



日本地球惑星科学連合ニュースレター Vol. 9
November, 2013 No. 4

| TOPICS | |
|-----------------------------------|----|
| 竜巻研究の現状と課題 | 1 |
| 21世紀マントル掘削計画 | 4 |
| 氷期サイクルの謎に挑む | 6 |
| NEWS | |
| 新ジャーナルの創刊と ジャーナル特別国際セッション推進の募集 | 9 |
| 次期学習指導要領における地学教育のあり方 | 10 |
| 第7回国際地学オリンピック・インド大会報告 | 11 |
| 第10回国際地理オリンピック・京都大会報告 学術会議だより | 12 |
| 13 | |
| BOOK REVIEW | |
| アストロバイオロジー —宇宙に生命の起源を求めて— | 14 |
| INFORMATION | |
| | 15 |

JGL

Japan Geoscience Letters

2013 No. 4

TOPICS 気象学

竜巻研究の現状と課題

— 風環境の特異点の理解に向けて —

東京大学 大気海洋研究所 新野 宏

比較的理解が進んだ対流圏の大気現象の中にあつて、竜巻は、現象の凶暴さ、発生頻度の低さ、水平スケールの小ささ、寿命の短さなどのため、今なおその構造や発生機構が十分理解されていない数少ない現象の一つである。しかしながら、短時間で空間を走査できるドップラー偏波レーダーなどの開発や、電子計算機の性能の向上により、観測・数値シミュレーション両面から研究が大きく進みつつある。ここでは、風環境の特異点とも言うべき竜巻に関する理解の現状と課題を紹介する。

激しい被害

竜巻は地表近くで最も強い風を吹かせる渦である。平均的な直径は約100 m、寿命は約10分と小規模で短寿命であるが、その風速は強いものでは135 m/sにも達する。このような強風に遭うと、ほとんどの構造物は壊滅的な被害を受ける。

世界の中でも竜巻被害の大きい国の一つである米国では、1年当たり74人が竜巻で亡くなっており、ハリケーン（台風の仲間）の年間47人を超える大きな気象災害の要因となっている（1983～2012年の統計）。2011年には、全米で551人が竜巻で亡くなり、なかでも5月のミズーリ州ジョプリン市の竜巻では158人が犠牲になった。

我が国でも2006年9月の宮崎県延岡市の竜巻で3名、同年11月の北海道佐呂間町の竜巻で9名が亡くなっており、2012年5月、2013年9月にも関東地方で大きな被害が生じた。

竜巻の発生状況

我が国で竜巻は1年当たり約15

個発生しており、100 km四方当たりの発生率は0.4個/年である。季節的には、9月、10月、8月の順に発生が多く、1日の中では、13～14時をピークとして午後が多い。しかしながら、条件が整えば、いつでもどこでも発生すると考えた方がよい。アメリカでは、年間約1300個発生するが、日本より約25倍広いので、同じ面積での発生率に直すと1.4個/年と日本の約3.5倍である。

過去50年間の発生数を見ると、年々の変動は大きいですが、系統的な変化は見られない。竜巻発生数の統計は、通信手段の発展、気象機関の観測手法や被害調査への取り組みなどに依存し、緩やかな気候変化に伴う変化の検出は難しい（新野, 2007）。

渦の特性

近年、竜巻の風速分布は、ドップラーレーダーという特殊なレーダーを車に搭載し、竜巻から2～3 kmに近づいて求められるようになってきている。ここで、通常の気象レーダーはアンテナから発射した電波の

反射の強さから降水粒子の量を測る装置であるが、ドップラーレーダーは電波が降水粒子などで反射されるとき、降水粒子がアンテナから遠ざかる（近づく）方向に移動していると反射される電波の周波数が小さく（大きく）なる性質を利用して、風速を遠隔測定する装置である。

他方、家屋等の地上の被害状況から風速を推定する藤田スケール（F-scale; 弱いものからF0, F1, … F5）という指標も1970年代から国際的に使われており、米国では2007年からその風速評価を改訂した改良藤田スケール（EF-scale）が使われている。

一方、気圧は遠隔測定ができないので、気圧計を多数展開して、運良く真上を竜巻が通り過ぎるのを待つしかなく、観測例は少ない。2003年6月に米国サウスダコダ州のF4の竜巻でそのような機会に恵まれ、10秒間に約100 hPa気圧が降下する記録が得られた。

竜巻には様々な形態がある。細く滑らかな渦、太く乱れた渦、らせん状の渦、親渦の周りを複数の子供渦（吸込渦）が回転する渦（多重渦）などである。多重渦の竜巻はF4やF5などの強いものに多い。吸込渦の下では、親渦と吸込渦の風速が重なり、局所的に激しい被害を生ずる。竜巻渦の構造は、このように多様な形態、移動に伴う非対称性、回転軸の傾きなどのため複雑である。また、渦のサイズは乱流にも支配されると思わ

れ、その構造と力学の理解は現在でも十分ではない。観測、室内実験、数値シミュレーションなどを駆使した説明が待たれている。

発生機構の謎

竜巻の発生には2通りの仕組みがあると考えられている。第1は局地前線（地表付近で水平方向に風速や温度が急に変化する帯状の領域）に伴うもの、第2はスーパーセル（以下SC）と呼ばれる特殊な積乱雲に伴うものであり、強い竜巻の多くは後者によって起きる。SCとは、内部に反時計回りに回転する直径約数kmの上昇気流（メソサイクロン；以下MC）を持つ、強く長続きする積乱雲である。

SCが起きやすいのは、以下の2条件が揃ったときである。(1)大気成層が不安定なこと、(2)環境場の風速が上空に行くほど強くなり、風向が時計回りに変化すること（風向・風速の高度変化を鉛直シアという）。(1)は強い積乱雲が起きるために必要であるが、これだけだと、雲は通常1時間くらいで一生を終えてしまう。これは、積乱雲は水蒸気が凝結して雲粒になるときに出る凝結熱で上昇気流を加速して発達するが、やがて上空に大量の雨粒や霰・雪などの降水粒子が蓄積し、その重さを上昇気流が支えきれなくなって、落下を始め、上昇気流がつぶされるためである。しかし、(2)の鉛直シアがあると、上空の降水粒子は、上昇流とは異なる場所で落下でき、強い上昇気流が長時間維持できるようになる。

鉛直シアは、MCの形成にも重要な役割を果たす。たとえば、上空ほど西風が強い鉛直シアのある場合は、ある高度の風に乗ってみれば上空は西風、下層は東風になっている。すなわち、どの高度でも南側から見れば北向きの水平軸を持った時計回りの渦の管（渦管）がある状態にある。この水平な渦管が積乱雲の上昇流のところで持ち上げられて上向きに曲げられると、鉛直軸周りの渦管が生ずる。こうしてできるのがMCである。詳細は省くが、北半球では、対流圏下層で暖湿な南風、中層で乾燥した西風があるときに(1)の条件が満たされやすく、このような鉛直シアを原因として、反時計回りのMCを持つSCが高い頻度で発達する。

(1)と(2)の条件は温帯低気圧の南側の暖域と呼ばれる領域で実現しやすい。米国では、この暖域で、時として1日のうちに100個を超える竜巻が大発生することがある。台風の進行方向右前方象限でも(1)と(2)の条件が満たされやすく、2013年9月の台風18号では日本全国で10個の竜巻が発生した。

ドップラーレーダーでSCを観測すると、

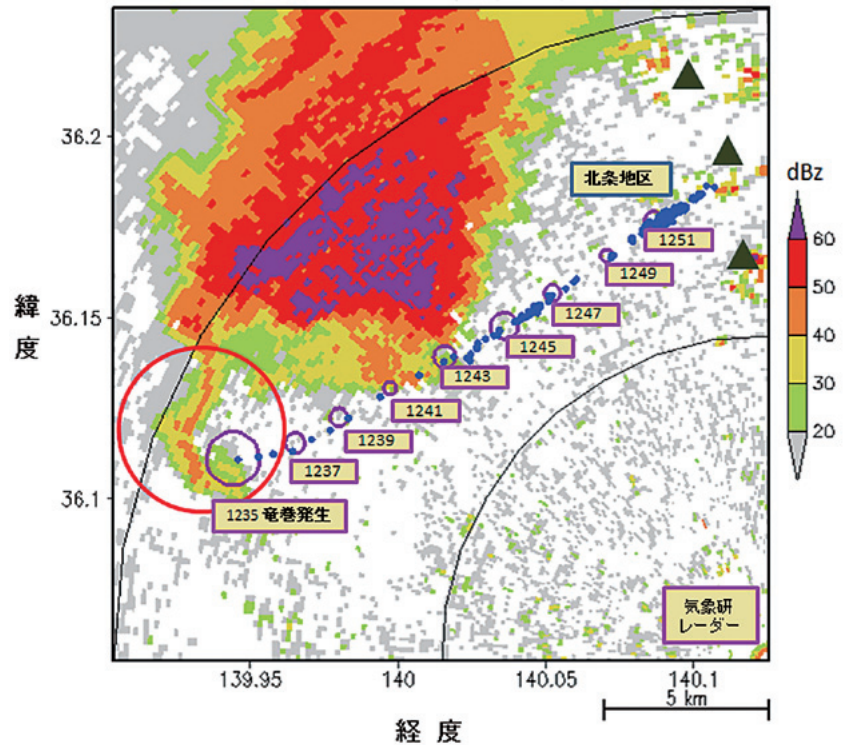


図1 気象研究所レーダーが観測した2012年5月6日12時35分10秒の反射強度（カラー；単位はdBZ；降水粒子が雨の場合は55 dBZが約100 mm/hの降水強度に相当する）、各時刻のドップラー速度から求めた渦の位置と直径（紫の円）。赤丸はフック状エコー、青丸は地上の被害箇所。緑の三角は主要な山の山頂（気象研究所 山内 洋氏提供）。

MCを探知できる。MCの循環で降水粒子が流されるとレーダー反射強度の分布がフック（鉤）状（図1）になる。MCやフック状エコーが探知されると、経験的に竜巻発生の可能性が高いことから、米国では1990年代に全国を覆うドップラーレーダー網を整備し、竜巻警報の発令に利用してきた。

ところが観測データを蓄積するうちに、MCが探知されても竜巻が発生するのは26%程度に過ぎないことがわかってきた。このことは、竜巻の発生には上空のMCの存在だけでは十分でなく、何か地表近く過程が重要であることを示唆する。多くの竜巻はMCと同じ反時計回りだが、MCの回転が竜巻の発生にどう関係しているのか、地表近く「竜巻の回転の源」は何なのか、目下、竜巻研究者の最大の関心事となっている。

発生機構の解明に向けて

これらの謎を解き明かすべく、米国では2009～2010年に、竜巻の回転の源を探る大規模な観測プロジェクトVORTEX2 (Wurman *et al.*, 2012) が行われ、SC直下の気流が詳しく調べられた。これらの観測から、上述の対流圏中層のMCとは別に、竜巻の発生前に高度1 km以下に見られる「下層のMC」の形成には、フック状エコーを構成す

