

多彩な地球の生命

宇宙に仲間はいるか

学術総合センター
(一橋記念講堂)

東京都千代田区一ツ橋2-1-2

平成22年10月10日(日)
10:00▶17:35



<http://www.nins.jp/>
「お問い合わせ先」 株式会社クバロ
〒102-0072 東京都千代田区麹町3-11-15 UEDAとIwG
TEL: 03-3238-1689 FAX: 03-3238-1837
e-mail: symposium@kuba.jp

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 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。

極限生物にみる生命のたくましさ

広島大学 ながぬま 長沼 たけし 毅

私は「生命の原理」を研究というか考究しています。そのために、生命の多様性や可能性（限界）を探るため、砂漠、深海、地底、南極や北極といった「地の果て」の極限環境に住む生物を調べてきました。まさかこんな場所にいないだろうという過酷な環境にも生物、特に微生物がいます。なかでも驚いたのは地底です。地下の奥深くは酸素（分子状酸素 O_2 ）がない酸欠状態です。生命誕生時の地球も酸欠だったと考えられているので、地底の微生物を調べれば、地球生命の起源について考究できるのではないかと考えています。

2007～2008年に地球科学の祭典ともいえる国際極年（IPY）があり、世界が手をつないで南極と北極の一斉調査をしました。このIPYの中核研究の一つに「氷床下湖」の調査がありました。南極の大陸氷河（氷床）の下にまだ完全には凍っていない液体の湖があり、そのひとつであるボストーク湖への掘削が進められました。少なくとも1000万年以上外界から隔離されてきた湖で、生物はどんな進化をたどったのでしょうか。掘削孔が貫通するまで、あともう少しです。私は来月から第52次南極地域観測隊（JARE52）で南極に行きますが、南極での滞在中に貫通の報に接するかもしれません。

しかし、南極の氷床下湖が最終ゴールではありません。地球以外の天体にも「氷の下的大海」があるといわれているのです。たとえば木星の衛星エウロパやガニメデがその候補です。南極の氷床下湖に生物が見つければ、エウロパやガニメデの氷下海にも生物が住んでいると考えられるのではないのでしょうか。私はこれまで極限環境に住む生物のたくましさを実感してきました。これだけたくましいのだから、地球外の過酷な環境にも生物は存在できるのではないかと。そして、自分のなかにある生命力も信じていいのではないかと考えています。

Keywords

極限環境：私たちが「ふつうの環境」と考えるより過酷な条件下にある環境のこと。高温高压の深海熱水噴出孔（海底火山）や深部地下、極寒にして極乾の南極砂漠と炎熱砂漠、強酸性泉と強アルカリ湖に塩湖など。さらに、タイムカプセルのように長期にわたって生物が閉じ込められている琥珀や岩塩、永久凍土なども時間的な極限環境であると考えられる。

国際極年：International Polar Year (IPY)。南極や北極の総合調査を一国で行うのは困難なので、各国が連携して行う国際科学プロジェクト。第1回は1882～83年、第2回は1932～33年、実質的な第3回は国際地球観測年（IGY）として1957～58年に実施され、最近ではIPY 2007-2008が行われた。

氷床下湖：氷床下の地熱のため、そして、氷床下の高圧で氷点下がるため、氷床の底に液体の水が存在しえる。この水が大量にたまった部分を氷床下湖といい、南極では160個くらいあると考えられている。このうち最大のものはボストーク湖といい、琵琶湖の面積の約20倍もある。最低気温記録－89.2℃を観測したボストーク基地（ロシア）の約4000 m直下にあるボストーク湖は1970年代から掘削が行われているが、まだ貫通したことはない。



図1 北極スピッツベルゲン島にて微生物試料を採集するところ。人為的コンタミネーション（汚染）を防ぐため防護服を着ている。

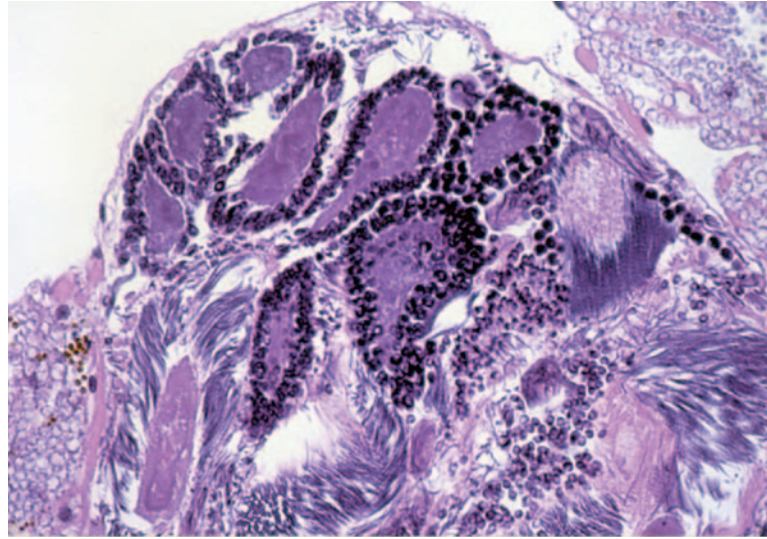


図2 口も胃腸も肛門もない「謎の深海生物」チューブワームの体内に共生するイオウ酸化細菌。色の濃い粒々が環状に並んでいるのがそれである。チューブワームの細胞の表層直下に並んでいるのを輪切りにしたので、そう見える。この写真の横幅が約0.8 mm。

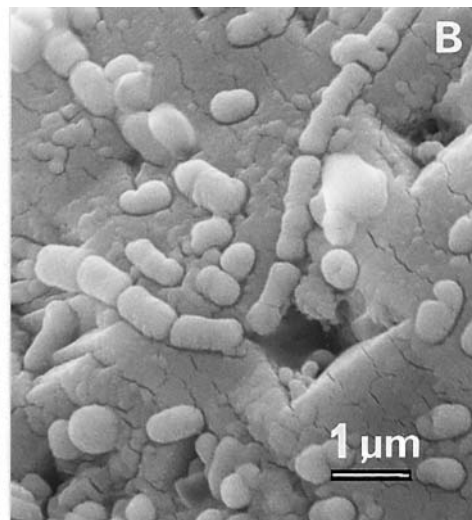
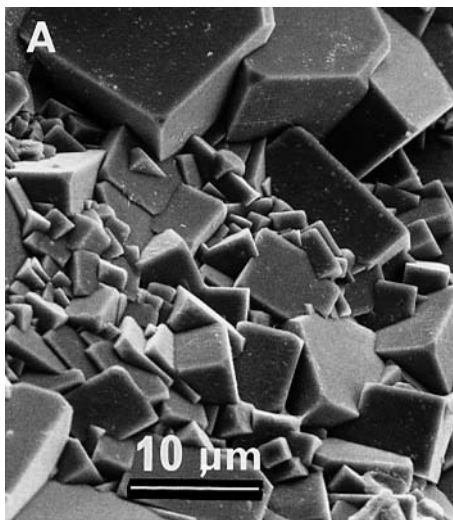


図3 深海熱水噴出孔に沈殿した黄鉄鉱（パイライト、A）とその表面に付着している微生物（B）。この微生物は鉄あるいはイオウの酸化によりエネルギーを獲得すると考えられる。



広島大学大学院生物圏科学研究科（生物生産学部）准教授。理学博士。

1984年筑波大学第二学群生物学類卒業。89年筑波大学大学院生物科学研究科博士課程修了。同年海洋科学技術センター（現・独立行政法人海洋研究開発機構）研究員、94年広島大学生物生産学部助教授を経て、2002年より現職。

専門は微生物生態学。特に極限環境に住む微生物の生態と進化。現在は地球外生命の探査に関心をもつ。

1995年日本海洋学会岡田賞受賞、2009年マリンバイオテクノロジー学会岡見賞受賞。著書に『深海生物学への招待』（NHK出版、1996）、『生命の星・エウロパ』（NHK出版、2003）、『宇宙がよろこぶ生命論』（筑摩書房、2009）、『辺境生物探訪記 生命の本質を求めて』（藤崎慎吾との共著、2010）などがある。

