

情報・システム研究機構ブックレット

SCIENCE REPORT

019-024

オーロラは
語りかける。

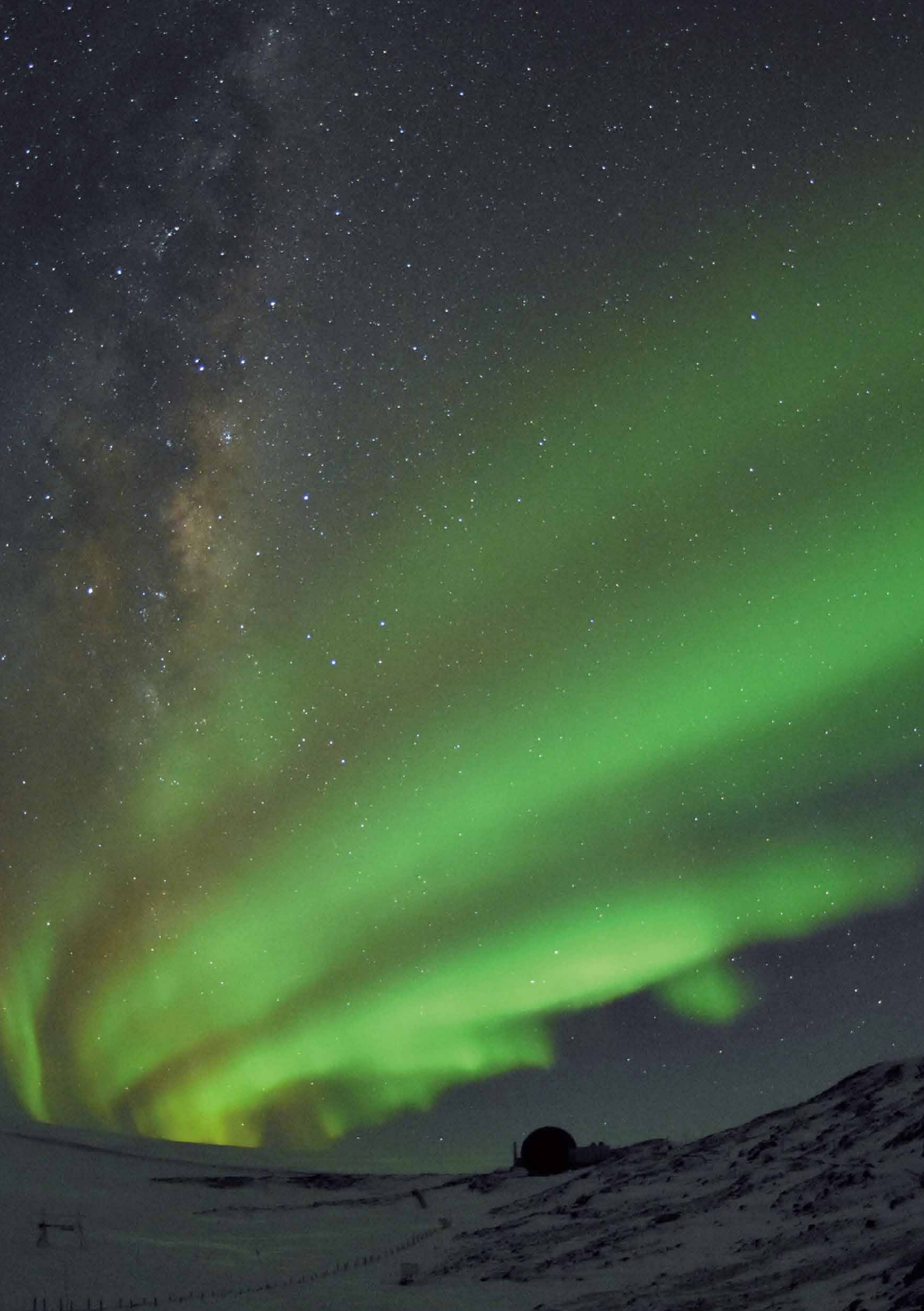


情報・システム研究機構ブックレット

SCIENCE REPORT

019-024

オーロラは 
語りかける。



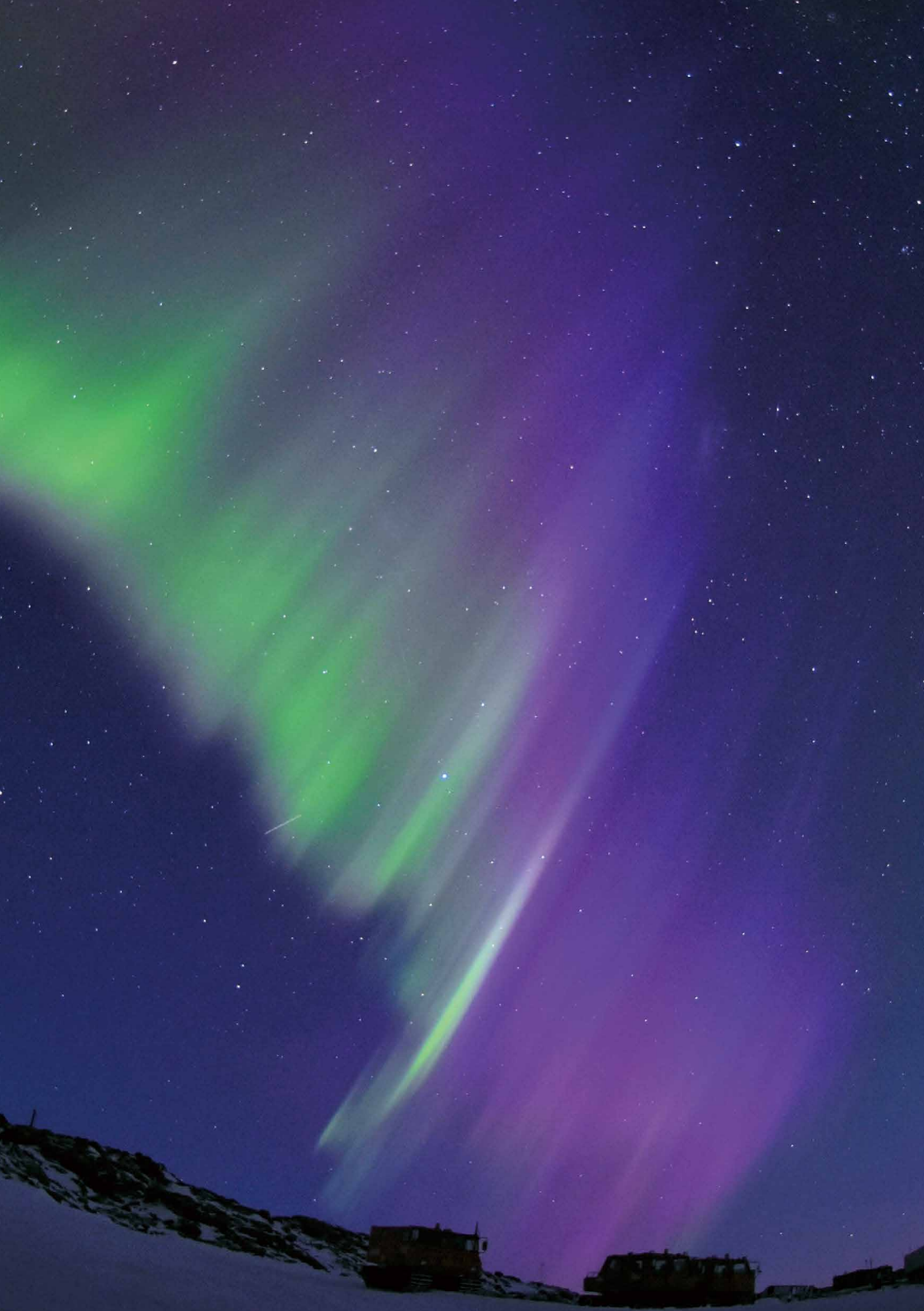
『サイエンスリポート』について

『サイエンスリポート (<https://sr.rois.ac.jp/>)』は、
大学共同利用機関法人情報・システム研究機構が
運営するウェブサイトです。

2016年12月公開以来、
当機構の大学共同利用機関法人としての役割を踏まえ、
自機構のみならず他機構および
広く大学・研究機関等の話題を採り上げ、
広く一般・マスコミの方々へ向けて、
学術の成果や取り組みに関する情報を提供しています。

