

脳部位容積クラスタリングによる 交通事故特性分析

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

¹正会員 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非会員 京都大学准教授 大学院医学研究科 医学統計生物情報学 (〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町54)

E-mail: akawa @ kuhp.kyoto-u.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部位別に自動計測することができる手法を用いて脳構造データの個人差と交通事故類型との関連性を分析した。被験者5,256名に対して、31個の大脳皮質部位と7個の深部神経核ごとに容積を求めて、クラスタ分析を行ったところ13個のクラスタに分類することができた。交差点や非交差点での衝突事故を起こした被験者グループ間でのクラスタ分析から、母集団5,256名と比較して新たに特有なクラスタを認めた。脳部位容積値のクラスタ分析から、事故類型に応じた脳構造特徴量が存在する可能性が示唆された。

Key Words :magnetic resonance imaging, cerebral gray matter, voxel based morphometry, cluster analysis, traffic accident types,

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・高脂血症やメタボリック症候群等の生活習慣病がリスク因子となる無症候性大脳白質病変(以下、白質病変と呼ぶ)が、健常中高年者の約30%以上に認められる³⁾。我々は、この白質病変が交通事故、特に交差点での衝突事故(交差点事故)に対して、有意の高い相関性を持つこと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、臨床レベルでは高次脳機能機能の著明な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、マルチタスク（運転中に暗算計算をさせる）条件下では、一旦停止無視などの危険運転頻度が増加し、右折時でのハンドル操作の滑らかさが低下することも報告した。このように、我々の知見より、交通事故の脳内リスク因子が存在する（その一つが白質病変である）可能性が示された。

今回、我々は脳皮質容積の解析手法である voxel-based morphometry (VBM) 法を応用した脳部位容積測定法を用いて、2,609名の大規模被験者を対象に交通事故に関連する脳構造特徴量の抽出を試みた。白質病変の先行研究から、交差点と非交差点における衝突事故に焦点を絞り、脳皮質部位と深部神経核の容積値クラスター分析を行い、興味ある知見を得たので報告する。

2. 方法

(1) VBM法を応用した脳部位容積測定について

VBM法は一般的に、以下の手順で行われる⁶⁾。

- ① T1強調画像から脳皮質を抽出する。
- ② 解剖学的標準化とよばれる基準画像への形態合わせみを行う。
- 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部位の全ボクセルについて、①で求めた脳皮質や深部神経核の密度を積算することで、38個の脳部容積を算出する（図1）。脳皮質のアトラスとして Mindboggle 101を用いた（図2, 図3）。

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。

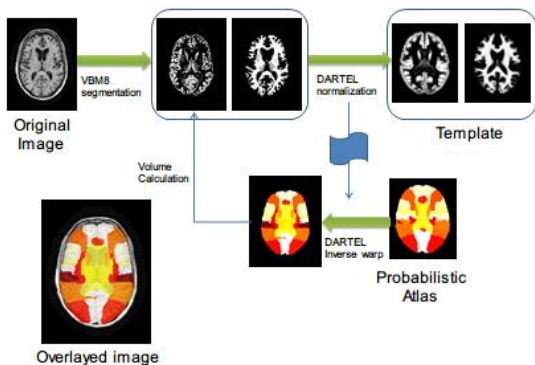
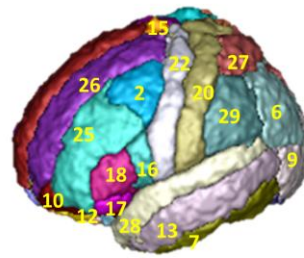


図-1 VBM法を応用した脳領域ごとの体積測定



- 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 による脳の種類 (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 による脳の種類 (内側)

(2) 被験者・事故歴アンケート調査・クラスター分析について

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。過去10年間の交通事故歴の有無を直接尋ねて、事故がある場合には交通事故類型（交差点あるいは非交差点での衝突事故で、相手車両の後部に追突した場合）を脳ドック診断医が聞き取り調査した。MRI機器として、日立メディコ (ECHELON Vega 1.5T) 製を使用した。クラスター分析は、SPSS IBM(ver2.0)を用いて行った。最多距離法を採用して、全被験者2,609名を対象にした場合、交差点事故歴のある被験者106名を対象にした場合、非交差点での追突事故歴のある被験者98名を対象にした場合のデンドログラムを求めた。

