

ヒトの脳と高等哺乳動物脳の比較機能解剖学 —定量形態計測学的研究—

齋藤基一郎^[1] 植草学園大学保健医療学部

A Comparative Functional Anatomy of Human and Other Mammalian Brains —Quantitative morphometrical analysis—

Kiichiro SAITO Faculty of Health Sciences, Uekusa Gakuen University

ヒトの脳左右半球をMRIで3D-定量的に解析し、各種の高等哺乳動物のホルマリン固定脳（ヒト、クジラ、イルカ、チンパンジー）と比較検討した。ヒトの優位脳左半球の脳皮質には、意識の経験的統一主体の場と言語機能の中核が局在しているので、働きの上では左右半球脳は非対称性であるが、ヒトの脳皮質両半球の表面積、容積、厚さの形態計測結果では、平均値に統計学的な有意差（5%）は認められず、左右半球脳は対称性であった。

キーワード：ヒト脳左右半球、機能局在、哺乳動物脳の比較解剖学、形態計測、対称性

Based on 3D- MRI images of the right and left cerebral hemispheres, we obtained data regarding the surface area, volume, and thickness of the cortex in both sides of the human brain. Statistical evaluation (t-test) showed that there is a morphometrical symmetry, as opposed to functional asymmetry (left hemisphere dominance for consciousness and language in humans). We also compared formalin fixation in the brains of mammals that do not use language.

Keywords : human cerebral hemispheres, functional localization, comparative anatomy of mammalian brains, morphometrical symmetry

1. はじめに

ヒトが万物の霊長類としてあらゆる生物の中で最も進化することが出来たのは脳皮質（左右半球脳）の非対称的な働きによる。ヒトの優れた脳も、その進化の長い歴史を遡れば、両生類、爬虫類、哺乳類などの古い脳の上に次第に新しい層が積み重ねられて出来た（図1）。二足歩行を可能にしたヒトの脳は動物のそれより遥かに複雑な進化を遂げ、ただ単に感覚入力系と運動出力系の統合に関与するのみではなく、ヒトの左脳半球（優位脳）では言語を使用

し、お互いの思考や意志と感情を伝え、文字と記号によって、過去、現在、未来と交流し、学習、意図、自我、創造など、他の哺乳動物と比べて到底及びもつかない精神的、意識的な方面を特に発達させてきた。

ヒトの最高中枢としての脳皮質・左脳半球内にある神経細胞の興奮と抑制シナプスが織りなす動的神経回路網は、その中に自己意識を創発し、宇宙空間と時間を認識し、世界を改造し、高度な人類の文化と芸術をこの地球上にもたらした。

[1] 著者連絡先：齋藤基一郎

2. 定量形態計測と抽出脳標本

この手法は肉眼、光顕、電顕観察又はMR I 画像解析によって得られた脳の形態学的構造に関して、定性的に記述すると共に、その定量化を図ることで客観的にその統計量を比較することを目指す。このようにして得られたデータに対し、我々は何を抽出し、何を視覚化し、観察するか(何を見ているのか)、又その数量化は何を意味するのか、といった基本的問題に立ち返ってみる必要がある。我々が入手している脳の形態学的構造情報は脳やニューロン活動の物質的変化を固定し、染色を施すことによって、形あるいは数として垣間見ているにすぎないことを常に念頭に置かねばならない。また、系統発生学と個体発生学の視点から、ミクロからマクロまでのスケール幅と時間軸も同時に考慮しなければならない。本研究に使用したヒトと各種哺乳動物の脳は保存または標本作製のために、10%ホルマリン溶液で固定するか、大腿動脈にカニューレを入れ灌流固定を行った。

ヒトのホルマリン固定脳では、年齢 30～56 歳(N=40)までのものを使用した(死体解剖資格認定厚生省第 6323 号)。男性の脳重の平均値は 1,375g であり、女性での平均値は 1,225g であった。しかし、生体で正確な脳重を知ることは極めて困難なことであり、その計測値は死因、死後測定までの時間、固定方法、固定剤の種類と固定期間、脳の摘出方法などでかなり変動し、年齢、性別、動物の種類、人種などでも異なる。高等哺乳動物(チンパンジー、マッコウ鯨、イルカ等)のホルマリン固定脳もヒトとの相違を比較解剖学的に検討するために使用した(写真 1)。目的とする脳が必要上ホルマリン固定されているため委縮している。ヒトではホルマリン固定脳に加えて、健常者の成人脳(34 名)を対象として、MR I 装置(1.5T Philips Gyroscan)で、前頭葉から後頭葉にかけて前額断で平行スキャン撮像(1.6mm 幅で 100 スライス)した。ついで、各断面に現れる大脳皮質の脳回と脳溝、髄質、大脳基底核、脳室系などの輪郭を単純閉曲線の集合体として分解し、MR I の断層連続撮影画像 6,800 枚をもとに脳の 3 次元立体構造をコンピュータで点、線、平面、容積にデジタル変換し、各種のパラメータを対話的に読

み取った後、ヒトの大脳皮質と両側左右半球の全脳に形態計測を施し、3 次元復元法によって数量的に立体構造の解析を行った(写真 2-5)。

それらの計量形態計測学的手法の詳細は、著者らの文献^{2-4,22,47)}を参照されたい。

3. 大脳皮質の比較解剖学

3.1 大脳皮質左右半球脳の皺(脳溝と脳回)

ヒトを含む高等哺乳動物の脳は正中に走る大脳縦裂によって、左右の大脳両半球に分かれる。大脳が両半球に分かれることは、外胚葉に嗅板が左右に出来ることと密接な関係がある。ヒトの無嗅脳体(Arhinencephalia)とか、単眼体(Cyclopia)では大脳の両半球は分かれていない。左右両半球脳に分かれている大脳皮質の表面には沢山の皺(大脳溝と大脳回)がある。大脳皮質に見られるヒト特有のこの皺のパターンは中心溝、シルビウス溝、頭頂後頭溝を目安に前頭葉、頭頂葉、後頭葉、側頭葉では良く発達しており、チンパンジーなどの言語を喋れない陸生哺乳動物脳にもヒトと共通するある種のパターンが見られる(写真 1: 左上 2 つ)。ヒト成人脳の我々の MR I による皺の計測値では、大脳皮質全表面積の平均値(N=34)は $2,304.3 \pm 222.3 \text{ cm}^2$ (右脳: $1,136.7 \pm 226.4 \text{ cm}^2$, 左脳: $1,167.6 \pm 218.2 \text{ cm}^2$) で、これは丁度見開き分の新聞紙半分(1 頁)の広さに相当する。大脳皮質の厚さの平均値が $2.8 \pm 0.4 \text{ mm}$ であることから、全灰白質容積の平均値は $645.2 \pm 39.4 \text{ cm}^3$ (右脳: $318.3 \pm 39.4 \text{ cm}^3$, 左脳: $326.9 \pm 39.5 \text{ cm}^3$) である。大脳皮質の表面に出ている脳回はわずか $1/3$ であり(768.1 cm^2)、その $2/3$ は脳溝($1,536.2 \text{ cm}^2$)に埋もれているため外面からは見えない(写真 1-7)。このことが大脳皮質の皺の形態計測による数量化を困難なものにしている。一般に、大脳は発達すればする程、大脳新皮質の各部位に対する表面積の割合(比)は大きくなり、大脳皮質の回転がより複雑に、脳溝はより深くなるので大脳皮質の表面積と容積は増す(図 1.p)。また、動物が下等になれば成るほど、脳溝は少なく浅くなり、体が大きくなれば成るほど、脳溝は多く深くなる(クジラ、ゾウ、カンガルー、海イルカ)。動物の体が小さいほど脳溝は少なく、浅くな

り (スズメ, カエル), 脳溝の無いつるつるした脳を持つ動物もいる (フクロウネズミ, ウサギ, ジュゴン)。ネズミは知能的動物であるが, 脳溝の無い大脳皮質を持つ。げっ歯類, 食虫類, 翼手類の脳回と脳溝も発達が悪く皺の数も少ない^{56,57)}。ヒトと比べて, 大脳皮質の脳回や脳溝が多いとか, 少ないとかが必ずしも知能の良し悪しを決めるものではない。

一方, 海に潜ったイルカの左右半球脳にある大脳皮質の脳回と脳溝の皺は非常に大きくて深く, はなはだ緻密である。イルカだけではなく一般に, 鯨類などの海生哺乳動物の大脳皮質両半球に見られる皺はヒトのものとは比較にならないほど複雑で, 脳溝は深く, 脳回の数も多く大脳皮質は良く発達している (写真1: 右上下2つ)。ヒト大脳皮質の場合, 大脳縦裂に対し直角に横軸に沿って発達している中心前回 (体運動4野), 中心溝, 中心後回 (体知覚3, 1, 2野) は, それに対応 (Brodmannの脳アトラス・図2) する鯨類の脳回と脳溝の走行は, ヒトとは異なり, 吻側から尾側にかけて幅広い大きな脳回と深い脳溝が半球間裂 (ヒトでは大脳縦裂) の縦軸方向に沿って伴行する (写真1: 左上2つ)。ここが広いと言うことは, 大脳表面の新皮質では脳の高次機能が営まれているので, 鯨類もヒトと同じく発達した優れた知能を持ち, 鯨類の大脳皮質にもヒトとは異なる自己意識の創発が生じているかもしれない。しかし, 鯨類の大脳の細胞構築を顕微鏡で詳しく調べると, イルカや他の鯨類の脳では単位容積内の細胞の種類と数が少なく, 配列もヒトに比べると不規則かつ疎である。また, 鯨類の大脳皮質 (第5層) にある大型錐体神経細胞はヒトに比べると少なく, 大きな脳回の縦軸 (ヒトでは横軸) に沿って配列している。ヒトの脳溝を哺乳類のものと比較するとチンパンジーとサルの脳溝がヒトに最も近い。ヒトの大脳皮質の主な脳回と脳溝を他の動物のものと比較して, それがどれに対応するかを決めることは難しいが, 食肉類の脳の十字溝は (sulcus cruciatus) はヒト大脳の中心溝 (sulcus centralis) に相当する。鯨類にもヒトと同様に良く発達した大きな外側溝 (シルビウス溝) が左右半球脳に対称的に認められる。

