



TOPICS

中低緯度の大気海洋相互作用	1
地球内部での水収支と海を持続的な存在	3
幕張メッセでプラタモリセッション	6

NEWS

JpGU-AGU Joint Meeting 2020 お知らせ	9
今年度の寄附の御願い	9
ユニオンセッション報告	10
第13回国際地学オリンピック報告	12
第16回国際地理オリンピック報告	12

SPECIAL

フェロー授賞記念特集	13
------------	----

INFORMATION

	16
--	----

TOPICS 大気海洋科学

中低緯度の大気海洋相互作用

東京大学 大学院理学系研究科 東塚 知己

大気と海洋は、相互に影響を与え合い、気候変動において重要な役割を果たしている。本稿では、特に、大気海洋相互作用が成長に重要な役割を果たす低緯度のエルニーニョ・南方振動現象と中緯度の水温前線域で生じる大気海洋相互作用に焦点を当てて解説する。また、大気海洋相互作用の研究の今後の展望についても簡潔に述べる。

大気海洋相互作用とは

大気が、風応力や熱・淡水フラックスを通して、海洋に大きな影響を与えている一方で、海洋は、大気重要な駆動源となる水蒸気を供給するだけでなく、海面における熱フラックスなどを通して大気に影響を与えている。このようにして、大気と海洋は、相互に影響を与え合っており、その影響が、お互いの微小な擾乱を増幅させる方向に働くことがある。大気海洋相互作用は、気候変動において重要な役割を果たしており、以下では、そのなかでもとくに低緯度から中緯度にかけての大気海洋相互作用に焦点を当てたい。

熱帯域の大気海洋相互作用

この大気海洋相互作用が重要な役割を果たしている現象として最も顕著な例が、エルニーニョ・南方振動現象である（渡部・木本編，2013）。発生海域の熱帯域だけでなく、日本を含む中高緯度にも大気のテレコネクションを通して影響を与えるため、広く研究されており、予測に向けた取り組みも国際的におこなわれている。この現象も、1960年代までは、熱帯域の大気現象としての南方振動現象（太平洋熱帯域の海面気圧

がシーソーのように東西で変動する）と海洋現象としてのエルニーニョ現象（東太平洋赤道域の海水温度が平年よりも暖くなる）が、別々の現象であると考えられていた。しかし、その後、ビヒャークネス・フィードバックと呼ばれる大規模な大気海洋相互作用により結びついた1つの現象であるということが広く認識されるようになった。

このビヒャークネス・フィードバックについて、エルニーニョ現象の逆で、東太平洋赤道域の海面水温が平年よりも低くなるラニーニャ現象を例にとって説明する。太平洋赤道域では、通常、東風の貿易風が吹いており、地球の自転の効果が小さい赤道域では、表層の暖かい海水が、風の進行方向と同じ西へと吹き寄せられている。その結果、西太平

洋の方が、表層の暖かい海水の層が厚く、下からの冷たい海水の湧昇が妨げられるため、海面水温も高くなり、積雲対流活動も活発になる。ここで、何らかの原因で、東風の貿易風が強まると、より多くの表層の暖かい海水が西へと吹き寄せられ、冷たい海水の湧昇がさらに妨げられるため、西太平洋の海面水温がさらに高くなり、積雲対流活動もより活発になる。一方、東太平洋では、下からの冷たい海水の湧昇がさらに促進されるため、海面水温がさらに低くなる。すると、より強く東風の貿易風が、西太平洋の方に吹き込むようになるため、西太平洋の海面水温はさらに高く、東太平洋の海面水温はさらに低くなっていく。このようにして、ラニーニャ現象は発達していく。

近年、太平洋熱帯域だけでなく、インド洋熱帯域でも同様の大気海洋相互作用により成長するインド洋ダイポールモード現象の存在が見出されるなど、熱帯域の大気海洋相互作用に関する研究が、発展してきた。

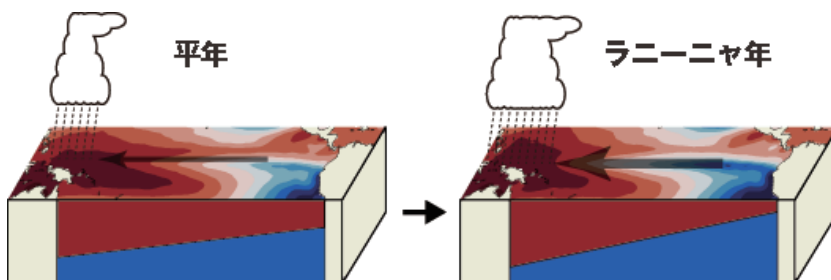


図1 平年とラニーニャ年の模式図。

中緯度の大気海洋相互作用

海面水温が約 28 度を超えるような海域で、積雲対流活動が活発になることが知られているが、中緯度では、熱帯に比べて海面水温が低く、夏季の一部海域を除き、この閾値を超えることはない。また、多くの海域で、海面水温の変動が大気からの熱フラックスによって説明できるように見えたため、従来、中緯度では、海洋が大気に対して受動的で、海洋が大気を強制する効果は小さく、大気海洋相互作用は弱いと考えられてきた。しかし、高解像度の観測が可能な人工衛星や超高解像度シミュレーションが発

展する中、黒潮や親潮に代表される西岸境界流（風によって駆動される海洋循環は海盆の西側に強い海流を伴う）やその続流に伴う水温前線域が、活発な大気海洋相互作用が生じる海域として世界的に脚光を浴びようになってきた。

たとえば、日本東方海域の黒潮主流域の海洋水温前線（図 2a; 黒潮によって運ばれてきた熱帯からの暖かい海水と親潮によって運ばれてきた亜寒帯からの冷たい海水が合流するため、南北方向の水温変化が大きくなる）は、日本周辺における高低気圧の発達速度に影響を与えるだけでなく、北太平洋周辺諸国の長期気候変動に大きな影響力を持

つ太平洋十年規模気候変動や海洋生態系にも大きな影響を与えることが知られている。この海域では、海面熱フラックスの分布（図 2b）だけ見ると、水温前線の南側の暖かい海域の方が、より多くの熱が大気に放出されているため、より強く冷やされるように思われる。このため、海面熱フラックスの効果は、水温前線を弱める方向に働いていると考えられてきた。しかし、海面水温がどのくらい冷やされるのかは、海面から放出される熱の大きさのみに依存するわけではなく、大気との熱のやり取りを行う混合層（海洋の表層に存在する密度がほぼ一様の層）の厚さにも依存する（図 2c）。実際、筆者の研究で、この水温前線の季節的な強化・緩和過程において、混合層厚を考慮することが重要であることを初めて指摘した（Tozuka *et al.*, 2016）。具体的には、混合層厚が水温前線の南北で大きく異なることに着目し、詳細な熱収支解析を行った結果、水温前線の南側では、混合層が厚く、海面での冷却に鈍感であるのに対し、水温前線の北側では、混合層が薄く、海面での冷却に敏感であるために、海面熱フラックスの効果は、水温前線を更に強める方向に働くことが示された。

季節変動については、既に理解されていると思われるが。しかし、上述したように、いまだに季節変動に関しても定説とされていることが必ずしも正しくないことが多々ある。季節変動は、数年スケールの気候変動においても重要な役割を果たすことが知られており、季節変動を正確に理解することは、数年スケールやさらに長期の気候変動の理解を深める上でも鍵を握ると考えられる。

今後の展望

本稿で紹介した大気海洋相互作用の研究の重要性は、今後もますます増していくと考えている。たとえば、地球温暖化に伴う気候変化の下で、大気海洋相互作用がどのように変化していくのかは、大変興味深い。海の温暖化に伴い、海面から海底まで一様に温暖化するわけではなく、表層海洋の方が早く温暖化し、表層海洋の成層が強化されることが予想されている。一方で、大気の方は、大気中の水蒸気量が増大するとともに、対流圏の成層が弱まることが予想されている。このような変化の下で、大気海洋相互作用がどのように変化していくのかは、決して自明ではない。実際に、大気海洋相互作用現象の代表例であるエルニーニョ・南方振動現象の振幅が、地球温暖化下でどのように変化するかについては、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第 5 次評価報告書で用いられた大気海洋結合モデルでも、モデル間のばらつきが大きい。この不確

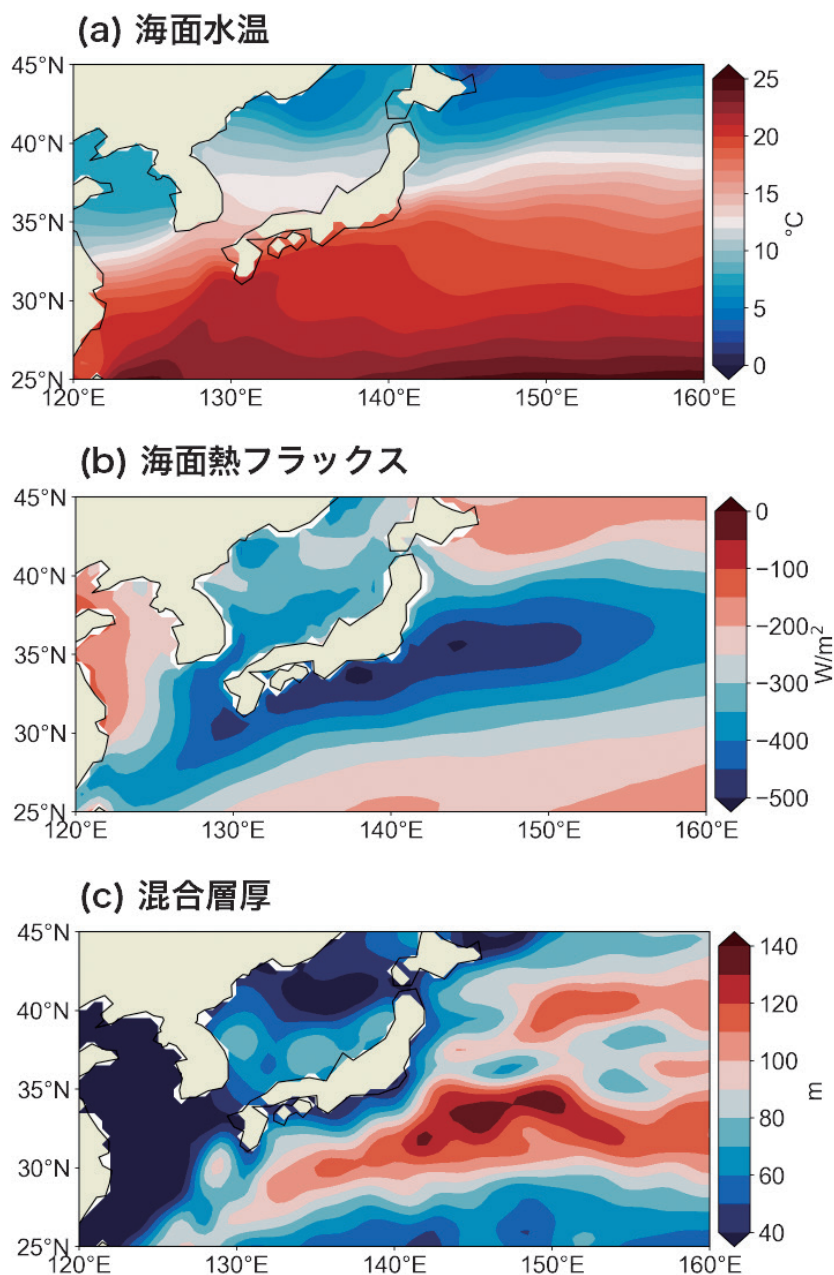


図 2 1 月の平均的な (a) 海面水温, (b) 海面熱フラックス, (c) 混合層厚。

実性を軽減するためには、とりわけ再現が難しい大気の積雲とそれに伴う対流や海洋表層の混合過程のシミュレーション等の高精度化が求められる。また、エルニーニョ・南方振動現象のメカニズムの理解や予測において重要な役割を果たしてきた熱帯域の観測網の維持が、予算削減などの影響を受け、現在大きな岐路に立たされている。気候が変化していく中で大気海洋相互作用の研究の基盤となる観測網の存続が強く求められる。

