

言語の認知科学 第2回配布資料

担当：浅川伸一

2009年10月07日

1 脳の構造

脳の構造については <http://www9.biostr.washington.edu/da.html> などの対話的なアトラスが良くできていて参考になる。

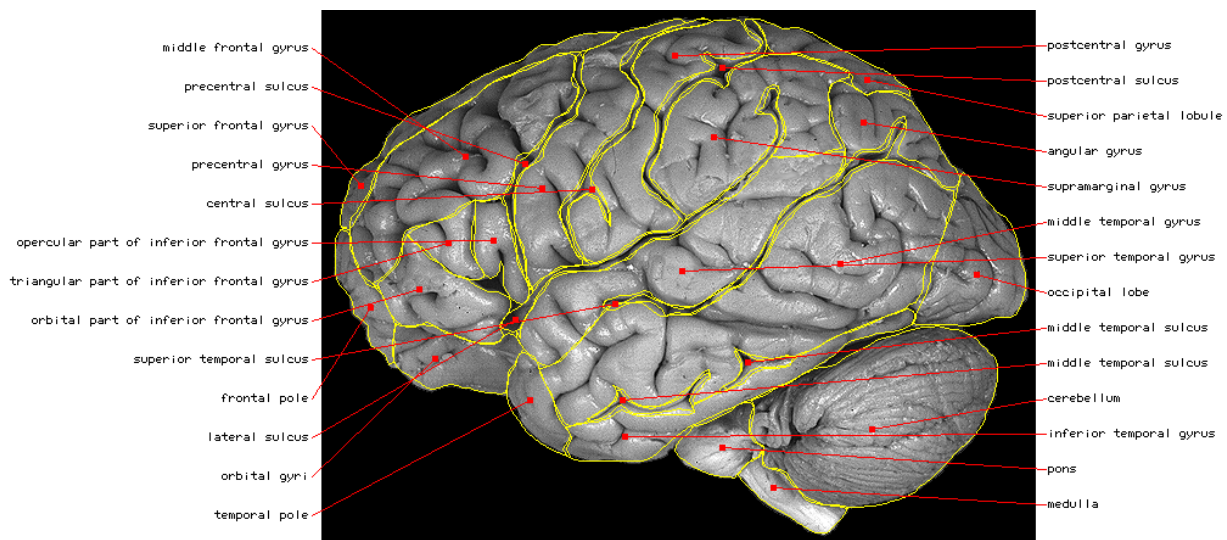


図 1: 脳の概観

大脳表面は大脳皮質と呼ばれる厚さ数ミリセンチメートルの灰褐色の層で覆われている。皮質の内側には白質と呼ばれる白色の組織がある。白質のさらに内部には、基底核や視床と呼ばれる神経細胞（ニューロン）が集まった場所がある。大脳皮質はニューロンの詰まった組織であり、その内部の白質はニューロンから延びる軸索の集合からなっている。

1.1 脳の機能分担

運動実行系 脳幹・脊髄, 大脳皮質の運動野, 大脳皮質の補足運動野, 大脳皮質の運動前野

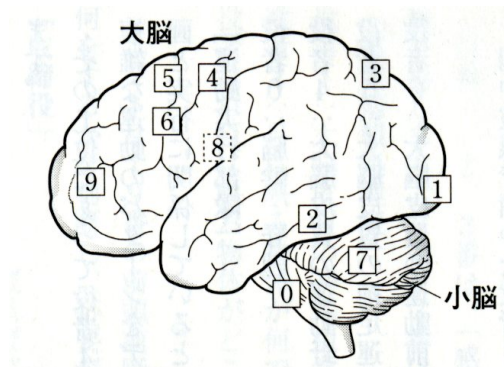


図 2: 脳の機能分化。視覚情報処理 (1. 初期視覚野, 2.what 経路, 3.where 経路), 運動系 (0. 脳幹・脊髄, 4. 運動野, 5. 補足運動野, 6. 運動前野), 運動調整系 (7. 小脳, 8. 大脳基底核), 前頭前野

運動調整系 小脳, 大脳基底核

視覚情報処理系 大脳皮質の初期視覚野, what 経路, where 経路

統合系 大脳皮質の前頭前野

中枢神経系を持つという意味では、ミミズであろうが、軟体動物であろうが、人間であろうが同じ。脳は適応のために進化した器官である。

2 脳の微細構造

脳は、神経細胞、グリア細胞、脳髄液、血管などから成り立っている。ニューロンは 10^{10} 個以上存在し、脳における情報処理は、もっぱらニューロンがなっているとされている。個々のニューロンは、単純な処理しか行なわないが、脳はこのニューロンが相互に結合された並列処理システムであると捕えることができる。図 3 (左) にニューロンの概形を示す。複数のニューロンが結合してニューラルネットワークが形成されている。ニューロン同士の接合部分をシナプスといい、ごく狭い間隙によって隔てられている。図 3 (右) この間隙のことをシナプス間隙という。シナプス間隙の間を神経伝達物質が情報の送り手側から受け手側に移動することによって情報が伝わる。

神経回路網を構成しているニューロンは、

1. 細胞体
2. 樹状突起
3. 軸索

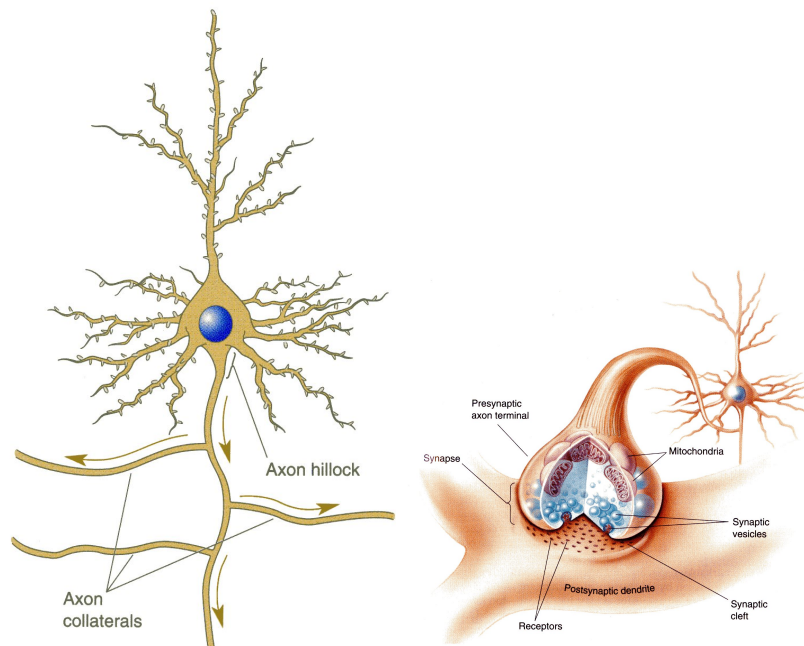


図 3: ニューロンの概形 (左) シナプスの模式図 (右)

とよばれる部分からなる。樹状突起はアンテナ (入力)、軸索は送電線 (出力) と考えれば分かりやすい。

ニューロンは電気信号を送受信することで情報処理を行っており、ごく短い (数ミリ秒) 期間に興奮し、興奮した電位を他のニューロンに伝える。

ニューロンの内部と外部とでは Na^+ 、 K^+ イオンなどの働きにより電位差がある。通常、内部電位は外部よりも低い。外部を 0 としたときの内部の電位を**膜電位**という。入力信号が無いときの膜電位を**静止膜電位**とって約 $-70mV$ くらいである。

情報は樹状突起から電気信号の形でニューロンに伝達され、すべての樹状突起からの電気信号が加え合わされる。樹状突起からやってくる外部電気信号の影響で膜電位が $-55mV$ を越えると約 1 msec の間膜電位が急激に高くなる。このことをニューロンが**興奮**した (あるいは**発火**した) という。

ニューロンは膜電位が $-55mV$ より高くなればの興奮し、そうでなければ興奮しない。この意味で $-55mV$ 付近を**閾値**という。

一旦興奮したニューロンはしばらくは興奮することができない (**不応期**)。

ニューロンの興奮 (1 msec だけなのでパルス puls と呼ぶことがある) は軸索をとおって他のニューロンに伝達される。軸索を通る興奮の伝達速度は 100 m/s くらいである。

ニューロンからニューロンへ情報が伝達される部分をシナプス synapse と呼ぶ。興奮がシナプスに到達するたびにある種の化学物質を放出する。この化学物質は受けて側の膜電位をわずかに変化させる。

