

タイトル	向きを表す単語と記号による時空間的脳活動の比較
著者	豊島，恒；山ノ井，高洋；大西，真一；山崎，敏正；菅野，道夫
引用	北海学園大学工学部研究報告，33：123-133
発行日	2006-02-20

向きを表す単語と記号による時空間的脳活動の比較

豊島 恒^{*†}, 山ノ井 高 洋^{*}, 大 西 真 一^{*},
山 崎 敏 正^{**}, 菅 野 道 夫^{***}

Comparison of Spatiotemporal Activities in Human Brain Between Words and Symbols with Directional Meaning

Hisashi TOYOSHIMA^{*†}, Takahiro YAMANOI^{*}, Shin-ichi OHNISHI^{*},
Toshimasa YAMAZAKI^{**} and Michio SUGENO^{***}

Abstract

To investigate the brain activity during human recognition of words and symbols both have the same meaning, the authors recorded electroencephalograms (EEGs) from subjects in looking at Chinese characters, called "Kanji", or arrows that indicate directions presented on a CRT. In the cases of arrow, the reaction times were almost equal regardless of the directions. And the latencies at which VEP amplitudes start to increase were longer than those of the Kanji for all the directions. In the cases of the Kanji, ECDs were localized to the language area. At the latencies of 400-500ms, ECDs were localized to the semantic area in both cases.

1 はじめに

ヒト脳機能に関する様々な研究によれば、視覚刺激に関する処理は後頭葉でなされ、初期の段階では左視野の視覚刺激は右脳半球で、右視野の視覚刺激は左脳半球で処理され、その後に頭頂連合野で処理がされることが知られている¹⁾。さらに高次処理の機能は左脳と右脳とで分化されていることが知られている。

言語に関する脳内処理部位に関しては右利きの99%以上および左利きの70%程度が左脳に集中していると言われ、その高次機能に関してはWernicke野およびBroca野などが司ると言われている²⁾³⁾。またこれらの部位以外にも、左角回 (angular gyrus : AngG)、左紡錘状回 (fusiform gyrus : FuG)、左下前頭回 (inferior frontal gyrus : IFG) および前頭前野 (prefrontal area :

* 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

† 株式会社情報科学センター Information Science Research Center CO., LTD

** NEC市場開発推進本部 バイオIT事業推進センター NEC Corporation

*** 同志社大学文化情報学部 Faculty of Culture and Information Science, Doshisha University

PFA) などでも言語処理が行われるとされている。また漢字と仮名文字とではそれらに対する認知を行う部位が異なっていること⁴⁾、単漢字に対する脳内処理部位の研究なども行われている⁵⁾。

本研究では単語と記号に関する脳内処理部位の推定および比較を行うため、視覚刺激として向きを示す単語と記号とを提示された際のEEGを計測し、ECDL法⁶⁾を試み、比較を行った。

2 本研究で行った実験

2.1 本実験の方法および提示した視覚刺激

本実験では、提示された単語と記号とを観察する際のEEGを計測した。実験の目的が単語と記号に対する脳内処理部位の推定と比較であるため、被験者に提示する視覚刺激としては、明確に向きを意味する単語（漢字：上下左右）および記号（矢印：↑↓←→）を使用した。これらの視覚刺激を提示している間のEEGを計測するために、デジタル多用途脳波計（Synafit EE 2500：日本GEマーケット）を使用した。被験者は19チャンネルの電極キャップを装着し、これを介して実験中の脳波を計測する。計測された脳波をA/D変換ボードを介してデータ保存用のPCに出力する。実験時には電極接触抵抗値は最大でも10k Ω 以下で計測を行った。

実験は暗室内で行い、被験者への視覚刺激としてCRT中央に漢字または矢印を3秒間提示し、その後3秒間マスキングを行う。提示される視覚刺激の順はランダムなものとし、各刺激について30回、合計240回の刺激提示を繰り返す。このサイクルで提示を行い、視覚刺激が提示されている3秒間のEEGを計測した（Fig. 1）。

