

- 10:00～10:05 挨拶
自然科学研究機構長 志村 令郎
- 10:05～10:20 趣旨説明
ジャーナリスト 立花 隆
- 10:20～10:50 イントロダクション 科学の終焉と脳科学の未来
生理学研究所 永山 國昭
- 10:50～11:20 温度と痛みを感じるメカニズム
生理学研究所 富永 真琴
- 11:20～11:50 ジョジョに奇妙な脳科学
浜松医科大学 瀬藤 光利
- 11:50～13:20 休憩
- 13:20～13:50 中枢神経系の再生戦略
慶應義塾大学 岡野 栄之
- 13:50～14:20 脳機能の発達と回復:神経回路の再編成
生理学研究所 鍋倉 淳一
- 14:20～14:50 損傷から立ち直るための脳の仕組み
生理学研究所 伊佐 正
- 14:50～15:10 休憩
- 15:10～15:40 脳の中の時間
順天堂大学 北澤 茂
- 15:40～16:10 奥行きのある世界を見る脳の仕組み
日本大学 泰羅 雅登
- 16:10～16:40 ブレインインタフェースの最前線
ATR 脳情報研究所 川人 光男
- 16:40～17:10 脳科学の未来
立花 隆、岡田 泰伸(生理学研究所)
- 17:10～17:15 閉会の挨拶 岡田 泰伸

※各講演の終了後、5分間で立花隆先生と講演者との対談を予定しております。
※その他、パネル展示、4次元デジタル宇宙シアター上映(定員制)も行います。

※プログラムは一部変更となる可能性があります。

解き明かされる 脳の不思議 脳科学の未来

プログラムコーディネーター

立花 隆

主催 一大学共同利用機関法人

自然科学研究機構

後援 朝日新聞社 / **NHK**
総合研究大学院大学

東京国際フォーラム ホールB5

東京都千代田区丸の内3-5-1

2008年3月20日[木・祝]

10:00→17:15

自然科学研究機構ホームページ

<http://www.nins.jp/>

NINS
National Institutes of Natural Sciences

機構長 挨拶



しむら よしろう
志村 令郎

自然科学研究機構 機構長

1958年京都大学大学院理学研究科修士課程修了。63年米国ラトガース大学大学院博士課程修了。同年米国ジョンスホプキンス大学医学部研究員、67年大阪大学微生物病研究所研究員、69年京都大学理学部助教授、85年京都大学理学部教授、86年岡崎国立共同研究機構基礎生物学研究所教授（併任、～94年）、96年京都大学名誉教授、同年生物分子工学研究所所長、2001年独立行政法人日本学術振興会ストックホルム研究連絡センター長を経て、04年より現職。専門は分子生物学・分子遺伝学。

趣旨 説明



たちばな たかし
立花 隆

ジャーナリスト

1964年東京大学仏文科卒業。同年文藝春秋社に入社。66年文藝春秋社退社。同年東京大学哲学科に入学、フリーライターとして活動を開始する。95～98年先端科学技術センター客員教授。96～98年東京大学教養学部非常勤講師として、第一次立花ゼミ「調べて書く」ゼミを開講。2005年東大特任教授就任を機に、第二次立花ゼミを開講。07年より立教大学21世紀社会デザイン研究科特任教授に就任。ジャーナリスト・評論家として多くの著作をもつ。

イントロダクション

科学の終焉と脳科学の未来

自然科学研究機構 生理学研究所

ながやま くにあき
永山 國昭

物理学の終焉（物理法則の有限性）

文明崩壊による科学技術文明の終焉が地球規模で待ち受けているかもしれない。実際に科学の終焉は物理学では始まっている。物理らしい物理の問題は統一場の理論が完成すればまず終焉と考えられている。もちろん技術を補佐するような応用物理分野では個別的な問題はいくらでもある。しかし革命的な発展は望めない。物理学は、文明崩壊を待たず、自己運動的に確実に終焉に向かっている。

生命科学の終焉（ゲノム情報の有限性）

生命科学のゴールは生物の成り立ちからして2つある（図1）。1つは遺伝をベースとした情報的ゴール。もう1つは分子をベースとした物質的ゴールである。情報的には、地球上の大多数の種のゲノム塩基配列がわかればゴールである。物質的には細胞における蛋白質ネットワークの動きが、化学回路として記述でき、かつ細胞ネットワークがその基盤の上に説明できればゴールである。ヒトゲノムの解明の成功で情報的ゴールが、また蛋白プロジェクトの成功で物質的ゴールは見えた。そして細胞生物学とシステム生物学の融合で高次ネットワークのゴールも見えている。

脳科学の隆盛（脳が生み出す情報は無限）

生命科学が上記の意味で終焉したときに何がそれと交替するのだろうか。脳科学である。その理由は脳、特にヒト脳が極度に複雑な情報処理系だからである。生命科学は情報と物質の二重性が特徴だったが、脳はほとんど情報科学である。情報は物質にはない生物と人間社会の秩序原理である（図2）。脳科学には先行する階層として物質基盤、生物基盤の研究があるが、ハードウェアの研究だけでなく、ソフトウェア、最終的には文化情報がその対象になるはずだ（図3）。主観的世界をも対象にした場合、脳科学に終わりは見えない（図4）。

Keywords

文明崩壊：外部環境と人間側の内在的要因の複合により劇的に文明が破壊される現象。
科学：人間の知を使って世界を知る営為。
技術：人間の技を使って世界を変える営為。
物理法則：物質的自然の秩序原理。
情報：物理法則に還元されない生命（自己複製系）の秩序原理。
進化：自己複製系が作り出す情報量の拡大。



図1 生命の非還元的構造

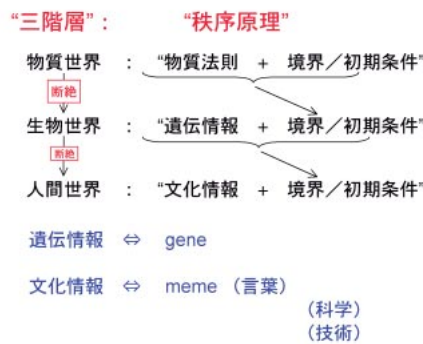


図2 世界の三階層と秩序原理

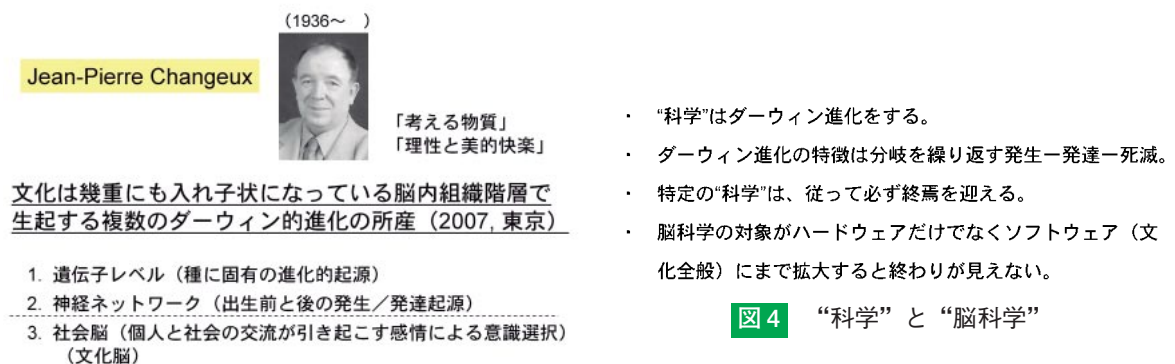


図3 脳のダーウィンの進化構造

図4 “科学”と“脳科学”



