

脳科学研究ルネッサンス

—新たな発展に向けた推進戦略の提言—

平成19年5月

脳科学研究の推進に関する懇談会

目 次

はじめに	1
1. 脳科学研究の現状及び問題点	2
1－1 脳科学研究の重要性	2
1－2 第1期10ヵ年計画の成果と問題点	3
1－3 脳科学研究の現状－世界の動向、日本の動向	5
2. 脳科学研究の推進戦略	10
2－1 研究推進方策	10
2－2 重点的に推進すべき研究領域－短期・中期・長期	11
2－3 研究推進体制	22
2－4 投資目標	24
3. 脳科学研究の新たな発展に向けて	24
3－1 大学・大学共同利用機関の役割	24
3－2 理化学研究所脳科学総合研究センターの役割	24
3－3 脳科学研究人材の養成	25
3－4 社会との調和	26
参考資料1 委員名簿	28
参考資料2 審議の過程	29
 <資料>	
「脳科学研究ルネッサンス」概要	31
図解：脳の構造と機能	37

はじめに

人間は「心」を持ち、社会の中で様々な環境と関わりながら生活を営んでいる。人間を含めて動物は、周囲からの刺激を受けると、感情とともにその意味を認識し、記憶している経験と照らし合わせる。そしてその照合の結果、もっとも適切と判断される対応を選択し、それに基づいて行動を決める。大切なのは、これらの過程が「脳」で行われることである。

この時我々は、動物と人間の違いは何かを考える。言い換えれば、人間の本质は何なのかを考える。この問いへの答えには、「時間の観念」を持っていること、「自己の存在」を認識していること、「時代を超えたコミュニケーションによる文化」をもっていること、など様々な答えがあるだろう。しかし確実なことは、このような問いへの答えを考えているのも「脳」であるという紛れもない事実である。このようにして、「脳」はいつの時代においても人間の興味の対象であった。

脳に関する研究開発は、ライフサイエンスにおける生命システムの統合的理解の重要な位置を占め、実際に 20 世紀の最後の 10 年間を「脳の 10 年 (Decade of the Brain)」と呼んだり、また「21 世紀は脳の時代」と呼んだりして研究開発へのサポートはそれなりに行われてきた。こうした研究によって、先に述べたような「人間とは何か？」という哲学的課題の糸口となることが期待できるところまで進んだ。併せて、脳科学の進展により得られる知見は、医療、教育、産業をはじめ、多くの分野への応用を通じて、より良い社会の実現に資することも期待できるところまできた。

すなわち、平成 9 年 5 月、科学技術会議において「脳に関する研究開発についての長期的な考え方」が取りまとめられ、それ以後、脳科学研究は分子生物学の進展や脳機能計測技術の進歩、新たな知見の集積等により大きな発展を遂げた。その一方で、最近では情動・教育などとの関わり方、倫理面での課題なども議論されており、より学際的な取組も求められている。そして、上記報告書から約 10 年を経た今日、本懇談会を設置して、我が国の脳科学研究の在り方及びその体制等を改めて検討することにした。

本報告書を通じて、国民、研究者及び行政機関の各層において、脳科学の重要性と現状認識が共有され、新たな研究開発、関連政策が推進されることを強く期待するものである。

1. 脳科学研究の現状及び問題点

1-1 脳科学研究の重要性

1) 社会的意義

心身の健康は、人々の切実な願いであり、また、心身の健康寿命を伸ばすことは、少子高齢化を迎えた我が国が持続的に発展するためにも必要不可欠である。社会が高齢化し、多様化・複雑化も進む中で、精神神経疾患や心に問題を抱える人の数は著しく増加しており、例えば、認知症とされる人は160万人以上、うつ病は約100万人、パーキンソン病は約12万人、自殺者の数は毎年3万人以上とされ、大きな社会問題となっている。

近年の脳科学研究は、記憶、学習等の脳機能、アルツハイマー病やパーキンソン病等の脳病態、さらに幼児や子どもの脳発達への環境の影響などを着実に明らかにしつつあり、また、特に最近では、脳とコンピュータ機器や身体補助具を連携した脳機能の改善・回復などの分野が急速に進展しつつある。脳科学研究は、脳の発達障害・老化の制御や、アルツハイマー病を代表とする認知症、パーキンソン病、統合失調症、うつ病、各種依存症など精神神経疾患の病因解明、治療・予防法の開発を可能にし、また失われた身体機能の回復・補完を可能とする技術開発をもたらすものであり、少子高齢化を迎える我が国の医療・福祉の向上に最も貢献できる研究分野の一つである。

国際的な経済競争が激化する中、日本社会に新たな活力をもたらし成長に貢献するイノベーション創出が求められているが、脳科学研究の成果は、革新的な情報処理・操作システムや支援ロボット、産業ロボット等の開発を可能とし、それらを通じて新しい知見や技術に基づく新産業を創出し、社会・経済の発展に貢献することが期待できる。

さらに、近年、脳に関する書籍や商品が社会に強い影響を与えており、正しい情報の分かりやすい発信が求められている。このような社会現象は、別の面からみれば脳研究に対する社会の関心の強さを示しており、その関心に正しく答え得るような研究の進展が期待されているととらえることもできる。脳科学研究を発展させ、社会や文化との関連を含めた脳機能の発達が理解されるようになれば、乳幼児保育や教育が直面している問題などへ適切な助言が行えるようになると考えられる。

2) 科学的意義

認知、行動、記憶、思考、情動、意志等、ヒトの心の働きを生み出す脳は、人間の本質をなす器官であり、脳科学研究は真に人間を理解するための科学的基盤を与えるものである。複雑かつ高度なシステムである脳は、自然科学に残

された最大の未知領域の一つであり、脳の高次機能に関して、今後、更に多くの画期的な発見が行われる可能性が高い。

また、脳科学研究は、心の理解や人類社会の調和と発展につながる科学的価値の高い成果を生み出すのみならず、心理学、認知科学、さらには、社会学、教育学、経済学、法学等の人文・社会科学の一部とも融合した新しい人間の科学を創出し、これまでの科学の枠組みを変える可能性を秘めている。

20 世紀の後半、我が国は物質的な豊かさを求めて努力し、経済大国としての大きな成功を収めた。一方、21 世紀においては、物質的な豊かさだけでは満たされない心の豊かさをどのように実現していくかが求められている。「心の豊かさ」やものづくりにおける「人への優しさ」は、これまで芸術、心理学、哲学等の人文科学の課題とされてきた。しかし、最近の脳科学研究及びそれを取り巻くテクノロジーの急速な発展により、人間の意識や感情、すなわち、「心」の成立する基盤を脳の物質的及び情動的側面から科学的に説明することが可能となってきた。

370 年前、哲学者デカルトは、全ての事物の存在を疑っても、これを疑う自分自身の意識の存在だけは疑うことができないとして、「我思う、ゆえに我あり」という命題を提唱した。脳科学は、デカルトが 370 年前に言明した命題に答えを示すと共に、デカルトが示した物と心の二元論を克服しようとしている。我々は、今、壮大な“脳科学研究ルネッサンス”時代を開く扉の前に立っているのである。

1－2 第 1 期 10 ヶ年計画の成果と問題点

米国は 20 世紀最後の 10 年を「Decade of the Brain (脳の 10 年)」と定め、脳科学を積極的に推進してきた。当時の我が国の脳科学研究は、個人レベルでは成果を挙げていたものの、国全体としての研究体制や総合力において、十分とは言えない状況であった。そこで、平成 9 年、科学技術会議（当時）ライフサイエンス部会脳科学委員会（伊藤正男委員長）が「脳に関する研究開発についての長期的な考え方」と題する報告をまとめ、我が国の脳科学研究開発の戦略目標タイムテーブル（研究開発戦略ロードマップ）が策定された。我が国における脳科学研究の戦略的推進と発展の幕開けである。

戦略目標タイムテーブルは、脳科学に関する研究開発領域を「脳を知る」（脳の働きの解明）、「脳を守る」（脳の病気の克服）、「脳を創る」（脳型コンピュータの開発）の 3 領域に分け、5 年ごと 20 年間の具体的な研究開発目標を示した画期的なものであった（平成 14 年度から「脳を育む」領域を追加）。これを受け、同じく平成 9 年に科学技術会議ライフサイエンス部会に設置された

脳科学委員会の下、関係府省・機関と連携し、科学技術振興調整費、戦略的創造研究推進事業（科学技術振興機構（JST））などを活用した目標達成型の脳科学総合研究プロジェクトが推進された。また、理化学研究所（当時）に脳科学総合研究センターが設立（平成9年）され、我が国初の脳科学総合研究機関として、学際的融合研究が遂行されると共に、人事制度、国際化などに新しい仕組みが導入された。

一方、同時期には、大学等において、科学研究費補助金特定領域研究の「総合脳」（平成10-14年度）、「先端脳」（平成12-16年度）、「統合脳」（平成16-21年度）などを通じて、研究拠点間を結ぶネットワーク構築を目指した積極的な活動が展開されると共に、若手研究者の育成が図られた。また、大学共同利用機関法人自然科学研究機構生理学研究所（2004年3月までは、岡崎国立共同研究機構生理学研究所）は、神経科学領域の研究者と多くの共同利用・共同研究を行うと共に、国際シンポジウムなどを通して研究者のネットワークを活性化した。

こうした取組みを通じて、我が国発の世界的な成果が数多く生み出された。例えば、「脳を知る」領域では、脳を構成する様々な細胞の分化、皮質形成といった組織構築、ニューロンネットワーク形成に関わる新規遺伝子の同定・解析が行われ、幹細胞システムを用いた中枢神経系の再生の基礎研究など「脳を育む」、「脳を守る」領域との関連性の高い研究が進んだ。さらに、記憶想起過程における前頭葉からのトップダウン制御機構の発見、神経細胞内の様々な事象を生きたままリアルタイムで可視化するための遺伝子工学的手法を使った種々の蛍光タンパク質の開発等も実現した。「脳を守る」領域では、パーキンソン病遺伝子の特定、ポリグルタミン病の病態解明、グルタミン酸受容体（GluR）の重要性の確立等、脳・神経に関わる病気の解明が進んだ。