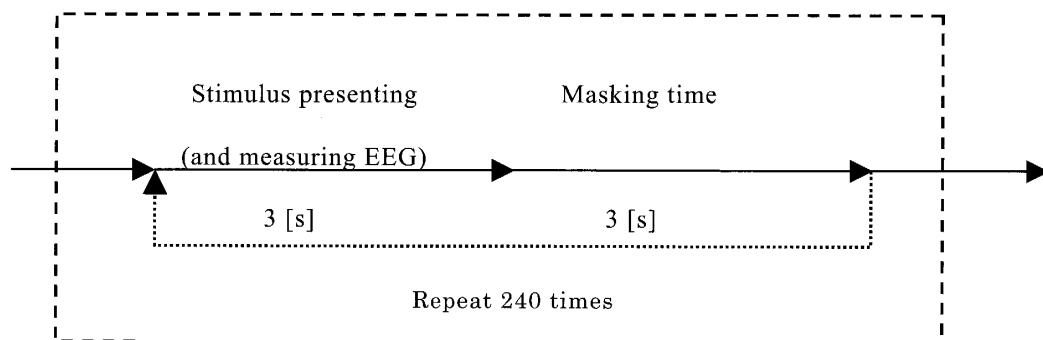


Fig. 1 The flow of the present experiment (repeated a total of 240 times)

2.2 本実験の被験者

本実験の被験者は正常な視覚を有する20歳の女子3名および21歳の女子1名の計4名で、全員の利き手および利き眼は右である。実験時には前日の睡眠時間などを確認し、実験中には一定時間ごとに休憩をとり、被験者の疲労の度合いについて確認を行っている。

2.3 脳内処理部位の推定方法およびその範囲

実験で得られたEEGをもとに脳内処理部位の推定を行った。本研究ではECDL法を試みるために市販のPC版双極子推定ソフトウェア（SynaPointPro：日本GEマーケット）を用いた。ノイズの影響が認められない有効なデータに対して提示された視覚刺激別に加算平均を求め、視覚誘発電位（visual evoked potential：VEP）を得た（Fig. 2）。

得られたVEPを比較すると、提示された視覚刺激によらず潜時450～550ミリ秒で大きな振幅の変化が観察された。本研究では、VEPでの大きな振幅の変化に着目し、視覚刺激提示直後から振幅の変化が観察された潜時550ミリ秒までを推定範囲のとして3双極子でのECDL法を試みた。

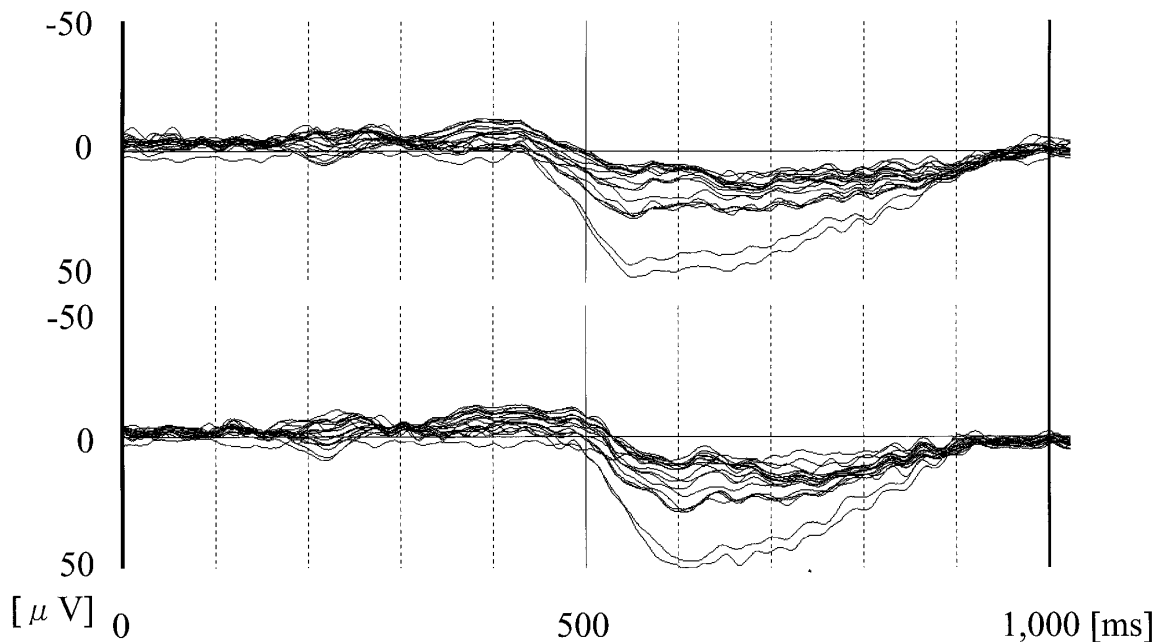


Fig. 2 VEP waveforms. Upper were evoked by ‘下’. Lower were evoked by ‘↓’.

