

タイトル	同音漢字想起時におけるヒト脳内活動部位の時空間推定Ⅲ
著者	山ノ井，高洋；田中，良典；豊島，恒；大槻，美佳； YAMANOI, Takahiro; TANAKA, Yoshinori; TOYOSHIMA, Hisashi; OTSUKI, Mika
引用	工学研究：北海学園大学大学院工学研究科紀要(13): 41-46
発行日	2013-09-30

同音漢字想起時におけるヒト脳内活動部位の時空間推定Ⅲ

山ノ井 高 洋*・田 中 良 典*・豊 島 恒**・大 槻 美 佳***

Spatiotemporal localization of brain activity on recalling Kanji homophones III

Takahiro YAMANOI*, Yoshinori TANAKA*, Hisashi TOYOSHIMA** and Mika OTSUKI***

Abstract

The authors measure electroencephalograms (EEGs) from subjects looking at words hiragana (Japanese alphabet), and recalling one character Kanji homophone. The words are presented to the subject at random. Each word consists of some Hiragana characters, and has some one character Kanji homophones. The equivalent current dipole source localization (ECDL) method is applied to the event related potentials (ERPs): summed EEGs. ECDs are localized to the primary visual area V1, to the ventral pathway (ITG: inferior temporal gyrus), and to the Broca's area, etc. In addition ECDs are localized to the hippocampus, to the parahippocampal gyrus (ParaHip) and to the fusiform gyrus (FuG), etc. We compared the difference in localized results between subjects.

1. まえがき

ヒトの言語処理過程に関わる部位として、主に左大脳半球の受容性言語野 (Wernicke 野) と表出性言語野 (Broca 野)、書字・読字に関わるとされる角回 (Angular Gyrus: AnG) や縁上回 (SupraMarginal Gyrus: SMG) などが知られている。また言語処理過程について、入力に関しては語音の認識→語音の弁別や認知処理 (Wernicke 野)→音と意味情報の統合や意味の処理 (AnG, SMG など) を経る過程、出力に関しては語の想起 (Broca 野)→音の選択や配列 (上前頭回 Supra-Frontal Gyrus: SFG など)→発話コントロール (中心前回 PreCentral Gyrus: PrCG など) を経る過程が想定されている。

しかしながら、大脳のそれぞれの部位がどのような処理を担って、どのように処理するのかについて明確に示すことは非常に困難である。なぜな

ら言語処理だけでも文字認識・言語理解 (音韻や文法など)・言語の意味理解 (語彙など) など複数の処理過程がほぼ同時に行われ、それらを厳密に分離することが非常に困難だからである。また 1 つの部位が 1 つの処理を担うのではなく、複数の処理を担うことも考えられる。

ヒト大脳半球における処理には優位性が存在するとされている。一般に言語処理に関する処理の優位性は、利き手によって異なり右利きの 99% 以上そして左利きの 70% 前後が左大脳半球優位であるとされている。

日本人の漢字とひらがなの想起や書字に関して、脳内で活動する部位が異なることが知られている¹⁾。著者らは、左右視野に提示された言語刺激 (漢字とひらがなの単語) に対する脳内活動部位について等価電流双極子推定 (Equivalent Current Dipole source Localization: ECDL) 法による推定を行い、脳機能に左右差が存在すること、そし

* 北海学園大学大学院工学研究科電子情報工学専攻
Graduate School of Engineering, Hokkai-Gakuen University

** ジャパンテクニカルソフトウェア
Japan Technical Software

*** 北海道大学大学院保健科学研究所
Faculty of Health Sciences, Hokkaido University

て漢字とひらがなの認知では優位半球が異なることを確認した²⁾。またECDL法による推定がMEG, PET, fMRIによる脳内活動部位の計測結果と同様の結果が得られることも確認した^{3),4)}。さらに、さまざまな視覚刺激を用いた想起実験により計測した脳波（ElectroEncephaloGrams: EEGs）を用いたBrain Computer Interface (BCI) などの研究も行っている^{5),6),7),8)}。

