

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月19日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01542

研究課題名(和文)自動車模擬運転テストにおける危険予測場面の脳血流反応の解析

研究課題名(英文) Analysis of prefrontal cerebral blood flow response of hazard prediction scene in driving simulation test

研究代表者

小林 正義 (Kobayashi, Masayoshi)

信州大学・学術研究院保健学系・教授

研究者番号：80234847

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：模擬運転テストの危険場面と危険予測場面で生じる手掌部発汗反応と前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度(oxyHb)を評価した。ボールや歩行者が飛び出す危険場面では手掌部発汗は増加したがoxyHbは低下し、両反応は強い負の相関を認めた。一時停止前の危険予測場面では、ブレーキ操作の前から顕著なoxyHb増加を認めたが、手掌部発汗の増加は認めなかった。路地で自転車を追越す危険・危険予測場面では手掌部発汗とoxyHbは共に増加した。前頭前野のoxyHb増加は危険を予測する脳機能を反映すると考えられ、模擬運転テスト時のoxyHb測定により被験者の危険予測機能を評価できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢ドライバーの運転事故の主要原因は不注意による発見の遅れ(83.5%)であり、違反件数も安全不確認(37.2%)によるものが最も多い(警視庁, 2018)。これらの事故や違反には加齢による認知機能の低下が関係しており、運転継続の適性評価と事故防止対策が急務となっている。本模擬運転テストは被験者の危険認知・危険予測を生物学的指標で評価する点が独自であり、実用化されれば認知機能の低下が疑われる高齢ドライバーの運転適性、とりわけ危険予測機能を評価するスクリーニング検査として有効である。また、脳卒中後や頭部外傷後などの運転再開を希望する脳機能障害患者の運転リハビリテーションに役立つ可能性がある。

研究成果の概要(英文)：We evaluated palmar sweating response and oxygenated hemoglobin concentration (oxyHb) in the prefrontal cortex that occur in the hazard and hazard prediction situations in the driving simulation test. When the ball or pedestrian jumped out, palmar sweating increased but oxyHb decreased, and both reactions showed a strong negative correlation. In the hazard prediction scene before the temporary stop, a significant increase in oxyHb was observed before the brake operation, but no increase in palmar sweating was observed. Palmar sweating and oxyHb increased in the hazard / hazard prediction scene of passing bicycles in the alley. The increase in oxyHb in the prefrontal cortex is considered to reflect the brain function that predicts the hazard, and it is suggested that the hazard prediction function of the subject can be evaluated by the oxyHb measurement in the driving simulation test.

研究分野：リハビリテーション科学, 人間医工学

キーワード：自動車運転 危険認知 危険予測 手掌部発汗反応 前頭前野脳血流動態 運転リハビリテーション

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1) 高齢ドライバーの自動車運転評価

高齢ドライバーの運転事故の主要原因は不注意による発見の遅れ(83.5%)であり、違反件数も安全不確認(37.2%)によるものが最も多い(警視庁、2018)。これらの事故や違反には加齢による認知機能の低下が関係しており、運転継続の適性評価と事故防止対策が急務となっている。現在、70歳以上のドライバーには高齢者講習において「警察庁方式 CRT 運転適性検査」が実施され、75歳以上には認知機能検査が導入されている。しかし、CRT 検査はグラフィック画面の中央に赤・青・黄色のマークを点灯させてブレーキやアクセルを踏ませたりカーブに沿ってハンドルを操作させたりするもので、認知機能検査は時間の見当識、記憶再生、時計描写を課題とする紙筆検査で、いずれも運転に関係する認知や行動を直接測定するものではない。

2) 自動車運転認知行動評価装置(図1)

