《総 説》

脳 機 能 局 在

後 藤 昇* 後 藤 潤*

Functional Localization of the Cerebrum

Noboru Goto*, Jun Goto*

Abstract: The functional localization of the cerebrum is described from the anatomical point of view. In the central nervous system, neurons or nerve fibers with the same function gather to form gray matters or nerve fiber bundles. This article briefly describes and discusses about morphology of the telencephalon, structures of the cerebral cortex and functional localization of the cerebral cortex. On the surface of the telencephalon, there are many sulci and gyri. Several sulci such as the central, lateral, parietooccipital, etc. subdivide the pallium into five lobes: frontal, parietal, occipital, temporal and insular. The insula is covered by the operculi frontale, frontoparietale et temporale. Under the microscopic observation of cerebral cortices, they consist of six cortical layers which vary from part to part. Since Brodmann (1909) divided the cortical areas into 52, we can explain cerebral areas properly for example, Brodmann's cytoarchitectonic areas 4, 3-1-2, 17, 41, 44, etc. Regarding cerebral functional localizations, Broca (1861) proposed first a theory of cerebral functional localization on motor speech after examining a patient with motor aphasia. Penfield and Rasmussen (1950) published a monograph entitled "The cerebral cortex of man: A clinical study of localization of function". They studied cerebral functions at various parts using many patients with brain damages prior to surgical treatments. Their study have covered sensorimotor representation of the body, head and eye movement, representation of autonomic system, vocalization and arrest of speech, secondary sensory and motor representation, vision, hearing and equilibration, memory, sensory perception, etc. This review article plays up several important points of past researches on human beings.

Key words: 身体部位局在 (somatotopic localization), 運動領 (motor area), 知覚領 (sensory area), 言語領 (speech area), 視覚領 (visual area), 聴覚領 (auditory area), 脳機能局在 (cerebral functional localization)

はじめに

中枢神経系は脳と脊髄からなる。さらに顕微鏡レベルでは神経細胞 neuron と神経膠 glia (あるいは neuroglia) と血管 blood vessel が複雑にまとまったものが中枢神経系である。神経細胞は細

胞体 soma とその突起 process に分けられ、神経膠は3種類の固有神経膠(星状膠細胞, 稀突起膠細胞, 小膠細胞)と上衣細胞(脳室の壁を形成)に分けられる。中枢神経系では、同じ働きをする神経細胞が集まる傾向があり、神経細胞体は集まって灰白質を形成し、神経細胞の突起は集まって神経束となって白質を形成する。したがって、広

2001年1月9日受稿

* 昭和大学医学部第二解剖学講座/〒142-8555 東京都品川区旗の台1-5-8
Department of Anatomy, Showa University School of Medicine

い意味での脳の機能の局在は中枢神経系全域のいたるところにあって、灰白質も白質にもそれぞれ機能局在があるということもできるが、通常は大腦皮質のどの部位に特定の機能が担われているかが「脳機能局在」と捉えている。

終脳の形態

終脳は外套 Pallium と大腦核 Nuclei cerebri に分けられる。外套はさらに表層の大腦皮質 cerebral cortex と、深層の大腦髓質 cerebral medullary substance とに分けられる。

大腦核は灰白質の塊で、尾状核・被殻・淡蒼球・前障・扁桃核からなり、尾状核と淡蒼球は合わせて線条体 Corpus striatum, 被殻と淡蒼球を合わせてレンズ核 Nucleus lentiformis というので、全体で4群5核があることになる。線条体は大腦皮質のほぼ全域と線維結合がある。

外套は前頭葉 frontal lobe, 頭頂葉 parietal lobe, 後頭葉 occipital lobe, 側頭葉 temporal

lobe, 島葉 insula からなり、これらは中心溝 central sulcus・外側溝（後枝）lateral sulcus (posterior branch)・頭頂後頭溝 parietooccipital sulcus・後頭前切痕 preoccipital notch などによって分けられている（図1, 2）。なお、外側溝には後枝のほか、前枝と上行枝がある（図1）。前頭葉はヒトで良く発達していて、全脳の約50%の体積を占める¹⁾。

