

脳構造計測による 高齢ドライバーの運転特性分析

朴 啓彰¹・山下 典生²・中川 善典³・大田 学⁴・阿部 玲佳⁵・熊谷 靖彦⁶

¹非会員 高知工科大学客員教授 地域連携機構地域交通医学研究室 (〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185)

E-mail: park.kaechang@kochi-tech.ac.jp

²非会員 岩手医科大学助教 医歯薬学総合研究所超高磁場MRI診断・病態研究部門 (〒028-3694 岩手県柴波群矢巾町西徳田2-1-1)

E-mail: fyamashi@iwate-med.ac.jp

³正会員 高知工科大学准教授 マネジメント学部マネジメント学科 (〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185)

E-mail: nakagawa.yoshinori@kochi-tech.ac.jp

⁴非会員 高知工科大学客員研究員 地域連携機構地域交通医学研究室 (〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185)

E-mail: ohta.manabu@kochi-tech.ac.jp

⁵非会員 高知工科大学客員研究員 地域連携機構地域交通医学研究室 (〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185)

E-mail: abe.reika@kochi-tech.ac.jp

⁶正会員 高知工科大学教授 地域連携機構地域ITS社会研究室 (〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185)

E-mail: kumagai.yasuhiko@kochi-tech.ac.jp

高齢ドライバーの交通事故対策にとって個人差問題を克服することが重要である。我々は高齢ドライバーの脳容積を領域別に自動計測することができる手法を用いて脳の個人差と危険運転行動との相関性を解析した。被験者2,609名に対して、62の脳部位を5グループに分類することができた。それぞれのグループの代表的な部位として、Left Rostral Anterior Cingulate, Right Inferior Parietal, Right Inferior Temporal, Left Superior Frontal, Right Pericalcarineを選択した。その5つの部位とDriving Behaviour Questionnaire(DBQ)から評価される「深刻な違反」「危険なエラー」「軽微のエラー」について相関性を解析すると、軽微のエラーの頻度とSuperior Frontalの容積が負の相関性を示した。

Key Words : magnetic resonance imaging, cerebral cortex, voxel based morphometry, driving behaviour questionnaire, elderly drivers,

1. はじめに

高齢ドライバー対策で克服すべき問題点の一つに個人差がある。年齢では捉えられない高齢者の多様な個人差をどう扱うかが問題となるが、我々は、「運転は脳が司る。だから脳を調べる」という視点から、年齢区分では解決できない個人差を、直接脳を調べることにより、即ち脳MRI計測データに基づいて、脳構造の個人差と危険運転行動との関連性を探究している^{1,2)}。脳構造は、神経細胞が密集している大脳灰白質(大脳皮質)と神経線維が密集している大脳白質(大脳髄質)とに大きく2分される。

大脳白質には、高血圧・糖尿病・高脂血症の生活習慣病やメタボリック症候群等の動脈硬化性疾患がリスク因子となる無症候性白質病変が健常中高年者の約30%に認められる³⁾。我々は、この白質病変と交通事故、特に交差点事故との有意の相関性を既に報告している¹⁾。さらに、高齢者では白質病変と交差点事故との相関性がより強くなることも報告している²⁾。広範囲の白質病変は脳卒中や認知症のリスク因子であるとされているが、健常者の白質病変のほとんどは軽度であり、臨床レベルでは特に認知機能

低下はないとされている⁴⁾。しかしながら、警察庁方式CRT運転適性検査では、白質病変ドライバーが非白質病変ドライバーと比較して、アクセルやブレーキの踏み違え率やアクセルからブレーキへの反応速度変動率が有意に大きいことも報告している⁵⁾。このように、我々の知見より、危険運転をする個人差として脳内因子（白質病変）の可能性が示された。

今回、我々は脳灰白質容積の解析手法である voxel-based morphometry (VBM) 法を応用した脳領域容積測定法を用いて、2,609名の大規模被験者を対象に高齢者と非高齢者の2群間比較から、危険運転行動と関連する脳灰白質の特徴量を抽出する試みを行い、興味ある知見を得たので報告する。

