

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26289177

研究課題名（和文）脳MRIに基づく高齢ドライバーの危険運転予測法の開発

研究課題名（英文）Prediction of dangerous driving behaviors with MRI data for old drivers

研究代表者

朴 啓彰（Park, Kaechang）

高知工科大学・地域連携機構・客員教授

研究者番号：60333514

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,400,000円

研究成果の概要（和文）：脳部位容積とirritable, aggressive, illegalの3つの危険運転行動タイプとの相関性を調べ、各行動タイプに特有な脳部位を見出した。また、自動車教習所内の走行コース上での白質病変ドライバーの実車運転データから、白質病変がドライブレコーダで計測された速度減速や方向指示器の遅延や自動車教習所指導員によるポジショニングや確認動作の稚拙さに有意に関連していることが判明した。さらに、アクセル・ブレーキ操作時における下肢運動特有な脳活動部位の存在が確認された。MRIによる脳構造データと脳機能データを合わせることで、より精度の高い危険運転予測が可能になると考えられる。

研究成果の概要（英文）：When dangerous driving behaviors are classified into three types, irritable, aggressive, and illegal types, brain feature sites can be found according to the three types. Actual vehicle operation data of old drivers in driving license school showed that the delay of speed control and direction indicator operation measured by a driving recorder and the unskillful positioning and confirmation for safety driving evaluated by instructors were significantly associated with leukoaraiosis grading, especially leukoaraiosis in the frontal lobe. Merging of brain structural and functional data may improve in prediction of dangerous driving behaviors.

研究分野：交通工学・脳医学

キーワード：白質病変 脳部位容積 危険運転予測 高齢ドライバー MRI

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省は、平成 24 年の時点で 65 歳以上の高齢者総数 3079 万人のうち、認知症高齢者を約 462 万人とした。さらに、認知症になる可能性がある軽度認知障害 (MCI) の数も、400 万人と推定している¹⁾。この 400 万人の MCI の多くは、健常高齢運転者と同等に車を運転していると考えてよい。一方、高齢ドライバーが高速道路や幹線道路を逆走した事故などが頻繁に報告され始めている。4 人に 1 人が高齢者となっている超高齢社会では、高齢者は社会経済に不可欠の構成層であるから、高齢者の活動を封じ込めるのではなく、むしろ、モビリティ (車の運転) を確保することが肝要である。そのためには高齢者が安全運転を継続することが前提であり、高齢ドライバーの危険運転を予測する方法論の確立は喫緊の課題である。我々は、高齢ドライバーの危険運転行動は、脳の個人差が原因であると考え、高齢者の脳には大きな個人差が存在するが、主として白質病変と脳萎縮である。白質病変に関しては、脳ドック受診者 3,930 名の過去 10 年間の事故歴アンケート調査結果から、白質病変グレードと交通事故、特に交差点事故に有意な関連性があることを見出したが²⁾、負荷条件なしの実車運転での影響は調べられていない。また、脳容積と運転の関連性は 1 件認めるが約 50 名の小規模研究である³⁾。よって、白質病変と脳容積を含めた脳構造データから、高齢ドライバーの危険行動予測の可能性が期待される。

2. 研究の目的

A) 危険運転行動パターンと脳部位容積との関連性、B) 高齢ドライバーの実車運転における白質病変による運転特性抽出、C) fMRI によるアクセル・ブレーキ運動時の脳活動特徴量抽出を行い、脳データによる高齢ドライバーの危険運転予測の可能性を検討する。