「脳を創る」領域では、実証的計算神経科学のパラダイムが確立、さらに、行動企画・強化学習の脳内機構などが解明された。「脳を育む」領域では、発達脳視覚野の感受性期（臨界期）発現制御メカニズムが解明された。

しかしながら、我が国の脳科学研究を総合的かつ計画的に推進するための基本的な方針や推進方策を示す役割を担っていた科学技術会議ライフサイエンス部会脳科学委員会は総合科学技術会議の設置と共に平成12年度で廃止された。また、第2期科学技術基本計画の下でのライフサイエンス推進戦略において、ポストゲノム研究の推進が強く打ち出されたことにより、平成12年度以降、理化学研究所脳科学総合研究センターと科学研究費補助金の特定領域研究を除けば、科学技術振興調整費、戦略的創造研究推進事業等の脳科学研究に関連した大規模なプロジェクトは開始されなかった。このため、それ

までに生み出された脳科学研究の成果を、実際の医療・福祉・教育・産業等につなげるための研究開発に、大学、大学共同利用機関、理化学研究所脳科学総合研究センター等の協同体制の下、重点的に取組む方策が採られなかったこと等が、問題点として指摘できる。

1－3 脳科学研究の現状－世界の動向、日本の動向

1) 脳科学研究の成果

平成 15 年のヒトゲノムの全解読を皮切りに、ゲノム、遺伝子、RNA、タンパク質等に関する研究プロジェクトが実施され、分子生物学の新しい成果が次々と生み出されてきた。脳科学研究は、正に今、これらの分子生物学という強力な手段を有効に活用することにより未曾有の発展段階にある。また、近年の脳機能イメージング技術の著しい発展も大きく寄与すると考えられる。さらに、人の心の理解を共通基盤とし、人文・社会科学分野の研究の多くが脳科学に向かいつつあることも最近の傾向である。

第 2 期科学技術基本計画の下でポストゲノム研究への取り組みが加速された結果、生物の成り立ちや機能の複雑さがますます明らかとなってきた。第 3 期科学技術基本計画の分野別推進戦略が示すライフサイエンス研究の大きな流れは、ゲノムから、細胞・脳・免疫系などより複雑で高次の機能を統合的に研究し、また、基礎研究成果の臨床への橋渡しを重視する傾向となっている。

脳科学研究について、過去 10 年間で、脳の記憶・学習メカニズムの解明、精神神経疾患の病因解明、脳とコンピュータのコミュニケーション技術の開発、脳の発達とその感受性期（臨界期）の分子過程の分析などが飛躍的に進んだ。我が国の重点研究領域に沿って、この間の世界の動向をまとめると、以下のとおりである。

ア)「脳を知る」領域

- ・ 脳の領域化を制御するシグナルとその伝達経路が解明されつつある。
- ・ 神経幹細胞の存在とその分化制御、神経細胞移動の研究が進んだ。
- ・ 哺乳類成体脳のニューロン新生・細胞移動のメカニズムの一端が明らかとなった。
- ・ 神経軸索の伸張・反撥、シナプス形成、再生阻害等に関与する分子の実態と機能が明らかになりつつある。
- ・ 神経細胞の情報伝達分子とシナプス可塑性や学習・記憶機能との関連が明らかになった。
- ・ 分子の細胞内運搬、集積、維持などの細胞内分子輸送のメカニズムも解明

されつつある。

- ・ 細胞内での機能分子可視化技術が進歩したことによって、受容体活性化による細胞内カルシウムの動態及びその情報伝達系の機構が急速に解明されつつある。
- ・ 感覚・記憶・学習・認知といった基礎的機能を担う神経回路の動作様式が明らかになりつつある。
- ・ 特徴抽出機構、運動の計画の実行の情報処理機構が明らかになってきた。
- ・ fMRI 法等の機能イメージング法のデータ解析手続きの標準化が進み、新規行動課題の開発が容易になった。機能モジュールを構成する構造(コラム構造)や、連合野等の各脳部位の働きが具体的課題に即して明らかになってきている。
- ・ 高次の学習・記憶に関して、システムの大域構造が明らかになってきた。
- ・ 運動・行動の選択、意思決定のメカニズム、言語野の働き等の解明も進んでいる。

イ)「脳を守る」領域

- ・ 脳イメージング技術の著しい発展によって、責任病巣の同定とその意義付けに関する研究が非常に進んだ。
- ・ 孤発性アルツハイマー病の関連遺伝子の同定研究が世界的に進む中で、我が国の研究が大きく貢献した。
- ・ 一方、正常老化の研究は世界的にまだ初期段階にある。
- ・ パーキンソン病や小脳脊髄変性症の病因・病態解明及び治療薬開発研究が大きく進展したが、我が国の研究が多大な貢献をした。
- ・ うつ病、統合失調症、てんかん、プリオン病、などの病因解明が目覚しく進歩した。
- ・ 多発性硬化症など、免疫現象を基礎とする病態の解明と治療法の開発が大きく進んだ。
- ・ 脳虚血に伴う遺伝子の発現や細胞死のメカニズムの知見に基づいて脳梗塞への対応策が進歩した。
- ・ リハビリテーションの原理も、脳の可塑性理論を基に大きく発展した。

ウ)「脳を創る」領域

- ・ 計算論的神経科学が進展し、小脳の内部モデル理論、大脳皮質の確率推論、大脳基底核の強化学習など、脳機構を定量的にモデル化し予測することが可能になると共に、実験脳科学との融合が急速に進んだ。
- ・ 脳信号処理の分野では独立成分分析などの新しい脳に学ぶ手法の開発が進んだ。

- ・ 数理脳科学が発展し、機械学習や人工知能分野に大きな影響を与え、分野融合が進んでいる。
- ・ 感覚運動機能を持ち、模倣し、学習するロボットなどの設計、試作が進み、脳科学とロボット工学の融合領域を生み出した。パワーアシストスーツなどの開発では、我が国が世界をリードしている。
- ・ 脳の学習原理の理論的な解明と、そのロボットへの応用が進んだ。
- ・ 脳型チップの開発は、人工網膜チップ（ビジョンチップ）の開発などとして産業化され、経済波及効果を生み出し社会に影響を与えた。

エ)「脳を育む」領域

- ・ 神経系の細胞分化制御における DNA メチル化等、エピジェネティクスのメカニズムが明らかとなってきた。
- ・ 大脳皮質機能が生後の環境によって特に変わりやすい時期—感受性期（臨界期）—の発現メカニズムの理解が進み、感受性期（臨界期）の開始や終了を薬物によって操作できる可能性が示された。
- ・ 乳幼児の認知・行動発達と脳の構造・機能発達との関係が脳機能イメージングによって明らかになり始めた。
- ・ 乳幼児の言語発達過程と脳活動との関係が明らかになり始めた。
- ・ 自閉症やほかの発達障害の原因遺伝子の一部が明らかになった。しかし、これらの遺伝子と発達障害の関連性についてはいまだに不明の点が多い。
- ・ 他者の心を理解する脳活動の発達過程が明らかとなり始めた。
- ・ 子どもの注意欠陥多動性障害におけるドーパミン系の役割等の生物学的要因が明らかになり始めた。
- ・ 自閉症、アスペルガー症候群等の広汎性発達障害児の脳活動の特徴が脳機能イメージング等によって明らかとなり始めた。

2) 海外の脳科学研究の現状

脳科学研究について、先進的な取り組みが行われている欧米の状況は以下のとおりである。

米国国立衛生研究所（National Institutes of Health ; NIH）の 2006 年の研究開発費の中で、神経科学に投資された研究費は、約 48 億 3 千万ドル（約 5,800 億円）に上る。この数字は、研究開発費以外も含めた NIH の総年間予算約 285 億ドルの実に約 16.9%に相当しており、がんの研究開発への投資約 55 億 7500 万ドル（約 19.6%）に匹敵する。米国における脳科学研究への期待の大きさを示すものである。米国では、人口構成や社会的な要求の変化を受け、この 10 年間に神経科学に対する投資が増加しているが、期待とニーズが大きいだけでなく、実際の波及効果も示されている。例えば、NIH の国

立精神疾患・脳卒中研究所が公表したデータでは、研究費を投じた 8 件の新規治療・予防技術により 10 年間にもたらされた経済的利益は、総額 150 億ドル（約 1 兆 8,000 億円）に上ったとされている。

近年の神経科学領域がほかの領域との融合を必要としていることを反映し、NIH ではこれらの予算を背景に、神経科学と直接は関連がない拠点も含めた NIH 内の 16 の研究所やセンターの連携による、神経科学のためのツール開発、リソース整備、及び、トレーニングの推進を目的とした **Neuroscience Blueprint** イニシアティブを立ち上げている。このイニシアティブでは、神経疾患のバイオマーカー探索、神経系研究に資する制御可能遺伝子改変マウス作成、脳イメージングの新技术開発、ニューロインフォマティクス、脳バンク、遺伝子発現データベース等が進められ、こうした総合的な基盤整備に基づき広範な神経科学領域における成果の獲得を目指している。このイニシアティブでは研究対象として、神経変性、神経発達、神経の可塑性をテーマに取り上げている。特に、神経変性については、アルツハイマー病やパーキンソン病などの旧来から着目されている神経変性疾患はもとより、視覚や聴覚などの感覚器障害、薬物やアルコール依存、さらには、次々に明らかとなっている精神疾患や慢性疼痛などとの関連までも含めて、シンプルな「神経変性」というテーマ設定により、広範囲な疾患に対する治療・予防に資することを目指した、多様な視点からのアプローチを期待した仕組みとなっている。

米国での脳科学研究に関連するもう一つの大きな研究開発予算として、国立科学財団（**National Science Foundation; NSF**）がある。NSF の中では、生物科学局の予算の統合的な生体科学領域の中に、行動システム、神経回路の細胞生物学的な発達機構、コンピューテーショナル神経科学、神経内分泌、感覚受容システムなどの項目が設定されている。また、分子・細胞生物学領域では、神経細胞の情報伝達機構、遺伝子発現調節、細胞膜、代謝研究が取り上げられており、さらに、社会学・行動科学・経済学局の予算として、行動・認知科学領域が設定されている。また、NSF では、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、及び、インフォメーションテクノロジーが融合し、コグノ（認知科学）の研究領域が今後大きく発展するとの認識に基づき、ナノ・バイオ・インフォ・コグノ（**NBIC**）という研究開発政策が推進されている。