3 結果

3.1 得られたVEPの傾向

得られたVEPを提示された視覚刺激の種類（漢字，記号）および向きごとに比較した。

漢字提示の向き別のVEPを比較すると、波形のピークとなる潜時がほぼ等しく、そのピークの極性は同じ場合と異なる場合とが観察された（Fig. 3）。漢字提示時では、潜時320ミリ秒程度までの範囲では提示された向きによらず、ほぼ同じ潜時でピークがみられ、その後は上下方向での提示の場合は潜時420ミリ秒前後で、左右方向の提示の場合は潜時500ミリ秒程度で振幅の変化が観察された。対側の刺激に対しての比較では上よりも下の刺激の場合で、右よりも左

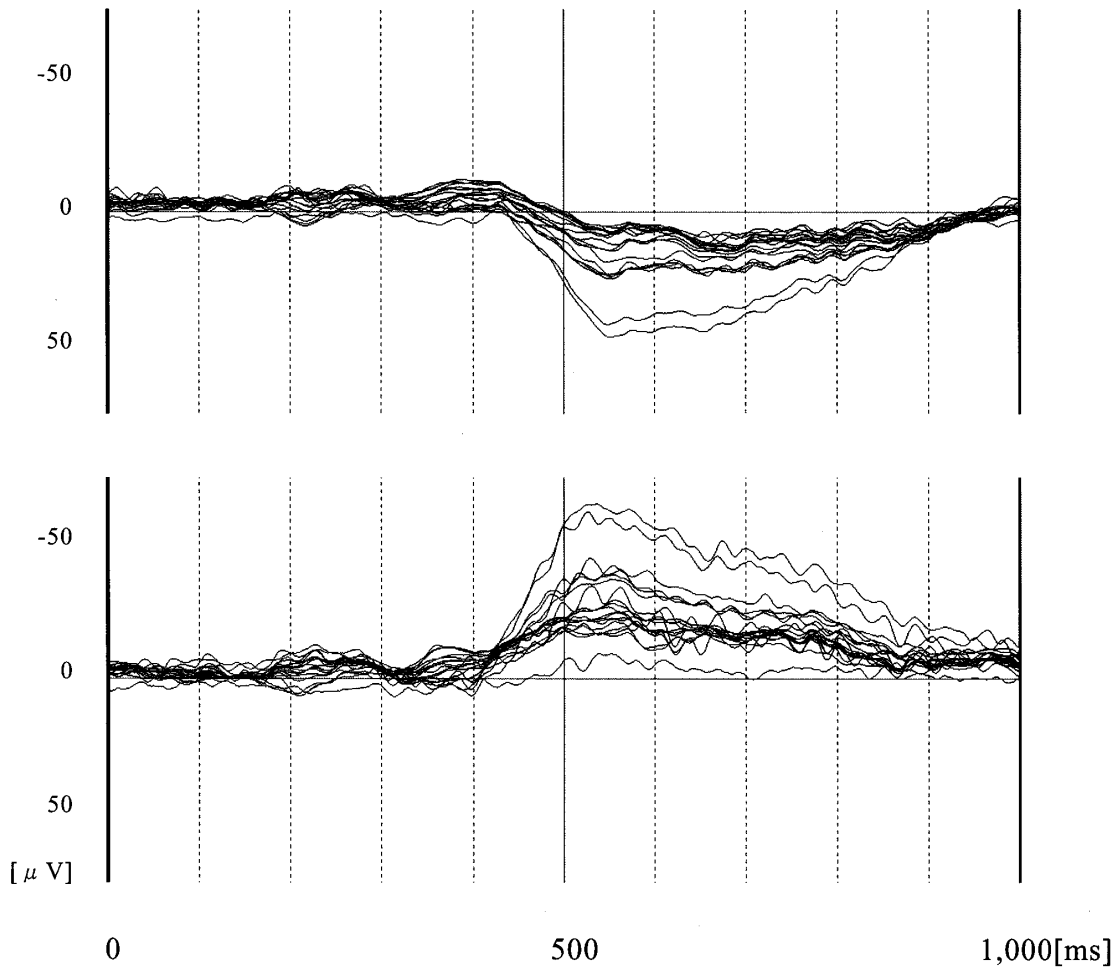


Fig. 3 VEPs of presenting word. Upper were evoked by '下'. Lower were evoked by '上'.

