HOKUGA 北海学園学術情報リポジトリ
学校法人北海学園
北海学園大学
北海商科大学

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
著者	山ノ井，高洋；豊島，恒；大槻，美佳；YAMANOI，Takahiro；TOYOSHIMA，Hisashi；OTSUKI，Mika
引用	北海学園大学工学部研究報告(39)：113-123
発行日	2012-02-14

Hokkai-Gakuen Organization of Knowledge Ubiquitous through Gaining Archives.

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

山ノ井　髙　洋*・豊　島　　恒**・大　槻　美　佳***

Spatiotemporal Localization of Brain Activity on Recalling Kanji Homophones

Takahiro YAMANOI*, 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 the subject. 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 left−handed subject were localized to the right supramarginal gyrus around latency of 410ms. After that ECDs were localized to the right fugiform gyrus around 460ms, to the right hippocampus around 540ms and then to the right Broca's contrarateral area around 600ms.

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葉の受容性言語野（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昨今明らかになっている．現在では，入力に関しては，語音→語音の弁別・認知（優位半球上側頭回）→意味の認知（優位半球Wernicke野）を経る過程，出力に関しては，語の想起（優位半球Broca野など）→音の選択・配列（優位半球前頭葉や頭頂葉）→発語コントロール（優位半球中心前回）を経る過程が想定されている．Wernicke野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おり，

*　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
**　㈱ジャパンテクニカルソフトウェア　Japan Technical Software Co. Ltd.
***北海道大学医学部保健学科　Department of Health Sciences, School of Medicine, Hokkaido University

Broca野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，脳の中で使う部位が異なることはよく知られている［1］．岩田誠が1980年代に発表したことが世界中で話題になり，高次の認知機能系の国際学会では，「日本人の場合，漢字と仮名ではどうか？」という質問がいまだにされるようである．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［2］，［3］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［4］，［5］．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［6］，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［7］．

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，入力時の受容性言語野（Wernicke野），出力時の表出性言語野（Broca野），文字中枢言語野と言われる角回（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．

脳機能研究の初期において，脳内処理部位を解明する際には，発現する症状と脳内の損傷部位を対応させて議論を行ってきた．特に言語処理系においては，失語症の研究から明らかにされる場合が多い．本研究では，健常者を対象に，提示された「ひらがな」から音読みすることができる漢字一文字を想起した時の脳内処理部位および脳内処理過程の時空間的推定を行った．

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，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，その音を呈する漢字一文字を想起させた．本研究では，以上7単語のうち「えん」「かん」「き」「ちょう」の4種類の表音に対して解析を行った．

画面中央に注視点を3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，１セットとする．一つの実験に対して，８セット（合計320回）繰り返す．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（EEG）計測には時間分解能が１ミリ秒で，19チャネルでの計測が可能であるPolymateAP1000（デジテックス製）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．使用するアクティブ電極は国際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最大でも10kΩ以下で計測を行った．EEG計測時のサンプリング周波数は１KHzとした．本実験では，正常な視覚を有する22歳の女子学生（利き手：左利き）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．なお本実験の被験者は，本研究の解析結果から優位性言語野は右半球であることが明らかとなっ

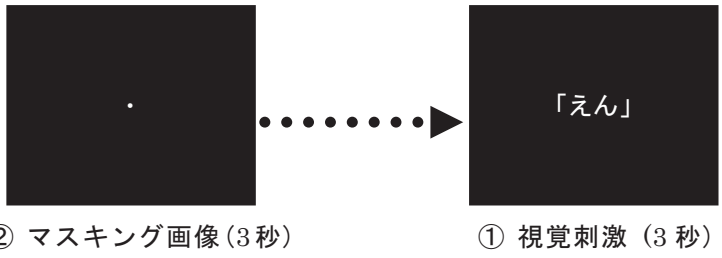


図１　視覚刺激提示のサイクル

表１　M.N.の被験者情報

被験者名	M.N.
年齢	22歳
性別	女性
利き手	左手
利き眼	右眼
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	10kΩ以下
備考	裸眼

た．被験者情報を**表 1** に示す．

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（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［５］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［６］（SynaCenterPro：NEC）を用いた．なお，ECDL法による推定結果に関しては，GOF値が98％以上，95％の信頼限界が１mm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．この様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．本研究では初期視覚過程が完了したと考えられる400ms以後のEEGを解析の対象とした．