次に、英国に目を転ずると、医学研究会議（**Medical Research Council ; MRC**）の 2005 年の神経科学・メンタルヘルス予算は、1 億 660 万ポンド（約 250 億円）で、MRC 予算の約 21% であり、分子細胞生物学・基礎医学予算の 1 億 9,780 万ポンド（約 38%）に次いで 2 番目のシェアを占める研究領域

である。英国保健省（UK Health Departments）全体の研究開発費の疾患種別の比較においても、がんの約 28%に次ぐ約 22%が精神神経関連疾患に配分されている。

また、MRC が優先度の高い研究領域として挙げている 7つの領域のうち、4 領域（慢性疲労症候群、多発性硬化症、心の健康に関する神経生物学的基盤、社会性神経科学）が神経科学に直接対応するものであり、高齢化や社会システムの変化に伴う精神神経関連の疾患に重点化する方向性が明確に打ち出されている。

その他の欧州では、多国間の共同研究開発体制が構築されてきていることが注目される。例えば、仏独の強磁場磁気共鳴による神経疾患のトモグラフィ（断層撮像）技術プロジェクト（2 億ユーロ（約 300 億円）／5 年）では、仏の強磁場磁気共鳴研究施設 NEUROSPIN と独の陽子線トモグラフィ施設（ユーリッヒ研究センター）との共同体制が採られている。

3）我が国の脳科学研究の現状

我が国の脳科学研究は、神経生理学、分子生物学、発生学等のライフサイエンス研究にとどまらず、工学、情報学、ナノテクノロジー、更には認知行動科学、心理学や哲学といった、幅広い領域を包含し、総合的な研究領域として、その裾野は大きく広がっている。

我が国の脳科学研究に関わる主要な研究資金及び研究機関等の現状は以下のとおりである。

科学研究費補助金は、研究者の自由な発想に基づく研究（「学術研究」）を格段に発展させることを目的とする競争的研究資金であり、ピア・レビューによる審査を経て、独創的・先駆的な研究に対する助成を行うものである。科学研究費補助金の生物系分野において、平成 19 年度当初配分額で約 62 億円が脳・神経科学系の研究に配分されているほか、生物科学系、疾患関係を始めとする幅広い分野において脳科学研究に関連した研究が実施されている。

戦略的創造研究推進事業は、国の科学技術政策や社会的・経済的ニーズを踏まえ、国が定めた戦略目標の達成に向けた目的志向型の基礎研究を推進する競争的研究資金である。本事業では、平成 19 年度予算額で、約 23 億円が脳科学研究に関連した研究に配分されている。

国立大学附置研究所では、東北大学加齢医学研究所や新潟大学脳研究所などで、また、大学共同利用機関では、自然科学研究機構生理学研究所及び基礎生物学研究所において、脳科学に関係する研究が行われている。

独立行政法人等の研究に目を転ずると、理化学研究所脳科学総合研究センター（平成 19 年度予算約 92 億円、うち人件費約 60 億円）が先導的・融合的

な脳科学研究を推進しているほか、科学技術振興機構の社会技術研究開発センターにおいて「脳科学と社会」研究開発領域が設定されている。

医療行政のニーズを踏まえた脳科学研究として、国立高度専門医療センターの精神・神経疾患研究委託費や厚生労働科学研究費補助金によるこころの健康科学研究経費などがある。

これらのほか、独立行政法人産業技術総合研究所や株式会社国際電気通信基礎技術研究所においても、脳科学研究や認知科学研究と情報学、コミュニケーション技術等を融合した研究開発が行われている。

2. 脳科学研究の推進戦略

2-1 研究推進方策

第1章で述べたとおり、脳科学研究には次のような特徴がある。

- ① 自然科学から人文・社会科学までを包含する総合科学である。
- ② 研究者の自由な発想から予想外の画期的な発見がなされる余地が多く、イノベーション創出に貢献する分野である。
- ③ 少子高齢化社会の中で、認知症やうつ病等の精神神経疾患の病因解明、診断・治療・予防の方法の開発、失われた身体機能の補完・回復を可能とする技術開発など、健康寿命の延伸に大きく寄与することが期待されている。
- ④ 子どもの保育や教育が直面している問題の解決にも、科学的側面から寄与することができる。

これらのことから、第3期科学技術基本計画においては、複雑で高次の脳機能の総合的解明が強く求められているが、これを効果的に推進していくための、推進方策、重点的に進めるべき研究領域、研究推進体制等は以下のとおりである。

研究の推進方策としては、①研究者の自由な発想に基づき、全く新しい知見や技術を生み出していく自由発想型の基礎研究と、②研究推進の核となる拠点と我が国の脳科学研究者の総力を結集できる大規模な研究ネットワークを形成し、明確な目標に向かって集中的に資源を投入していく目標達成型の研究開発との双方相補しつつ同時に推進していくことが重要である。

自由発想型基礎研究の成果の中から特に優れており、かつ、社会的要請や緊急性が高いシーズが、目標達成型研究開発に結び付いていく一方で、目標達成型研究開発を実施する過程において発見された新たな課題は、再度基礎研究に立ち戻って研究される。脳科学の自由発想型基礎研究と目標達成型研究開発は、このように相互に連携し、らせん状の環を描きながら、成果の社

会への還元を実現していくと考えられる。

また、脳科学に対する社会からの期待と関心は高いので、研究を推進するのみならず、研究の成果がどのようなもので、具体的にどのように社会に貢献するのかを社会に示していく必要がある。

2-2 重点的に推進すべき研究領域－短期・中期・長期

脳科学研究の進むべき目標や重点的に研究を進めるべき領域を考えるに当たっては、「脳を知る（脳の構造と機能の解明、人の心の理解）」、「脳を守る（認知症・自殺につながるうつ病等精神神経疾患の予防・診断・治療法開発、老化制御）」、「脳を育む（脳の発生・発達の原理の解明、発達障害の予防や治療、育児・保育・教育への応用）」の3領域を引き続き設定すると共に、「脳を創る」領域を発展させ、「脳に学ぶ（脳内情報の解読と機器接続などに関する応用技術、計算論的神経科学、脳型情報システムの開発）」領域を新たに設定する。また、これらの脳科学研究に革新をもたらす「基盤技術開発（新しい脳活動計測手法、独創的モデル動物開発など）」を強化することが適切である。

自由発想型基礎研究では、研究者の自由な発想を尊重し、これらを総合的に進めていくことが望ましい。目標達成型研究開発については、これらの研究領域の研究の現状等を踏まえ、特に社会的要請や緊急性が高いものについては、短期的、中期的、長期的な目標を定めて、集中的な研究開発を実施することが必要である。以下、それぞれの領域における重要な研究課題と期間に応じた目標の設定例を掲げる。

1) 「脳を知る」領域

「脳を知る」領域が到達すべき目標は、ハードウェアとしての脳がどのように形成され、ソフトウェアとしての機能をどのように発現するかを解明することである。「脳を知る」ことは、精神機能の理解に基づいて人間を理解し、広く豊かな人間性を育て、健全で発展的な社会を形成・維持するために極めて重要な役割を担っている。「脳を知る」領域における研究成果は、多くの関連領域の発展に寄与するものであり、その波及効果は医学、生物学にとどまらず、薬学、工学、化学、物理学等の物質・生命科学から、心理学、教育学、社会学、倫理学、経済学等の人文・社会科学の諸分野にまで及ぶ。

このような観点から、今後の「脳を知る」領域は、物質・生命科学や人文・社会科学の諸分野の研究成果を活用した学際的かつ融合的視点に立ち、現代が抱える様々な社会的問題を解決するための科学的基盤として発展していくと共に、多くの精神神経疾患の病因・病態を根源的に解明することに貢献する

と期待される。

「脳を知る」領域は、「脳を守る」領域、「脳を育む」領域、「脳に学ぶ」領域の全てに深く関わり、その根幹をなす、融合的・基礎的な性格を有している。したがって、自由発想型基礎研究を核としつつ学際的統合研究を推進し、その成果を柔軟に目標達成型研究開発へと展開することが適切である。以下では、そのような「脳を知る」領域の特徴を考慮し、あえて期間を設定せず、今後の重点目標を、ア) 脳の構造形成と機能獲得の解明、イ) 脳の情報処理と動作原理の解明、ウ) 神経・精神疾患の病態解明、エ) 社会行動と心のメカニズムの脳科学的基盤の解明、の4項目に分類、列挙した。

ア) 脳の構造形成と機能獲得の解明

①分子・細胞レベル

- ・神経系の細胞分化と個性決定、細胞移動
- ・細胞の生存と選択的細胞死
- ・樹状突起や軸索の形態形成、軸索の伸長と誘導、
- ・神経幹細胞の増殖、分裂、運動、分化、生存、及び成熟脳における役割

②ネットワークレベル

- ・シナプス前性、シナプス後性、異シナプス間干渉などによるシナプス伝達の調節機構
- ・シナプス発達の感受性期（臨界期）に関与する機能分子とその情報伝達
- ・培養細胞や脳スライスを用いた神経可塑性の誘導・発現、新生ニューロンの役割
- ・神経回路の形成、修復と再生に関わる機能分子

③個体レベル

- ・遺伝子改変動物やモデル動物を用いた機能分子の役割
- ・記憶・学習に伴う機能的及び形態的变化
- ・in vivo（生体内）イメージングや in vivo パッチクランプを用いた発達機構や可塑性発現機構の解析

イ) 脳の情報処理と動作原理の解明

①分子・細胞レベル

- ・脳内情報処理に関与する機能分子の同定と機能解明
- ・シナプスにおける情報処理機構と個体レベルでの機能との関連の解明
- ・情報処理過程におけるシナプス伝達効率の調節
- ・神経細胞内における情報伝達の分子機構の解明

②ネットワークレベル

- ・感覚系における特徴抽出の局所回路
- ・反射、リズム運動、パターン行動の神経機構の制御機構
- ・局所回路の動作原理

③個体レベル

- ・感覚と知覚（情報の受容）：感覚入力を受容と分析
- ・認知と注意（情報の統合）：高次の感覚入力の統合・判断機構
- ・学習と記憶（情報の蓄積）：様々な脳部位における情報の蓄積機構
- ・運動と行動（情報の出力）：行動・運動の企画、動作の選択における情報処理
- ・推論と創造（知の創生）：シンボル型推論、並列型推論、直感や創造