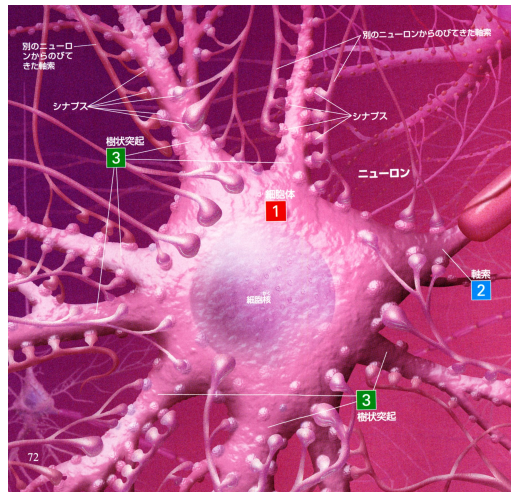


図 4: ニューロン

化学物質の種類によって、膜電位を高めるように作用する場合 (**興奮性**のシナプス結合) と逆に低めるように作用する場合 (**抑制性**のシナプス結合) とがある。

送り手のシナプスの興奮が興奮的に働くか抑制的に働くかは、送り手の側の細胞の種類によって異なることが知られている (**Dale の法則**)。

シナプスに興奮が到達すると 0.3 msec 程度の時間遅れの後シナプス結合部の膜電位がわずかに変化する。1つのシナプスが生成する膜電位の変化は 0.1 mV から 30 mV ぐらいのものまで様々なシナプス結合が存在する。

一つのニューロンには多いもので数万個のシナプス結合が存在する。多数の軸索にシナプス結合を通して興奮 (あるいは抑制) が伝えられると細胞体を伝わる途中で重なり合う。すべての膜電位の変化の総和によってニューロンの膜電位の変化が決定される。すべてのシナプス結合の和のことを**空間加算**という。あるシナプスによって膜電位が変化し、その変化が減衰する前に次の興奮が伝達されれば、まだ残っている直前の電位変化に加え合わされて膜電位の変化が起きる。このことを**時間加算**という。

位相差顕微鏡や干渉顕微鏡写真を使って培養されたニューロンのシナプス形成過程をビデオ撮影するとシナプスが樹状突起や細胞体の膜とくっついたり離れたり、細胞表面を移動したりしている様子を観察することができる。すなわちシナプスは固定化されたものではなく絶えず変動しているものである。また、軸索終末部の成長をみると先端部の成長円錐と呼ばれている部分はアメーバのようにいろいろと形を変え、枝分かれをしながら、いろいろなニューロンにシナプスを伸ばしたり引っ込めたりしている様子が分かる。我々の認識が一回ごとに異なる理由、一回一回捉え方が気まぐれに変わるかのようなことはこのニューロンの変動性に起因しているのかもしれない。

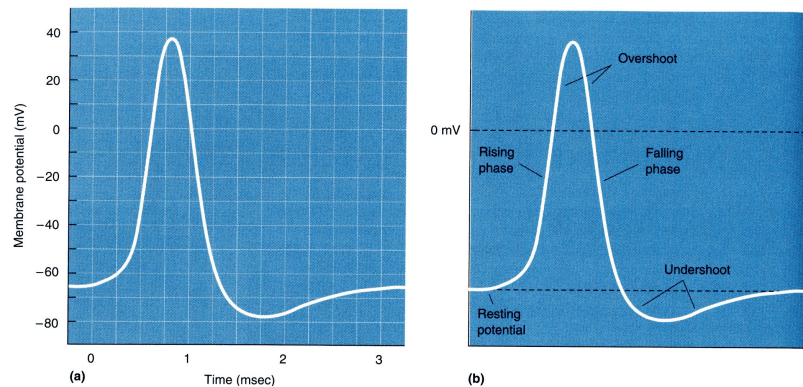


図 5: 活動電位の時間変化

3 ブロードマンの脳地図

ニューロンを染色して顕微鏡で観察すると、大きさと形の異なった数種類のニューロンを識別できる。大脳皮質の部位によってこのニューロンの種類と配列が決まっており、この細胞構築の差異に基づいて、大脳皮質は領域に分割される。今日最も良く知られる分類方法は、20世紀初頭にドイツの神経解剖学者ブロードマンによって発表された脳地図である(図6)。

ブロードマンの行った細胞構築学的分類方法は、その部位で行われている神経細胞の情報処理特性と関係していると考えられており、このことから脳機能局在論では領野を示すのにこの区分がよく用いられる。

4 言語野の発見と側性化

Gall に端を発した骨相学には科学的な根拠がないことが明らかとなったが、特定の認知機能が脳内の特定の部位で営まれているという考え、局在性仮説は残った。最初にブローカ Broca により左脳第三前頭回に損傷を受けると、話し言葉を理解するときには障害が認められないが、話すことだけが損傷されるという失語が見いだされた。

すぐ後、ウィルニッケ Wernicke は、その反対の症例を報告した。すなわち話し言葉は流暢だが、話された言葉を理解できない患者を報告した。この患者は単語の使い方が不適切で、発音上の誤りも認められた。責任病巣として第一側頭回から登頂葉に渡る領域を挙げた。

これが現代神経心理学の幕開けである。多くの研究により、左半球に言語野が存在するという事は確実である。和田が開発したアミタール法とは、放射線学的検査の際にアミタールソーダを左右のどちらか内側頸動脈に注入し、一時的にどちらかの半球だけの活動を休止させる方法である。これを用いて、言語野が左右のどちらにあるかを調べることができる。また電気ショック療法 electroconvulsive therapy(ECT) によって左右のどちらか

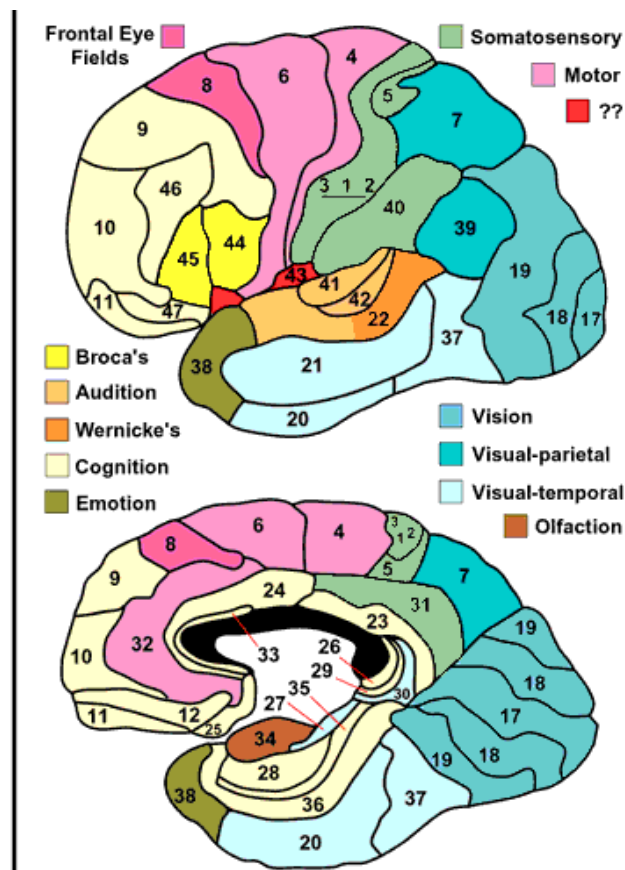


図 6: ブロードマンの脳地図

に電撃が施されることによって、左右いずれかの半球を麻痺させることによっても同様の結果が得られる。表 1 は、そのようにして得られた結果である。アミタール法でも ECT 法でも 右手が利き手であれば 95 % 以上の割合で言語野は左脳にある。左手が利き手であっても 70 % は左半球に言語野が存在する。

5 ウィルニッケ・リヒトハイム図式

言語に関しては、ほぼ左半球にその処理中枢が局在していることは、言語野の発見で名高いブローカも気がついていて、ブローカは彼の有名な症例タン（タンとしかしゃべれなかったため、看護婦たちからムッシュー・タンと呼ばれていた）などから、左半球前頭回後部に言語の発話中枢があることを発見した。

言語の習得は、乳幼児期に母親の話す語を聴くことによって、語音と意味との連合を成立させることにあるが、それと同時に、母親の話す語音をそのま

表 1: 言語の側性化文献 McCarthy, 1990 より

	利き手	人数	左 (%)	両側 (%)	右 (%)
アマタール	右	140	96	0	4
	左	122	70	15	15
ECT	右	53	98	0	2
	左	30	70	6	23

