



日本地球惑星科学連合ニュースレター Vol. 6
November, 2010 No. 4

TOPICS	
水月湖の年縞：過去7万年の標準時計	1
深部微動と地震	3
系外惑星学の最近の展開	6
BOOK REVIEW	
特別企画 岩波講座『地球惑星科学』 新装版復刊記念! 誌上座談会	10
NEWS	
学術会議だより	12
学術の大型研究計画マスタープランについて	12
IPCCと科学者の社会的責任	13
はやぶさ試料キュレーション	14
国際地学オリンピックで初の金メダル獲得!	14
INFORMATION	
	15

JGL

Japan Geoscience Letters

2010 No. 4

TOPICS 古気候学

水月湖の年縞：過去7万年の標準時計

英国ニューカッスル大学 地理学教室 中川 毅

一年に一枚の縞模様を形成する堆積物、いわゆる年縞堆積物が国内で発見されてから来年で20年になる。年縞堆積物は、縞模様を一枚ずつ数えることで高精度の年代決定が可能であり、また不攪乱試料を細かく分割することで高分解能の気候復元を行うのにも適している。2006年の夏、福井県の水月湖からおおよそ7万年分の年縞を含む堆積物の連続コアが採取され、現在その分析が進行中である。日英独の三ヶ国を巻き込んだ最新の取り組みと、間もなく報告される予定の成果について概説する。

現代の古気候学と年縞堆積物

最近の地球温暖化や異常気象の頻発を背景に、メディアなどでも気候変動に関する議論をよく目にするようになった。近年の古気候学は、たとえば氷河期から後氷期への移行といった大規模な気候変動が、わずか数年の間に起こる場合があることを示している。巨大で複雑化した現代社会は、急激すぎる変化には対応することができない。数年ないし数十年といった、短い時間スケールで起こる気候変動について理解することが、現代科学の急務になってきている。

こうした現状を踏まえて第四紀古気候学の分野では、分析の時間分解能と年代決定の精度を高くすることの意義が、これまでになく強調されるようになった。そのような要求に応えることのできる研究対象として、一年に一枚の縞模様を形成するいわゆる年縞堆積物が注目されている。

年縞堆積物は、季節によって性質の異なる粒子が供給され、しかも堆積後に二次的な攪乱を受けない場合にのみ形成される。長い時代を連続的にカバーする年縞堆積物は、世界でも限られた場所からしか見つかっていない。古典的な例としては、ドイツのア

イフェル地方に分布する湖沼群が有名であり、すでに30年以上におよぶ研究の蓄積がある。ただし、アイフェルの年縞は完新世と晩氷期においては明瞭であるが、それ以前の時代には発達が悪いようである。また極地の氷床にも一年一枚の縞模様が刻まれており、年層の計数による精密な年代決定と高分解能の気候復元がおこなわれている。過去数万年の気候変動について、グリーンランドの記録がいわば標準曲線のような地位を占めているのは周知の通りである。

ベネズエラ沖のカリアコ海盆から得られる堆積物も年縞を持ち、晩氷期以降の時代を連続的にカバーしている。カリアコの堆積物は多くの有孔虫遺骸を含んでおり、その集積量から過去の気候循環を復元できる。また有孔虫遺骸は放射性炭素(^{14}C)による年代測定が可能である点も重要である。ウッズホール海洋研究所のKonrad Hughenは、カリアコ海盆の堆積物の年縞を数えることでまず絶対年代を詳細に決定した上で、数百点におよぶ ^{14}C 年代を測定し、 ^{14}C 年代と絶対年代の対応関係を明らかにした。 ^{14}C 年代には常に誤差が含まれているため、暦年代への補正を必要とする。補正のためのもっとも

信頼できる較正曲線は、樹木年輪から得ることができるが、年輪の連続したデータは現在でもおよそ12,600年前までしか得られていない。カリアコ海盆のデータは、樹木年輪が届かない時代の較正曲線の主要な構成要素として、10年近くも世界標準の地位に君臨して一時代を築いた。

水月湖の年縞堆積物研究

福井県水月湖の年縞堆積物は、まず1991年の試掘によりその存在が確認された(図1)。さらに2年後の1993年、国際日本文化研究センターの安田善憲を代表者

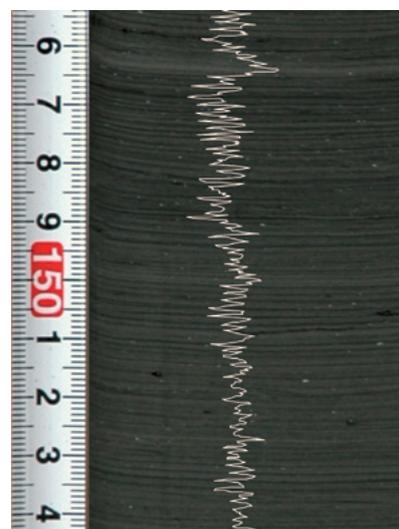


図1 水月湖の年縞堆積物。曲線はグレースケールの変動を示す。

とするグループが基盤に達する学術ボーリングを実施し、全長 73 m ほどの堆積物コアの採取に成功した。年縞はこのコアの上部およそ 40 m (約 7 万年分) に連続的に発達しており、ここからわが国における本格的な年縞研究がはじまった。ちなみに英語の varve に対する年縞という訳語も、このとき安田によって提案されたものである。

初期の研究の代表例は、北川浩之(現名古屋大学)と Hans van der Plicht (オランダ・フローニンゲン大学) による ^{14}C 年代較正曲線の延長である。1993 年当時、カリアコ海盆の分析結果はまだ発表されていない。北川と Plicht は年縞を数えることで 1993 年コアの時間軸を決定し、さらに 300 点近い樹木の葉の化石の ^{14}C 年代を測定することで、較正曲線を一気に 5 万年前まで延長した (Kitagawa and Plicht, 1998)。 ^{14}C 年代測定はおよそ 5 万年前が適用限界であるため、較正曲線をこれ以上延長することには意味がない。分析の結果は 1998 年 2 月のサイエンス誌に発表され、このときから水月湖は Lake Suigetsu として世界にその名を知られることになった。

ちなみに同論文が発表された 1998 年は、カリアコ海盆の ^{14}C 層序が最初に出版された年と重なっている (Hughen *et al.*, 1998)。Hughen らの論文は、北川と Plicht の論文より 50 日だけ早くネイチャー誌に掲載されており、研究史上に時折見られる平行現象の例としても興味深い。

水 月湖 1993 年コアの限界

^{14}C 年代較正曲線は、多くの研究結果を比較検討しながら統合することにより、国際標準パッケージとして配布される。もっとも広く用いられているのは IntCal と呼ばれるデータセットであり、最近では 1998 年、2004 年、2009 年に改訂が行われた。だが、水月湖のデータセットはいずれの改訂に際しても IntCal には採用されていない。一方、カリアコ海盆が IntCal の主要な構成要素として確固たる地位を築いてきたことはすでに述べた。水月湖には、何が足りなかったのだろう。

水月湖の較正曲線は、発表当初から 5 万年前までをカバーしていた。カリアコ海盆から 5 万年分のデータが報告されるのは、ようやく 2004 年になってからである。また水月湖で年代測定に用いたのは陸上の樹木の葉の化石であり、大気中の ^{14}C 濃度を直接反映していた。カリアコ海盆では有孔虫遺骸を用いたため、直接的には海水中に溶存する二酸化炭素の年代しか得ることができず、仮説に基づいた補正を必要とした。

実は、水月湖の年縞年代には比較的早い段階から疑問が持たれていた。カリアコ海盆をはじめとする他の地域のデータと比較したとき、水月湖の年縞年代だけが数百年ないし最大で 2000 年程も若すぎるように見えるのである。この問題があるため、IntCal は水月湖のデータを一貫して保留扱いにしており、IntCal は氷期に関しては大気中の二酸化炭素の年代を直接反映しないという問題を抱えたまま現在に至っている。

水月湖の年縞年代が若く見える原因としては、コアの不連続性、年縞の数え落としという二つの可能性があったが、水月湖の ^{14}C 年代の分布を詳細に検討した最新の研究によれば、原因として重要なのは前者、すなわちコアの不連続性の方であることが明らかになった。だとすると、より連続性の高いコアを採取し分析しなおすことにより、水月湖の抱えていた問題はほぼ抜本的に解決できる可能性が高いことになる。

水 月湖 2006 年コア：研究の新展開

水月湖の第二次学術掘削は、以上のような背景から 2006 年の夏に実施された。掘削には、ニューカッスル大学(英)、大阪市立大学、東京大学、千葉商科大学、京都大学、ポツダム地質学研究所(独)などが参加し、約 40 日の作業で全長 73.2 m の連続コアを採取することに成功した。コアは隣接する 4 本の掘削孔から深度を重複させて採取され、試料の回収率は 100% を達成した。

年縞の計数はコアの年代軸を決定するためのもっとも重要なステップであり、プロ

ジェクト全体の質を左右する。このためドイツのポツダム地質学研究所とイギリスのウェールズ大学がそれぞれ独立した方法で計数を行い、結果を検証しあっている。ポツダムでは、試料を樹脂に包埋して薄片を作成し、偏光顕微鏡で観察することによって一年ごとの層を数えている。すでに 500 枚を超える薄片が作成され、これまでに全体の 1/3 ほどの分析が完了している。ウェールズ大学では、スウェーデンの Itrax 社製蛍光 X 線スキャナを用いることで元素組成の季節的な変動を検出している(図 2)。分析間隔は 60 μm を採用したが、水月湖の年縞の厚さは平均 0.6 mm 程度であるため、これは 1 年を約 10 分割することに相当する。スキャンする作業には 1 年近くを要し、コアの重複部分を含めた測定点数は 100 万点にのぼった。年縞の判定作業は約 7 万年前まですでに完了しており、薄片観察による計数が追いつくのを待っている状態である。

^{14}C 年代測定は、樹木の葉の化石 600 サンプルに対して実施した(図 3)。測定にはオックスフォード大学と、英国自然環境研究協会(NERC)の加速器を用いた。年代測定は 2010 年の 8 月にすべて完了し、あとは年縞年代さえ確定すれば、速やかに ^{14}C 年代較正曲線として発表できる段階になっている。また水月湖の 1993 年コアと 2006 年コアは年縞によって対比可能であるため、両者の ^{14}C 年代は組み合わせる使用ことができ、その場合の最終的なデータ点数は 900 に達する。IntCal の作業グループも水月湖プロジェクトのこうした現状をすでに把握しており、水月湖のデータが論文で公表されしだい、IntCal の改訂作業を始めることが非公式に予定されている。

究 極の目標

年縞年代の決定と ^{14}C 層序の確立は、実はプロジェクト全体にとっては一里塚にすぎない。冒頭に述べたとおり、高精度の年代決定は高時間分解能の気候復元を伴ったときにこそ真価を発揮する。1993 年コアの研究では、晩氷期から完新世にかけ

