

科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ (脳・神経科学) 報告書

平成 17 年 7 月
独立行政法人科学技術振興機構
研究開発戦略センター
江口グループ

Executive Summary

本ワークショップの目的

研究開発戦略センター江口グループがおこなったライフサイエンス研究分野の俯瞰作業の結果、重要な研究領域の一つとして脳・神経科学領域が抽出された。脳・神経科学領域は、分子から、細胞、神経回路、個体、社会といった異なる階層の現象が相互に強く関連する研究領域であり、特に近年、「人間とは」、「心とは」といった根源的な問いに対する概念を構築する上でも、遺伝子や環境要因の脳機能に関する研究成果が重要な視点を与えるようになってきている。また、高齢化社会への移行に伴う認知症等の問題や、社会環境の急変と精神疾患との関連等、国民生活に密接に関連した重要課題が数多く存在する。一方で、脳・神経科学研究を進めるにあたり、様々なレベルでの測定技術、操作技術が必要とされ、また、複雑な現象の解析手法が求められている。このような階層的、融合的研究からなる広範な当該領域全般について精査するため、「科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ」の開催を企画した。

研究開発戦略センターにおいては、「科学技術の未来を展望するワークショップ」は多様な視点から科学技術の未来を展望し、我が国の今後の重要な研究戦略とその推進方策を明らかにすることを目的としている。本ワークショップでは、脳・神経科学分野を中心として発展しつつある幅広い研究領域における重要な課題を明らかにし、我が国の研究のポテンシャルをさらに高め、その成果が社会により一層活かされる研究戦略提案を作成するに当たり、当該領域の専門家の視点から展望、問題点、解決策等について議論を行った。

事業内容

平成17年3月3日と4日に、脳・神経科学領域を対象とした「科学技術の未来を展望するワークショップ」を開催した。当該領域全般を把握するために研究領域を「理論」、「機能」、「発達」、「疾患」に分類したうえで、それぞれにおける第一線の研究者より選出された19名の当該分野の専門家による議論を行った。

討議内容の概要

討議内容を整理すると、脳・神経科学領域における重要研究課題として、「階層性のある脳機能の統合的理解」、「ヒトの特殊性（人間性の脳科学）」、「神経ネットワークデザインの決定」、「モデル動物の利用」、「ゲノム研究と脳科学との接点」、「精神神経疾患の治療・予防」、「計算論的理解と実証実験の融合」、「ブレイン・マシン・インターフェース（BMI）」といった項目が議論された。

更に、研究を推進する上での制度整備として、「人材育成」、「脳・神経科学の倫理」、「産業化へのロードマップ」、「リソースとデータベース」に関する事項について活発な討議を行った。

まとめ

本ワークショップの討議では、脳・神経科学領域の重要な方向性として以下の点が指摘された。

- 現象の記載から機能の理解・制御へ
 - ・ システム的研究
 - ・ 創る観点からの脳の理解、制御脳科学
- 表現型（個体）と遺伝型（分子）の接点
 - ・ スパイン、シナプス可塑性と行動、メタ可塑性
- 人間性の脳科学
 - ・ 心の起源、社会的脳、人間的脳、神経生態学
 - ・ 社会神経科学、経済神経科学
- ゲノム情報と環境情報により形成される脳機能
 - ・ レシピとしてのゲノム情報、脳発達における臨界期の重要性
- 精神・神経疾患の予防と治療研究
 - ・ 臨床研究に結びつく基礎研究の知見
 - ・ 臨床データから心、精神の解明へ

多くのものはゲノム配列解読終了の影響を受けており、ゲノム情報を元に脳機能の統合的理解を志向している。また、単に遺伝子との一対一の対応関係の解明にとどまらず、関与する遺伝子の働きや、どのように脳の高次機能を形成しているかという点に関心が払われている。いずれも環境要因の関与が重要であり、脳の発達過程と関連した人の精神の醸成や、精神・神経疾患の発症、進行といった、人間にとって身近でかつ非常に重要な問題と深く関わっている。今後の脳・神経科学領域の推進方法としては、より統合的な研究が行われるよう配慮すべきと考えられる。

緊急性のある課題として臨床研究につながる課題の選定が求められるとともに、継続性のある研究対象として、より人間性を重視した研究を進めていくことが望まれている。

研究を推進するためには、分子から個体までの機能測定技術のさらなる開発が必要であり、また、個々のデータやリソースを統合できるデータベース、ネットワーク、あるいは理論的研究、計算論的研究の融合が必要とされている。

本ワークショップでは、こうした統合的な研究推進の重要性を認識し、今後研究開発戦略センターにおいて、更に海外調査等を行うことにより具体的提案に詰めていくこととする。

目 次

[1] はじめに	1
[2] 概要	2
[3] 重要研究課題	4
3.1 階層性のある脳機能の統合的理解	4
3.2 ヒトの特殊性（人間性の脳科学）	9
3.3 モデル動物の利用	12
3.4 ゲノム研究と脳科学との接点	15
3.5 精神神経疾患の治療・予防	17
3.6 計算論的理解と実証実験の融合	21
3.7 ブレイン・マシン・インターフェース（BMI）	23
[4] 研究制度問題	25
4.1 人材育成	25
4.2 脳・神経科学の倫理	27
4.3 産業化へのロードマップ	29
4.4 リソースとデータベース	32
[5] まとめ	33
[6] 参考資料	34

【1】はじめに

脳・神経科学領域は、分子から、細胞、神経回路、個体、社会といった異質で多様な現象が相互に強く関連する研究領域である。特に近年、「人間とは」、「心とは」といった根源的な問いに対する概念を構築する上でも、遺伝子や環境要因の脳機能に関する研究成果が重要な視点を与えるようになってきている。また、高齢化・情報化社会への移行に伴う認知症等の問題や、社会環境の急変と精神疾患との関連等、国民生活に密接に関連した課題が数多く存在する。一方で、脳・神経科学研究を進めるにあたり、様々なレベルでの測定技術、操作技術が必要とされ、また、複雑なシステムの解析手法が求められている。

本報告書は、こうした複合的、融合的研究領域である脳・神経科学領域の研究に新たな展開を促す新しい研究領域を模索するために平成17年3月に開かれた「科学技術の未来を展望するワークショップ」の内容をとりまとめたものである。ワークショップでは「理論」「機能」「発達」「疾患」といった分類ごとに全員で討議を行ったが、本報告書においては、当日の討議内容とその前後にワークショップ参加者より提供された資料等から、今後の脳・神経科学研究の開発推進において重要と考えられる研究課題及び制度的検討項目を再整理している。

尚、本報告書におけるワークショップでの発言、図表等の引用については、元の発言、図表を十分尊重したうえで、江口グループの判断において適宜、追加、削除、改訂等を行ったものである。

はじめに	1
概要	2
重要研究課題	3
研究制度問題	4
まとめ	5
参考資料	6

[2] 概要

研究開発戦略センターにおいては、科学技術の未来を展望するワークショップは研究シーズや社会・経済ニーズなど多様な視点から科学技術の未来を展望し、我が国の今後の重要な研究戦略とその推進方策を明らかにすることを目的としている。今回、脳・神経科学分野を中心として発展しつつある幅広い研究分野における重要な課題を明らかにし、我が国の研究のポテンシャルをさらに高め、その成果が社会により一層活かされる研究戦略について議論することを狙いとして、19名の当該分野の専門家による「科学技術の未来を展望するワークショップ」を開催した。参加者は、脳・神経科学分野全般を把握するために研究領域を「理論」、「機能」、「発達」、「疾患」に分類したうえで、それぞれにおける第一線の研究者より選出した。

- 開催日 平成17年3月3日（木）～4日（金）
- 会場 箱根プリンスホテル
- コーディネータ 甘利 俊一（理化学研究所脳科学総合研究センター センター長）
川人 光男（国際電気通信基礎技術研究所 脳情報研究所 所長）
田中 啓治（理化学研究所脳科学総合研究センター 副センター長）
御子柴克彦（東京大学医科学研究所 教授、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）：当日欠席
辻 省次（東京大学大学院 医学系研究科 教授）

○参加者*

理論 〈コーディネータ：川人光男〉

- 久間 和夫（三菱電機 先端技術総合研究所 所長）
- 合原 一幸（東京大学大学院 工学研究科 教授）
- 銅谷 賢治（ATR脳情報研究所 室長、沖縄大学院大学先行的研究事業）
- 黒田 真也（東京大学大学院 情報理工学系研究科 特任助教授）

機能 〈コーディネータ：田中啓治〉

- 澤口 俊之（北海道大学大学院医学研究科 教授）
- 河西 春郎（生理学研究所細胞器官研究系 教授）
- 金子 武嗣（京都大学大学院医学研究科 教授）
- 真鍋 俊也（東京大学医科学研究所 教授）

発達 〈コーディネータ：御子柴克彦／当日代理 岡本仁〉

- 岡本 仁（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）

ヘンシュ貴雄（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）

岡ノ谷一夫（千葉大学文学部 助教授）

大隅 典子（東北大学大学院医学系研究科 教授）

疾患 〈コーディネータ：辻省二〉

高橋 良輔（京都大学大学院医学研究科 教授）

澤 明（Johns Hopkins University 助教授）

古市 貞一（理化学研究所脳科学総合研究センター チームリー
ダー）

高橋 淳（京都大学大学院医学研究科 講師）

*肩書は当時のもの。

はじめに	1
概要	2
重要研究課題	3
研究制度問題	4
まとめ	5
参考資料	6

[3] 重要研究課題

3.1 階層性のある脳機能の統合的理解

研究の方向性

- 脳・神経科学に見られる階層（分子、シナプス、細胞、ネットワーク、システム、個体、社会）をつなぐ研究が行われるようになってきており、今後更に展開されるのではないかと。
 - ・ 分子のネットワークの記述をシミュレーションできるところまで来ている。しかし、潜んでいるより共通的な原理についてはまだ理解できておらず、記述しているレベルにとどまっている。
 - ・ 心のレベルの記述は、そういう現象を発現するときの物質と結びつけて理解する必要があるが、別に分子まで下りなくてネットワーク・レベルでもよいのではないかと。
- 分子、細胞の研究にサポートされて、階層をつなぐことで個体（人間）へ向かう研究が今後精力的に展開されていくものと予想される。
 - ・ 特に、シナプスがより上位の階層と下位の階層を統合するために注目されている。
 - ・ シナプスレベルでの機能を制御する分子的基盤が明らかとなっていており、そうした分子基盤がシステムとしてどのように制御に関わってきているかのモデル化が進められている。
 - ・ そのようなモデルを元に、より上位の回路及び個体の振る舞いを規定する仕組みについて、統合的に理解することが試みられている。
 - ・ 一方、二光子励起法等により個体内でのシナプスの動態が解析されようとしており、個体の行動に対応したシナプス制御研究も始まってきている。
- 神経の可塑性研究がネットワークレベルでの理解へと展開している。
 - ・ 単独のシナプスでの可塑的応答研究に続き、ネットワークレベルでの可塑性研究が進められている。
 - ・ 複数の神経核の間での情報の授受と可塑性、あるいは、過去の履歴に対応した可塑性（メタ可塑性）研究へと発展してきている。
- 神経回路のダイナミクス研究に対し、スタティックな神経回路網の形態記載研究も重要。
 - ・ 詳細な神経回路地図に基づく理解が不可欠であり、現状は不十分。
 - ・ 正確にどのようなネットワークが形成されているかを知らずに、ダイナミクスを議論することはできない。