ま復唱するという運動能力が成立し、語音の聴覚記憶心象と発語運動の運動表象が形成され、その間の精神運動反射が形成される。

—岩田 (1996)p.11

一方、ウィルニッケは、大脳皮質の聴覚情報の受容を営む領域の近くには、その中の言語的な要素だけに対応する、ことばの聴覚記憶心象の領域があるはずだと考えた。彼によれば、この領域は、大脳における聴覚の領域とは異なっているために、ここが侵されても聴覚そのものが失われることはなく、話された言葉を理解したり、復唱したりすることができなくなってしまう。これに対し、発語の運動表象であるブローカ野は保たれているので、ことばをしゃべることには不自由がない。しかし、自らの発する語を聞き取ることができないために、誤ったことばを使ってしまうような言い間違いをしても気がつかない。運動野とは離れた領域が侵されるので、手足の運動の麻痺などは生じない。

ブローカによって発見された、発語運動の運動表象の座である左下前頭回後部の領域と、ウィルニッケの発見した語音の聴覚記憶の座である左上側頭回後部の領域という二つの大脳皮質領域を相互に結合する連合作用が言語の基本であるという考え方がリヒトハイムによって図示された (図 7)。

図 7 の A が侵されると言語理解の障害と復唱障害を主とする失語症が発現する (ウィルニッケ失語)。一方、M が侵されると言語理解は保たれるが自発発話も復唱もできなくなるタイプの失語症が生じる (ブローカ失語)。

さらに、A→M が離断した場合 (3) に伝導失語が生ずる。伝導失語では、言語理解も自発発話も良好だが復唱が侵される。

A→B が離断した場合 (5) に超皮質性感覚失語が生ずる。超皮質性感覚失語では復唱はよく保たれるが言語理解が障害される。

B→M が離断した場合 (4) には超皮質性運動失語が生ずる。超皮質性運動失語では復唱は保たれるが自発発話が侵される。

a→A が離断すると純粹語聾 (じゅんすいごろう) と呼ばれ、聴覚的言語理解だけが侵されて書字理解は保たれる。

M→m が離断すると純粹語啞 (じゅんすいごあ) が生じ、書字障害を伴わず、発語の異常だけが見られるようになる。純粹語聾と純粹語啞を皮質下性失語と呼ぶ。

デジャリンは、臨床病理学的対応研究から、ブローカ領域とウィルニッケ領域に、書字言語の中枢である角回をヒトの言語野と位置づけて、その領域を詳細に決定した。

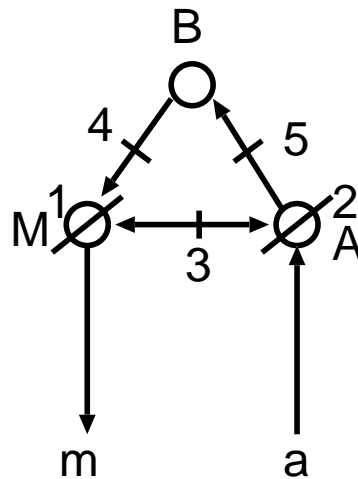


図 7: ウィルニック・リヒトハイム図式。A は語音の聴覚心象の座, M は発語運動の座, B は言語の概念中枢。a は聴覚情報の入力系, m は発語の運動出力系。言語理解は $a \rightarrow A \rightarrow B$ という経路を通り, 発話は $B \rightarrow M \rightarrow m$, 復唱は $a \rightarrow A \rightarrow M \rightarrow m$ となる。

6 二重乖離の原則

ブローカは話すことはできないが聴理解はできる患者について記載したが、ウィルニックは逆に、発話生成は保持されているが理解が損なわれてるパターンを観察した。この意味で、聴理解と発話生成とは二重に乖離しているという。二重乖離は神経心理学にとって重要な概念である。ただし、強い二重乖離と弱い二重乖離があり、弱い二重乖離は単一メカニズムで説明可能である。

7 機能的脳画像研究法

1970年代中ごろから、脳イメージング法が開発されてきた。研究者はイメージング技法を用いることで、生体内 in-vivo で脳の構造や機能を測定することが可能となった。それまでは検死解剖 post-mortem によって確認するしかなかった。検死解剖では被験者が死亡後になるので、病変の進行を調べる方法が事実上無かった。

PET: Positron emission tomography 陽電子放射断層撮影法。活動中のニューロンが多くのグルコース（細胞が活動する際のエネルギー源となる）を消費することを利用して。被験者はスキャン直前にグルコースにラベルした少量の放射性物質を注射される。この放射活動をスキャナーで検出すると、脳の活動している領域を調べることができる。

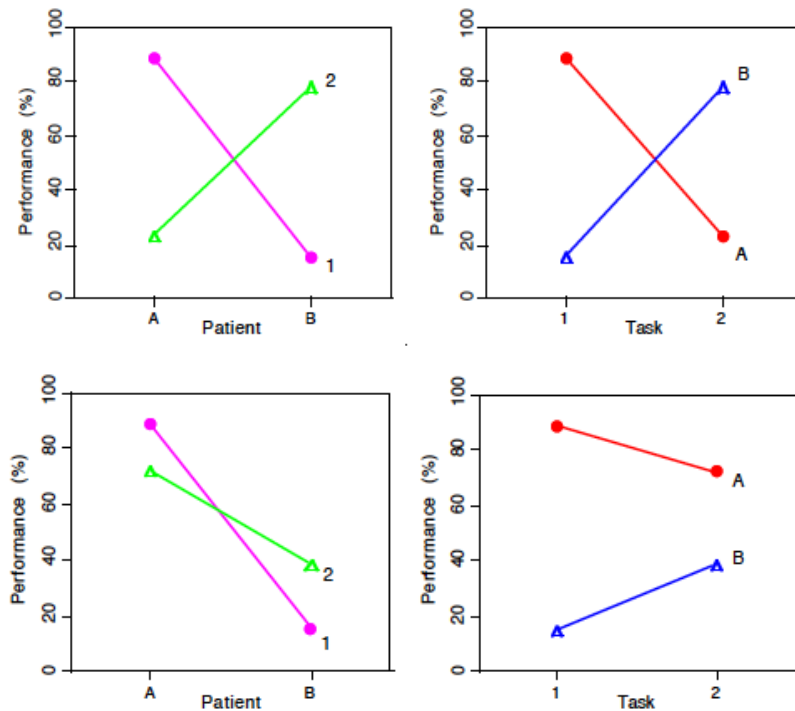


図 8: 強い二重乖離と弱い二重乖離。Bullinaria, 1999 より

CT: computerized tomography コンピュータ断層撮影法, またはコンピュータ軸位断層撮影法 CAT computerized axial tomography という。被験者の頭部を低レベルの X 線放射で調べる方法である。CT スキャンでは機能的な活性化を調べることはできないが, 構造変化をとらえることができる。

MRI: magnetic resonance imaging 磁気共鳴画像法。強力な磁場もとで水素原子が高周波によって活性化された際に放出する波を測定することによって高解像度の画像を得ることができる。MRI では三次元の映像を得ることも出来る。

fMRI: functional magnetic resonance imaging は活動している脳部位の血流中の酸素の増加を画像にするものである。MRI は PET に比べて, 被験者に放射性同位元素を注射しなくても良い点, 同一イメージング技法によって脳の構造と機能とを測定できる点, 3次元画像を得ることができる点, 解像度が高い点などが優れている。

MEG: magnetoencephalography 脳磁図。頭蓋表面の磁場がその直下の神経活動パターンを反映していることを利用して, 脳の活動を調べる方法である。

SPECT: single photon emission computerized tomography 単一光子放射コンピュータ断層撮影法。PET に比べて画質がやや劣るし, 測定に時間がかかる。

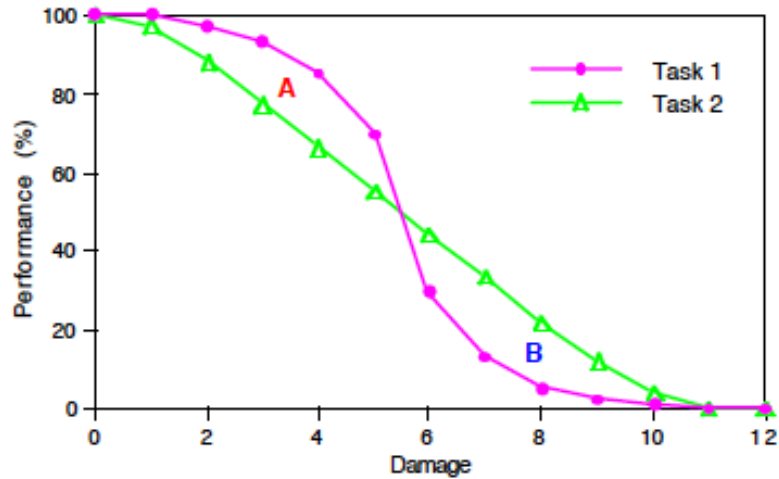


図 9: 損傷ごとの崩落曲線の差

	左半球病変	右半球病変
右利き	97.5%	2.5%
左利き	68.2%	31.8%

NIRS: Near Infra-Red Spectroscopic Topography 光トポグラフィー。近赤外光を用いて頭皮上から非侵襲的に脳機能マッピングする方法。近赤外線（波長：800nm 付近）は頭皮・頭蓋骨を容易に透過して頭蓋内に広がってゆく。その反射光を 10-30 mm 離れた頭皮上の点で計測すると、脳活動の様子が、ヘモグロビン（Hb）の増減や酸素交換情報に伴う指標で計測できる。