自然科学研究機構 岡崎統合バイオサイエンスセンター・教授（センター長）、生理学研究所・教授、総合研究大学院大学生理学専攻・教授。理学博士。

1973年東京大学理学系大学院博士課程修了。73年同大学理学部物理学助教授。83年日本電子(株)生体計測学研究室室長、93年東京大学教養学部教授、97年生理学研究所教授を経て、2004年より現職。

専門は生物物理学、生命の熱力学的基礎論。位相観測法に基づいた新しい電子顕微鏡の開発と応用展開。

2006年日本顕微鏡学会賞、2007年文部科学大臣賞受賞。

著書に『生命と物質 ー生物物理学入門』（東京大学出版会、1999年）、『水と生命 ー熱力学から生理学へ』（共立出版、2000年）、共著に“Particles at Fluid Interfaces and Membranes” (Elsevier Science, 2001) などがある。

温度と痛みを感じるメカニズム

自然科学研究機構 生理学研究所

とみなが 富永 まこと 真琴

四季のある日本で暮らす私たちは零下の低温から 35 度を超える高温まで幅広い温度を感じながら生きていますし、時にストーブに触れて熱い痛みを感じます。そうした感覚は脳で生じるわけですが、刺激の入り口としての感覚神経終末では温度情報や痛み刺激情報が電気信号に変換されなければなりません。私たちの感覚神経は温度や痛み刺激を感知して開くイオンチャンネルを持っていて、それらが開いて神経細胞の外から中にカルシウムイオンやナトリウムイオンが流入することによって活動電位が生じます。これが、温度情報や痛み刺激情報が電気信号に変換されるメカニズムです。

私たちはトウガラシを食べて辛い、熱いと感じますが、トウガラシの主成分カプサイシンの受容体は熱の受容体（センサー）でもあることが分かっています。辛味は味覚ではなくて痛みに近い感覚だと考えられています。また、アイスクリームにはよくミントが添えられています。ミントを食べると口の中がスーっとしますが、ミントの主成分メントールを感知する受容体は冷たい温度を感じる受容体（センサー）でもあります。現在までに、9 つの温度を感じるセンサー（TRP チャンネル）が知られており、それらはイオンチャンネルとして働くことが分かっています。温度や痛み刺激を感じる機能は、全ての生き物にとってとても重要であり、多くの生物が似たイオンチャンネルを持っています。また、感覚神経だけでなく、身体の中の多くの細胞が温度を感じながら生きていることが分かりつつあります。

Keywords

活動電位：なんらかの刺激に応じて細胞膜に沿って作られる電位変化のことを言い、主としてナトリウムイオンとカリウムイオンがイオンチャンネルを通して移動することによって生じます。神経細胞同士や、神経細胞から筋肉や腺などの他の体組織に情報を伝達するために使われます。

イオンチャンネル：細胞膜や細胞内小器官の膜にあって、細胞内外・細胞内小器官内外でのイオンのやりとりを行う通路であり、開いたり閉じたりする穴（ポア）を形成する膜貫通性蛋白質です。

TRP チャンネル：TRP チャンネルの最初の分子はショウジョウバエの眼の光受容器変異体の原因遺伝子のコードする蛋白質として 1989 年に報告されました。その異常眼では光刺激に対する受容器電位（receptor potential）が一過性（transient）であったことから、その蛋白質は transient receptor potential（TRP）と呼ばれ、後の実験からイオンチャンネルとして機能することが明らかとなりました。多くの仲間が発見され、大きなスーパーファミリーを作ることが明らかになっています。

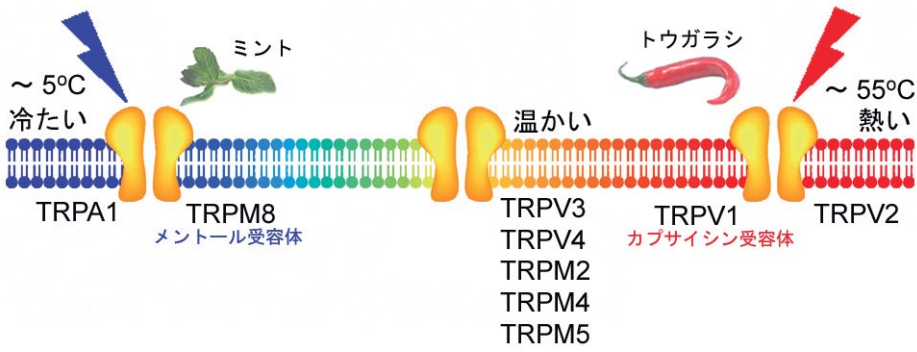


図 1 温度を感じる温度感受性 TRP チャンネル
TRP イオンチャンネルスーパーファミリーのうちの 9 つは温度感受性があると考えられており、幅広い温度の受容を担います。2 つが熱い温度を、2 つが冷たい温度を、そして 5 つが温かい温度を感じると言われています

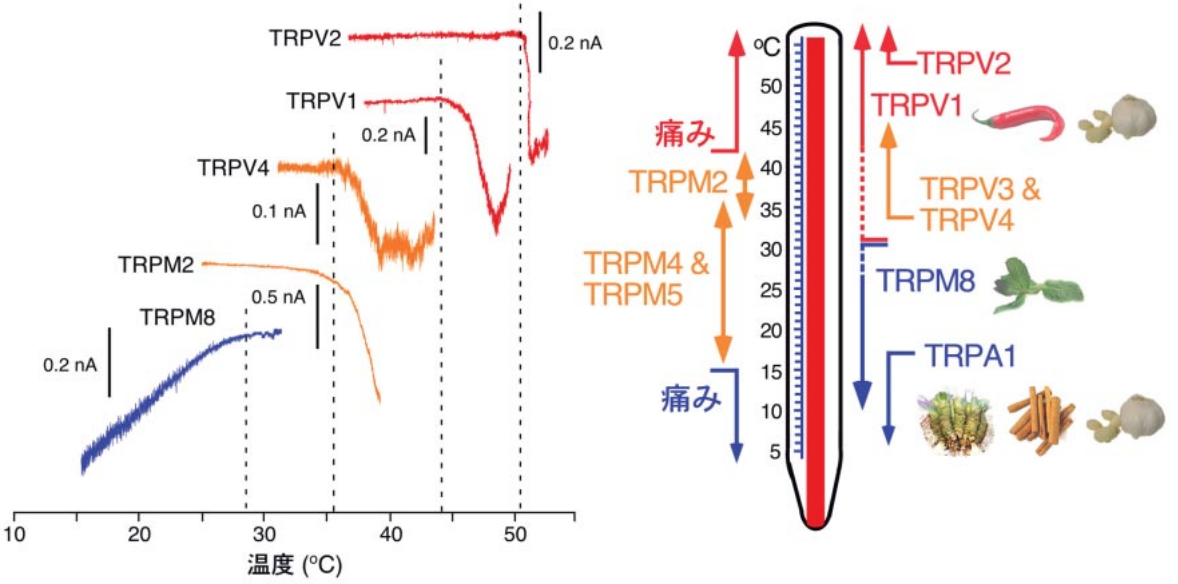


図 2 温度感受性 TRP チャンネルの働く温度域とイオンチャンネル電流
それぞれの温度感受性 TRP チャンネルは特異的な活性化温度域値を持っています（右）。43 度を越える高温と 15 度以下の低温は痛みを惹起すると考えられており、その温度域で活性化するチャンネルは痛み刺激受容体としても捉えることができます。興味深いことに、温度感受性 TRP チャンネルのいくつかは植物由来の物質（カプサイシンやメントール）によっても活性化します。温度感受性 TRP チャンネルはまるでスイッチが off から on になるように、ある一定の温度を境にして活性化して電流を流します（左）。下向きの電流が、細胞の外から中に入ってくる陽イオンの流れを意味します