- より高次のものとしては、心理学が脳科学に包含され、社会学、経済学とも関連が強くなってきている。
 - ・アメリカの例：社会神経科学の学会設立。経済神経科学の学科がニューヨーク大学に設立。

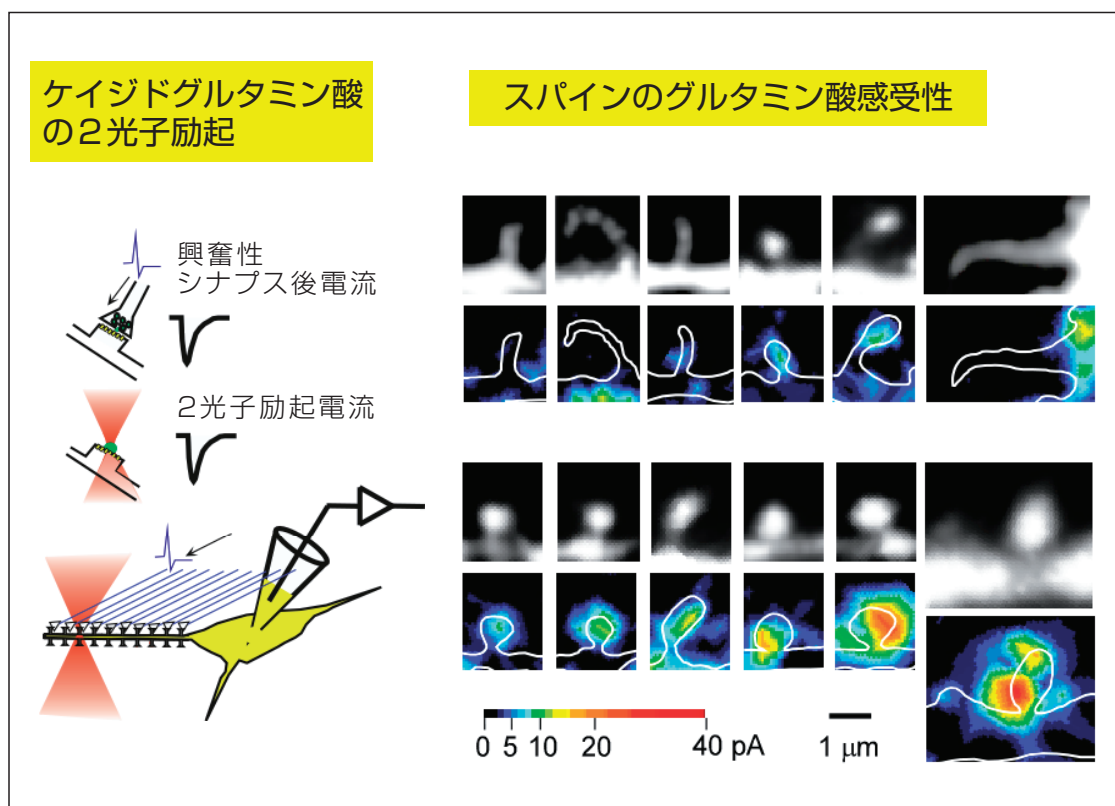
- 脳・神経の統合的理解に向けたニューロインフォマティクス
 - ・脳神経科学関係のデータはさまざまな階層から出てくる多様性があり、しかも個々のデータが動きを伴うものが非常に多い。
 - ・分子であったり、生理的な活動記録であったり、形態であったり、脳のファンクショナルMRI像であったり、アトラス像であったりと、いろんなデータ形式がある。
 - ・その意味で、データベース化して知識を共有することが非常に難しい。
 - ・そうした多様な知識の管理・共有・データの解釈をデータベース化し、データモデリングを進めるニューロインフォマティクスという新しい概念が唱えられている。
 - ・タームノロジーとオントロジーを何とかしてつukらないといけない。標準化して、それぞれの階層におけるプラットフォーム、あるいは階層間でデータをお互いに共有できるようなプラットフォームをつくる必要がある。
 - ・米国では、1994年にヒューマンブレインプロジェクトがスタートし、その際に既にデータベースというプロジェクトが進んでいる。データベースを開発する、分析やコンピテーションなツールを開発する、シミュレーションモデルをつくるという、この三つの分野で既に10年間ニューロインフォマティクスの発展を追及している。
 - ・各種雑誌においても論文掲載条件に、イメージデータ、データセット、シミュレーションモデルのデポジットを要求あるいは推奨するところが出てきている。

はじめに	1
概要	2
重要研究課題	3
研究制度問題	4
まとめ	5
参考資料	6

個別研究課題例

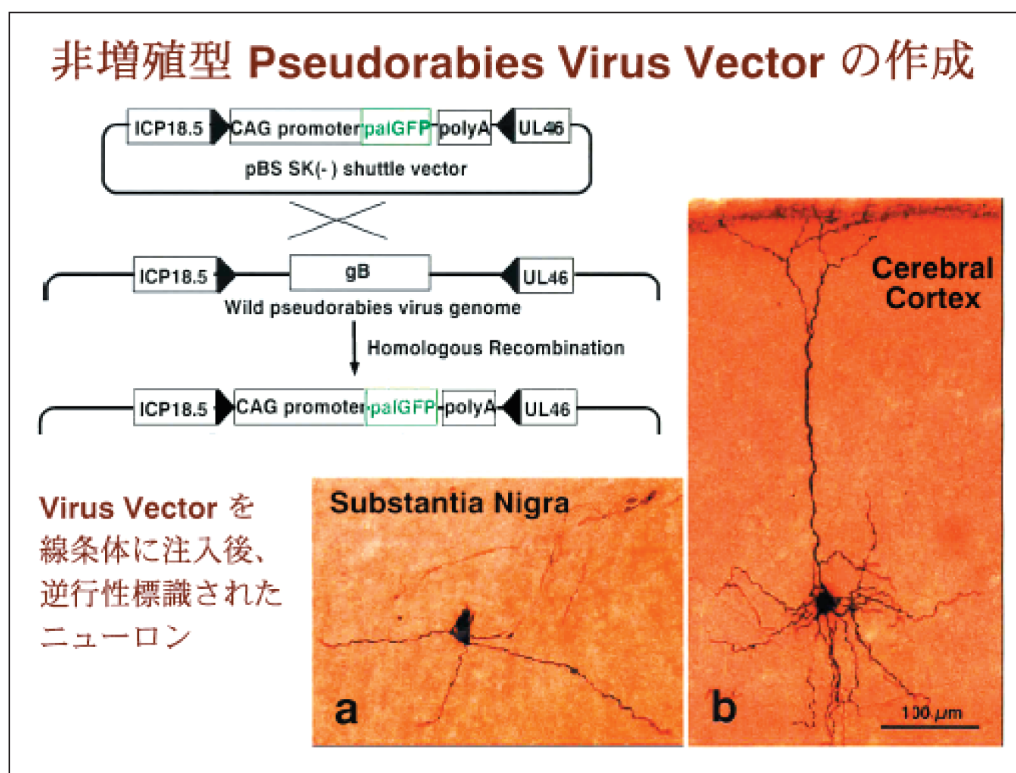
○ スパイン構造の運動性と行動との関連性研究

- ・ 分子が直接表現型と関係しているのではなく、分子から形成される構造体が表現型と関係している。そのレベルの階層を理解することが、脳の理解に繋がる。その一つがシナプス構造である。
- ・ 2光子励起法により、スライス切片中での神経活動の応答性とスパインの運動性との関連が示された。
- ・ 精神疾患のスパインの形態異常との関連が示唆されており、また、知的能力・性格等のヒト脳機能の表現型をスパインの運動性と関連づけることは非常興味深い試みである。



○ 神経ネットワークデザインの決定

- ・ 脳の作動原理は分子だけでは判らない。ネットワークの解析が重要。
- ・ ネットワークをどうやって研究するか。動いているものを丸ごと見るのは、今持っているテクニックでは困難。またネットワーク解析にはたくさんの神経細胞を扱わなければならない。
- ・ これらのことをふまえて、静的で良いから脳の神経ネットワークのグランドデザインを地道に決定していくべきである。
- ・ 丹念に大脳皮質の局所神経回路を観察することにより、錐体細胞にもいくつも種類がある等、今まで見つかってこなかったことが次々に見つかる。
- ・ 米国にはこのような手間暇をかけた研究をする研究者はいないが、欧州にはいる。



はじめに

1

概要

2

重要研究課題

3

研究制度問題

4

まとめ

5

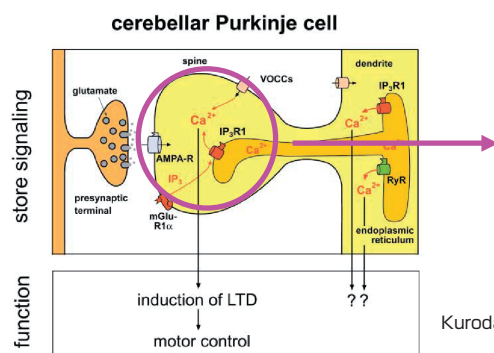
参考資料

6

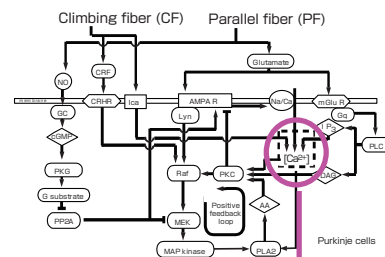
○ 脳・神経科学におけるシステム生物学

- ・分子レベルでシナプス可塑性がどういうふうに制御されているかということが、次第にわかってきたので、そうした分子ネットワークに基づいたボトムアップでのシナプス可塑性のモデルを作製し、それを元に学習則をつくる。
- ・実際には、それぞれの反応を例えば生化学反応ですとか、例えばチャネルなら電気生理学的なモデルというもので記述し、全体を統合してさまざまな入力パターンにおけるシナプスの可塑性の変化というものを再現できるモデルが何とかできるようになってきた（次図）。
- ・これまでに論文等で述べられているシナプスの可塑性の説明を取り入れても、そこで主張されているような現象が説明できないことが、こうしたモデルを作製することで、明らかとなる場合がある。
- ・モデルと実験との相互フィードバックにより、モデルの精度を上げていく必要がある。
- ・モデルの検証には、時系列と濃度のパラメーターを振った実験が必要であり、近年そのような実験データが十分示されないようになってきていることは問題である。