3. 研究の方法

3 - 1 被験者と MRI による脳データ収集

A において、被験者は脳ドック受診者 7 名 (男性 502 名、女性 568 名、平均年齢 53.3 ± 8.91) を解析対象とした。B では、65 歳以上の高齢者 (男性 65 名、女性 27 名、平均年齢 75.5 ± 5.06) に、高知県下の自動車教習所の走行コースを実車実験に参加した。C では、高知工科大学学生から被験者を 12 名募った。MRI データ収集は、A、B においては、協力機関である医療法人健会高知検診クリニック脳ドックセンター内で行われた。MRI 機器として、ECHELON Vega 1.5T (日立メディコ製) を用いた。白質病変は、T1 強調画像、T2 強調画像、フレア画像を総合的に読影して、専門医が診断を行った。脳部位容積は、voxel-based morphometry (VBM) 法、即ち、3次元 T1 強調画像から灰白質抽出、画像の平滑化、形態変形のパラメータを別途標準空間上に定義した脳図譜 (アト

ラス) に逆変換して脳部位毎の容積を算出という手順で計測した。C においては、画像は MAGNETOM Verio 3T (SIEMENS) の 3TMRI を用いて撮像された。タスクは、Presentation version 17.2, build 10.08.14 (NeuroBehavioral Systems 社) を用いて提示された。機能的 T2* 強調画像は $3.4 \times 3.4 \times 5.0$ mm ボクセルのスライス 24 枚, matrix = 64×64 , TR = 2000ms, TE = 35ms, flip angle = 80° , FOV = 220ms で撮像された。構造画像のため T1 強調画像は $1 \times 1 \times 1$ mm ボクセルのスライス 128, matrix = 256×256 , TR = 1900ms, TE = 2.52ms, flip angle = 9° , FOV = 250ms で撮像された。

3 - 2 危険運転行動パターンの定義・評価

危険運転行動パターンは、50 項目の日常的運転行動に関する質問で構成されている運転行動質問紙 (Driving Behaviour Questionnaire; DBQ) を用いた。50 項目の質問のうち、心に余裕がなくいらした運転行動に関する 5 項目の質問に対する頻度カテゴリの回答スコアで, irritable type を定義した。同様に、争いや競争が好きで、ケンカ腰のドライバーに関する 5 項目の質問にする頻度カテゴリの回答スコアで aggressive type を、道路交通法違反で、事故に繋がる危険行動に関する 5 項目の質問に対する頻度カテゴリの回答スコアで illegal type と各々定義した。質問のカテゴリ回答は、1 全くない 2 ほとんどない 3 ときどき 4 頻繁に 5 かなり頻繁に 6 ほぼ毎回の 5 段階であり、各質問の合計を 2 値化した各群 (irritable, aggressive, illegal) に対するモデルを性別、年齢、VBM を用いて構築し、モデルの変数選択を AIC による変数増減法で実施した。有意水準 $p = 0.05$ として有意なモデルパラメータを評価し、leave one out cross validation (LOOCV) によってモデル自身の安定性を評価した。

3 - 3 高齢ドライバーの実車運転における運転行動評価と統計解析

走行実験は教習所内のコースで行われた (図 1)。走行ルートはスタート位置から矢印に従って走行し、再びスタート位置に戻るよう設定された。コースは走行実験前に地図を見ながら口頭で教示され、事前に練習走行を 1 回行施行した。走行ルートには交差点等、9 地点が含まれ (P1 ~ P9) 標準的な運転技能が測定・評価された。コースは 1 人当り 2 回走行した。走行中の運転者のパフォーマンスを評価するため、助手席に同乗した指導員による評価を行った。評価項目は右左折時や進路変更等での確認の適切さを評価した確認得点 7 項目 5 件法、速度の適切さを評価した速度得点 6 項目 5 件法、合図の適切さを評価した合図得点 3 項目 5 件法、ポジショニングの適切さを評価したポジショニング得点 4 項目 5 件法、ふらつきのなさを評価したふらつき得点 4 項目 5 件法、ハンドル操作を評価したハンドル操作得点 1 項目 5 件法を用い、全

