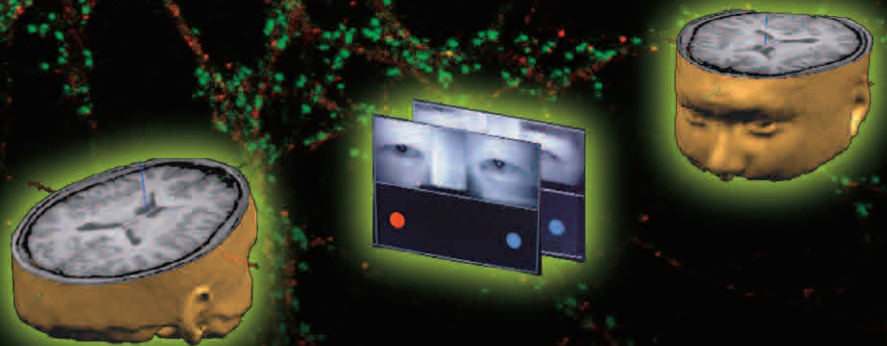


<http://www.nins.jp/>

$$N = N_* f_p n_e f_l f_i f_c f_L$$

知的生命の可能性

宇宙に仲間はあるのかⅢ



NINS
National Institutes of Natural Sciences

〔東京会場〕

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

〔愛知中継会場〕

中継：岡崎コンファレンスセンター (大会議室)

愛知県岡崎市明大寺町字伝馬8-1

平成24年 **3月20日** [火・祝] 10:00-17:20

導 入

10:00～10:05

機構長挨拶
佐藤勝彦 自然科学研究機構・機構長

10:05～10:20

趣旨説明 シンポジウム全体の趣旨説明
岡田泰伸 自然科学研究機構・理事、生理学研究所・所長

講演パート1 最近の成果と知見に基づいた天文学からの問いかけ

司会：岡田泰伸

10:20～10:45

地球型惑星の頻度とドレーク方程式
田村元秀 国立天文台・准教授

10:45～11:10

地球型惑星におけるバイオマーカー
藤井友香 東京大学大学院理学系研究科・博士課程

11:10～11:50

知的文明探査(SETI) とSKA時代への期待
平林 久 JAXA・名誉教授

11:50～13:00

昼休み

講演パート2 地球における知的生命とその進化

司会：観山正見 自然科学研究機構・理事、国立天文台・台長

13:00～13:35

地球上で脳はどうやって進化したのか
―散在神経系から集中神経系への移行過程
阿形清和 京都大学・教授

13:35～14:10

生物のコミュニケーションの発達進化について：人類学的立場から
斎藤成也 国立遺伝学研究所・教授

14:10～14:30

休 憩

講演パート3 地球における知とは何か、コミュニケーションとは何か

司会：岡田清孝 自然科学研究機構・理事、基礎生物学研究所・所長

14:30～15:05

知性と環境～感覚・知覚の「シェアド・リアリティ」をめぐって
下條信輔 カリフォルニア工科大学・教授

15:05～15:40

社会知：脳機能イメージング手法を用いたヒトの社会能力の解明
定藤規弘 生理学研究所・教授

15:40～16:15

地球外知的生命体は自身の脳の解読と制御はできるのか？
川人光男 国際電気通信基礎技術研究所 脳情報通信総合研究所・所長、ATRフェロー

16:15～16:30

休 憩

パネルディスカッション

16:30～17:10

地球外知的生命探査における天文学・生物学・脳科学の役割
司会：立花 隆
佐藤勝彦、岡田泰伸、鳴沢真也 兵庫県立西はりま天文台・主任研究員、
斎藤成也、下條信輔、川人光男

閉 会

17:10～17:20

閉会の挨拶
観山正見 自然科学研究機構・理事、国立天文台・台長

※講演題目は全て仮題であり、講演者が変更する場合があります。

機構長挨拶



さとう かつひこ
佐藤 勝彦

自然科学研究機構 機構長

1974年京都大学大学院理学研究科博士課程修了。73年日本学術振興会奨励研究員（京都大学研修員）、76年京都大学理学部助手、79年デンマーク Nordita（北欧理論物理学研究所）客員教授（～80年）、82年東京大学理学部助教授、88年東京大学大学院理学研究科教授、97年理学系研究科ビッグバン宇宙国際研究センター長（～99年、2001～05年）、99年大学院理学研究科長・理学部長、2009年明星大学理工学部物理学科客員教授を経て、2010年より現職。
専門は宇宙物理学、宇宙論。

趣旨説明



おかだ やすのぶ
岡田 泰伸

自然科学研究機構理事・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年より所長・副機構長、10年より理事。現在日本生理学会会長。
専門は分子細胞生理学。特に動物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・シグナリング機能の分子メカニズムの研究。2009年より生物学・生化学分野論文におけるISI高頻度被引用者。
著書に『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）、『最新パッチクランプ実験技術法』（吉岡書店、2011年）、『ギャノング生理学』（監訳、丸善出版、2011年）などがある。

司会者

〈第1部〉

自然科学研究機構、生理学研究所

おかだ やすのぶ
岡田 泰伸

〈第2部〉



みやま しょうけん
観山 正見

自然科学研究機構理事・副機構長、国立天文台長。理学博士

1975年京都大学理学部卒業。81年同大学大学院博士後期課程修了。83年同大学理学部助手、89年国立天文台理論天文学研究系助教授、92年同教授を経て、2006年より現職。
専門は理論天文学。特に星・惑星系形成論。
著書に『太陽系外の惑星に生命を探せ』（光文社、2002年）などがある。

〈第3部〉



おかだ きよたか
岡田 清孝

自然科学研究機構理事・副機構長、基礎生物学研究所所長。理学博士

1971年京都大学理学部卒業、75年京都大学大学院理学研究科博士課程退学。75年東京大学理学部助手、86年岡崎国立共同研究機構基礎生物学研究所助手、89年同助教授、95年京都大学大学院理学研究科教授を経て、2007年より自然科学研究機構副機構長、基礎生物学研究所所長。2010年より現職。
専門は植物分子遺伝学。特にモデル植物シロイヌナズナを用いた植物の発生学。現在では器官の形成を司る細胞間シグナル伝達の機構に関心をもつ。
著書に『植物の形づくり』（共立出版、2002年）、『植物の環境応答と形態形成のクロストーク』（シュプリンガー・フェアラーク東京、2004年）、『モデル植物の実験プロトコール』（秀潤社、2005年）（いずれも共編）などがある。

〈パネルディスカッション〉



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年東京大学大学院総合文化研究科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するとともに、東京大学大学院情報学環特任教授に就任し、第三次立花ゼミを開講。ジャーナリスト・評論家として多くの著作をもつ。

地球型惑星の頻度と ドレーク方程式

自然科学研究機構 国立天文台
たむら もとひで
田村 元秀

我々が住む天の川銀河には、太陽のような恒星が約2,000億個もあると考えられている。単純に考えると、そのような恒星の周りに地球のように生命を宿す（ハビタブルな）惑星は無数にあると思われる、すでに2000年以上も前のギリシャ時代から同じような考えがあった。しかし、これらはあくまで哲学的な思索の域を超えず、「世界」の数は0から無数までいろいろな説があった。

ドレーク方程式とは、我々の天の川銀河中で人類とコンタクトする可能性のある地球外文明の数を推測するために、1961年にアメリカのフランク・ドレイクによって考案された式である。簡略化すると、銀河系内で恒星が生まれる割合と、その周りに地球に似た惑星が何個あるかが分かっているれば、あとは、そこに生命があり、さらに知的生命に進化し、星間通信を行い、その文明がどれだけ継続するかの各々の割合を推定できればよい。もちろん、数学の方程式のような厳密なものではないが、思考を整理し、各段階の数字を考察するには有効である。

実は、20世紀後半から天文学の手法を用いて、このドレーク方程式の前半部分に『科学的に』答えることが可能になりつつある。とりわけ、太陽以外の恒星の周りに既に約700個もの惑星（系外惑星）が見つかり、2011年にはNASAのケプラー衛星の初期データが広く公開され、2,300個を超える新たな系外惑星候補が発見された。いっぽう、10年以上にわたって続けられてきたドップラー法による系外惑星探査の集大成とも言える報告も2011年になされ、この年は系外惑星研究において、1995年の最初の発見の年に次ぐ革命的な年となった。これらの中には多数の地球型惑星とハビタブルな惑星候補も含まれており、宇宙には生命を宿せる惑星は数多くあると言ってよいだろう。