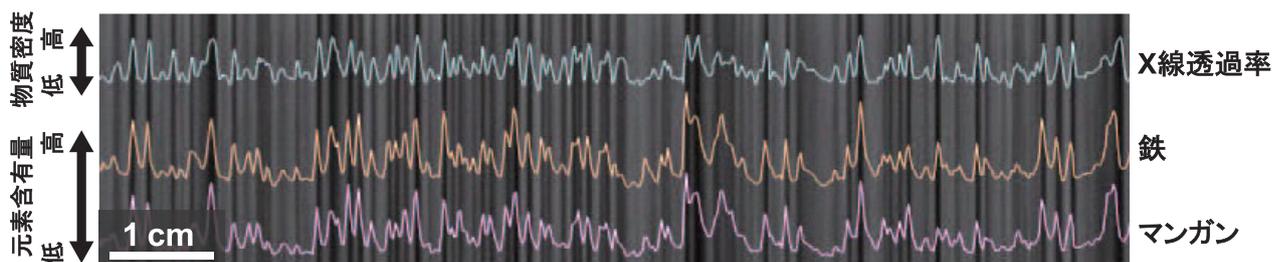


図 2 蛍光 X 線スキャナによる年変動の検出。表面観察よりも明瞭にシグナルを読み取ることができる。

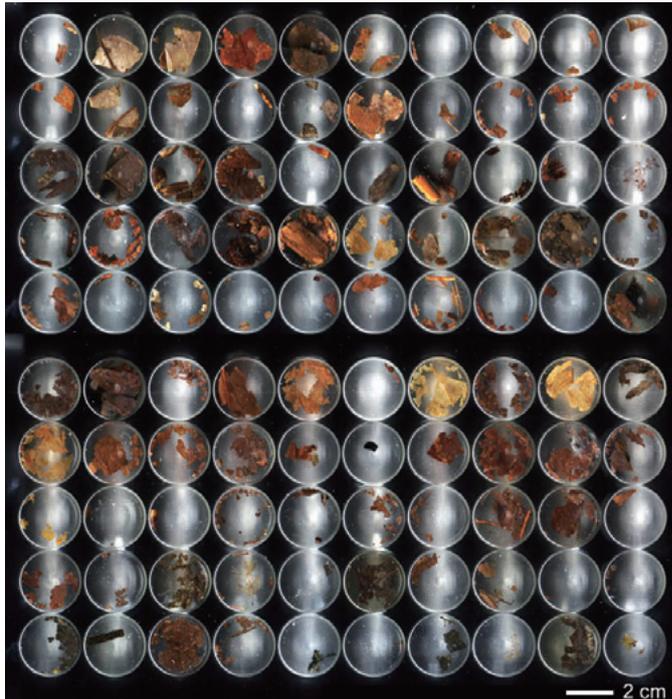


図3 水月湖2006年コアから得られた樹木の葉の化石（バイアル瓶をイメージスキャナに並べて撮影した）。最終的に採取したサンプルの総数はこの10倍に達する。

て高分解能の花粉分析を実施し、気候変動のタイミングと振幅が地域によってどのように異なるかを議論した (Nakagawa *et al.*, 2003; 2006)。2006年コアでは同様の研究を、過去7万年すべてについて実施する予定である。最終的に分析されるサンプル数は

3000を上回ると予想されるが、現在すでに1000点以上の分析が完了しており、これは決して非現実的な目標ではない。

また2006年コアでは花粉分析だけでなく、蛍光X線分析、有機化学分析、同位体分析、珪藻分析、風成塵分析など、他の手法も積

極的に導入し、古気候の情報をなるべく多角的に収集している。年代軸の精度、プロキシンの多様性、またカバーする時代の長さにおいて、水月湖が具体的に目標としているのはグリーンランドの氷床コアである。

さらに踏み込んで言うなら、水月湖には詳細な¹⁴C層序が与えられ、かつ多くの火山灰を含んでいるため、地域間の対比をする上ではグリーンランドよりも応用範囲が広く、対比の精度も高い。1000年以下の誤差で気候変動のタイミングを比較するような研究は、グリーンランドを比較対象とした場合には限定的であったが、水月湖を共通のテンプレートとすることで飛躍的に前進するであろう。20年の助走期間を経て、年縞堆積物を用いた日本の古気候学が大きく飛躍しようとしている。

—参考文献—

Kitagawa, H. and van der Plicht, J. (1998) *Science*, **279**, 1187-1190.

Hughen, K. *et al.* (1998) *Nature*, **391**, 65-68.

Nakagawa, T. *et al.* (2003) *Science*, **299**, 688-691.

Nakagawa, T. *et al.* (2006) *Geology*, **34**, 521-524.

■一般向けの関連書籍

大河内直彦(2008) *チェンジング・ブルー*、岩波書店。

TOPICS 地震

深部微動と地震

東京大学 大学院理学系研究科 井出 哲

地球表面のプレートの動きによって岩盤にひずみがたまって、あるときそれが一気に解放されて波を出す。これが地震だ。だがなぜ一気に解放されるのだろうか。ひずみをゆっくり解放してくれば、みな平穏に暮らせるだろうに、実は地震にもいろいろあって、ゆっくりした地震もある。その「ゆっくり地震」、または深部微動というものが、地震研究で注目されている。体に感じないほど小さな揺れだが、地震現象を総合的に理解するためには案外役に立ち、予測にすら使えるかもしれない。その深部微動についての最近の発見を中心に、普通の地震との関わりを考えてみよう。

近づいている部分は一部に過ぎない。見た目には平らに見えるような面でも目に見えない凸凹があるもので、本当にくっついているのはその凸部同士である。それを固着部と呼ぶことにする。摩擦理論で真実接触面積と呼ぶものだ。だがこの固着部はみかけの面の面積に比べれば桁がぐいに小さい。その小さな面積で互いに及ぼす力が摩擦力として観察されている。では残りはどうなっているか。2つの面がすれ違うならほとんどの部分はほとんど抵抗を受けずにすれ違う。これが背景領域だ。

地震を起こす「固着」したところ(固着域)

固着域と地震

世界中でプレート同士がすれ違っているが、その境界面のほとんどは、ひずみをゆっくり解放し、じわりじわりと互いにす

れ違っている。ごく一部の「固着」したところが壊れてすべるときに地震波を出す。

何でも良い、2つの物体がくっついているとき、そのくっついているところを拡大して観察すれば、互いに電気的な力が働くくらい

もこれと似たようなものだろう。海底地形には海山、海嶺、海底深谷など有名無名の無数の凸凹がある。それが沈み込んでプレート境界となるのだから、その境界も凸凹だらけだ。そのような凸凹が様々なサイズで「固着」したのが破壊的な地震を起こす場所であり、それは静かに動く背景領域の中に群島のように存在する。

固着域がプレート境界の見かけの大きさに比べてかなり小さいことは不幸中の幸いだ。一面べったりあるわけでもなく、さらに深さ方向には限られている。プレートが沈み込むと周囲の温度が上がり、圧力も上がる。高温高圧になると固着域だけで力を及ぼすということができず、岩盤が柔らかくなって全体的にすれ違う。固着域が存在できる深さは場所によって違うが、東南海・南海地震を繰り返す西日本の下（南海沈み込み帯）では30 kmより浅い。だからこれらの地震の固着域はほとんど沖合の海の下だ。それでも一度に壊れれば大変なのだ。

ゆっくり地震と深部微動の発見

西日本では、30 kmより深いところのプレートは、背景領域同様ゆっくりと一定速度で沈み込んでいる、と20年前は皆考えていた。そこでの運動は日々代わり映えのしない退屈なすべり運動だ。その常識が打ち破られたのは約10年前、地震・地殻変動観測網の飛躍的な性能向上がもたらした新発見による（JGL Vol.3 No.3の小原一成氏の解説参照）。深さ30～40 kmくらいのところで、プレートが数年ごとに数ヶ月にわたって運動する現象（スロースリップ）がGPSに

よる観測によって発見された。同じ頃、地震計による観測にも、同じような場所から放射される奇妙な地震波が発見された。低周波地震と呼ばれるこの揺れは、都市などでは人や機械の生み出す揺れに埋もれる程度の大きさでしかない。ただし起きる頻度は非常に高く、連続して発生する。一つ一つに分けて数を数えられないのが普通である。それくらい連続して発生した場合、ひとまとまりの地震波を深部微動と呼ぶ。図1は日本各地で観測される微動の例（Ide, 2010b）だ。それぞれ1日の微動であり、無数の低周波地震の集まりでもある。

深部微動という名前と呼ぶと、普通の地震とは違う現象なのかと思うかもしれない。しかし地震波の分析から、この現象も基本的には固着面が破壊してすべる現象だと考えられる。その点、普通の地震と変わらない。これが何度も繰り返すと全体としては大きなすべり運動になり、GPSや傾斜計などの地殻変動観測機器にスロースリップとしても観察される。だから微動からスロースリップまでをまとめて「ゆっくり地震」とも呼ぶ。その普通の地震との決定的な違いは、とにかく大きくならないことだ。こう書くとやや語弊があるかもしれない。小さな微動でも長時間続けば、その変動の総和は大きくなる。たとえば10日続けば、その変動はマグニチュード6の地震に匹敵する。だが、普通のマグニチュード6の地震なら数秒で終わる。ゆっくり地震は大きくなるのに時間がかかるのだ（Ide et al., 2007）。

深部微動は固着域での破壊すべりが起きた瞬間にすぐブレーキがかかる、そんなイ

メージでよいだろう。このブレーキの原因が何であるのかはよく分からない。固着域のふるまいは普通の地震と同じでも、固着域以外の背景領域が強烈にブレーキをかけるのかもしれない。もしくは固着域の運動を支配する法則（破壊・摩擦法則）が異なるのかもしれない。

何だか怪しい話である。こんな話になるのも、そこにあるものが何か、本当はわかっていないからだ。だが有力な説はある。沈み込むプレートを構成する岩石は、周囲の温度・圧力の上昇に伴って相変化する。ある相変化の際には、岩石（含水鉱物）から水が出される。この水は移動して、また別の岩石の相変化を起こす。地下で推定される温度や圧力の条件から、ある深さのところに蛇紋岩と呼ばれる岩石がまとまって存在している可能性が高い。ちょうど微動が起きる30～40 kmくらいだ。蛇紋岩は多くの岩石の中でも特異な摩擦特性をもつ。その摩擦や変形特性を調べることは、微動にブレーキをかけるメカニズムを明らかにする上でとても重要だが、我々の理解はまだ十分でない。

ゆっくり地震や深部微動は、蛇紋岩を通じて温度や圧力にコントロールされているようだ。実際、同じような温度・圧力ならば西日本に限らずいろいろなところでみられる。図2は世界で深部微動が発見されている場所を地図に示したものだ。これは今現在、私の知る限りのものであって、実は年々増えている。来年になったらまた地図に新しい印を打たなければならないだろう。一緒に海底の年齢（Müller et al., 2008）を示しているので、次の印の場所も大体想像できる。微