本研究では提示されたひらがな文字の画像から、そのひらがな文字と同様の読みを持つ漢字を想起した際のEEGsを計測し、ECDL法による脳内活動部位および脳内処理過程の時空間的推定を行った。

2. 脳波計測実験

本実験は被験者 H.T. (22 歳, 男性, 右利き) と M.N. (22 歳, 女性, 左利き) に対して “かん”, “えん”, “き”, “ちょう” の 4 種類のひらがな文字画像 (図 1) を提示し、それらのひらがな文字と同様の読みを持つ一文字漢字を想起させた。その際の EEGs を被験者の頭皮上に装着した 19 ch のアクティブ電極により計測した。実験の流れは、まず被験者に対しマスキング画面として画面中央に注視点を提示することで被験者の眼球運動を抑制した。その後、画面中央に視覚刺激となるひらがな文字を提示し、被験者に漢字を想起させた (図 2)。このサイクルを 1 サイクルとして 40 サイクルごとに適時休憩をはさみ 80 サイクルを 1 セットとした。視覚刺激は予測されないようランダムに提示した。また実験終了直後に、装着したアクティブ電極の 3 次元位置計測を行い、電極位置の記録を行った。

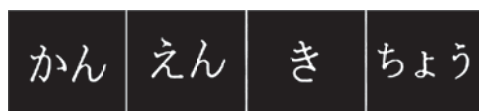


図 1 提示したひらがな文字画像

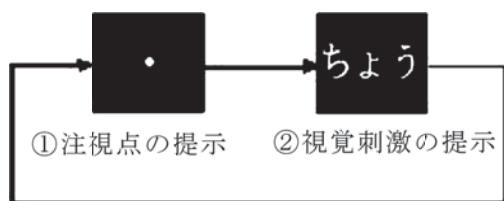


図 2 想起実験の提示順

3. ECDL 法による推定方法

想起実験により計測した EEGs データを刺激提示直後から潜時 2000 ms までのデータに分割し、提示されたひらがな画像ごとに加算平均処理を行った。これにより計測データに混入した瞬目などのノイズを軽減し、脳波特徴の抽出をした。この加算平均処理後のデータを事象関連電位 (Event Related Potentials: ERPs) データと呼ぶ。この ERPs データに ECDL 法による脳内活動部位の推定を行った。解析には脳内等価電流双極子推定ソフト “SynaCenterPro” (NEC) を用いた。

一般に ECDL 法では、頭部モデル内に ECD を置き、頭皮上の電位分布の理論値を計算する「順問題」と、理論値と計測値の誤差が最小となるように ECD パラメータを最適化する「逆問題」を解く。逆問題の解析は、不良最適化問題となり、格子点に初期値を設定した数値解析法を用いて解く。頭部モデルとしては、導電率の異なる頭皮、頭蓋骨および皮質の 3 層の同心球としてモデル化する。

解析で用いた SynaCenterPro では被験者本人の MRI を利用し、被験者ごとの同心球モデルを設定することで推定結果のダイポールを被験者の MRI 上に表示する。また推定は 3 双極子により行い、結果の精度および信頼性は、適合度 (Goodness of fit: GOF) と統計的な信頼限界の値によって評価した。本研究における推定結果は GOF が 99% 以上かつ 95% の信頼限界が ± 1 mm 以下を基準とした。

4. ERPs の比較

各被験者の “ちょう” 提示時における EEGs データに対し、加算平均処理を行い得られた ERPs データ (図 3, 図 4) について被験者間の比較を行った結果、いくつかの共通点が確認できた。

図 3 と図 4 より “ちょう” 提示時および漢字想起時における ERPs に関して、以下の共通点が確認できた。

- 300～350 ms 付近に小さな正のピーク
- 400～500 ms 付近に大きな負のピーク
- 500 ms 付近からみられる正のピークはその後 700～750 ms 付近において収束