本講演では、シンポジウムのテーマである「宇宙に仲間はいるか」の導入として、ドレーク方程式の解説と、最新の系外惑星探査の内容を紹介する。

Keywords

フランク・ドレーク：アメリカの天文学者。グリーンバンクの電波望遠鏡を用いて、世界初の SETI であるオズマ計画を実施した。

ハビタブル惑星：表面温度が、液体の水を維持しうる、つまり、蒸発や凍結しない環境になっていると考えられる惑星。また、そのような領域をハビタブル領域と呼ぶ。

ケプラー衛星：2009年にNASAが打ち上げた口径約1メートルの望遠鏡を搭載する系外惑星探査衛星。太陽に似た恒星のまわりのハビタブル地球型惑星の検出に最適化されている。15万個の星の明るさを連続的かつ同時にモニターしており、惑星が恒星の前を横切るときの明るさの変化などを捉える（トランジット法）。

ドップラー法：惑星が恒星のまわりを公転することによる恒星の速度ふらつきを高精度分光器で検出する。1995年の発見もこの手法による。

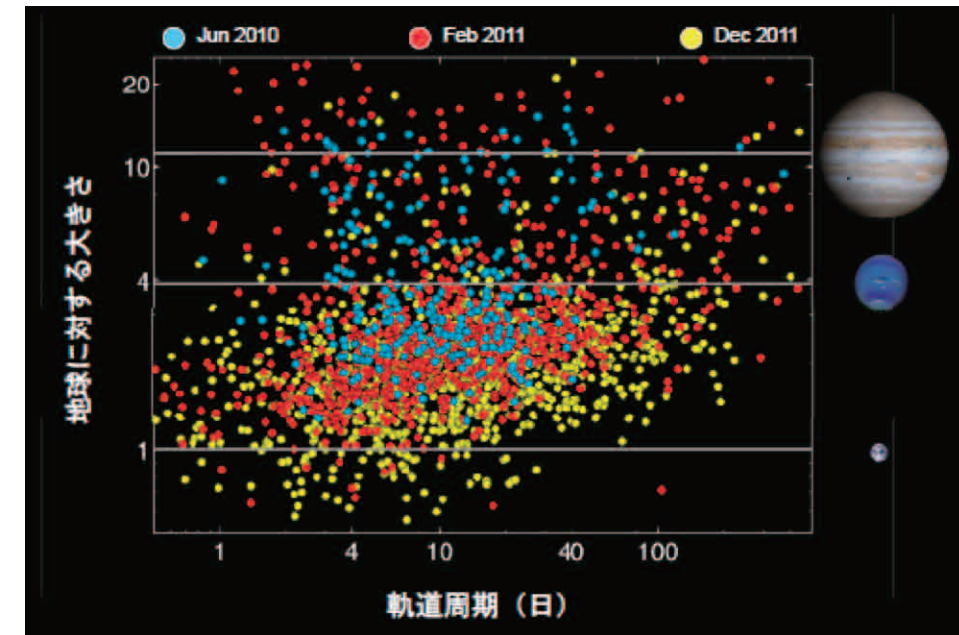


図1 ケプラー衛星が発見した2,326個の惑星候補の軌道周期と大きさの分布図。地球、海王星、木星のサイズが示してある。色分けは、これまでの3回の発表時点でのデータ（2010年6月、2011年2月、12月）。画像クレジット：NASA。

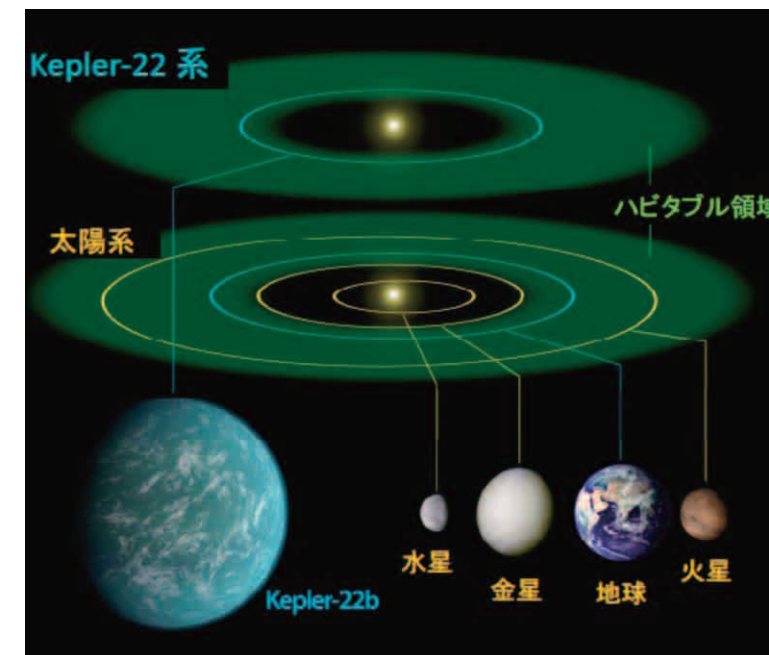


図2 ケプラー衛星が発見したKepler-22bは、太陽に似た恒星のまわりのハビタブル惑星候補である。ケプラー衛星が発見したハビタブル領域にある惑星の中では最も小さく、地球半径の2.4倍の大きさしかない。地球から600光年も離れた距離にあるため、今の技術では生命の有無について詳しく調べることは出来ない。比較のために示されている太陽系のハビタブル領域には地球と火星が含まれる。実際、過去には火星にも惑星表面に水があったと考えられている。画像クレジット：NASA。



自然科学研究機構国立天文台准教授、太陽系外惑星探査プロジェクト室長。理学博士。

1988年京都大学理学研究科博士課程修了。米国国立光学天文台研究員、NASA ジェット推進研究所研究員等を経て、1998年より現職。

専門は、太陽系外惑星科学、赤外線天文学、星・惑星形成、星間物質の観測的研究。1998年にダイワエイドリアン賞受賞。欧文査読出版論文は約240編で、著書に『宇宙は地球であふれている』（共著、技術評論社、2008年）、『宇宙画像2011』（ニュートン、2011年）、『宇宙に知的生命体は存在するのか』（共著、ウェッジ、2008年）などがある。

地球型惑星におけるバイオマーカー

東京大学大学院理学系研究科
ふじい ゆか
藤井 友香

惑星系が宇宙に普遍的な存在であることが分かりつつある今、太陽系外惑星上の生命への期待は高まるばかりである。しかし、たとえ生命がどこかに存在したとしても、私達はどうやってそれを知ることができるだろうか。太陽系外の惑星は、近いものでも光速で十年以上かかるような距離にあるので、直接行って調べる——例えば向こうの人が都会のビル群の中を闊歩しているところを見つける——ことは非現実的だ。そこで、天文学的な観測で惑星光を検出し、その中に生命の痕跡を探る方法が検討されてきている。

生命の存在の指標となりうる、原理的には観測可能なシグナルを、バイオマーカーと呼ぶ。地球上における生命の地球史を通じた進化を振り返ることで、進化段階に応じていくつかのバイオマーカーを考えることができる。例えば、生命活動の基本である代謝の副産物として生じる酸素などの気体分子や、植物に固有の光合成のしくみに起因する反射特性などである。また、生命の有り様とその周囲の環境は密接に影響を及ぼし合っているので、生命そのものの指標だけでなく、生命に適した表層環境があるかどうかを探ることも重要だ。特に、液体の水の存在は生命誕生の必要条件として有望視されており、系外惑星上の海の存在を調べる方法も考えられてきている。何をもって生命の発見というかは難しい問題なので、惑星の物理的・化学的特徴を多角的に調べることが必須である。

