

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Ⅱ
著者	山ノ井，高洋；田中，良典；平佐，将孝；豊島，恒；大槻，美佳；YAMANOI, Takahiro；TANAKA, Yoshinori；HIRASA, Masataka；TOYOSHIMA, Hisashi；OTSUKI, Mika
引用	北海学園大学工学部研究報告(40)：119-128
発行日	2013-02-12

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Ⅱ

山ノ井 高 洋*・田 中 良 典**・平 佐 将 孝***・
豊 島 恒****・大 槻 美 佳*****

Spatiotemporal Localization of Brain Activity on Recalling Kanji Homophones Ⅱ

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

Abstract

The authors recorded nineteen-channel event-related potentials (ERPs) during recalling one type of Japanese character ; Kanji (Chinese characters). A word was presented to two subjects. Each word consists of some Hiragana characters (one type of phonetic characters), and the words has some corresponding Kanji homophones. Meantime ERPs were recorded on a PC. The equivalent current dipole source localization (ECDL) with three unconstrained ECD was applied to the ERPs. The ECDs for one subject were localized to the angular gyrus, the Wernicke's homologue area, the hippocampus, and then some ECDs were localized to the Broca's homologue area.

1 はじめに

ヒトが言語を認知する際には、これまで言語野として指摘されてきた左側頭部の受容性言語野（Wernicke野）や表出性言語野（Broca野）のみではなく、様々な部位が関与していることが明らかになっている。入力に関しては、語音→語音の弁別・認知（上側頭回）→意味の認知（Wernicke野）を経る過程、出力に関しては、語の想起（Broca野など）→音の選択・配列（前

* 北海学園大学工学部生命工学科

* Department of Life Science and Technology, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

** 北海学園大学大学院工学研究科電子情報工学科専攻

** Graduate School of Engineering (Electronics and Information Eng.), Hokkai-Gakuen University

*** 北海学園大学工学部電子情報工学科

*** Department of Electronics and Information Engineering, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

**** (株)ジャパンテクニカルソフトウェア

**** Japan Technical Software Co., Ltd.

***** 北海道大学大学院保健科学研究所

***** Graduate School of Health Science, Hokkaido University

頭葉や頭頂葉)→発語コントロール(左中心前回)を経る過程が想定されている。このWernicke野(Wernicke's area)自体は音の弁別や音韻的処理の後の過程、すなわち意味の処理ないし音—意味の連合などを司っていると考えられて、さらにBroca野(Broca's area)は発語そのものではなく、発語の前段階の言語レベルで関与していると考えられている。

また日本人における文字言語で、漢字と仮名の想起や書字に際して、脳内の使う部位が異なることはよく知られている[1]。これらに関して、山ノ井らは、先行研究として左右視野に提示された言語刺激(漢字とひらがなの単語)に対する脳活動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、左右の脳機能に差が存在すること、そして漢字とひらがなの認知では優位な脳半球が異なることを確認した[2]。また向きを示す単漢字および矢印を認知する過程の脳活動の推定を行い、単漢字認知過程における高次脳活動の詳細な時空間的推移を明らかにした[3]。さらに3双極子による再推定を行い、高次脳活動を詳細に時空間的に推定した[4]。さらに、場所記憶法により格納されている英文を想起する際の脳活動を解析している[5]。また、言語野が右脳優位である被験者に対して本実験と同様に同音漢字想起実験を試み、この際の時空間的経路を明らかにした[6]。

これらの言語処理に関する脳部位は、右利きの99%以上および左利きの70%前後が左半球に集中していると言われている。言語処理に関係があるとされる部位として、入力時のWernicke野、出力時のBroca野、文字中枢言語と言われる角回(angular gyrus: AnG)、縁上回(supramarginal gyrus: SMG)、紡錘状回(fusiform gyrus: FuG)、下前頭回(inferior frontal gyrus: IFG)などが知られている。しかし、個々の部位がどのような処理を行っているかを明確に示すことは非常に困難である。なぜなら、言語処理は文字の認識、言語の理解(発音や文法など)、意味理解(語彙など)というような複数のプロセスが絡み合って存在し、厳密に現象を分離することが難しいからである。また、1つの部位が複数の役割を果たすということも考えられる。