ボトムアップ：分子レベルからの視点 シナプス可塑性のシステム（分子）生物学

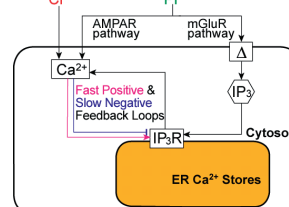


小脳の長期抑圧モデル



Kuroda, S., Schweighofer, N., and Kawato, M. *J. Neurosci.*, 21, 5693-5702, 2001

スパイクタイミング依存性Ca²⁺上昇



分子からシステムへ

生化学反応、電気生理学で全体を記述

Doi, T., Kuroda, S., Michikawa, T., and Kawato, M. *J. Neurosci.*, 26, 950-961, 2005

3.2 ヒトの特殊性を対象とした研究（人間性の脳科学）

研究の方向性

- ・ 高次脳研究の方向性として、「単体的な脳」から「社会的脳・人間的脳の研究」への流れがある。
- ・ 具体的には、社会関係、生殖、育児のための機能、及び、生活史と結びついた機能を対象とする。
- ・ 生活史（幼児期、子供期、少年期、思春期、青年期、老年期）に適応的な脳の進化をヒトは行ってきたはずである。
- ・ 脳機能の原理・本質というものは、進化的な観点がないと浮かび上がってこない。
- ・ ヒトの特殊性を理解するためには、進化におけるヒトの脳の発達という視点が必要である。

個別研究例

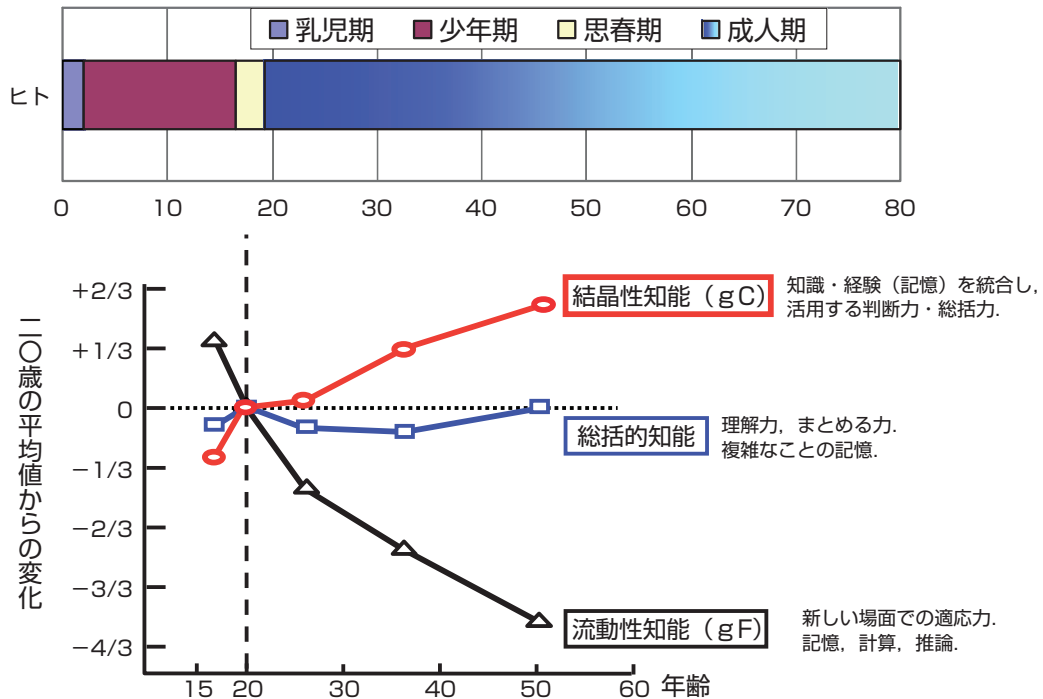
○ 脳育成学

- ・ これまでは単独の脳を扱って研究を行ってきたが、本来我々はお互いに社会をつくっているので1個の脳が単独でいるわけではない。我々は社会脳で、「たくさんの脳が集まって協働で機能を持っている」といった視点から研究を進める。
- ・ 例えば「作り笑い」の研究。本当の笑いは大脳辺縁系が活動し、作り笑いでは前頭連合野が活動している。
- ・ ヒトは高度な社会性K戦略者*であり、社会性K戦略と結びついた脳機能の解明が必要。例えば、生活史の時期にふさわしい脳機能というのを必ず持つ。
- ・ 社会的成功とか人間性のベースとして、general fluid intelligence (IQg)、一般流動性知能があり、ワーキングメモリをベースにしている。
- ・ 一般流動性知能というのは、社会的成功と非常に関係する。
 - ◇ 一般流動性知能が低いと仕事が続かない、高校を中退する、離婚も多い等の問題行動を起こす割合が高いことが指摘されている。一般流動性知能は普通のIQとは異なり、IQが高くて高校にうまく入れてもその後が続かず、脱落してしまうということが、アメリカの研究で示されている。
 - ◇ 一般流動性知能を標的に脳育成法を開発し、1日10分間ワーキングメモリ課題を訓練して、2カ月たつと、IQgは、幼稚園でも、小学校1年生でも、0.1%有意で伸びる。

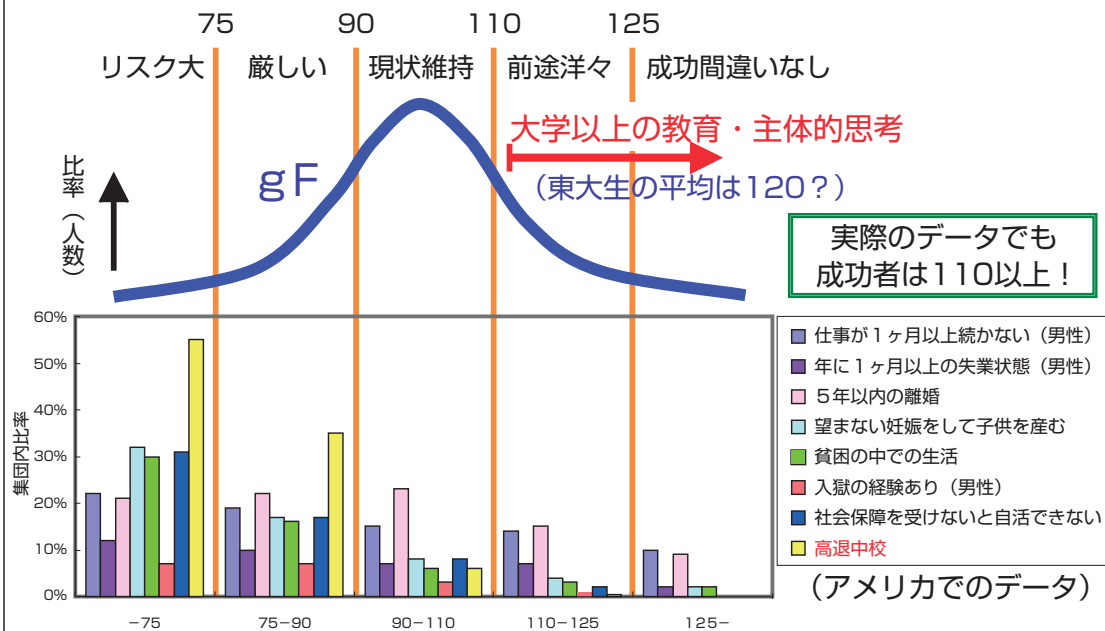
*K戦略：生態学の分野で少産・少子戦略のことを言う。子供を少なく産んで大事に育てるということで、ほ乳類の基本戦略。我々ヒトで一番発達している。社会性K戦略者は造語で社会性を持っているK戦略者を指す。

はじめに	1
概要	2
重要研究課題	3
研究制度問題	4
まとめ	5
参考資料	6

生活史依存的脳機能の解明



gFと人生の成功度



○ 神経生態学

- ・言語がもたらしたヒトの特異性の問題をターゲットにした研究を進めるべき。
- ・言語を可能にした、つまり、言語がもたらしたヒトの特異性を理解するために、神経生態学が必要である。
- ・神経生態学というのは動物の自然場面での適応的課題*を特定し、それがどのような脳機能によって解決されているかを明らかにしたいという学問。
- ・恣意的なルールに基づく適応競争が近代社会では起きている。その結果、我々の脳は、恣意的な価値観を受け入れやすい、すなわち洗脳されやすいように進化している。そのような点も研究テーマである。
- ・他個体との関連において作り出される状況そのものを刺激とした脳研究が必要（社会環境を刺激とした研究）。

*適応的課題というのは、その解決によって個体の包括適応度の上昇につながる、要するに、その個体が持っている遺伝子がより多く拡散する、そのような課題のことである。

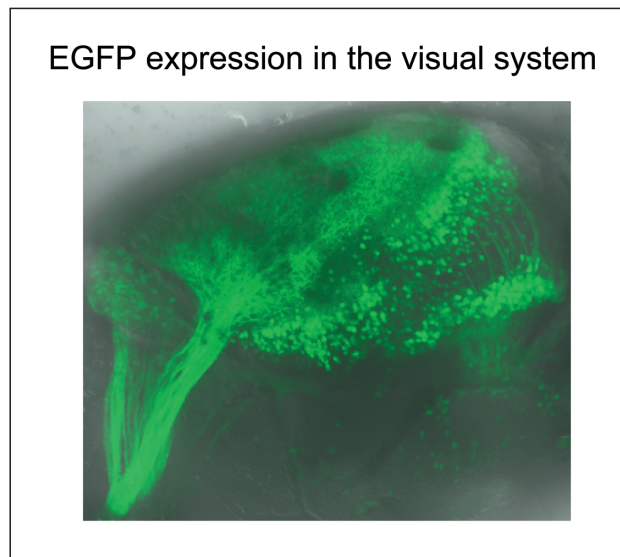
はじめに	1
概要	2
重要研究課題	3
研究制度問題	4
まとめ	5
参考資料	6