2. 方法

(1) VBM法を応用した脳領域容積測定について

VBM法は一般的に、以下の手順で行われる⁶⁾。

- ①3次元T1強調画像から灰白質を抽出する。
- ②解剖学的標準化とよばれる基準画像への形態合わせを行う。
- ③解剖学的標準化では吸収しきれない形態の個人差の影響を低減させるため画像の平滑化を行う。
- ④ボクセル毎に統計学的解析を行う。

本研究ではこのVBM法を応用し、②の解剖学的標準化の際に求めた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）に逆変換として適用することによって個人の画像に重ね合わせる。この個人画像に重ね合わせたアトラスの各脳領域の全ボクセルについて、①で求めた灰白質の密度を積算することで各脳領域の灰白質容積を算出する（図1）。

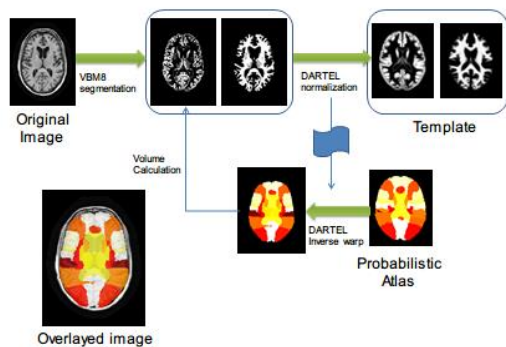
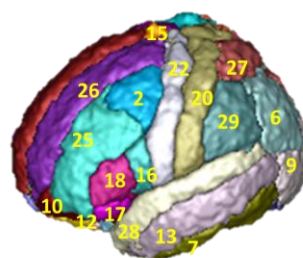


図-1 VBM法を応用した脳領域ごとの体積測定

アトラスには、脳灰白質を左右合わせて62部位に分割するMindboggle 101を用いた⁷⁾。頭部の大きさの影響を排除するため、各部位における容積を被験者の頭蓋内容積で割った比を最終計測値とした。



- 2 : Caudal Middle Frontal
- 6 : Inferior Parietal
- 7 : Inferior Temporal
- 9 : Lateral Occipital
- 10 : Lateral Orbitofrontal
- 12 : Medial Orbitofrontal
- 13 : Middle Temporal
- 15 : Paracentral
- 16 : Pars Opercularis
- 17 : Pars Orbitalis
- 18 : Pars Triangularis
- 20 : Postcentral
- 22 : Precentral
- 25 : Rostral Middle Frontal
- 26 : Superior Frontal
- 27 : Superior Parietal
- 28 : Superior Temporal
- 29 : Supramarginal

図-2 Mindboggle 101 による脳の分類 (外側)



- 1 : Caudal Anterior Cingulate
- 3 : Cuneus
- 4 : Entorhinal
- 5 : Fusiform
- 8 : Isthmus Cingulate
- 11 : Lingual
- 14 : Parahippocampal
- 19 : Pericalcarine
- 21 : Posterior Cingulate
- 23 : Precuneus
- 24 : Rostral Anterior Cingulate
- 30 : Transverse Temporal
- 31 : Insula

図-3 Mindboggle 101 による脳の分類 (内側)

(2) 危険運転行動の質問紙法 (DBQ)

被験者の危険行動は、質問紙法による調査手法を用いた。Reasonらによって開発された運転行動質問紙 (Driving Behaviour Questionnaire; DBQ) 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⁸⁾。Reasonは因子分析の結果、各質問項目は3つの因子に分類されると報告した。この3つの因子とは、深刻な違反 (Violation)、危険なエラー (Hazardous Error)、軽微なエラー (Non-Hazardous Error) であった (表1)。深刻なエラーとは他者に危険を及ぼすような違反のことであり、危険なエラーとは危険性はあるが、意図的ではないような失敗である。軽微なエラーとは危険というより「愚かな」失敗であり、其れを行った者が不快になる失敗である。危険運転行動評価に、社会的に容認されるかされないかという社会環境的視点を導入した。DBQは、欧米諸国のみならず、トルコや中国、ブラジルなど世界各国で用いられており、国によって4因子構造を報告する例もあるが、Violation とErrorに分割されるという点は共通している⁹⁾。