る密度の大きな空気が落下する際に周囲の空気との間で作り出す水平軸の渦管をMCの上昇流で持ち上げることが重要という示唆が得られている。また、北西側の降水域から吹き出す冷気と南東側の暖気の境目に形成される突風前線（図2の説明参照）の冷気側で、急に強まった下降流が地表面にぶつかって吹き出して形成される「2次的な突風前線」の先端で上昇気流が強まり、竜巻の生成に寄与する可能性も示唆されている。しかしながら、MCの上昇流と突風前線、2次的な突風前線の関係は事例ごとに多様であり、普遍的な関係がつかめていない。

発生頻度が低い竜巻の研究には、数値シミュレーションも有用である。ただし、直径100 m程度の竜巻を解像しつつ、水平スケール数10 kmのSCも表現する計算負荷は最新の電子計算機をもってしても大きい。図2は1977年5月に米国オクラホマ州で起きたSCと竜巻を、数値シミュレーションで再現したものである。シミュレーションの初期場には、竜巻の直前に観測された環境場の風・温度・湿度の鉛直分布を水平一様に与えている。この事例では、突風前線を挟んで水平風が異なることによって生ずる鉛直軸の渦管を、下層のMCに伴う強い上昇流が引き伸ばすことが竜巻の発生に重要であることが示されている。

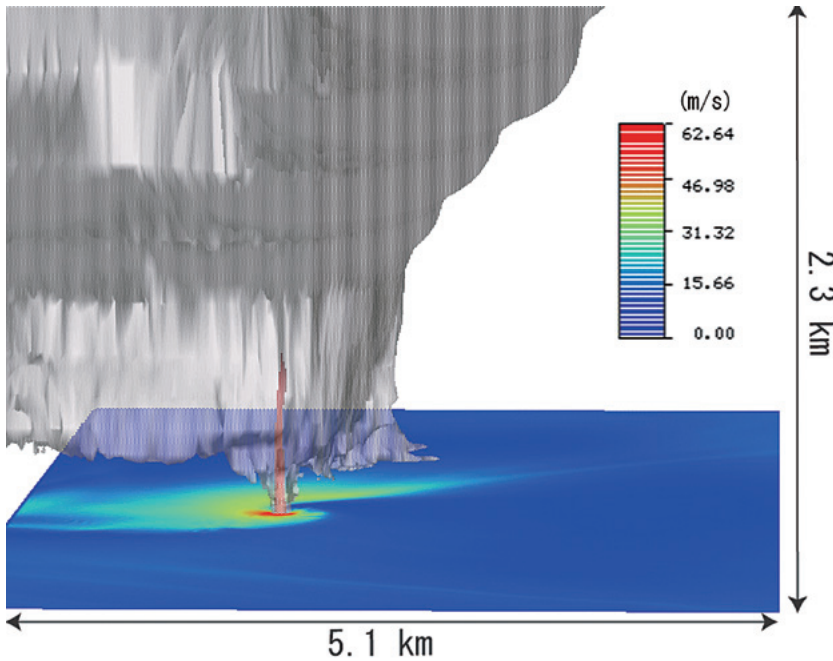


図2 数値実験で得られた竜巻(赤:鉛直渦度が 0.6 s^{-1} 以上の領域)を南東側から見たもの。灰色は雲水の混合比が 0.1 g/kg 以上の領域、下面のカラーは地上5 mの風速で、竜巻から南西に延びる空色と濃い青色との境目は、南東側の暖気と北西側の降水域で作られた冷気との境目に当たる突風前線の位置にほぼ対応する(Noda and Niino, 2010)。

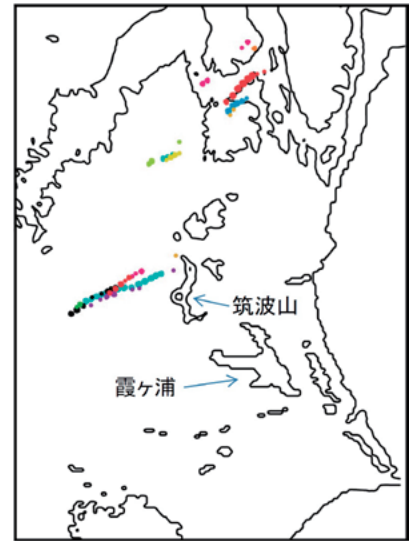


図3 2012年5月6日の茨城・栃木の竜巻の事例について、初期値に観測誤差程度のばらつきを与えた12通りの予報計算を行うアンサンブル予報で得られた竜巻(鉛直渦度が 0.6 s^{-1} 以上の領域)の位置。色の違いは、12通りのそれぞれの結果に対応している(気象研究所瀬古弘氏提供)。

Mashiko *et al.* (2009) は、2006年の台風13号に伴って発生した宮崎県延岡市の竜巻を、現実場における竜巻のシミュレーションとしては世界で初めて、台風から竜巻に到るまでの再現に成功した。この竜巻は(小型の)SCの突風前線の冷気側で降水粒子の荷重により生じた2次的な突風前線が突風前線に追いつき上昇気流が強化されたときに発生したことが示されている。シミュレーションにおいても竜巻の発生過程は多様であり、普遍的な理解のためには、さらなる事例解析の蓄積が必要である。

茨城・栃木で発生した竜巻

2012年5月6日、茨城・栃木両県で3個の竜巻がほぼ同時に発生し、大きな被害を生じた。このうち一番南の竜巻は、気象研究所の二重偏波ドップラーレーダーから15 km以内の近距離で発生したため、これを生み出したSCのMCやフック状エコー(図1)だけでなく、竜巻渦の風速分布や、竜巻による飛散物の電波特性などの貴重な観測データが得られた。このSCと竜巻は、気象研究所の益子渉氏による高解像度数値シミュレーションでも良く再現され、冷たい下降気流の側面の密度差で作られる水平な渦管が、下層のMCに伴う上層気流で立ち上げられることで竜巻が発生したという解析結果が得られている。さらに、大気のカオス性を考慮して、初期値がごくわずかに異

なる複数の数値シミュレーションを行ない、起こりうる現象のばらつき具合や信頼度を予測するアンサンブル予報により、3つの竜巻の発生を予期できた可能性があることも示唆されている(図3)。多くの竜巻の動画も撮られており、粒子画像流速測定法(PIV)という画像解析手法により竜巻渦の風速分布が得られたり、風工学的に興味深い被害を受けた家屋があるなど、従来になく多くの貴重な資料が得られており、竜巻研究の進展が期待されている。

関東平野は、竜巻の発生率が高く、世界一高密度の多様な常時気象観測網があり、多くの動画撮影が期待されるなど、竜巻研究上、米国中西部には見られないユニークな特徴を備えている。短時間で空間を走査できるフェーズド・アレイ・レーダーの配備も予定されており、これらの特徴を活かして、竜巻に関する総合的な研究の展開が期待される。



著者紹介 新野 宏 Hiroshi Niino

東京大学 大気海洋研究所 所長・教授

専門分野: メソ気象力学, 地球流体力学。乱流や積乱雲が重要な役割を演ずる, 数mから2000 kmまでの, マイクロスケールからメソスケールの大気現象の普遍的なメカニズムを理解する研究を進めている。

略歴: 東京大学大学院理学系研究科地球物理学専門課程博士課程単位取得退学。気象庁気象研究所研究官, 主任研究官, 東京大学海洋研究所助教授を経て, 現職。著書に「身近な気象学」(NHK出版, 分担執筆)などがある。

—参考文献—

Mashiko, W. *et al.* (2009) *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 4238-4260.

Noda, A.T. and H. Niino (2010) *J. Meteor. Soc. Japan*, **88**, 135-159.

Wurman *et al.* (2012) *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **94**, 1147-1170.

新野 宏 (2007) *予防時報*, **230**, 8-13. (http://www.sonpo.or.jp/archive/publish/bousai/jiho/pdf/no_230/yj23008.pdf)

■一般向けの関連書籍

大野久雄 (2001) *雷雨とメソ気象*, 東京堂出版。

21世紀マントル掘削計画 — 海洋プレートの1点突破から全貌解明へ —

金沢大学 理工研究域 森下 知晃

“202X年X月X日、掘削開始から1年以上が経過し、人類初のマントル掘削がついに達成されようとしている。この深さに到達するまでに、下部地殻の形成過程、生物圏の限界とその制約条件が解明された。世界中の人々が、船から伸びる10 km先のドリルがモホ面を通過する瞬間に注目する。マントル水は検出できるのか？マントルの最上部物質は何か？”——これは夢物語ではない。マントル掘削は、地球深部探査船『ちきゅう』で達成可能な科学となった。その先には海洋プレートの全貌解明への道が拓かれる。

ている、という問題が必ずつきまとう。煮魚は美味しいが、漁師だけが食べることのできる特別な魚の特別な部位からとれる刺身を食いたいのだ。海洋プレートを作る海洋域のマントル（海洋マントル）から直接試料を採取し、化学組成・微細構造を測定することが、真の海洋プレートの物質科学的実体を解明する鍵なのである。

海洋プレート形成の主要なメカニズムは、マントル物質の上昇に伴う溶融→玄武岩質マグマの発生・移動と冷却・固化である。そのため、海洋プレートのマントル最上部には、溶け残ったかんらん岩が存在する。しかし、海洋底やオフィオライト（過去の海洋底

海 洋プレート物質科学へのこだわり

我が国において、海洋プレートに関連した自然現象の理解と説明は、地球科学者が社会において果たすべき役割である。とくに、海洋プレートの沈み込みに伴う火山・地震活動の解明に必要な観測・モデル化のためにも、海洋プレートの物質科学的実体について詳細な部分にまでこだわった研究が重要である。

なぜマントルを掘削するのか？

最上部マントルの主要構成物質が、かんらん石を主体とするかんらん岩であることは間違いない（図1）。しかし、地表で得られるかんらん岩試料は、1) 特定された場所の試料ではない、2) 地表の汚染を受け

『ちきゅう』の誕生による新マントル掘削計画

1957年にアメリカの地球科学者によって提案されたモホロヴィチッチ不連続面（モホ面；後述）を貫通する海洋掘削計画（通称：モホール計画）は、世界初の海洋科学掘削を成功させ、深海掘削計画（DSDP; Deep Sea Drilling Program）へと発展をとげ、海洋底拡大説の証明など、地球科学界の革命的な成果をあげてきた。しかし、モホール計画は達成されずに終了した。

