

四足動物および果物名称想起時における ヒト脳内活動部位の時空間的推定

Spatiotemporal Human Brain Activities on Recalling Tetrapod and Fruit Names

杉本 幸司
Koji Sugimoto
北海学園大学
Hokkai-Gakuen University

山ノ井高洋
Takahiro Yamanoi
北海学園大学
Hokkai-Gakuen University

大槻美佳
Mika Otsuki
北海道大学
Hokkaido University

豊島 恒
Hisashi Toyoshima
ジャパン・テクニカル・ソフトウェア
Japan Technical Software

大西真一
Shin-ichi Ohnishi
北海学園大学
Hokkai-Gakuen University

山崎敏正
Toshimasa Yamazaki
九州工業大学
Kyushu Institute of Technology

Abstract: The authors have measured electroencephalograms (EEGs) from subjects observing images of tetrapod and fruit, and recalling them silently. The equivalent current dipole source localization (ECDL) method has been applied to those event related potentials (ERPs): averaged EEGs. ECDs were localized to the primary visual area V1 around 100msec, to the ventral pathway (TE) around 270msec, to the parahippocampal gyrus (paraHip) around 380msec. Then ECDs were localized to the Broca's area around 450msec, to the fusiform gyrus (FuG) around 600msec, and again to the Broca's area around 760msec. Process of search and preservation in the memory has been done from the result of some ECDs to the paraHip. From the results of the present experiment, we supposed that long visual shape stimulus processed on the Wernicke area after through the angular gyrus (AnG), but that round shape visual stimulus processed on the Wernicke not passed through the AnG.

1. はじめに

ヒトが言語を認知する際には、これまで言語野と言われてきた左側頭にある受容性言語野としての Wernicke 野や表出性言語野である Broca 野だけではなく、様々な大脳の部位が関与していることが明らかとなってきている。

現在では、入力に関しては、語音→語音の弁別・認知(上側頭回後部など)→意味の認知(Wernicke 野など)を経る過程、出力に関しては、語の想起(Broca 野などの下前頭回と、下側頭回後部、角回など)→音の選択・配列(頭頂葉)→発語コントロール(中心前回)を経る過程が想定されている。また Wernicke 野に関しては、音の弁別や音韻の処理後の過程、すなわち、意味の処理ないし音と意味の連合などを司っていると考えられており、Broca 野に関しては、発語そのものではなく発語の前段階、すなわち語の想起などの処理に関与していると考えられている[1], [2], [3]。

また、言語処理に関する脳部位(Wernicke 野, Broca 野, 角回など)の優位性は、利き手によって異なり、右利きの 99%以上および左利きの 70%前後が左半球優位とされている。

しかしながら、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複雑に絡み合っており、厳密に各処理を分離することは困難である。さらに、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。そのため、ヒト脳における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とされている。

一方、日本人における文字言語処理において、漢字とひらがなの想起や書字に際して、脳内において使用する部位が異なることはよく知られている [4], [5], [6]。著者らの研究によると、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(ECDL)法[7]による時空間推定を行い、左右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脳半球が異なることなどが確認されている [8], [9], [10]。

本研究では、被験者に対し四足動物および果物のモノクロ線画を提示し、その名称を想起させる実験を行った。そしてこの際の脳波(EEG)を計測し、計測した EEG を ECDL 法により解析することで脳内活動部位および脳内活動経路の時空間的推定を行った。

2. 本研究で提示した視覚刺激と脳波計測装置

被験者に対して、四足動物および果物のモノクロ線画(図 1, 図 2)を提示し、それらの名称を想起させた。本研究では、これらの画像のうち 4 種の四足動物と 3 種の果物画像提示時における脳波解析を試み、比較した結果を報告する。

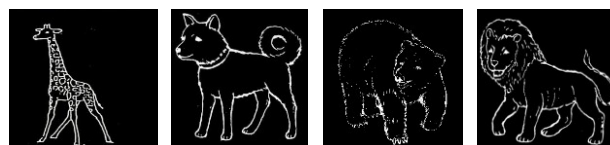


図 1 実験に用いた四足動物画像
左から「キリン」、「イヌ」、「クマ」、「ライオン」

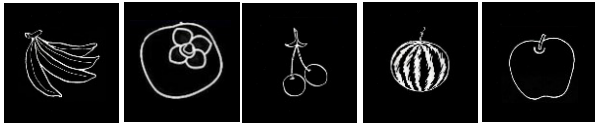


図2 実験に用いた果物画像

左から「バナナ」、「カキ」、「サクランボ」、「スイカ」、「リンゴ」

本実験では、被験者に対し画面中央に注視点を4秒間提示し、これをマスキング画面とした。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秒間提示した。視覚刺激提示開始時から3秒間のEEGを計測した。以上のサイクルを40回繰り返し、1サイクルとして、2サイクルを1セットとした。なお、視覚刺激はランダムに提示した。