Hazardous Error (HE)、Violation (V)、Non-Hazardous Error (NHE) に該当する質問項目は各々3個づつ有り、各項目は6段階の頻度に尺度分類され、その合計点(3点から18点の範囲)で評価した。

表-1 DBQ

Factor	
Hazardous Error (HE)	考え事に夢中になったり、あるいは注意がそれたりして、横断歩道で横断待ちをしている人や、赤に変わったばかりの歩行者信号に気づかなかった。
	発進したり、車線変更したり、曲がったりする際、ミラーを確認し忘れた。
Violation (V)	幹線道路から横道に曲がるとき、横断している歩行者に気づかなかった。
	夜遅くあるいは早朝に、わざと制限速度を無視した。
Non-Hazardous Error (NHE)	追い越し車線の遅いドライバーにいらいらして、内側から追い抜いた。
	片側1車線の道路でゆっくりと運転する車の後ろにつき、いらいらして、危険状況なのに追い越そうとする衝動に駆られた。
Non-Hazardous Error (NHE)	ほとんど動かない車の列を追い越したところ、道路工事や一車線の道路を通過するための列だったことに気づいた。
	ルートの変更が悪かったために、避けることのできた渋滞に巻き込まれてしまった。
	立体駐車場の中の、どこに車を止めたかを忘れた。

HE : 重要な危険性を見落としたまま運転してしまうこと
 V : 禁止されていることを積極的に拒否すること
 NHE : エラーのうち、直接的な事故が記されていないもの

(3) 被験者と統計処理

高知検診クリニック脳ドックセンターで脳ドックを受診した2,609名（男性1508、女性1101）、平均年齢54.24±10.03歳を対象にした。日常生活で自動車運転をし、DBQに回答をした脳ドック受診者を被験者とした。因子分析とピアソン積率相関係数は、Mathematica version 6.0 (Wolfram Research, Inc., Champaign, IL, USA)を用いて解析した。

3. 結果

(1) 因子分析

被験者2,609名に対する62脳部位の容積比の共通性を持った部位グループを探るために、因子分析を行った。表2より、5つの因子グループに分類できた。第1因子は Rostral Anterior Cingulate, Insula, Medial Orbitofrontal, Caudal Anterior Cingulate, Lateral Orbitofrontal, Pars Triangularis, Pars Opercularis, Pars Orbitalis であり、このうち因子負荷量が最大のものを主な部位 (A) Left Rostral Anterior Cingulate とした。第2因子は、Precuneus, Inferior Parietal, Superior Parietal, Supramarginal, Posterior Cingulate, Isthmus Cingulate, Postcentral であり、主な部位は (B) Right Inferior Parietal とした。第3因子は、Inferior Temporal, Middle Temporal, Superior Temporal, Fusiform, Parahippocampal, Entorhinal であり、主な部位は (C) Right Inferior Temporal とした。第4因子は、Superior Frontal, Caudal Middle Frontal, Paracentral, Precentral であり、主な部位は (D) Left Superior Frontal とした。第5因子は、Pericalcarine, Lingual, Lateral Occipital, Cuneus, Paracentral であり、主な部位は (E) Right Pericalcarine とした。

(2) 脳部位容積比と危険運転行動との相関性

(1)で求めた各因子グループを代表する脳部位 A, B, C, D, E と危険運転行動指標である HE, V, NHE との相関性を65歳未満の非高齢者群 (表3) と65歳以上の高齢者群 (表4) で比較した。非高齢者群では、各因子間での相関性は見られなかった。高齢者群で