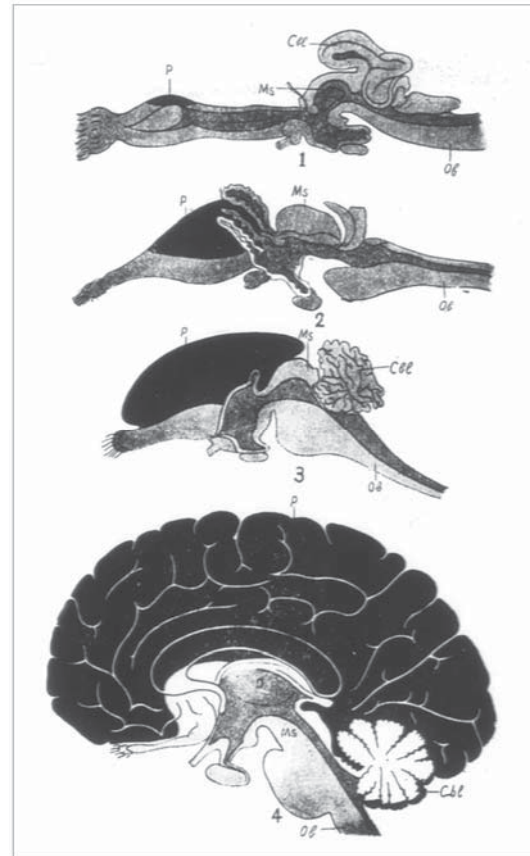


図1. 進化による大脳皮質 (黒) の量的変遷の比較。

ヒトの終脳 (P) の大きさが良くわかる。

(Edinger: 平沢興「大脳の最高中枢」⁵⁾ より)

1. 魚類, 2. 爬虫類, 3. 哺乳類, 4. 人類

3.2 脳重と脳のサイズ

各種哺乳動物の脳重を比較すると, 系統樹下位の動物の脳は一般的に小さくて軽く皺が少ない。高等哺乳動物ヒトのホルマリン固定脳 (30～56歳) の平均脳重は男性 (N=21) で 1,375g, 女性 (N=19) は 1,225g で, 男性の脳重は女性のものより多少重い。

一方, MRI画像解析による計測値では, 男性 (N=17) は $1,545.1 \pm 65.5$ g であり, 女性 (N=17) は $1,351 \pm 84.6$ g で, その値をホルマリン固定の摘出脳と比較すると, 男性は 11.0%, 女性では 9.4% の固定による収縮が生じている。ヒトの脳重を動物のものと比較すると, ヒトの固定脳重 (1,200～1,400g) は海イルカ 1,200g, ウマ 600～800g, ゴリラ 400～500g, チンパンジー 300～400g, ライオン 200～250g などよりかなり重い, サル 90g, ネコ 30g, ウサギ 10g, ラット 1.5g に比べるとヒトの脳重は非常に重い。しかし, ヒトの脳重より重い脳を持つ動物はゾウ 4,000～

4,800g, イルカ 200~2,000g, 一般の鯨 6,000~7,000g, さらに巨大な脳を持つ哺乳動物の横綱は、進化の過程で海に潜ったマッコウ鯨雄の脳(9,000g)であり、ヒトの脳重(1,400g)の 6.4 倍以上にもなる(写真 1)。

一方、体重と脳重の比較から、複雑な数式を用いて、ヒトの脳が最高位の発達を遂げたことを証明しようとする試みもあるが、一定した相関関係は見出されていない。

3.3 大脳皮質の厚さ

ヒトの大脳皮質の全表面の 95%を占めるのが新皮質 (Neocortex) で、残りのわずか 5%が嗅脳と関係を持つ異種皮質 (Allocortex)である(写真 6)。ここがヒトでは僅か全体の 1/12 しかないが、ハリネズミなどでは嗅覚が発達しているので多く 3/4 を占めている。新皮質の表層にはこれと並行する薄い 6 層 (I-VI) の神経細胞層が区別されるが(写真 8), 異種皮質には 6 層の形成はない。知能に最も関係が深いとされている大脳新皮質の広さと厚さは、進化と共に系統発生的に次第にその量を増す(図 1 p)。

今回、ヒトでの大脳皮質の厚さ(写真 3, 5, 7)の平均値は $2.8 \pm 0.4\text{mm}$ (測定 of 最大値: 3.7mm, 最小値: 2.2mm) であった。左右の大脳半球間の比較では、右大脳半球皮質の厚さの平均値は、 $2.8 \pm 0.4\text{mm}$ (最大値: 3.6mm, 最小値: 2.2mm) で、左大脳半球皮質では、 $2.8 \pm 0.3\text{mm}$ (最大値: 3.6mm, 最小値: 2.2mm) であり、左右の大脳皮質の厚さに両半球間の差はなく同じ値を示した。ヒトの大脳皮質の厚さを計測したデータは非常に少なくごく限られている。それらはすべてホルマリン固定した脳の切片標本から得られた計測値である。そのデータではヒトの中心前回 (4 野) が最も厚く (3.3~4.5mm), 最も薄い場所は 17 野 (有線領) であり、その平均値は 2.5mm で、その厚さは各部位で異なる(写真 6)。ヒトの大脳皮質の 4 野 (4.2mm), 6 野 (3.0~3.8mm), 7 野 (3.1mm), 17 野 (2.3~2.6mm), 28 野 (2.5mm), 29 野 (2.5mm) の計測値を各種の哺乳動物 (オナガザル、ハパール、擬喉目、オオコウモリ、ハリネズミ、アライクマ、カイウサギ、ヤマネズミ、カンガルー) の値と比較した Brodmann (1909) の研究⁶⁾がある。

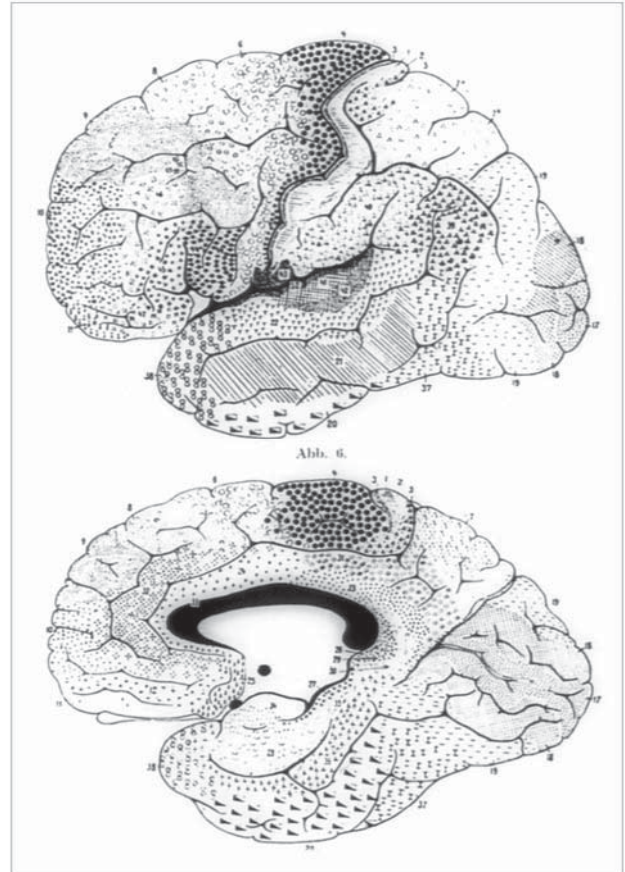


図 2. 大脳皮質の細胞構築学アトラス : 52 野に区分
(Brodmann K.による)

それらは左右半球間の比較を数量的にしたものではない。ヒトの大脳皮質の厚さは鯨類のものを除くと最も厚いが、動物が高等になればなるほど大脳皮質の厚さが増すといったような正の相関関係はない。

我々の MR I 画像の連続スライス測定法による立体再構築の計測値²⁻⁴⁾では、大脳皮質全体の厚さの平均値は $2.8 \pm 0.4\text{mm}$ であり、左右半球間で同じ値を示した。これらをホルマリン固定脳の平均値と比較すると生体大脳皮質では平均して 0.3mm 厚くなっており、ホルマリン固定脳では 0.3mm 程度の委縮による差が認められる。今回の MR I 画像計測値から言えることは、ヒト大脳皮質全体像の中で、最も厚い大脳皮質は前頭葉の中心前回 (4 野), 補足運動回 (6 野) で、後頭葉の 17, 18, 19 野は薄く、この傾向はホルマリン固定脳の測定結果と良く一致する。一般的な傾向として、大脳皮質は中心溝周辺で最も厚く、それを境として、吻側、尾側に向かうほど薄くなる(写真 3~5)。大脳新皮質の発達は、皮質の厚みにあまり大きな変化や負担を直接与えずに神経の化学的伝達効