3. 本研究で用いた脳内処理部位推定方法

実験で得られたEEGに対して画像ごとに分割し、加算平均を行い、画像ごとの事象関連電位(ERP)データを得た。このERPデータに対し、ECDL法を適用した。一般に、ECDL法では、頭部モデル内にECDを仮定し、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。逆問題の解は、不良最適化問題となり、初期値を格子点状に配置し、数値解析法を用いて求める。頭部モデルは、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した。

頭部同心球モデルの設定には各被験者のMRIを利用した。これらの解析にはPC版ダイポール推定ソフトウェア(SynaCenterPro: NEC)を用いた。なお、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の値によって評価し、推定結果のうちGOF値が99%以上、95%の信頼限界が1mm以下である結果を採用した。著者らが用いているダイポール推定ソフトSynaCenterProでは、推定された結果のダイポールが被験者のMRIにスーパー・インポーズされる。

4. ECDL法による脳内処理部位の推定

被験者についてのデータは次の表1の通りである。No.1およびNo.2が今回の被験者、No.3およびNo.4が先行研究の被験者である。ECDが推定された部位と潜時の関係を表2に示す。

表1 被験者についてのデータ

No.	被験者	利き手	年齢	性別	提示画像
1	Y.Y.	右	22	女	四足動物果物
2	K.S.	右	22	男	果物
3	H.T.	右	22	男	果物
4	Y.K.	左	22	男	果物

表2 被験者YYのECD推定部位とその潜時[ms]

被験者	Y.Y.	Y.Y.	Y.Y.	Y.Y.
提示画像	キリン	イヌ	クマ	ライオン
V1	100	94	66	86
R TE	287	290	227	231
R ParaHip	362	332	336	313
R FuG	371	365	350	417
R ParaHip	464	470	470	464
Broca	506	537	501	530
R FuG	522	543	539	546
R ParaHip	548	569	553	557
R AnG	575			
Broca	609	634	593	588
R FuG	655	660	640	629
Wernicke	679	673	724	701
Broca	749	797	765	755

被験者	Y.Y.	K.S.	K.S.	K.S.
提示画像	サクラ	サクラ	スイカ	リンゴ
V1	88	119	84	114
R TE	276	277	248	330
R ParaHip	350	334	311	353
R FuG	361	377	337	363
R ParaHip	375 380	380	386	387
Broca	451	387	439	457
L Insula	466	468	500	468
R ParaHip	485 487	430 470	504	535
Broca	540	477 530		575
R FuG	606	585		602 630
Broca	645	601		
R AnG	652 655	683	648	
R FuG	678	754		
Wernicke	729	764	759	778
Broca	760(R)	828	784	792

被験者	Y.K.	H.T.
提示画像	カキ	バナナ
V1	87	146
R TE	316	291
R ParaHip	384	387
R FuG	401	391
R ParaHip	416	401
Broca	512	436
L Insula	522	442
R ParaHip	548	508 534
Broca		569
R FuG		584
R AnG		626
R FuG		655
Wernicke	680(R)	662(R)
Broca	711	

表 2 において、Y.Y.の「サクランボ」名称想起時の脳内活動経路について考える。前述のように、現在、言語の認知に関して入力と出力時における経路が想定されている。本研究では、

【入力経路】右一次視覚野(V1)→右下側頭葉皮質前部(TE)→右海馬傍回(R ParaHip)→右紡錘状回(R FuG)→ 右海馬傍回(R ParaHip)→Broca 野(Broca)

【出力経路】Broca 野(Broca) → 左島皮質(L Insula)→ 右海馬傍回(R ParaHip)→ Broca 野(Broca) → 右紡錘状回(R FuG)→ Broca 野→ 右角回(R AnG)→ 右紡錘状回(R FuG)→ Wernicke 野 → 右 Broca 野(R Broca)

を経る経路が確認できた。(図 7)

ここでは便宜的に一次視覚野から Broca 野(1)までの経路を入力経路、それ以降の経路を出力経路としているが、それらの経路を厳密に分けることは難しい。また、入力経路の「右下側頭葉皮質前部」の「前部」とは比較的前の部位という意味である。