本研究は、昨年と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の続編で、新たな被験者に対し同様の実験を行ない解析した結果である。健常者に関するさまざまな刺激に対する言語処理の経路を同定することにより、刺激間の処理系経路の差異を患者の症状と照らし合わせ、その障害部位の推定に役立てるための基礎研究の一環である。

2 提示した視覚刺激および脳波計測装置

被験者に対して、漢字一文字を想起させるひらがなの表音7単語「えん」、「かん」、「き」、「さん」、「しょう」、「せい」、「ちょう」を提示した。本研究では、以上7単語のうち「えん」、「かん」、「き」、「ちょう」の4種類の単語に対して解析を行った。

画面中央に注視点を4秒間提示し、これをマスキングとした。マスキングは眼球運動を抑制し、脳波計測開始時の波形を安定させる効果がある。その後、画面中央に視覚刺激を3秒間提示する。前もって被験者に示した教示にしたがって、この間で被験者に漢字を想起させた。この視覚刺激提示開始時から2秒間の脳波を計測し、最後にマスキング画面に戻る。以上のサイクルを40回繰り返し、2サイクルを1セットとする。提示する視覚刺激は、提示の順序を予測されないようにランダムに表示した。実験の画像提示手順を図1に示す。

被験者が視覚刺激を観察する際の脳波（Electroencephalogram：EEG）計測には時間分解能が1ミリ秒で、19チャンネルでの計測が可能であるPolymateAP1000（TEAC製）とアクティブ電極変換ボックスAP-U040（デジテックス製）を使用して計測した。使用する電極は国際10-20法にしたがって配置した。これを介して実験中のEEGを計測した。計測されたEEGはデータ保存用のPCに出力される。実験時には電極接触抵抗値は50k Ω 以下で計測を行った。EEG計測時のサンプリング周波数は1 KHzとした。本実験では、正常な視覚を有する男子学生H. T.に対して、これらの装置構成による実験をそれぞれ複数回行った。被験者情報を表1に示す。

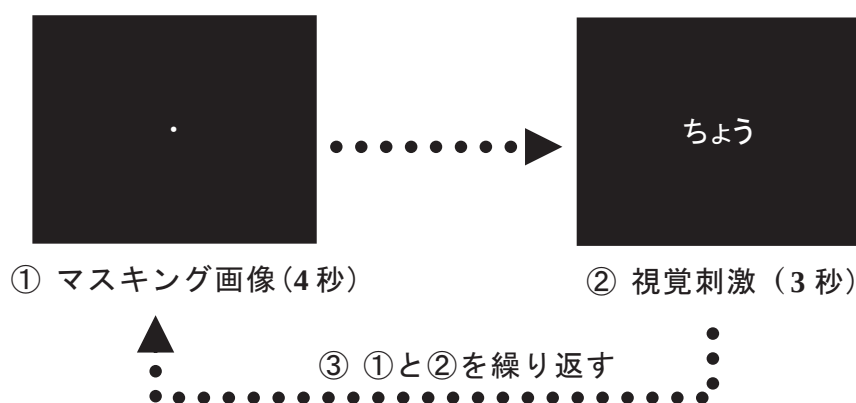


図1 視覚刺激提示のサイクル

表1 被験者情報

被験者名	H. T.
年齢	22歳
性別	男性
利き手	右手
利き眼	左眼
視力	左眼 0.7 右眼 0.7
睡眠時間	約6時間
電極接触抵抗値	50k Ω 以下

3 脳内処理部位の推定方法及び推定範囲

実験で得られたEEG対して加算平均を加えた事情関連電位（Event-Related Potential：ERP）にECDL法を適用した．一般に，ECDL法では，頭部モデル内にECDを置いて，頭皮上の電位分布の理論値を計算する「順問題」と，理論値と計測値の間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ことになる．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層を，同心球としてモデル化した．