ウ) 神経・精神疾患の病態解明

- ①アルツハイマー病の病態解明
- ②パーキンソン病の病態解明
- ③運動ニューロン疾患の病態解明
- ④ポリグルタミン病の病態解明
- ⑤多発性硬化症の病態解明
- ⑥統合失調症の病態解明
- ⑦感情障害（双極性障害、うつ病）の病態解明

エ) 社会行動と心のメカニズムの脳科学的基盤の解明

- ①社会行動を形成する分子・遺伝子の解析
 - ・社会行動の遺伝的基盤のコホート、疫学研究
 - ・遺伝子改変動物をモデルとする社会行動研究
 - ・社会行動に変化を及ぼす脳内物質の作用機序
- ②社会行動を制御する神経回路の解析
 - ・自己の自覚、注意、意識
 - ・自己・社会間の情動的きずな
 - ・他者の認識・識別
 - ・他者の行動や意図の理解・予測
 - ・社会への適応、学習、可塑性
- ③社会行動の基盤となる神経機構の個体・集団レベルでの解析
 - ・社会的行動と脳活動
 - ・社会行動の定量的記述・予測とモデル構築
 - ・行動の個体差や個性の抽出と個体の行動経歴や遺伝的背景との相関
 - ・社会行動の発達と環境による影響等に関するコホート・疫学研究

④融合的研究

- ・心のメカニズムの脳科学的基盤：倫理学・認知心理学・哲学との融合
- ・心の発達と障害：発達心理学・教育学・臨床心理学との融合
- ・コミュニケーションの脳科学的基盤：言語学・比較認知学との融合
- ・社会行動の脳科学的基盤：社会心理学、実験経済学的研究、倫理学との融合

2)「脳を守る」領域

脳神経系に生じる病態には、外傷や感染症など「外的要因」によるもの、遺伝性あるいは変性疾患など「内的要因」によるもの、および両者が関わる免疫性「混合要因」によるものがある。

「外的要因」による神経疾患では、交通手段の安全性確保技術の向上などによって頭部外傷は減少したものの、未同定のウィルスによると考えられる脳炎が注目されており、その本態解明と治療法開発を急ぐ必要がある。また、外傷後、あるいは既知のウィルスなどによる脳炎後の高次脳機能障害に対する機能改善方策が大きな課題である。

「内的要因」による神経疾患では、アルツハイマー病、パーキンソン病、ポリグルタミン病、筋萎縮性側索硬化症などの神経疾患について、その基本メカニズムが解明されつつあり、治療法・予防法の研究開発が射程に入ってきている。特にゲノム情報に基づく効果的治療薬の開発やリハビリテーションの基礎となる損傷後の脳機能回復を促すメカニズムの研究が期待される。従来の個々の遺伝子の機能解析から神経細胞や脳機能へ展開する研究に加え、ゲノム解読の成果を受けて個々のヒトの疾患や行動の特徴をゲノム疫学的に解析し、その特徴と関連する遺伝子を同定する研究開発が脳科学研究分野でも急速に進んできている。

一方、「内的要因」による精神疾患では、高齢者の主要な精神神経疾患である認知症やうつ病が高齢化の進展と共に増加傾向にある。認知症患者は2010年には200万人を超え、2025年には300万人を超えると推計されている。うつ病患者については、平成8年に約44万人であったものが、平成17年のデータでは、90万人を突破している。神経疾患研究で得られた研究手法を応用し、情動や社会性などの発達とその障害のメカニズムの研究、統合失調症、うつ病などのいまだ原因の明らかなでない精神疾患の基礎研究で大きな成果が出つつある。近い将来にそのような精神疾患の一部で病因が解明され、治療法・予防法が明らかになる期待が高まっている。また、我が国の自殺者は、平成10年に3万人を超え、その後も高い水準が続いている。人口10万人当たりの自殺死亡率も欧米の先進諸国と比較して突出して高い水準にある。自

殺を図った人の大多数がうつ病等の精神疾患に罹患しており、中でもうつ病の割合が高いとされていることから、平成 18 年に制定された「自殺対策基本法」を受けた大綱においても、うつ病等の精神疾患の病態解明は重点施策として挙げられている。

次に、免疫現象などを基礎とした「混合要因」による神経疾患の中では、多発性硬化症が大きな対象であるが、その他にもギラン・バレー症候群など、末梢神経における免疫性疾患もある。従来、多発性硬化症と考えられてきた病態にも様々なものがあることが、我が国の研究者によって明らかにされてきた。また、新しい小分子による治療法も開発されつつある。一方、極初期の多発性硬化症の病態にも大きな関心が集まっており、近い将来早期診断—早期治療が実現するなど、この病態の概念が大きく変わる可能性がある。

ヒトゲノム解析の成果を利用した精神神経疾患に関わる遺伝子の探索及び胚性幹細胞や神経幹細胞を利用した再生医療を目指した研究が世界的に急速に進展しており、精神神経疾患関連分子の機能解析や脳機能を評価する脳イメージング研究の発展とあいまって、予防・診断・治療法開発において、欧米との激しい国際競争が展開されている。認知症・うつ病は高齢者の主要な精神神経疾患であり、欧米の研究開発投資の動向を踏まえ、我が国も集中的に精神神経疾患の予防、診断、治療に結び付く脳科学研究に取り組む必要がある。

【短期的目標】

- ・ 原因不明の「脳炎」の原因解明
- ・ 免疫性疾患の臨床的初期像の確立
- ・ 後遺症としての高次脳機能障害の改善方策
- ・ 脳血管障害の超早期治療システムの確立と、より徹底した予防対策
- ・ 神経細胞変性の末期像の形態的、分子的解明
- ・ 変性性神経疾患のin vitroでの根本的治療法の開発

【中期的目標】

- ・ 免疫現象を基礎とした神経疾患の新しい治療法の確立
- ・ 感情障害の本態の解明とその普遍的治療法の確立
- ・ 睡眠障害による社会的損失の解明と対策
- ・ 神経細胞変性の中期像の機能的解明
- ・ てんかん性疾患の治療法の確立
- ・ 変性性神経疾患のin vivoでの根本的治療法の開発

【長期的目標】

- ・ 神経細胞変性の初期像とトリガーの解明及びそれに基づく防御法の開発

- ・ 統合失調症の本態の解明とその予防法の開発
- ・ 中枢神経組織の再生による根本的治療法の開発
- ・ 変性性神経疾患の臨床レベルでの根本的治療法の開発

3) 「脳を育む」領域

少子化時代を迎え、すべての子どもを健康に育みたいという点から、発生、発達やその障害に関する脳科学への期待が高まっている。例えば、脳の正常な発生や機能発達のメカニズム、さらには自閉症などの発達障害のメカニズムの解明は、子どもの脳を健康に育み、また、発達障害を予防あるいは治療するために必要である。さらに、種々の脳機能発達の感受性期（臨界期）が明らかになれば、適切な教育カリキュラム、教育時期などに関する指針を与え、科学的データに基づいた新しい教育理論の構築が可能になると考えられる。

このような観点に立ち、「脳を育む」領域では、中枢神経系の発生と機能発達の制御メカニズムを明らかにし、さらにはアスペルガー症候群、自閉症や学習障害(Learning Disabilities, LD)などの発達障害の原因を解明して、その予防や治療法の開発を目指す。

これまで得られた成果の発展と新しい方向性を目指して下記の項目が挙げられる。

- ① 近年明らかになってきた成体脳におけるニューロン新生の制御機構とその意義を明らかにする。
- ② 神経発生の制御メカニズムを解明すると共に、この知見を生かして中枢神経系の内在的な再生の仕組みを明らかにする。
- ③ 神経発生過程におけるエピジェネティックな調節機構、蛋白質がコードされていない(non coding) RNAなどを介した転写後レベルでの遺伝子発現調節機構を解明する。
- ④ 情動系や報酬系、更には価値判断、企画行動などの高次脳機能発生・発達メカニズム及び外界からの入力による変化、感受性期（臨界期）の有無、その変化のメカニズムを解明する。
- ⑤ 自閉症やアスペルガー症候群のような発生・発達障害の分子遺伝学的な解析と脳機能イメージングによる解析を統合した研究を推進し、その治療法開発の基礎とする。
- ⑥ 言語などヒトに特有な高次脳機能制御メカニズムの発生・発達過程と感受性期（臨界期）、及びそのメカニズムを解明する。
- ⑦ 学習におけるシナプスの可塑性の意義を分子レベルからシステムや行動レベルまで統一的に明らかにする。

- ⑧ ユビキタス情報化社会がコミュニケーション能力等の子どもの脳機能発達に及ぼす影響を明らかにし、高度情報化社会の中で健全に子どもを育む方策を明らかにする。

【短期的目標】

- ・発生・発達障害に関わる原因遺伝子産物の機能の解明
- ・発生・発達障害に関与する脳部位のイメージングによる同定
- ・脳発生初期過程の制御機構の分子レベルでの理解の推進
- ・大脳感覚野発達の感受性期（臨界期）の開始、終止の分子メカニズムの解明

【中期的目標】

- ・情動系や報酬系などの機能発達メカニズムの解明
- ・睡眠などの生活リズムが子どもの脳機能発達に及ぼす影響の解明
- ・脳の発生過程における制御機構を分子・細胞・システムを縦断した解析により統合的に理解する。
- ・成体ニューロン新生や内在性の再生メカニズムを解明し、疾病治療の基礎的な理論体系を構築する。
- ・運動や学習が成体ニューロン新生を促進するメカニズム解明
- ・相貌認知、企画行動といった高次脳機能発達の感受性期（臨界期）及びそのメカニズムの解明
- ・高度情報化社会において健全な脳発達を促進するようなメディア活用方法の提言
- ・乳幼児期の愛着の有無、程度が脳発達に及ぼす影響の解明
- ・広汎性発達障害の生物学的要因、及び発症に至るメカニズムの解明
- ・発達障害のある子どもへの現在有効性のある発達支援に関し、脳科学によるその機序の解明と、それに基づいたより効果的な発達支援方法の開発

