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	ひらがな単語黙読時における時空間的脳活動の推定
著者	豊島，恒；山ノ井，高洋；山崎，敏正；大西，真一
引用	北海学園大学工学部研究報告，37：51-57
発行日	2010-02-22

Hokkai-Gakuen Organization of Knowledge Ubiquitous through Gaining Archives.

ひらがな単語黙読時における時空間的脳活動の推定

豊　島　　恒[†], 山ノ井　髙　洋[*], 山　崎　敏　正[**], 大　西　真　一[*]

Spatiotemporal Localization of Brain Activity on Reading Hiragana Words

Hisashi TOYOSHIMA[†], Takahiro YAMANOI[*], Toshimasa YAMAZAKI[**] and Shin–ichi OHNISHI[*]

Abstract

The authors recorded nineteen-channel event-related potentials (ERPs) during recognition of one type of Japanese character ; Hiragana (one type of phonetic characters). By field-sequential stereoscopic 3D display with liquid crystal shutter, a word and a non-word were simultaneously and independently presented to the left (right) eye and right (left) one, respectively. Each word consists of three Hiragana characters. Three subjects were instructed to press a button if he had recognized the meaning of visual stimuli after 3000ms poststimulus. Equivalent current dipole source localization (ECDL) with three unconstrained ECD was applied to the ERPs. The ECDs were localized to the Wernicke's area at around 600ms. The ECD for one left-handed subject was located at Wernicke's homologue. After that ECDs were localized to the prefrontal area, the superior frontal gyrus and the middle frontal gyrus. Then at around 800ms, the ECDs were localized to the Broca's area and after that ECDs were localized again to the Wernicke's area and then to Broca's area at around 970ms.

1　はじめに

ヒトが言語を認知する際には，多くは左側頭部の聴覚性言語野（Wernicke野）により言語野への入力処理がなされ，認知および発話を行う際には発話性言語野（Broca野）により言語野からの出力処理がなされる，と言われている．著者らの一部は，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

[†]㈱ジャパンテクニカルソフトウェア
[†]Japan Technical Software
[*]　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
[**]　九州工業大学生命情報工学科
[**]　Department of Bioscience and Bioinformatics, Kyushu Institute of Technology

（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［1］．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［2］．

本研究では，先行研究［1］で行った2双極子による推定に対し,3双極子による再推定を行い，ひらがな単語の観察時における高次脳活動を詳細に時空間的に推定する．

2　本研究で行った実験および解析

2.1　本実験で提示した視覚刺激および解析対象

先行研究では被験者の左右の視野に対して，意味を持つ漢字とひらがなの単語およびその順序を入れ替えた意味を持たない漢字とひらがなの単語を画面の左右に独立に提示した．この視覚刺激を左右の眼に個別に与えることで，漢字とひらがなの認知時における大脳機能の優位性を確認している．この際には，単語の意味認知の反応時間も同時に計測して解析を行っている．反応時間の優位性から，一人の被験者は言語野が右脳に存在することが明らかとなった．本研究では，先行研究で行った実験により得られた脳波（electroencephalogram：EEG）から，解析対象データとして被験者に対して優位な視野に提示されたひらがな認知過程のEEGを選択し，加算平均して求められた事象関連電位（event related potential：ERP）に対して，ECDL法を試み，この際の脳内活動部位の時空間的推移を検討した．

