

戦略的創造研究推進事業
— CREST タイプ —

研究領域
「脳の機能発達と学習メカニズムの解明」

研究領域中間評価用資料

平成 20 年 3 月 7 日

1. 戦略目標

「教育における課題を踏まえた、人の生涯に亘る学習メカニズムの脳科学等による解明」（平成 15 年度設定）

（具体的達成目標）

教育における課題に対して、脳科学をはじめ関係する諸科学による貢献を目指すという観点からの対話・交流を進めつつ、以下の項目の中で特に社会的要請の強いものを対象に研究を実施する。

なお、ここで言う「教育」とは、人の胎児期を含む生涯を通じた教育、即ち、乳幼児教育、小・中・高等学校教育、高等教育、高齢者教育、また、職業人を対象とした新たなスキル習得等のための能力開発や再教育、さらにはリハビリテーション、語学教育、芸術教育、体育等を包含した広義の概念として取り扱うものである。

- 胎児期・乳児期・幼児期における脳機能発達の解明。特に環境が及ぼす影響、シナプス過剰形成と刈り込み、可塑性と臨界期・感受性期、機能統合、言語発達、髓鞘化と機能発達の関係等の解明
- 児童期・青年期における、教育・学習の方法、記憶や注意のメカニズム、学習の意欲や動機付け、創造性等に関する脳機能、共感性、学習・行動の障害と脳機能の発達の関係等の解明
- 成人期における、能力開発・再教育の方法と脳機能の発達との関係の解明、及びストレスが脳機能に与える影響の解明
- 高齢期における、健やかな脳機能の保持及び損傷を受けた脳機能の回復メカニズムの解明
- 上記のための研究・計測方法論の開発

なお、将来的には、これらの研究の成果を踏まえた脳機能と学習メカニズムの関係に関する知見の蓄積により、育児や学習指導に関する重要な考え方を確立するとともに、教育における課題を踏まえつつ、成果を育児や教育の現場をはじめとする様々な場に提供することを目指す。

2. 研究領域

「脳の機能発達と学習メカニズムの解明」（平成 15 年度発足）

（領域の概要）

本研究領域は、脳を育み、ヒトの一生を通しての学習を促進するという視点に、社会的な観点も融合した新たな視点から、健康で活力にあふれた脳を発達、成長

させ、さらに維持するメカニズムの解明をめざす研究を対象とする。

具体的には、

- ・ 感覚・運動・認知・行動系を含めた学習に関与する脳機能や言語などヒトに特有な高次脳機能の発達メカニズムの解明、及びそれらの臨界期（感受性期）の有無や時期の解明
 - ・ 発達脳における神経回路網可塑性に関する研究
 - ・ 高次脳機能発達における遺伝因子と環境因子の相互作用の解明
 - ・ 健やかな脳機能の保持を目指した研究
 - ・ 精神・神経の障害の機序解明と機能回復方法の研究
- 等が含まれる。

3. 研究総括

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）

4. 採択課題・研究費

採択年度		研究 代表者	所属・役職 (H20.1 現在)	研究課題	(百万円)
平成 15 年度	酒井邦嘉	東京大学大学院総合文化研究 科 准教授		言語の脳機能に基づく獲得メカニズ ムの解明	491
	櫻井芳雄	京都大学大学院文学研究科心 理学研究室 教授		高齢脳の学習能力と可塑性の BMI 法 による解明	400
	杉田陽一	(独) 産業技術総合研究所脳 神経情報研究部門 研究グル ープ長		幼児脳の発達過程における学習の性 質とその重要性の解明	293
15 年度	多賀 巖太郎	東京大学大学院教育学研究科 准教授		乳児における発達脳科学研究	463
平成 15 年度	中村克樹	国立精神・神経センター神経 研究所 モデル動物開発部 部長		コミュニケーション機能の発達にお ける「身体性」の役割	474
平成 15 年度	平野丈夫	京都大学大学院理学研究科生 物物理学教室 教授		小脳による学習機構についての包括 的研究	427

平成 16年度	伊佐 正	自然科学研究機構 生理学研究所 教授	神経回路網における損傷後の機能代償機構	442
	大隅典子	東北大学 大学院医学系研究科 教授	ニューロン新生の分子基盤と精神機能への影響の解明	378
	鍋倉淳一	自然科学研究機構 生理学研究所 教授	発達期および障害回復期における神経回路の再編成機構	383
	西条寿夫	富山大学 医学薬学研究部 システム情動科学 教授	情動発達とその障害発症機構の解明	473
	ヘンシュ 貴雄	(独) 理化学研究所 脳科学総合研究センター グループディレクター	臨界期機構の脳内イメージングによる解析と統合的解明	316
	北澤 茂	順天堂大学医学部 教授	応用行動分析による発達促進のメカニズムの解明	408
	小林和人	福島県立医科大学医学部附属 生体情報伝達研究所 教授	ドーパミンによる行動の発達と発現の制御機構	338
	藤田一郎	大阪大学大学院生命機能研究科 教授	大脳皮質視覚連合野の機能構築とその生後発達	354
	和田圭司	国立精神・神経センター神経 研究所 部長	脳発達を支える母子間バイオコミュニケーション	328
	研究費 合計 (平成 15~18 年度の実績, 平成 19 年度以降予算の合計額)			5,986

5. 研究総括のねらい

- 記憶・学習・運動などに関する脳の情報処理の仕組みの理解は、動物実験でかなり進んできた。近年、ヒトの脳活動を非侵襲的に画像情報として検出できる計測技術の開発により、ヒトを対象として脳の高次機能に迫る研究が可能となってきた。
- 21世紀の脳科学が目指す大きな目標はヒトの脳機能の解明であり、その成果は「心の理解」につながることから、育児や教育をはじめ、精神・神経疾患の治療法・予防法など社会に革新的変化をもたらすことが予想され、現在、世界的に脳の機能を理解するための研究が展開されている。
- 脳の高次機能の解明はいまだ基礎的段階にあり、本領域では、将来的に育児や教育における科学的指針、さらには精神・神経疾患の新しい治療法や予防法の

開発につながっていく可能性をもった基礎的研究を展開し、脳機能の発達、学習、精神・神経障害からの機能回復メカニズムの理解の基盤となる知見や技術を積み上げることを計画した。

6. 選考方針

複雑な脳が1個の受精卵から如何に形成され、高次機能を発揮するようになるのかという疑問に対する近年の研究は、初期の遺伝情報によるメカニズムをかなり明らかにするとともに、そのようにして形成された神経回路網は環境からの入力や脳自身の活動によって精緻化や改変を受けることを明らかにしてきた。