以上の点から 350 ms 以前において視覚刺激に対する認知処理がなされ、400～700 ms において

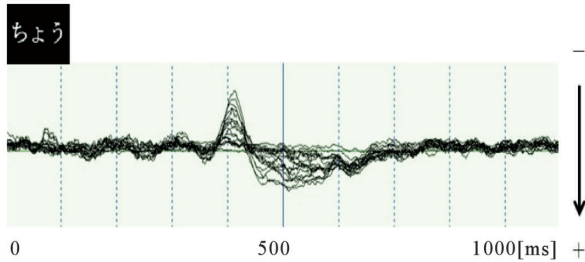


図3 H.T.の“ちょう”提示時のERPs

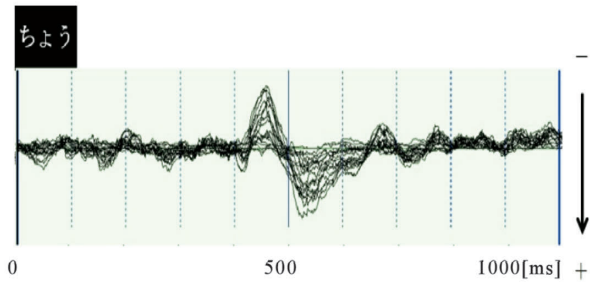


図4 M.N.の“ちょう”提示時のERPs

言語処理（漢字の想起などの高次処理）が行われたと考えられる。

5. 脳内活動部位の推定

被験者ごとのERPsデータに対し、SynaCenterProを用いたECDL法による脳内活動部位の推定を行った。図5～図8に推定されたECDの例を被験者のMRI上に白い点で示す。

340 ms付近において下側頭回（Inferior Temporal Gyrus：ITG）でECDが推定された。これは初期視覚認知における腹側経路（Ventral Pathway）での活動ではないかと考えられる。

