

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00267

研究課題名(和文) 高齢者の運転免許継続・返納に関する脳医科学的根拠の提案

研究課題名(英文) Proposal of brain medical evidence for the continuation or surrender of driver's licenses for the elderly

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) 34,600,000円

研究成果の概要(和文)：高齢者ドライバーを対象に、自動車教習所内での安全運転技能と脳特徴量(白質病変容積値と脳萎縮度)の関係を分析した。頭頂葉の白質病変容積は動態視覚認知力の低下を介せず、一方、脳萎縮度と後頭葉の白質病変量は動態視覚認知力の低下を介して、右折時での運転技能スコアの低下と有意な相関を認めた。

脳ドックの大規模MRIデータから、過去の交通事故履歴と脳特徴量との関係を機械学習バッテリーから調べると、白質病変容積値と脳萎縮度を用いた交通事故の予測性能は高い中率・適合率を示した。MRIによる脳内検査により、安全運転技能の低いあるいは交通事故を起こす可能性の高い高齢ドライバーを事前に判別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

高齢者の悲惨な交通事故が国家的喫緊課題となって久しいが、その有効な対策は未だ確立されていない。2060年までの約40年間、日本は高齢化率で世界のトップクラスを維持すると言われている。小手先ではなく、科学的に裏付けられた抜本的な日本の高齢者対策を世界が固唾をのんで見守っているのである。

本研究により、MRIで計測可能な脳特徴量(脳萎縮と白質病変)から、交通事故や危険運転をする高齢ドライバーを事前に同定できる方法論を提唱することが可能になった。今後は、脳ドックで得られる聞き取り調査に加えて、実際の事故当事者から検証できれば、高齢ドライバー対策としてMRI事前判別法は大きな福音になるであろう。

研究成果の概要(英文)：We analyzed the relationship between safe driving skills and brain features (white matter lesion volume and brain atrophy) in elderly drivers at a driving school. White matter lesion volume in the parietal lobe was significantly correlated with a decline in driving skill scores when turning right, regardless of age, through a decline in dynamic visual recognition, while brain atrophy and white matter lesion volume in the occipital lobe caused the similar effect on driving skill during turning right without involving in dynamic visual recognition.

Using large-scale MRI data from a brain checkup, we investigated the relationship between past traffic accident history and brain features using a machine learning battery, and obtained the precision and recall of prediction performance of traffic accidents due to brain factors. It was shown that MRI brain testing may be able to identify elderly drivers with poor driving skills or a high probability of causing traffic accidents in advance.

研究分野：交通工学、脳医科学

キーワード：MRI 高齢ドライバー 交通事故対策 白質病変 脳萎縮 灰白質脳部位

## 1. 研究開始当初の背景

研究代表の朴は、主宰する脳ドック診療から得られた2万件を超える健常脳MRI データを用いて、無症候性大脳白質病変(LA: leukoaraiosis)が交通事故の脳内危険因子であることを報告した(Park, PLOS ONE 2013, ITS シンポジウム 2018)。LA は毛細血管がゴースト化して生じた大脳白質組織の空洞であり、毛細血管と伴走する神経繊維も障害され神経ネットワークの破綻を引き起こすと考えられている。加齢とともに出現頻度は増えることから、脳の老化現象とも見なされている。LA は軽度なものを含めると一般健常中高年者の半数以上に見られる (Park, Neurology 2007)。研究代表者らは、LA ドライバーについて下記の特徴を明らかにした。

A) 注意緩慢時にはハンドル操作の滑らかさが低下する。(Park, PLOS ONE 2014)

B) 注意機能が低下し、反応時間が遅くなる(朴、交通科学 2015)

C) 負荷のない実車運転でもハンドル操作能力が低下する(蓮花、朴、交通心理学 2016、2017)

これらの結果から、朴らは、高齢ドライバーがアクセルやブレーキの踏み間違い、幹線道路への誤進入・逆走等により咄嗟の認知・判断ミスが原因で事故を起こす状況に対して、単に認知症ドライバーを厳しく取り締まるだけでは不十分であり、脳内因子の解明が必要不可欠であると確信し、高齢ドライバーの免許継続や返納の判定基準に、MRI検査データ(脳内因子)が活用できる可能性に着目した。