自然科学研究機構 岡崎統合バイオサイエンスセンター（生理学研究所）・教授。医学博士。

1984 年愛媛大学医学部医学科卒業。92 年京都大学大学院医学研究科博士課程修了。93 年生理学研究所助手、99 年筑波大学講師、2000 年三重大学教授を経て、04 年より現職。同年より総合研究大学院大学生命科学研究科教授を併任。専門は分子細胞生理学。

ジョジョに奇妙な脳科学

浜松医科大学 医学部 ^{せとう}瀬藤 ^{みつとし}光利

愛、憎しみ、怒り、許し、悲しみ、喜び、認識、記憶、理解、想像、意識、無意識、感動、音楽、駆け引き、打算、政治。これらの人の活動の多くは、脳に由来していると考えられていますが、そのほとんどの仕組みはまだ分かっていません。とはいえ、脳の機能の中には下等な動物でも持ち合わせている能力があり、それらはかなり分かってきています。たとえば記憶は脳の機能では最も単純なものの一つで、ご存じのように犬や猫、魚やアリ、ナメクジやアメフラシでも餌のありかを記憶できます。そのため、実験が手軽で、最もよく研究が進んでいる脳の機能です。

19世紀の終わりごろから20世紀の初めにかけて、脳の中にある神経細胞間の連絡箇所—シナプスと呼びます—に記憶が記録されるのではないかと、という考えが科学者の中に生まれてきました。そして記録が電荷なのか物質なのか構造変化なのかが長く議論されてきました。20世紀の後半になって、どうやら神経伝達物質やその放出及び受容の機構の移動と構造変化が記憶の本質らしいということが分かってきました。20世紀の最後の年に、私たちはシナプスを構築する分子を輸送するモーター蛋白質キフ17を発見し、ついにその機構を明らかにしました（図1）。

コンピューターに、何でもかんでもデータを蓄えて消去しないでいると動作が遅くなりますよね。私たちも、どうしてもよいことまで全部憶えていると大事なデータが出てくるのが遅くなり生存に不利ですので、忘れる仕組みがあります。自動的な忘却の仕組みは長く不明でしたが、私たちは昨年、シナプスを構築する分子のシナプスでの分解が短期的なシナプス増強を抑える重要な鍵となっていることを、シナプスでの蛋白質分解系の酵素スクラッパーを発見することで、世界で最初に明らかにしました（図2）。

現在、壊れたハードディスクから記録を読みだすように、外部から記憶の痕跡を読みとることができる装置、質量顕微鏡（図3）を研究開発しています。この装置は脳の物質の蓄積の異常も検出できますので、神経疾患の解明やひいては治療に役立つと考えています。

こうして、脳の不思議で奇妙な仕組みをジョジョに明らかにして行きたいと考えています。

Keywords

キフ17（KIF17）：神経伝達物質受容体の一つである、NMDA型グルタミン酸受容体をシナプスのある方向へ細胞体から輸送する輸送分子の一つ。

スクラッパー（SCRAPPER）：スクラッパー蛋白質はシナプスでユビキチンという小さな蛋白質を標的蛋白質リム1に結合させる。ユビキチンが結合したリム1蛋白質は、プロテアソームという、いわばゴミ箱で、分解される。

質量顕微鏡：質量分析を二次元的に走査、得られたスペクトルを再構成することで質量の分布を画像化する顕微鏡。島津製作所の田中耕一らがノーベル賞を受賞した質量分析技術を発展させ、瀬藤らが島津製作所と開発。

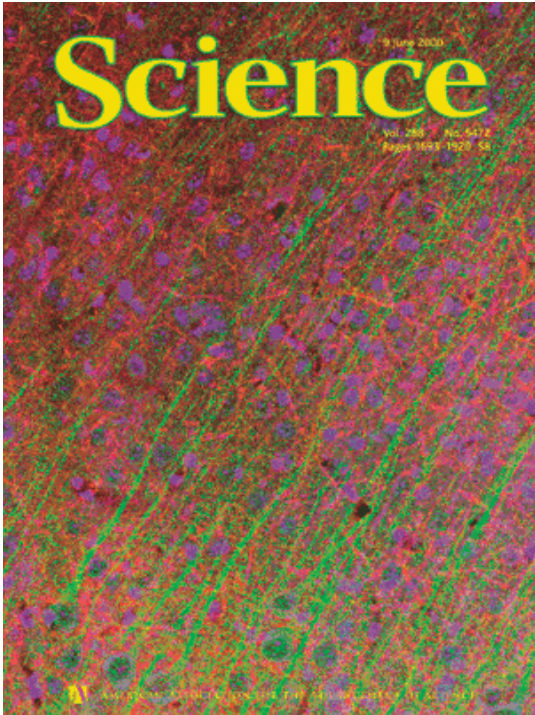


図1 シナプス構築分子を輸送するモーター蛋白質 KIF17 を緑色で示したマウスの脳の切片の写真。僕がとった写真で、サイエンスという雑誌の表紙になりました

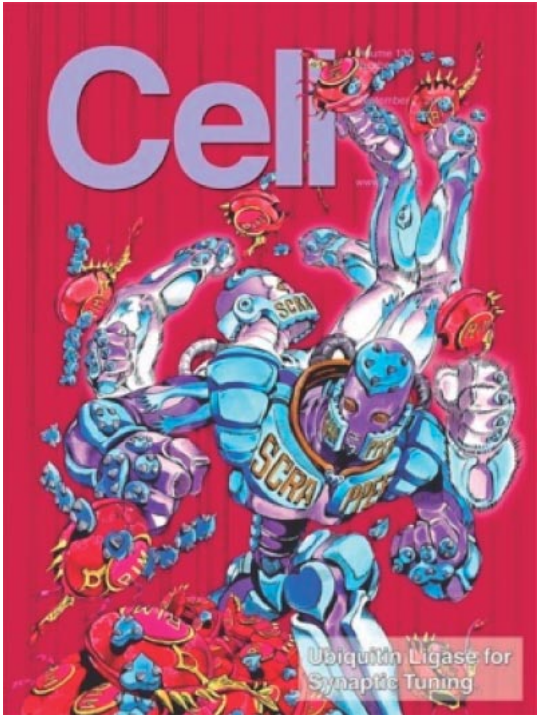


図2 シナプス構築分子を分解に導く酵素、スクラッパーを青色の“スタンド”で擬人化した図。ジョジョの奇妙な冒険という漫画の作者、荒木飛呂彦先生に描いてもらい、セルという雑誌の表紙になりました