光合成のダイナミズム

自然科学研究機構基礎生物学研究所

みながわ じゅん
皆川 純

地球という場で誕生した生命は、太陽光という言葉が無尽蔵のエネルギーを利用すべく進化を遂げました。自ら光合成を行うか否かの違いはあっても、現在でも全ての生命は光合成にそのエネルギーを依存しています。光合成反応では、まず光エネルギーが電気化学エネルギーへと変換され、その電気化学エネルギーによって二酸化炭素が糖として固定されます。前半のエネルギー変換は光を集める「アンテナ」と、集めた光のエネルギーを変換する「反応中心」によって進みます。反応中心の効率が素晴らしく高いことはよく知られていますが、その構造基盤は原始的な光合成微生物の段階ですでに完成されています。現在の地球上で繁茂する海洋の植物プランクトンや陸上の高等植物に至ってもほぼ同じものが用いられているのです。一方、光のアンテナは多様です。地球上にはさまざまな地形、さまざまな気候が見られますが、それぞれの光環境にアンテナを適応させることのできた生物だけが、そのニッチで生き残ることができたためです。さらに、自転公転をする地球上においては、同じ地点であっても、光環境は一時として同じことはありません。時刻、天気等で刻々と状況は変わります。そこで光合成生物は、それぞれの持てるアンテナを自在に組み換えまでして最適化し、少しでも有利な光合成を行おうとします。本シンポジウムでは、最近明らかになってきた瞬時にアンテナを操る仕組みを通して、植物がいかにたくみに光を集めているかをご紹介します。

Keywords

光化学系：光を集め、そのエネルギーを電気化学エネルギーに変換し電子伝達を引き起こす色素タンパク質複合体の複合体（超複合体）。通常、酸素発生型光合成では、2つの光化学系（光化学系IIとI）を直列に並べた電子伝達系が機能する。

集光アンテナ：光合成において、光の「アンテナ」として反応中心のためにエネルギーを集める色素タンパク質複合体。シアノバクテリアや紅藻の光化学系IIの集光アンテナであるフィコビリן色素を含んだフィコビリソーム、高等植物や緑藻の光化学系Iおよび光化学系IIの集光アンテナであるクロロフィルを含んだLHCなどがある。

反応中心：集光性のクロロフィルではない、スペシャルペアと呼ばれる一対のクロロフィルを含み、ここに光エネルギーが渡されることで、電子移動が開始する（電荷分離）。分離した正負の電荷はそれぞれ生体膜の内外で安定化される。

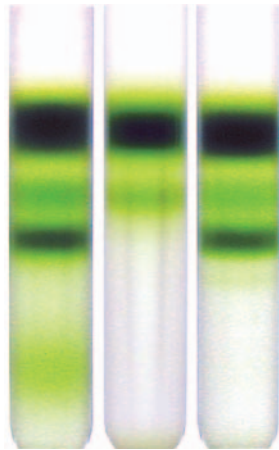


図1 光化学系色素タンパク質超複合体の超遠心分離。
青色を照射した野生株の植物細胞では、'super-supercomplex' (分子量150万；一番下の帯) が見られる(左)。
'super-supercomplex' を形成できない変異株 (中、右)。

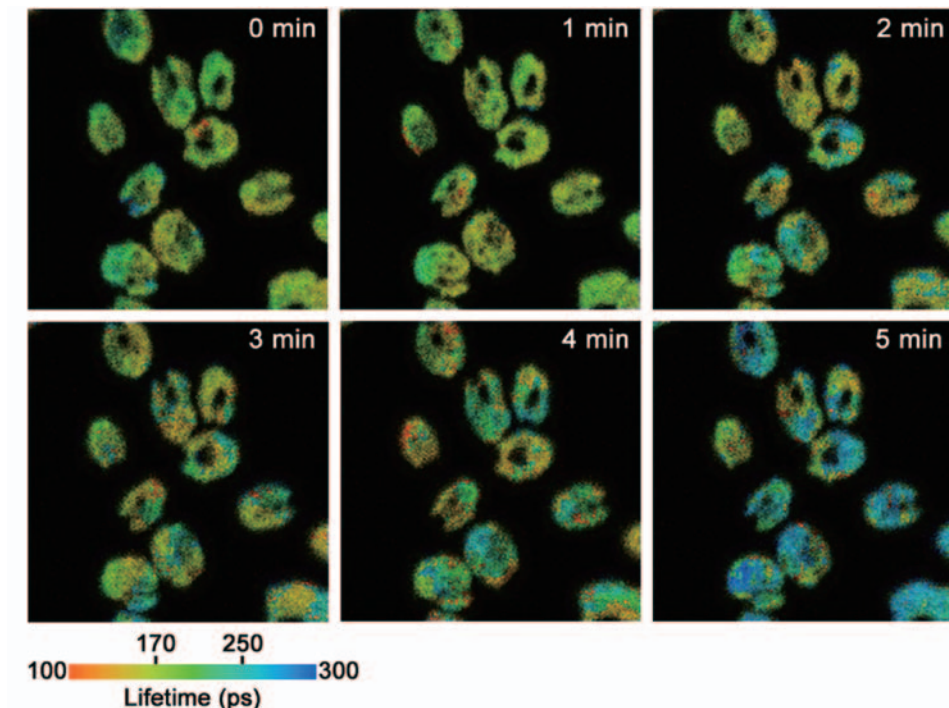


図2 環境光を変えたことでクロロフィル蛍光の寿命が変わる。
あらかじめ赤外光下においた緑藻クラミドモナスに青色光を与え、クロロフィル蛍光の寿命変化を共焦点レーザー顕微鏡を用いて観察した。当初、ほとんどのクロロフィルの寿命は170 ps (黄色) であったが5分後には250 ps (青色) に変化した。これは集光アンテナが反応中心から切り離されたために起きる。



自然科学研究機構基礎生物学研究所環境光生物学研究部門教授。博士 (薬学)。

1987年東京大学薬学部卒業。92年東京大学大学院薬学系研究科博士課程 (生命薬学専攻) 修了。92年イリノイ大学研究員、95年理化学研究所研究員、2001年北海道大学低温科学研究所助教授を経て、2010年より現職。

専門は植物生理学。特に光合成。現在は微細藻類の集光システムが周辺環境に順化適応する仕組みを、物質科学的に解き明かすことを目指している。

RNAワールド：仮説と検証

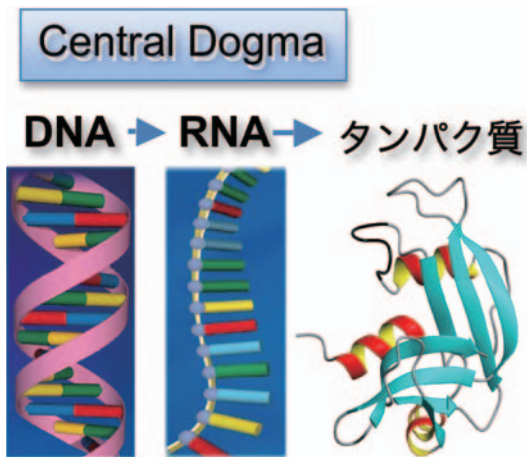
東京大学 すが 菅 ひろあき 裕明

地球上の生命がどのようにして誕生したか、この命題を解くのは極めて難しい。しかし、地球誕生と共に存在した何かの有機分子から原始生命は誕生したに違いない。現在の生命システムをみると、セントラルドグマに従って、DNAに保存された遺伝情報は、RNAの転写合成を経て、生命活動を支えるタンパク質へと翻訳される。では、生命を支えるこれらの必須分子のいずれかが生命誕生を担ったとすれば、どの分子が最もその可能性が高いのであろうか。現存する生命体では、DNAの複製やRNAへの転写はタンパク質酵素が行う。一方、タンパク質には遺伝情報を蓄えられない。つまり、「鶏と卵」の関係のごとく「タンパク質とDNA」の関係があり、この2つの分子では生命の誕生を思い描けない。しかし、1960年代後半、先進的な進化生物学者の一人であったWoese博士は、RNA分子が生命の誕生を担ったという独自の仮説を唱えていた。しかしこの仮説も、当時の限られた生物学の知識をもとにした空想の域を出ることはなかった。1980年代、この仮説は「RNA触媒（リボザイム）」の発見により、にわかに現実味を帯びることになる。すなわち、DNAと同様に核酸骨格をもつRNA分子が、タンパク質のように触媒機能をもっていたのだ。しかも、それが現存する多くの生物で保存され、生命維持に重要な役割を果たしていた。つまり、RNA分子ならば「鶏と卵」の両方の役割を果たせる。Gilbert博士が、このRNAを中心とした生命体の存在の可能性を「RNAワールド仮説」と名付けると、そのシンプルで且つ魅力的な仮説に対し多くの生物学者が支持を表明した。そしてこの仮説は、人工進化を用いたさらなる実験的検証へと移っていく。この講演では、RNAワールド仮説の歴史的な流れと実験的検証を中心に、生命誕生への残された課題を論じる。