さらに、この活動依存的変化のメカニズムは学習のメカニズムと共通することも示唆されている。このような知見は主に実験動物で得られてきたが、最近、ヒト脳機能の非侵襲的計測技術の発展によって、ヒトの脳機能の発達や入力依存的変化の研究が可能となり、ヒトにおいても発達や学習メカニズムを解明し、その成果を社会に還元することが期待されている。

本領域は、このような現状認識にたって、ヒトの感覚・運動・認知・行動系を含めた学習に関与する脳機能やヒトに特有な言語などの高次脳機能の発達メカニズムの解明、さらに精神・神経の障害からの機能回復の機序解明を目指す研究を取り上げた。また、そのようなメカニズムの基礎にある発達脳における神経回路網可塑性に関する実験動物を使った研究も選考の対象とした。動物実験においては、その知見がヒトに適応可能な研究、特定の手法のみならず種々の手法を多元的に併用した融合的研究、或いはシステム的見地からの研究か否かに重点をおいて選考した。また、ユニークな発想に立ちながらも、その成果が世界をリードするような独創的な研究の提案を重視した。

なお、選考にあたっては、利害関係にある選考委員は選考に参加せず、公正な選考に努めた。

7. 領域アドバイザーについて

脳の機能を理解するためには、分子、細胞、神経回路、システム、計算論、脳の病態、さらに認知科学や心理学等、多くの分野の研究者の有機的連携による共同研究を進めることが重要である。そこで、領域アドバイザーとしては、各分野で先端的研究をおこない、国際的にも高い業績をあげておられる方々のなかからお願ひした。また、幅広い視点からの指導・助言をいただくため、大学や公的研究機関のみならず民間企業の研究所に所属されている方にもお願ひした。

領域 アドバイザー	所属	役職	任期
渥美 義賢	(独) 国立特別支援教育総合研究所 教育支援研究部	上席総括研究員	H15/4～H23/3
乾 敏郎	京都大学 大学院情報学研究科	教授	H15/4～H17/3
岡野 栄之	慶應義塾大学 医学部生理学教室	教授	H17/4～H23/3
川人 光男	(株) 国際電気通信基礎技術研究所 脳情報研究所	所長	H15/4～H23/3
小泉 英明	(株) 日立製作所	フェロー	H15/4～H23/3
田中 啓治	(独) 理化学研究所 脳科学総合研究センター	領域ディレクター	H15/4～H23/3
丹治 順	玉川大学 脳科学研究所	所長	H15/4～H23/3
塚田 稔	玉川大学 脳科学研究所	副所長	H17/4～H23/3
村上 富士夫	大阪大学 大学院生命機能研究科	教授	H15/4～H17/3
宮下 保司	東京大学 大学院医学系研究科	教授	H15/4～H23/3
山鳥 重	神戸学院大学 人文学部人間心理学科	教授	H15/4～H23/3

8. 研究領域の運営について

1) 採択課題に期待すること

採択に際しては、研究内容がユニークで、独創性に富んだものであること、かつ研究計画が具体的に示され、5年間で目標達成が十分にみこめることに加えて、戦略目標に合致し、将来的に育児や教育等に関する諸問題の解決、さらには精神・神経疾患の治療・予防法の開発に貢献すると考えられるものに重点をおいた。

2) 研究の進捗状況の把握

2) 1 領域内研究報告会

H15年発足時から、毎年1回、非公開で開催した領域内研究報告会では、総括、アドバイザーはじめ、本領域のほとんどの参加メンバーが一同に会し、戦略目標の達成に向け、活発な議論を行っている。この報告会では、未発表の成果を含め全員の研究代表者に口頭発表を、共同研究グループにはポスター発表をいただき、研究の進捗状況の把握と必要な助言・指導を実施した。また、この会を通じ、研究チーム内外の相互の連絡、協力関係を強化し、領域全体として相乗効果を発揮し、一層の研究の促進と、より高いレベルの成果達成をはかっている。

この報告会は年々活発になり、H18年度は、参加者212名、ポスター発表は112

題に達し、若手研究者の「育成の場」にもなっている。

2) -2 サイトビジット

H15 年発足時から、総括が毎年、研究代表者の研究室を訪問し(採択年は全研究室、翌年以降は 1 或いは 2 年に一度)，研究計画書、研究実施報告書をもとに、研究の進捗状況の把握を行い、必要な指導、助言を行っている。また、訪問時には、研究室を見学し、研究機器の状況や研究スタッフの陣容など研究環境の把握に努め、研究費配分の際の参考にした。これまでに、研究代表者を中心に延べ 26 回のサイトビジットを実施した。

2) -3 中間評価

研究発足後 3 年経過時に中間評価を実施している。H18 年度は H15 年度採択課題を、H19 年度は H16 年度採択課題を対象に中間評価会議を開催し、アドバイザー出席のもと、これまでの研究成果と今後の方針について、各研究代表者あたり約 1 時間をかけて発表・討論・評価を行った。評価の結果、研究計画の改善が必要と判断された研究課題については、研究計画の一部修正を指導・助言している。

3) 研究成果の一般社会への情報発信

国民の脳科学に対する期待は高く、また高額な研究予算が投じられている。このため、戦略目標に沿った明確な成果が求められると共に、研究活動を社会に発信し、成果の還元と研究活動に対する国民の理解を得る努力が必要と考えている。特に、学術雑誌に受理された成果は、さらに新聞などで一般社会にその意義を周知させるよう助言や事務的サポートを行っている。

3) -1 公開シンポジウムなど

これまで、関連領域や他の領域の研究者及び一般の人を対象とした公開シンポジウムを 3 回、シリーズ講演会を 1 回実施した。公開シンポジウムでは、毎回 600 名前後の参加者があり、研究成果を発信すると共に、研究の推進にとって参考とすべき批判、助言をいただいた。参加者にお願いしたアンケートでは、最先端の研究成果を分かり易く紹介するシンポジウムとして高い評価をいただいており、今後とも研究成果の社会への還元と研究活動に対する理解増進に努めたいと考えている。なお、研究成果の発信に際しては、社会の誤解をまねくことがないように十分な科学的根拠に裏付けされた成果を発表し、明らかなことと不明なことを明確に区別して行うことが重要と考えている。

3) -2 ニュースレターの発行

大隅典子研究代表者は、年 2 回大隅チームの活動状況を一般市民向けに冊子にまとめ、刊行しているが、H19 年度からは対象を領域全体に拡げ、内容の一層の充実を図り、

