

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 25 日現在

機関番号：23901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12087

研究課題名(和文) 指差喚呼を応用した危険予知インタフェースの構築

研究課題名(英文) Danger Prediction Interface Using Finger-Pointing and Calling Method

研究代表者

小栗 宏次 (OGURI, Koji)

愛知県立大学・情報科学部・教授

研究者番号：00224676

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、近赤外分光装置(NIRS)を用い安全動作行動時の脳血流解析を行った。ここではドライブシミュレータを利用して自動車運転を模擬し、運転中に安全確認のため指差喚呼を実施することでドライバの脳血流率が増加する効果があり、また覚醒作用があることを確認した。次に危険予知インタフェースとして、自動運転のTake-Over時に指差喚呼を行うことで、周辺確認のための注視点分布の拡大および視線停留時間が向上することを確認した。さらに指差喚呼Take-Overにより道路環境全体の状況確認(Situation Awareness)を誘導し、安全なTake-Overを誘導できる可能性を示唆した。

研究成果の概要(英文)：We propose a driving style with “Finger Pointing and Calling (FPC)” as each driver checks safety on his own, in order to maintain alertness constantly and to reduce human error while driving. We examined the effectiveness of this safety check method by monitoring increase blood flow toward the brain. Additionally we propose “Imagined Pointing and Calling (IPC)”, which has the same effect as FPC, and can be applied in lieu of FPC. We also examined the effect by IPC in the same way. As a result, FPC and IPC increased brain activity and is likely to improve driver’s alertness. Next, it was confirmed that expansion of gazing point distribution and gaze dwell time improves by FPC difference at Take-Over of automatic driving as danger prediction interface. This suggested the possibility of inducing safe Take-Over by inducing Situation Awareness throughout the road environment by FPC designation Take-Over.

研究分野：知的情報処理

キーワード：指差し喚呼 NIRS ドライブシミュレータ 自動運転 Take-Over 状況認識 予防安全

1. 研究開始当初の背景

指差呼称は鉄道の運転員の信号確認動作から始まった日本独特の安全確認動作で、今日ではその安全効果は高く評価されており、鉄道のみならず、自動車運転や建設現場、医療現場など様々な場面で利用されるようになってきている。しかし、指差呼称により人体にどのような影響があり、それによりどのような安全効果があるかなど、詳しい分析はこれまでにほとんどされていなかった。

2. 研究の目的

指差呼称に着目し、以下の2つの課題を実施することを目的とする。

- 2.1 指差呼称による脳機能への影響の分析
- 2.2 指差呼称による安全効果を応用した自動車運転時の危険予知インタフェースの考案

3. 研究の方法

指差呼称による脳機能への影響分析

(1) 指差呼称時の脳血流解析

NIRS を用いて指差呼称時の脳血流を計測し安全動作行動時の脳血流解析を行う。

(2) 自動車運転時の指差呼称の効果測定

ドライブシミュレータを用い、自動車運転を模擬し、運転中にドライバが安全確認のために指差呼称を実施した場合に自動車運転パフォーマンスにどのような影響があるかについて評価検討する。

(3) 指差呼称による安全効果を応用した自動車運転時の危険予知インタフェースとして自動運転における指差呼称 Take-Over がドライバに与える影響を評価する。この際、注視点分布を示す Fixation Map を用いて状況認識評価を行う。

4. 研究成果

(1) 指差呼称の効果検証のための脳血流解析

脳活動の計測には、近赤外分光法(NIRS: near-infrared spectroscopy) を用いて、脳内の神経活動に伴って起こる脳血流動態の変化を捉える。前頭葉は注意集中等に関係し、後頭部の視覚野は視覚的注意に関する箇所であると言われているため、本研究では、前頭葉と視覚野を計測する。

NIRS 信号は解析手法が確立されておらず、多くの知見が存在する。また、NIRS 信号には脳活動とは無関係のアーチファクトが混在するなど多くの問題点が挙げられる。特に計測信号に含まれる皮膚血流変動による影響が問題視されている [1]。これまでの解析手法では、その影響を十分に除去していな

い可能性があるため、解析手法を見直した。本研究では、血流動態分離法を用いて NIRS 信号に含まれる皮膚血流成分を除去する [2]。この手法では、脳機能性血流成分と皮膚血流成分の変動傾向の違いから、二つの成分を分離する。分離前後の波形変化を図 1 に示す。