日本が2002年に建造した地球深部探査船『ちきゅう』は、掘削孔壁の崩落を防ぐライザーシステムを搭載し、水深2500 mの海洋底からマントル（7500 m）まで掘削する能力を持つ。海洋科学掘削は2013年10月から国際深海科学掘削計画（IODP; International Ocean Discovery Program）として、次の10年間の活動が始まる。『ちきゅう』によるマントル掘削は、最優先課題の一つである。複数回の国際ワークショップを経て（Ildefonse *et al.*, 2010）、金沢大学の海野進をリーダーとした新マントル掘削計画（Mohole to Mantle; 通称 M2M）が2012年4月に申請された（Umino *et al.*, 2013）。本論では、筆者がマントル掘削に関連して強調したい点について述べる。

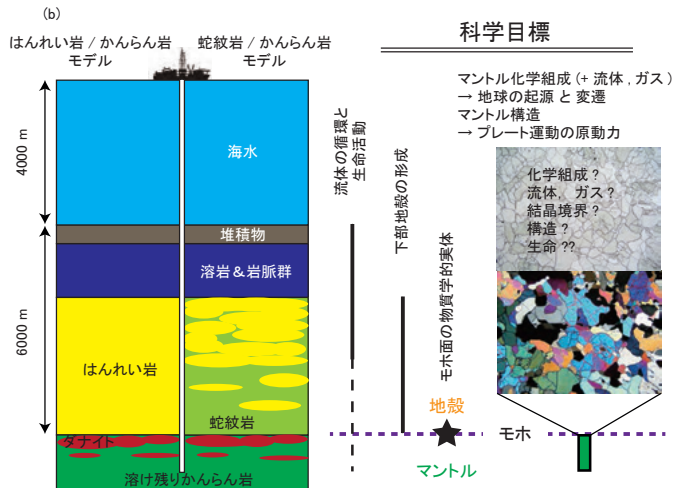
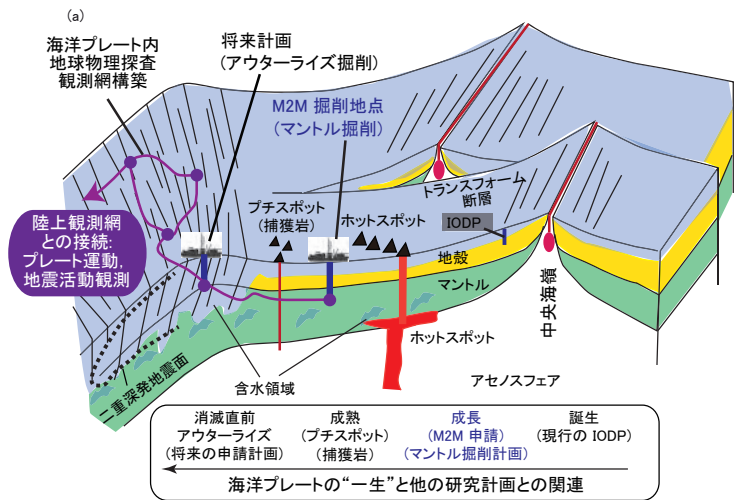


図1 (a) マントル掘削と現在及び将来の海洋掘削との関係、(b) マントル掘削で達成されることが期待される課題。

を構成していた岩石群の一部が陸上に露出している場所)の詳細な研究によって、海洋プレートのマントル最上部は、既存のマントル物質とマグマとの反応によって形成されたダナイト(かんらん石が体積比で90%以上を占める岩石)が主要構成要素であるとする。ダナイトと溶け残りかんらん岩を物性的に区別することは難しいが、成因は異なる。新マントル掘削計画では、モホ面貫通がゴールではなく、マントルを掘り進め、かんらん岩の種類(かんらん石の含有量)と成因にこだわった掘削を行う。

科学的条件と技術的条件

この広い海から掘削地点1点を決める必要がある。だとすれば、高速拡大海域(太平洋域)で海洋断裂帯などの影響を受けていない中央海嶺の拡大中心付近を最優先とする(図2)。

『ちきゅう』の重要な技術的制約条件は温度である。掘削及び孔内物性計測は、それぞれ250℃、170℃を超えると難しい。また、水深は浅い方(<4000m)が良い。冷却した海洋プレートはモホ面推定温度と水深の兼ね合いなどから、メキシコ沖、コスタリカ沖、ハワイ沖が掘削候補地として提案されている(図2)。メキシコ沖は、モホル時代からの候補地だが基礎データが乏しい。コスタリカ沖は、玄武岩層からはんれい岩まで達した唯一の掘削孔Hole 1256Dの近傍である。しかし、モホ面の推定温度が他の2地点よりも高い。ハワイ沖は、古く冷たいプレートであるが、ハワイ諸島によってプレートが

湾曲し、例外的に浅くなっている。モホ面推定温度が低く、生命科学にとっても魅力的である。ホットスポットの影響が懸念されるが、掘削の“実現性”の検討から、現在の技術で掘削が可能な地点であるとされている。

いずれの地点においても、高精度地震波構造解析が必須である。モホ面がクリアに見えない場所でのマントル掘削はあり得ない。

熱 水循環と生命、海洋地殻の生成

マントルに到達する前に達成される科学が面白く、一つの掘削に多くの相乗り研究が組み込まれる(図3)。たとえば、海洋下部地殻の形成モデル、岩石-水反応の深度変化、生物圏限界とその境界条件などは、海洋底最深度掘削過程において世界で初めて現場検証できる。

モ ホ面通過の成果

地殻とマントルの境界面であるモホ面は『地震波速度の不連続面』で定義されるもので、物質科学的実体は不明である。モホ面の実体の主要な説には、1)はんれい岩/かんらん岩境界、2)蛇紋岩/かんらん岩境界、の2つがある(図1)。はんれい岩は玄武岩質マグマが地下

でゆっくり冷え固まったもの、蛇紋岩はかんらん岩が変質したものである。つまりそれぞれ、モホ面が火成作用、変質作用で形成したことを意味し、地殻の形成と変遷を通じた地球の歴史、海水-岩石反応による海水組成変化を通じた地球表層の環境変動などを定量的に議論する際には異なった意味を持つ。

オフィオライトの研究から、モホ面は、複数の火成/変成作用とその程度の違いによる多様性があると予想される。物理探査の高精度化により、地震波速度構造からもモホ面に多様性があることがわかってきた。マントル掘削によるモホ面の一点突破は、一点のモホ面の物質科学的実体解明だけでなく、陸上の研究成果を適用することで、面的な多様性の実体にも制約を与える。

マ マントルからの成果

マントルは岩石だけではない。マントル中に存在する水や炭素を含む「流体」や二酸化炭素、窒素、希ガスなどの「ガス」成分の存在形態、化学組成を明らかにしたい。とくに、結晶相境界の役割は、「生」のマ

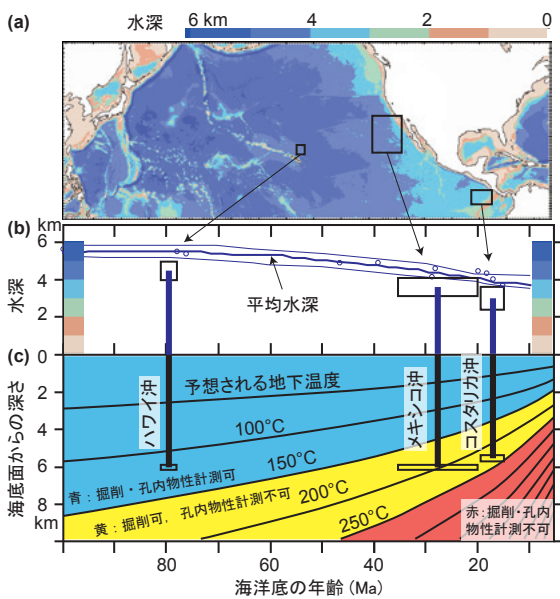
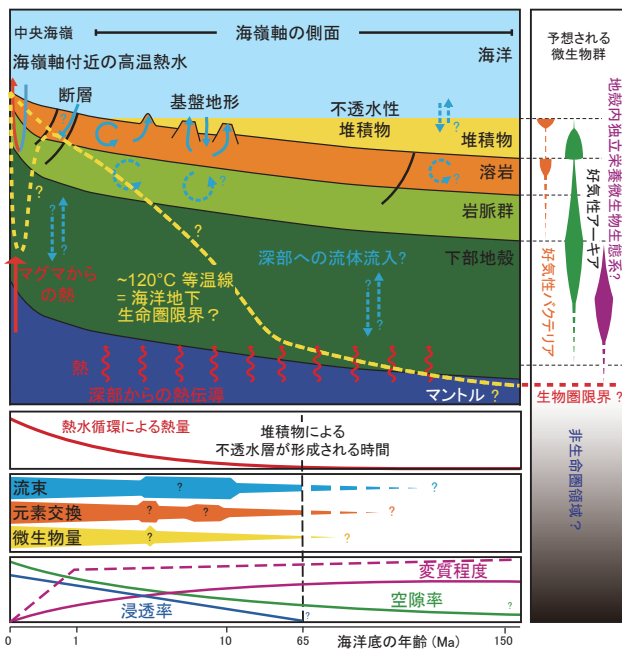


図2 掘削候補地点 (Umino et al., 2013). (a) ハワイ沖、メキシコ沖とコスタリカ沖。(b) 海洋底の年齢と水深。丸印は太平洋域での実測値。(c) 海洋底の年齢と推定温度構造。それぞれの候補地の推定モホ面近傍の温度条件を図示したもの。

a: 熱水循環と生命活動



b: はんれい岩質下部地殻の形成

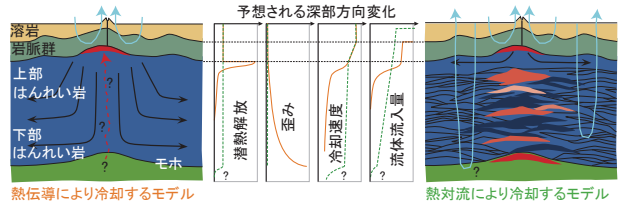


図3 マントル掘削までの研究対象 (Ildefonse et al., 2010). (a) 海嶺軸および海嶺軸から離れた場所での熱水循環と関連する物理・化学・生物パラメータとの定性的な関係。(b) 下部地殻がはんれい岩である場合の下部地殻形成モデルと予想される深部方向の物理パラメータ変化。

ントルだからこそ解明が期待される。マントルから直接採取されたマントル流体・ガスは、想定されているマントル組成と同じだろうか？ 流体から生命活動の痕跡は検出できるであろうか？

プレート運動の原動力は解明されていない。プレート下のマントル流動なのか（能動説）？ 沈み込むプレートに引っぱられるのか（受動説）？ 西太平洋域では、マントル最上部の地震波伝搬速度が方向により10%近い差（異方性）がある。さらに、マントルと下部地殻の動きが「ずれている」可能性がある。これらは、マントルの動きと関係がある。下部地殻と上部マントル物質の構造解析から、プレート運動の原動力の解明が期待される。