率を高めるためには、むしろ多くの薄い皺とその広がりを作ることによって、表面積を増すものと思われる。

4. ヒトの最高中枢としての大脳皮質

4.1 脳の進化

ヒトの大脳皮質と他の高等哺乳動物のものを、進化の系統樹を溯りながら比較すると、哺乳動物からヒトへの進化はヒトの特徴である二足歩行、道具と火の使用、社会生活のための繊細な手の動き、呼吸筋による言語的表現と文字の発明などがある。それによってヒトの脳に新皮質が生じ、大脳皮質の構造が緻密化し、その容積が次第に増加し、肥大化してきたものと考えられ、そのことは頭蓋腔の容積からも推定出来る。爬虫類から進化した哺乳類の中に霊長類が約 7,000 万年前に生まれ、その中から人類の祖先が 800～500 万年ほど前に出現したが、直立歩行の様な変化が生活様式に生じたものの、その脳はチンパンジーの脳 (375～400cm³) 以上には大きく成らなかった。しかし、280～100 万年前からホモ・ハビリスの脳にかなり大幅な増加が見られるようになり、道具を使いこなす能力が次第に備わり、ホモ・エレクトスの脳容積が 1,000cm³ に達した。さらに、哺乳類の脳に爆発的な進化が数 100 万年以降に起こり、大脳新皮質と呼ばれる領域に突然異常な変化と容積の肥大化が生じ、現生人類の祖先が誕生した^{8,20)}。その後、ホモ・サピエンスが出現し、脳容積はさらに発達を遂げ 1,100～1,400cm³ に達し、高度な自我意識と言語中枢が創発された^{8,20,30-32)}。

最近になって、人類最古で約 440 万年前の初期人類のものと見なされる全身の骨格標本がエチオピアで発見された^{9,10)}。ヒトの起源に迫るこの標本は「アルディピテクス・ラミダス(ラミダス猿人)」という種類の人類の祖先であり、身長が 1m20cm、体重は 50kg の女性で、2 足歩行に適した骨盤と、非効率的な土踏まずのない偏平足で、樹上から地上への進化途上のものと推定された(図 3)。しかし、その脳容量 (300～400cm³) はチンパンジー並みの軽さなので大脳皮質は未発達で、自己意識の創発も無く、言語も喋れなかったであろう。

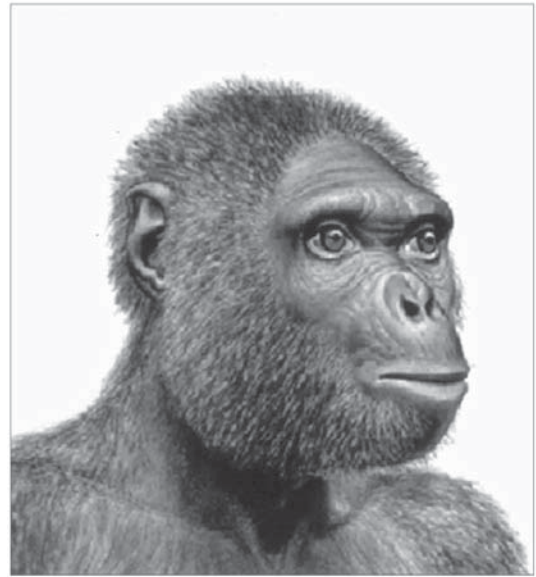


図 3. 人類最古のラミダス猿人

(文献⁹⁾より引用)

現存する類人猿の脳をヒトの脳と比較すると、ヒトの大脳皮質に大きな質的・量的な変化が認められる。

Jenkins T.W.と Truex R.C.(1963)の研究¹¹⁾によると、ヒトの脳各部の重量比は大脳(85%)、間脳(1.9%)、中脳(0.8%)、小脳(10.5%)、髄脳(1.8%)である。その極端な例として、魚類の脳の占める割合は極めて小さく 10%以下である(図 1 p)。ヒトの脳では最高レベルである大脳新皮質が占める割合は極めて大きく、我々の計測結果では表面積と容積の各々の平均値は 2,304.3cm²と 645.2cm³であった。これはヒトの大脳新皮質に言語機能、記憶と認知機能が加わり、サルにはない特別な変化が大脳新皮質に生じたからであろう。つまり、2つの特別な機能、右手利きのヒトの優位脳左半球には自己を認識する自我意識の創発とヒトの特徴である言語中枢(上言語野と補足運動野、前言語野: Broca P. 1861 と 後言語野: Wernicke C.1974)が生じ、言語の使用でお互いの思考と意志や感情の疎通が可能となり、文字と記号によって思考や感情の伝達が時間と空間を超えて、過去、現在、未来の間で可能となり、それによって人類はこの地球上に Popper K.(1977)の言う「高度な科学文明と芸術の世界(World 3)」¹⁾を築くことができた。

4.2 ヒトの左右大脳半球に局在する脳機能の非対称性

哺乳動物脳の主要な解剖学的特徴は左右に二つある大脳の両半球であり、左右の大脳半球間同士は皮質下にある脳梁（2億本以上の交連線維）で相互に連結されている。この右脳と左脳に分かれている脳は、利き手である右手を使えば左脳が、左手を使えば右脳が、伝導路が延髄で交叉しているので働く。

Sperry ら（1969,1982）は癲癇予防のために脳梁（交連線維）を完全に切除した患者を観察し、身体の一般的動作は交連切断（分離脳）では影響されず、左右は依然として正常に連動しており、分離された左半球脳（優位脳）は自己の意識的存在感と心的統一性を保っていた。しかし、反対側の右半球脳（劣位脳）の働きは動物脳のそれと同じか、それ以下であり、視覚的で、非言語的で、非数学的、非継続的方面のみにしか働かないことを発見した^{27,28)}。

この実験結果は、自己意識の自覚の場は左大脳半球皮質の神経回路網内にあり、それが自己独自のものであることを示した。ヒト以外の高等哺乳動物とか、鳥類（わずかに大脳皮質がある）の行動を観察すると、脳内に微かな意識もどきものはある³²⁻³⁴⁾。

しかし、ヒトの左半球脳の大脳皮質内には限局して、他の高等哺乳動物にはない自己意識の創発が確認されている^{8,20,30-33,45)}。ヒトの左大脳半球が意識的人格の座であり、精神が脳の構造と相互に連絡（リエゾン）する場合（二元論相互作用説：Eccles C. 1989）がヒト左脳の大脳半球皮質内に限局されている（サイコンとデンドロンの仮説）^{8,31,32)}。

ヒトの 95 % は右手利きなので、左半球が優位脳であり、そこに自己意識と言語中枢（Broca の前言語野と Wernicke の後言語野）が局在している。

ヒトの左側半球脳にある大脳皮質の除去は、幼児時期を除き、深刻な言語障害を生じさせる。一方、劣位半球脳の大脳皮質の除去（この場合、右半球脳）は身体の運動消失（片麻痺）と左視野の半盲を引き起こすのみで、その影響は左脳ほど深刻ではない。多分、ヒト以外の他の高等哺乳動物の脳は、ヒトの劣位大脳半球（右脳）の働きと同じかそれ以下であり、自己意識を持たず、言語も発せず、微かな感覚の世界のみで静かに生きているのであろう^{33,34)}。

4.3 左脳半球に局在する言語機能

第 1 次求心性の内耳神経（Ⅷ）は蝸牛神経核と前庭神経核に終わるが、大脳皮質に局在する聴覚野（Brodmann 41 野, 42 野）と連絡する聴覚系入力（伝導路）は極めて複雑で、多数の介在核（上オリブ核、台形体核、外側毛帯核、下丘など）を経由で入るが、主として内側膝状体核からのものが聴放線となり、Heschl 回（横側頭回）の内側部にある皮質聴覚野（Brodmann 41 野, 42 野におおよそ対応）に終わる。その外側部から上側頭回の表面にかけて聴覚連合野が広がっている。優位脳である左脳では上側頭回の後部から角回（Brodmann 37 野）にかけて聴覚性言語野（Wernicke の後言語野）があり、この領域へは聴覚と言語の異種間の情報（音と言葉）が合流する。ここが破壊されると言葉は聞こえても、言語としてその意味内容が理解できなくなり、聴覚性言語失語症となる。その事実は失語症の研究³⁹⁾からもわかり出せる。一方、視覚伝導路は 17, 18, 19 野から角回（37 野）に至り、Wernicke（39 野と 40 野）の後言語野（意味論的解釈）から弓状束を経て Broca の（運動性）前言語野（44 野と 45 野）に至る。ここは補足運動領（6 野）と中心前回下部（4 野）との線維連絡があり、運動と視覚入力の機能の統合による言語的表現が営まれている。頭頂葉の角回は文字を理解するところなので、ここが侵されると失読症となり、文字は見えてもその意味内容の理解が出来なくなる。優位脳である左半球脳の角回（39 野）が侵されると Gerstmann 症候群¹⁴⁾として知られているごとく、左右の失認、手指の失認、失書と失算が見られる。大脳皮質機能の高度化は皮質の表面積の広がり（容積）の増加によるものであって、大脳皮質の厚みの増加とはあまり関係がない。