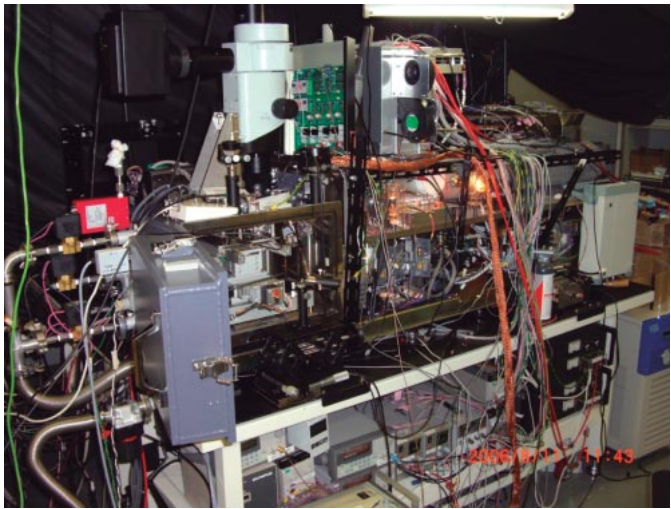


図3 大気圧型の質量顕微鏡の写真



浜松医科大学医学部 分子解剖学部門・教授。医学博士。

1994年東京大学医学部医学科卒業。臨床研修の後96年大学院へ。98年東京大学大学院医学系研究科助手に採用のため博士課程中退。2003年生理研助教授、07年准教授を経て、08年より現職。三菱生命研兼任。
専門は医学。特に老化。現在は神経に関心をもつ。
2002年サイエンス誌若手科学者賞受賞。
著作に『ユリイカ 荒木飛呂彦特集号』（青土社、2007年）への寄稿などがある。

中枢神経系の再生戦略

慶應義塾大学 医学部 おかの ひでゆき
岡野 栄之

成体中枢神経系は、再生しない臓器の代表例と考えられてきたが、ヒトを含めた哺乳類の成体の中枢神経系にも幹細胞が存在することが示されてからこの状況は変わりつつある。哺乳類成体中枢神経系において、前脳から脊髄に至るまで、脳室周囲部を中心に神経幹細胞が存在するものの、成体においてニューロン新生が生理的条件下で認められるのは、嗅球、海馬歯状回のみである。しかしながら、線条体や大脳皮質では、生理的条件下では、成体ニューロン新生は見られないあるいは検出感度以下であるものの、脳虚血などの傷害が加わると、ニューロン新生が誘導される（Insult-induced Neurogenesis）。Insult-induced Neurogenesis は、①内在性神経幹細胞の活性化、②前駆細胞（Transit amplifying cells）の分裂と幼弱ニューロンの移動、③新生ニューロンの生存と成熟といった各ステップを経て進行していくことが明らかとなっており、私達は独自の方法により、これらの制御機構の解明を進めている。①内在性神経幹細胞の活性化については、a) ショウジョウバエ成虫型神経幹細胞制御機構解明を目指した遺伝学的アプローチ、b) 神経幹細胞増殖因子スクリーニング系と proteomics を用いたアプローチ（例、Galectin-1）（Sakaguchi et al., *PNAS*, 2006）、c) RNA 結合蛋白質 Musashi-1 を用いた candidate gene アプローチ（Sakakibara et al., *PNAS*, 2002）、d) すでに知られたシグナル系と既に関連された薬剤を用いたアプローチをおこなっている。さらに②前駆細胞（Transit amplifying cells）の分裂と幼弱ニューロンの移動について、前駆細胞移動メカニズムの解明を目指して canonical Wnt pathway にフォーカスした解析、成体脳における新生ニューロン移動メカニズムの解明を目指して Slit/Robo システムを中心とした解析（Sawamoto et al., *Science*, 2006）をおこなっている。また、③の新生ニューロンの生存については、既に承認された医薬品の中で、この活性を示すものを見出しており（Kaneko et al., *Gene Cells*, 2006）、臨床応用への展開が期待できる（Okano, *J. Neurochem*, 2007、Okano and Sawamoto, *Philosophical Transactions of The Royal Society B*, 2008）。

これら①～③の現象のメカニズムの解明は、内在性神経幹細胞の活性化による神経再生を目指した創薬研究の大きな基盤となるであろう。

また、本講演は iPS 細胞を中心とした中枢神経系の幹細胞移植治療開発についても述べる予定である。

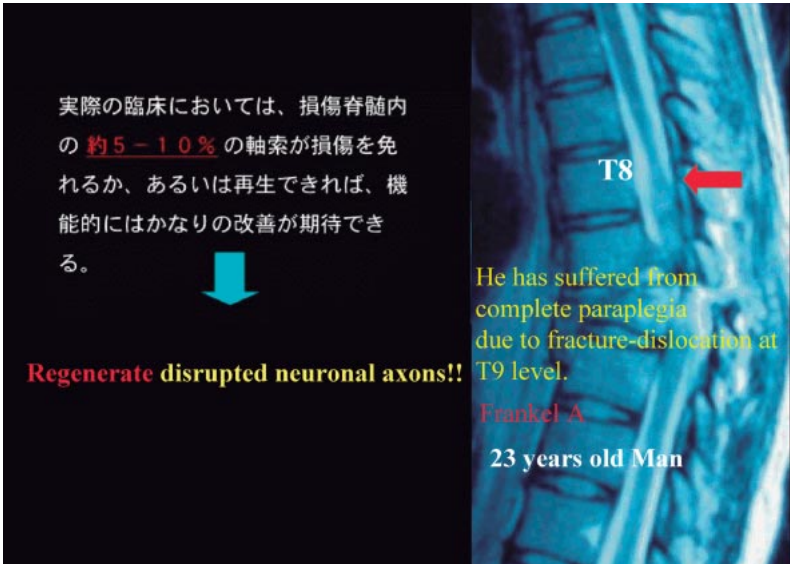


図1 脊髄損傷の再生を目指して

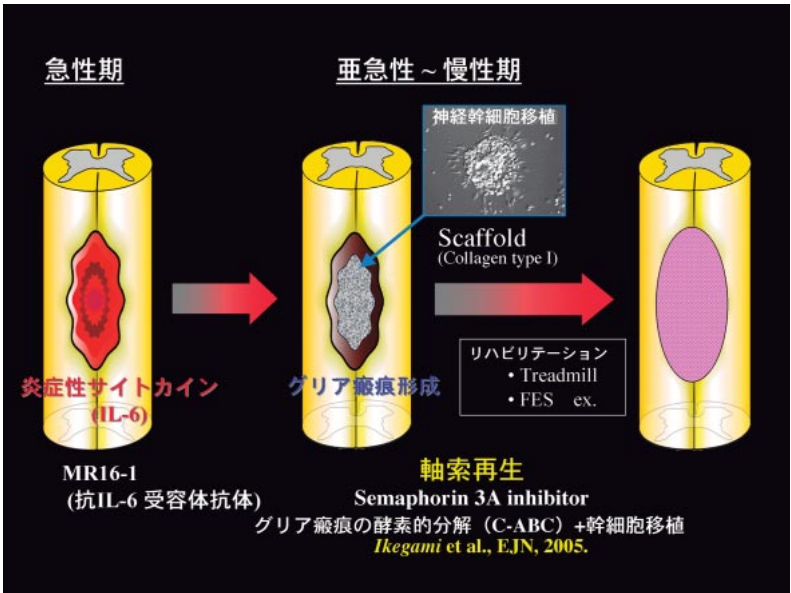


図2 脊髄損傷には、時期特異的な治療法の開発が重要



慶應義塾大学医学部 生理学教室・教授／大学院医学研究科委員長。

1983年慶應義塾大学医学部卒業。同年同大学医学部生理学教室助手、85年大阪大学蛋白質研究所助手、89年米国ジョンス・ホプキンス大学医学部生物化学教室に留学、91年大阪大学蛋白質研究所助手、92年東京大学医科学研究所化学研究部助手、94年筑波大学基礎医学系分子神経生物学教授、97年大阪大学医学部神経機能解剖学研究室教授（99年より大学院重点化にともない大阪大学大学院医学系研究科教授）を経て、2001年より現職。また、03年より21世紀型COEプログラム「幹細胞医学と免疫学の基礎－臨床一体型拠点」（医学系、慶應義塾大学）拠点リーダー、07年より慶應義塾大学大学院医学研究科委員長。

