



## TOPICS

- 地球が震えるとは何がわかる? 1  
 気候に関わる  
 成層圏エアロゾル研究の最前線 4

## NEWS

- 日本地球惑星科学連合 2023 年大会開催 7  
 学術会議だより 8  
 第 5 回西田賞受賞者紹介 10  
 2023 年度 JpGU フェロー受賞者紹介 10

## SPECIAL

- フェロー授賞記念特集 11

## BOOK REVIEW

- 地球温暖化はなぜ起こるのか 15

## INFORMATION

- 16

## TOPICS 地震学

## 地球が震えると何がわかる？

ハーバード大学 地球惑星科学科 石井 水晶

大きな地震は非常に多くのエネルギーを放出し、地球全体が一度に揺れる「自由振動」という現象を起こす。自由振動は、震源地から広がって伝播する本体波や表面波とは異なるが、それでも地震計の地震動の記録を使用して観測することができる。地球の複雑な内部構造と組成により、さまざまな自由振動が存在し、これらは地球の内部を研究するために利用することができる。

### 地震の揺れと地球自由振動

地震の揺れと一言に言っても様々な揺れ方がある。人が感じられる揺れは典型的に、まずガタガタ、グラグラと揺れが、その後ユラユラと人によっては酔いそうだという揺れが起きる。これは、揺れを引き起こす地震のエネルギーがさまざまな形式で地球内部を伝播するためであり、最もよく知られている地震エネルギーの種類は実体波（P波やS波など）と表面波である。伝播形式によって伝播速度も異なるため、速度の速い実体波による揺れがまず起こり、その後表面波の揺れが到着する。

地震エネルギーの種類で地面の揺れ方も変化し、最初のガタガタ（P波）とグラグラ（S波）は一度の「ガタ」（周期）に約1秒、「グラ」には数秒要するが、表面波によるユラユラは一度の「ユラ」に十秒から数十秒程かかる。周期が長くなるにつれ、その地震エネルギーが揺らす距離（波長）も長くなり、実体波は数kmであるのに対し、表面波は数十から数百kmの場所が一度に揺れる。

地震エネルギーの周期は表面波の数十秒が最長ではなく、それよりも長い周期を持つ

地震動も存在する。最も長い周期は約1時間であり、それに対応する波長は数万kmになる。地球の円周は約4万kmであるから、この種のエネルギーは地球全体を動かし、地球の鳴動または自由振動として知られており、鐘を鳴らすことに相似する。すなわち、鐘を叩く（地震が発生する）と、鐘全体が振動し（自由振動）、特定の周期を持つ音（地震エネルギー）が生じる。鐘の音は素材によって変化し、真鍮製の鐘と木製の鐘では異なる周期の音が鳴る（真鍮製の鐘は短い周期の高音で鳴り、木製の鐘は長い周期の低音で鳴る）。地球は真鍮や木のような単一の材料ではなく、異なる層と組成で構成されており、この構造と組成の複雑さにより、地球の音は単一ではなく、さまざまな周期を持つ多くの音（地震エネルギー）の組み合わせとなる。

### 2011年東北地方太平洋沖地震の地球自由振動記録

自由振動は地震記録を用いて観測することができるが、小規模な地震のエネルギーでは地球全体の振動は引き起こせないため、巨大地震が必要となる。図1(a)は2011

年のマグニチュード9の東北地方太平洋沖地震によって生じた長周期地震計記録であるが、はっきりした多数の山が観察できる。これらは地球の自由振動または音である。その数の多さは、地球の内部構造の複雑さを示しており、単純な鐘によって生じる単一の音とは異なる。最も長い周期を持つ自由振動は、地面の動きが1周期完了するのに54分かかり、地球が赤道を長軸とする楕円体と極地域極を長軸とする楕円体の状態を行ったり来たり揺れる（図2(a)）。一つ一つの自由振動は、異なる揺れ方をし、たとえば、約20分の周期の自由振動は膨張（半径が大きくなる）と収縮（半径が小さくなる）を繰り返し、まるで地球が息をしているかのように揺れる（図2(b)）。より複雑な変形（図2(c)）や、地球の形状変化を伴わない純粋な横ずれの揺れなどもある（図2(d)）。

地球のこれらの長周期の揺れは、実体波や表面波よりも長く続く傾向がある。図1(a)のエネルギー量を色に変換し（暖色系で高い振幅を示す）、地震が発生してから30日以上時間経過とともにそれらがどのように変化するかを調べると（図1(b)）、多くの自由振動が約100時間（約4日間）続くことがわかる。これらは余震ではなく、マグニチュード9の本震で引き起こされた揺れである。揺れは時間とともに収束していくが、一部は長く続く。特に、約20分の周期で地球の「呼吸」に対応する振動は、本震から1か月以上経っても持続しておりなかなか減衰しない。

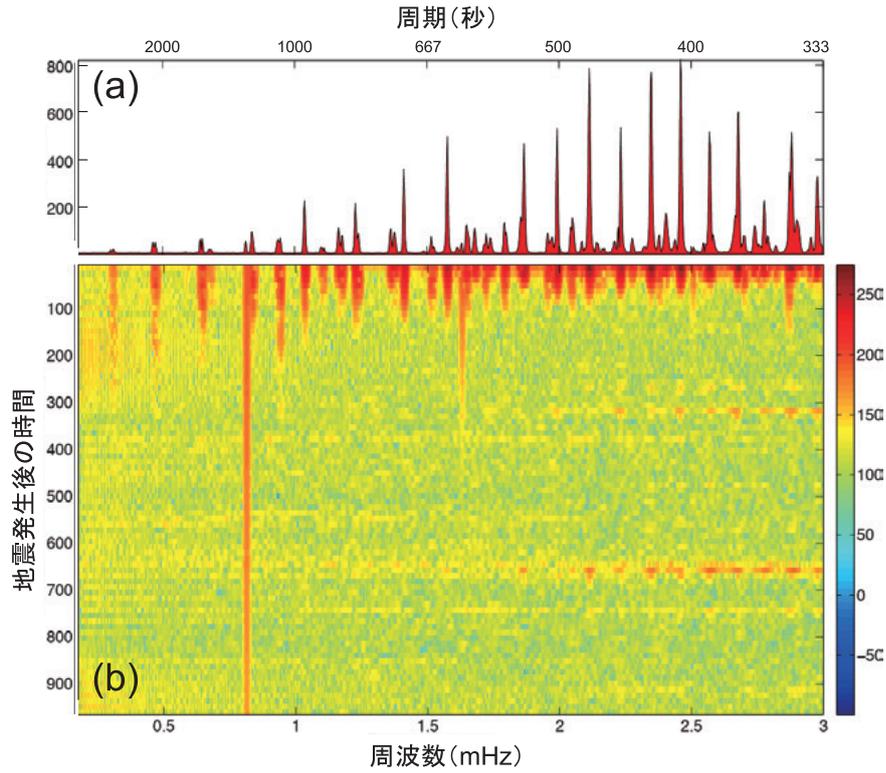


図1 2011年東北地方太平洋沖地震による自由振動。(a) スペインのサンパブロ観測所で地震発生から約80時間分の垂直地震動に記録された周期に対する地震動エネルギー。周期は右から左に向かって増加する。(b) 地震発生後の時間経過に伴う各種自由振動の変化。上から下に時間が経過し、大きな振れは暖色で表示される。本震後約300時間および600時間後に観測される水平に散らばる赤い点は余震によって幾つかの自由振動が引き起こされたことを示している。

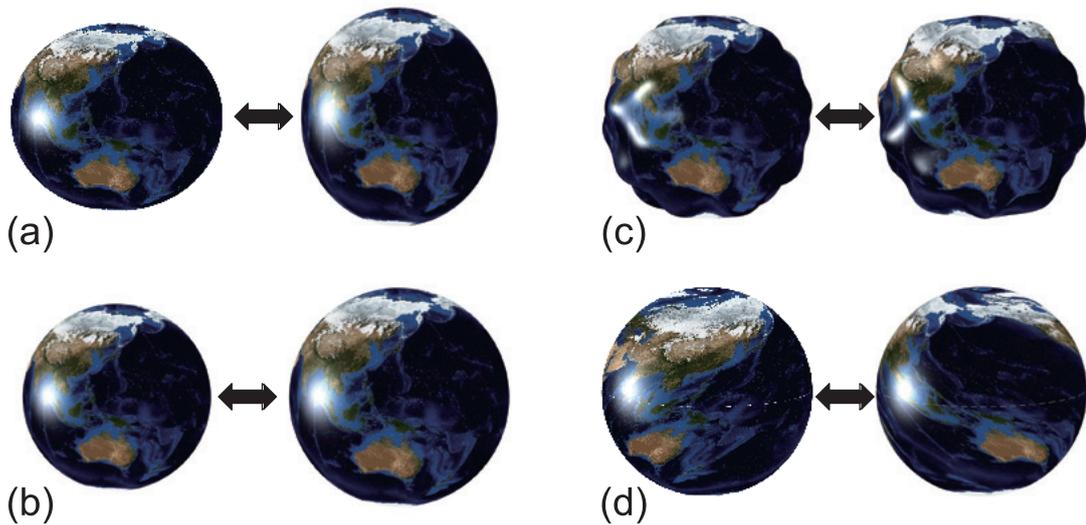


図2 自由振動の例。自由振動によって地球がどのように動くかを周期の極動で表す。実際には、この種の運動は大きくても揺れ幅が数cmである。(a) 最も長い周期(約54分)の地震動は、地球が楕円体になり赤道と極の長軸を行き来する。(b) 周期が約20分の自由振動は地球のサイズが変わるが形は変わらない。(c) より複雑な振動の例。(d) 地球の形状に変化がなく、純粋な水平運動からなる振動の例。北半球と南半球が反対方向に動く。