3.3 モデル動物の利用

研究の方向性

○ 遺伝子組み換えゼブラフィッシュ

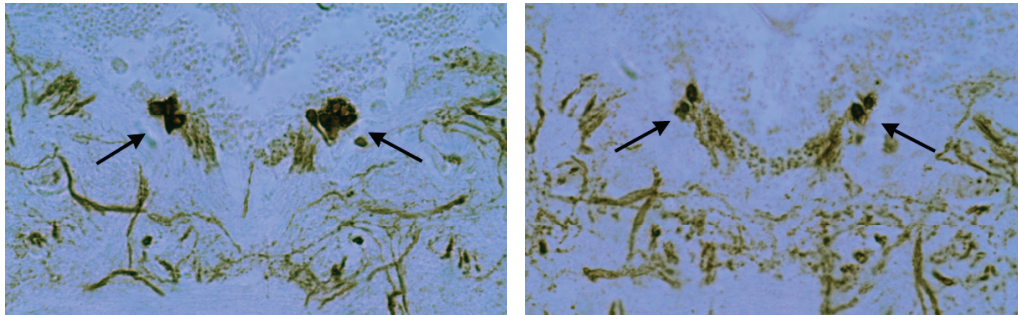
- ・ゼブラフィッシュは体が透き通っているので、神経細胞にGFPを発現させて神経回路を可視化できる（下図）。
- ・カルシウム・インディケーターを導入すれば、神経回路が実際にどういうときに興奮しているのかというのを外から見るができるかもしれない。
- ・同胞を認知する能力だとか、ドーパミンあるいはセロトニン系に関与するような制御とか、あるいは、広くいって情緒、恐怖、そういうことに関しては、魚を使ってより成り立ちから精緻なものを調べることができるかもしれない。



○ 組み換えショウジョウバエによる疾患モデル

- ・ヒトのPael受容体をショウジョウバエの脳に発現させると、ドーパミンニューロンが神経変性を起こして死んでしまう（次図）。
- ・中年を超えたハエでは神経変成が起こるが、それ以前には起こらない。
- ・ハエというのは非常にたくさん使えるので、ドラッグスクリーニングなんかには非常に適している。
- ・こうしたヒトからは非常に遠い動物を使って、神経変性疾患の治療薬が見つけれられる可能性がある。

Pael-Rトランスジェニックショウジョウバエ では選択的ドーパミン細胞死が起こる



Ddc-GAL4/+
40 days

Ddc-GAL4/UAS-Pael-R
40 days

(Yang, Y. et al., Neuron 37, 911, 2003)

- 網羅的ノックアウトマウス作製
 - ・ノックアウトマウスは、1個遺伝子をつぶしても意味がないという議論があるが、それでも、一応全部の遺伝子を壊してみようという考えは正論である。
 - ・全ての遺伝子を1回壊したノックアウトをとにかくつくろうという計画がアメリカでは走っている。
- コンディショナル・ノックアウトマウスの困難さ
 - ・様々な種類のコンディショナルが作製されているが、解析が難しいのでなかなか論文にならない。
 - ・実験に時間がかかる。
 - ・技術だけは現在すごく進歩しており、これからさらに多くのコンディショナルが作製される。
- ノックアウトラット
 - ・記憶とか高次の機能に関して差があり、マウスよりラットの方が賢い。
 - ・過去の神経生理学の研究はラットがほとんどであり、データの蓄積がある。
 - ・一個人ではスペース的にも金銭的にも非常に大変であり、チームを組んで行い、全ての人にフリーに供給するという体制ができつつある。

はじめに	1
概要	2
重要研究課題	3
研究制度問題	4
まとめ	5
参考資料	6

○ 霊長類の遺伝子操作

- ・人間では疾患等で遺伝子に差異があることが判っても、あとはどうにもならない。
- ・純系霊長類をつくる。霊長類はライフサイクルが長いので、なるべく小型のライフサイクルが短い霊長類で行う必要がある。

○ 動物モデルのヒトの疾患等への適応の限界

- ・動物モデルは研究には絶対必須だが、動物モデルの限界も非常によく感じる。
- ・マウスとヒトの違いというのは必ず出てくる。
 - ◇ ある遺伝子が欠損して、ヒトではパーキンソン病になる、あるいは、ALSになる、そういった病気になるものが、マウスでは欠損しても何も起こらないということが非常によくある。
- ・しかし、根本的な原則というのはある程度共通している可能性がある。
- ・その原則をある程度見つけて、その後でヒトに応用していくような研究に発展させる必要がある。

3.4 ゲノム研究と脳科学との接点

研究の方向性

- ポストゲノム研究における脳・神経科学
 - ・認知と遺伝子との関連はまさにこれから始まる領域である。
 - ・個々の遺伝子がどういう働きをしているかということに関して、日本は全く戦略的なプロジェクトがない。
 - ・米国はゲノム計画と同様に、そのゲノムを読んだ後、それぞれの遺伝子の意味とそのネットワークの解読を進めていくかということをゲノム計画と同じレベルの規模で戦略を練っている。
- 遺伝的要因と環境要因の連関の解明
 - ・ゲノム情報を設計図としてではなく、レシピとしてとらえた方が適切である。
 - ◇ ゲノムにより規定されている脳の構造は、ゲノム情報とは一対一の対応関係ではなく、設計図という表現は誤解を与える。
 - ◇ ゲノム情報はレシピのように、その情報及び環境要因に従って脳神経回路は組み立てられる。
 - ・ゲノム情報と環境要因との相互作用に関しては、発達期の現象、特に臨界期に起きる現象の研究が重要であり、近年研究が急速に進展している。
 - ・子育ての仕方による遺伝的バイアスの変更事例
 - ◇ 「ラットの世界でも子育てがよい母親と悪いものがある、悪い親に育てられたメスは、やはり悪い親になってしまう。遺伝的には悪いはずの子供を、いい親に里子に出しますと、大人になるといい親になっている。学習力も高まっているし、脳内のBDNF、あるいはNMDA受容体の発現が変化していることが示されている。」
 - ◇ 「マウスでも母親と1日の間に30分程度離すことを2週間繰り返しただけで、海馬のニューロンのスパインの数が変わり、長期増強作用が変わるというような論文が出ています。これも、経験によって脳の回路が変わってくる例。」
 - ・環境要因として、食品、栄養素の役割の解明が、疾患予防という立場から重要である。

個別研究例

- 遺伝子多型解析と学習行動との相関
 - ・「SNPsでセロトニンのトランスポーターの多型と、短期記憶あるいは長期記憶の能力と海馬の脳活動の間に相関があり、普通、行動とSNPsというのは非常にあいまいですけど、ニューロイメージングで脳活動を見ると、結構はっきりと相関があらわれているから、コグニティブなファンクションをゲノムの成果を使って調べる

はじめに	1
概要	2
重要研究課題	3
研究制度問題	4
まとめ	5
参考資料	6

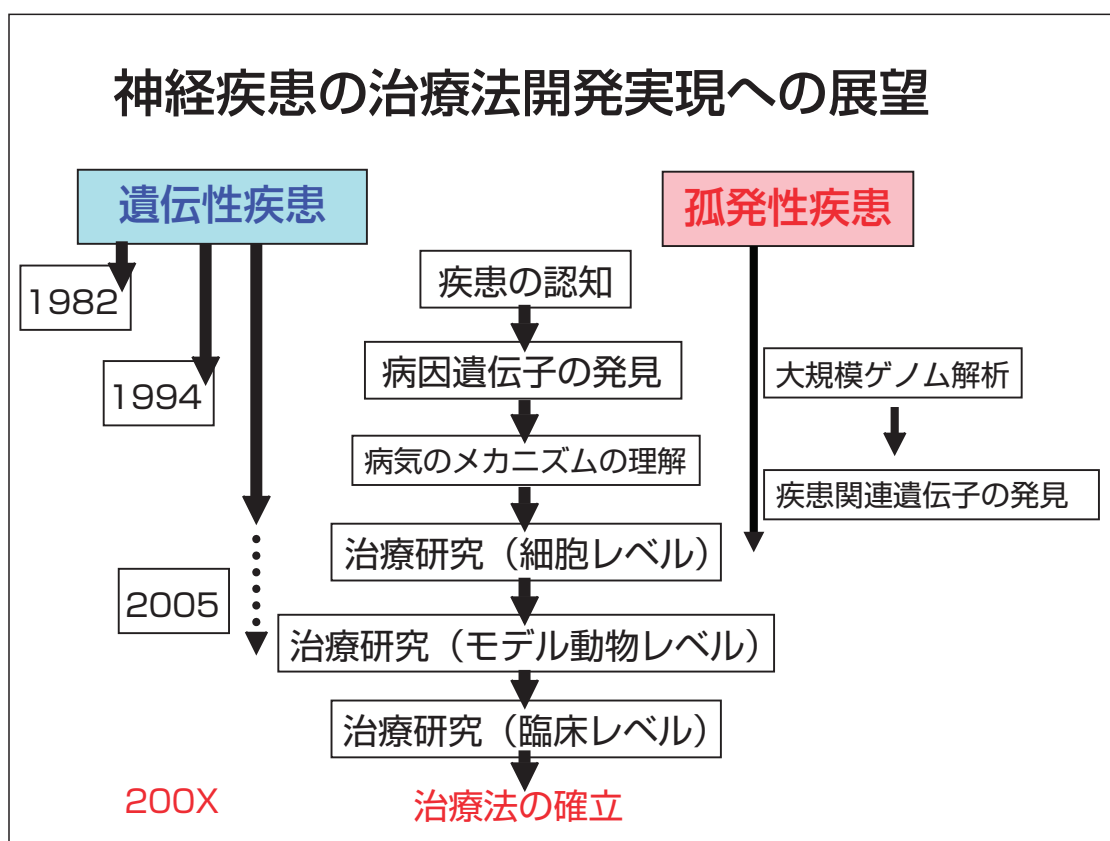
にはイメージングはとても有利」

- ・現状では大規模研究（費用等）となってしまうが、SNPs解析技術は進歩が急速であり、実現可能性は時間の問題である。
- ・複雑なシステムである認知機能も単一遺伝子のSNPs解析ではなく、全ゲノム解析が可能になれば、対応関係を明らかにできる可能性がある。
- ・これまでは疾患に関する解析しか行われていないが、芸術とか音楽とか、そういった才能の家系で、SNPsとかQTLとかの解析が行われるようになる。
- ・多因子の要因である性格等の解析も行われると予想される。