その中心的なコンテンツとして、ウェブサイトと同名の連載記事
を定期的に（月1回程度）掲載し、
継続的に新しい記事を追加しています。
先端的な取り組みをわかりやすく紹介し、
人々の疑問に科学者コミュニティが答えるような構成で、
学術の役割と活動を広くご紹介しています。

本書は、その記事が身近にお手にとれるよう、
冊子にまとめました。



目次

- 03 『サイエンスリポート』について
- 10 [Science Report 019](#)
ゆらめくオーロラをどう記録する？
答える人 | 片岡龍峰准教授
- 18 [Science Report 020](#)
明滅するオーロラをどう解明する？
答える人 | 三好由純教授
- 26 [Science Report 021](#)
太陽活動は地球にどう影響する？
答える人 | 宮原ひろ子准教授
- 34 [Science Report 022](#)
「オーロラ爆発」を再現できるか？
答える人 | 海老原祐輔准教授
- 42 [Science Report 023](#)
太陽黒点、400年の謎を解き明かせるか？
答える人 | 堀田英之特任助教
- 50 [Science Report 024](#)
オーロラの科学は何を教えてくれるのか？
答える人 | 藤井良一機構長
- 63 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構について
機構長 藤井良一



A photograph of the Aurora Borealis (Northern Lights) in a snowy landscape. The aurora appears as vibrant green and yellow curtains of light against a dark, starry night sky. The foreground shows a snow-covered ground with some small, dark patches of vegetation.

SCIENCE REPORT

019-024

オーロラは
語りかける。

ゆらめくオーロラを どう記録する？

天空を舞台に繰り上げられる、とてつもなく大きな自然現象——オーロラ。地球に生きる人類は、昔から、捉えどころのないその姿に目を見張り、時に記録してきた。現代における宇宙物理学のさまざまな研究対象のなかでも、オーロラは極めて複雑な現象だという。ノルウェーの科学者、カール・ステルマーが4万枚を超える写真から三角測量によって、初めてオーロラの高さを明らかにしたのが、およそ100年前。しかし今世紀までオーロラを立体的に見ることは、意外にも、人間の目には不可能と考えられていたという。日々進化するICT（情報通信技術）とビッグデータを駆使して挑む人類に、オーロラは今、何を語りつつあるのだろうか？——これから6回にわたり、オーロラ解明への道を、科学者とともに辿ってみよう。

答える人

片岡龍峰准教授

〔国立極地研究所〕

かたおか・りゅうほう。国立極地研究所 准教授。2004年、東北大学大学院理学研究科博士課程修了、博士（理学）。専門は宇宙空間物理学。地球と宇宙をつなぐ大スケールな現象であるオーロラの解明や、宇宙天気予報の研究で知られる。2015年、文部科学大臣表彰 若手科学者賞受賞。著書に『オーロラ！（2015年）』『宇宙災害（2016年）』他。2018年、NHKカルチャーラジオ科学と人間『太陽フレアと宇宙災害』講師。



緑のオーロラは、地球に酸素がある証拠

私たちはふだん気にせずに暮らしているが、太陽光以外にも、宇宙からは電磁波や宇宙線と呼ばれるエネルギーの高い粒子などが昼夜を問わず降り込んでいる。このような地球の外にある宇宙という環境を考慮することなく、オーロラを理解することはできない。特にオーロラは、太陽活動と密接な関係がある。「太陽から吹き出す超高温で電離した粒子が、地球を取り巻く地磁気のバリアに遮られると大きな電流が生じます。オーロラは、この電流を担って宇宙から降り注いでくる猛スピードの電子を大気が受け止め、人間の目にも見えるほど明るく大気が発光する現象」と片岡龍峰准教授は解説する。太陽から吹き出す超高温で電離した粒子（プラズマ）を太陽風といい、これと地磁気、大気の3つが揃ってはじめてオーロラが生み出されるのだ。

