



TOPICS

人新世の科学的根拠とその否認	1
2025年からの新しい海洋科学掘削計画	3
気候モデリングの新潮流	6

NEWS

『宙わたる教室』ドラマ化記念 特別対談	8
第39回(2024)京都賞	
ポール・ホフマン博士が受賞	12
GeoSciAI2024を	
人工知能学会との共催で開催	12
第17回国際地学オリンピック・	
北京大会を終えて	14
第20回国際地理オリンピック	
アイルランド大会 報告	14

SPECIAL

特別栄誉フェロー授賞記念特集	16
----------------	----

BOOK REVIEW

「はやぶさ2」は何を持ち帰ったのか	19
-------------------	----

INFORMATION

	20
--	----

TOPICS 第四紀学

人新世の科学的根拠とその否認

愛媛大学 沿岸環境科学研究センター 加 三千宣

2024年3月、地質時代区分を決定する国際地質科学連合において、人新世作業部会 (Anthropocene Working Group) が提案した1952年を始まりとする人新世が否認され、今その科学的な定義に不信感を払拭できない状況にある。しかし、作業部会が示した科学的根拠は、「私たちが人新世に生きていること」が必ずしも否認されるものではないことを教えてくれる。また、否認理由で指摘される幾つかの問題は、地質時代を区分してきたこれまでの基準に新たな視点を加えることで解決できる点にも注目される。本稿では、人新世提案書における人新世の科学的根拠とその定義に向けた最新の情報を紹介する。

人 新世とは

地球環境が大きく変わろうとする現在、今ほど、地球と人間との関係の見方やあり方を変えることが重要になった時代はない。その見方を変える上で、人新世の概念は欠かせない。2000年、ポール・クルツェン博士は、地球圏・生物圏国際協同研究計画 (IGBP) の会議で「私たちはもはや完新世 (Holocene) にいるのではなく、人新世 (Anthropocene) にいるのだ」と言った。これが、人新世という言葉の始まりである。クルツェン博士は、人新世を、地球システムが完新世の安定な状態を超え、人為的な二酸化炭素濃度の増加のように今後何千年にもわたって自然現象から大きく逸脱する、人間が支配する現在の地質学的時代と定義した。ちなみに、地質学では、人新世を中新世、鮮新世、更新世、完新世のように、音読みで「じんしんせい」と読む。クルツェン博士の提唱以降、20年以上経過したが、人新世は未だ公の地質時代として認定されていない。人新世を科学的

に定義し、その始まりを社会に示すことは、地球が完新世の比較的安定・安全な地球環境から全く異なる状態に変容するハイリスクの時代に入ったことを正確に認識し、現在の人類活動が持続可能でないことを人が認識できる最良の方法の一つかもしれない。ここでは、2023年10月に作業部会が提出した提案書 (Waters *et al.*, 2023) にそ

て、人新世が年代層序単位としてふさわしいとした科学的根拠の幾つかを解説する。なお、詳細は日本第四紀学会 HP (<http://quaternary.jp/news/jinshinsei.html>) の記事を参照されたい。

人 新世の科学的根拠

気候変化は、地質境界を区分する重要な基準の一つであり、人新世の始まりにも気候変化の明瞭なシグナルが認められている。南極の氷床コアの大気 CO₂ 濃度は、1.7万年前から更新世・完新世の境界までの5千年の間に、ゆっくりと76 ppm 上昇し、それ以降濃度は比較的安定していたが、1950年以降の70年間で110 ppm と急上昇している (図1)。その変化の速度は更新世・完新世境界の直前の変化に比べ、

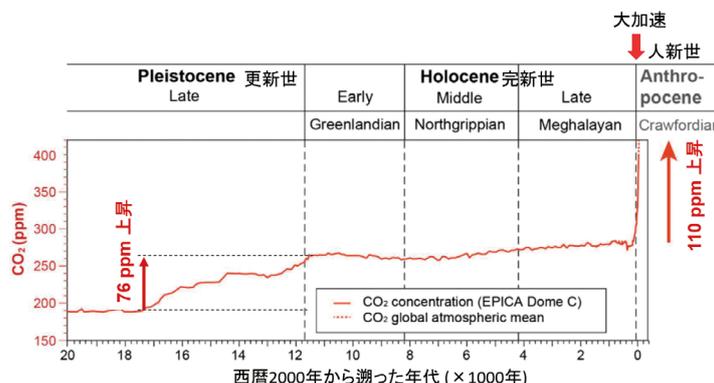


図1 過去2万年間の南極氷床コアのCO₂濃度変化
人新世提案書 (Waters *et al.*, 2023, Figure 24) を一部改変。

100 倍速い。規模・速度ともに、後期更新世から更新・完新世境界の変化を大きく上回っている。現在（2024年時点）の大気中のCO₂濃度は423 ppmであるが、このレベルはおそらく第四紀の変動の上限をすでに上回っており、このレベルに達したのは、約300～330万年前の新第三紀の鮮新世であった。つまり、前新世/更新世境界や新第三紀/第四紀（鮮新世/更新世）境界で起こった変化に匹敵する変化が人新世に入っ

て起こっている。そのCO₂濃度変化に対する気候への影響は、将来にわたり長期間続く。温室効果ガスが現在のレベル（約420 ppm CO₂）で安定したとしても、数百年～数千年後に達成される地表の平衡温度の推定値は、19世紀後半の全球平均気温を3°Cから10°C上回る。これは、最短で数百年後に地球が全く異なる状態に変容することを意味する。現在の大気CO₂の大部分は、将来どれだけ人類が排出量を削減しても、数万年間大気中に残り、それによって少なくとも今後50万年間の気候に影響して、過去80万年間にみられた10万年周期の氷期・間氷期サイクルを12万年間停止させる。以上の気候学・古気候学的知見は、1950年以降、化石燃料をエネルギー基盤とする人類活動が気候システムに対する支配的な力となって、すでに地球の将来の気候変動を決定していることを示唆している。

種の絶滅は、一度絶滅した種が再び戻ってくることはないため、不可逆的な生物圏の変化をもたらす。従来の多くの地質境界は、生物相変化を基準として区分されてきた。人類が生物圏に与えた影響は約50万年前の後期更新世には陸生大型動物の絶滅として表れていたが、現在の絶滅速度はそうした時代を含むバックグラウンドレベルの数百倍から数千倍にもなっている。現在はまだ大規模な大量絶滅には至っていないものの、今後の気候変動の影響を考慮しなくても、地球は数世紀以内に第6番目の大量絶滅（オルドビス紀末、白亜紀末等に起きた）が起こる可能性がある。

大量絶滅は、地質学的証拠で裏付けられているわけではない。しかし、外来種の移入と拡散、蔓延の地質学的証拠はある。外来種の侵入は定着後、その後継種を生み出すので生物圏の不可逆的な変化をもたらす。外来種の定着は、大陸をまたいでおり、前例のない空間規模で起こっている。サンフランシスコ湾の日本の底生有孔虫や貝形虫、ポーランド泥炭地の北米原産のブタクサ等、20世紀中旬以降から外来種の出現と定着が認められている。こうした化石記録は、完新世やそれ以前の在来種を主体とする生物群集パターンからの不可逆的な

変化がすでに起こっていることを示唆している。

人 新世作業部会の結論

以上のように、気候や生物学上の将来の変化は、今後長期にわたるか、永続的性質のものである可能性が高い。いずれも、人が地球システムの支配的な力となり、これまでの地球の状態を逸脱した変化を引き起こしたことを示唆している。第四紀の特徴となってきた北半球の氷床をまだ失っていないので、紀（Period）レベルの変化は起こっていないが、様々な指標が完新世の状態を逸脱していることから、世（Epoch）レベルの変化は少なくとも起こっている。このことから、人新世作業部会は、1950年以降の時代区分を世のランクで完新世と区分される「人新世」とすることが妥当であると結論付けた。

作業部会が示した科学的根拠は、「私たちが人新世に生きていること」を否定するものではないことがわかる。

国 際層序委員会の人新世の否認理由

人新世の否認理由は、公式表明のものも含め、複数考えられる。例えば、これまでのほとんどの地質境界が陸上の露頭で設定されてきており、多くの地質学者は、人新世の地層境界が現在形成されつつあって非常に薄い地層中にあるということ、他の世（Epoch）に比べてあまりにも期間が短すぎることなどがあげられる。そうした点で、人新世の設定は、地質学的には意味がないものと見られがちである。否認理由は他にも複数あるが、人新世が公に認められるためには、こうした問題がすべて解決される必要がある。

人新世が地質時代として認定されるには、従来の地質境界を設定する基準を順守しつつも、もう一つの新たな視点を加える必要がある。すなわち、地球システムの根本的な変化に基づくという視点である。これは、ポール・クルツェンやウィル・ステッフェンらの地球システム科学分野や人新世作業部会が強調する視点である。これまでは、地層中の生物相の変化や気候の変化が時代を分かち基準になってきたが、そもそもその変化をもたらしたのは、地球システムの根本的な変化である。人新世が72年と短期間であったとしても、人が気候システムの根本的な変化をもたらした影響は、将来少なくとも12万年間にわたって続き、完新世の1.17万年を優に超える長さということになる。1970年代に入って、人為的な気温変動は完新世において制御されてきた自然システムに由来する気温

変動を上回るようになり（IPCC Working Group 1, 2021）、これは人類が気候システムを変え始めた明らかな証拠である。このように、地球システムの変化という基準に照らせば、たとえ極端に薄く経過時間が短いとしても、人新世は確かに始まっているということになる。地層境界認定の基準に、「地球システムの根本的な変化があるか」を加えることで、地質時代の境界の解釈の正当性がより明確になる。否認理由の幾つかの問題はこの見方を加えることで解決できる可能性がある。

ただし、作業部会が提案する、大加速（Great Acceleration）という社会・環境指標が急速に変化する時期の始まり、すなわち1950年頃を地質境界の年代とする根拠は弱い。ここに地質時代を分かち特別な境界が地層中に認識できるかというそうではないからである。地球システムに対する人間の影響は徐々にその強さを増し、時空超越性があるため、どこかに特別な開始層準を設けるのは難しく、大加速もその一部にすぎないという意見がある。これは、国際層序委員会の否認理由の一つでもある。例えば、1952年の水爆実験由来物質（プルトニウム-239）の急増層準は、数年以内の年代誤差で地層の境界面を世界規模で追跡できる人新世開始マーカースとして有用である。しかし、放射能汚染は地球システムを根本的に変えた事象ではない。むしろ、これまでの第四紀の年代層序区分の基準にならうと人為的地球温暖化が顕著となった1970年代の方が妥当である。もう一つの年代層序区分の基準となってきた種の大量絶滅はすでに始まっているが、過去に匹敵する絶滅割合に達するのは数百年後である。したがって、指標毎に年代が必ずしも一致せず、地球システムに対する人間の影響が重要になる特別な層準が大加速の始まりであるとする明確な地質学的根拠は存在しない。

地 球システムが根本的に変化し始めた年代

この問題を解くには、徐々に強さを増す人の圧力が地球システムを根本的に変え始めた明瞭な境界となる特別な層準を地層中で特定する必要がある。それに該当する層準がないわけではない。それは、世界中の人工物・安定同位体・生物指標・環境指標・気候指標をすべて包含する多種多様なプロキシ記録から検出される人の痕跡の数の急増として現れる層準で、人の影響がローカル/リージョナルで微弱であった時代から、初めてグローバルに達し、著しくその強度を増した時点・層準である（図2）。その始まりは、1952±3年に認められ、作業

部会が提案した人新世の開始年代と一致している (Kuwae *et al.*, 2024). 全球で急増する人為痕跡は、人の圧力が無数の多様な物理的、化学的、生物学的プロセスやサイクルを急速かつ根本的に変化させ、地球システムにおいて支配的な力となった時点とみることができる。したがって、これが、まさに人による地球システムの根本的変化の始まりを捉えた地質学的証拠で、「人新

世」の始まりとして認識できる時点・層準であると考えられる。こうした人為痕跡の世界同時急増に基づく境界は、今後地質学コミュニティにおいて人新世の定義に向けた議論において将来的に重要性を増す可能性がある。

代区分の新規提案は、外部から国際層序委員会の第四紀層序小委員会へ直接提出でも可能である。今後の地質学コミュニティの動向を見守りたい。

—参考文献—

IPCC Working Group 1 (2021) *The Physical Science in Synthesis report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 6th assessment report (AR6)*.