一般社会向けの情報発信に努めている。

4) 評価と今後の研究にむけての助言

領域内研究報告会やサイトビジット、研究実施報告書、さらには中間評価をもとに、各研究課題の進捗状況の把握に努めている。

その結果に基づき、

- ・ 研究の進捗状況に懸念がある場合には、研究の方向性の修正、チーム構成の見直し、研究テーマの絞り込みなどを助言し、当初の研究目標の達成に向け、研究の進展がはかれるよう指導している。
- ・ 研究費については、研究代表者の要望をもとに、研究の進捗状況、サイトビジットを中心に把握した研究環境や研究遂行上の課題などを考慮し、研究を促進するため必要と判断されるものに関し、メリハリをつけた配分を行っている。

9. 研究の経過と所見

以下、採択年度ごとに、各研究チームの研究の目的、これまでの成果及び今後の展望について記載する。

平成 15 年度採択研究課題

言語の脳機能に基づく獲得メカニズムの解明（酒井邦嘉チーム）

[研究の目的]

言語は、人間に固有の高次脳機能である。本研究のねらいは、言語の脳機能に焦点を当てて、言語獲得のメカニズムを解明することにあり、「教育への脳科学の貢献の突破口の一つは言語にある」というコンセプトに基づいて、教育に脳科学を持ち込むことを追究する。実験では、脳機能の非侵襲的計測法を駆使して、言語機能の局在と神経ネットワークを明らかにし、母語と第二言語の獲得メカニズムを解明していく。言語の本質である「文法」という抽象的な概念が脳の中でどのように表現されているかという疑問に対し、特定の領域の大脳皮質の働きとして客観的に答え、教育の効果を脳機能の変化として直接的にとらえることを目標とする。

[研究の成果]

本研究で、文法処理や文章理解において左前頭葉の特定の領域が活性化するという言語の普遍性が、日本語・英語・日本手話のように異なる母語間で確かめられ、さらに文法処理を中心とする第 2 言語（英語）の習得過程初期に、脳の「文法中枢」の活動が増加することを初めて直接的に証明した。また、大学生を対象として、英語の「熟達度」が高くなるほど文法中枢の活動が節約されていることが明らかになった。従って、中学生から大学生にかけて英語が定着するに従って、文法中枢の活

動に2相性のダイナミックな変化が見られることが示唆された。一方、文法を使って文章を理解する時、単語の意味が分かった時、音韻（アクセントなど）を聞き分ける時等では、それぞれ脳の異なる部分が必要となることが明らかとなり、その活動パターンを左脳の「言語地図」にまとめると、文法・文章理解・単語・音韻の四つの中枢に分けられることが明らかになった。このような言語地図を作ることで、言語の学習障害が脳のどの部分と関連するかが明らかになる可能性があり、語学学習の成績を脳活動から評価する時にも役立つと考えられる。以上の成果は、米科学誌 *Science* (310, 815-819, 2005) 等に発表された。

[今後の展望]

第2言語の熟達度を脳科学の手法で初めて定量的に計測したことにより、言語獲得のメカニズムの解明がさらに進むことが期待される。また、この知見は、語学学習法に役立てることができる可能性がある。このような脳科学に基づく新しいコンセプトの教育方法を提案することで、教育学などの学問分野に貢献するだけでなく、広く一般社会に脳科学の有用性を示すことが期待される。また、言語障害の機能が回復する際に、ブローカ野の活動がどのように変化していくかをモニターすることにより、言語リハビリテーションに役立つ新しい知見をもたらすことも期待される。

高齢脳の学習能力と可塑性の BMI 法による解明（櫻井芳雄チーム）

[研究の目的]

脳と機械を直接繋ぐブレイン-マシン・インターフェース（BMI）研究は、身体の障害を補う介護医療的な目的と、脳の情報表現と可塑性を解明する神経科学的な目的の両者を併せ持つ、きわめて重要な研究である。本研究では、まずサルとラットを用いた高性能の BMI を構築し、それを活用することで、脳の学習能力と可塑性を明らかにすること目的としている。特にサルの実験では、自由度の高い複雑な上肢運動を、静止位置や力加減も含め高精度に予測する BMI の完成を目指す。またラットの実験では、ニューロン活動を用いた高精度の BMI を構築すると共に、高齢ラットの劣化した身体を BMI に代替させることで、本来の学習能力と可塑性を引き出すことを目指す。

[研究の成果]

サルの BMI については、ニューロン活動から上肢運動を予測する際、筋電位からの推測情報を使うことによって、一次運動野の少数のニューロン活動から上肢の動きを、静止位置と力加減も含め高精度に予測し再現することに成功した。またラットの BMI については、独立成分分析（ICA）を活用することで、マルチニューロン活動をリアルタイムで分離する方法を考案し（特許出願済み）、それを組み込んだ BMI システムを構築した。さらに、この ICA を使ってサル前頭連合野のマルチニューロン活動を解析したところ、ほとんどの近接ニューロン間に高精度の同期発

火が見られ、その一部が課題の違いで変化することもわかった。このような局所的ニューロン集団の同期発火を情報として用いることで、高精度で安定した BMI が実現できる可能性が出てきた。

[今後の展望]

サルの実験では、腕を上下左右の 4 方向に動かす複雑な運動を行わせ、その動作を一次運動野のニューロン活動から正確に予測する BMI を構築する。さらにその BMI により、ロボットアームがサルと同じ動作をリアルタイムで実行するシステムを作り上げる。ラットの実験では、BMI を介して機械を制御することで生じる神経回路網の可塑的変化を、機能（ニューロン活動）と構造（シナプス形態）の両面から解明する。また、それら可塑的変化について高齢ラットと若年ラットを比較し、高齢脳の神経回路網が備えている可塑性を明らかにする。これにより、高齢化社会における学習の意義や、脳の機能回復を目指すリハビリテーション医学に新たな視点を与えると期待される。

幼児脳の発達過程における学習の性質とその重要性の解明（杉田陽一チーム）

[研究の目的]

ヒトの認知機構の発達に生後初期の経験が極めて重要であることは体験的によく知られている。ところが、眼優位性カラムの形成など脳の初期視覚系の発達に対する経験の効果は多くの研究が行われてきたが、高次視覚系については殆ど研究されていなかつた。本研究の目的は、対象物の「色」、「動き」および「顔などの複雑図形」の知覚に対する初期経験の効果を明らかにすることである。

