

特集 言語の脳科学

言語の認知脳科学

酒 井 邦 嘉

生 体 の 科 学

第 49 卷 第 1 号 別刷

1998年 2 月 15 日 発行

(財) 金原一郎記念医学医療振興財団／医学書院

特集 言語の脳科学

言語の認知脳科学

酒井 邦 嘉

言語の脳機能の解明は、科学にとって最後のフロンティアの一つである。言語は脳の最高次の機能であると同時に、他のさまざまな認知機能と密接に結びついている。実際、外界からの言語情報は、聴覚または視覚を通して知覚されるのであり、すでに記憶されている音声または文字のパターンに基づいて解釈される。また、意識のある状態では、絶えず言語を用いて、心の中で考えたり、考えたことを外界に表現したりしている。つまり、「聞く、読む、話す、書く」といった言語の認知行動は、「知覚-記憶-意識」という心のはたらきの一部として、脳のシステムに組み込まれている。

I. 物理学から言語学へ

最近、脳のはたらきや心の問題に対する関心が高まっていて、これまでの学問分野の枠を越えた研究が必要になってきている。このような必要性から生まれたのが、「認知脳科学(cognitive brain science, cognitive neuroscience)」である。認知脳科学の目標は、心を脳のはたらきとして理解す

ることである。図1Aに示したように、心は生命現象の一部であると考えられる。もちろん、遺伝や発生などのように、心を含まない生命現象はたくさんある。また、言語の機能は心のはたらきの一部である。普遍文法(universal grammar)に基づいた言語理論を構築して、言語学に革命をもたらした Noam Chomsky は、「言語学は心理学の一部である」とはっきりと述べている¹⁾。世界的なベストセラーとなった Pinker の本の副題でも、「いかに心が言語を生み出すか(How the Mind Creates Language)」となっている²⁾。したがって、「生命-心-言語」という階層性が、認知脳科学のもっとも基本的な柱であると私は考える。

これまでの学問体系では、生命は生理学、心は心理学、言語は言語学に分けられ、図1Bのように、それらが部分的に重なり合っているだけであった。わが国の大学教育でも、生理学と心理学はそれぞれ医学部と文学部に分かれており、言語学は文科系の学問として、文学部(とくに英文科)で扱われている。さらに、神経心理学(neuropsychology)

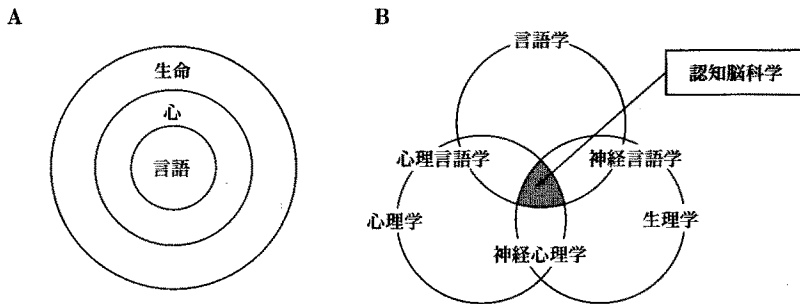


図1 言語と認知脳科学の位置づけ
A: 生命-心-言語の階層性。B: 現在の学問体系と認知脳科学。

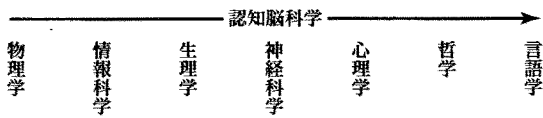


図 2 物理学から言語学へ

chology), 神経言語学(neurolinguistics), 心理言語学(psycholinguistics)は境界領域の分野とされ、認知脳科学はこれら三つの接点に位置しているのが現状である。このような境界領域を扱う欧米の学術雑誌には、Cognitive Neuropsychology, Neuropsychologia, Brain and Language, Journal of Neurolinguistics, Journal of Psycholinguistic Research, Cognitive Brain Research, Journal of Cognitive Neuroscience などがある。認知脳科学の枠を少し広げると、認知一般をあつかう認知科学(cognitive science)や、脳・神経についての脳科学と神経科学がある。

しかしながら、研究の対象が図 1 A のような構造であるなら、学問の体系もその構造に従うべきである³⁾。つまり、生理学は心理学の基礎となる学問であり、心理学は言語学の基礎となる学問として位置づけられることになる。そのためには、まず理系と文系の境界をなくす必要があるだろう。これまで心理学や言語学が文系で、生理学が理系であった背景には、「心は特別なものであって、脳細胞と心とのあいだには、越えがたい一線がある」という根強い考えがあるためではないか。確かに、「脳の活動」という客観的な変化が、「心のはたらき」という主観的な経験を生み出すのは、たいへん不思議なことである。この主観と客観を結びつける「しくみ」は存在するのか、もし存在するのならそれは何か、という問題は、哲学でも議論されてきた。また、「言語は人工的に作り出されたものであって、文学に等しい」という誤った認識が、今なお根強く残っている。最近の欧米の「言語学(linguistics)」の教科書を見ると、終わりの方の 1 章は、脳科学との関連が解説されているのが普通であるが、わが国では、このような教科書は見当たらない。言語や普遍文法が脳のはたらきとして広く受け入れられるまでには、多くの研究の積み重ねが必要とされるだろう。

そこで、認知脳科学の役割をもう少し明らかに

する必要がある。図 2 に示したように、認知脳科学を構成するのは、物理学・情報科学・生理学・神経科学・心理学・哲学・言語学などの分野である。物理学は生理学の基礎となる学問であるのはもちろんのこと、以下に述べるような脳機能計測では、生体物質の物理的特性に関する知識や、精密な測定技術が必要とされる。情報科学では、神経回路網や人工知能(ビジョン, 自然言語処理, 知識工学など)の研究が認知脳科学の重要な柱となっており、脳型情報処理システムの解明とその応用は、ますます重要な課題となってきた。特に言語の認知脳科学をめざすためには、脳機能計測から自然言語処理・神経心理学・言語学までの、幅広い知識と手法を駆使することが必須である。このような認知脳科学の横断的なアプローチを結集し、言語研究を中心とした新分野を開拓していくことを目標として、物理学から脳科学、そして言語学への橋渡しをめざしたい。

II. 言語の脳研究の現状と問題点

これまで、言語の脳研究が他の分野の脳研究に比べて遅れているのは、言語の情報処理システムが非常に複雑であるためだと、一般に考えられてきた。言語の起原が類人猿にあるかどうかは議論が分かれるところだが、少なくとも音声言語のシステムはヒトに固有のものであるので、動物実験によるアプローチには限界がある。一方、心理学の内観法を用いるにしても、言語のプロセスの大半は意識に上らないまま進行しているということを忘れてはなるまい。この困難な問題に挑むための研究体制は、わが国のみならず、欧米においてもまだ整っていないのが実状である。脳研究を推進してきた神経科学者の多くは、近年の言語学の成果に関する知識が乏しい。一方で、言語の脳研究の重要性を認識している言語学者はかなり限られている。言語に関する限り、ただ一つの手法だけで明らかにできることには、さまざまな問題点や限界があるから、複数のアプローチを組み合わせなければ、この壁を突破することはできない。そこで、これまでの言語の脳研究を振り返りながら、克服しなければならない問題点を明らかにしたい。

