研究部門長。同所サービス工学研究センター兼務。国立大学法人筑波大学システム情報系教授(連携大学院)を兼務。主に人間行動計測・モデル化, モバイル機器による行動支援技術の研究などに従事。モバイル学会会長。



田中 敦 (非会員)

1987 年神奈川工科大学工学部電気工学科卒業。現在, クラリオン株式会社にて, 車載システムのヒューマンインタフェースに関する研究開発, ユーザビリティ評価業務に従事。人間中心設計推進機構(HCD-Net)会員。HCD-Net 認定 人間中心設計専門家。



畑田 淳 (非会員)

2003 年神奈川工科大学工学部機械システム工学科卒業。クラリオン株式会社にて, 車載システムの HMI 開発に携わった後, ユーザビリティ評価, HCD 関連業務に従事。



傳田 志哉 (非会員)

2003 年千葉大学大学院自然科学研究科デザイン科学専攻博士前期課程修了。修士(工学)。クラリオン株式会社にて, 車載システムの HMI 研究開発, HCD 関連業務に従事。



石井 隆昭 (非会員)

1996 年東京造形大学デザイン学科造形計画専攻卒業。同年株式会社ジャストシステムに入社し, ユーザーインターフェイスデザイン部署にて勤務。2003 年株式会社日立製作所デザイン本部入社。現在, 同社デザイン本部情報デザイン部に所属する。ユーザーインターフェイスデザインの研究開発に従事。