Kuwae, M. *et al.* (2024) *PNAS* **121**, e2313098121.

Waters, C. *et al.* (2023) Part I: Anthropocene Series/Epoch: stratigraphic context and justification of rank. *The Anthropocene Epoch and Crawfordian Age: proposals by the Anthropocene Working Group*. doi:10.31223/X5MQ3C

人 新世提案の今後の動向

以上述べてきたように、「人新世」の科学的根拠は明確である。人新世は、将来の気温上昇や海水準上昇、大量絶滅など、ホモサピエンスが25万年前に誕生以来、経験したことがない劇的な地球システムの変化の時代であり、予見される時代である。ゆえに、地質時代としての人新世の正式な認定とその概念の普及は、人がハイリスクの時代に変わったことを正確に認識する上で重要であろう。人新世は否認されたが、公式化の道筋が絶たれたわけではない。2024年8月より、国際地質科学連合は新しい体制になり、再提案によって公式化の議論ができる可能性もある。人新世作業部会は、国際層序委員会の下での組織としては2024年8月で終了したが、独立した作業部会として活動を続けている。地質時

■一般向けの関連書籍

日本第四紀学会 (2024) 年代層序単元としての「人新世」の科学的根拠とその否認について—人新世作業部会の提案書に基づいた解説。 <http://quaternary.jp/news/jinshinsei.html>

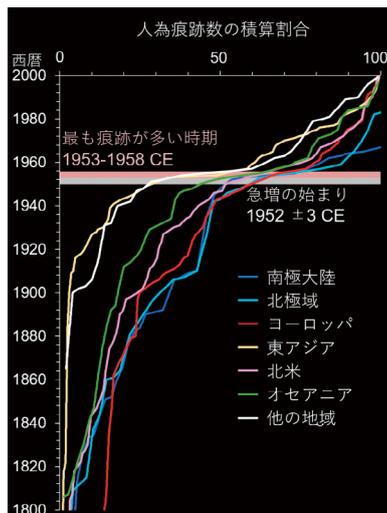


図2 世界各地の人為痕跡の同時急増
灰色の陰影が全球で人為痕跡が急増し始める時期 (西暦 1952±3 年)、肌色の陰影がほぼ同時に各地域で痕跡数が最も増加する時期 (西暦 1953 ~ 1958 年)。Kuwae *et al.* (2024) Fig. 4 を改変。



著者紹介 加 三千宣 Michinobu Kuwae

愛媛大学沿岸環境科学センター 教授

専門分野: 第四紀学・古環境学・古海洋学

略歴: 大阪市立大学大学院後期博士課程修了, 博士 (理学)。愛媛大学 21 世紀 COE 研究員等を経て、現職。2024 年より人新世作業部会メンバー。

TOPICS 国際海洋科学掘削

2025 年からの新しい海洋科学掘削計画

—IODP 以降の日本と欧州の取り組み—

国立研究開発法人海洋研究開発機構 江口 暢久

科学海洋掘削は、モホール計画 (1958-1966) から数えると 66 年もの歴史がある。地球惑星科学に幾多のブレイクスルーをもたらした海洋科学掘削が、転換期を迎えようとしている。統合国際深海掘削計画 (Integrated Ocean Drilling Program, IODP 2003-2013) および国際深海科学掘削計画 (International Ocean Discovery Program, IODP 2013-2024) では、日米欧が掘削プラットフォームを提供し、一つの国際プログラムのもとで海洋科学掘削が進められてきたが、初めて複数のプログラムが同時並行で海洋底下を掘削してサンプルリターンを目指す時代に入ることとなった。

州海洋科学掘削コンソーシアム (ECORD) は、次世代のプログラムも国際的なものにしたと考えていた。同じ頃、ECORD は海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の海底広域調査船「かいめい」を傭船し 2021 年に日本海溝で巨大地震の履歴を含む堆積物を採取する IODP Exp. 386 を成功させていた。2つの運用組織が共同実施したこの航海の成功の一つの背景として、日本と ECORD は共同で新しい海洋科学掘削プログラムを立ち上げるべくワーキンググループを発足させた。議論を重ね、日本と ECORD がそれぞれの独自性を担保したまま、共同の

新しい国際海洋科学掘削プログラム

2024 年以降の海洋科学掘削の目指すべき科学方針をまとめた冊子 “2050 Science

Framework” が 2020 年に出版された (Koppers and Coggon, 2020)。その頃から 2024 年以降のプログラムをどのように構築するかの議論が始まった。日本と欧

国際プログラムを立ち上げることに同意し、現在合意書が完成しようとしている。

新しいプログラムの名称は「International Ocean Drilling Programme: IODP³ (IODP-cubed) : 国際海洋科学掘削計画」と決まり、継続的に掘削プラットフォームを提供する日本 (JAMSTEC) と ECORD がコアメンバーを務める。コアメンバー以外に、アソシエイト・メンバー (最低5年程度の期間1M€/年の供出金を提供) とテンポラリー・メンバー (プロジェクト毎に0.5M€程度の現金もしくは現物 “In-kind Contribution” を提供する) の二つのカテゴリーを設けている。現在、豪州・ニュージーランド国際科学掘削コンソーシアム (ANZIC)、およびインドがアソシエイト・メンバーへの参加意思を表明しており、ブラジルや韓国なども参加に興味を示している。

掘削プロポーザルの評価

新しいプログラム (図1) は、これまでのプログラムを踏襲している部分もあれば、よりシンプルにそしてフレキシブルになった部分もある。掘削プロポーザルは、後述する IODP³ Science Office へ提出され、その審査はこれまで同様に科学評価パネル (SEP) で行われる。ただし、外部査読は廃止し、プロポーザルの種類も減らし、よりシンプルにしている。掘削の安全や環境影響を評価するグループとして、これまでのパネル (EPSP) に代わり安全環境助言グループ (SEA Group) を設置し、プロポーザル評価の早い段階から安全や環境影響に関するアドバイスを行っていく。SEPの審査を経て航海実施が推薦されたプロポーザルは特定任務船運用委員会 (MSP-FB) に送られ、航海がスケジュール

される。また、プロポーザルを提案するには基本 (計画)、中間 (計画)、高度 (な計画) という3段階の掘削プランが必要であり、MSP-FBではそれぞれのプロポーザルを航海として承認するときに、どのプラットフォームで、どのレベルの掘削プランを実施するかを、予算の観点からも検討することになる。

IODP³の掘削航海

IODP³で行われる掘削航海は、JAMSTECの保有する地球深部探査船「ちきゅう」や海底広域調査船「かいめい」を用いる場合と、ECORDが備船して行う場合とに区分される。「ちきゅう」は、世界最高クラスの深海掘削機能を有する掘削船であり (図2)、「かいめい」は40m級のジャイアントピストンコアや海底着座式掘削装置を装備している。ECORDが備船する掘削プラットフォームには、非常に浅い水深で掘削を行うジャッキアップリグ、海底着座式掘削装置を装備した海洋調査船、リグを装備した掘削船 (Geotechnical ship) などがあり、プロポーザルに示された科学目的を達成するのにふさわしいものが選択される。これらの掘削プラットフォームをプロジェクトに合わせて用いることで、IODP³は浅海から超深海、そして極域までをカバーすることが可能になる。また、航海の期間は数週間から数ヶ月とフレキシブルであり、乗船研究者数も使われる掘削プラットフォームによって異なる。例えば「ちきゅう」ならば30人程度の研究者が乗船することができ、小型のジャッキアップリグなどでは実際に乗船する研究者は10人未満の場合もある。ただし、航海後のサンプリングは陸上の施設、高知コアセンターなどの

コア保管庫で行われるため、科学チームの規模は使用するプラットフォームの種類には依存せず、また人数制限もなくなる。これまで様々な理由で2ヶ月間の航海への参加は難しいと諦めていた研究者も参加しやすくなることが期待される。

過去に採取された試料の活用

歴代の海洋科学掘削計画で得られた試料は、海域ごとに3つのコア保管庫に保管されている。大西洋～北極海はドイツのプレーメン大学、東太平洋～南大洋は米国テキサス A&M 大学、そして西太平洋～インド洋は JAMSTEC と高知大学が共同で運営する高知コアセンターに保管されている。IODP³では、海洋における新規の掘削航海だけでなく、上記のコア保管庫に保存されているコア試料を用いて行う比較的大きなプロジェクト “Scientific Projects using Ocean Drilling Archives (SPARCs)” を実装することになった。これは2050 Science Framework に準拠する。SPARCsは5名までの主提案者 (PI) が提案書を提出し、掘削プロポーザルと同様に SEP による評価を経て、MSP-FB によって実施案が採択される。採択されたプロジェクトは、公募により乗船研究者と同様のプロセスで科学チームを構築する。掘削航海と同様に成果公表も行われ、IODP³から€300,000が研究推進費として提供される。5名のPIのうち2名まで、また科学チームの25%まで、IODP³メンバー以外の国やコンソーシアムからの参加を認めることで、より国際的な取り組みができるように設計されている。掘削航海と同様に科学チームの人数に制限はない。現在、

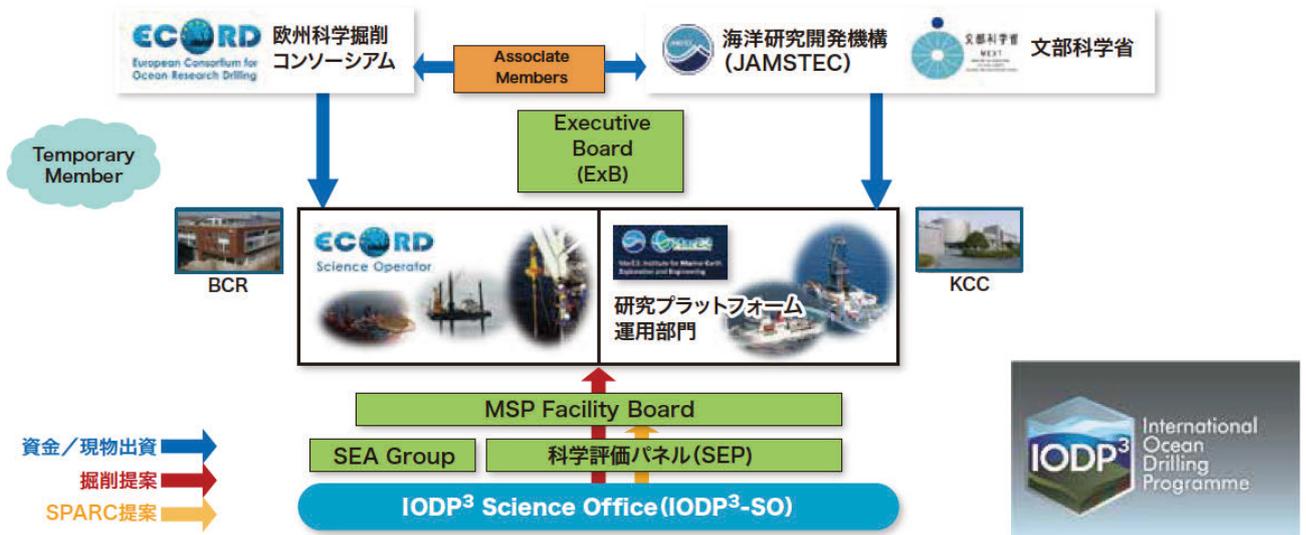


図1 IODP³の全体像。©IODP³ planning group



図2 地球深部探査船「ちきゅう」。©JAMSTEC

1年間に2〜3回の掘削航海と3〜5件のSPARCsの実施を考えている。航海数がこれまでのプログラムより減少するが、年間の掘削航海への参加者とSPARCsへの参加者の合計数は、これまでのプログラムと大きくは変わらないか、場合によっては多くなることを想定している。

I ODP³ Science Office

IODP³のマネージメントを行う事務所として、国際公募を経て英国プリムス大学にScience Officeが2024年5月に開設された。直近のIODPでは、ブローパーザルや事前調査のデータは米国スクリプス海洋科学研究所に置かれた事務局(SSO)が担当し、各航海の出版物は同テキサスA&M大学のJOIDES Resolution 科学オペレーター(JRSO)の出版チームが担当していた。IODP³では、これらの業務をScience Officeに統合し、アウトソーシングを活用することで事務所スタッフを最小限(5名)に抑え、おさえた経費を掘削航海へ回すように考えられている。