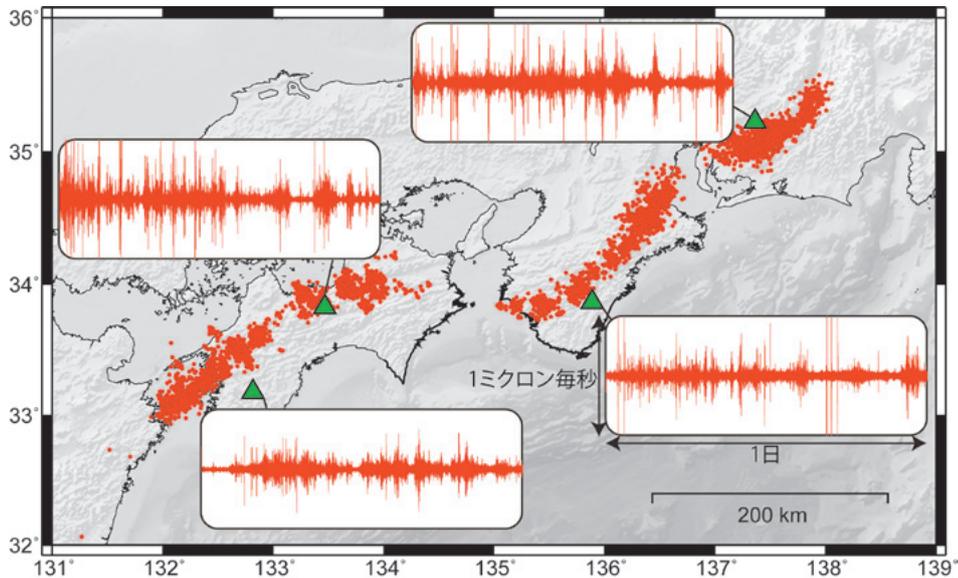


図1 西日本の微動源の分布（赤点）と4つの地震観測点（緑三角）で観測された1日の微動の例。

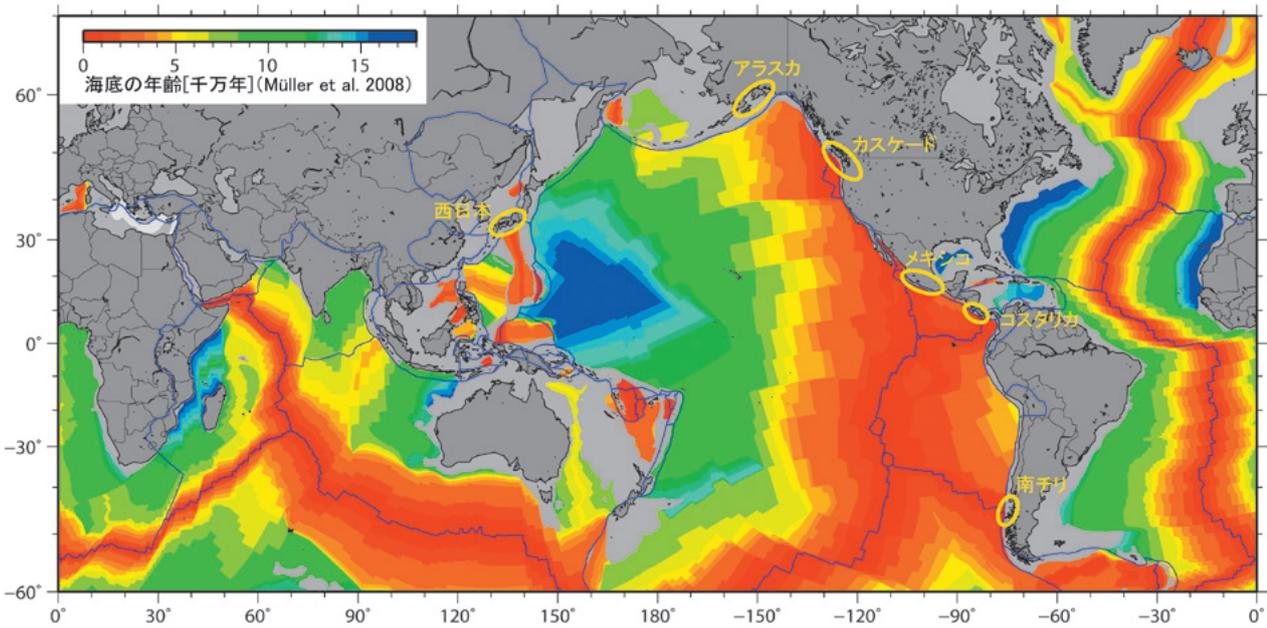


図2 世界中で見つかった微動の場所(黄色い丸囲み)と海底の年齢.

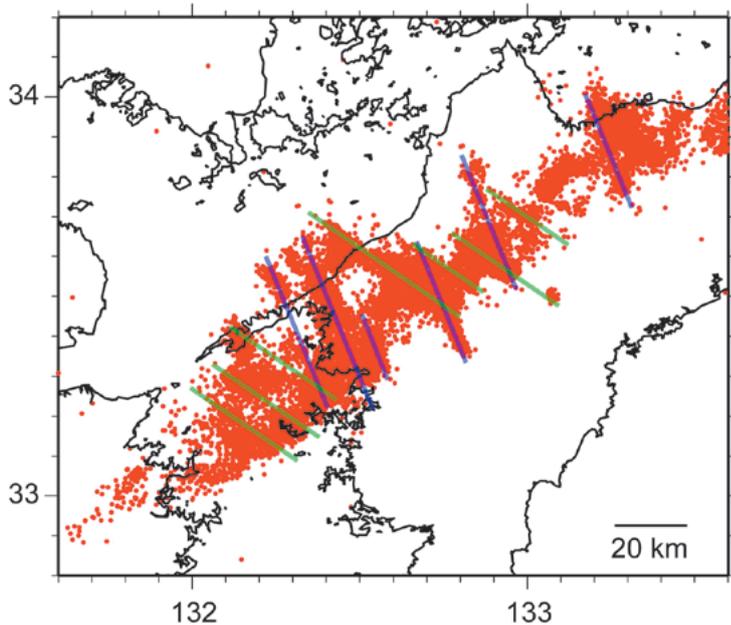


図3 四国西部の微動源分布(赤点). 現在(緑線)と過去(青線)のプレート運動方向の配列がみえる.

動は若いプレートが沈み込んでいるところで起きるのだ。古いプレートは冷たく、含水鉱物から水が出されないため、たとえば東日本では同じような現象がみられない。

深部微動の性質を決めるものは？

このように世界中で起きている深部微動だが、その振る舞いは必ずしも同じではない。たとえば日本の微動は数日で終わるが、

アメリカ(カスケード)では1カ月近く続く。微動に伴うスロースリップもアメリカでは数倍大きい。その原因は何か? 微動源をじっくりと見て、何が微動の振る舞いに違いを生み出すのかについて考えてみた(Ide, 2010a)。

微動源の空間分布の特徴の第一は、深さ30~40kmのあたりに帯状にあるということだ。しかしその帯をもっとよく見ると決して連続しておらず、ところどころで切れたり

固まったりしている。そして一つ一つの微動源の固まりは、帯の方向とだいたい直交する。大まかには北北西または西北西の方向だ(図3)。この方向に何らかの意味があるとなるとプレート運動と関係するのだろう。確かに沈み込むプレートの運動方向は西北西だ。では、北北西とは何を表しているのだろうか?

もっと時間スケールを伸ばして考えてみたい。プレートがいま西北西に沈んでいるといっても、昔からずっとそうだったわけではない。西日本の場合、沈み込むプレートの運動方向が300万年くらい前に変化したと考えられ、変化する前の運動方向は北北西だったといわれている。北北西方向に並んだ微動源が昔のプレート運動を表す化石となっている可能性は高い。

さらにこれらの微動源は、ランダムに微動を発生しているように見えて、実はそれぞれの場所で異なる振る舞いをしていることもわかってきた。たとえば、微動が発生すると長く続くところと、すぐ終わるところがある。一カ所で起きた微動が周りに広がるところと広がらないところがある。微動はかなり定期的に繰り返すのだが、その周期が1カ月だったり3カ月だったり、6カ月だったりする。ほぼ一月単位。その理由は微動が月の引力による潮汐でコントロールされやすいからである。それでも場所によっては潮汐周期とよく同期していたり全く関係なかったりする。これらは広い微動発生領域全体のなかでの個々の場所の特質である。個々の微動源が固着域ならば、その性質は固着域の大きさ

や密度、摩擦法則とも関係する。

まとめると、微動源は決して一様でなく、過去のプレート運動によって決定された線状の構造と、場所それぞれに決まった特性を持つ。この特性は過去のプレート運動によって形成されたものだろう。あとはイメージであるが、海山等の凸凹が何百万年もかけて沈み込んでいく途中で沈み込まれる側のプレートを変成させて固着域を形成する。効率的に変成させるには水の移動がスムーズに行われる必要がある。海山等の沈み込みは水の移動を促進するだろう。それが線状の微動源分布となって現れる。過去、たとえば1千万年の間に沈み込んだプレートの温度、速さ、凸凹具合が、場所による微動の違いを生み出す。この考えは、世界中で起きている深部微動とゆっくり地震の異なる振る舞いを統一的に解釈するための作業仮説たり得る。

微動研究から普通の地震へ

約10年前に発見されたとき、深

部微動は未知の奇妙な現象でしかなかった。しかしここ数年の研究の急激な進展によって、それが基本的には普通の地震と同じ枠組み、固着域と背景領域という考え方で理解されるようになってきた。この固着域の性質が過去のプレート運動の結果に依存するのは、微動も地震も同じだろう。みかけの大きく異なる2つの現象が同じ枠組みで議論できるというのは興味深い。世界各地で観察される類似現象を系統的に調べることで、地震とゆっくり地震の統一的理解へつながるだろう。

その先は、浅いところで地震を起こす固着域と深いところで微動を起こす固着域の双方を含むような総合モデリング、およびそれをういた活動予測問題につながる。現在すでに先駆的なシミュレーション研究によって、微動やゆっくり地震が巨大地震の予測に貢献できる可能性が指摘されている。たとえば、巨大地震の発生が近づくにつれ微動の規模や発生間隔が変化する可能性がある。また巨大地震に何らかの準備プロセ

スがあれば、それはゆっくり地震に似たものかもしれない。一方で微動はプレート沈み込みプロセスにおける雑音のようなものであり、予測能力は全くないという可能性も指摘されている。真実はどちらか、答えが楽しみである。

—参考文献—

Ide, S. (2010a) *Nature*, **466**, 356-359.

Ide, S. (2010b) *J. Geophys. Res.*, **115**, B08313.

Ide, S. et al. (2007) *Nature*, **447**, 76-79.

Müller, R. D. et al. (2008) *G-cubed*, **9**, Q04006.