オーストラリア西岸沖のニンガルー・ニーニョ現象、カリフォルニア沖のカリフォルニア・ニーニョ現象、アフリカのダカール沖のダカール・ニーニョ現象等、海盆の東岸に発生するエルニーニョ現象とよく似た沿岸ニーニョ現象が近年、次々と見出されている。沿岸域では、岸が、地球の自転の効果の符号が反転する赤道と同じ役割を果たすため、エルニーニョ・南方振動現象に伴う大気海洋相互作用と類似した大気海洋相互作用が、これらの沿岸ニーニョ現象の成長において重要な役割を果たしていることが最近、明らかになってきた (Kataoka *et al.*, 2014)。これらの現象は、沿岸域の気候に影響を与えるだけでなく、亜熱帯高気圧の東の縁の

赤道向きの風によって引き起こされる沿岸湧昇が供給する豊富な栄養分により維持されている豊かな生態系に、大きな影響を与えることもあるため、近年、注目を集めている。

一方、本稿後半で紹介した中緯度の大気海洋相互作用に関する研究は、熱帯域の大気海洋相互作用に関する研究に比べると遅れを取っていたが、今後、次世代のスーパーコンピュータを駆使した超高解像度の大気海洋シミュレーションや新しい衛星観測の運用開始により、中緯度の大気海洋相互作用に関する研究もますます進展していくことが期待される。また、国内でも、今年度から新学術領域研究『変わりゆく気候系における中緯度大気海洋相互作用 hotspot』がスタートし、当該分野の研究が大きく発展していくことが期待される。



著者紹介 東塚 知己 Tomoki Tozuka

東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 准教授

専門分野：海洋物理学、気候力学。主に海洋物理学の視点から、熱帯域から中緯度にかけて発生する様々な気候変動現象とその成長に寄与する大気海洋相互作用過程や予測可能性に関する研究を行なっている。

略歴：東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程修了、博士（理学）。東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻特任研究員、助教などを経て現職。日本海洋学会岡田賞、地球惑星科学振興西田賞。

—参考文献—

Kataoka *et al.* (2014) *Clim. Dyn.*, **43**, 1463-1482.

Tozuka *et al.* (2016) *Sci. Rep.*, **7**, 10258.

渡部雅浩・木本昌秀編 (2013) 気象研究ノート第 228 号「エルニーニョ・南方振動 (ENSO) 研究の現在」, 日本気象学会。

■一般向けの情報

鳥羽良明編 (1996) 大気・海洋の相互作用, 東京大学出版会。

TOPICS 固体地球科学

地球内部での水収支と海の持続的な存在

広島大学 大学院理学研究科 片山 郁夫

地球を特徴づける海は、地球史を通じてこれまで持続的に存在してきた。それは、負のフィードバック効果により海水量を一定に維持するメカニズムが働き、地球内部での水収支の釣り合いが取れてきたためとされる。しかし、現在は地球内部での水収支の均衡が崩れ、海水の量が減少しているとの報告がある。このままいくと、数億年後には地球表層から海が消滅する可能性も考えられる。海がいつまで存続することができるのか、より定量的な見積もりには、マントル掘削などによる海洋プレート全体の構造や状態の理解が必要不可欠である。

地球を特徴づける海が存在

宇宙から地球を眺めると青く輝いているといわれるが、それは地球の表面が海に覆われているからにほかならない。そのような海が存在が確認されているのは、今のところ地球だけであり、海が地球を地球たらしめていると言っても過言ではない。そして、海が存在によって、地球には多種多様な生命が誕生し進化したともいえる。そのため、地球外で生命を探そうとする人たちは、まず海が存在する可能性のある惑星（ハビタブル

プラネット）を探すことになる。そのような惑星はここ最近、数多く報告されるようになってきてはいるが、地球のような生命の宿る惑星が他にあるかどうかは定かでない。

海の持続的な存在

太陽系では、地球以外に火星でも海が存在した可能性が指摘されている。侵食地形や土壌に含まれる水和物によると、火星の形成初期には、深さ 1,600 m にも達する海が広がっていたと報告されている。しかし、いまの火星には大規模な海はなく、火

星に着陸した探査機があたりを見回してみても、乾燥した砂漠が延々と広がっているだけである。そのため、火星では海が消滅する何らかのメカニズムが働いたはずだが、その仕組みについてはまだよくわかっていない。

一方で、地球では約 40 億年前に海が誕生して以降、継続して海が存在してきた。地球の歴史のなかでは、地球全土が氷で覆われたスノーボールアースの時代もあるが、そのときでさえ海がすべて凍ってしまったわけではなく、氷の下海水が消滅することはなかった。もし海がすべてなくなってしまっていたら、生命の系統はいったん途絶え、現在のような姿になることはなかっただろう。生命が誕生するだけでなく進化するには時間がかかるため、地球のような惑星になるには持続的なハビタビリティが不可欠である。

その持続性には、プレートテクトニクスが関わっているとされる。なぜなら、液体の水

が存在する条件を満たし続けるためには、気候を安定化する必要があり、プレートによる沈み込みと火山活動による脱ガスによって、大気中の二酸化炭素濃度がほぼ一定に保たれるしくみがあるからである。たとえば、金星では、プレートテクトニクスが働かないために、二酸化炭素を吸収できず、その温室効果によって水はすべて蒸発してしまい、海は存在できない。そして、海を持続的に存在させるのにもう一つ重要な働きをもつのは、地球内部での水の循環であり、それもプレートテクトニクスと関係している。

地球内部を循環する水とその収支

プレートテクトニクスによって、地球表層の物質は沈み込むプレートと一緒に地球の内部へ運び込まれる。それらの中には、先述

した二酸化炭素も含まれるし、水も例外ではない。水は、岩石の隙間や含水鉱物によって、地球内部へと運ばれる。しかし、地下で圧力や温度が増加することで、隙間にあった水は絞り出され、含水鉱物は不安定になって分解するなどして、沈み込むプレートから水が吐き出される。そのような水は、岩石の融点を下げて、マグマをつくり、一部の水はマグマと一緒に地表に戻る。このように水は地球内部でも循環している。そのため、地球表層での海水の量は、水を取り込んだプレートの沈み込みによる地球内部への流入量と、火山などの脱ガスによる地球内部からの流出量のバランスによって決まる(図1)。なお、さらに地球深部での水の循環については、大谷(2019)が本誌(JGL, Vol.15, No.1)で報告しているので、ご参照いただきたい。

地球で持続的に海が存在し続けたのは、

液体の水が安定的に存在できる表層環境に加えて、地球内部での水収支の釣り合いがほぼ保たれていたためでもある。そのメカニズムとしては、地球内部での水量が増えるとマントルの粘性が下がり、マグマ活動が活発になることで流出量が増えるなど、何らかの負のフィードバック効果が働いたとされるが、その詳細はまだよくわかっていない。しかし、この流入と流出の絶妙な均衡が維持されてきたこと、そして海が持続的に存在してきたことに、プレートテクトニクスが関わっていることは間違いないだろう。

現 在は海水が減少している？

この地球内部での水の収支について、現在は釣り合いが取れておらず、海水量が減少傾向にあるとの考えもある。丸山ほか(2003)は、地球の冷却によって、沈み

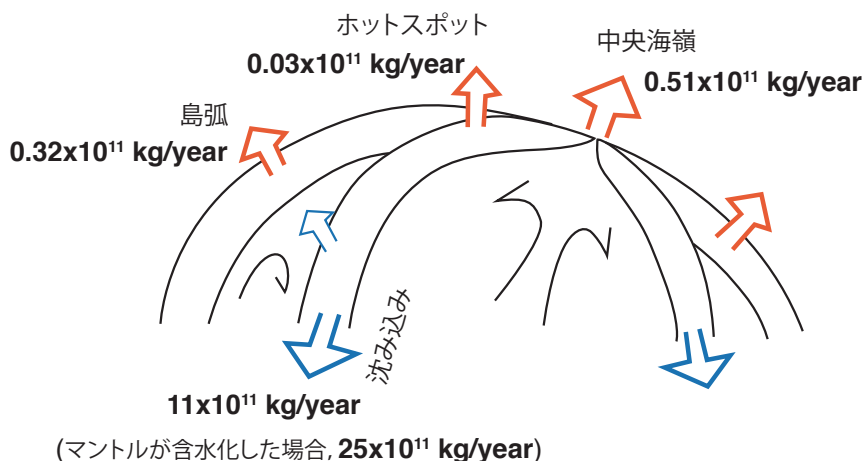


図1 地球内部での水収支。フラックスの値は丸山ほか(2003)を参照しているが、その見積もりには大きな不確かさがある。沈み込みによる流入フラックスについては、マントルが含水化した場合の見積もりも示す(Hatakeyama et al., 2017)。