Keywords

セントラルドグマ：二重螺旋DNA構造の発見者であるCrick博士が提唱した生命を司る分子生物学的な教義。DNAが遺伝子の保存と複製を担い、DNAがRNAに転写され、そのRNAがタンパク質へと翻訳される、一連の流れをいう。

RNA触媒（リボザイム）：化学反応を触媒することができるRNA分子で、1980年にCech博士とAltman博士により発見された。この発見により両博士は1989年にノーベル化学賞を受賞した。当初、生物から発見されたリボザイムの触媒機能はRNA切断に限定されていたが、その後タンパク質合成を担うリボソームの触媒中心もRNAに構成されていることが判明し、その業績により2009年にYonath博士他2名にノーベル化学賞が与えられた。また、試験管内で人工的にリボザイムを進化させる実験も行われ、現在ではRNAの触媒機能はさらに広がった。



A part of image is adopted from Newton.

図1 セントラルドグマ (Keywords 参照)

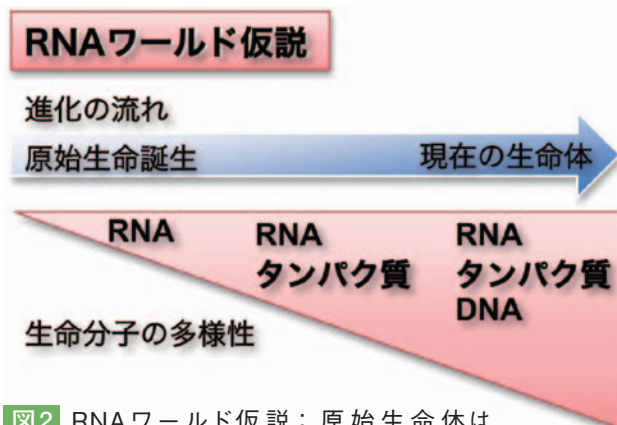
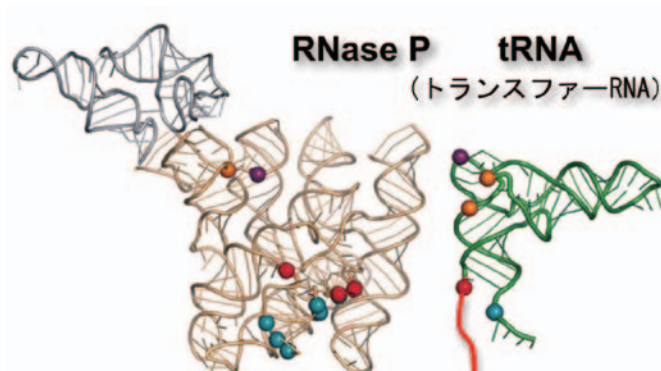


図2 RNAワールド仮説：原始生命体はRNAから始まり、その後RNA-タンパク質ワールドへ、そして現在の生命体を司るDNA-RNA-タンパク質のセントラルドグマへと進化した。



Adopted from PNAS 2005, vol. 102, 13392-13397.

図3 最初に発見されたリボザイムのひとつであるRNase Pの3次元立体構造とその基質となるトランスファーRNA (tRNA)：小さな色の付いた核酸部位が同じ色同士相互作用をすることで複合体を作り、赤で示されたtRNAの余分な核酸部分を切り出す。



Adopted from Nature 2008, 454, 358- 361

図4 人工的に進化実験で発見されたアミノ酸をtRNAにチャージするフレキシザイムの3次元立体構造：赤い核酸部分がtRNA、オレンジ、シアン、青の核酸部分がフレキシザイム。



東京大学大学院理学系研究科化学専攻教授。Ph.D.

1994年マサチューセッツ工科大学大学院博士課程修了。97年ニューヨーク州立バッファロー大学化学科助教授、2005年東京大学先端科学技術研究センター教授を経て、2010年より現職。

専門はケミカルバイオロジー。現在は、特殊ペプチド創薬、翻訳システムを用いた化合物の新規合成法の開拓を中心に研究を進めている。

著書に『切磋琢磨するアメリカの科学者たち』(共立出版、2004年) などがある。

生命の起原

東京薬科大学

やまぎし
山岸

あきひこ
明彦

今から45.6億年前に地球は誕生した、誕生した地球に残された最古の生命の証拠は38億年前の炭素の粒である。炭素の同位体分析から、この炭素の粒は炭酸固定によって固定された炭素の粒であり、当時生命が誕生していたことを示唆している。約35億年前の地層から最古の細胞化石がいくつか報告されている。諸説あり、それがどのような生物の細胞であるかは確定していないが、それまでには生命は確かに誕生していたことがわかる。

地球誕生後、地球上あるいは宇宙における有機物合成、プロティノイド・ミクロスフェア、RNAワールドを経て、38～35億年前までには生物が誕生した。その後、全生物の共通祖先（コモノート）を経て現在の生物が分岐してきた（図1）。コモノートは先ず、真正細菌と古細菌に分岐した、真正細菌は大腸菌などの我々になじみ深い微生物、古細菌は温泉等変わったところにすむ生物である。古細菌から、我々動物、植物、カビを含む真核生物が誕生した。

コモノートの遺伝情報は現存する生物に残されており、現存する生物の遺伝子DNAの配列情報をもとに、コモノートの遺伝子を部分的に再現することができる。部分的に再現された遺伝子から作成したタンパク質の性質から、コモノートが超好熱菌であったという実験結果が得られた。

さらに、古細菌の祖先のタンパク質の配列を再現し、大腸菌に作らせたところ、80℃でも活性を示し、100℃でも壊れないタンパク質であった。今から約37億年前には既に、完成したタンパク質構造ができあがっていたことがわかる。

Keywords

コモノート：現在地球上に生きている動物、植物、カビ、微生物など、すべての生物の共通祖先のこと。コモノートから全生物が誕生した。LUCA、LCA、センアンセスターなどともよばれる。

タンパク質耐熱性：遺伝子の情報をもとにアミノ酸（20種ある）が順に結合され、タンパク質が生物の細胞の中で作られる。タンパク質はきちんとした構造をとることによって機能を発揮する。温度が高くなると、きちんとした構造が崩れて、機能を発揮できなくなる。高温まで機能する場合、耐熱性が高いと言う。