8 言語の左半球局在性

左右の大脳半球は非対称的であり、上側頭回後方のシルヴィウス裂に埋もれた領域は側頭平面と呼ばれ、左半球ではウィルニッケ野であり一般に左半球側で大きい。この側頭平面の左右差は新生児の脳においても認められ、胎児期後期（31 週）になるとすでに生じていると言われている。胎児期から左右半球に差があるとすると利き手によって機能局在が決まるとする説は否定されるだろう。

胎児期の大脳半球の左右差が生じるメカニズムについては、生理的細胞死¹によるもの

¹アポトーシス (apoptosis) と呼ばれる。多細胞生物の体を構成する細胞の死に方の一種で、個体をより良い状態に保つために積極的に引き起こされる、管理・調節された細胞の自殺すなわちプログラムされた細胞死のこと。多細胞動物の生体内では、癌化した細胞（そのほか内部に異常を起こした細胞）のほとんどは、アポトーシスによって取り除かれ続けており、これにより、ほとんどの腫瘍の成長は未然に防がれていることが知られている。また、生物の発生過程では、あらかじめ決まった時期、決まった場所で細胞死が起こり（プログラムされた細胞

とされている。すなわち、胎児期には神経管から神経細胞が作られ、徐々に外側に移動して脳を含む中枢系ができあがってくる。このとき一旦作られた神経細胞の一部は自然に死滅していく。発生時の神経系では、まず初めに必要以上の余分な神経細胞が生産され、ついでその中から必要な部分だけが残されて不要な細胞がしまつされる。側頭平面においては右半球の方で多くアポトーシスが生じ、結果として左半球の側頭平面が大きくなると考えられている。

8.1 離断脳 split brain

スペリーとガザニガは、てんかん発作²を押さえるために脳梁を切断された患者に対して、タキストスコープと呼ばれる視覚刺激提示装置を用いて瞬間的に提示された情報がどのように認識されるのかを調べた。この手術を施された患者は、大脳皮質そのものには外科的手術侵襲が加えられていない。すなわち大脳皮質には障害がない。このため左右の大脳半球に対して別々の視覚刺激を与えることで、それぞれの半球を個別に刺激することが可能となる。視覚系では、左右の視野に与えられた刺激は、左右半球に別々に到達する。すなわち左視野の情報は右半球に到達し、右視野の情報は左視野に到達する。これは、網膜の視神経線維が視交叉で、視野の外側に由来する情報は交叉せず、内側に由来する情報だけが交叉して、結果として左右視野の情報が反対側の半球に到達するからである。左右の視野を別々に刺激するために、あらかじめ視野の中央に注視点を提示し、サッケード眼球運動が起こるよりも短い間、瞬間的に刺激を提示すれば、左右の半球のいずれか一方だけに刺激を与えることができる。

スペリーとガザニガは、離断脳患者の左右の視野に、瞬間提示法によって物品の絵を見せ、それが何であるかをことばで答えさせた。すると患者は、右視野に提示した物品の名前は容易に呼称できた。一方、左視野に提示された刺激は呼称することができなかった。ところが、いくつかの選択肢の中から、左手で手探りで、提示された刺激を選び出す課題では正答することができた。すなわち離断脳患者の右半球の視覚情報処理は、言語野の存在する左半球に到達しないため言語課題では正解できない。にもかかわらず、提示された刺激を示す物品を手探りで探す課題では言語処理能力が必要ない。それで、左手でものを探す課題では正解できたと考えられる。

同様のことは、左右の視野に文字刺激を提示し音読させた場合にも起こった。患者は右視野に提示した単語の音読は正常だが、左視野に提示した単語は音読することができない。

死)これが生物の形態変化などの原動力として働いているが、この細胞死もアポトーシスの仕組みによって起こる。例えばオタマジャクシからカエルに変態する際に尻尾がなくなるのはアポトーシスによる。線虫では発生において起こるアポトーシスがすべて記載されている。人の指の形成過程も、はじめ指の間に埋まった状態で形成し、それからアポトーシスによって指の間の細胞が予定死して指ができる。さらに免疫系でも自己抗原に反応する細胞の除去など重要な役割を果たす。シドニー・ブレナーらはこの業績により2002年ノーベル生理学・医学賞を受賞している。

—Wikipedia より

²大脳のどこかにてんかん発作の焦点がある患者は、左右の脳をつなぐ脳梁を切断し、一方の半球から他方の半球へとてんかん発作が伝播するのを押さえる手術が行なわれていた時期があった。このような手術を行なわなければ、発作が左右の半球全体に広がり全身けいれんや意識消失を引き起こすからである。現在では薬理的な処置を施すため、脳梁切断手術は行なわれていない。

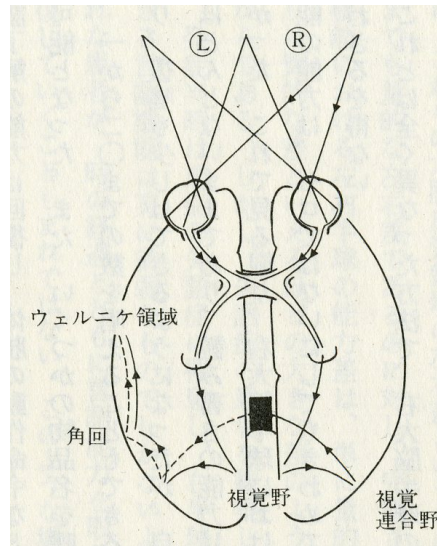


図 10: 視交差と左右半球

しかしこの場合でも患者は左手で手探りで物品を選び出すことができた。

ガザニガはさらに、左右の両視野に異なった単語をつぎつぎに瞬間提示する心理実験を行なった。左右の両視野に提示した単語列がそれぞれ別の文を形成するようにして、これを読ませるといふ実験である。図 12 はその例であり、右視野には“Ann come into town today” という五単語からなる文が、左視野には“Mary may visit the ship” という文が提示された。これを患者に提示したところ、健常統制群の正常者は、「アンは今日待ちにやってくる」という右視野に提示された文章と、「メアリーは船を訪れるかも知れません」という左視野に提示された文章の両方を読むことができた。ところが、離断脳患者は、右視野に提示された文書だけを読んだ。そのときのプロトコルは以下のとおりである。

P.S.: Ann come into town today.

E. : Anything else?

P.S.: On a ship.

E. : Who ?

P.S.: Ma.

E. : What else?

P.S.: To visit.

E. : What else?

P.S.: To see Mary Ann.

E. : Now repeat the whole story.

P.S.: Ma ought to come into town today to visit Mary Ann on the boat.

すなわち、患者は「お母さんは今日ボートに乗ってるメアリー・アンを訪ねに待ちにくるべきだ」と答えた。

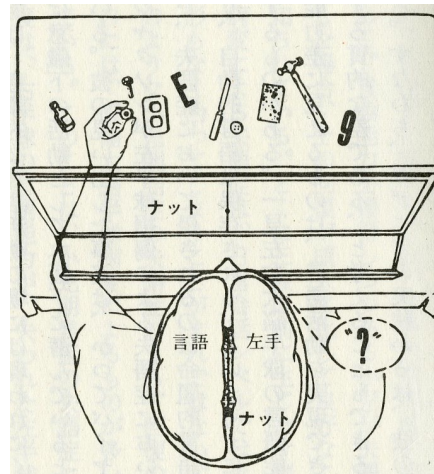


図 11: スペリーとガザニガによる離断脳患者の実験

この結果からガザニガは、左右半球の言語能力の差は従来考えられてきたほど質的なものではなく、量的な差に過ぎないと結論づけた。しかし、言語の左右差 laterality は大きく、皮質領域の面積差以上のものがあると言わなければならない。

全体と部分の処理の違いと左右の視差については、図 13 のように、左右両視野に異なったキメラ図を提示し、見えた図をサンプルから選ぶように教示すると、患者は左視野に見えたものだけを選択し、右視野に提示された半分はほとんど無視された。しかし、何が見えたかを答える言語的反応では、右視野が優位となった。すなわち、左右半球の成績差に言語が関与している場合と非言語的な処理との間で顕著な差異が観察された。