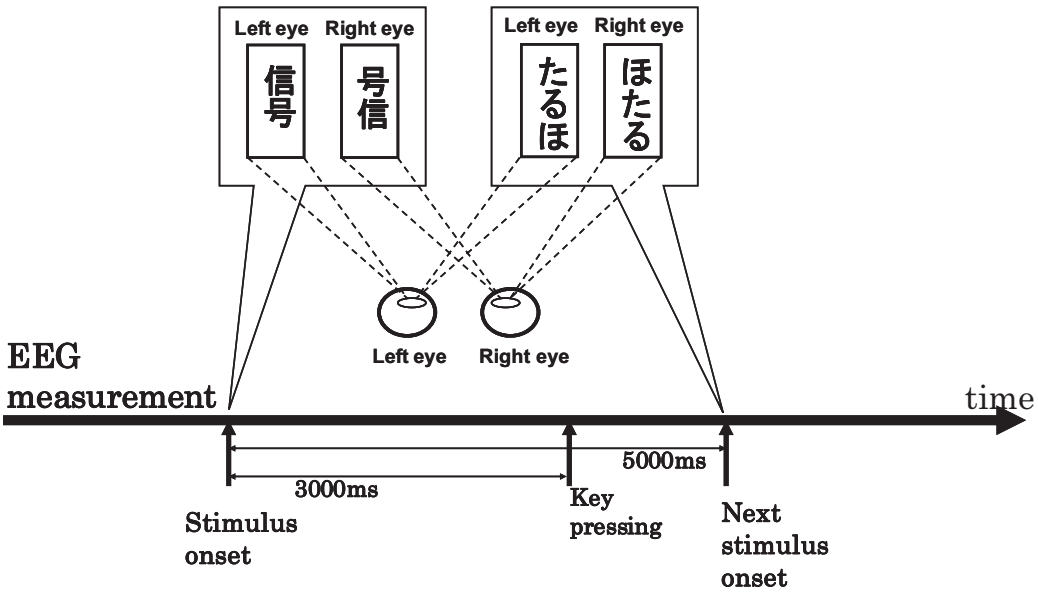

Fig. 1　Stimulus presentation interval and EEG measurement.

2.2　刺激提示装置と脳波計測装置

本研究では，視覚刺激の提示を被験者の左右の眼に対して独立に行うために液晶シャッター眼鏡を使用した．液晶シャッター眼鏡は，画像を高速に切り替える垂直シンクロナイザーと同期して左右のシャッターの開閉が行われる．CRTに左眼提示用画像が提示されている場合には左眼側のシャッターのみが開き，右眼提示用画像が提示されている場合には右眼側のシャッターのみが開く．これにより液晶シャッター眼鏡を装着した被験者の左右の眼にほぼ同時に異なる画像が提示される．

被験者が視覚刺激を観察する際のEEG計測には時間分解能が１ミリ秒で，19チャネルでのEEG計測が可能であるデジタル多用途脳波計（Synafit EE2500：NEC日本電気）を使用した．被験者は19チャネルの電極キャップを装着し，これを介して実験中のEEGを計測する．計測されたEEGはA/D変換ボードを介してデータ保存用の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，バンドパスフィルタは0.15～100Hzとした．

2.3　本実験の被験者

本研究では，正常な視覚を有する20～22歳の３名の男子学生（利き手：右利き２名，左利き１名）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，左利きの被験者については先行研究により，言語野が対側に存在する推定結果を得ている．

2.4　脳内処理部位の推定方法および推定範囲

実験で得られた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（Fig. ２）．

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［３］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［４］(Syna-PointPro：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．

実験で得られたEEGには被験者のまばたきなど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

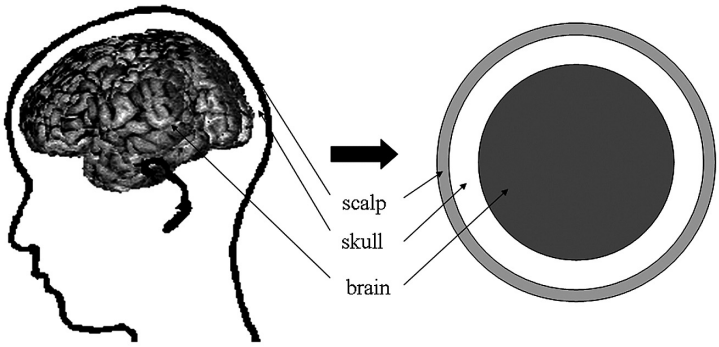

Fig. 2　Concentric 3−sphere model of the human brain (left : real head image, right : 3−sphere model)

る計測データについては解析対象から除外した．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．

3　推定結果

実験で得られたひらがな認知時のEEGに対して，被験者ごとに加算平均を求め，ERPを得た．脳内処理部位の推定を行った結果，３名の被験者ともに，潜時600ms前後でWernicke野にECDが推定された．なお，右利きの被験者NSおよびMYは左脳半球に，左利きの被験者MTは対側の右脳半球にECDが推定されている．先行研究により被験者MTは言語野が対側（右脳）にある事が確認されている．

Wernicke野にECDが推定された潜時以後は，前頭前野（prefrontal area：PFA），Wernicke野と同側の上前頭回（superior frontal gyrus：SFG）および中前頭回（middle frontal gyrus：SFG）にECDが推定された．そして潜時800msでBroca野にECDが推定された．さらに，Broca野にECDが推定された以後の潜時では再びWernicke野にECDが推定され，潜時970msでBroca野にECDが推定され，処理のループが確認された（Fig. ３～８，Table１）．

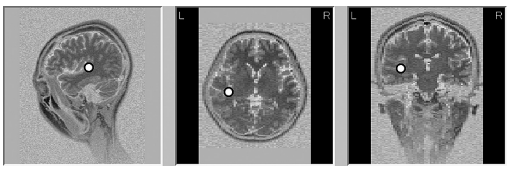

Fig. 3　Example of ECD localized to the Wernicke's area at 586ms (Subject NS)