海洋マントルには、地表試料中には失われた地球形成初期の情報が残されていることが期待される。地球形成初期には、微惑星の衝突により原始地球表面がマグマで覆われ（マグマオーシャン）、金属核と珪酸塩マントルの層構造が形成される。その後さらに、火星サイズの天体の衝突（ジャイアントインパクト説）、小天体の高頻度衝突（レイトベニア説）など、地球全体の物質科学変化を引き起こすイベントが提唱されている。実際に、地球の始原物質とされている未分化な隕石から予想される「理想的なマントル組成」と「海洋マントル組成」はどの程度同じで（違うので）あるだろうか？ 上記のマントル

ガス組成に加え、親鉄・親銅元素の分析は、地球形成初期現象の解明にも貢献することが期待される。

マントル掘削は、孔をあけて終わりではない。世界初のマントル内実験室となる。掘削孔内での長期物性計測は、マントルの物性、流体移動、生命活動などの時間変化をマントルで直接測定する全く新しい試みである。プレート運動の予測や、海水-岩石反応の進行、生命圏の広がり・縮小の観察など、新しいデータを世界に発信することが期待される。

マントル掘削がもたらすもの

マントル掘削を達成するには、高温掘削や混染のない試料の回収方法などの世界初の技術開発が必要である。これらの海洋掘削技術の経験と向上は、海に囲まれている我が国にとって、海洋底の資源開発・回収、新たな産業の創造など、重要な利益をもたらす。

マントル掘削が成功すれば、次の超深度掘削研究が続くであろう。たとえば、海洋プ

レートが沈み込む直前の屈曲地点（アウトターライズ）の掘削があげられる（図1）。アウトターライズは、破砕面の形成によるプレート深部への大規模な流体流入の場であると予想されている。海洋プレートはどの深度まで、どのように水を含むのか？ さらに、複数の超深度掘削孔と陸上の観測網を連結し、海洋プレートの変動を高精度で捉え、正確な地震・津波情報の発信システムの開発など、海洋プレートと共存できる社会の基盤を整備したい。

—参考文献—

Ildefonse, B. et al. (2010) *Scientific Drilling*, 10, 56-63.

Umino, S., Neelson, K. and Wood, B. (2013) *Physics Today*, 66, 36-41.

■一般向けの関連書籍

金田義行ほか著（2008）*先端巨大科学で探る地球*、東京大学出版会



著者紹介 森下 知晃 Tomoaki Morishita

金沢大学 理工研究域自然システム学系 教授

専門分野：マントル岩石学。世界中の陸上・海洋底かんらん岩の調査に基づき、中央海嶺／島弧マントルの実体解明を目指している。

略歴：博士取得まで金沢大学。金沢大学フロンティアサイエンス機構（当時）の特任准教授等を経て、2012年より現職。

氷期サイクルの謎に挑む

東京大学 大気海洋研究所 阿部 彩子

人類が進化してきた最近100万年間は、北米やヨーロッパで氷床の拡大・縮小や全球気候の変動を伴う「氷期-間氷期サイクル」が、約10万年の周期で繰り返されてきた。その一周期の時系列はいわゆる「のこぎり型」を示し、間氷期から氷期のピークまでに9割以上の時間をかけ、氷期から間氷期へは急激に戻る。海水準だけでなく、大気中二酸化炭素濃度、南極の気温、熱帯や南大洋の表面海水温、アジアの乾燥湿潤、深海の温度、海洋深層循環など、世界各地の気候指標がほぼ同期した10万年周期を示す。しかし、このような気候と氷床の大変動の周期と振幅をもたらすメカニズムは謎であった。そこで、世界ではじめて現実的な気候モデルを用いた数値実験でその謎に挑んだ。

天文学的要因か二酸化炭素変化か

氷期-間氷期サイクル（以下、氷期サイクル）は、「氷河期の研究」として18～19世紀から地球科学の重要なテーマの一つだっ

た。19世紀半ば頃、氷河が現在よりはるかに遠くまで広がっていた事実を認めるかどうかに関する、権威ある地質学者らによる議論を経たのち、ヨーロッパだけでなく北米でも氷床が広がったことが地図にまとめられ、氷

河が何度も拡大縮小したことが明らかにされた。物理学者ティンダル、アレニウス、カレンダーらも、温室効果ガスとしての二酸化炭素濃度の変化が気候変化の原因ではないかと議論し、大陸氷床の前進と後退に関する謎を解こうとした。

一方、天文学的要因が気候に与える影響については、アデマルル、クロールらによって19世紀に提案されたが、ミランコビッチは、友人のケッペンとその娘婿のウエーグナーの助言を経て、年平均や冬ではなく北半球の夏の日射に注目した（ミランコビッチ理論およびミランコビッチ・サイクル）。地球の公転軌道の離心率の変化（10万年周期）および自転軸の首振り運動の変化（約2

万年周期)によって、季節ごとの太陽と地球との距離が変化し、自転軸の傾き(約4万年周期)によって緯度ごとの太陽の高さが変化する。これらの組み合わせによって、各季節において各緯度が受け取る日射が変化することが、氷床の前進後退に重要だと考えたのだ。

この説は、出版された1940年頃は大いに注目されたが、氷期と間氷期の詳細がわかるにつれ、氷期・間氷期の変化が10万年周期であることがミランコビッチ仮説では予言されないため、天文学的要因が重要であること自体が疑われるようになった。1976年のヘイズ、インブリー、シャックルトンらの詳細な古海洋データでは、日射強度そのものに見られる約2万年と4万年の変動周期の位相がかなり明瞭にみられたので、ミランコビッチ理論はふたたび脚光を浴びたが、氷期-間氷期サイクルの最大の特徴である10万年周期は日射量変動だけでは説明がつかなかった。

10万年周期の発現には気候システム内部のフィードバックメカニズムが働いていると考えられ、それ以後、自励振動のように外因がとくにないという説も含め、これまでさまざまな概念モデルや数学モデルが提案された。有力な説としては、北半球氷床が大きくなると不安定になり、夏季日射量の増大にともなって氷期が終焉に向かうというものがある。

しかし、これまで用いられてきた簡単なモデルでは、観測で直接検証したり制約したりできる物理量や物理プロセスを扱うことができないので、肝心の気候変動メカニズムの実体は謎だった。21世紀に入っても、氷床コアから得られている大気中の二酸化炭素濃度の変動が氷期サイクルに先行しているようにみえることから、氷期サイクルの原因は炭素循環にあるとする、ミランコビッチ理論に反対する説も提案されてきた。

気候フィードバックの評価

最近、日射量変動(ミランコビッチ・サイクル)と大気中の二酸化炭素(CO₂)濃度変動を考慮した高度な気候モデルにより、10万年周期の氷期サイクルを再現することができた(図1; Abe-Ouchi *et al.*, 2013)。将来予測に用いられる大気大循環モデルとアイソスタシーを考慮した3次元氷床力学モデルを組み合わせることには、2つのポイントがある。水蒸気や雲、海氷などによる短い時間スケールの気温増幅効果(フィードバック効果)を物理的に異なる気候条件下で定量的に用いること、そして、大気-氷床-地殻・マントル間の相互作用のような長時間スケールのフィードバックを同時に考慮することである。このような手法は世界で初めて

であり、「地球シミュレータ」など我が国のスーパーコンピュータを駆使することで、はじめて研究が可能となった。数値実験は過去40万年について行ったが、天文学的要因で変化する日射量(図1(a))と大気中二酸化炭素濃度の変化(図1(b))に南極ドームふじ氷床コアの正確な年代を導入したことが、再現性の決め手となった。

その結果、10万年周期の氷床変動や、氷床拡大期における氷床量や地理的分布を再現することに成功した。時系列変化がこのざり型であることや、氷床の発生拡大の地理的分布も非常に現実的なものとなり、観測によるモデルの検証がこれまでより格段にやすくなった。実際に実験室の中で地球の気候を再現できない代わりにコンピューターを用いて数値実験で再現すれば、本質的なメカニズムを同定したり付随的な現象を区別したりすることが可能になるはずである。

なぜ10万年周期か

現実的な二酸化炭素濃度と日射の変化を与えた実験(図1(d))で10万年周期を再現することができたが、その理由は何だろうか?原因と考えられるものを一つ一つ取り除いていく実験を繰り返して、氷期サイクル発生メカニズムを調べてみた。

まず、二酸化炭素濃度を一定に保った実験(図1(e))では、10万年周期がまだスペクトル周期にはつきり残った。このことから、氷期サイクルにおける大気中二酸化炭素濃度の10万年周期の変化は、むしろ気候変化の結果生じたものであり、その振幅を増幅させる働きがあることが示唆される。

一方、地殻とマントルの変形速度を無限大と仮定し応答の遅れをなくした実験(図1(f))では、10万年周期が見られない。また、日射量変化、とくに公転軌道における歳差の変化(近日点の位置の変化)をなくした場合、たとえ自転軸の傾きの変化や離心率の変化があっても、10万年周期はみられない。これらより、日射変化に対して大気-氷床-地殻・マントルの非線形的な相互作用が生じ、それが10万年周期を生み出していることが突き止められた。

さらに、日射強度やCO₂を一定に保ちながら20万年ずつ

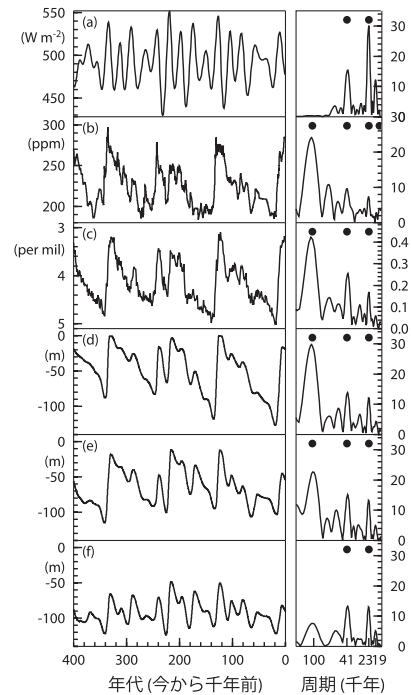


図1 過去40万年間の時間変動(左)とそのスペクトル(右)。(a)日射量。(b)大気中の二酸化炭素濃度。(c)海水の酸素同位体比(氷床量および海水温度を反映)。(d)数値計算による海水準変動(標準的条件、(a)と(b)を入力にした)。(e)同((a)の入力と二酸化炭素濃度一定=220 ppm)。(f)同(地殻・マントルの応答遅れなし)。Abe-Ouchi *et al.* (2013)より。

積分することを繰り返した結果、求めた日射強度に対する氷床の平衡応答解が、氷床の初期条件によって2通りに分かれ、そのヒステリシス構造(解の履歴に依存した構造)が10万年周期の出現にとって決定的であることを発見した。北米大陸の場合、近日点の位置の変動周期(約2万年)ごとに氷床が大きく成長する。日射の最大強度を決定す