本講演では、上記のような様々なアプローチを紹介し、近い将来、系外地球型惑星上の生命を天文学的に検出する可能性について考えたい。

Keywords

地球型惑星：これまで水星・金星・地球・火星のように主に岩石からなる惑星が地球型惑星（あるいは岩石惑星）と呼ばれてきた。木星や土星のように主にガスからなる惑星上の生命は私たちには想像し難いため、生命探しのターゲットとなるのはまずは地球型惑星（岩石惑星）であろう。ただし、岩石惑星と思われる惑星が数多く見つかってくれば、その中でさらに地球と類似したものを探すことになるので、より狭い意味で、例えば温度や海が存在量などが地球と同程度であるようなものというような意味で、地球型惑星（あるいは地球類似惑星と言った方がより適切かもしれない）という言葉が使われるようになってきている。

バイオマーカー：惑星が示す測光的あるいは分光的特性のなかで生命の存在の指標になりうるものは、バイオマーカーと呼ばれている。系外惑星観測におけるバイオマーカーとしては、生物由来であることはもちろん、自然な非生物的発生源を考えにくいものが適している。地球の場合、酸素やメタン、二酸化炭素、亜酸化窒素などの大気分子は生物起源で生じているが、非生物的な発生源も存在するため、大気の平衡状態や地表の様子などをふまえて総合的に判断する必要がある。一方で、地球と同一の生命がいるとは当然限らないので、地球の生命を外挿して、他の生命活動の形態の可能性やそこからのバイオマーカーについての議論が始まっている。

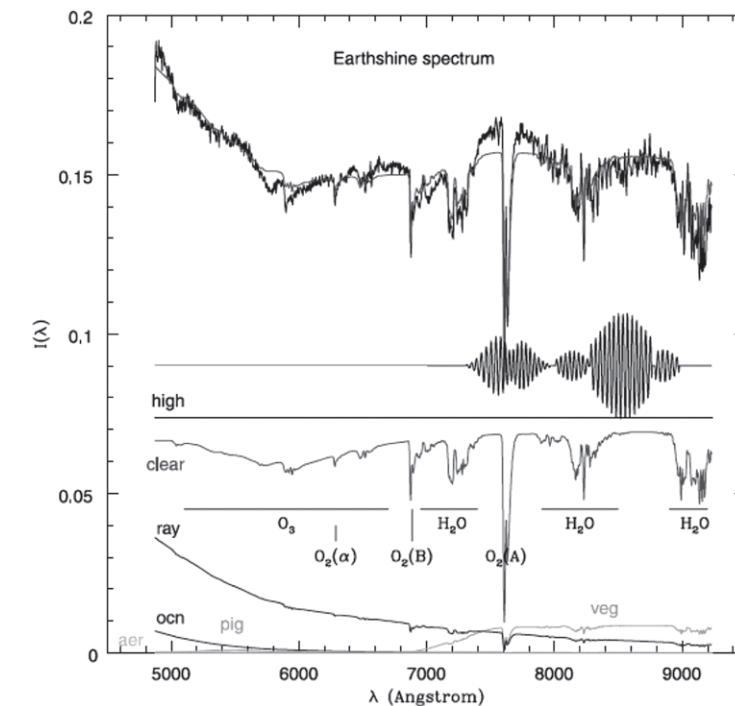


図1 地球照の観測で得られた地球の反射光のスペクトルとその解釈 (Woollf et al. 2002, ApJ, vol. 574, pp. 430)

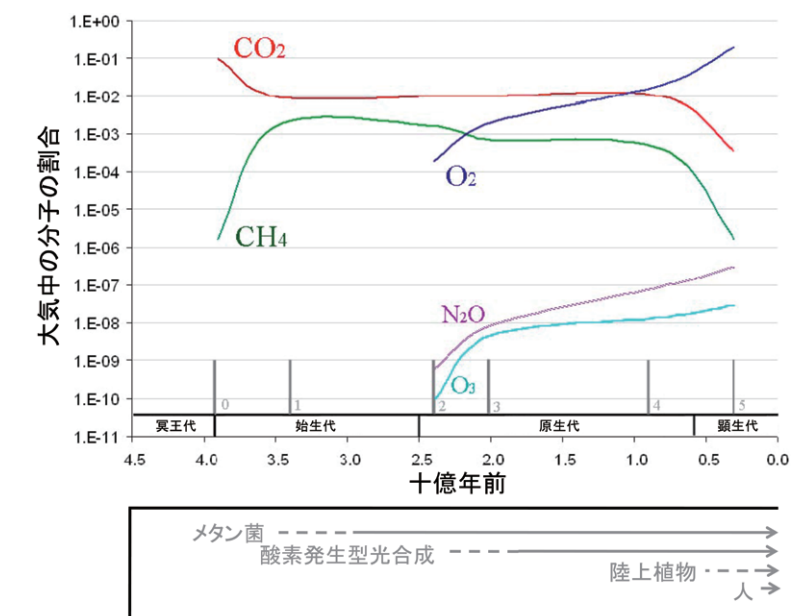


図2 地球史における生物の進化と関係する分子の変化のモデル (Kaltenegger et al. 2007, ApJ, vol. 658, pp. 598 を元に改変)



東京大学大学院理学系研究科・博士課程

2008年東京大学理学部物理学科卒業

現在、東京大学理学系研究科博士課程2年

知的文明探査 (SETI) と SKA 時代への期待

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) ひらばやし ひさし
平林 久

太陽系外に知的文明を探る試みは、その文明がだす電波を検出しようとして始まりました。この科学的な提案がされたのは宇宙通信時代を迎える頃の1959年のことです。知的文明を探る試みはSETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) と呼ばれます。最初のSETIは1960年におこなわれた電波望遠鏡によるオズマ計画で、このような電波SETIは以来すでに半世紀、さまざまなかたちで行われてきていますが、未だ知的信号は確認されていません。光パルスを受ける方法も実行されるようになっていきます。

オズマ計画以降も、電波望遠鏡の感度、スペクトル解析能力、視野など、探査に重要な能力が格段の進歩を遂げてきています。2010年代に入って現実味を帯びてきたのがSKA (Square Kilometer Array) と呼ばれる大きな国際電波望遠鏡計画です。SKAではSETIも科学目標として考えられています。世界の協力と競争の中から、いまでは南アフリカオーストラリアを中心地域として建設されることになっています。両国ではすでに、それぞれに特徴のある性能のテスト機 (Pathfinder) に予算をつけ製作を始め、数年内に観測を始めようとしています。その性能はすでにいままでの電波望遠鏡をしのぎ、SETI能力もそれだけ優れています。SKAの実現にはまだ問題があるかもしれませんが、2020年代に入って本格的なSKAが実現したとき、SETIが成功の時代を迎えるのでしょうか。

SETIは息の長い不確定要素の多い実験科学です。成功のためにはこの宇宙の理解が欠かせません。宇宙科学とSETIとは適正な努力の割合で進むことが必要だと思います。



図1 ドレークによってオズマ計画 (1960) に使用されたアメリカ国立電波天文台 (NRAO) の25m電波望遠鏡。



©SPDO/Swinburne Astronomy Productions



©SPDO/Swinburne Astronomy Productions



©SPDO/Swinburne Astronomy Productions

図2 SKAはたくさんのアンテナの配列により構成される。大きく3つの周波数帯ごとにちがうタイプのアンテナが使用されることになるだろう。



宇宙航空研究開発機構 名誉教授。理学博士。

1967年東京大学理学部物理学科卒業。1972年東京大学大学院博士課程修了。同年東京大学東京天文台助手、助教授。この間、野辺山宇宙電波観測所で観測的研究をおこなった。1989年より宇宙科学研究所助教授を経て教授。宇宙科学研究所では主に電波天文衛星「はるか」による国際宇宙空間VLBI (Space-VLBI) プロジェクトの科学主任、後にプロジェクト主任を務めた。2008年JAXA宇宙教育センター参与を経てセンター長。2010年より現職。

専門は電波天文学。特にVLBI、Space-VLBIによる研究。SETIにも関心をもつ。西暦1988年NASAグループ賞、2005年IACローレル賞受賞。著書に、星と生き物たちの宇宙 (集英社)、ETからのメッセージ (朝日出版)、宇宙人の条件 (PHP研究所) まじめな科学者たちの宇宙人探し (立風書房)、宇宙の謎とロマン (新日本出版)、宇宙に知的生命体は存在するのか (ウェッジ) などがある。