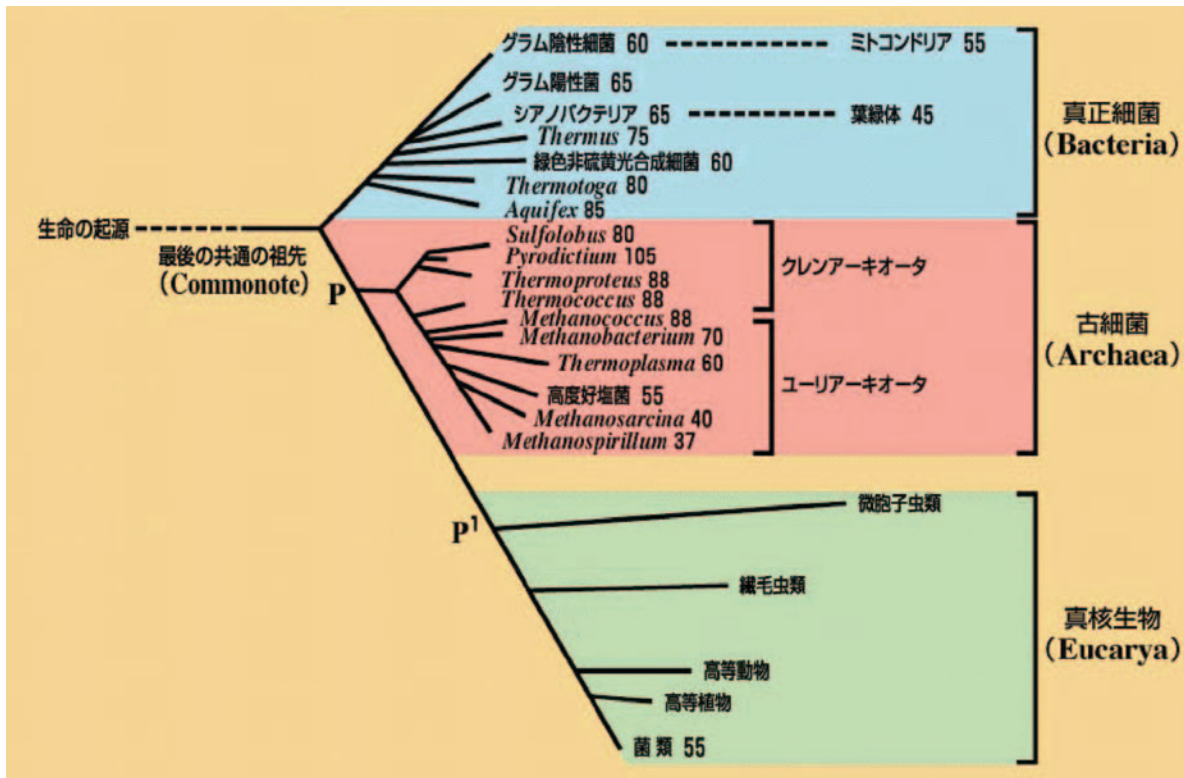


図1 全生物の進化系統樹
左側が生命の起源、右側のそれぞれの枝の先が現在の様々な生物を表す。コモノートは先ず、真正細菌と古細菌に分岐した。古細菌から、我々動物、植物、カビを含む真核生物が誕生した。



図2 推定した配列をもとに大腸菌内で再現した37億年前のタンパク質（古細菌の祖先）の構造。



東京薬科大学教授。

1981年 東京大学大学院理学系研究科修了（理学博士）。カリフォルニア大学バークレー校博士研究員、カーネギー研究所植物生理学部門博士研究員等をへて、87年東京工業大学理学部生命理学科助手、95年東京薬科大学生命科学部分子生命科学科助教授、2005年同教授で現在に至る。

主な著書として、シリーズ進化学 第3巻「化学進化・細胞進化」(共著)、岩波書店(2004)「古細菌の生物学」(共著) 東京大学出版会 (1998)。

共生と進化

自然科学研究機構基礎生物学研究所

しげのぶ しゅうじ
重信 秀治

地球上には様々な形の「共生」が見られます。身近な例では、われわれヒトの体は数十兆個の細胞から構成されていると見積もられていますが、実はその約10倍の微生物が体内や体表に存在し、われわれはその多くと共生関係を保っています。腸内細菌はわれわれの消化を助けたりビタミン類の栄養合成をしてくれるだけでなく、腸の正常発生の遺伝子プログラムの一翼さえ担っています。最近の研究から、共生が多彩な地球の生命を生み出す重要な要素であることが分かってきました。本講演では、「ミトコンドリアの起源」と「アブラムシ＝細菌の共生」の2つの例から共生と生命進化の密接な関係を読み解きます。

ミトコンドリアは細胞小器官のひとつで、酸素呼吸によるATP合成をはじめ、わたくしたち真核生物の生存に不可欠な様々な反応系を担っています。そのような必須の細胞小器官もかつては独立した細菌（アルファプロテオバクテリアの一種）だったと考えられています。つまり、私たちが今地球上に存在するのは私たちの祖先細胞と細菌の共生の結果であり、その出会いは約20億年前に遡ると見積もられています。

私たちがミトコンドリアなしでは生きていけないように、昆虫のアブラムシは共生細菌ブフネラなしでは生存できません。共生細菌が、アブラムシの餌である植物の篩管液に足りない栄養分（必須アミノ酸など）をアブラムシに提供しているからです。私たちは最近、宿主昆虫と共生細菌両方のゲノムを解読することに成功しました。アブラムシとブフネラのゲノム情報から、共生を支える機構や進化の過程が分かってきました。その最新の成果をご紹介します。

Keywords

共生：異なる生物個体が一緒に生活している現象。一般的には、互いに行動的あるいは生理的に緊密な結びつき（相互作用）を定常的に保っていることを意味する。共生者と宿主の利益・不利益に基づいて、相利共生、片利共生、寄生に分類される。狭義の「共生」が相利共生だけを意味することもある。

共生説：真核細胞の進化的起源に関して、それが原核細胞どうしの内部共生によって成立したという仮説。多くの論争があったが、細胞内小器官のうちミトコンドリアと葉緑体の起源が原核細胞であることは幅広く支持されている。

ゲノム：ある生物の持つ全ての遺伝情報の総体。その実体はDNA（デオキシリボ核酸）。

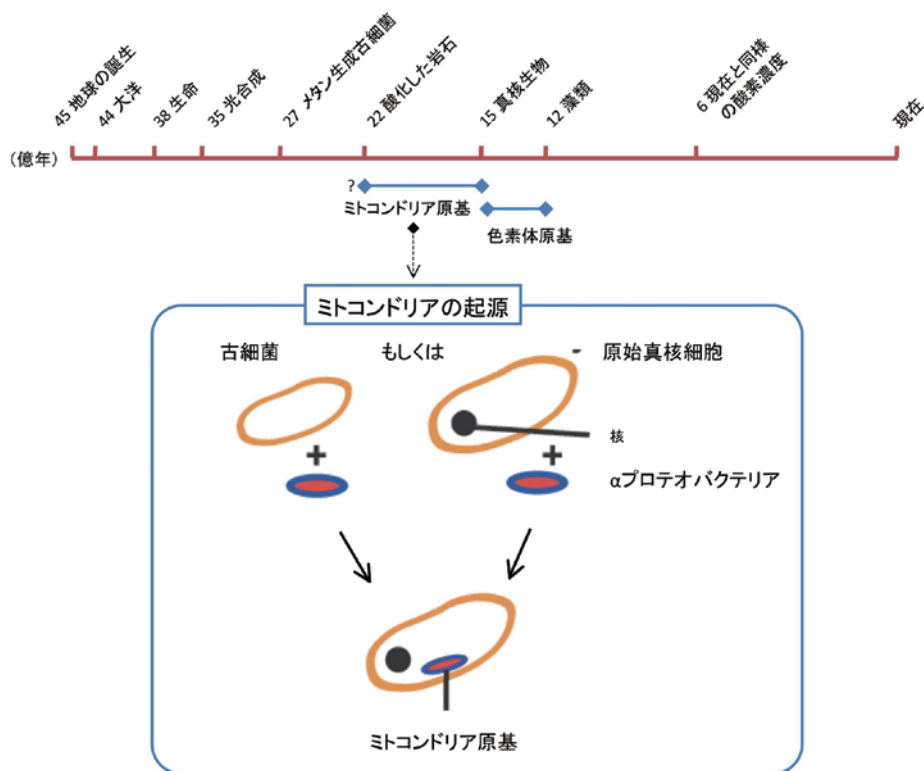


図1 生物進化とミトコンドリアの起源。(Dyall et al., 2004 より改変)

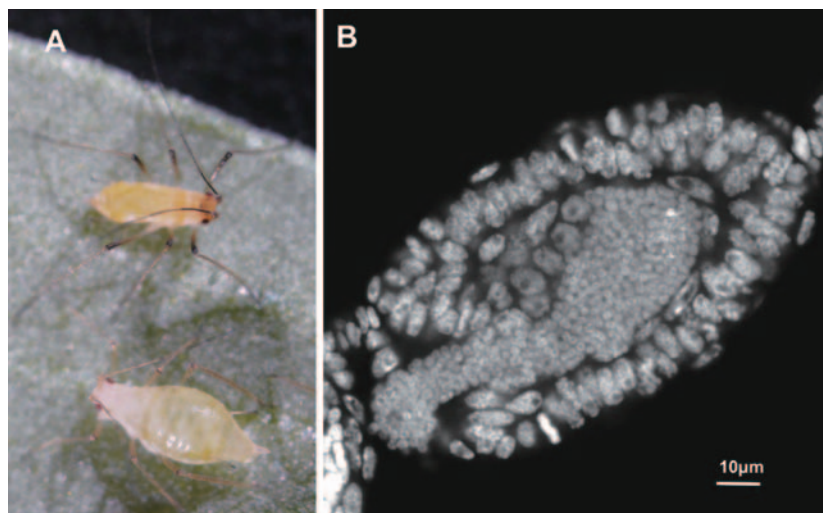


図2 A：エンドウヒゲナガアブラムシ。上がオス、下がメス。(撮影：倉田智子、重信秀治)
B：アブラムシ卵巣中で発生中の卵に、母親由来の共生細菌「ブフネラ」が垂直感染する様子。内部の小さな顆粒が共生細菌。