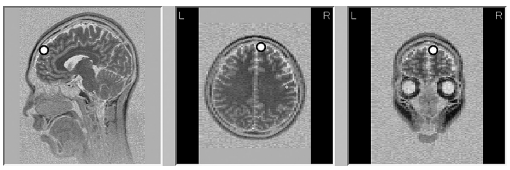

Fig. 4　Example of ECD localized to the PFA at 638ms (Subject NS)

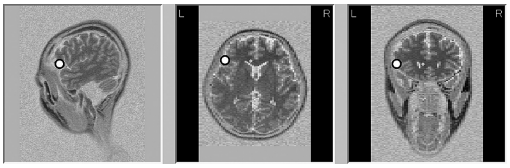

Fig. 5　Example of ECD localized to the left MFG at 741ms (Subject NS)

Fig. 6　Example of ECD localized to the PFA at 766ms (Subject NS)

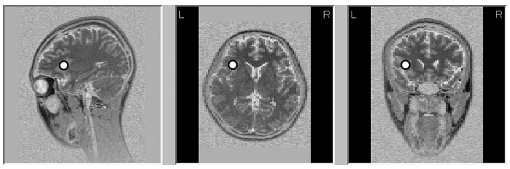

Fig. 7　Example of ECD localized to the Broca's area at 807ms (Subject NS)

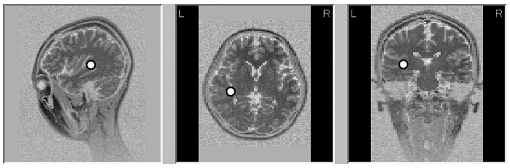

Fig. 8　Example of ECD localized to the Wernicke's at 809ms (Subject NS)

Table 1　Relationship between localized source and its latency [ms]

Subject	Wernicke	PFA	MFG	PFA	Broca	Wernicke	PFA	Broca
MY	593	677	712	749	810	830	861	973
NS	586	638	741	766	807	809	881	977
MT	615	634	711	758	822	825	873	972

4　考察

3名の被験者の推定結果を比較すると，被験者MTの推定結果が他の2名の被験者とは異なり，対側に推定されている以外は，推定された部位とその潜時に大きな差は見られなかった．潜時600～800msの，Wernicke野からBroca野に至るまでの遷移については，短期記憶および長期記憶想起時の脳活動と同様に，記憶と言語に関する部位に推定された．

また，潜時800ms以後の解析結果では，再びWernicke野からBroca野への推移が見られた．この2回目の推移は1回目の推移とほぼ同様であった．同一部位での遷移の繰り返しは単漢字の

認知過程では確認されなかった．一方，想起の研究［5］では同じ部位での遷移の繰り返しがみられた．想起の場合では脳内処理として，提示されたキーワードを認知，キーワードに関連して記憶した内容を検索，の複数段階での処理を行っている．このため，同一部位での遷移の繰り返しが発生したと考えられる．

以上のことから，視覚刺激が事前に提示されている少数の選択肢の中から表示される場合と，視覚刺激の内容が不定または多量である場合とで，高次脳活動に差が存在すると考えられる．

本研究で用いた刺激は，意味のあるひらがな単語（例：ほたる）とその順序を換えた意味のないひらがな単語（例：たるほ）の様に，視覚刺激が既知の単語ではない可能性があるため，ひらがな単語の理解過程としては，音声的な認知を経てから意味的な認知を行っている可能性が考えられる．本研究の結果は，音声的な認知過程を経て言葉として認知し，このように認知した言葉が存在することを言葉の意味を理解することで行っていると考えられる．

また，先行研究では2双極子による推定であったが，本解析では3双極子による解析を行った結果，言語野以外での脳活動がより詳細に推定されたと考えられる．

おわりに

本研究では，ECDL法によってひらがな単語の処理過程を推定した結果，Wernicke野，Broca野などの言語野での脳活動を確認した．これらの結果のみならず，同一部位の遷移の繰り返しなど，先行研究よりも詳細な脳活動を得た．

謝辞

本研究は平成19年3月に終了した文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業ハイテク・リサーチ・センター整備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「視覚・画像・音声・言語情報の高度化と知的計測制御技術への応用」ならびに，平成19年度新規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援助を頂いた方々に謝意を表す．

参考文献

［1］T.Yamanoi et al., Dominance of recognition of words presented on right or left eye – Comparison of Kanji and Hiragana –, to appear in Modern Information Processing, From Theory to Applications, edited by B. Bouchon–Meunier, G. Coletti and R.R. Yager, Elsevior Science B.V., pp.407–416, 2005

［２］豊島　恒，山ノ井髙洋，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
［３］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
［４］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，18－２，186－190，2000
［５］Takahiro Yamanoi, Hisashi Toyoshima, Hidetomo Ichihashi : Spatiotemporal Brain Activities in Recalling Sentences by Loci Mnemonic System, 2007 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.1878–1883, 2007–10