リングの絵を分離脳患者の右視野に提示すると、左半球がその情報を受け取り蓄積していることを示すために、2つのことができる。左半球は言語半球であるために単にリングの絵が見えますと被験者は実験者に告げることができる。被験者は右手で棚板の下のものを触り、リングを取り出すことも出来る。リングを左視野に提示した場合、患者はスクリーン上には何も見えないと訴える。患者が左視野や左手に提示された対象物を認識できないと訴えている間、左手では棚板の下で対象物を正しくつかむことができた。

Levy らは患者にタキストスコープを使って半分顔のペアからなる刺激図形を瞬間提示した。例えば左半分は少女の顔で右半分は男性の老人の顔からできている。凝視点は鼻梁のあたりにくるようにしてある。患者に見たものを報告するように教示すると、男の完全な顔が見えたという。左の言語半球に右半分のイメージが投影されることから、これは仮説どおりである。一方、いくつかの完全顔のセットから見たものを選ぶようにさせると必ず、少女の顔を選ぶ。この実験は右半球が顔の認知に重要な役割を果たしていることを示している。

分離脳患者の実験では、人間でも分離脳患者は2つの独立した脳を持っており、それぞれが自身の意識、能力、記憶、感情を有していた。多くの分離脳患者の左半球は会話可能であるが、右半球はそうではない。

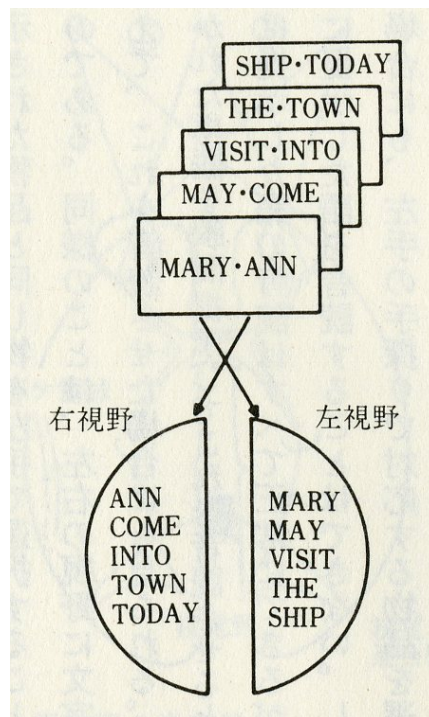


図 12: スペリーとガザニガによる離断脳患者の文字認知実験

8.2 半側空間無視

脳損傷患者の観察からは、注意機能の右半球優位が報告されている。患者はしばしば、視空間の左半分を無視する。図形の模写や、横に引いた線分の二等分割課題では右半球損傷患者では、左半側空間無視がしばしば観察される。

これに対し、左半球損傷によって右半側空間無視が生じる割合は極めて少ない。このことから、**左半球は、右視野に対する注意機構だけを持っている。一方右半球は左右どちらの視野に対しても注意を向ける能力を持っている**と言われている。

ミラノに住む半側空間無視の患者にドーモ広場（ゴシック様式の大聖堂のあるミラノの中心）から見た景色について述べてもらった場合、大聖堂を見ながら広場を眺めてもらう条件と、大聖堂の階段に腰掛けて反対方向をイメージする条件では、患者の記述の中で省略される項目は、患者がイメージした観察方向に依存していることが見出された (Bisiach and Luzzati, 1978)。すなわち反側空間無視の患者では、実視覚において無視が存在するだけでなく、イメージの想起においても反側空間無視が存在することを示している。

図 16 は半側空間無視患者が描いた自画像である。この患者は硬膜下血腫によって左半側空間無視を生じ、左のような自画像を描いた。その後手術によって硬膜下血腫が取り除かれ、半側空間無視が消失してから描いた自画像が図右である。

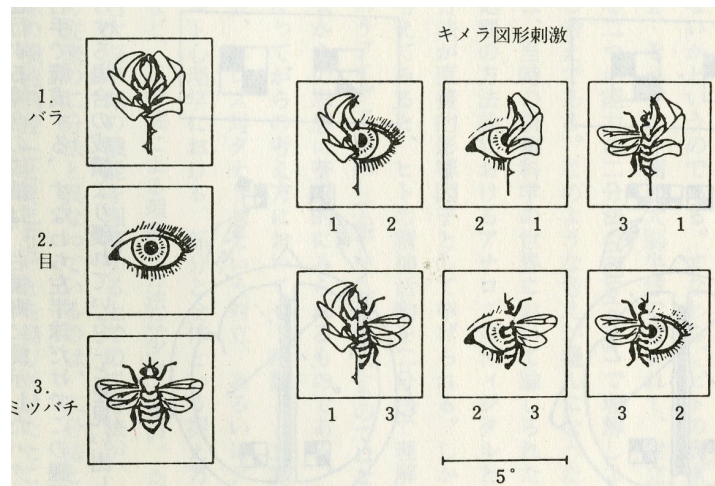


図 13: スペリーとガザニガによる離断脳患者の文字認知実験

9 言語の病理

脳梗塞，脳腫瘍，脳血栓，脳挫傷などによって脳の一部に障害が生じると特に我々ホモサピエンスにおいて進化した高次精神機能である言語の諸機能が犯されることがある．このような脳の障害によって生じた臨床解剖学的所見から言語の脳内機構に迫ろうとするアプローチを神経心理学 (neuropsychology) と言う．我が国において，神経心理学の標準的な教科書は，エカアンとアルパート (1978)，笹沼 (1979)，山鳥 (1985)，杉下 (1985)，岩田 (1996)，などが挙げられる．これらの中には現在入手困難な文献もあるが杉下の文献は 2004 年に講談社から文庫版として出版され比較的手に入りやすい．

一般に脳の障害によって生ずる言語の諸機能の障害を失語症と呼ぶ．言語の諸側面，すなわち，話す，聞く，読む，書くの 4 つがそれぞれ単独に犯される場合がある．話すことだけでできなくなると純粹語啞，聞くことだけの障害を純粹語聾 (ごろう)，読みだけのそれを純粹失読，書字だけの選択的な障害を純粹失書と呼ぶ．古典的な神経心理学の視点からは，このような純粹例が脳と言語の機能の解明にとって重要だと考えられてきた．その理由は純粹例で脳のどの部分が損傷されているかを調べることにより，脳のどの部分にどのような機能が局在しているかを知ることができると考えられてきたからである．後に述べるように，このような単純な純粹例イコール脳の機能局在化という古典的な神経心理学的発想は，歴史的な価値はあっても，現在では通用するとは言いがたい．近年の機能的脳画像技術の進歩により，単純な言語課題を処理している間でも我々の脳はさまざま部位が活性化され，その複雑なネットワークの結果として言語の諸機能が現出すると考えるべきだからである．

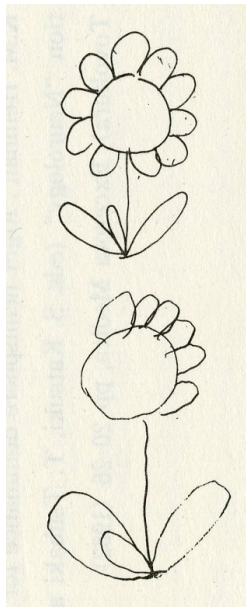


図 14: 花の模写課題，半側空間無視の患者の模写例

10 言語における病理研究の歴史

近代的な言語の病理研究は，一般にブローカ (Broca) による言語野の発見から始まるとされる．ブローカは 1861 年に，左半球前頭葉後部 (下前頭回腹側部，弁蓋部と三角部を含むブロードマン (Brodmann) の 44 野と 45 野に相当する部位が障害を受けると，発話が困難になることを見出した．岩田 (1996, p.8) によれば，ブローカは，この領野を話しことばにおける構音運動の協調性を保つ中枢であると考えた．

続いて 1874 年ウィルニッケ (Wernicke) は，左半球上側頭回後部 (ブロードマンの 22 野の後半部) には，言語的な要素だけを処理する聴覚的記憶心像の座があることを発表した．ウィルニッケ，およびその後リヒトハイム (Lichtheim) によって図式化されたモデルは発話運動の座である左下前頭回後部と，語音の聴覚記憶心像である左上側頭回後部という二つの皮質領域を相互に結ぶ結合，およびその相互作用が言語機能の本質であるという考え方を確立させた．ブローカが見出し，ウィルニッケによって，二つの領野の結合によって言語機能を説明しようとした考え方を古典的連合主義と呼ぶ．

上述のような古典的連合主義，および，それに基づく機能局在性仮説 (locality assumption) は，マリー (Marie) らによる全体論からの批判や，マリーとデジャリン (Dejerine) との論争などを経て，狭義の意味での局在論は否定されるようになり，次第に忘れ去られたものとなっていった．

その後，ゲシュヴィンド (Geschwind, 1965) は離断症候群 (disconnexion syndromes) と呼ばれる論文を発表し，様々な言語活動は脳内の連合野とその繊維連絡によってなされているという説を唱え古典的連合主義的局在説の正統性を主張した．ほぼ同じ時期に，ペン