は、唯一Superior Frontalの容積比と軽微のエラー頻度が、他の因子とは異なり負の相関傾向を示した。

表-3 非高齢者 (64歳以下) におけるVBMおよびDBQ因子の相関

	Age	VBM					DBQ		
		A	B	C	D	E	HE	V	NHE
Age	1.00								
VBM	A	-0.44	1.00						
	B	-0.27	0.38	1.00					
	C	-0.29	0.31	0.31	1.00				
	D	-0.35	0.49	0.36	0.28	1.00			
	E	0.13	-0.02	0.12	0.03	-0.02	1.00		
DBQ	HE	-0.04	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	1.00	
	V	0.01	0.00	-0.03	-0.02	0.00	-0.03	0.37	1.00
	NHE	-0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	-0.02	0.43	0.35

表-4 高齢者 (65歳以上) におけるVBMおよびDBQ因子の相関

	Age	VBM					DBQ		
		A	B	C	D	E	HE	V	NHE
Age	1.00								
VBM	A	-0.41	1.00						
	B	-0.11	0.22	1.00					
	C	-0.09	0.22	0.28	1.00				
	D	-0.21	0.37	0.35	0.18	1.00			
	E	0.22	-0.18	0.11	-0.06	0.04	1.00		
DBQ	HE	0.05	-0.02	-0.05	-0.02	-0.04	-0.04	1.00	
	V	0.00	0.04	0.03	0.01	0.03	-0.08	0.39	1.00
	NHE	0.02	-0.05	-0.01	-0.02	-0.15	-0.04	0.43	0.41

A: Left Rostral Anterior Cingulate (Factor1)
 B: Right Inferior Parietal (Factor2)
 C: Right Inferior Temporal (Factor3)
 D: Left Superior Frontal (Factor4)
 E: Right Pericalcarine (Factor5)
 HE : 重要な危険性を見落としたまま運転してしまうこと
 V : 禁止されていることを積極的に拒否すること
 NHE : エラーのうち、直接的な事故が記されていないもの

4. 考察

Superior frontal は、その領域に一次運動野と補足運動野を含んでいる。安全運転には、危険状況を認知し、危険回避のための判断を行い、その判断に基づくハンドル・アクセル・ブレーキ操作を瞬時に執り行う高次脳機能である遂行機能が関与している¹⁰⁾。この遂行機能は加齢と共に低下するが¹¹⁾、補足運動野との関連性が知られている。補足運動野は運動機能を補助する以下の役割(自発性・時系列処理)がある¹²⁾。①動作の自発性開始過程 ②大脳皮質を介する反射の制御 ③運動の時系列状の構成 ④左右手・動作調節・姿勢制御の協同 ⑤連続動作の企画と構成 ⑥複数動作の順序制御などが補足運動野に関連する報告されている。①から⑤まで全ての役割において、安全運転を施行する際には、必要不可欠な脳機能であると言える。我々は、非高齢者群と比較して、高齢者群では、補足運動野を含むsuperior frontalの容積比減少が、軽微のエラー頻度に関連する傾向を報告した。補足運動野に関しては、高齢ドライバーの危険運転行動と有意の関連性が、榊らによって既に報告されている¹³⁾。彼らは、サンプル数が39名と極端に少ないながら、補足運動野に限定して灰白質容積をVBM法で求め、DBQの「危険なエラー」のスコアとの負の相関性を示した。我々の解析では、危険なエラーとは相関性がなく、軽微のエラーのみに相関性を認めた。彼らとの相違は、①サンプル数の違い ②被験者が地域住民のボランティア

であるか、脳ドック受診者であるかの違いによるものと思われる。高齢者になっても自費で脳ドックを受けるだけの社会的背景により、普通の高齢ドライバーと比べて、慎重な運転行動をし、「危険なエラー」より「軽微のエラー」の頻度が多くなる傾向をしているからかも知れない。

我々は、白質病変と交差点事故との有意の相関性を報告しているが、高齢ドライバーにおいては、その相関性がより顕著であると報告している^{1,2)}。白質病変は、前頭葉の白質に好発する。今回の解析には、白質病変の有無は考慮していない。白質病変の大きさと位置情報を脳領域容積解析結果に加えると、危険運転行動との関連性がさらに明白化することが期待される。