終脳の表面には大腦回 Gyri cerebri と大腦溝 Sulci cerebri があり、そのうちの葉 Lobus を分ける中心溝・外側溝・頭頂後頭溝などは胎生期の20～21週位にできていて、その後出生時までにはほとんど大部分の大腦溝と大腦回が完成する²⁾。前頭葉には上・中・下の前頭回、中心前回と帯状回が、頭頂葉には上・下の頭頂小葉と楔前部が、後頭葉には内側面に頭頂後頭溝と鳥距溝で境される楔部が、側頭葉には上・中・下側頭回などがそれぞれみられる（図1, 2）。外側溝の内部には島（あるいは島葉）があり、その表面を覆う外套の一部をそれぞれ前頭弁蓋 Operculum frontale・

図1 大腦溝と大腦回（左大腦半球外側面）

略号の説明 AGG:角回, AR:前枝（外側溝の）, ASR:上行枝（外側溝の）, CS:中心溝, IFG:下前頭回, IFS:下前頭溝, IPS:頭頂間溝, ITG:下側頭回, ITS:下側頭溝, MFG:中前頭回, MTG:中側頭回, PCG:中心前回, POCG:中心後回, POCS:中心後溝, POS:頭頂後頭溝, PR:後枝（外側溝の）, SFG:上前頭回, SFS:上前頭溝, SMG:縁上回, SPLB:上頭頂小葉, STG:上側頭回, STS:上側頭溝, TOS:横後頭溝, ↑:後頭前切痕

図2 大腦溝と大腦回（左大腦半球内側面，中脳以下の脳幹と小脳を除去）

略号の説明 ACM:前交連, CAS:鳥距溝, CS:中心溝, CGS:帯状溝, CGG:帯状回, CLS:側副溝, CU:楔部, GCC:脳梁膝, MB:乳頭体, MOTG:内側後頭側頭回, OCH:視交叉, PCM:後交連, PB:松果体, PCLB:中心旁小葉, PCU:楔前部, PHCG:海馬旁回, POS:頭頂後頭溝, RCC:脳梁吻, SFG:上前頭回, PLCH:脈絡叢, SPCC:脳梁膨大, TCC:脳梁幹

前頭頭頂弁蓋 Operculum frontoparietale・側頭弁蓋 Operculum temporale という。

大脳皮質の構造

大脳皮質を顕微鏡的に観察すると6層の層構成が見られ、染色法によって層構成の見え方が異なる(図3)。大脳皮質の層構成は表層から、(1)表在層 zonal layer, (2)外顆粒層 external granular layer, (3)外錐体層 external pyramidal layer, (4)内顆粒層 internal granular layer, (5)内錐体層 internal pyramidal layer, (6)多形層 polymorphous layer である。神経細胞の層構成は大脳皮質の部位によって異なり、その違いを調べる研究を細胞構築学 cytoarchitectonics といい、Brodmann (1909)³⁾ や von Economo & Koskinas (1925)⁴⁾ などにより研究されている。その成果をまとめた Brodmann

の脳図(図4)が有名である。通常、大脳皮質の部位は Brodmann による番号で呼ばれていて、中心前回(Brodmann の area 4 など)、中心後回(Brodmann の area 3-1-2)、下頭頂小葉の縁上回(Brodmann の area 40)と同じく角回(Brodmann の area 39)、後頭葉の有線領(Brodmann の area 17)、上側頭回~横側頭回(Brodmann の area 41-42)、下前頭回(Brodmann の area 44-45)などがその例である。なお、大脳皮質内には有髄神経線維の層構成が観察

図3 ヒト大脳皮質の顕微鏡像 (Brodmann による) 左は鍍銀法 (神経細胞体とその突起)、中央はニッスル染色 (神経細胞体)、右はワイゲルト髄鞘染色法による模式図である。

図4 ヒト大脳皮質の細胞構築学的脳図 (Brodmann による)