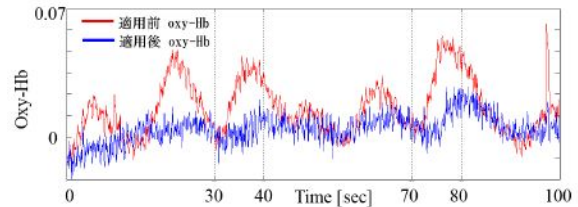


図 1 血流動態分離法適用前後の波形変化

(2) 指差呼称が脳活動に与える影響

まず、これまでに取得したデータに上記血流動態分離法を適用し、再度解析を行った。その結果、一部のデータにおいて皮膚血流の増加を脳活動と捉えていたことが明らかになった (図 2)。また、再度データを取得し、指差呼称行為が脳活動に与える影響を検証した。実験では、ディスプレイに呈示された標識に対して指差のみ、呼称のみ、指差呼称を実施した 3 条件で比較を行った。その結果、今回新たに取得した、3 名の被験者において、特に視覚野において指差呼称時の脳活動が顕著に高められることが確認できた。

(3) 運転時の指差呼称による安全確認

本研究では、運転中の指差呼称による安全確認を提案する。特に、交差点や一時停止箇所などの運転中の危険箇所での実施に着目する。また、実施シーンとして 1 つ目に、一時停止前などのような運転操作時における自身へのフィードバックのための確認動作としての指差呼称、2 つ目に、交差点などの停止時から発進前における周囲の安全確認のための確認動作としての指差呼称の 2 つのシーンが考えられる。各シーンでの指差呼称の実施により、前者は余裕をもった停止行動につながることで、後者では慎重な発進動作につながることを期待する。

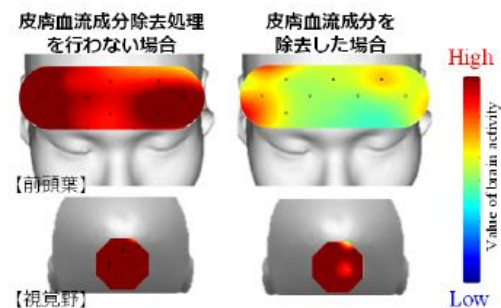


図 2 血流動態分離法適用後の脳活動画像

そこで、本研究ではこれらの効果を検証するための評価指標として、視線情報と運転操作情報を用いる。視線情報では、指差呼称がドライバの目視確認に与える影響を検証するために、視線移動量などの指標を用いる。運転操作情報では、主に、アクセル、ブレーキペダル操作情報と加速度から、指差呼称の実施と運転行動との関連を調べる。

(4) 指差呼称がドライバの運転行動に与える影響

ドライビングシミュレータを用いて、各シーンごとに実験を行った。普段どおりに運転を行う場合と、所定の箇所指差呼称による安全確認を行って運転する場合を比較した。

4.1 一時停止シーン

一時停止シーンを想定した実験では、一時停止行動前に「一時停止、注意」とフィードバックのための確認を指差呼称により実施した。10個の一時停止箇所を含むコースを走行した。なお、被験者は2名で行った。10試行分を加算平均し、評価した。停止前のブレーキ操作のタイミングとして、時間 ($B_{time} = t_2 - t_1$)、距離 (B_{dist}) とともに両被験者で早まる傾向が確認できた (図3, 表1)。

4.2 交差点シーン

交差点シーンを想定した実験では、主に停止時から発進前の安全確認として、「右よし、左よし」と周囲の安全確認を指差呼称により実施した。交差点直進時と右折時を想定したコースで実験を行った。被験者は共に2名で行った。視線移動量を評価した結果、通常走行時に比べ、指差呼称時に左右方向の視線移動量が増加することが確認できた (図4)。また、右折時において指差呼称を実施した場合、右折行動に要する時間 ($T_{time} = t_4 - t_3$) の増加や加速開始時の速度 ($V(t_4)$) が減少している傾向も確認できた (図3, 表2)。

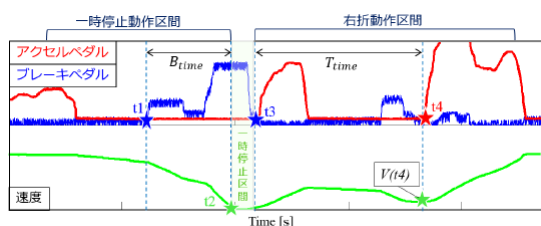


図3 運転操作情報の評価指標

表1 一時停止シーンにおけるブレーキ操作指標

	Sub.A		Sub.B	
	通常	指差し呼称	通常	指差し呼称
B_{time} [s]	3.6	4.6	5.5	7.5
B_{dist} [m]	10.0	13.9	15.2	21.7