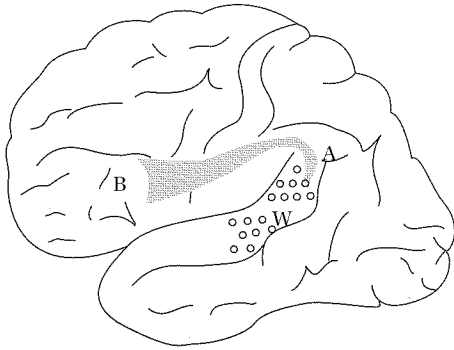


図 3 失語症における左脳の言語野

ヒトの脳の外側面(左が脳の前)に、ブローカ野(B)とヴェルニック野(W, 白丸)があり、弓状束(A, 黒丸)が両者を結んでいる。(文献4より)

1. 失語症

失語症(aphasia)とは、聴覚や発声器官に異常がないのに、話し言葉の使用や理解に障害が現れる状態である。狭義の失語症は、字を読む能力の障害である失読症(alexia, dyslexia)や、字を書く能力の障害である失書症(agraphia, dysgraphia)とは区別される。Broca が左脳の前頭葉の梗塞による発話の障害をはじめて報告したのは、1861年のことである。言語障害の大部分の症例で左半球に損傷があること(成人では96%以上という)は、それ以前にも報告があったようだが、「言語の脳機能局在」を最初に明確に示して、失語症の研究の道を開いたのは Broca であった。その後 1874 年に、弱冠 26 歳の Wernicke が、『失語症候群—解剖学的基礎による心理学的研究』を著して、言語学的に異なるタイプの失語症が存在することを明らかにした。特に、ヴェルニック失語と呼ばれるタイプでは、話し言葉の理解や、発話時の言葉の選択に障害が現れる。こうした Wernicke の功績は、Geschwind らによって再評価された⁴⁾。

古典的な「言語野」は、ヴェルニック野(ブロードマンの 22 野)とブローカ野(ブロードマンの 44 野と 45 野)である(図 3)。ヴェルニック野は側頭平面(planum temporale)を含む上側頭回後部にあり、ブローカ野は三角部(pars triangularis)を含む下前頭回腹側後部にある。ヴェルニック野とブローカ野を連絡する神経線維(弓状束)に損傷があると、言葉の選択の障害や、復唱の障害といった「伝導失語(conduction aphasia)」が起こると

考えられているが、直接的な証拠はまだない。一方、ヴェルニック野とブローカ野が同時に損傷を受けると、言語の理解と発話の両方が障害され、全失語(global aphasia)となってしまう。ヴェルニック野、ブローカ野、弓状束のすべてに異常がなくても、これらの領域が他の大脳皮質からの連絡を断たれて孤立してしまった場合には、復唱の能力は完全であるにもかかわらず、その他の点では全失語と同様の症状を示すことが、Geschwind らによって確認されている⁵⁾。現代の失語症研究のリーダーであった Geschwind が 1984 年に突然他界したため、「われわれはまだその損失から立ち直っていない」という声は今なお絶えない。

百年以上にわたる失語症の研究によって、言語の機能局在に関する貴重な手がかりが得られてきたことは確かである⁶⁾。脳の機能局在を証明する古典的な手法は、「機能 A に障害、機能 B は正常」という患者と、「機能 A は正常、機能 B に障害」という別の患者が存在するという、二重解離(double dissociation)であり、ブローカ失語(運動性失語)とヴェルニック失語はその典型例である。しかしながら、一般の脳損傷の症例では、網羅的なデータを得るのが非常に難しい。さらに、自然に生ずる脳損傷では、脳損傷の皮質上の広がり、神経線維の損傷、皮質下核の損傷、損傷部以外に元からある機能障害などの程度が症例ごとに異なっていて、実際の機能障害の解釈を難しくしている。そこで、「正常な被験者では、ある特定の言語機能において、脳の領野 A に活動が観察される」という脳機能イメージングのデータによって、「領野 A に損傷が生ずると、ある特定のタイプの失語症が起こる」という知見を相補的に裏付けていくことが必要となってくる。ただし、この段階はまだ現象論にすぎない。多様な失語症のデータを類型化し記述するだけでは、言語システムの機能について説明を与えることはできないのである。

もう一つの問題は、不十分な言語学の知識を前提にした失語症の研究である。その典型例として、名詞と動詞についての失語症が二重解離を示すという報告がある⁷⁻⁹⁾。これらの研究では、名詞は「事物の名前」、動詞は「動作や状態を表す語」という一般常識に基づいて、英語圏の患者に言葉を提示

している。しかし、この定義によれば、‘movement’ や ‘moving’ は動詞になってしまう。このような問題点が全く指摘されないまま、一流雑誌に論文が掲載されているのが現状である。実際、Caramazza と Hillis の論文で、一般の言葉を用いたときに生ずる名詞と動詞の二重解離がそれほど明快ではないにもかかわらず、同音異義語(例えば、「ひび割れ」の ‘crack’ と「割る」の ‘crack’)を用いたときには二重解離がはっきり現れる、というのは奇妙である⁷⁾。正しい言語学の問題意識を持って批判的にデータを見直す、という基本から取り組み直す必要がある。

二重解離で最近成功した例では、発話の運動プラン(articulatory planning)の障害を示す患者のグループと、それを示さない患者のグループとの比較により、この機能の責任病巣は左脳の島(in-sula, 前頭葉下部と側頭葉上部に隠れた傍辺縁皮質)の中心前回であることが初めて指摘された¹⁰⁾。Broca の最初の症例でも、この領域の損傷を含んでいることは注目値する。また、発話を含む課題を用いたときに、この領域の血流が増加することは、脳機能イメージングによる複数の報告があったが、発話の運動プランの機能局在を絞り込むことには成功していなかった。その意味でも、脳機能イメージングと失語症の研究は相補的である。

2. 電気・磁気刺激

局所麻酔下の脳外科の手術で、大脳皮質の言語に関係する領域に局所的な電気刺激を加えると、母音の発声が誘発される場合や、正常な発話が干渉を受けて中断すること(失語発作)がある。また、順に数を数えているときに電気刺激を受けると突然数が飛んだり、発話はあるのに急に物の名前を呼び間違えたりすることもある。Penfield らは、このような現象を用いて、110 人のてんかん患者に対し言語野を同定しようと試みた¹¹⁾。その結果、ブローカ野、ヴェルニッケ野を含む広い領域、そして、前頭葉にある補足運動野の三つが指摘された(図 4)。特に補足運動野の一部分については、「第 3 の言語野(補足言語野)」と呼ばれることもあるが、言語だけでなく他の運動機能も担っている