被験者毎の同心球モデルの設定には被験者各自のMRI画像を利用した．また，推定結果の精度および信頼性については，それぞれ，Goodness of fit（GOF）および統計的な信頼限界[7]の値によって評価した．これらの解析にはPC版双極子推定ソフトウェアSynaCenterPro[8]（NEC）を用いた．なお，ECDL法による推定結果に関しては，GOF値が99%以上，95%の信頼限界が1 mm以下である結果を採用した．SynaCenterProでは，推定された結果のダイポールが被験者のMRI画像にスーパー・インポーズされ表示される．

実験で得られたEEGには被験者の瞬目等によりノイズが混入する．このような測定時のノイズを軽減するために，計測された全てのEEGについて波形を観察し，大きな乱れの存在する計測データについては解析対象から除外した後，加算平均処理をしている．

本研究では，次の3つの仮説をたてた．①表音を黙読しているので，言語野（Wernicke野，Broca野など）での反応があると考えられる．②想起を行っていると思われるため，海馬（Hippocampus）・海馬傍回（ParaHippocampal Gyrus：ParaHip）などの記憶に関する脳内活動部位での反応があると考えられる．③被験者H. T.は右利きであるため，言語野が左半球優位に推定できると考えられる．

4 脳内処理部位の推定結果

実験で得られたEEGデータを表音画像の4種類に分割し，加算平均ソフトを使用して加算平均を行なった．この時，脳波を1つずつ確認し，ノイズ（波形の乱れが激しいもの）や瞬目の波形が入ったものを取り除いた．加算平均後，ECDL法を用いた脳内等価電流双極子推定ソフトSynaCenterProを使用して脳内活動部位の推定を行う．加算平均に使用した脳波データが多いとGOFが高い．図2に「ちょう」に対する漢字想起時のEEGの加算平均したERPの例を示す．

このERP波形に関し，以下の特徴が確認できた．①350msec付近で小さな正のピークが現れる．②400msec付近に大きな負のピークが現れる．③450msec付近に大きな正のピークが現れ，750msec付近で収束に向かう．このことより，350msec以前で視覚刺激に対する初期認知

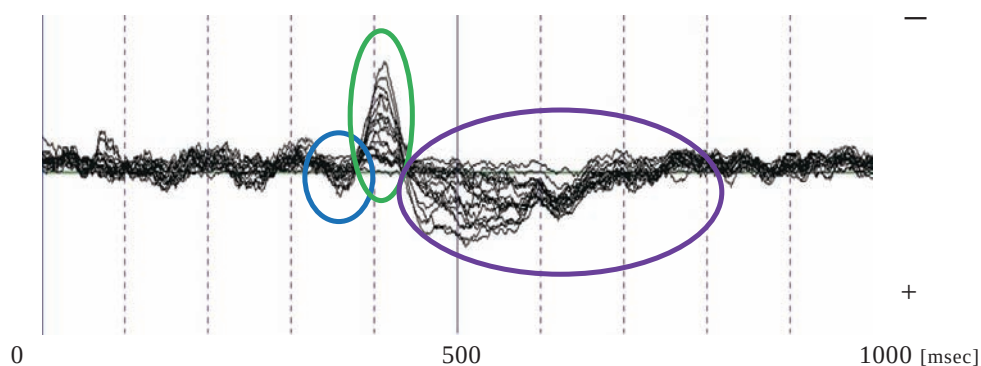


図2 「ちょう」に対する漢字想起時のERP

表2 同音漢字想起時のECD推定部位と潜時の関係

単位：[msec]

被験者	V 1	TE	L ParaHip	R ParaHip	R SMG	Broca
H. T.	109	330	339	348	385	410
L SMG	L SFG	L FuG	Broca	R FP	R SFG	L MFG
434	466	493	506	542	552	553