[研究の成果]

乳幼児期における視覚経験が、「色」、「動き」の知覚の発達に対して極めて大きな影響を及ぼすことが明らかになった。生まれて間もないサルを、1 年間、単色光の照明だけで飼育し、色のない環境で育てると、色の判断が、照明条件によって大きく変化し、同じ色の対象物であれば照明が変わっても同じ色と判断できる「色の恒常性」知覚能力が備わっていないことが明らかになった。また、ストロボ光照明下で、なめらかな動きを見せずに育てたサルは、動きの方向や速度の知覚に障害をきたした。さらに、「顔」を見せずに育てたサルでは、最初に見た「顔（ヒトの顔もしくはサルの顔）」の違いについては正しく判断できること、ただし表情が表す社会的、或いは情動的意義を認知することが困難であることを見出した。この結果は、顔を知覚する機能はかなり生得的に備わっているが、相手の顔の表情が示す情動や社会的関係性を理解するには生後経験が重要であることを示唆している。

[今後の展望]

乳幼児期における視覚経験の効果を行動科学的に明らかにした。今後は、神経細胞活動記録による生理学的検討および線維投射の解剖学的検討を行い、高次脳機能

の生得性の程度と初期経験の効果を神経科学的に明らかにする。これらの成果は、乳幼児期における養育、保育環境のあり方に対して科学的な指針を与えることが期待される。

乳児における発達脳科学研究（多賀巖太郎チーム）

【研究の目的】

ヒトは白紙の状態で生まれ、環境が発達に強い影響を及ぼすとの考えが以前は有力であった。ところが、近年の乳児の行動学研究は、乳児が初期から高い能力を持つことを明らかにしてきた。このことは、外部環境からの学習だけでなく、脳や身体に内在する機構の複雑さとその発達の原理を解明することが重要であることを示している。しかし、その脳内機構は、乳児における研究という方法論の制約から、ほとんど未知の領域であった。本研究は、脳のイメージング手法や動作解析手法を乳児研究に導入し、生後1年間の発達と学習に関わる脳や身体の時空間ダイナミクスの変化を調べることで、生後初期発達機構の解明を目的とするものである。

【研究の成果】

覚醒および睡眠中の乳児の脳機能イメージングを行う手法を確立した。特に、近赤外光トポグラフィー（NIRS）の手法を発展させて、乳児に適したプローブの開発、脳活動を高感度で計測するための条件、体動などのアーチファクト除去に関する信号処理、信号の統計手法等の基盤技術を開発した。この手法を用いて、視覚および聴覚に関連した大脳皮質の機能分化が、2～3ヶ月児で見られることを明らかにした。また、言語発達の基礎となる母語の知覚に関わる脳活動が新生児で既に見られることを見いだした。さらに、音声の抑揚の処理に関わる大脳皮質の機能的活動が3ヶ月児で見られ、その活動パターンが10ヶ月までに変化することを発見した。一方、3次元動作解析装置を用いて、乳児の記憶課題として知られるモビール課題中の学習過程を分析する手法を確立し、生後2～4ヶ月児でも手足の運動の学習がみられること、その運動パターンは月齢に応じて分化することを明らかにした。これらの結果は、生後3ヶ月ごろには、知覚、言語、記憶など様々な機能に関連して、大脳皮質の機能分化が起きることを初めて実証的に示したものである。

【今後の展望】

生後初期における感覚の分化と統合、音声言語知覚、学習に関連する馴化脱馴化、外界との相互作用を通じた学習等に関する研究が進んでおり、乳児期の大脳皮質機能発達を包括的に明らかにしようとしている。未熟児・新生児・乳児の事象関連応答、睡眠時の脳波、視線計測など他の研究手法を用いた研究や臨床現場での研究も進行している。本研究は人間の生後初期発達機構の解明を目指したもので、その成果は、乳児をとりまく環境のあり方、睡眠等の生活習慣、発達障害、育児、保育、早期教育の問題まで、社会や教育に意義のある科学的指針を与えると期待される。

コミュニケーション機能の発達における「身体性」の役割（中村克樹チーム）

[研究の目的]

乳幼児がコミュニケーション機能を獲得するに際しては、表情やジェスチャーなどの動作が重要である。コミュニケーション機能は動作と密接に関連した機能であると言える。本研究では、コミュニケーション機能の発達における「身体性」に焦点を当て、脳機能画像研究、認知心理学研究、神経生理学研究、行動科学的研究等を組み合わせ、その発達メカニズムを探る。

[研究の成果]

健常児を対象とした研究からは、乳幼児の脳が最初の1年間に母語に適応していく過程を、NIRSを用いて示した。一方、こうした言語機能を獲得する以前の数ヶ月齢のころから、乳幼児の脳は自分の母親の笑顔に対して無表情の顔よりも強く応答することが示された。見知らぬ女性の笑顔ではこのような強い応答は認められなかつた。コミュニケーションに用いる動作理解が言語理解に先行していることが示された。さらに、自閉性障害児を対象として、動作理解の訓練がコミュニケーション機能の獲得を促進する結果が得られた。コミュニケーションの基礎となる動作に特化した訓練（動作模倣と指さしや視線の理解）を行なう手法が有用であった。さらに、サルを用いた神経機序の研究では、コミュニケーションに重要である多感覚種情報の統合を調べた。サル扁桃体中心核には視覚でも聴覚でも同じ情動情報を持つ刺激に対して選択的な応答を示すニューロン群が存在することが分かった。感覚種を超えたコミュニケーション情報の処理に関連していると考えられる。

[今後の展望]

研究成果の一つに、自閉性障害児の効率良いコミュニケーション機能促進法の提案可能性がある。現在の応用行動分析の訓練手法は膨大な時間（週40時間）を要する。コミュニケーションの基礎となる動作模倣、指さしや視線の理解に特化した訓練だけで良いのであれば、総時間の短縮・訓練の効率化・家庭での訓練が実現できることが期待される。また、サルにおける知見を蓄積していくことで、コミュニケーションの基盤の理解やその障害の理解へつながることが期待される。

小脳による学習機構についての包括的研究（平野丈夫チーム）

[研究の目的]

小脳は運動制御・学習にかかわる中枢神経系である。小脳皮質内のシナプスでは、神経活動依存的な伝達効率変化（シナプス可塑性）が起こり、それらは運動学習の基盤になると考えられている。本研究では、分子・細胞・システム・個体各レベルでの研究を関連付け、小脳による学習機構全体のしくみを包括的に理解することをめざしている。具体的には、(A)学習の基盤と考えられるシナプス可塑性の発現・維持・制御の分子機構解明と、(B)シナプス可塑性が小脳神経回路における情報処