3. 結果

全被験者2,609名のクラスター分析から、13のクラスター(C1-13)から成り立つデンドログラムを得た（図4）。各クラスターを構成する脳部位は、次の通りである。C1はprecalcarine, entorhinal, pallidum, C2はaccumbens, pars orbitalis, transverse temporalis, C3はlateral orbitofrontalis, insula, putamen, caudal middle frontal, C4はhippocampal, cuneus, posterior cingrate, C5

はparacentral, caudate,medial orbitalis, pars opecularis, pars triangularis, isthmus cingulate, parahippocampus, caudal anterior cingulate, rostral anterior cingulate,C6はsuperior frontal, C7はlateral occipital, lingularis, C8はpostcentral, supramarginal, fusiform, inferior temporal, C9はinferior parietal, C10はsuperior temporal, C11はrostral middle frontal, superior parietal, thalamus, precentral, C12はmiddle temporal, C13はpecuneusとなる。

交差点事故歴のある被験者106名のクラスター分析から、母集団2,609名から得られた13のクラスター(C1-13)と比較して、新たに2つのクラスター(C14,C15)を得た(図5)。この2つのクラスターを構成する脳部位は、次の通りである。C14はcuneus, hippocampal, posterial cingrate,となり、C4とは、構成要素は同等であるが、要素間の類似度が異なる。C15はsuperior parietal, thalamus, precentral, pecuneus, middle temporal, rostral middle frontalとなる。C15は、C11,C12,C13の複合クラスターと見なせる。

非交差点での追突事故歴のある被験者98名のクラスター分析から、母集団2,609名から得られた13のクラスター(C1-13)と比較して、新たに4つのクラスター(C14,C16,C17,C18)を得た(図6)。C16はcaudal anterior cingulate, rostral anterior cingulate, isthmus cingulate, parahippocampalとなり、C17は、inferior temporal, thalamus, fusiformとなる。C18はmiddle temporal, rostral middle frontal, pecuneus, precentral, superior parietalとなる。

4. 考察

VBM法で計測される脳部位容積と運転行動との関連性については、トヨタ中央研究所のSakaiらによって既に報告されている。しかし、彼らは精緻な運動に関与すると考えられているsupplementary motor area (SMA)の脳部位容積のみを対象にして、36名という少数サンプルから、運転適性を評価するアンケート調査結果を照合して有意の統計解析を示した。我々は、交通事故歴という実際の危険運転行動を評価できる事象を対象にして、2,609名という圧倒的多数のサンプル数から、かつ31カ所の大脳皮質部位と7カ所の深部神経核を合わせた計38個の脳部位容積値を求めた。このように脳部位を広範囲に網羅して、脳部位容積と交通事故データとの関連性を探求した試みは世界初である。我々の研究成果から、交差点と非交差点で衝突事故を起こすドライバーの脳構造パターンの違いをクラスター分析から見出すことができた。これは、詳細な脳構造データから被験者の危険運転行動を予測できる可能性を示している。さらに、自動車の危険運転に留まらず、ありとあらゆる危険行動のリスクマネジメントにも脳構造データが活用できる可能性が示された。超高齢化社会に突入した日本において、高齢者対策は最優先の喫緊課題である。高齢者対策を成功させる為には、個人差の克服が鍵となる。我々は、高齢者の個人差は、脳の個人差が大きく関与しているのではないかと考えている。我々が提唱する脳の大規模データから分

析する方法論が、高齢者の個人差を再現性に富みかつ定量的に評価できる非常に有力な方法論であると確信している。日本では脳ドックという独自に発展普及した予防医学分野がある。この脳ドックから創出される脳のビックデータを有効活用することが、この方法論の確立に最も肝要であると考えている。

5. 結論

被験者2,609名を対象にして、交差点あるいは非交差点での衝突事故歴の聞き取り調査とVBM法を応用した脳部位容積計測を行った。これらのデータを用いたクラスター分析から、事故類型に特有の脳構造パターンが存在する可能性が示された。