Geschwind ら（1987）のヒトの剖検脳の側頭平面における観察結果では、左脳の側頭回が通常の 3.2 倍以上拡大し、遥かに大きいと言う¹⁵⁾。比較解剖学的に見ても、類人猿のオランウータンでは、ヒトで発達したこの言語中枢（41 野と 42 野）の大部分が欠損している。サル（ヒト）の脳についても同様な所見があり、言語野（Heschl 回）は見当たらない。

ヒトでは優位左脳半球に良く発達した Heschl 回がありそこが機能的には非対称である。この言語野はヒトの心的過程である思考と意識の流れに意味と意

志を与え、文法構造に従って言葉を紡ぎ出し、言語表現を介してヒト同士の意志の疎通と心の交流がはかれる場である⁵⁹⁾。Descartes R. は「ヒトと動物の差は言語の使用ができるかどうかによる」¹⁶⁾と言ったが、言語とはヒトの左半球脳の大脳皮質に生ずる精神活動である。ヒトとしての思考と意志、感情の結果を出力し表現できる言語活動は、種々の運動器と結合する知覚器からの絶えざる入力が必要である。これによって左脳半球の大脳皮質に‘心’が惹起し、統合され、言語活動としての言葉を紡ぎ出し、最終共通路としての運動性疑核起始の迷走神経と舌咽神経や副神経を介して言語で心を表現し、その出力ができる。また、言語、文字、記号を通じて、個々のヒトの脳(主体)の中に生じている自己意識を時間と空間を超えて客観化することができる。これがヒトと動物との相違点である。

ヒトの大脳左右半球の機能には優位脳と劣位脳があり、右利きの人の言語機能は95%のヒトで左半球脳に局在している。ここは Broca の(運動性)前言語中枢(44, 45 野)と Wernicke の聴覚性言語中枢は後言語野(22 野)として知られた部位で、ヒトの言語機能は左半球脳の大脳皮質に局在している。また、大脳皮質は線条体とも複雑な相互の線維連絡があり自動言語に関係している。

Marie P. (1902) は数多くの失語症の臨床研究⁵³⁾から、Broca の(運動性)前言語中枢は運動性ではなく、そこは言語概念の形成の場であり、その障害なので知覚性失語症と訂正した。その後、Marie P. と Brais B. は左側の第3前側頭回は障害されずに Broca の失語症をきたす症例が、そこが障害されて Broca の失語症をきたす症例と同数あることから、発語障害は、レンズ核周囲の病巣であろうと述べている^{53,54)}。失語症とは単に言語が話せないと言った言語の運動性機能障害(音を発生する場所や筋肉の麻痺で声を発せられない構音障害 Anarthrie)ではなく、言葉を選び出し、その意味を理解し、文章を構築する大脳皮質の機能能力の消失(言語概念の形成障害)を意味するものであって、言語機能の消失は健常人にとっては想像を絶するものであろう。けれども、これまでの学説と脳の言語機能が左半球脳(優位脳)に局在していることに変わりはない。

ヒトの左右半球脳の機能差については、カナダの

Penfield W. と Roberts L. (1959) が行った刺激実験の研究結果⁴⁶⁾からも、またこれまでの数多くの臨床学的研究によっても、大脳皮質の機能がヒトの左右半球脳では非対称的であることは明白である。

4.4 左右大脳半球の解剖計測学的対称性

我々の正常脳における大脳皮質の3次元形態計測結果では、大脳皮質の表面積と容積、厚さに関して左右の大脳半球間に統計学的な有意差(5%)が認められなかった。この研究に参加した我々の被験者は1例を除いて、全て33名は右利き手である²⁻⁴⁾。このことは Geschwind ら(1968)の肉眼解剖学的観察結果とは異なる^{35,36)}。彼らは337個のホルマリン固定脳を使用して左脳半球(言語機能が局在する部位)を露出させる方法で平面上に切り出し、側頭平面の長さや面積に関して計測した結果、左脳半球の方が70%の割合で大きく、大脳皮質の左右半球間に差があり、解剖学的に非対称性を示すとしている。

Rubens A.B. の研究(1977)ではヒト脳のシルビウス裂は通常右側(36例中25例)が左側におけるより早く上方に曲がり、左側では曲がる前が平均1.6mm長かったと報告¹⁸⁾している。この非対称性に関係し、Geschwind N. と Levitsky W. (1968) は、これが左側で大きい例(65%)では言語野(Brodman 39 野と 40 野)が約95%の割合で左側にあり、高度な解剖学的非対称性を示す¹⁹⁾と言う。

我々の形態計測学的研究結果からは大脳皮質の言語野についての解剖学的非対称性は認められず、我々のホルマリン固定脳でも Brodman の 39 野と 40 野(角回と上辺縁回)は頭頂葉上で容易に区別でき、計量形態計測学的にも対称性を示していた³⁾。

この部位の左半球脳では言語を読んだり、聞いたりにする時に文法上の言語作成の機能に関与するが、その様な機能は右半球脳では特定されていない。この視覚性言語中枢(36 野)は頭頂葉の角回に相当する部位にあり、左脳では文字に対する理解の場でもある。ここは視覚と聴覚の異種入力(目と耳)が合流するところで、言語機能のある場所である。これまでの研究ではヒト大脳皮質両半球の解剖学的非対称性については矛盾する報告がいろいろなされてきたが、高度な機能の際立った大脳皮質の左右半球脳の非対称性に対して、今回の研究で得られた解剖学的

測定値（大脳左右半球皮質の大きさ、皮質表面積と容積、皮質の厚さ等）から、ヒト大脳皮質の左右半球脳は解剖学的には対称的であり、左右半球間の大脳皮質に形態計測学的な有意差が認められなかった。オランウータン、サル、ヒヒの脳でも同様なデータが示されており、解剖学的な非対称性は観察されていない¹⁷⁾。ヒトの脳が動物脳をはるかに凌駕する自己意識と知能、言語を持ち、左右大脳半球の機能的性質（働き）が非対称的であるという点からして驚くべきことである。

4.5 自己意識の創発と大脳皮質（灰白質）内の神経細胞・シナプス数

Brodmann K.(1909)は大脳皮質の細胞構築学的研究からヒトの脳で大脳皮質を52の領野に分け、軟膜と平行にVI層（I～VI）に配列する神経細胞の特徴を層別に記述した⁶⁾。von.Economo(1925)が初めてヒトの大脳皮質でその容積と神経細胞の密度を数量的に計算し、ヒトの大脳皮質1mm³角、深(厚)さ2.5mmのI～VI層に63,000個の神経細胞が含まれるとした⁴⁸⁾。それによるとI層(5個/0.15mm)、II層(65個/0.15mm)、III層(20個/0.75mm)、IV層(80個/0.20mm)、V層(17個/0.40mm)、VI層(80個/0.20mm)となり、大脳皮質I～VI層全体で267個の神経細胞があるとして計算すると、大脳皮質全体の総表面積22x10⁴mm²(2,200cm²)で、皮質の厚さが0.25cmなので総容積は550cm³となり、その中には140億個の神経細胞が詰まっていると推定した。さらに、彼は140億個の神経細胞のうち大型神経細胞は0.8x10¹⁰個で、同型の小型顆粒神経細胞は0.6x10¹⁰個として、全細胞の容量は20.4cm³で21.5gと計算している。今回、ヒトでの大脳皮質の計測値をもとに、ヒトの全大脳皮質の灰白質層にある皺をシート状に伸ばしたと仮定してみると、見開きの新聞紙半分(1頁分)にほぼ相当する。これが大脳皮質の全表面積2,304.3cm²(右脳:1,136.7cm²,左脳:1,167.6cm²)で、大脳両半球皮質の厚みの平均値は2.8±0.4mmなので、健常成人の全大脳皮質のシート状の灰白質の総容積は645.2cm³(右:318.3cm³,左脳:326.9cm³)となる。そこで、1cm³毎の神経細胞数を25x10⁶個(von Economoのデータ)として計算すると、全皮質内の神経細胞の総数は161億3000万個(右脳:79億5750万個,左脳81億7250

万個)となる。ネコ脳の電子顕微鏡による研究結果^{21,22)}では、第5層にある1個の大型錐体細胞は平均して100個程度のシナプス入力を受けているので、大脳皮質全体には驚くほど多数のシナプス結合があると推定できる。ヒトの場合、ネコと比べて大脳皮質のシナプス数はもっと多いはずである。これらの結果から、ヒトの大脳皮質は新聞紙見開き1頁分の広さ(2,304.3cm²)なので、厚み0.28cmの中には神経細胞数140～160億個とシナプスが数10兆と、これに加えて、神経膠細胞が同数かそれ以上あり、お互いが200Åの間隙を隔て密に詰まり、神経回路網を造っている。

これまでの電子顕微鏡による我々の観察結果^{37,38,40-44)}では、大脳皮質と脊髄組織の神経細胞とシナプス構造は質的に同じであり、極めて類似した形態を示していた(写真9～15)。また、大脳皮質のシナプス数は脊髄のものとは比較にならぬ程、高密度にあり、抑制性シナプス数の方が興奮性シナプスより多い(写真13～15)。現在までの研究結果でも精神の座があるとされるヒト左脳半球の大脳皮質内に特別な構造物が発見されたという報告はない。