海馬傍回（ParaHippocampal Gyrus：Para-Hip）は記憶に関する情報の探索・整理・保持を担

う部位とされている。図5以外の潜時においても各被験者ともに右海馬傍回（R ParaHip）で複数回ECDが推定された。

紡錘状回（Fusiform Gyrus：FuG）はさまざまな対象、例えば顔・身体・単語・数値・色などの認知処理に関わる部位とされている。

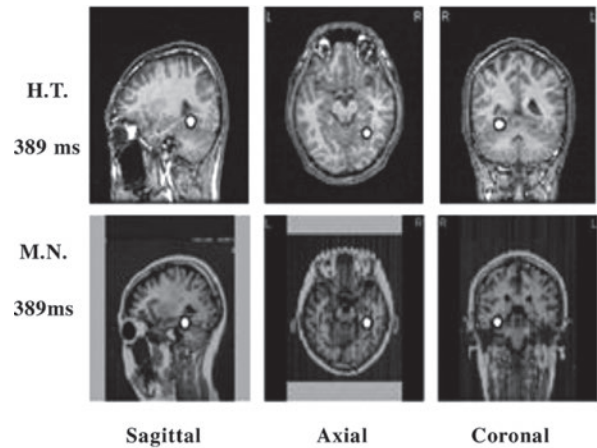


図6 海馬傍回で推定されたECD

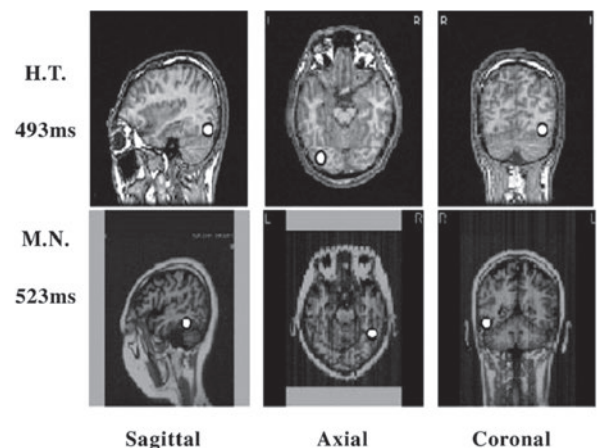


図7 紡錘状回で推定されたECD

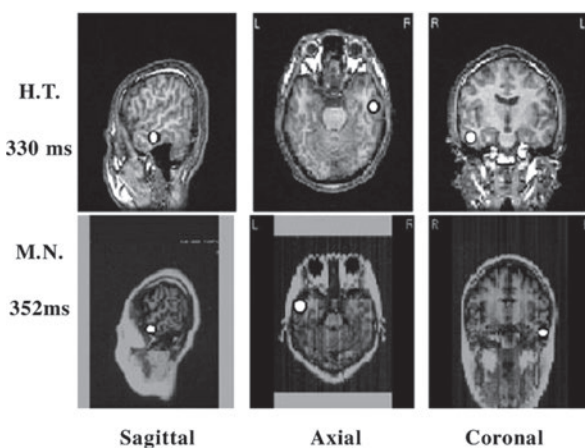


図5 下側頭回で推定されたECD

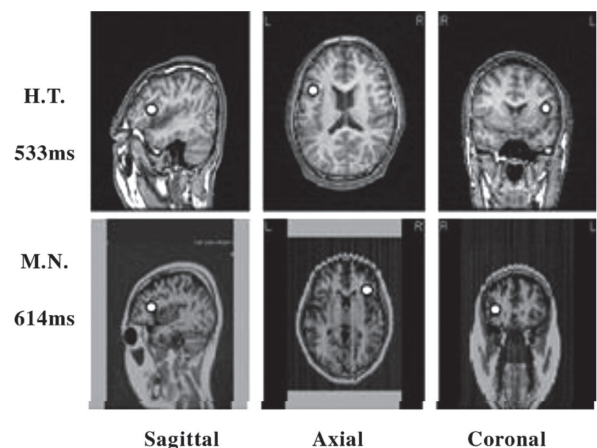


図8 Broca 野で推定されたECD

Broca 野は表出性言語野とも呼ばれている。優位半球における Broca 野は言語出力における語の想起を担うとされている（図6）。

6. 推定された部位と潜時の関係

各被験者の ERPs データにおける推定結果について、H.T. の推定結果では、図5～図8の他に、中側頭回（Middle Temporal Gyrus：MTG）、Wernicke 野、側頭極（Temporal Pole：TP）、上前頭回（Superior Frontal Gyrus：SFG）などの部位でECDが推定されていた。M.N. の推定結果では図5と図6の他にMTGや縁上回（SupraMarginal Gyrus：SMG）などの部位でECDが推定された。各被験者において、ECDが推定された脳内部位とそれぞれの推定された潜時の関係を表1と表2に示す。

7. 推定結果の考察

表1より、H.T. の活動経路はV1→R ITG→R MTG→R Wernicke→R ParaHip→R

表1 H.T. の推定結果と潜時の関係

部位	V1	R ITG	R MTG
潜時	109	330	343
	R Wernicke	R ParaHip	R Broca
	385	389	406
	L TP	L SFG	L FuG
	455	466	493
	R ParaHip	Broca	
	523	533	[ms]

表2 M.N. の推定結果と潜時の関係

部位	V1	L ITG	L MTG
潜時	38	352	369
	L SMG	R ParaHip	Broca
	376	389	450
	R Broca	R ParaHip	R FuG
	461	514	523
	R ParaHip	R Broca	
	557	614	[ms]

