The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	脳進化の人類学 : 覚え書き
Author(s)	平崎, 鋭矢
Citation	大阪大学大学院人間科学研究科紀要. 2004, 30, p. 36-46
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/11137
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

「大阪大学大学院人間科学研究科紀要」第30巻, 2004年 3 月所収

脳進化の人類学

—— 覚え書き ——

平　﨑　鋭　矢

脳進化の人類学
―― 覚え書き―― *

平﨑　鋭矢[1]

1．はじめに

哺乳類の脳は、大脳から延髄まで共通の区分を示して、たとえヒトの大脳がどのように発達していようと全体を通して驚く程、保存的原則に則っている（Finlay & Darlington, 1995）。そうかといってモンキー類（旧あるいは新世界サル）を使用した最新の実験成果をヒトの脳にそのまま当てはめて、ヒトの脳もこうだとするにはどうしても制約がある。と言うのは、脳はそれぞれの動物種の日常の行動生態を反映しており、ヒトの脳の場合は、特にその社会的要因の選択圧を受けて進化してきている。だから、ひとくちに霊長類といっても、ヒトに最も近い類人猿、特にチンパンジーの脳と比較されねばならないからである。周知のようにチンパンジーの行動生態は日常の自然観察であれ、実験室での学習能測定であれ、内外で活発に研究されている。ヒトの幼児とチンパンジーの行動を比較して、極めてよく類似した面があることはしばしば強調されるが、同時に全くことなる様式を示すものが数多くあることもよく知られている（たとえば、Povinelli & Preuss, 1995）。たとえ類似した行動パターンでも、その根源が共通の祖先に由来するものか否か（行動のホモロジィ）確認は容易ではない。いずれにせよ、これらの行動特性は脳に反映するから、結局ヒトとチンパンジーの脳を比べてヒトの脳独自のものは①どのようなものでどこにあるか、②どのようにして発生したのか、③進化の過程のいつ起こったか、を探求するのが脳進化の人類学である。本稿では、その探求成果の現況と今後について、この順に沿って整理して見解を示す。

2．ヒトの脳の specialization について

ヒトの脳の specialization を求めて、チンパンジーとの違いを発見する努力は、現時点では次の言葉で要約されよう。「ヒトとチンパンジーの脳を比較した場合、ヒトの脳の中にのみ存在するといった神経組織の形態要素は（まだ？）何も見つからないけれども、相同の部位の１㎜^{3}を比べると、その中身の構成がことなる」、そして「細胞からその素

＊ 本稿は標題をめぐって、最近、俣野彰三名誉教授との間でかわされた論議を、同教授の了解を得てまとめたものである。

⑴ 大阪大学大学院人間科学研究科（行動生態学講座 行動形態学研究分野）

材となる物質に至るまで、レベルがことなってもこの原則は成立する」。脳は限られた頭蓋内容積の中にあって細かく機能の局在を示し、ヒトでは左右非対称ですらある。したがって進化の途上で脳にくみかえ（再構成、以下 reorganization）が行われ、しかもそのテンポがまちまちなので、「脳全体が一様に進化しているのではなくてモザイクになっている」（カギ括弧内の文章は俣野（1995）より引用）。

3．大脳皮質の reorganization

3.1　容積から

ヒトの脳の reorganization を探るなら、当然、等皮質（大脳新皮質）が注目の的となる。それは容積の検討よりはじまる。容積の増大は機能の発達を反映するからである。現在最も信用し得るステファンのコレクション（デュッセルドルフ）の検討（Frahm ら，1982）では、新皮質容積は対身体サイズ（体重）の相対成長でヒトはチンパンジーを離してすぐれている。ところが対脳重（又は全脳容積）の比較ではヒトは類人猿の発達度の幅の中に入る。前者はいわゆる大脳化現象の表現であり、後者の結果はヒトの新皮質の発達が全脳に比べて余りにも著しい（容積比70%以上）ことによる。このように同一資料を用いても結果がことなることは、皮質下の灰白質の相対比較でも起こるので、神経学的考察に際しては注意が肝要である（Holloway，2003）。