の場合で振幅の変化がやや遅れて観察された。

矢印提示での向き別のVEPを比較すると、ピーク潜時での極性については漢字提示の場合と同様の傾向がみられた (Fig. 4)。

矢印提示の場合は提示された向きによらず潜時250ミリ秒前後でピークがみられ、その後は潜時500ミリ秒前後でVEPの振幅に大きな変化が観察された。対側の意味を示す刺激に対しては、「↑」よりも「↓」の刺激の場合で、また「→」よりも「←」の刺激の場合で振幅の変化がやや遅れて観察された。

同じ向きを意味する漢字と矢印とでのVEPを比較すると、潜時250ミリ秒まででは大きな差はみられず、潜時250ミリ秒以後についても、ピーク潜時に差は存在するものの全体的にはほぼ同様の傾向でピークおよびその極性が変化していた。またVEPの振幅が変化する潜時を比較すると、漢字提示の場合は矢印提示の場合と比較すると50～80ミリ秒程度早く変化していることが観察された。

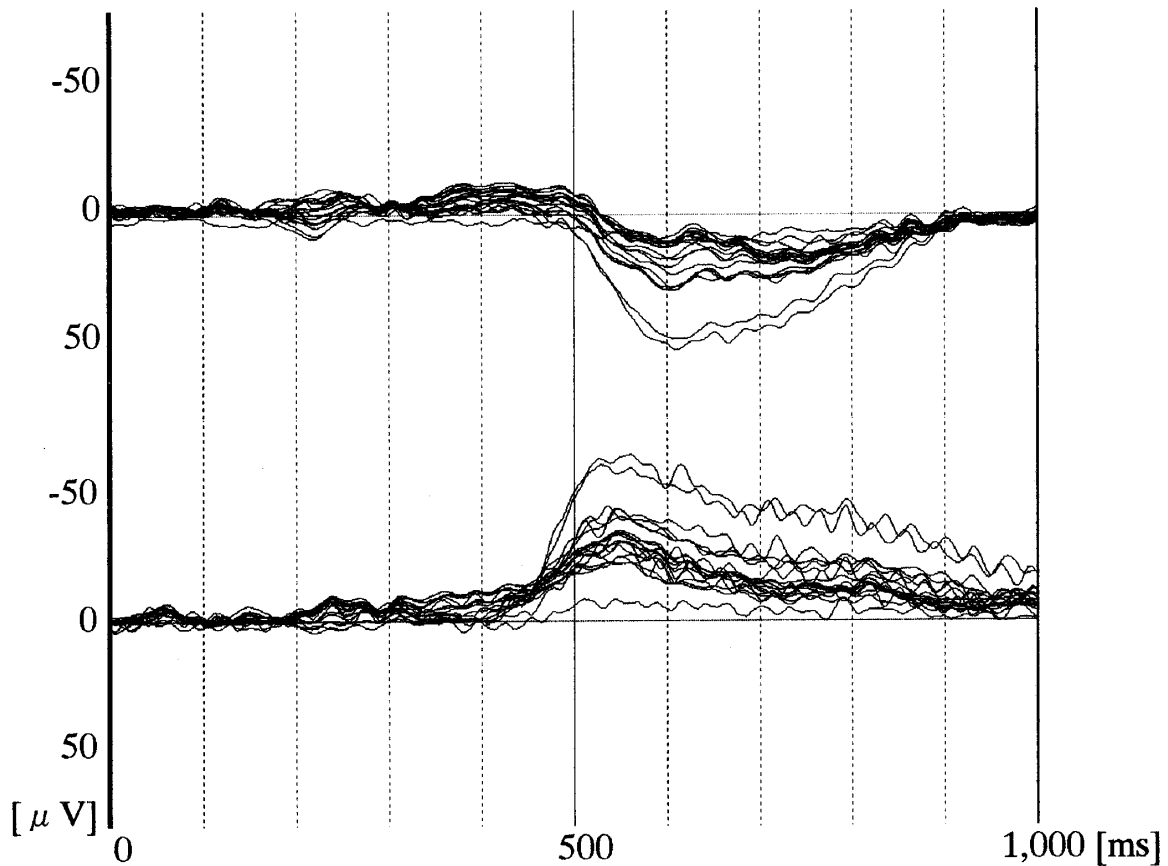


Fig. 4 VEPs of presenting arrows. Upper were evoked by '↓'. Lower were evoked by '↑'.