4　脳内処理部位の推定結果

解析対象から除外した後に加算平均に用いたデータ数は，「えん」は40個中30個，「かん」は40個中31個，「き」は40個中30個，「ちょう」は40個中29個である．得られたERPを**図 2** に示す．

解析対象の全てのERPにおいて，潜時420ms前後で正に小さな振幅の変化が見られた．また，潜時450msから470msで負に大きな振幅の変化，潜時520msから540msで正に大きな振幅の変化が見られた．潜時650ms前後で大きな振幅の変化は収束する．それ以降の潜時では，特別な振幅の変化は見られなかった．本研究では，特徴的な振幅が始まる潜時400msから振幅が収束する650msの間で漢字想起に関する処理がなされていると考え，ECDL法によりこの間の潜時を重点的に解析した．

被験者M.N.の漢字想起時におけるERPに対してECDL法を用いて解析を行った．漢字想起時における脳内処理部位は，**図 3** から**図 6** に示した結果となった．潜時400ms前後で右縁上回（音韻処理に関係する左縁上回の対側，以下「対側右」），潜時450ms前後で右紡錘状回後部，

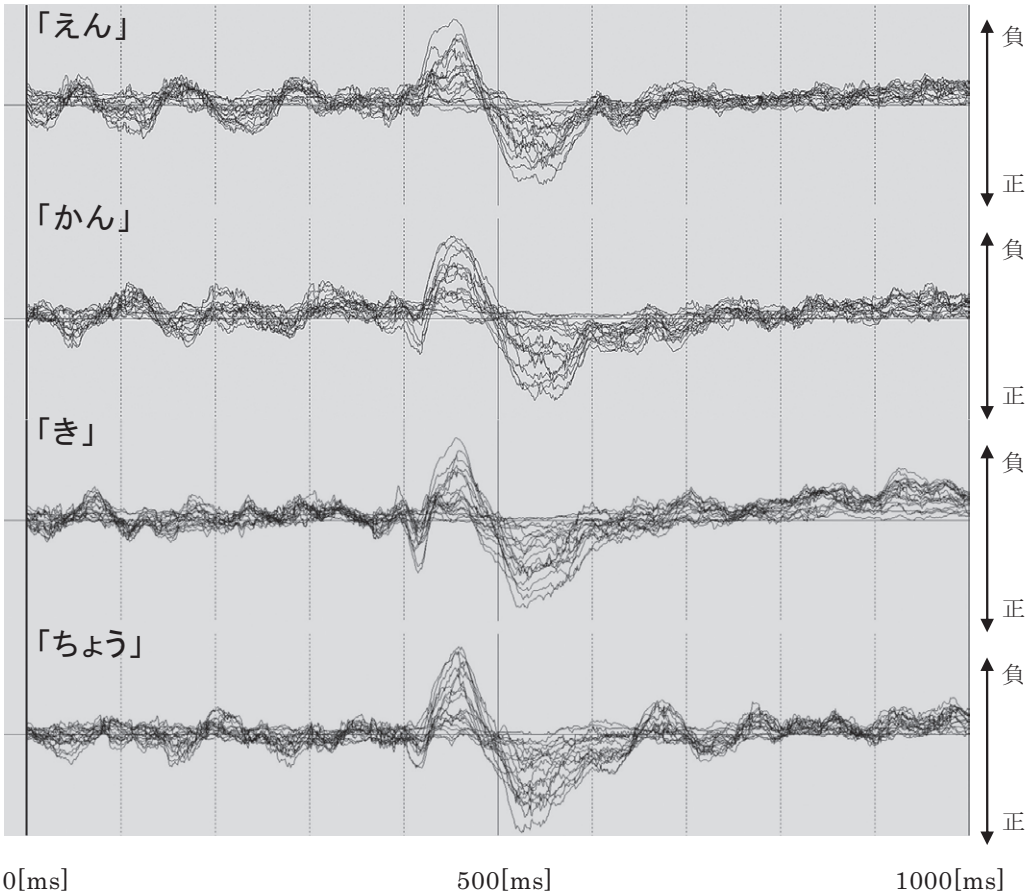


図 2　加算平均結果のERPの例

潜時540ms前後で右海馬，潜時590ms前後で右Broca野（表出性言語野に関するBroca野の対側：以下同様に「対側右」）にECDが推定された．

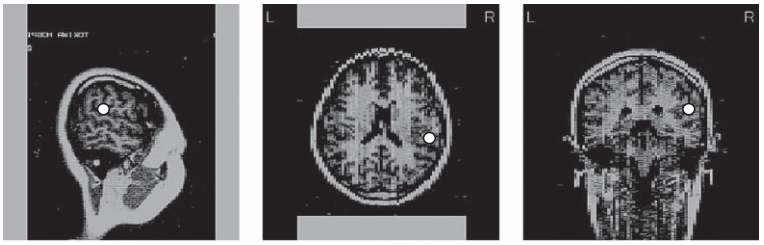
縁上回（対側右）に推定されたECDを**図 3** に示す．