基礎生物学研究所生物機能解析センター特任准教授。博士（理学）。

2001年東京大学大学院・理学系研究科・生物科学専攻、卒業・博士号取得。日本学術振興会特別研究員、基礎生物学研究所助手、JST さきがけ専任研究者、米国プリンストン大学客員研究員を経て、2010年4月より現職。

専門は共生系を中心としたゲノム進化学。2010年度日本進化学会研究奨励賞受賞。

宇宙における生体有機物と ホモキラリティの創生

横浜国立大学 こばやし けんせい
小林 憲正

生命の誕生以前にアミノ酸などの生体分子の生成が必要である。ミラーの実験(1953)ではメタンやアンモニアを多く含む「強還元型原始大気」が想定されたが、近年は生命が誕生した頃の地球大気は弱還元的なものであり、生体有機物の生成はかなり限定的と考えられるようになった。

そこで、生命をつくる有機物が、宇宙から届けられた可能性が考えられるようになった。隕石(炭素質コンドライト)の抽出物からは多種類のアミノ酸などが検出されている。彗星中にも複雑な有機物が含まれることが確認された。また、隕石や彗星中の有機物は分子雲のような極めて低温環境で生成したことが強く示唆されている。

われわれは分子雲環境で水や一酸化炭素、メタノール、アンモニアなどからなる氷(星間塵アイスマントル)に宇宙線などが作用して有機物が生成した可能性を確かめるために、高エネルギー粒子線を用いた模擬実験を行い、アミノ酸前駆体分子の生成を確認した。

また、アミノ酸には右手型(D型)のアミノ酸と左手型(L型)アミノ酸があるが、地球生命が用いているのは基本的に左手型アミノ酸のみである。なぜ、地球生物は左手型アミノ酸を用いるようになったのか。隕石中に一部、左手型アミノ酸の過剰が見られることから、不斉の種が宇宙で生じた可能性が示唆された。不斉創生の要因として、星間での円偏光紫外線や偏極電子線などが候補となっており、その検証実験についても紹介する。

有機物から生命の過程はまだまだよくわかっておらず、「RNAワールド説」をはじめとする様々な仮説が出されているが、いきなりRNAのような洗練された分子が誕生するのは困難である。私たちの模擬実験から、分子雲中で宇宙線等の作用により、分子量数千のアミノ酸等の前駆体となる高分子態複雑有機物が生成することが示唆された。このような「がらくた分子」から「生命」への道筋についても考察する。

Keywords

キラリティ：タンパク質アミノ酸のひとつのアラニン、ひとつの炭素に水素、アミノ基、カルボキシル基、およびメチル基が結合している。この場合、あるアラニン分子とこれを鏡に映した分子とは重ねあわせることができない。このような性質をキラリティとよび、このような関係にある分子のことを鏡像異性体という。

アミノ酸：アミノ基($-NH_2$)とカルボキシル基($-COOH$)を有する分子の総称。地球生物は、多数のアミノ酸の中から20種類のアミノ酸のみを選び、タンパク質合成に用いている。隕石中にも多数のアミノ酸が検出されており、その中にはイソバリンなどの、タンパク質に用いられていないアミノ酸も多く含まれている。

星間塵アイスマントル：分子雲(暗黒星雲)は、分子や塵の密度が高いため、内部まで星の光が届かず、極めて低温(10-20 K)である。そのため、分子雲中の分子の多く(水、一酸化炭素、メタノール、アンモニアなど)は塵の表面に凍結している。これを星間塵アイスマントルという。これに宇宙線や紫外線があたることにより種々の有機物が生成すると考えられている。



図1 分子雲中の星間塵上での高分子態有機物の生成機構（グリーンバークモデル）。星間塵上に凍結した一酸化炭素やメタノールなどの混合物に宇宙線などが作用して、複雑な有機物が生成する。

図2 生体分子の非対称性。アミノ酸には鏡像異性体である、L-アミノ酸とD-アミノ酸があるが、地球生物のタンパク質はL-アミノ酸のみから合成される。

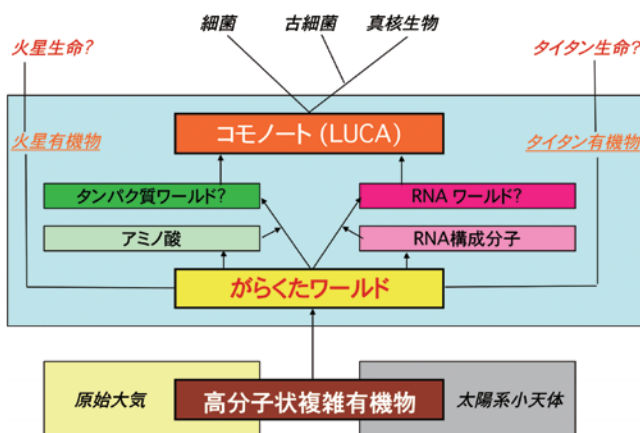
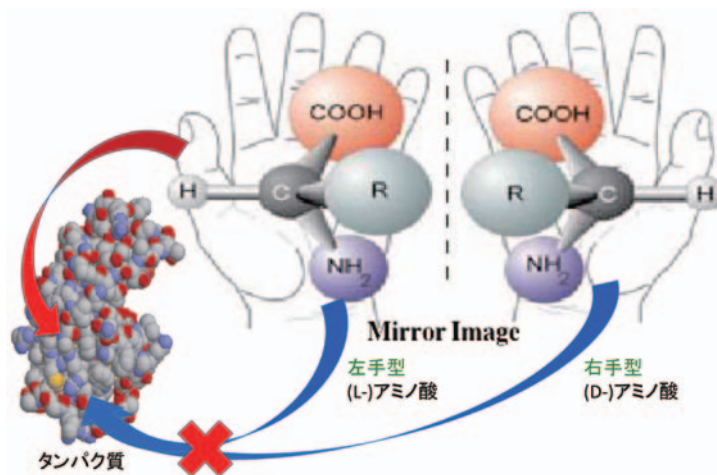


図3 高分子状複雑有機物の生成と化学進化の新たなシナリオ。星間や惑星大気中で生成した低機能の「がらくた分子」が地球の海に届けられ、その中でより機能の高い分子への進化が起こった。



横浜国立大学大学院工学研究院教授。理学博士。

1977年東京大学理学部卒業。82年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。82～86年米国メリーランド大学化学進化研究所研究員、87年横浜国立大学工学部講師などを経て、2003年より現職。

専門は分析化学とアストロバイオロジーで、生命の誕生に至る化学進化過程を加速器などを用いて実験的に検証している。

著書に「アストロバイオロジー 宇宙が語る生命の起源」(岩波書店、2008年) など。

宇宙と生命のつながり

自然科学研究機構国立天文台

おおishi まさとし
大石 雅寿

パスツールが生命の自然発生を否定して以来、生命がどうやって発生し進化したのかは社会的に大きな関心を引くテーマではあるものの、一方、簡単に解答が得られるものではないとの認識で一致していた。このため、生命の起原を正面から研究することは少なく、オパーリンのコアセルベートやダーウィンの進化論が代表例と言われる。しかし1950年代にユーレイとミラーが無機物から放電によってアミノ酸を含む有機物を生成することに成功してから、天文学者間で宇宙と生命との関連が語られるようになった。

一方、生命の起原に関わる研究者間では、以前は、宇宙と生命の起原とはほぼ無関係と考えられてきたが、最近では、宇宙で観測されている多様な有機物が、地球誕生から数億年程度の間地球に降り注ぎ、それが地球上における生命発生に繋がったのではないか、との考えが真剣に語られるようになってきた。さらに、地質学の飛躍的發展に基づく35億年前の地層中における微生物化石の発見、分子遺伝学の発展による様々な生物の遺伝子系統樹の作成、国内の研究者による放電に限らず多様なエネルギー源により無機物から有機物が合成できるとの化学的知見、さらには国立天文台の45 m大型電波望遠鏡による多数の星間分子の発見などの研究結果が得られ、これらを総合することにより、生命の起原や進化、そして宇宙と生命の普遍性について盛んに議論されるようになり生命研究と天文学の距離が大幅に縮まってきたのである。