1990年代後半に入って霊長類の大脳皮質の容積比較に f−MRI（機能的磁気共鳴画像）が活用されはじめて、この分野は画期的な展開を示している。主としてヤーキス霊長類研究所（アトランタ）の生存チンパンジー６例、ピグミィチンパンジー４例、ゴリラ２例、オランウータン６例、テナガザル４例がヒト10例と比較された（Rilling & Insel，1999；Rilling & Seligman，2002；および Semendeferi & Damasio，2000；Semendeferi，2001など）。得られた結果は大方の期待に反した。両者とも皮質を各葉にわけて比較した際、前頭葉の発達度がヒトとチンパンジーの間で有意の差がなかったのである（実はこのことはシカゴのイリノイ大学のグループ（1950，1951，1963）が早くから述べていた）。唯一、側頭葉のみがヒトで発達がよくて、チンパンジーを離している。又、有意差はないものの島葉もその傾向を示した。だが注目すべきは皮質直下に広がる白質の容積がヒトで著しくふえる ―− つまり白質が灰白質以上に大脳容積の増大にかかわるのである。この事実は先述の Frahm らも認めていた。これは線維結合上の reorganization がいかに重要かを示す間接的証拠と言えよう。このほか f−MRI 測定では皮質表面積も検討され、ヒトの prefrontal　cortex の吻側部がチンパンジーに比べて広いという報告（Schönemann & Glotzer，2003）もあり、この事実は postmortem での Zilles ら（1989）の gyrification の結果とも一致する。いずれにせよ今後、何よりも f−MRI 測定の例数をふやすことが切望される。

3.2 皮質領野から

f−MRIでの容積測定が今後いかに進むとしても皮質の細胞構築や線維結合のreorganizationに立ち入ることはできない。Semendeferi（2001）は容積測定と組織学的所見の併用を、俣野らによる小脳系の成果（５でふれる）を例にあげて強調している。彼女らはf−MRIによる容積比較でヒトとチンパンジーの間で差の認められなかった前頭葉について、情動に深くかかわる辺縁系の第13野、高度な認知機能の座の一つとしての前頭前野の第10野の比較を組織学的に行った（1998, 2001）。第13野では皮質構造の種間変異は少なく、相対容積はむしろヒトの方が小さかった。これに対し、第10野は明らかにヒトが相対容積にすぐれ、かつ各層の比較でsupragranular layerの発達がよかった。これは皮質間線維結合のより一層密であることを示すもので、ヒトのよりすぐれた高度の認知機能を反映する初めての形態学的報告として、Hollowayの若干の批判はあるにせよ（2002）、極めて重要な証拠である。これらの成果の今後の発展については、彼女らも述べているが種間比較する皮質領野の境界決定が肝要となる。比較の方法が新しくなったり精密さをますと、従来認められていた相同がくつがえされたり訂正されることは脳ではよくあることで（俣野, 1979）、周知のブロードマンの皮質マップ（1909）でさえ、再検討が問題となる。たとえば第一次運動野（第４野）でも、Preuss（2000）によればヒトは中心溝のanterior bankが主にこれに該当する。チンパンジーではprecentral gyrusおよびそのbankにまで至る。つまりヒトの第４野はチンパンジーより圧縮されている。Broca運動性言語領野（第44, 45野）については、すでにモンキーのレベルで厳密に比較されて相同部位が同定されている（Galaburda & Pandya, 1982）。これについては俣野（1995）が詳しく解説したので割愛する。

人類学ではヒトのverbal communicationの発達以前は顔面表情や、手の動きでのnon−verbal communicationが主要な形態であったと想定するのが一般的であるが、運動性言語領野の近傍にorofacialあるいはmanual gestureに対応する筋支配の領域があるのは前適応の一例と言える。又、Wernickeの知覚性言語領野にかかわる左のplanum temporaleが右より大きく非対称を示すことは、差の程度は小さくてもチンパンジーでも確認されている（Gannon et al, 1998）ので、この事実自体を、即ヒトの言語機能と直結できない。

3.3 細胞構築像から

ヒトとチンパンジーの等皮質の細胞構築についてはイリノイ大学のMcCulloch, von Bonin, Baileyの大著（1950, 1951, 1961）に負うところ大であるが、最近はPreussら（1999, 2000, 2003）が主として第一次視覚野（17野）で特に第４層に注目して研究を行っている。チトクロームオキシターゼ染色にはじまり、calbindin−immunoreactive cell, 抗体使用によるnonphosphorylated neurofilamentsやmicrotuble−associated proteinなどの存在様式を比較したところ、ヒトとモンキーで明らかに差異があるがチンパンジーの特性はどちらかといえばモンキーよりヒトの結果に類似した。いずれにせよ皮質のcompartment