## 2. 研究の目的

高齢者脳の特徴として、加齢に伴う脳萎縮と大脳白質内毛細血管の障害による脳虚血病変(白質病変)が周知されている。この2大所見には個人差が甚だしく、高齢者の個人差は脳の個人差(脳萎縮度と白質病変容積)に帰着し、この個人差が高齢ドライバーの危険運転や交通事故に繋がるという作業仮説(図1)を立て、脳ドック診療で得られる運転関連情報(下記の事故歴や逆走などの危険運転行動歴)を収集し、更に自動車教習所内での実車運転による安全運転行動評価スコアを用いて、MRIで定量される脳因子と高齢者運転との関係を解明する。

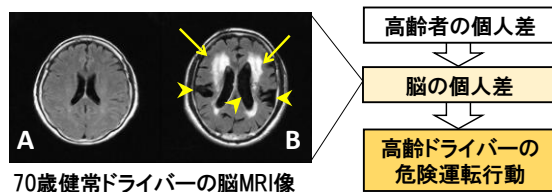


図1 年齢が同じでも脳の個人差は大きい。Aは正常だが、BはLA(矢印)と脳萎縮(矢頭: 脳室や脳溝の拡大)がある。

1) を立て、脳ドック診療で得られる運転関連情報(下記の事故歴や逆走などの危険運転行動歴)を収集し、更に自動車教習所内での実車運転による安全運転行動評価スコアを用いて、MRIで定量される脳因子と高齢者運転との関係を解明する。

## 3. 研究の方法

(1) 協力医療機関である高知検診クリニック脳ドックセンターを受診した健常中高年者5446人(男性3,054人、女性2,392人、年齢20~57歳、平均年齢52.7歳、年齢中央値51歳)を対象に、2016年4月から2019年3月まで高速道路での逆走および逆走寸前(ヒヤリハット)について、一方、11170人の健常脳ドック受診者(男性6,378人、女性4792人、年齢20~87歳、平均年齢52.5歳、年齢中央値51歳)を対象に、市街地狭隘道路内での一方通行逆走事案について、MRIによる白質病変グレードとの関係を統計分析した。

(2) 実車運転実験は、自動車教習所の協力を得て、高齢者の運転免許更新のために公式に指定した閉回路コース(図2)で実施された。運転コース上の6箇所が実車運転評価のために選択され(図2)、101名の地域高齢ドライバー(49名男性、52名女性; 平均年齢77.88 ± 3.77歳)は教官の隣に座った状態で実車運転を施行した。各箇所での「安全確認(頭の左右振りによる安全性の認識と行動)」、「スピード違反(車両速度の選択)」、「合図(方向指示器のタイムリーで適切な使用)」、「安定性(フッキングのない加速とブレーキ、停止線の前での完全な停止)」、「ポジショニング(大小

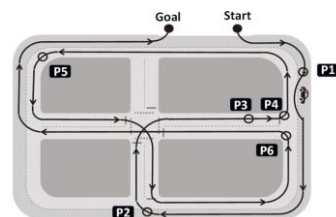


図2 Map of the closed-circuit course with six rating points. P1, changing lanes while driving straight; P2, turning right at an intersection; P3, straight course; P4, turning left at an intersection with a stop sign; P5, large curve with poor visibility; P6, turning left at an intersection.

のカーブのない交差点での曲率半径に沿った車両の動き)」、「ステアリング (適切な開始と終了によるスムーズなハンドリング)」の6カテゴリ (各3点満点) で、総合点にして評価した。

(3) 安全運転には視覚情報処理が必須である。動体視覚認知 (DVC: Dynamic Visual Cognition) 検査 (図3) を用いて、(3-2) と同じ条件下で、脳特微量、DVC、運転評価との関係性をパス解析した。DVCはモニター上を移動するシグナルを認知した際に釦を押すというパソコン使用の視覚認知検査である。白質病変グレードの代わりに容積値を用いた。

(4) 脳ドック受診者8166名 (男性4580名、女性3586名; 平均年齢53.19±8.824歳) を対象に、年齢、性別、平均運転距離、脳特微量 (脳萎縮度、白質病変容積値)、過去の交通事故歴を学習データにして、交通事故予測を試みた。

#### 4. 研究成果

(1) 年齢、性別、運転頻度、および白質病変グレードを説明変数、逆走事案を目的変数にした多変量ロジスティック解析を行った結果は、高速道路の逆走のみに白質病変グレードとの有意の関連性を認めた (Table1)。