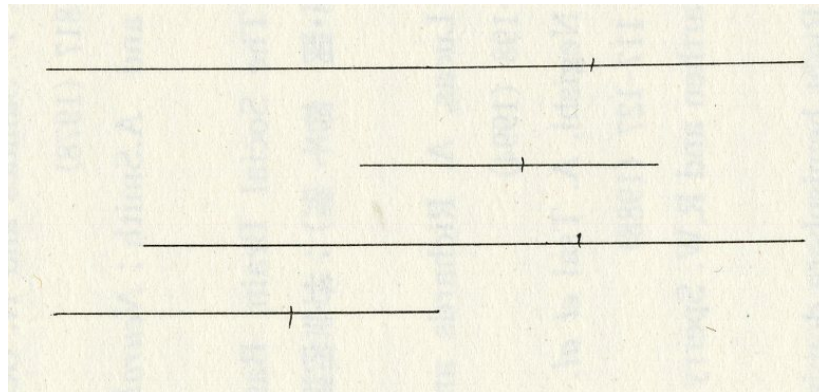


図 15: 線分二等分課題，半側空間無視の患者の例

フィールド (Penfield) は脳外手術中の局所麻酔下において皮質の微小電気刺激実験を行い，運動野や体性感覚野において機能局在が観察されることを示し，局在仮説が再認識されるようになった。

その後 1970 年代後半にコンピュータ断層撮影 (X 線 CT スキャン) が開発され，神経心理学における研究の発展が加速されるようになる。それまでの失語症研究では，臨床的に詳細なデータが収集されても，死後の剖検 (autopsy) による以外にはその責任病巣を特定する方法が存在しなかった。臨床観察の時点と剖検の時点とが時間的に隔たっていると，その間に新たな脳病変が加わってしまう可能性があり，詳細な臨床所見と病理的所見との対応をとることができなくなる。また逆に剖検が詳細に行われたとしても，生前の神経心理学的症状の記述が不十分であれば価値ある研究にならない。このため失語症研究の実証的な研究は遅々として進まなかった。

この脳画像の可視化技術の進歩によって病巣部位を簡単に直視できるようになり，信頼できるデータが確実に蓄積されるようになった。とりわけ近年では，脳画像診断技術の進歩によって臨床所見と病巣部位との対応がより容易になっている。磁気共鳴画像法 (MRI:magnetic resonance imaging)，陽電子放射断層撮影法 (PET:positron emission tomography)，単一光子放射型コンピュータ断層撮影法 (SPECT:single photon-emission computed tomography)，さらに機能的磁気共鳴画像法 (functional MRI) などの技術が実用段階に入り，脳の構造と機能の時間的，空間的解像度が向上し，こうした画像診断技術によって客観的な解析が行えるようになった。結果，膨大な数の論文が生まれ一口に言語の障害と言っても，簡単には語れないようになって来ている。

このような機能的脳画像技術の進歩によって明らかにされてきたことは，単純な言語課題を遂行するときでさえ，きわめて多くの部位が関与していることが明らかになったことである。現在までに，言語に関わる領野として，ほぼ合意が得られていると考えられるの部位は，左半球前頭葉後部 (弁蓋部と三角部を含む下前頭回腹側部，いわゆるブローカ野，ブロードマンの 44, 45 野)。ただし，岩田 (1996, p.44-51) は 44 野と 45 野の間には機能的な差異があると主張している。左半球上側頭回後部 (ウィルニッケ野，ブロードマンの

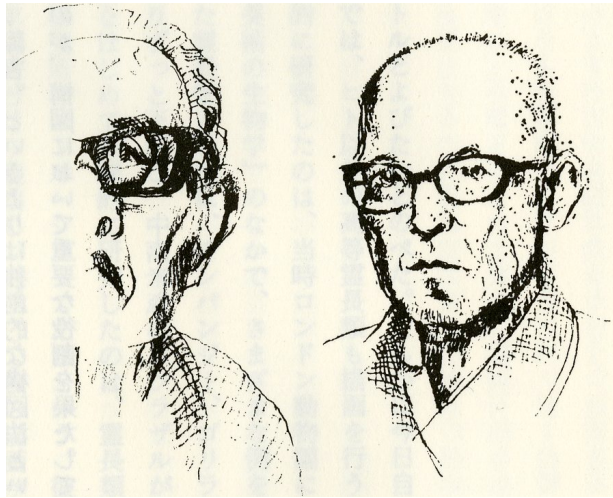


図 16: 半側空間無視患者の自画像。井上ら, 1974 より

22 野後半部), 左頭頂後方下部領域, すなわち, 角回 (angular gyrus) ブロードマンの 39 野と縁上回 (supramarginal gyrus) 同 40 野 (パウレス, フリス, フラッコウイク Paulesu, Frith and Frackowiak, 1993 など), 上前頭回後部, 補足運動野と運動野の一部 (ブロードマンの 4 野と 6 野) これはペンフィールドとラスミュッセン (Penfield and Rasmussen, 1950, 邦訳 p.142, 図 55) らの皮質への電気刺激によって明らかにされた。さらに側頭後頭部外側下面 (同 20 野, 21 野) などである。そのほかにも島 (insula) 皮質を挙げる研究者もいる (Dronkers, 1996)。皮質下領域としては, 大脳基底核 (basal ganglia), 尾状核 caudate nuclei, 被殻 putamen, 淡蒼球 globus pallidus, 視床 thalamus, 視床枕 pulvinar) であり, これらの領域の損傷によって失語症的症候を発症するという報告もなされている。様々な種類の言語の病理が存在するが, その責任病巣はほとんど左半球に局在化 (側性化 lateralization) している。これら各部位がどのような言語行為の機能的役割をになっているのかは今後の課題である。

このように言語とは特定の脳の一領域に局在したモジュールとしてとらえるのではなく, 脳全体の複雑なネットワークの計算結果として考えるべきものである。このような現代的な意味でのネットワークの一部として種々の言語機能を遂行するために各領域が機能していると考えられる。

言語の病理, 失語症研究における近年の, もう一つの大きな変化は, 言語学, 認知科学, 認知心理学などの影響から認知神経心理学と呼ばれる分野が形成されるに至ったことである。さらに 1980 年代後半からニューラルネットワークモデル (あるいはコネクショニストモデルともいう) の理論的なモデルが症例の理解のために導入され, これらの分野の研究者が失語症研究にかかわるようになって, 理論的な検討も大きく変容しつつある。

11 失語症の種類

冒頭で述べたとおり、話す、聞く、読む、書くの4つがそれぞれ単独に犯される場合があるが、失語症の分類としては、話すことの障害に構音障害、喚語障害、統語障害の3つを区別し、さらに復唱の障害を加えて計7つの障害を区別することがある(笹沼,1979)。

構音障害とは、発生に関与する筋肉の麻痺や失調が認められないにもかかわらず発話の際の構音動作の選択、開始、移行に障害を認める場合をいう。喚語障害とは意図した言葉を必要に応じて適切に用いることができない状態をいう。統語障害とは単語レベルでは自由に使えるようになってもしっかりとした文を作る機能がきわだって障害されている場合をいう。

失語症候群の分類としては、ブローカ失語(運動性失語)、ウィルニッケ失語(感覚性失語)、失名詞失語(健忘失語)、伝導失語、超皮質性失語、全失語とに分類されることがある。

ブローカ失語の特徴は発話開始時のとまどい、模索、プロソディーの障害など非流暢な発話である。ウィルニッケ失語では聴覚的理解の障害が顕著であり、発話については錯語(語性、音韻性)や錯文法が頻発し、内容の混乱した発話になることが特徴である。失名詞失語の患者は流暢で文法的に正しい言葉を話すにもかかわらず、きわだった喚語困難を示し、内容の無い発話になる。錯誤は無く、聴覚的理解も比較的良く保たれている点がウィルニッケ失語と異なる。伝導失語においては復唱が選択的に障害され、他の言語機能は比較的良く保たれているタイプである。超皮質性失語は伝導失語と反対に復唱能力以外の言語機能が全般的に重篤な障害を呈する。全失語はすべての言語機能が重篤に障害され、通常訓練による改善が期待できない。

さらに、失読失書(alexia with agraphia)、失読を伴わない純粋失書(pure agraphia あるいは dysgraphia)、失書を伴わない純粋失読(pure alexia)、失文法(agrammatism あるいは dysgrammatism)、反響言語(echolalia)などが挙げられる。しかし、厳密な意味では、失語症の患者を詳細に調べても、純粋なタイプの失語に出会うことは決してないと言われている。