地球化学論文集 第2版(全16巻)

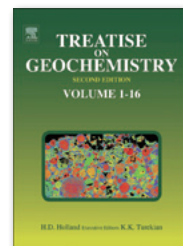
Treatise on Geochemistry, 2E

By Turekian & Holland

2013年12月刊行予定
ISBN: 9780080959757
約9,144頁、Hardcover

発売記念特価:
US\$6,000.00 (2014.3末迄)

定価: US\$7,500.00



オンライン版のご用意もございます。詳しくはお問い合わせください。

エルゼビア・ジャパン株式会社 E-mail: jp.stbooks@elsevier.com
書誌情報 <http://store.elsevier.com/>

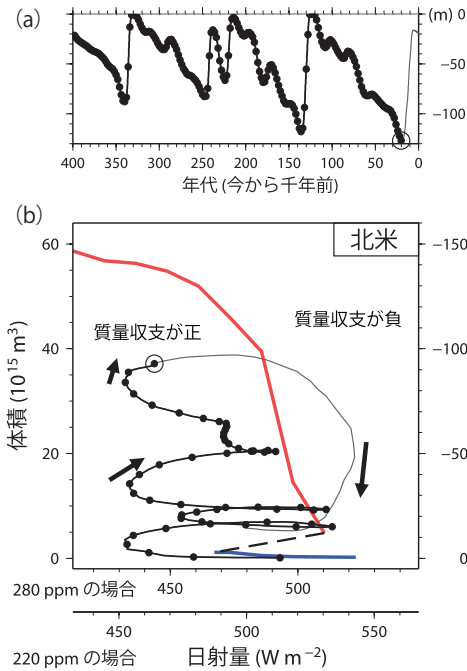


図2 (a) モデルで再現された過去40万年の氷床体積の時系列。(b) 氷床体積の日射や二酸化炭素濃度に対する応答。赤と青の線は定常応答解(多重解)、赤線が大きな氷床を初期値としたときの応答、青線は氷床なしを初期値にしたときの応答、黒の線は12万年前から最終氷期一周期の氷床変動の「軌跡」。(c) 一例として2万年前の氷床分布の計算結果。Abe-Ouchi et al. (2013) より。40万年前からの経過についての動画はこちら。 http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2013/files/trjthrtopo_403_4_8-1291_f.mov。

る離心率(約10万年周期)が最小に近づくにつれ、氷床の成長は加速し、やがて氷床が極大サイズに達する。しかし、大きく成長すればするほど氷床の末端は南下し、後退に必要な日射量の増加は小さくすむ。この状態に達した後、離心率がふたたび増大を始めると、夏の日射が強くなることで氷床の後退が始まる。ひとたび氷床が後退を開始すると、深く沈み込んだ大陸地殻の応答の遅れのために低下した表面高度がなかなか復活せず、融解が一気に進むのである。すなわち、氷床荷重によってゆっくり応答したマンツルの挙動が氷床の高度の時間変化に影響して、急激な氷床後退に寄与していたのだ。このように、日射の変化が氷床を変化させ、さらにその影響は、放射や大気循環、海水準変動、海洋深層循環、大気中二酸化炭素濃度変化などを通じて、全球一気に広がったと考えられる。

こうした氷床のヒステリシス構造に基づく応答の仕方は、北米とユーラシア大陸とで異なっていた。北米の場合にはある条件範囲で10万年周期が現れたが、ユーラシア大陸には現れなかった。大陸の幅や地理的分布による気候分布が氷床の応答に影響して、10万年周期を起こしやすいか否かにまで影響することが示唆された(詳細はAbe-Ouchi et al., 2013 参照)。

過去から将来への気候研究

今後はさらに観測データとモデルによる数値実験とを組み合わせ、海洋深層循環への影響やそこからのフィードバック

効果、北半球氷床の影響を直接受けない場所や、北半球とは日射量変動の位相が逆である南半球の気候変動などについても、検討していく必要がある。一見、氷床や二酸化炭素より先に他の場所の気温が変動して見えているのは、日射によって真っ先に反応した氷床の融け水に海洋深層循環が反応したからだと考えられる。より時間スケールの短い変動の理解や、温室効果ガスである二酸化炭素濃度変化のメカニズムなどが氷床の日射に対する応答とどう関係するのか、モデル実験の結果を解析する必要がある。また、いまや古気候・古環境データも地域的・時間的に高解像度なものが出てきており、より細かいプロセスを扱わないと説明できない事象もある。もっと古い時代についても高精度な証拠の収集と、高度な気候モデルによる数値実験を連動して進めることが重要だ(Braconnot et al., 2012; Dowsett, et al., 2012)。

実は氷期-間氷期サイクルが10万年周期で起こるのは最近100万年のことで、それ以前は4万年周期で、その振幅も小さかったことが分かっている。このような周期性や振幅の変化がなぜ起きたのかを調べ、気候の性

質の変化についてさらに理解を進めることは意義深い。とくに、温室効果ガス(CO₂など)の長期変化と気候変化の実態を知るため研究を推進することが不可欠である。外的要因に対する気候システムの応答の根本的理解を進めることこそが、過去の気候変動の原因を解き明かす道筋を作るだけでなく、地球温暖化とその影響の長期将来予測のためにも極めて重要であろう。

参考文献

- Abe-Ouchi, A. et al. (2013) *Nature*, **500**, 190-193.
- Braconnot, P. et al. (2012) *Nature Climate Change*, **2**, 417-424.
- Dowsett, H.J. et al. (2012) *Nature Climate Change*, **2**, 365-371.

一般向けの関連書籍

大河内直彦 (2008) *チェンジング・ブルー—気候変動の謎に迫る*, 岩波書店。



著者紹介 阿部 彩子 Ayako Abe-Ouchi

東京大学 大気海洋研究所 准教授, 独立行政法人 海洋研究開発機構 招聘研究員

専門分野: 気候力学, 気候モデルや地球システムモデルや氷床力学モデルを用いた数値実験やデータ解析を通じた古気候・古海洋・古環境変化メカニズム, 将来気候変化, 極域気候と氷床などに関する研究を進めている。

略歴: スイス連邦国立工科大学(ETH)地球科学博士課程修了, 理学博士。東京大学気候システム研究センター助手を経て, 現職。著書に「気候変動論」(岩波書店, 分担執筆)など。IPCC(気候変動に関する政府間パネル)第5次報告書第一作業部会代表執筆者を務める。

新ジャーナルの創刊と ジャーナル特別国際セッション推進の募集

日本地球惑星科学連合副会長／ジャーナル企画経営委員会委員長 川幡 穂高 (東京大学)

日本地球惑星科学連合 (JpGU) の新ジャーナル "Progress in Earth and Planetary Science" (略称 PEPS) のスケジュールと海外情報発信強化策についてご紹介します。

新 ジャーナルの表紙

PEPS は地球惑星科学の広い分野を網羅するので幾何学的なデザインが適しているだろうと考え、SPRINGER 社とも相談し、さまざまな案を検討しました。そして、JpGU 理事会、ジャーナル企画経営委員会、ジャーナル編集長会議の委員で投票を行うなどして絞り込み、さらに改訂し、表紙が決定されました (図)。地球あるいは惑星などをデフォルメした図柄となっております。色彩に関して青は海洋や大気を、緑は陸をイメージしています。表紙を開くと PEPS の充実した科学成果が詰まった雑誌に発展することを期待します。

投 稿受付開始

PEPS の創刊は 2014 年早々を目指しています。7 月の契約以来、SPRINGER 社とは、投稿要領、論文の体裁、査読プロセスなどテクニカルな要件を詰めてきました。そして、SPRINGER ドイツ本社で調整していた投稿システムが完成し、2013 年 10 月 25 日に原稿の受け付けを開始しました。公平性と掲載論文の質を確保するため、すべての論文についてピアレビューによる査読を、海外および国内の編集委員 50 名余がハンドリングして行います。

P EPS の情報

PEPS の情報は、現在のところ JpGU ウェブサイト (http://www2.jpгу.org/journal_j/index.html) から得ることができます。日本語と英語の両方を用意してあります：(1) 概要 (Aims and scope), (2) Instructions for authors (英語のみ), (3) 投稿のためのテンプレート (Templates), (4) レビューに期待するもの (Review guideline), (5) Q and A。この中で、テンプレートとは原稿の形式を整えたサンプルで、原稿作成時にすぐに利用できるの便利です。引用文献の表示の仕方については、SPRINGER 社のオープンアクセスジャーナルのウェブサイトに説明がありますが、全分野にわたりサンプルが 1 つしか示されていないので多少不便かもしれません。そこで、皆様の原稿作成に役立つように、JpGU ジャーナルのウェブサイトに地球惑星科学に特化した例をたくさん挙げておきますので、ご利用いただければと思います。なお、SPRINGER 社の PEPS に関するホームページは 10 月中旬に開設されました。JpGU のウェブサイトも随時改訂しております。ご質問などがありましたら、「PEPS ジャーナル出版事務局 (peps_office@jpгу.org)」までお問い合わせ下さい。

来 年度特別国際セッションの募集

海外情報発信への新規取り組みとして、連合 2014 年大会で複数の分野 (学会) にまたがるようなトピックスを対象とした「特別国際セッションの企画」を募集し、海外からの招聘者への旅費援助をいたします。その際、「海外からの招聘者と日本側の代表の方々 (約 2 ~ 4 名) に、その講演内容を PEPS に論文として投稿していただくこと」を

条件とします。ぜひご提案下さい (http://www2.jpгу.org/journal_j/index.html)。なお、援助の審査はジャーナル企画経営委員会で行います。

今 年度関連特別セッションの募集

今年度は連合大会が終了しているため、今年度すでに予定されている国際シンポジウムなどに、2014 年度末までに論文を PEPS に投稿して下さることを条件として、「ジャーナル関連特別セッション推進」支援を行いたいと考えております。第 3 回目の募集は 2013 年 11 月中旬を予定しています。

投 稿料金について

投稿料金は、以下のように考えています。

- 1) 招待論文、総論 (review)、日本地球惑星科学連合大会優秀論文については、JpGU が投稿料金を全額補助します。投稿者の負担はありません。
- 2) JpGU 会員の一般投稿については、JpGU が投稿料金の大部分を補助します。投稿者の負担は 200 ユーロ (Euro) です。
- 3) JpGU 非会員の投稿料金は 1000 ユーロ (Euro) です。
- 4) 本契約は Euro ですが、SPRINGER 社規則では日本・米国の投稿者への請求は US \$ です。クレジットカードなどでお支払いをお願いいたします。詳細については、JpGU ウェブサイトでお知らせします。