このような背景の下、国立天文台も参加してチリ・アンデス山中に建設中のALMA望遠鏡の主要科学テーマの一つとして生命関連分子の観測そして発見が設定されている。本講演では、これらの最新状況について易しくお話しすると共に宇宙における生命の起源・進化・分布・未来を研究することを通じて期待される成果についても述べる。

Keywords

星間分子：星を生み出す希薄かつ極低温のガス中で生成される分子を星間分子と言う。星間分子はこれまでに約150種発見されており、国立天文台も17種を発見した。星間分子中にはエチルアルコールをはじめとする様々な有機分子も含まれており、生命体を構成する物質のうち、最も簡単な糖類や最も簡単なアミノ酸であるグリシンの前駆体も報告されている。

ALMA：アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計の略称。日米欧の国際協力の下でチリに建設中の66台のパラボラアンテナで構成される高感度電波望遠鏡で、最高空間分解能は1秒の100分の1とすばる望遠鏡の分解能を凌ぐ。観測周波数は波長10ミリから約0.1ミリ（周波数30ギガヘルツから950ギガヘルツ）となっている。

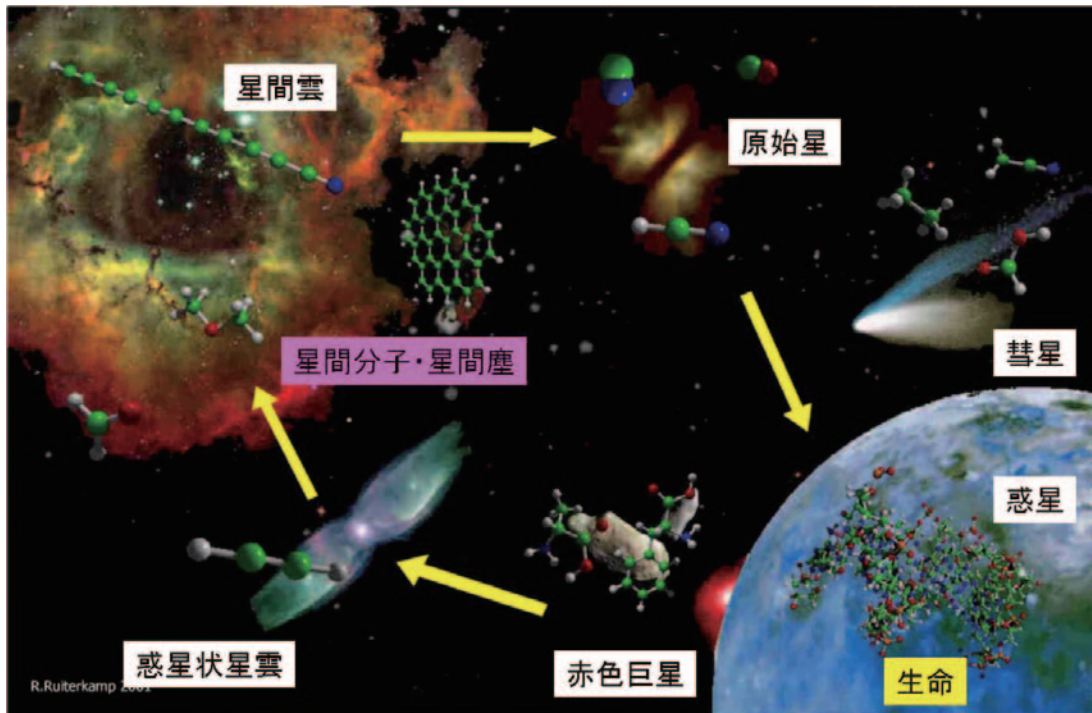


図1 星の材料（星間物質）から恒星・惑星へ、そして再び星の材料に戻るといふ宇宙の物質循環図。

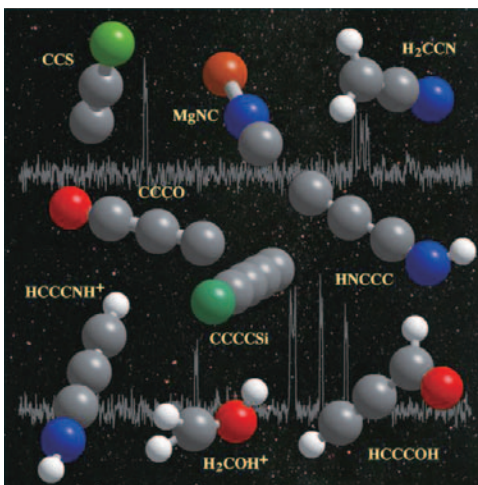


図2 国立天文台45 m大型電波望遠鏡が発見した星間分子の一部

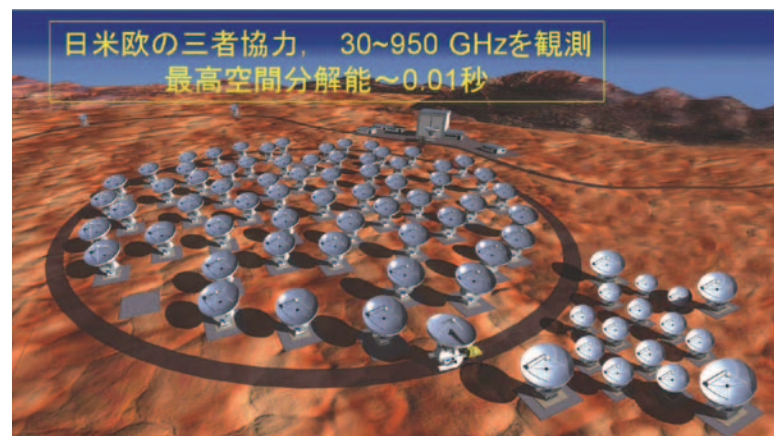


図3 チリに建設中のALMA望遠鏡の完成予想図



国立天文台天文データセンター准教授。理学博士。

1980年京都大学理学部卒業。85年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。90年国立天文台電波研究系助手を経て、98年より現職。

専門は電波天文学及びデータベース天文学。星間化学分野で17種の新星間分子を発見し、最近はその延長として宇宙と生命関連物質との関係に関心をもつ。

1987年井上研究奨励賞、2005年に日本データベース学会論文賞、06年に日本ITU協会功績受賞。著書に『ミリ波技術の基礎と応用』（リアライズ社、1998年）、『現代の天文学 宇宙の観測（1） 光・赤外天文学』（日本評論社、2007年）などがある。

太陽系内の生命探査

自然科学研究機構国立天文台

さ さ き しょう
佐々木 晶

「地球外生命」というとしばらく前はSFの世界で、必ずしも多くの科学者のターゲットではなかった。しかし、太陽系探査が進むにつれて、火星、木星の衛星エウロパ、土星の衛星タイタン、エンセラダスなどで、生命の存在可能性が議論されるようになっていく。

火星では、探査機が飛ぶようになって、ローウェルが主張したような知的生命による運河ネットワークは否定されたが、洪水地形や湖の跡など、流水活動の証拠となる地形が発見された。1976年に火星に着陸した2機のバイキング着陸船は、生命探査を目的とした土壌分析を行った。しかし、生命の存在を確認できる結果は得られなかった。1996年に火星隕石中に微生物の痕跡を発見したという論文が出版され、火星生命に関する興味が再び高まる。そして、2004年に火星表面に着陸したNASAの2機のマーズローバは堆積岩や含水鉱物を発見し、今から40億年ほど前の火星が温暖で生命が発生・存在できる環境であったことを裏付けた。太古の火星は現在の数百倍以上の二酸化炭素大気があり、温室効果が効いていたと考えられる。地球と比べて重力の弱い火星は、大気が散逸して現在の寒冷・乾燥した表層環境に変貌したのであろう。

