

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01392

研究課題名（和文）ドライバーの体調予測に資する数理モデルの構築

研究課題名（英文）Mathematical model for the prediction of driver's health condition

研究代表者

金子 成彦（KANEKO, SHIGEHICO）

早稲田大学・理工学術院・教授（任期付）

研究者番号：70143378

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、自律神経の活動状態が心臓系に及ぼす影響を再現したモデルと末梢血管のモデルに心臓からの拍出流量のモデルと血管系のモデルを統合し、これに生理学・熱力学的な原理に基づいた人体の体温調節モデルを組み合わせ、温熱環境の変化と自律神経指標の変化の相関性を評価可能なモデルを提案した。実験では車室内環境を模擬したブースで室温を短時間の間に変化させながら被験者の心拍間隔を取得し、自律神経指標の変化を評価可能な実験環境を試作し、被験者による覚醒度の変化に関する実験を行い、提案したモデルの妥当性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

漫然運転や健康起因事故による交通事故が増加している昨今、ドライバーの居眠り及び体調急変の予測は国民的喫緊の課題である。最近、生体信号や画像による眠気の検知や覚醒状態維持が可能な眠気制御装置が発表されているが、その原理は明らかにされていない。また、運転者に体調急変が発生した際のデータは狙って取得できるものではないため、解析に用いるに十分なデータ数が確保できず、信頼性のある推定手法を構築することは難しい。そこで、数理モデルにもとづくシミュレータによって、信頼に足るデータを提供することが求められている。以上を踏まえ、本研究ではドライバーの体調予測に資する数理モデルの構築を行った。

研究成果の概要（英文）：In this study, we integrated a model of the pumping flow from the heart and a model of the vascular system into a model that reproduces the effect of the activity state of the autonomic nerves on the heart system and a model of peripheral blood vessels, and combined them with a physiological and thermodynamic model. We proposed a model that can evaluate the correlation between changes in the thermal environment and changes in the autonomic nervous index by combining a thermoregulatory model of the human body based on the principle. In the experiment, we prototyped an experimental environment in which the heartbeat interval of the subject was acquired while changing the room temperature in a short time in a booth simulating the vehicle interior environment, and the change in the autonomic nervous index could be evaluated. An experiment was conducted to verify the validity of the proposed model.

研究分野：機械力学・計測制御

キーワード：モデル化 自動車 交通事故 居眠り運転 体調モニタリング 生体信号処理 温熱環境 非侵襲計測

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高齢ドライバーの増加に伴い、居眠り運転や運転中の体調急変による自動車事故が問題となっており、体調モニタリングや覚醒制御に関する研究が盛んに行われている。パナソニックからは、居眠り運転の予兆が把握可能で覚醒状態を維持可能な眠気制御装置が発表され(2017)、また、NTTドコモからは機能素材 hitoe を活用した眠気検知アプリ(2017)が、九工大の佐藤寧教授はドライバーに前方から微弱な電波を当てて心拍数を皮膚から反射した電波の強さから検知することができる電波型非接触センサーを発表している(2017)。また、データ処理方法については、京大の藤原助教らが異常検知の手法を適用して予測精度を高める研究を行っている(2016)。

一方、体調急変に関連しては、産総研自動車ヒューマンファクター研究センターを中心としてドライバーの操作データを解析して、てんかんや脳卒中、心疾患の症状が現れる予兆の検知技術の開発が行われている(2016)。また、藤原らは心拍変動情報から、てんかん発生の予兆を検知する技術を開発している(2016)。しかしながら、これらはいずれもデータ解析の立場からの研究で、体調の変化を予測するための数理モデル構築の立場からの研究は未着手の状態である。

2. 研究の目的

漫然運転や健康起因事故による交通事故が増加している昨今、ドライバーの居眠り及び体調急変の予測は国民的喫緊の課題である。最近、生体信号や画像によるドライバーモニタリングのプロトタイプが提案されており、眠気の検知や覚醒状態維持が可能な眠気制御装置が発表されているが、その原理は明らかにされてはいない。また、体調急変を機械学習によって検知するためには、正常時の生体信号データに加えて疾病発生時の生体信号データを取得し、その両データを教師データとし、事前に各々のパターンを学習する必要がある。しかし、疾病が発生した際のデータは狙って取得できるものではないため、教師データとして用いるに十分なデータ数が確保できず、現状、信頼性のある推定手法を構築することは難しいと考えられる。そこで、数理モデルに基づいたシミュレーションによって信頼に足るデータを提供することが求められている。以上を踏まえ、本研究は、ドライバーの体調予測に資する数理モデルの構築をおこなうものである。