研究代表者が開発した「自動車運転認知行動評価装置」(特許取得:第5366248号、2013年)は、あらかじめビデオ撮影した運転映像をモニターに提示し、被験者に映像の動きに合わせて模擬運転操作を行わせるもので、ハンドル、アクセル、ブレーキの操作反応と、危険予測や危険認知によって生じる手掌部発汗反応(Palmar sweating response: PSR)と皮膚電位反射(Skin Potential Reflex: SPR)を評価することができる。PSRとSPRは精神緊張や情動興奮によって生じ皮膚交感神経バーストと対応する。本装置を用いた実験では、被験者が前方に歩行者を発見し危険を感じたり、路上に飛び出したボールを咄嗟に回避したりする場面でPSRとSPRが増加し、実車運転時にも同様の反応がみられることを確認している(図2)。しかしながら、安全と思われる徐行運転場面や一時停止場面においてもPSRが認められることがあり、危険を予測したことによる反応が想定された。簡易型近赤外光計測装置を試用し、模擬運転時の前頭前野の脳血流測定を試みた。その結果、PSR・SPRと脳血流反応とは必ずしも対応せず、ボール飛び出し場面ではPSR・SPRが増加し前頭前野の脳血流は減少する傾向があり、交差点で対向車を見送る場面では、PSR・SPRと共に脳血流が増加しやすいことが分かった(小林他、2013)。

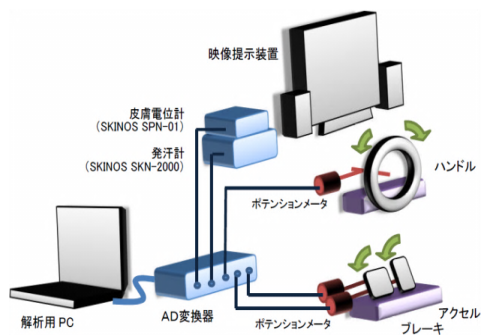


図1 自動車運転認知行動評価装置

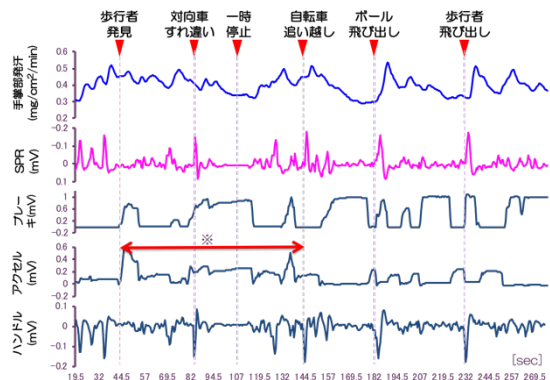


図2 計測波形の一例(68歳;男性)
危険予測場面・危険回避場面で手掌部発汗・SPRが増加する。※ではアクセルとブレーキを同時に踏み込んでいる。

2. 研究の目的

そこで本研究では以下の3点を主要目的に、多チャンネル光トポグラフィ装置を導入し、危険予測場面における判定方法を検討した。1) 危険場面と危険予測場面でみられる手掌部発汗と前頭前野の脳血流動態との関係を明らかにする。2) 実車運転時のPSR・SPRと脳血流反応を測定し、模擬運転時の反応との異同を明らかにする。3) 本装置による模擬運転テストの判定プロトコルと解析ソフトを試作する。

3. 研究の方法

1) 危険場面と危険予測場面でみられる手掌部発汗と前頭前野の脳血流動態との関連性

健康成人31名(男性5名、女性26名、平均21.1歳)を対象に常温環境下で実験を行った。被験者に模擬運転操作を行わせ、手掌部発汗反応をSKN-1000(SKINOS)で測定した。脳血流動態の計測にはWOT-100(日立ハイテックノロジーズ)を用い、前頭前野の酸素化ヘモグロビン濃度変化量(Oxy-Hb)を測定した。評価する場面はランナー接近、自転車追い越し、ボール飛びだし、人飛びだしの4場面とした。手掌部発汗は場面開始からの15秒間を、脳血流動態はOxy-Hbの反応を考慮し場面開始後6~20秒までの15秒間の変化を評価した(図3)。本研究は信州大学医学部医倫理審査会の承認を得て実施した。