項目の平均点を評価得点とした。白質病変の各群（を独立変数、各指標を従属変数とする被験者間一要因分散及び多重比較を行った。

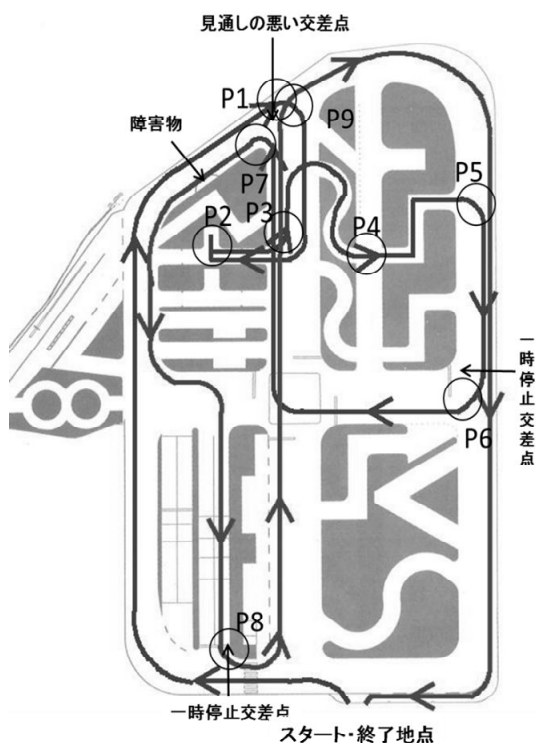


図1 走行コースの概要

3 - 4 fMRI のタスクと解析

被験者には、警察庁方式 CRT 運転適性検査（以下 CRT）のアクセル・ブレーキ反応検査を模したタスクを行った。タスクデザインにおいて、凝視点（+）の後に青、赤、黄いずれかの信号刺激が提示された。タスク中は右足でアクセルペダルを踏み続けるよう指示され、青信号刺激が提示された場合はそのままアクセルペダルを踏み続け、黄信号刺激が提示された場合はアクセルペダルを一度離れた後、再びアクセルペダルを踏み続けた。赤信号刺激が提示された場合はアクセルペダルを離してブレーキペダルを踏み、再びアクセルペダルを踏み続けた。刺激は疑似ランダムで提示され、最初の試行は赤信号以外の刺激であった。それぞれの刺激は画面中央に提示され、2000ms のインターバルで 1300ms 提示された。青信号刺激は 30 試行、赤信号刺激は 15 試行、黄信号刺激は 15 試行提示された。タスクに慣れるため一度練習を行った後にタスクを行った。fMRI データは SPM12 b を用いて一般線型モデルで解析された。青信号活動と比べた際の赤信号刺激特異的活動と黄信号特異的活動を探索した。50 voxel 以上の cluster があり $P < 0.001$ (FWE 補正) を閾値とした Whole brain analysis を施行した。解剖学的脳部位はブロードマンと IBASPM71 アトラスによって特定された。

4 . 研究成果

4 - 1 危険運転行動パターンと脳部位容積等との関連性

被験者 1070 名に、irritable, aggressive, illegal type のアンケート調査結果の二値化を目的変数、説明変数に性別、年齢、脳部位容積の各々単回帰分析して、有意な説明変数を選別する。LOOCV にて、有意変数として 700 回以上選別されたものを最終有意変数とした（AUC は全て 0.7 以上である）。その結果は表 1、表 2、表 3 である。

表1 irritable typeに関連する特徴量

irritable			
variables	個数 ($p < 0.05$)	m ax_OR ($p < 0.05$)	m in_OR ($p < 0.05$)
L_accum b	1070	1.3633	1.2677
L_trans_tem p	1070	1.4358	1.2864
sex	1070	4.2413	3.3742
R_caud	1070	0.7849	0.7219
R_lingual	1069	1.5258	1.3396
L parahipp	1067	1.4253	1.2766
L_lingual	1067	0.7626	0.6609
L_thal	1067	0.7954	0.6653
L_supram arg	1066	0.7572	0.678
L_inf_tem p	1012	0.7779	0.6609
R_entorhinal	950	0.8032	0.7465
R_lat_occ	919	0.7986	0.7549