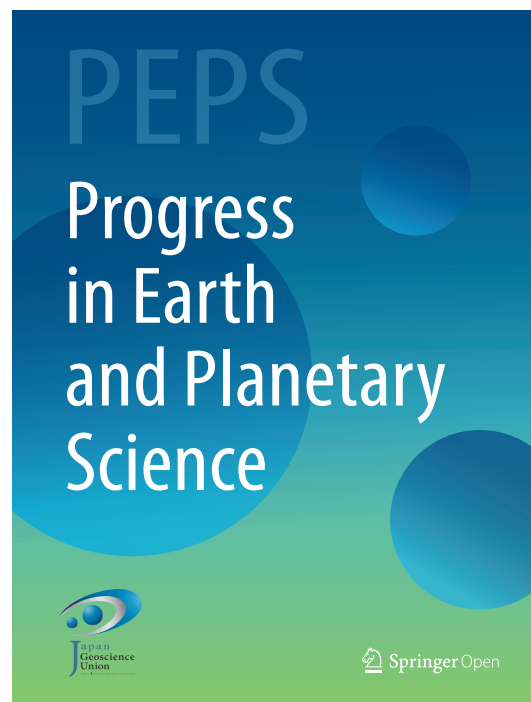


図 JpGU の新ジャーナル "Progress in Earth and Planetary Science" (PEPS) の表紙。

地学教育シンポジウム報告

「次期学習指導要領における地学教育のあり方」

教育問題検討委員会教育課程小委員会委員長 宮嶋 敏 (埼玉県立深谷第一高校)

教育問題検討委員会主催の第3回地学教育シンポジウム「次期学習指導要領における地学教育のあり方」が、連合大会開催の前日(2013年5月18日)、幕張メッセ国際会議場にて、49名の参加を得て行われた。過去2回の参加者は小中高教員が主体であったが、今回は大学教員・研究者の参加も増え、標記の問題に関する関心の広がりが見えるようになった。

本シンポジウムは、昨年12月2日に行われた学習会「学習指導要領改訂と地学教育への影響 一次期改訂に備えて」にて明らかになった次期学習指導要領改訂の日程概要をにらみ、地学教育のあり方について根本的・基礎的な議論をするべく開催されたものである。主題に迫る議論の観点として次の4つを取り上げた。

- (1) 高校の科目設定をどうすべきなのか(物化生地の形式的対等の堅持? 総合科目での内容充実?)
- (2) 環境教育、防災教育との関係をどうするのか(科目再編もあり得るのか?)
- (3) 地学の教員養成をどうするのか(現時点の問題点・課題、今後の提言)
- (4) 小中高の地学教育の内容を再編する必要があるか?

上記の観点について次の6人の方々から基調講演をいただいた(写真)。以下、それらの概要をまとめる。

○鈴木文二氏(春日部女子高校)

「幸せになるための理科」

全ての高校生が学ぶべき科目として、生物について考える理科、宇宙と地球について考える理科、科学と技術について考える理科の3科目を提案した。

○根本泰雄氏(桜美林大学)

「後期中等教育段階での地球惑星科学教育のあり方-教科・科目の新しい枠組み設定を目指すべきか?-」

高校段階でのあり方として、環境教育、防災・減災教育の充実も視野に入れ、新しい教科・科目の枠組みの提案として、①基本的に現行学習指導要領の踏襲(基礎を付した科目の全てを必修)、②総合的な新科目の必修(「教養理科」の再提案)、③新

科目設定の提案(地学領域に防災や環境を組み込んだ必修科目)、④新教科設定の提案(「地学」、「地理」、「保健(一部)」、「環境」を含む必修教科)、について述べた。

○相原延光氏(関東学院中学高校)

「地球人の科学リテラシーを学校教育にどのように組み込むか? -学校環境教育と学校防災教育の実践からみた課題-」

真の意味での「いのちの教育」を実施するには、新たな科目として「自然(地球)環境」「防災または災害」というような科目を立ち上げる必要があることを述べた。

○川村教一氏(秋田大学)

「高校地学教員の養成についての現状と課題: 秋田大学教育文化学部を例として」

教員養成系学部の特徴、大学生の現状および、現代教育事情とその影響を受ける養成教師像について述べた。

○林 衛氏(富山大学)

「科学リテラシーはなぜ自動的に発揮されないのか」

阪神・淡路大震災、東日本大震災・原発震災において、地球科学の知見が生かされず、予見されていた被害の未然防止に失敗した。教育内容が、本来の目的やそのための方と切り離されていることが大きな原因

だとする考えを述べた。

○阿部國廣氏(元西有馬小)

「次期学習指導要領での地学教育のあり方」

理科教育が子どもたちの生活とかけ離れたところで行われ、学習する受け手側に理科を学ぶ意識が乏しい。この原因は理科教育の目的が明白でないことにある。こうした点を踏まえ、小中高理科の在り方を地学を中心に提案した。

総合討論では、今後の検討を進める上で以下の意見や観点が提起された。

- ・地学に防災、環境の内容まで含ませる必修科目は、内容の多さ、地学教員数の現状から考えると設置困難か。
- ・地学に対する社会からの要請を見極める必要がある。地学での“science for all”とは何なのか。
- ・現行の基礎科目必修が現実的だが、科目の内容を吟味する必要はある。お話になっており、サイエンスがない。
- ・求められる内容に相応しい科目名を新たに考える必要がある。

理科教育の目的を効果的に実現する方法の検討も含め、より具体的な内容を検討するべく、今後早い段階に次のシンポジウムでの議論を行いたい。



写真 基調講演の様子

第7回国際地学オリンピック・インド大会報告

NPO 法人 地学オリンピック日本委員会理事 瀧上 豊 (関東学園大学)

第7回国際地学オリンピック・インド大会は2013年9月11日～19日に、インド南部のバンガロールから南西に約130km離れた古都のマイソールで開催され、23ヶ国・地域^(注1)から90人の高校生および4ヶ国のオブザーバー^(注2)の参加がありました。日本チームは英語力を重視した日本代表最終選抜(5月開催)で選ばれた4名とメンター2名及びオブザーバー7名の体制で臨みました。試験は3分野(地質・固体地球科学分野、気象・海洋科学分野、天文・惑星科学分野)の筆記試験と実技試験で競われ、見事、金メダル1名、銀メダル3名の優秀な成績を収めることができました(写真1)。しかも、金メダルの生徒は気象・海洋科学分野でトップの成績でした。8月の4泊5日の合宿研修や5月から8月の通信研修の成果も大きかったと思われます。韓国・台湾は相変わらず強く、金メダル3、銀メダル1でしたが、タイ、ルーマニアが日本と同じ成績でした。また、総合1位の生徒は従来の韓国・台湾ではなく、タイの生徒でした。新しい勢力の台頭に日本もうかうかしてられないと感じました。

国際地学オリンピックのもう一つの主要活動である国際協力野外調査^(注3)では、日本選手が所属した2チームが金賞と銀賞をそれぞれ受賞しました。また、今回独自に実施されたEarth Science Project^(注3)と題するパソコンによる調べ学習活動でも、日本選手が所属するチームが銅賞を受賞するなど、国際交流の面でも成果を上げることができました。また、最後のさよならパーティーでは、日本チームはソーラン節を踊り、場を盛り上げました。

帰国した21日が土曜日だったので、改めて9月24日午後に集合し、下村文部科学大臣を表敬訪問し、メダルを受賞した全員が大臣表彰をされ、大臣との懇談を行いました(写真2)。大臣からはメダルを取れた理由などを聞かれ、小学生のときから博物館によく行っていたからなどというやり取りがありました。

インドでは健康を壊さないか大変心配しましたが、ある企業の研修施設の中でほとんど生活したために、衛生面・安全面では非常に快適でした。しかし、インドの習慣の時間感覚で大会が運営されましたので、あらゆる場面で待ち時間の非常に多い大会でした。しかし、夜には古典インド舞踊も披露され、大変楽しめた大会でもありました。

2014年の第8回アメリカ大会はパーモント大学で開催されますが、アメリカ側の都合で開催時期が7月26日～8月5日と大幅に早まり、代表選抜を5月から3月の本選直後に繰り上げざるを得なくなりました。また、かなりの大学でまだ前期期間中なので、引率教員が例年通り確保できるかどうか危惧

しています。

インド大会中、2016年の三重県での国際地学オリンピック日本大会の宣伝も参加国に対して随時行いました。忍者やアニメの影響のためか多くの国々が日本には行ってみたいといっており、6月に発足した組織委員会は40カ国の参加を目標に準備を開始しました。参加国が増えると費用も増加します。来年からは税法上の優遇措置である認定NPOに仮認可される見込みですので、来年1年かけて、多くの企業から寄付金を集める予定です。それには、皆様のご多大なご協力が不可欠ですので、今後もよろしくお願いいたします。



写真1 表彰式後の4名の生徒



写真2 下村文部科学大臣を表敬訪問

(注1) オーストラリア、バングラデシュ、ベラルーシ、ブラジル、カンボジア、フランス、ドイツ、インド、インドネシア、イスラエル、イタリア、日本、クウェート、ナイジェリア、ルーマニア、ロシア、韓国、スペイン、スリランカ、台湾、タイ、ウクライナ、アメリカ

(注2) アルゼンチン、キルギスタン、マラウイ、マレーシア

(注3) 各国の生徒がバラバラになって野外調査や調べ学習をする、生徒間の国際協力作業

第10回国際地理オリンピック・京都大会報告

国際地理オリンピック日本委員会実行委員会 委員長 井田 仁康 (筑波大学)

第10回となる国際地理オリンピックが、2013年7月30日から8月5日まで京都の「ホテル平安の森」を主会場として開催された。国際地理オリンピックは、IGU（国際地理学連合）の大会の一部門として開催されている。IGUの本大会（IGU 京都大会）は8月5日から京都国際会議場で開催された。国際地理オリンピック京都大会には、32チーム（国・地域）が参加し、昨年のドイツ・ケルン大会と同じ最大規模の大会となった。上述したように国際地理オリンピックは、IGUの国際および地域大会の一部門として開催されるので、昨年までは2年に1度の開催だったが、2013年からは今後しばらくは毎年開催されることになり、それに合わせ国際地理オリンピックも、昨年まで2年に1度だったものが、しばらくは毎年開催されることになった。そのため、2年に1度の開催予定で予算を組んでいた昨年の開催地ドイツからは参加が見送られたが、2013年から新たに、カザフスタン、モンゴルが参加した。

第1日目は、夕飯までに会場となるホテルに集合し、夕食後開会式が行われ、主催者のあいさつや簡単な各チームの紹介があった。国際地理オリンピックは、設問および解答もすべて英語で行われるため、各国からの参加選手は、全員英語を理解でき、英語でのコミュニケーションが可能である。そのため、選手たちは初日から互いに声を掛け合っていた。

第2日目の午前中は記述テストが行われた。試験時間は3時間（英語をネイティブとする国の選手は試験時間を短縮）で、選手は真剣に机に向かっていった。午後は、ホテル周辺のミニエクスカーションで、翌日のフィールドワークテストの準備も兼ねている。この時期の京都は非常に蒸し暑く、体調管理について主催者側は常に注意を促した。