### 地球自由振動と内部構造

鳴動の周期と減衰速度は地球の内部構造と構成によって決まるので、自由振動の観測を通じて地球の内部構造を研究することができる。たとえば、地球の内部は複

数の層から成り立っているが、最深部の内核が外核と同じように液体であるのか、それとも固体なのかは実体波を使って解析するのは困難である。自由振動を使った研究だと、内核が液体である場合と固体である場合の振動の周期は異なるので、観測された周期

と比べることにより特定でき、内核が液体の外核に囲まれた固体であることが初めて証明された(Dziewonski and Gilbert, 1971)。この研究に使われた観測データは、他にも内核と外核を構成する物質が実質的に同じであること、すなわち鉄とニッケルの合金で

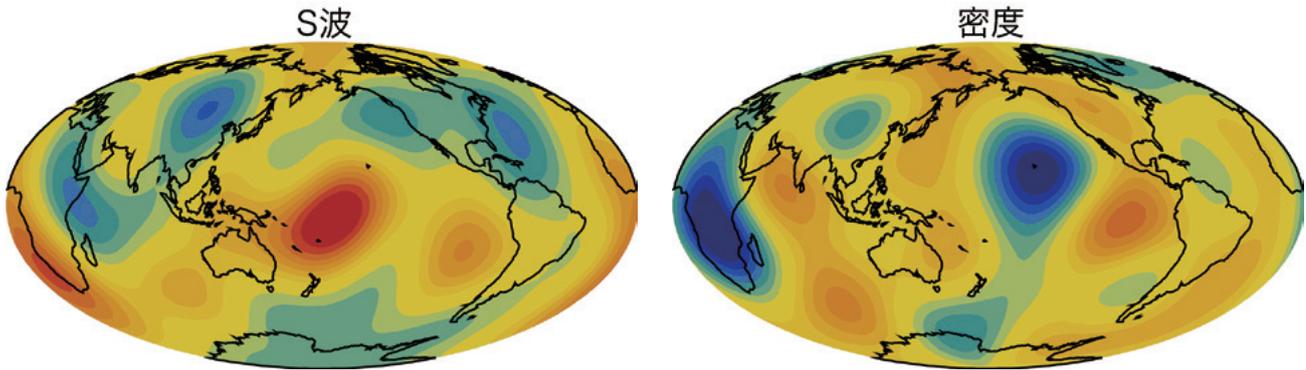


図3 核マントル境界近くの深さ2850kmにおける地震波S波速度と密度の空間分布。自由振動を使ったマントル構造解析結果。(左)S波速度。暖色系は平均よりも遅い速度を、寒色系は平均よりも速い速度を示す。(右)密度。暖色系は平均よりも低い密度を、寒色系は平均よりも高い密度を示す。

あることを示し、内核境界が液体から固体への転移の境界であり、この深さにおける地球内部の温度の推定を可能にした。

自由振動の周期は、地震動が記録される場所によって微妙な揺らぎが観測され、単純な層状構造を超えた内部構造の複雑さを示す。たとえば、通常、地球の物質は、方向に関係なく同じ速さで地震エネルギーを通過させる。しかし、自由振動周期の揺らぎを解析すると、内核では南北方向に伝播するエネルギーが東西方向のエネルギーよりも速く進むことが示された (Woodhouse et al.,

1986)。この異方性の原因は完全に解明されていないが、支持を集めている仮説は、内核を構成する鉄の結晶の配列の規則性に起因するとされている。鉄の結晶にはそれ自体に異方性があり、並べ方によって観測されるような地震波の異方性を再現できる可能性がある。ただ非常に高温高压下での鉄結晶の異方性を知る必要があり、困難な実験や数値シミュレーションを行わなければならない。現在も活発な研究の対象となっている。

自由振動の揺らぎデータを用いた内部構造の三次元モデルは実体波や表面波を使っ

たモデルよりもばやけている。これは自由振動の波長が地球レベルであり、沈み込み帯や断層などの短波長の変化には感度が低いからである。しかし、自由振動データは密度の変化(空間分布)を検出できる。一般に、実体波や表面波は地震波速度の変化には影響を受けるが、密度の変化には左右されない。密度分布は地球内部での物質の浮力に置き換えることが可能であり、地球内部のダイナミクスと密接な関係がある。自由振動周期の変動から得られたマントルの3次元モデルを比較すると、太平洋の下では地震波速



## 株式会社とめ研究所

### 私たちが目指す社会

私たちが目指す社会、それは機械をより賢くし、"人と機械が共生する社会"をつくり、"生活が楽しくなる"こと。この思いに基づき、経営ビジョンを「人と機械の共生でもっと生活を楽しむ」にしています。

当社のエンジニアは皆、経営ビジョンに繋がる面白い技術的課題に向き合い、思う存分能力を発揮しています。そのような会社であり続けたい思いから、経営理念を「面白い事をして社会や生活を変える」にしています。

経営ビジョンの実現には幅広い分野での貢献が必要です。事業ミッション「お客様の研究開発へ貢献する“ソフトウェア研究開発受託会社”」のもと、日本全国の多くのお客様に貢献しています。



- 得意分野は最先端ソフトウェアの研究開発。人工知能、データサイエンス等。
- 高度な技術集団。エンジニアは5割が博士号取得者、8割が博士課程出身。
- 日本全国の研究開発を受託。大手企業研究所等のパートナーとして実績多数。
- 博士課程新卒、既卒者積極採用中。選考では研究で培った能力を重視。

人と機械の共生でもっと生活を楽しむ  
とめ株式会社とめ研究所  
URL : <https://www.tomei.jp>

度の減衰領域があり、これは通常、高温の物質の存在を示すものと解釈される。このことは、マントル基底部に加熱された物質が浮力によって東太平洋海嶺に上昇しプレートテクトニクスを駆動するマントル対流の一部であるという概念と一致する。よって、地震波速度が平均より低い場所では密度が低い（浮力がある）はずである。しかし、自由振動解析の結果は逆であり、地震波速度が遅い場所では密度が高くなっており、既存の理論とは異なる（Ishii and Tromp, 1999；図3）。この結果を説明する方法としては、マントル基底部に沈み込んだ海洋地殻やマントルと核の化学反応による鉄質鉱物など、組成的に異なる物質の組み入れがある。周囲のマントル物質と比較して密度が高い物質であれば、高温による密度低下が起こってもなお周囲より高い密度を維持できる。この物質はマントル基底部に留まり、マントル対流によって上昇するのは、この高密度の塊を取り囲む温かい周辺マントル物質である可能性があるが、このような細かい変化は自由振動

データでは検出できない。

## 自由振動のさらなる応用

自由振動は、地震学においては一般的に使用されるデータではないが、地球内部の研究において実体波や表面波のデータを補完する役割を果たす。地球外では、InSight ミッションによる火星の自由振動の観測が報告されており、火星内部構造の研究の一部を担う。太陽の構造とダイナミクスの研究も太陽の自由振動に基づいており（日震学）、惑星や星の内部構造の研究における自由振動データの重要性は明白である。



### 著者紹介 石井 水晶 Miaki Ishii

ハーバード大学 地球惑星科学科 教授

専門分野：地震学、地球物理学。地震計で記録される様々な現象（地震、核実験、台風など）や地球内部構造の研究を行う。

略歴：ハーバード大学地球惑星科学科博士課程修了後、カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋研究所でのポスドクを経て、現職。

—参考文献—

Dziewonski, A.M. and Gilbert, F. (1971) *Nature*, **234**, 465-466.

Ishii, M. and Tromp, J. (1999) *Science*, **285** (5431), 1231-1236.

Woodhouse, J.H. *et al.* (1986) *Geophys. Res. Lett.*, **13**(13), 1549-1552.