■一般向けの関連書籍

日本地震学会地震予知検討委員会 編
(2007) *地震予知の科学*, 東京大学出版会。

系外惑星学の最近の展開

東京工業大学 大学院理工学研究科 生駒 大洋

最初の系外惑星が発見されてから15年が経ち、その数はもう500個に届こうとしている。巨大ガス惑星については統計的な議論がある程度行われてきた。そして昨年、系外惑星学は「スーパー地球」の時代に入った。我々は、生命惑星の探求に向けて着実に前進している。地球惑星科学の横断的な課題として、本格的に議論を始める必要があるだろう。

系外惑星探査の進展

太陽系外に惑星が発見されてから15年が経とうとしている。専門外の方とお話をする機会があるが、最近では「系外惑星」という言葉を抵抗なく使われる方も少なくない。そろそろこの言葉も定着してきたようだ。

さて、系外惑星の発見がもたらした一つの重要な成果は、「宇宙の中での一つの存在」という考え方を我々に根付かせたことだろう。我々人類は、銀河系に存在する数千億個の星の中で、「太陽」という星のまわりに作られた「太陽系」という一つの惑星系に属する「地球」という一つの惑星に暮らす一つの生命体である。もちろんこうした概念自体は新しいわけではないだろうが、科

学的な問題として具体的な対象を与えたことが意義深いと言える。

1995年にペガサス座51番星を回る木星級の系外惑星が発見されてから現在(2010年9月25日)までに、約500個の系外惑星の存在が確認されている。図1に、これまでに確認された系外惑星について、惑星の質量とその惑星が回る恒星(中心星)の質量を発見年ごとにプロットした。この図から、系外惑星探査の動向が伺える。

まず、赤点を見ると、地球の数倍から数千倍の質量を持つ惑星の発見数が着実に増えていることがわかる。これらは、(318地球質量の)木星のような巨大なガス惑星であると考えられている。一方、赤点が年々下に伸びていることから分かるように、小さな惑星も検出されるようになってきた。後述するよ

うに、現行の観測手法では質量の大きい惑星ほど検出されやすいが、その検出限界が年々下がってきているのである。さらに、図の底面にある青点が年々広がっている。これは、ターゲットとして様々な質量の中心星に望遠鏡が向き出したことを表している。

系外惑星探査の進展はこれだけではない。数の増加とターゲットの多様化に加えて、異なる観測法の開発によって、一つの惑星に対して得られる情報も多様化し、惑星の状態や起源をより詳細に議論できるようになってきた。本稿では、こうした系外惑星学のこれまでの成果と現状を概観する。

巨 大ガス惑星の統計学

惑星は暗いため、直接検出は難しい。したがって、これまでの系外惑星の検出は、主に間接的な手法で行われてきた。中でも、その大半は、惑星が回ることによって生じる恒星の揺れを測定する「視線速度観測」(または、ドップラー観測)によるものである。その手法では、惑星の質量(の下限値)と中心星からの距離が分かる。

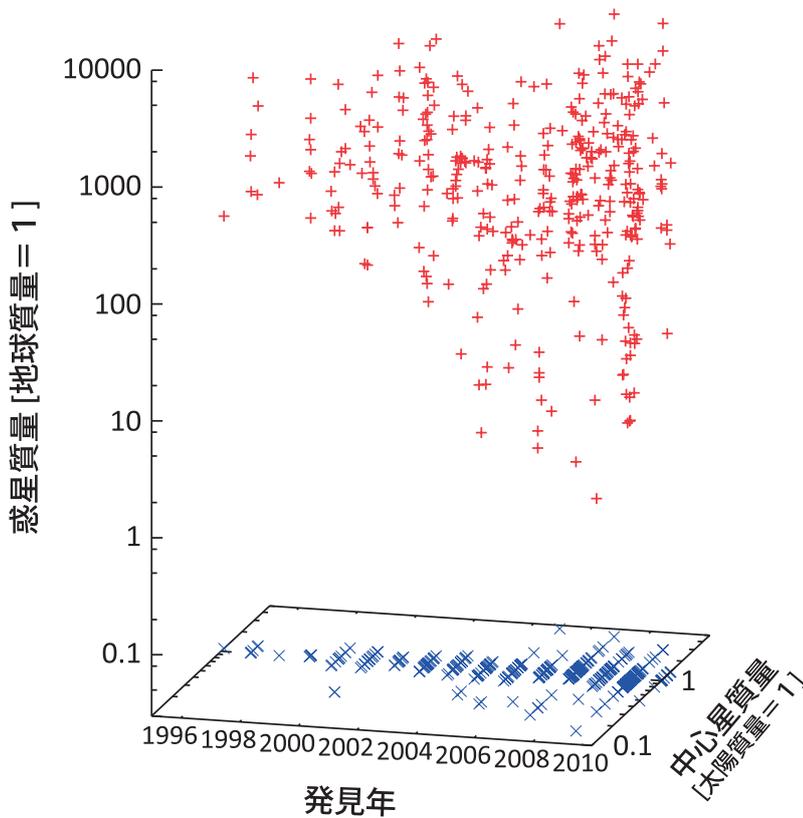


図1 検出された系外惑星の質量とその惑星が回る恒星(中心星)の質量を発見年ごとに示した。2010年3月末現在。データ元: <http://www.exoplanet.eu/>

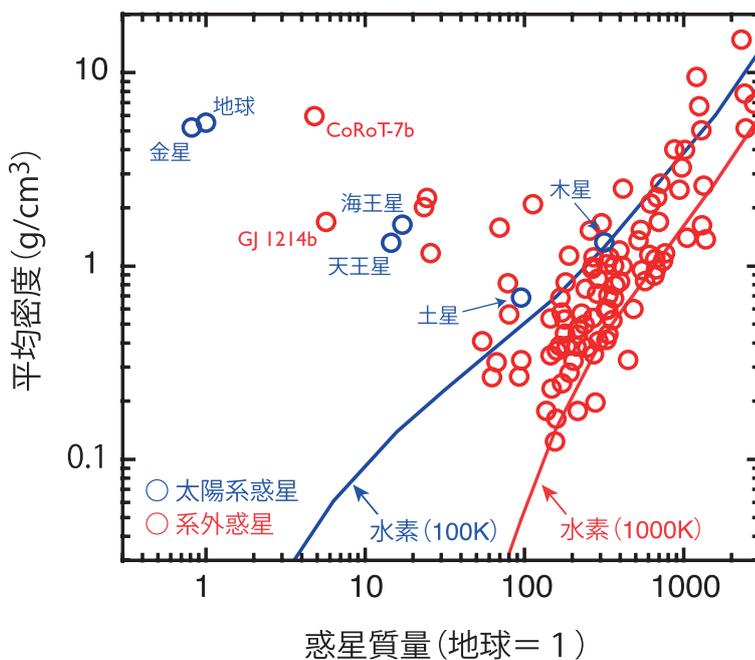


図2 トランジットが観測された系外惑星の密度と質量(赤丸。2010年9月25日現在。データ元: <http://www.exoplanet.eu/>)。青丸は太陽系の惑星である。また、赤線は表面温度が1000Kの水素惑星の平均密度で、青線は100Kの場合である。協力: 堀安範(東京工業大学)

視線速度観測の特筆すべき成果の一つは、いわゆる「ホットジュピター」の発見である。厳密な定義はないが、質量が地球質量の100倍程度以上、中心星との距離が約0.1 AU以下(1 AUは地球の軌道半径)の惑星のことをいう。太陽系では、木星と土星の質量は地球質量の約318倍と95倍、中心星からの距離は約5 AUと約10 AUである。

ホットジュピターが実際に木星のように水素主体のガス惑星であるかどうかは、視線速度観測からだけでは分からない。しかし、トランジット観測という別の手法によって、組成の推定が可能になった。トランジットとは、日食のように恒星前面を惑星が通過することである。その際に生じる見かけの減光を捉え、そこから惑星の断面積(つまり半径)を測定する。質量と半径が得られれば、内部構造および組成を推定することができる。

1999年にHD 209458bという惑星のトランジット観測に成功して以来、その数はすでに100を超えている。とくに2007年以降の増加が顕著である。図2にトランジット観測された惑星の平均密度を示した(赤丸)。また、比較のために、太陽系の惑星(水星と火星を除く)を青丸で示した。もし10年前に同様の図を作ったとしたら、青丸と1つの赤丸が点在するだけだった。この10年で統計的な議論ができるほどデータが集まったのである。

さて、図2の赤線と青線は、内部構造の数値モデリングの結果で、それぞれ表面温度が1000 Kと100 Kの水素からなる天体の平均密度を表している。図から、表面温度が1000 K程度のホットジュピターは、第1次近似的には、水素主体のガス惑星であることが確認できる。赤線に対して、高密度側に分散が見られるが、これは主に酸素や炭素などの「重元素」の含有量の違いが原因である。

このように、多くの系外惑星系でホットジュピターが存在し、それは太陽系と異なる形態である。ホットジュピターが次々と発見され始めた頃は、巨大ガス惑星を遠方に持つ太陽系は特殊であるという議論があった。しかし、観測技術の向上によって、中心星から離れた木星級の惑星が発見されるようになり、数 AUに木星級の惑星を持つ系も多くあることが分かってきた。このことから、太陽系は標準であるとは言えないが特殊でもない、いわば「クールジュピター」を持つひとつの典型的な惑星系の形態であると理解すべきである。その起源については様々な議論がなされているが、紙幅の都合上、他書(たとえば、井田 2007)に譲ることにする。

以上は、あくまでも巨大ガス惑星という観点での惑星系の比較である。しかし、太陽系には、地球型や海王星型など他の種類の

惑星も存在する。つまり、太陽系という惑星系の特徴を知るには、比較的小質量の惑星の統計学を待たねばならない。

スーパー地球の発見

系外惑星探査のターゲットは、図1や図2からも分かるように、木星級の惑星から海王星級の惑星（地球の10倍程度）、そして地球型惑星へと移行しつつある。特に最近注目されているのは、「スーパー地球」と呼ばれる天体だ。これも厳密な定義があるわけではないが、質量にして1-10地球質量程度の惑星をそう呼んでいる。太陽系には、そのような天体は存在しない（図2）。形成論の見地では、そうした惑星の存在も予測されるが、その実体は謎である。

そうした中、昨年、スーパー地球と認められる天体が2つ発見された。一つ目は、欧州の宇宙望遠鏡 CoRoT が検出した惑星 CoRoT-7b である。報告によると、半径は地球の1.7倍で、質量は地球の約5倍である。まさに、スーパー地球と呼ぶにふさわしい惑星である。図3に我々の内部構造モデリングの結果（Valencia *et al.*, 2010）を示した。そこでは、シリケートと鉄の最新の状態方程式を用いて、内部構造を数値シミュレーションした。理論的な推定値（実線）と観測値（灰色四角）を比べれば分かるように、（シリケート/コアの比は別として）地球と類似の組成と構造で観測値を説明することができ

る。

しかし、組成的に地球と類似であっても、表層環境などはまったく異なる。CoRoT-7bは、太陽と類似のG型主系列星の非常に近傍（0.017AU）を回っている。そのため、昼側では2000Kを超える灼熱で、表面はマグマの海で覆われていると推定されている。さらに、大気成分はナトリウムやシリケートであると予想されている。また、中心星に近いために、月がそうであるように、潮汐力によって自転と公転が同期している。つまり、夜側には常に陽が当たらない。その時の夜側の環境や惑星全体の熱的内部状態など、まだまだ謎が多い。