表2 aggressive typeに関連する特徴量

aggressive			
variables	個数 ($p < 0.05$)	m ax_OR ($p < 0.05$)	m in_OR ($p < 0.05$)
R_lingual	1070	1.6865	1.354
sex	1070	11.1942	8.2138
R_caud	1070	0.7532	0.6546
age	1044	0.9731	0.961
L_put	905	1.4058	1.3325

表3 illegal typeに関連する特徴量

Illegal			
variables	個数 ($p < 0.05$)	m ax_OR ($p < 0.05$)	m in_OR ($p < 0.05$)
L_precentral	1070	0.743	0.620
R_insula	1070	0.723	0.483
sex	1070	4.6054	3.128
L_lat_occ	1051	1.4321	1.255
L_postcentral	762	1.378	1.301
L_insula	712	1.8269	1.6234

irritable, aggressive type は、主に脳底部や辺縁系に参与している一方、illegal type は、大脳皮質系が参与している特徴がある。

4 - 2 高齢ドライバーの実車運転における白質病変による運転特性抽出

白質病変の広がりより、白質病変がないか片側に存在する場合は非進行群、白質病変が両側で軽度な場合は軽度進行型、両側で重度な場合は重度進行型とした。白質病変の各群を独立変数、各指標を従属変数とする被験者間一要因分散及び多重比較の結果が表1であ

表1 白質病変の各群を独立変数、各指標を従属変数とする被験者間一要因分散及び多重比較の結果

	非進行群 (22名)	軽度進行群 (42名)	重度進行群 (28名)	F値	有意 確率	検定 結果	多重比較
◆指導員評価指標							
総合評価得点	3.46(0.55)	3.12(0.61)	3.08(0.51)	3.40	.04	*	非>重* 非>軽†
確認得点	3.22(0.73)	2.80(0.66)	2.79(0.58)	3.57	.03	*	非>軽* 非>重†
速度得点	3.60(0.74)	3.23(0.75)	3.22(0.75)	2.09	.13	ns	-
合図得点	3.45(0.78)	3.21(0.76)	3.13(0.66)	1.29	.28	ns	-
ポジショニング得点	3.80(0.74)	3.60(0.89)	3.54(0.71)	0.70	.50	ns	-
ふらつき得点	3.55(0.71)	3.48(0.69)	3.23(0.94)	1.22	.30	ns	-
ハンドル操作得点	3.50(1.10)	2.83(1.15)	2.82(1.12)	2.76	.07	†	非>軽†
◆ドライブレコーダー							
4地点平均速度	6.68(4.87)	6.86(3.51)	7.62(4.01)	0.42	.56	ns	-
4地点平均確認	3.05(1.27)	2.64(0.94)	2.62(0.90)	1.45	.24	ns	-
4地点平均方向指時間	5.76(1.65)	4.94(1.15)	4.77(1.39)	3.69	.03	*	非>重* 非>軽†
4地点平均最低速度	2.81(2.20)	3.33(2.07)	2.99(1.83)	0.53	.59	ns	-

†p<.10, *p<.05, **p<.01, ***p<.001

る。

表2 前頭葉白質病変に対して、各指標を従属変数とする被験者間一要因分散及び多重比較の結果

	非進行群 (22名)	軽度進行群 (42名)	重度進行群 (28名)	F値	有意 確率	検定 結果	多重比較
◆指導員評価指標							
総合評価得点	3.42(0.55)	3.19(0.69)	3.10(0.56)	2.52	.09	†	無>有†
確認得点	3.21(0.66)	2.86(0.87)	2.78(0.61)	3.64	.03	*	無>有*
速度得点	3.56(0.71)	3.23(0.96)	3.23(0.72)	1.62	.20	ns	-
合図得点	3.41(0.81)	3.24(0.79)	3.18(0.70)	0.78	.46	ns	-
ポジショニング得点	3.61(0.71)	4.14(0.90)	3.53(0.79)	2.74	.07	†	片>有†
ふらつき得点	3.54(0.69)	3.27(0.82)	3.40(0.81)	0.51	.60	ns	-
ハンドル操作得点	3.38(1.12)	3.00(1.18)	2.82(1.15)	1.83	.17	ns	-
◆ドライブレコーダー							
4地点平均速度	7.01(5.00)	5.03(2.27)	7.45(3.74)	1.71	.19	ns	-
4地点平均確認	3.01(1.28)	3.26(0.86)	2.52(0.88)	3.74	.03	*	片>有†
4地点平均方向指時間	5.81(1.57)	4.77(1.68)	4.85(1.18)	4.51	.01	*	無>有* 無>片†
4地点平均最低速度	3.42(0.55)	3.19(0.69)	3.10(0.56)	2.52	.09	†	無>有†