3.2 脳内処理部位の推定結果

VEPのピーク潜時前後を重点的にECDLを試みた結果、被験者HYについては潜時300ミリ秒程度までに推定されたECDについては提示刺激の種類および向きによらずほぼ同様の傾向で、潜時130ミリ秒前後で右MT野 (Fig. 5) にECDが推定された。その後潜時200ミリ秒前後で右中心後回 (postcentral gyrus : PstCG) に、潜時270ミリ秒前後で中心前回 (precentral gyrus : PrCG) (Fig. 6) にECDが推定された。

潜時300ミリ秒以後では、漢字提示の場合には提示刺激の向きによらず潜時350ミリ秒前後で左MTGおよびWernicke野 (Fig. 7) に、続いて潜時350ミリ秒以後で左AngGおよび左舌状回 (lingual gyrus : LngG) (Fig. 8) にECDが推定された。その後は左IFG, PFA, SFG (Fig. 9) などにECDが推定され、振幅が変化する直前のピーク潜時前後でPrCG (Fig. 10) にECDが推定された (Table 1)。

矢印提示の場合には、VEPの振幅が変化する潜時までの間では、推定された潜時は異なるものの左右の中前頭回 (middle frontal gyrus : MFG) (Fig. 11) および右IFGに集中してECDが推定された。また、提示刺激の向きによらず潜時380ミリ秒前後で右中側頭回 (middle temporal gyrus : MTG) (Fig. 12) に、その後VEPの振幅が変化する直前のピーク潜時前後ではPFA

(Fig. 13)の上部～上前頭回(superior frontal gyrus : SFG) (Fig. 14)にECDが推定された(Table 2).

これらのECDが推定された部位およびその推移に関する傾向は他の被験者でも同様であったが、ECDが推定された潜時には20～40ミリ秒程度のばらつきがみられた (Table 3).

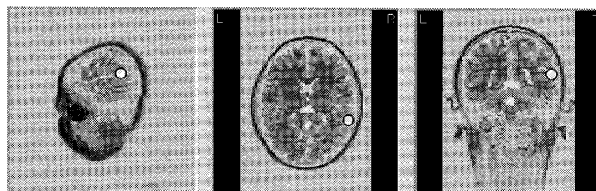


Fig. 5 Example of ECD localized to the right MT at 120ms (Subject HY), Stimulus : ‘左’

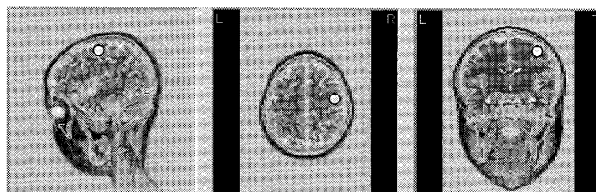


Fig. 6 Example of ECD localized to the PrCG at 279ms (Subject HY), Stimulus : ‘左’

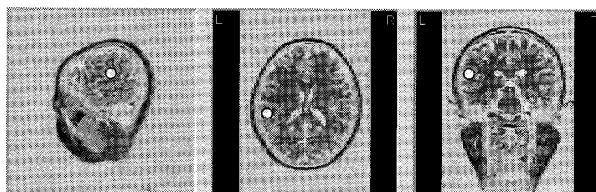


Fig. 7 Example of ECD localized to the left MTG at 338ms (Subject HY), Stimulus : ‘左’

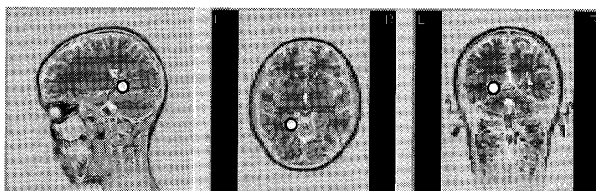


Fig. 8 Example of ECD localized to the left LngG at 353ms (Subject HY), Stimulus : ‘左’