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森本由生子さん、藤原新也さん、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紫藤恵理子さんに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 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.
- 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*, Vol.8, Issue.2, 2013.
- 3) 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..
- 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) Nakano K, Park K, Zheng R, Fang F, Ohori M, Nakamura H, Kumagai Y, Okada H, Teramura M, Nakayama S, Irimajiri A, Leukoaraiosis Significantly Worsens Driving Performance of Ordinary Older Drivers, *Plos One*, 9(10):e108333, 2014
- 7) Hiroshi Taoka⁵ Satoshi OkadaAshburner, J. and Friston, K.J. : Voxel-based morphometry--the methods, *Neuroimage*, Vol.11, Issue.6, 2000.
- 8) Klein, A. and Tourville, J. : 101 labeled brain images and a consistent human cortical labeling protocol, *Front Neurosci.*, Vol.6, Article.171, 2012.
- 9) 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.

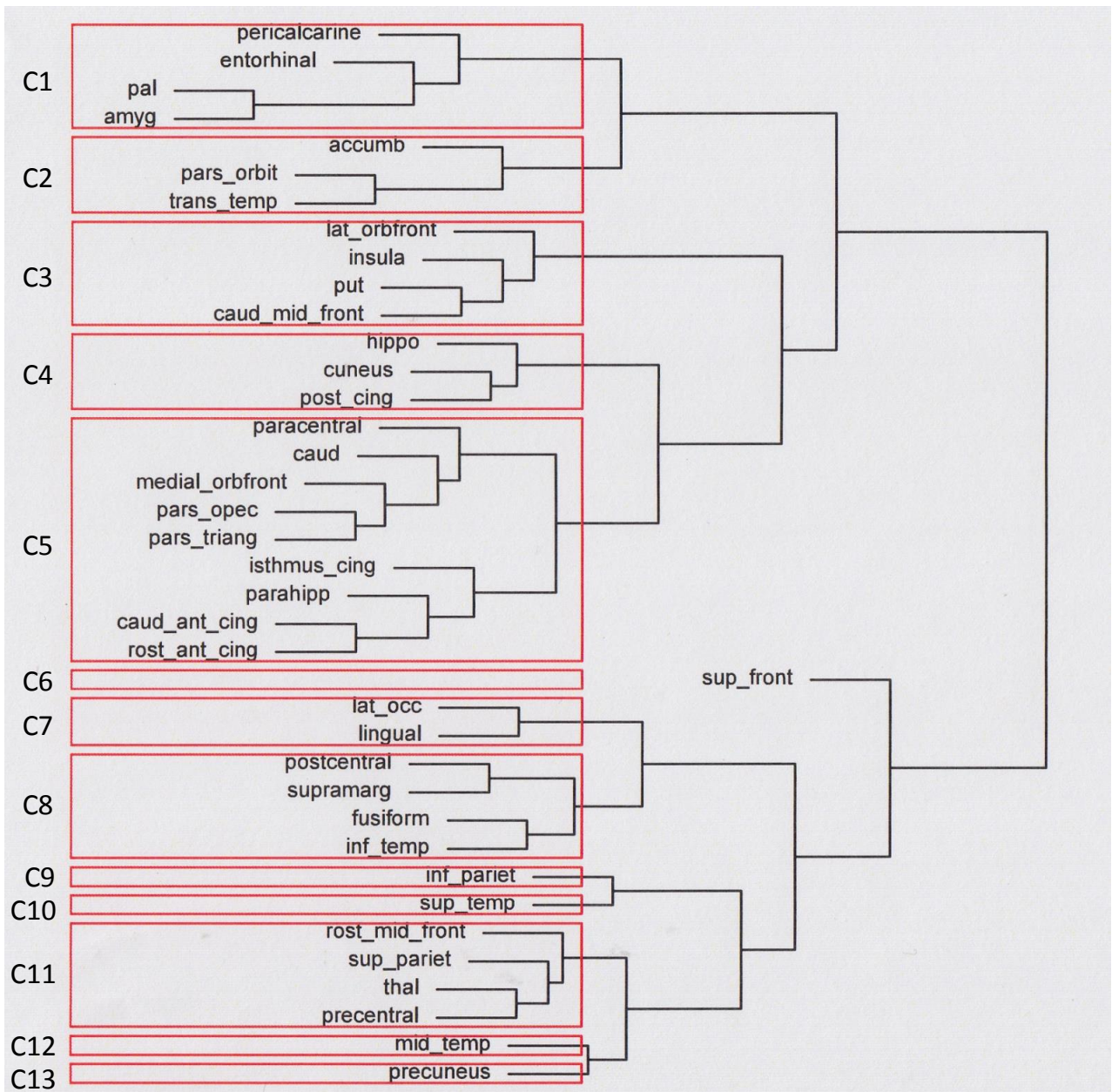


図4 全被験者2,609名のクラスター分析から得られたデンドログラム (C1からC13は各クラスター番号を示す)