2) 実車運転時の手掌部発汗反応と前頭前野の脳血流動態の変化

被験者は研究参加に同意したボランティアの健康成人5名(男性3名、女性2名、34.2±14.2歳)であった。実験車両はトヨタプリウスαを使用した。手掌部発汗反応の測定には携帯型発汗計(スキノス SKN-2000)を使用した。前頭前野領域のOxy-Hbの測定にはウェアラブル光トポグラフィ(WOT-100、日立ハイテックノロジーズ)を使用し、10チャンネルのOxy-Hbの平均値を定量評価した。実車運転コースは信州大学の構内に設置し、見通しの悪いカーブ(A)、ロータリ

一 (B)、直進 (C) を含む走行距離約 1km のコースであった (図 4)。実車運転によって得られたコース走行中の手掌部発汗反応と前頭前野の Oxy-Hb を走行場面間で比較した。統計解析には一元配置分散分析、多重比較には Fisher の多重比較検定を用い、有意水準は 5%未満とした。本研究は信州大学医学部医倫理審査会の承認を得て実施した。

3) 本装置による模擬運転テストの判定プロトコルと解析ソフトの作成

1)、2) の研究成果と過去に蓄積された計測データを基に、信州大学オープンベンチャー・イノベーションセンターに所属する株式会社スキノスの協力を得て、自動車運転認知行動評価装置を使った模擬運転テストの判定プロトコルと解析ソフトの試作に向けた検討を行った。



図3 実験風景



図4 実車運転コース

4. 研究成果

1) 危険場面と危険予測場面で見られる手掌部発汗と前頭前野の脳血流動態との関連性

ランナー接近、ボール飛びだし、人飛びだしでは、手掌部発汗の増加と Oxy-Hb の減少を認め、両者は有意な負の相関を示した ($\rho = -0.923, -0.886, -0.467, p < .001$)。自転車追い越し場面では、手掌部発汗と Oxy-Hb はともに増加し、有意な正の相関 ($\rho = 0.896, p < .001$) が認められた。ランナー接近、ボール飛びだし、人飛びだしは危険場面であり、危険を認知する場面では情動変化によって手掌部発汗が増加し、前頭前野の Oxy-Hb は減少することが再確認された。一方、危険を予測しながら走行する自転車追い越し場面では、手掌部発汗と前頭前野の Oxy-Hb はともに増加し、自転車への接近に伴う緊張感の漸増と、危険を予測する思考過程が関連したものと思われる (図 5)。

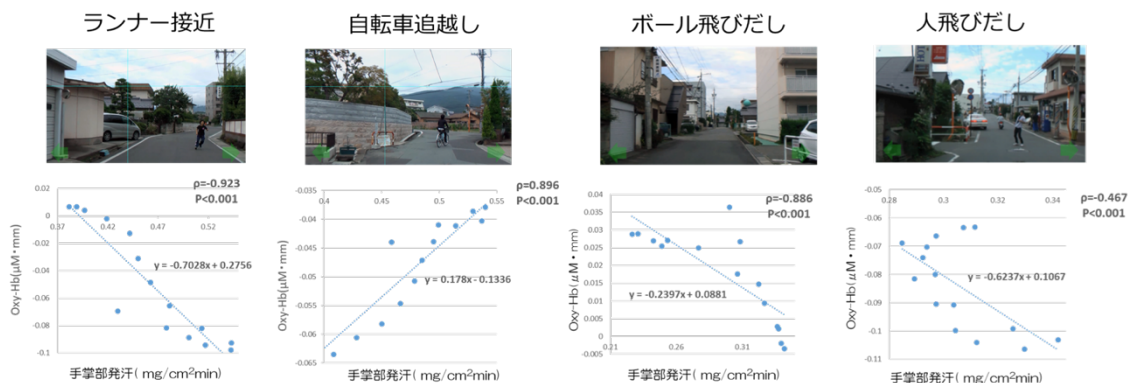


図5 危険場面と危険予測場面の手掌部発汗量と前頭前野脳血流の相関

2) 実車運転時の手掌部発汗反応と前頭前野の脳血流動態の変化

図 6 に計測波形の一例を示した。手掌部発汗は往路の見通しの悪いカーブ (A1) で最も多く、前頭前野の Oxy-Hb は往復ともに見通しの悪いカーブ (A1, A2) で増加する傾向がみられた。ロータリー (B) では手掌部発汗反応と前頭前野の Oxy-Hb はわずかに増加し、直進 (C1, C2) では手掌部発汗反応、脳血流量ともに減少する傾向がみられた。