しかし、火星の地下には現在でも生命存在環境が維持されているかも知れない。地上観測とマーズエクスプレス探査機から、火星大気中に微量のメタンが発見された。生命活動がこのメタンを生み出した可能性も否定できない。NASAは有機物検出も可能な移動探査車マーズサイエンスラボラトリーを2011年に火星に送る予定である。日本でも2020年代の打ち上げを目指した火星探査計画MELOSがあり、表面での生命探査はターゲットの1つとなっている。

ボイジャー、ガリレオ探査機は、木星の氷衛星エウロパの表面に、地下の海が存在を強く示す複雑な地形を発見した。表面の割れ目から広がった物質の反射スペクトルは、地下海には様々なイオンが溶け込んでいることを示す。エネルギー源があれば、この地下海は生命が存在できる環境である。土星の衛星タイタンは、窒素を主成分、メタンを微量成分とする大気に覆われていて、大気中では光化学反応等により有機物の塵が生成されている。タイタンにも地下海が存在すると考えられており、表面から有機物が輸送されれば、生命発生に有利な場所かも知れない。また、カッシーニ探査機は、わずか直径500キロメートルのエンセラダスが地下海から噴出した氷のブリュームを出していることを発見し、その組成を分析して、有機物を検出している。

Keywords

火星隕石：火星から衝突によって放出されて、地球に到達した隕石。大きな天体での火山活動を反映した火成岩であること、年代が他の隕石よりも若いこと、含まれている気体の組成（とくにキセノンの同位体）がバイキング探査機の測定した火星大気の組成と類似していることから、火星起源であると推定されている。1996年、火星隕石の1つALH84001から微生物の痕跡が発見されたと主張する論文が出版され、大きな話題となった。

地下海：木星型惑星の氷衛星は、表面温度が低くても内部に熱源があれば、地下の温度が高くなり氷の融点を越えたところに水の層が維持される。これを地下海と呼ぶ。木星の衛星エウロパでは、地下海の底は岩石層で、そこから様々なイオンが溶け込み、塩分濃度の高い海になっていると考えられる。

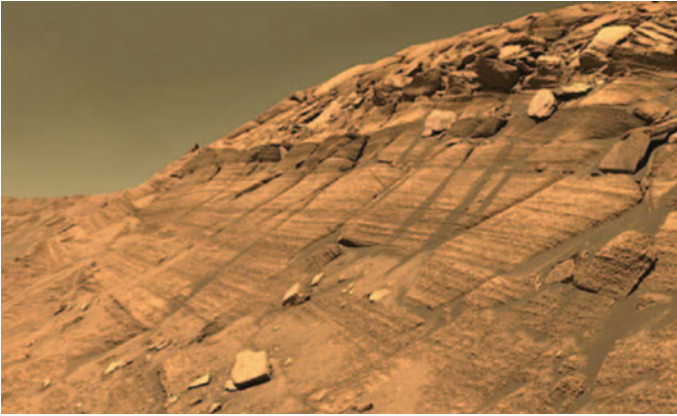


図1 マーズローバ、オポチュニティが撮像した、クレーター縁の堆積岩層。(NASA)

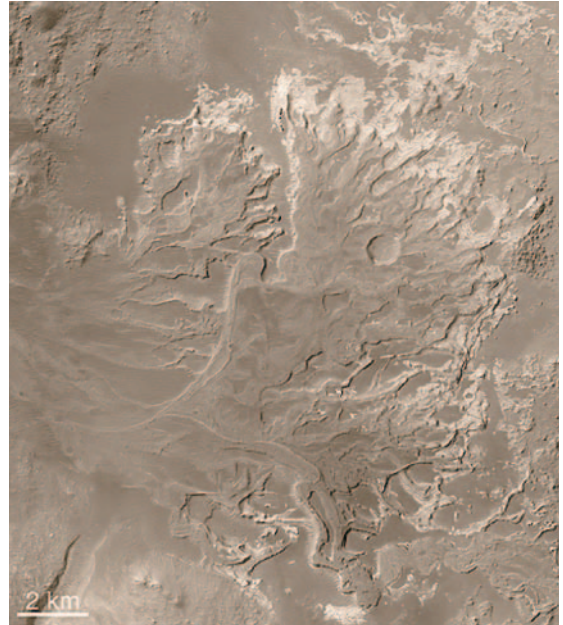


図2 火星の河川堆積物（エベルスワルデデルタ）。(NASA)

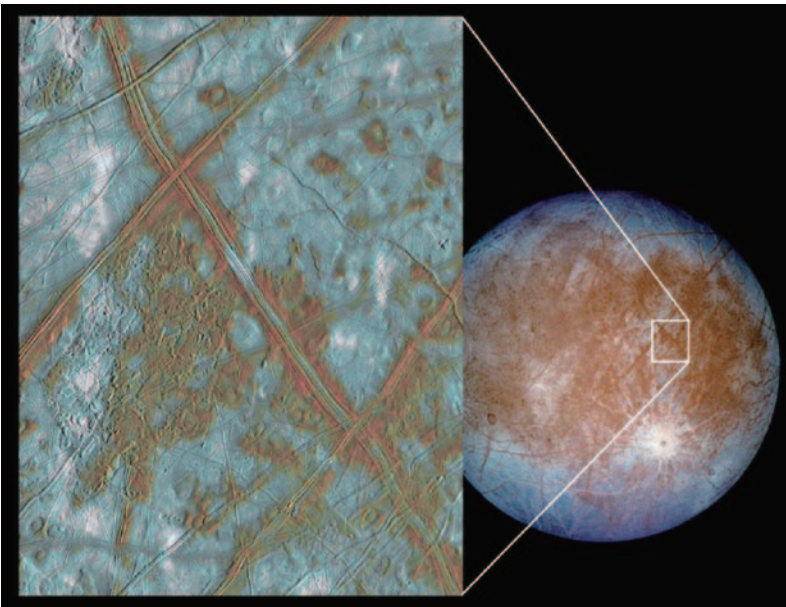


図3 ガリレオ探査機の撮像した木星の氷衛星エウロパの表面。(NASA)
様々なスケールの割れ目で覆われている。

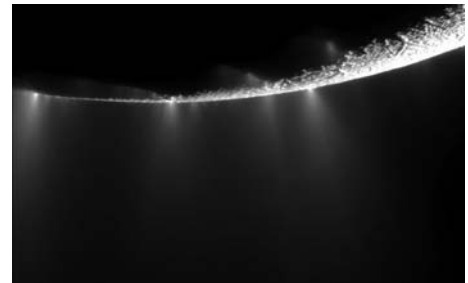


図4 カッシーニ探査機の撮像した、土星の衛星エンセラダスから噴出している氷のプルーム。(NASA)



自然科学研究機構国立天文台教授。理学博士。

1982年東京大学理学部地球物理学科卒業。87年東京大学大学院博士課程修了。90年広島大学理学部助手、92年東京大学大学院理学系研究科教授を経て、2004年より現職。専門は惑星科学。月探査のプロジェクトを手がけるほか、火星、木星型惑星とその衛星、小惑星に関心をもつ。

第二の地球と生命： 系外惑星研究からのアプローチ

自然科学研究機構国立天文台

たむら もとひで
田村 元秀

生命を宿す惑星である地球や巨大ガス惑星である木星は、太陽系を代表する惑星である。このような惑星は広い宇宙にどれくらいあるのだろうか？我々は唯一無二の存在か、それとも無数の生命のひとつに過ぎないのか？これは人類が抱く根源的・普遍的な問いと言っても過言では無い。1995年の発見をきっかけに、太陽以外の恒星の周りに既に約500個もの惑星が見つかった。これらは「系外惑星」と呼ばれ、わずか15年で、現代天文学の最重要研究課題のひとつとなった。

系外惑星は遠方にあるため直接に画像に写すことは非常に難しい。そこで、惑星からの光を直接に捉えるのではない、「間接観測」が最初に成功した。惑星の公転運動によって、わずかながら恒星自体が周期的にふらつく。これを恒星光のドップラー効果を利用して測定するのが「ドップラー法」である。いっぽう、惑星が恒星の前面を通り過ぎる時の明るさの変化を検出するのが「トランジット法」である。

しかし、間接法は惑星からの光を直接検出するわけではなく、また、内側の系外惑星を検出しやすいというバイアスがある。いっぽう直接観測ではこの制約は無く、惑星の温度・大気などさまざまな物理的情報を得られるため、究極の観測方法と考えられる。最近の技術革新により、ついに2008年には太陽の2倍程度の恒星のまわりに、2009年には太陽に似た恒星をめぐる惑星候補の直接撮像に成功した。後者は、すばる8メートル望遠鏡による世界初の成果である。これらは「百聞は一見にしかず」という系外惑星の直接観測の時代の幕開けを飾るものと言えよう。