大脳皮質の部位は Brodmann により番号が付けられていて、中心前回 (Brodmann の area 4 など)、中心後回 (Brodmann の area 3-1-2)、下頭頂小葉の縁上回 (Brodmann の area 40) と同じく角回 (Brodmann の area 39)、後頭葉の有線領 (Brodmann の area 17)、上側頭回~横側頭回 (Brodmann の area 41-42)、下前頭回 (Brodmann の area 44-45) などがみられる。

大脳皮質の機能局在

できる (図3)³⁾。表在層の中には脳表に平行にま
とまって走る線維層の Lamina tangentialis があ
る。外顆粒層には線維層はなく、外錐体層の浅層
にはわずかな平行線維がある。内顆粒層にはきわ
めて多量の平行線維層があり、これを外バイヤル
ジェ条 Stria Baillarger externa という。内錐体
層の深部にも密な平行線維層があり、内バイヤル
ジェ条 Stria Baillarger interna という。多形層
は深部になるほど線維量が多くなり、大脳白質へ
と続いている。大脳白質からも皮質の表層に向か
って垂直に走る小線維束があり、多形層・内錐体
層・内顆粒層を通して外錐体層にまで達する。こ
れを髓放線 Radii という。このように線維層の状
態を調べる研究を髓構築学 myeloarchitectonics
という。この分野では Flechsig (1876)⁵⁾の研究
がある。

大脳皮質の神経細胞の層構成によって機能の分
担があり、表在層 (連合)、外顆粒層 (連合, 交
連)、外錐体層 (受容, 連合, 交連)、内顆粒層
(受容, 連合)、内錐体層と多形層 (能動) という
考え方もあるが、推論の域を出ていない⁴⁾。

脳機能の研究は紀元前から既に脳外傷と機能
障害との関連が注目されている⁶⁾。大脳皮質の
機能局在をヒトで実際に詳細に確かめたのは
Penfield & Rasmussen (1950)⁷⁾である。彼らは
脳外科手術中に行ったそれらのデータを集めて1
冊の単行本にまとめている。その書名は“The
cerebral cortex of man: A clinical study of
localization of function”である。その著書の記
述は、身体の知覚・運動の表示、頭部と眼球の運
動、自律神経系の表示、発声と言葉の停止、知覚
と運動の二次的な表示、視覚、聴覚と平衡、記
憶、知覚の受容など多岐な方面に亘っている。本
稿ではそれらのうち知覚・運動・視覚・聴覚・言
語などの重要な機能を中心に解説する。

Penfield らの研究のうちで、もっとも世に知ら
れているのは中心前回と中心後回での運動と知覚
の身体部位局在である (図5)⁷⁾。同図は原著にあ
る2枚の図を比較しやすいように並べてある。図
6は Penfield & Rasmussen による各機能局在の

図5 知覚と運動の大脳皮質機能局在をあらわす小人 (Penfield & Rasmussen による)
左に中心後回に対応する知覚機能の小人を、右に中心前回に対応する運動機能の小人をそれぞれ描いてある。

● 大脳半球外側面

● 大脳半球内側面

図6 大脳皮質の機能局在 (Penfield & Rasmussen によるデータを集約したもの)

データを集約したものである⁸⁾。

後頭葉内側面にある鳥距溝 Sulcus calcarinus を挟む皮質は有線領 Area striata と呼び、大脳皮質の層構成の第4層に薄い板状の白質が肉眼でも認められる。有線領は視覚領であり、網膜からの投射皮質で、網膜の部位と対応する部位局在がある。鳥距溝より下半は視野の上半に、同上半は視野の下半に、鳥距溝の前方は周辺視野に、後頭極の近くは中心視野に対応することが分かっている。すなわち、網膜の部位に対応する部位局在がある。