紡錘状回後部（右）に推定されたECDを**図 4** に示す．紡錘状回は，単語の認知などに関与していると言われているが，ここではひらがな単語の認知と想起を行っていると思われる．被験者M.N.では右半球で反応が見られた．

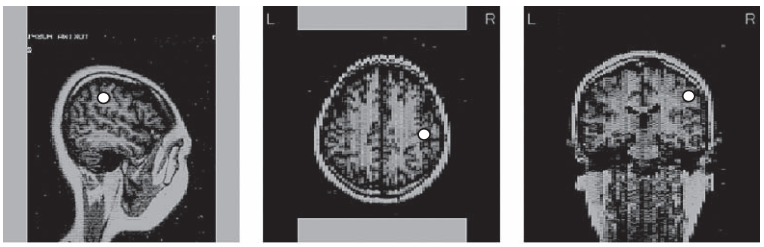
海馬（右）に推定されたECDを**図 5** に示す．海馬は記憶を司る器官として良く知られている．特に，海馬は記憶の取り込みや想起に関係するとされているので，ここでは，漢字想起を行っていると思われる．この被験者では右半球で反応が見られた．

Broca野（対側右）に推定されたECDを**図 6** に示す．Broca野は，表出性の語想起言語野であるが，ここでは漢字想起を行っていると思われる．Wernicke野と同様に，言語野であるBroca野は多くの場合で左半球優位だが，この被験者は，利き手が左利きであることから，左利きの

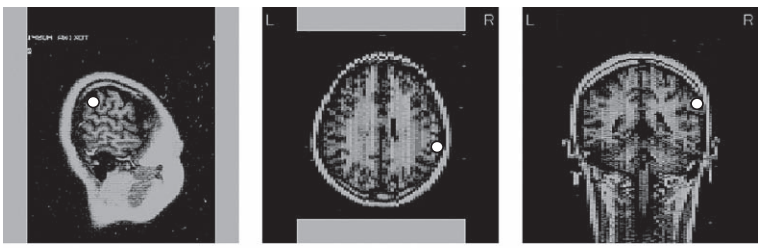
「えん」
潜時 408ms



「かん」
潜時 393ms



「き」
潜時 398ms



「ちょう」
潜時 413ms

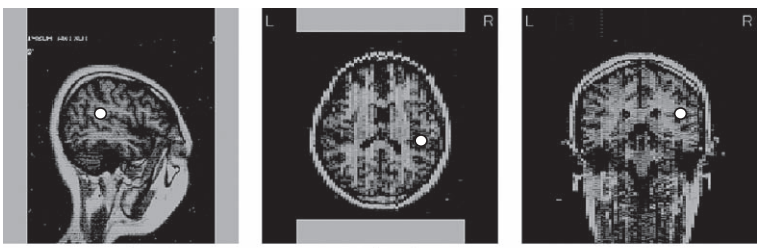


図 3　縁上回（対側右）に推定されたECD

一部（約30%）に見られる言語野が対側に存在する可能性が解析前から考えられたが，実際に推定結果として右半球に反応が捉えられた.「ちょう」の場合にはBroca野の部位にはECDが推定されなかった．このことに関しては考察で言及する．