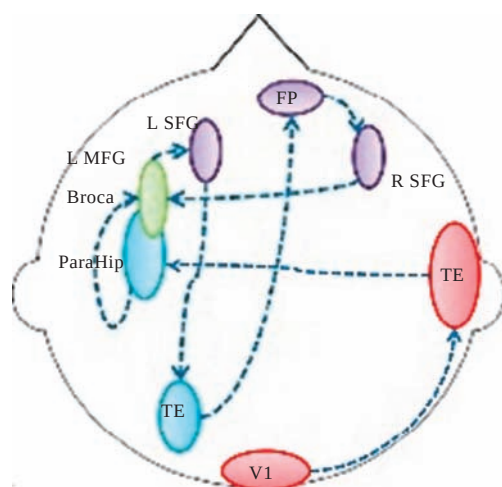


図3 ひらがな認知と想定される処理経路

の処理がなされ、それ以降で高次処理がなされと考えられる。次にこのERPに対してECDL法を用いた脳内活動部位の推定を行った。推定されたECDとその潜時の関係を表2に示す。

表2から漢字想起時の脳内処理経路を考察した。想定した経路は、ひらがなの認知に関して図3のような一次視覚野（V1）→下側頭葉前部（TE）→L ParaHip→Broca→左上前頭回（L

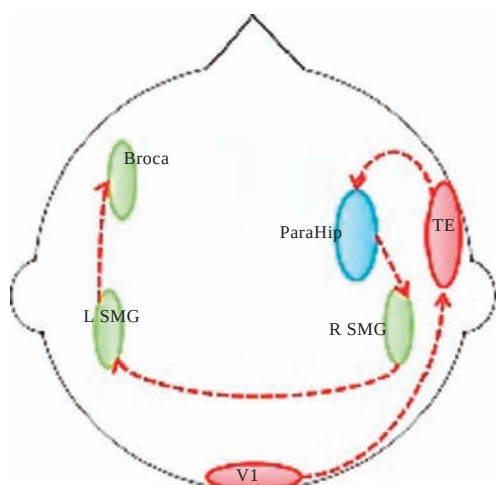


図 4 黙読・想起と想定される処理経路

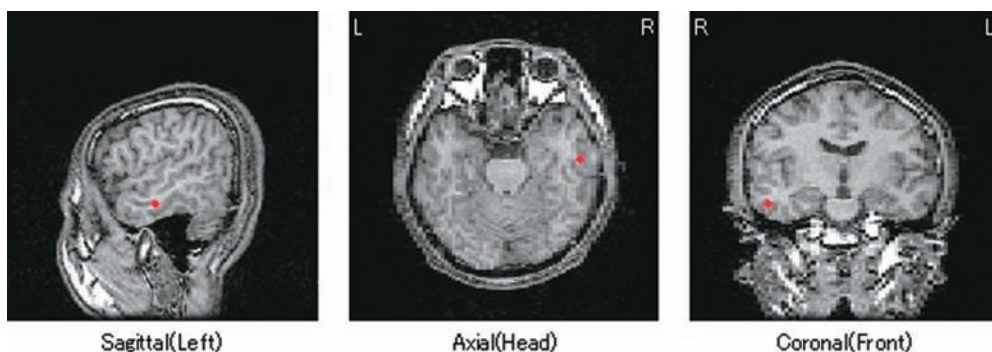


図 5 TEに推定されたECD (330msec)

SFG) →L FuG→右前頭極 (R FP) →R SFG→左中前頭回 (L MFG) を経る経路。

そして、黙読・想起に関して図 4 のような V1 →TE→R ParaHip→R SMG→L SMG→Broca である。

得られたERPに対しECD推定にはSynaCenterProを用いた。推定されたECDの部位を被験者MRI画像上に表示した結果を以下に示す (図 5 ～10)。

潜時300msec付近でみられる下側頭葉前部 (anterior inferotemporal: TE) での反応は、初期認知の腹側経路中での活動であると思われる。推定結果を図 5 に示す。

海馬傍回は、記憶の探索・整理・保持などの役割を担うとされている。潜時339msecで左側 (図 6 上)、潜時348msecで右側 (図 6 下) に推定された。