大脳皮質内に生じている高次脳機能を神経回路網の構造を背景としてみると、次のような概念が得られる⁴⁵⁾。脳内には何千、何万という神経細胞と興奮性・抑制性シナプス²⁹⁾で結合された精緻なる動的神経回路網が有り、その中を多数のチャンネルを持つ神経伝達のインパルス波形が通る。この波形は1秒間に少なくとも10万個以上もの神経細胞と10²万個のシナプスを通過する。ヒトの両半球脳が持つ最高中枢としての大脳皮質(たかだか2.8mm厚さの薄い灰白質のシート状の神経細胞6層)の全表面積は2,304.3cm²で、その容積645.2cm³の中には140～160億個以上もの神経細胞(サイズ15～30μm)と数十兆を越すシナプス(サイズ1.0～1.5μm)の結合がある。これら神経細胞間同士の動的神経回路網の中を縦横無尽、かつ連続的に走るインパルス波形の活動によって、自己意識が時間と空間のうちに織りなされ、生み出されていく。このパターンの驚くべき超複雑さとその統合性について、我々はただおぼろげなる影の様な像を得ているにすぎない。

今から、400年前、Descartes R.(1630)は脳という実体とヒトの意識の存在を2つの異なる別個の実在と

して分けて取り扱い、二元論¹⁶⁾を提唱した。脳という物質や脳の構造の中、つまり、左脳半球の大脳皮質の薄いシート状の灰白質のどろどろした物体内にある神経細胞とシナプスがつくる動的神経回路網の働きの中に、果たして自己意識なるものが実在しているのだろうか？ 現代の多くの自然科学者の主流を占める唯物論的還元主義者は、脳のこのような超複雑な構造物と物質的背景である興奮性・抑制性シナプスの動的活動によって、ヒト左脳半球の大脳皮質の中に自己意識が生じているという。

しかし、Eccles C. (1998)によれば、脳はこのような超複雑な神経回路を介して、意識を単に読み取っているにすぎず、ヒト各人がそれぞれに享受している自己(自我)意識の経験的唯一性と統一性はヒトの脳の神経細胞やシナプス回路の活動の本質ではない、と量子力学論を用いて主張する^{8,20,30-32,45, 62)}。

これまでの大脳皮質の組織学的研究から、動物が高等になれば成るほど、大脳皮質を占める神経細胞体の割合は少なくなる。つまり、大脳皮質ニューロピルの割合が増す。この部位は光学顕微鏡のみによる古典的検索時代には単なる透明で中空な灰白質の部分として見過ごされてきた(写真 8,10,16)。しかし、電子顕微鏡の驚異的な拡大率と分解能によって、この部位は実は神経細胞と神経膠細胞の突起が錯綜し、シナプス結合を含む種々なる結合様式で相互に連絡する一大網状構造を形成する場(神経組織細線維網)であることが次第に判明し始めた^{37,38,52,58)}。

ここはまさしく神経細胞とグリア細胞の突起のジャングルであり(写真 9,11,12,18)、今後はCajal R.の「ニューロン説」^{60,61)}に基づく脳の神経回路の構造解析に重要な位置を占めるだろう。

一方、大脳皮質運動野(4野)は古くから随意運動の主たる場として考えられてきたが、近年の神経科学の発展に伴い、その広がりや分布、機能と細胞構築に関し新知見が出てきた。運動野のコラム形成とか、モジュール構造である。従来の細胞構築学は横軸を主とする層構造の考え方であったが、新しい考え方では、縦軸を考慮した大型錐体細胞を出力系の中核とする垂直軸に対して、各種の細胞がセットになって柱状に配列しているという学説である。例えば、手領域のコラムと指領域のコラムが相互に連絡して、多数の小領域が大脳皮質内に散在し、上下に配

列している。この細胞柱の機能単位は300-400 μm の直径で、大脳皮質の補足運動野などではかなり広い領域に渡って存在すると言うが、今後の超微形態学と生理学的研究の検証に待たねばならない。

5. 陸生・海生哺乳動物脳の比較解剖学

鯨類の脳はヒトと同じく哺乳類の仲間でありながらヒトとは全く異なった方向に進化し、海中に潜り、海生哺乳動物の頂点に至り、陸生哺乳動物のヒトとは両極端のところに位置づけられる⁴⁹⁾。

鯨類と言ってもいろいろな種類があつて、地上最大・最長の巨体を持つマッコウ鯨からマグロ程の大きさまでその種類は多い。鯨類の脳の特徴は大きくて、前後軸の長さ(25.2cm)よりも左右軸の幅の方が長くて(31.0cm)、ヒト(前後軸長、 $16.3 \pm 0.6\text{cm}$; 左右軸幅、 $14.0 \pm 0.7\text{cm}$)⁴⁾とは逆になっている(写真1)。大脳表面は哺乳類の中で最も複雑な脳回と脳溝を有し、ヒトでは横軸に沿って平行に走行する脳回と脳溝は、鯨類では縦軸に沿って形成されていることが、ヒトを含む陸生哺乳動物と比べ鯨類脳の形態学的特徴である。

マッコウ鯨(雄)の脳重^{23,24)}は9,200gもあり、巨大な大脳は左右の両半球に別れた脳をもつ。その大きさはヒトと異なり、左右が非対称であり、右脳は幅広く大きい、左脳は小さい。内臓の構造もヒトの配列とは異なっている。顔面神経(VII)も左右非対称であり、鼻道が左右間で違った構造を示す。左側の鼻道は単純だが、右側は複雑であり、沢山の部屋に分かれている⁴⁹⁾。イルカもヒトに負けない位の大きな左右の両半球脳を持ち、その大部分は聴覚機能を司り、水中での音波、岩からの反射音、仲間との交信のために使用している。しかし、クジラと同様に嗅神経(I)と視神経(II)の発達は極めて悪い⁵⁵⁾。ヒトでは左右半球を相互に連絡する大きな脳梁(2億本以上)が大脳皮質下にあるが、イルカの脳梁は発達が悪く、そのサイズも小さい。イルカの左右大脳半球はかなり独立的に機能し、半側半球脳で眠り、対側半球脳は覚醒している。一般的には、哺乳類以外の動物の脳には脳梁は存在せず、下等な哺乳類では脳梁は小さく、前交連が大きい^{7,49-51)}。ヒトでも

脳梁の欠損例の珍しい報告⁶³⁻⁶⁵⁾もあるが、脳内の伝導路は交叉性又は半交叉性のものが多い。これはシステム障害が半側で防がれるためのバイパスで、安全に脳の回路を維持するためのものであろう。錐体交叉や毛帯交叉、視交叉、脳弓交連などの例を見るまでもなく、視神経 (I) も視交叉で半交叉し、この部位の障害では眼球の半側の映像しか両半球脳の後頭葉 (17,18,19 野) には映らない (半盲症)。

大脳の左右半球脳は独立的に働き、ヒトでは良く発達した大きな脳梁、脳弓交連、手綱交連、前・後交連などの線維連絡を介して、それぞれお互いに異なった情報を左右半球間の脳に与え合っており、機能の非対称性が生じているのだろう。