(2) 教官の実車運転評価を目的変数に、年齢、性別、運転頻度、白質病変グレード、脳葉毎の脳容積、脳萎縮度を説明変数にした重回帰分析を行った (Table2)。白質病変グレードが2以上で同時に脳萎縮度が0.217以上の条件を満たすモデル8のみが、実車運転評価スコアの低下と有意の相関を示した。則ち、加齢脳が進んでいるグループは、そうでないグループと比較して、安全運転能力が劣化していることが示唆された。

(3) DVC成績を介した、脳萎縮度と脳葉毎の白質病変容積と実車運転評価スコアとの関係をパス解析した (図4)。頭頂葉の白質病変容積は動体視覚認知力の低下を介せず、一方、脳萎縮度と後頭葉の白質病変量は動体視覚認知力の低下を介して、右折時での運転技能スコアの低下と有意な相関を認めた。頭頂葉の白質病変は、モデルに脳萎縮度の変数を知れないと成立しなかったため、頭頂葉でも脳萎縮が何らかの関与をしていると推察している。上述の関係は全て、年齢の影響を受けなかった。また、遂行機能は前頭葉機能の代表的なものであるが、今回の実験では前頭葉は関与しなかった。実車での評価では、車線変更時、左折時、一時停車時などは関係せず、右折時のみに有意であった。

(4) 機械学習としてランダムフォレストを採用し、LASSO法を用いてデータセットの特徴選択と次元削減を行った。モデル学習に層別K分割交差検証を用いて、不均衡処理としてオーバーサンプリング法、分析のロバスト性としてブートストラップ法を採用した。モデル評価には、的中率・適合率・再現率・F1スコア・ROC-AUC・クロス検証を用いた。学習データとして、年齢、性別、白質病変容積を用いた場合の事故予測はTable3の上段である。更に、全脳容積や脳葉容積を茂用

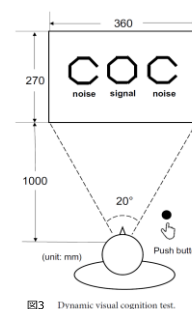


図3 Dynamic visual cognition test.

Table 1. Multiple logistic analyses of wrong-way entry and near one on highways, wrong-way entry on roads with multiple lanes, and wrong-way entry on narrow roads with one-way

Explanatory Variables	Wrong-way Entry and Near One on Highways		Wrong-way Entry on Roads with One-way		Wrong-way Entry on Roads with Multiple Lanes	
	Cases/Participants	Adjusted OR (95% CI)	Cases/Participants	Adjusted OR (95% CI)	Cases/Participants	Adjusted OR (95% CI)
Gender and Age						
Male or Female, Age <40	12/842	1.68 (0.86-3.28)	18/424	1.16 (0.68-1.97)	4/424	0.81 (0.28-2.38)
Male, Age=40-59	39/1148	1 [Reference]	73/1985	1 [Reference]	23/1985	1 [Reference]
Female, Age=40-59	47/3332	1.52 (0.89-2.34)†	72/1705	1.15 (0.82-1.61)	27/1705	1.39 (0.79-2.46)
Male, Age ≥ 60	32/1809	1.68 (1.03-2.75)*	21/857	0.85 (0.39-1.08)	8/857	0.82 (0.36-1.86)
Female, Age ≥ 60	23/1039	2.20 (1.30-3.74)**	15/475	0.84 (0.47-1.47)	3/475	0.55 (0.16-1.87)
Leukoaraiosis Classification						
None	80/7047	1 [Reference]	135/3567	1 [Reference]	45/3567	1 [Reference]
Single	18/1130	1.34 (0.79-2.27)	17/537	0.90 (0.54-1.49)	4/537	0.61 (0.21-1.71)
Multiple or large multiple	55/2993	1.48 (1.02-2.14)*	47/1342	1.04 (0.73-1.48)	16/1342	1.05 (0.57-1.93)
Driving Exposure *						
1	62/4822	1 [Reference]	95/2514	1 [Reference]	29/2514	1 [Reference]
2	41/3027	1.07 (0.72-1.59)	48/1290	0.98 (0.69-1.39)	14/1290	0.94 (0.49-1.80)
3 or 4	50/3321	1.25 (0.86-1.81)	56/1642	0.90 (0.65-1.26)	15/1077	1.16 (0.66-2.05)
Total	153/11170		199/5446		65/5446	

Notes. a: Frequency of driving (1=Two hours or less per week, 2=Five hours or less per week, 3=Ten hours or less per week, 4=More than ten hours per week). † p < 0.1, \* p < 0.05, \*\* p < 0.01.