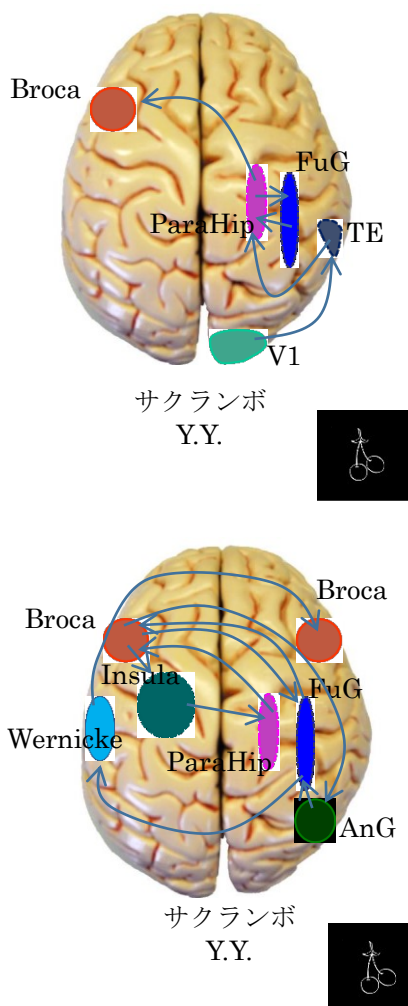


図 3 被験者 Y.Y.の「サクランボ」名称想起時の脳内活動経路
(上段：入力経路 下段：出力経路)

5. 考察

被験者 K.S.の推定結果では、ECD の多くが、言語野とされる Broca 野、Wernicke 野などにおいて推定されて、左大脳半球に集中していることが明らかとなった。したがって K.S.の言語野は左半球優位であると考えられる。被験者 Y.Y.の推定結果でも、おおむね同様なことが確認でき、また Y.Y.の言語野も左半球優位であると考えられる。ところが Y.Y.に関しては「サクランボ」名称想起時の結果、潜時 760msec において右 Broca 野で ECD が推定されている。このことから、被験者 Y.Y.では右半球の対側言語野における活動も考えられる。

入力経路の部分では、記憶処理に関わる部位として知られている海馬・海馬傍回、紡錘状回については、脳の右半球では主に非言語記憶を、左半球では主に言語記憶を司っているといわれている。これに関して、被験者 K.S.においても Y.Y.においても ECD が右海馬傍回において複数回にわたり推定されたことから、名称想起において非言語記憶における何らかの処理が優先的に行われ、しかも常に記憶の探索・整理・保持が行われていると考えられる。このことは先行研究における被験者 Y.K.および H.T.についての結果も同様であった。

また、最終的に言語野である Wernicke 野での活動の前に、紡錘状回において ECD が推定されているものと、そうでないものがある。四足動物についてはキリン、イヌ、クマ、ライオンいずれの場合においても紡錘状回において ECD が推定されている。しかしながら、果物の場合はサクランボおよびバナナの場合は紡錘状回において ECD が推定されているが、スイカ、リンゴ、カキの場合は紡錘状回において ECD が見つかってはいない。これは、スイカ、リンゴ、カキの場合は形状が特徴的で、明らかに視覚刺激が何であるか識別できるが、バナナとサクランボの場合は他の果物と似たところがあり、記憶の探索・整理・保持が繰り返されたのであろうか。

出力経路においては、Y.Y.におけるサクランボおよび、K.S.におけるサクランボ、スイカ、リンゴの画像提示時に左島皮質(L Insula)にて ECD が推定されている。これは四足動物の画像の場合には見られない特徴である。島皮質は、食べ物味の覚に関係するといわれており、いずれの場合も刺激として提示された果物における味の覚の意識的な欲望などと関連があると考えられる。このことは先行研究におけるカキ(Y.K.)およびバナナ(H.T.)においても同様であった。

さらに出力経路において、四足動物のキリンの画像提示時においては、言語や認知などに関連する多数の処理に関わっているとされている角回や、Broca 野、Wernicke 野など言語野とされる部位での活動が確認された。角回で推定された ECD は、その後 Wernicke 野で推定された。この際に入力された情報の統合が行われたと考えられる。