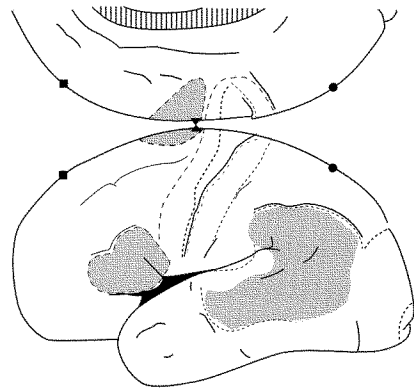


図 4 電気刺激における左脳の言語野
ヒトの脳の外側面(下図, 左が脳の前)と内側面(上図, 上下反転)に、電気刺激でマップされた言語野を点で示した。(文献 11 より)

ので、広義の言語野というべきである。

局所的な電気刺激といっても、実際に大脳皮質のどの部分までが活動したかはわからない。電気刺激が大脳皮質の深部にまで達している可能性もある。ヴェルニッケ野を刺激すると、ヴェルニッケ野の神経活動が弓状束を伝わるので、ブローカ野も同時に活動するかもしれない。従って、この方法では、より広い言語野が同定される恐れがある。そこで、電気刺激の強度を弱くしていった、失語発作が起きる閾値を決めることが重要になる。Ojemann らは 117 人の患者の左半球に対して電気刺激を行った結果を報告しているが、これによると、物の名前呼び間違いが最も高い頻度(79%)で生じた領域は、ブロードマンの 44 野であった¹²⁾。

近年、健常者の頭部に外から磁気刺激を与える実験が行われているが、電気刺激の知見を超える結果は得られていない。磁気刺激によって誘発される神経活動の広がり、皮質表面の直接刺激よりもさらに、コントロールが難しい。従って、電気・磁気刺激のデータだけから言語野の存在を結論づけるのは、至難の業である。

3. 脳波・脳磁計測(ERP・MEG)

音声や文字の提示に同期させて脳波を測定する、ERP(event-related potential, 事象関連電位)は、電気刺激と同様に古典的な手法である。ERP

で観察される山形の波形のそれぞれは、基本的に五つのパラメータで記述される。それらは、極性、振幅、立ち上がり時間、ピークまでの時間(潜時)、頭皮上の分布(記録電極の位置)である。音声刺激が知覚されてから、どのような言語の情報処理がいかなる順序とタイミングで起こるか、という点については、未だに確固たるデータもモデルも存在しない。それにもかかわらず、膨大な文献の大部分は、特定の ERP 成分に対応すると考えられる言語機能について、かなり大胆な解釈を与え続けてきた。

ERP による言語研究で最もポピュラーなのが、N 400(負の極性、潜時 400 ms)と P 600(正の極性、潜時 600 ms)である。N 400 は意味上で誤りのある単語を文中に提示したときに現れ、P 600 は時制や数の一致といった文法上の誤りのある単語で現れることが知られている¹³⁾。この結果から、脳では意味上の処理と文法上の処理が分離している、という結論を引き出すのは早計である。処理のシステムが同一であっても、単語の使用頻度や抽象度などの違いによって、両者の差が説明できる可能性がある。そもそも、意味上の処理が文法上の処理に先行するかどうかさえ大問題である。そして、N 400 の頭皮上の分布に左右差が見られないのも妙である。Neville らは言語学に基づく三つのタイプの文法上の誤りを比較して、N 400 や P 600 とは異なる成分を報告しているが、用いられた文のセットが必ずしも最小対(minimal pair, 言語学的な相違が一つの要素に限られた文の対)を作っていないので、ERP 成分が文法のクラスに依存するという解釈には疑問が残る¹⁴⁾。

ERP の最大の問題点は、空間分解能が脳の大きさ程度でしかないことである。これでは、決して言語の機能局在はわからない。脳脊髄液、頭蓋骨、頭皮などが電気伝導に与える影響は大きいので、信号源がただ一つの場合でも、その位置の正確な同定は困難である。言語の処理過程では、脳の複数の領域で同時に神経活動が進行することが本質的であり、電場のパターンから複数の信号源の位置を定めること(逆問題)は、原理的に不可能である。ERP の各成分が脳のどの領域に由来するかわからない限り、時間軸だけの情報だけでは、何

がどのように重なり合っているのかを明らかにすることができないのである。

もう一つの ERP の問題点は加算の回数である。ノイズの中から意味のある波形を取り出すためには、通常、数百回程度の加算を必要とする。奇妙なことに、論文中に加算回数を明記してあるものはほとんどない。生理学的に潜時のばらつきやドリフトの影響は避けられないので、多数の加算によって、ERP の時間分解能は当然犠牲となる。それにもかかわらず、ERP の時間分解能はミリ秒程度であると公然と宣伝されている。さらに、同じ発話や言語刺激をくり返すことによって、最も敏感な成分は「慣れ(habituation)」のために消滅する。同じような文を百回以上も聞かされて、文法や意味上の誤りに対する反応が鈍化しなれば、むしろその方が驚きである。それでも ERP の波形が残っているならば重要な成分なのではないか、という論理には生物学的な根拠がない。

MEG(magnetoencephalography, 脳磁図)の技術は Cohen によって 1968 年に開発されて以来、進歩を続けてきたが^{15,16)}、臨床用に稼働しているのは、全米でもまだ 4 台しかない。MEG が頭蓋などの影響をほとんど受けないことを除けば、ERP について指摘した二つの問題点は、そのまま MEG にも当てはまる。また、磁力は信号源からの距離によって急激に減衰するので、深部の信号源は表面よりも位置の同定が難しくなる。さらに、これまでの磁気計では、頭皮に平行な方向の電流(脳溝の側壁にある神経細胞群が信号源)からしか信号を検出できない、という原理的な制約がつけ加わる。MEG を用いている研究者にそのことを尋ねると、ヒトの脳はしわだらけだから構わないのだという答えが返ってくる。しかし、Ojemann が指摘しているように、重要な言語野は脳回の頂上部(頭皮に平行な皮質表面で、信号源は頭皮に垂直)に局在しており、脳溝に埋まっていることはほとんどないという¹⁷⁾。皮質表面の電気刺激の知見によれば、ほとんどすべての観察例において、脳回に少なくとも一つの言語野が同定できるというのがその根拠である。従って、MEG を用いる場合、聴覚における音声信号の解析には有効である

が^{18,19)}、言語機能の解析には、重大な死角が存在することを忘れてはならない。

4. 脳機能イメージング(PET・fMRI)

言語研究に用いられる脳機能イメージングの手法は、PET (positron emission tomography, ポジトロン断層撮影法) と fMRI (functional magnetic resonance imaging, 機能的磁気共鳴映像法) が中心である。¹⁵O を用いた PET による言語研究は、Petersen ら²⁰⁾が先鞭をつけてから、10 年が過ぎた。最初のパラダイムは、単語(物体の名前)を聞かせて、1) 受動的な単語の知覚(視覚または聴覚)、2) 単語の復唱、3) その物体を使うときの動詞(例えば'cake'なら'eat')を口頭で答える、という3段階を調べるものであった。そして、段階2から段階1を差し引けば発話の成分が残り、段階3から段階2を差し引けば意味上の連想の成分が残る、という仮定に基づいて局所脳血流量を比較した。その結果、発話に対応する領域は両側の一次運動野とブローカ野などであり、意味上の連想に対応する領域は左脳の前頭葉(ブロードマンの47野周辺)と右側の小脳などであった²¹⁾。前頭葉では、単語を提示しただけでも活動を示すが、無意味語(例えば'POLT')の提示では活動しないので、一般的な意味処理に関係するのではないかと論じられている²²⁾。