6. 倫理的配慮

MRI 撮影を行うにあたり、研究目的やMRIの安全性について十分な説明を行い、倫理委員会の承認の下に被験者の同意を得て実施されたものである。

7. 謝辞

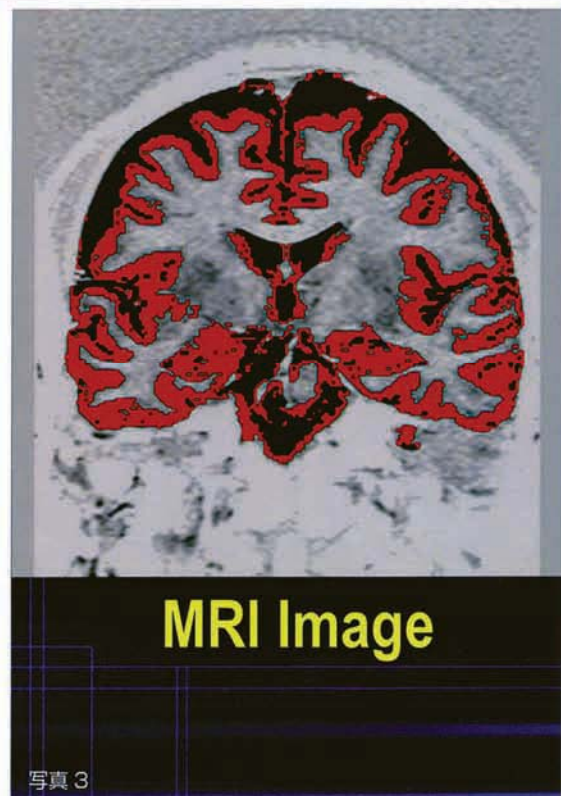
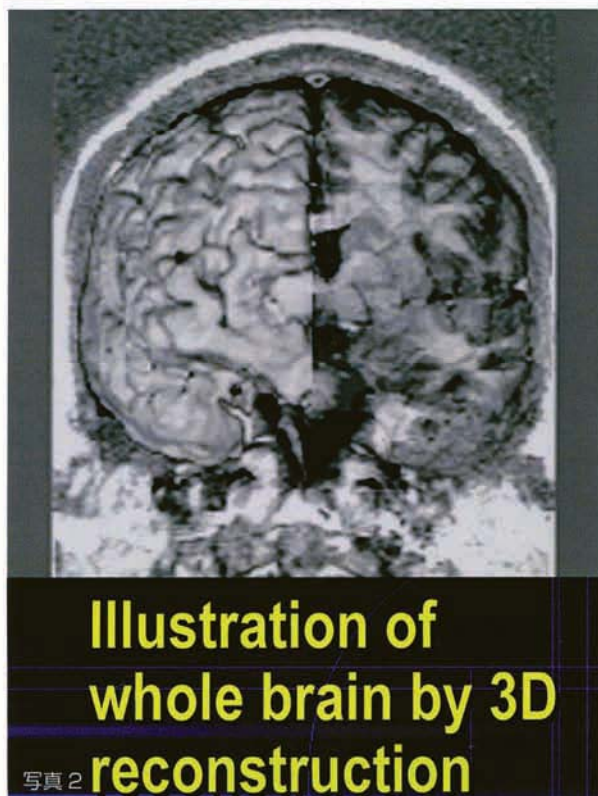
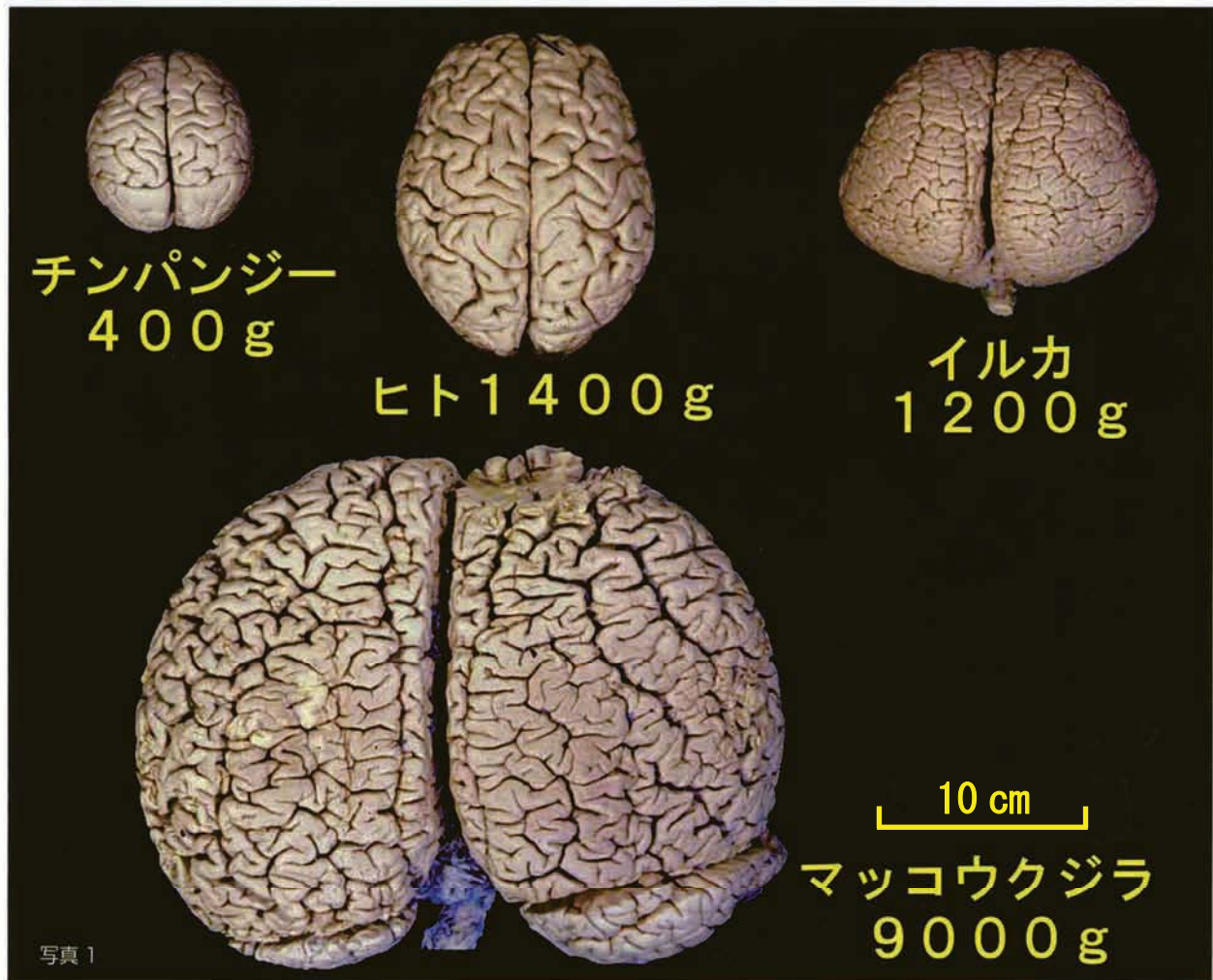
これまでの研究を支援し、協力してくれた国内・外の共同研究者と技官の方々に感謝の意を表します。

8. 参考文献

- 1) Popper Karl R. John C. Eccles. The Self and Its Brain, An Argument for Interactionism. Springer International. 1977 ; 1 : 1-597
- 2) 齋藤基一郎, 馬場則男, 門間正彦, 熊谷英夫, 塚本信宏, 八重口直樹. ヒト大脳皮質の厚さの3次元定量的研究—MRI画像に対するボクセル処理—. 機能・形態. 2004 ; 2 (2) : 47-54
- 3) Saito K. Monma M. Kumagai H. Tsukamoto N. 3D-Morphometrical Analysis of Human Brain By Means of MRI. Anatomical Science, Sixteenth International Congress of Anatomists, Proceeding, 79 Supplement Kyoto. 2004 ; 1 : 8
- 4) 齋藤基一郎, 門間正彦, 熊谷英夫, 稲垣裕美. ヒト大脳皮質の形態計測学的研究—MRI画像の3次元解析—. 茨城県立医療大学紀要. 2006 ; 11 : 109-121
- 5) 平沢興. 大脳の最高中枢. 日本医書出版. 1950
- 6) Brodmann K. Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues. Johann Ambrosius Barth Leipzig, 1909
- 7) 小島徳造. 中枢神経系の解剖 (第5版) 医歯薬出版株式会社. 1974 ; 1 : 1-347
- 8) Eccles John C. 脳の進化. 伊藤正男訳 東京大学出版会. 1990 ; 1 : 1-272
- 9) Suwa G. Asfaw B. Kono T. Lovejoy C. O. White T. D. The Ardipithecus Ramidus Skull and Its Implication for Hominid Origins. Science. 2009 ; 326 (5949) : 68
- 10) Lovejoy C.O. Suwa G. Spuriok L. Asfaw B. White T. D. The Pelvis and Femur of Ardipithecus Ramidus : The Emergence of Upright Walking. Science. 2009 ; 326 (5949) : 71
- 11) Jenkins T. W. Truex R.C. Dissection of the human brain as a method for its fractionation by weight. Anatomical Record. 1963 ; 147 (3) : 359-366
- 12) Broca P. Remarques sur le siege de la faculte du langage articule dune observation daphemie. Bull. Sco. Anat. (Paris) 1861 ; 6 : 330-357
- 13) Wernicke C. Der aphasische symptomemkomplex : Ein psychologische Studie auf anatomischer Basis. Breslau, Cohn und Weigert . 1874
- 14) Gerstmann J. Syndorome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia and acalculia. Arch Neurol Psychiat. 1940 ; 44 : 398-408
- 15) Geschwind N. Disconnexion syndromes in animals and man. Brain. 1965 ; 88 : 237-294, 585-644
- 16) Descartes R. Philosophical works. Trans. E. S.Naldane and G.R.T. Ross. Cambridge : Cambridge University Press. 1931
- 17) Wada J. A. Clarke R. Hamm A. Cerebral hemispheric asymmetry in humans' Arch. Neurol. 1975 ; 32 : 239-246
- 18) Rubens A. B. Anatomical asymmetries of the human cerebral cortex in S. Harnad, R.W. Doty, L. Goldstein, J. Jaynes and G. Krauthamer (eds). Lateralization in the Nervous System, New York: Academic Press. 1977 ; 1 : 503-516