06年文部科学大臣表彰・科学技術賞受賞、07年 Stem Cells 誌より Lead Reviewer Award 受賞、08年井上科学振興財団より井上学術賞。専門は分子神経生物学、発生生物学、再生医学。

脳機能の発達と回復： 神経回路の再編成

自然科学研究機構 生理学研究所

なべくら 鍋倉 じゅんいち 淳一

発達に従って、行動、感覚や認知など様々な脳機能が大きく変わってきます。例えば、胎児期には、目が動きだし、次第にその動きにリズムが現れます。妊娠末期になるとほかの動き、例えば排尿リズムと同調してきますが、生まれると再びリズムは乖離してきます。このような脳機能の発達変化の背景として神経回路のダイナミックな変化が挙げられます。未熟期には大まかな機能回路が作られ、その後、再編成が起こります。1) 神経細胞間の情報の受け渡しが変わる。代表的なものとして伝達物質 GABA の機能が興奮から抑制に変化します。2) 余剰な配線が除去される。これらが代表的な再編成です。このような発達変化にともない、次第に細かな機能回路が作られ、成熟した細かな脳機能が現れるようになります。成熟後は安定的な回路が維持されますが、急性脳障害後には、再び機能回路にダイナミックな変化が起こります。障害を受けた神経細胞・回路では GABA は再び興奮性として作用するようになります。また、しばしば余剰な回路が作られ、再び広く活動する回路機能が再出現します。回復期にはシナプスと呼ばれる構造が盛んに形成・消失を繰り返していることが、脳内の深部微細構造観察の最先端観察技術である多光子励起顕微鏡を用いた研究から明らかになってきました。障害によって未熟期と同様の神経回路の特徴が再出現します。さらに、障害後の回復期には再び現れた未熟な特徴を持つ回路に、発達と同様な再編成が起こっている可能性が考えられます。

Keywords

GABA：細胞内クロール濃度によってその働きが制御される。成熟動物では、カリウムクロールトランスポーター（KCC2）が発現しているため細胞内クロール濃度が低く強力な神経細胞・回路活動の抑制伝達物質である。

シナプス：神経細胞同士が情報の受け渡しをする部位。ここで受け渡しされる物質が神経伝達物質。主なものに、グルタミン酸（細胞・回路活動を促進）と GABA（成熟期では抑制）がある。

多光子励起顕微鏡：1つの蛍光分子に2つの光子を同時にあてる革新的イメージング法。この方法によって、今まで観察できなかった生きた個体の脳の中の細かな構造や活動を観察できるようになった。

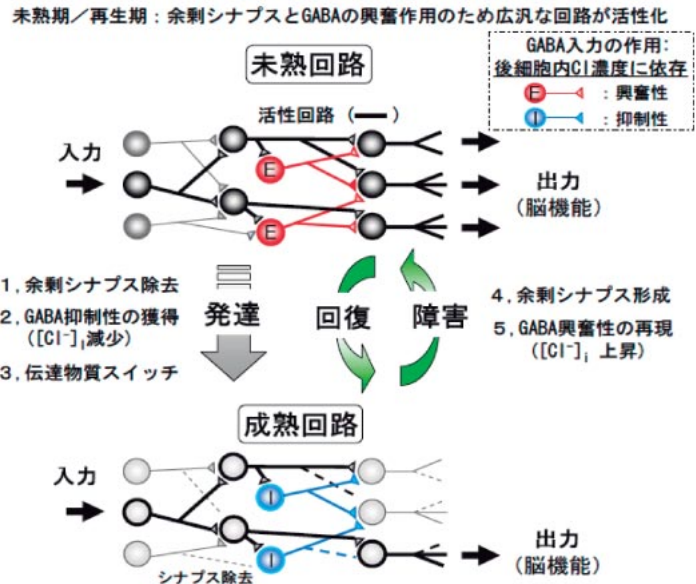


図1 発達/回復期における回路の再編成（こまかな機能回路の形成）

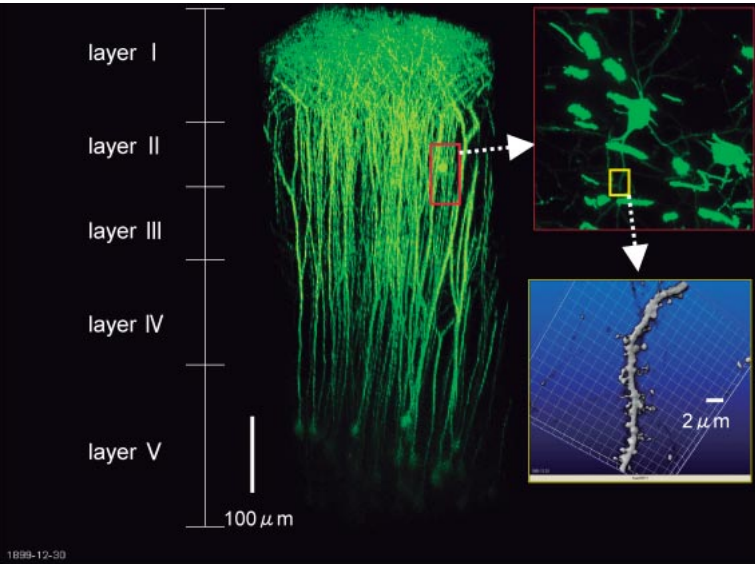


図2 多光子顕微鏡による生きたマウス大脳皮質の神経回路イメージング
第5層大脳皮質錐体細胞にYFPを発現させた遺伝子改変動物において、第5層の細胞から伸びている突起による複雑なネットワークの全容が生きた動物で観察される。さらに、個々の細胞（右上）や細かな突起（右下）も可視化できる



自然科学研究機構 生理学研究所 生体恒常機能発達機構研究部門・教授。医学博士。

1980年九州大学医学部卒業。87年同大学医学大学院博士課程修了。94年同大学医学部助教授を経て、2003年より現職。

94年 Biomedical & Drug Research：Research Award 受賞。

専門は神経生理学。特に発達神経生理学、電気生理学。現在は多光子励起法による生体イメージングに関心をもつ。

損傷から立ち直るための 脳の仕組み

自然科学研究機構 生理学研究所 **伊佐 正**
い さ ただし

脳や脊髄が損傷されると手足に麻痺が起きますが、損傷が部分的であれば、リハビリテーション訓練によって回復が見られてきます。しかし脳や脊髄でどのようなことが起きて機能が回復するのかについての研究は遅れています。私たちは脊髄損傷から手の機能が回復するメカニズムをヒトに近い脳と身体の構造を有しているサルを用いて調べています。

大脳皮質の運動野からの運動指令は“皮質脊髄路“という経路を通して反対側の手の筋肉に伝えられます。その経路を切断すると一旦手指の器用な運動が障害されますが、訓練によって1～3ヶ月ではほぼ回復します。これは運動野からの指令が他の経路を介して伝達されたり、反対側の皮質脊髄路が働くからであると考えられます。私たちはさらに、このような機能代償過程で脳などの上位中枢がどのように働くかを調べてみました。陽電子断層撮影装置（PET）によって脳活動を計測したところ、回復初期（1ヶ月前後）では損傷前は使われていなかった同側の一次運動野の活動が一過性に増加すること、さらに回復過程が安定してくる3ヵ月後では本来使われるべき反対側の一次運動野の活動領域が広がり、さらに上位中枢の運動前野の活動が増加することがわかりました。さらに、回復の過程で、「モチベーションの中枢」と呼ばれる領域と運動野の間の機能的結合が強化されることも明らかになってきました。このような実験結果から、機能回復が起きるために何が必要かについて議論してみたいと思います。

