

音声言語処理と側頭葉

安井 拓也 酒井 邦嘉

■ はじめに

言語における脳活動の研究において特異的なことは、人で研究を行うことが最終的には必要となる点である。もちろん動物世界においても、鳴き声によって危険を知らせたり、自分の気持ちを表出したり、といったコミュニケーションは行われている。しかし人間の言語では、より高度で複雑なコミュニケーションが行われており、人間に近い類人猿の言語には限界があることが知られている¹⁾。脳における言語についての優位半球に関しても、人間では左半球優位性(右利き健常者)であることが広く知られているが、サルでははっきりした機能的半球優位性がみられない。

これまで臨床研究では、病気や手術等によって脳の一部の損傷による失語症例や頭蓋内電極計測等を通し、様々な知見が得られてきた。その結果古くから側頭葉上側頭面から上側頭回後部にかけての領域に Wernicke 野と呼ばれる領域が言語に関係していることがわかっており、側頭葉は言語機能の一部を担っていると考えられていた。近年健常者で、様々な非侵襲脳機能計測技術の進歩により、より詳しい機能局在がわかりつつある。本稿では、現在行われつつある研究の一端について聴覚野を中心に紹介する。

研究手法

非侵襲脳機能計測で広く使われているものとしては種々あるが、それぞれ一長一短があり、実験目的にあわせて選ぶことが重要である。それらの種類や特徴を要約する。

1. EEG(脳波)

時間分解能が数十 ms と優れるが、頭骨や脳脊髄液の影響を強くうけ、空間分解能は非常に劣る。

2. PET(陽電子放出断層撮影)

空間分解能は十数 mm、時間分解能は劣る。放射性同位元素による被曝があるため、侵襲が避けられない。

3. fMRI(機能的磁気共鳴映像法)

空間分解能は数 mm、時間分解能は数秒程度。ただし人

やすい たくや 東京大学/大学院総合文化研究科関連基礎科学系
さかい くによし 同

工内耳など体内に磁性体がある場合には使用できない。

4. 光トポグラフィ(近赤外線計測装置)