上側頭回の続きで外側溝後枝の内部にある皮質は聴覚伝導路の投射部位で、Brodmann の area

41 と 42 に相当し、横側頭回あるいは Heschl 回という。通常は肉眼的にも左の方が発達している。

また、Penfield & Rasmussen は言語機能の局在についても触れていて、優位半球である左の大脳半球の下前頭回・横側頭回などの言語領野での大脳皮質の電気刺激では、言語機能を抑制することを観察している (図7)⁷⁾。逆に言語機能に促進的に働くのは上前頭回後部の大脳縦裂に面した補足運動野 supplementary motor area の電気刺激であったという⁷⁾。

言語機能の局在について大きな足跡を残したのは Broca (1861)⁹⁾ であり、運動性失語症患者の剖検報告を行っている。その例では左下前頭回後

図7 言語の機能局在 (Penfield & Rasmussen による電気刺激で発語機能に障害を起こす部位を図にまとめている)

彼らは電気刺激で発語機能に障害を起こす部位を図にまとめている。

部の傷で生じることに着目して報告したもので、後に発表された Brodmann の脳図³⁾ に当てはめれば、area 44、およびそれに隣接した area 45の一部に外傷があり、これが運動性失語症 motor aphasia の責任病巣であるとしている。この剖検脳は表面観察しかされなかったが、40年後に Pierre Marie によって割面の観察が行われ、病巣は大脳皮質のみではなく、外包にまで及んでいた⁶⁾。Pierre Marie は Broca の輝かしい業績には批判的であったという⁶⁾。さらに、Broca よりも25年も前に、失語症は左大脳半球に損傷があるという事実を示唆したのは、Marc Dax という開業医であり、その息子の Gustav Dax が父の遺稿を見つけて1865年に発表したとされている⁶⁾。

Penfield と Rasmussen⁷⁾ は聴覚受容性失語症 auditory receptive aphasia (あるいは聴覚性言語失認 verbal auditory agnosia) という用語を使い、それは上側頭回などの傷害で、さらに書字言語の失認は下頭頂小葉 (縁上回と角回) の傷害でそれぞれ起こり、これらの両者が合併するものを Wernicke 失語症 Wernicke's aphasia (1874)¹⁰⁾ と呼んだ (図6, 7)。Wernicke 失語症は、その内容の解釈が一人歩きをして、それを使用する研究者によって少しずつ内容が異なる。日

本でもその傾向が強い。Alexander & Benson (1998)¹¹⁾ によれば、古典的な Wernicke 失語症の定義では、前述のように聴覚性の言語理解の低下と、視覚性の言語理解の低下 (失読 alexia) の両要素を含むものであり⁷⁾、聴覚受容性の言語理解がある程度残るものでは病巣が後方寄りにあり、視覚受容性の言語理解がある程度残るものでは病巣が前方寄りにあるとされている¹¹⁾。しかし、広範型 Wernicke 失語症では、優位半球の上側頭回後部のほか、中側頭回・縁上回・角回や大脳半球外側面の側頭葉と後頭葉の境界部までも含んだり¹¹⁾、皮質下の病巣によるものもあるという¹²⁾。

島の皮質直下の最外包 Capsula extrema に小さな傷があると、上記の Broca 領野と Wernicke 領野との連絡が断たれて、言葉の復唱ができなくなる伝導失語症 conduction aphasia をまねく。解剖によって最外包の病巣が確認されたものはきわめて少ない。

これまでの多くの文献¹¹⁻¹⁹⁾ のうち、脳機能局在についての記述がよくまとまっているのは、Vinken, Bruyn & Biemond (1969)¹⁵⁾、Biemond (1970)¹⁶⁾、Adams & Victor (1989)¹⁷⁾、Young & McGlone (1998)¹⁹⁾ のものである。頭頂葉機能については Critchley (1953)²⁰⁾ の単行本が優れている。言語機能の局在については、Alexander & Benson (1998)¹¹⁾ のまとめは画像診断のみでの病巣部位確認ではあるが、きわめて良い記述である。

いろいろな機能が脳のいろいろな部位に分散して担われていることは確かである。最近の画像診断技術や実験方法の目覚ましい進歩にもかかわらず、ヒトの脳機能については、それらが顕微鏡～分子レベルでどのように処理されているか、あるいはいろいろな機能が全体としてどのように統御されているかは推測の域を出ないし、実際には分かっていない部分が多いため、今後さらに説明が進むことを期待している。