†p<.10, *p<.05, **p<.01, ***p<.001

前頭葉に限定した解析結果は表2である。白質病変ドライバーは、指導員評価指標において確認得点が有意に低下しており、また、ドライブレコーダーでは平均確認時間や平均方向指示器を提示する時間が遅いことが確認できた。

4 - 3 アクセル・ブレーキ操作時の脳活動特徴量の抽出

タスクの正答率は青信号が98% (59/60; 正解数/試行数)、赤信号が100% (30/30)、黄色信号が100% (30/30)であった。赤信号刺激が提示されてからブレーキペダルを踏むまでの平均反応時間は803ms (SD 73)、黄信号刺激が提示されてからアクセルペダルを一度離すまでの平均反応時間は637ms (SD 67)であった。赤信号提示後のブレーキペダル操作時に有意に活動していた脳部位を示す(表6、図2)。表6は、voxel(cluster中の有意な voxel

のうち代表して3つのvoxelのみ示した)のMNI座標系と脳部位、voxelの活動の強度であるZ値を示している。図2は活動した脳部位(活動の強さ; 黄>赤)の解剖学的脳部位名を表しているが、右内側前頭回、左中心傍回、左内側前頭回、左縁上回(左中心後回)、右縁上回で有意な活動が見られた。

表6 赤信号提示後のブレーキペダル操作に関する脳活動部位

x [mm]	y [mm]	z [mm]	Z値	cluster	BA	部位
6	-8	52	7.66269	1039	6	右内側前頭回
-6	-36	70	7.56701			左中心傍回
-10	2	44	7.49221		24	左内側前頭回
-46	-26	20	7.50064	225	13	左縁上回
-44	-36	22	6.81993			左縁上回
-50	-18	18	5.61915		18	左中心後回
44	-30	22	6.29636	64	13	右縁上回
46	-22	20	6.10954			右縁上回

BA, Brodmann's Area

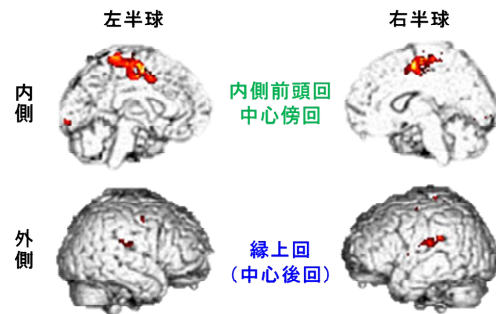


図2 赤信号提示後のブレーキペダル操作に関する脳活動部位

脳構造データのみならず、脳機能データを加えることで、運転特性を特定できる可能性が示唆された。

引用文献

- 1) 厚生労働科学研究成果データベース(文献番号 201218011A)都市部における認知症有病率と認知症の生活機能障害への対応
- 2) Park K, Nakagawa Y, Kumagai Y, and Nagahara M, Leukoaraiosis, A common brain magnetic resonance imaging finding, as a predictor of traffic crashes. PLoS One, 2013, 8(2):e57255.
- 3) Sakai H, Takahara M, et al, Regional Frontal Gray Matter Volume Associated with Executive Function Capacity as a Risk Factor for Vehicle Crashes in Normal Aging Adult, PLoS One, 2012, 7(9): e4592

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計6件)