Keywords 神経リハビリテーション、可塑性、手の運動

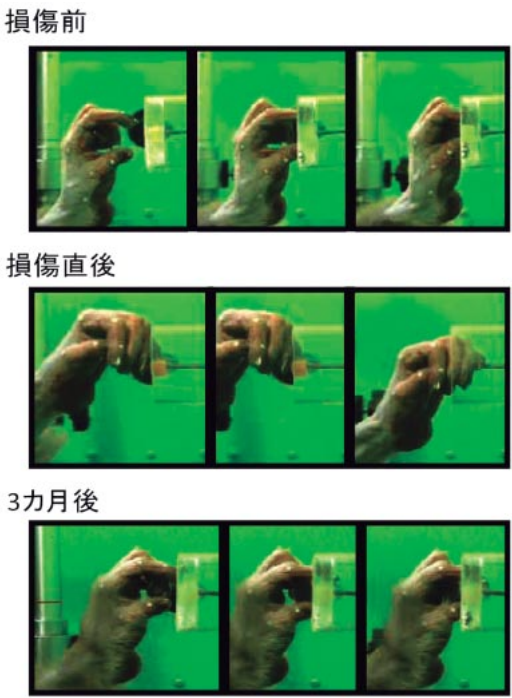


図1 脊髄損傷を受けたサルの回復経過 脊髄損傷を受けたサルは、損傷直後は、親指と人差し指をうまく使うことができないが、リハビリテーションによって3ヵ月後には指先が自由に動くようになり、食物を取ることが可能となる

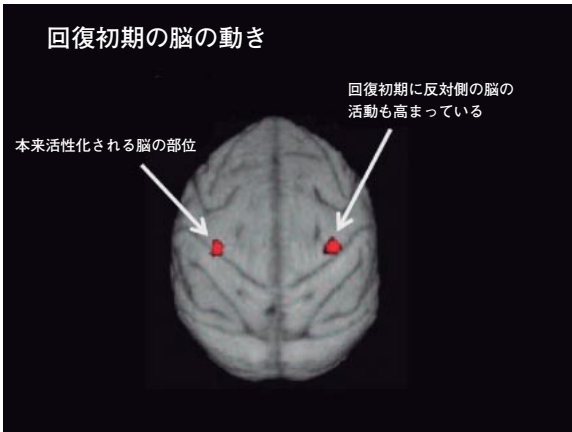


図2 回復初期（1ヵ月）に活動が増加する脳の部位（PET画像） 回復初期には本来活性化される脳の部位の活動も増加していますが、反対側の脳の活動も補うように高まっています

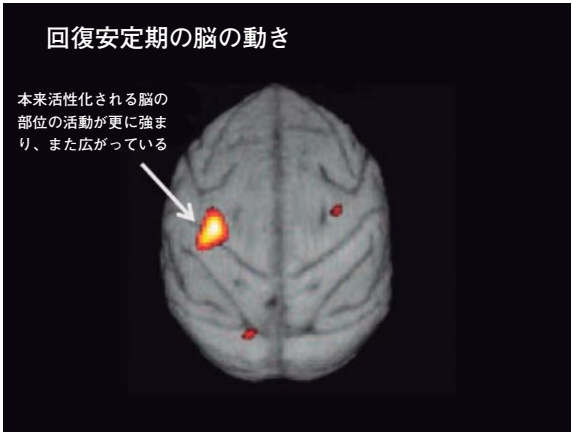


図3 回復安定期（3ヵ月）に活動が増加する脳の部位（PET画像） 回復安定期には、本来活性化される脳の部位の活動が更に高まります。活性化される領域が損傷前よりも広がります



自然科学研究機構 生理学研究所 発達生理学研究系認知行動発達機構研究部門・教授。

1985年東京大学医学部医学科卒業。89年同大学大学院医学系研究科修了。88～90年スウェーデン王国イエテボリ大学客員研究員、89年東京大学医学部助手（医学部付属脳研究施設）、93年群馬大学医学部講師、95年同助教授を経て、96年より現職。

2006年塚原伸晃記念賞受賞。

専門は神経生理学。特に運動制御の中枢神経機構。現在は特に中枢神経損傷後の運動・認知機能の代償機構に関心をもつ。

脳の中の時間

順天堂大学 医学部 きたざわ しげる
北澤 茂

ニュートン力学では、過去から未来に向かって一様に流れる絶対的な時間を考えます。脳の中の時間も一様に流れているのでしょうか。物理学に登場する理想的な観測者は、出来事の発生の時刻を正確に読み取ります。私達は理想的な観測者なのでしょうか。これまでに報告された事例によれば、我々は理想的な観測者からは程遠い存在です。例えば、右手と左手に加えた刺激の順序を判断する場合に、通常は 0.05 秒の時間差を正しく答えることができます。ところが手を交差するだけで時間差 0.2 秒の刺激順序の弁別が怪しくなり、極端な場合は逆転します（図 2）。手に持った棒の先に刺激を加えて刺激の順序を判断するときには、手の位置を変えずに棒の先を交差するだけで判断の逆転が起こります。左右の手の刺激の順序は、その原因が視覚空間の中でつきとめられるまで決まらないのです。また、私達は 1 秒間に 3 回、すばやく目を動かして外界の情報を取り入れています。その直前にも刺激の順序が逆転することが報告されています。

なぜこのような時間の流れの逆転が生じるのでしょうか。先天的に目の見えない方では手を交差しても逆転は生じないことから、目が見えることの代償ではないか、と私達は考えています。皮膚受容器からの信号や網膜の視細胞からの信号を、手や目の動きを考慮に入れて「視覚空間」に統合するための代償として、時間の流れが犠牲になるのだらうと推測しています。

Keywords

時間順序判断：通常は 2 つの感覚信号の時間的な順序を判断する課題。弁別閾値（正解率が 75 % になる刺激の間隔）は感覚の種類によらず約 0.03 秒程度である。2 つの信号が同時であるかどうかを判断する同時性判断の弁別閾値はさらに短い、感覚の種類に依存する。

サッケード：注意を引く刺激に対してすばやく視線を移動させる目の動き。網膜の上の像は大きくずれる。平均すると 1 秒に 3 回も行っているのに、外界は揺るがない。外界の安定性を保つ仕組みの一端が解明されているが、全体像は未だに不明である。

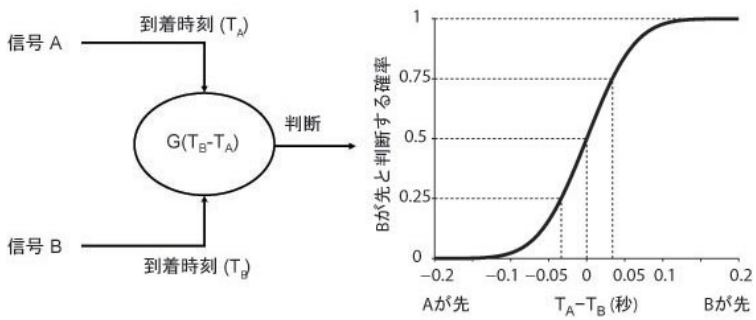


図 1 時間順序判断の決定機構の古典的なモデル
信号 A が信号 B に先行するという判断は決定機構への到着時間差（ $T_B - T_A$ ）の単調増加関数 G に従う確率で決定されると仮定されてきた（左）。単調増加関数の一例（右）。同時点（50%正解となる時間差）は 0 ms、弁別閾値（75%正解を与える時間差と同時点の距離）は約 0.03 秒。