Keywords 地球外文明探査、SETI

地球上で脳はどうやって 進化したのか—散在神経系から 集中神経系への移行過程

京都大学 あがた きよかず
阿形 清和

知の進化がどのように行われてきたのか。ここでは、人間の立場から過去の＜脳進化＞を見下ろすのではなく、逆にタイムスリップしたかのように過去の脳ができた頃の脳から順に歴史を辿ってみたいと思う。人間中心的なものの見方を捨てることで、地球上でどのようにして脳が進化してきたかが見えてくる。

具体的には、現存する地球上の生き物の中から最も原型の脳に近い脳をもっていると考えられているプラナリアの脳の構造と機能を紹介することで、①＜脳とは何なのか＞を確認してもらい、②どのようにして脳は高度な情報処理をする機能を獲得していったのか、③どのようにして散在神経系から集中神経系を獲得したのかをイメージできるようにしたい。

それらの感覚を共有したところで、人類のコンピューター社会も実は生物の脳の進化と同じプロセスを辿っていることを知ってもらいたい。そして、これらの事実は、地球外に生き物が存在した場合に、似たようなプロセスで知を発達させている可能性が高いことを示唆している。そして、集

中神経系ができたことで、知的生命体を検出するためのシグナルが生まれているのではないかと、ということを紹介してみたい。



図1 プラナリアの神経系
(左) プラナリアの神経細胞そのものを染めたもの。頭部に脳神経細胞の塊が見える。
(右) プラナリアの神経軸索を染めたもの。腹側から見ると、はしご状に神経ネットワークが形成されているのがわかる。

Keywords
プラナリア：扁形動物門の左右相称動物。再生能力の高い生き物として有名。110年ほど前にノーベル賞学者のトーマス・ハント・モーガンが1/279の断片から1匹を再生したことが論文として報告されている。
散在神経系と集中神経系：刺胞動物門に分類される放射相称の体制をもつクラゲやヒドラには、脳のような神経細胞の塊は存在しないために散在神経系をもつ動物として分類される。一方、多くの左右相称動物は、神経細胞が頭部に集中した集中神経系（脳）を持つ。
神経幹細胞：幹細胞とは未分化状態で増殖できる細胞をさす。神経幹細胞からは、いろいろな種類の神経細胞やグリア細胞などが作られる。

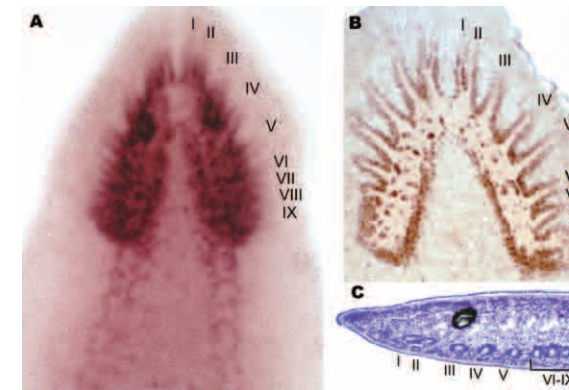


図2 プラナリアの脳
(A) プラナリアの脳を背側から観察したもの。逆U字型をした左右1対の脳がある。
(B) 脳の水平断面。濃く染まっているのが神経細胞部分（灰白質に相当する）。神経細胞に囲まれた内側は脳神経の神経軸索の束となっている（白質に相当する）。外側に9対の突起構造が存在する。
(C) プラナリアの脳の矢状断面。眼は3番目と4番目の突起の背側に位置している。

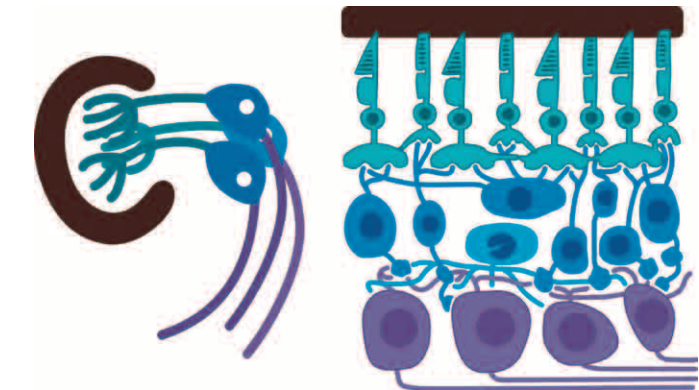
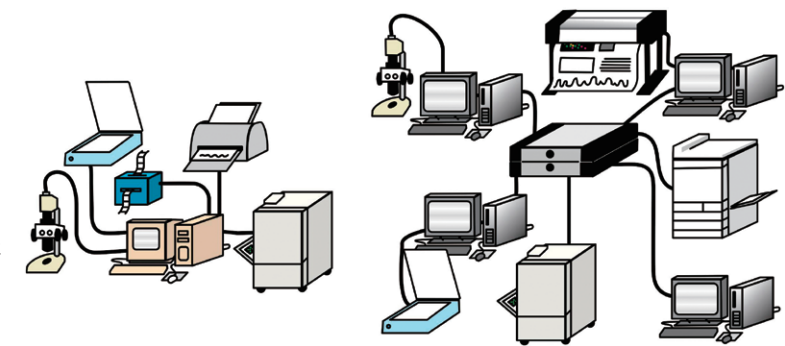


図3 眼の進化
(左) プラナリアの眼では、一種類の視神経が光を感じて、情報処理して、脳の視覚の中枢に軸索を伸ばして視覚の中枢に投射している。
(右) 一方、脊椎動物では、網膜には何種類もの異なる神経細胞があり、光を感じる視細胞、受容した光情報をプロセスする何種類かの介在神経、それらの情報を脳へ送る視神経というように分かれている。プラナリアでは一つの視神経が果たしていた機能を刺激を入力する神経細胞、情報処理する神経細胞、脳に情報を出力する神経細胞に分割していることがわかる。

図4 コンピューター・システムの進化
(左) 15年前の研究室でのコンピューターシステム。一番パフォーマンスの良いコンピューターにCCDカメラや各種の入力機器をつないでいたと共に、カラープリンター、ビクトログラフィーなどの各種出力装置をつないでいた。(誰かがCCDカメラでデータを取り込んでいると他の人はカラープリントしたくても終わるまで待つしかなかった)
(右) 現在の研究室でのコンピューターシステム。現在では、それぞれの入力機器には、それぞれのコンピューターがついており、それらの情報はサーバーに集められ、インターネットからとってきた情報なども加えて加工してから各種の機器に出力している。(誰かがCCDカメラ使っても支障なく他の機器を使える!!)



京都大学理学研究科生物物理学専攻教授

昭和29年生まれ、大阪生まれの東京育ち。高校生の時に再生研究の科学者になることを決意して、当時の再生研究の世界的権威であった岡田節人教授がいる京大・理学部に進学。
そのまま京大・生物物理学専攻の大学院へ進学し、理学博士号を取得。1983年より基礎生物学研究所の助手。1991年に新設の姫路工業大学・理学部・生命科学科の助教授に就任しプラナリアの再生研究を開始。2000年に岡山大学・理学部・教授。2002年より神戸に新設された理化学研究所、発生・再生センターのグループディレクター専任。2005年、古巣の京大・理学研究科・生物物理学教室の教授に就任、現在に至る。日本発生物学会会長。
日本動物学会副会長。『切っても切ってもプラナリア』（岩波書店）の著者として子供たちに人気あり。

生物のコミュニケーションの 発達進化について： 人類学的立場から

国立遺伝学研究所 さいとう なるや
齋藤 成也

生命現象でコミュニケーションというと、とても広い意味を持つが、本講演では、発達した脳を有する脊椎動物に議論を特化させる。もし高度な情報伝達系を持つことが生存に有利であるならば、魚類の中には言語的能力を持っているものがあるかもしれない。しかし多くの魚類には、世代を越えた学習が存在しない。それがほとんどの種で見られるのは鳥類と哺乳類である。われわれのゲノムには、子育てをするようになる遺伝子セットが存在するはずである。哺乳類の中で二足歩行をする種類には、潜在的に前肢の動きを情報伝達的手段にすることが可能になった。ダーウィンは手の指の動きと頭の顎の動きに相関があることをすでに気づいていた。大脳皮質でこれらの運動を制御する異なる領域間に、なんらかのつながりが言語の誕生以前から存在していた可能性がある。二足歩行を時々するいくつかの哺乳類の中で、前肢の微妙な動きを同種内のある種のコミュニケーションに用いている可能性があるだろう。高度に発達した脳神経系は言語能力に必須だから、哺乳類の中でも脳を発達させた霊長類の中で特別に大脳が大きくなったヒトだけが言語を使うようになったのだろう。霊長類の大多数は森林の木の上に住んでいる。このためか、霊長類では立体視能力が発達している。このような高度な視覚能力が人間の祖先にも伝えられたからこそ、手話が使われるのである。手話は、チンパンジーやゴリラに部分的に教えることができたという研究からも推察されるように、手、および表情の変化を使った同種他個体との意思疎通は、霊長類でかなり広く行なわれているようだ。