3. 研究の方法

・心臓系と血管系の相互作用の数理モデル構築

(1)数理モデルの提案を行う。

(2)血管の分岐における抵抗を測定するための装置を設計製作する。

(3)被験者を募り、眠気推定実験を実施する。

(4)データ整理をおこない、数理モデルに登場する係数を決定する。

・ドライバー周囲環境(温熱環境)の変化に対する応答評価へのモデルの適用

(5)ドライバーを取り囲む温熱環境が変化する場合のドライバーの応答予測に適用するためにモデルの改良を行う。

(6)予測結果を検証するために、温調や風量制御が可能な小型の試験室を試作して、実験を行う。

4. 研究成果

本研究の目的は、数理モデルによってドライバーの眠気推定のメカニズム、体調急変検知のメカニズム、ドライバーの周囲環境の変化に対する応答を説明することのできる数理モデルを提案することである。学術的独自性は、四つあると考えている。

一つ目は、自律神経の活動状態が心臓系にどのような影響を及ぼすかを再現したモデルと末梢血管のモデルに心臓からの拍出流量のモデルと血管系のモデルを統合することにある。

二つ目は、心臓内科の専門医との共同作業により疾病発生時を模擬できる数理モデルについて研究を行うことにある。

三つ目としては、数理モデルに登場する係数を決定する必要がある。そのために、分岐を有する血管系のモデル実験によって圧力損失係数を、また、被験者のデータから自律神経系と血管系との連成係数を決める必要があり、多数の被験者のデータからパラメーターを決定する。その際には機械学習を利用する。

四つ目として、ドライバーの眠気を誘発する自律神経系の変化は人間の情動だけでなく外部環境の変化によっても影響を受けるため、外部環境の一つである温熱環境の変化と自律神経指標の変化の相関性を評価する数理モデルを提案する。

四番目のテーマについては、温熱環境の変化と自律神経指標の変化の相関性を評価することを目的とし、実験では車室内環境を模擬したブースで室温を短時間の間に変化させながら被験者の心拍間隔を取得し、周波数解析によって得られた情報に基づいて自律神経指標の変化を評価可能な実験環境を試作した。続いて、自律神経指標の変化の影響を考慮できる心臓血管系モデルを生理学・流体力学的な原理に基づき構築した心臓血管系モデルに生理学・熱力学的な原理に基づいた人体の体温調節モデルを組み合わせて、温熱環境の変化と自律神経指標の変化の相関

性評価を行うための基本原理を定式化した。その後、被験者による覚醒度の変化に関する実験を行った。コロナ感染の影響で実験の実施は困難であったがなんとかデータを取得し、数理モデルによる予測結果と比較し、モデルによって現象が表現できることを示した。以下に四番目の課題に関する主要な成果を示す。

(1) 心臓血管系モデルの構築

モデルの検証を行うため、室温 22、26、30、湿度 45%下における人体の収縮期血圧(以下、SBP: Systolic Blood Pressure)を計算した結果、寒冷域(22)では血圧が上昇し、暑熱域(30)では血圧が下降するという生理学知見に基づくモデルが構築できたことが確認できた。

(2) 心臓血管系モデルの妥当性評価

(a)西川らの被験者試験^[1]との比較

被験者を室温 22、26、30、湿度 45%下に 30 分間暴露した時の RR 間隔を図 1 に示す。また、交感神経活動の計算結果を図 2 に示す。図より、構築した心臓血管モデルを用いて、温熱環境に暴露された際に RR 間隔が変化の様子を定性的に再現できることを確認し、変化の要因が交感神経活動の亢進であることを推察することができた。

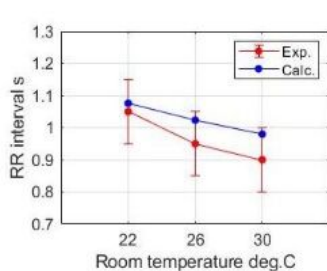


Fig.1 RR interval

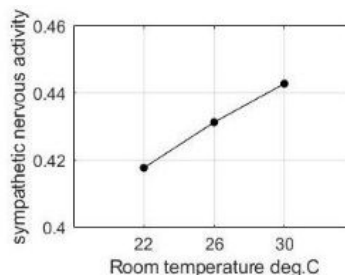


Fig.2 Sympathetic nervous activity

(under Nishimura's experimental conditions)