I ODP³初年度の航海

IODP³は2025年1月から開始されるが、2025年実施の航海はその前に決めておく必要があった。このため2025年の航海を検討する会議体 interim MSP-FBを作り、3航海の実施を決定した。ECORDが実施する予定のIODP³ Exp. 501: New England Shelf Hydrogeology (Proposal 637)は、本来2024年にIODP(2013-2024)の中で実施される予定であったが、掘削プラットフォームの手配ができず延期となった航海である。すでに乗船研究者も決定しており、掘削プラットフォームも手配ができる目処が立ったことから2025年に実施することとなった。この航海の掘削ブローパーザルは米国の研究者から提案されており、また共同首席研究者を含め、すでに決まっている乗船研究者

には米国の研究者が多数含まれている。IODP³ではメンバー以外の国からの乗船は原則認められないが、本航海に関しては乗船研究者を変えることなく実施することとした。これに呼応するように、NSFは本航海への資金提供を決め、オリジナルの掘削計画で削減されていたサイトが復活することとなった。IODP³の最初の航海から米国とのコラボレーションができることは、明るいニュースである。JAMSTECはIODP³ Exp. 502: Tohoku Petit-Spot MagmatismとIODP³ Exp. 503: JTRACK Deep-Time Paleoseismologyを実施する予定である。この二つの計画は、それぞれが2週間程度の航海で実施することが可能である。IODP³の初年度に日本、ECORDそれぞれが掘削航海を実施できることとなった。

米 国と中国の動向

米国は掘削船JOIDES Resolutionの継続利用を想定しつつ、同時にECORDと同様の備船による掘削航海を行うことを考えている。海洋科学掘削調整オフィス(SODCO)を立ち上げ、PIがNSFから直接資金を得て、この事務所が備船などのコーディネーションを行うプログラムになるようである。上述のIODP³ Exp. 501のように、IODP³とNSFとのコラボレーションは可能であり、今後もそのような航海が行われることを期待している。しかし掘削プラットフォームを備船で提供していく予定の米国がIODP³にコアメンバーとして参画することは、簡単ではないようである。中国は新しい科学掘削船Meng Xiangを就航させた。全長180 m、全幅32 m、総トン数33,000 tのこの掘削船はDP-3を装備し、最大パイプ長11,000 m、最大稼働水深6,000 mと言われている。中国独自のプログラムを立ち上げて、年間2航海程度の科学掘削を行う予定である。



著者紹介 江口 暢久 Nobuhisa Eguchi

専門分野: 海洋研究開発機構研究プラットフォーム運用部門で部門長として「ちきゅう」や「しんかい6500」などJAMSTECが保有する研究船・探査機の運用を統括している。

略歴: 東京大学大学院理学系研究科修了。博士(理学)。専門は古海洋学、海洋地質学。博士号を取得したのち、サイエンスマネジメントに関わり、国際海洋科学掘削計画の変遷に寄与してきた。今回のIODP³の立ち上げが3回目の取り組みとなる。

複 数の海洋科学掘削プログラム間のコーディネーション

このように、複数の海洋科学掘削が並行して行われるようになるが、どのプログラムも共通している部分(例えば2050 Science Frameworkを大きな意味での科学プランとして用いるなど)があり、プログラム間の意思疎通が重要である。このためにIODP³は、Scientific Drilling Forumを提案した。この提案に米国や中国の海洋科学掘削プログラム、そして国際陸上科学掘削計画(ICDP)も賛同し、それぞれのプログラムの科学プランの達成度や抱える問題点、複数のプログラムにまたがる計画(例えばIODP³とICDPのLand-to-Seaなど)についての意見交換や議論を行う場とすることを想定している。

人 類の未来のために

半世紀の間続いてきた仕組みを新しくするには、それなりの労力と意識の変換が必要となる。半世紀の間、海底下からのサンプルリターンによって得られた科学的知見は、古くはプレートテクトニクス理論の実証から、地震発生メカニズムの解明、過去1億年以上にわたる気候史の復元など多岐にわたる。今後も新しい仕組みの中で、まだまだ未知の「地球」そのものを知ると同時に、防災や減災など人間生活をより良くするための取り組みを進めていくためには、継続したプログラムの推進が必須であり、これまで参加してきた研究者の意識の変換と、新しい世代の研究者の参加が必須であると感じている。

—参考文献—

Koppers, A.A.P. and Coggon, R. eds. (2020) *Exploring Earth by Scientific Ocean Drilling: 2050 Science Framework*, <https://doi.org/10.6075/J0W66J9H>

■一般向けの関連書籍

Kenneth J. Hsü, 高柳 洋吉 (訳) (1999) *地球科学に革命を起こした船: グローマー・チャレンジャー号*. 東海大学出版会.

気候モデリングの新潮流

～大規模アンサンブル実験

東京大学大気海洋研究所 今田 由紀子

気候モデリングは気候変動の理解や地球温暖化予測に欠かせないアプローチである。気候モデルが誕生して以降、計算機技術の進展とともに高解像度化・精緻化が急速に進んだが、今世紀に入り、大規模アンサンブルシミュレーションという新たなアプローチが生まれた。本稿では、日本で誕生した「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」(d4PDF)に注目する。このデータセットは日本の極端現象研究にブレークスルーをもたらすと同時に影響評価研究や行政・産業界でも広く活用されている。2027年には後継となる新データセットの完成も見込まれており、この機会に大規模アンサンブルの強みを再確認することは有意義だろう。

d4PDF の誕生

d4PDF は、日本を代表する気候モデルによる過去実験や非温暖化実験、将来予測実験の結果を収録した大規模データベースである。d4PDF の構想は、2010年頃登場したイベント・アトリビューション研究に端を発している。「attribute」という言葉は「～のせいにする」という意味を持ち、実際に発生した極端現象(event)が何かのせいであることを証明する取り組みのことを Event Attribution と呼ぶ(以下 EA)。昨今は「何か」の対象として地球温暖化が注目されている。温暖化と極端現象の関係は当たり前のように語られることも多いが、その証明は簡単ではない。一つの極端現象は、自然界に内在する偶発的な変動が重なって発生するものであり、温暖化は影響があるとしても主要因ではなく、脇役でしかない。したがって、偶発的な極端現象を気候シミュレーションによって捉えるためには、現実的な境界条件を気候モデルに与えて、ランダムな初期値から大量のアンサンブル実験を実施することで、起こり得る様々な偶然を網羅するという手法を取る(初期値の違いによる計算結果のばらつきが、自然のゆらぎを表現する)。さらに、人間活動の影響と思われる成分のみ境界条件から取り除いて温暖化が起こらなかった場合の実験を同様に実施し、温暖化あり・なしの条件下で極端現象の特徴を比較することで、人間活動が極端現象に与えた影響を定量化する。

計算機資源との兼ね合いから、EA が登場した当初は、アンサンブルメンバーを稼ぐ代わりに計算期間は直近の数年に絞るなどの工夫が為されてきた。EA を皮切りに注目されるようになった大規模アンサンブルシミュレーションは、様々なメカニズム研究において非常に有益なアプローチであることが広く認識されるようになり、EA

の域を超えて、気候モデリングの新たな方向性が見出された。

このような気運の中、日本全国の気候変動の専門家が一堂に会し、高解像度大規模アンサンブル長期積分実験計画の構想が組み立てられた。これが後の d4PDF 誕生につながる。国際的にも認知され、かつ日本に有利なデータセットを作り上げるため、日本が有する代表的な気候モデルの一つである気象庁気象研究所の大気大循環モデル(水平解像度 60km)を用いて、100メンバー規模のアンサンブル実験を 60 年以上に渡って計算するという大胆な計画が立てられた。さらに日本周辺域のみ高解像度の領域モデル(水平解像度 20km)を用いてダウンスケーリングを行うという、前代未聞の大規模シミュレーションが行われることになった。過去再現実験、2度・4度温暖化実験、非温暖化実験、それぞれ延べ六千年以上の積分計算が実施され、総出力データは 3 ペタバイトを超えた。大気モデル実験で必要となる海面の境界条件は過去の観測データから与えられた。非温暖化実験においては境界条件から過去のトレンドパターンを除去したもの、温暖化実験においては世界の気候モデルによる将来予測実験(CMIP)から得られる代表的な変化パターンを境界条件に加算して与えた。つまり、100メンバーに与える海洋の内部変動は共通しており、観測の時間軸と対応付けることが可能となる。この点が d4PDF の売りの一つであり、オリジナリティのある研究を多数生み出している。

d4PDF のアドバンテージ

水平解像度 60km は、CMIP に参加する気候モデルの中では上位の解像度に分類される。60km の全球データを延べ六千サンプル利用可能というだけで利用価値は非常に高く、千年に 1 度レベルの極端

な現象を陽に解析できるようになったことは、気候変動研究分野におけるブレークスルーであった。d4PDF は国際的にも広く活用され、気候変動に関する政府間パネル(IPCC) 第 6 次評価報告書のあちこちの章に登場する。さらに日本域 20km のダウンスケーリングデータは、日本の領域気候および影響評価研究の分野に目覚ましい進展をもたらした。しかし d4PDF の利用価値はこれだけに止まらない。以下では、このような王道の使い道以外の活用法について紹介していきたい。

極端降雨の EA

d4PDF の実験構想には EA のノウハウが生かされたと述べたが、故に当然、d4PDF は EA にも活用できるように設計されている。d4PDF は過去 60 年以上の期間をカバーしているが、そのうちある年にだけ注目して、過去再現実験と非温暖化実験の中で発生する極端現象の特徴を比較することで、EA を実施することができる。EA の誕生時から国ごとに様々な特色を持ったデータセットが作成されていたが、解像度 20km で大規模アンサンブルを作成した例は世界でも例がなく、d4PDF を用いることでどんな世界が見られるのか、期待が高まった。

一般的に、気温が直接影響する猛暑、熱波、水蒸気量などは温暖化の影響を検出しやすいが、循環場に内在する現象(ブロッキング、高・低気圧など)は自然のゆらぎに起因する偶発的な要素(ノイズ)が大きいため、温暖化のシグナルを抽出することが難しいことが知られている(これを、S/N 比が小さい、と表現する)。極端現象として特に注目度の高い大雨や熱帯低気圧も循環場の影響を大きく受ける現象であるため、EA が困難であることが課題である。また、地形の影響を受ける局所的な大雨の EA については、解像度の制約もあるため EA は難しいとされていた。これを初めて実現したのが d4PDF による EA である。20km のダウンスケーリング導入で解像度の問題が改善されることは言うまでもないが、S/N 比の問題は依然として残る。しかし、d4PDF がもたらした結果は世間を驚かせた。図 1 は、平成 29 年 7 月の九州北部豪雨および平成 30 年 7 月豪雨に

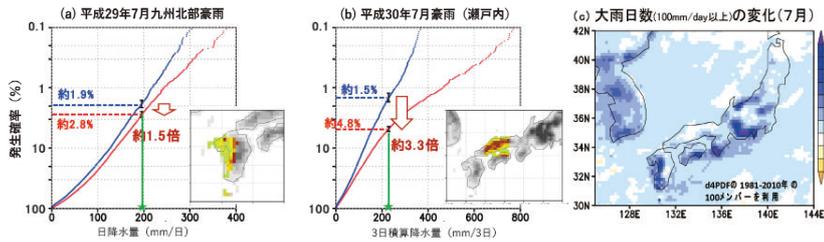


図1 (a) 平成29年7月九州北部豪雨および (b) 平成30年7月豪雨を対象にイベント・アトリビュションを実施した例 (Imada et al. 2020に加筆)。 (c) 7月に100mm/dayを超える大雨日数の過去再現実験と非温暖化実験間の差 (解析期間: 1981-2010年, 100メンバー)。 d4PDF20km出力利用。

対して d4PDF による EA を実施した例だが、温暖化により前者では1.5倍、後者では3.3倍に発生確率が増加していたことを見事に示すことができた (図1a および b)。さらに過去に遡り、各地域で発生する複数の大雨イベントの発生頻度に対する温暖化の影響を地図上にプロットしたところ、温暖化の影響が抽出されやすい場所が山脈の南西側に集中している様子が見えてきた (図1c)。解像度を上げたことが成功要因の一つであることは間違いないが、前述の通り、それだけで EA が成功する保証はない。勝因は何だったのだろうか？これを探っていくうちに、新たな研究の種が生まれた。それが、次で紹介するグローバル研究である。

新 たなアプローチ：“グローバル”研究

気温上昇とともに水蒸気が増えたからと言って、それが大雨の増加に直接つながるわけではなく、水滴にして地上に落とす降水システムが必要である。図1の結果を正しく理解するためには、降雨がどのような循環場によって形成されるかを知る必要がある。