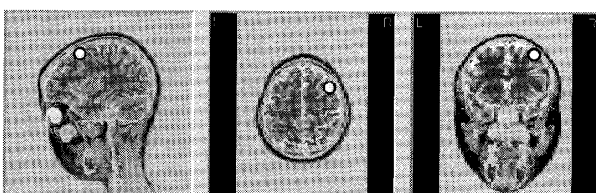


Fig. 9 Example of ECD localized to the right SFG at 452ms (Subject HY), Stimulus : ‘左’

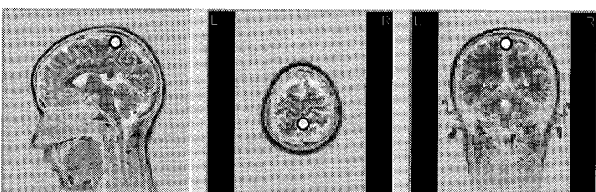


Fig. 10 Example of ECD localized to the PrCG at 479ms (Subject HY), Stimulus : ‘左’

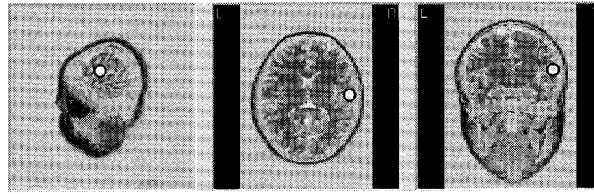


Fig. 11 Example of ECD localized to the right MFG at 328ms (Subject HY), Stimulus : '←'

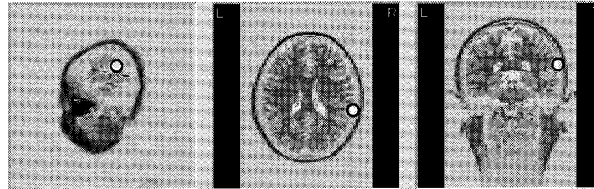


Fig. 12 Example of ECD localized to the right MTG at 382ms (Subject HY), Stimulus : '←'

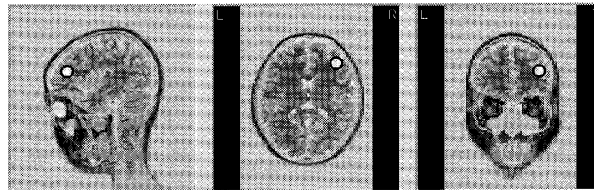


Fig. 13 Example of ECD localized to the PFA at 472ms (Subject HY), Stimulus : '←'

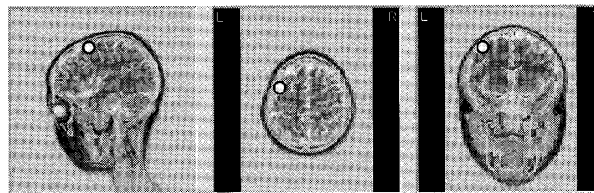


Fig. 14 Example of ECD localized to the SFG at 481ms (Subject HY), Stimulus : '←'

Table 1 Relationship between localized source and its latency (Subject HY), Stimulus : word [ms]

Stimulus	MT	PrCG	left MTG	PFA	SFG
下	126	256	354	409	401
上	119	293	348	410	406
右	109	287	344	447	450
左	113	292	338	447	452

Table 2 Relationship between localized source and its latency (Subject HY), Stimulus : arrow [ms]

Stimulus	MT	PrCG	right IFG	right MTG	PFA
↓	126	256	365	380	493
↑	119	293	358	373	462
→	109	287	386	370	529
←	113	292	382	382	517

Table 3 Relationship between localized source and its latency, Stimulus : word ‘左’ [ms]

Subject	MT	PrCG	left MTG	PFA	SFG
HY	113	292	338	447	452
MM	136	290	339	424	438
MY	129	284	347	431	442
SI	122	273	334	444	463

4 考察

ECDが推定された部位をみると潜時300ミリ秒以前でも左ITGなど言語に関係するとされる部位にECDが推定されていたが、この範囲で推定されたECDの部位および潜時については、提示した刺激の種類および向きによる差はみられなかった。PrCGに推定される以前に推定された部位に関しては初期視覚処理に関連している処理がなされていたと考えられる (Fig. 15)。

潜時300ミリ秒以後の推定結果については、漢字提示の場合にはWernicke野、左AngGおよびFuGなど、過去の研究で言語に関係するといわれる部位 (Fig. 16) にECDが推定されていたが、矢印提示の場合にはこれらの部位にはECDは推定されていなかった。一方矢印提示の場合には、右IFG~MFGおよびPFA (Fig. 17) にECDが推定されていたが左脳半球には右脳半球と比較すると、推定されたECDは少なかったことから、矢印に対してはイメージに関係する処理が中心であったと考えられる。