理および個体の運動制御・学習においていかなる役割をはたしているか, を明らかにすることを目的としている。

[研究の成果]

小脳プルキンエ細胞は, 平行線維入力と登上線維入力を受ける. 両者が同期して入力すると, 平行線維・プルキンエ細胞間シナプス伝達は持続的に減弱する. このシナプス長期抑圧は運動学習の細胞レベルのメカニズムと考えられてきた. 本研究では, 平行線維・プルキンエ細胞間シナプスに限局して存在するグルタミン酸受容体 $\delta 2$ サブユニットが PICK1 分子との結合を介して長期抑圧に関与すること, 平行線維と登上線維入力の統合を担う分子と推定されてきた C キナーゼの長期抑圧誘導時の細胞内動態を明らかにした. $\delta 2$ 欠損マウスでは, 運動学習および運動制御不全が認められるが, $\delta 2$ 欠失によるシナプス制御異常が平行線維・プルキンエ線維入力のバランスを変え, その結果プルキンエ細胞活動パターンが異常になり, それが不随意運動を引き起こし, また反射のタイミングを遅らせるなどを明らかにした. さらに, $\delta 2$ サブユニットと結合するデルフィリンを欠失させると, 小脳長期抑圧が起こり易くなり, ある種の運動学習が亢進することも見出した.

[今後の展望]

分子・細胞レベルの研究により, 学習の基盤と考えられるシナプス可塑性の発現・維持・制御の分子機構の全貌が, また遺伝子改変マウスを用いた個体レベルの研究により, 分子および個々の神経細胞レベルの現象が神経回路のはたらきおよび個体の行動にどのように影響するかが解明されつつある. こうした知見は, 学習メカニズムの理解に寄与するとともに, 学習障害や小脳機能の回復に有効な方法の開発および効率的な運動学習方法にかかわる情報を提供できると期待される.

平成 16 年度採択研究課題

神経回路網における損傷後の機能代償機構（伊佐 正チーム）

[研究目的]

中枢神経系の感覚・運動機能を担う神経回路の一部が損傷された後に, 残存する神経回路が喪失機能を代償する神経機構を解明する. 具体的には, マカクザルを用いて (1) 皮質脊髄路を頸髄レベルで損傷した後の手指の巧緻運動の機能回復機構,

(2) 一次運動野の損傷後の手指の巧緻運動の機能回復機構, (3) 一次視覚野を一側性に損傷した後のサッケード眼球運動の機能回復機構を, 陽電子断層撮影法 (PET) による脳機能イメージング, 電気生理学, 神経解剖学, 遺伝子発現の解析などの手法を組み合わせて研究を行う.

[研究の成果]

皮質脊髄路の損傷後, 機能回復の初期 (1 ヶ月) と安定期 (3 ヶ月) において手指による精密把持課題を遂行中の脳活動を PET によって計測すると, 初期には両側の一次運動野の拡大と活動増加, 安定期には損傷反対側の一次運動野と両側の運

動前野腹側部の活動が増加していることを見出した。さらにそれぞれの時期にこれらの領域を薬物の局所注入によって不活性化すると回復した運動が再度障害されることから回復の異なる時期には異なる領域が寄与することを実証することができた。この成果は *Science* 誌 (318, 1150-1155, 2007) に発表した。

[今後の展望]

今後上記の解析を深め、さらに損傷後訓練を行う群と行わない群の間の比較を行うことなどを通じて、中枢神経系の損傷後に残存する神経回路による機能代償の一般的な原則とリハビリテーションなどの訓練のもつ意義が明らかになると考えられ、その成果は有効なリハビリテーション法の開発につながることが期待される。

ニューロン新生の分子基盤と精神機能への影響の解明（大隅典子チーム）

[研究の目的]

近年、成体脳においてもニューロンが新生され、記憶や学習に関わることが指摘されているが、その分子基盤の解明には至っていない。一方、統合失調症などの精神疾患は、社会的に大きな問題であるが、モデル動物を用いた研究が遅れている。研究代表者はこれまで胎生期のニューロン新生に必須である転写因子 *Pax6* の機能解析を行ってきたが、最近、*Pax6* 変異ラットで、生後脳におけるニューロンの新生が低下していること、統合失調症類似の行動異常が見られることを発見した。本研究では、遺伝子改変マウスや変異ラットを用いることにより、ニューロン新生および精神症状に影響を与える遺伝的因子、環境因子を明らかにすることを目指す。

[研究の成果]

遺伝的因子として、転写制御因子 *Pax6* およびその下流因子である脂肪酸結合タンパク質 *Fabp7* が生後海馬のニューロン新生に必須であることを明らかにした。また、ヒトの遺伝学的解析および *Fabp7* ノックアウトマウスを用いた行動解析から、*Fabp7* がヒトの統合失調症の発症に関わる可能性があることを見出した。環境因子として、幼若期に X 線照射を行ってニューロン新生を低下させ、さらに成熟前に電撃ショックストレスを加えたマウスにおいて、統合失調症様の行動異常が誘導されることを認めた。さらに、*Fabp7* に結合すると考えられるアラキドン酸を含む餌を授乳期の幼若ラット与えることにより、ニューロン新生を向上させることができた。また、*Pax6* の別の下流因子である *ephrinA5* はグリア細胞において働き、脳の微小血管の血流制御に関わることを発見し、脳血流の低下がニューロン新生の低下を招く可能性を示唆する結果を得た。このことにヒントを得て、薬剤により脳血管を拡張させると、ニューロン新生を向上させる効果が得られることを確認しつつある。

[今後の展望]

研究代表者等は、神経回路の機能という観点よりも、神経幹細胞の増殖と分化によるニューロンの产生という、より生物学的な現象に着目することにより、ニュー

ロン新生の低下が統合失調症などの精神疾患発症の基盤となり得ることを示した。このことは、ニューロン新生に関わる因子が各種精神疾患の誘因因子となることを示すとともに、ニューロン新生を向上させる栄養因子（例えば必須脂肪酸など）や薬物（例えば血管拡張剤）などが、これらの精神疾患の発症の予防や治療等に役立つ可能性を示唆しており、今後、臨床への橋渡し研究につながるものと期待される。