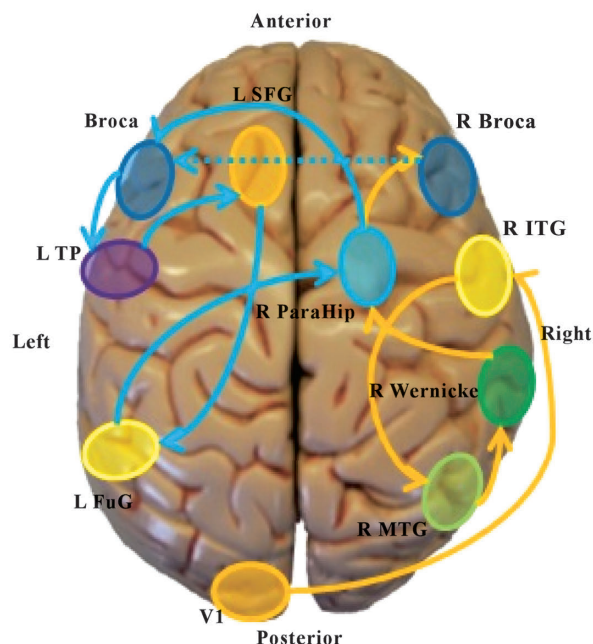


図9 H.T. の脳内活動経路

Broca → Broca → L TP → L SFG → L FuG → R ParaHip → Brocaであることを確認した（図9）。

表1と図9より、400 ms付近の大きな負のピークを境に、脳内活動は右大脳半球から左大脳半球へと移行していることが確認できた。また記憶処理に関わるParaHipでの活動が右大脳半球に集中していることが確認できた。語の想起に関わるBroca野での活動が、左大脳半球において多く推定されていることから、H.T.の言語出力処理は左半球優位であると考えられる。最後に言語の入力に関して、WernickeやAnGなどの言語処理に関わる部位よりParaHipやFuGなどの記憶処理に関わる部位での活動がより活発であることが確認できた。

表2よりM.N.の活動経路はV1→L ITG→L MTG→L SMG→R ParaHip→Broca→R Broca→R ParaHip→R FuG→R ParaHip→R Brocaであることを確認した（図10）。

表2と図10より、450 ms付近にみられる大きな負のピークを境に脳内活動は、左大脳半球から右大脳半球へと移行していることが確認できた。またM.N.についても、H.T.と同様にParaHipでの活動が右大脳半球に集中しており、言語処理に関わるとされる部位（Wernickeなど）より、記憶処理に関わるとされる部位（海馬傍回など）での活動が多く推定されていた。しかしながら、H.T.において推定されたTPやSFGなどの活動

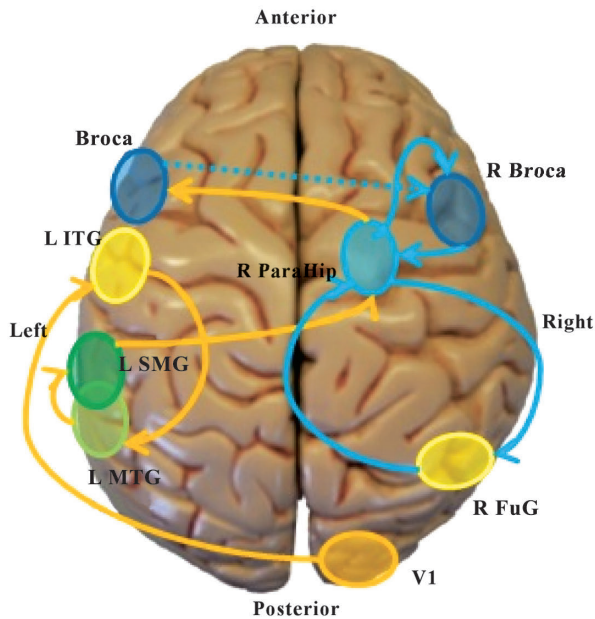


図 10 M.N. の脳内活動経路

は、今回 M.N. においては推定されなかった。そして言語の想起に関わるとされる Broca での活動が、右大脳半球において多く確認されていることから、M.N. の言語出力処理は右半球優位であると考えられる。