TABLE 2 | Regression analysis results with driving instructor's scores (DRS).

Predictive variables	Objective variable = driving instructor's score <sup>a</sup>															
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4		Model 5		Model 6		Model 7		Model 8	
	beta	s.e.	beta	s.e.	beta	s.e.	beta	s.e.	beta	s.e.	beta	s.e.	beta	s.e.	beta	s.e.
Gender = Male	0.14	0.10	0.14	0.11	0.17	0.10	0.16	0.10	0.15	0.10	0.15 <sup>b</sup>	0.10	0.17 <sup>b</sup>	0.10	0.16	0.10
Age <sup>c</sup>	-0.24 <sup>d</sup>	0.10	-0.28 <sup>d</sup>	0.11	-0.23 <sup>d</sup>	0.11	-0.24 <sup>d</sup>	0.11	-0.27 <sup>d</sup>	0.10	-0.19	0.12	-0.14	0.12	-0.15	0.12
Brain conditions																
1) LA <sup>e</sup> ≥ 2	-0.20	0.10											-0.21 <sup>f</sup>	0.10		
2) Frontal_Vol/ICV <sup>g</sup>			-0.03	0.11												
3) Temporal_Vol/ICV					0.13	0.11										
4) Parietal_Vol/ICV							0.09	0.11								
5) Occipital_Vol/ICV									0.10	0.10						
6) BA <sup>h</sup> = 1 - (TBV/ICV)											-0.2	0.12	-0.17 <sup>f</sup>	0.12	-0.24 <sup>f</sup>	0.12
7) LA ≥ 2 and BA ≥ 0.217 <sup>i</sup>																-0.24 <sup>f</sup>
Model statistics																
R <sup>2</sup>	0.14		0.10		0.12		0.11		0.11		0.12		0.16		0.14	
Adjusted R <sup>2</sup>	0.11		0.07		0.08		0.08		0.08		0.09		0.12		0.11	
n	90		90		90		90		90		90		90		90	

<sup>a</sup>p < 0.1. <sup>b</sup>Age is dealt with as a continuous variable. <sup>c</sup>Brain atrophy. <sup>d</sup>p < 0.05. <sup>e</sup>Leukoaraiosis. Theoretical range = 0-5. <sup>f</sup>Total Brain Volume. <sup>g</sup>p < 0.01. <sup>h</sup>Intracranial Volume. <sup>i</sup>The median value was 0.217. <sup>j</sup>Summation of scores evaluated by an instructor at four points in the driving course. Theoretical range was 0-100. M = 64.2 and SD = 11.4 s.e., standard error.

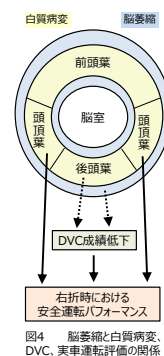


図4 脳萎縮と白質病変、DVC、実車運転評価の関係

いた場合は、白質病変容積単独と比べて、的中率・適合率・F1スコア・ROC-AUC・クロス検証の全てにおいて、数値は向上していた (Table3の下段)。特に、30-40歳代では、顕著であった。則ち、30-40歳代において白質病変や脳萎縮が見られる場合には、交通事故を起こす確率が高いと推察される。若い世代での白質病変や脳萎縮は、喫煙や飲酒が主な原因であるの

で、生活習慣の改善が事故防止に繋がる可能性が示唆された。但し、再現率は上段・下段とも低く、新たな脳内因子、例えばfMRIによる脳機能データを加える必要があるかも知れない。

学習データ：年齢, 性別, 平均運転距離, 白質病変容積 (全脳、各脳葉毎の容積)

年代	的中率		適合率		再現率		F1 score		ROC-AUC		特異度		交差検証	
	mean	std	mean	std	mean	std	mean	std	mean	std	mean	std	mean	std
30-40	0.741	0.135	0.516	0.195	0.597	0.095	0.534	0.135	0.738	0.127	0.782	0.171	0.776	0.135
40-50	0.782	0.122	0.494	0.182	0.566	0.079	0.508	0.128	0.754	0.102	0.828	0.146	0.824	0.116
50-60	0.772	0.142	0.464	0.211	0.556	0.084	0.479	0.155	0.737	0.130	0.811	0.167	0.806	0.139
60-70	0.768	0.150	0.442	0.215	0.552	0.075	0.461	0.164	0.729	0.123	0.805	0.173	0.803	0.147
30-70	0.779	0.148	0.452	0.215	0.549	0.075	0.465	0.160	0.738	0.121	0.816	0.170	0.814	0.143