#### 一般向けの関連書籍

廣瀬敬 (2022) *地球の中身 何があるのか、何が起きているのか*, 講談社ブルーバックス。

# 気候に関わる成層圏エアロゾル研究の最前線

東京大学大学院 理学研究科 茂木 信宏

筆者は現在、米国コロラド州ボルダーの海洋大気庁の化学研究所 National Oceanic Atmospheric Administration, Chemical Science Laboratory (NOAA CSL) に客員研究員として滞在している。NOAA CSL は大気化学分野では世界最大級の数の研究者を擁する総合研究拠点である。特に、航空機を利用した全球規模の大気観測により大気化学組成の動態解明に先進的な役割を果たし続けていることは本研究の大きな特色である。本記事では、現在 NOAA CSL で活発に行われている研究テーマの一部と研究所の様子について紹介する。

## 気候介入とは

地球温暖化の加速を緩和するためには温室効果ガス放出量の削減が必要条件である。しかし実際には放出量の削減が想定通りにはいかず、地球上の多くの地域で人類や生態系が深刻な危機にさらされる可能性も高まりつつある。そこで大気・気候科学の業界では、放出量削減と温暖化抑止が達成できるまでの時間を稼ぐ方法の一つとして、気候介入 (Climate intervention) が本格的に研究されるようになってきている。気候の人為的な制御を目的とする気候工学 (Geoengineer-

ing) の中でも、気候介入は大気の物理・化学過程を介するために純粋な工学的手法としては定義しにくい方法を指すようである。これまでに考案されている気候介入のうち NOAA CSL で研究されているのは、海洋上の下層雲の反射率を上げる Marine Cloud Brightening (MCB) と、成層圏に人為的なエアロゾルを注入する Stratospheric Aerosol Injection (SAI) である。SAI は、温室効果ガスの放射強制力を打ち消すのに必要な（現行技術での）コストが最も小さいため、有力候補と考えられている。

成層圏エアロゾル注入の概念が提唱されてから現在に至るまで、気候モデリングによ

る理論的な研究が実施されてきた。しかし、気候モデルを用いて成層圏エアロゾル注入の影響を事前に正確に予測し、また事後にその効果や副作用を確実に評価できるという段階にはまだ至っていない。大きな不確定要因は、注入前の背景場 (base line) におけるエアロゾルの組成・粒径ごとの濃度と生成・消失を決めているプロセスについてである。成層圏エアロゾルの背景場の理解と研究課題については例えば Kremster *et al.* (2016) を参照されたい。対流圏に比べて成層圏では、エアロゾルの素過程に関して現行のモデルで考慮できていない未知の事象が多いと考えられ、観測値とその時空間変動をモデルで再現することはまだ困難である。従来、散発的な火山噴火による二酸化硫黄の注入、主に熱帯対流圏界面を通じた対流圏からの二酸化硫黄や硫化カルボニルの流入、宇宙からやってくる隕石の蒸発煙などが、成層圏エアロゾルの主な起源として認識されていた。近年の観測から、森林火

災で発生する強い上昇流を伴う積乱雲 (Pyrocumulus) により対流圏界面を突き抜けて流入する炭素性エアロゾルや、ロケットエンジンの排煙に含まれる黒色炭素 (すす) や酸化アルミニウムも成層圏エアロゾルの背景場に寄与していることが分かってきた。今後、温暖化に伴い森林火災の頻度は増えると考えられていると、宇宙開発事業は急速な増加傾向にあるため、成層圏背景場への上記発生源の寄与は増大すると考えられている。このような理解の進歩は、近年のより高性能なガス・エアロゾルの測定装置を搭載した航空機観測の実施によるところが大きい。今後当面は、成層圏背景場における上述の各種発生源の寄与とその時空間変動を定量的に把握することが気候介入に関する重要な基礎研究のテーマであり続けると考えられる。

いるので、観測の結果については筆者からお話しできない。今後、学会や論文での発表を楽しみに待ちたい。観測とは別に、SAI に用いるエアロゾル化学種の候補を絞るために、各化学種の光学特性、成層圏中でのオゾン破壊への影響、コストなどが比較検討されている。硫酸エアロゾルの前駆体となる二酸化硫黄は、現在の背景場を決めている主なエアロゾルの前駆体であることから、比

較的無難な候補物質と考えられてきた。しかし、最近までの比較検討の結果、炭酸カルシウムや酸化アルミニウムなどの白色の固体化学種が有力候補に挙がっている。エアロゾル注入の手段としてはジェットエンジンによる航空機からの散布が最も現実的かつ安価な手段と考えられているが、滞留時間と放射効果の観点から望ましい高度 20 km 以上に到達することは現在の汎用ジェット機では

## 最新 近の研究の話題

上記の研究背景のもと、NOAA CSL では、2020 年から始まった Earth's Radiation Budget Initiative Project (<https://csl.noaa.gov/research/erb/>) の一環として、成層圏における大規模循環 (ブリュワー・ドブソン循環) 場におけるエアロゾルの生成・輸送・消失過程の理解を目的とする航空機観測 SABRE (<https://csl.noaa.gov/projects/sabre/>) や、北半球・南半球中緯度における気球を使った成層圏エアロゾル背景場の定常観測 B2SAP (<https://csl.noaa.gov/projects/b2sap/>) などのプロジェクトが進められている。SABRE では、高度 20 km まで到達可能な NASA WB-57 航空機に、NOAA CSL や他の研究所により開発された先進的な装置が搭載された (図 1)。筆者は見学に行っただけで、本プロジェクトとは別の研究を担当して



図 1 成層圏観測のための航空機 NASA WB-57 (後方) に搭載するエアロゾル測定装置の一つの整備を手伝う筆者 (手前右)。このような航空機観測キャンペーンでは、初フライトの前に 3 週間くらいかけて機器の現場調整・搭載・配線・配管・通信テストなどが行われる。WB-57 に搭乗できるのは宇宙服のような加圧スーツをきたパイロット 2 名だけなので、各搭載装置の飛行中のオペレーションは全自動あるいはリモート通信で行われる。撮影者: Joshua P. Schwarz



Part of  
**SPRINGER  
NATURE**



Japan Geoscience Union  
日本地球惑星科学連合  
会員特典

Nature 関連誌のような、多くのトップジャーナルや学協会が推奨する AJE の英文校正サービスが、**20%割引**でご利用いただけます。英語ネイティブで、著者と同じ研究分野で米国の上級学位を有する専門のエディターによるトップクラスの論文校閲を、この機会にぜひご体験ください。

こちらの URL よりご利用ください

<https://secure.aje.com/c/JpGU20>

または JpGU ホームページ (<https://www.jpgu.org>) 下部のバナーから



高品質な英文校正  
JpGU 会員 20% 割引

## AJE の論文校閲サービスの特長

- 文法、言い回し、言葉遣い、句読点の使い方を修正
- 執筆者の意向、構造、ロジックを維持
- 文体や文章の流れを最適化
- 再校正の割引
- 上級学位を持つ英語のネイティブスピーカーで同じ研究分野での経験を持つ校正者が担当
- 論文に関するフォローアップ質問に回数制限なく対応
- AJE 校正証明書を発行





お問い合わせ: AJE (American Journal Experts)  
Email: [jp\\_inquiry@researchsquare.com](mailto:jp_inquiry@researchsquare.com)  
URL: [aje.com/jp](http://aje.com/jp)

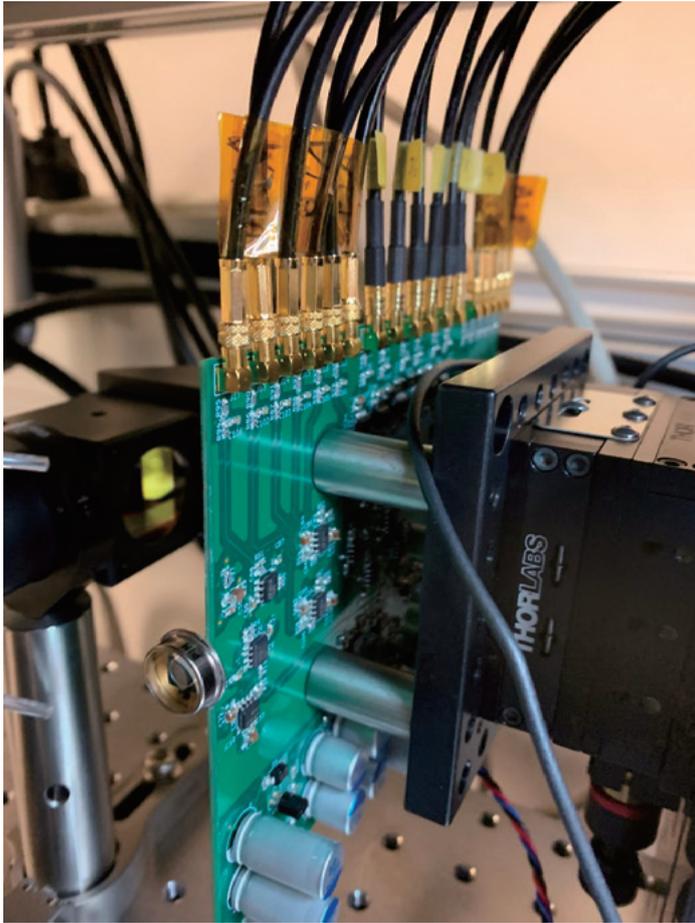


図2 筆者がNOAA CSLにて設計・開発している新装置に用いる光検出用電子回路の1つ。この装置の開発目的は、気流中または液流中の個々の微粒子の粒径・屈折率・形状を高精度に検出することで、大気・海洋・雪氷中の鉱物ダスト等の各粒子種の自動観測を可能にすることである。この回路は幸運にも、作って電源を入れて一発でちゃんと動いた。動かない電子回路のトラブルシューティングほど厄介で希望の薄い仕事はない。技術者のSteven Cicioraはこの回路を見て「It looks neat. I like it」と言った。