発達期および障害回復期における神経回路の再編成機構（鍋倉淳一チーム）

【研究の目的】

発達期および障害後の回復期には脳機能にダイナミックな変化がおこる。この変化は脳機能発達の背景にある機能的神経回路の再編によって引き起こされる。本研究では、ヒトおよびモデル動物において、大脳皮質急性障害後の回復期における活動領域の変化とその基盤である機能回路の変化を発達期に起こる変化、特に抑制性回路の変化に伴う機能回路再編と対比させ、その基本メカニズムの共通性を明らかにするとともに、その制御機構を明らかにする。

【研究の成果】

脳虚血障害回復過程において、早期の障害部位の拡大、及びその後の絞込みがおこる。例えば、回路機能の主要制御因子 GABA の機能を決定する神経特異的 K^+ - Cl^- 共役担体 (KCC2) は障害後の脱磷酸化および蛋白発現低下によって機能が消失し、未熟期回路の特徴である GABA の脱分極作用が再出現する。また、神経伝達制御分子 Neuronal Ca^{2+} sensor 1 の再出現など、未熟脳に特徴的な回路機能特性が障害脳では再出現することが判明した。さらに、神経回路の再編成を観察するために、独自の改良を加えた多光子励起イメージング法を生きたモデル動物へ適用し、大脳皮質全層の神経細胞・回路の微細構造の可視化、および長期間観察技術を確立した。この技術を用いて、脳虚血動物において回復過程の回路変化を観察している。

【今後の展望】

脳障害後の活動領域変化の背景にある回路再編とその制御機構を明らかにする。さらに、リハビリテーションや神経活動が回路機能の再編成に与える影響、およびその時期依存性についての科学的検証を神経回路レベルでおこない、より有効なりハビリテーション療法および実施時期の確立を目指す。また、神経回路再編に係わる分子の検証法や治療のためのターゲット分子探索検証法の確立に繋がることが期待される。

情動発達とその障害発症機構の解明（西条寿夫チーム）

【研究の目的】

情動機能の発達は、ヒトでは思春期まで持続することが示唆されている。本チームでは、情動発達および情動学習・記憶の神経機構を、情動発現および社会的認知

機能の中枢である大脳辺縁系（扁桃体、海馬体、視床背内側核、島皮質）やその関連領域および前頭葉を中心に、動物およびヒトを用いて分子・遺伝子から細胞・システムレベルで総合的に解明することを目的とする。

[研究成果]

乳幼児では、社会生活における体験（例えば、顔を見て目と目を合わせるアイコンタクトなど）により情動や社会的認知機能を発達させていくことが示唆されている。サル扁桃体の顔に選択的に応答する顔ニューロンを解析した結果、1)実生活で関わりのある人の表情に対してより選択的に応答する、2)視線方向に対する応答は顔方向に影響される、3)アイコンタクトのある顔画像に強く応答する、ことなどが明らかになり、扁桃体が乳幼児の社会性の発達に重要であることが示唆された。また、サル、ラットまたはマウスのニューロン活動の記録により側坐核、海馬、視床、島皮質、前頭葉などは表情、視線の認知や報酬学習に関与することが明らかになりつつある。ヒトで、健常者を用いて乳児から成人までの大脳体積を横断的に比較した結果、灰白質は思春期以降に減少したが、白質は思春期以降も増大した。逆に、扁桃体および海馬は思春期において体積が増大した。

[今後の展望]

情動発達および情動学習・記憶の神経機構として、1) 扁桃体など皮質下核が生後早期から活動を開始し、そのニューロン応答特性が社会行動を通じて繰り返し刺激を受けることで高まっていく仕組み、2) 前頭葉など大脳皮質ニューロンが社会行動における自己および他者の行動結果（経験）から応答性を獲得していく仕組み、3) ヒトの大脳辺縁系および前頭葉が思春期までダイナミックに発達していく仕組み、を明らかにする。さらに、これらメカニズムの障害により様々な行動・情動障害が発症することを明らかにし、情動障害の治療法開発に繋がる成果が得られることが期待される。

臨界期機構の脳内イメージングによる解析と統合的解明（ヘンシュ貴雄チーム）

[研究の目的]

哺乳類の脳は出生時には未熟で、生後発達初期の経験に応じて神経回路を改変しながら機能を発現していく。本研究では、このような変化が生じ易い「臨界期（感受性期）」に関する特定の抑制性ニューロン群を直接操作できる技術を開発し、臨界期における抑制系の役割を明らかにする。また、その時の神経回路の形態的変化を可視化し、その変化へのプロテアーゼ、テレンセファリンの関与など、変化の分子機構の解明を目指す。また、遺伝子改変マウス及びキンカチョウを用いて、生きている脳で臨界期の終了過程で生じる神経回路の再編成過程を可視化し、臨界期メカニズムの解明を目指す。

[研究の成果]

これまでに、神経回路の再構築を可視化するために、2光子レーザー走査顕微鏡システムを立ち上げるとともに、樹状突起フィロポディアの形成・維持を促進する分子としてテレンセファリンを同定し、その機能を明らかにした。また、キンカチョウの歌学習でGABAニューロンの役割を明らかにし、異なった動物種でも共通の臨界期開始メカニズムが存在するという新しい概念を確立した。本研究は、臨界期の分子メカニズムを微細構造の持続的観察と遺伝子改変動物を用いて明らかにしようとするユニークなアプローチの研究である。

[今後の展望]

本研究の目的は、臨界期（感受性期）の開始及び終止メカニズムの解明を目指したもので、その成果は本領域の主旨である「ヒトの学習・教育への応用」の基礎となるデータを提供できる可能性が高い。今後、アデノウイルスを用いて細胞特異的操作をマウス、キンカチョウに応用する新技術の開発を進め、2光子レーザー顕微鏡を活用し臨界期における微細構造変化の可視化を目指す。これによって、臨界期終了を伸ばし、成人における学習促進方策の開発につながることが期待される。

平成17年度採択研究課題

応用行動分析による発達促進のメカニズムの解明（北澤 茂チーム）

[研究の目的]

自閉症に対して、応用行動分析を用いて早期集中介入を行うと、通常の社会生活ができる迄に回復する症例が報告され、注目を集めている。本研究では、応用行動分析による自閉症治療法を脳科学的に検証する一方、同じ手法を適用したサルの生理学的研究を行い、応用行動分析による発達促進の脳内メカニズム解明を目指す。

[研究の成果]