さらに、TBV/ICV, frontal・parietal・temporal・occipital/ICVを学習データに追加

年代	的中率		適合率		再現率		F1score		ROC-AUC		特異度		交差検証	
	mean	std	mean	std	mean	std	mean	std	mean	std	mean	std	mean	std
30-40	0.844	0.072	0.700	0.119	0.599	0.108	0.634	0.090	0.853	0.070	0.914	0.090	0.901	0.056
40-50	0.832	0.120	0.652	0.216	0.571	0.074	0.587	0.138	0.808	0.111	0.889	0.143	0.876	0.119
50-60	0.846	0.113	0.650	0.218	0.555	0.082	0.574	0.139	0.814	0.102	0.902	0.131	0.889	0.113
60-70	0.823	0.143	0.606	0.258	0.549	0.078	0.542	0.172	0.783	0.127	0.873	0.165	0.861	0.145
30-70	0.841	0.131	0.633	0.248	0.550	0.076	0.555	0.160	0.802	0.114	0.892	0.151	0.880	0.132

Table 3 Prediction of traffic crashes using brain structure data by Random Forest method

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kaechang Park, Kazumi Renge, Yoshinori Nakagawa, Fumio Yamashita, Masahiro Tada and Yasuhiko Kumagai	4. 巻 13
2. 論文標題 Aging Brains degrade driving safety performances of the healthy elderly	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Aging Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnagi.2021.783717	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 -
1. 著者名 Renge Kazumi, Park Kaechang, Tada Masahiro, Kimura Toshiaki, Imai Yasuo	4. 巻 75
2. 論文標題 Mild functional decline and driving performance of older drivers without a diagnosed dementia: Study of leukoaraiosis and cognitive function	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour	6. 最初と最後の頁 160 ~ 172
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.trf.2020.09.016	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 -
1. 著者名 Park Kaechang, Putra Handityo Aulia, Yoshida Shinichi, Yamashita Fumio, Kawaguchi Atsushi	4. 巻 14
2. 論文標題 Uniformly positive or negative correlation of cerebral gray matter regions with driving safety behaviors of healthy older drivers	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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/s41598-023-50895-7	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 -
1. 著者名 Oba Hikaru, Park Kaechang, Yamashita Fumio, Sato Shinichi	4. 巻 12
2. 論文標題 Parietal and occipital leukoaraiosis due to cerebral ischaemic lesions decrease the driving safety performance of healthy older adults	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1 - 9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-25899-4	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 -

1. 著者名 Putra Handityo Aulia, Park Kaechang, Oba Hikaru, Yamashita Fumio	4. 巻 13
2. 論文標題 Adult attention-deficit/hyperactivity disorder traits in healthy adults associated with brain volumetric data identify precuneus involvement in traffic crashes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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/s41598-023-49907-3	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4件(うち招待講演 1件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Kaechang Park, Yasuhiko Kumagai
2. 発表標題 Aging brain and driving safety performances
3. 学会等名 ITS world congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 朴啓彰、沖田学、佐藤誠、鎌倉航平
2. 発表標題 軽度認知機能障害を呈した 高齢ドライバー症例への運転リハによる 安全運転の維持・向上に関する中長期報告
3. 学会等名 ITS シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 朴啓彰
2. 発表標題 脳加齢現象である白質病変を有する高齢ドライバーの実車運転行動解析
3. 学会等名 第25回日本老年行動科学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 朴啓彰
2. 発表標題 無症候性白質病変と安全運転の関係
3. 学会等名 第32回日本脳ドック学会総会（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 朴啓彰	4. 発行年 2024年
2. 出版社 アスコム	5. 総ページ数 304
3. 書名 75歳を越えても安全運転できる運転脳を鍛える本	

〔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
研究分担者	吉田 真一  (YOSHIDA shinichi)  (30334519)	高知工科大学・情報学群・教授   (26402)	
研究分担者	沖田 学  (OKITA manabu)  (80816934)	高知工科大学・地域連携機構・客員研究員   (26402)	
研究分担者	繁樹 博昭  (SHIGEMASU hiroaki)  (90447855)	高知工科大学・情報学群・教授   (26402)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	山下 典生  (YAMASHITA fumio)  (90628455)	岩手医科大学・医歯薬総合研究所・准教授    (31201)	

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