困難である。そこで散布する白色の微粒子に太陽放射を吸収する黒色炭素を少し混ぜることで、散布プリズムを大気加熱による浮力で高高度まで上昇させるという、ユニークかつ現実的なアイデアがNOAA CSLの研究者から提案されている(Gao *et al.*, 2021)。今後、長期的に重要な研究テーマの例として、注入候補のエアロゾル粒子の光学特性を紫外波長から赤外波長まで正確に測定することや、気候介入が実施された際に注入エアロゾル粒子の成層圏中や対流圏中での動態を定常的に観測する手法の開発・整備が挙げられる。筆者は現在、これらの研究に応用できる道具として、流体中の個々の微粒子の光学特性を詳細かつ自動的に測定する手法 Complex Amplitude Sensor (CAS) の開発と改良に取り組んでいる。その概要は拙著 Moteki (2023) の2.3節を参照されたい。

## 研究所の様子

NOAA CSL では、サイエンスの開拓に必要な観測技術を独自に開発してき

ている。ここ数年の新技术の例を挙げると、Andrew Rollins は硫酸エアロゾルの前駆体となる二酸化硫黄や、成層圏の化学過程で重要な窒素酸化物の濃度の過去最高精度の測定法 (single-photon laser induced fluorescence) を開発した。Ru-Shan Gao は、これまでにない広い粒径範囲のエアロゾル粒径別数濃度を連続測定できる気球搭載可能なセンサー (Portable Optical Particle Spectrometer: POPS) を開発した。単一粒子レーザーイオン化質量分析計 (Particle Analysis by Laser-ionization Mass Spectrometry: PALMS) の開発者として知られる Daniel Murphy は、最近さらに改良版 (PALMS-NG) を開発して単一粒子を構成する化学種の正負両イオンを



### 著者紹介 茂木 信宏 *Nobuhiro Moteki*

東京大学大学院理学研究科・地球惑星科学専攻・助教

専門分野：地球大気環境科学・微粒子計測技術。地球大気エアロゾルとその気候関連特性について。

略歴：2008年博士号(理学)、現在 東京大学大学院理学系研究科・助教、

2022-2023年 NOAA Chemical Science Laboratory 客員研究員。

同時に測定できるようにした。電気技術者の Steven Ciciora は、NOAA CSL のほぼ全ての装置の設計・開発・修理に関わっている。現代的な観測装置における開発・運用の工フォートの半分以上は電気電子工学に関わることである(図2)。彼の居室と実験室は、秋葉原のパーツショップを彷彿させる。

NOAA CSL に来て特に感銘を受けたことは、彼らの組織づくり(雇用基準と各雇用者の役割)と個人の考え方が、合理的で首尾一貫しているということだ。各部署に必要な管理・事務職員が配置され、熟練の研究者が実務に多くの時間を費やすことができている。そして今の技術ではできないことでも研究対象にする意義が大きいことならば何年もかけてゼロから観測技術を開発し、グローバル規模の観測データの取得と新現象の発見を達成するのである。各プロジェクトとその成果論文において装置開発・観測の実施・モデルによる解釈・予測の3大タスクが相互に密接に連携している。プロジェクトを効率的に進めることを可能にする一方、入って数年以内の若手研究者の仕事内容は狭い範囲(決まった装置のオペレーションと運用など)に決まっていて、アイデアの多様性を確保するための自由な勉強に費やせる時間が少ないのではと心配になる。研究者キャリア序盤から中盤にかけてじっくり勉強と独自の研究がしたい人にとって日本は恵まれた環境であると思う。いずれにせよ、規模の大きな研究を進めるために最適化された米国の組織と人々の考え方から学ぶことは多い。

### —参考文献—

Kremser, S. *et al.* (2016) *Rev. Geophys.*, **54**, 278-335.

Gao, R-S. *et al.* (2021) *Sci. Adv.*, **7**, DOI: 10.1126/sciadv.abe3416.

Moteki, N. (2023) *Prog. Earth Planet. Sci.*, **10**, 12.

### ■一般向けの関連書籍

杉山昌弘 (2021) *気候を操作する*, KADOKAWA.

# 日本地球惑星科学連合 2023 年大会開催報告

大会運営委員会委員長 和田 浩二 (千葉工業大学)

## 連 合 2023 年大会を終えて

2023 年大会は、前回 2022 年大会に引き続き幕張メッセを現地会場とし、オンラインも活用するハイブリッド形式で、5 月 21 日(日)～26 日(金)の 6 日間にわたって開催されました。参加登録者 7,876 名、発表論文 4,395 件(口頭発表 2,060 件、ポスター発表 2,335 件)を数え、前回は大きく上回るご参加をいただきました。会期直前の 5 月 8 日には COVID-19 感染症が 5 類に引き下げられたことも相まって、実に 7 割以上の方々(5,802 名)が現地に会場され、海外からの参加者も目立ちました。かつての賑わいを彷彿とさせる結果となり、ご協力いただいた皆さんには心より御礼申し上げます。

今回の大会は、前回のハイブリッド方式を踏襲するなかで工夫を凝らす、という方針で準備しました。現地会場・オンラインどち

らからでも参加可能な Zoom ライブ中継による口頭セッションをはじめ、夕方(PM3 の時間帯)に現地ポスター発表コアタイムを設けることや、オンラインポスターセッションも別途行うということなどは前回同様としました。一方で、前回の 2 週間という会期(後半はオンラインポスターセッションのみ開催)は、やはり長すぎて集中力の維持が困難という反省の上に、会期は 1 週間(6 日間)とすべき、ということで検討を重ねました。そのためには、オンラインポスターセッションをいつ行うかが問題となります。なくすという選択肢も検討しましたが、ポスター発表をいかに盛り上げるかということは COVID-19 禍で行われてきた多くの学会における主要課題であるということ、オンラインのみの参加者・発表者への配慮を考えた結果、オンラインポスターセッションは口頭セッションの裏の時間帯で行うこととし、さ

らに口頭セッション内にポスター発表フラッシュトークの時間を設けることにしました。

大会期間に入ると、前回の経験が生きたようで 19 会場同時並行の口頭セッションは比較的円滑に進行していただけました。多くの方々が現地会場に足を運んでくださったこともあって、会場はどこも盛況だったようです。ポスターフラッシュトークも、方式の不統一によって多少の混雑が生じましたが、ポスター発表の良い周知機会になったと思います。ただし、会場画面の共有方式などについての案内が足りず、進行に支障をきたした会場が少なくなかったと認識しております。それでも進行できたのは、座長、発表者および会場係である学生アルバイトの皆さんに臨機応変に対応していただいたおかげであり、感謝申し上げます。

現地ポスター発表に対しては、すべてのポスターが掲示可能となるようポスターボード



図 日本地球惑星科学連合 2023 年大会の様子。

を設置しましたが、およそ 75% のポスターが現地に掲示されていました。コアタイムでは活発な議論が交わされ、やはりポスターは現地対面での発表が良い、という感想を数多くいただきました。

オンラインポスターセッションは、前回同様 Zoom のブレイクアウトルームにて実施していただきましたが…あまり利用されていなかったというのが正直な所見です。学生優秀発表賞のポスター発表審査ではオンラインポスターセッションでの発表が必須となっていたために、主として発表賞にエントリーした学生と審査員の方々にご利用いただきましたが、口頭セッションと同じ時間枠に設

定されていたことも低利用率の一因であったように思われます。

今回も表彰式やランチタイムスペシャルレクチャーなど様々なイベントが実施されましたが、NASA ハイパーウォール講演会やフットサルなど COVID-19 禍以前のイベントも復活し、現地ならではの交流促進に役立てていただいたと考えます。さらに今回は「都心の石材を巡るツアー」と会期直後の「房総勝浦海底地すべり巡検」という二つの巡検イベントも開催され、好評を博しました。各イベントにご協力いただいた講師の方々には改め

て御礼申し上げます。

総じて、今回は現地会場が盛り上がりつつオンラインも適宜活用していただき、ハイブリッド方式を安定的に実施する方法が見えてきた気がします。大会終了後アンケート<sup>1</sup>などでいただいたご意見を踏まえ次回に向けてより安定し効果的な大会となるよう、検討していく所存です。引き続き皆様のご理解・ご協力を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

<sup>1</sup> [https://www.jpгу.org/meeting\\_j2023/files/questionnaire\\_results\\_0710.pdf](https://www.jpгу.org/meeting_j2023/files/questionnaire_results_0710.pdf)