そこで、d4PDF 内に現れる大雨がどんな循環場を伴って発生しているかを、領域を広げて見てみることにした (図2)。領域を広げるためには、20km 領域モデルの境界条件に与えた60km 全球モデルの結果まで遡って分析する必要がある。これが d4PDF ならではの強みである。100個のアンサンブルが親モデルと子モデルの間で1対1の対になって存在するようなデータセットは d4PDF 以外にないだろう。ここでは、九州山地を挟んだ西側斜面と東側斜面に注目して、大雨時の循環場を比較した結果を示す (図2a-d)。九州西部では、夏の季節風によって南西から山地にぶつかる水蒸気の流れ込みが普段より強い時に大雨がもたらされる様子、九州東部の大雨は台風の接近によってもたらされている様子が明瞭に現れた。温暖化の影響が水蒸気の増

加に明瞭に現れることに加え、地形が雨を降らす位置を固定することでノイズをカットする働きをし、西側斜面では温暖化の影響が検出されやすいことが分かった。一方、東側斜面の台風起因の大雨では、台風自体が接近するか否かが重要であるため、S/N比が小さく温暖化の影響が検出できないケースが多いものと考えられる。

観測では極端な大雨のサンプルが少ないため、同じ解析をしてもこのような明瞭なパターンは得られない。数千サンプルを利用可能な d4PDF を活用することで初めて科学的に証明された事実である。このように、d4PDF の全球計算と領域計算の結果を組み合わせて解析すると、低頻度で観測サンプルが不足している局所的な極端現象の発生メカニズムを陽に調べるのが可能となる。このようなグローバルとローカルを結び付ける新しいアプローチはグローバル研究と呼ばれ、近年注目を集めている。

未知の予測可能性の探究

グローバルの視点をさらに広げて全球の海面水温との関係を見てみよう。図2e, f から、熱帯の海面水温と九州の大雨の間に有意な関係が存在することが明らかである。興味深いのは、九州の東と西という島内の隣接する地域であるにも関わらず、それぞれに大雨をもたらしやすい海面水温パターンに明瞭な差があるということである。九州西部の大雨時には、熱帯太平洋ではエルニーニョ終息期の特徴が見られ、インド洋の水温も高い。一方、九州東部の大雨時には、中央太平洋が昇温する傾向が見られる。近年の季節予測の技術では、熱帯域の海面水温は半年から1年後まで予

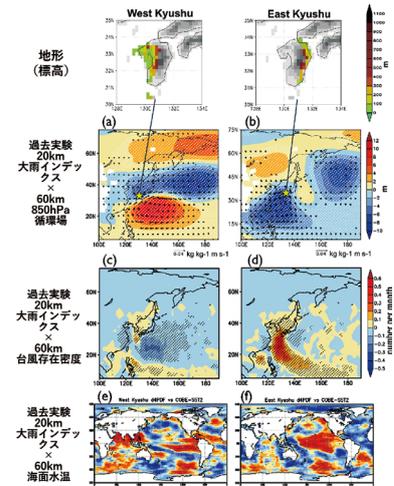


図2 九州西部 (左列) および東部 (右列) の大雨インデックス (7月に100mm/dayを超える大雨日数、d4PDF20km出力利用) に対する大循環場 (d4PDF60km出力利用) の回帰マップ。過去再現実験の1981-2010年を利用。(a, b) 850hPa 高度および鉛直積算水蒸気フラックス、(c, d) 台風密度、(e, f) 海面水温。点は98%有意水準を満たす領域。(参考: Imada and Kawase, 2021)

測が可能になってきた。従って、日本の局所的な大雨頻度が熱帯の海面水温に応じて変動しているとしたら、それはこれまで知られていなかった予測可能性が存在することを意味しており、不可能と思われていた極端降雨の季節予測の新たな可能性を示唆する。

このように、d4PDF の特徴をうまく生かすと、低頻度の極端現象を捉えることができるだけでなく、グローバル研究や予測可能性研究など、さまざまな研究に発展させることが可能である。拙筆を通じて、大規模アンサンブル実験を用いた新しい研究のアイデアが生まれることを期待したい。

—参考文献—

Imada, Y. and H. Kawase (2021) *Geophys. Res. Lett.*, **48**, e2021GL096236.
Imada, Y. et al. (2020) *npj Clim. Atmos. Sci.*, **3**, 35.

一般向けの関連書籍

筆保弘徳編・川瀬宏明編著 (2014) 異常気象と気候変動についてわかっていること知らないこと、ベレ出版。



著者紹介 今田 由紀子 Yukiko Imada

東京大学大気海洋研究所 准教授

専門分野: 気候力学

略歴: 長崎県出身。東京大学理学部地球惑星物理学科卒業、同大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程修了。その後、民間企業、東大や東大の大学院、気象庁職員 (研究官) を経て現職。

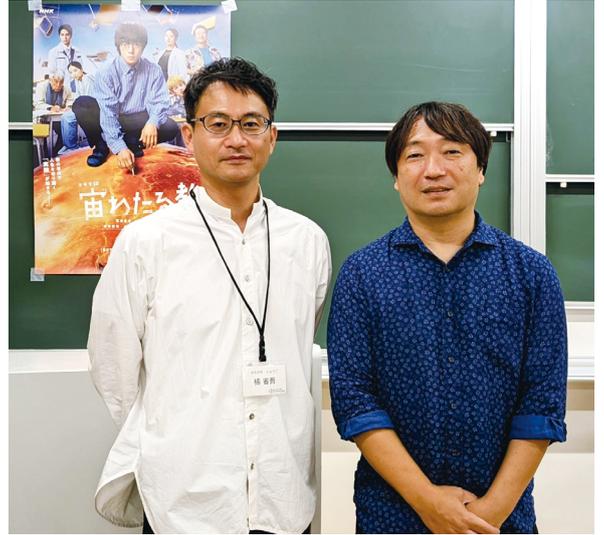
『宙わたる教室』ドラマ化記念 特別対談 伊与原新氏 × 橘省吾氏

伊与原 新 (作家)

橘 省吾 (東京大学/JAXA)

「学会や研究者に認められるのが 一番嬉しい」

そう語るのは、小説家の伊与原新氏。理系作家とも言われる伊与原氏は、小説家になる以前は地球惑星科学が専門の大学教員であり、古地磁気の復元に挑戦する科学者だった。『宙わたる教室』は、JpGU 年会「高校生によるポスターセッション」で実験室内に設置可能な重力可変装置の研究で何度も受賞を重ねている定時制高校の科学部の活動に着想を得た物語だ。その定時制高校のひとつである大阪府立春日丘高校定時制の科学部が、2011年のJpGU 高校生セッションで発表した『実験室内で使用が可能な簡易型微小重力実験装置の製作』(優秀賞を受賞)は、橘省吾氏が着目したことにより「はやぶさ2」サンプラー開発の基礎実験に貢献した。今回、『宙わたる教室』NHK ドラマ化にあたり、伊与原氏と橘氏による対談をお届けする。



左から橘省吾さん、伊与原新さん

橘: SNS で『宙わたる教室』のことが流れてきて、面白そうだということ、定時制高校のお話だということで、僕も関わったことがあったけれど、それとなにか関係するのだろうかと思って読み始めたんです。そうしたら、あとがきに自分の名前も出てきて、本当に驚きました。そもそも、定時制高校の科学部のことを書こうと思われたきっかけは何だったのでしょうか？

伊与原: JpGU2017年大会で、大阪府立大手前高等学校定時制と大阪府立春日丘高等学校定時制が「重力可変装置で火星表層の水の流れを解析する」で優秀賞を取った際、大学時代にお世話になった栗田敬さん(現在東京大学名誉教授)から「高校生セッションにとっても面白い研究があった。しかも定時制の科学部なんだ」と聞いて、小説になりそうだと直感したんです。数年後、新しい小説の企画の相談を文藝春秋の編集者としていた時に思い出して、大阪の定時制高校科学部を指導されていた久好圭治先生たちにお会いする前に、連載を始めました。その後、科学部の顧問団の一人である谷口真基先生が指導されている大阪

府立今宮工科高校定時制の科学部が JpGU 大会で重力可変装置を使った発表を知りまして、去年の高校生セッションに十年ぶりぐらいに取材のために伺ったんです。そのポスター会場でたまたま久好先生をお見かけして、このまま素通りするわけにはいかないと、声をかけました。先生もいきなり小説に書いていますと言われて相当に驚かれたと思いますが、そこから大阪の皆さんと密な交流が始まりました。

※大阪府の定時制高校科学部(春日丘高校定時制・大手前高校定時制・今宮工科高校定時制)は、久好先生、谷口先生、及び江菅純一先生の3人の先生方が指導にあたり活動を続けてきた。重力可変装置と微小重力発生を用いた研究で多数の賞を受賞している。

橘: 直接取材をされる前から連載を書かれていたということですが、定時制高校についての情報や舞台設定というのはどんなふうに考えられたのでしょうか？ キャラクターたちを書きながら小説の方向性が決まっていたのか、それとも全体像がもうすでにできあがった状態で書き始められたのか、

伊与原: 大手前高校定時制のホームページに科学部のメンバーの写真が載っていたんです。話には聞いていましたが、確かにいろいろな人がいて面白いということがわかった。最初に写真を見たイメージからバツと思いついて、おじさんがいて、中年女性がいて、若い子は2人くらいと、部活のメンバーを決めました。科学部が最終的にどういうふうになっていくか、どんな研究をするかは決めずに連載をスタートして、それぞれの部員のバックグラウンドから書いていくことにしました。もう一つ、編集者に伝えていたのは、顧問の先生は研究者にしたいということでした。高校教師というより研究者、教える側教えられる側といったはっきりした立場で先生が導いていくというより、フラットな感じの人。高校生だから高校生レベルに合わせるのではなく、自分が思っているレベルまで皆ついてこられるでしょうという信頼を持っているような研究者にしたかった。藤竹という研究者の顧問が、なぜ研究者を辞めて定時制高校の教師をやっているのかということも含めて、物語を引っ張っていく謎の一つにしておきましょうと、いろいろなことを

詰めずに見切り発車で始めた連載でした。

橘：後半に読み進めるに従って僕の知っている話になっていくので、一気に読んでしまいました。物語の展開が腑に落ちました。

伊与原：連載の中盤頃に JpGU で久好先生とお会いしたのがきっかけとしては大きかった。自分たちの活動を小説にしてくれることはすごく嬉しいという反応だったので、僕も安心して、交流が始まりました。夏には科学部の合宿にも参加して、久好先生の話も聞いていたうちに、重力可変装置を使った研究に部員たちが進んでいくという道筋が一番しっくりくると思えてきました。先生の協力も得られそうなので、まったく架空の研究にはせずに、先生たちが実際にされた研究を一部拝借することにして、その装置で部員たちにどんな実験をやらせるかについてはかなり悩んだのですが、一般読者がイメージしやすいことを最優先にして、火星のランパートクレーターの形成実験に決めました。もう一つ大きかったのは、彼らが橘さんらの「はやぶさ2」基礎実験に協力していたのを知ったことです。JpGU2011年大会のポスター会場で橘さんに声をかけてもらったことが科学部にとって転機になったという話を聞いて、非常に面白いと思いい、小説のラストにその展開を持ってきました。

橘：ちょうど彼らのポスターを見かけた時、面白いことをやっているなと思ったのと、「はやぶさ2」をやるにあたって僕自身が困っている時でした。いろいろな実験がすべて大がかりで、手元でとにかくたくさん再現して何が起こるかを理解しておきたいとずっと考えていた時に見かけて、これは使えるのではないかと。しかも科学部の高校生にはいろいろな年代の人たちがいて、みんな元気で楽しそうにしゃべっていて、面白かったですね。高校生の発表は時々後ろに大学の先生や顧問の先生の顔がちらつくような場合があって、腹話術のように聴こえることがあるのですが、彼らは自分たちでやっているから装置についてはよく知っているという感じで全部質問に答えてくれた。それで一回見せてもらえませんか、実際に足を運びました。当時はまだ滑車がなくて落としているだけだったのですが、それを見せてもらった。「はやぶさ2」の実験に使わせてもらいたかったのと、高校生たちを応援したいということもあって、一度お邪魔して、装置を見学させてもらったのですが、それがこんな風な話に化けて、面白いものだなと思っています。