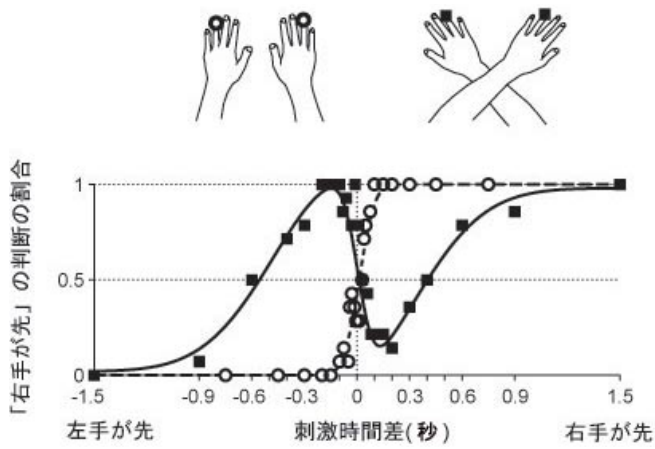


図 2 腕交差に伴う皮膚刺激の順序判断の逆転。
右手と左手に加えた刺激の時間順序を判断する際、腕を交差しない条件では刺激時間差が 0.1 秒あればほぼ 100%正解できる（白丸と点線）。しかし腕を交差すると 0.2 秒程度の時間差をピークとする判断の逆転が生じた（黒四角と実線）。N 字型の反応曲線に注目。Macmillan Publishers Ltd の許諾を得て引用： *Nature Neuroscience* (Yamamoto and Kitazawa, 2001), copyright (2001)。



順天堂大学医学部生理学第一講座・教授。医学博士。

1987 年東京大学医学部医学科卒業、91 年同大学大学院博士課程修了。93 年同大学医学部助手、95 年電子技術総合研究所主任研究官、2001 年電子技術総合研究所主任研究員を経て、03 年より現職。04 年より東京大学大学院教育学研究科客員教授を兼務。専門は神経生理学。運動制御の研究から脳の中の時間に興味をもつ。1999 年塚原仲晃記念賞、つくば奨励賞、日本神経回路学会論文賞受賞。

奥行きのある世界を見る 脳の仕組み

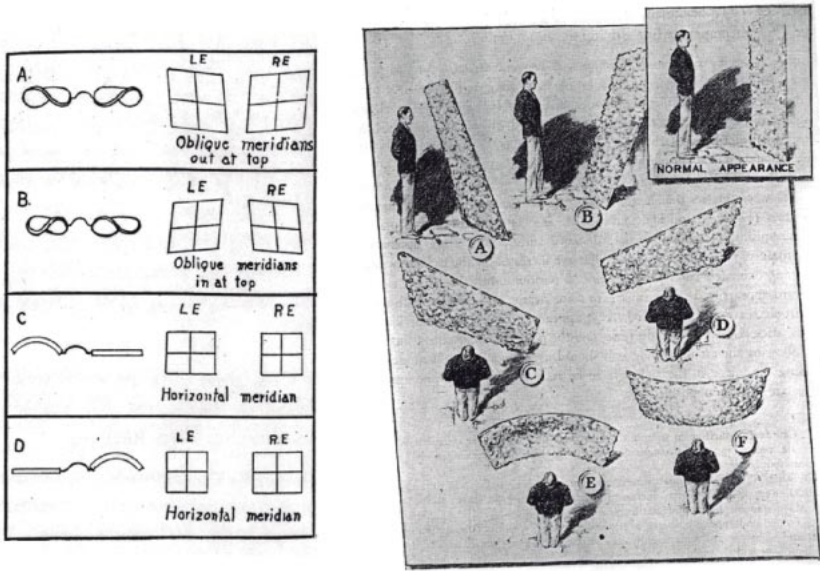
日本大学大学院 総合科学研究科

たいら まさと
泰羅 雅登

私たちの脳の中には目からの視覚情報を処理するための経路が、大きく分けて 2 つあることがわかってきました。専門用語では背側視覚経路、腹側視覚経路といいます。背側は上、腹側は下と考えてください。目からの情報はいったん大脳の一番後ろの部分、後頭葉にある一次視覚野に集められます。そのあと、私たちの知覚や認知につながる、もっとも高等な情報処理をする連合野へと送られていきます。背側視覚経路の終点は、脳の頂（いただき）にある頭頂連合野と呼ばれる連合野で、腹側視覚経路では、脳の側方（人間では脳の下に回り込んでいます）にある側頭連合野が終点になります。さて、この二つの処理経路はそれぞれ何をしているのでしょうか。腹側視覚経路は物体視、つまり何かある物体を見たときに、それがなんだかわかるための情報処理をしています。一方、背側視覚経路は空間視の経路、空間、すなわち私たちの回りの奥行きのある広がりを見る役割をしています。

私たちが回りの世界に奥行きを見るときには、目に入る情報の中にあるいくつかの手がかりを使って、頭の中で奥行きを解釈しています。よく、どうして目は二つあるのですかという問いに対して、世の中を立体的に見るためだと答えられています。これは正しく、私たちの脳は左右の目に入った映像の中から、わずかなズレを見つけ出して奥行きを解釈します。実は、耳が左右に二つあるのも音の情報から奥行きを知るためです。ズレを人工的に作り出せば三次元映画のように、人工的な奥行きを作ることができます。でも、奥行きを知るのにいつも両目からの情報が必要なわけではありません。それは絵画や写真などの平面上の画像のなかに私たちは奥行きを感じることができるところからもわかります。講演ではいろいろな手がかりを使って奥行きを解釈する脳の仕組みについて解説します。

Keywords
両眼視差：左右の目の視覚情報の網膜上でのズレ。
絵画的手がかり：両目に頼らない奥行きの手がかり。



Ames 1954

図1 レンズで目に入る映像をゆがめると垂直な壁が傾いて見える

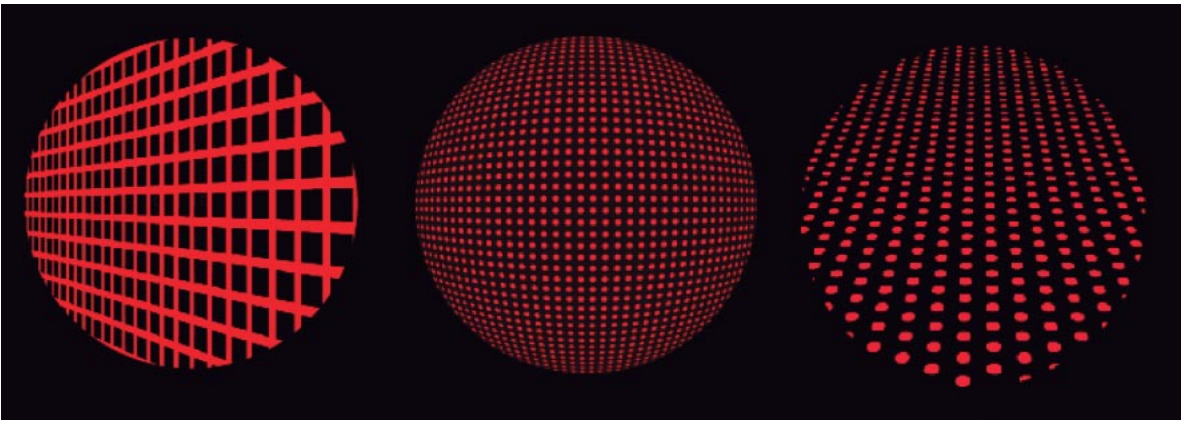


図2 テクスチャー（肌理）の勾配は面の傾きの強力な手がかりになる



日本大学大学院 総合科学研究科・教授。歯学博士。
1981 年東京医科歯科大学歯学部卒業。85 年同大学大学院歯学研究科博士課程修了。(財)東京都神経科学総合研究所、Johns Hopkins 大学客員研究員、Minnesota 州立大学客員講師、日本大学医学部助教授を経て、2005 年より現職。
専門は認知神経生理学。頭頂葉の機能、運動制御機能に興味をもつ。
著書にカールソン神経科学テキスト第 2 班（監訳、丸善、2007 年）などがある。