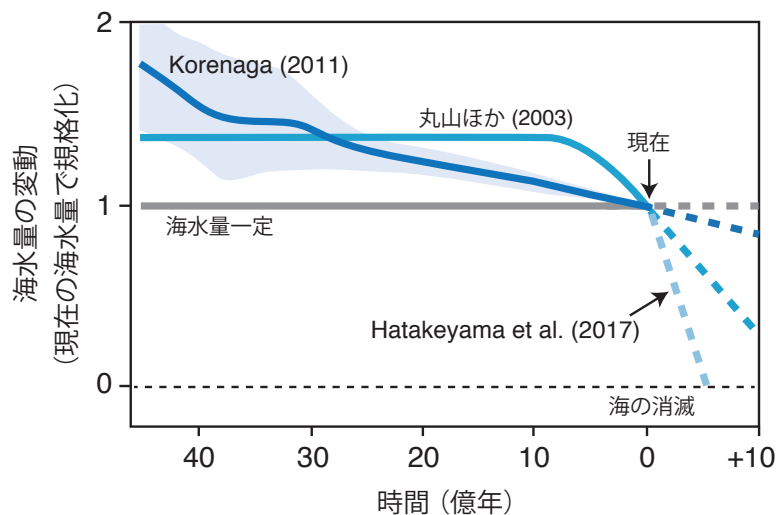


図2 地球の海水量の変動。現在の海水量を1として規格化している。今後の予測はまだ不確かな面が大きい。

込むプレートのなかの含水鉱物が安定化し、分解せずに地球内部に持ち込まれることで、顕生代以降に海水が減少し続けていると報告している。また、近年の海底地震探査では、海溝付近でのプレートの折れ曲がりに関わる断層（アウターライズ断層）に沿ってマントルまで海水が浸透していることが指摘され、プレートでの水の取り込みは従来想定されていたものよりもかなり大きい可能性がある。私たちの研究室では、マントルと水が反応することでできる蛇紋岩（約10%の水を含む）の広がりを実験的に検証し、地球内部へ運び込まれる海水の総量は従来の見積もりより2倍ほど多いと見積もっている（Hatakeyama *et al.*, 2017）。なお、アウターライズ断層はプレートの折れ曲がりによるため、プレートの温度や強度とも関連しており、マントルでの水の取り込みも地球の冷却と関係しているのかもしれない。

これまで海水の量は地球史を通じて一定と想定されてきたが、このように海水量は減少している傾向にあるとの考えがでてきた。現在の海水の総量は 1.4×10^{21} kg なので、マントルが含水化したモデルによる単純計算では、約6億年後に海が消滅することになる（図2）。もちろん、この見積もりは大きな不確かさを含むが、火星でも海が消滅した歴史を考えれば、地球でも似たような現象が起ころないとは言いきれない。

マントル対流を組み込んだモデル計算では、太古代の海水量は現在より50%ほど多く、少しずつではあるが減少し続けているとの報告もある（Korenaga, 2011）。地球表層の海水が内部へ取り去られているのであれば、受け入れ側の地球内部を構成する岩石中の水量は増えているはずである。しかし、水素は動きやすい元素であるため、古い岩石や鉱物中の水の存在量を正確に見積もることは難しく、今のところ地球内部の含水量が時代とともに増加する傾向は確認されていないが、今後の研究が待たれるところである。

モ ホール計画によるマントル掘削

地球内部での水の収支をより定量的に見積もるには、海洋プレートがどのような構造をして、どの程度の水を含んでいるかの理解が不可欠である。一般に、海洋プレートでの水循環は、上部の数km程度とされているが、熱流量などの観測ではさらに深部でも流体が循環し、熱輸送を担っているとの考えもある。1950年代に提案されたモホール計画は、海洋プレートをマントルまで貫き、プレート内での物質や構造の変化を理解するという内容のものであるが、未だ実現されておらず、海洋プレート深部で水がどのように

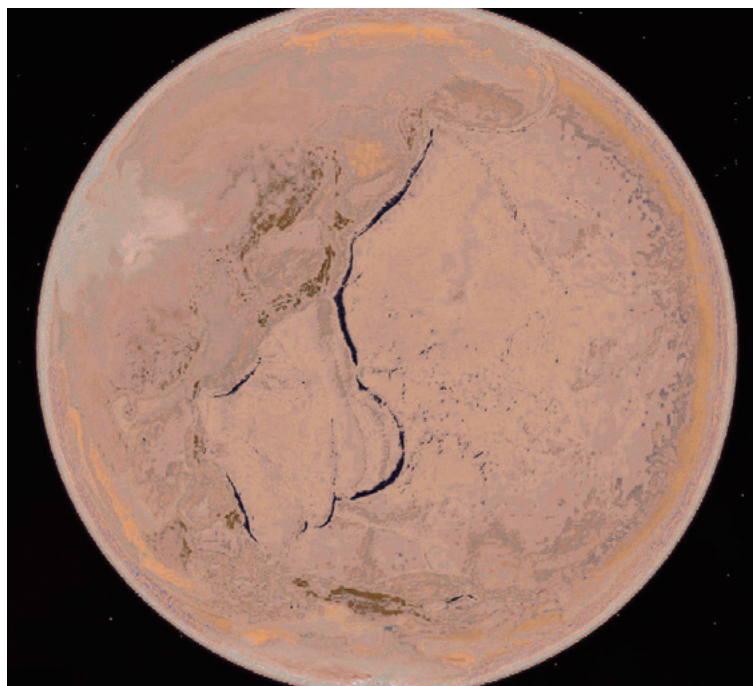


図3 乾燥した地球のイメージ。Google Earthの地形図から色調を変更して作成。

循環しているかなど分からない点が多い。海洋研究開発機構が保有する地球深部探査船“ちきゅう”はまさに海洋底をマントルまで掘って、岩石コア試料をサンプリングするために造られたものであり、ここ数年、マントルまで掘るモホール計画が再び脚光をあびつつある。

これからの海そして地球

地球温暖化により海水準の上昇が懸念され、過去の歴史をみても海水準は変動を繰り返してはいるが、負のフィードバック効果により全体として海水量はほぼ一定であると考えられてきた。しかし、現在は地球の冷却に伴ってフィードバック効果が弱められ、海水は減少傾向にあるらしい。そのような傾向は短期的にはみえにくいですが、地球の歴史のなかでは刻々と海洋の消滅に向かっていくのかもしれない。これはある意味、生命を構成する分子が絶え間ない分解と再構成によって維持されるという、生命の動的

平衡の考えと似ている。生命は自らを壊しながらつくっているが、全体としては少しずつ壊されていき、有限であるという。地球はひとつの生命体にもたとえられるが、海の消滅はその活動にピリオドを打つものなのだろうか。

—参考文献—

Korenaga, J. (2011) *J. Geophys. Res.*, **116**, B12403.

Hatakeyama, K. *et al.* (2017) *Scientific Reports*, **7**, 13870.

丸山茂徳ほか (2003) 「地震発生と水」第4章 地球の水の歴史, 東京大学出版会。

■一般向けの情報

唐戸俊一郎 (2017) 「地球はなぜ「水の惑星」なのか」, 講談社ブルーバックス。



著者紹介 片山 郁夫 Ikuo Katayama

広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻 教授

専門分野：岩石レオロジー、地球史、岩石の変形実験やフィールド調査を通じて、地球内部での物質循環に関する研究を行っている。近年は、オマーンでの陸上掘削プロジェクトに参加し、岩石の物性測定から海洋プレートの解明に取り組んでいる。

略歴：東京工業大学地球惑星科学専攻博士課程修了。イエール大学・東京大学大学院新領域創成科学研究科でポスドク研究員、広島大学大学院理学研究科で助教、准教授を経て現職。

幕張メッセでブラタモリセッション

琉球大学 教育学部 尾方 隆幸

日本地球惑星科学連合 2019 年大会 (JpGU2019) で NHK の人気番組『ブラタモリ』をテーマにしたパブリックセッションを開催した。ブラタモリには、特定のトピックにとどまらないシームレス性と、一般化された科学的理解に導くセンスがあり、番組で扱われる土地の「お国自慢」に終始することがない。それらの特徴は、多様な時空間スケールにおける複雑系を相手にする地球惑星科学の教育やアウトリーチに対して、さまざまなヒントを与えているとともに、地球惑星科学の裾野を広げることに貢献している。地球惑星科学、とくに地質学・地理学のアウトリーチとしては、個別の土地そのもののトリビア的な知識ではなく、その土地を通した地球の営みの理解が重要である。

ブラタモリセッションの開催

地球惑星科学の裾野を広げることと領域を繋ぐことは JpGU が果たすべき重要なミッションであり、連合大会では「パブリックセッション」と「領域外・複数領域セッション」がそれぞれの役割を担い、毎年継続的に開催されている。筆者も、パブリックセッション「学校教育における地球惑星科学用語」(JpGU-AGU2017) や領域外・複数領域セッション「ジオパーク」で代表コンピナを務めてきたが、JpGU2019 では「ブラタモリの探究 —『つたわる科学』のつくりかた—」(本稿では「ブラタモリセッション」と呼ぶ)を開催した。

JGL 夏号の NEWS (JGL, Vol.15, No.2, p.5) でも紹介されているように、ブラタモリセッションは盛況であった。会場で回収した質問紙によれば、参加者の約 6 割が JpGU 会員、約 4 割が JpGU 非会員であったと推定され、JpGU のすべてのサイエンスセッションに関心を持っていただけでなく、一般市民への広報効果、すなわち地球惑星科学の裾野を広げる効果も大きかったと考えられる。ブラタモリセッションの盛況は、地球惑星科学の研究者にもブラタモリファンがたくさんいること、また、ブラタモリが地球惑星科学のアウトリーチに効果をもたらしていることを証明したともいえる。

パブリックセッションとしてコンピナが特に配慮したことは、アウトリーチの宿命的課題ともいえる科学的正確性とわかりやすさのバランスであった。ブラタモリセッションは 8 本の講演で構成されたが、過去に番組に出演した案内人から、科学性とわかりやすさのそれぞれに拘る専門家を慎重に人選し、全体として偏らない構成を心がけた。当日は、NHK チーフ・プロデューサー林幹雄氏の招待講演、地球惑星科学と隣接分野の研究者からみたブラタモリの評価、学校教育(高校)と生涯教育(博物館)の視点での

話題提供、科学コミュニケーターが司会を務めた総合討論がおこなわれ、地球惑星科学の教育・アウトリーチの本質に迫る議論がなされた。

地球惑星科学の専門家がブラタモリの案内人を務めることはアウトリーチ活動の一環といえるが(尾方, 2017)、いざ案内人を引き受けると、さまざまな苦悩や葛藤がある。ブラタモリの視聴率はおよそ 10% 前後で、日本の世帯数から概算すれば 500 万世帯ほどが視聴していることになる。NHK 林氏の招待講演では、週末のゴールデンタイムに放送される番組のシビアさ、すなわちターゲットを絞らないアウトリーチの難しさが語られた。テレビ番組では自分の解説が視聴者にどれくらい伝わったかを確認することができず、また、対象が限定されないこともあり、国民全体の平均的な科学リテラシーに適応させるように解説レベルを設定しなければならない。