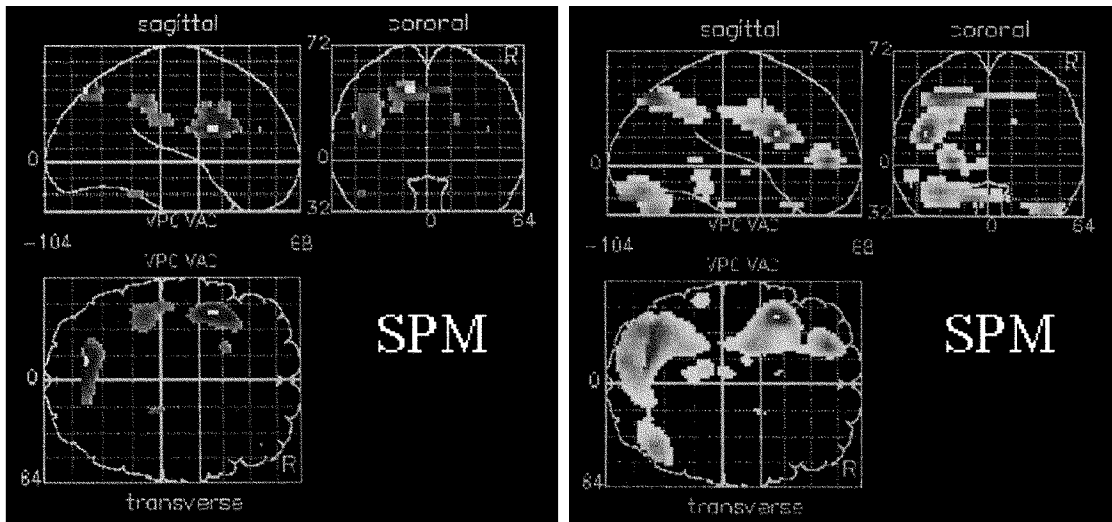
しかしながら、こうしたパラダイムでは、各段階におけるメンタルな負荷や注意の程度などの相違を排除することはできていない。そもそも、異なる認知機能の間で差し引きができるというのは、アプリアリに正しいことではない。例えば、段階2が含まれているはずの、段階1に対応する活動は、段階1単独の場合と比べて促進されることもあれば、逆に抑制されることもあるだろう。もしそうならば、2状態の差を取ったところで、発話や連想の成分を抽出したことにはならないのである。それにもかかわらず、PET による10年間の研究は、この「差分法」パラダイムを踏襲したものにすぎなかった²³⁻²⁹⁾。また、PET では放射性物質を使用するので、内部被曝を最小にするためには、同一被験者のスキャン回数に限度がある。その上、信号の感度が低いために、複数の被験者から得ら

れたデータの平均をとるのが一般的である。そのため、脳の構造と機能の個人差が、結果に大きく影響するという致命的な問題がある³⁰⁾。

一方、fMRI の技術は1992年に初めて報告され、その翌年に、PET の初期のパラダイムをそのまま fMRI に持ち込んだ結果が発表されており³¹⁾、それから5年が経過した。fMRI は PET よりも時間分解能・空間分解能の両方に優れ、放射性物質を使うような侵襲性もないので、同じ被験者でくり返し実験を行って、再現性を確かめることができる^{32,33)}。また、fMRI の信号の感度は ERP や MEG よりもはるかに高く、数回程度の加算で十分であり、1回の試行で局所的な活動をとらえることも可能である³⁴⁾。それにもかかわらず、現在の fMRI の研究は、依然として差分法パラダイムの延長線上にある。

これまでの PET と fMRI の言語研究に共通した問題点は、対照条件の不備とパラダイムの貧困である。「何もしない」という安静状態は、全くコントロールされていない状態に等しい。文字を刺激に用いるときには、固視点の提示を対照条件とするのが普通だが、内言や思考については全く統制されていないのである。内言によるブローカ野の活動を報告した研究³⁵⁾でも、「装置のノイズに注意を向けさせて、うっかり内言が起こったりしないようにした」という程度の対照条件を用いており、ほとんど拘束力を欠いている。また、Binder らによる fMRI の実験では、「意味的判断課題」として、動物の名前を聞かせてアメリカ原産の家畜かどうかを答えさせ、対照条件の「音程判断課題」では、低い音と高い音をいくつか含む音列で、高い音が2回含まれたかどうかを答えさせるものであった³⁶⁾。このようなパラダイムで「言語野が複数見つかった」という結論を引き出したのはもちろんのこと、そうした論文が神経科学の一流雑誌に掲載され続け^{37,38)}、研究グラントを獲得しているという事実が、言語の脳研究の原始的状況を物語っている。

Petersen らのパラダイムの影響のためか、言語の研究といっても、単語や無意味語を刺激として用いるだけの PET や fMRI の研究が延々と繰り返された³⁹⁻⁶⁹⁾。はじめのアルファベット3文字を



A

B

図 5 動詞の過去形を答える課題の脳機能イメージング(PET)

A: 規則動詞の場合。B: 不規則動詞の場合。どちらも動詞の音読を基準とする(有意水準1%以下)。各図の左上は矢状面の投影(右が脳の前), 右上は冠状面の投影(左が左脳), 下は水平面(右が脳の前, 上が左脳)。(文献 76 より)

提示して単語を完成する「語幹完成課題」⁷⁰⁻⁷²⁾にしても, 言語学の「語幹」の概念とは全く無関係である。5年前に, やっと単語だけではなく「文」を刺激として用いるようにはなったが⁷³⁻⁷⁵⁾, 脳機能イメージングで言語学上の問題を取り上げるまでには, さらに時間を要した。

Jaeger らは, 英語の動詞の原形を提示して過去形を答えさせる課題を用いて, 規則動詞(例えば, pull-pulled)と不規則動詞(例えば, fall-fell)の場合で, 脳の活動に差が見られるかどうかをPETで検討した⁷⁶⁾。反応時間をみると, 不規則動詞の方が規則動詞よりも約1.4倍長い。安静状態を基準として, 機能画像上の画素数を, 同じ統計的有意水準で比較した結果が表1である。不規則動詞の場合では, 規則動詞より7倍も画素数が増加している。無意味語を用いた場合は, さらに画素数が多くなる。差分法パラダイムの「常識」に従えば, 動詞の音読を基準とした場合, 規則動詞の過去形を答える条件では, 文法規則の適用作業による活動分がつけ加わるはずだが, 実際の画素数は, 逆に4分の1に減少している。