時間分解能は fMRI 程度である。空間分解能は fMRI より劣る。

5. TMS(経頭蓋磁気刺激)

外部より刺激を与える干渉法の一つであり、直接、機能と脳部位の因果関係を調べることができる。空間分解能は 1 cm 程度で、時間分解能は数十 ms である。

6. MEG(脳磁図)

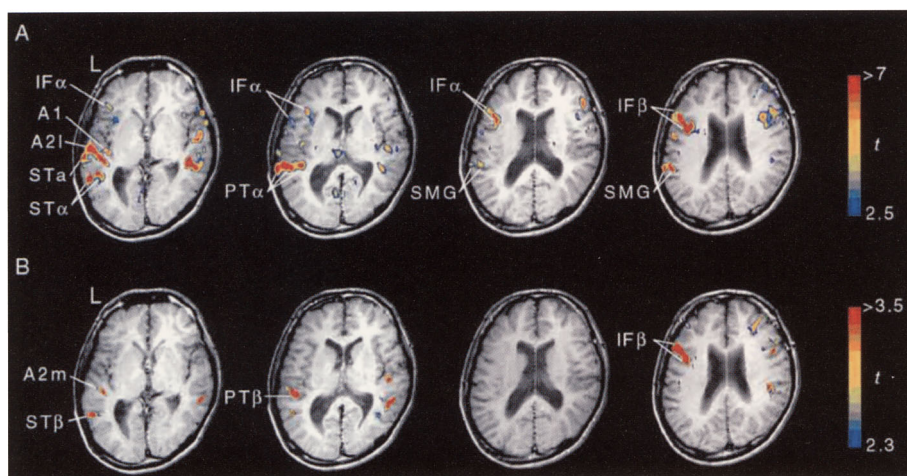
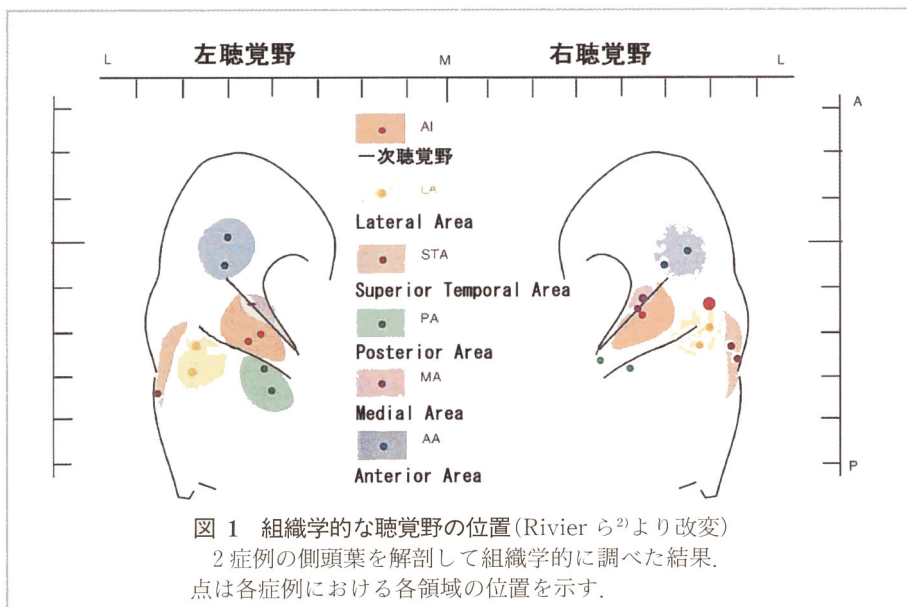
時間分解能は約 10 ms と優れており、空間分解能も 1 cm 程度と比較的優れている。ただし、深部の活動や、頭皮に対して鉛直方向の活動電流は検出しにくく、人工内耳などを装着した被験者に対しては困難である。

聴覚野の構造および機能

聴覚器から伝わった聴覚情報は、側頭葉上面の 41 野にある一次聴覚野(A 1)に到達し、その周囲の 42 野および 22 野にある高次聴覚野でより進んだ処理がなされる。それら高次聴覚野はどのような構造をしているのだろうか。

Rivier と Clarke は、解剖学的な研究により、一次聴覚野と高次聴覚野では組織構造が異なり、聴覚野は図 1 のように複数の領域に分けられることを提案した²⁾。音の種類による活動部位の違いは、過去の脳機能研究によれば、環境音や音楽等では A 1 に近い AA, PA, LA の活動が多く、音声では両側 LA や、左聴覚野ではその前方にも活動がみられるといった傾向の違いが報告されている³⁾。本稿では更に言語音に対する機能分化についての知見を紹介する。

Näätänen らは、「õ」という音があるエストニア語を話す人と、「õ」という音がないフィンランド語を話す人を被験者として、音声の弁別能の違いが脳活動に影響を与えるかを調べた³⁾。尚、両方の言語にある「õ」「o」を対象条件として用いている。実験は EEG により、「e」の音が頻回に呈示されている環境下で、異なった音が呈示された場合に生じるミスマッチ陰性電位(MMN, mismatch negativity)を計測した。この信号は側頭葉起源と考えられており、ミス



IF : inferior frontal cortex (下前頭回), ST : superior temporal gyrus/sulcus (上側頭回/溝), PT : planum temporale (側頭平面), SMG : supramarginal gyrus (縁上回)

マッチ刺激と頻回刺激との差が大きくなるほど大きくなるという性質がある。「ö」は「o」より「e」との第2フォルマントの周波数差が大きいにもかかわらず、フィンランド語を話す人では MMN が「o」より有意に小さかった。このことより二次聴覚野では単純な音の処理だけではなく、音声の弁別に伴うトップダウンの処理を反映している可能性が示唆される。

我々は、音声の弁別について、更に注意の効果を調べるため、物語文を文節単位に区切って、オリジナルと、順番を入れ替えた非単語 (例「もりへ」→「りもへ」) を作成して