シームレスなアウトリーチ

地球惑星科学が本質的に持つシームレス性に着目していることは、ブラタモリが評価されているひとつの理由である。科学番組のほとんどは特定のテーマを深掘りするスタンスを基本とするが、ブラタモリはさまざまな分野を行ったり来たりする。つまり、ディシプリンの境界付近をブラブラしているのである。ブラタモリで毎回示される「お題」は、野外で観察される事象をシームレスに読まないといけない問題になっており(図 1)、それは地球惑星科学の領域横断的な研究に対してもひとつの示唆を与えているようにみえる。

ブラタモリでは地質学や地理学のトピックがたびたび登場するが、ストーリーの中で地質・地理の話題が切り離されていないだけでなく、その他の話題も地質・地理に関連づけられて語られる。たとえば筆者が案内人を務めた回では、地球科学的なトピッ

クが、歴史(#32 沖縄・首里)や生物(#67 奄美の森)の、いわば裏方として位置づけられていた。タモリ氏の興味関心によって脇役であるはずの地質や地理が主役に躍り出てしまうのがブラタモリだが、スタッフの巧みなハンドリングによって地球科学に暴走することはなく、適度なところで他の話題に転換していく。

シームレスなストーリーづくりはジオパークなどでも実践されており、地球惑星科学のアウトリーチとして重要な視点である(尾方, 2011)。アウトリーチの対象となる一般市民がディシプリンの境界を意識することはない。地球惑星科学に限らず、サイエンスのアウトリーチは相手があつてのもので、常に対象者の興味関心や理解度に注意を払わなければならない。研究者は自分の専門分野を明確に意識しているものであるが、そこに縛られすぎると対話はすぐに破綻してしまう。

アウトリーチの現場では、ディシプリンを柔軟に横断できる懐の広さと、それを支える広範な知識が必要になる。広く深くというのは難題であるが、一般市民に伝えるレベルであれば、さほどの深さは求められない。自らの研究の専門分野を越えた質問がなされても、すぐに拒絶するのではなく、正確性を損ねない範囲で何とか解説しようと努力することが重要である。

一般性を失わないアウトリーチ

地球惑星科学からブラタモリが注目されているもうひとつの理由は、土地のローカルな特性に着目しているのみではなく、サイエンスとしての一般性を失っていないからであろう。通常の旅番組は、その土地の個性に着目することがほとんどにみえるが、ブラタモリにはローカルな事象を一般化する視点がある。ブラタモリが地球惑星科学に貢献しているのは、その土地のトピックを「お題」に掲げながらも、決してその土地のトリビア的な雑学に終始せず、一般化できる科学的理解に迫っているためと評価できる。

ブラタモリの案内人には、科学の専門家と、その土地の専門家がいる。科学の専門家は、その土地の個性を説明するだけではなく、その土地から読み解ける一般性や普遍性をあわせて語るバックグラウンドとスキルを備えており、そのフィールドから読めることを他の土地でも使える理解として提供することができる。番組では、タモリ氏の科学的

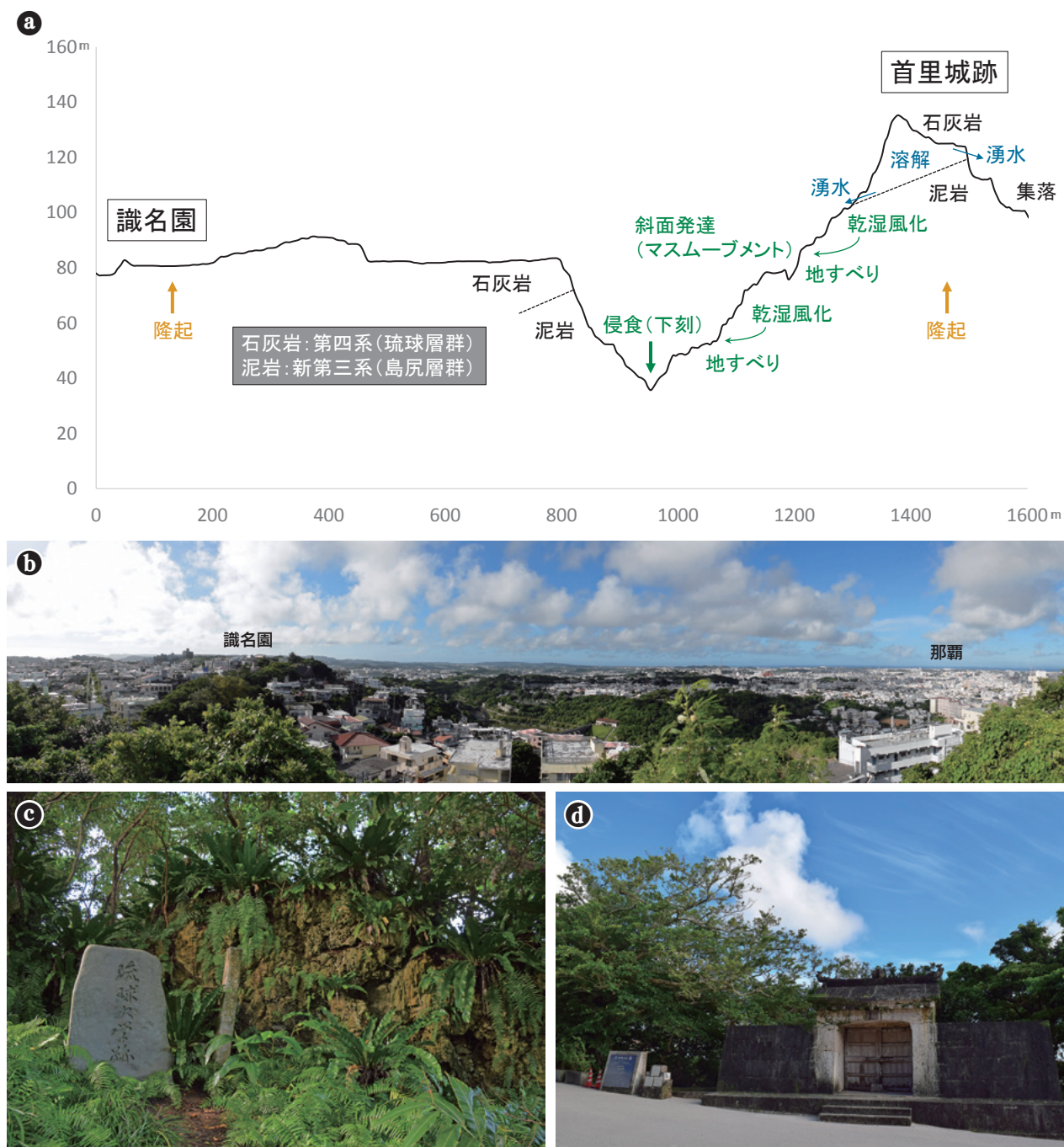


図1 プラタモリ（#32 沖縄・首里）で解説した地球科学的話題。a 地形断面図。『王都・首里はサンゴでできている?』という「お題」を解くため、地形学を中心にしながらも、単独で地質学・地質学の多くの分野をシームレスに横断する解説が要求された。b 首里城跡からの景観（地形断面図の右から左に向き180°を展望したパノラマ写真）。首里の地形プロセスは、プラタモリ（#33 那覇）で解説された平野部の地形を理解する基礎にもなった。c 首里城跡には第四系の石灰岩が露出している。d 石灰岩は石造建築物にも使われ、筆者による風化のモニタリングが実施されている。

教養に助けられながら、一般性を失わない案内が導き出される。

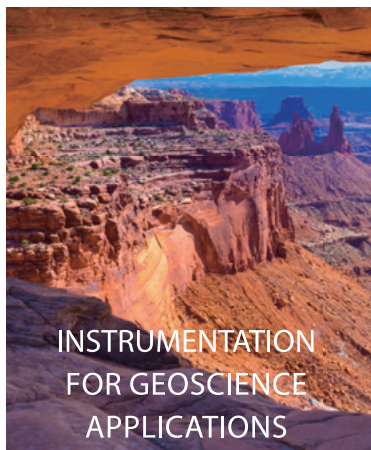
フィールドワークは地質学や地理学の教育でも必須である。野外調査では、言うまでもなく、地球科学の一般化された基礎知識とそれまでの経験がふんだんに活用される。プラタモリで案内人を経験した専門家たちは、タモリ氏のフィールドでの観察力が並外れていることを実感しているが（図2）、

筆者はそこから自らの教育・研究活動を振り返るとともに、野外調査の基礎に立ち返る機会も得られた。

ジオパークやアウトリーチの目標も、土地そのもののトリビアではなく、土地を通した地球の営みの理解といえる。ジオパークは土地に根差した地質や地理の研究を進める土台になることが期待されるが、やや極端な自治体主導という日本のジオパーク独自の

システムもあり、課題が多い（尾方，2015）。ジオパークを含めた地球惑星科学の教育・アウトリーチの現場でも、いわゆる「お国自慢」になりがちなトリビアに終始するのではなく、いかに一般化された科学的理解に誘導するかが勝負である。

フィールドワークと地球科学
プラタモリセッションは、地球惑



INSTRUMENTATION FOR GEOSCIENCE APPLICATIONS

MS3 帯磁率計

- ・ PCと接続してデータ収録。
- ・ プローブとの組み合わせにて使用。
- ・ 1cc/10cc サンプル用、コアロギング、表面スキャン用など様々なプローブ。
- ・ PDAと共に屋外にて使用可能。

Mag-13 3軸磁気センサ

- ・ 測定範囲: 最大 $\pm 1000\mu\text{T}$
- ・ ノイズレベル: $< 6\text{pTrms} (@1\text{Hz})$
- ・ 水深5000mまでの環境にて使用できるタイプ、アンパッケージドモデルもあります。
- ・ 地磁気のモニタリング、電磁法探査などに使用できます。

その他、グラディオメータやヘルムホルツコイルなどを取り扱っております。



Bartington
Instruments

ロックゲート株式会社
www.rockgateco.com
e-mail: info@rockgateco.com
TEL: 03-6284-4567



図2 中国南部のカルスト地形 (Wulong Karst)。タモリ氏であれば、地形学的な基礎知識を用いて、まず化学的な溶解により鍾乳洞が形成され、続いてその上部が物理的に崩落したことを、初見でもほぼ瞬時に理解されるであろう。なお、このカルストは長江の流域にあり、岩盤の崩落によって生産された岩屑の一部は、最終的にはユーラシア大陸の縁海まで運搬され、現在は琉球弧で島尻層群として露出している。