表 2 に，上記の部位に推定されたECDの潜時の比較をまとめた．また，**図 7** に本研究で推定されたECDの脳内処理過程を簡単に示す．

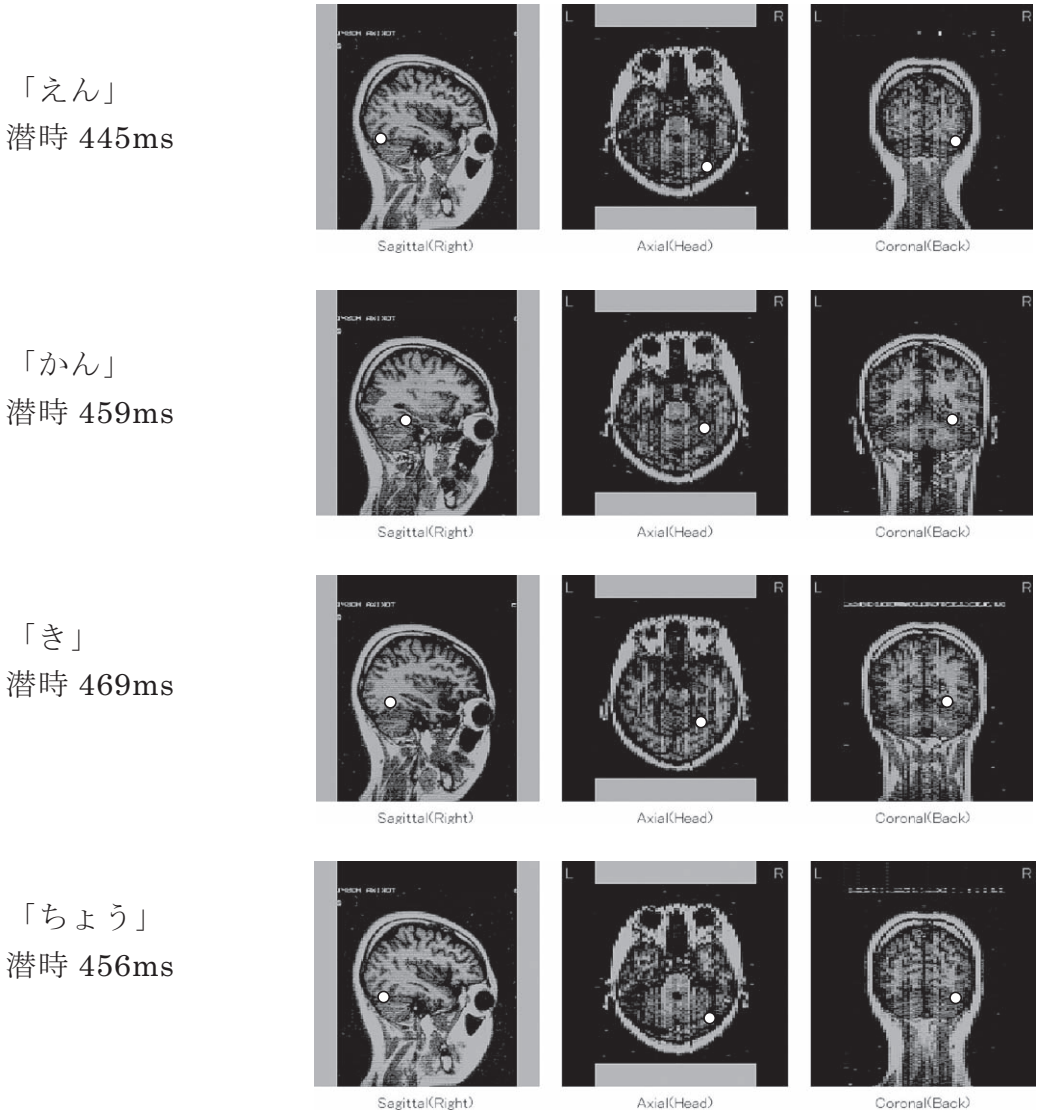
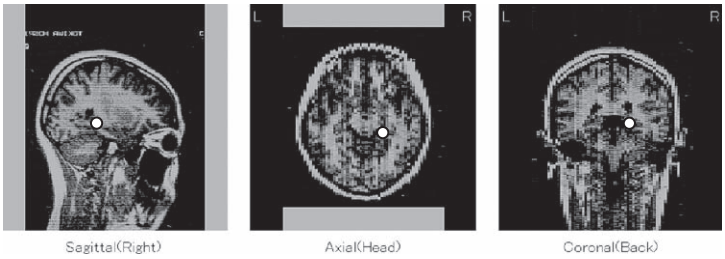