3.5 精神神経疾患の治療・予防

研究の方向性

- 疾患と正常の境界はない
 - ・ 疾患というのは、一遺伝子疾患、多遺伝子疾患、環境要因の間の連続的なスペクトルの中の様々な位置に存在する。
 - ・ 疾患と健常者の間に明らかな境界はなく、恐らく非常に連続的な分布である。
- 遺伝性疾患研究のタイムテーブル
 - ・ 遺伝性疾患に関して、例えばポリグルタミン病関係のものと大体モデル動物を使ったレベルの研究が現在発展しているところにあって、治療法の確立は200X年である（下図）。



- 孤発性疾患研究が今後重要
 - ・ 孤発性の疾患というのは非常に難しく、今後どういうふうに進展するかはまだよくわからないところがあるが、現在、大規模なゲノム解析でのゲノムの多様性の解析に基づいて疾患の関連遺伝子が発見されていくのではないかと期待されている。
 - ・ 20年後には、遺伝性の神経疾患に関しては病因の解明というのはほぼ達成しており、幾つかの疾患については根本的な治療法を確立している

はじめに	1
概要	2
重要研究課題	3
研究制度問題	4
まとめ	5
参考資料	6

- ・何よりも大事なことはヒトの病態をよく反映するモデル動物の作製ということで、これは大変難しい問題。
 - ・病態のプロセスと時間的経過というものをマウスに合わせた形にセットしないとマウスは発症しないでしょうから、ここは大きな研究テーマになる。
 - ・マウスだけでなくほかの動物も検討する必要がある。
- 疾患研究における全ゲノムのシステム的な研究の必要性
- ・全ゲノム的な包括的解析で疾患の発症にかかわる遺伝子を根こそぎ見つけだそうという研究は恐らく今後10年くらいでピークを迎える。
 - ・爆発的に増えている臨床情報、ゲノム情報を処理するインフォマティクスが必須。
 - ・疾患自体もシステム的に理解する必要がある。
 - ・疾患シミュレーターができてくるだろうと思いますし、また、そういったものが診療の場面に統合されてくることも時間の問題。
- ゲノムの配列の次はゲノムの多様性
- ・ゲノムの多様性と疾患を結びつける研究は、今やっと始まったばかりである。
 - ・転写ネットワークであるとか、あるいは遺伝子の存在していない領域の機能は全然判っておらず、こういったものがターゲットになる。
 - ・エピジェネティクスとか、あるいは環境とゲノムのインタラクションとか、こういう視点というのが今後必要になってくる。
- 神経変成疾患治療
- ・神経変性疾患は単に細胞が死ぬ病気だというふうに理解されてきたが、実は細胞が死ぬ前に既に発症しているのではないかということが最近示された。
 - ・これまで神経変性疾患は発症時には神経細胞が死んでしまっているのでは回復しないという考え方であったが、実はこの状態を何とか戻して治せるという希望が出てきた。
 - ・最も注目されているのはアルツハイマー病のA β ペプチドに対するワクチン療法である。A β を実際にアルツハイマー病のモデルマウスに打つと、マウスの脳に非常に多くできていた老人斑がほとんど消失してしまい、構造異常も著明に改善するという劇的な結果が発表され、現在、これが臨床試験に移っている。
 - ・細胞内タンパクを標的としたsiRNAによる治療法も開発が進んでいる。
- 精神疾患研究の展開
- ・精神疾患というのは恐らく多分、極めて近い将来に大きなブレイクが起こることは間違いないと思います。幾つかの疾患については病因そのものが解明されることは間違いない。

- ・今は統合失調や躁うつ病とかに関して、分類も非常に詳しいインタビューに基づいた分類がされているわけですが、恐らく生物学的な観点からの疾患の記述というのが実現する。

○ 統合失調症の原因探索研究

- ・統合失調症といっても病態的に様々なサブタイプがあり、一つの疾患として把握することが困難である。このような疾患を研究するためにはバイオマーカーが必要であるが、現在確実なものはない。
- ・神経発達期に何らかの障害があり、脳に脆弱性を持って生まれた人に何らかの2次的反応が起こることで思春期に病態が起こるのだろうと考えられている。
- ・遺伝的素因が関与しているのは明らかであるが、環境要因も関わっている。
- ・統合失調症と気分障害は分けて考えられてきたが、遺伝子解析からは関連することが示唆されてきている。
- ・統合失調症が「エンドフェノタイプ」の組み合わせから生じているのではないかと考えられてきている。マウス等でモデルを作製しても、統合失調症と同じものではないかもしれないが、それぞれのエンドフェノタイプに相当するモデルは作製できる可能性があり、それは臨床研究に生かせるかもしれない。

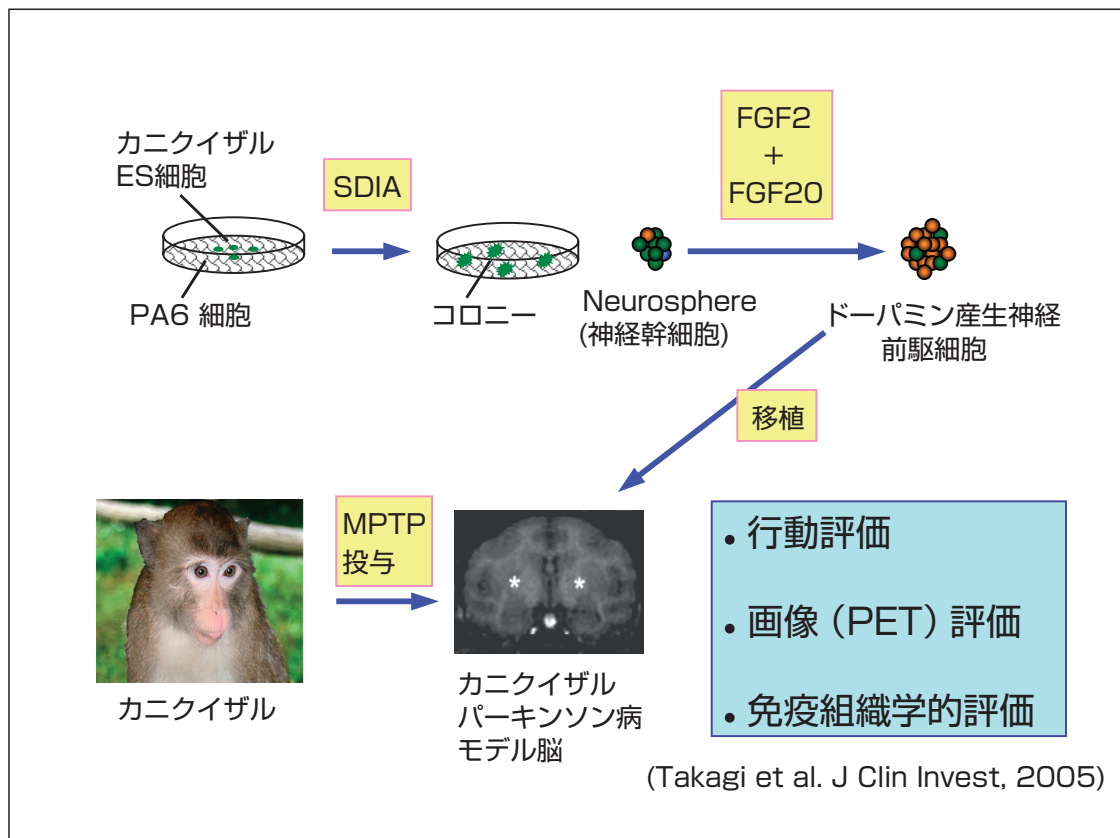
○ ゲノムと社会の乖離による精神疾患

- ・精神疾患の一部は、ゲノムと文化の乖離の産物であると考えられる。
- ・注意欠陥多動症は5%程度であり随分いるわけで、昔は注意欠陥多動症というのは、実は適応的だったのかもしれない。
- ・統合失調症家系に傑出人物がかなり出ているという話もあります。
- ・精神疾患として現在扱われているものは、ゲノムの変化と文化の変化のスピードが違ったことによって出てきた可能性も考えられる。
- ・現代社会が必要としている高次機能というのは、脳のシステム自体が持っている不安定性に依存しているのではないか。こういう考え方で脳を見直してみるべき。

○ 神経幹細胞の治療応用

- ・ES細胞、胎児の幹細胞や神経幹細胞、あるいは最近は骨髄の間質細胞の中の細胞を増やして神経幹細胞を確保できる。
- ・例えばパーキンソン病などの場合には、ドーパミン神経の前駆細胞に誘導して移植をするという方法が検討されている。
- ・脊損・頭部外傷、それから脳梗塞後の方に対しても神経幹細胞が用いられようとしている。
- ・カニクイザルのES細胞を用いて、パーキンソン病モデルの改善効果を確認した（次図）。

はじめに	1
概要	2
重要研究課題	3
研究制度問題	4
まとめ	5
参考資料	6



○ 一般流動性知能という視点からの精神疾患

- ・ 高次脳機能障害の患者の脳機能を測定すると、前頭連合野の働きが大きく落ちている。IQg、一般流動性知能が落ちていたり、ワーキングメモリが落ちていたり、セオリー・オブ・マインドが落ちていたりする。
- ・ 統合失調症も一般流動性知能が落ちています。ワーキングメモリも落ちていますから、統合失調症や自閉症の方には、そういった一般流動性知能を意識したりハビリが必要。

3.6 計算論的理解と実証実験の融合

研究の方向性

脳研究に於いて場所やモノの知識がいくら蓄積されても、どのように働いているかという機能、情報処理の理解にはいろいろな意味で遠い。従来の医学や生物学の研究手法はどうしてもハードサイエンスであるということを追い求めるので、客観的に検証しやすい事実に関する研究が主になり、なかなか機能とか情報処理には届きにくい。そこで、むしろ創ってみて初めて働きがわかるだろうという立場が、「脳を創る」というものである。そのなかで計算論的神経科学というのは、脳の機能を、その機能を脳と同じ方法で実現できる計算機のプログラムあるいは人工的な機械を作れる程度に、深く本質的に理解することを目指すアプローチである。

この領域の最終目的は脳の作動原理の解明である。したがって、見かけ上同じように作動するロボットを作製できたとしても、最終目的に到達できたわけではない。目標達成のためには実験動物やヒトを用いた実証実験が必要であり、理論あるいはそれを元に作製したロボット等の研究成果と、実験動物及びヒトから得られる研究成果を相互に活用することが必須である。

必要性

ロボットやコンピュータというのは非常に進歩したが、現状ではまだヒトと比べて圧倒的に劣っている。このことは逆に言うと、脳・神経科学が情報処理を明らかにするという意味では非常に進歩が遅いことを示している。脳・神経系の有する情報処理機能の部分的な解明は、ロボット及びコンピュータ技術開発にとって新たな発展を引き起こすことが期待されている。