## 高校生セッション報告

日本地球惑星科学連合 2023 年大会のパブリックセッション「高校生ポスター発表」では 53 高校、1 科学館から 91 件の発表がありました。5 月 21 日(日)には幕張メッセで希望者が現地ポスター発表を行いました(写真 1)。現地会場に設置されたタブレットとディスプレイを使ったオンライン発表も 3 件ありました。各発表者は大会参加システム Confit に e-Poster と発表動画を掲載し、Confit のコメント機能を使った質疑応答も行われました。

日本地球惑星科学連合の各サイエンスセクションにご協力をいただいて審査を行

い、高校生セッションを担当する広報普及委員が中心となって検討し、賞を決定いたしました。審査結果は [https://www.jpгу.org/meeting\\_j2023/files/JpGU2023\\_HSposter\\_0630.pdf](https://www.jpгу.org/meeting_j2023/files/JpGU2023_HSposter_0630.pdf) をご覧ください。

2006 年大会から始めた高校生セッションは今回で 18 回目となり、オンライン発表を取り入れた開催も 4 回目となりました。この蓄積を基

にして、さらに充実したセッションにするべく努めて参ります。

(広報普及委員会 原辰彦)



写真 1 5 月 21 日の現地高校生ポスター発表の様子

# 第25期日本学術会議及び地球惑星科学委員会の動向

日本学術会議 地球惑星科学委員会 委員長 田近 英一 (東京大学)

日本学術会議(以下、学術会議)の第 25 期は、本年(2023 年)9 月 30 日でその任期を終える。今期は、2020 年 10 月 1 日、新型コロナウイルス感染拡大で世界中が混乱するさなかの発足であった。総会初日に会員任命拒否問題が発覚したことが今期を象徴しており、この 3 年間は政府対応に翻弄された。梶田隆章会長(東京大学)を始め、日本を代表する多くの科学者のきわめて貴重

な時間と膨大なエネルギーが浪費され、わが国にとって大いなる損失といわざるを得ない状況となった。

政府や自民党 PT(プロジェクトチーム)、総合科学技術・イノベーション会議などが学術会議のあり方の見直しを検討するなか、学術会議自身が今後のあるべき方向性(『日本学術会議のよりよい役割発揮に向けて』)を示し、ナショナルアカデミーとしての条件

を明示したことは意義深いものであった。ただ、具体的に実施された自己改革の中身は、政府や自民党 PT 等に配慮して自粛したのではないかと感じられるものもある。

とりわけ、これまで 3 年ごとに実施してきた学術の大型研究計画(マスタープラン及び重点大型研究計画)は、『未来の学術振興構想』として将来ビジョンを示す形に方向転換することになった。この背景には、(漏

れ聞くとところによると)一部の政治家から「科学者によるお手盛りの利益誘導でけしからん」という内容の批判があったという。もしそれが本当であれば、大きな誤解だといわざるを得ない。マスタープランは学術政策や予算措置に活かされることを提言してはいるものの、その理由は学術的意義が高いからであり、目的はあくまでも「学術的意義の高い大型研究計画を広く網羅し体系化することにより、我が国の大型研究計画のあり方について、一定の指針を与えること」だからである。激しい国際競争のなか、わが国が最優先で実施すべき重点大型研究計画を、(トップダウンではなく)科学者コミュニティ自らがボトムアップで学術的観点から審査して公表する、というきわめて公正かつ健全な試みだったのである。これができなくなった状況は、大変遺憾であるといわざるを得ない。

大型研究計画は、地球惑星科学分野からも毎回十件以上の提案があり、今期の学術会議地球惑星科学委員会も支援を続けてきた。総じて計画の質・レベルは高くなってきたと感じている。地球惑星科学委員会としては、計画をよりよくするための助言を行うとともに、どのような大型研究計画が立案されているのかを日本地球惑星科学連合大会などを通じて地球惑星科学コミュニティで共有することが大変重要だと認識しており、今後の動向によらず、支援を継続していきたいと考えている。

一方、学術会議の科学的助言機能(意思の表出)についても大きな見直しがあった。前期も学術会議からたくさん「提言」が出され、地球惑星科学委員会からの貢献も大きかった。しかし、個別分野の利益誘導的な内容が多いとの批判を受けた結果、「提言」は学術会議が表出主体となる総合かつ俯瞰的な内容に限られることとなった。実際、その通りといわざるを得ない提言があったことも事実だと思われるので、これについては改善すべきだと考える。しかし、個別分野からの提言のなかにも国策として早急に検討すべき重要課題が多く含まれているのもまた事実で、本来ならば個別に判断すべきところを、一律に線引きした形になったことは少し残念に思われる。

そもそも学術会議は、国や国民がまだよく認識していない将来の課題や人類全体に関わる課題について、学術ならでは中長期的・俯瞰的視点からの科学的助言ができる国の唯一の機関である。しかし、政府・自民党 PT はそうした学術的視点よりも目の前の政策課題の解決が重要であることから「政府等と問題意識や時間軸等を共有しつつ」というフレーズを繰り返し使って改革を

断行しようとした。それは国の審議会等の役割ではないかとも思われるが、学術会議は国の予算を使っているのだから政府の役に立つのが当然だ、とする考えが根底にあるのだろう。

会員・連携会員選考についても、そのプロセスが透明性に欠けているという、一見もっともらしい批判をしているが、それは実際に行われている現在の選考プロセスやこれまでの歴史的経緯、学術コミュニティの実情等をよく理解していない批判のようにみえる。真の目的は、透明性に欠けるから第三者からなる“選考諮問委員会”を設置する、ということなのであろう。この選考諮問委員会は、政府の意向を反映する委員から構成できる上、「日本学術会議及び会長は、選考諮問委員会の意見を尊重しなければならない」という条項つきの法律として、2022年末になって突然提示されたものである。これはすなわち、今後は会員任命拒否をせずに、会員選考過程において政府の意向を合法的に反映させることが可能な仕組みにしたい、という意図であろうことは誰にでも想像がつく。もしこのような法改正がなされれば、学術会議は大きく変質し形骸化する恐れがある。

政府は、このような日本学術会議法の改正法案を、学術会議との協議の場を持つこともなく、また学術会議の意見にまったく耳を貸すこともなく、国会に提出しようとした。そのあまりにも一方的で強引な態度に、学術会議は強い危機感を抱き、2023年4月18日に開催された日本学術会議総会(第187回)において、勧告『日本学術会議のあり方の見直しについて』及び声明『「説明」ではなく「対話」を、「拙速な法改正」ではなく「開かれた協議の場」を』を発出した。この動きはメディアでも大きく取り上げられ、政府・自民党は、第211回通常国会への日本学術会議法改正案提出を断念し、取り下げることになった。

しかしながら、これは問題の解決ではなく、問題の先送りに過ぎない。今後、政府側が選んだ“有識者懇談会”において、学術会議を国の機関から切り離して民間法人とすることを軸に、学術会議の今後の在り方が議論されることになる。問題の決着は第26期に持ち越しとなり、おそらく今期よりも深刻な状況に直面する可能性がある。

学術会議は、数多くの国際学術団体の日本委員会としての役割も果たしている。国として加盟し国が分担金を拠出する国連型の組織もあり、国の組織から切り離されれば、加盟そのものに支障が生じる場合もある。国際対応機能は学術会議の活動の大きな柱の一つであり、国から切り離すことで国益を

損ねる可能性があることを、政府・自民党はどこまで理解しているのか疑問である。地球惑星科学分野は、IUGG, IUGS, IGUなどを始めとする数多くの(学術会議のなかでも最大規模の40を超える)国際学術団体に対応した窓口組織を有していることから、この問題には強い危機意識を持っている。そのため、今期の地球惑星科学委員会では、学術会議の国際対応がいかに重要な活動でこれまでどんな役割を果たしてきたのかに関する学術フォーラムや日本地球惑星科学連合大会ユニオンセッション等を主催し、ナショナルアカデミーとしての重要性を内外に訴える努力を行ってきた。

学術会議が、政府・自民党から求められている改革は、産業界の意見をもっと反映させよとか行政機関と同様に6年間の中期事業運営計画を策定せよなどといった、学術会議の本来あるべき姿とは大きく乖離するものが多い。その対応に莫大な労力と時間を割かれていることは、きわめて残念な状況だといわざるを得ない。海外からも、ネイチャー誌やサイエンス誌が批判的なコメントを掲載し、国際学術会議を始め欧米の各国アカデミーや歴代ノーベル賞受賞者からも続々と批判の声が寄せられるなど、学術会議に政治が介入するという構図は国際的に懸念される問題となっている。

地球惑星科学コミュニティの方々にご理解いただきたいことは、この一連の出来事を、学術会議の問題に矮小化するのではなく、日本の科学者コミュニティ全体の問題として捉える必要があるということである。そもそもこの問題は、政府・自民党からみたわが国における学術や科学者コミュニティの位置づけが非常に“軽い”ことの現れといえる。学術会議は、“わが国の科学者の内外に対する代表機関”(日本学術会議法)である。現在行われようとしている国主導の学術会議改革は、日本における学術や科学者の立場がこれまで以上に軽視されることにつながり、科学者コミュニティ全体に負の影響をもたらす可能性が高い。わが国における学術や科学者コミュニティの立場が問われているといえる。決して対岸の火事だとは思わず、ぜひ当事者としてこの問題に関心を寄せていただきたい。