geometry の比較は、資料が autopsy という制約があるものの今後とも可能な限りの展開が望まれる。

現生ヒトの specialization をきわだたせている所見は、等皮質のカラム構成である。Mountcastle（1997）が提唱したように、皮質のニューロンは表層に垂直にカラム状に配列しており、これが等皮質の basal uniformity として構造上、機能上の単位とされている。その大きさも哺乳類の種をこえてほぼ一定（20～80μm 程度）である。すべての種の等皮質のすべての部位でカラムが存在するか否か（Jones, 2000）は別として、人類学の立場からはヒトとチンパンジーにおける相同領野のカラムの数、大きさ、配列状態、神経細胞の密度、neuropile の拡がりなどの比較がなされねばならない。Tpt 野（第22野で Wernicke の言語領野にかかわる）で比較した Buxhoeveden ら（2001）の結果によれば、チンパンジーの特性は殆どモンキーの結果とかわらなかった。これに対しヒトではカラムの大きさがモンキーやチンパンジー（平均36μm）より大きく（平均51μm）、何よりも neuropile の部分が著しく拡大していたことがわかった。これはとりも直さず、ヒトの Tpt 野へ出入りする神経路や皮質内の微細な回路の豊富さがチンパンジーにまさることを示している。ヒトの言語領野の specialization を示す興味ある証拠である。

4．皮質の reorganization はいかにして起こったか

比較する種の間で相同の領野が大きく移動したり、拡張して新しい区分が生じたりした場合は、当然、進化の過程でその部分の reorganization が行われたことを意味している。どのようにしてこれが行われるかについては未だ結論はない。Northcutt & Kaas（1995）によれば相同でない新しい皮質の部分は種ごとの選択圧によってそれぞれ独立して生じると考えている。側頭葉の MT（Middle temporal visual area）ニューロンは物体の動く方向性を受容すべく高度に分化したもので、色の刺激に対しては応答しない。この領野は霊長類以外では認められないので（Kaas & Krubitzer, 1991）、霊長類が出現した後に生じたもので、霊長類と他の哺乳類の共通祖先（common ancestor）には存在しなかったとする。この領野はＶ２野の境界域から生じて、離れて側頭葉に移行してきたもので、ネコにおける Bishop−Clare 領野（霊長類の MT ニューロンと類似の特性を示すニューロンがある）とは相同ではなく互いに独立して進化したと結論する。種の行動生態の脳への反映を考慮した柔軟な考え方と言える。

皮質が拡大して新しい領野を付加する説明としては、Rakic（1988）が皮質の個体発生のために提唱した radial unit hypothesis を進化の歴史の中で展開したものが理解しやすい。発生に際して脳室壁の細胞の分化があり、皮質のミニカラムが、種それぞれにさまざまな部位で定められた発達時期に応じて分裂増殖して皮質の領野を作ってゆく。この分裂増殖を制御する遺伝子が進化の過程で突然変異を起こせば、新しい分野が作られて皮質が拡大してゆくと考える。実際、ヒトとチンパンジーのゲノムの比較でその差は僅

か１％強と言われる。この僅かな差異に両者の本質的な差を求めるよりは、遺伝子機能を操作する制御遺伝子の突然変異、機能する部位ごとの rate や duration のずれなどがヒトの specialization に深くかかわると考えた方が自然であろう。皮質の各領野や灰白質、神経結合などの形成発達にかかわる遺伝子の解明がヒトの脳の進化の理解へとつながるのである。

５．皮質下領域の reorganization

新皮質に生じた reorganization は当然、皮質との線維結合が最も著しい皮質下の領域の reorganization をうながし、相互は密接に機能する。そこで視床や小脳外側帯が注目される。視床については Armstrong（1982）による視床枕核、背内側核、および外側膝状体の細胞の大きさからみた数の分布比較がある。ヒト、ゴリラ、テナガザルを比較し、視床枕核が、ヒトのみの特異なパターンをとることを見出した。ゴリラは外側膝状体と背内側核でテナガザルよりヒトに近い。これらは皮質への線維結合の reorganization を推定させる。