図 7 に被験者の手掌部発汗反応と前頭前野の Oxy-Hb の平均値 \pm 標準誤差を見通しの悪いカーブ (A1)、ロータリー (B)、直進 (C2) で比較した。手掌部発汗量 ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{min}$) は見通しの悪いカーブ (A1) では 1.03 ± 0.07 、ロータリー (B) では 0.92 ± 0.05 、直進 (C2) では 0.70 ± 0.05 であった。前頭前野の Oxy-Hb ($\mu\text{M}/\text{mm}$) は、見通しの悪いカーブ (A1) では 0.31 ± 0.17 、ロータリー (B) では 0.05 ± 0.07 、直進 (C2) では -0.04 ± 0.06 であった。手掌部発汗量は一元配置分散分析で有意差を認め ($F = 5.76, p < 0.05$)、多重比較では見通しの悪いカーブ (A1) と直進 (C2)、ロータリー (B) と直進 (C2) の間にそれぞれ有意差が認められた ($p < 0.01$ 、

p<0.05)。前頭前野の Oxy-Hb には 3 場面による主効果は認められなかったが、多重比較では見通しの悪いカーブ (A1) と直進 (C2) の間に有意差が認められた (p<0.05)。本研究によって、見通しの悪いカーブ (A1) での手掌部発汗と Oxy-Hb の増加が確認され、危険予測場面で手掌部発汗と Oxy-Hb がともに増加するという模擬運転テストによる反応の妥当性が検証された。

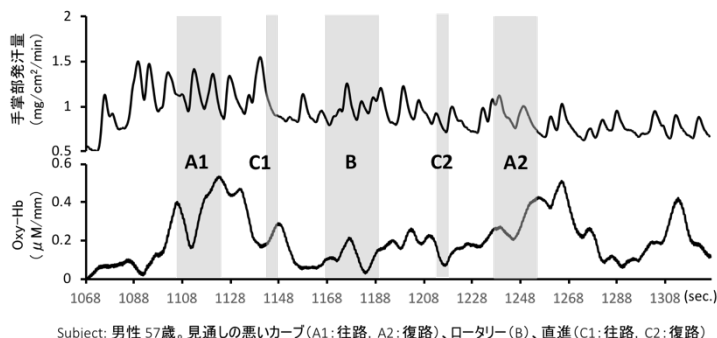


図6 計測波形の1例

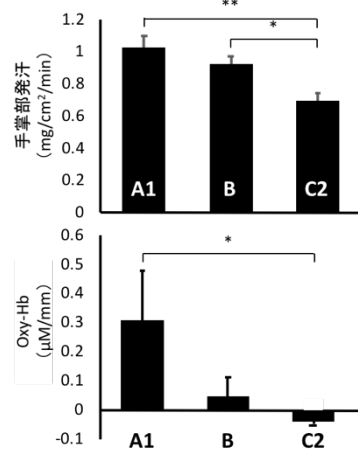


図7 手掌部発汗量と脳血流量
N=5, Mean ± SE, Fisherの多重比較検定
* p<0.05 ** p<0.01
A1:見通しの悪いカーブ(往路)
B:ロータリー
C2:直進(復路)