動詞の音読を基準にすると, 規則動詞の過去形を答える場合と(図5A), 不規則動詞の過去形を答える場合(図5B)とでは, 脳の活動領域に違い

表 1 PETによる英語動詞の形態論

課題	有意な画素数
1. 動詞の音読	2788
2. 無意味語の音読	4801
3. 規則動詞の過去形	661
4. 不規則動詞の過去形	4680
5. 無意味語の過去形	5690

それぞれの課題について, 安静時を基準としたときの, 機能画像上の画素数を示す。有意水準は5%以下。(文献76を改変)

が見られる。以上の結果は, 規則動詞の場合では文法規則を適用し, 不規則動詞の場合では語彙の検索を行うという解釈を支持する⁷⁷⁾。この報告は, 脳機能イメージングの論文としては, *Language* (アメリカ言語学会の学会誌)に初めて掲載されて注目を集めた。ブロードマンによる人脳の細胞構築学地図(1909年)を図1に載せているのも, 言語学から脳科学への初めの一步という印象を与える。

1996年には, 言語学上のパラダイムをPETとfMRIでテストした論文が, さらに2報現れた。StromswoldとCaplanらは, 英語の右枝分かれ文(right-branching sentence)と中央埋め込み文(center-embedded sentence)とで, 意味が通るかどうかを判断させる課題において, より複雑な構

文をもつ後者の方が、ブローカ野の活動を高めることを報告している⁷⁸⁾。右枝分かれ文とは、

(1 a) *The biographer omitted the story that insulted the queen*

(その伝記作家は女王を侮辱する話を割愛した)のように、語順通り読んで理解できる文であり、主格の関係代名詞節を含む。中央埋め込み文とは、

(1 b) *The story that the biographer omitted insulted the queen*

(その伝記作家が割愛した話は女王を侮辱した)のように、主語(*The story*)を述語(*insulted*)の所まで覚えておかないと理解できない文であり、目的格の関係代名詞節を含む。両者の題材は同じであるが、(1 a)は実際に女王を侮辱したかどうかはわからないのに対し、(1 b)では女王を侮辱したことは事実である。従って、この二つの条件の差が記憶の負荷の違いによるという Stromswold らの前提は正しくなく、意味上の違いも考慮に入れる必要がある。Caplan らの論争相手である Just と Carpenter ら^{79,80)}は、主格の関係代名詞節を含む中央埋め込み文と、目的格の関係代名詞節を含む中央埋め込み文とを比較した⁸¹⁾。この場合は、前者より後者の方が理解しにくい文である。その結果、ブローカ野とヴェルニッケ野(および右脳の対応部位)において、後者の場合に有意な画素数が増加することがわかった。この実験は、Stromswold らとほとんど同じパラダイムであり、先の論文を引用してはいるものの、目立たぬよう正面からの議論は避けている。得られた結果は、言語野の役割を考えれば当たり前であり、この差が言語処理そのものの違いではなく、記憶や注意の負荷の違いといった副次的な効果に基づく可能性もある。また、画素数の増加が必ずしも活動領域の相違を意味しないことは、すでに指摘されており⁸²⁾、Just らもこうした問題に対し歯切れの悪い答えをしている⁸³⁾。機能イメージングによる言語研究は、まだ始まったばかりだといわざるを得ない。

5. 頭蓋内記録

大脳皮質の表面や深部から、細胞外電位を直接記録できれば、理想的な空間分解能と時間分解能が得られる。脳外科の手術では、深部電極(細い針

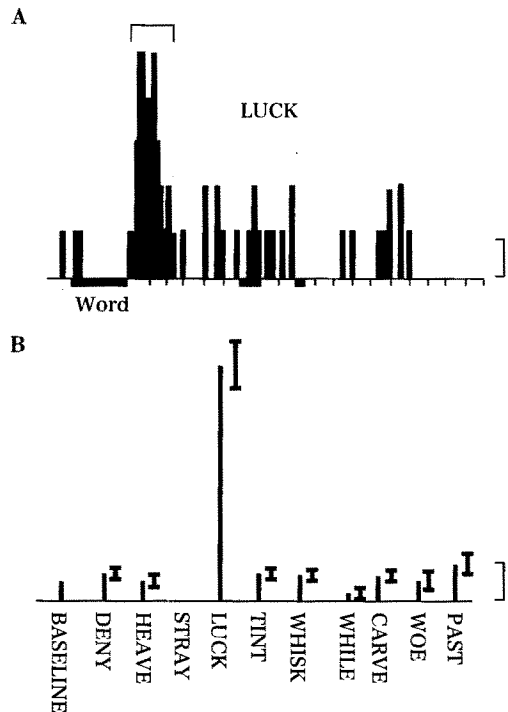


図 6 頭蓋内電位記録による海馬ニューロンの反応
 A: 単一ニューロンの単語('LUCK')に対する反応。横軸は時間で、1目盛りが0.1秒。Wordと書いてある時間に単語を見せた。縦軸のスケールは10スパイク/秒。
 B: 同じニューロンの反応選択性。安静時(BASELINE)と各単語の提示時の発火頻度を示す。縦軸のスケールは5スパイク/秒。(文献84より)

金の先端以外を絶縁した微小電極)や表面電極(金属の円盤をへら状の絶縁体に一列に組み込んだもの)などを留置して、てんかんの発生位置や機能領域の同定に使用している。当然ながら侵襲性を伴うので、健常者には適用できない方法である。無麻酔下の頭蓋内電位記録では、患者の言語報告が行えるので、断片的ではあるが、他の手法では得られない結果が報告されてきた。Heitらは、海馬やその周辺の皮質で、特定の単語を視覚的に提示したときに、選択的に反応するニューロンを報告しており(図6)⁸⁴⁾、この活動は記憶の再符号化を反映したものと考えられる⁸⁵⁾。Creutzfeldtらは、上側頭回(聴覚連合野)のニューロン群が音声言語の聴覚的な特徴に反応し(純音では反応しない)、さらに自分自身の声に選択的に反応するニューロンが存在することを見出している^{85,86)}。

また、下側頭葉の紡錘状回の後部では、英単語またはアルファベットの文字列を視覚的に提示し

たときに、電場電位の反応(N 200)が観察され、紡錘状回の前部では、単語の意味や文脈によって反応(P 400 と N 400)が変化する⁸⁷⁻⁸⁹⁾。この N 400 は、頭皮上で観察される N 400 の源である可能性がある。

神経活動による血流の変化に伴って、大脳皮質表面の光の反射率が変化するが、この内因性信号(intrinsic signal)を記録して、言語野などが同定できることが報告されている⁹⁰⁾。以上の報告は非常に貴重なデータであるが、健常者で再現性を確かめられないことが最大の問題である。頭蓋内記録は倫理上「実験」と呼べないのはもちろんのこと、検査の時間的制約のために、必要な対照条件をすべてチェックするのは困難である。