文 献

- 1) 後藤 昇, 国府田稔: 葉の区分. 中枢神経系. 日本人の

- からだ：解剖学的変異の考察（佐藤達夫，秋田恵一編）．東京大学出版会，東京，2000；p 389
- 2) 後藤 昇：中枢神経系の発生と成熟．胎児・新生児の神経学，メディカ出版，東京，1993；pp 2-26
- 3) Brodmann K：Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues．Barth, Leipzig, 1909；p 13
- 4) von Economo C, Koskinas GN：Die Cytoarchitektonik der Hirnrinde des erwachsenen Menschen．Springer-Verlag, Wien, 1925
- 5) Flechsig PE：Gehirn und Seele．Veit und Compagnie, Leipzig, 1876；p 112
- 6) McHenry LC Jr：Garrison's History of Neurology．Charles C Thomas Publisher, Springfield, 1969（豊倉康夫，萬年 徹，井上聖啓 訳：神経学の歴史—ヒポクラテスから近代まで—．医学書院，東京，1977；p 211）
- 7) Penfield W, Rasmussen T：The cerebral cortex of man．in A Clinical Study of Localization of Function．The Macmillan, New York, 1950
- 8) 後藤 昇：大脳皮質と機能局在．図説臨床内科講座，第10巻，神経(1)，メジカルビュー社，東京，1980；pp 4-5
- 9) Broca P：Sur le siege de la faculte du language articule．Bull Soc anat de Paris 1861；6：355
- 10) Wernicke C：Der aphasische Symptomenkomplex：eine psychologische Studie auf anatomischer Basis．Breslau, Cohn und Weigert, 1874
- 11) Alexander MP, Benson DF：The aphasia and related disturbances．in Clinical Neurology (ed by Joynt RJ, Griggs RC), Vol 1, Chap 10, Lippincott Williams & Wilkins, Hagerstown, 1998；pp 1-58
- 12) Alexander MP, Naeser MA, Palumbo CL：Correlations of subcortical CT lesion sites and aphasia profiles．Brain 1987；110：961-991
- 13) Haymaker W：Bing's Local Diagnosis in Neurological Diseases．15th Ed, The CV Mosby, Saint Louis, 1969；pp 1-600
- 14) Brain L, Walton JN：Speech and its disorders；apraxia and agnosia；disorders of the body-image；visual disorientation；the signs of local lesions of the brain．in Brain's Diseases of the Nervous System, 7th Ed, 1969；pp 95-118
- 15) Vinken PJ, Bruyn GW, Biemond A：Localization in clinical neurology．in Handbook of Clinical Neurology (ed by Vinken PJ, Bruyn GW)．Vol 2, North-Holland Publishing, Amsterdam；Wiley Interscience Division-John Wiley & Sons, New York, 1969；pp 1-802
- 16) Biemond A：Brain Diseases．Elsevier Publishing, Amsterdam-New York-London, 1970；pp 1-879
- 17) Adams RD, Victor M：Neurologic disorders caused by lesions in particular parts of the cerebrum；affections of speech and language．in Principles of Neurology．4th Ed, Chaps 21 & 22, McGraw-Hill Book/A Blakiston Publication, New York, 1989；pp 347-376, 377-395
- 18) Haerer AF：Functions and disorders of function of the cerebral cortex；functions and disorders of function of certain noncortical areas of the cerebrum；aphasia, agnosia and apraxia：examination of language and related functions．in DeJong's The Neurologic Examination．Chaps 49, 50 and 52, 1992；pp 614-627, 628-635, 652-670
- 19) Young GB, McGlone J：Cerebral localization．in Clinical Neurology (ed by Joynt RJ, Griggs RC)．Vol 1, Chap 8, Lippincott Williams & Wilkins, Hagerstown, 1998；pp 1-97
- 20) Critchley M：The Parietal Lobes．Arnold, London, 1953