- 19) Geschwind N. Levitsky W. Human brain. Scientific American. 1968 ; 226 (4) : 76-83
- 20) Eccles John C. 脳と実在. 脳研究者の哲学的冒険. 鈴木二郎, 宇野昌人 共訳 紀伊国屋書店. 1981 ; 1 : 1-324
- 21) Kaiserman-Abramof I R. Peters A. Some aspects of the morphology of Betz cell in the cerebral cortex of the cat. Brain Res. 1972 ; 43 : 527-546
- 22) Saito K. Niki K. Eins S. Wolff J. R. Quantitative analysis of synaptic structure using semiautomatic interactive computer system : A study of identified pyramidal tract neurons in the sensory-motor cortex of the cat. J. Electron Microscopic Tech. 1986 ; 4 : 241-256
- 23) Kojima T. On the Brain of Sperm Whale (Physeter, Catodon L.) The Sci. Rep. of Whale Res. Inst. 1951 ; 6 : 49-75
- 24) Langworthy O. R. A Description of The Central Nervous System of The Porpoise (Tursiops Truncatus). J. Comp. Neur. 1932 ; 54(2) : 437-500
- 25) 小川鼎三, 細川宏. 日本人の脳. 金原出版. 1939
- 26) Brodmann K. Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde. Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1909
- 27) Sperry R.W. Gazzaniga M.S. Bogen J.E. Interhemispheric relationships : the neocortical commissure syndromes of hemisphere in disconnection in P.J. Vinken and G.W. Bruyn (eds) Handbook of Clinical Neurology, New York : Wiley 1969 ; 1 : 273-290
- 28) Sperry R.W. Some effects of disconnecting the cerebral hemispheres. Science. 1982 ; 217 : 1223-1226
- 29) Eccles John C. The Physiology of Synapses. Springer-Verlag. Berlin. 1964 ; 1 : 1-316
- 30) Eccles John C. Evolution of the Brain : Creation of the Self. Rotledge , London and New York. 1989 ; 1 : 1-272
- 31) Eccles John C. 自己はどのように脳をコントロールするか, 大野忠雄, 齋藤基一郎 共訳 シュブリンガーフェアラク. 東京 2000 ; 1 : 1-223
- 32) Eccles John C. Robinson D.N. 心は脳を超える—人間存在の不思議—. 大村裕, 山川宏, 雨宮一郎 共訳 紀伊国屋書店. 1989 ; 1 : 1-170
- 33) Derek Denton. 動物の意識, 人間の意識. 大野忠雄, 小川千重子 共訳 紀伊国屋書店. 1981 ; 1 : 1-286
- 34) Marian S. Dawkins. Through Our Eye Only ? : The Search for Animal Consciousness. Oxford University Press. USA. 1998 ; 1 : 1-206
- 35) Geschwind N. Levitsky W. Human Brain : left-right asymmetries in the temporal speech region. Science. 1968 ; 161 : 186-189
- 36) Geschwind N. Galurda Am. Cerebral lateralization. Biological mechanisms, Association, and Pathology. The MIT Press. 1987
- 37) 齋藤基一郎, 佐々木薫. 電子顕微鏡によるシナプス研究の歩み—その超微構造と働き— 茨城県立医療大学紀要. 2001 ; 6 : 23-36
- 38) 齋藤基一郎. 脊髄ニューロンの微細構造. 医学書院. 神経研究の進歩. 1982 ; 26 (4) : 596-613
- 49) 鹿島晴雄, 種村純. よくわかる失語症と高次機能障害. 永井書店. 2005 ; 1 : 1-452
- 40) Kojima T. Saito K. Kakimi S. An Electron Microscopic Atlas of Neurons- A Complete Picture of the Neuron Soma and General Structure of the Neurons-. University of Tokyo Press. 1975 ; 1 : 1-150
- 41) Saito K. The synaptology and cytology of the Clarke cell in nucleus dorsalis of the cat : an electron microscopic study. J. of Neurocytology. 1974 ; 3 : 179-197
- 42) Saito K. Morphometrical synaptology of Clarke cells and of distal dendrites in nucleus dorsalis : An electron microscopic study in the cat. Brain Res. 1979 ; 178 : 233-249
- 43) Wan C. Li, Sakamoto H. Saito K. Ultrastructure and Synaptic Architecture of Spinal Motoneurons in the Frog (Rana Catesbeiana). Acta Anatomica. 1989 ; 134 : 1-11
- 44) Saito K. Matsumura A. Quantitative investigations of spinal motoneurons and their synaptic structure in a Teleost : A morphometrical analysis with special reference to axo-somatic synapses. J. of Morphology. 1993 ; 218 : 281-300
- 45) Eccles John C. 脳と意識的経験の統一. 松田幸次 (監修) 土居健郎, 吉田哲夫 共訳 医学書院. 1967 ; 1 : 1-57
- 46) Penfield W. Robert L. Speech and Brain Mechanisms. Princeton University Press. 1959
- 47) Saito K. Niki K. Morphometrical synaptology of a whole

- neuron profile using a semi-automatic interactive computer system. *Cytometry*. 1985 ; 4 : 20-30
- 48) von Economo, C.F. *Cytoarchitectonic of the Human Cerebral Cortex*. Oxford Medical Publication, London. 1929 ; 1 : 1-186
- 49) 小川鼎三. 脳の解剖学. 木村書店. 復刻版. 1975 ; 1 : 1-247
- 50) 佐野豊. 神経解剖学. 南山堂. 1974 ; 1 : 1-563
- 51) 新見嘉兵衛. 神経解剖学. 朝倉書店. 1984 ; 1 : 1-220
- 52) 齋藤基一郎, 王昌立, 後藤保正. 医療のための脳・神経解剖学の基礎. 元就出版株式会社. 2009 ; 1 : 1-265
- 53) Marie P. 岡部春枝他(訳) 失語症の問題に関する再吟味 1. 左第3前頭回は言語機能に何ら特別の役割を果たしていない. *精神医学*. 1984 ; 26 : 659-666, 887-896
- 54) Brais B. The third left frontal convolution plays no role in language : Pierre Marie and the Paris debate on aphasia (1906-1908). *Neurology*. 1992 ; 42 : 690-695
- 55) 神谷敏郎. 鯨の自然誌 海に戻った哺乳類, 中公新書. 1992 ; 1 : 1-120
- 56) Kappers C. Ariens U.G.C. *The Evolution of the Nervous System in Invertebrates and Man*. Harlem, Bohn, 1936
- 57) Kappers C. Ariens U.G.C. Crosby E.C. *The Comparative Anatomy of the Nervous System of Vertebrates, Including Man*. The Macmillan Co. New York, 1936
- 58) 藤澤浩四郎. 神経病理学. 日本学術出版センター. 1996 ; 1 : 1-326
- 59) Paul Chauchard. 言語と思考. 吉倉範光訳 白水社. 1972 ; 1 : 1-130
- 60) 福田哲夫訳, カハール原著. ニューロン説か網状説か. 長井書店 大阪. 1960 ; 1 : 1-141
- 61) 萬年浦. 神経学の源流. 東京大学出版会 東京 1969 ; 1 : 1-288
- 62) 齋藤基一郎. John C. Eccles 教授(1903-97)の墓参を終えて. *神経科学ニュース*. 日本神経科学学会. 2000 ; 4 : 6-9
- 63) 内山伸治, 杉山有, 吉長和史. 健常成人に認められた脳梁欠損を伴う colpocephaly : 神経内科. 1988 ; 28 : 210-213
- 64) 小島不二雄, 島田吉三郎. 脳梁欠損. *解剖誌*. 1938 ; 12 : 91
- 65) 藤原正明. 脳梁完全欠損例. *解剖誌*. 1939 ; 14 : 60



頭部の3次元復元立体画像(3D)

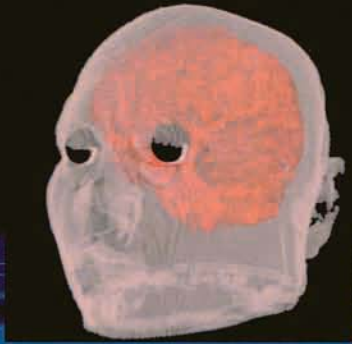
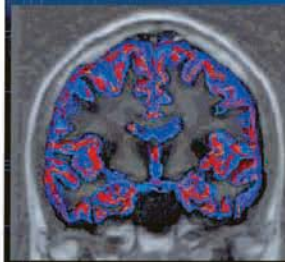
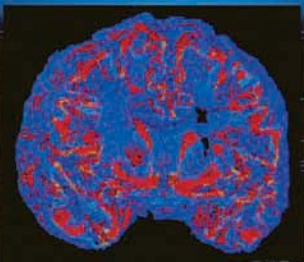


写真4

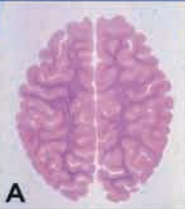


Coronal section corresponding to Brodmann Area 4 and prefrontal cortex showing more thicker areas than others

写真5



Frontal 3D-Aspect of human neocortex. Differences of cortical gray matter thickness indicating more thicker regions in the red and the yellow than those in the blue.