図 4　紡錘状回後部（右）に推定されたECD

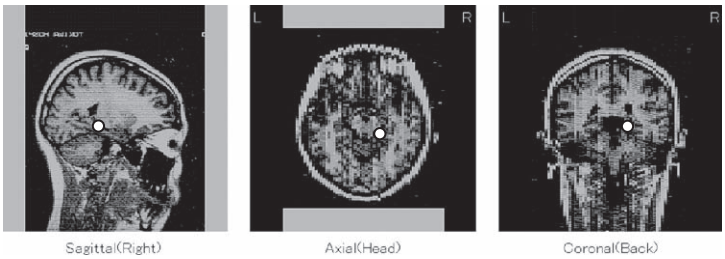
5　考察

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」の表音は同音意義語が多く，他の「ひらがな」よりも比較的漢字想起がしやすい音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，正の小さな振幅の変化時では縁上回，負の大きな振幅の変化時では紡錘状回後部，正の大きな振幅の変化時では海馬でECDが見られた．

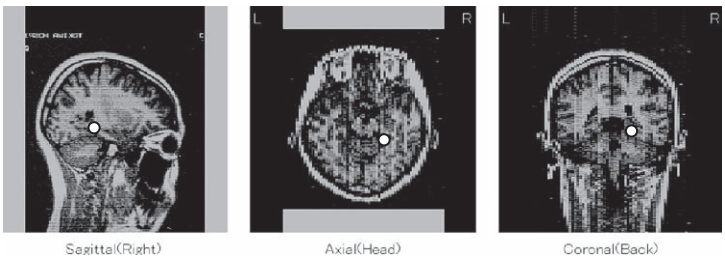
「えん」
潜時 534ms



「かん」
潜時 547ms



「き」
潜時 534ms



「ちょう」
潜時 563ms

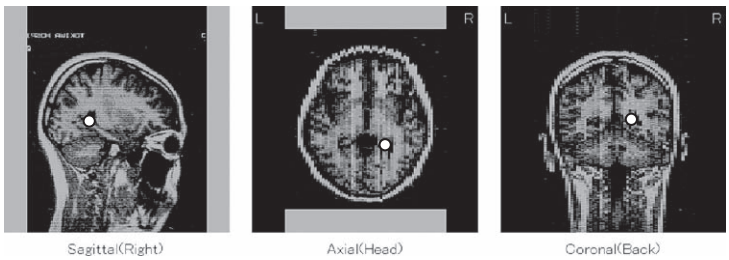


図 5　海馬（右）に推定されたECD

縁上回は，病巣研究で，この部位の損傷では音韻性錯語という‘音韻’の言い間違えが生じることが知られ，またfMRIなどの研究からも言語の‘音韻’を強く意識するような課題で活動がみられることが報告されている［8］．本実験では，仮名という音韻を提示したため，その音韻処理にこの縁上回が関与したのではないかと推測された．この被験者では対側の右半球に反応が見られた．

紡錘状回は，単語の認知などに関与していると言われているが，このシステムの中心となるのが海馬である．側頭葉は，脳の両横に斜め前下に突き出た部分で，上半分は聴覚系の感覚野