もう一つのスーパー地球は、米国の地上望遠鏡 MEarth が検出した GJ 1214b という惑星である。半径は地球の2.7倍で、質量は5-7地球質量と報告されている。CoRoT-7bと同様に中心星に非常に近い（0.014AU）が、CoRoT-7bと異なり中心星が暗い恒星（M型）であるため、表面温度は約600Kと比較的低い。このスーパー地球は密度が低く（図2参照）、地球をそのまま大きくしただけでは説明ができない。CoRoT-7bとは異なり、氷あるいは水を主成分とする惑星である可能性が高い。

このように、系外惑星学はスーパー地球時代に入ったと言える。まだ2つのサンプルしかないが、その2つは大きく異なっている。最近、CoRoTだけでなく、昨年3月に打ち

上げられた Kepler 宇宙望遠鏡が、スーパー地球候補を100個以上確認しているという報告がされた。フォローアップには時間が少しかかるが、統計的な議論が可能になるのも時間の問題である。今後、明らかになってくる多様性の中で、太陽系の地球型惑星や海王星型惑星がどこに位置づけられるか分かってくるだろう。

ハ ビタブルプラネットへ

我々は生命惑星—いわゆるハビタブルプラネット—の発見・探求への道を着実に歩んでいるといえる。それと関連して注目されているのが、太陽より小さく暗いM型星と呼ばれる中心星だ。

生命に必須とされる液体の水が存在するには、温度が適度に低い必要がある。1つの恒星の周りでは、それは中心星から遠ざかることに相当する。しかし、現行の観測手法では、中心星から遠ざかるほど、検出が難しくなる。その困難を緩和してくれるのがM型星周りの惑星探査である。それは、中心星質量が小さい方向に図1の青点が増えていることから伺える。とはいえ、中心星に近づくと、今度は強力な紫外線照射や中心星潮汐、自転公転同期など地球とは異なる環境に惑星が置かれることとなり、それが表層環境や生命の発生・進化に与える影響を評価しなければならない。また、生命惑星であるためには水だけでなく、プレートテクトニクスや大陸、海の深さ、大気圧と組成、磁場の有無、さらに、クールジュピターの存在など様々な要素が影響を及ぼしているだろう。生命惑星を捉え始めた今、これらを総合的に評価する時期に来ている。

我々は宇宙で唯一の存在か否か—現代の地球惑星科学者は、この問いに科学的に迫ることができる。しかも、10-20年先には、何らかのヒントが得られるかもしれない。こうした時期に地球惑星科学者でいられることを幸せに思う。今後の系外惑星学の発展に期待すると同時に、地球惑星科学の横断的な課題として、様々な分野の方々で議論していきたい。

—参考文献—

Valencia, D. *et al.* (2010) *Astronomy & Astrophysics*, 516, A20.

井田 茂 (2007) *系外惑星*, 東京大学出版会.

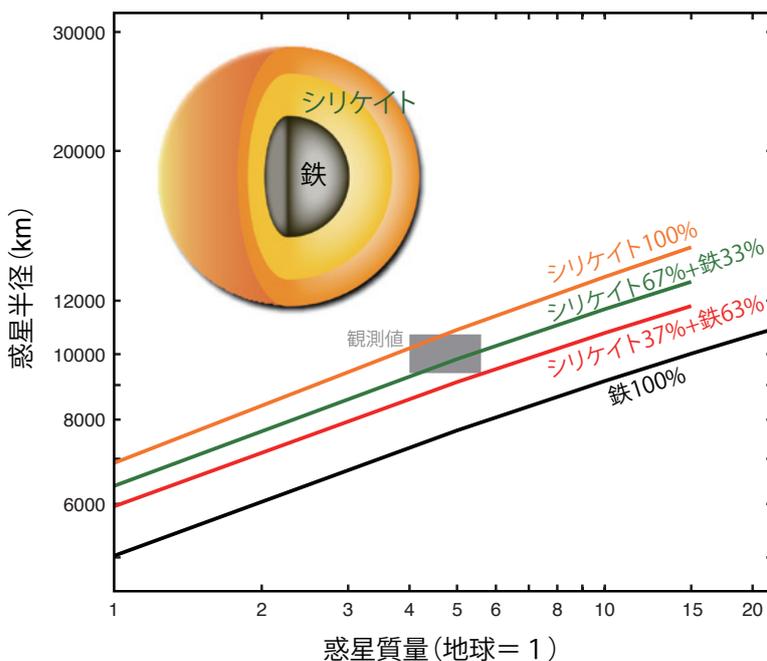


図3 岩石惑星の半径の理論推定値。Valencia *et al.* (2010) の図4を改変。灰色部分は、スーパー地球 CoRoT-7bの観測値を表す。ただし、質量の見積もりに関しては、まだ議論中である。

■一般向けの関連書籍

D. D. サセロフ, D. バレンシア (生駒大洋訳) (2010) *日経サイエンス* 2010年11月号, 50-59.

新しい「地球の科学」の全体像を体系化

新装版

地球惑星科学



[編集委員] 住 明正・平 朝彦・鳥海光弘・松井孝典

全14巻

新たな枠組みと斬新な切り口で分野全体を見渡すシリーズ。地球の起源や歴史を明らかにし、気候変動・環境問題などの本質に迫る。

A5判・並製カバー・224~544頁

1 地球惑星科学入門

松井孝典・田近英一・高橋栄一・柳川弘志・阿部 豊
..... 定価3465円

2 地球システム科学

鳥海光弘・田近英一・吉田茂生・住 明正・和田英太郎
大河内直彦・松井孝典 定価3360円

3 地球環境論

住 明正・松井孝典・鹿園直建・小池俊雄・茅根 創
時岡達志・岩坂泰信・池田安隆・吉永秀一郎 定価3360円

4 地球の観測

平 朝彦・浜野洋三・藤井敏嗣・下田陽久・末広 潔・徳山英一
上田 博・竹内謙介・住 明正・佐野有司・蒲生俊敬・井澤英二
..... 定価3885円

5 地球惑星物質科学

鳥海光弘・河村雄行・大野一郎・赤荻正樹・川崎智佑・清水 洋
..... 定価3780円

6 地球連続体力学

松井孝典・松浦充宏・林 祥介・寺沢敏夫・谷本俊郎・唐戸俊一郎
..... 定価3885円

7 数値地球科学

住 明正・寺沢敏夫・岩崎俊樹・遠藤昌宏・小河正基・戎崎俊一
..... 定価3675円

続刊

8 地殻の形成

平 朝彦・末広 潔・廣井美邦・巽 好幸・高橋正樹
小屋口剛博・嶋本利彦

9 地殻の進化

平 朝彦・徐 垣・鹿園直建・廣井美邦・木村 学

10 地球内部ダイナミクス

鳥海光弘・玉木賢策・谷本俊郎・本多 了・高橋栄一
巽 好幸・本蔵義守

11 気候変動論

住 明正・安成哲三・山形俊男・増田耕一・阿部彩子
増田富士雄・余田成男

12 比較惑星学

松井孝典・永原裕子・藤原 顕・渡邊誠一郎・井田 茂
阿部 豊・中村正人・小松吾郎・山本哲生

13 地球進化論

平 朝彦・阿部 豊・川上紳一・清川昌一・有馬 眞
田近英一・箕浦幸治

14 社会地球科学

鳥海光弘・松井孝典・住 明正・平 朝彦・鹿園直建
青木 孝・井田喜明・阿部勝征

[定価は消費税5%込みです]

岩波書店



〒101-8002 東京都千代田区一ツ橋2-5-5
<http://www.iwanami.co.jp/>

特別
企画

岩波講座『地球惑星科学』新装版復刊記念！

誌 | 上 | 座 | 談 | 会 |

岩波講座「地球惑星科学」全14巻(岩波書店)が、装いも新たに復刊されることになりました。岩波講座「地球惑星科学」は、地球惑星科学分野全般をカバーする現時点で唯一の教科書シリーズであり、日本地球惑星科学連合の多くの会員に関係する内容であることから、今回は特別企画として「誌上座談会」という形で取り上げることにいたしました。

誌上座談会では、岩波講座「地球惑星科学」発刊時の若手執筆者にお集まりいただき、復刊への思いや執筆当時のエピソード、これから学ぼうとしている人へのメッセージなどを語っていただきました。日本地球惑星科学連合の各セクションから、それぞれお一人ずつ代表として、宇宙惑星科学：阿部豊(東京大学大学院理学系研究科)、大気海洋・環境科学：阿部彩子(東京大学大気海洋研究所)、地球人間圏科学：茅根創(東京大学大学院理学系研究科)、固体地球科学：吉田茂生(九州大学大学院理学研究院)、地球生命科学：大河内直彦(海洋研究開発機構)の皆さんです。案内役は、谷篤史(大阪大学大学院理学研究科)が務めます。

今回の復刊企画について

谷 まず、今回の復刊企画。皆さんの率直なご意見やご感想をお願いしたいと思います。

大河内 長らく売り切れ状態だったので、復刊を聞いたときは嬉しい気持ちになりました。ですが、その間にずいぶんと科学に進歩があったので、少し時代遅れになったかなという印象も同時にあります。チャンスがあれば、新しい内容に書き換えたいですね。

吉田 何かと参照することも多い教科書なので、復刊されることは喜ばしいことです。ソフトカバーにして価格を下げたのも(あまり大きくは下がっていませんが)、学生が手に入れやすくなったという意味でよいことだと思います。しかし、内容が元のままなので、大河内さんが言われたように、今となっては古くなっている部分がありますね。

阿部彩 私は、大学2年生の「地球環境論」という講義を茅根さんと一緒に担当させていただいて、このシリーズを学生に薦めていたので、復刊はとても助かります。自分でまた書けばよいのですが、復刊のおかげで当分は研究や国際的活動に時間をあてることが出来ます。地球温暖化が社会問題として取り上げられたり、それを懐疑的に思う人たちの本がよく売れるのを見るにつけ、このような気候研究の基礎や広がり全般をみることが出来る書物の必要性を感じます。

谷 待望の復刊というわけですね。ところで、この岩波講座「地球惑星科学」はどのような歴史的背景のもとで生まれたのでしょうか。

茅根 このシリーズの前に岩波講座「地球科学」(全16巻)がありました。1970年代末に出版され、プレートテクトニクスというパラダイム変革を総括しようという熱気の中でまとめられました。一方、岩波講座「地球惑星科学」は、次のパラダイムとして、地球環境問題や地球システム科学に大きな期待をいできて企画・出版されたのでしょうか、不完全燃焼のまま復刊という形で若い世代に引き渡すことに、内心忸怩たる思いがあります。初版が出版されてから15年が経ち、地球環境問題は地球科学の最も重要なテーマとなり、気候モデル、炭素循環、古環境変動など、研究は大きく進展しました。しかし、それは地球環境「問題」への回答としての科学であって、目から鱗のように統一的理解させるようなパラダイムの変革ではありません。数百名もの科学者が数百ページものレポートとして、