A



C



B



D

写真6

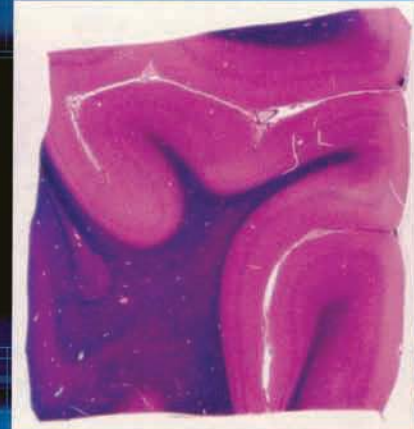


写真7

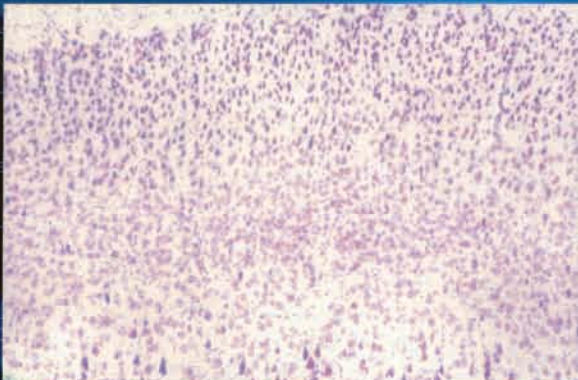


写真8

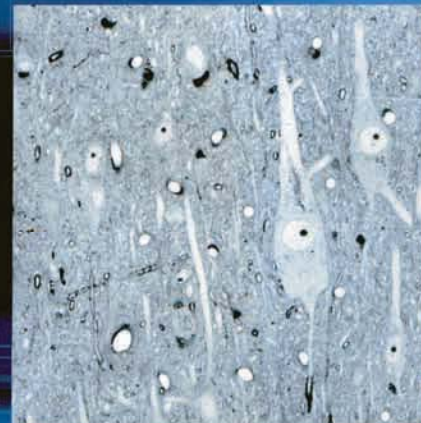
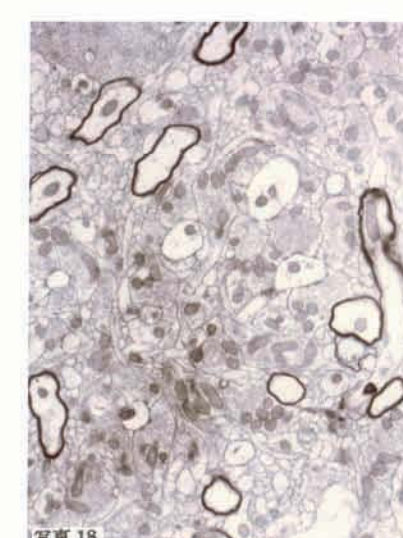
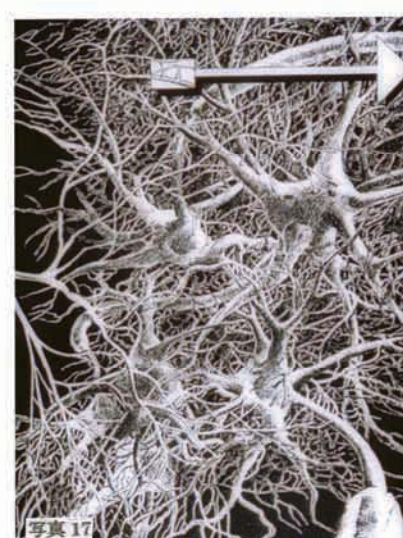
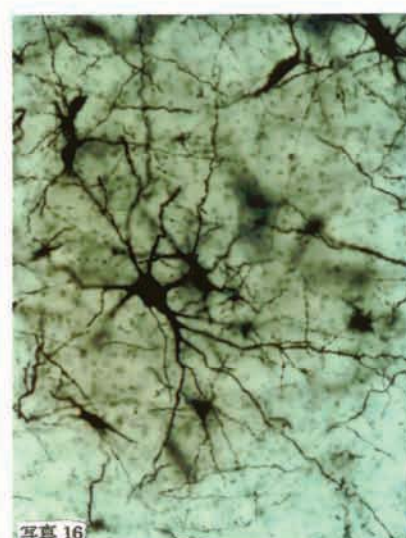
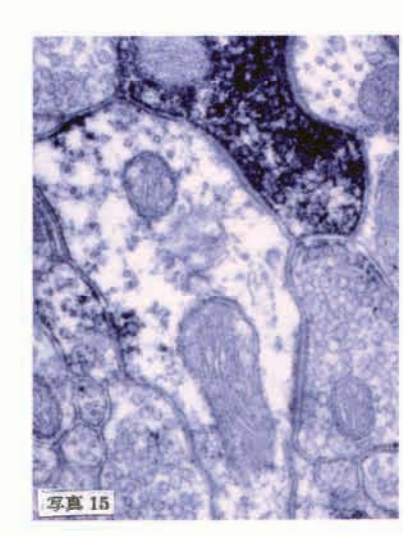
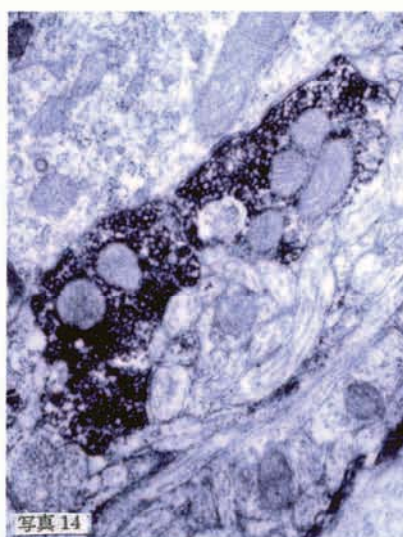
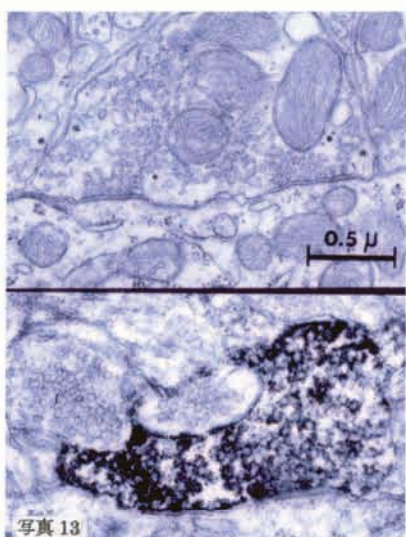
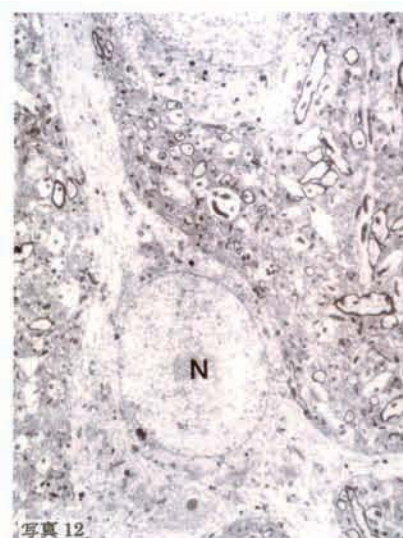
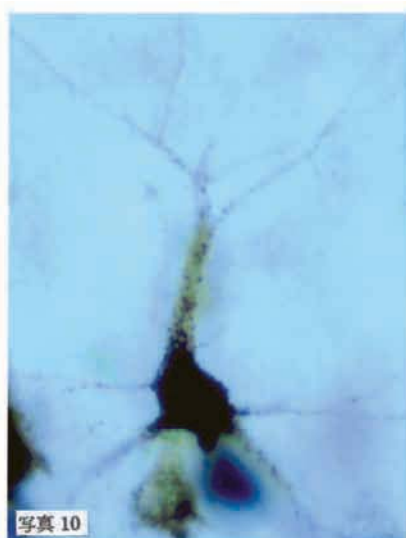


写真9



9. 写真の説明

- 写真 1. 高等哺乳動物脳（ホルマリン固定）。左上 2 つ：陸生哺乳類（ヒト，チンパンジー），右上下 2 つ：海生哺乳類（イルカ，マッコウ鯨）
- 写真 2. ヒト生体脳—3D再構築立体MRI画像。（右側：6cm 深部まで削ってある）
- 写真 3. 大脳皮質の特徴抽出，皮質は赤色で示す。
- 写真 4. ヒト頭蓋腔内にある大脳の3次元復元像。（コンピュータ・グラフィクスによる自験例）
大脳をX，Y，Z軸方向に回転させ，その内部構造を観察し，皺の形態計測ができる。
- 写真 5. ヒト大脳皮質の厚み。平均的な皮質の厚さは青色で，厚い部分は赤色で示す。
（左側は中心溝付近，右側は全脳の立体再構築画像）
- 写真 6. ヒト全脳の連続水平断染色標本。
（A，上脳 →D，脳底）AからDの順に，上から脳底へ向かって連続切裁した。
- 写真 7. ヒト大脳皮質の厚さ：パールカルミン染色。赤い部分は皮質，濃い部分は髄質で，ヒトでは深い脳溝と脳回を示す。
- 写真 8. 大脳皮質の細胞構築（6層）の光顕像。
（下層V～VIの大型細胞はBetz細胞）
- 写真 9. 右側 3 つは Betz 細胞，上方に向かう 3 つの尖頭樹状突起と下方に向かう錐体路を構成する軸索突起の髄鞘（矢印）に注目されたい。
- 写真 10. HRP 染色の Betz 細胞（反対側脊髄に HRP を逆行性に注入）。光学顕微鏡観察では，ニューロピル内の構造物は視覚化できず，中腔（青色）として観察される（写真 9,11,12,18）。
- 写真 11. 極超低倍率の電子顕微鏡モンタージュ写真。（Betz 細胞の全貌を示す）
- 写真 12. 大脳皮質の小型神経細胞の電子顕微鏡像。
- 写真 13. 抑制性シナプス（上，正常電顕像で F-type シナプス。下，免疫電顕 GABA 染色写真）
- 写真 14. GABA 染色—抑制性シナプス。
- 写真 15. 同上，axo-dendritic synapse。
- 写真 16. 大脳の神経細胞（Golgi 染色法），よく発達した樹状突起と中腔のニューロピル。
- 写真 17. 樹状突起と軸索突起の絡み合う複雑な神経回路網の模式図。
- 写真 18. 電子顕微鏡によるニューロピルの構造。
（突起のジャングルに注目されたい）