第3日目はフィールドワークテストである。ホテルからバスや電車を利用して、フィールドワークテストの場所まで移動し、グループ行動をとりながら、テストが始まった。朝方は雨も降り、天気が心配されたが、どうにか持ち直してくれ、問題なくテストが実施された。小学校の体育館を借りて、そこをテストの回収場所兼当日の本部として利用させていただいた。テスト回収後は、近隣商店街

のみで有効な500円の商品券を配布し、それを使って好きなものを昼食として食べてもらった。その際にはグループで行動してもらったが、各グループには近隣の高校の生徒にボランティアとしてはいてもらい、選手たちの行動をサポートしてもらった。京都や大阪をはじめとする高校の協力をえて、国際理解や英語に関心のある高校生をボランティアとして募り、地理オリンピックの期間中、多くの地元の高校生が、世界の高校生のサポートをしてくれた。この大会では、日本と世界の高校生の交流が大いに図られ、日本の「おもてなし」が伝わったのではないかと感じている。

第4日目の午前中は、フィールドワークテストの筆記テストとなる。午後は、ボランティアの日本の高校生とともに、折り紙などの日本文化の体験、「すきやきソング（上を向いて歩こう）」の歌の練習などを行った。夕食後は、各チームが用意したテーマにそったポスタープレゼンテーションが行われた。ポスタープレゼンテーションは、参加者の投票によって優秀作品が決められ、閉会式で表彰された。

第5日目は、午前中はマルチメディアテスト、午後はチームごとに自由行動とし、ボランティアの高校生が補助としてつき、路線バスなどを使い京都市内および周辺を自由に回った。夕食後は文化祭として、それぞれ

の国・地域の伝統的衣装を身につけ、国や地域を紹介し、土産の交換などが行われた。ステージには、前日につくった折り紙が飾られ、最後は「すきやきソング」を全員で合唱し、大変盛り上がった。

第6日目は丸1日エクスカーションで、貸し切りバスで琵琶湖や比叡山など比較的涼しくかつ地理的に魅力のある地を回った。夕食後は閉会式となり、成績が発表された（写真）。日本チームは銀メダルと銅メダルを獲得した。近年の国際大会では銅メダル1つもしくはメダルなしという結果が続いたので、銀メダルを含む2つのメダルを獲得したことは、大いに躍進したといえる。

最終日は、ホテルから国際会議場に移動し、IGUの開会式に合流した。開会式では、秋篠宮ご夫妻ご臨席のもと、福井文部科学副大臣より金メダリストにメダルの授与が行われた。開会式後、解散となった。

各チームの選手やリーダたちにとって、日本での大会は思い出深い大会になったのではないかと。本大会は、自他共に認める大成功の大会となった。この大会を支えてくれた、文部科学省、日本地球惑星科学連合、日本地理学会、科学技術振興機構（JST）をはじめ多くの後援・協賛団体、そしてボランティアとして支えてくれた高校生、実行委員の皆様にも深く感謝したい。



写真 IGU 開会式での金メダリストの表彰

地球惑星科学をとりまく情勢

日本学術会議 地球惑星科学委員会委員長 永原 裕子 (東京大学)

日本学術会議 (<http://www.scj.go.jp/>) は内閣府の特別組織でありながら、科学に関する重要事項の審議・実現、科学に関する研究連絡と能率の向上をその職務とし、政府に対する政策提言、国際活動、科学者ネットワーク構築、科学の役割についての世論啓発というボトムアップの活動を行っている。科学・技術をトップダウンで推進する議論を行う総合科学技術会議とは車の両輪をなすとされている。第22期(2011年10月～2014年9月)は、東日本大震災復興支援に関連した多数の提言を行っているほか、学術の社会貢献・社会的責任、科学者倫理に関する提言・談話等の発出、科学技術立国を支える学術の在り方に関する提言の発出なども数多く行っている。その中には、行政からの依頼により議論を行った課題も多く存在し、日本学術会議の存在意義が高まっていることが行政・マスコミ等からしばしば指摘されているところである。今年春以降に発出された提言等には、学術全体の在り方にかかわる問題が多く含まれている。一部はマスコミ等により報道されているものの、地球惑星科学分野としても看過することのできない問題が多く、ここで紹介をさせていただく。

科学者の不正行為

科学研究に関わる不正行為が大きな社会問題となった。製薬会社ノバルティスファーマ社が複数の大学で行った臨床試験のデータの改ざんが発覚し、数編の論文の取り下げ、関係した大学教員の辞職などの事態に至った。その論文により巨額の利益を得たノバルティスファーマ社から大学に多額の研究費が寄付され、大学と企業の関係も問題となった。日本学術会議は、2013年7月23日付けの会長談話として、制度・倫理の2面から不正根絶の必要性を指摘した。

ところが、その談話の公表と時をほぼ一にして、科学研究費詐取により東大教授が逮捕されるという衝撃的な事件がおきた。架空の納品書や請求書の作成を研究者自身が行うという事態は、昨年京都大学において発覚した同種の事件とも合わせ、大学研究者に対する社会の批判をきわめて大きなものとした。

日本学術会議では、科学研究における健全性の向上に資するための不正行為防止等

行動規範の徹底や今後の臨床試験の在り方などを検討するため、“科学研究における健全性の向上検討委員会”を設立し、集中的に議論を行うこととした。研究者個人の倫理に端を発する問題とはいえ、不正防止を厳格に行おうとする限り、研究者全体の活動のしやすさに大きな影響を与える可能性のあるこの問題を、科学者自身がどのように規制してゆくのかという困難な課題について集中的な議論を行っているところである。

日本版 NIH

科研費の在り方そのものに大きな問題を提起した“日本版 NIH”の創設について、6月21日、会長談話を発表した。これに先立ち生物関連54学会は、成長戦略に沿った医療の産業化を急ぐこの計画に対し、基礎研究に関する危惧を訴える声明を発表していた。

“日本版 NIH”は、医療分野の研究開発にかかわる関係各省による縦割り行政を、“健康医療戦略推進本部”に一括し、新設される独立行政法人“日本医療研究開発機構”がその具体的予算管理を行うという。2014年度概算要求においては、推進本部が一元管理をする予算として、厚生労働省・文部科学省・経済産業省にまたがり2260億円を要求した。

会長談話では、アメリカの NIH では予算が310億ドルもあり、その半分は基礎研究に使用されていることを指摘した上で、“日本版 NIH”がそのまま実行されると、科研費というボトムアップ型の研究費そのものに大きな影響を与えるであろうことを指摘した。さらに、この議論が日本学術会議を初めとする研究者に相談なく、政治主導ですすめられていることにも間接的に警鐘を鳴らしている。

この問題は、次のリニアコライダー問題とも通じるものがあり、基礎研究に対する行政の姿勢、とくに科研費によるボトムアップ研究の根幹を揺るがす問題が、成長戦略などの経済的効果のみで決定され、研究者の意見を聞かぬうちに資源配分方式が大きく変更されることの危険性を示すことになった。今回は生命科学分野の問題であったが、将来的には他分野においても同様の問題が発生する可能性は十分ある。注意深く見守ってゆく必要がある。

国際リニアコライダー計画

文部科学省からの依頼を受け、国際リニアコライダー計画の推進に関して検討を行い、9月30日、文科省に回答を手渡した。すでにマスコミ等でもかなり大きくとりあげられたため、概要についてはご存じの方も多いかもしれない。リニアコライダー計画とは、レプトン型(電子-陽電子)衝突による宇宙初期条件の再現を目指す実験装置であり、素粒子物理学の国際的コミュニティが作る国際チームによる検討が重ねられてきた計画である。最大の問題が、必要とされる巨額の(公称～8500億円、実際にはそれをはるかに超えると推定されている)経費であることは当初より指摘されていた。日本学術会議は検討の結果、判断に先立ち解決すべきいくつもの重大課題があることを指摘し、ただちに本格実施を議論することは時期尚早であるという結論に至った。とくに、本計画が基礎物理学分野のものであることから、他の基礎科学分野に予算的影響を及ぼさない仕組みが必要であり、ほかにも国際分担の明確化、この巨大計画を進めることのできるリーダーの存在、加速器技術者を初めとする人材確保など、指摘された問題はいずれもきわめて深刻なものである。

この問題も日本版 NIH 問題同様、研究者以上に政治あるいは経済界が先導的にことを進めようとしたところに大きな問題がある。幸いこの問題に関しては日本学術会議がその評価をするという展開になったため、多角的な検討が可能であったが、その機会がないままに事態が進行していたら、取り返しのつかないことになっていた可能性は高い。さらにこの問題は、純粋科学といえども、その推進に多額の経費が存在する場合、科学者自身が国の経済状況や他の学問分野とのバランスを初め、さまざまな周辺状況を十分に検討することが避けて通れないことを示した。現在進行中の大型研究計画を含め、今後の学術の在り方、検討の仕方について、重要な経験を積む機会でもあったといえる。

このように、われわれをとりまく環境は、政治や経済と強く関わり、小さな学術分野のみでは対応の困難な課題も存在する。地球惑星科学はもともと社会との関わり合いの大きい分野であり、このような周辺状況にも十分な注意を払っていることが大切であろう。

アストロバイオロジー —宇宙に生命の起源を求めて—

山岸 明彦 編
化学同人
2013年3月, 344 p.
価格 6,900 円 (本体価格)
ISBN 978-4-7598-1504-7



大阪大学 大学院理学研究科 佐々木 晶

必読書である。

編者の山岸氏が前書きで述べているように、アストロバイオロジー (astrobiology) は、1990年代にNASAによって定義された分野であり、宇宙における生命の起源・進化・伝搬・将来を研究する学術分野とされている。日本語では、宇宙生物学というよりも、宇宙生命学、と呼んだ方が、この分野を表現しているかも知れない。

1960年代に、月探査と並行して進められた火星探査では、地球外生命探査が最も重要な目標であった。分野としてはエグゾバイオロジー (exobiology) と呼ばれ、1970年代に実施されたバイキング火星探査を牽引した。また、大気が存在することが知られていた土星の衛星タイタンは、ボイジャー 1, 2号による外部太陽系探査の実現の原動力となった。バイキング着陸探査では期待されていた生命の存在の手がかりは得られなかったが、軌道船の画像は、火星表面の広範囲にわたって過去に流水や地下氷の融解に関わる活動があったことを明らかにした。またタイタンは、塵が多く不透明な窒素大気に覆われ、表面温度は90 Kと低いことがわかったが、地形等の表面の様子は捉えることがで