政策策定者に提供する新しい形の科学はできましたが、その中核にどんな新しい地球科学ができたのでしょうか。

阿部豊 私が学んだ最初の岩波講座「地球科学」は、1つの章をみても理解できず、他の章をみざるを得ないようになっていました。それは、このシリーズがちょうど地球科学のいくつかの強固な学問分野、たとえば、地震学、測地学、岩石学などが「プレートテクトニクス革命」を背景に学問の再編成をしているところだったからです。70年代の地球科学は、目的の異なる学問の寄せ集めでできたアパートみたいなものでしたが、どうも隣の住人と関係があるらしい、つきあわないといけないようだ気がついた時期です。隣に手を伸ばして広がり、共同認識や共通目的で再編成をして、統一的教育をしようとしていたのが80年代です。ところが、90年代に発刊された岩波講座「地球惑星科学」は、教科書としてはかえって体系が悪くなってしまったのではと危惧しています。ある現象を手軽に理解するサマリーとしてはとても優れているのですが、それ以上に深く学んだり、現象の理解につながるそれ以前の基礎的学問がかえって見えなくなったりしてしまいました。ある現象を探索するためのトピックは見るが、その隣は見ない、ということが起こり、かえって蛸壺化を進めてしまう恐れがあると思います。しかし、私は復刊によりこのシリーズを手にとってもらうことは「学ばないよりはまし」だと思っています。本心としては、全部を読まないという意味がないと思っていますが。

吉田 以前の岩波講座「地球科学」と比べると、たしかに構成がだいぶ様変わりしていますよね。従来の、たとえば測地学、岩石学、堆積学といった学問分野に則った巻構成ではなく、地球惑星科学の対象に沿った巻構成になっています。このことは、連合が5つのセクションで編成されたことと軌を一にしていて、地球惑星科学全体がまとまってきた時代の流れを感じます。連合の固体地球科学セクションに相当する部分は、第5、8～10巻あたりを中心にまとめ、編者が伝統的学問分野ではなく時空間や現象に即してまとめようとしたことがわかります。一方で、たとえば測地学の基礎的な事柄を学ぼうとすると、まとまった記述がありません。現代的な見地から言えば、測地学は伝統的テクニックの一つで、学問としては古びているけれども、決して不要になったわけではなく、たとえば惑星探査でも利用されています。こういった伝統的なテクニックをどういう枠組みの中で学ぶのが良いかということは、今の大学教育の中でも難しい点かもしれませんね。

執筆当時のエピソードなど

谷 執筆されたときのエピソードなどありますか。

大河内 当時、私は京都大学のポスドクで、指導教官だった和田英太郎先生から、君も執筆に参加しないかと誘われました。和田先生と議論しながら練り上げていくのは楽しい知的作業でした。当時、和田先生と一緒に執筆した章の編集を岩波書店の永沼さんに担当していただき、私が窓口となっているいろいろやり取りをしたのですが、12年後に「チェンジング・ブルー：気候変動の謎に迫る」を岩波書店から出版したとき、再び永沼さんに担当していただくことになりました。縁があるものだなと思いました。

谷 すごい縁ですね。執筆時にこだわったことなどありますか。

吉田 私が執筆した部分（第2巻「地球システム科学」の第3章「地球システムにおける対流とエネルギーの流れ」）は、あまり他の教科書にはないスタイルで書いたつもりです。対流の熱力学の話などは、ふつうの教科書にはないだろうと思います。実は、最初に書いた原稿は、張り切りすぎていたためにもっと偏っていて、編集者の先生にたしなめられました。書き直した結果、現状の程度に落ち着いて、だいたい良い感じになったかなと思います。今でも自分の講義で使えているので、結果的によいものになったと自負しています。

茅根 当時は、地球環境問題（地球温暖化）が地球科学をはじめとする基礎科学の様々な分野に急速に広がっていました。研究者は、何億年も昔の温暖期の研究を地球温暖化に資するなどお題目のように申請書の冒頭に書いていたりしました。一方で、研究資金を配分する行政の担当者や審査員は、そんな長い時間スケールのことが地球環境問題に資するのかと疑問を呈していました。そんな中で、地球環境問題における古環境研究の立ち位置を示すつもりで執筆したのが私の担当した章（第3巻「地球環境論」の第4章「氷期と将来の地球環境変動」）でした。地球環境問題は、これまで我々が扱ったことのない100年という時間スケールであり、この時間スケールに対して、観測やモデルの数日から1年の時間スケールも、古環境研究の千年、万年の時間スケールも、桁の違いはどちらも2桁で同様に重要であることを主張しました。

谷 執筆当時の熱気を感じますね。

執筆時から新装版出版までの間に変わったこと、わかったこと

谷 座談会の冒頭でもお話がありましたが、執筆されてからもう10～15年が経過しています。各分野における進展などを教えていただけませんか。

阿部豊 惑星科学の分野では、系外惑星の発見やそれに関する惑星気候研究などでしょう。

阿部彩 大気海洋・環境科学分野では、気候研究への認識が幅広くなくなったと同時に誤解もされやすく、性急な答えを求められるようになりました。複雑なシステムではあるが、いくつか押さえるべき基礎がある。また、観測とモデル実験の具体的なたくさん課題が急増したと思います。

吉田 私の専門に近いマントルやコアの対流に関する分野では、マントルに関していうと化学組成を取り入れたような対流計算の結果だとか、コアに関していうと最近盛んになったMHD（電磁流体力学的）ダイナモ計算の成果をもっと取り入れた教科書にしなければいけないと思います。さらに、マントルの物質科学の分野では、

マントル最下部のD"層を構成していると考えられるようになったポストペロプスカイト相が日本で発見されたことも特筆すべきことですね。

茅根 古環境変動については、その後、海からも陸からも膨大なデータが得られ、我々の理解も大きく進みましたし、改訂すべき点も多いと思います。ですが、先程述べたように、地球環境問題に資する古環境研究の意義は、今も変わっていません。また、地球人間圏科学分野については、地球環境変化が人間圏にどのような影響を与えるか、どう対応すべきかといった研究は進みました。しかし、土地利用や水資源利用の変化が地球システムにどのようにフィードバックするかといった、地球科学と人間圏科学の融合が必要な分野は研究が始まったばかりで、真の意味での文理融合はもう少し先のように思います。

大河内 地球生命科学を取り巻く環境は、この10年でずいぶん様変わりしました。私が長年関わってきた有機化合物を地球上で起こる様々なプロセスのツールとして用いるやり方は、標準的な方法論にまで発展してきました。現在、「地球生物学」と呼ばれる分野は、まさしくその延長線上にあるもので、これから大きく成長しようとしています。

これから学ぶ人たちへ

谷 最後に、これから「地球惑星科学」を学ぶ、もしくは学んでいる人たちにメッセージをお願いします。

吉田 岩波講座「地球惑星科学」全体でいえば、学生が学ぶ教科書としては、いろいろ不満も出てくるかなあという気がします。分担執筆の教科書で、どうしても全体として一貫性が無い部分がありますし、基礎から最先端までの論理が緻密に書かれている訳でもありません。研究者になれば、それぞれの執筆者の個性を楽しむという読み方もできますが、学生にはそういう読み方は難しいでしょうね。それは仕方がないとあきらめ、参考書の一つとして使ってもらえればと思います。

大河内 新しく開拓された分野は、教科書もなく、学生さんには研究の価値や評価が見えにくいかもしれません。頼れるコンパスは、論理的な思考だけでなく、自分自身の戦略的な方法論と直感だけです。裏を返せば、ワイルドで冒険に満ちています。科学で冒険を楽しみたい学生さんには、「地球惑星科学」という分野はぴったりだと思いますよ。

茅根 最近、地球惑星科学分野に進む学生の数が減ってきています。地球環境問題がこれだけ社会の関心を集めているのに、どうしてなのでしょう。学生の生の声を聞くと、問題解決のためなら理学ではなく工学に進んだ方が役に立つと考えて、そちらを選ぶ学生が多いようです。しかし、社会的要請とはいえ、この10年で膨大なデータが集積し、地球科学は新しいパラダイムの変革の一手手前まできていながら、どの鱗をはがしたらよいのか、模索が続いている状況です。若い皆さんには、ぜひこのパラダイムの変革に参加してほしい。パラダイム変革直後の分野は、熱気と魅力にあふれていて、多くの学生が志望しますが、実際にその分野で身を立てるころには、通常科学に移行して惰性の研究が続くだけです。パラダイム変革直前の地球惑星科学分野に進めば、自ら変革を起こして先導することができますよ。

谷 学生だけでなく、研究や教育に携わる多くの方にとっても魅力的なお話が多かったと思います。岩波講座「地球惑星科学」をもう一度読み直してみると、新しい発見がありそうですね。みなさま、貴重なお話をありがとうございました。

学術の大型研究計画マスタープランについて—経過と今後—

～ 学術会議だより その①～

日本学術会議地球惑星科学委員会委員長 平 朝彦 (海洋研究開発機構)

マ スタープランの策定とその意義

本年3月17日に、日本学術会議科学者委員会『学術の大型研究計画検討分科会』では、『学術の大型施設計画・大規模研究計画—企画・推進策の在り方とマスタープラン策定について—』を提言として発表した。その経緯について、ここにまとめてみたい。この提言は大きな影響力を秘めているにもかかわらず、地球惑星科学コミュニティにはその意義が十分に伝わっていなかったように思われるため、まずこれまでの経緯を理解していただくことが非常に重要だと考えるからである。

大学の法人化以降に、大型研究施設の建造や維持に関する環境は大きく変わった。以前の概算要求の仕組みは、一括運営費交付金の中に自然消滅し、大型研究の推進方策が見えない状態に陥った。一方、旧科学技術庁系のいわゆる研究開発法人においても、基礎研究や学際的研究が実施されてきた。研究費の効率的な使用という面から、両者の特徴を生かしつつ、協力体制を組むことも重要である。日本学術会議では、このような状況を踏まえて、第20期に報告『基礎科学の大型計画のあり方と推進について』(2007) (<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-t90-2.pdf>) をまとめた。この中で、

1. 基礎科学の大型計画に関わる長期的マスタープラン・推進体制の確立
2. ボトムアップ型と国策的大型研究の関わり・協力と将来のあり方

について記述した。

マスタープランの策定は、次のような意義を持つ。

- A. 大型研究として何を考えているのか、どのように推進しようとしているのか、についての全体状況を、研究者コミュニティが把握できる。
- B. マスタープランは、将来展望、科学外交、予算要求などのガイドラインとして役割を果たす。

従前には、我が国において、このようなマスタープランは存在しておらず、個々の研究計画がそれぞれの審議・評価体制のもとに作成され、推進されてきた。もし、全

体を俯瞰するようなリストがあれば、基礎科学の全体像を把握することが可能であり、また、より幅広い分野での連携や協力体制を作ることが出来る。諸外国には、このようなマスタープランが既に存在し、OECDなどの場では、科学外交の基礎資料としても活躍している。

地 球惑星科学関連分野の7つの計画

日本学術会議は第21期になり、新たな分科会を立ち上げ、マスタープランの策定に向けて調査を行うこととなった。その途中において、大型計画を、大型施設の建造や大幅改修を目指すタイプと、多数の研究者がネットワークを作り推進するタイプに区分することとした。前者を『大型施設計画』、後者を『大規模研究計画』と呼ぶことにした。アンケートは2009年に2回に分けて行われ、この結果、地球惑星科学分野では、計25件の提案があった。その後、ヒアリングなどを経て、全体として43計画をリストアップした。地球惑星科学関連分野では地球惑星科学委員会が中心となってまとめを行い、7つの計画に集約させた。それらは、