脳領域容積解析は、交通事故防止対策における個人差問題、特に高齢ドライバーの個人差問題を根本解決できる有力なツールの1つであると言える。脳領域容積解析による脳と危険運転行動との関連性を効率よく検証するためには、頻繁に事故を繰り返す高齢ドライバーのMRI計測が不可欠であるが、そのためには警察当局からの資料・情報提供が鍵になると考えている。

5. 結論

被験者2,609名にVBM法を応用した脳領域容積計測を行った結果、脳部位を5つの因子グループに分類することができた。さらにその5つの因子とDBQ得点を比較すると、軽微のエラーとSuperior Frontalの容積減少が相関していた。

謝辞：被験者のMRI撮像をして頂いた高知検診クリニック臨床検査技師の唐岩由生子さんと、アンケートデータの入力をして頂いたメディカルクラークの山本伊都美さんに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 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.*, Vol.8, Issue.2, 2013.
- 2) 朴啓彰, 熊谷靖彦：脳 MRI 検査が危険運転防止に新局面開くー高齢ドライバーの個人差判定に脳科学の知見が貢献ー.pp28-31, *道路*(10), 2013.
- 3) Park, K. Yasuda, N. Toyonaga, S. Yamada, SM. Nakabayashi, H. Nakasato, M. Nakagomi, T. Tsubosaki, E. and Shimizu, K. : Significant association between leukoaraiosis and metabolic syndrome in healthy subjects, *Neurology*, Vol.69, No.10, 2007.
- 4) Ross, E.D. Hansel, S.L. Orbelo, D.M. and Monnot, M. : Relationship of leukoaraiosis to cognitive decline and cognitive aging, *Cogn Behav Neurol.*, 18(2), 2005.
- 5) 朴啓彰, 永原三博, 熊谷靖彦, 片岡源宗：大脳白質病変と警察庁方式 CRT 運転適性検査との関連性について, 第10回ITSシンポジウム, CD-ROM, 2011.
- 6) Ashburner, J. and Friston, K.J. : Voxel-based morphome-

- try--the methods, *Neuroimage*, Vol.11, Issue.6, 2000.
- 7) Klein, A. and Tourville, J. : 101 labeled brain images and a consistent human cortical labeling protocol, *Front Neurosci.*, Vol.6, Article.171, 2012.
- 8) Reason JT, Human Error. Cambridge; University Press, 1990.
- 9) Özkan, T. Lajunen, T. and Summala, H. : Driver Behaviour Questionnaire: A follow-up study, *Accident Analysis & Prevention*,38(2)., 2006
- 10) Adrian, J. Postal, V. Moessinger, M. Rasclé, N. and Charles, A. : Personality traits and executive functions related to on-road driving performance among older drivers, *Accid Anal Prev*, Vol.43, Issue.5, 2011.
- 11) Daigneault, G. Joly, P. and Frigon, J. Y : Executive functions in the evaluation of accident risk of older drivers, *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, Vol.24, Issue.2, 2002.
- 12) Di, X. Rypma, B. and Biswal, B.B. : Correspondence of executive function related functional and anatomical alterations in aging brain, *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, Vol.48, 2014.
- 13) Sakai, H. Takahara, M. Honjo, N.F. Doi, S. Sadato, N. and Uchiyama, Y. : Regional frontal gray matter volume associated with executive function capacity as a risk factor for vehicle crashes in normal aging adults, *PLoS One.*, Vol.7, Issue 9, 2012.