3) 本装置による模擬運転テストの判定プロトコルと解析ソフトの作成

以下の機能を有する解析ソフトを試作した (図 8)。①被験者が模擬運転テストを行った際のハンドル、アクセル、ブレーキの操作反応と、PSR、SPR のデータ、および精査目的で測定を想定している前頭前野脳血流動態を波形としてインポートする機能。②上記データと比較する標準波形をインポートする機能。標準波形は、健康成人 200 例の平均反応を使用。③停車車両の追い越し、一方通行の直進、一時停止、狭い路地での対向車すれ違い、横断者のある右折、人飛び出し等、危険シーンや危険が予測されるシーンを複数設定することで、その範囲の波形を切り出し、個別被験者の波形と、標準的な波形を比較して表示する機能。これにより、反応波形から、危険予測の有無、危険認知の有無、危険予測や危険認知の応答時間、反応量を算出する機能。なお、本試作では、図 9 に示す方法で各パラメータの解析を行っているが、今後の実用化試験解析方法の最適化を図る予定である。



図 8 解析ソフトの試作

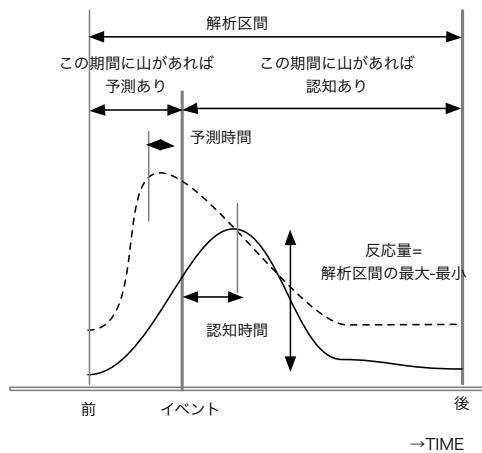


図 9 解析方法

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

- 1) 岩波潤, 小林正義, 佐賀里昭, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 模擬運転テストにおける高齢者の手掌部発汗・ブレーキ応答特性. 発汗学 26 (1) : 13-15, 2019 (査読無)
- 2) 小林正義, 岩波潤, 佐賀里昭, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 模擬運転テスト時の主観的危険度と手掌部発汗反応. 発汗学 26 (1) : 19-22, 2019 (査読無)
- 3) 佐賀里昭, 小林正義, 岩波潤, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 実車運転時の手掌部発汗反応と前頭前野の脳血流動態の変化. 発汗学 26 (1) : 16-18, 2019 (査読無)
- 4) 佐賀里昭, 小林正義, 岩波潤, 大野田有希, 深尾七海, 三田梨紗子, 百瀬英哉, 大橋俊夫:

模擬運転テストの危険場面と危険予測場面でみられる手掌部発汗と前頭前野の脳血流動態との関係. 発汗学 25 (1) : 19-20, 2018 (査読無)

- 5) 小林正義, 岩波潤, 佐賀里昭, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 模擬運転テストの危険予測場面でみられる視線動作と手掌部発汗・脳血流反応. 発汗学 24 (1) : 16-18, 2017 (査読無)
- 6) Takahashi R, Kobayashi M, Sasaki T, Yokokawa Y, Momose H, Ohhashi T: Driving Simulation Test for Evaluating Hazard Perception: Elderly Driver Response Characteristics. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 49, 2017, 257-270, (査読有)
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.07.003>
- 7) 岩波潤, 小林正義, 佐賀里昭, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 模擬運転テストにおけるブレーキ操作と手掌部発汗反応-認知・注意機能との関連性. 発汗学 25 (2) : 32-36, 2018 (査読有)
- 8) 高橋理沙, 小林正義, 佐々木努, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 高齢者の模擬運転時の発汗反応と認知・注意機能との関連. 発汗学 23 (2) : 27-32, 2016 (査読有)
- 9) 小林正義, 藤井恭平, 佐々木努, 百瀬英哉, 大橋俊夫: ドライブシミュレータ操作時の手掌部発汗と脳血流量の変動. 発汗学 23 (2) : 33-35, 2016 (査読無)
- 10) 岩波潤, 小林正義, 佐賀里昭, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 自動車模擬運転における危険予測場面のブレーキ応答と手掌発汗反応-高齢者と若年者の比較-. 発汗学 23 (2) : 41-43, 2016 (査読無)