III. 文法処理システムは脳のどこにあるか

1. 大脳皮質

言語中枢がヴェルニッケ野とブローカ野だからといって、文法処理システムがこのどちらかであるとは限らない。仮に文法処理システムが大脳皮質にあるとしても、それがどの程度局在しているかを知る手がかりは、今のところほとんどない。いくつかの文法のサブシステムが、前頭葉や側頭葉にそれぞれ局在していて、システム全体としては分散して存在するといった可能性もある。この可能性が正しいなら、限局した脳損傷では、文法に特異的な障害が起きにくいことになり、独立した言語中枢として同定することが難しくなる。また、言語機能が左脳に局在するとしても、それは聴覚的理解と発話に必要な機能が一側性なのであって、文法処理システムが両方の大脳半球に存在するという可能性を否定するものではない。

「失文法(agrammatism)」とは、文法的な文を構成する能力の障害であり、失語症の一部と考えることができる。左の前頭葉の損傷がその原因となっているといわれているが、確定的ではない。失文法の特徴として、前置詞や接続詞などの機能語(function words)や接頭語・接尾語を省いたり、入れ替えたりすることが指摘されている。従って、失文法は機能語などに関する文法処理の障害であると考える立場がある⁹¹⁾。その一方で、健常者に別の課題を同時にやらせて負荷を加えることで、失

文法と似たような状態を作れることから、失文法は単に全体の処理能力が低下した結果として生ずるのではないか、という議論まで出ている⁹²⁾。有効な機能イメージングのパラダイムを開発しない限り、このような論争には決着がつかないだろう。

2. 小脳

小脳(小脳皮質と小脳核)は、運動の協調性や運動学習の機能に関係すると考えられてきた。ところが、小脳は運動だけではなく、認知機能などでもはたしているのではないか、という報告がこの数年間で急にふえている^{93,94)}。言語に関する認知課題では、上で紹介した PET の研究において、名詞から関係のある動詞を答えさせるときに、大脳皮質だけではなく小脳でも、単語を復唱するときと比べて活動が増大することが報告されていた²¹⁾。また、この小脳などの活動は練習を重ねるにつれて、減少することが確認されている³⁹⁾。しかし、これらの実験からは小脳が認知機能にどんな役割を果たしているのかわからない。一方、動詞の音読を基準にした場合、規則動詞の過去形を答える場合には小脳の活動がはっきりしないが(図5 A)、不規則動詞の過去形を答える場合には、両側の小脳の活動が増大する(図5 B)⁷⁶⁾。さらにその他の機能イメージングの結果(パズルや知覚弁別など)も総合してみると、小脳の活動はより難しい課題において増大する傾向がある⁹⁵⁻⁹⁷⁾。

小脳の損傷で起こる症状の一つに推尺異常があり、腕を伸ばして人指し指を自分の鼻先にもつてくること(指鼻試験)ができなくなる。これは、運動における「予測制御」の問題であると考えられている⁹⁸⁾。この予測制御の機能が、認知機能に一般化できると仮定してみよう。名詞から動詞を答えたり、難しい課題を解いたりするときには、「認知的な予測」が必要である。従って、このようなときに小脳の活動が増大するのは、小脳が予測制御の機能をもつことで説明できることになる。認知機能や言語機能における小脳の役割については、その外にもさまざまな説が出されていて、まだ混沌とした状況である⁹⁹⁻¹⁰⁴⁾。

思考や推論といった大脳の機能がメンタルモデル(mental models)を制御することであるなら

ば、小脳にメンタルモデルが形成される可能性があることを伊藤正男氏が指摘している^{101,105}。Johnson-Laird の著書『メンタルモデル』¹⁰⁶の副題が、「言語・推論・意識の認知科学に向けて」となっていることからわかるように、メンタルモデルの考えの背景には自然言語処理がある。文法に従って文を作ったり理解したりする作業は、命題的表現を使ってメンタルモデルを構成することに外ならない。このプロセスのうち文法処理の部分は母語を使う限り自動的であり、かつ無意識的である。実際、言葉が話すときに母語の文法が意識に上ることはほとんどない。文法処理システムは脳にあるかもしれないが、この制御に基づいて小脳にメンタルモデルができるのならば、言語を生み出すプロセスの一部が無意識的であることの説明がつく。また、失語症では、間投詞や紋切り型の表現(あいさつなど)が影響を受けにくいのも、自動化されたメンタルモデルが脳皮質以外に存在する可能性を示唆している。もちろん、意味のある命題的な文を構成するためには、意識が必要である。このような意味で、言語が無意識から意識への掛け橋になっている、と私は考えている。脳と小脳の関係から、言語機能の解明の思わぬ糸口が見つかるかもしれない。

3. 大脳基底核

パーキンソン病は大脳基底核の代表的な疾患であり、黒質緻密帯の細胞の変性のために、線条体でドパミンが枯渇することが関係している。パーキンソン病の症状としては、手足などの動作が遅くなり、体のバランスを立て直すことが難しくなることなどが挙げられる。パーキンソン病では、さらに言語の機能や理解の障害が報告されているが、その他の認知機能にも障害が見られることは確かなようである¹⁰⁷⁻¹⁰⁹。大脳基底核は視床や大脳皮質のほとんどの領野から入力を受け取っているが、出力は視床を介して前頭葉に返される。前頭葉と大脳基底核の機能差は、まだよくわかっていない。

単語の復唱や翻訳を、母語と第二言語で比較すると、第二言語で答えるときに、左側の被殻(putamen)付近の活動が増大するという PET の

報告がある^{110,111}。しかし、この実験からは、発話の運動機能と認知機能のどちらが原因であるかはわからない。Ullman らは、パーキンソン病の患者で規則動詞や無意味語の過去形(-ed)を作る際の誤りが比較的多いことなどから、文法処理における大脳基底核の役割を強調している¹¹²。しかし、症例数が少ないので、説得力のある議論はできていない。Damasio も大脳基底核と前頭葉の神経回路が文法処理に関係するという考えを述べているが¹¹³、まだ仮説の域を出ていないのが現状である。

左側の大脳基底核付近の損傷で、母語の障害が起こると報告がある¹¹⁴。この症例では、母語(ヴェネツィア方言)の方が第二言語(イタリア標準語)よりも重い失語を示し、第二言語に翻訳するより母語に翻訳する方が難しいという。この結果は、自動化された母語の処理における大脳基底核の役割を示唆するが、上の PET の報告とは矛盾している。

4. 視床

視床を切開する脳外科の手術の際に、局所麻酔下で左側の視床を電気刺激すると、物の名前の呼び間違いが生ずることが報告されている¹¹⁵。Ojemann は、視床が特定の言語機能に必要な大脳皮質の領野を選択するという仮説を唱えている¹¹⁶。言語の機能イメージングでも、視床に活動が見られる場合があり、言語機能における視床の役割が示唆されてきた。視床の一部には、注意を制御するはたらきがあるので、特定の情報に注意を払う必要があるような認知機能において、視床の活動が増大すると考えられる^{117,118}。文法処理との関連は、まだ明らかではない。

おわりに

言語の脳研究の現状を概観してきたが、結論として、学際的なアプローチを結集させることこそが、言語の脳機能を解明するうえで、重要な研究戦略になりうると考える。逆に、ただ一つの手法、例えば PET の結果だけに基づいて言語システムのモデルを作るならば、多くの誤った結論を導くことになるだろう。脳の構造(神経科学)と機能(生