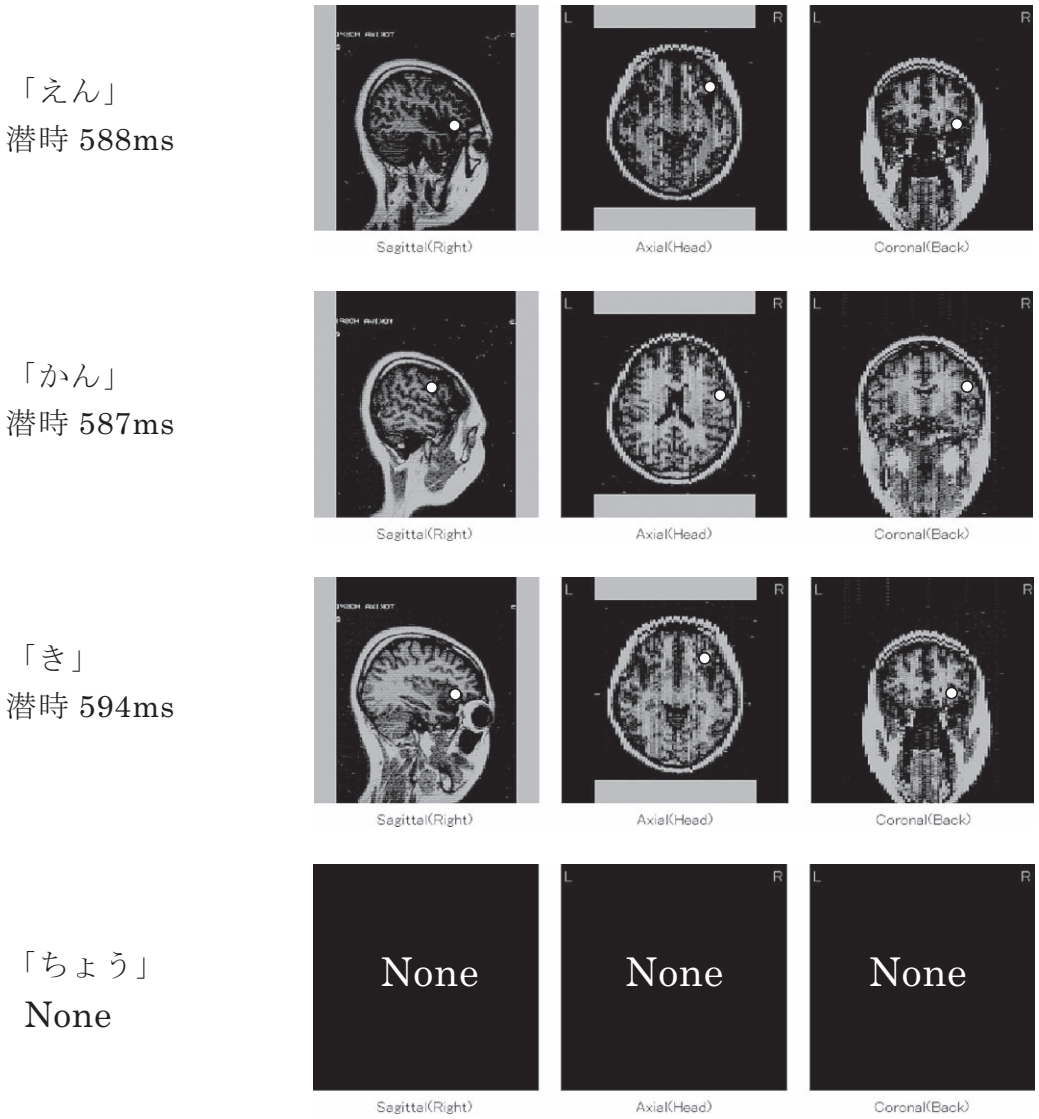


図 6　Broca野（対側右）に推定されたECD

表 2　ECDL法による推定結果　　単位：[ms]

	縁上回（右）	紡錘状回後部（右）	海馬（右）	Broca野（対側右）
「えん」	408	445	534	588
「かん」	393	459	547	587
「き」	398	469	534	594
「ちょう」	413	456	563	None