伊与原：まさに藤竹という人物を元研究者にした狙いの一つです。天文とか昆虫の世界のように、アマチュアの愛好家が活躍する分野でよくありますよね？ 昆虫大好き少年が珍しい昆虫を捕まえて、新種ではないかとプロの昆虫学者のところに持っていくような場面。昆虫学者のほうはそんな少年のことを自分たちの仲間だと思っているから、まるで少年をライバル視するように、「これは新種じゃないね、私も持っているよ」と自分のコレクションを引っ張り出してきて交流が始まる、みたいなことが個人的にとっても好きで、プロの研究者に興味を持ってもらえて、一緒にやりたいと思ってもらえるというのは科学部の生徒たちにとっても強烈だったようです。久好先生が繰り返しおっしゃっていたのは、「橘さんがあの学会会場で直接生徒に声をかけてくれたことで、彼らは本気になった。火が点いた」と、小説の中でも描いていますが、本気にさせる、そういうパワーを彼らはもらったのだらうと思います。

橘：本当に使えるのではないかと考えたので、こちらにも本気で聞いてましたからね。僕ら研究者は使えると思ったらもう何でも使いたいし、そうしたら別に相手が誰だろうと、素直に教えてくださいと教えるを乞うことになる。今回小説になって、NHKでドラマにもなって、あの時のお話がこんな風になるのかと嬉しく思っています。「青少年読書感想文全国コンクール」高校生の部の読書感想文の課題にも選ばれましたが、読者からの反応はいかがですか？

伊与原：定時制ということもあって科学部の部員をいろんな年代の生徒たちにしましたし、いわゆる高校生の青春ものではなく、大人の小説だと思って書きました。文藝春秋では最初から高校生に向けて読んでもらおうというキャンペーンをしてくれましたが、僕自身は青春小説とは思っていませんでした。でも実際の反応を見ると、青春小説として読んだ人が多かったんですね。ただ、それはある意味大人も感じられるような、いくつになっても何かを始められるというような青春感。現役世代の高校生の話が中心ではないにもかかわらず、各年代の読者が青春小説だと感じてくれたのは嬉しかったことの一つです。

橘：読者の科学への反応についてはどうですか？

伊与原：ミステリーやSFはともかく、文芸的な小説を好む読者には、どちらかというと科学に興味がない、あまり得意ではな

いという人が多い。インタビュアーや編集者も枕言葉のように「文系なので、この本の中身もすべて理解したとは言えないのですが」とおっしゃるのですが、一般の読者の反応も似ているように感じます。科学や理科はあまり得意ではなかったけれども、天文や宇宙は割と好きという人は案外多い。作中に登場する実験については、身近なところで始められる実験、特に「キッチン地球科学」的なところを取り上げたので、実際にやってみたい、子どもとやってみたいという人が結構いました。重力可変装置がどんなものか思い浮かばなかったというのは当然ありました。

橘：SNSでもあの装置はドラマでちゃんと見たいとか、これでやっとならみたいみたいなポストはよく見かけますね。

伊与原：科学的なことを文章だけで説明す

澄み渡るほど心整う全五篇

伊与原新 藍を継ぐ海

『月まで三キロ』の著者、最新刊!

徳島の海辺の小さな町で、中学生の女の子は、なんと自分だけの力で、ウミガメの卵を孵化させようとするが、人間の生をはるかに超える時の流れを見据えた、科学だけが気づかせてくれる大切な未来を描く。

新潮社

〒162-8711 東京都新宿区矢来町71
TEL.03-3266-5111

るのはなかなか難しいです。科学の記事でも挿し絵や写真が使われている。小説は文章だけでやらずにはならないのが難しいところだ。

橘：伊与原さん自身が研究をされていたこともあって、どの小説を読んでも、科学が取ってつけたように入っているのではなく、専門分野の人間が読んでも、まったく不自然に感じないように話に溶け込んでいます。科学の最先端の話や物語に織り込んでいくことについては、どのような意識でおこなわれているのでしょうか？

伊与原：毎回非常に苦労しています。科学的な事実だけでは多くの読者はついてこない。我々がいくらその事実を面白いと思っても、科学にさして興味がない人はその部分をなかなか読み通せない。でもそこに「人間臭さ」が加わると読んでくれるんです。ですから、科学の最先端の話でも、それをやっている研究者の目線に僕がいかに近づいていくか、そこをうまく描くことができれば、人間というものを通じて物語に入っていくやすくなります。科学的なことをレベルを下げて噛み砕いて説明するというよりは、そこに生身の人間の息づかいやドラマが感じられることが一番大事でしょうね。もう一つ、気を付けているのは情報の出し方です。科学を伝えようとするとき、つい基礎的なところから教えたくなりますが読者はそれを求めていない。自分たちは一から学びたくて小説を読んでいるわけではない、と。理屈はどうでもよいと思っている人は多いので、美味しいところだけ先にあげることが大事です。僕はさりげなく理屈も混ぜて伝えたいのですが、基礎から応用へという順番はダメなやり方。まず面白いことを最初にパッと書いて、それどういうこと？という風に持っていきたいといけなく、皆さん授業でやられているとは思いますが、小説の世界ではもっとはっきりとフックを作ってやる必要がある

と痛感しています。

橘：とても刺さるお話です。一般の方への講演でも基礎から話さないとわかってもらえないと思って、ベースなことから始めると途中でついてこれなくなる方がやっぱりいらっしやる。別の作品の『ブルーネス』も読ませていただきましたが、下から積み上げるというよりは、いきなり難しい観測の話が出てくる。でも登場する人々の物語が面白いから、いろいろなことが書いてあって、そこが必ずしもわからなくてもどんどん読み進められますよね。

伊与原：自分の興味のある部分だけきちんと読んでもらえればストーリーは完結する、という風に書けばいい。いろいろな知識レベルの人がいるので、それぞれのレベルで面白いと思えるところをつまめるように仕立てておくというのは大事なのだらうと思っています。それで一つ思い出したのですが、新刊『藍を継ぐ海』では「予備校のノリで大学の数学・物理を学ぶ」というコンセプトでYouTubeチャンネルをされているYouTuberのヨビノリたくみさんに帯のコメントを書いてももらったんですね。「難しい話は難しいままでエンタメになる」というのが彼の信念なんです。難しい話を専門家が楽しそうに話しているだけで、見る人は絶対いるんだっていうことを盛んにおっしゃっている。無闇に話のレベルを下げたり、わかってもらおうと無理をする必要はなくて、専門家がものすごくマニアックなことを一生懸命喋っているというのが面白いんだと。そこは僕が思っていることに近くて、研究者という「人間」を介して伝えていけば、面白がってくれる人はいるということはすごく感じます。

橘：わかります。僕も最近リュウグウ（「はやぶさ2」が探査した小惑星）の石の話をする時に、下から積み上げないで話すことも増えました。例えば、リュウグウの中の磁

場と言ってもなかなか難しいので、前振りで「はやぶさ2」の楽しい話をした後に、「これから先は僕だけが楽しくなりますけど勘弁してください」と。マニアックな専門的なことをとにかく楽しく、「僕だけが楽しいですけど、皆さんもついてきてください。頑張ってください」と言いながらやると意外と皆さん喜んでくださる。

伊与原：そうだと思います。ヨビノリたくみさんがおっしゃっていることと全く一緒に、小説の中でも専門用語は専門用語のまま出して、必ずしも逐一説明する必要はないと僕は思っているんです。編集者は基本的に嫌がりますが、マニアックな話すぎてわからないけれど、やっている人が嬉しそうなことだけはわかる。そういうことを伝えていくと自分が大事なのだろうと思っています。

橘：僕は研究発表や論文の中では個人的な部分や思いを極力排除するわけですよ。でも小説を読ませていただいて、科学者も人間で、人間の活動として科学があるのだということが伝わってきて、僕は本当にぎゅっと心をつかまれてしまいました。特に新刊の『藍を継ぐ海』では若手の研究者の科研費や任期といった科学を取り巻く様々な状況も取り上げていただいている。一般社会の皆さんにも広く伝わるといいなと思いました。最近の科学を取り巻く現状といったものも小説の中に意図して描かれているのですか？

伊与原：問題提起しようとはまでは思っていないのですが、若手の研究者の人生を描いていく上では欠かせない視点になってきますよね。役に立つか立たないかみたいな話にも通じていきますが、役に立たない、注目もされていないような物事を研究対象に、コツコツコツコツ世界を広げている人がいないと寂しいでしょうという視点。だから科研費を、とまで物語の中で伝えるの

ドラマ化!!

ドラマ10
「宙わたる教室」

主演 藤竹 叶 役
窪田正孝

NHK総合
毎週火曜 夜10時~

宙わたる教室

Shin Iyohara **伊与原 新**

様々な事情を抱えて定時制高校に通う
生徒たちが、夜の教室に「火星」を作り出す——

宙わたる教室
伊与原 新

第70回
青少年
読書感想文
全国コンクール
課題図書
(高等学校の部)

文藝春秋 〒102-8008 東京都千代田区紀尾井町3-23 <https://www.bunshun.co.jp> ●定価1760円(税込) 電子書籍も発売中

は難しいですが、そういう研究者たちもきちんと抱えていくのが豊かな社会の有りようなのではないですか？というメッセージは強く持っているつもりです。

橋: 研究の世界を離れて職業作家になられたわけですが、地球惑星科学という分野を今どう見ていらっしゃいますか？

伊与原: 科学に興味がない人でも、科学の中で一番身近に感じてもらっている分野であることは確かだと思います。宇宙や星が好きという人は多いですし、地震などの自然災害も身近にあるので、皆さん興味はあるのだと思います。ただ、漠としたイメージがあるだけで、本当には知られていない。取材でも、地球惑星科学は何をする分野なのか？という質問をよく受けます。端的に言えば地学です、と説明しますが、学問分野としては全く浸透していないと感じます。

橋: 我々研究者コミュニティがいかにもうまく伝えるかということも考えなくてはいけませんね。

伊与原: 中学ではみんな地学を習ったはずなのに、なぜ地球惑星科学というカテゴリーとして認識されていないのかというのは不思議です。例えば、地震学が地球惑星科学の一分野であるといったことも全く理解されていない。地球や惑星の成り立ちや営みをトータル的に理解しようとする学問であることが伝わっていないという感じは強く受けます。

橋: 広く興味を持ってはもらっているけれど、それを研究するとか考えるということがどういふものなのかはあまりイメージができない。僕も「はやぶさ2」をやっているの、宇宙の研究者だと思われています。それはそうなのですが、一方で突然石の話をし出すから、なぜ石なのだろうと思われる。そのあたりが自然につながらないということはありますね。

伊与原: 特に「はやぶさ」、初代「はやぶさ」は顕著ですね。一生懸命帰ってきた健気なところしかみんな知らない。「はやぶさ」が何をしに行っていたのかを答えられる人はほとんどいないでしょう。

橋: 最近では西遊記にたとえて話をしています。三蔵法師と孫悟空達の冒険はみんな好きだけれど、天竺から持って帰ってきた経典には誰も興味を持たないと言うと、一般の人はそういうことかとわかってくれる。

「これから経典の話をお願いします。つまらないけどごめんなさい」と。

伊与原: 経典というのはわかりやすい表現で素晴らしいですね。その経典に書かれていることが私たちの世界の成り立ちそのものの話なのだということが全然伝わっていない。

橋: 伝える努力をしないとイケないですね。

伊与原: 地震の話をしていても、「南海トラフはいつ起きるのか？」「東京で大地震は起きるのか？」とばかり聞かれて、その奥にある科学については全く視野に入っていないですね。『八月の銀の雪』という本の中ではインゲ・レーマン（地震学者）を取り上げました。きっかけはある編集者との会話で、地球の内部には金属のコアがあって、そのコアの活動によって地磁気が生じている、と話したところ、そもそもなぜ地球の内部にコアがあるとわかるんですか？と聞かれたんです。確かに誰にも説明されてこなかった可能性はありますよね。地震波を使って調べたんですよとお話するとその編集者はとても驚いていたので、やっぱりまだまだだなと。この地震大国に住んでいるのになぜ？と思います。

橋: 多くの方が中学校の理科で止まるんですよ。高校に入って半年くらいは地学、地学基礎を習う程度はありますが、染み込むほどはない。もう少し社会に染み渡ることが重要ですよ。

伊与原: うっすら疑問を持ち続けて大人になっている人は多くて、いまさらながらなぜかを知りたい気持ちはどこかにある。大人たちに向けて発信するというのが効きそうな気はしています。もちろん子どもたちに発信するのも大事ですが、子どもたちが科学を好きなことはわかっているの、