小脳系では、外側帯が皮質への回路を形成し、情報出力核としての外側核、皮質よりの入力核としての橋核、下オリーブ主核が存在する。これらの灰白質の容積発達をヒトと類人猿で比較したわれわれの成績がある（1985a, b, 1990, 1997）。われわれの結果ではヒトの外側帯はチンパンジーをひき離して発達している。これはヒト固有としての、企画から行動に至るまでの素晴らしい随意運動能（たとえば手指など）の進化を反映していることは当然であるが、さらに臨床では小脳障害が言語発達に影響があることをはじめ、言語や高度の認知活動には小脳外側帯が欠くことができないことが知られてきた（Leiner et al, 1993 ; Petersen & Fiez, 1993 ; Thach, 1996 ; Carper & Courchesne, 2000 ; Imamizu et al, 2000）。外側核では、前頭連合野の46野（ワーキングメモリに際してのキーポイントの領野）への線維結合が新世界サルで証明され、形態学的証拠の一つを提示している（Middleton & Strick, 1994）。我々の容積レベルの検討は、すでに小脳の specialization の存在することを証明しているが、さらに外側核ではヒトは特に腹側部の発達がすぐれているように思われる（Matano, 2001）。

６．Reorganization はいつ起こったか

ヒトの起原は直立にはじまり２足歩行を展開する。これに脳の specialization が続くとされる。すでに樹上四足生活の時代に脳の進化にかかわりの深い上肢と下肢の機能分化、嗅覚にかわる視覚の発達などの適応のあったことも周知の通りである。脳の specializaition はある限られた時期に脳全体として一挙に行われたのではない。強力な社会的選択圧を受けながらこれに適応して、時には速く、時にはゆっくりと部位別にモザ

イク様に reorganization を行ってきた（モザイク進化）。

アフリカにおいて発掘されつつある人類の証拠としての化石は、現在のところ *Australopithecus afarensis*（300－400万年前）にさかのぼる。証拠としての頭蓋化石は余りにも数が少なく、かつ不完全である。これにより脳容積やその外形をうかがうことができても、内部の reorganization の進化を知るには情報が少なすぎる。第17野が類人猿に比較してヒトで圧縮されて容積値が相対的に低いこと（Frahm et al, 1984）は、視覚の高度で複雑な分析を分化させた（後頭）頭頂連合野の拡大を意味するが、これは化石頭蓋からうかがえる月状溝や頭頂間溝の相対的位置で間接的に理解できる（Holloway, 1997）。ヒトは恐らくこの reorganization にはじまり前頭連合野、側頭連合野を拡大し、そして言語領野のヒトとしての reorganization、さらにこれに併行する小脳外側帯の進化へ次第に現代人の脳構成の水準に達したのだろう。多くの人類学者が発掘された化石頭蓋と、付随する石器から想定される日常の行動生態を考察して、ヒトの言語の原始的状態は恐らく180万年前頃（*Homo rudolphensis, Homo habilis*）には存在していたと考えている。しかしこの意見に賛成する Holloway 自身がこれは outright speculation だと述べている。

後記

先に著された「霊長類のニューロエソロジー（俣野, 1995）」は、形態形成などに関して意をつくしていなかった面もあり（三上, 1995）、本稿はこの点を付加し、前著以後の研究成果を包括しているので、結果的に前著の補遺としての役割を兼ねている。

引用文献表

1）Armstrong, E. 1982. Mosaic evolution in the primate brain : differences and similarities in the hominoid thalamus. In : Armstrong E, Falk D（eds）. Primate Brain Evolution. New York : Plenum Press. p131−161.

2）Bailey P, von Bonin G von. 1951. The isocortex of man. Urbana : The University of Illinois Press.

3）Bailey P, von Bonin G von, McCulloch WS. 1950. The isocortex of the chimpanzee. Urbana : The University of Illinois Press.

4）Bonin G von, Bailey P. 1961. Pattern of the cerebral isocortex. In : Hofer H, Schultz AH, Starck D（eds）. Primatologia, volume 2, part2, delivery 10. Basel : S. Karger.

5）Brodmann K von. 1909. Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde : in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues. Leipzig : J. A. Barth.

6）Buxhoeveden DP, Switala AE, Roy E, Litaker M, Casanova MF. 2001. Morphological differences between minicolumns in human and nonhuman primate cortex. *Am J Phys Anthropol* 115 : 361−371.

7）Carper RA, Courchesne E. 2000. Inverse correlation between frontal lobe and cerebellum sizes in children with autism. *Brain* 123 : 836−844.

8）Finlay BL, Darlington RB. 1995. Linked regularities in the development and evolution of mammalian brains. *Science* 268 : 1578–1584.

9）Frahm HD, Stephan H, Stephan M. 1982. Comparison of brain structure volumes in Insectivora and Primates. I. Neocortex. *J Hirnforsch* 23 : 375–389.

10）Frahm HD, Stephan H, Baron G. 1984. Comparison of brain structure volumes in insectivora and primates. V. Area striata（AS）. *J Hirnforsch* 25 : 537－557.