例えば、ホンダのアシモとかソニーのキュリオの二足歩行の仕方はZMPという方法で歩いている。脳とか神経系のことを考えないZMPという純粋に制御工学的な方法でも二足歩行は実現できるが、そうして実現した二足歩行というのは非常にエネルギー消費が激しく、モーターがすぐ焼き切れ、ハードウェアが非常に高価でないと歩かない。一方、人間の歩き方というのはかなり違って、それをまねたセンターパターンジェネレーターを使って歩かせると、かなりいいかげんなハードウェアでも動き、やはり脳とか神経系のことを考えて機能を実現するのとそうでない方法とは、かなり違う解を生み出す。

個別研究課題例

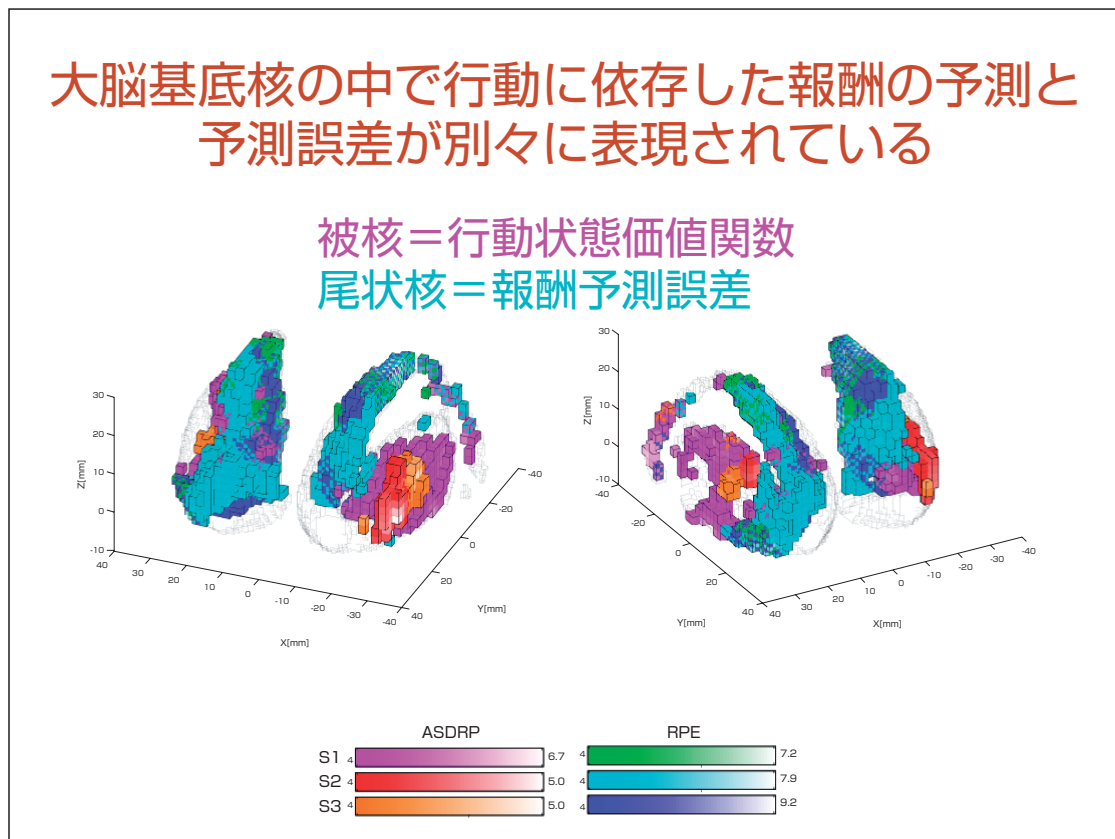
○報酬予測誤差の脳内表現の探索

計算論的神経科学では、いくつかの計算モデルを立てておいて、その計算モデルの中に入っている計算論的な情報処理の変数が脳の中で確かに表されているかというような、そういう研究が行われている。

例えば、大脳皮質の基底核の中の被核では行動と状態に依存した将来の報酬の予測が表

はじめに	1
概要	2
重要研究課題	3
研究制度問題	4
まとめ	5
参考資料	6

現されており、その隣の尾状核では、その報酬予測の誤差が表現されているというようなことが計算理論とヒトを対象にしたfMRIの学習実験で示されている（次図）。



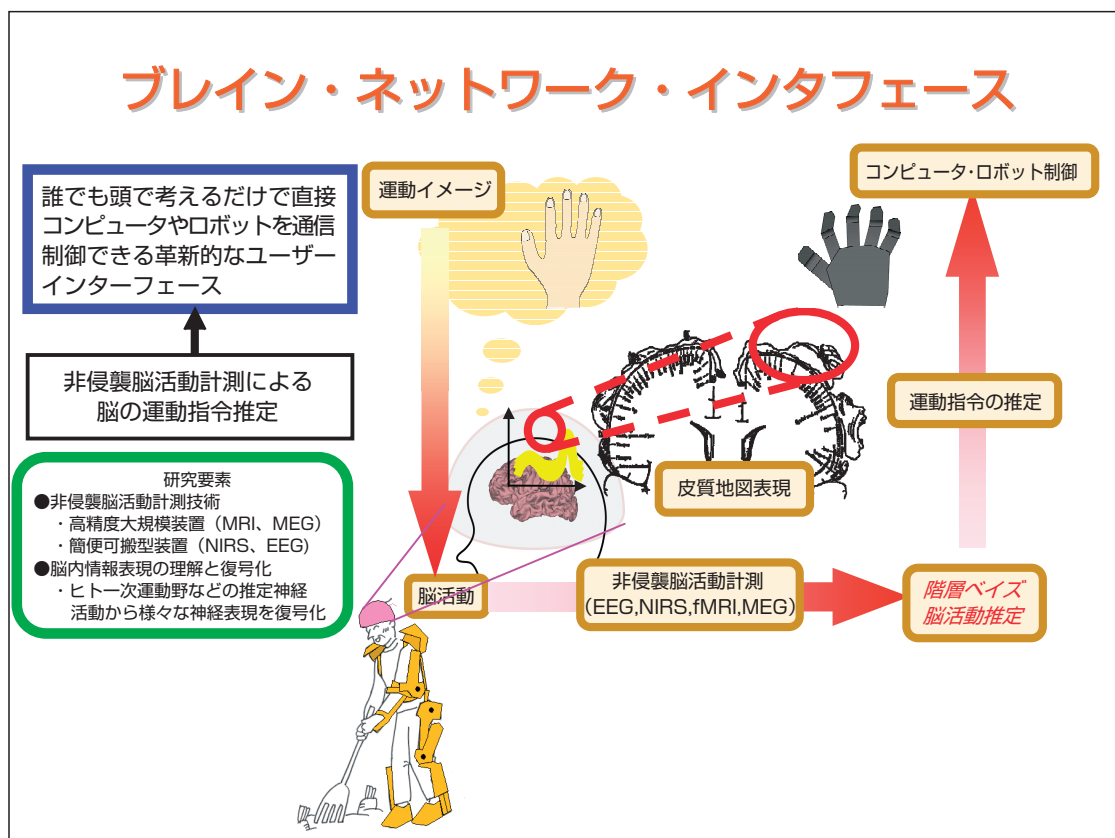
この手の研究が難しいのは、相関を超えて情報処理を操作するという実験手段、理論の手段が現在この分野にないからであると考えられる。動物の脳の回路を調べるとか、あるいは積極的に破壊をしてその脳部位が特定の情報処理にとって大切だということを調べるといったことも、実は情報処理という観点から見るとかなり間接的な話で、なかなか直接的に情報表現、処理を操作することができていない。例えば脳の中で運動の情報処理をしているときに、その情報処理をしているニューロンを直接マニピュレートして情報処理を操作するということは今までできておらず、そのような技術開発が求められている。また、近年活発に研究開発が進んでいるブレイン・マシン・インターフェース（BMI）の利用は、ヒトを対象とした、計算論的理解と実証実験の融合によって有用であると考えられる。

3.7 ブレイン・マシン・インターフェース (BMI)

研究の方向性

○ 米国における進展状況

- ・アメリカでは一昨年からヒトに対する実験が行われ、電極を第一次運動野に埋み込み、C4レベルの脊損患者の電極から出てきたシグナルをコンピュータで処理し、医師と話をしながら脳活動でカーソルを動かして、メールを読むあるいはネットサーフィンをすることが、2004年9月の時点で可能となった。



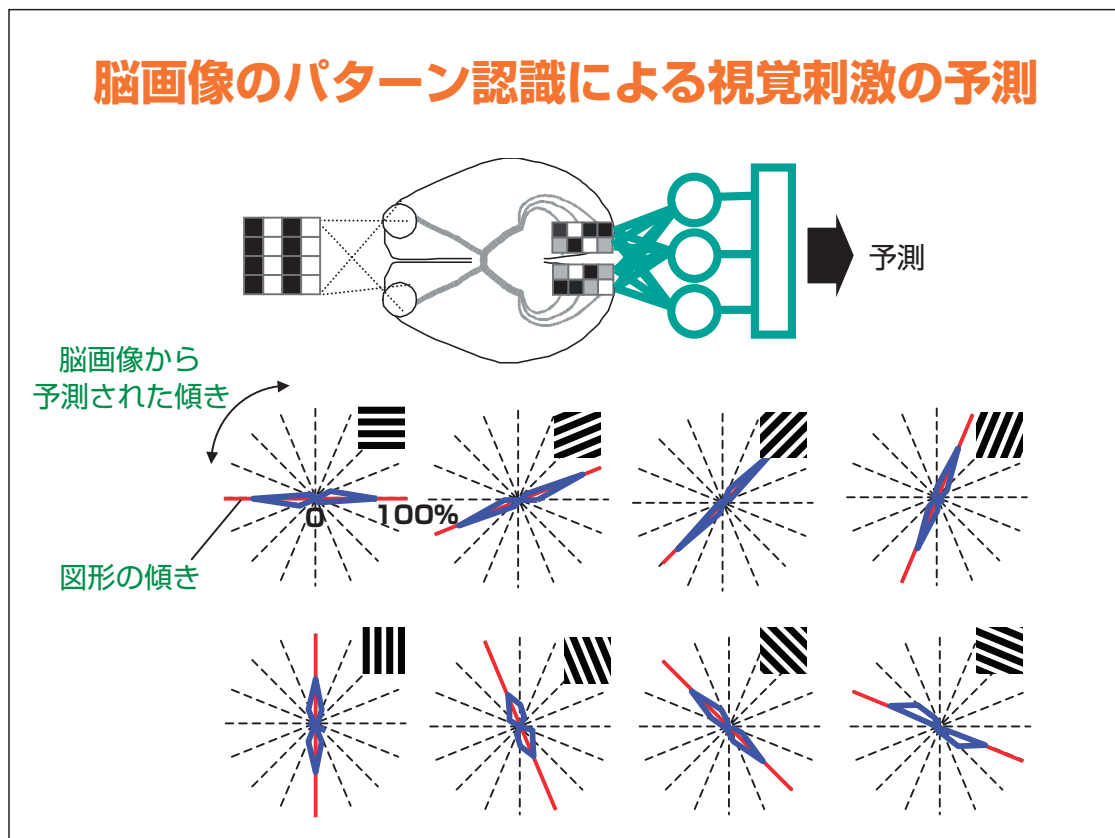
○ 応用が想定されるアプリケーション

- ・簡便な医療用脳活動計測装置
- ・安価な携帯型脳活動計測装置
- ・リハビリテーション関連の製品
 - ◇ 脳梗塞等で手足が動かなくなった患者さんの脳活動をモニターし、それを視覚的にフィードバックすることによって、リハビリテーションを支援する脳機能のモニター装置
- ・医療活動機関での脳活動モニターによる回復の診断訓練システム
- ・遠隔脳モニターによる在宅リハビリおよび機能支援
- ・エンターテインメント機器