次期第26期の学術会議及び地球惑星科学委員会には、適切な自己改革を進めるとともに、政府との難しい対話を粘り強く続けていただけることを期待する。そして、学術会議がナショナルアカデミーとしてこれまで以上に重要な役割を担える組織として、弱体化ではなくむしろ強化されることを、心から願うものである。

## 第5回地球惑星科学振興西田賞 受賞者紹介

第5回地球惑星科学振興西田賞として以下の方が顕彰されました。おめでとうございます。



**Luca Caricchi**  
University of Geneva  
Professor  
専門分野：Petrology and Volcanology  
受賞理由：マグマ移動と火山噴火の規模や頻度を支配する物理過程の解明



**黒田潤一郎**  
東京大学大気海洋研究所  
准教授  
専門分野：古海洋学・海洋地質学  
受賞理由：地球内部活動が表層環境に及ぼす影響に関する研究



**佐野 亜沙美**  
日本原子力研究開発機構  
主任研究員  
専門分野：高圧地球科学、鉱物物性  
受賞理由：中性子線および放射光 X 線を用いた高温高圧下における地球物質中の水素の研究



**今田 由紀子**  
東京大学大気海洋研究所  
准教授  
専門分野：気候力学  
受賞理由：気候変動予測可能性の研究とイベント・アトリビュションの推進



**桑谷 立**  
海洋研究開発機構 海域地震火山部門  
主任研究員  
専門分野：数理地球科学・変成岩岩石学  
受賞理由：地球科学と数理・情報科学の学融合によるデータ駆動科学に関する研究



**田村 岳史**  
国立極地研究所  
准教授  
専門分野：極域海洋学  
受賞理由：衛星観測に基づく海水生産量の解明と全球海洋システム研究への展開



**大場 康弘**  
北海道大学低温科学研究所  
准教授  
専門分野：宇宙地球化学  
受賞理由：星間物質および太陽系物質の有機的な化学進化に関する研究



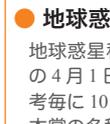
**河野 義生**  
愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター  
准教授  
専門分野：高圧物質科学  
受賞理由：先端高圧放射光 X 線実験の開発によるマグマの構造・物性の研究



**山下 洋平**  
北海道大学大学院地球環境科学研究院  
准教授  
専門分野：生物地球化学  
受賞理由：水圏における溶存有機物の光学特性と動態に関する生物地球化学的研究



**亀田 真吾**  
立教大学理学部  
教授  
専門分野：惑星科学  
受賞理由：飛翔体搭載観測装置による天体表層・大気に関する研究



### ● 地球惑星科学振興西田賞とは ●

地球惑星科学の分野において国際的に高い評価を得ている、優れた中堅若手研究者（審査年度の4月1日時点で45歳未満）を表彰するものです。選考は隔年（西暦の偶数年度）で行ない、選考毎に10件以内を選びます。本賞の名称は西田篤弘会員のご提案と寄付金により本賞を維持することに由来します。  
<http://www.jpгу.org/nishidaprize/>

## 2023年度 JpGU フェロー受賞者紹介

2023年度日本地球惑星科学連合フェローとして以下の方が顕彰されました。おめでとうございます。



**木村 学**  
海洋研究開発機構アドバイザー・東京大学  
名誉教授  
専門分野：構造地質学・テクトニクス  
受賞理由：詳細な付加体内部構造の解明と国際学術協力への顕著な貢献により



**趙 大鵬**  
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 教授  
専門分野：地震学、固体地球物理学  
受賞理由：地震波トモグラフィーを用いた地球の内部構造解明と島弧火成活動をはじめとする地球のダイナミクスに関連する幅広い分野への顕著な貢献により



**谷口 真人**  
人間文化研究機構総合地球環境学研究所  
教授  
専門分野：地下水学・水文学・地球環境学  
受賞理由：地下水の流出過程及び地球温暖化影響の解明による、大気と海洋をつなぐ学際的な水循環研究への顕著な貢献により



**津田 敏隆**  
京都市大学名誉教授・生存圏研究所  
特任教授  
専門分野：地球大気科学、電波科学  
受賞理由：大気リモートセンシング技術の開発による大気の力学的な上下結合の研究と国際学術研究発展への顕著な貢献により



JpGU フェローメダルのデザイン画  
(初制作時のもの)



## 木村 学

海洋研究開発機構アドバイザー・東京大学名誉教授

専門分野 構造地質学・テクトニクス

### プレートテクトニクス革命と共に歩んで

このたびは連合フェローという栄誉をいただき恐縮しております。ご支援ご理解に大変感謝しております。厚く御礼申し上げます。

思えば、激動の中での研究人生でした。学生時代に科学の革命と言われるプレートテクトニクス理論という新しい科学の勃興を経験し、その発展の中で一貫して変動帯の研究に関わって来ました。

地の利を生かし、かつ地球全体に関わる一般性を持つテーマとして最初に選択したのは、北海道形成過程に関わるテクトニクスでした。北海道が日本列島にあって他地域と異なる独自の特徴には2つあります。太平洋プレートの斜め沈み込みに引きずられて千島列島が東北日本弧と衝突すること、樺太からつながる北米・ユーラシアプレート間の相対的収束境界域に位置するというものでした。この重複した衝突が後期中新世以降顕著となり、日高山脈形成と下部地殻露出に至ったと明らかにすることが出来ました<sup>(1)</sup>。この研究の延長で、ソ連崩壊前後の樺太へ5回、北極圏のスピッツベルゲン島の長期調査も実施し、自然の過酷さと地球科学と国際的地質学の繊細な関係も経験しました。

変動帯研究の鍵の1つは沈み込み帯での付加体形成の理解でした。1970～80年代、放散虫プランクトンなどの微化石が堆積岩の地質年代を決める新しい手段として確立し、海洋底掘削岩石採集によるプレートテクトニクスの証明と共に、陸の変動帯研究も急進しました。その先進的研究域の1つが四国でした。しかし年代決定と共に必須な付加体の構造地質学的定量による内部構造の研究が不十分でした。特にメランジュと呼ばれる遠洋から陸起源にいたる多種の岩石が混在する岩石の起源をめぐって大規模地滑り説とプレート境界断層説間での論争が続いていました。

ポスドク研究期間の後、四国で職を得た地の利を活かす機会がまた訪れました。付加体の典型例として浮上していた四万十帯を対象に、詳細な変形構造解析と変形破壊

場の定量的解析を基にメランジュ＝沈み込みプレート境界断層説の検証に、多くの学生・同僚と共に従事しました<sup>(2)</sup>。その過程で世界に先駆けた沈み込み帯での地震断層化石の発見も指導することが出来ました<sup>(3)</sup>。

過去の事象の研究をすすめる地質学において、重要な原理に「現在は過去の鍵であり、過去は未来への指針である」との齊一主義の原理があります。変動帯研究は、過去のテクトニクスだけではなく、現在進行形においても通底する物理化学過程を明らかにすることです。危機が迫っている南海トラフの掘削を含めた研究にも、四半世紀に渡り深く関与させていただきました。その結果、現在のテクトニクスを支配する南海トラフと西南日本の枠組みは、約六百万年前のフィリピン海プレートの沈み込みの再開に遡るのではないかと仮説<sup>(4)</sup>、東南海・南海地震の破壊領域区分は上盤プレート側のテクトニクスの歴史が要因の1つになっているのではないかと仮説<sup>(5)</sup>を提案させていただきました。

以上の研究に加え、今世紀に入ってから、大学、学界、学術会議などの地球惑星コミュニティを含めた大再編成、国際化の荒波、神戸・東北と相次ぐ大地震災害の中での社会対応にも追われました。大変多忙ではありましたが、科学と社会の関係という極めて重要な課題でも多くを学ばせていただき

ました。グローバルから地域スケールまで、解決を求められている社会的課題への取り組みを、知的好奇心に基づく探究と共に車の両輪として回していくことによって地球惑星科学の発展が計られることは言うまでもありません。それを担う人材、コミュニティの継続的充実の意義は明確です。

今後の地球惑星科学連合の益々の発展を祈念してご挨拶とさせていただきます。ありがとうございました。

#### 文献

- (1) Kimura, G. (1986) *Geology*, **14**(5), 404-407; Kimura, G., & Tamaki, K. (1986) *Tectonics*, **5**(3), 389-401; Kimura, G. (1994) *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **99**(B11), 22147-22164.
- (2) Kimura, G., & Mukai, A. (1991) *Tectonics*, **10**(1), 31-50; Kimura, G., & Ludden, J. (1995) *Geology*, **23**, 217-220; Kimura, G., et al. (2012) *Tectonophysics*, **568**, 25-38.
- (3) Ikesawa, E., Sakaguchi, A., & Kimura, G. (2003) *Geology*, **31**(7), 637-640.
- (4) Kimura, G., et al. (2014) *Tectonics*, **33**(7), 1219-1238.
- (5) Kimura, G., et al. (2022) *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **23**, e2022GC010331.