橋: 今回ドラマ化され、多くの方が見てくださるので、地球科学的な、火星であったり、クレーターであったり、見ている方に伝わると嬉しいなと思っています。実際にドラマの現場にも行かれていたと思いますが、ご自身の原作がドラマ化されて、原作との違いについてどのような感想をお持ちになったのでしょうか？

伊与原: ありがたいのは、プロデューサーさんがとにかく原作を好きでくださっていることですね。小説の良さを漏らさずドラマにしたいと熱い思いをもってやってくれているので、感想をひと言で言うと

でもリアルでした。現場も見せていただいたのですが、本物の学校の物理準備室だった部屋を科学部の拠点にして撮影しているので、自分が思っていた通りの世界が再現されていました。作中の実験も実際に自分の手でやってみたわけではないので、小説に書いてある通りにやってもできないことがある。そこで、「キッチン地球科学」の実験に詳しい熊谷一郎さん（明星大学）のような専門家に監修に入っていたので、何とか原作通りに実験が運ぶように考えてくださっています。できあがってきたものも見せていただいたのですが、提供した写真通りのものを作ってくださいました。この本を出版した時に、ランパートクレーターとはどんなものか、ネットで検索したというコメントがたくさん寄せられたんです。わからないことがあれば、読者のみなさんは検索をしてくれるんですね。ネットを通じて知識がどんどん広がっていくのもよいですが、皆さん実験の様子や装置を実際に見てみたいという気持ちも強い。今回それが映像としてははっきり目に見えるので、きっと喜んでいただいているだろうと思っています。プロデューサーが、もはや我々が科学部と化していますとおっしゃるように、いい画を撮るために制作スタッフの皆さんが実際に実験をしてくださっているので、臨場感というのか、苦勞の結晶みたいなのがはっきりとドラマにも現れているのではないかと思います。

橋: 僕たちの実験も試行錯誤の連続です。今後はどのようなテーマに取り組まれる予定ですか？

伊与原: 地球科学に関係あるところでは、地質学者の三代記をやりたいかという話があります。三代記という形式を使うことで、それぞれの時代で学問が社会に対して果たしてきた役割、役割とまでは言わなくてもポジションがわかるのではないかと。一つには戦争に対して科学がどういふふうに関与してきたかも含めてどう今に至っているか。おじいちゃんはどうやら科学者として戦争に関わっていたらしいけれど、今の時代を生きる自分たちは科学のあり方をどう考えていくのか。そういうテーマのものを近々書きたいと思っています。

橋: 以前伊与原さんご自身が理系作家と呼ばれることを受け入れたとおっしゃっていたように思いますが、科学の世界で育って、科学とは切り離せないと言いますが、科学を一つの軸に置きながら、今後も書かれていくということでしょうか？

伊与原：正直に言うと、デビューした時は普通の実験室作家になろうと思っていました。科学の世界とはもうおさらばだ、くらいのつもりでデビューしたんです。でもデビュー直後から、研究者の世界にいたのだから科学を題材にしたミステリーを書くのがいい、それがあなたの強みだ、と言われることが多くて、科学寄りのネタのミステリーをよく書いていました。近頃はとくに科学の世界に引き戻されている感じがありますね。結局、インスピレーションが湧いてくるのは研究者や科学の世界からばかりなんです。理系作家と呼ばれると読

者が絞られてしまうので困る、と昔は思っていました。今はそうでもなくて、科学の世界を描いた小説ですが面白いので読んでみてください。と、むしろ、そこにこそ僕の役割があるのかなと、その肩書きを受け入れています。小説を書いていると、この記述は正しいかな、と研究者の顔がちらつくんです。面白くないと言われるより、科学的に間違っているとと言われることのほうが怖いんですね。だから、学会や研究者の人から褒められると一番嬉しいんです。最近ではJpGUや地質学会からも非常に熱い応援を頂いていて、心から感謝

しています。

橘：伊与原さんが科学を書いてくださるということは我々としても嬉しい話です。読んでいると、登場人物で、研究に関わっている人たちの言動や置かれている状況が、これは僕らだ、僕らのことが描かれていると感じます。今後の作品も期待しています。本日はどうもありがとうございました。

(文：今村美都)

第39回(2024)京都賞 ポール・ホフマン博士が受賞



ポール・ホフマン博士 (画像提供：稲盛財団)

2024 年の第39回京都賞 基礎科学部門(地球科学・宇宙科学)はポール・ホフマン博士(ハーバード大学名誉教授)が受賞された。

京都賞は、故稲盛和夫氏(京セラ株式会社名誉会長)が1984年に創設した稲盛財団による国際賞で、毎年3部門(先端技術、基礎科学、思想・芸術)の受賞者が選ばれる。このうち「基礎科学部門」は4分野(数理科学、生物科学、生命科学及び医学、地球科

学・宇宙科学)あり、4年に1度「地球科学・宇宙科学」が受賞対象となる。これまで地球科学分野では、1991年エドワード・ローレンツ博士(米国マサチューセッツ工科大学、気象学)、1999年ウォルター・ムンク博士(米国スクリップス海洋研究所、海洋物理学)、2007年金森博雄博士(米国カリフォルニア工科大学、地震学)が受賞している。今回17年ぶりに地球科学分野からの受賞となった。

ポール・ホフマン博士の専門は地質学であり、北極圏カナダの広域かつ詳細な地質調査に基づいて先カンブリア紀(約20億年前)に北米大陸が複数の大陸塊の衝突合体によって形成されたこと、すなわちプレートテクトニクスが少なくとも地球史半ばまでさかのぼることを明らかにした研究と、ナミビアにおける原生代後期の氷河堆積物の地質調査に基づいて約6億4000万年前と約7億年前に全球凍結(スノーボールアース)イベントが生じたことを実証した研究

が大変著名である。今回の京都賞の受賞理由も「生命進化の加速につながった全球凍結と地球史前半までさかのぼるプレートテクトニクスの実証：50年以上に及ぶ北極圏カナダとアフリカにおける膨大で徹底したフィールド調査から得た地質学的証拠により、多様な生命にあふれる今日の地球表層環境を作り出すことになった要因である全球凍結とプレートテクトニクスに関して画期的な業績を挙げた」となっている(詳細は<https://www.kyotoprize.org/>を参照)。

授賞式は2024年11月10日に、各国大使、総領事をはじめ、国内外から多くの招待者を招いて国立京都国際会館で行われ、受賞者に京都賞(メダル、ディプロマ、賞金)が贈られた。さらに晩餐会と記念講演会が京都で開催されたほか、東京においても記念講演会が開催された。また、米国及び英国においても関連行事が開催される予定である。

GeoSciAI2024 を人工知能学会との共催で開催

GeoSciAI2024 ワーキンググループ(*)

2024 年のノーベル物理学賞と化学賞は、いずれも人工知能に関連した研究の受賞に決定したことは記憶に新しい。人工知能を用いて科学研究に革

新をもたらそうとする取り組み“AI for Science”の大波が到来していることは、JpGUにおいても人工知能に関連した多くのセッションが提案され盛り上がりを見せ

ていることから明らかである。このような趨勢を受け、JpGU2024年大会において、地球惑星科学分野データを用いたAIモデル作成コンテスト GeoSciAI2024を人工知

能学会との共催により初めて開催した。

初年度は宇宙分野から「太陽観測データからの太陽フレア発生予測」、地震分野から「地震観測データからの地震波検測」、気象分野から「台風の24時間後の最大風速を予測しよう」の3課題が出題され、延べ24件の応募があった。これらの3分野の研究者だけでなく、人工知能の研究者や民間企業関係者、さらには学生など、非常に幅広い方々からの応募があった。

課題ごとに出題者、地球科学3分野の研究者、人工知能の研究者の3名からなる審査委員会を編成して厳正な審査を実施し、最優秀賞1件、優秀賞2件、特別賞（日本地球惑星科学連合賞、人工知能学会賞各1件）、学生賞1件を選出した。大会初日（5/26（日））の昼休みに表彰式を行ったほか、各応募者から提出されたAIモデルに関するポスターを掲示した。また、浜松で開催された2024年度人工知能学会全国大会（第38回）においてもGeoSciAI2024の結果を報告した。

加えて、ユニオンセッションU-12「人工知能が拓く地球惑星科学の将来」をGeoSciAI2024表彰式に先立ち開催した。

本セッションは4件の招待講演で構成された。まず人工知能分野の研究者である横矢直人先生（東京大学）に、Beyond the Horizon: Advancing Earth Observation with Deep Learning というタイトルで地球観測データに人工知能技術を様々な角度から活用された研究についてご紹介いただいた後、地震、気象、宇宙天気各分野において人工知能を活用した研究を推進されている先生方にご講演いただいた。日曜日の朝にも関わらず、会場の席がほぼ満席になるほどの方に聴講いただき、活発な質疑応答が行われた。

GeoSciAI と ユニオンセッションの開催は、2025年度以降も分野の拡大を検討しつつ引き続き行っていく予定である。人工知能研究は非常に進展が早く、地球惑星科学分野の研究者がそれを迅速にキャッチアップするためには、人工知能の専門家との協働を進めるための場を設けることが、地球惑星科学分野におけるAI4Scienceの推進に

肝要である。そのような協働のきっかけとして、今後も GeoSciAI を活用していきたい。より多くの分野からの出題も歓迎しているのでWGメンバーまで問い合わせさせていただけると幸いである。また、最先端の人工知能研究とそれを活用した地球科学研究の一端を垣間見る機会として、上述のユニオンセッションをぜひご聴講いただきたい。GeoSciAI2025の開催については、今後のJpGUのメールニュースやWebにぜひご注目いただきたい。



GeoSciAI2024の受賞者の皆さん

* 飯田佑輔（新潟大）、長尾大道（東大地震研）、中野満寿男（海洋研究開発機構）、高橋幸弘（北大）

とめ

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く」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く
とめ 株式会社とめ研究所
URL : <https://www.tome.jp>

第17回国際地学オリンピック・北京大会を終えて

NPO 法人 地学オリンピック日本委員会 事務局長 澤口 隆 (東洋大学)

第17回国際地学オリンピック (IESO) が8月8日～16日の期間に中国・北京で開催され、30ヶ国・地域から116名の代表選手が参加しました。日本チームは、代表生徒4名、ゲスト生徒2名、メンター、オブザーバーらが参加しました。大会では、筆記試験と実技試験が実施されました。筆記試験では、地質学の基本的な問題のほか、気候変動や東アジアモンスーンの歴史、全球凍結時の地球システム、化石燃料資源、太陽と惑星、などが選択式問題として出題されました。また、実技試験では、北中国地塊のカンブリア紀～オルドビス紀の地層の観察や堆積環境の推定などが出題されました。

日本チームの代表生徒は、金メダル2名、銀メダル2名という優秀な成績を残すことができました。ゲスト生徒として参加した2名も銀メダル相当の成績をおさめました。

また、各国から参加した生徒で国際混成チームを結成し、現地での野外調査の結果を発表する“International Team Field Investigation (ITFI)”も実施されました。テーマとしては、レス堆積物から気候変動を読み取る研究、永定河 (Yongding River) の洪水堆積物、雁栖湖 (Yanqi Lake) の水質調査、などの研究結果が発表されました。

同じく国際混成チームで取り組む調べ学習“Earth System Project (ESP)”では、地球と太陽系惑星の水循環や生命居住可能環境などの研究成果をポスターで発表しました。

大会終了後の8月20日に文部科学省を表敬訪問しました。盛山正仁文部科学大臣に結果を報告し、4名全員が文部科学大臣表彰を受けました。

来年の第18回国際地学オリンピック (IESO) の開催地は当初インドの予定でし

たが、現地でのメンター会議での話し合いの結果、あらためていくつかの候補地の中から近日中に決定され、公表されることになりました。

来年度に向けて、わが国の生徒が持っている優れた資質・能力を国際大会でいかに発揮できるよう、あらゆる面での皆様の一層のご協力をよろしくお願い申し上げます。



第17回国際地学オリンピック北京大会に臨んだ代表生徒

第20回国際地理オリンピック アイルランド大会 報告

国際地理オリンピック日本委員会 実行委員 新 友一郎 (兵庫県立加古川東高等学校)
田中 岳人 (同志社女子高等学校)