- ・ コンピュータゲームの入力：ゲームの中の人物の全身の自由度を制御
- ・ 脳活動によるヒト型ロボットの多重度を制御

個別研究課題例

- 非侵襲性視覚情報デコーディング技術の開発
 - ・ ある傾きを持った縞模様の刺激を見ている被験者の第一次視覚野の脳活動をfMRIで非侵襲的に計測し、この非侵襲で計測した活動から元の刺激（どの傾きであったか）をデコーディング、復号化することに成功（ATR脳情報研・神谷氏）。



【4】研究制度問題

4.1 人材育成

多分野の研究内容を理解し融合的な研究活動を進められる人材育成が強く求められている。ただしその手法については、以下のように相反するものもあり、この問題については更に議論を行う余地がある。

- 物理、コンピュータサイエンス、バイオロジーが判る脳科学研究者育成
 - ・ 米国ではきちっと教育された物理とコンピュータサイエンスとバイオロジーがわかるような人たちが出てきて、そういう人たちがすごく活躍している。
 - ・ 日本の中では脳研究に対してファンディングが厚かった次期に研究機関をつくることはあっても、本当の意味で新しい教育機関をつくることはなかった。脳学部とか Department of Neuroscienceとか、そういうものはいまだにない。
 - ・ 計算脳神経科学の大学院コースみたいなものがなかなか整備されてこなかったが、需要は非常に大きい。
- 国際的な学生交流
 - ・ 学生同士が出会える場といったときに、日本人は日本人と出会える、つまり日本の医の人は日本の工の人と出会えばいいということが大前提となっている。しかし、特にアメリカの方が進んでいる部分では、日本の学生とアメリカの学生を交流させる仕組みを形成すべきである。
- 大学学部教育で多様な研究分野にふれさせる。
 - ・ 「日本の医学教育は医学専門学校教育なんです。それは本当に悲惨でして、このままだと学問をする医学部生というのがいなくなるだろうと。とにかくサイエンスをやる医学部生を排除するシステムが国でこさえつつあると。悲惨ですね。幅を広げるのはいつなのかというのは、やはり受験を終えて大学に入ってから、我々の時代では丸2年間リハビリでできましたね。それは私、非常によかったと思うんですよ。もう1回学部教育は3回生に戻せと。それが実際現場で見ている我々の感覚です。」
- 高校までに様々な分野にふれさせ多様な興味を植え付けた後、大学学部教育で厳しく専門性を鍛える
 - ・ 「アメリカで例えばジョンズ・ホプキンスとか大学院、医学部というのは大学院教育なのでアンダーグラデュエートが終わってから入って来ますから、大学院教育ではとにかく詰め詰めで教育すべきであるという考え方だし、私は医学部は詰め詰めの教育をしてプロフェッショナルを養成する場であるし、そういうふうに考えてい

はじめに

1

概要

2

重要研究課題

3

研究制度問題

4

まとめ

5

参考資料

6

ます。幅の広さというのはどこでみんな得るかということ、みんな高校生とかアンダーグラデュエートとか、そういう時代に積極的にラボとか研究室にやって来る。そういう段階でみんないろいろな分野に散り散りに散って行って、そしていろいろな間口を広げて、そしてプロフェッショナルな教育を受けるときはプロフェッショナルな教育を受けると、こういうシステムがあるように思う。」

- ・「20数年前大学院生のころアメリカで研究する機会があって、高校生が来て、遺伝子の構造を予測するプログラムを簡単につくってしまうんですね。システムバイオロジーのシステムとバイオロジーを両方できるような人という意味で、最初からそういう環境がかなり日本と違っているなと、そのときすごくカルチャーショックを受けた覚えがあります。大学教育、学部の解体だけではなくて、やはり根本的な教育システムを考えていかないと、こういった問題はなかなか今、先端を走っているような諸外国には追いつかないのではないなという印象を持っています。」

- 学生同士の異分野融合がマルチリンガルな研究者を育てる。専門性は厳しく鍛えるべき。

- ・ 多様な研究分野の大学院生が集合すればいい
- ・ 日常的な議論。大部屋みたいなのがあって学生同士が日常的に議論する。
- ・ 徒弟制的な大学院生教育。これも絶対必要。

4.2 脳・神経科学の倫理

脳・神経科学分野発展に伴う倫理に関する問題は、研究に関連した個人の倫理的問題から、社会全体へ向けての影響も考えなければならない状況が見えてきている。

○ 脳内イメージングによる人の心を予見出来る技術の是非

- ・ヒトの脳の活動から好悪の判断とか、あるいはうそをついているか本当のことを言っているかという判断をするとか、そういうことが基本的に可能になるかもしれない。技術的に可能であっても、そういう「心をのぞき見る」ことをしてもよいのかどうかという問題が起きる。
- ・そういう技術をそもそも進展させるということは、人間の尊厳を破壊することになるのではないかという議論もある。
- ・ブレイン・マシン・インターフェイスの技術が現実近づいてくると、こうした「心の予見」が問題にされるのではないか。
- ・「脳を育む」の立場からは、発達期の脳経験が脳の神経回路網あるいは神経活動に刷り込まれているものを解読する、といった点が危惧される。早いうちからこのようなマインド・リーディング、脳内イメージングの解釈と方向性を考えるべきである。
- ◇ アメリカではそのことに対する認識が既に高まっており、3年ほど前にスタンフォード大学で「脳の新たな倫理学」（ニューロエシックス）というテーマでシンポジウムが初めて開催されている。
- ◇ 現在はもう麻薬を使っていない人であっても、昔、それこそ思春期、学生時代のときにそういう薬を飲んだことによって、脳内活動が変わったことを解読することができる。ある程度の正確さで、その人の過去が読めるという事実が報告されている。

○ 人類の多様性を減少させる問題

統合失調症を人類のゲノム・プールから取ってしまうと、分散がかなり小さくなると考えられる。だから、統合失調症の人には気の毒とはもちろん思うのですが、そういった方向の治療を進めていくことが、ヒトという種の多様性を狭める結果になる。そういった視点での議論も必要となってくるのではないか。

○ 脳機能操作の問題

- ・注意力を高めるために治療で用いられているリタリンの正常人への使用が問題視されてきている。
- ◇ アメリカの例では、正常な子供の成績を高めるために、リタリンの売買が行われているという話も聞きます。

はじめに	1
概要	2
重要研究課題	3
研究制度問題	4
まとめ	5
参考資料	6

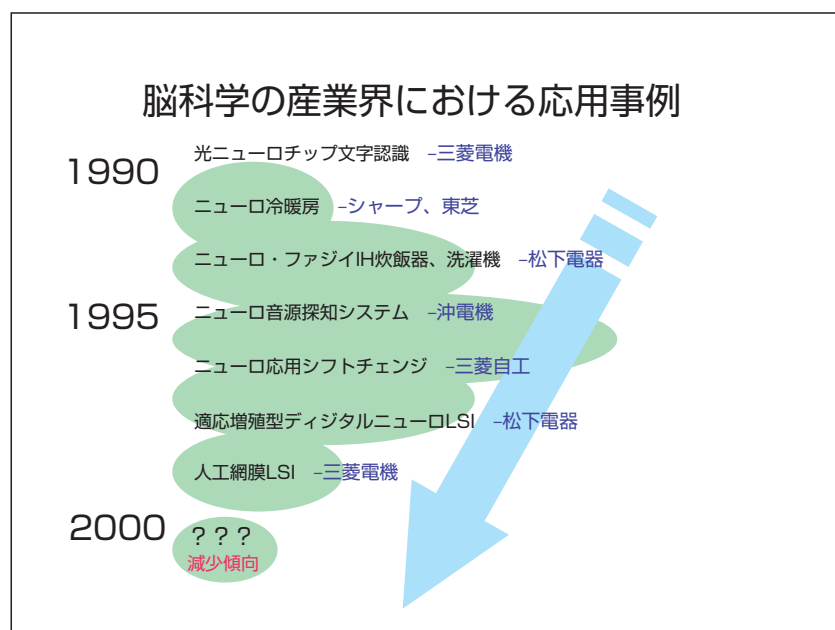
- ◇ ひどい場合には、学校のスポーツチームのコーチが、試合直前にチームメンバーにリタリンを与えて、集中力を高めようとしているという話も聞きます。
 - ◇ そういう状態が続きますと、実際にその人の能力を計っているのか、それとも、ドーピングされた脳の機能を見ていることになるのでしょうか。
 - ◇ アメリカのように貧富の差が激しい国では、そういう薬に手が届かない人たち、人種もいますので、ますます脳機能を高めることによって人種の差、あるいは貧富の差が高まるのではないかということが懸念されている。
 - ◇ 逆に、薬を自由に配ることによって貧富の差が縮められる可能性もあるのではないかという議論もされている。
- ・ 臨界期操作による脳発達の操作の可能性
- ◇ 薬理学的に臨界期を操作することがもう夢ではなくなっていまい、実際に局所的に可塑性を復帰させる手段が実験的に示された。
 - ◇ こういう実験成果が増えてくると、薬理学的に脳内の発達を操作することが可能になりますので、その倫理的問題を把握する必要がある。