写真 2008年2月3日「ちぎゅう」船上にて熊野沖南海トラフ下のプレート境界断層の回収を確認した瞬間。





## 趙 大鵬 (Dapeng Zhao)

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 教授

専門分野 地震学, 固体地球物理学

### 研究回想：地震波トモグラフィーで 地球内部の写真を撮る

この度は、名誉ある JpGU フェローに選出していただき、大変光栄に思います。現在に至るまで、恩師や国内外の諸先輩方、同僚や共同研究者から数々の有益なご指導・ご助言を頂きました。この場をお借りして、お世話になった多くの皆様に心より感謝申し上げます。また、ご多忙にも関わらず、推薦に携わっていただいた皆様にも厚く御礼申し上げます。

私は 1984 年 8 月に北京大学を卒業した後、日本留学のために大連外国語学院で約十ヶ月日本語を勉強しました。そして、1985 年 10 月に来日し、東北大学に入学しました。修士課程では、堀内茂木先生のご指導で東北地方の地殻構造、主にコンラッド面とモホ面の深さ分布を研究しました。来日直後は日本語・英語の壁もありましたが、一番の困難は来日して初めて見たコンピューターの使い方とプログラミングでした。カタカナの専門用語が溢れた分厚いマニュアルを和英・英和辞書を引いて読んで意味不明でした。破釜沉船・臥薪嘗胆という強い意志で一生懸命努力してよく徹夜するなど、悪戦苦闘の日々を送りました。

1988 年 4 月に博士課程に進学後、指導教員である長谷川昭先生と相談した結果、最新の地震波トモグラフィー法を使った東北地方下の 3 次元 P 波・S 波速度構造の研究を博士論文のテーマとしました。地震波トモグラフィーとは、大量の地震波のデータを使って地球内部の 3 次元構造を探る方法または得られた画像のことです。言い換えれば、地球の中を透視し、その写真を撮る技術です。その原理は医学 CT スキャンとよく似ています。地震波トモグラフィーの研究が始まったのは 1970 年代半ば頃です。ローカルトモグラフィーは MIT にいた安芸敬一先生、グローバルトモグラフィーはハーバード大学にいた A. Dziewonski 先生によって始められました。しかし、1988 年当時の地震波トモグラフィー法では、地球内部に実際に存在するモホ面や沈み込んだスラブ上面のような湾曲した速度不連続面を考慮できませんで

した。そこで、私の修士論文の研究で求めたコンラッド面とモホ面の形状、および先行研究によって決定された太平洋スラブの形状を考慮するために、速度不連続面が 3 次元形状を有する 3 次元不均質構造内での効率的な波線追跡法の開発等により、空間的に高解像度の構造把握を可能とする新しい地震波トモグラフィー法を開発しました。多くの複雑な計算が要るので、たくさんの subroutine を含む長いコンピュータープログラムの作成にはかなり苦労しました。まさに、コンピューターと戦った青春時代でした！幸いに、東北地方および日本列島下の 3 次元速度構造についてとても良い結果が得られ、Journal of Geophysical Research や Nature 誌で発表することができました。

1991 年 3 月に博士学位を取得した後、渡米して 4 つの大学で研究しました。特にカリフォルニア工科大学 (Caltech) 地震研究所の金森博雄先生の研究室でのポスドク 3 年間では、論文の書き方や研究・教育の仕方などについて多くを学びました。1998 年 2 月に愛媛大学に准教授として採用され、自分の研究室を持つようになり、多くの学生・留学生および外国人研究者と共同研究を展開しました。2007 年 4 月に古巣の東北大学に戻り、現在に至っています。博士課程で開発したトモグラフィー法の改善・改良を行いながら、世界のいろいろな地域に、またローカルからグローバルに亘る様々なスケールで応用してきました。これまでに世界各国の百名以上の地震研究者の修士や博士論文の研究にも使われました。この数十年間に世界の各地で整備が進展してきた地震観測網のデータを利用して頂く機会にも恵まれ、多くの有意義なトモグラフィーの結果を得ることができました。また、この方法を使って初めての月内部 3 次元構造と月震のメカニズムに関する研究も行いました。さらに、実体波の走時データのみでなく、P 波と S 波の振幅、表面波分散のデータも使って、地震波減衰トモグラフィーと異方性トモグラフィーを求めめることも行いました。最近では異なるタイプ

の地震波データ（実体波、表面波、receiver 関数、S 波 splitting など）の同時インバージョンも行いました。これは今後のトモグラフィーの発展に重要なアプローチだと思っています。

地震波トモグラフィーの研究を行う際には、地質構造、地震・火山テクトニクスと地球内部ダイナミクス（例えば、断層帯、造山帯、沈み込むスラブ、マンテルプルーム、マンテル対流など）を常に意識する必要があります。どのトモグラフィーの結果においても、これらのテクトニクスと地球ダイナミクスに有用な情報を提供できなければ、その結果にはあまり意味がありません。固体地球科学の多くの研究分野に役立つ地震波トモグラフィーにこそ、その価値が認められると考えています。

良いトモグラフィーの結果を得るためには、稠密な地震観測網で記録された良質なデータが必要不可欠です。これからは世界各地、特に海洋地域の地震観測点が増えることが予想されますので、より良いトモグラフィーの結果が得られると思います。それによって、地震の発生機構、火山の成因と起源、および地球内部ダイナミクスに関する我々の理解は飛躍的に進歩するでしょう。



## 津田 敏隆

京都大学名誉教授・生存圏研究所特任教授

専門分野 地球大気科学, 電波科学

### 赤道大気研究とはじめ

名誉ある JpGU フェローに選んで頂き誠に有難うございます。

私は京都大学で加藤進先生のご指導を賜りました。地球に降り込む流星が大気摩擦で燃烧し、高度 100 km 付近に残すプラズマ飛跡が風とともに漂動する様子を測定するのが流星レーダーです。メモリーが僅か 24kB の小型計算機で観測制御とリアルタイムデータ処理を機械語で作成し、1977 年に電子工学専攻で修士号を得ました。京大工学部・電離層研究施設の助手に採用され、滋賀県信楽町の国有林中に手作りの流星レーダーを設置し、海外の中波帯 (MF) レーダー等との国際協力で大気潮汐を研究して 1982 年に論文博士の学位を受けました。

1981～84 年には加藤先生が MU レーダーの建設を主導され、私は観測制御プログラムを開発し、設置工事にも関わりました。当時、中層大気 (高度 10～100 km) は「未知圏」と呼ばれ、南極のオゾンホールが注目されました。同時に、高度 100 km 付近で平均東西風が弱まる事実が説明できず、大気重力波の砕波による減速効果が理論予想されていました。流星レーダーで弱風層を確認し、さらに MU レーダーで大気重力波の運動量フラックスが数値モデルと整合することを示しました。

一点での大気レーダー観測に加えて、グローバルな視点で大気力学過程を理解すべく、1990 年代後半から GPS 電波掩蔽に興味を向け、大気重力波や電離層擾乱の全球分布を明らかにしました。一方、地上型 GPS 気象学にも手を出し、受信機を 1～2 km 間隔で約 20 km 四方に超稠密に配置し、降水雲の接近に先立って可降水量が増加することを知りました。

MU レーダー完成直後の 1986 年に加藤先生が赤道レーダーを建設する計画を提案され、約 4 千 km に広がるインドネシアを東奔西走して候補地を調べました。

赤道域では強烈な太陽放射により積雲対流が起こり、中層大気を伝播する大気波動の周波数帯域も広く、電離層の擾乱現象も活発です。特にインドネシアはエルニーニョや

Madden Julian Oscillation (MJO) 等の特異現象が起こる最も興味深い地域です。一方、極域にも太陽活動に起因する特異現象が多くあります。これらの「太陽地球系結合過程」を統合的に理解すべく、赤道と北極に大気レーダーを設置する大型研究プロジェクトを提案しました。マスタープラン・重点課題に 2014 年より継続して選ばれ、文科省のロードマップに掲載されるも未達成で、現在、京大・生存研の山本衛先生が引き継いでいます。

さて話を 1990 年に戻して、政府機関等との折衝を続けるなか、ともかく赤道大気の研究を始めようと、気球観測 (ラジオゾンデ) を思い立ちました。とはいえ、その頃インドネシアに研究機器を持ち込む許可を得るのは困難で、期限が迫るなか、ラジオゾンデや気球等々 400 kg を超す手荷物を空港に持ち込んだのを思い出します。インドネシア航空宇宙庁 (LAPAN, 現 BRIN) の Watukosek 気球実験所は東ジャワの Surabaya から車で 1 時間余りの農村にあります。国際ルールに従い 7 am (0 UT) を基準に 6 時間ごとに放球し、高度 30 km までの風速・気温を観測しようと思気込みました。ところが、種々のトラブルが生じ、日本の関係者に国際電話をしに Surabaya の電話局まで出かけては少しずつ問題を解決し、観測が安定するまでの数日間は不眠不休でした。25 日間にわたって 100 回放球して得たデータは赤道域では希少で、ケルビン波が対流圏界面を大きく変動させ、また大気重力波が成層圏の準 2 年周期振動 (QBO: Quasi-Biennial Oscillation) の駆動に関わるといった新しい知見を得ました。