右縁上回に潜時385msecで推定された例を図 7 に示す。縁上回は言語の認知に関して、音に関する処理を担うとされている。

左縁上回で潜時434msecにECDが推定された結果を図 8 に示す。

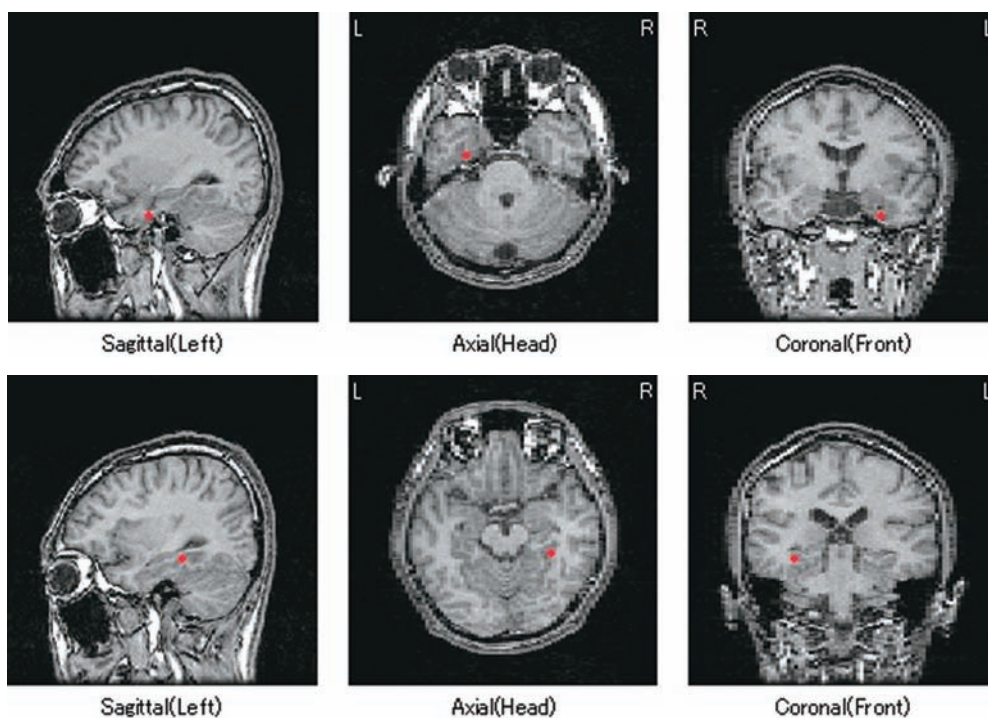


図6 海馬傍回に推定されたECD（上：339msec，下：348msec）

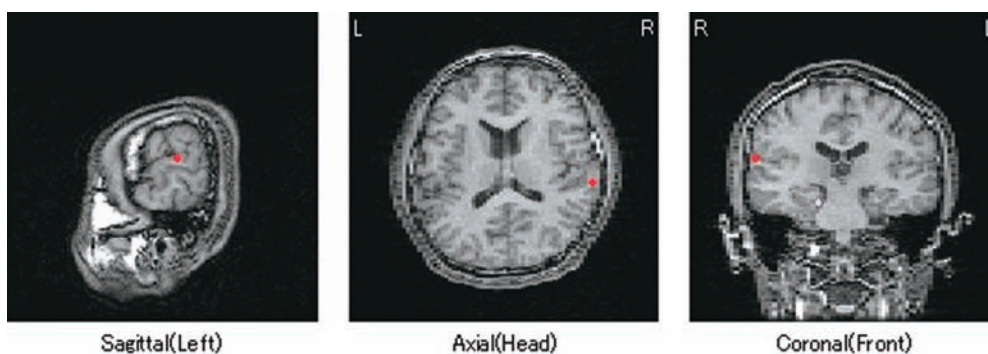


図7 右縁上回に推定されたECD（385msec）

紡錘状回は色・顔・単語・数値などさまざまな対象の認知に関わるとされている。潜時493msecで左紡錘状回にECDが推定された。推定された例を図9に示す。