1. 「地域の知」の資源のグローバルな構造化と共有プラットフォーム
2. 衛星による全球地球観測システムの構築
3. 未来予測を目指した統合的な地球環境の観測・実験・モデル研究
4. 最先端技術で探る地球内部ダイナミクスと防災研究計画
5. 全地球生命史と地下生物圏探査計画
6. 複数衛星による地球磁気圏探査(SCOPE)計画
7. 太陽系進化の解明を目指す宇宙惑星探査・開発プログラム

である。これらの計画には、様々な段階のものが混在していることを認めねばならない。たとえば、地球環境の未来予測研究には、大気や海陸の観測、スーパーコンピュータによる数値実験、さらに環境制御の実験などが含まれているが、これらは統一の計画として、はじめから検討されたものではない。地球内部ダイナミクス研究においては、地球深部探査船「ちきゅう」

による掘削、海底ネットワーク観測、地殻構造探査、高エネルギー素粒子を用いた地球内部探査など多種多様な観測や実験が含有されており、これも個々の計画の集合体からなる。一方、衛星による地球観測、SCOPE計画そして宇宙惑星探査の3つは、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が主導する計画そのものであり、他のものとは成り立ちが異質である。すなわち、この計画策定においては、私のリーダーシップ不足、時間的制限などにより、マスタープランの意義が十分に伝わらず、対応が不十分であった。この場を借りてお詫びしたい。

実は、同様なことは他の分野においても多々認められるため、分科会では、来年(2011年)の10月をめどにマスタープランの改訂作業を行うために、今回、第3回目の調査を行うこととなった。これについては、2010年9月26日付けの日本地球惑星科学連合メールニュースおよび連合ホームページのニュースを参照されたい。

今 後の展開

大型研究のマスタープランは、その後、科学技術・学術審議会の『学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会』(委員長:飯吉厚夫)において、文部科学省の政策に反映するという視点からの評価がなされてきた。また、最先端研究基盤事業の選定、大学などの提案する特別研究プロジェクト経費(運営費交付金)の選定評価などにおいても、参考にされたと考えられる。このように、その存在感は、当初、学術会議が考えていたより、次第に増している。

第3回目のアンケート調査では、1から始めるつもりで再調査を行い、コミュニティが納得できるものにする必要がある。しかし、時間はかなり限られている。ニュースでも流したように、まず、2010年11月15日締め切りで連合事務局まで計画案を提出して欲しい。それを地球惑星科学委員会と連合が協力して調整し、12月22日の学術会議の締め切りに間に合わせるようにしたい。良質の大型研究計画が策定できるかどうか、我が国の地球惑星科学のレベルが問われている。ご協力をよろしくお願いたします。

IPCC と科学者の社会的責任

～ 学術会議だより その②～

日本学術会議会員／大気海洋・環境セクションプレジデント 中島 映至 (東京大学)

I PCC 評価システムに関するレビュー

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 評価システムに関するレビューが、インターアカデミーカウンシル (IAC) によって発表された。昨年問題となった IPCC 第 4 次評価報告書 (AR4) を巡る一連の批判を受けて、国連事務総長と IPCC 議長が IAC に依頼していたものである。IAC による一般意見募集が 7～8 月に行われ、我が国の科学者からも意見が出されていた。

このレビューでは、IPCC が今後とも重要であることを述べた上で、具体的な改善点を示している。AR4 には査読段階で 9 万件におよぶコメントが寄せられ、執筆者と査読編集者 (RE) がその対応に追われた。このような事態を受けて、より要点を絞った効果的な回答プロセスを実現するために、議長 (Chair)、代表執筆者 (CLA)、RE の役割の明確化、特に RE の役割の強化 (RE が重要案件を示すなど) が提言されている。

また、評価に対する社会的関心の増大に対処するために、社会とのコミュニケーション (意思疎通) 戦略の確立、透明性の確保、利害関係者 (ステークホルダー) への適切な説明が重要であることを指摘している。これは同時に、科学的知見の理解度や不確実性をどのように示すかという評価手法に関する本質的な問題を問うている。

レビューでは、理解度や不確実性の使い分け、定量化ができない知見の提示の仕方についても例をあげて方法を提案している。さらに、今回、批判が集中した、非科学論文の取り扱いの厳重化を指摘している。

これらの改善を実質的なものにするために、このレビューでは支援システムの充実を提言している。事務局体制の増強、利益相反ポリシーや情報開示ポリシーの確立、マネジメントの近代化、データアクセスと透明性の確保のためのより近代的なデータ収集・公開手法の確立などがそれである。そして、これらの日々の問題を処理するために理事会 (執行委員会) を置くことを提言している。3 つの作業グループ報告書を

1 年以内に一度に出す現在のスキームに対しても、気候変動メカニズム理解のための第一作業グループ報告書を先に、影響評価はずっとあとに出す案なども示されている。

これを受けて、今後、IPCC 第 32 回総会 (10 月、釜山) などで議論が行われる予定である。すでに第 5 次評価報告書 (AR5) の執筆作業が始まっており、走りながら考える状況ではあるが、第一作業グループでは RE の数を増やすなどの対策が進められている。

ターニングポイントにある IPCC 型評価システム

IPCC 評価報告書は、人類が地球温暖化問題に対処するための貴重な武器である。したがって、IAC の提言を現在のシステムに反映して評価を改善して行くことは重要である。しかし同時に、この間の議論のなかで、私はボランティアベースの IPCC 型の評価システムはターニングポイントにあるとも思っている。

気候変動とその影響、軽減策に関する知見は膨大で、AR4 は全体で三千ページにも及んだ。この膨大な知識の把握は難しく、とくに複雑なプロセスを多数組み込んだ数値気候モデルが介在するときには、時として、細部にわたって十分な情報を与えられていないと社会が疎外感を感じる「モデルディバイド」ともいべき現象が出現している。そのために、より丁寧で適切な説明が必要なことは、IAC レビューでも示されているところである。AR5 では、そのためにさらに多くの時間が割かれることになると思われる。

問題なのは、科学の宿命として未知の現象を扱うがゆえに、混入を皆無にすることが難しい不適切な記述への過度の批判や、さらにそれが個人攻撃や訴訟問題にも発展する事態に及んでいる点である。

たとえば、昨年のおいゆる「クライメートゲート事件」では、イーストアングリア大学気候研究ユニットのフィル・ジョーンズ博士が休職する事態に至っている。このような現象の背景には上記に述べた疎外感

と同時に、温暖化現象の顕在化と対策実施に伴って起こるステークホルダーの増加と相克の先鋭化もある。

IAC レビューでは、これらの事態を認識したうえで、問題への機敏な対応のために、ウィキ型の評価システムも考えられるとしている。しかし、即応性が必要なこのような手法は、逆に地球温暖化問題をショー化してしまい、本来、現象の科学的研究に邁進すべき科学者の時間をさらに奪う可能性もある。

一方で、時代はすでに、温暖化現象の証明の時代から、対策のためのアセスメントの時代に入っており、新たに立ち上がった文部科学省の「気候変動適応戦略イニシアチブ」などでもわかるように、地球温暖化研究の知識とツールが現実の対策のなかで使われ始めている。科学者へのこのような期待と批判が入り交じる状況のなかで、我々は上記のウィキシステムも含めて、新しい評価システムを検討してみる必要があると思われる。

ひとつの案として、不確実性が不可欠な最先端研究の評価と並行して、執行機能を有する国際機関を設けて、温暖化に関する確実度の高い知識の共通認識の確立と、それに基づいた対策の執行を進めるシステムを創造するのはどうであろうか。それによって科学者が果たすべき社会的責任がより明確になると思う。

科学者コミュニティーで真剣に議論を

気候変動メカニズムの理解と気候変動予測の問題には未だに多くの未知の課題がある。科学者の責任が益々重くなる中で、この問題に科学者がどのようにコミットすべきかについて真剣に考えるべき時期が来ている。新たに生まれ変わった日本学術会議と日本地球惑星科学連合では、このような科学者コミュニティーにおける懸案事項を議論して、意見として発信して行く役割の重要性が指摘されつつある。本懸案についても議論の場を作ってゆきたい。

はやぶさ試料キュレーション

2010年6月13日、探査機「はやぶさ」が小惑星への往復飛行に世界に先駆けて成功し、サンプルカプセルが地球に無事帰還した。「はやぶさ」が夜空に残したまばゆい光の帯をご覧になった方も多いと思う。6月以降、サンプルコンテナのキュレーション作業が進められているが、小惑星イトカワ表面で当初予定されていた試料採取作業を実施できなかったこともあり、キュレーション作業は慎重に時間をかけて進められている。コンテナ中に小惑星イトカワの試料が含まれていれば、我々は月の岩石、彗星の塵につづ

き、人類が能動的に地球外から採取した3例目の固体物質を手にするようになる。小惑星物質としては世界初であり、また、我が国として初めてのリターンサンプルということにもなる。

JAXAからの最新発表(2010年10月8日)によれば、コンテナ内部よりヘラで採取された試料の中に、コンテナの主成分であるアルミニウム粒子とは異なる組成を持つ粒子が多数含まれていたとのことである。これらがイトカワからの粒子であるかどうかは今後の初期分析の結果を待つ必要がある。

年内には金星探査機「あかつき」の軌道投入もおこなわれる。こうしたわが国の惑星探査の動向に、今後も大いに注目したい。



「はやぶさ」大気圏再突入。JAXA提供

国際地学オリンピックで初の金メダル獲得!