表-2 62脳部位毎におけるVBM容積比の因子分析

Region of Brain	Factor1 Hemisphere		Factor2 Hemisphere		Factor3 Hemisphere		Factor4 Hemisphere		Factor5 Hemisphere	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right
Rostral Anterior Cingulate	0.78	0.69	0.24	0.21	0.14	*	0.19	0.18	*	*
Insula	0.74	0.74	0.39	0.37	0.30	0.30	*	*	*	*
Medial Orbitofrontal	0.68	0.67	0.15	0.17	0.27	0.28	0.18	0.19	*	*
Caudal Anterior Cingulate	0.60	0.56	0.33	0.28	*	*	0.34	0.30	*	*
Lateral Orbitofrontal	0.57	0.61	*	*	0.20	0.17	*	*	0.13	0.13
Pars Triangularis	0.52	0.51	*	*	0.26	0.30	0.35	0.36	*	*
Pars Opercularis	0.52	0.52	0.23	0.22	0.27	0.30	0.29	0.25	*	*
Pars Orbitalis	0.49	0.52	*	*	0.16	0.17	0.13	0.12	0.11	0.12
Precuneus	0.11	0.15	0.64	0.62	0.12	0.12	0.37	0.33	0.32	0.32
Inferior Parietal	0.18	0.21	0.63	0.64	0.21	0.26	0.14	0.20	0.20	0.20
Superior Parietal	*	*	0.57	0.57	0.17	0.16	0.22	0.22	*	*
Supramarginal	0.28	0.31	0.53	0.50	0.29	0.28	0.16	0.14	*	*
Posterior Cingulate	0.37	0.39	0.51	0.48	0.15	0.16	0.38	0.37	*	*
Isthmus Cingulate	0.16	0.22	0.49	0.50	0.22	0.26	0.15	0.13	0.31	0.29
Postcentral	0.14	0.11	0.42	0.43	0.23	0.20	0.27	0.25	*	*
Inferior Temporal	0.16	0.21	0.12	0.13	0.68	0.71	0.10	0.11	0.18	*
Middle Temporal	0.31	0.31	0.25	0.22	0.67	0.71	0.27	0.26	*	*
Superior Temporal	0.43	0.42	0.27	0.20	0.63	0.67	0.22	0.18	*	*
Fusiform	0.26	0.27	0.31	0.30	0.62	0.61	*	*	0.24	0.22
Parahippocampal	0.17	0.25	0.24	0.23	0.46	0.48	*	*	0.21	0.21
Entorhinal	0.30	0.29	*	0.10	0.42	0.43	*	*	*	*
Superior Frontal	0.43	0.47	0.21	0.23	0.15	0.17	0.64	0.62	*	*
Caudal Middle Frontal	0.15	0.17	0.18	0.18	*	*	0.57	0.53	*	*
Paracentral	*	*	0.35	*	*	*	0.54	*	0.16	*
Precentral	*	0.17	*	0.33	*	0.15	*	0.49	*	*
Pericalcarine	-0.10	*	-0.13	*	*	*	*	*	0.69	0.71
Lingual	*	*	0.17	0.19	0.32	0.32	*	*	0.65	0.66
Lateral Occipital	*	*	0.14	0.14	*	0.11	*	*	0.61	0.61
Cuneus	*	*	0.23	0.29	*	*	*	*	0.57	0.60
Paracentral	*	*	*	0.32	*	*	*	0.50	*	0.13
Rostral Middle Frontal	0.52	*	*	*	0.23	*	0.52	*	*	*
Transverse Temporal	0.39	0.34	0.27	0.25	0.28	0.30	*	*	*	*

* negligible data

VBM ANALYSIS OF ELDERLY DRIVERS USING DRIVING BEHAVIOUR QUESTIONNAIRE

Kaechang PARK, Fumio YAMASHITA, Yoshinori NAKAGAWA, Manabu OHTA,
Reika ABE and Yasuhiko KUMAGAI

We analysed whether regional gray matter volume were significantly associated with dangerous driving behaviours of elderly drivers, by means of voxel-based morphometry. Our Factor analysis showed 5 categories of 62 human brain mapping sites from 2,609 non-demented drivers. Five representable sites were selected in the respective category on the basis of the statistics. Superior frontal, one of the five site, was relatively associated with non-hazardrous errors previously described in the driving behavior questionnaire.