理学)を基礎としたボトムアップの研究の方向と、文法理論(言語学)と自然言語処理(情報科学)を基礎としたトップダウンの研究の方向との融合が重要なのではないだろうか。脳における言語情報処理の基本原理の解明には、認知脳科学の総合力が必要である。

謝辞 本稿をまとめるにあたって、活発な議論をいただいた Alec Marantz 教授に感謝の意を表したい。また、本研究は科学技術振興事業団(JST)による戦略的基礎研究推進事業(CREST)から助成を受けた。

文献

- 1) Chomsky N: Language and Responsibility, Pantheon, New York, 1979(邦訳:チョムスキーとの対話-政治・思想・言語-, p 85, 大修館書店, 東京, 1980)
- 2) Pinker S: The Language Instinct, Harper Perennial, New York, 1994(邦訳:言語を生み出す本能(上)(下), 日本放送出版協会, 東京, 1995)
- 3) 酒井邦嘉: 心にいどむ認知脳科学-記憶と意識の統一論, 岩波書店, 東京, 1997
- 4) Geschwind N: *Science* **170**: 940-944, 1970
- 5) Geschwind N, Quadfasel FA, Segarra JM: *Neuropsychologia* **6**: 327-340, 1968
- 6) 岩田誠: 脳とことば-言語の神経機構, 共立出版, 東京, 1996
- 7) Caramazza A, Hillis AE: *Nature* **349**: 788-790, 1991
- 8) Damasio AR, Tranel D: *Proc Natl Acad Sci USA* **90**: 4957-4960, 1993
- 9) Hillis AE, Caramazza A: *J Cognit Neurosci* **7**: 396-407, 1995
- 10) Dronkers NF: *Nature* **384**: 159-161, 1996
- 11) Penfield W, Roberts L: Speech and Brain Mechanisms, Princeton University Press, Princeton, 1959(邦訳: 言語と大脳, 誠信書房, 東京, 1965)
- 12) Ojemann G, Ojemann J, Lettich E, Berger M: *J Neurosurg* **71**: 316-326, 1989
- 13) Osterhout L, McLaughlin J, Bersick M: *Trends Cognit Sci* **1**: 203-209, 1997
- 14) Neville H, Nicol JL, Barss A et al: *J Cognit Neurosci* **3**: 151-165, 1991
- 15) Crease RP: *Science* **253**: 374-375, 1991
- 16) Lounasmaa OV, Hämäläinen M, Hari R, Salmelin R: *Proc Natl Acad Sci USA* **93**: 8809-8815, 1996
- 17) Ojemann GA: *J Neurosci* **11**: 2281-2287, 1991
- 18) Poeppel D, Yellin E, Phillips C et al: *Cognit Brain Res* **4**: 231-242, 1996
- 19) Näätänen R, Lehtokoski A, Lennes M et al: *Nature* **385**: 432-434, 1997
- 20) Petersen SE, Fox PT, Posner MI et al: *Nature* **331**: 585-589, 1988
- 21) Petersen SE, Fox PT, Posner MI et al: *J Cognit Neurosci* **1**: 153-170, 1989
- 22) Petersen SE, Fox PT, Snyder AZ, Raichle ME: *Science* **249**: 1041-1044, 1990
- 23) Petersen SE, Fiez JA: *Ann Rev Neurosci* **16**: 509-530, 1993
- 24) Démonet JF, Wise R, Frackowiak RSJ: *Hum Brain Mapping* **1**: 39-47, 1993
- 25) Frackowiak RSJ: *Trends Neurosci* **17**: 109-115, 1994
- 26) Poeppel D: *Brain Lang* **55**: 317-351, 1996
- 27) Démonet JF, Fiez JA, Paulesu E et al: *Brain Lang* **55**: 352-379, 1996
- 28) Poeppel D: *Brain Lang* **55**: 380-385, 1996
- 29) Habib M, Démonet J-F: *Aphasiology* **10**: 217-234, 1996
- 30) Steinmetz H, Seitz RJ: *Neuropsychologia* **29**: 1149-1161, 1991
- 31) McCarthy G, Blamire AM, Rothman D et al: *Proc Natl Acad Sci USA* **90**: 4952-4956, 1993
- 32) 小川誠二: 神経進歩 **38**: 309-318, 1994
- 33) 酒井邦嘉: 医学のあゆみ **175**: 189-194, 1995
- 34) Buckner RL, Bandettini PA, O'Craven KM et al: *Proc Natl Acad Sci USA* **93**: 14878-14883, 1996
- 35) Hinke RM, Hu X, Stillman AE et al: *NeuroReport* **4**: 675-678, 1993
- 36) Binder JR, Rao SM, Hammeke TA et al: *Arch Neurol* **52**: 593-601, 1995
- 37) Binder JR, Frost JA, Hammeke TA et al: *Brain* **119**: 1239-1247, 1996
- 38) Binder JR, Frost JA, Hammeke TA et al: *J Neurosci* **17**: 353-362, 1997
- 39) Raichle ME, Fiez JA, Videen TO et al: *Cereb Cortex* **4**: 8-26, 1994
- 40) Fiez JA, Raichle ME, Miezin FM et al: *J Cognit Neurosci* **7**: 357-375, 1995
- 41) Fiez JA, Raichle ME, Balota DA et al: *Cereb Cortex* **6**: 1-10, 1996
- 42) Buckner RL, Raichle ME, Petersen SE: *J Neurophysiol* **74**: 2163-2173, 1995
- 43) Buckner RL, Corbetta M, Schatz J et al: *Proc Natl Acad Sci USA* **93**: 1249-1253, 1996
- 44) Wise R, Chollet F, Hadar U et al: *Brain* **114**: 1803-1817, 1991
- 45) Frith CD, Friston KJ, Liddle PF et al: *Neuropsychologia* **29**: 1137-1148, 1991
- 46) Démonet J-F, Chollet F, Ramsay S et al: *Brain* **115**: 1753-1768, 1992
- 47) Howard D, Patterson K, Wise R et al: *Brain* **115**: 1769-1782, 1992
- 48) Démonet J-F, Price C, Wise R, Frackowiak RSJ: *Brain* **117**: 671-682, 1994
- 49) Price CJ, Wise RJS, Watson JDG et al: *Brain* **117**: 1255-1269, 1994
- 50) Price CJ, Wise RJS, Frackowiak RSJ: *Cereb Cortex* **6**: 62-70, 1996