11）Galaburda AM, Pandya DN. 1982. Role of architectonics and connections in the study of primate evolution. In : Armstrong E, Falk D（eds）. Primate Brain Evolution. New York : Plenum Press. p 203–216.

12）Gannon PJ, Holloway RL, Broadfield DC, Braun AL. 1998. Asymmetry of chimpanzee planum temporale : humanlike pattern of Wernicke's brain language area homolog. *Science* 279 : 220–222.

13）Holloway RL. 1997. Brain evolution. In : Dulbecco R（ed）. Encyclopedia of Human Biology, volume 2. New York : Academic Press. p189–200.

14）Holloway RL. 2002. How much larger is the relative volume of area 10 of the prefrontal cortex in humans? *Am J Phys Anthropol* 118 : 399–401.

15）Holloway RL. Personal communiation.

16）Imamizu H, Miyauchi S, Tamada T, Sasaki Y, Takino R. Pütz B, Yoshioka T, Kawato M. 2000. Human cerebellar activity reflecting an acquired internal model of a new tool. *Nature* 403 : 192–195.

17）Jones EG. 2000. Microcolumns in the cerebral cortex. *Proc Natl Acad Sci USA* 97 : 5019–5021.

18）Kaas JH, Krubitzer LA. 1991. Neuroanatomy of visual pathways and their retinotopic organization. In : Dreher D, Robinson SR（eds）. Neuroanatomy of the visual pathways and their development（Vision and Visual Dysfunction, volume 3）. Hampshire : Macmillan Press. p302–359.

19）Leiner HC, Leiner AL, Dow RS. 1993. Cognitive and language functions of the human cerebellum. *Trends Neurosci* 16 : 444–447.

20）俣野彰三. 1979. 生物の比較について －比較神経学の場合－. 大阪大学人間科学部紀要 5 : 179–190.

21）Matano S. 1992. A comparative neuroprimatological study on the inferior olivary nuclei（from the Stephan's collection）. *J Anthropol Soc Nippon* 100 : 69–82.

22）俣野彰三. 1995. 霊長類のニューロエソロジィ. In : 俣野彰三(ed). 脳・行動・霊長類. 大阪 : 厚生社. p3–93.

23）Matano S. 2001. Proportions of the ventral half of the cerebellar dentate nucleus in humans and great apes. *Am J Phys Anthropol* 114 : 163–165.

24）Matano S, Hirasaki E. 1997. Volumetric comparisons in the cerebellar complex of anthropoids, with special reference to locomotor types. *Am J Phys Anthropol* 103 : 173–183.

25）Matano S, Stephan H, Baron G. 1985a. Volume comparisons in the cerebellar complex of pirmates. I. Ventral pons. *Folia Primatol* 44 : 171–181.

26）Matano S, Baron G, Stephan H, Frahm HD. 1985b. Volume comparisons in the cerebellar complex of primates. II. Cerebellar nuclei. *Folia Primatol* 44 : 182–203.

27）Middleton FA, Strick PL. 1994. Anatomical evidence for cerebellar and basal ganglia involvement in higher cognitive function. *Science* 266 : 458–461.

28）三上章充. 1995. 書評. *霊長類研究*. 11 : 271–272.

29）Mountcastle VB. 1997. The columnar organization of the neocortex. *Brain* 120 : 701–722.

30）Northcutt RG, Kaas JH. 1995. The emergence and evolution of mammalian neocortex. *Trends*

Neurosci 18 : 373–379.

31) Petersen SE, Fiez JA. 1993. The processing of single words studied with positron emission tomography. *Annu Rev Neurosci* 16 : 509–530.

32) Povinelli DJ, Preuss TM. 1995. Theory of mind : evolutionary history of a cognitive specialization. *Trends Neurosci* 18 : 418–424.

33) Preuss TM. 2000. What's human about the human brain? In : Gazzaniga MS (ed). The New Cognitive Neurosciences. Second Edition. Cambridge, MA : MIT Press. p1219–1234.

34) Preuss TM, Qi H, Kaas JH. 1999. Distinctive compartmental organization of human primary visual cortex. *Proc Natl Acad Sci USA* 96 : 11601–11606.

35) Rakic D. 1988. Specification of cerebral cortical areas. *Science* 241 : 170–176.

36) Redmond JC, Bartone S, Preuss TM. 2003. Evolution in the human primary visual cortex : Modifications of layer 4A. *Am J Phys Anthropol Suppl*. 36 : 176.