表出系言語野であるBroca野は、語の想起に関わる部位とされている。ECDは潜時506msecでBroca野に推定された。推定された例を図10に示す。

5 同音漢字想起実験解析結果の考察

結果より、SMG、Brocaなど言語野での反応が左半球に集中的に推定されていることから、

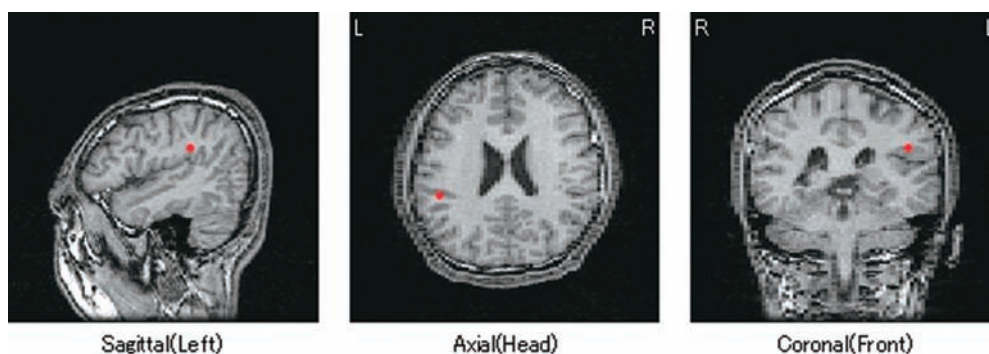


図8 左縁上回に推定されたECD (434msec)

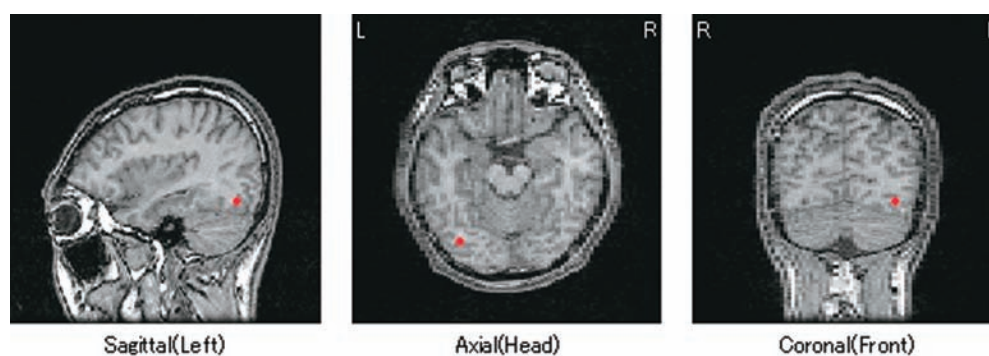


図9 紡錘状回に推定されたECD (493msec)

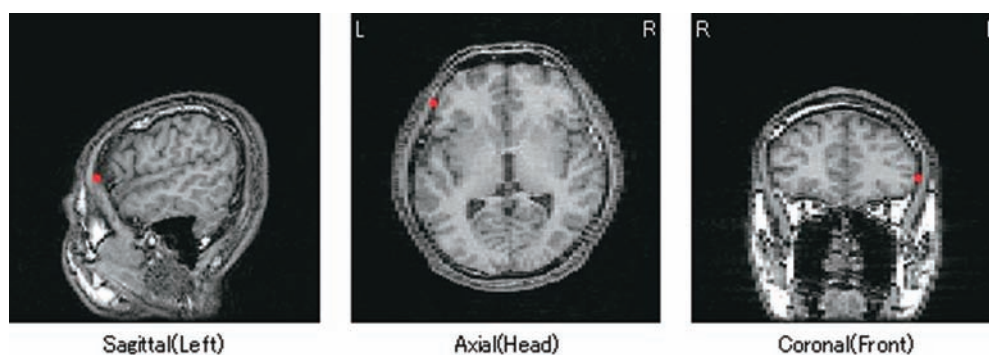


図10 Broca野に推定されたECD (506msec)