きなかった。一方で、エウロパ、ガニメデなど地下海が存在を示唆する氷衛星の姿を明らかにした。地球においても、生命誕生・進化の場所として海洋底が考えられており、氷天体の地下海は生命の揺籃として、興味が高まった。そして、1990～2000年代には、マーズパスファインダーをはじめとするさまざまな火星探査機、ガリレオ (木星)、カッシーニ (土星) 探査機が活躍する一方で、太陽系外惑星の発見、火星隕石中の微生物化石の存在提唱など、アストロバイオロジーを支える多くのデータが出るとともに、アストロバイオロジーの分野はさらに広がった。

上記は惑星科学分野から見た評者の視点に過ぎないかも知れない。アストロバイオロジーが包括するなかでは、本書の中核である生命科学分野や地球史分野の進展も大きい。本書には、アストロバイオロジーの広い分野において、近年の成果が取り込まれている。これまでもアストロバイオロジーという新しい分野を俯瞰的に解説する書物は出版されているが、個々の分野の研究内容が十分に紹介されているという点で、本書は秀逸である。2段組で300ページを超えるボリュームで、アストロバイオロジーの教科書のみな

らず辞書・辞典という役割も果たしている。生命科学分野を中心として、惑星科学、宇宙物理学、地球史など幅広い全6部 (I アストロバイオロジーの基礎、II 地球における生命の起源、III 地球における生命の進化、IV 太陽系における生命探査、V 太陽系外生命探査、VI 人類の未来) 27項目 (章) を、それぞれの分野の第一人者が執筆している。一方で根幹となる基礎部分の章と最終章 (われわれはどこから来てどこへいくのか) は、編者の山岸氏が担当し、全体を把握してまとめた形になっている。

読者は、興味のある項目をピックアップして読むこともできる。ただ時間がある方は、ぜひ全体に目を通していただきたい。生命の起源と進化という大きな問題が、地球惑星科学とどのように関わってくるか、感じ取ることができるだろう。個人的には、佐藤勝彦氏が投げかけている「人間原理」の問題と、編者と赤沼哲史氏による地球全生物の共通祖先の話題に大きく惹かれた。

一つだけ、惜しむらくは、火星隕石中の微生物化石の問題が含まれていないこと。1996年に、火星隕石 ALH (アラン・ヒルズ) 84001の炭酸塩中にバクテリアの微化石と似た細長い構造や磁鉄鉱微粒子などが発見された。これに対しては反論も多く出されて、結論は出ていないが、地球外生命の問題への関心を高めたのは確かである。

ナイトウォッチ



天体観測実践ガイド

テレンス・ディキンソン 著
渡部潤一 監訳・後藤真理子 訳
B4変・4色刷・192頁
定価 3675 円

季節の星空、銀河、星雲の観察から望遠鏡の選び方まで。アメリカで、アマチュア天文家の絶大な支持を得ている天体観測の完全ガイド。

DOJIN選書024

地球環境46億年の大変動史

田近英一 著・定価 1680 円

地球が誕生して46億年。それは環境変動の歴史でもある。私たちは過去の気候変動から何を学べるだろうか。



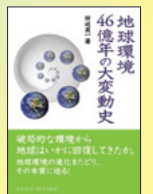
DOJIN選書036

生命の起源を宇宙に求めて

—パンスペルミアの方舟

長沼 毅 著・定価 1785 円

地球生命の宇宙起源論は受け入れられるか。異端の説を様々な証拠から精緻に論じ、常識を覆す。



 **化学同人**

〒600-8074 京都市下京区仏光寺通柳馬場西入ル Tel 075-352-3373 Fax 075-351-8301
書籍の詳しい情報はこちらからどうぞ <http://www.kagakudojin.co.jp>

公 募情報

①職種②分野③着任時期④応募締切⑤URL

静岡大学 大学院理学研究科

①講師または助教 ②地球科学 ③ H26.04.01
以降のできるだけ早い時期 ④ H25.11.22
⑤ http://www.shizuoka.ac.jp/recruit/2013/20131015_sci.html

独立行政法人 海洋研究開発機構

①特任研究職もしくは特任技術研究職 ②受託研究「日本海地震・津波調査プロジェクト」③ H26.04.01 ④ H25.11.22 ⑤ http://www.jamstec.go.jp/recruit/details/donet20131122_2.html

東北大学 大学院理学研究科

地震・噴火予知研究観測センター

①准教授 ②主として地震現象・地殻変動の海底観測と、それに基づく地震予知のための基礎研究を行う ③ H26.04.01 ④ H25.11.22 ⑤ <http://www.aob.geophys.tohoku.ac.jp/recruit/recruit-2013/>

自然科学研究機構 国立天文台

①助教 ②天文学 ③決定後なるべく早い時期 ④ H25.12.10 ⑤ <http://www.nao.ac.jp/contents/about-naoj/recruit/recruit-20130924-femaleassociate.pdf>

**静岡大学 教育学部
理科教育講座**

①講師または助教 ②動物学(系統, 生物地理, 第四紀, 地球環境変動のいずれかを研究対象)とする ③ H26.04.01 ④ H25.12.13 ⑤ <http://www.ed.shizuoka.ac.jp/289/>

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構

①准教授 ②固体ロケットシステムおよび固体燃料による推進に関わる工学研究 ③決定後なるべく早い時期 ④ H26.01.06 ⑤ http://www.jaxa.jp/employ/misc/edu_2013_05.pdf

イベント情報

詳細は各 URL をご参照下さい。

■京都大学総合博物館企画展「海」

日時: 開催中～ 2013 年 12 月 1 日(日)
場所: 京都大学総合博物館
主催: 京都大学総合博物館
内容: 大陸と大洋のはざまに位置する「海洋列島」日本の、自然とそこに住むヒトの営みの関連性を過去・現在・未来の視点から示す
<http://www.museum.kyoto-u.ac.jp/modules/special/content0037.html>

**■茨城県自然博物館 第 59 回企画展
「ジオ・トラベル in いばらき — 5 億年の大地をめぐる旅 —」**

日時: 開催中～ 2014 年 1 月 19 日(日)
場所: 茨城県自然博物館

主催: 茨城県自然博物館
内容: 茨城県内の各地でみられる多様な地質の見所をめぐる展示
<http://www.nat.pref.ibaraki.jp/t/k/59/index.html>

■特別展「大恐竜展 — ゴビ砂漠の驚異 —」

日時: 開催中～ 2014 年 2 月 23 日(日)
場所: 国立科学博物館
主催: 国立科学博物館
内容: 恐竜の系統進化や生態などの解明に大きく寄与したモンゴル・ゴビ砂漠で発掘された貴重な化石標本を公開。アジア最強の肉食恐竜、タルボサウルスがよみがえる!
<https://www.kahaku.go.jp/exhibitions/ueno/special/2013/daikyoryu/>

■ G 空間 EXPO2013

日時: 2013 年 11 月 16 日(土)
場所: 日本科学未来館イノベーションホール
主催: 公益社団法人日本地理学会
内容: G 空間情報の最先端の技術やサービスを終結し、展示、講演、体験イベント等を開催する
<http://www.g-expo.jp/index.html>

■ International Astrobiology Workshop 2013

日時: 2013 年 11 月 28 日(木)～ 30 日(土)
場所: 宇宙科学研究所
主催: 日本アストロバイオロジーネットワーク (JABN)
共催: 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所 (JAXA/ISAS), 自然科学研究機構 (NINS) 新分野創成センター「宇宙における生命研究分野」, 東京工業大学地球生命研究所 (ELSI), 相模原市立博物館
内容: 多様な分野を包含する「アストロバイオロジー」関連研究者間の学際的交流を促進し、我が国における当該分野の切磋琢磨に資するため、日本アストロバイオロジーネットワーク (JABN) が 2008 年以來毎年開催している年次ワークショップの第 6 回目。今回は海外の著名研究者および国内の若手研究者を招聘した国際シンポジウムとして開催
<http://www.isas.jaxa.jp/home/labam/jabn6>

■第 22 回地質調査総合センターシンポジウム「アカデミックから身近な地質情報へ」

日時: 2013 年 11 月 30 日(土)
13:00 ~ 18:00
場所: AP 東京八重洲通り 11F
主催: 産業技術総合研究所地質調査総合センター
内容: 聴く、見る、触れる。最新の日本の地質を体験できる 1 日
<https://www.gsj.jp/researches/gsj-symposium/sympo22/index.html>

**■理研よこはまサイエンスカフェ
「アストロバイオロジーとバイオ技術」**

日時: 2013 年 12 月 14 日(土)
場所: 神奈川科学技術アカデミー
主催: 独立行政法人 理化学研究所
内容: 「宇宙と生命」を調べる学問「アストロバイオロジー」と、そこから発展した新しいバイオ技術について講演する
<http://www.yokohama.riken.jp/sciencecafe/cafe/cafe18>

■ International Symposium on Research Frontiers of Physics, Earth and Space Science

日時: 2013 年 12 月 17 日(火)～18 日(水)
場所: 大阪大学 豊中キャンパス シグマホール
主催: 日本学術振興会・学術システム研究センター
内容: 素粒子・原子核物理学, 物性物理学, 宇宙科学, 地球惑星科学などの幅広い分野における研究の最前線を俯瞰し、学際的な視点から今後の展望を探る
<http://thmat8.ess.sci.osaka-u.ac.jp/Meeting2013/index.html>

■第 3 回「日本における超高速衝突実験の現状と将来展望」研究会

日時: 2013 年 12 月 19 日(木)～ 20 日(金)
場所: 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 研究管理棟 1 階
主催: 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
内容: 高速衝突・衝撃と関係の深い研究分野における衝突・衝撃研究の役割及び課題についての情報共有を行い、日本における高速衝突・衝撃研究分野発展のための将来ビジョンを模索し、今後の戦略を議論し実行するネットワーク構築を目指す

■ 2013 International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia

日時: 2013 年 12 月 20 日(金) 9:30～17:30
場所: JAMSTEC 東京事務所
主催: International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia 実行委員会
内容: モンゴル周辺乾燥/半乾燥地域で陸域環境変化に関する研究の成果を持ち寄る。地上観測, モニタリング, 水文/気候モデリング, 衛星リモートセンシングなどの成果と今後の研究計画などを議論する。
連絡先: 開発一郎
(kaihotu@hiroshima-u.ac.jp)

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.jpgo.org/> まで。

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】

公益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。

AOGS 2014
 28 Jul - 01 Aug
 Sapporo
 Japan

11th Annual Meeting
Asia Oceania Geosciences Society

Submit Proposal : Deadline 19 Nov 2013
Submit Abstract : Deadline 1 Feb 2014
Log on to www.asiaoceania.org

Organised By: Asia Oceania Geosciences Society www.asiaoceania.org

Supported By: AOGS - In Asia for Asia and the World 地球科学教育 北海道大学 Hokkaido Government Sapporo City

AOGS Secretariat Office: MEETING MATTERS INTERNATIONAL A World Scientific Associate

NEWS! AOGS 2015 in Singapore 3-7 Aug