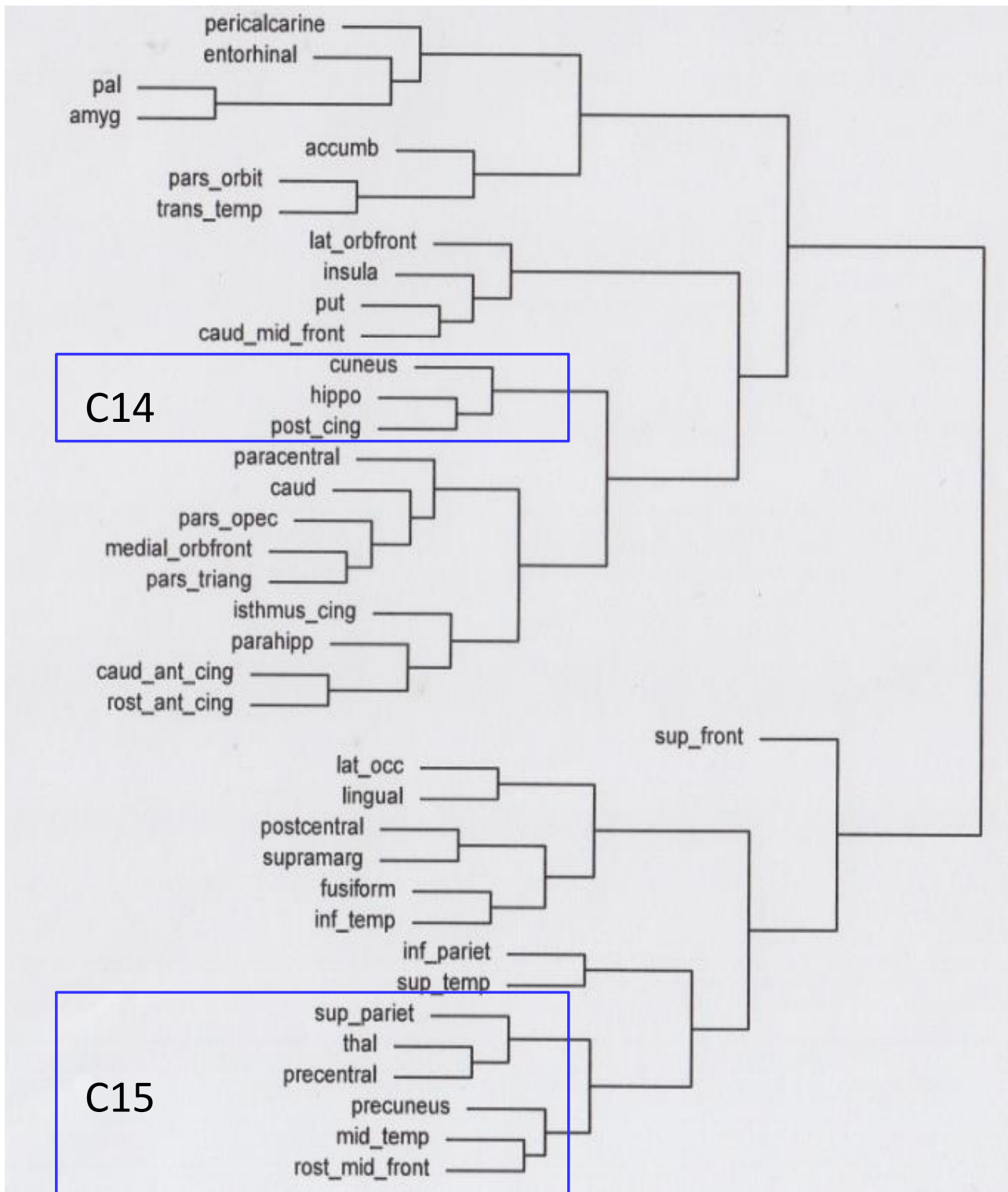


図5 交差点事故歴のある106名のクラスター分析から得られたデンドログラム (C14とC15は新規のクラスター番号を示す)