また矢印提示の場合には漢字提示の場合よりも早い潜時でIFGおよびMFG, ECDおよびSFGにECDが推定されたが、VEPの振幅が変化する潜時が漢字提示よりも遅れていたことから、同様の向きを示す刺激であっても漢字と矢印とでの処理部位およびその経路が異なることがEEG計測による手法でも確認された。しかしながら被験者によっては漢字を提示されても形状に関する部位にECDが推定されたこと、また全ての被験者について視覚刺激が漢字の‘上’または‘下’の場合には漢字の‘右’または‘左’の場合よりも反応時間が早かったことから、単漢字の視覚刺激では漢字としての認識と同時に記号としての認識がなされていた可能性および類似した形状の漢字に対する認識には処理に時間を要する可能性が考えられる。

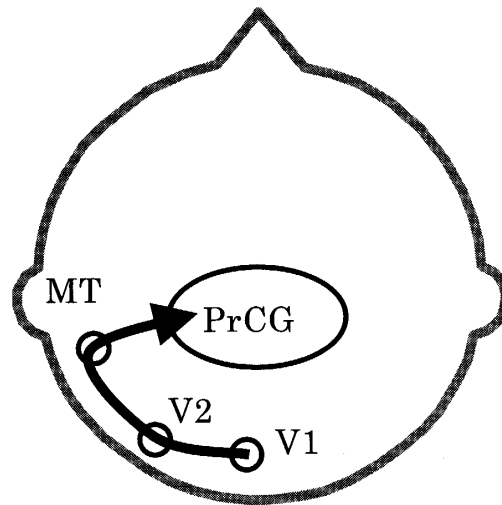


Fig. 15 Spatio-Temporal transition of estimated ECDs : Object recognition in the early visual system

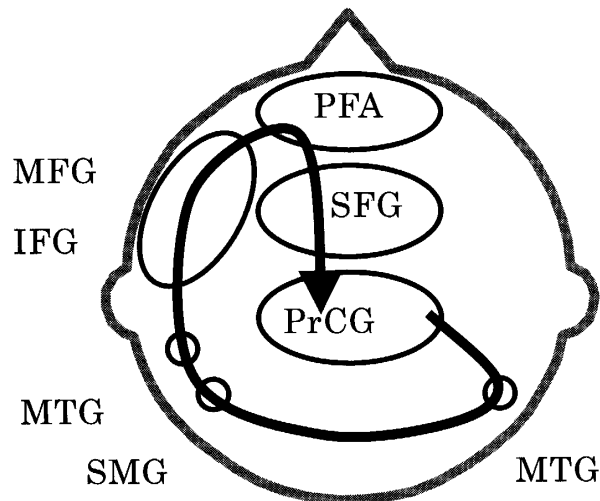


Fig. 16 Spatio-Temporal transition of estimated ECDs (Stimulus : Kanji)

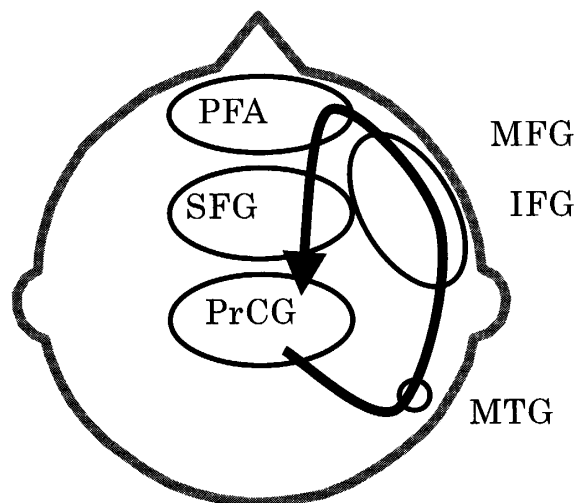


Fig. 17 Spatio-Temporal transition of estimated ECDs (Stimulus : Arrow)