このためオーロラは他の惑星にも見られ、たとえば木星や土星ではピンク色のオーロラが光る。「オーロラの色は基本的に大気の組成で決まるため、色によって大気の成分がわかります。地球では鉛直上空およそ100キロでは緑っぽい色、200キロでは赤色、90キロではピンク色になります」。象徴的なのは、緑のカーテンのような典型的なオーロラが光るのは上空100キロであり、そこに多く含まれるのは、生命に欠かせない酸素だということだ。酸素原子が放つ緑のオーロラが見られるのは地球だけ……「オーロラを知ることは宇宙と地球、そして生命のつながりを知ることでもあるんです」と、片岡准教授は言う。

またオーロラは、基本的にオーロラオーバルと呼ばれる北極・南極域にリング状に生起する。太陽風によって磁気圏で生じた大量の電流が、地球の周りにある磁力線に沿って、2つの極へ向かって進入してくるためだ。しかし上空100キロもの宇宙空間で起こるオーロラはあまりに遠く、地上にいる私たちは左右の視差を使って立体視することができない。実は2010年、オーロラの3D映像の生成に成功し、同時に距離の計測方法も開発したのは片岡准教授だった。「身近で新しい技術をうまく使って、見えなかったオーロラの姿を観測していきたいという考えは、今も同じ」という。



カーテン状にゆらめく緑のオーロラ。地球で見られる典型的なオーロラだ。国立極地研究所南極・北極科学館のオーロラシアターにて（観測地：昭和基地）。

なぜオーロラは複雑なのか？

最近、日進月歩に進化する高感度カメラを使って、アラスカの夜空の観測記録に取り組む。「人間の目で追える変化には限界があります。人間の限界よりも高感度かつ高速に、連続的に撮影し、1年で約500テラバイトぐらいのデータを取得しています。このデータで、オーロラを見直したら、どんな世界が見えてくるか？」と、期待をかける。というのも「オーロラは、ものすごく複雑なんです」と片岡准教授は言う。「流体的、電磁氣的、そして量子的に説明される現象であり、オーロラの電子は大気と宇宙を接続する電流を担ってしまう。しかもそれらが互いに1,000倍から100万倍ぐらいのエネルギーギャップがあって、何段階ものエネルギーの変換が起こっています」。

20年ぐらい前までは研究も、オーロラ、放射線、宇宙線などの専門分野ごとに分かれて行われていた。しかし、基本的な物理は共通しており、もっとも複雑な現象がオーロラなのだという。「たとえばプラズマの流体力学と電磁気学は、それぞれが対象とする現象をよく説明できるまで発達しているのだけれども、では、

それらのつなぎ目のような部分はどうなっているのか？ つまり、ゆっくりした目に見える変化は、流体的なものでだいたい説明できるんです。一方、見えないものは電磁気的な解釈でほぼ説明できる。オーロラをすごく速く撮ることで、まさに見える・見えないのつなぎ目が可視化でき、それがプラズマの物理とオーロラ解明の鍵のひとつになるのでは」と狙いを定める。

日本に出た、赤いオーロラの話

ところでオーロラは日本にも、さらには世界じゅうにも出る可能性があるという。これは巨大磁気嵐と呼ばれる現象で、地球全体を覆う地磁気の力が弱くなり、通常では降りこまない低緯度まで電流が流れ込み、あちこちに赤いオーロラを光らせる。「赤いオーロラは、現代的な問題なんですよ。非常に強い放射線も伴うので人工衛星を故障させたり、異常な誘導電流によって変電所を破壊し世界規模の停電を引き起こしたりします。また地球の地磁気の軸は揺れ動いており、たとえば2018年現在ではアメリカのほうに傾いているので、もしも磁気嵐が起きればアメリカのほうに赤いオーロラが出やすいということになります」。太陽の活動が活発になりコロナ質量放出と呼ばれる爆発を始めると、1週間ぐらいは