星科学の全ての領域を包含する JpGU に対していくつかのヒントを与えるものであった。まず、領域外・複数領域セッションは年々盛況になりつつあるが、そこでは一種の科学コミュニケーションが必要であり、シームレス性の問題を避けることはできない。また、パブリックセッションでは教育とジオパークに関するセッションが継続的に開催されているが、学校教員や博物館学芸員、ジオパークの専門員（一般には地質学や地理学を専攻した者が採用される）、自治体職員に参加者がほぼ絞られており、地球惑星科学の裾野を広げるという意味では課題が残る。

現在、日本の地方国立大学は弱体化してきていると言わざるを得ない状況にあるが、とりわけ、フィールドワークに基づく地質学や地理学の衰退が危惧される。プラタモリセッションでは、今日の地球惑星科学の中で、伝統的な地史学 (Historical Geology) や地誌学 (Regional Geography) をどう位置づけるか、また地方国立大学の研究者がそれらの存続にどのように関わらねばならないかについても考えさせられた。筆者自身は一般性を追

究するための海外でのフィールドワークが研究の主体になりつつあるが、プラタモリ案内人の経験は、地方国立大学の地球科学がやらなければならない課題を省みるよい機会にもなった。

なお、本稿に関連した内容は、月刊「地理」(古今書院発行) 2019 年 3 月号特集「地学教育・地理教育の連携協力」、2019 年 8 月号特集「プラタモリの探究」にも収録されている。興味を持たれた方は参照されたい。

—参考文献—

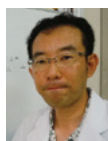
尾方隆幸 (2017) 地理, 62 (6), 4-10.

尾方隆幸 (2011) 地学雑誌, 120, 846-852.

尾方隆幸 (2015) 地学雑誌, 124, 31-41.

■一般向けの情報

NHK プラタモリ制作班監修, プラタモリ 1-18 巻, KADOKAWA.



著者紹介 尾方 隆幸 Takayuki Ogata

琉球大学 教育学部 准教授

専門分野: 地形学, 自然地理学. フィールドワークに室内実験と数値シミュレーションを組み合わせ、風化・侵食プロセスとそれによる地形変化を解明する研究を進めている。あわせて地球科学の教育・アウトリーチの改善に努めている。

略歴: 筑波大学大学院博士課程修了。博士 (理学)。

JpGU-AGU Joint Meeting 2020 での Great Debate 開催のお知らせ

JpGU-AGU Joint Meeting 2020 共同プログラム委員長 稲垣 史生 (海洋研究開発機構)

JpGU ミーティングでは、プログラム委員長が中心に、AGU をはじめとした海外組織とも連携し、2016 年大会より毎回「Great Debate」と題したユニオンセッションを開催してきました。このセッションでは、人間に課せられた全球規模の課題について、パネルディスカッション形式で、会員のみなさまへの問題提起とそれに向けた解決策を議論し続けてきています。

JpGU-AGU Joint Meeting 2020 に向けて、本大会の共同プログラム委員長である William F McDonough (メリーランド大学、東北大学) と筆者は、「Great Debate: 惑星スチュワードシップを支える地球惑星科学そして社会のリーダーシップとは何か?」(仮) と題したセッションを企画しています。

約 46 億年前の地球誕生から現在に至るまで、地球は多くの気候・環境変動を経験してきました。地球に誕生した生命もまた、それ

らの変動に適応・進化し、幾多の絶滅の危機を乗り越え現在に至っています。その地球と生命の長い歴史に比べ、人類(ホモ・サピエンス)の歴史は約 30 万年程度と短く、ほんの一瞬の出来事に他なりません。しかし、現在、農業や産業の革命を経た文明の急速な発展、とくに 18 世紀からの化石燃料を主要なエネルギー源とした産業の発展にともない、大気や海洋、極域そして生命圏の全てが、過去に例を見ない勢いで変化しています。この人新世(アンソロポセン)と呼ばれる人間の時代は、人間活動が地球環境の基幹システムの一つとして、この惑星の地質記録に半恒久的に残る時代と捉えることもできましょう。では、人間と地球の未来はどうなるのでしょうか? 地球惑星科学のコミュニティは、社会との繋がりを保持・補強しながら、科学的な基本知見を地球のスチュワードシップ(行動規範を伴う管理と運用)に組み

込んでいかねばなりません。同様に、企業や社会のリーダーたちも、とくにグローバル・ガバナンスにつながるポリシー形成と人々の生活の変化に関して、今後の惑星スチュワードシップに大きな責任を担っています。

そこで、JpGU-AGU Joint Meeting 2020 では、JpGU-AGU-EGU が共同で、今後の惑星スチュワードシップに関する地球惑星科学と社会の役割(コード)について重点的に考えていきたいと思っています。

ミーティング参加者の皆さまには、これらの課題を踏まえ、お一人おひとりが当事者としてこの Great Debate セッションにご参加いただき、最新の科学的知見や意見、パースペクティブを共有していただけることを期待しています。

多くの皆様のご参加と、分野の垣根を超えた活発な議論をよろしくお願い申し上げます。

今年度の寄附の御願い

昨年度から、「5 事業年度で 3000 円以上の寄附 500 件」を目標に皆様にご寄附をお願いしてきました。これは日本地球惑星科学連合に寄附をされる方が税制上有利となる寄附の仕方を選択可能とする要件(寄附金の税額控除の団体としての証明)となり、より多くの寄附を日本地球惑星科学連合がいただく呼び水となるものです。昨年度末には 500 件に及ばず、今年度あと約 100 件の寄附をいただければ目標達成です。昨年度ご寄附をいただいた方でも、今年度は新たにカウントされることとなりますので、どうか今年度のご協力をお願い致します。財務委員会と致しましては、会員・一般の皆様から多くの寄附を頂いて財政基盤を強化し、会費や大会参加費の値上げを伴わないサービスの向上を実現したく考えております。

なお、皆様にごお願いする寄附金は寄附金取扱規則 <http://www.jpгу.org/wp-content/>

[uploads/2019/08/kihukisoku.pdf](http://www.jpгу.org/wp-content/uploads/2019/08/kihukisoku.pdf) 第 2 条に書かれている一般寄附金となります。これは「この法人の会員又はこの法人の会員を含む広く一般社会に常時募金活動を行うことにより受領する寄附金」と定義され、日頃から募ることができるものです。第 3 条の規定によれば「一般寄附金は、寄附金総額の 50% 以上を定款第 5 条の公益目的事業に使用することとして募集しなければならない。」とあり、現実には全額が日本地球惑星科学連合の公益事業に使われております(日本地球惑星科学連合の公益事業費と一般管理費の比は 95:5 で、本年度の全体予算は約 1 億 7 千万円です)。また、受領書等の送付に関しましては第 6 条に「一般寄附金又は特定寄附金を受領したときは、遅滞なく礼状、受領書及び第 4 条第 1 項による募金目録見書を寄附者に送付するものとする。前項の受領書には、この法人の公益目的事業に関連す

る寄附金である旨、寄附金額及びその受領年月日を記載するものとする。」(註: 募金目録見書は特定寄附金のみ)と決められており、第 9 条に情報公開、第 10 条に個人情報保護が定められています。

以上、概観しましたように、皆様にごお願いする寄附金は大事に使わせていただいております。その取り扱いについても細心の注意を払っております。皆様のご家族からの寄附も、家族の人数分加算されることを付け加えさせていただきます(寄附は会員でなくても大丈夫です)。寄附の方法など詳細は下記 URL をご覧ください。

<http://www.jpгу.org/donation/>

会費や大会参加費の値上げを避けるために、皆様のご今年度のご協力を財務委員一同お願いするものであります。

ユニオンセッション

「日本地球惑星科学連合の
将来に向けた大会参加者からの意見と提言」報告

代表コンピーナー 浜野 洋三

はじめに

日本地球惑星科学連合 (JpGU) 2019 年大会でユニオンセッションとして開催された「日本地球惑星科学連合の将来に向けた大会参加者からの意見と提言」では、以下に示す 13 件の講演が行われ、JpGU と JpGU 大会の今後の発展に向けて、極めて有益な多くの意見と提言が出されました。講演を聞かれていない皆様にもぜひ知っていただきたく、その要点をここでまとめます。なおこのセッションの各講演のアブストラクトと使用された発表ファイルは、下記からダウンロードできますので、詳しくはこのファイルを参照いただきたいと思います。(http://www.jpogu.org/meeting_2019/files/U08.pdf)

「日本地球惑星科学連合の
将来に向けた大会参加者からの意見と提言」

日時：2019 年 5 月 30 日 (木)

コンピーナー：浜野 洋三、田近 英一、
和田 浩二、隅田 育郎

- [1] 日本学術会議地球惑星科学委員会から JpGU への要望・提案 (藤井 良一、田近 英一)
- [2] 日本地球惑星科学連合における地理学の位置づけと将来展望 (小口 高、山田 育穂、早川 裕弐、河本 大地、齋藤 仁)
- [3] インターフェースとしての地球生命科学 (掛川 武)
- [4] JpGU のカバーすべき領域 (高橋 幸弘)
- [5] ちょっと英語やり過ぎ違いますか? (林 祥介)
- [6] 日本地球惑星科学連合の国際化について (小田 啓邦)
- [7] 日本地震学会の JpGU の運営に関するアンケート結果をふまえた提言 (山岡 耕春)
- [8] 日本地球惑星科学連合の将来に向けた意見と提言：地球電磁気・地球惑星圏学会から (大村 善治、渡部 重十、加藤 雄人、津川 卓也、大塚 雄一、SGEPSS 運営委員会)
- [9] 地球惑星科学と情報科学との連携～学際領域における共存共栄の試み～ (出村 裕英)

- [10] 惑星科学分野の若手研究者からの意見 (鎌田 俊一、濱野 景子、村上 豪、兵頭 龍樹、仲内 悠祐)
- [11] 日本地球惑星科学連合は、個々の関連学協会の目線に立った運営を行い適切に説明責任を果たせ (小泉 尚嗣)
- [12] 地球惑星科学総合所属一代議員からの意見：国内向け活動・事業強化を (熊谷 英憲)
- [13] Japan Geoscience Letters (JGL) の 15 年とこれから (橘 吾吾、田近 英一)

