

(続紙 1)

京都大学	博士（情報学）	氏名	張 玉玉
論文題目	Drivers' mental state detection: Behavioral and machine-learning-based investigation. （ドライバーの心理的状態の検知：行動計測と機械学習による検討）		
（論文内容の要旨） 自動車運転時の運転者（以下、ドライバー）の心的状態を、運転中に計測可能なデータに基づいて理解することは、安全な運転を実現する上で重要な問題である。これまでもドライバーのどのような心的状態を推定するか、また、それらをどのようなデータに基づいて、どのような方法で推定するかという点について、基礎研究から、実際の企業などによる開発研究まで、多くの試みがなされてきている。本論文は、ドライバーの心的状態として、運転とは関係ない考えごとをしている状態（マインドワンダリング）を取り上げ、それらを運転時の運転操作のデータから推定することが可能か否かを検討した。本論文は、ドライビングシミュレータを用いた行動実験、並びに機械学習手法によるモデリング実験の結果の報告と考察を中心に、5章の構成でまとめられている。 第1章は、序論であり、世界的な交通事故の状況や、その背景から、事故低減技術、特にドライバーの状態推定技術が必要であること、将来の自動運転の導入にあってもドライバーの状態推定が重要となることを論じ、本研究へのニーズを明確にしている。また、本論文の目的やアプローチを述べている。 第2章では、人間の心的状態と行動に関連した心理学、脳科学、人間工学の諸研究を概観したのち、本論文の枠組みを提案している。まず、課題の負荷と心的負担感（mental workload）の関係、および、それらに心的資源が関与することを概説した。また、課題負荷が低下した場合に眠気が発生するメカニズムを概説した。さらに、マインドワンダリングの研究を概観したのち、マインドワンダリングと眠気のことを議論した。特に、両者の生起条件や生起時の脳活動の類似性、発達障害や疾患患者の例などから、低課題負荷時にマインドワンダリングが眠気、居眠りに至る前駆的な状態として理解できることを提案した。また、人的要因による事故の発生と密接に関わる心的負担感とマインドワンダリングの関係を調べた研究が、これまでほとんどないことにも言及した。 第3章では、ドライビングシミュレータを用い、40名の実験参加者に単調な運転課題を課し、運転行動データとマインドワンダリングの生起に関する主観評価、及び、運転後の心的負担感に関する主観評価のデータを得た。これらの結果を統計的に解析することによって、時間の経過に伴ってマインドワンダリングの生起頻度が上昇すること、また、運転行動から産出された指標（車両の側方位置の偏位の標準偏差、理想的なステアリング操作との偏位、フットペダル操作の非安定性）について、時間			

経過に伴って成績が低下することを明らかにした。また、全体のマインドワンダリングの生起頻度と心的負担感の主観評価の間に負の相関が見られることを示した。

第4章では、運転行動データからマインドワンダリングの生起を推定するためのモデル構築の方法を提案し、また、それらを、第3章で得られた個人別の時系列の運転行動指標の多次元データに適用した。マインドワンダリングの個人ごとの生起頻度、あるいは個人別に、試行ごとのマインドワンダリングの世紀の有無を予測するためのモデリング実験を行った。

第5章では、本論文の提案手法の有効性や限界、問題点についてまとめるとともに、今後の課題や拡張可能性について議論を行っている。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し

審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

自動車運転中の運転操作データ並びに、その結果としての車両の挙動から、ドライバーの心的状態を推定することは、運転時の事故の発生を低減させるといった喫緊の問題のみならず、将来想定される、手動運転モードと自動運転モードが混在する状況においては、自動運転から手動運転への安全で円滑な切り替え支援の問題への対処などの幅広い応用が想定できる。本論文は、危険運転に直結し、また円滑な運転モードの切り替えを阻害する眠気や居眠りといった状態の前駆的な状態として、考えごとをすることで運転への集中がそれる心理状態であるマインドワンダリングを取り上げ、運転行動データから運転時のマインドワンダリングの生起やその傾向の個人差を明らかにするとともに、機械学習の手法によるモデリングを通じて運転行動データからマインドワンダリングの推定を試みたものである。得られた成果は以下の通りである。

- (1) 過去の心理学、生理学、脳科学等の研究を調査し、眠気や居眠りの前駆状態としてマインドワンダリングを位置付けることが妥当であることを明らかにした。
- (2) ドライバーの運転行動、マインドワンダリング状態の主観的な報告、また、運転後の心的負担感に関するデータを解析し、3つの運転行動指標（車両の側方位置の偏位の標準偏差、理想的なステアリング操作との偏位、フットペダル操作の非安定性）について、マインドワンダリングの報告頻度との間に相関を見出した。これらの結果から、ドライバーのマインドワンダリングの状態が運転行動に反映される可能性を示す知見を得た。また、運転中のマインドワンダリングの総報告頻度には個人差が見られたことから、マインドワンダリングが個人特性としての側面と個人内の状態の変化としての側面があることも明らかとなった。
- (3) 運転中のマインドワンダリングの総報告頻度と運転後の心的負担感の間に高い負の相関を見出した。運転負担感の低いドライバーほど、マインドワンダリングをより多く経験した。これまで、マインドワンダリングと心的負担の関係を直接的に検討した研究はなく、新規な知見として評価できる。従来の研究から、心的負担感と事故等の発生リスクの関係が報告されているが、一方で、心的負担感を正確に回答することが難しいことも指摘されている。本論文では、心的負担感の主観評価の代替としてマインドワンダリングの主観報告を利用できる可能性を示した。
- (4) 運転中の行動データからマインドワンダリング状態を推定するためのモデル構築を行った。まず、各ドライバーがマインドワンダリングをする特性を有しているか否を運転行動から推定可能であることを示した。また、心的状態

が運転行動に表出される傾向は個人ごとに異なり、個人の状態をドライバーに共通のモデルで推定することは不可能であることが明らかとなった。そこで、個人別のモデル構築を行ったところ、一部分のドライバーについてはあるが、マインドワンダリングの状態を推定することができた。これらの結果から、ドライバーの心的状態の推定に関しては、ドライバーの特性と状態という2つのモデル化を行うことが有効であることが示された。また、データの精度の問題や主観に頼る心的状態を教師信号とする機械学習手法の問題など、今後の課題についても明らかになった。

以上、本論文は、自動車運転時のドライバーの心的状態の推定という問題に対して、マインドワンダリングを対象として運転行動データからアプローチするという方法を提案し、実験並びにモデリングによってその有効性と現状での技術的な問題点を明らかにしたものである。本結果は、学術的な観点のみならず、実際の応用的な観点からも今後の研究や技術開発に寄与するところが少なくなく、特に安全運転支援技術の進展に大いに貢献することが期待できる。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成30年8月2日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。

注) 論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。更に、試問の結果の要旨（例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」）を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。
要旨公開可能日： 年 月 日以降