表2 右折シーンにおける評価指標

	Sub.A		Sub.B	
	通常	指差し呼称	通常	指差し呼称
T_{time} [s]	5.2	8.8	8.9	9.1
$V(t_4)$ [km/h]	12.0	9.2	5.8	5.5

4.3 考察

ここでは、運転中の安全確認とし指差呼称を提案し、脳活動と運転行動に与える影響を検証することで、その有効性を示すことを目的とした。脳活動に与える影響については、NIRS 信号計測時に起こる問題点として、皮膚血流の影響を考慮した解析手法を用いることで、これまでのデータを再解析した。その結果、幾つかのデータにおいて、皮膚血流変動を誤って脳活動と捉えていたものがあったが、今回新たに取得したデータでは、指差呼称時に、特に視覚野において最も活動が高められる傾向が見られた。指差呼称により視覚的注意が高められている可能性が示唆された。また、運転行動に与える影響については、ドライビングシミュレータを用いて実験を行い、視線情報と車両操作情報を用いて評価した。その結果、視線情報については、指差呼称により左右方向の視線移動量が増加し、目視による安全確認を促す効果があると示唆された。運転操作情報については、停止前の運転操作中に指差呼称によりフィードバックのための確認を行うことで、ブレーキ操作タイミングが早まり、早い段階から停止行動を行い、余裕をもった停止行動を促す効果があると考えられる。また、停止時の発進前における安全確認のために指差呼称を行うことで、加速行動時間が増加する傾向が見られ、十分に周囲の安全確認を行うことを促す効果があると考えられる。

(5) 指差呼称によるドライバ主体の安全確認

指差呼称とは、ヒューマンエラー防止手法として、鉄道の運転士や医療現場など多くの産業現場で用いられている日本独自の安全確認手法である。確認対象の目視確認、指差確認に加え、「よし、よし」というように声に出して呼称確認を行う複合的な確認動作によって、注意対象物への確認動作を確実に行う確認方法である。



図4 Situation Awareness モデル

本研究で用いる安全な Take-Over は、「Take-Over Request 後、ドライバが運転に必要な環境情報の対象への目視確認を主体的に実施することで状況認識 (Situation Awareness) を向上した後の Take-Over」と定義する (図 4)。

(6) 指差呼称 Take-Over がドライバに与える影響

ドライビングシミュレータを用いて、高速道路の自動運転を模擬したコース走行を被験者に指示した。ドライビングシミュレータ走行のためのコースの作成には、FORUM8 社の UC-win/Road を用いた。被験者は健康男性 4 名 (平均年齢 23.0 ± 1.0 歳) である。なお本研究の前提条件として、自動運転レベル 3 を想定しているため運転以外の 2 次タスクを行っており、覚醒度は高い状態で保たれているとする。実験は、高速道路における自動運転終了後の車線変更シーン (図 5) を想定して設定した。

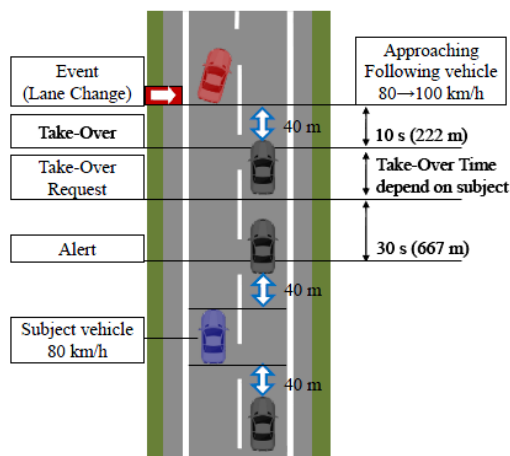


図 5 自動運転終了場面および Take-Over Request

実験環境を図 6 に示す。手動運転時の車速は 80 km/h を維持するよう指示した。実験開始後は時速 80 km/h で自動運転システムを開始する。他車は追い抜き車線を自車との距離 40 m 間隔で走行している。自動運転中は、ドライバに読書を行ってもらうことで、覚醒度は高いが道路状況を認識していない条件として統一した。5 分間の自動運転後に、自動運転を終了する通知予告を 30 秒前に開始した。なお、この予告時には自動運転システムは継続され、条件の秒数が経過すると自動運転が解除可能となる。そして HMI に Take-Over Request が表示された後、ドライバは任意のタイミングで自動運転の Take-Over を行う。Take-Over の 10 秒後に、HMI により追抜車線への車線変更を促す。ドライバが車線変更を行おうとするとき、後続車が自車を相対速度 20 km/h で追い越そうとする (80 km/h から 100 km/h へ速度を上げて