○ 実験におけるインターベンションの問題

ヒトに対する教育効果の研究を行うと、ある集団の子供たちは特定の教育を受けさせることになります。当然、その結果は数年先に判り、実際に特定の教育を受けたグループとそうでないグループを比較し、受けたグループが何か得しているなとわかった段階で、実験をやめるべきか、コントロールグループにもその処置を与えるべきかという倫理的問題が出てくるかと思います。その辺も疫学的研究が日本でも始まりつつあるので、十分に考えていただきたいところです。

4.3 産業化へのロードマップの必要性

- これまでにも脳科学から産業分野にいくつもの応用事例が出ている（次図）。



- 工学分野では常に機能であるとか性能というものは高性能化、多機能化に向かっており、脳のいろいろな原理（次図）が解明されてくれば、今後も様々な分野に産業応用できるという期待は根強くある。

脳科学の工学的価値

神経系分類	生理学的部位例	果たす役割	相当する工学事例	学際的成果の期待
I. 大脳皮質	後頭葉（視覚）・側頭葉（聴覚）・頭頂葉（皮膚）・前頭葉（思考）	感覚情報の1次処理、運動系出力、高次思考	人工知能、各種認識アルゴリズム	人間の hochi 思考のメカニズム解明
II. 大脳辺縁系	海馬・扁桃体・（視床下部）	連想記憶、短期記憶、感性的判断	データベース工学、ストレージ・半導体メモリ	新しい記憶メカニズムに基づく意思決定システム
III. 運動制御系	小脳、大脳基底核（黒質、線条体）	リアルタイム運動制御（小脳）	制御工学、ロボット工学、自律学習アルゴリズム	多種多様な状況への柔軟な適応性を持ったロボット
IV. 脳幹	間脳・中脳・延髄	感覚系の中継的位置、意識のコントロール	マルチモーダル処理、ミドルウェア	多種感覚情報の統合に基づく直感的判断の工学的実現
V. 感覚神経系	視覚・聴覚・嗅覚・味覚・触覚（以上五感）、平衡感覚	外界センシング、情報からの特徴量抽出	視覚センサ、聴覚センサ、ジャイロ、人工網膜LSI	メカニズム解明に留まらない、HW一体化情報処理デバイスの創出

- 今後脳科学が有効と考えられる産業分野
 - ・これまでの工学的アプローチでは未だ十分な解が得られていない分野
 - ◇ 音声／画像などの認識系
 - ◇ 環境理解・行動計画系
 - ◇ 運動制御系

- 従来の工学的制御方式の問題点と脳科学に期待するポイント
 - ・情報処理の原理が数学モデル／プログラムベースのため、一定動作の繰り返しなど固定的な環境に対しては有効であるが、環境変動に対する柔軟性が欠如している。
 - ・脳科学をふまえた学習に基礎を置く環境変動に対するロバスト性の向上に期待
 - ◇ 指紋照合や顔認識に用いられているアルゴリズムは従来と全然変わっておらず、CPUのパワーが非常に高くなりそこそこ使えるようになったということで、本当の意味での性能というのはそれほど進歩していない。
 - ◇ 脳科学でそういった今は乗り越えられないバリアというのを乗り越えられる可能性がある。
 - ◇ 神経回路モデルに加えて、fMRI等脳の活動部位のいろいろな測定によって、顔認識メカニズムのアルゴリズムというものが進むことが期待される。

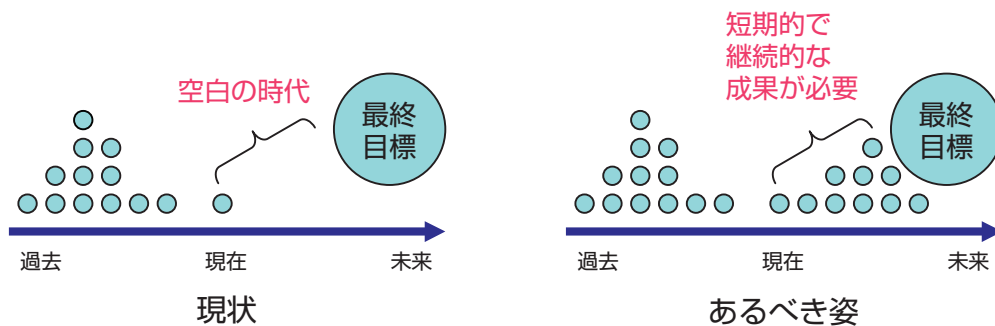
- 産学連携というのは長期計画だけではだめで、やはり短期の成果、長期の成果、これを2つに分けて研究計画をつくるべきである。
 - ・いつまでにどこまでの性能を出すかという目標をしっかりとつくる必要がある。
 - ・何に使うかということもやはり考えるべきである。
 - ・そういったロードマップというものを短期、長期ともに産学で共有することが大切。

- 産業的な価値と学際的な価値、この両面から成果・評価をしっかりと行い、研究リソースや開発のリソースのダイナミックでしかもフェアな配分をしていくということが重要。注意しなくてはいけないのは、産業的な価値と学際的な価値を全員が両方を満たす必要はない。

- 脳科学というものが日本を支える主力産業の中で、パラダイムシフトを起こすのにいかに役立つか。そういう観点から研究テーマというのを考えていただきたい。

現状の認識と改善への指針

- 将来の大きな夢を語るだけでは産業界は興味を示さない
- 短期的な成果(実用化例)を継続的に出すことが重要
(小粒でも良いので)
- 一般社会での脳科学の有効性を示す事例も多々ある
→ 社会へのPRも必要



はじめに

1

概要

2

重要研究課題

3

研究制度問題

4

まとめ

5

参考資料

6

4.4 リソースとデータベース

- 将来の脳研究におけるバイオリソースの維持・確保、及びそのデータベース化というのは、脳研究の発展のためには非常に重要なことである。
- 発現ベクターなどのコンストラクト、特殊ないろいろな細胞、ノックアウトやトランスジェニックマウス等、どこでだれが持っているかという情報が、データベース化されていないことが問題である。
- QTLとSNPsの関連データベース
 - ・ 例：テネシー大学のロブ・ウィリアムスたちがつくっているマウスのデータベース
 - ・ 系統が異なるマウスでは、同じ遺伝子でも異なったレベルで発現することにより、少し暴れやすいマウスとか、ケージに手を入れても非常におとなしいマウスとかの異なる性格を示す。
 - ・ 遺伝的、量的形質が少しずつ違うことで、性格が異なってくるということがわかっている。
- 臨床研究におけるリソース
 - ・ 臨床症例そのものもリソースであり、臨床経験もリソースである。
 - ・ 情報、あるいはゲノム、あるいは剖検組織、細胞株も貴重なりソースである。
 - ・ 日本ではこれが研究者の研究の一部としてバンク的な活動をかろうじて維持しているところが現状であり、本来ならば研究の基盤的な事業として位置づけることが必要である。
 - ・ 検体は非常に貴重なりソースであり、そのリソースを蓄積している研究者の方々とのコミュニケーションを十分にとって、本当にその研究が活用できる、そういう設定を確認したうえで使用を始めるべきである。
 - ・ ほとんどマウスを注文するのと同じように考えている研究者もおられるようで、この点は教育も大変重要である。

[5] まとめ

本ワークショップでの討議では、脳・神経科学領域の重要な方向性として以下の点が指摘された。

- 現象の記載から機能の理解・制御へ
 - ・システム的研究
 - ・創る観点からの脳の理解、制御脳科学
- 表現型（個体）と遺伝型（分子）の接点
 - ・スパイン、シナプス可塑性と行動、メタ可塑性
- 人間性の脳科学
 - ・心の起源、社会的脳、人間的脳、神経生態学
 - ・社会神経科学、経済神経科学
- ゲノム情報と環境情報により形成される脳機能
 - ・レシピとしてのゲノム情報、脳発達における臨界期の重要性
- 精神・神経疾患の予防と治療研究
 - ・臨床研究に結びつく基礎研究の知見
 - ・臨床データから心、精神の解明へ

研究の方向性はそれぞれ強く関連しており、相乗効果を形成できる推進方策が望まれている。多くのものはゲノム配列解読終了の影響を受けており、ゲノム情報を元に脳機能の統合的理解を志向していることが伺われる。また、いずれも単に遺伝子との一対一の対応関係の解明にとどまらず、関与する遺伝子がどのように働き、脳の高次機能を形作っているかという点に関心が払われている。その際には環境要因の関与が重要であり、脳の発達過程と関連した人の精神の醸成や、精神・神経疾患の発症、進行といった、我々にとって身近でかつ非常に重要な問題と深く関わっている。

このような状況の下に今後の脳・神経科学領域の推進方法としては、より統合的な研究が行われるよう配慮すべきと考えられる。また、緊急性のある課題として臨床研究につながる課題の選定が求められるとともに、継続性のある「精神とは」「心とは」といった問いに対する研究、これまでより人間性を研究対象として重視した研究を進めていくことが望ましいと考えられる。また、臨床的な知見から基礎研究へ波及効果が及ぶことが必要である。

研究を推進するためには、分子から個体までの機能測定技術のさらなる開発が必要であり、また、個々のデータやリソースを統合できるデータベース、ネットワーク、あるいは理論的研究、計算論的研究の融合が必要とされている。

本ワークショップでは、こうした統合的な研究推進の重要性を認識し、今後研究開発戦略センターにおいて、更に海外調査等を行うことにより具体的提案に詰めていくこととする。

はじめに	1
概要	2
重要研究課題	3
研究制度問題	4
まとめ	5
参考資料	6

[6] 参考資料

ワークショップ日程およびスケジュール

3月3日（木） 12時15分～3月4日（金） 13時

3月3日（木）

11：00～12：00 コーディネータと江口グループとの打ち合わせ

12：15～12：45 研究開発戦略センター 挨拶・趣旨説明
甘利先生 挨拶

12：45～14：45 セッション1：理論

発表60分（川人先生：20分、スピーカー4名：10分）、全体議論60分

15：00～17：00 セッション2：機能

発表60分（田中先生：20分、スピーカー4名：10分）、全体議論60分

17：15～19：05 セッション3：発達

発表60分（岡本先生：20分、スピーカー3名：10分）、全体議論60分

3月4日（金）

9：00～11：00 セッション4：疾患

発表60分（辻先生：20分、スピーカー4名：10分）、全体議論60分

11：00～12：00 総合討論

12：00 解散

科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ
(脳・神経科学)
報告書

平成17年7月

独立行政法人科学技術振興機構
研究開発戦略センター
江口グループ

Copyright 2005 by CRDS/JST

無断での転載・複写を禁じます。