【長期的目標】

- ・言語、コミュニケーション力等の社会能力発達の促進方法を明らかにし、教育カリキュラムの作成等に応用する。
- ・感受性期（臨界期）の終止を遅延あるいは阻止するメカニズムを解明し、成人における学習を促進する方策を開発する。
- ・種々の発達障害を予防する方法を開発し、発達障害のある子どもを大幅に減らす。
- ・脳の発生・機能発達のメカニズムの解明に基づく、「胎児期から老齢期に至るまでの教育理論」を提唱する。

4) 「脳に学ぶ」領域

「脳を創る」領域では、計算論的神経科学を推進し理論と実験の融合を進めるとともに、脳の情報処理様式に学んだチップ、コンピュータ、システムの開発を目指した。この領域は、わが国が世界に発信した独自の構想であり、世界の脳研究の手本になると共に大きな成果を収めた。理論と実験の融合はもとより、人工網膜チップ、学習型情報処理などが実用化し、経済波及効果を生み出してきた。我が国では脳機能のロボットへの応用が盛んになり、欧米でも人工知能の側から脳科学への融合的研究が加速するなどの効果をもたらした。

ひるがえって、伝統的な脳研究は、脳の機能局在と物質機構、神経活動と仮説変量の時間的相関を主に調べてきたが、これだけでは当該領域での応用が可能な程度に脳の仕組みを解明するには至らなかった。そこで、計算論的神経科学の重要性が明らかにされた。すなわち、我が国発の「脳を創れる程度に脳を知る」、「脳を創ることによって脳を知る」という研究パラダイムは世界に認知され始めており、これを更に発展させる必要がある。

このような潮流の下、脳内情報を解読・制御することにより、神経科学の成果を積極的に活用する研究開発が、多岐にわたり世界的に急速に進展している。例えば、脳とコンピュータをつなぐブレイン・マシン・インターフェイス（BMI）は、人工内耳や深部脳刺激として実用化されている。現段階でのBMIは臨床的実用性を重視したもので、神経科学の成果を十分に取り入れているとは言い難いが、脳内情報処理の解明とBMI技術が相乗的に進歩すれば、運動機能再建やリハビリテーションなど医療福祉分野はもとより、脳内信号によるロボットの制御、製品の魅力や規格の安全性などについての脳内感性情報評価、さらには、脳を介した新たなコミュニケーション様式が可能になるなど、将来の基幹産業を創成する可能性が高い。このような「脳情報双方向活用技術」は、「脳を創る」を現実的な工学手法として確立させる道筋を開くと共に、脳の機能を因果的に証明する神経科学の新たなパラダイムを提供し得る。

脳情報双方向活用技術の発展には、非侵襲脳活動計測、低侵襲で長期安定型のマルチ電極、信号処理などの技術開発のみならず、膨大なデータやアルゴリズムを共有するニューロインフォマティクス、社会的な影響を予測しコンセンサスを得るための神経倫理研究の基盤整備が急務である。そこでこれらを総合的にかつ相乗的に推進する「脳に学ぶ」領域を新設し、以下の重要研究項目を設定する。

（１）脳情報双方向活用技術

（２）脳の情報表現と動的機能・学習原理を定量的に実証する計算論的神経

科学と脳に学ぶ新しい数理科学

(3) 柔軟性に富むロボットやコンピュータ開発の「脳を創る」研究

米国などでは、BMIの開発が国家規模で強力に推進されているが、我が国ではいまだ個々の研究機関の取組みにとどまっている。計算論やロボティクスなどの強みを生かして、我が国の地位を緊急に確保すると共に、優秀な研究者を支援する必要がある。また、本技術は超高齢化社会が進む我が国において、身体と認知機能の低下を補い、回復させ、健康寿命の延伸に貢献する。

【短期的目標】

- ・ 低侵襲皮質電位を用いた義肢制御・意思伝達
- ・ 非侵襲信号による意思伝達装置
- ・ 脳神経倫理学の確立
- ・ 高時空間精度で非侵襲の脳活動推定
- ・ 人工感覚器
- ・ 複数手法脳活動データベース
- ・ 大脳皮質の階層・モジュール的計算モデル
- ・ 実問題に適用可能な脳型学習アルゴリズム

【中期的目標】

- ・ 脳機能を因果的に証明する神経科学の新たなパラダイムの提供
- ・ 神経経済学など計算神経科学と社会科学の融合
- ・ BMIによる運動再建・リハビリテーション
- ・ 非侵襲信号による情報通信インタフェース
- ・ 安全運転システム
- ・ 脳の動的機能や学習を分子からシステムまで統一して理解する計算モデル
- ・ スーパーコンピュータによる脳シミュレーション

【長期的目標】

- ・ 計算論的神経科学による脳の情報原理の解明
- ・ 脳型制御とBMIによる分身ロボット
- ・ 脳ネットワーク通信の実社会システム化
- ・ 脳の数学理論
- ・ 脳型コンピュータの開発

5) 「基盤技術開発」

平成15年のヒトゲノムの全解読を受け、生物学では、ゲノム、遺伝子、RNA、タンパク質等と関連付けて現象が説明されるのが常識となったが、

同時に分子生物学は膨大なデータと微細領域を観察する先端解析技術が牽引する研究領域ともなった。その背景には、PCR (Polymerase Chain Reaction ; ポリメラーゼ連鎖反応。DNA増幅技術の一種) 法の発見、DNAシーケンサー (DNA塩基配列の自動読み取り装置) の普及、ハイスループット技術、イメージング技術の発達などの絶えざる技術革新が存在する。

脳は人間の遺伝子が作り出した最も複雑な臓器であり、多種類のタンパク質が脳で発現しているとも言われている。それらのタンパクは生体内において多様かつ複雑な相互作用を通じて更に細胞・神経ネットワーク・脳システムの階層を貫いて機能している。脳科学の飛躍的発展のためには、多彩なタンパク質の相互作用から脳高次機能と病態に至るメカニズムを解明するための全く新しい測定技術や実験手法が創出されなければならない。同時に、脳の働きと病態を解明するには個体レベルの研究が必須であり、有用なモデル動物の開発は脳研究の推進に重要な鍵を握る。さらに個体レベルでの脳機能の解析のため、多数の神経細胞で構成されるネットワークの活動を *in vivo* で可視化ないしは記録・解析する技術の開発・発展が必須である。特に光技術の更なる発展や小型軽量な脳活動計測機器、高磁場 MRI (Magnetic Resonance Imaging ; 核磁気共鳴画像法) の技術開発が待望される。

ア) 革新的基盤技術の開発

- ① ゲノミクス、プロテオミクス、グリコミクスなどの細胞レベルでの遺伝子、タンパク、糖鎖の発現総体の解析技術の向上。
- ② 遺伝子改変技術開発の促進：部位特異的、時間特異的条件的遺伝子ノックアウト技術、RNAi (RNA interference ; RNA 干渉) 技術の向上と *in vivo* への導入技術、ウィルスベクターによる中枢神経細胞への遺伝子発現調節技術、ラット、霊長類など、より高等なほ乳類での個体レベルでの遺伝子改変技術。
- ③ 神経活動及びそれに随伴する現象の計測・解析技術：多光子励起顕微鏡による *in vivo* でのより深部、より多数のニューロンの活動の同時計測技術、各種分子プローブを用いた実時間的光計測法、近赤外光機能イメージング技術の向上、小型携帯可能な脳活動イメージング機器の開発、高磁場機能的 MRI による記録の空間的・時間的解像度の向上、超多チャンネルのニューロン活動記録・データ処理技術。
- ④ 神経活動を外部から操作する技術：高空間的分解能を有する非侵襲的脳深部刺激技術、脳内情報を実時間的デコーディングと即時処理して脳へ

フィードバックする技術。

- ⑤ 大規模データの解析・処理技術の開発。実験データ、構造データ、解析用モデルソフトウェアなどの標準化・統合化。

イ) 独創性の高いモデル動物の開発

① げっ歯類

21 世紀の生命科学の重要課題は、解明された限られた数の遺伝子がいかにして生命体の機能を生み出すのかという点にある。また、脳の働きは遺伝子と環境の相互作用の産物であることがよく知られている。均一な遺伝的背景下で、全ての遺伝子の機能を系統的に解析できる現実的な系は、マウスである。

しかしながら、世界的にも、また我が国においても、脳機能が劣悪な 129 系統の ES 細胞に由来する組換えマウスが主流であり、B6 系統のマウスとの掛け合わせを経て脳機能の解析を行っているため、遺伝的背景が不均一となる問題が指摘されて久しい。129 系統の ES 細胞による欧米の遺伝子ノックアウトマウスプロジェクトも B6 系統の開発を急いでいるが、我が国においては既に B6 系統の ES 細胞に由来する効率的な純系組換えマウス作成の手法が開発されており、世界標準となるべき純系マウスの解析を進める好機である。

特定の神経回路の機能を可逆的に遮断・復活する技術及び脳機能解析技術の開発は、世界で開発にしのぎが削られている新技術であるが、特定の神経回路に複雑な記憶の仕組みや精神疾患等の原因を探る研究の推進の観点から、我が国が世界でのリーダーシップを確保できる領域であり、今後しっかりと取り組む必要がある。

ラットは従来脳研究に頻用されてきた動物であり、行動様式の異なる純系ラットが 100 種類以上確立されている。ラットを用いた発生工学的技術の開発には、今後進展が期待される。

② 霊長類

マーモセットを用いた発生工学的研究手法（トランスジェニック法、ノックダウン法、ノックアウト法など）を開発し、疾患モデルや脳機能研究に有用な霊長類モデル動物を作成する研究は、我が国が世界をリードできる可能性を持つ研究分野であり、萌芽的には既に着手されている。

我が国の高次脳機能研究は、近年ニホンザルを用いて多くの成果を挙げてきた。ニホンザルは侵襲的な実験に使用されている動物の中で最もヒトに近縁であり、感覚・運動・学習・認知機能やそれを支える神経回路の解剖学的知見も最も集積されている。また、ニホンザルは高次な認