ところが四足動物のイヌ、クマ、ライオンの画像提示時においては、角回における活動があまり見ら

れないままに、その後 Broca 野, Wernicke 野で ECD が推定されている。これは、イヌ、クマ、ライオンには共通するが、キリンはこれらとは異なるながしかなの要因があるためとも考えられる。それがもし視覚的な要素によるものに起因するのであれば、細長い動物と(比較的)丸い動物の違いであるとも考えられる。すなわち視覚刺激が細長いもの場合には角回での活動が見られた後に Wernicke 野での活動が見られるのに対して、視覚刺激が(比較的)丸いもの場合には、角回を経由することなく Wernicke 野での活動が見られるという仮説を立てることができる。

果物のリンゴ画像提示時においても角回では ECD が推定されていない。このことは先行研究におけるカキでも同様である。そして、リンゴ、カキともに丸い果物である。一方で、果物のサクランボ画像提示時においては Y.K.および K.S.いずれの場合においても ECD が Wernicke 野で推定される前に角回において推定されている。サクランボは果実については丸みを帯びてはいるが、軸があるため細長い果物と見ることができる。また、先行研究における果物のバナナ画像提示時においても ECD が Wernicke 野で推定される前に角回で推定されている。バナナもそれぞれの房が細長い果物である。最後に果物のスイカ画像提示時について考える。スイカの場合は ECD が Wernicke 野で推定される前に角回で推定されている。ところがスイカは丸い果物である。丸い形状でありながら ECD が角回にも推定されている。スイカは果実自体については丸い形状をしている。しかし、スイカの画像を提示された場合、被験者の多くはその丸い形状にスイカの特徴を見るのではなく、果実の外観の縦縞にスイカの特徴を見出すことが多いと考えられる。縦縞は当然細長いので、先の仮説と矛盾しない。

なお、著者の一人大概は、語の想起障害を示す患者に対して、丸い形状と丸くない形状の対象のモノクロ線画に対して呼称課題を課したときの成績について考察している。その結果、患者は果物カテゴリーにおいて丸い形のを誤答していることを明らかにした。さらに果物に限らず丸い形状の対象は丸くない形状の対象よりも有意に成績が低下していることを確認している。この実験で、正答した対象の中にスイカが含まれていた。このことと上記の仮説との間には何かしらの関連があることも考えられる。

今後の課題としては、画像刺激の細長い形状の度合い、たとえば縦長の形状と横長の形状、縦横の比などの違いによって違いが見られるかの検討が考えられる。

謝辞

本研究の一部は、2013 年度で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「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」の機器を用いた成果であり、さらに JSPS 科研費 16H02852 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] G. Rizzolatto, M. Matelli: "Two different streams from the dorsal visual system: anatomy and functions", *Experimental Brain Research*, Vol 153, pp. 146-157, 2003
- [2] Geschwind and A. M. Galaburda: "Cerebral Lateralization, The Genetical Theory of Natural Selection", Clarendon Press, Oxford, 1987
- [3] K. Parmer, P. C. Hansen, M. L. Kringelbach, I. Holliday, G. Barnes, A. Hillebrand, K. H. Singh and P. L. Cornelissen: "Visual word recognition: the first half second", *NuroImage*, Vol. 22-4, pp. 1819-1825, 2004
- [4] M. Otsuki: "Mechanisms of writing", In M. Iwata, M. Kawamura (Eds.), *Neurogrammatology (in Japanese)*, IGAKU-SHOIN Ltd, pp. 179-220, 2007
- [5] I. Tamura, M. Otsuki, Y. Nakagawa, N. Nishizawa, K. Tashiro: "The study of category-specific semantic deficits in a case of word meaning (Gogi) aphasia", *Higher Brain Function Research* Vol. 30, No. 4, pp. 523-532, 2010
- [6] M. Otsuki: "Neuropsychology of Language" (in Japanese), *Japanese Journal of Neuropsychology* 32; 104-119, 2016
- [7] T. Yamazaki, K. Kamijo, T. Kiyuma, Y. Takaki, Y. Kuroiwa, A. Ochi, H. Otsubo: "PC-based multiple equivalent current dipole source localization system and its applications", *Res. Adv. in Biomedical Eng.*, 2, pp. 97-109, 2001.
- [8] 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*, Elsevier Science B.V., Oxford, pp. 407-416, 2006.
- [9] 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. 13, No. 2, pp. 68-75, 2009.
- [10] 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.

連絡先

北海学園大学

山ノ井高洋

(Tel.: 011-841-1161, E-mail: yamanoi@hgu.jp)