連続して爆発し続け、現代社会にとって危険な太陽風が吹き荒れる「最悪の宇宙環境になる」という。

2017年、片岡准教授は、勅撰集の撰者でもある歌道の宗匠、藤原定家（1162-1241）が56年にわたって克明に記した『明月記』や江戸時代の古典籍から、赤いオーロラを見出す研究成果を相次いで発表した。これが実は、巨大磁気嵐が過去にどのようなタイミングで起きており、最大でどの程度の規模だったのかを明らかにする研究なのである。「滅多に起こらないイベントなので、だからこそその稀少な例を古典籍に頼る価値があるんです」。きっかけは、片岡准教授が代表を務めた国立極地研究所、国文学研究資料館、総合研究大学院大学（総研大）連携による学際研究「オーロラ4Dプロジェクト（2015～2017年）」だ。これらの大学共同利用機関が集まる立川キャンパスという、いわば地の利を活かして文理の専門家が集まり、豊富な史料を多角的に読み込んだ。

その結果、『明月記』に、1204年2月、京都でオーロラが数日間連続して見えたという記述が、さらにその後、中国の歴史書『宋史』に、同じ日に太陽に大きな黒点が観測されたという記述が見つかった。「当時の地磁気の状態を計算してみると、地磁気の軸が日本に傾き、過去3,000年間で最も日本にオーロラが見えやすい状況だったんです。プロジェクトにより、定家の記述が日本最古の連続巨大磁気嵐の証拠であることを正確に位置づけることができました」（参照プレスリリース <http://www.nipr.ac.jp/info/notice/20170321.html>）。

さらに江戸時代の図版には、力強い扇形に光の筋が描かれており、「最初は絵画表現の一部だと思っていましたが、自分で計算して生成された図が、まさに古典籍に表現されていた扇形を再現したのには、非常に驚きました」と片岡准教授は振り返る。「科学的な証拠が揃ってくると、今度は絵の見え方が変わってきて、オーロラが空全体に立体的に覆い被さるように現れたために、2ページにわたってどーんと描いたんだろうと納得できるようになってきました。この緯度ならば、磁気圏に溜まったエネルギーがどれくらいで、それがいかに強い磁気嵐であったかなども示すことができました」。

世界大停電に備えるための「宇宙天気予報」

磁気嵐を含め、人間や人工物に影響を与える宇宙環境の変動を「宇宙天気」と呼ぶ。2018年からの宇宙天気予報によると、過去50年の激しく、したがってオーロラオーバルが活発に爆発した時期は終わって、比較的静かで爆発の少ない状況になるのではないかとというのが専門家の大方の予測だという。「それも、ちょっと楽しみなんです」と、片岡准教授は言う。「今までとは全く違う太陽活動が見えてきて、たとえば逆に宇宙線は強くなるなど、太陽極小期ならではの宇宙環境や地球への影響がこれから詳しくわかってくるはずです。オーロラオーバルの内側に、種類の違うオーロラも観測されるはずです」。

「一方、太陽活動が弱まってくるから、世界大停電の対策は忘れていいということとは全くないですね。全体的な太陽風の吹き方が弱いときには、ひとつ爆発が起こると、周りの圧力がないためにかえって爆風が広がり地球にヒットしやすくなるという面もある」という。「巨大磁気嵐は歴史的に見ると結構ランダムに来ていて、油断はできない」のだそうだ。宇宙環境やオーロラについて知るほど、地上にいる私たちの未来も少し違って見えてくる……オーロラ解明にはそんな効果もあるようだ。

公開日：2018/08/10



1770年9月のオーロラを描いた『星解』（松阪市郷土資料室所蔵、三重県松阪市提供）の複写。片岡准教授の研究室にて（参照プレスリリース <https://www.nipr.ac.jp/info/notice/20170321.html>）。

太陽圏の磁場の変動と宇宙線

宇宙から降り込んでくる銀河宇宙線の伝播計算を専門とする、茨城工業高等専門学校の三宅晶子准教授。どんな性質の宇宙線がどの量やってきたかを知ることは、太陽系のさらに外にある広い宇宙