(b)防音室における被験者試験結果との比較

室温を 15 分間かけて 5 下げた際の RR 間隔を比較した。室温を 26.5 (快適域)から 21.5 (寒冷域)に変化させた場合を図 3 左に、31.5 (暑熱域)から 26.5 (快適域)に変化させた場合を図 3 右に示す。左図の条件では心臓血管系モデルが RR 間隔の変動を概ね再現できているのに対し、右図では実験結果と計算結果の傾向が違っている。以上のように、15 分という短時間での温熱環境変化が RR 間隔の変動に及ぼす影響を完全に再現するには至らなかった。今後は計算に用いたパラメーターや計測時間についてのさらなる検討が必要と考えられる。

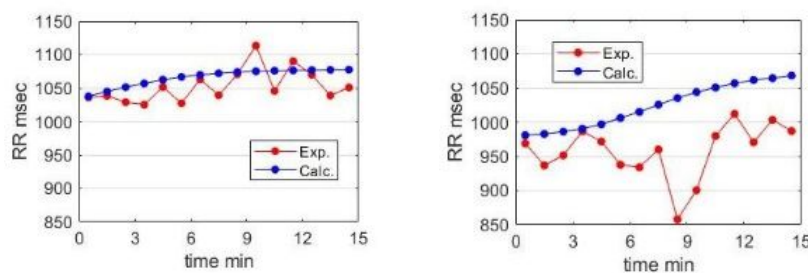


Fig.3 RR interval (under the experimental conditions in a soundproof room)

<引用文献>

[1]西川向一ら, “ 温熱環境が心拍変動に与える影響 ”, 人間工学, Vol.33, No.2, 1997, pp.105-112.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Naoki Hagiyaama, Harutoyo Hirano, Akihisa Mito, Zu Soh, Etsunori Fujita, Yumi Ogura, Shigehiko Kaneko, Ryuji Nakamura, Noboru Saeki, Masashi Kawamoto, Masao Yoshizumi and Toshio Tsuji	4. 巻 9:17475
2. 論文標題 Unconstrained Vital Sign Monitoring System Using an Aortic pulse Wave Sensor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports, Nature Research	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-53808-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 延廣良香、藤田悦則、内川竜一、前田慎一郎、小島重行、小倉由美 亀井勉、村田幸治、吉栖正生、金子成彦
2. 発表標題 体幹生体信号を用いた体調変動予測モデルの開発
3. 学会等名 日本設計工学会中国支部講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水 豊禾, 金子 成彦, 草鹿 仁
2. 発表標題 ドライバーの体調急変予測に向けた数理モデルの精度向上に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会2019年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigehiko Kaneko
2. 発表標題 Modeling of a Cardiovascular System to Investigate Factors Affecting Hypertension
3. 学会等名 IUTAM SYMPOSIUM 2019, Fluid-Structure Interaction in honour of Prof. Michael Paidoussis (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigehiko Kaneko
2. 発表標題 Cardiovascular system model for detecting sudden driver's health condition change and its application
3. 学会等名 Asia Pacific Vibration Conference 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Hagiwara, Akihisa Mito, Harutoyo Hirano, Zu Soh, Etsunori Fujita, Yumi Ogura, Ryuichi Uchikawa, Shigehiko Kaneko, Ryuji Nakamura, Noboru Saeki, Masashi Kawamoto, Masao Yoshizumi and Toshio Tsuji
2. 発表標題 Unconstrained Monitoring of Biological Signals Using an Aortic Pulse Wave Sensor
3. 学会等名 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 進藤友陽, 金子成彦
2. 発表標題 血圧情報を利用した眠気推定精度向上に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会LIFE2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子成彦, 角谷健斗, 進藤友陽
2. 発表標題 ドライバーの体調急変検知に向けた心臓血管系モデルの提案とその活用法に関する研究
3. 学会等名 自動車技術会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 延廣良香, 藤田悦則, 小倉由美, 吉栖正生, 金子成彦
2. 発表標題 カオス解析を用いた疲労度合の推定(ストレスの程度が人に与える影響について)
3. 学会等名 日本設計工学会2018年度秋季大会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 元家達也, 藤田悦則, 吉栖正生, 塚本直樹, 小倉由美, 金子成彦
2. 発表標題 生体信号を用いたベンチレーションシステムの開発(スポット冷却の衣服内気候に与える影響についての検討)
3. 学会等名 日本設計工学会2018年度秋季大会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 金子成彦	4. 発行年 2019年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 514
3. 書名 自動車用内装材とインテリアの快適性向上	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関