いる)。このとき、後続車との衝突ヒヤリハットを設定した。なお手動運転時には 5 分間の走行と、自動運転条件と同様に追抜車線への車線変更イベントを設定した。

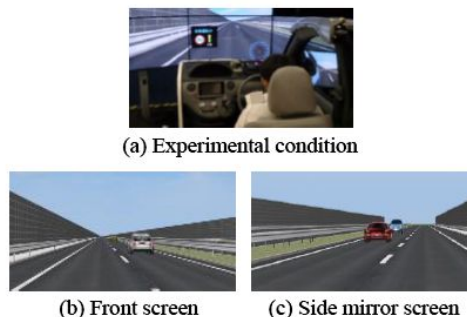


図 6 実験環境

(7) 指差呼称 Take-Over 時の注視点解析結果

指差呼称の有効性を検証するために、通常 Take-Over による自動運転、指差呼称 Take-Over による自動運転で比較を行う (図 7)。指差呼称 Take-Over による自動運転では Take-Over Request 後にドライバがまず道路環境を認識した後に指差呼称を行い、最後に Take-Over を行う。本研究の状況認識の対象は、高速道路走行を対象としているため、車外情報として「前方車」「周辺車」、車内情報として「HMI」「メータ画面」の計 4 項目を確認対象とする。被験者は前方映像およびサイドミラーに対して「前方よし!」「後方よし!」と指差呼称を行う。指差呼称 Take-Over による自動運転では実験環境の制約上、サイドミラーへの注視を後方確認とする。

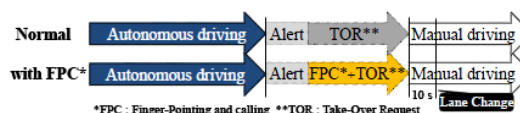


図 7 実験プロトコル

Take-Over Request 発生後には自動運転中に不足する運転環境の認識を求められるため、道路環境認識を注視点解析によって評価することが可能であると本研究では考えた。交通状況全体およびサイドミラー部を注視している際の視線停留時間に着目して解析を行う。Take-Over Request 発生後からドライバが Take-Over するまでの区間において、道路環境の認識に要した時間 T_t 、サイドミラー注視時間 T_m の全被験者の平均値および標準偏差を図 8 に示す。

通常 Take-Over による自動運転ではどの被験者も T_m が 0 秒となり、サイドミラー部を確認していないことが分かった。この結果はドライバが Take-Over 時に車線変更等を行

わないために道路環境の認識が不十分な状態でも Take-Over が可能だと判断したためだと考えられる。

一方、指差呼称 Take-Over による自動運転では、全被験者の T_t, T_m が増加することで、Take-Over するまでの全体の動作時間が増加することを確認した。

また、注視点分布を示す Fixation Map[3]を用いて状況認識評価を行う。有限の標本点から全体の分布を推定する 2 次元カーネル密度推定を用いて式(1)により作成する。

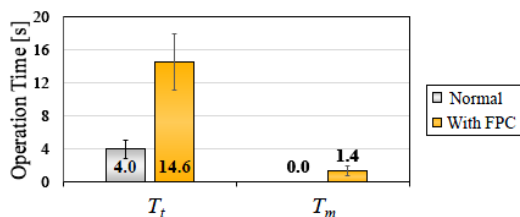


図 8 Take-Over 所要時間およびサイドミラー注視点時間

ここで n は標本点数、 X_i および Y_i は視線計測機によるドライバの注視点の座標値、 x および y は密度推定値の座標値、 h_x および h_y はバンド幅、 K はカーネル関数を示す。本研究ではカーネル関数として標準正規分布を用いた。

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{nh_x h_y} \sum_{i=1}^n K \left\{ \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{(x-X_i)^2}{2h_x^2}} \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{(y-Y_i)^2}{2h_y^2}} \right\} \quad (1)$$