- 51) Price CJ, Wise RJS, Warburton EA et al : *Brain* **119** : 919-931, 1996
- 52) Price CJ, Moore CJ, Frackowiak RSJ : *Neuroimage* **3** : 40-52, 1996
- 53) Warburton E, Wise RJS, Price CJ et al : *Brain* **119** : 159-179, 1996
- 54) McGuire PK, Silbersweig DA, Frith CD : *Brain* **119** : 907-917, 1996
- 55) Zatorre RJ, Evans AC, Meyer E, Gjedde A : *Science* **256** : 846-849, 1992
- 56) Zatorre RJ, Meyer E, Gjedde A, Evans AC : *Cereb Cortex* **6** : 21-30, 1996
- 57) Demb JB, Desmond JE, Wagner AD et al : *J Neurosci* **15** : 5870-5878, 1995
- 58) Desmond JE, Sum JM, Wagner AD et al : *Brain* **118** : 1411-1419, 1995
- 59) Shaywitz BA, Shaywitz SE, Pugh KR et al : *Nature* **373** : 607-609, 1995
- 60) Shaywitz BA, Pugh KR, Constable RT et al : *Hum Brain Mapping* **2** : 149-158, 1995
- 61) Pugh KR, Shaywitz BA, Shaywitz SE et al : *Brain* **119** : 1221-1238, 1996
- 62) O'Leary DS, Andreasen NC, Hurtig RR et al : *Brain Lang* **53** : 20-39, 1996
- 63) Smith CD, Andersen AH, Chen Q et al : *NeuroReport* **7** : 781-785, 1996
- 64) Mummery CJ, Patterson K, Hodges JR, Wise RJS : *Proc R Soc Lond [Biol]* **263** : 989-995, 1996
- 65) Phelps EA, Hyder F, Blamire AM, Shulman RG : *NeuroReport* **8** : 561-565, 1997
- 66) Paulesu E, Goldacre B, Scifo P et al : *NeuroReport* **8** : 2011-2016, 1997
- 67) Dhankbar A, Wexler BE, Fulbright RK et al : *J Neurophysiol* **77** : 476-483, 1997
- 68) Rumsey JM, Horwitz B, Donohue BC et al : *Brain* **120** : 739-759, 1997
- 69) Herbster AN, Mintun MA, Nebes RD, Becker JT : *Hum Brain Mapping* **5** : 84-92, 1997
- 70) Squire LR, Ojemann JG, Miezin FM et al : *Proc Natl Acad Sci USA* **89** : 1837-1841, 1992
- 71) Buckner RL, Petersen SE, Ojemann JG et al : *J Neurosci* **15** : 12-29, 1995
- 72) Schacter DL, Alpert NM, Savage CR et al : *Proc Natl Acad Sci USA* **93** : 321-325, 1996
- 73) Mazoyer BM, Tzourio N, Frak V et al : *J Cognit Neurosci* **5** : 467-479, 1993
- 74) Bottini G, Corcoran R, Sterzi R et al : *Brain* **117** : 1241-1253, 1994
- 75) Binder JR, Rao SM, Hammeke TA et al : *Ann Neurol* **35** : 662-672, 1994
- 76) Jaeger JJ, Lockwood AH, Kemmerer DL et al : *Language* **72** : 451-497, 1996
- 77) 酒井邦嘉 : 生体の科学 **49** : 40-53, 1998
- 78) Stromswold K, Caplan D, Alpert N, Rauch S : *Brain Lang* **52** : 452-473, 1996
- 79) Waters GS, Caplan D : *Psychol Rev* **103** : 761-772, 1996
- 80) Just MA, Carpenter PA, Keller TA : *Psychol Rev* **103** : 773-780, 1996
- 81) Just MA, Carpenter PA, Keller TA et al : *Science* **274** : 114-116, 1996
- 82) Rapp B, McCloskey M : *Science* **275** : 912-913, 1997
- 83) Just MA, Carpenter PA, Keller TA et al : *Science* **275** : 913, 1997
- 84) Heit G, Smith ME, Halgren E : *Nature* **333** : 773-775, 1988
- 85) Creutzfeldt O, Ojemann G, Lettich E : *Exp Brain Res* **77** : 451-475, 1989
- 86) Creutzfeldt O, Ojemann G, Lettich E : *Exp Brain Res* **77** : 476-489, 1989
- 87) Nobre AC, Allison T, McCarthy G : *Nature* **372** : 260-263, 1994
- 88) McCarthy G, Nobre AC, Bentin S, Spencer DD : *J Neurosci* **15** : 1080-1089, 1995
- 89) Nobre AC, McCarthy G : *J Neurosci* **15** : 1090-1098, 1995
- 90) Haglund MM, Ojemann GA, Hochman DW : *Nature* **358** : 668-671, 1992
- 91) Pulvermüller F : *J Cognit Neurosci* **7** : 165-181, 1995
- 92) Blackwell A, Bates E : *J Cognit Neurosci* **7** : 228-257, 1995
- 93) Fiez JA : *Neuron* **16** : 13-15, 1996
- 94) Barinaga M : *Science* **272** : 482-483, 1996
- 95) Kim S-G, Ugurbil K, Strick PL : *Science* **265** : 949-951, 1994
- 96) Gao J-H, Parsons LM, Bower JM et al : *Science* **272** : 545-547, 1996
- 97) Allen G, Buxton RB, Wong EC, Courchesne E : *Science* **275** : 1940-1943, 1997
- 98) 伊藤正男 : 脳の設計図, 中央公論社, 東京, 1980
- 99) Leiner HC, Leiner AL, Dow RS : *Behav Brain Res* **44** : 113-128, 1991
- 100) Leiner HC, Leiner AL, Dow RS : *Trends Neurosci* **16** : 444-447, 1993
- 101) Ito M : *Trends Neurosci* **16** : 448-450, 1993
- 102) Leiner HC, Leiner AL, Dow RS : *Hum Brain Mapping* **2** : 244-254, 1995
- 103) Bower JM : *Hum Brain Mapping* **2** : 255-256, 1995
- 104) Schmahmann JD : *Hum Brain Mapping* **4** : 174-198, 1996
- 105) 伊藤正男 : 生体の科学 **40** : 82-89, 1989
- 106) Johnson-Laird PN : *Mental Models-Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983(邦訳:メンタルモデル:言語・推論・意識の認知科学, 産業図書, 東京, 1988)
- 107) Lieberman P, Friedman J, Feldman LS : *J Nerv Ment Dis* **178** : 360-365, 1990
- 108) Lieberman P, Kako E, Friedman J et al : *Brain Lang* **43** : 169-189, 1992
- 109) Grossman M, Carvell S, Stern MB et al :

- Brain Lang* **42** : 347-384, 1992
- 110) Klein D, Zatorre RJ, Milner B et al : *Neuro-Report* **5** : 2295-2297, 1994
- 111) Klein D, Milner B, Zatorre RJ et al : *Proc Natl Acad Sci USA* **92** : 2899-2903, 1995
- 112) Ullman M, Corkin S, Coppola M et al : *J Cognit Neurosci* **9** : 289-299, 1997
- 113) Damasio AR, Damasio H : *Sci Am* **267**(3) : 88-95, 1992
- 114) Aglioti S, Beltramello A, Girardi F, Fabbro F : *Brain* **119** : 1551-1564, 1996
- 115) Ojemann GA : *Brain Lang* **2** : 101-120, 1975
- 116) Ojemann GA : *Behav Brain Sci* **2** : 189-230, 1983
- 117) LaBerge D, Buchsbaum MS : *J Neurosci* **10** : 613-619, 1990
- 118) Sakai K, Miyashita Y : *Trends Neurosci* **17** : 287-289, 1994
-