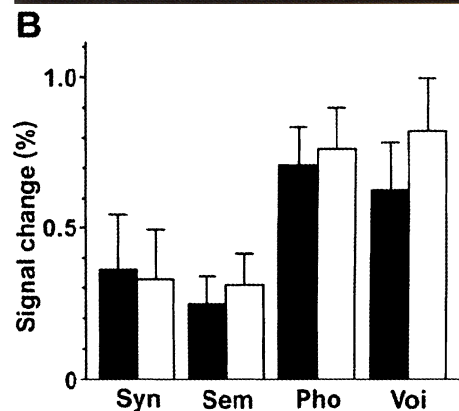
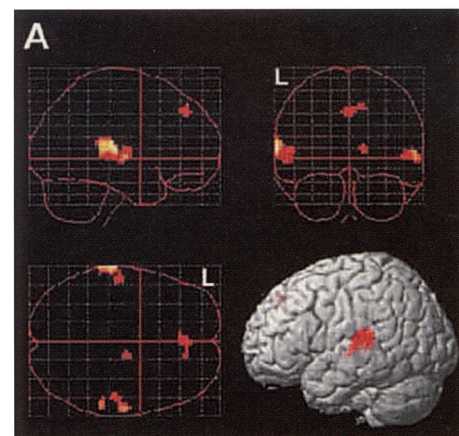


図 3 音声言語処理における側頭葉の活動選択性 (Suzuki ら⁵⁾より)

A) 音韻・声の高さの判別時の活動領域 (Pho+Voi) - (Syn+Sem) の比較による有意な脳活動。

B) 左上側頭回における信号変化量。黒のグラフは正しい刺激聴取時、白のグラフは誤った刺激聴取時の変化量を示す。

fMRI による実験を行った⁴⁾。この刺激を両耳同刺激聴 diotic listening test (DIO) と、両耳異音聴 dichotic listening test (DIC) 条件間で比較した。また対象条件は、非言語音を用いた両耳同刺激聴条件 control condition (CON) であった。オリジナルと非単語をランダムに呈示して、被験者はオリジナルが聞こえたら、ボタン押しで応答してもらうようにした。DIC 条件の方が DIO 条件よりも音声の弁別に注意が必要であり、ノイズの中から必要な音声情報を抽出する領域の活動が増大すると予想される。

この実験結果を図 2 に示す。音声聴取や認知に必要な複

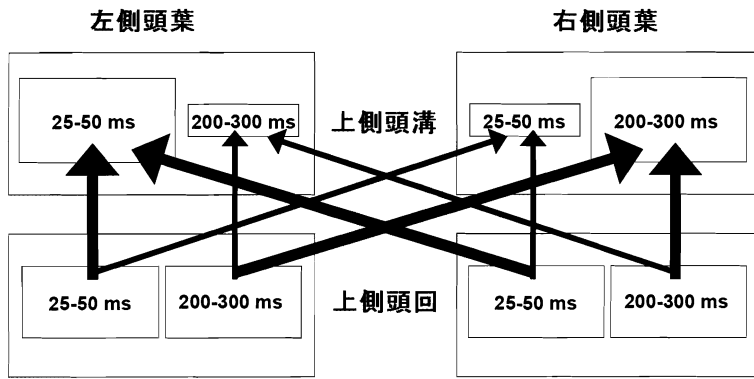


図4 上側頭溝/回間の結合性の左右差仮説(Boemioら⁶⁾より改変)

高次聴覚野のある上側頭溝で左右差がみられ、左では25~50msという短い時間の音の変化に選択性が高く、右では200~300msという長い時間の音の変化に選択性が高い。矢印は、それぞれの結合の方向を示し、太さは結合の強さを示している。

数の領域が活動を示し、聴覚野もその中に含まれていることがわかる(図2A)。更にDIC条件とDIO条件の直接比較では、二次聴覚野の内側と外側が分離して活動し、音声情報の抽出には、内側の側頭平面および上側頭回の一部が選択的に働いていることが明らかになった(図2B)。

以上のように、音声認識の第1段階として、聞こえた音の分別や、様々な音の中からの音声の抽出に高次聴覚野が必要なことがわかる。それでは音声により文章を理解するまでの処理の中で、聴覚野はどのような役割を果たしているのだろうか。そこで我々は単文を用いて、以下のような4つの異なった判断条件を比較した⁵⁾。