37) Rilling JK, Insel TR. 1999. The primate neocortex in comparative perspective using magnetic resonance imaging. *J Hum Evol* 37 : 191–223.

38) Rilling JK, Seligman RA. 2002. A quantitative morphometric comparative analysis of the primate temporal lobe. *J Hum Evol* 42 : 505–533.

39) Semendeferi K. 2001. Advances in the study of hominoid brain evolution : magnetic resonace imaging (MRI) and 3-D reconstruction. In : Falk D, Gibson KR (eds). Evolutionary Anatomy of the Primate Cerebral Cortex. Cambridge : Cambridge University Press. p257–289.

40) Semendeferi K, Damasio H. 2000. The brain and its main anatomical subdivisions in living hominoids using magnetic resonance imaging. *J Hum Evol* 38 : 317–332.

41) Semendeferi K, Armstrong E, Schleicher A, Zilles K, Van Hoesen GW. 1998. Limbic frontal cortex in hominoids : a comparative study of area 13. *Am J Phys Anthropol* 106 : 129–155.

42) Semendeferi K, Armstrong E, Schleicher A, Zilles K, Van Hoesen GW. 2001. Prefrontal cortex in humans and apes : a comparative study of area 10. *Am J Phys Anthropol* 114 : 224–241.

43) Schönemann PT, Glotzer LD. 2003. Evolution of the prefrontal cortex : A stereological analysis of primate brain MRI scans. *Am J Phys Anthropol Suppl* 36 : 185–186.

44) Stephan H, Baron G, Frahm HD. 1988. Comparative size of brains and brain components. In : Steklis HD, Erwin J (eds). Comparative Primate Biology, volume 4, Neurosciences. New York : John Wiley & Sons Inc. p1–38.

45) Thach WT. 1996. On the specific role of the cerebellum in motor learning and cognition : clues from PET activation and lesion studies in man. *Behav Brain Sci* 19 : 411–431.

46) Zilles K, Armstrong E, Moser KH, Schleicher A, Stephan H. 1989. Gyrification in the cerebral cortex of primates. *Brain Behav Evol* 34 : 143–150.

Notes on Human Brain Evolution from an Anthropological Perspective

Eishi HIRASAKI

This article summarizes recently published findings on the evolution of the human brain. In particular, it focuses on the differences between human and ape brains, and when and how these differences emerged; some current views on these issues are introduced. The evolution of the human brain has been investigated by comparing it with the brains of various apes. Such studies have revealed that although there are no brain parts or structures that are unique to humans, the organization of the brain in humans and great apes differs. In other words, what occurred in the course of human evolution was "reorganization".

This reorganization took place in both the cerebral cortex and in subcortical parts of the brain. For example, in the cerebral cortex, Area 10 of the human brain, the area related to higher cognitive functions, has a greater volume than that of chimpanzees. Another notable finding is that the amount of white matter increased greatly in humans, suggesting the importance of the reorganization in fiber connections. Reorganization in the cytoarchitecture of area Tpt, which is closely related to Wernicke's language area, has been reported; the columns in this area are much larger in humans than in apes. As for subcortical structures, the thalamus and cerebellar system, for example, show unique patterns in humans. In particular, the lateral portion of the human cerebellum is much more developed than that of the chimpanzee, reflecting the evolution of humans' unique ability to perform voluntary activities. This area is also considered essential for high-level cognitive activities, such as human language.

Debate continues as to how this reorganization proceeded. One hypothesis is that regulatory genes played crucial roles. These genes control the functions of other genes and regulate the timing and duration of mitotic divisions. Consequently, some such genes were responsible for the multiplication of the mini-column in the cortical area during ontogenetic development. A mutation of such genes might have resulted in enlargement of the cerebral cortex or the emergence of new cortical areas. Unraveling these regulatory genes in future studies may lead to a better understanding of human brain evolution.

As the fossil record is inadequate, the timing of this reorganization in the course of human evolution is not clear. Only limited information on the primary visual cortex is available. The reduction of this area in hominids implies an increase in the parietal association area. The brain of early hominids probably first underwent reorganization in

the occipital lobe, followed by increases in the frontal and temporal association areas and reorganization of the human language area, accompanied by evolution of the lateral cerebellum, and gradually evolved to the modern human brain. The current consensus is that primitive human language existed at least 1.8 million years ago, although this is outright speculation.

Postscript: This article is based on a recent discussion with Emeritus Professor S. Matano of Osaka University, and consequently serves as an addendum to the book that Professor Matano published in 1995.