1. 大田学, 朴啓彰, Handityo Aulia Putra, 繁樹博昭, “アクセル・ブレーキ課題における上下肢運動の脳活動分析”, 第14回ITSシンポジウム, 2016(査読有)
2. 阿部玲佳, 朴啓彰, 大田学, 木村憲従, 三宅宏治, 金光義弘. “大脳白質病変が認められ

るドライバーの動体認知機能解析 - ダイナミック・ビジランス・チェッカー(DVC)を用いて -”, 交通科学 Vol.46, No.2, pp.54-62, 2015 (査読有)

3. 大田学, 阿部玲佳, 蓮花一己, 多田昌裕, 朴啓彰, “前頭葉に白質病変を持つ健常高齢ドライバーの実車運転行動分析”, 第13回 ITS シンポジウム, CDROM, 2015 (査読有)

4. Yan P, Shigemasu H. “Stereo-Curvature Aftereffect Is Due to More Than Shape Curvature Adaptation.”, Perception, Vol.44, No.7, pp.790-813, 2015 (査読有)

5. Nakagawa, Y., Park, K.. Psychological Effect of Passenger Presence on Drivers and Its Dimensions: Scale Development and Validation. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 25A, 86-97, 2014 (査読有)

6. Nakano K, Park K, 他 11 名(2) “Leukoaraiosis significantly worsens driving performance of ordinary older drivers.”, PLOS ONE, 9(10):e108333, 2014. (査読有)

〔学会発表〕(計6件)

1. 大田学, 朴啓彰, Handityo Aulia Putra, 繁柁博昭, “アクセル・ブレーキ課題における上下肢運動の脳活動分析”, 第14回 ITS シンポジウム, (2016年11月10~11日、北海道大学クラーク会館)

2. 金進英, 岩里泰幸, 朴啓彰, 大藤武彦, “SAFETY ドライブチェックにおける運転能力評価方法の精緻化検討”, 第53回土木計画学研究発表会, (2016年5月28~29日、北海道大学工学部)

3. Park K, Ohta M, Abe R, Kodama T, Daito T. “Safe driving guidance on the website of hanko safty navi using driving ability test.”, ITS World Congress, Bordeaux France, 5~9th Oct, 2015

4. 大田学, 阿部玲佳, 繁柁博昭, 朴啓彰, “アクセル・ブレーキ操作における fMRI 分析”, 第13回 ITS シンポジウム, 2015年12月3~4日、首都大学南大沢キャンパス.

5. 大田学, 阿部玲佳, 朴啓彰, “白質病変と運転適性検査成績との関係”, 第12回 ITS シンポジウム, 2014年12月4~5日、東北大学百周年記念会館

6. 阿部玲佳, 朴啓彰, 大田学, 熊谷靖彦 “脳ドック受診者 8923 名を対象にした白質病変ドライバーの交通事故特性”, 第12回 ITS シンポジウム, 2014年12月4~5日、東北大学百周年記念会館

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕あり

出願状況(計0件)

取得状況(計1件)

白質病変による運転診断装置、朴啓彰・熊谷靖彦、特許第 5846168 号(2016年12月4日取得)国内のみ

6. 研究組織

(1)研究代表者

朴 啓彰 (KAECHANG Park)
高知工科大学・地域連携機構・客員教授
研究者番号: 60333514

(2)研究分担者

畠山 豊 (YUTAKA Hatakeyama)
高知大学・医歯学系・准教授
研究者番号: 00376956

門田 宏 (HIROSHI Kadota)
高知工科大学・情報学群・准教授
研究者番号: 00415366

繁柁 博昭 (HIROAKI Shigemasu)
高知工科大学・情報学群・准教授
研究者番号: 90447855

熊谷 靖彦 (YASUHIKO Kumagai)
高知工科大学・地域連携機構・教授
研究者番号: 10368855

(3)連携研究者

大田 学 (MANABU Ohta)
高知工科大学・地域連携機構・研究員
研究者番号: 80727082