の成り立ちを知る大きな手がかりになるのだそうだ。宇宙線は「人類がたどり着けない世界がどうなっているかを教えてくれる存在」と関心を持つ。一方宇宙線には、人類にとって被ばくというネガティブな側面もある。2017年、三宅准教授は片岡龍峰准教授らとの共同研究により、航空機高度での宇宙線被ばく量を2024年まで予測した。「黒点数が多く太陽が活発に活動している極大期は、宇宙線は伝播途中で多くのエネルギーを失って太陽圏外に押し戻されやすく、太陽活動の極小期には比較的整った磁場によって、宇宙線が地球近傍にたくさん降り込んできます」と三宅准教授は言う。「太陽圏の磁場は11年周期で極性反転しており、また太陽の自転に合わせてばたばた波打ちながら広がるカレントシートと呼ばれる磁気中性面は、太陽が活発になるにつれて非常にぐちゃぐちゃした構造になっていくことが、既にさまざまな観測からもわかっています」。そこでこの周期的な太陽圏の磁場の変動を考慮した宇宙線の伝播モデルを開発し、今後2024年までの航空機高度での宇宙線による被ばく量について、より詳細に予測を行った。その結果、前回の極小期（2009年）と比べて、太陽活動極小期前後の5年間での年間被ばく量平均値が約19%増加するという結果が得られたという（参照プレスリリース <https://www.nipr.ac.jp/info/notice/20170512.html>）。

明滅するオーロラを どう解明する？

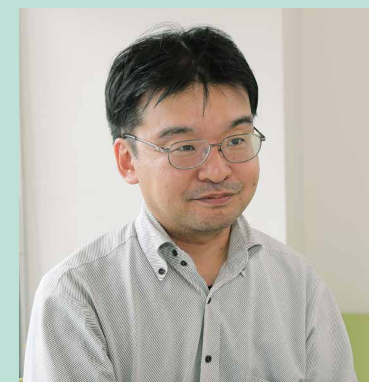
緑のカーテン状にゆらめくようなはっきりと視認できる「ディスクリートオーロラ」に対して、「ディフューズオーロラ」という別の種類のオーロラがある。全体にぼんやりとしているが、非常に多様な姿を持っている。この「ディフューズオーロラ」の中には時間とともに明滅を繰り返す性質を持つものがあり、これが「脈動オーロラ」と呼ばれるものだ。科学者の間では1950年代頃から知られていたものの、地球周辺の宇宙空間＝ジオスペースとの関連も深いことから、近年は特に宇宙の利活用の面からも世界的な関心を集めているのだそうだ。人工衛星やICT（情報通信技術）の発達によって、いよいよ具体的にわかるようになってきた、明滅するもうひとつのオーロラをご紹介します。

答える人

三好由純教授

[名古屋大学]

みよし・よしずみ。名古屋大学 宇宙地球環境研究所 教授。2001年、東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻博士後期課程修了、博士（理学）。専門は地球惑星磁気圏物理学。ヴァン・アレン帯に注目し、衛星データ解析とモデリングによる地球・惑星磁気圏と宇宙天気の研究を推進。ジオスペース探査衛星「あらせ」のプロジェクトサイエンティストも務める。2015年より科学研究費補助金 基盤研究(S)「脈動オーロラ研究プロジェクト」研究分担者を務め、脈動オーロラと呼ばれる現象の謎を探る。



脈動オーロラ解明に日本の技術力と研究力を結集

オーロラにはいろいろな種類があるが、脈動オーロラは「光が弱くて、ぼんやりとしか見えない」と名古屋大学の三好由純教授は言う。「ちょっとかすんだように見えるなと思って、デジカメで撮ってよくよく見ると緑のオーロラが出ている」のだそうだ。たとえば5秒毎に「明滅（主脈動）」しているとする、光っている間に、1秒間に数回光がさらに強くなったり弱くなったりする「瞬き（内部変調）」が起こる。「これが繰り返されるので、リズムを刻むような感じですし、いろいろな形があって不思議なんですよ」。