本講演では、最後に言語遺伝子と言われる FOXP2 の進化について考察する。言語障害を多数有する家系の研究から発見されたこの遺伝子については多くの研究がなされているが、まだ言語との関連をしめす決定的な証拠は出てきていない。

Keywords

言語：現在のところ、人間だけが持つとされるコミュニケーション能力。単語（ある意味に対応するシンボル）を組み合わせて意味のある文章を作り上げる文法を有している。言語には音声言語だけでなく、手話のような非音声言語もある。

FOXP2：マウスとヒトで2001年にほぼ同時に発見された遺伝子。フォークヘッドと呼ばれるDNA結合部分を持つ転写因子（遺伝子の発現を調節するタンパク質）であるFOX遺伝子族の中のFOXPサブファミリーに属する。FOXPには1～4の4種類があり、脊椎動物の共通祖先で起きた2回のゲノム重複で生じたと考えられている。FOXP2は哺乳類全体でアミノ酸配列が高度に保存されており、本来の機能は言語能力に特化しているわけではないので、これを言語遺伝子と呼ぶのには問題がある。

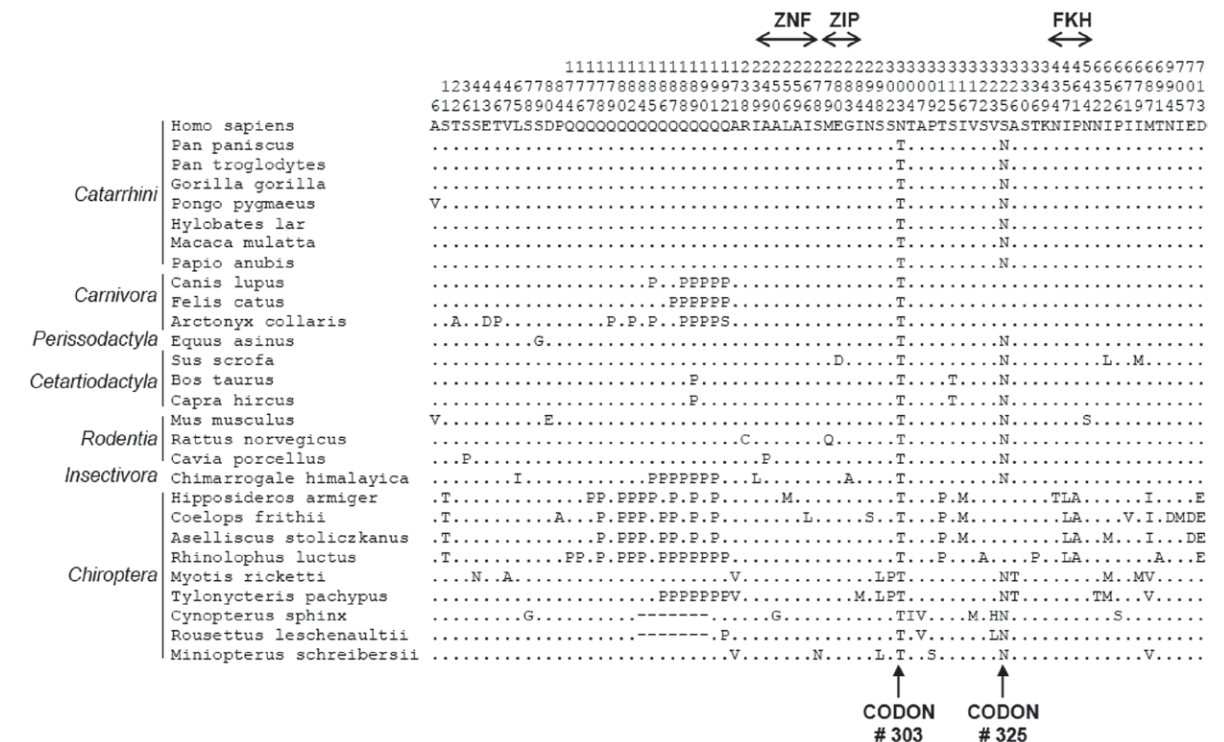


図1 FOXP2 タンパク質のアミノ酸配列のうちで、哺乳類中変化がある部分だけを取り出して並べたもの。303番目のアミノ酸 (codon) はヒトでは他の多くの哺乳類とは異なっている。325番目のアミノ酸は、多くの哺乳類ではN (アスパラギン) になっているが、ヒト、食肉目、コウモリの一部ではS (セリン) となっている。

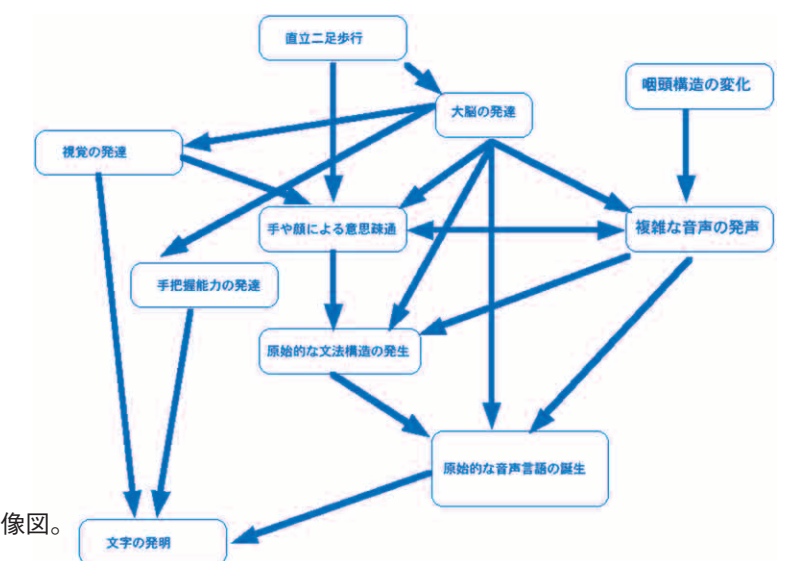


図2 言語を生み出した相関過程の想像図。
斎藤成也（2004）より。



国立遺伝学研究所集団遺伝研究部門教授。Ph.D.

1979年東京大学理学部卒業。テキサス大学ヒューストン校大学院修了。東京大学理学部助手、国立遺伝学研究所助教授を経て2002年から現職。総合研究大学院大学と東京大学の教授を併任。日本学術会議会員。専門は進化学。日本遺伝学会奨励賞、木原記念財団学術賞を受賞。著書に『ダーウィン入門』、『自然淘汰論から中立進化論へ』、『ゲノム進化学入門』、『DNAから見た日本人』など。

知性と環境 ～感覚・知覚の 「シェアド・リアリティ」をめぐって

カリフォルニア工科大学 しもじょう しんすけ
下條 信輔

宇宙に知的生命体はいるか。この問いに答えることは、「私たちの知性は偶然的か」という問いに答えることでもある。認知・神経科学の立場から、この問いを掘り下げてみたい。

ここで「知性」の定義が問題になるが、私たちにとって了解可能な知性、つまり私たちとコミュニケーションが可能なもの以外は、考えても意味がない。では了解可能な「知性」の、前提条件とはなにか。

社会心理学に「リアリティの共有（シェアド・リアリティ）」という概念がある。感覚・知覚と行動を基盤とするリアリティの共有こそが、コミュニケーション可能性の前提であり、したがって了解可能な知性の前提となる。

この意味の知性の成り立ちを理解するためには、感覚・知覚の成り立ちを理解する必要がある。感覚・知覚は一面で感覚器と神経機構の問題だが、他面では環境へのチューニングの問題でもある。たとえば両眼立体視は、遮蔽や陰影、透明など光学法則、両眼の解剖学的構造などを含めた「自然制約条件」に依存している。計算論的には、知覚は逆光学の問題を解くことだ。それ自体は「不良設定問題」だが、こうした自然制約条件を計算拘束条件とすることで、解が一意に定まる。