赤道大気にますます興味がわき、信楽で 10 年以上稼働した流星レーダーを改修し、1992 年にジャカルタ郊外の研究学園都市に移設しました。当時、インドネシアでは定常データが不十分で、世界気象観測網の空白域でした。LAPAN のバンドン研究所で 1992 年 11 月～1996 年 3 月の 3 年半にわたりラジオゾンデ観測を継続し、流星レーダーと併せて、対流圏の積雲対流、成層圏では赤道波や大気重力波、中間圏で大気潮汐及び多種の

大気波動など多様な力学過程を可視化できました。

2001 年に深尾昌一郎先生のご尽力で赤道大気レーダー (EAR: Equatorial Atmosphere Radar) が西スマトラの Koto Tabang に完成し、赤道大気研究が急速に進展しました。新たに流星レーダーを EAR サイト (2002 年) と西パプア (2011 年) に、さらに MF レーダーを西カリマンタン (1995 年) とジャワ南岸 (2004 年) に建設し、インドネシアを中心にインドからオーストラリア、ハワイに至る国際レーダー観測網を構成しました。また、EAR サイトでもラジオゾンデ観測を企画し、2005 年 12 月に受信機を 3 台用意して 1 時間毎に放球して時間・高度に連続したユニークなデータを得ました。

こうして収集した貴重な観測データを広く公開すべく、小野幸幸先生 (東北大)、佐藤夏雄先生 (極地研)、藤井良一先生 (名大)、湯元清文先生 (九大) と 5 人で「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究 (IUGONET)」を立案し、京大の附属施設 (天文台、地磁気センター) も加えて 2008 年に大学間連携事業を開始しました。第一世代は既に引退しましたが、若手の方々が強力に継続しています。

実は、齢 70 になるのを機に 2022 年 9 月で常勤職を離任した後、やり残して気になっていた課題について、IUGONET を活用してデータ解析を続けています。1987～88 年にアラスカ大学と NOAA に 1 年余り留学した際に、朝から晩まで研究漬けになった幸せな気分を改めて感じています。

以上、JpGU フェローにご推薦いただいた業績をかつまんでご紹介しました。その何倍も積み重ねた失敗をより鮮明に記憶しています。研究過程で知遇を得た優れた研究者・技術者が、先進新取を志し、孤高を懼れず、執心を抱いて仕事に取組む姿に感銘を受けました。JpGU に集う若手から国際的に影響を与える多くの俊秀が現れるものと期待しています。

# 地球温暖化はなぜ起こるのか 気候モデルで探る過去・現在・未来の地球

真鍋淑郎, アンソニー・J・ブロッコリー 著  
阿部彩子, 増田耕一 監訳 宮本寿代 訳  
講談社ブルーバックス  
2022年6月, 312p.  
価格 1,300円 (本体価格)  
ISBN 978-4-06-528081-2



東京大学名誉教授 住 明正

2021年のノーベル物理学賞を受賞した真鍋淑郎博士が、同僚のブロッコリー博士とともに著した書である。プリンストン大学での大学院課程の講義ノートを基にして書かれているため、基礎的なところから、具体的な応用面まで幅広く記述されている。

本書は、「地球の気候がどう決まるのか?」という好奇心に駆動された真鍋博士の研究の歴史に基づきながら、気候形成の具体的な仕組みが語られている。気候形成の基本は、地球に出入りするエネルギーのバランスである。太陽から入射する正味の太陽エネルギーと、地球の外に出てゆく赤外のエネルギーが釣り合うところで地表面の温度は決まる。そこで、第1章から第3章にかけて、地球大気の放射平衡、または放射対流平衡について、初期の研究についても紹介しながら、基本的な性質が述べられている。なかでも第2章に述べられている、最初に温暖化を指摘したとされているスウェーデンのアレニウスの議論の紹介は、原点を知るといって参考になる。また、1次元の放射・対流モデルに初めて取り組んだのがハルバートであることも書かれている。初期の頃の人々の努力の跡を知るとは、「未知のことを知る」ために努力することの楽しさを教えてくれる。

続いて、1次元放射対流平衡モデルからの数値モデルの発展の様子が第4章、第5章で語られている。第6章は、IPCCの地球温暖化のシミュレーションで問題となっている気候感度について詳しく議論している。地球温暖化研究では、大気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)が倍増したときに地表面温度が何度上がるかを気候感度と呼んでおり、世間では、地球温暖化予測の不確実性を表すものとしてよく引用される。しかし真鍋は、気候感度を、気候モデルや気候システム全体の動きの特性を評価する量と考えている。気候システムは、雲や雨やエアロゾル、大気や海洋の流れ、雪や氷などの様々な物理過程がそれぞれ複雑に相互作用している複雑系である。このような複雑な振る舞いを総合して把握することとして、全球平均としてCO<sub>2</sub>が倍増したときに地表面は何度上がるか、という点に着目するわけである。地表面温度が上昇すると、熱放射も増加する。ここに、気候システムの中の様々なプロセスが効いてくる。これらをフィードバックと呼んでいる。具体的には、(1)温度減率フィードバック、(2)水蒸気フィードバック、(3)アルベドフィードバック、(4)雲フィードバックがあげられている。いろいろなモデルの結果を利用しながら、ゲ

インファクターを求めるなどして、それぞれのフィードバックの寄与の程度を評価している。また、気候システムの気候感度を観測データから評価する試みについても触れられている。数多くの試みが紹介されているが、データが不十分であり、完全な答えを得ることは困難である。その意味で、地球の過去の歴史に取り組み、最終氷期極大期の気候と現在気候の比較を利用する試みは、興味深いものである。気候モデルを用いた最終氷期極大期のシミュレーションの話が第7章で述べられている。CLIMAPの話聞いた時の真鍋の興奮が、この章の行間からも読み取れる。第8章での海洋の役割、第9章での深層循環、第10章での水循環の話と、気候システムの振る舞いのいろいろな側面を探索する記述が続く。海洋はまだ未解明の点が多いな、という実感がわく。巻頭に掲げているカラーの図を参照しながら、筆者の好奇心の導くままに、気候システムの振る舞いを考えている様子が見て取れる。「本当に研究を楽しんでいるのだな」ということがよく理解できる。

最後に、著者らは、気候モデルを中心としたシミュレーションを中心とした研究をしながらも、観測データによく通じていることが分かる。観測データは、残念ながら、地球全部を観測することは不可能で、手に入るのの一部に限られている。このような中で、気候モデルという道具を通して、観測データを融合し、気候システムの振る舞いの全容を明らかにしようとする筆者たちの取り組みは、これから地球科学を研究しようとする若い人にも大きな参考となることと思われる。

監訳者の親切なあとがきも添えられており、これから気候システムの研究を始めようとする学生には有用であると思われる。

古気候の再現から地球温暖化の予測、そして「気候変動」の解明に迫る!

# 地球温暖化はなぜ起こるのか

気候モデルで探る 過去・現在・未来の地球

真鍋淑郎 A・J・ブロッコリー 著 阿部彩子 増田耕一 監訳 宮本寿代 訳 定価 1430円(税込)

地球温暖化、そして気候変動のメカニズムを理解するためには——。ノーベル物理学賞を受賞した真鍋淑郎博士の科学的探求の集大成。

ノーベル物理学賞  
受賞研究!



電子版も  
好評配信中



BLUE BACKS

講談社 東京都文京区音羽2-12-21 講談社BOOK倶楽部 <https://bookclub.kodansha.co.jp/> KODANSHA

## 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。本誌の読者層は、地球惑星科学に関連した大学や研究機関の研究者・教育者・学生等ですので、そうした読者を対象とした PR に最適です。発行は年 4 回、学会 web で PDF 公開し一般の方にもご覧いただけます。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。

<https://www.jpgu.org/jgl-advertise/>

### 【お問い合わせ】

JGL 広告担当 宮本英昭  
(東京大学 大学院工学系研究科)  
Tel 03-5841-7027  
hm@sys.t.u-tokyo.ac.jp

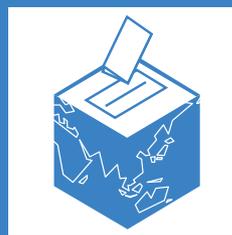
### 【お申し込み】

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、<https://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。

(※) 現在一時的に送付停止中です。PDF でご覧ください。<https://www.jpgu.org/publications/jgl/>



# VOTE!

## JpGU 2024

# 代議員選挙が始まります。

正会員の方は

**立候補** **推薦** **投票**

をお忘れなく！

スケジュール (予定)

選挙告示 8月2日  
立候補・推薦受付 8月14日～9月13日  
投票受付期間 10月3日～11月2日  
開票結果公開 11月13日  
(正式な日程は告示をご覧ください。)

告示・詳細は JpGU Web にて

<https://www.jpgu.org/>