失読失書とは、言語理解、発話、復唱は正常に保たれているにもかかわらず、読字と書字に強い障害を認めるものをいう。純粋失書は、失行、失認、失語などを伴わず書字障害のみの病態をいう(山鳥,1985)。純粋失読では自発語、復唱、言語理解などの音声言語は正常であるにもかかわらず、読字能力のみが侵される。純粋失読症患者は色名称障害(color naming deficit)を併発することが多いとされている。純粋失読と色名称障害とが同時に侵されることから、視覚情報を音韻へと変換する経路が存在し、この経路が両者を一括して処理している可能性が示唆される。また、純粋失読の患者に、読めない文字を手でなぞらせる、いわゆる「なぞり読み」をさせると発話が可能になることがある。このことは、感覚運動性の入力から読字に至る何らかの経路が存在することを示唆していると考えられる。

反響言語(echolalia)とは、言語理解と自発的発話に重度の障害があるにもかかわらず復唱能力が保たれている症状をいう。ゲシュヴィンド(1965, 邦訳 p.159)によれば、反響言語は言語野の孤立によって生じるとされる。すなわちウィルニッケ野もブローカ野も健全で、かつ両者を結ぶ繊維連絡も保たれているが、これら健全な言語野を囲むすべての皮質部分で広範に梗塞が示されている場合である。このため復唱は可能であるし、発症後に聴いた歌までもできたという。

反響言語の存在が示す重要な点は、言語はいわゆる言語野だけで独立して営まれているのではなく、脳全体の計算結果であるという証拠とみなすことができることである。このことは、近年盛んに行われている機能的脳画像技術の進歩によって明らかにされてきた、言語活動には多くの領野が関与しているという知見と合致すると考えられよう。

古典的モデルでは問題になる点がいくつか指摘できる。例えば、ブローカ野に限局する病変があっても永続的なブローカ失語を生じることは滅多になく、発症後数週間で部分的に回復したり、まったく問題がなくなることがあるからである。同様にブローカ野、ウィルニッケ野に損傷が認められても対応する失語症が生じないこともある。この意味では、ブローカ野、ウィルニッケ野という解剖学的領野が存在するのではなく、それぞれの領野で言語活動に関与する機能的部位が存在すると考えたほうがよいと思われる。

先に述べたとおり、古典的モデルは患者の症状を良く説明し、現在でも失語症例の説明に用いられている。一つは他により良いモデルが存在しなかったことが挙げられるだろう。だがしかし、これも先に述べたとおり、言語活動には多くの部位が関与しており、脳全体の計算結果とみなさなければならないことを示している今日の技術的な進歩により、この古典的モデルも変更されなければならないだろう。たとえば、関係代名詞を用いた中央埋め込み (center-embedded) 文の構文解析と右分岐 (right-branching) 文の構文解析との差が、ブローカ野、特に弁蓋部の局所血流量 (rCBF: regional cerebral blood flow) の差異として観測された (構文解析としては、より複雑な中央埋め込み文の方が rCBF の増加が大き) という PET 研究 (Stromswold et al. 1996) (ただしこの研究の場合、中央埋め込み文の方が記憶負荷が高いだけであるという可能性も否定できない) や、音韻貯蔵 (phonological store) は左縁上回に局在化し、発声を伴わないリハーサル (subvocal rehearsal) システムがブローカ野に存在するという PET のデータ (Paulesu, Frith, and Frackowiak 1993) もある。一方、古典的見解である発話運動に関与していることを主張する研究もある。こうして、脳損傷患者の神経心理学的データと機能的脳画像データは結びつけられ、多く新しい事実が次々に明らかになってきている。おそらく数年後の神経心理学や、失語症を扱った教科書には、今までとまったく異なった記述がなされていることだろう。

12 側頭葉における概念地図

ダマジオら (Damasio et al., 1996) によれば、写真や絵画から対応する語彙を呼称する場合、概念は下側頭葉極から下側頭葉後部にかけて、有名人の顔、動物、道具の順に並んでいるという。左側頭極 (ブロードマンの 38 野に相当すると考えられる) が侵されると、有名人の名前 (固有名詞) の呼称が困難になり、20 野と思われる領野が侵されると動物の名前 (ダマジオらは、正確な動物名が想起できなくても、その概念が想起—たとえばスカンクの絵を提示したときに、近寄ると臭い匂いを発する動物であると答えるなど—できれば正解とみなしている、したがって厳密には彼女らは物体の呼称障害を問題にしているのではなく、その概念の想起を問題にしている) が想起できなくなる。そしておそらく 37 野か 19 野の損傷によって道具の想起が困難になる。彼女らは、127 名の脳損傷患者のうち 30 名について、上記のような想起障害を呈する患者を調べた。その結果、側頭葉の単一の限

局された障害によっては、有名人、動物、道具の組合せのうち、有名人と道具の両者を同時に想起できなかった例は存在しないことを報告した。このことを確認するために、健常者 PET によるデータから、このような概念の地図が確認されたと報告している。

ダマジオとダマジオ (Damasio and Damasio, 1992) の主張によれば、側頭葉の前部から中部にかけての皮質に損傷がある患者では、単語の想起障害を生じる。概念の保持は正常だが、自分の知っているものに対応する単語を想起できず、わかっている名前を言えない。単語の想起の障害は、想起しようとしている事物のカテゴリーによって異なっている。例えば道具に関する名詞は、動物、果物、野菜に関する名詞より想起しやすい。このような患者は動詞についての障害はない。また、語彙を媒介する特定の部位が存在する。概念と単語生成を媒介するこの神経回路は後頭葉から側頭葉にかけての部分に広がっている。一般的な概念の媒介系は左側頭葉の後ろの方にあり、特殊な概念の媒介系は、左側頭葉の前方の側頭極付近にあると思われる。以上のことはゲシュヴィンドが 1965 年に主張していたことでもある、すなわち“言語は、ウィルニッケ領野で「理解」されるのではない”(Geschwind, 1965, 邦訳 p.160)

また、ダマジオとトランネル (Damasio and Tranel, 1993) は名詞と動詞とで異なる部位に表象が存在すると主張している。さらに、岩田 (1996, p.125) は左側頭葉下面、紡錘状回 (fusiform gyrus, ブロードマンの 37 野) の前部に辞書機能が存在する可能性を指摘している。

13 領域特殊性

特定の概念についてだけ選択的に障害が生じることがある。この場合、生物、非生物、動物、家具、道具、人工物などの概念が選択的に障害を受ける。ある特定の概念に関する知識が損なわれても、他の概念は正常の範囲に保たれていることが多い。先述のとおり、概念は左側頭葉に貯蔵されていると考えられている。このような神経心理学的症状を素朴に考えれば、意味記憶の構成はカテゴリー特異的 (category-specific) であると考えられる。しかし、意味記憶の構成はカテゴリー特異的ではなく、感覚モダリティーに依存した表象、モダリティー特異的 (modality-specific) をではないかという主張もある。たとえば、生物は主に感覚的な性質によって互いを区別することが多いが、非生物は主に機能によって分類される。ある動物、例えばヒョウは、他の肉食動物と比べて主に視覚的な特徴によって差別化される。これとは対照的に、机の知識については、他の家具との違いを記述するときには主に機能、すなわち何のために使うのか、によって差別化される。それゆえ、障害のある知識と健全に保たれている知識との違いは、生物-非生物の違いではなく、対象を記述している特徴が感覚-機能の違いであるかも知れない。

しかし、ファラーとマクレランド (Farah and McClelland, 1991) の行なったニューラルネットワークによるシミュレーションではモダリティーに依存した意味記憶表象を考えれば、カテゴリーに基づく意味記憶表象を説明可能である。このように、意味記憶の構造についても確定した定説が存在するわけではなく、今後の研究課題として残されている部分である。

14 難読症 (Dyslexia) あるいは失読症 (Alexia)

文字の読みにおいて重要だと考えられているのが、角回、縁上回である。これらの領野の役割については、視覚性の言語刺激(文字)を音韻に変換する際に重要な役割を果たすという説(ウィルニッケやゲシュヴィンド)が一般的であるが、角回は文字の視覚心像が蓄えられているとするデジャリンの説もある。山鳥(1985, p.240)によれば、左角回に損傷を生じると、発話困難がなく、しかも視覚認知機能は正常に保たれているにもかかわらず失読失書が起こる。一方、角回直下の白質(繊維連絡)が犯されると、書字機能も保たれているにもかかわらず、書かれた文字を読むことができない純粹失読(pure alexia)と呼ばれる症状が生じるとされている。ゲシュヴィンド(1965)によれば、角回は視覚文字—音韻変換の中継路ではなく、聴覚、視覚、触覚の連合野の中間に位置する「連合野相互の連合野」として、異種感覚記憶痕跡間の連合を営む領域であるとされている。もしこの仮説が正しいのなら角回は特定の感覚モダリティによらない抽象的な言語表象がこの領野で表象されていることになる。角回、縁上回を含む頭頂後頭連合野はフレヒズィヒ(Flechsig)のいう髓鞘化の時期がもっとも遅い領域にあたる(Geschwind, 1965, 邦訳 p.56)ことから、霊長類、特にヒトにおいて特化した領野であるということが出来る。