ブレインインタフェースの最前線

株式会社国際電気通信基礎技術研究所 (ATR)
脳情報研究所

かわと みつお
川人 光男

脳の機能を解き明かし、情報通信に役立てるためには、脳の中に情報がどのように表現され、処理されているのかを調べなくてはなりません。しかし、これは生物学がこれまで得意としてきた物質や場所に関する研究に比べて格段に難しくなります。このような困難を克服するために、ATRでは脳を創ることによって脳を理解する研究を続けて参りました。まず、脳の記憶・学習などに関わる機能についての理論を作り、それを神経科学の実験で検証するとともに、理論に基づいてロボットを学習させました。その結果、ロボットが人の持っている学習能力の一部を備えるようになりました(図1、2、3)。またヒトの脳を傷つけずに、脳の外側から脳の活動を記録して、必要な情報を抽出して、ロボットを動かすことができるようになりました(ブレイン・ネットワーク・インタフェース技術:図4、5、6)。

これまで情報端末やロボットの操作は、プログラムを書くか、手や音声を用いて行なわれてきました。しかし、脳とネットワークを直結し、考えるだけで情報通信機器を動かせる革新的な技術がSFから現実のものになろうとしています。このような技術は、工学として革新的なだけではなく、脳内の情報を実時間で抽出し、解読し、計算理論の予測に基づいてこれに操作を加え、直接または間接に操作した情報を脳にフィードバックする新しい方法論も可能にします。これは、脳シグナルの操作を可能とし、分子生物学における遺伝子工学と同様な役割を果たす可能性を秘めています。

今回の講演では、急速に発展しつつある、ブレイン・ネットワーク・インタフェースやサイボーグ技術と、それに基づく未来の情報通信に関して、ATRの研究動向と実用化への道筋などを解説いたします。

Keywords ブレイン・マシン・インタフェース、階層ベイズ推定、ブレイン・ネットワーク・インタフェース、脳モデル、階層制御

ICORP 計算脳プロジェクトの報道発表 (2008.1.16)

サルの大脳皮質のニューロン活動情報をネットワークを介して伝送(米国~日本間)し、リアルタイムでヒューマノイドロボットを歩行させる

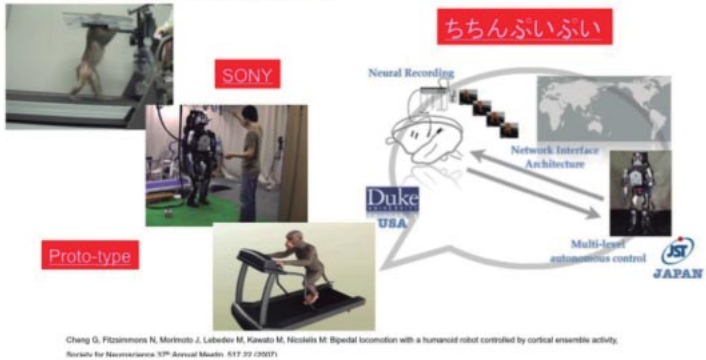


図1 けん玉学習ロボット



図2 エアホッケーを学習するDB (JST-ERATO)



図3 新型二足歩行ロボット CB-i (JST-ICORP)

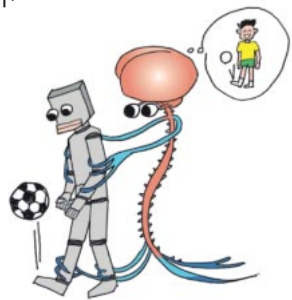


図4 ブレイン・ネットワーク・インタフェースによるロボット制御の概念図

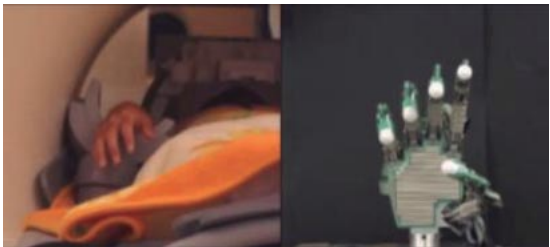


図5 磁気共鳴画像法で計測した脳の情報で準実時間でロボットハンドを制御 (ホンダリサーチインスティテュートジャパンとの共同研究)

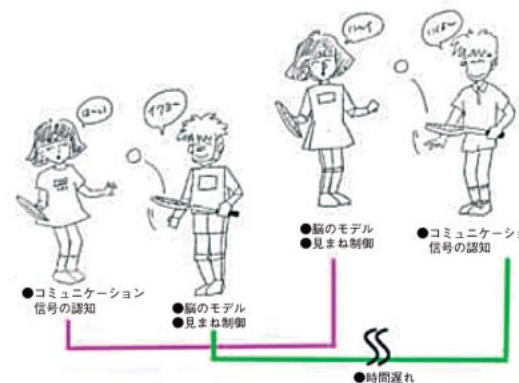


図6 BCI、ヒューマノイドロボット、脳の定量的モデルを用いた未来の情報通信



株式会社国際電気通信基礎技術研究所 (ATR) 脳情報研究所。

1976年東京大学理学部物理学科卒業。81年大阪大学博士課程修了。同年助手、87年同講師、88年(株)ATRに移る。2003年よりATR脳情報研究所所長、04年よりATRフェロー、およびJST国際共同研究『計算脳プロジェクト』研究総括兼任、1996~2001年『川人学習動態脳プロジェクト』総括責任者兼任、1994、2000、02、04年より金沢工業大学、奈良先端大連携講座、大阪大学生命機能研究科、生理学研究所の客員教授。富山県立大学の特認教授。計算論的神経科学の研究に従事。日本神経科学会理事。米澤賞、大阪科学賞、科学技術長官賞、塚原賞、時実賞、電子情報通信学会 IEICE フェロー、中日文化賞、朝日賞、APNNA Outstanding Achievement Award などを受賞。著書に「脳の仕組み」、「脳の計算理論」等。

閉会挨拶



おか だ やすのぶ
岡田 泰伸

自然科学研究機構 副機構長、生理学研究所所長。医学博士。

1970年京都大学医学部卒業。74年同大学医学部助手、81年同大学講師、92年岡崎国立共同研究機構生理学研究所細胞器官研究系教授、2004年自然科学研究機構生理学研究所教授、副所長を経て、07年より現職。現在日本生理学会会長、アジア・オセアニア生理科学連合会長。

専門は分子細胞生理学。特に脳神経・グリア細胞、心筋細胞、上皮細胞の容積調節機構、アポトーシスやネクローシスや虚血性細胞死の誘導メカニズム、アニオンチャネルのセルセンサー機能の分子メカニズムの研究。

著書に『チャネルとトランスポータ:その働きと病気』（メジカルビュー社、1997年）、『細胞容積調節：その分子メカニズムと容積センサー』（エルセビア社、1998年）、『新パッチクランプ実験技術法』（吉岡書店、2001年）などがある。