第20回国際地理オリンピック (iGeo) は、2024年8月19日～8月23日にアイルランドをホストカントリーとしてダブリン近郊で開催されました。アイルランド大会には46ヶ国・地域から183名の代表選手が参加しました。日本チームは、総受験生1,244名から一次～三次の国内予選を勝ち抜いた4名の代表生徒と、2名のチームリーダーの計6名体制で臨みました。試験は記述式テスト (Written Response Test)、フィールドワークエクササイズ (Fieldwork Exercise)、マルチメディアテスト (Multi Media Test) の3種類でした。

記述式テストは6つのテーマ (海洋プラスチック汚染、アマゾンの森林と生態系、ドバイのモンスーンと気象、周氷河地形と気候変動、オリンピックとサステナビリティ、都市の通勤モビリティ) からなり、

自然地理、人文地理からバランスよく出題されました。フィールドワークでは、開催地のメイヌース大学とその周辺 (メインストリートと駅) の地理的な特性やウェルネス、ウェルビーイングの観点からみた問題を分析・解釈し、それに対する改善策が問われました。記述式テストにおいてもアマゾンの森林減少によるウェルビーイングの観点からみた悪影響が問われており、今回はウェルネス、ウェルビーイングが強調された試験でした。

日本チームの成績は、2名が銅メダルを獲得しました (参加者183名中、金16名、銀32名、銅44名)。国別順位は46ヶ国・地域中28位という結果でした。

8月27日には、地理オリンピックに出場した日本代表選手4名は文部科学省を表敬訪問し、大会結果を報告するとともに盛山



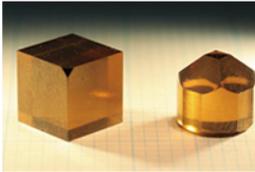
国際地理オリンピック日本代表選手

正仁文部科学大臣から文部科学大臣表彰及び文部科学大臣特別賞を受けました。

最後に、国内予選から強化研修まで多くの方々にご指導、ご支援をいただきました。この場をお借りして、厚く御礼申し上げます。なお、来年の第21回国際地理オリンピックはタイ・バンコクで開催が予定されています。

愛媛大学   先進超高压科学研究拠点
地球深部ダイナミクス研究センター

共同利用・共同研究拠点「先進超高压科学研究拠点」として、高压装置・分析機器や、超高压実験・数値計算技術、ナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）を用いた共同利用・共同研究を募集しています。




12月頃から2025年度の課題を募集します。
 以下のHPなどをご参照ください。
<https://www.grc.ehime-u.ac.jp>



Contributing to the future through the space domain
 宇宙領域を通して、未来へ貢献する

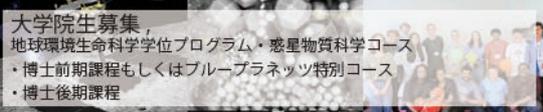
[[Visit our website!]]



共同利用研究公募、国内外の地球惑星科学関連分野の研究者を対象とした共同利用研究制度

三朝国際学生インターンシッププログラム (MISIP) 意欲ある学部3・4年生および大学院修士課程1・2年生を対象として、惑星物質研究所において実際に行われている研究プロジェクト

大学院生募集、地球環境生命科学学位プログラム・惑星物質科学コース
 ・博士前期課程もしくはブループラネット特別コース
 ・博士後期課程



 国立大学法人 岡山大学 惑星物質研究所
 Institute for Planetary Materials

 **いつも、いつまでもこの町にエネルギー**

この町に清らかな笑顔と活気。この、かけがえない暮らしをずっとずっと守り続けるために。私たちは地域に根ざした企業として、エネルギーを安定してお届けしています。

JAPEX
 石油資源開発株式会社
<https://www.japex.co.jp>

必要なエネルギーを、必要な人へ。



研究者向け GNSS 受信機

GEM-5

位置情報の取得、地殻変動観測

- ✓ 低消費電力・防水防塵対応
- ✓ 高精度位置データ

リクルート情報

ENABLER では、地球科学出身者が多く活躍しています！大卒・院卒問わず、お気軽にお問い合わせください。インターンシップのご希望も受付けております。

 **自社開発製品**

 **イネーブラー株式会社**
www.enabler.co.jp

AORI・JAMSTEC 共催

「海と地球のシンポジウム 2024」
 2025年3月12日～13日に開催決定！

 **フォトコンテスト同時開催！**

 参加登録受付中 /



↓↓↓ SNS X 情報配信中 ↓↓↓

 @Fleet_JAMSTEC 

 @Chikyuu_JAMSTEC 

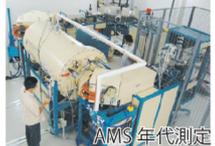
JAMSTEC 国立研究開発法人 海洋研究開発機構
 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

研究プラットフォーム 運用部門

株式会社 **パレオ・ラボ**
 Paleo Labo Co., Ltd.

遺跡出土遺物および堆積物の自然科学分析を行います

- 年代測定および推定法
- 遺物の材質および技法
- 遺物の産地推定
- 生業に関わる方法
- 古環境復元

 AMS年代測定

 遺物の分析 微化石分析

本社 048-446-2345
 〒335-0016 埼玉県戸田市下前1-13-22リブネスモア戸田公園1F

東海支店 058-391-0881
 〒501-6264 岐阜県羽島市小瀬町島5-62

大阪営業所 06-6170-5727
 〒564-0073 大阪府吹田市山手町2-8-46

AMS年代測定施設 0277-96-2088
 〒376-0144 群馬県桐生市黒保根町下田沢1900-65

<https://www.paleolabo.jp>





赤祖父 俊一 (Syun-Ichi Akasofu)

International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks

専門分野 地球惑星科学, 太陽地球系物理学

Aurora through the ages

The aurora seems to be infinitely mysterious. When I thought I understood a little and wrote a paper on it, majestic auroral displays I saw outside my home reminded me how little I knew about the aurora. I have pondered its mysteries for 60 years.

1. Introduction

When I was a child, my mother used to sing me lullaby. The word aurora was in the lyrics.

Years later, when I became an undergraduate student of Tohoku University, I had a part-time job at the Onagawa Magnetic Observatory. My daily job was to change recording photographic papers of the instruments in a dark room and to develop the papers. Magnetic changes appeared as a moving spotlight on a photographic paper wrapped around a cylinder that rotated once a day. The only thing I could see in the dark room was a slowly moving point of light on the recording paper. I was fascinated by delicate movements of the spotlight on the recording paper. The observatory manager told me that aurora in Alaska or Siberia caused some of those movements.

I wondered about the *magic hand* (not knowing about magnetic fields) with the ability to move the spot in my darkened room from such great distance. I decided at that moment to study the aurora.

However, I was not sure what exactly I could do to study the aurora at that time. During my graduate student days, I was told that I should “read Sydney Chapman’s paper.” I tried, but found it very difficult to comprehend.

Since I was determined to study the aurora, I prepared a letter to the Chapman in which I asked him ten questions. I knew that Chapman was at Oxford University and the greatest authority in this field. As I pondered

this, I hesitated to send the letter I wrote.

About one year later, I learned that Chapman spent a few months every year at the Geophysical Institute of University of Alaska in Fairbanks. The Geophysical Institute was only place in the world (at that period), where I could study the aurora.

I dialed up my courage and sent the letter to Chapman in Alaska in April of 1958. I did not expect a reply.

To my great surprise, just a few weeks later, I received a return letter from him, as well as a check (for travel). He said I should consider studying my questions in Alaska, with him as my mentor!

I arrived at the University of Alaska Fairbanks on December 13, 1958.

2. Main phase of geomagnetic storms

At that time, Chapman was working on the *main phase* of geomagnetic storms and the ring current that produces it. He told me that he had been working on the problem since 1931. Then, he had explained the arrival of solar gas at Earth, also known as sudden storm commencement. He suggested to me that my task was a study of the main phase of geomagnetic storms after the arrival of the solar gas.

I told him that I did not know enough about geomagnetic storms and their main phase; I wanted to learn about storm-time magnetograms before studying the suggested problem.

After examining a large number of geomagnetic storm records, I found that geomagnetic storms develop in a great variety of ways (such as a large sudden storm commencement, but no main phase; a large main phase without sudden storm commencement, and many others between). I found that geomagnetic storms do not develop in the standard way as was

generally considered.

I was very confused by the great variety of development of geomagnetic storms. Finally, I thought that *there must be an unknown factor* that caused the main phase. After much discussion, Chapman agreed with the presence of the unknown factor, but I was told by many people during the American Geophysical Union meetings that my inference was completely nonsense.

It was about that time when Gene Parker introduced the term solar wind. Jim Dungey suggested correctly that my “*unknown*” factor is the southward component of the magnetic field brought by the solar gas, namely the IMF (-Bz).

Later, Chapman and I, together with many others, found that several *auroral substorms* occur during the main phase. We did not know how they were related.

3. Auroral oval, not the auroral zone

Independent of the main phase problem, I began to observe the aurora as soon as I arrived in Fairbanks. Since Fairbanks is located in the auroral zone, I thought I could observe the aurora as soon as the darkness set in.

I found that the aurora appears almost always in the northern sky in the early evening and moves toward Fairbanks as the evening progresses and then goes back to the northern sky in the morning. I was told by the Geophysical Institute director that it had long been believed that the auroral arcs (curtain-like forms) formed at the center line of the auroral zone, 67° in geomagnetic latitude, and then moved southward after they were formed.

I examined all-sky images at Fort Yukon (67°, the center line of the auroral zone) and found that the arcs also appear first in the northern sky. Even at Utqiagvik

(the former Barrow, at 70°, the northern edge of the auroral zone), the arcs also appear first in the northern sky. I thought that something was wrong about the well-established classical auroral zone.

Then, I found a paper by Yasha Feldstein on the *auroral oval* (not the ring-shaped auroral zone) in 1963. Since his auroral oval clarified my question, I wrote to Feldstein that I agreed with his results. Then, he wrote me back, mentioning his great difficulty in convincing his colleagues about the auroral oval. I found also myself that it was so difficult to convince my colleagues on the concept of auroral oval.

I set up a meridian chain of all-sky cameras between Fairbanks and Thule, Greenland (located close to the geomagnetic pole), which can scan the polar sky once a day like an azimuth scan radar at an airport. The results were very clear in proving the auroral oval, but those results did not seem to convince many colleagues. It was 1972, when a Canadian satellite provided the first image of the auroral oval. It took nine years to convince them after intense controversies. After all, it is not that the aurora moved southward shift, but we rotate under the oval.

4. Auroral substorms

I noted also that the aurora is not quietly sitting in the sky. It shows an explosive display or two in one night, lasting about two hours or so, covering the whole sky in a matter of a few minutes.

At that time, it had long been thought that auroras were relatively quiet (quiet arcs) in evening hours, active in midnight hours (violent arc motions) and became patchy (disintegration of arcs, often referred to as “break-up” of auroral arcs). Thus, it had been thought that the earth and an observer on it rotate under such a pattern in the sky once a day.

However, I found that the “quiet-active-break-up” pattern can occur twice or even three times on active days. Since the earth does not rotate three times a night (momentarily, I thought), I decided to examine *simultaneous* Siberian (in the evening) and Canadian (in the morning) films, when auroras over Fairbanks (at midnight) became active. I was simply interested in auroral displays over the whole polar sky because I was curious.

The IGY all-sky camera network made this work possible. Chapman was responsible for establishing the IGY network and was very happy to see my results. He suggested the term ‘*auroral substorm*’ for the phenomenon.

I submitted my first substorm paper to Journal of Geophysical Research, but it was rejected. I sent it on to Planetary Space Science, and it was fortunately accepted. The reason for the rejection was highlighted by a friend of mine, who said, “The aurora over Alaska and other places is the same. Why do you want to waste time examining auroras in other locations?”

It was not easy to convince others of the concept of auroral substorms, because no one had a chance to observe the aurora from well above the north pole.

Both NASA and US Air Force gave me many opportunities to fly what we called “constant local time flights” from the East Coast of the U.S. to Fairbanks. Those flights allowed us to stay in the midnight sector for six hours, and to prove that substorms can occur twice a night.

Finally, the real chance of the confirmation of the concept of auroral substorms came. A series of satellite images of the development of an auroral substorm from high above the north polar region was successfully obtained by Lou A. Frank at the University of Iowa in 1982.

Thus, it took 18 years to confirm my all-sky camera analysis by a satellite after the publication of my first paper in 1964.

I was just interested in auroral displays over the whole polar sky in order to fulfill my curiosity and interest. I had no idea that I opened a new branch of auroral research at that time. On the other hand, this concept is now 60 years old, and someone will perhaps propose a new concept soon. I do not want to see that my concept will become a solid paradigm, which hinders the progress in auroral research.