JpGU は、日本の地球惑星科学コミュニティを代表し、国際連携、社会への情報発信、関連分野の研究活動と情報交換の促進等を通じて、地球惑星科学全体の振興と普及に寄与することを目的として、活動を行っています。この目的に向けた学術研究集会 (JpGU 大会) では、最先端の科学・知見を議論する場を提供するとともに、世界の地球惑星科学のコミュニティにも貢献すべく、国際連携を積極的におし進めています。さらに、地球惑星科学分野の発展を通じて地球的規模での社会の未来にも貢献することをめざしています。以下では、本セッションの講演での意見と提言を「国際化の推進」、「関連分野の情報交換・研究促進と社会への対応」、「JpGU と JpGU 大会の運営について」の 3 つにまとめて、ご紹介します。

国際化の推進

(関連講演：5, 6, 7, 8, 11, 12)

上に述べた JpGU 設置の目的を果たすためには、JpGU 大会では、海外からの参加者を増やし、日本の地球惑星科学コミュニティが研究成果を国際的に発信して行く場を提供していくことが使命です。国際化に関するご意見は、本セッションの講演者の半数近くの方々と言及され、フロアからの発言も活発でした。議論の中心は、大会での使用言語の問題にとどまらず、JpGU 大会を今後どのように国際化していくかという将来展望に関する多様な意見を反映しています。

[5] では、JpGU 大会という我が国の地球惑星科学の広範囲な分野の研究者が参加する研究集会において、母国語である日本

語言語での研究発表や議論の場をなくすべきでない、ということが主張されています。1990 年に地球惑星科学関連学会合同大会の始まった頃は、地球惑星科学コミュニティは数多くの学会に別れていて、これらの学会や関連する分野が集まって、相互の情報共有や分野横断的な課題についての議論をする場がありませんでした。JpGU の設立により、現在では、海外に行かなくても日本国内で多くの分野が集まった研究集会を開けるようになりました。日本の地球惑星科学コミュニティとしては、このような環境で、国際的にも独自性をもった研究を進展させ、その上で国際的にも発信していくことが必要であり、そのために日本語言語での分野横断的な討議の場をなくすべきではない、という趣旨です。国際的な情報発信の場としては、JpGU とも連携している AGU, EGU, AOGS 等を活用すべきであると提案されています。アジアを拠点とする AOGS は、日本の研究者もその設立時から主体的に運営に参加しているので、アジア地域にある国際的な発信の場としては、AOGS を推進していくことが良いのではないかという意見を示されました。AOGS については、[8] でも、JpGU の国際学会としてのめざすべき方向と AOGS との関係を明らかにしてほしいとの要望が出されています。

[11] では、JpGU の設立目的である、1) 国際連携、2) 社会への情報発信、3) 関連分野の研究活動と情報交換の促進のためには、1) のための過度な英語重視が、2) と 3) の目的を阻害しているのではないかと指摘されています。また [12] では、国内の地球惑星科学コミュニティの活性化と多様化を通じた基盤の強化も、まだ道半ばであることから、JpGU としては国内向けの活動の一層の強化に力をいれることが要請されています。国際化についても、AGU 等のコピーではなく、日本発の国際大会として特色を出せるような努力をするべきであろうと指摘されています。

一方、[6] では JpGU の設立目的達成に向けて、大会の公用語として英語を主とすることが、提案されています。地球惑星科学コミュニティがカバーする研究分野全体で、国

際的な発信能力を高めるためには、JpGU 大会を欧米からもアジアからも多くの研究者が参加する国際大会として確立することをめざして、海外からの参加者に大会での全てのコミュニケーションが理解できるようにするべきであるとの指摘です。JpGU 大会が、国際大会として国内外から認識されることは、日本の研究者や大学院生の研究活動にとっても、極めて有益です。現状では、毎年 AGU 等の海外で開催される国際大会に参加できる日本の若手研究者や学生は限られています。JpGU が国際大会としての機能を充実させることで、海外の研究者の講演を聞く機会、研究成果を国際的に発信する機会が JpGU 大会で得られることになると考えられます。国際化に対する姿勢は JpGU に参加される分野によっても違いがありますが、JpGU が多くの国際大会に競合して、海外からの研究者を集めるためには、JpGU の特徴として他の国際大会では聞けないような研究発表があることも貢献すると思われる。

[7] では、セッション提案者が戦略的に使用言語を決められるという状況が望ましいとの意見もあります。一方、研究発表の国内外からの投稿者にとっては、使用言語に関わりなく、発表内容に最適なセッションを選択できるようにすることが必要でしょう。

関連分野の情報交換・研究促進・社会への対応

(関連講演：1, 2, 3, 4, 9, 13)

JpGU は、地球惑星科学コミュニティに属する諸分野の研究活動と情報交換の促進と、様々な分野と連携して環境問題や防災等の社会の諸問題に対応していくことも目的としています。

[1] では日本学術会議地球惑星科学委員会と JpGU との連携を、教育、人材育成、社会貢献等で、さらに進めるための方策が提案がされています。[2] では、地理系の学会は団体会員としては JpGU に多く参加し活動されているものの、各学会の会員中で JpGU 大会への参加者の割合が少なくなっています。その原因として、地理学コミュニティで 70% を占める人文系の研究者が、JpGU 大会に関心を持ちにくい状況にあることが指摘されました。一方、地球惑星科学コミュニティでは、自然災害や環境問題等、社会の諸問題に対処して行く上では、文理融合による統合科学としての取り組みがますます必要となっています。JpGU において文理融合のもとに効率的に社会に対応していくためには、共通の課題に関する共催セッションを積極的に作るなどして、地理系分野の人文系の研究者を取り込むための努力をすべきであるとの提言がありました。

[3] については、地球生命科学セッションの研究分野は、他の 4 つのセッションすべてと密接に関係しているため、JpGU 大会で地球生命科学独自のセッションは少ないが、領域外、複合領域の半分ぐらいは地球生命に関係しているとの指摘がありました。地球生命科学の研究者にとっても、JpGU 大会は他のセッションと共催したセッションを開催できることが、JpGU に参加する意義であると考えている研究者が多いとのこと。さらに、地球生命科学分野は、地球惑星科学コミュニティ以外の分野として、生物学、医学、神経科学、化学等の分野との関係が深く、これらの分野の研究者を JpGU に積極的に招聘していけるようにしたいと考えているとのこと。[4] でも、地球惑星科学のコミュニティが自然災害／防災、環境問題、さらに生命科学などの課題で、社会から期待される役割を果たすためには、防災学術に関係する土木、建築、医学・看護学、社会学等、生命分野に関係する農学、林学、生態学、獣医学、医学などの学界との連携が必要であり、それらの分野の研究者が JpGU 大会に参加できるようなくみを作ることが提案されています。

地球惑星科学コミュニティと他分野との連携にあたっては、組織と組織との連携だけでなく、大学や研究機関等で、研究者が個人として勤務先での交流とか共同研究を通して、連携を進めていくことが最前線の活動です。

[9] では、情報通信技術の教育に特化した会津大学での、研究者間の連携の成功例が紹介されました。工学系、情報科学分野では、実学の視点から、応用先、実証先を常に探しているため、地球惑星科学は連携先として歓迎されると考えられています。

[13] では、JpGU 設立後すぐに創刊された Japan Geoscience Letters (JGL) についての現状と将来について総括されました。JGL は分野全体の研究者の相互理解と情報共有に一定の役割を果たすことができましたが、今後はさらに一般に向けても地球惑星科学を認知してもらう役割を強化したいとの考えが示されました。

JpGU と JpGU 大会の運営について

(関連講演：4, 7, 8, 10, 11, 12)

この課題について、[4] では、JpGU にこれまでに参加されてこなかった地方在住者や学会に基盤をもたない学生が参加しやすい環境作り、たとえばネット参加を可能にする等の方策について提案がありました。[7] では学会内でのアンケート結果の紹介と、参加学協会の共通の課題についてのコミュニケーションの場を JpGU 内に作って欲しいと

の要望がありました。多くの学協会共通の問題として、最近 10 年間は理学系、工学系の多くの学会で、分野に関わらず会員数の減少傾向がづついています。各学会にとっては会費が主要な財源になっているため、会員数の減少を食い止めることは、学会の存続と活動を続けている上で重要な問題であると認識されています。これまでに様々な分野で分析、検討がなされていますが、最近の社会情勢にも依存しているため、十分な解決策はまだ得られていません。地球惑星科学分野でも、大きな学会では会員数の減少が続いているので、JpGU として、各学会にも役立つような施策を一緒に考えて欲しいという要請がありました。また、JpGU 大会の運営について、大会参加者やコンピーナーから意見を吸い上げフィードバックする公式なルートを作ることが提案されました。

[10] では、JpGU 大会に参加する若手研究者の要望として、セッション数が多すぎる、関連セッションの場所が遠い、分野融合セッションが少ない、仕事の一部の人に集中している等の、指摘がありました。また、JpGU 大会の最近の状況は、分野融合ではなく、むしろ細分化が進んでいる傾向があるので、異分野の人も含んだ研究集会により、新しい研究領域の開拓をめざすようにできないかとの要望がありました。[11] では、5 日間という大会開催期間の中で、ある分野に関わるセッションがこの 5 日間に分散されることは、関東圏以外の参加者に不便を強いることになるので、関係する分野のセッションを短期間にまとめてほしいという希望がありました。[12] においても、地方在住者や各学協会に基盤を持たない会員が参加しやすい環境作りという個人への支援と、参加学協会が抱えている困難／課題についての解決も JpGU の役割として重要であるとの指摘がありました。

おわりに

以上のまとめにある本ユニオンセッションで述べられた貴重な意見や提言については、大会に参加する個人会員、団体会員の総意を反映する方向で、今後の JpGU と JpGU 大会の運営に活かされることを願っています。具体的なアクションプランについては、2020 年の AGU とのジョイントミーティングでの、国内、国外の参加者の状況も参考にしながら、今後検討され実現されていくことを期待しています。

第13回国際地学オリンピック・韓国大会を終えて

NPO 法人 地学オリンピック日本委員会 事務局長補佐 澤口 隆 (東洋大学)

2019年8月26日～9月3日に韓国・大邱において、第13回国際地学オリンピック(IESO)・韓国大会が開催され、過去最大の43ヶ国・地域から163名の代表選手が参加をしました。日本チームは代表生徒4名とゲスト生徒(表彰対象外)1名、メンター2名、オブザーバー8名の体制で国際大会にのぞみました。

日本チームは、代表生徒4名全員が金メダルを獲得することができました。文部科学省によると、世界各国で開催される様々な科学オリンピックの中で、日本代表生徒全員が金メダルを獲得したのは今回の国際地学オリンピックが初めてのことです。帰国後に表敬訪問した白須賀貴樹文部科学大臣政務官にも、今回の偉業を高く評価されました。メダル数から推定した国順位は、日本(金4)と韓国(金4)が同メダル数で1位となり、日本がこれまで参加してきた過去12回の国際地学オリンピックで初の国別1位となりました。なお、ゲスト生徒1名も金メダル相当の成績でした。