PETを用いた脳の活性化を調べた研究では、言語課題によってブローカ野に相当する領域には活性化が見られることがほぼ合意が得られていると考えられる。しかし、日本語の処理においては、角回については活性化が見出されていないという意見もあり(山鳥・河村, 2000, p.68-70)、脳損傷患者のデータと機能的脳画像研究のデータとの差異が問題となっている。

縁上回については、PETを用いた研究で音韻の貯蔵がなされているという報告がある(パウレス, フリス, フラッコウィック, Paulesu, Frith, and Frackowiak, 1993)。

14.1 3つの失読症

読みの障害には3種類ある。音韻失読症(phonological dyslexia)、表層失読症(surface dyslexia)、深層失読症(deep dyslexia)、である。

1. 音韻失読(phonological dyslexia) 音韻性失読症の患者は実在する単語は読むことができるし、非単語を書き取ることもできるし、復唱することもできるが、非単語を読むことができない。例えば must は読むことができても実際には存在しないが発音可能な単語 must を発音することができない。
2. 表層失読(surface dyslexia) 表層失読の患者は、一貫語や非単語を読むことができるが、低頻度の例外語を読むことができない(例えば yacht)。表層失読の患者は視覚性の誤り(dog を dot と言ったりする)もするが意味の誤りはない。表層失読は左側頭葉後下部であるという報告もあるが、一般に認められるには至っていない。
3. 深層失読(deep dyslexia) 深層失読の患者は音韻失読の患者と同じく非単語を読むことができない。このことに加えて、深層失読の患者は意味性錯読(semantic paralexia)

を示す．例えば dog を cat と言ったりする．また，視覚性の誤りを示すことがある．ときには上記二つの混ぜ合わさった読みの誤り，たとえば sympathy を orchestra と言ったりする（おそらく sympathy と綴りの似ている symphony を介して）．この種の患者は，抽象語と具体語の成績にも差があることがある．

音韻失読と表層失読の症状を説明するための心理学的モデルとしては，コルトハートら (Coltheart et al., 2001) による二重経路モデル (Dual Route Cascaded model) とプラウトら (Plaut et al., 1996) によるトライアングルモデル (Triangle model) がある (11.1.2 参照) ．

14.2 漢字と仮名の乖離

日本語との関連で言及すべきは，仮名と漢字の処理についてであろう．カタカナや平仮名は，読みにおいて例外がほとんどない表層書記素 (transparent or shallow orthography) を持つ言語であり，漢字は前後の文字によって発音が異なるという意味で，深層書記素 (deep orthography) を持つ言語であるといえる．日本語に読みの処理においては未だに結論は出ていない状況である．先に述べた角回の役割について，日本語との関連で言えば，漢字と仮名の処理が乖離している可能性が報告されており，角回の病変では仮名が，側頭葉後下部の病変では漢字の処理が，障害を受けるという報告がなされている．だが，漢字仮名の乖離については疑問視する研究者もいる (Sugishita et al., 1992) ．筆者は杉下らの批判に対して疑義を唱えるべき点があると考えているが，本書は辞書であって論文ではない．批判は別途論文上で行うことにし，ここではこれ以上立ちないことにする．

15 発達性難読症

英語圏の人たちの間では，先天的に文字を読むことが困難な先天性 (発達性) 難読症 (developmental dyslexia あるいは congenital dyslexia) と呼ばれる症状を示す人が人口の 20 % にまで達すると言われている (Shaywitz, 1996) ．重篤な発話言語障害に關与する遺伝子が同定され，マスコミをにぎわしたことは記憶に新しい (Lai et al., 2001) ．純粹な意味での先天性難読症は，いわゆる知的能力とは無関係とされ，たとえば，トーマス・エジソン，アルバート・アインシュタイン，ウィンストン・チャーチル，アガサ・クリスティ，ジョージ・ワシントンなどが難読症であったという．パウレスら (Paulesu et al. 2001) によれば，印刷された文字 (書記素 orthography) とその読み (音韻 phonology) との間にほぼ完全な一対一関係が存在するイタリアにおける難読症の発生率は英語圏の国の発症率の半分以下であるという．パウレスら (Paulesu et al., 1996) は PET を用いた実験で，難読症患者の賦活部位と統制群 (健常者) の賦活部位に差が見られなかったと報告している．彼らの結果によれば，難読症患者と健常者との差位は，それらの部位の活性化の程度である．健常者の方が一貫して活性値が高かった．英語やフランス語のような，書記素と音韻との間に一定の規則性とその規則に従わない特殊な読みが存在する深層書記素 (deep orthography) を持つ言語と，書記素と音韻の組合せに明確な規則が存在し，例外がほとんどない表層書記

素 (transparent or shallow orthography) を持つ言語との差位が、難読症の発生率と関係し、上記3つの言語間で、書記素から音韻への変換処理過程に關与する脳内部位は同一であることから、書記素を音韻へと変換する処理過程には、特定の言語よらない普遍的な処理機構が存在し、その処理機構の活性化の低下が難読症を引き起こしている可能性があると考えられる。

日本においては、発達性難読症の児童と学習障害 (LD: learning disability) や注意欠陥多動性障害 (ADHD: attention deficit hyperactivity disorder) との区別が曖昧であり、言語の病理と発達障害とのどちらに分類するのかが明確ではない。

引用文献

- et al., S. M. (1992). A critical appraisal of neuropsychological correlates of Japanese ideogram (kanji) and phonogram (kana) reading. *Brain*, 115, 1563–1568.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R. & Ziegler, J. (2001). Drc: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108, 204–256.
- Damasio, A. R. & Damasio, H. (1992). Brain and language. *Scientific American*, 267, 88–95. 伊藤正男監修、松本元編、別冊日経サイエンス 107 「脳と心」第8章、「脳と言語」岩田淳・岩田誠訳、日経サイエンス社、1993.
- Damasio, A. R. & Tranel, D. (1993). Nouns and verbs are retrieved with differently distributed neural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90, 4957–4960.
- Damasio, H., Grabowski, T. J., Tranel, D., Hichwa, R. D. & Damasio, A. R. (1996). A neural basis for lexical retrieval. *Nature*, 380(11), 499–505.
- Dronkers, N. F. (1996). A new brain region for coordinating speech articulation. *Nature*, 384, 159–161.
- Farah, M. J. & McClelland, J. L. (1991). A computational model of semantic memory impairment: Modality specificity and emergent category specificity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 120(4), 339–357.
- Geschwind, N. (1965). Disconnexion syndromes in animals and man. *Brain*, 88, 237–294, 585–644. 高次脳機能の基礎，河内十郎訳，1984，新曜社。
- Lai, C. S. L., Fisher, S. E., Hurst, J. A., Vargha-Khadem, F. & Monaco, A. P. (2001). A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder. *Nature*, 413, 519–523.

- Paulesu, E., Démonet, J., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Bruswick, N., Chappa, S., Cossu, G., Habib, M., Frith, C. & Frith, U. (2001). Dyslexia: Cultural diversity and biological unity. *Science*, *291*, 2165–2167.
- Paulesu, E., Frith, C. & Frackowiak, R. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature*, *362*, 342–345.
- Penfield, W. & Rasmussen, T. (1950). *The Cerebral Cortex of Man: A Clinical Study of Localization of Function*. New York: The Macmillan Company. 脳の機能と行動, 岩本隆茂・中原淳一・西里静彦訳, 1986, 福村出版.
- Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S. & Patterson, K. (1996). Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review*, *103*, 56–115.
- Shaywitz, S. E. (1996). Dyslexia. *Scientific American*, *275*, 98–104.
- Stromswold, K., Caplan, D., Alpert, N. & Rauch, S. (1996). Localization of syntactic comprehension by positron emission tomography. *Brain and Language*, *52*, 452–473.
- ヘアカン・アルバート (1978). 神経心理学 (上・下) 安田一郎訳. 東京: 青土社.
- 岩田誠 (1996). 脳とことば. 東京: 共立出版.
- 笹沼澄子 (編) (1979). 失語症とその治療. 東京: 大修館書店.
- 山鳥重 (1985). 神経心理学入門. 東京: 医学書院.
- 山鳥重 & 河村満 (2000). 神経心理学の挑戦. 東京: 医学書院.
- 杉下守弘 (1985). 言語と脳. 東京: 紀伊國屋書店.