対側の刺激に対する比較では漢字提示と記号提示の場合ともにVEPの極性が同じピーク潜時においては推定されたECDのモーメントはほぼ同じであった (Fig. 18) のに対し、VEPの極性が逆であったピーク潜時ではECDのモーメントは異なっていた。また矢印提示の「↑」と「↓」の場合で右IFGおよびMTGに推定されたECD (Fig. 19) など、対応すると考えられるECDのモーメントがほぼ逆向きである推定結果も存在した。これは直線移動する視覚刺激を観察する際のEEG計測およびECDL法の結果でも同様の傾向がみられた⁷⁾ことから、記号および言語的な要因であっても提示刺激の向きの情報がECDの向きに関係している可能性が考えられる。

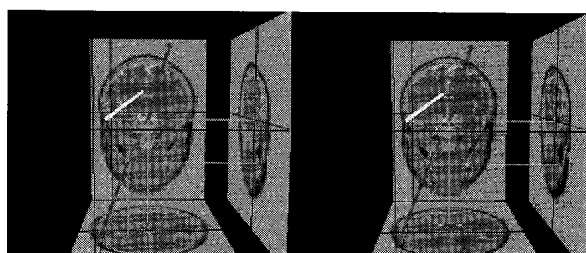


Fig. 18 Comparison of the moments of ECDs localized to the right IFG between upward and downward, in the case of their polarities were in same (left : upward, right : downward)

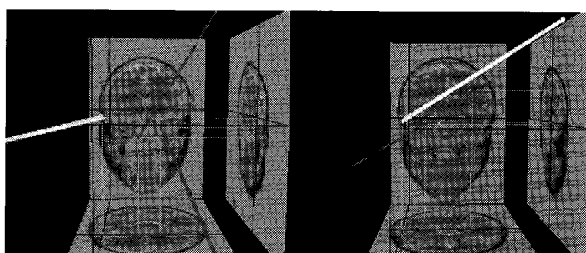


Fig. 19 Comparison of the moments of ECDs localized to the right IFG between upward and downward, in the case of their polarities were in reverse (left : upward, right : downward)

5 おわりに

本研究では向きを意味する漢字と矢印に対する認知過程を調べた。この結果としてそれぞれ過去の研究において言語または形状に関する脳内処理部位とされる部位にECDが推定されたことを確認し、また同じ向きを示す漢字と矢印に対する脳内処理過程の推移に関する結果を得た。

一方、対方向の意味をもつ視覚刺激に対してピークの極性が逆であるEEGが計測され、向きが同じ視覚刺激 (例えば「上」および「↑」) についてはその極性が同じであること、ピークの極性が逆である潜時についてECDL法で解析を行った結果、ほぼ同じ部位で逆向きのモーメントのECDが推定されたことを確認した。

以上の結果は、同じ向きを示す漢字と矢印に対する脳内処理の類似点および相違点、そして視覚刺激の向きに対する脳内処理の類似点を示していると考えられる。

謝辞

本研究は北海学園大学におけるハイテク・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」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研究の援助を頂いた方々に謝意を表す。

参考文献

- 1) 角田忠信, 日本人の脳, 大修館書店, 1978
- 2) 山鳥重, 神経心理学入門, 医学書院, 1985
- 3) 中川敦子, “単漢字の処理における左右半球機能の検討—漢字の構造と音訓を通して—,” 神経心理学, 第18巻, 第2号, pp. 120–128, Jun. 2002
- 4) 山ノ井 高洋, 豊島 恒, 大西 真一, 山崎 敏正, “円の直線移動視覚刺激に関する脳内処理部位の等価電流双極子による推定,” 第19回生体生理工学シンポジウム論文集, pp. 271–272, Nov. 2004.
- 5) R. A. McCarthy, E. K. Warrington (相馬芳明, 本田仁視訳), 認知神経心理学, 医学書院, 1996
- 6) T. Yamanoi, T. Yamazaki, J. Vercher, E. Sanchez and M. Sugeno, “Dominance of recognition of words presented on right or left eye –Comparison of Kanji and Hiragana–,” Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems 2004 Proceedings, Vol. 2, pp. 1167–1173, Jul. 2004.
- 7) Toshimasa Yamazaki, Ken-ichi Kamijo, Akihisa Kenmochi, Shin-ichi Fukuzumi, Tomoharu Kiyuna, Yoko Takaki, and Yoshiyuki Kuroiwa, “Multiple Equivalent Current Dipole Source Localization of Visual Event-Related Potential During Oddball Paradigm With Motor Response,” Brain Topography, 12–3, pp. 159–175, 2000.