応用行動分析臨床研究グループは無作為化比較試験デザインを用いて応用行動分析の治療効果の検証を行った。実験群(男児3名)には応用行動分析に基づく週30-40時間の早期高密度介入を2年間継続適用し、比較群(5名)には月2回のコンサルテーション支援を適用して、両群の変化を比較して早期高密度行動介入の効果を検証している。神経生理グループは応用行動分析の手法をサルに適用して発達促進の実験モデル開発を進めた。ニホンザルに模倣課題を訓練し、それぞれに4-15種類の課題を習得させた。しかし、習得速度は自閉症児と比較しても極めて遅く、学習促進法のテストを行う実験系として利用できるものと期待される。また、治療効果を評価するためのテスト課題の開発に取り組んだ。特に、左右の手に加えた刺激順序の判断には経験を加味した「ベイズ推定」が用いられることが明らかにし、Nature Neuroscience (9, 875-877, 2006) に発表した。また応用行動分析による自閉症治療で決定的な役割を果たすと予想される報酬とドーパミン放出に関して、補足

眼野が特定の運動と報酬の組み合わせに応じることを発見した。さらに、ドーパミン放出量の計測法の改良に取り組み、ワイヤレス伝送とダイヤモンド電極を用いた生体計測法の開発に成功した。

[今後の展望]

自閉症はかつて、施設で暮らすのが標準的な予後とされてきた。近年の自閉症の診断率は20年前の10倍であり、従来の予後を仮定すると、社会的にも憂慮すべき事態である。我々は半数に著効を示すが、週30時間以上の治療が必要とされている応用行動分析の脳内メカニズムの解明を通じて、もっと簡単に、もっと多くの症例の予後改善を実現する治療法の開発を目指す。その成果は、自閉症の効果的な治療法、更にはより一般的な発達障害予防法の開発に繋がることが期待される。

ドーパミンによる行動の発達と発現の制御機構（小林和人チーム）

[研究の目的]

中脳ドーパミン神経系は、学習や経験に基づく行動の獲得、発現、制御に深く関与する。ドーパミン神経系は大脳皮質前頭前野と大脳基底核をめぐる神経回路の機能調節を介して行動の発現やその発達を制御する。また、この神経回路の異常は統合失調症や注意欠陥多動性障害などの発達障害に結びつくことが知られている。本研究プロジェクトでは、ドーパミン伝達による学習・情動行動の発達と制御の脳内機構、および、ドーパミン伝達に依存した神経回路の発達と可塑性の神経機構の解明に取り組む。特に、脳神経回路の仕組みを明らかにする新しい遺伝子改変技術を利用して、ドーパミン系の異常と関係する動物モデルを開発し、行動発達の基盤となる脳内の仕組みの解明に応用する。

[研究の成果]

本プロジェクトでは、ドーパミン伝達と関連する行動制御の脳内機構を明らかにするために、げっ歯類（マウス、ラット）とサルを対象とした動物モデルの開発に取り組んできた。げっ歯類については、初期胚の遺伝子操作技術を応用して、大脳皮質および基底核を構成する特定のニューロンタイプを除去する遺伝子改変モデルを作製し、ドーパミンによる運動亢進作用の神経回路機構を明らかにした。また、サルの脳内神経回路を解析するために、新規のウイルスベクター系を開発し、このベクター系は神経終末部位から取り込まれ、逆行性輸送により遠方の細胞体まで輸送され、その細胞全体を可視化できることを明らかにした。このベクター系は、今後新しい靈長類モデルを開発するにあたって重要な基礎技術を提供する。

[今後の展望]

これまでの研究実績に基づいて、独自に開発した遺伝子改変技術を適用した動物モデルを使用し、ドーパミン系の行動制御機構の発達とその障害の脳内機構の解明をさらに進める。この機構の解明は、統合失調症や注意欠陥多動性障害を含めた発

達障害の病態の理解につながるとともに、将来の新しい治療法の開発に結びつくことが期待される。

大脳皮質視覚連合野の機能構築とその生後発達（藤田一郎チーム）

[研究の目的]

心のできごとの多くは、脳の中でも大脳皮質の働きに大きく依存している。本研究プロジェクトでは、サルの大脳皮質の構造、機構、およびその発達を、神経細胞の刺激に対する反応性、形態、機能構築、つながり（神経回路）という4つの視点から解明する。異なる動物、異なる大脳皮質領野の間の共通点と相異点を把握し、動物実験研究の成果をヒト脳の理解に正しく結びつけることを目指す。

[研究の成果]

サルの大脳皮質に存在する多くの視覚領野が、それぞれ、どのような構造的、機能的特徴を持つかを明らかにし、さらに、それらの特徴が発達する過程を解明することを目指す。大脳機能研究の多くがサルやヒトで行われている一方で、微細構造とその発達に関する研究のほとんどはげっ歯類とネコで行われている。ヒト脳の発達過程や発達障害を科学的に理解するには、異なる動物・異なる大脳皮質領野間の共通点と相異点を把握し、動物実験研究の成果を人間の理解に正しく結びつけることが重要である。このような観点で行ってきた研究により、サルの大脳皮質の構造と個々のニューロンの持つ電気生理学的性質は、脳全体で一様ではなく、領野によって著しく異なることを見出した。例えば、一次視覚野ニューロンは入力の時間的変化に追従できる高い時間精度を持つが、連合野ニューロンは入力の時間積分を行うのに適した電気生理学的性質を持っている。この差異は出生直後にすでに存在するが、その後、一年以上の長期間にわたる発達過程を経て成体型へと成熟していく。

[今後の展望]

現在、明らかになりつつある領野間のニューロンの性質の違いが、視覚情報処理においてどのような意味を持つのかをさらに追求していく。これらの知見は、脳の特定部位に障害を受けたり、発達異常を示したときに起こる、行動や知覚の異常の病因を理解する基盤となる。BMIの技術などで信号を大脳皮質に送る場合に、信号が持つべき性質を決定するための基礎データも提供することが期待される。

脳発達を支える母子間バイオコミュニケーション（和田 圭司チーム）

[研究の目的]

胎児・乳児脳の健やかな発達には母子間のふれあいが重要であるという認識は一般に広く受け入れられているが、科学的に見た場合、その物質的な実体は明らかにされておらず、科学的根拠が十分でないことからその解釈は多様で、時に俗説が流布する素地を作っている。本研究では、母体由来の生理活性物質が胎児・乳児脳に

作用しその健やかな発達に寄与することを動物・ヒトにおいて実証し、母子間に存在する物質的コミュニケーションの実体解明を行う。すなわち、胎児・乳児脳の健やかな発達に関して科学的根拠を提出し、さらにはヒト脳の健全な発達に寄与する新規の医学的根拠を提供することを目指す。