この被験者の言語野は左半球優位であると考えられる。先行研究 [3] では、ひらがなの認知に関するとされる部位、前頭極 (Frontal Pole : FP)、上前頭回 (Supra Frontal Gyrus : SFG) を経由する経路が得られている。本研究でもひらがなの画像を使用しているため、これらの部位において活発な脳活動がなされていたと思われる。

言語野とされる部位でのECD推定があまり見られず、記憶に関する海馬傍回や紡錘状回などでの活動が多くみられた。このことから、音からの漢字の想起では、意味の認知などよりも、

漢字を記憶から探り、想起を優先的に行っていると思われる。記憶に関わる部位として知られる海馬や海馬傍回、紡錘状回に関しては、左半球では主に言語記憶、右半球では非言語記憶を司っているとされている。

この実験におけるECD推定の結果、右半球よりも左半球の海馬傍回や紡錘状回での活動がみられることから、言語記憶における何らかの処理が優先的に起こっていると思われる。

被験者H.T.は、今回のECD推定結果によると右縁上回とBroca野にECDが推定されたため、言語野の優位性半球が明らかではなかった。しかし、左脳でも縁上回でのECDが見られたため、この被験者の優位性言語野は左脳にあると思われる。

本研究では、漢字一文字の想起時における脳内処理部位と脳内処理過程の推定を行った。また、今回解析した「ひらがな」は、他の「ひらがな」よりも比較的漢字想起がしやすいと思われるものを選んだ。加算平均後の脳波波形ERPと推定部位を対応比較すると、負の大きな振幅の変化時では縁上回、正の大きな振幅の変化時では紡錘状回からBroca野にECDが推定された。

縁上回は以前から「文字中枢」とされてきた部位であり、この部位が損傷されると患者は一見どこも何ともないのに、「ひらがなにに関して読めず、書けず」の状態になるとされている。現在では、この「文字中枢」という考え方は、「文字処理の場合に励起されるネットワークの中心部位」と理解される。この被験者では以前の右半球に優位性言語野のあった被験者と逆に左大脳半球に言語野での反応が見られた。このように、視覚刺激の単語理解から漢字想起まではこの経路を通るものと考えられる。

6 謝辞

本研究は、平成19年度に採択され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，第11章大槻美佳分担：書字の神経機構，神経文字学，医学書院，pp.179－220，2007.
- [2] T. Yamanoi, T. Yamazaki, J.-L. Vercher, E. Sanchez, M. Sugeno : Dominance of recognition of words presented on right or left eye –Comparison of Kanji and Hiragana–, Modern Information Processing From Theory to Applications, B. Bouchon-Meunier, G. Coletti and R.R. Yager Eds., Elsevier Science B.V., pp.407–416, 2006.
- [3] 豊島恒，山ノ井高洋，山崎敏正，大西真一，菅野道夫：向きを表す単語と記号に対する時空間的脳活動の比較，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌），Vol. 18, No. 3，pp.425–433，2006.
- [4] H. Toyoshima, T. Yamanoi, T. Yamazaki, S. Ohnishi : Spatiotemporal Brain Activity during Hiragana Word Recognition Task, J. Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.15, No.3, pp.357–361,

2011.

- [5] Takahiro Yamanoi, Hisashi Toyoshima, H. Ichihashi : Spatiotemporal Brain Activities in Recalling Sentences by Loci Mnemonic System, Proc. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.1878-1883, 2007.
- [6] 山ノ井高洋, 豊島恒, 大槻美佳: 同音漢字想起時におけるヒト脳内活動の時空間推定, 北海学園大学工学部研究報告, No39, pp. 113-123, 2012.
- [7] 山崎敏正, 上條憲一, 剣持聡久: 多喜夫: 動径成分の信頼限界に基づいた脳波信号源推定の精度評価, 医用電子と生体工学, 37-4, pp.336-341, 1999.
- [8] 山崎敏正: 32チャンネル電極キャップによる脳内等価電流双極子推定, CLINICAL NEUROSCIENCE, Vol.18, No. 2, pp.186-190, 2000.