現在、米のケプラー衛星は宇宙からの大気揺らぎの無いトランジット観測を実現し、地球型惑星の観測に迫りつつある。また、すばる望遠鏡ではドップラー法を赤外線波長に展開し、軽い恒星のまわりの地球型惑星を検出し、生命の議論にまで至ることが計画されている。さらに、将来の地上30メートル望遠鏡によって、地球型惑星を最初に直接観測し、そこに生命の兆候を探ることも可能になるだろう。

Keywords

トランジット法（観測）：系外惑星の間接的検出法のひとつ。惑星の軌道面が、観測者と恒星を結ぶ視線にあるときには惑星が周期的に恒星を隠すため、恒星からの光が少し暗くなる。この明るさの周期的変化をとらえる観測方法。太陽型恒星を木星型惑星が隠す場合は、約1%の明るさの変化が見られる。2000年に初検出が報告され、現在はアマチュアを含め多彩な地上観測が展開されている。一方、地球型惑星の場合は惑星サイズが小さいため、約0.01%しか変化しないので、大気の揺らぎの影響のない、宇宙からの観測が必要となる。

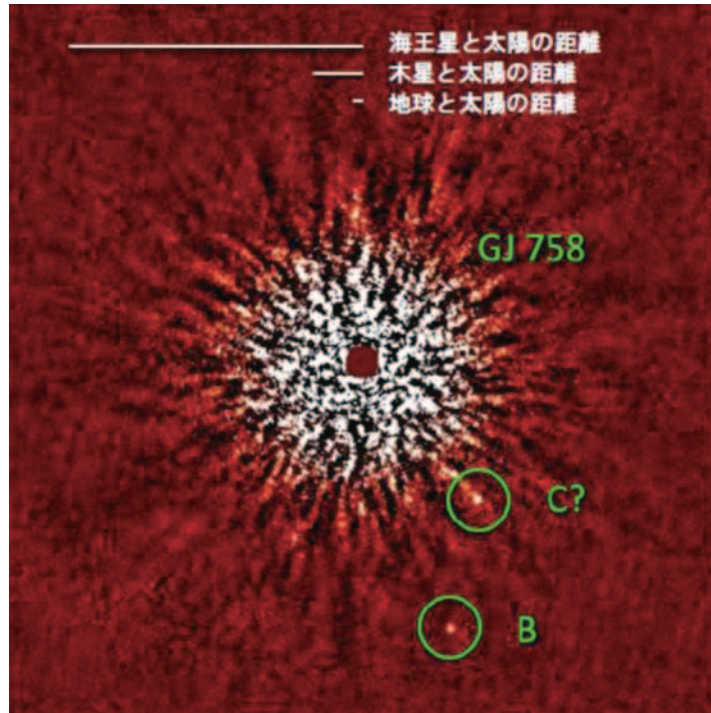


図1 すばる望遠鏡の新装置HiCIAO（ハイチャオ）で撮像された太陽型星GJ758の惑星候補天体（BとC）の画像。主星の明るい光はコロナグラフ技術により取り除かれている。観測波長は近赤外線。惑星候補天体Bについては、この恒星に付随している低温天体であることが確認されている。

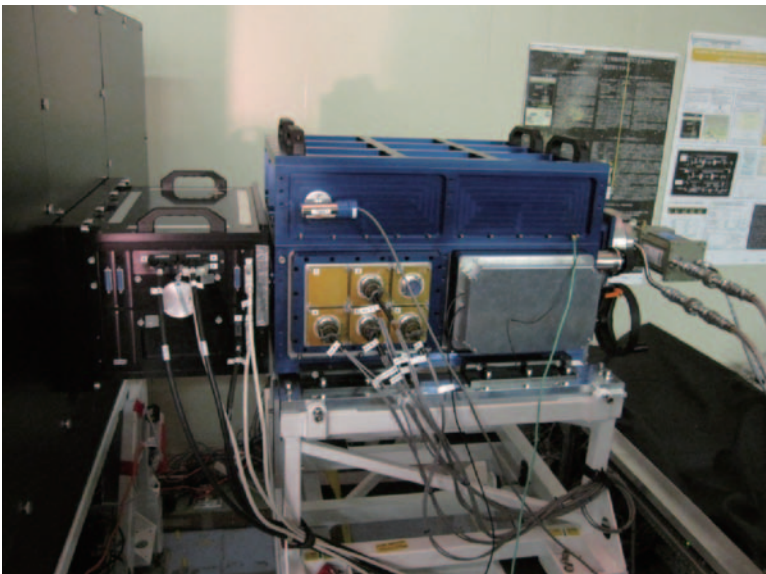


図2 すばる望遠鏡に設置された新装置HiCIAO（ハイチャオ）の画像。左の黒い巨大な箱が補償光学装置（AO188）。中央の黒い部分が常温光学系、右の青い部分には低温光学系および高性能赤外線検出器系が冷却・内蔵されている。



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、98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二百編で、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2010』（ニュートン、2010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。

パネルディスカッション

立花 隆

自然科学研究機構

佐藤 勝彦

自然科学研究機構基礎生物学研究所

岡田 清孝

東京薬科大学

山岸 明彦

自然科学研究機構基礎生物学研究所

長谷部光泰

自然科学研究機構国立天文台

田村 元秀



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。



は せ べ みつやす
長谷部 光泰

自然科学研究機構基礎生物学研究所生物進化研究部門・教授。博士（理学）。

1987年東京大学理学部生物学科植物学教室卒業。91年東京大学大学院理学系研究科植物学専攻博士課程中退。同年東京大学理学部附属植物園助手、93年～95年日本学術振興会海外特別研究員併任（米国ハーバード大学）、96年岡崎国立共同研究機構・基礎生物学研究所助教授を経て、2000年より現職。

専門は進化学。食虫植物、昆虫の食草転換、ハナカマキリの擬態のようにいくつかの進化が重なってはじめて適応的になるような形質がどのように進化したのかに関心を持つ。また、生物による再生能力の違いがどう進化したかにも大きな興味を持つ。

1997年日本植物学会奨励賞、2001年日本進化学会研究奨励賞、05年第一回日本学術振興会賞、第一回日本学士院学術奨励賞受賞、08年日本植物学会学術賞。

著書に「発生と進化」（岩波書店、2006年、分担執筆）などがある。

10:00 ～ 10:20 機構長挨拶
自然科学研究機構・機構長 佐藤 勝彦

趣旨説明
自然科学研究機構・理事 岡田 清孝

[講 演]

10:20 ～ 10:50 極限生物にみる生命のたくましさ
広島大学・准教授 長沼 毅

10:50 ～ 11:20 光合成のダイナミズム
基礎生物学研究所・教授 皆川 純

11:20 ～ 11:50 RNA ワールド：仮説と検証
東京大学・教授 菅 裕明

11:50 ～ 13:30 昼休みおよびパネル展示

13:30 ～ 14:00 生命の起源
東京薬科大学・教授 山岸 明彦

14:00 ～ 14:30 共生と進化
基礎生物学研究所・特任准教授 重信 秀治

14:30 ～ 15:00 宇宙における生体有機物とホモキラリティの創生
横浜国立大学・教授 小林 憲正

15:00 ～ 15:10 休憩およびパネル展示

15:10 ～ 15:40 宇宙と生命のつながり
国立天文台・准教授 大石 雅寿

15:40 ～ 16:10 太陽系内の生命探査
国立天文台・教授 佐々木 晶

16:10 ～ 16:40 第二の地球と生命：系外惑星研究からのアプローチ
国立天文台・准教授 田村 元秀

16:40 ～ 16:50 休憩およびパネル展示

[パネルディスカッション]

16:50 ～ 17:30 パネルディスカッション
立花 隆
自然科学研究機構・機構長 佐藤 勝彦
自然科学研究機構・理事 岡田 清孝
東京薬科大学・教授 山岸 明彦
基礎生物学研究所・教授 長谷部 光泰
国立天文台・准教授 田村 元秀

17:30 ～ 17:35 閉会の挨拶

※その他、パネル展示も行います。

※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。