8. あとがき

本研究で 2 名の被験者における、ひらがな認知および一文字漢字想起時の脳内活動部位の推定を行った。その結果、両被験者において 400～450 ms 付近にみられる大きな負のピークを境に左右大脳半球における脳内活動の移行が確認できた。また両被験者ともに R ParaHip において複数回 ECD が推定されていたことから、視覚刺激の認知および想起には R ParaHip が大きく関わっていると考えられ、その活動は常に行われているか、もしくは何らかの処理が行われる度に起こっていると考えられる。

一般にヒト大脳半球における言語野の優位性は左大脳半球優位であるとされている。本研究の被験者 H.T. (右利き) と M.N. (左利き) において、語の想起に関わるとされる Broca での活動が集中する半球が左右異なることが確認できた。そのことより左半球に集中している H.T. の出力に關しての言語野は左大脳半球優位であり、右半球に集中している M.N. は右大脳半球優位ではないかと考えられる。

さらに、ひらがな認知および漢字想起時には Wernicke や AnG, SMG などの言語野での意味認知や音韻処理に関わる部位より、ParaHip や FuG などの記憶処理や認知処理に関わる部位での活動が活発になることが確認できた。しかしながら、今回の推定結果からは、各被験者の言語入力処理に関しては優位半球を明確に確認することはできなかった。

そのため、今後より多くの被験者の EEGs について解析を進め、ひらがな認知および漢字想起の詳細な活動経路の特定を目指す。

謝辞

本研究は本年 3 月に終了した文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業に伴う北海学園大学ハイテク・リサーチ・センター研究プロジェクト「電磁・光センシングを主体とする生体関連情報の先進的計測・処理技術の開発と応用」の一環として行われた。

【参考文献】

- 1) 岩田誠, 河村満編, 大槻美佳 (第 11 章分担): 書字の神経機構, 神経文字学, 医学書院, pp.179-220, 2007.
- 2) H. Toyoshima, T. Yamanoi, T. Yamazaki and S. Ohnishi: "Spatiotemporal Brain Activity During Hiragana Word Recognition Task", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.15, No.3, pp.357-361, 2011.
- 3) T. Yamazaki et al.: "PC-based multiple equivalent current dipole source localization system and its applications", Res. Adv. in Biomedical Eng., 2, pp.97-109, 2001.
- 4) T. Yamanoi, H. Ichihashi, H. Toyoshima and Y. Fujiwara: "Localization by Equivalent Current Dipole of Brain Activities in Recalling Task by the Method of Loci", The 18th Biomedical Fuzzy System Association, pp.105-108, 2005.
- 5) T. Yamanoi, H. Toyoshima, T. Yamazaki, S. Ohnishi, M. Sugeno and E. Sanchez: Micro Robot Control by use of Electroencephalograms from Right Frontal Area, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.13, No.2, pp.68-75, 2009.
- 6) T. Yamanoi, Y. Tanaka, M. Otsuki, S. Ohnishi, T. Yamazaki and M. Sugeno: "Spatiotemporal Human Brain Activities on Recalling Names of Body Parts", Journal of Advanced Computational Intelligence and

Intelligent Informatics, vol.17, No.3, 2013.

- 7) Y. Tanaka, T. Yamanoi, M. Hirasa, H. Toyoshima, M. Otsuki and T. Yamazaki: "Spatiotemporal localization and comparison of brain activity on recalling one type of Kanji homophones", The 27th Biological and Physiological Engineering Symposium (BPES), pp.245-248, 2012.
- 8) M. Sugeno, T. Yamanoi: "Spatiotemporal analysis of brain activity during understanding honorific expressions", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.15, No.9, pp.1211-1220, 2011.