両眼視機能も（他の知覚諸機能と同じく）進化的適応の結果だ。その証拠に鳥と哺乳類では、進化の道筋が全く異なり、その結果神経回路も大きく違うにもかかわらず、同じ両眼立体視機能が達成されている。この点では運動系も同じで、たとえば鳥とコウモリでは進化の道筋が異なるのに、質的には同じ飛行機能が達成されている。またクジラやイルカなどの哺乳類と魚類の水泳機能についても、同様だ。

物理的環境が似ていて、生命の適応の働きが似ているなら、自然制約条件も似てくる。そうなれば、まったく別の進化の道筋を辿っても、「リアリティの共有」をある程度望むことができる。だとすれば、「了解可能な知性」が存在する可能性もゼロとは言えない。

Keywords

リアリティの共有（シェアド・リアリティ）：社会心理学の用語で、コミュニケーションや共感性の前提となる世界（観）の共有を指す。価値観や差別などの前提となる文化的・社会的な世界の共有基盤を指すことが多いが、より根本的には、感覚・知覚の共有を含めて考える。たとえば、色覚がまったく違う個体同士では「色彩の美しさ」をめぐりコミュニケーションは成り立たない。また身体の形態があまりに違うと、痛みを苦しんでいても、共感的な痛みは感じにくいだろう。

不良設定問題：計算論の用語。変数間の法則性が関数で記述できたとしても、未知数の数が数式の数より多いと、一般に解が一意に定まらない。たとえば、 $X+Y=1$ を満たす（ X 、 Y ）のペアは無数にある。「感覚入力から、解（＝外界の事物の構造や性質）が一意に定まらない」という意味で、知覚は一般に不良設定問題である。

自然制約条件（計算制約条件）：網膜入力が光学法則で因果的に定まるとすると、脳が直面する知覚課題は、そこから「外界の事物の構造や性質を復元すること」であり、逆光学問題として定式化できる。上で述べた通り、この知覚＝逆光学問題は不良設定問題だ。ここで「物体の表面は局所的にはなめらか」「物体は局所的には剛体」「遮蔽する面は遮蔽される面より近くにある」といった、視覚入力にとって統計学的に正しい法則を自然制約条件と呼ぶ。不良設定問題としての逆光学問題は、こうした自然制約条件を計算拘束条件として取り込むことで、一意に解ける（つまり、曖昧性のない知覚が達成される）。



図1 運動からの構造復元
二重透明シリンダーの真横からのスナップショット。この像自体は三次元的に曖昧性を持つが、ひとたび回転すると、同心軸まわりを回転する二重透明シリンダーとして、知覚が確定する。「剛体性」の制約条件を、視知覚系が「計算に入れた」おかげと考えられる。

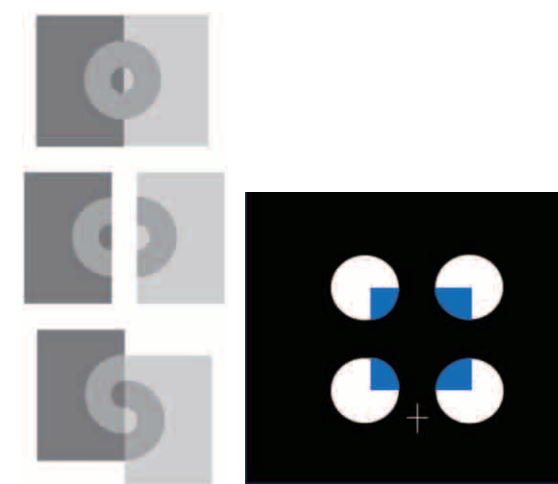


図2 面の知覚
（左）コフカの輪。内側の輪は一律の灰色なのに（上段）、分割すると異なる明るさに見え（中段）、ずらすと透明に知覚される（下段）。グルーピングや輪郭のスムーズなつながり、などの制約条件が働いている。
（右）色充填。同様の制約条件から、中央の青い部分が半透明の視覚形の面を形成し、白い四つのディスクの上に載っているように見える。

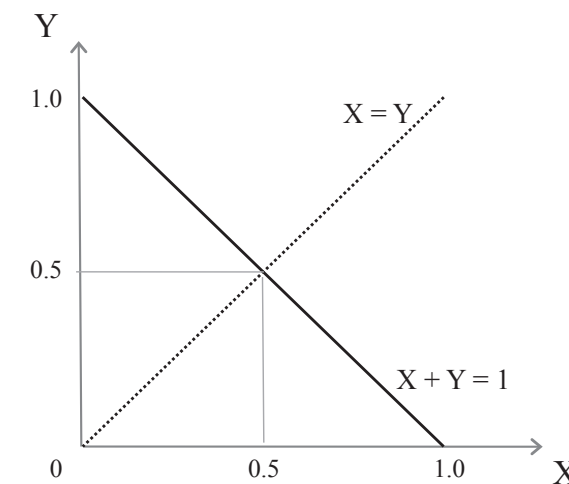


図3 不良設定問題と、計算拘束条件による解：もっとも簡単なケース
 X と Y というふたつの未知数があるとき、それだけでは X と Y の定量的な関係はわかって、一意に値を決めることはできない。ここで仮に、 $X=Y$ という新たな計算拘束条件が加わると、（ X,Y ）のペアはただひとつに定まる（0.5, 0.5）。感覚入力（たとえば網膜入力）の曖昧性解決にも、似た原理が働いている。



カリフォルニア工科大学生物学部／計算神経系教授。Ph.D.(MIT '85)

1978年 東京大学文学部心理学科卒業。1985年 マサチューセッツ工科大学（MIT）大学院修了、1986年 東京大学人文科学科大学院博士課程修了。
1986年 スミス・ケトルウェル視覚科学研究所研究員、1989年 東京大学総合文化研究科助教授などを経て、1998年より現職。
専門は知覚心理学、視覚科学、認知神経科学。現在は特に、情動と意思決定、感覚間統合と脳の可塑性などに関心を持つ。
1999年 サントリー学芸賞、2004年 日本神経科学会時実記念賞、2008年 日本認知科学会独創賞、2009年 中山賞大賞受賞。
著書に「サブリミナル・マインド」(中公新書)、「＜意識＞とは何だろうか」(講談社新書) 他。
アサヒ・ウェッブ・ロンザ (科学・環境欄) レギュラー執筆者。

社会知： 脳機能イメージング手法を用いた ヒトの社会能力の解明

生理学研究所 さだとう のりひろ
定藤 規弘

宇宙に仲間がいるのか？と問う時、ヒトの仲間たりうる要件を調べる必要があります。コミュニケーションが取れて、お互いのために働ける（利他行為）、ということをその要件としてみましょう。これらの能力（社会能力）がどのように得られていくのかは、子どもの発達過程を観察することによって、手がかりが得られます。

ヒトはいかにしてヒトの仲間となるのか？この発達社会心理学的な問いは、急激な少子化、学級崩壊、引きこもり多発などから、大きな社会的関心を集めています。近年、機能的磁気共鳴画像（機能的MRI）による非侵襲的脳機能画像の発達が、ヒト脳の神経活動を観測することを可能にし、社会能力を含む高次脳機能の解明には欠かせない手段となっています。

本講演では、機能的MRIを用いて社会能力の発達過程を解明する試みについてお話しします。ヒトのコミュニケーションは、他者と自己のアナロジーを基礎としていること、視線は、他者とのコミュニケーションに重要な役割を果たすこと、そして、人間の利他行為において、“褒め”が重要であることが明らかになりました。“褒め”は、基本的報酬や金銭報酬と同様に報酬として働き、他者視

点から自己への評価を経由して利他行為を促進するのです。最後に進化の結果としてのヒトの社会知の基盤が、自他の相同性と注意の共有を通じた他者理解にあることについて論じます。