5. Cause of auroral substorms and the main phase

When I began to consider the cause of auroral substorms, it was the period when magnetohydrodynamics and theories of magnetic reconnection were extremely popular. Researchers thought that magnetic reconnection was the universal source of energy for all astrophysical phenomena, including substorms.

It so happened that I had the first chance to meet Hannes Alfvén in 1967. Even as early as then, he was recognizing the limitation of magnetohydrodynamics for application to space physics. He emphasized this limitation in several papers, but most people did not want to listen to him. He suggested that I should take *the electric current approach*, instead of the magnetic field line approach.

In order to take the electric current approach, however, it is necessary to consider a dynamo process as power supply, current/circuit and dissipation (substorm phenomena). In order to consider the power supply, it is necessary to interpret the solar wind-magnetosphere interaction as a dynamo and prove it.

Further, it is necessary to monitor continuously the development of substorms at a ‘single’ point in the magnetosphere; we chose the ionosphere as the single point. However, for this purpose, we had to establish six meridian chains of magnetometers. With an international group, the network was completed. Yosuke Kamide joined me as a postdoc and completed this vast task of determining the electric current distribution. His work provided us to determine for the first time how much an auroral substorm consumes the energy as the Joule heat (about 90 % of the total consumption); even now, this is the only way to determine it.

The analysis of the electric current allowed us to infer that the ionospheric current is not capable of flowing (initial low conductive) during the growth phase, and thus the power/energy is accumulated in the *inner* magnetosphere. It seems that there occurs a sequence of interesting processes, which results in the sudden release of the accumulated energy.

As Alfvén pointed out, the field-aligned part develops the *double layer*, accelerating magnetospheric electrons to 10 keV. Without the double layer, we would not recognize the great electrical discharge in the magnetosphere and the aurora.

Further, it is this double layer that accelerates O⁺ ions upward in the ionosphere. O⁺ ions become ring current particles for the main phase of geomagnetic storms. Thus, the substorm study could solve partly one of the Chapman’s problems, the origin of the ring current particles. There

are many processes in the sequence of the dynamo to the dissipation, which require so much more detailed studies.

6. Solar flares

From the point of view of auroral substorms, solar flares are basically very similar to auroral substorms in spite of the

fact that there is 1010 difference in terms of the power involved. It is possible to consider a sequence of process beginning from a photospheric dynamo, not unknown processes below the photosphere and magnetic reconnection. Further, solar physicists and magnetospheric physicists have to work together the magnetic

configuration of CMEs and IMF (-Bz).

7. Acknowledgments

I would like to thank all of my colleagues, regardless of agreements and disagreements, who have tirelessly worked on substorms.



西田 篤弘

宇宙科学研究所 元所長

専門分野 宇宙空間物理学

地球磁場の研究を振り返る

この度は、“特別荣誉フェロー”に選出いただきまして恐縮しております。私は良き師に恵まれ、多くの素晴らしい仲間と仕事を共にすることができました。心から感謝しております。

私が地球の物理に興味をもったきっかけは、永田武先生の書かれた地震や火山の本を中学生の頃読んだことでした。大学生だった1957年にスプートニク（世界初の人工衛星）が上がり、宇宙空間磁場の研究を極めたいと思うようになりました。東大院生の時、永田先生にカナダに行く気はないかと聞かれてカナダにわたり、ブリティッシュコロンビア大学（UBC）のJ. A. Jacobs先生のもとで勉強し博士号を授与されました。

その後、C. Hines先生のポスドクとしてシカゴ大学で一年半程仕事をしました。Hines先生という宇宙空間研究の流れを作った非常に優れた研究者の警咳に接することができたことで、研究者としての基礎を築くことが出来たと思っています。

やがて、私の興味は磁気圏全体のダイナミクスと、それがどうして発生するのかということに発展していきました。太陽風の流速や密度が変化するとき磁気圏のスケールがどのように変わるか、太陽風の流速などが変わるのとはなぜかについて研究をしました。その頃の主なテーマは磁気圏プラズマの大規模な対流運動で、その発生機構と惑星間空間磁場による制御、磁気圏内部構造への影響、磁力線リコネクション（磁力線のつなぎ換え）の役割などについて論文を発表しました。

1980年になると、アメリカは4基の衛星を使って地球周辺の空間を組織的に探査するという研究を企画しました。OPEN (Origin of Plasmas in the Earth's Neighborhood) といいます。

一方、日本はその頃までに宇宙工学（ロケットの打ち上げ）の能力が国際水準に達し、いくつかの衛星も打ち上げていました。私は磁気圏尾部“Geotail”における磁気リコネクション過程の研究（尾部リコネクションは磁気圏ダイナミクスの要をなす重要な過程）を日本でしたいと思い、やはり1980年頃から企画検討を始めました。

ところが、1983年になってNASAの代表者がアメリカと宇宙研の計画の統合を提案してきました。彼らによると、4基の打ち上げは費用がかかり過ぎるので、日本とアメリカの計画を統合して“打ち上げはNASA、衛星は宇宙研、観測計器は共同開発”しようとなりました。日本側の目的を取り入れ磁気圏尾部の全般的な研究を行うミッションということになり、同時にESAも参加してOPEN計画は再編成され、ISTP“International Solar Terrestrial Physics”計画となりました。

1992年7月24日にGeotailは打ちあげられました。一か月後にプラズマ計測装置（LEP）で問題が発生し、月の裏側まで衛星をもって行って再起動させるなど最初は大変でしたが、LEP回復後の活躍はたいしたもの、Geotail衛星からは優れた研究が多数うまれました。LEPがイオンや電子の速度分布関数を高い時間分解能で測定したので、磁気リコネクションがおきる

場所でプラズマがどのように加速されるかが分かったこと、そのほかマクロな振る舞いを流体として観測しただけでは知ることのできない宇宙空間プラズマの基本的な挙動をいくつも明らかにすることができました。

観測成果は国際的に高く評価されました。理由の一つは、軌道設計です。磁気圏尾部を全体的に探査し、なかでも磁力線リコネクションというメカニズムを詳しく観測するという目的に即して、まず地球の半径の220倍の距離まで届く軌道を取り、次に地球半径の20～30倍の距離に遠地点をおろしてリコネクション領域を何度も通過しました。同時に近地点は地球半径の10倍の距離において太陽風と磁気圏の境界面をしらべました。二つ目の理由は搭載した観測装置が優れていたことです。電場、磁場、プラズマ、波動、高エネルギー粒子について高精度、高分解能のデータを取得しました。第三の理由は観測データを全面的に公開し、世界中の研究者が利用できるようにしたこと。これらの長所の背景には衛星本体と軌道制御、さらにデータ処理等、学会と産業界の広範な技術力がありました。

NASAとの関係は、損害賠償請求権放棄など面倒なこともありましたが、技術的学術面における協力は大変スムーズでした。長いあいだの仕事を通して築き上げた信頼関係があったからだと思います。

これからも、多くの人に宇宙空間に興味をもってもらい、若い人には、研究を深めてもらうことを心から願い応援しています。

「はやぶさ2」は何を持ち帰ったのか —リュウグウの石の声を聴く

橘 省吾 著
岩波書店
2024年2月, 150p.
価格 1,500円 (本体価格)
ISBN 978-4-00-029724-0



国立天文台 渡部 潤一

サイエンス・ドキュメンタリーとしての 「はやぶさ2」を描く傑作

ドキュメンタリーの一分野としてサイエンス・ドキュメンタリーというのが成り立つのではないかとしばしば思うことがある。実際、NHKでは70年代、いまでは伝説となった「科学ドキュメント」なるシリーズが放映されたことがあるが、現在はそれほどポピュラーではないのがごく残念である。最近では「はやぶさ」初号機のドキュメンタリーが相当数作られ、商業映画にもなって社会現象にもなったのは幸いだったにしても、その内容は、どちらかというとヒューマン・ドキュメンタリーであって、科学の面白さを正面切って伝えるドキュメンタリーにはなっていないかったのは、いささか残念であった。

(実際に困難が全くなかったわけではないものの)「はやぶさ2」があまりにも順調に進んでいくように見えていたことから、ある報道関係者からは「物足りない」という感想さえ聞こえてきたことがあり、個人的には少し反論も言いたいところではあったが、それでも報道関係者が注目してくれているのは、われわれの科学コミュニティ

にとっては何よりである。そして、その研究成果が出る度に、プレスリリースが行われ、それを忠実にたどった記事が世に問われることは嬉しい。

では、研究者が、その成果を文字に起こせば、そのままサイエンス・ドキュメンタリーになるかというところは問屋が卸さない。多くの成果発表は単発の論文あるいは複数の論文の組み合わせで行われることが多い。主体となっている研究者や研究グループが集中して最先端の世界を生み出しているために、専門性が高いだけでなく、しばしば他の研究とのつながりや、これまでの研究の流れの中での位置づけが明確でなく、全体像が見えないまま、極めて狭い分野の成果に集中してしまいがちだからだ。その分野全体がまだどんな流れにあり、その中での成果の核心たる部分の位置づけを意識した、きわめてよいプレスリリースも増えつつあるものの、これだけ注目度が高く、リリース数も多いと、特に一般の方々には散発的な記事を追うだけでは、訳がわからなくなることもしばしばだ。

全体の大局的な流れの中で豊富な研究の進展を平易に解説してもらえないだ

ろうか、と思っているところに現れたのが、本書『「はやぶさ2」は何を持ち帰ったのか』である。副題はリュウグウの石の声を聴くであり、筆者は「西遊記」で三蔵法師が持ち帰った仏教経典に喩えている。小さな小さなサンプルが、いかに雄弁に物語を語っているか、そしてそういった最先端の成果が、太陽系の誕生の様子や生命の起源といった大きなテーマにどのようなアプローチで、どの程度迫っているのかを大局観を持って浮かび上がらせている。読み進むほど研究者のわくわく感が真に迫ってきて、良質のサイエンス・ドキュメンタリーであるといっても決して過言ではない。

個人的には、各所に現れる文学からの引用にも惹かれるものがある。太宰治の「お伽草子」での竜宮城と実際の小惑星リュウグウの比較はもちろんだが、鉱物学的な研究紹介の中で触れられるモーリス・ルブランの「アルセーヌ・ルパン」シリーズの一作「奇巖城」や、宮沢賢治の「樺ノ木大学の野宿」など、文学に描かれる種々の岩石鉱物を取り上げながら筆を進めていくところは、著者独特の広い見識のなせる業であり、研究の面白さを伝えようとする熱意を感じさせるものだ。

さっそく、忙しいのを承知で、私が主宰する国立天文台の太陽系小天体セミナーに著者をゲストとしてお願いし、最新の知見を分野外のわれわれにもわかりやすく紹介いただいた。もちろん、セミナーのメンバーにとって、これほどまとまって「はやぶさ2」の成果を知ることができたのは初めてであった。真摯に石の声を聴こうとする著者は、その声の意味を知り、それを伝えることにおいても、まことに真摯であったことを最後に付記しておこう。

「はやぶさ2」は 橘 省吾 何を持ち帰ったのか —リュウグウの石の声を聴く—

小惑星探査機「はやぶさ2」が持ち帰ったリュウグウの石は様々なことを語る。リュウグウと太陽系の歴史。海や生命の材料のありか。持ち帰られた試料の初期分析を統括した著者が、試料分析の成果を語る。

岩波
科学ライブラリー
B6判 定価1650円



岩波書店



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

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なります。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.jpгу.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@jpгу.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.jpгу.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.jpгу.org/publications/jgl/>



2025年 1月16日 投稿受付開始

2月18日 17:00 投稿締切
(早期締切 2月6日 23:59)

開催セッションリスト公開
2024年12月6日

みなさまからのご投稿をお待ちしております！！

JpGU2025 2025年5月25日~30日
千葉県幕張メッセ & オンライン

https://www.jpгу.org/meeting_j2025/



JGL
Japan Geoscience Letters

日本地球惑星科学連合ニュースレター

日本地球惑星科学連合ニュースレター Vol.20, No.4

発行日：2024年11月1日

発行所：公益社団法人日本地球惑星科学連合
〒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
Email office@jpгу.org
URL <https://www.jpгу.org/>

編集者：広報普及委員会
編集責任 東宮 昭彦
編集幹事 橘 省吾
デザイン：(株)スタジオエル
<https://www.studio-net.co.jp/>
印刷所：株式会社 AC サポート