知的課題を学習・遂行する能力に優れている。現在ニホンザルを実験動物として確立するために発展してきているバイオリソース事業を安定して維持できる体制が確立しつつあるが、ウィルスベクター等による中枢神経系への遺伝子導入技術の開発によって特定神経回路の選択的破壊や分子の発現を制御することが可能になることによって世界でも類を見ない革新的な高次脳機能研究の展開が期待される。さらに、今後はニホンザルにおいて問題を探索し、その中で絞り込まれた問題を遺伝子操作が可能なマウスやマーモセットで解決する、という研究パラダイムも重要となる。

2-3 研究推進体制

1) 脳科学委員会の設置

我が国の脳科学研究に関する長期的展望に基づき、その推進計画の立案、研究振興と脳科学研究者育成の方策、目標達成型研究開発の実施状況等の定期的な評価等を、継続的に実施するため、常設の「脳科学委員会」を設置することが求められる。

2) 自由発想型基礎研究の推進体制

脳の機能の発現メカニズムは当初予想されていたよりもはるかに多様で複雑であり、幾つもの機能が平行的かつ重層的に実現されていることが分かってきた。脳機能の解明のためには、心理学、社会学、経済学、言語学などの関連する研究諸分野との学際的な研究体制が必要であり、人文科学、社会科学までも含む研究の学際性・融合性は、他の研究領域とは異なる脳科学の特徴であり本質であるともいえる。

研究者の自由な発想を尊重する基礎研究の重要性は論を待たないが、脳科学を学際的・融合的に展開するためには、研究者の自主的な研究展開を尊重しつつ、然るべき方向性を明確に示す包括的研究の推進が不可欠である。この点で、科学研究費補助金の特定領域研究は、競争的環境の下で、急速な学問的進展を先取りして対応していくという、脳科学が本来持っている特色を生かし得る研究システムであり、これまで有効に機能してきた。

現在の特定領域研究の設定に係る審査体制は「人文科学系」、「理工系」、「生物系」のように分野ごとに分かれているが、脳科学研究のような分野横断的研究について、より適切に審査がなされるよう審査体制の整備が望まれる。

さらに、学際的・融合的な学術研究を組織的に推進するために、大学共同利用機関法人等が中心となり、ネットワーク型の共同研究を推進することも考

えられる。

3) 目標達成型研究開発の推進体制

目標達成型研究開発には、個人の創造性と指導力を最大限に生かす型の研究、多数の研究者を結集したチーム型の共同研究、及び拠点を構成して遂行する拠点型の研究がある。

拠点型研究については、これまで、理化学研究所脳科学総合研究センターが総合的な研究機関としてこれを行ってきたが、脳科学研究の現状を踏まえると、大学、企業等を含めた、我が国全体のポテンシャルを生かした研究開発推進体制の構築が求められる。

脳科学委員会は、「脳を知る」、「脳を守る」、「脳を育む」、「脳に学ぶ」の各領域において、重点的に推進すべき研究領域に掲げた目標の中から、研究の現状、社会的要請、緊急性の高さ等を踏まえ、実施すべき研究開発課題を設定し、達成に向けた戦略的なロードマップを作成する。これらの課題に対しては、目標の達成と成果の社会還元を加速するため、資源を集中的に投入し、大規模な研究開発を実施することが必要である。また、脳科学委員会において、目標が達成されたか否かを厳正に評価することも重要である。

4) 研究基盤の整備

研究を強力に推進し、目標を達成するためには、高度かつ先端的な研究基盤の整備とそれを支える技術が極めて重要である。脳機能の研究者や臨床研究者からのモデル動物の要求を素早く取り入れ、独自性の高いモデル動物を開発すると共に、新たな解析測定手法を開発している大学等の創造的な研究者に迅速に供給できるシステムを整備し、両者の融合により世界をリードする研究成果の創出と疾患の克服や心の健康に結び付ける必要がある。独自性の高いモデル動物の開発と整備は、多くの場合個々の研究者の取組みだけでは確保することができないものであるので、長期的展望に基づく戦略的な取組が必要不可欠である。

これらについて、我が国は欧米に遅れをとっているのが現状であり、特に①B6系統のES細胞に由来する効率的な純系組換えマウスと特定の神経回路の機能を可逆的に遮断・復活する技術及び脳機能解析技術によって開発されたマウスの連携供給体制を構築すること、②供給段階で人間に対する馴化が十分に進んだサルや、発達の各段階のサルを容易に供給でき、また生育環境を様々に制御して脳の発達研究に役立てるようなサルの供給体制を構築すること、については、早急に対策が求められる。

また、メダカ、ゼブラフィッシュ、ショウジョウバエ、線虫などのモデル生物は、遺伝子改変手段が発展しており、低コストかつ高効率で神経回路等

の改変動物系統を作製できることから、今後の脳科学研究においても十分注意が払われるべきである。

2－4 投資目標

現在、我が国の脳科学研究関連予算は年間 300 億円程度にとどまっているが、米国国立衛生研究所が総予算の約 17%を神経科学に投資していることにかんがみれば、政府研究開発投資について、対 GDP 比率で欧米主要国の水準を確保するとした第3期科学技術基本計画の目標下においては、我が国のライフサイエンス関係予算約 4,200 億円の約 17%、「年間 700 億円程度」を脳科学研究に投入することが必要である。

3. 脳科学研究の新たな発展に向けて

3－1 大学・大学共同利用機関の役割

大学や大学共同利用機関においては、研究者の自由な発想に基づき、様々な角度から脳科学に関連する研究を行っている。国立大学附置研究所では、東北大学加齢医学研究所や新潟大学脳研究所などで、また、大学共同利用機関では、自然科学研究機構生理学研究所及び基礎生物学研究所において、脳科学に関係する研究が行われている。

生理学研究所は、これまで、神経科学領域の研究者と多くの共同利用・共同研究を行うと共に、若手研究者を対象としたトレーニングコースの開催、国際シンポジウム、数多くの研究会などを通して脳科学研究者のネットワーク構築に貢献してきた。

今後とも、上記大学共同利用機関には、機器・施設設備等の共同利用、ニホンザルなどの実験動物リソースの提供、若手研究者を対象としたトレーニングコースの開催などを通じた脳科学分野の研究者コミュニティへの貢献をしていくことが期待される。また、自然科学研究機構を中心として、我が国の脳科学研究者を大規模に組織化し、多様な研究者のネットワークを構築することにより、独創的・先端的な研究を様々なアプローチで推進することが望ましい。

3－2 理化学研究所脳科学総合研究センターの役割

脳科学研究に取り組む独立行政法人として、理化学研究所脳科学総合研究センターがある。理研脳センターは、平成9年、多分野を融合した戦略的脳科学研究を先導的かつ総合的に行うことを目的に設立された。同センターは、「戦略目標タイムテーブル」を指針に研究を進め、現在までの10年間の成果

は十分に認められる。分野横断的な融合研究、基盤技術開発、社会貢献に力を入れたほか、30代を中心とした若手研究者が独立して研究を進めるユニット制度を創設するなど新しい研究システムを作ると共に、各種セミナー、フォーラム、サマープログラム等を開催するなど、研究者育成と成果を社会に示すことに貢献してきた。

今後とも、理化学研究所脳科学総合研究センターには、上記の特色を生かして、脳科学委員会が定める課題達成に向けた戦略的研究開発の中核を担い、これを加速する役割を果たすことが求められる。また、研究の成果を論文として発表するにとどまらず、社会における具体的な応用に向けての橋渡しを行うこと、目標達成に向けた研究基盤整備の重要性にかんがみ、リソースの供給体制を整備し、大学・大学共同利用機関等と連携して、我が国の脳科学研究コミュニティに対する積極的な貢献を行うことが必要である。さらに、若手研究者のキャリアパスとして、脳科学研究人材の育成に貢献すると共に、世界中から優れた人材を確保することに務めることが期待される。

脳科学研究に革新をもたらす大規模な基盤技術開発、脳科学研究データベースの整備運営、国際的な研究協力などについては、その規模を生かし、我が国の中心的機関としての役割を果たすことが重要である。

3-3 脳科学研究人材の養成

脳科学研究は心理学、認知科学、さらには、社会学、教育学、経済学、法学等の人文・社会科学も包含した新しい人間科学である。多次元で複雑な脳の機能を真に理解することは、21世紀の科学全般の最重要課題の一つであり、この分野を担う将来の人材を養成するためには、大学における脳科学教育の強化が必要である。そのためには既存の組織の整備に加えて、従来の枠組みを超えた学際的教育プログラムが必要であると考えられる。

複数の分野に精通した人材の育成が望まれることから、具体的には、例えば分子生物学や神経生理学と認知科学や心理学、あるいは数理神経科学といった従来の分類では異なった2つの分野を専攻する複数専攻制（ダブルメジャー）のような仕組みを大学等が導入することを促進する必要がある。

また、脳科学研究の発展のためには、独創性に富む若手研究者の育成及び活躍が不可欠である。例えば、留学から帰国した若手研究者が、あるいは優秀な若手外国人研究者が、その経験を生かして直ちに活躍できるよう大学等における特任ポストの設置を支援すること、研究員、技術員、リサーチスタッフ、研究補助者等の参加を得て、個人研究が行える研究費を充実することなど、優れた若手研究者を支援するフェローシップ制度等の充実を図ること

が重要である。

3-4 社会との調和

脳科学研究を国民の理解を得ながら更に発展させていくためには、倫理面への配慮が不可欠である。現在も、各機関において研究に先立って研究倫理の審査を行うことで、倫理面を担保しているが、従来の動物実験、臨床研究の倫理問題に加えて、新しい脳科学研究を推進し、社会に受け入れられるために、倫理的・社会的側面の検討が引き続き必要と考えられる。

科学技術振興機構の社会技術研究開発センターの「脳科学と社会」研究開発領域一計画型研究開発では、脳神経倫理研究グループが置かれ、脳研究の進展に伴う新たな倫理的課題について、系統的な調査研究に着手すると共に、直面している現実の倫理的問題についても検討を進めている。また、日本神経科学学会や日本生理学会では動物実験・倫理委員会や研究倫理委員会において倫理規定を設置すると共に、ホームページなどを通じて脳研究に欠くことのできない動物実験の重要性について社会に啓発する活動を行っている。