本年9月19日から28日にかけて、インドネシアのジョグジャカルタ周辺で第4回国際地学オリンピック(IESO)が開催され、17カ国・地域から63名の高校生が地質・固体地球科学部門、気象・海洋科学部門、天文・惑星科学部門の3部門の筆記試験と実技試験に臨んだ。日本チームは高校生4名、メンター2名、オブザーバー4名の体制で参加した。

その結果、日本チームは、金メダル1個(野田和弘選手:広島学院高等学校3年)、銀メダル3個(大西泰地選手:白陵高等学校2年、川島崇志選手:静岡県立磐田南高等学校3年、武内健大選手:聖光学院高等学校3年)を獲得した。これは、前回台湾大会の成績(全選手銀メダル)を上回る好成績であった。また、金メダルの獲得は第2回大会から参加している日本にとって初めてであり、天文・惑星科学部門トップ賞との同時受賞というおまけつきであった。

メダル対象外の国際協力野外調査(ITFI)では、別々の国・地域の選手6~7名ずつが10班に分かれて鍾乳洞で調査を行った。調査翌日の午前中には、調査結果をプレゼンテーションソフトと英語を駆使して発表した。各班の発表は各国のメンターによって評価され、Best Cooperation TeamとBest Presentation Teamがそれぞれ表彰された。残念ながら日本選手はそのどちらにも含まれなかったが、彼らが積極的に意見交換する様子がうかがえた。ITFIの活動が全

参加者にとって国を越えた交流を深める貴重な機会となっていることは、最終日のフェアウェル・ディナー会場全体を包んでいた生徒全体の一体感からも察せられた。

今大会の参加国は17カ国で、前回大会と比べて3カ国増えた(フランスは昨年に引き続きオブザーバー参加)。

今大会では、金メダル7個、銀メダル14個、銅メダル26個が授与され、金メダルは、日本以外に台湾(3名)、韓国(2名)、インドネシア(1名)が獲得した。また、天文・惑星科学部門以外の2部門のトップ賞は台湾が独占した。

9月29日には、帰国したその足で文部科学省を表敬訪問した(写真参照)。表彰を受けた後、高木義明文部科学大臣、鈴木寛副大臣と林久美子政務官が同席される中、代表選手4名はそれぞれ参加報告を行った。その後の懇談では、メンターが大会の様子を報告し、生徒が今後の夢を述べるなど、限られた時間ではあったが国際地学オリンピックの魅力を伝えることができた。

今大会では、開催国の役割・負担が大きく、参加国に今後のIESOのあり方を問う良い契

機となった。大会期間中、協力態勢の強化を図り、より良い運営を目指すために各国のメンターが盛んに議論を行った。これまでアジアの国々が起点となって進めてきたIESOだが、今大会ではさらに多くの国・地域で認知されるようになり、今後も急速な拡がりを見せるのは必至である。次回の第5回はイタリア(モデナ)にて開催予定である。イタリアのメンターは、イタリアで開催することで、欧州やアフリカ地域からの参加増に寄りたいと熱くその意気込みを語っていた。

なお、第6回国際地学オリンピック(2012年8月26日から9月2日)は日本のつくば市で開催予定である。関係学協会や関係者の皆様のご協力をお願いする次第である。

(NPO法人地学オリンピック日本委員会)



INFORMATION

公 募情報

①職種②分野③着任時期④応募締切⑤ URL

国立天文台 ハワイ観測所

①教授 ②すばる望遠鏡による共同利用観測の推進、観測所運営 ③決定後なるべく早い時期 ④ H22.11.22 ⑤ <http://www.nao.ac.jp/Jobs/Job000213.html>

東京工業大学 火山流体研究センター

①准教授または講師 ②火山学 ③決定後できるだけ早い時期 ④ H22.11.30 ⑤ <http://www.ksvo.titech.ac.jp/jpn/index.files/koubo2010VFRFC.pdf>

岩手大学 人文社会科学部 環境科学課程

①准教授 ②広い意味での宇宙・地球環境に関わる物理学 ③ H23.04.01 ④ H22.12.06 ⑤ <http://www.iwate-u.ac.jp/boshu/sozai/109.pdf>

熊本大学 大学院自然科学研究科 情報電気電子工学専攻 人間環境情報講座

①助教 ②電子情報通信工学分野（特に、電磁波応用、レーダ・リモートセンシング、アンテナ、波動情報処理、光工学などの分野が望ましい） ③ H23.04.01 が望ましい ④ H22.12.10 ⑤ http://www.kumamoto-u.ac.jp/pageimages/daigakujouhou/saiyou/kyouin_kenkyuusha/img/koubo448.pdf

イ ベント情報

詳細は各 URL をご参照下さい。

第 11 回宇宙科学シンポジウム

日時：2011 年 1 月 5 日(水)～7 日(金)
場所：宇宙科学研究所 A 棟 2 階大会議場
主催：宇宙科学研究所

内容：理学・工学両分野の研究者が集まって、宇宙科学について広く議論する場。衛星・探査機・ロケット・大気球により得られた成果をはじめ、現在開発中または提案されている計画・ワーキンググループの報告、ならびに衛星・探査機基盤技術などについて議論を行う。

<http://www.isas.jaxa.jp/j/researchers/symp/sss11/>

第 9 回地球システム・地球進化ニューイヤースクール

日時：2011 年 1 月 8 日(土)～9 日(日)
場所：国立オリンピック記念青少年総合センター（東京・代々木）

主催：ニューイヤースクール(NYS)事務局
対象：学部生・大学院生・ポスドク・若手研究員を主たる対象とするが、分野、年齢、立場を問わず（130 名程度）

参加費：一律 3000 円を予定（懇親会費込）

内容：地球(惑星)科学に魅力を感じ研究に取り組んでいる学生・院生・研究者が集中的に広範な講義を受け「地球(惑星)科学研究の今後のあり方」に意識共有を持てるようになることが

目的。参加者が普段会えない様々な世代・分野・立場の人々と交流することにより、視野を拓き将来について考えたり、新たな研究を始めたりする「きっかけ」づくりの場を提供。

第 8 回環境研究シンポジウム 「わたしたちの生活と環境 ～地球温暖化に立ち向かう～」

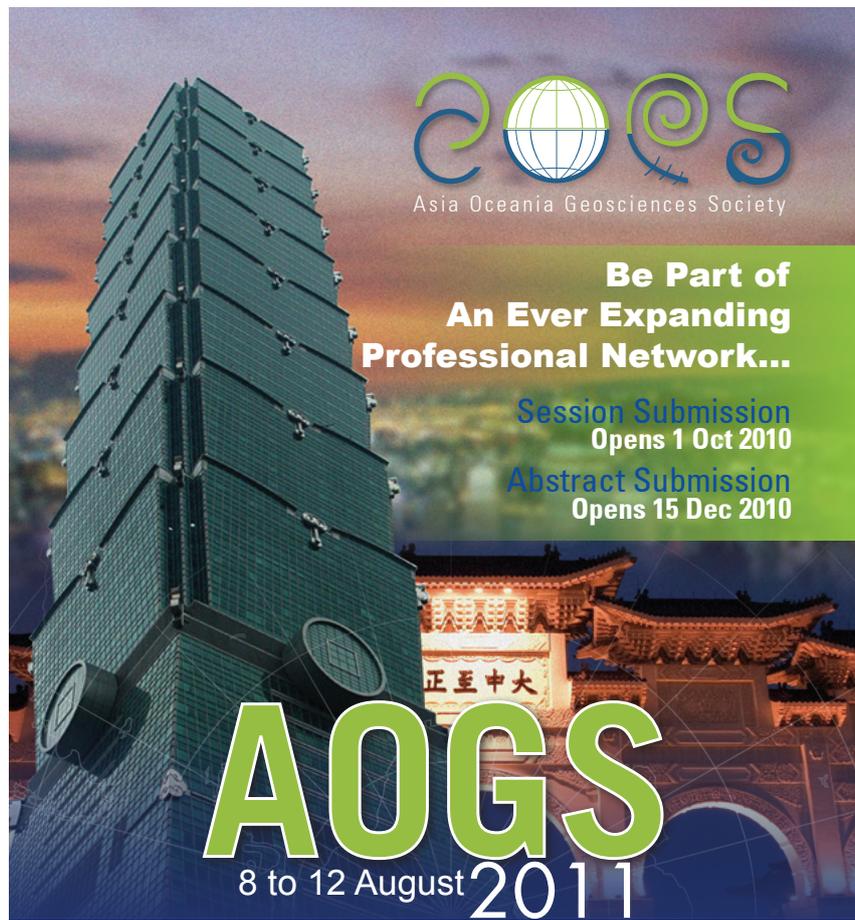
日時：2010 年 11 月 17 日(水) 12:00-17:30
場所：学術総合センター 一橋記念講堂
主催：環境研究機関連絡会

内容：地球温暖化と日々の生活との関係についての最新の研究成果や対策技術を発信

<http://www.nies.go.jp/event/kaigi/20101117/20101117.html>

公募求人及びイベント情報をお寄せ下さい
JGL では、公募・各種イベント情報を掲載してまいります。大学・研究所、企業の皆様からの情報もお待ちしております。ご連絡は <http://www.jpogu.org/> まで。

公募及びイベントの最新情報は web に随時掲載しております。 <http://www.jpogu.org/> をご覧下さい。



The poster features a large image of the Taipei International Convention Center. At the top right, the AOGS logo is displayed with the text 'Asia Oceania Geosciences Society'. Below the logo, the text reads: 'Be Part of An Ever Expanding Professional Network...'. Further down, it specifies 'Session Submission Opens 1 Oct 2010' and 'Abstract Submission Opens 15 Dec 2010'. The acronym 'AOGS' is prominently displayed in large green letters, with the dates '8 to 12 August 2011' underneath. At the bottom, it says 'Taipei International Convention Center Taiwan'.



AOGS Secretariat Office:
c/o Meeting Matters International
1 Commonwealth Lane #06-23, Singapore 149544
Tel: 65 6341 7229 Fax: 65 6341 7269



AOGS... In Asia for Asia and the World

www.asiaoceania.org

*日本地球惑星科学連合はアジア・オセアニア地球科学連合（AOGS）と協力関係にあります。皆様奮ってご参加下さい。

貴社の新製品・最新情報を JGL
に掲載しませんか？

JGL では、地球惑星科学コミュニティへ新製品や最新情報等をアピールしたいとお考えの広告主様を広く募集しております。本誌は、地球惑星科学に関連した大学や研究機関の研究者・学生に無料で配布しておりますので、そうした読者を対象とした PR に最適です。発行は年 4 回、発行部数は約 3 万部です。広告料は格安で、広告原稿の作成も編集部でご相談にのります。どうぞお気軽にお問い合わせ下さい。詳細は、以下の URL をご参照下さい。

<http://www.jpgu.org/publication/ad.html>

【お問い合わせ】

JGL 広告担当 宮本英昭
(東京大学 総合研究博物館)
Tel 03-5841-2830
hm@um.u-tokyo.ac.jp

【お申し込み】

一般社団法人日本地球惑星科学連合 事務局
〒113-0032 東京都文京区弥生 2-4-16
学会センタービル 4 階
Tel 03-6914-2080
Fax 03-6914-2088
office@jpgu.org

個人会員登録のお願い

このニュースレターは、個人会員登録された方に送付します。登録されていない方は、<http://www.jpgu.org/> にてぜひ個人会員登録をお願いします。どなたでも登録できます。すでに登録されている方も、連絡先住所等の確認をお願いします。

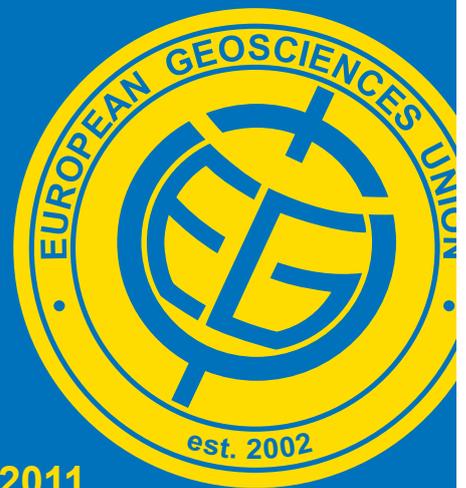
EGU

European Geosciences Union

Geosciences is
Multilogue

- Meetings
- Open Access Publications
- Outreach

www.egu.eu



Be Part of the

General Assembly 2011

Vienna | Austria | 03 – 08 April 2011

10 January 2011 | Deadline for Receipt of Abstracts

<http://meetings.copernicus.org/egu2011>

*日本地球惑星科学連合は欧州地球科学連合 (EGU) と協力関係にあります。皆様奮ってご参加下さい。