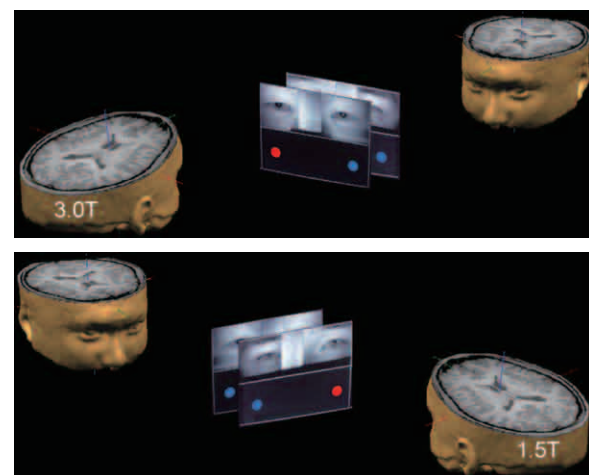


図1 「共有」の神経基盤を捉える：2台の機能的MRIによる同時計測
2台のMRI装置を同期させて動かしながら、装置に入っているヒトの視線をビデオカメラで計測した。パートナーへその信号を送ることによって、MRIの中でお互いが見合っている状態をつくる事が出来る。この状態から、画面下に見られる丸印への注意共有を行う課題を行う。

Keywords

社会能力：他人の性質や意図を正確に認知するための情報処理過程と定義され、その発達、他者との関係において子どもの示す行動パターン、感情、態度ならびに概念と、それらの経時的な変化として観察される。その神経基盤および発達期における獲得過程については不明の点が多い。

機能的MRI：MRI (magnetic resonance imaging) を用いて脳機能を可視化する一方法。MRIは、水素原子の核磁気共鳴現象を利用した画像法である。生体内に豊富にある水の水素原子は均一静磁場下に置くと、特定の周波数のラジオ波を吸収（共鳴）、放出（緩和）する（核磁気共鳴現象）。この現象は静磁場と平行にコイルをおくことにより徐々に減衰する交流電流として検出でき、この交流電流は磁気共鳴（MR）信号と呼ばれる。このMR信号に埋め込まれた生体の様々な情報を画像化する方法を、MRIという。生体情報のうち、局所脳血流は、局所脳活動と並行して変動することが知られている。機能的MRIは、脳血流変化に敏感な撮影法を用いて、局所脳血流の変動、ひいては脳機能を可視化する。

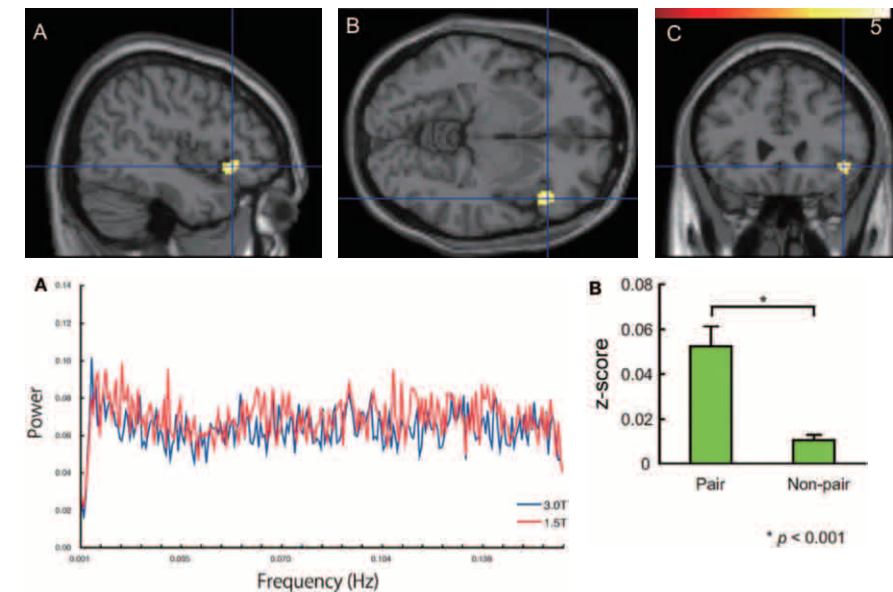


図2 アイコンタクト時の神経活動“共鳴”
右下前頭葉に神経活動の相関が見られ、見つめ合いによる心理的共通基盤を表すと考えられた。

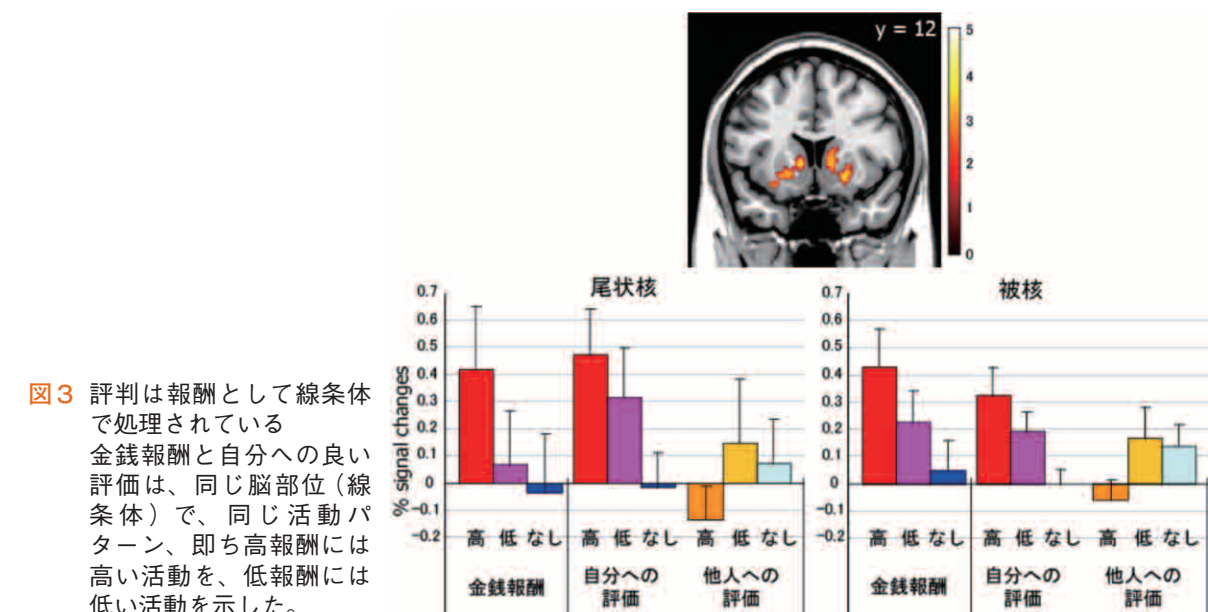


図3 評判は報酬として線条体で処理されている
金銭報酬と自分への良い評価は、同じ脳部位（線条体）で、同じ活動パターン、即ち高報酬には高い活動を、低報酬には低い活動を示した。



自然科学研究機構・生理学研究所・大脳皮質機能研究系心理生理学研究部門・教授

1983年3月 京都大学医学部医学科卒業

1994年3月 京都大学大学院修了医学博士

1995年7月 福井医科大学高エネルギー医学研究センター生体イメージング研究部門講師

1998年4月 同上助教授

1999年1月 岡崎国立共同研究機構生理学研究所
大脳皮質機能研究系心理生理学研究部門 教授

2004年4月より現職（所属機関名称変更による）

専門は神経科学 特に画像診断。現在は社会能力の発達過程に関心をもつ。

1998年第36回日本核医学会賞受賞。

地球外知的生命体は自身の 脳の解読と制御はできるのか？

国際電気通信基礎技術研究所 脳情報通信総合研究所
かわと 川人 みつ お 光男

ブレインマシン・インタフェース (BMI) は、脳が持っている感覚情報処理、中枢の意思決定、運動制御などの機能について、コンピュータを含む人工的な電気回路で補綴、再建、治療、増進するもので、人工内耳や脳深部刺激などすでに実用化されている物から、人工網膜や運動・コミュニケーション能力の補償、治療など実用化の一手手前のものまであります。BMIの研究開発はここ10年で大きく発展しました。

ブレインマシン・インタフェースを革新技術として考えますと、脳情報から必要な情報を解読するデコーディング技術、大量の脳活動信号を正確にまた間断なく推定する脳活動計測・転送・データベース技術、また脳内の神経符号を実験的に操作するデコーディッドニューロフィードバック技術などに支えられています。