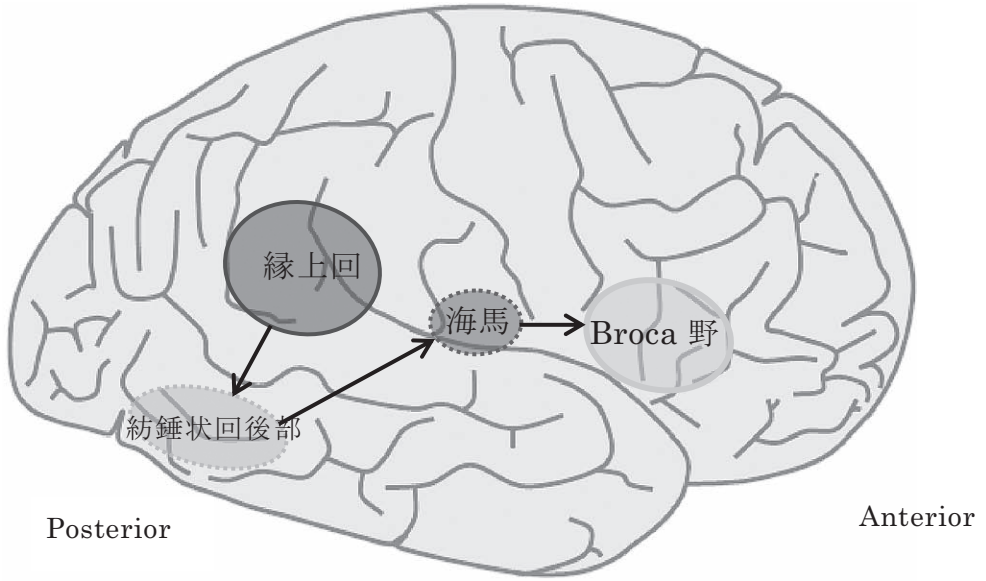


図 7　漢字想起時における脳内処理過程（破線の輪郭は部位が内部にある事を示す）

と連合野が占めている．外側溝（シルビウス裂，シルビウス溝）より下方にある部分で，上外側面から下面におよび，後方は後頭葉および頭頂葉に移行する．上外側面では溝としては前後に走る上および下側頭溝があり，これらによって上，中および下側頭回が区分される．これらの大部分は紡錘状回とともに連合中枢（側頭連合野）と考えられている．優位半球（主に左脳本被験者では右脳）の上側頭回の後部からWernicke野にかけて受容性言語野があるとされる．ヒトの左脳では，聴覚系連合野の発展として言語野が形成されている．下半分は主として視覚系の連合野になっている．サルの行動実験では，後頭葉に近い後半部が物の形の認識に，前半部は形の記憶に関与しているらしいデータが得られている．

これまであまり言及されて来ていないが，本実験の結果から，少なくとも文字想起に海馬が関与していたという事実から，エピソード記憶が文字想起に関して何らかの役割を演じている可能性が示唆された．

意味記憶の選択的障害としては意味性認知症がある．この症例では言葉や物の意味がわからなくなる．物体の名前が言えなくなる．つまり意味的記憶の障害がある．一方で，エピソード記憶は比較的保持される．この障害は嗅内皮質や嗅周皮質を含む側頭葉前方部の萎縮によって引き起こされる．海馬の損傷は比較的少ない．このような知見を元にすると，海馬がエピソード記憶，嗅内皮質や嗅周皮質が意味記憶という機能局在があると考えることができるが，まだこの論争は決着していない．

このように，視覚刺激の単語理解から漢字想起までは上述の経路を通るものと考えられる．また，右脳で縁上回やBroca野のECDが見られたため，この被験者の優位性言語野は右脳にあ

ると思われる．これは，被験者の利き手が左手であるためである．

「ちょう」では，言語の出力を担うBroca野のECDが見られなかった．Broca野は言語レベル（speechではなくlanguage）に関与しているため，単語の想起自体に関与していると考えられている.「ちょう」のみ異なった結果が得られたのは，「ちょう」という言葉を提示した場合の想起のときに何らかの特異的な異なったストラテジーが働いたか，あるいは逆に「ちょう」以外の単語提示の場合に何らかの異なったストラテジーが働いた可能性も推察できる．

今回解析したEEGデータは，過去に何度も同じ実験を行った後のものであるため，事前に対応する漢字を用意しており，特定の視覚刺激を受けた際に，用意していた漢字を反射的に想起している可能性も考えられる．

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．本研究を行うにあたり協力を頂いた被験者および脳波計測解析の補助をしてくれた平成22年度山ノ井卒業研究の学生，特に中平麻美子さんに謝意を表す．

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］山崎敏正，上條憲一，剣持聡久：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.

［3］山崎敏正：32チャ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.

［4］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.

［5］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.

［6］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.

［7］Takahiro Yamanoi, Hisashi Toyoshima, H. Ichihashi : Micro Robot Control by Use of Electroencephalograms from Right Frontal Area, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Information, vol.13, No.2, pp.68–75, 2009.

［8］大槻美佳．コミュニケーション障害とその機能局在：臨床とfMRIの知見から，コミュニケーション障害学24（1），pp.29－34，2007