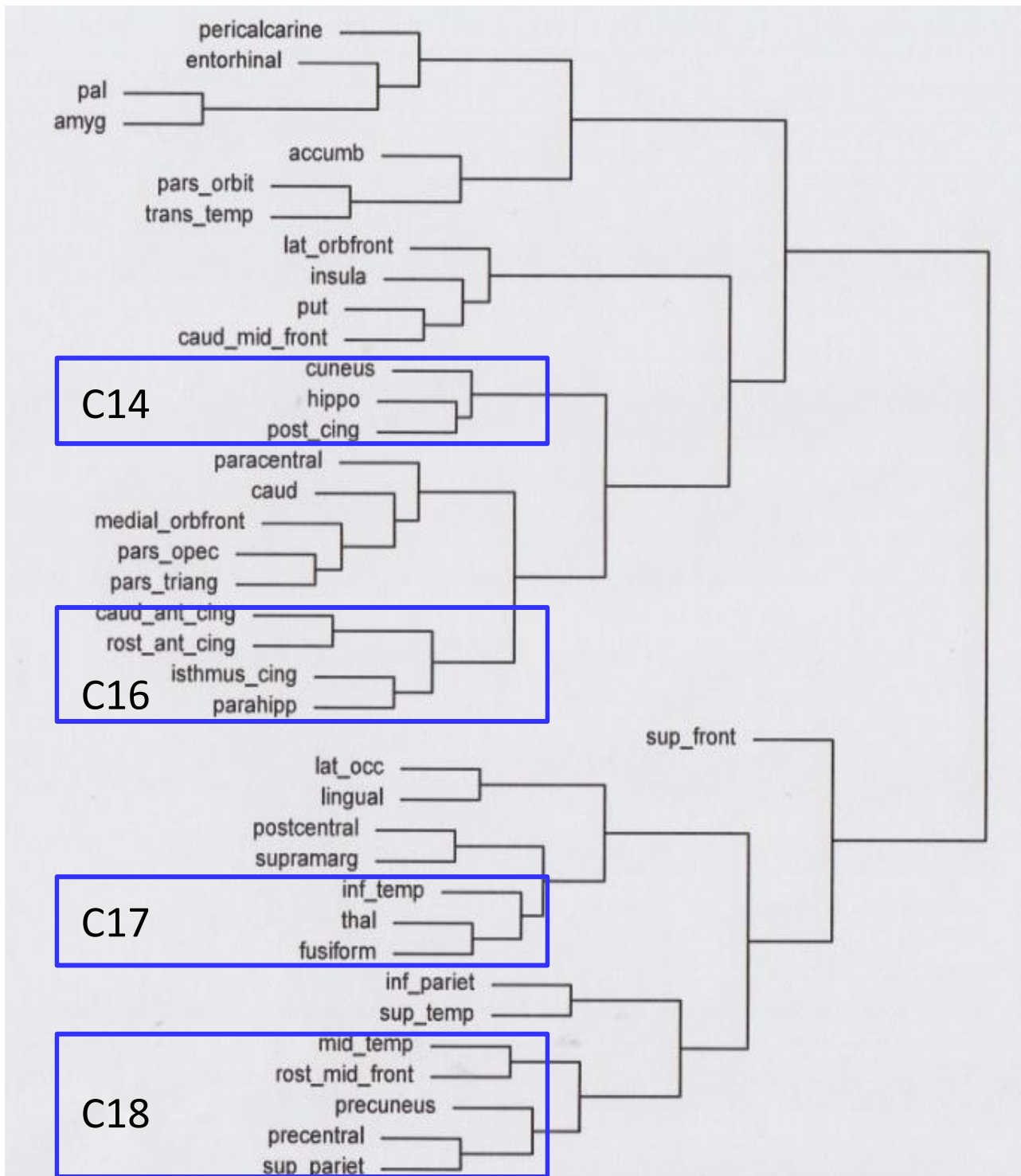


図6 非交差点での追突事故歴のある98名のクラスター分析から得られたデンドログラム (C16,C17,C18は新規のクラスター番号を示す)