最近我々は、ヒト脳活動の非侵襲計測手法である磁気共鳴画像法 (fMRI) のデータから脳内の情報を解読し、それを短い時間遅れで脳に報酬として帰還し、結果として特定の空間的脳活動パターンを誘起する、DecNef (decoded fMRI neurofeedback) 法を開発することに成功しました。このDecNef法を用いて、ヒトの脳皮質初期視覚野に特定の空間的な活動パターンを引き起こして、特定の視覚刺激に対してだけ知覚能力が向上する、いわゆる視覚知覚学習を導きました。つまり私達は、自身の脳の解読と制御の糸口に辿り着きました。地球外知的生命体はこのような技術を使い、コミュニケーションを図ると考えられます。

Keywords
BMI (ブレインマシン・インタフェース) : 脳の活動から情報を読み出し、それを脳にフィードバックするための方法論。装置で計測した脳活動のデータに基づいてロボットなど機械を制御し、手足などによる操作を不要としているのが特徴。外科手術で脳内に電極を埋め込む侵襲型と、頭皮にセンサーを接触させる非侵襲型がある。
DecNef (decoded fMRI neurofeedback) 法 : 機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を用いた新たなBMI技術。脳活動から欲しい情報を取り出し、それをいろんな方法でユーザに帰すことで、薬などを使わなくても脳の状態を望ましい方向に導いてくれる方法。



図1 新型二足歩行ロボット、CB-i (JST-ICORP)

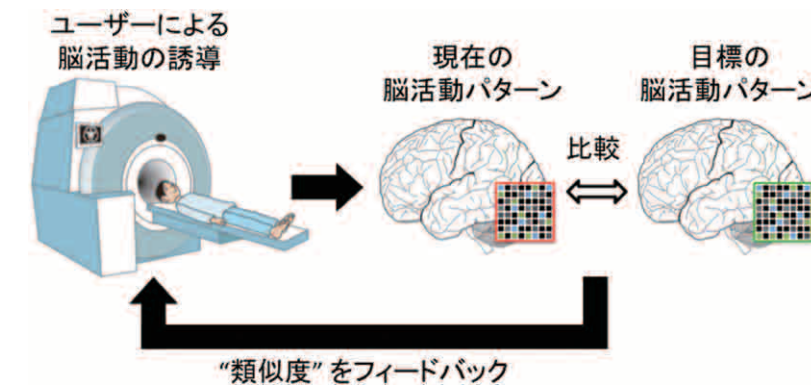


図2 DecNefの仕組み



図3 DecNefで自分の脳を自在に制御する



国際電気通信基礎技術研究所 脳情報通信総合研究所・所長、ATRフェロー

1976年東大理学部物理卒業。1981年阪大大学院博士課程修了。同年助手、1987年同講師。1988年(株)ATRに移る。2003年よりATR脳情報研究所所長、2004年ATRフェロー、IEICEフェロー。2010年よりATR脳情報通信総合研究所所長。2008年より科学技術振興機構さきがけ領域総括、文部科学省脳科学研究戦略推進プログラム課題A中核拠点代表研究者を兼任、現在に至る。米澤賞、大阪科学賞、科学技術庁長官賞、塚原賞、時実賞、志田林三郎賞、朝日賞、APNNA賞、Gabor賞、「情報通信月間」総務大臣表彰、大川賞などを受賞。著書に「脳の仕組み」、「脳の計算理論」、「脳の情報を読み解く」等。

パネルディスカッション 地球外知的生命探査における 天文学・生物学・脳科学の役割

	立花 隆
自然科学研究機構	佐藤 勝彦
自然科学研究機構	岡田 泰伸
兵庫県立西はりま天文台	鳴沢 真也
国立遺伝学研究所	斎藤 成也
カリフォルニア工科大学	下條 信輔
国際電気通信基礎技術研究所 脳情報通信総合研究所	川人 光男



なるさわ しんや
鳴沢 真也

兵庫県立西はりま天文台主任研究員。学芸員

1993年福島大学大学院教育学研究科を修了。教育学修士。

1993年から宮城県立高校の理科教諭。

1995年より西はりま天文台勤務。

専門はSETI (地球外知的生探査) と天体物理学。

全国同時SETI (2009年) 及び世界合同SETI (2010年) のプロジェクト・リーダー。

著書に、

『宇宙から来た72秒のシグナル』(ベストセラーズ、2009年)

『望遠鏡でさがす宇宙人』(旬報社、2009年)

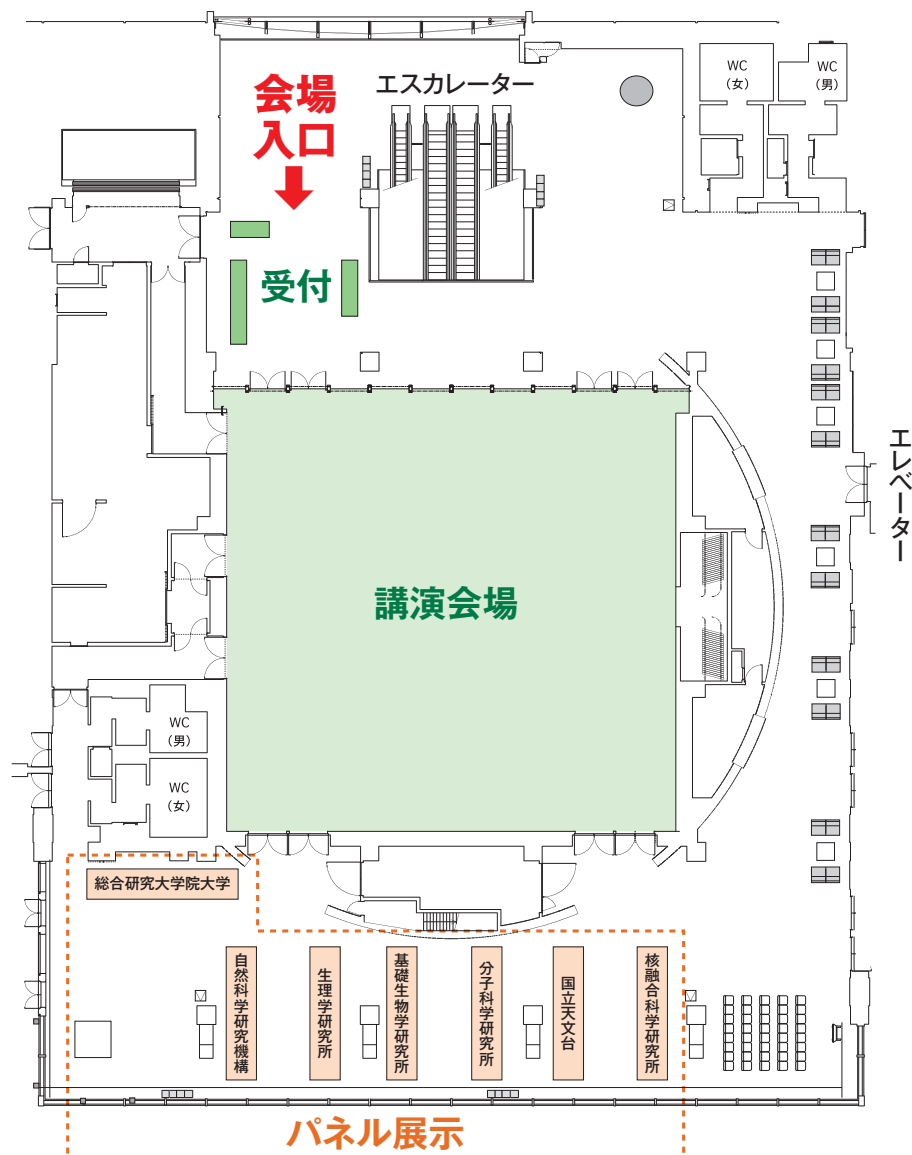
『137億光年のヒトミ』(草炎社、2006年)

などがある。

閉会挨拶

自然科学研究機構、国立天文台 み やま しょうけん
観山 正見

■ 展示場案内



写真等の撮影について

当イベントで撮影した写真・映像・音声等は当機構のホームページ上又はプレス発表、広報誌等に公表する場合がありますので、予めご了承下さい。

大学共同利用機関法人自然科学研究機構のホームページはこちら

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