試験は2日間にわたって実施され、筆記試験ではアリストテレスの四元素(水・空気・土・火)から発想を得て、1)水、2)大気、3)土壌

と岩石、4)火(熱とエネルギー)の4つのテーマで問題が構成されました。IESOで規定されたシラバスにのっとり、地圏、気圏、水圏、生物圏の相互作用という地球システムの観点からの知識と思考力が試されました。

テーマ1:「水」では、炭酸塩補償深度と海底堆積物の関係、大気圏の水と気候との関係などが問われました。テーマ2:「大気」では、地質時代を通じた大気の変遷や、炭素循環と気候変動、オゾンホールやエルニーニョ現象などが出題されました。テーマ3:「土壌と岩石」では、岩石の風化や堆積構造、南極周囲の震源分布とプレートテクトニクス、熱慣性を用いた月クレーターの年代測定手法などが出題されました。テーマ4:「火(熱とエネルギー)」では、地質学における基本原理に加えて、変成作用、氷河の消失、太陽活動と地表に届く電磁波・荷電粒子などが出題されました。

実技試験は、実験室で行う3つの試験と、野外で行われる1つの試験が行われました。実技1(実験室)では露点と相対湿度の測

定、実技2(実験室)では水のpHと硝酸・亜硝酸イオン濃度の測定と採取地点の推定、実技3(実験室)では岩石密度の測定と岩石種の推定、実技(野外)では、露頭での岩石観察と地質プロセスの推定が出題されました。

来年の第14回国際地学オリンピック(IESO)は、8月下旬にロシア・チュメニで開催される予定です。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んなく発揮できるよう、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。



参加した代表生徒たち。

第16回 国際地理オリンピック 香港大会 報告

国際地理オリンピック日本委員会 実行委員 中村 光貴 (筑波大学附属高等学校)

2019年7月31日～8月5日に香港で開催された今大会は、44か国・地域から合計166名の高校生が参加した。日本からは、総受験生1,326名から一次～三次の国内予選を勝ち抜いた4名の代表と、2名のチームリーダー(引率教員)の6名体制で臨んだ。

試験は例年通り、記述式・フィールドワーク・マルチメディアの3種類で、すべて英語による出題・解答であった。ここでは、開催都市の特徴が表れるフィールドワークテストについて紹介したい。テストは、東北部の港町・西貢(サイゴン)で丸一日掛けて実施され、景観観察・意思決定の2種類であった。景観観察は、フィールドワークをもとにその場で地図作成も課す新傾向のものであった。選手たちは調査と地図作成を制限時間内に収めることに苦労したようである。意思決定を行う問題では、フィールドワークで収集した情報をもとに、環境への配慮だけではな

く、地元住民や訪問者への恩恵も考慮に入れた、西貢の街の機能をさらに強化する開発計画を提案させる問題も出題された。まさに持続可能な開発を念頭に置いた問題であったといえる。

結果は、前回大会でメダルを獲得できなかった雪辱を晴らし、1名が銅メダルを獲得した。また、他の3名もあと少しでメダル獲得圏内という惜しい結果であった。国別順位も昨年より上昇し、27位であった。

帰国した8月6日には文部科学省を表敬訪問し、永岡桂子文部科学副大臣に結果を報告し、労いの言葉をいただいた。

今大会期間中は、ご存知の通り大規模なデモやストライキが発生し、台風も襲来したが、全日程

を終え、無事帰国できたことに安堵している。

最後に、渡航にあたり実行委員の先生方をはじめ、多くの方々にご指導、ご支援を賜った。この場をお借りして御礼申し上げる。なお、2020年第17回大会はトルコ・イスタンブールで開催される。



日本代表チーム。



田中 高史

九州大学名誉教授, REPPU コード研究所・所長

専門分野 複合系磁気圏物理学

オーロラ発生機構の研究

オーロラ (aurora, 粒子降下による大気発光現象) の発生場所は、主に高度 100 km 辺りの電離圏 (ionosphere) E 領域です。オーロラにはアークオーロラとディフーズオーロラがありますが、ここでは前者を問題にします。オーロラは発光の場所に原因と結果が揃っているわけではなく、原因は S - M - I (太陽風-磁気圏-電離圏) 結合系の全体にわたっていることが、良く知られています。このような理解に進んだ道筋は、3 段階に分けて振り返ることができます。

第 1 段階は、地上観測の時代です。オーロラと地磁気観測から、地球磁場の閉じ込め、電流系、対流、リコネクション (reconnection, 磁力線の繋ぎ変わり) などの構造を推定していた時代です。いまから振り返ってみると、このころに推定された磁気圏構造は、大局ではそれほど間違っていないことが分かります。しかしここで、オーロラ発生のシーケンスとしてサブストーム (substorm) が認識され、磁気圏物理学の最大の難問として、未解決のまま現在に至っています。大きな謎は、オーロラ発生における不連続性 (オンセットと呼ばれる現象) の理由です。

第 2 段階は、衛星観測が加わった時代です。いままで推定でしかなかった磁気圏が、実際に観測されるようになり、その領域構造、変動構造、運動、FAC (field-aligned current, 沿磁力線電流) が分かるようになりました。ここで上向き FAC がアークオーロラに対応する電子降下です。さらに宇宙からの撮像により、オーロラの全体像とその発展が分かるようになりました。磁気圏が直接観測され、オーロラの機構は全て解明されるであろうと楽観したきらいもありました。

しかし一方で、オーロラの原因は複層的な謎を秘めていることも分かるようになりました。この観点での重要な要素は、ダイナモ (dynamo) とセパレーター (separator) です。ダイナモは FAC がどこで発生し、どのような経路を経てオーロラ領域にやってくるかを考えるため、不可欠な要素です。セパレーター

は磁気圏の全体トポロジーを決め、それらのダイナミクスに対する作用を決めるものです。どちらの部分も観測では見えないもので、衛星観測に基づいた研究では欠けてしまうようです。この 2 つを含めて、S - M - I 結合系を複合系として理解することが、シミュレーション研究の目的です。オーロラの原因は、部分の繋ぎ合わせから全体構造による理解に進化することになります。このように観測、シミュレーションを一体とし、複合系の科学として全体構造に迫ろうとする時代が、第 3 段階です。

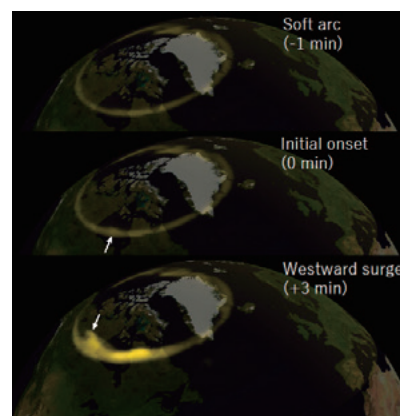
グローバルシミュレーションは保存則に従った計算であり、原理は良く知られているものです。それを S - M - I 結合系に適用しようすると、系がトポロジカルに、また領域間結合として複合されている点に計算の困難が生じます。大きなものと小さなもの、性質の全く異なったものを、同時に計算しなくてはならないという困難です。

REPPU (REProduce Plasma Universe) コードはこの困難を乗り越えることをめざして開発されたコードです。解像度を上げるため、保存則を厳密に満たす非構造格子を採用していること、磁気圏と電離圏の間で、FAC を正確に接続するように計算していること、多量の計算を行うため、並列化されていることなどが特徴です。REPPU コードによって、解像度を上げれば、サブストームが再現されることが分かりました。この結果を簡略に表現すれば、サブストームのオンセットはプラズマ不安定ではなく、状態遷移であるとなります。全体は、太陽風-磁気圏相互作用 → セパレーターの形成 → 対流の励起 → ダイナモ形成 → FAC → 運動の電離圏への伝達 → オーロラ発生という順で理解されます。

我々の身近な自然は複合システムであることの方が一般的であり、原理が直接露出していることは稀であります。実験室の研究のように要素を取り出して研究することができます。それがすなわち観測です。複合系で特徴ある変動は、不連続性を発生させ

る状態遷移でしょう。サブストームだけでなく、成層圏突然昇温、エルニーニョ、ブロッキング現象、マンツルのプリウムなどは同類の現象でしょう。これらは全体系の挙動であり、理解が難しいのが一般的です。分からないのは原因・理由であり、それを探るのが複合システムの科学です。宇宙はプラズマの実験室であり、宇宙の観測を通じて新しい原理が見つかるというのは誤りでしょう。

最後に REPPU コードで再現されたサブストームシーケンスを図に示します。オーロラが真夜中から突然光り出すのを initial onset, その前に淡く光っている状態を soft arc, initial onset の直後にオーロラの塊が西方に飛んでいくのを westward surge と表記してあります。この図のオーロラ変動は、S - M - I 結合系で起こっている複合過程の総集編ということになります。





田中 正之

東北大学名誉教授, 東北工業大学名誉教授

専門分野 大気放射学

気候研究の諸問題

1. はじめに

この度日本地球惑星科学連合のフェローに推挙されて、古いことを思い出しました。文部省に長く置かれて、測地学・地球科学の研究計画、とりわけ国際共同による観測・研究事業の計画立案と推進に当たって来た測地学審議会が国の機構改革に伴って廃止される際に、測地学審議会の100年を記念してその活動記録をのこそうということになりました。そのための研究委員会が組織され、たまたま私がその世話役をおおせつかりました。文部省の研究費による研究で、研究報告書は「測地学から地球システム科学へ—測地学審議会の100年—」としました。

測地学審議会の歴史を辿ると、それぞれ地球科学の一分科として異なる出自や歴史を歩んで来た地球諸科学が、時代の進展の中で徐々に一体化して行く様子がみえてきます。地球環境問題や衛星による全球観測が契機となって、地球を一つのシステムとして把握し、その全体を総合的に理解しようという機運が高まってきました。そうした機運の一つの具体化として、日本地球惑星科学連合が結成され、活発な活動が続けられていることは、慧眼であり、同慶の至りとするところです。

ここでは、地球科学の多くの分野の協力が不可欠な、気候変動の研究のいくつかの問題について述べてみたいと思います。

2. 気候現象研究の難しさ

人間活動に伴う温室効果気体の増加などによる人為的な地球環境の変化に関する危機が高まり、かつてなく多くの研究資金や人材が気候の分野に投入されています。

しかし、気候変動の要因の一つである二酸化炭素の濃度の将来予測をシナリオとして与えた場合でも、将来の気候変化の確かな予測は困難です。全球平均気温一つを取っても、予測には大きな不確定が伴い、一向に改善は見られません。温暖化予測などは、もっぱら大規模な全球気候モデルに依っています。おそらくこれが考え得る唯一の手段でしょう。