脳科学研究は、多分野の学問を総合して進める最先端の研究であり、様々な倫理的・法的・社会的観点からの課題について検討する必要がある。例えば、非侵襲あるいは侵襲のイメージング装置によって、心の動きを外部からとらえることが可能となり得るし、また、化学的あるいは電氣的な刺激で精神活動をコントロールすることが可能となることが考えられる。社会からの信頼を得て脳科学研究を進めるに当たっては、どのような問題があるのかを明確にし、どのように対処するべきかを多面的に検討をして、解決を図ることが肝要である。検討の場としては、研究の現場である研究機関に設置される倫理審査委員会、国に置かれる前述の脳科学委員会など、問題に応じて選択するべきである。また、委員会で議論するだけで解決するとは限らないのであり、これらの問題についての研究を実施することも必要である。

また、どのような研究が行われ、どこまで解明しているかについて、脳科学講座、講演会、双方向性のある公開シンポジウム、ホームページ、印刷物等によって、適切な時期に発信をしていくことにより、人々の理解を得ていくべきである。科学研究費補助金特定領域研究「統合脳」においても実施された「脳の世界展」や「脳科学講座」のような機会をつくり、一般の人々と研究者とのコミュニケーションを図ることが必要である。

さらに、福祉・医療や教育等の現場と連携した調査・研究の取組を進めることにより、脳科学等における成果の一端を社会に還元しつつ、さらに研究

の推進を図るなどのアプローチも重要となる。

一般社会と研究者コミュニティーの双方向の対話の中から、共により良い未来を構築していく取組みこそが、脳科学研究の目指すべき姿であろう。

脳科学研究の推進に関する懇談会 委員名簿

(50 音順)

甘利 俊一 理化学研究所脳科学総合研究センター長

伊佐 正 自然科学研究機構生理学研究所教授

岡野 栄之 慶應義塾大学医学部教授

苧阪 直行 京都大学大学院文学研究科教授

○金澤 一郎 日本学術会議会長

川人 光男 株式会社国際電気通信基礎技術研究所脳情報研究所長

丹治 順 玉川大学学術研究所教授

津本 忠治 理化学研究所脳科学総合研究センターユニットリーダー

中西 重忠 大阪バイオサイエンス研究所長

三品 昌美 東京大学大学院医学系研究科教授

宮下 保司 東京大学大学院医学系研究科教授

○：座長

(11 名)

「脳科学研究の推進に関する懇談会」審議の過程

第1回目（12月12日（火）13:30-15:30）

1. 脳科学研究関係政策の概要
2. 我が国の脳科学研究の現状及び海外の動向
3. 我が国の脳科学研究と理化学研究所脳科学総合研究センターについて
4. 今後の進め方

第2回目（1月26日（金）16:30-19:00）

1. 重要な研究領域について
2. 特別支援教育課からの説明
3. 外部有識者からのヒアリング

第3回目（2月19日（月）16:30-18:30）

1. 重要な研究領域について（まとめ）
2. 研究推進体制、人材育成、国際協力等について

第4回目（3月23日（金）16:00-18:30）

1. 自然科学研究機構生理学研究所について
2. 報告書骨子案審議

第5回目（4月17日（火）13:30-15:30）

1. 理化学研究所脳科学総合研究センターについて
2. 報告書案審議

第6回目（5月23日（水）14:00-16:30）

1. 報告書とりまとめ

資 料

「脳科学研究ルネッサンス」(報告書) について －新たな発展に向けた推進戦略の提言－

平成19年6月
研究振興局

1. 経緯

- 平成18年7月、科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会において「平成9年度に「脳に関する研究開発についての長期的な考え方」を科学技術会議(当時)が定めてから10年が経過しようとしており、この間の脳科学研究の動向を踏まえて戦略的な研究推進方策を再検討する必要がある。」との方策を決定。
- 平成18年12月、「脳科学研究の推進に関する懇談会(座長：金澤一郎日本学術会議会長)」を設置。平成19年5月、報告書「脳科学研究ルネッサンス」を取りまとめ。
- 平成19年6月14日の科学技術・学術審議会研究計画評価分科会ライフサイエンス委員会において報告・公開。

2. 報告書のポイント

- 過去10年間で、脳の記憶・学習メカニズムの解明、精神神経疾患の病因解明、脳の発達と感受性期の解明などが進展。
- 重点的に研究を推進すべき領域として、①脳を知る(脳の構造と機能の解明)、②脳を守る(認知症・うつ病等の精神神経疾患の予防・診断・治療法開発)、③脳を育む(脳の発生・発達の解明、発達障害の予防や治療、育児・保育・教育への応用)、④脳に学ぶ(脳内情報解読と機器接続の技術開発)の4領域を設定。
- 科学技術・学術審議会に「脳科学委員会」を設置。大学・研究機関等に新たな研究拠点を整備して、基礎研究成果を医療・福祉・教育・産業等につなげるための研究開発を戦略的に実施。
- 投資目標を設定(年間700億円程度)。大学等における研究人材育成のための制度改革や促進策を提言。倫理面の検討の重要性等を指摘。

報告書の概要

1. 脳科学研究の現状と推進の意義

- 脳科学研究は、分子生物学の進展、脳機能計測技術の進歩等により、大きく進展。人の心の理解に進む可能性が開けてきた。
- 社会の高齢化・多様化等により、認知症、うつ病など、精神神経疾患や心に問題を抱える人の数が増加。脳科学研究により、その予防・治療法開発に可能性が開けてきた。
- 注意欠陥多動性障害（ADHD）のような発達障害の原因の一部が脳にあること、脳の発達には感受性期（臨界期）があること等が解明。子どもの保育や教育が直面している問題の解決に、科学的側面から寄与できる可能性が開けてきた。
- 脳によりコンピュータ機器や身体補助具を直接操作する技術が発展。高齢者や障害者が身体機能の改善・回復などを図れる可能性が開けてきた。

2. 重点的に推進すべき研究領域の設定

○「脳を知る」領域：脳の構造と機能の解明、人の心の理解

「脳を知る」領域は、「脳を守る」領域、「脳を育む」領域、「脳に学ぶ」領域の全てに深く関わり、その根幹をなす。

○「脳を守る」領域：認知症・うつ病等、精神神経疾患の予防・診断・治療法開発

アルツハイマー病など神経疾患の基本原理の解明、情動や社会性の発達とその障害、統合失調症、うつ病などいまだ原因の明らかでない精神疾患の基礎研究などについては、大きな成果が出つつあり、近い将来、精神神経疾患の予防・診断・治療法開発が期待される。

○「脳を育む」領域：脳の発生・発達の原理の解明、発達障害の予防や治療、育児・保育・教育への応用

脳の発生・発達の原理、注意欠陥多動性障害（ADHD）などの発達障害の原理の解明は、将来、学校の指導内容・方法の改善に関する検討や発達障害のある子どもに対する教育などへの応用が期待される。

○「脳に学ぶ」領域：脳内情報の解読と機器接続などに関する応用技術、脳型情報システムの開発

脳内情報を解読・制御することにより、コンピュータや身体補助具を操作する技術は、障害者等の身体機能や認知機能を回復・補完する技術として、更なる発展への期待が高い。

3. 研究推進体制

○「脳科学委員会」の設置

長期的展望に基づき、我が国の脳科学研究の推進計画の立案、目標達成型研究開発の実施状況等の定期的な評価等を継続的に実施するため、常設の「脳科学委員会」を設置。

○研究拠点の整備

理化学研究所、大学共同利用機関等が大規模なネットワークを形成し、核となる研究拠点を新たに整備して、基礎研究成果を医療・福祉・教育・産業等につなげるための研究開発を戦略的に実施。

○研究基盤の整備

マウス、霊長類などの供給体制について、早急に対策が必要。

4. その他

○投資目標

現在、我が国の脳科学研究関連予算は300億円程度であるが、第3期科学技術基本計画の目標下においては、年間700億円程度（我が国のライフサイエンス関係予算約4,200億円の約17%（米NIHと同程度））に倍增することが必要。

○脳科学研究人材の養成

脳科学研究の更なる発展のためには、従来の枠組みを超えた学際的教育プログラムや複数専攻制（ダブルメジャー）など複数分野に精通した人材育成が必要。

○社会との調和

倫理的・社会的側面の検討および、一般の人々と研究者との双方向コミュニケーションを図ることが必要。

経 緯

- 平成 8 年 7 月 「脳科学の時代」
(科学技術庁研究開発局脳科学の推進に関する研究会)
- 平成 9 年 5 月 「脳に関する研究開発についての長期的な考え方」
(科学技術会議ライフサイエンス部会脳科学委員会)
※ 戦略目標タイムテーブル(研究開発戦略ロードマップ)策定。「脳を知る」、「脳を守る」、「脳を創る」、「脳を育む」(平成 14 年度から)の 4 領域について、具体的な研究開発目標を設定。
- 平成 9 年 10 月 理化学研究所脳科学総合研究センター 設立
※ 「脳を知る」、「脳を守る」、「脳を創る」「脳を育む」の 4 領域に焦点を合わせ(「脳を育む」領域については平成 14 年度から追加)、国が定めた目標に沿って、戦略的かつ総合的な研究を実施。
- 平成 16 年度 科学研究費補助金の特定領域研究「統合脳」開始
※ 多くの研究分野の有機的な連携によって科学的に脳機能を理解するための学術研究を実施。(～平成 21 年度)
- 平成 18 年 7 月 「ライフサイエンスに関する研究開発の推進方策について」
(科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会)
- 平成 18 年 12 月 「脳科学研究の推進に関する懇談会」 設置
- 平成 19 年 5 月 「脳科学研究ルネッサンス」
(文部科学省研究振興局脳科学研究の推進に関する懇談会)

1. 脳科学研究の現状及び問題点

1-1 脳科学研究の重要性

○社会的意義

- ・精神神経疾患や心に問題を抱える人の増加
- ・高齢者や障害者の身体機能の回復・補完技術開発
- ・子どもの保育や教育が直面している問題への貢献

○科学的意義

- ・自然科学に残された**最大の未知領域(フロンティア)**
- ・人文・社会科学も包含した**新しい人間の科学**の創造

1-2 第1期10ヵ年計画の成果と問題点

「脳に関する研究開発についての長期的な考え方」

(平成9年 科学技術会議)