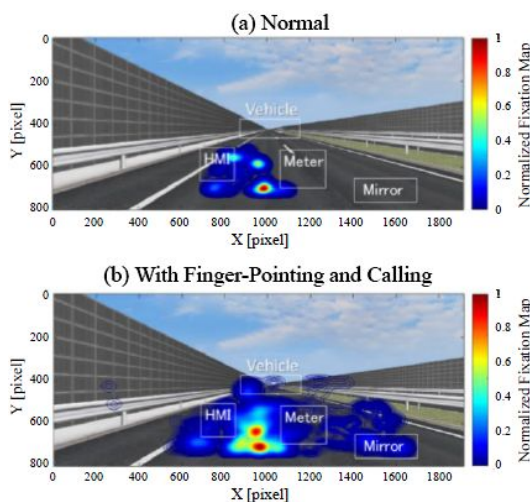


図 9 Take-Over Zone におけるドライバの Fixation Map

Take-Over Zone におけるドライバの Fixation Map の結果を図 9 に示す。図 9 から、指差呼称 Take-Over においてドライバの注視点が周辺車両、HMI、メータ、サイドミラー部分に移動していることを確認できる。この結果から、指差呼称 Take-Over を実施することによってドライバが Take-Over 前に確認すべき自車や周辺の状況を確認し、広範囲に周辺認識を行うことを示唆した。

本研究では、自動運転の Take-Over において指差呼称による周辺状況確認がドライバに与える影響を調査した。Take-Over Zone におけるドライバの注視点を解析した結果、指差呼称 Take-Over を行った場合は注視点分布が広がり、より広範囲の確認を行なっていることを Fixation Map より確認した。本実験結果から、指差呼称 Take-Over によって道路環境全体の認識を誘導し、状況認識が高まり安全な Take-Over に繋がった可能性を示唆した。

<参考文献>

[1] Toshimistu Takahashi et al., "Influence of skin blood flow on near-infrared spectroscopy signals measured on the forehead during a verbal fluency task", NeuroImage, Vol 57-3, pp991- 1002, 2011.
 [2] Toru Yamada et al., "Separation of fNIRS Signals into Functional and Systemic Components Based on Differences in Hemodynamic Modalities", PLOS ONE, Vol.7, Issue 11, e50271, 2012.
 [3] David S.Wooding, Proc. Symposium on Eye Tracking Research, 2002.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 4 件)

- (1) 藤澤洋佑, 河中治樹, 小栗宏次, 自動運転における指差呼称 Take-Over 時のドライバの注視点解析, 情報処理学会第 68 回高度道路交通システムとスマートコミュニティ研究発表会, 2017 年 2 月 28 日 ~ 2017 年 3 月 1 日, 公立はこだて未来大学(北海道・函館市)
- (2) 藤澤洋佑, 河中治樹, 小栗宏次, 自動運転から手動運転への切り替え時における生体信号や運転挙動によるドライバ状態の特性分析, 第 14 回情報学ワークショップ, 2016 年 11 月 27 日, 愛知県立大学(愛知県・長久手市)
- (3) 岸稚佳, 入部百合絵, 河中治樹, 小栗宏次, 運転中の指差呼称による安全確認の提案

と効果検証、第4回愛知工科大学 ITS シンポジウム、2015年11月6日、愛知工科大学(愛知県・蒲郡市)

(4) 岸稚佳, 中野泰彦, 河中治樹, 小栗宏次, 交差点通過時における指差呼称による安全確認が視線移動に与える影響, 第54回日本生体医工学会大会, 2015年5月7日~2015年5月9日, 名古屋国際会議場(愛知県・名古屋市)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 2件)

名称: 運転支援装置、運転支援システムおよび運転支援方法

発明者: 佐野 聡, 中野 泰彦, 小栗 宏次, 河中 治樹, 藤澤 洋佑

権利者: 富士通

種類: 特許

番号: JP2017/020364

出願年月日: 2017年5月31日

国内外の別: PCT

名称: 注意喚起プログラム、注意喚起装置、注意喚起方法及び注意喚起システム

発明者: 佐野 聡, 中野 泰彦, 小栗 宏次, 河中 治樹, 入部 百合絵, 岸 稚佳, 藤澤 洋佑

権利者: 富士通

種類: 特許

番号: 特許願 2016-017567 号

出願年月日: 2016年2月1日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小栗 宏次(OGURI, Koji)

愛知県立大学・情報科学部・教授

研究者番号: 00224676

(2) 研究分担者

入部 百合絵(IRIBE, Yurie)

愛知県立大学・情報科学部・講師

研究者番号: 40397500

河中 治樹(KAWANAKA, Haruki)

愛知県立大学・情報科学部・准教授

研究者番号: 90423847