近年の気候数値モデルの進歩には目を見張るばかりですが、なお残る大きな将来予測の不確定性は、気候の数値モデルの不完全に起因すると考えられます。気候は典型的な複雑システムです。それは、それぞれ固有の時間・空間スケールを持つ多くの素過程が複雑に相互作用し合う非線形な共変化過程です。まず、そうした素過程を支配する普遍的な物理則を見出し、それぞれをモデルの時間空間分解能に適合する形でパラメタライズすることが求められます。この作業をスキップして気候現象を正しく表現するモデルを得ることはできないでしょう。

各素過程のパラメタライゼーションの難しさは、気候変動は複雑な共変化過程の産物で経験則がほとんど役に立たないことにあります。モデルの予測変数（たとえば地表気温）を用いて雲量や地球から宇宙空間に放射される赤外放射量に関する経験式を得ようとする試みは成功した試みはありません。大気上端からの外向き熱放射は、地球の温度、とりわけ地表温度に強く依存するはずの物理量ですが、実際に衛星観測による熱放射と地表温度の相関を作ってみると、普遍性のある結果は得られず、データのサンプリングの仕方次第で大きく異なる結果が得られることが知られています。気候変化に伴う雲量、雲水量、雲粒の粒径分布などの変化は、放射過程を通して気候に致命的な影響を与えることが知られています。この重要性に鑑み、1982年から今日に至るまで、国際雲気候計画（ISCCP）により膨大な衛星データが蓄積・公開されていて、すでに6000人を超える利用者があったとされていますが、気候モデルに組み入れられるような有効なパラメタライゼーションは未だ何も得られていません。雲量や雲の分布、雲の放射特性などは、気候全体との強い非線形相互作用を通して変動するので、通り一遍の観測で把握できるものではありません。各素過程の持つ時間空間スケールと、モデルに可能な時間空間スケールの双方を睨んで、かつ関わる多様なプロセスを表す多様な変数間の相関を含

むパラメタライゼーションが求められます。

海洋は、その巨大な熱容量によって気候変動の主役をなす存在ですが、海洋の熱容量は扱う問題の時間スケールによって大きく変わります。短時間では主に熱容量の小さい海洋表層のみが応答し、海洋全体が熱平衡に達するには1000年オーダーの時間を要し、熱容量は海洋全体のそれへと増大します。気候変動にみられる顕著な1000年変動（D-Oサイクル）には、対応する外的要因はみられず、海洋自身の自己振動に起因するものと推定されますが、そうした大問題が山積しています。雪氷もた然りです。

近年は地球46億年の自然環境変動の実態も次第に明らかになりつつあります。これには、大陸氷床、海底や湖底の堆積物のボーリング・コアの分析、とりわけその同位体分析が大きく寄与しています。数億～10億年の時間スケールで生起する寒冷気候と温暖気候の交替には大陸の融合集散が要因となっているようにみえます。最近数十万年の氷期間氷期サイクルのかなり周期性のある変動は、地球軌道要素の変動に伴う日射量の緯度季節変動に起因するというミランコビッチ仮説が有力視されています。しかしミランコビッチ仮説にも大きな問題があります。地球軌道要素の変動に伴う日射量の変化は軌道離心率、自転軸の傾き、歳差の順に大きくなるのに、気候変動の振幅の方は逆の順序になっています。氷期間氷期サイクルで最も顕著な10万年変動に対応する楕円軌道の離心率による日射量の変化は、高々0.2%にしか過ぎません。それがあの劇的な気候変動の原因であることは容易には説明できません。これは10万年問題と呼ばれる問題です。このように気候変動のメカニズムは謎に満ちています。

素過程のさらなる解明とその総合化が有機的に連携しつつ並行して進められることが強く願われます。JpGUに期待するところ大なるものがあります。



渡辺 興亜

国立極地研究所名誉教授，総合研究大学院大学名誉教授

専門分野 雪氷学

南極雪氷研究の道筋

1. 「内陸基地」建設から始まった氷床観測

南極大陸の雪氷層から雪氷コア（棒状の雪柱）を採り出そうという計画は1966年のアメリカ隊によるグリーンランド氷床での氷床底までの掘削成功のニュースに接し、驚愕に近い刺激を受けたことから始まった。1387 mの氷床底から抜き取られた氷床全層コアに十数万年に及ぶ、最新氷期～後氷期の気候変動記録が残されていたのである。わが国の南極雪氷研究の方向に大きな影響を与えたことは論を待たない。

南極大陸でのわが国の雪氷研究の主要な舞台は、昭和基地（69°29'S, 39°35'E）南方に広がる「みずほ高原」である。この地域は当時地球上に残された最後の「地図の空白域」であり、「地球科学」の未知領域であった。

「国際地球観測年（IGY）」に参加し、わが国の南極観測が始まったのは1957年、いわゆる「宗谷の時代」（観測船「宗谷」が使われた第1～6次南極地域観測隊）はIGY対応の基地観測のほか、内陸域の探検が行われた時代であった。内陸旅行資材（雪上車、燃料）に乏しい時代であったが、「やまと山脈」地学探査、3000 m高地への予察旅行などが行われた。

日本隊による最初の組織的な南極雪氷観測計画は、1968年から1975年にかけて実施された「エンダービランドーみずほ高原計画」である。この計画中にわが国最初の内陸基地「みずほ基地」（1970）が作られた。その目的の一つは最初の氷床掘削を試みることであった。こうした本格的な内陸観測、調査の始まりには「宗谷時代」の内陸探検の総決算として行われた「昭和基地ー南極点旅行」（1968～69年）が大きな礎となっている。新たな南極観測船「ふじ」の就航によって、内陸旅行資材の輸送が可能となり、数年の準備の後、第9次越冬隊によって実現した。

第1期の雪氷観測計画（1968～75）では、やまと山脈（35°E）からサンダーcock・ヌナタクス（52°E）に至る経度範囲、また南緯77度の奥地までの地域を観測対象とし、氷床地形、年間積雪量、年平均気温、氷厚、

氷床流動などの観測が行なわれた。引き続き第II期の雪氷観測計画は「東ドローニングモードランド計画」と称し、1982年から1986年にかけて行なわれた。この計画では、みずほ基地で700 m深、過去一万年間の積雪層コアの掘削に成功した他、内陸観測域をさらに拡大した。南緯77度付近に存在が予想された氷床ドームの一つの頂上域の探査を行い、標高3810 mのドーム頂上が南緯77°22'、東経39°37'にあることを発見し、ドームF（ふじ）と名付けられた。こうした内陸探査の結果、昭和基地南方の沿岸からドームふじに至る内陸域の地形、氷床基盤地形のおおよそが明らかとなり、「みずほ高原」と呼ばれるようになった。

東南極大陸みずほ高原における第I～II期の雪氷観測計画によって「白瀬およびラグンヒルド氷床流域」の地形、気候、氷床の動力学的状態、氷床の質量収支や堆積機構の地域特性などについての基礎的情報が蓄積された。

その後に行われた「深層氷床コア研究」の基礎的雪氷情報が蓄積された。いくつかの例を上げると、1) みずほ高原の涵養機構の解明：南極氷床の堆積過程（表面涵養）は接地大気層が作り出す斜面下降風とそれを動力とする剝削、堆積によって生じる雪面形成で、大気ー雪面相互作用である。斜面下降風の流下経路、強さは標高、地形によって地域的特性が生じ、その氷床上の状態は表面涵養量に反映する。氷床涵養の特性としてカタバ斜面域では数年から数十年に及ぶ堆積中断現象が普遍的に生じ、氷床コア研究の観点から見ると長期の堆積中断現象（hiatus）は堆積年代復元にとって必須情報となる。たとえば、みずほ基地で掘削された、ほぼ後氷期全期の堆積に相当する700 m深コアでは最大50%のhiatus期が推定され、堆積期間の半分は堆積が生じなかったことになる。2) 「みずほ高原」全域の表面積雪層の同位体組成、各種化学成分、微粒子成分等の分布が詳細に調べられ、その地域分布、季節・経年変動が明らかにされた。こ

れらは降雪およびエアロゾルの降下量の変動を反映している。こうした情報は、深層氷床コアから気候変動、環境変動を解析するための年代決定、気候復元に必須の基礎資料となる。

またこれらの観測対象流域の最源流である「ドームふじ」付近の氷の厚さは2800～3000 m、10 m深雪温から推定される年平均気温は-58℃、予想される年最低気温は-90℃、トリチウム濃度が示す1963年層から推定される年降水量は32 mmであることが明らかにされた。

2. ドームふじ基地での深層氷床掘削

「みずほ高原」における第三期の観測計画は氷床ドーム頂上での深層掘削の実施であった。「ドームふじ」は沿岸から1000 kmの奥地にあり、基地建設資材輸送には雪上車で片道約1ヶ月を要し、必要物資輸送に数年を要した。

ドーム頂上では水平方向からの氷の移流はなく、鉛直方向の氷の沈降だけが起こるので、「その場所」で堆積した積雪層のみを取り出すことができる。

ドームふじ計画の目的は「白瀬氷河流域」（南極氷床の単元流域、独立した質量収支系の一つ）の質量収支や氷床の流動状態を明らかにするとともに、1) 氷期ー間氷期の2サイクルを含む過去数十万年間の気候および環境変動の解明、2) 気候変動に伴う氷床のふる舞いと氷床規模の変動の解明、さらには北極域氷床コア情報との対比による地球規模気候変動メカニズムの解明であり、結果として2500 m深までの深層氷床コアが取り出され、34万年間の地球気候、環境復元資料が得られた。観測は現在も続けられている。

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.jpгу.org/publication/ad.html>

【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、<http://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。

JpGU - AGU Joint Meeting 2020

For a Borderless World of Geoscience

Japan Geoscience Union, American Geophysical Union

24-28 MAY 2020

Makuhari Messe, Chiba, Japan



セッションリスト公開 2019 年 12 月 2 日

投稿受け付け開始 2020 年 1 月 7 日

本大会のテーマである「**For a Borderless World of Geoscience**」は、「科学に国境はない。知識は人類に属し、世界を照らす炬火(たいまつ)である。」というフランスの生化学者・細菌学者ルイ・パスツールの言葉にもあてはまるものです。来るべき「JpGU-AGU Joint Meeting 2020」にて、地球惑星科学の知の体系化の先に、未来に向けた新しい洞察(パースペクティブ)を見出して頂きたいという願いが込められています。

大会詳細 | http://www.jpгу.org/meeting_j2020/