○研究領域を設定

「脳を知る」「脳を守る」「脳を創る」

(平成14年度「脳を育む」を追加)

○戦略目標タイムテーブルを策定

○脳科学委員会の下、諸施策の推進

主な研究成果

- 神経回路形成に関わる遺伝子同定
- パーキンソン病、ポリグルタミン病等の脳・神経疾患の解明
- 行動企画・強化学習の脳内機構の解明
- 視覚野の感受性期発現制御メカニズムの解明

研究成果を医療・福祉・教育・産業等につなげるための研究開発への重点化が必要

1-3 脳科学研究の現状ー世界の動向

国	機関	脳科学予算	脳科学予算の割合	主な取り組み
米国	国立衛生研究所 (NIH)	約5,800億円	約17%	神経科学計画 (Neuroscience Blueprint) イニシアティブにより、総合的な基盤整備に基づくアルツハイマー病などの成果の獲得を目的。
英国	医学研究会議 (MRC)	約250億円	約21%	高齢化や社会システムの変化に伴う、優先度の高い研究領域として精神神経関連の疾患を重点化。

2. 脳科学の推進戦略

2-1 研究推進方策

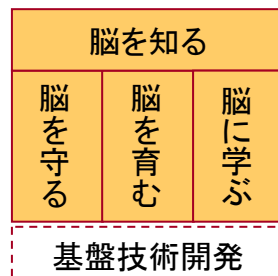
自由発想型基礎研究

- ・研究者の自由な発想
- ・全く新しい知見や技術を創出

目標達成型研究開発

- ・核となる拠点と研究者の大規模な研究ネットワークを形成
- ・明確な目標に向かって集中的に資源を投入

2-2 重点的に推進すべき研究領域－短期・中期・長期



脳を知る... 脳の構造と機能の解明、人の心の理解

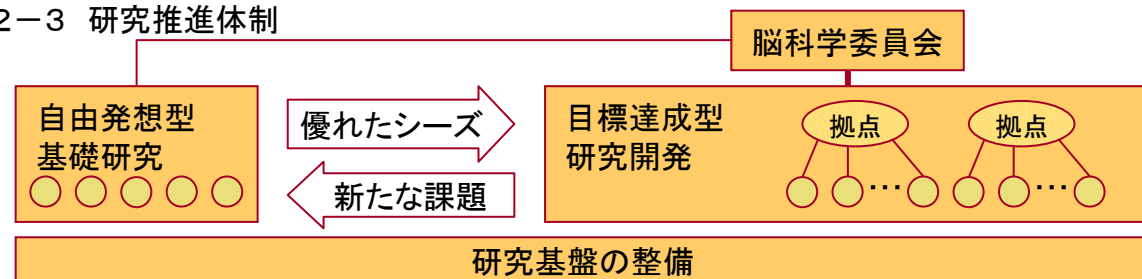
脳を守る... 認知症・うつ病等精神神経疾患の予防・診断・治療法開発、老化制御

脳を育む... 脳の発生・発達の解明、発達障害の予防や治療、育児・保育・教育への応用

脳に学ぶ... 脳内情報解読と機器接続の技術開発、脳型情報システムの開発

領域ごとに短期、中期、長期的目標を定めて集中的実施

2-3 研究推進体制



2-4 投資目標

第3期科学技術基本計画の目標下、現在300億円程度の脳科学研究予算を **年間700億円程度** に増額が必要。

3. 脳科学研究の新たな発展に向けて

3-1 大学・大学共同利用機関の役割

- ・自然科学研究機構を中心とした研究者の大規模な組織化
- ・独創的・先端的な研究を様々なアプローチで推進

3-2 理化学研究所脳科学総合研究センターの役割

- ・戦略的研究開発の中核としての役割
- ・大規模基盤技術開発、国際的研究協力、人材育成

3-3 脳科学研究人材の養成

- ・複数分野に精通した人材育成が必要
- 【例】学際的教育プログラム、複数専攻制(ダブルメジャー)

3-4 社会との調和

- ・倫理的・社会的側面の検討
- ・一般の人々と研究者との双方向コミュニケーション

図解：脳の構造と機能

<脳の正中断面図>

脳幹(間脳・中脳・橋・延髄) 生命維持の中枢

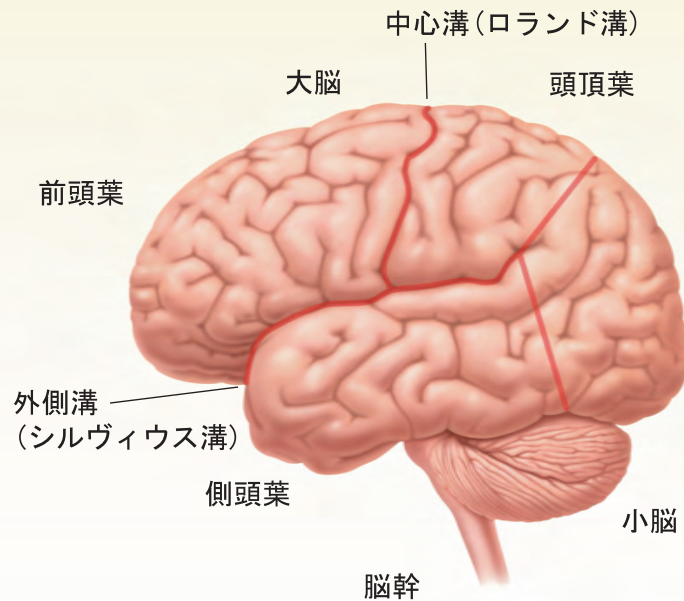
間脳
 松果体 体内時計を調節するホルモンを分泌
 視床 嗅覚以外の感覚情報を大脳皮質の感覚野に中継
 視床下部 自律神経を制御し、体温調節、摂食、性行動などを調整。
 脳下垂体 ホルモンを分泌して体の状態を調節

大脳
 新皮質は感覚、思考、判断の中枢
 古皮質は本能、情動、記憶の中枢

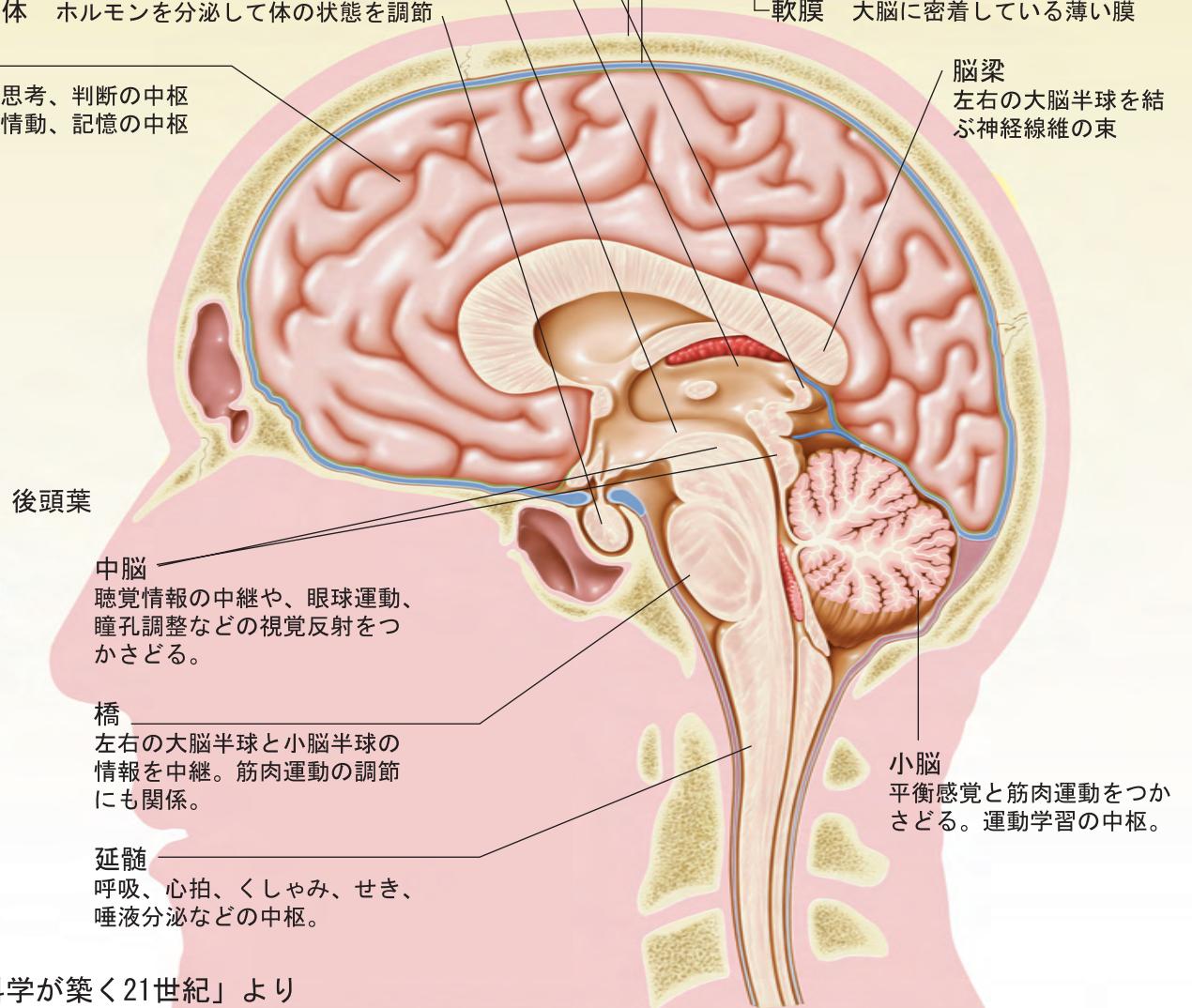
頭蓋骨 やわらかい脳を守るかたい骨

脳髄膜
 硬膜 頭蓋骨と結合している厚い膜
 くも膜 膜からクモの巣のような突起が出ている。軟膜との間のくも膜下腔には脳脊髄液が充満し、血管がたくさん走っている。
 軟膜 大脳に密着している薄い膜

脳梁
 左右の大脳半球を結ぶ神経線維の束



<脳の外観>



<大脳皮質の機能地図>