- ① 統語判断条件(Syn)誤例：「雪を積もる」
- ② 意味判断条件(Sem)誤例：「雪を逃がす」
- ③ 音韻判断条件(Pho)誤例：「雪を触る」の動詞のアクセントが1音目
- ④ 声の高さ判断課題(Voi)誤例：「雪を触る」の動詞の声の高さが高い

尚、正文は「雪を触る」のように、これら4つの言語要素はすべて正しく、4条件で共通して用いた。

実験結果の一部を図3に示す。アクセントや声の高さといった言語要素に対して選択的な活動がみられたのは、主に両側の上側頭回であった(図3A)。この領域は統語判断条件や意味判断条件でも活動は示すものの、声の高さなど音の特徴に加え、アクセントの違いといった音韻処理に特化していることが明らかとなった。また左右大脳半球間では左半球優位の傾向がみられた。

右利き健常者の大多数で、言語に関する処理は左半球優位であることは広く知られているが、聴覚野においては残念ながら未だに未解明の部分が多い。Boemioらは、様々な

時間間隔で音に変化するような刺激を使用して、上側頭回には刺激のサンプリング時間に感受性の高い部分が存在し、その強さも左右差があることを見出した⁶⁾。彼らは図4のような聴覚野の機能分化を提案しており、聴覚野の階層的構造に対する新しい示唆を与える。

言語機能の中での側頭葉の役割

これまでの多くの研究をもとに、我々は言語機能は図5のように脳において分化していると考えている⁷⁾。上側頭皮質にある聴覚野はそのうち音韻 phonology に関する処理に関係しており、角回や縁上回は単語 lexico-semantic に関する処理に関係しており、前頭葉における文法や読解の処理と独立している。現在、各領域の機能分化について多くの研究が行われているが、各領域間の相互作用の研究はまだ多くはない。聴覚野の今後の研究でも、言語音によるこれらの皮質領域の相互作用の観点から、それらの階層構造における役割が更に明らかになるものと考えている。

文献

- 1) 酒井邦嘉. 言語の脳科学. 中公新書. 2002.
- 2) Rivier F, Clarke S. Cytochrome oxidase, acetylcholinesterase, and NADPH diaphorase staining in human supratemporal and insular cortex: evidence for multiple auditory areas. Neuroimage. 1997; 6: 288-304.
- 3) Näätänen R, et al. Language specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses. Nature. 1997; 385: 432-4.
- 4) Hashimoto R, Sakai KL, et al. Functional differentiation in the human auditory and language areas revealed by a dichotic listening task. Neuroimage. 2000; 12: 147-58.
- 5) Suzuki K, Sakai KL. An event-related fMRI study of explicit syntactic processing of normal/anomalous sentences in contrast to implicit syntactic processing. Cerebral Cortex. 2003; 13: 517-26.
- 6) Boemio A, et al. Hierarchical and asymmetric temporal sensitivity in human auditory cortices. Nat Neurosci. 2005; 8: 389-95.
- 7) Sakai KL. Language acquisition and brain development. Science. 2005; 310: 815-9.

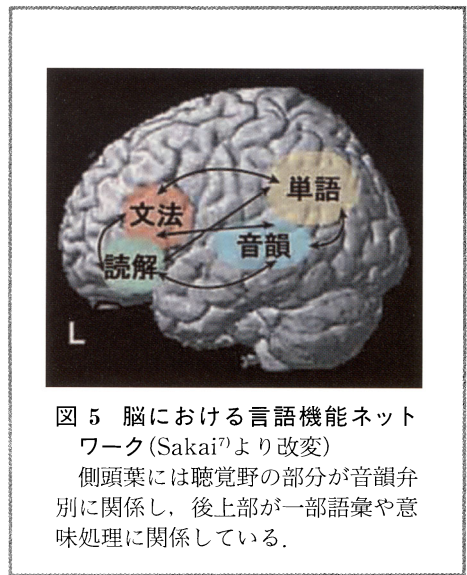


図5 脳における言語機能ネットワーク(Sakai⁷⁾より改変)

側頭葉には聴覚野の部分が音韻弁別に関係し、後上部が一部語彙や意味処理に関係している。