脈動オーロラは、宇宙から降ってくるエネルギーの高い電子でできていることも大きな特徴だ。カーテン状のオーロラが数キロ電子ボルトであるのに対して、



2018年8月、アラスカの観測拠点に高感度・高速のカメラを設置する三好教授。PWINGプロジェクト（研究代表者：塩川和夫 名古屋大学宇宙地球環境研究所教授）と共同で運用する。撮影：清水良広

脈動オーロラのエネルギーは10キロ電子ボルト程度。さして違わないようにも思われるが「実は100キロ電子ボルトや、1000キロ電子ボルトもの電子が一緒に降っているのが見つかり、これには私たちもかなり驚きまして、ちょっと新しい進展が起こりつつあるんです」。

三好教授らは2015（平成27）年度より「脈動オーロラ研究プロジェクト（研究代表者：藤井良一 情報・システム研究機構 機構長）」を推進する。超高感度カメラを使いサンプリング時間をもっと短くして、地上から脈動オーロラの変化を細かく捉えたり、JAXAによって打ち上げられたジオスペース探査衛星「あらせ」から送られてくる観測データをも駆使して、このダイナミックな現象の解明に挑む。「これからの数年は、あらせが実際に宇宙へ出かけて行って観測した、非常に貴重なデータが手に入ります。オーロラを光らせている源の宇宙空間に、何が起きているかを知るまたとないチャンスなんです」。

プロジェクトではさらに極域からオーロラが光っている高さにロケットを打ち上げて、そこからオーロラを観測する準備も進められているという。さまざまな観測手法を結集し、これにシミュレーション技術を組み合わせ、脈動オーロラの解明を統合的に進めていこうという狙いだ。

あらせ衛星が観測するヴァン・アレン帯

脈動オーロラが含んでいる高エネルギー電子を理解するには、ジオスペースの一部で、ドーナツ状の2層構造で地球を取り囲む「ヴァン・アレン帯」に注目する必要がある。ヴァン・アレン帯は、1958年、アメリカ合衆国初の人工衛星の観測結果から発見した発見者



のアメリカの物理学者の名に由来する。数100キロ～数10メガ電子ボルト（熱換算で数千億度）という極めて高エネルギーな電子が、ほぼ光速で飛び交う帯域である。ちなみに2016年12月に打ち上げられた「あらせ」は、衛星にとって極めて厳しいこの環境、すなわち「荒瀬」に挑むのがミッションだ。

「脈動オーロラが起きた時に、このヴァン・アレン帯に由来する電子が大気に落ちていくんです」と、三好教授は言う。この高エネルギーな電子は高度約60-80キロで空気にぶつかり、空気が電子を受け取って「電離」を起こす。「するとオーロラ活動に伴って、大気中の窒素化合物や酸化窒素が電離し、オゾン層が破壊される可能性もあることがわかってきました。脈動オーロラは、地球の気候変動ともつながっている可能性があると言えますね」。

宇宙がさえずる夜は、オーロラが瞬く

脈動オーロラが、明滅を繰り返すメカニズムの解明も進められている。宇宙のさえずり（＝コーラス）と呼ばれる現象があって、宇宙空間に存在する2～3kHzの電磁波をアンテナで捉えて、データをスピーカーで再生すると、小鳥がさえずるような声が得られるのだそうだ。「実は、地上でこのようなさえずりが聞こえ始めると、オーロラが瞬き始めるんです」。三好教授らは2015年、衛星が捉えた高エネルギー電子のデータとシミュレーションを用いた研究によって、宇宙のさえずりが、宇宙空間で電子を変調させ、脈動オーロラの明滅を作っていることを初めて実証した（参照プレスリリース <https://www.nipr.ac.jp/info/notice/20150928.html>）。

さらに2017年、あらせ衛星が宇宙のさえずりそのものを高さ数万キロの宇宙空間で観測し、宇宙の電波が、電子を地球に向かって変調させている現象を、まさに宇宙の現場で捉えることに成功した。これと同時に地上からは脈動オーロラが観測され、脈動するオーロラの明滅と瞬きが、コーラスによる電子との相互作用によって引き起こされていることが、実際に確かめられたのである（東京大学、JAXA、金沢大学等との共同研究）。