[学会発表] (計 14 件)

- 1) 岩波潤, 小林正義, 佐賀里昭, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 模擬運転テストにおける高齢者の手掌部発汗・ブレーキ応答特性. 第 26 回日本発汗学会総会, 2018 (神戸)
- 2) 佐賀里昭, 小林正義, 岩波潤, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 実車運転時の手掌部発汗反応と前頭前野の脳血流動態の変化. 第 26 回日本発汗学会総会, 2018 (神戸)
- 3) 小林正義, 岩波潤, 佐賀里昭, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 模擬運転テスト時の主観的危険度と手掌発汗反応. 第 26 回日本発汗学会総会, 2018 (神戸)
- 4) 小林正義, 岩波潤, 佐賀里昭, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 模擬運転テストにおける主観的危険度と手掌発汗反応の関係. 第 52 回日本作業療法学会, 2018 (名古屋)
- 5) 岩波潤, 小林正義, 佐賀里昭, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 高齢者の注意機能と模擬運転テストにおけるブレーキ操作と手掌発汗反応との関連性. 第 52 回日本作業療法学会, 2018 (名古屋)
- 6) 岩波潤, 小林正義, 佐賀里昭, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 自動車模擬運転における高齢者のブレーキ応答と手掌発汗反応-危険場面と危険予測場面の比較. 第 25 回日本発汗学会総会, 2017 (埼玉)
- 7) 佐賀里昭, 小林正義, 岩波潤, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 模擬運転テストの危険場面と危険予測場面でみられる手掌部発汗と前頭前野の脳血流動態との関係. 第 25 回日本発汗学会総会, 2017 (埼玉)
- 8) 岩波潤, 小林正義, 佐賀里昭, 佐藤正彬, 百瀬英哉: 模擬運転テストにおける危険場面と危険予測場面のブレーキ・アクセル応答-高齢者と若年者の比較. 第 51 回日本作業療法学会, 2017 (東京)
- 9) Kobayashi M, Sagari A, Iwanami J, Onoda Y, Fukao N, Mita R : Hemodynamics of the prefrontal cortex in hazard and hazard prediction scenes in simulated driving testing. The 1st Asia-Pacific Occupational Therapy Symposium, 2017 (Taoyuan, Taiwan)
- 10) Iwanami J, Kobayashi M, Sagari A, Sasaki T, Momose H, Ohhashi T: Brake and palmar sweating responses occurring during hazard predictive scenes in simulated driving: Comparison of the elderly and younger people. The 1st Asia-Pacific Occupational Therapy Symposium, 2017 (Taoyuan, Taiwan)
- 11) 岩波潤, 小林正義, 佐賀里昭: 自動車模擬運転における危険予測場面のブレーキ応答と手掌発汗反応-高齢者と若年者の比較-. 第 24 回日本発汗学会総会, 2016 (大阪)
- 12) 小林正義, 岩波潤, 佐賀里昭, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 模擬運転テストの危険予測場面でみられる視線動作と手掌部発汗・脳血流反応. 第 24 回日本発汗学会総会, 2016 (大阪)
- 13) 小林正義, 岩波潤, 佐々木努, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 危険認知を評価する模擬運転テストの開発研究: 高齢ドライバーの応答特性. 第 50 回日本作業療法学会, 2016 (札幌)
- 14) 岩波潤, 小林正義, 佐々木努, 百瀬英哉, 大橋俊夫: 模擬運転における危険予測場面のブレーキ応答: 高齢者と若年者の比較. 第 50 回日本作業療法学会, 2016 (札幌)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

[その他]

信州大学 研究者総覧

<http://soar-rd.shinshu-u.ac.jp/profile/ja.gpkUuhkV.html>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：佐賀里 昭
ローマ字氏名：SAGARI, akira

研究協力者氏名：岩波 潤
ローマ字氏名：IWANAMI, jun

研究協力者氏名：百瀬英哉
ローマ字氏名：MOMOME, hideya

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。