[研究の成果]

母子間の物質的コミュニケーションを担う分子の同定が進んだ。マウスを用いた実験から、妊娠時の環境変化が胎仔脳における複数の遺伝子発現に影響を及ぼすことを明らかにし、特に G 蛋白質共役型受容体に関する解析から母体由来生理活性物質の同定にほぼ成功した。具体的には、妊娠マウスをストレス環境下においてグレリン受容体の発現が顕著に増大するが、胎仔脳において内在性リガンドであるグレリンの発現は認められないことを確認した。ついで、妊娠母体にグレリンを投与した場合に胎仔脳に移行することを確認した。また、グレリンを投与された妊娠母体から出生した仔の離乳後の行動が対照マウスと比較して変化することも見出した。これらの結果はグレリンが母子間の物質的コミュニケーションに関わる因子であることを強く示唆する。また、牛乳消化産物について解析を進め、ベータラクトテンシンに不安様行動軽減作用があることをマウスで発見した。

[今後の展望]

マウスにおける研究成果を発展させ、母子間に存在する物質的コミュニケーションの分子実態を靈長類、ヒトにおいても明らかにする。産科、小児科学、栄養学、教育学、心理学などと融合した新たな脳科学を確立し、科学的根拠の乏しかった母子間相互作用の分野を新たな学術領域として位置づける。また、コミュニケーションの基盤となる物質を母子伝達物質として位置づけ、その定量化技術の開発を通して臨床研究への応用が期待される。

10. 総合所見

1) 戦略目標の実現にむけて

- 本領域は、「教育における課題を踏まえた、人の生涯に亘る学習メカニズムの脳科学等による解明」という戦略目標のもとに設定された。
- 戦略目標を実現するために、「健康で活力にあふれた脳を発達、成長させ、維持するメカニズムの解明：具体的には脳の発達、学習、及び精神・神経障害からの機能回復のメカニズムの解明」等を目指す研究を対象に、提案の募集を行った。
- 採択された課題は、発達や学習に関する脳機能の解明をはじめ、ヒトに特有の言語などの高次脳機能の発達過程、高次脳機能発達に及ぼす環境の影響、さらには精神・神経障害からの機能回復の機序の解明などを対象とするもの

で、本領域の目標をほぼカバーすることができたと認識している。

- 採択された課題は、いずれも学術的に見て極めて高いレベルのもので、且つ5年の研究期間で目標達成が見込まれ、将来的には、これらの研究成果を踏まえた知見の蓄積により、育児、教育、医療の現場をはじめとする様々な場にデータや科学的指針を提供することができると期待できるものであった。
- 研究開始後は、毎年、非公開で開催した領域内研究報告会と総括が実施したサイトビジットを中心に、研究の進捗状況の把握、評価を行い、必要な助言、指導を行った。当初計画からはずれやテーマの拡散が見られ、好ましくない方向へ進んでいると評価された課題については、当初目標の達成に向け、研究計画の修正を助言、指示した。
- 本領域では、ヒトやサルを使った研究など本領域特有の時間のかかるという困難がある中、これまでに国際的にトップレベルの学術誌に掲載された論文も多く、今後大きな成果が期待できる知見もまとまりつつある。また、各種メディアにより報道された研究成果も相当数に上っている。
- 現段階では、これらの経過を経て、戦略目標達成に向けて、概ね順調に進捗していると考えている。

2) 領域の意義と効果

- 毎年1回、非公開で実施した領域内研究報告会では、本領域のほとんどの参加メンバーの出席のもと、戦略目標の達成に向け、活発な議論を行ってきた。本報告会では、課題の進捗状況を正確に把握し、それにもとづいて必要な助言・指導を実施した。また、報告会を通じ、研究チーム内外の協力関係が強化され、領域全体として相乗効果が期待され、さらに若手研究者の「育成の場」となるよう配慮した。複数のチーム（例えば、大隅典子チームと小林和人チーム）は、年1回、非公開の合同研究会を開催し、研究チーム内外の交流を促進し、研究のいっそうの進展を図っている。
- H15年度発足時から、延べ26回にわたり、総括が研究代表者の研究室を訪問し、研究の実態把握に努めた。このような研究現場の訪問を踏まえ、適切な助言・指導を行い、研究の健全な進展をはかるよう努めている。
- CRESTでは、研究代表者がチーム内の研究実施、予算の執行、成果など、

研究全体に責任を持つことになっており、平素の研究活動は代表者の自主性を尊重する運営をこころがけた。ただ、CRESTは5年間で当初の目標達成が期待されているので、達成目標からそれた方向へ研究が進もうとしていると危惧された場合、或いは異分野の研究者による共同研究では、研究が拡散しようとしている場合は研究総括の適切な助言・指導が研究を効率的に進める上で有益であると考えている。

- 研究予算の配賦（領域予備費の配賦を含む）では、研究の内容を充分に把握した上で、研究者の相談に柔軟、且つ迅速に対応し、特に必要な予算措置に時間的ロスを生じさせないように留意している。
- これまで、公開シンポジウム、シリーズ講演会等を実施し、関連領域の研究者や、教育関係者、医療従事者のみならず一般の人をも対象として、研究代表者に研究成果を分かり易く紹介してもらい、研究成果を広く社会に発信すると共に、研究活動の理解増進に努めている。
- このような研究マネジメントには、総括を中心とした柔軟な領域運営、科学技術振興機構による研究員の雇用と派遣の制度、研究事務所による研究事務のサポート等、CRESTの枠組みが非常に効果的であり、本制度の特徴を生かし、領域全体として相乗効果を引き出すように努めている。

3) 今後の展望

- 本領域では、社会に役立つ成果の創出には、既成概念にとらわれずに、また科学的にもトップレベルの研究が必要であるという観点のもとに、脳機能の発達、学習や精神・神経障害からの機能回復のメカニズム理解の基盤となる科学的知見や技術を提供する。
- 本領域は、ヒトやサルを対象とした研究が多く、成果が出るまで時間を要するという困難がある中、いくつかの課題では、将来的に、教育方法や、乳児期における保育環境や育児のありかた、さらには、精神・神経障害からの機能回復における有効なリハビリテーション法やその実施時期、などに関する提案につながる新知見が生まれつつある。
- 成果の社会への発信に際しては、一般社会への影響が大きいことを考慮し、誤解を受ける可能性のある表現をして社会に混乱を招くことがないように、十分な科学的根拠にもとづいて、正確に行なうことが重要であろう。