「ジオスペースには既にたくさんの人工衛星が活動しており、地上にも、国立極地研究所が担う極域観測点をはじめ、各地に観測拠点があります。これらをつなぐネットワーク観測によって、宇宙における点の観測と地上の面の観測を組み合わせて全体として理解することが、これからますます重要になってくる」と、三好教授は言う。「ジオスペースはもはや私たちの生活圏なので、その環境と変動をより精緻に理解したい、平均的な値ではなくて今この瞬間の値を知りたいという要請がありますし、究極的にはやはり予測できるようになる必要がある——その時代に応えるためにも、脈動オーロラの解明を進めています」。

公開日：2018/09/10



写真は、国立極地研究所（東京都立川市）の一角にある光学校正室。この室内で光学機器の性能を定量的にチェックする較正作業（キャリブレーション）が行われる。室内は温度湿度が一定に保たれており、塵などが入らないように利用者は白衣や帽子を着用のうえ靴を履き替えて利用する。「オーロラに限らず、光の研究をしている人にはなくてはならない施設」と三好教授（写真左）。三好教授と共同研究を進める国立極地研究所 小川泰信准教授は、この校正室の維持管理を担う1人でもある（写真右）。2人の背後に見えるのは「積分球」と呼ばれる装置で、「球内の均一光を用いて、微弱な光をとらえる装置の感度を定量的に調べるができる。大きなレンズを持つ機器に入れられるように積分球の開口部を設計しており、この開口部で均一な光を作るには2m程度の直径が必要」と小川准教授。「さまざまな光の観測装置が、その観測の前後に、ここで校正されている。国内の研究機関を中心に年間約20～30組に利用されている」という。



太陽活動は地球に どう影響する？

京都には、桜の満開日を記録した古日記が約1,200年分も残されているのだそう。桜は気温等の条件が揃わなければ開花しないため、満開日の記録は気温の記録と見ることもできる。このようにして人々が残した観測記録を調べたり、年輪、氷床、地層等の物質を分析したりすることによって、長い間に地球がどう変動してきたかの証拠を集めることができる。加えて、年輪や氷床の成分からは、太陽の活動についての手がかりも得られる。いくつかの周期を持った太陽の変動が、オーロラや、ジオスペースを含む私たちの生活圏にどんな影響を与えているのか——今、少しずつ明らかになってきているという。

答える人

宮原ひろ子准教授

〔武蔵野美術大学〕

みやらはら・ひろこ。武蔵野美術大学准教授。2005年名古屋大学 理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻 博士後期課程修了、博士（理学）（名古屋大学）。太陽圏環境や銀河宇宙線量の長期変動の物理メカニズムの解明や、宇宙環境の変化が地球の気候に及ぼす影響などを専門とする。特に屋久杉の年輪や氷床コア等に基づく、太陽活動の長期的な変動の解析で知られる。2012年、文部科学大臣表彰 若手科学者賞、2015年、第31回講談社科学出版賞受賞。



屋久杉の年輪の中にある炭素14を測る

屋久島の標高500メートル以上の地に自生する屋久杉は、樹齢1000年を越えるものもあることが知られている。切り株に現れる年輪は、その縞模様から樹木の成長の様子がわかるだけでなく、そこに含まれる放射性同位体「炭素14」を測ることによって、太陽活動のサイクルを知る大きな手掛かりとなる。

武蔵野美術大学の宮原ひろ子准教授らは、樹齢約2000年、直径約2メートルの屋久杉から炭素14を解析し、2008年、1100年前頃の太陽活動の復元に成功した。これにより、気候が温暖であったとされる10世紀から14世紀頃にかけての「中世温暖期」に、実際に太陽活動が活発だったことがわかったという。「年輪からは、太陽の活動が変わったときにどれくらい気温に影響がでるのかといったことや、降水量への影響なども見えてきます」と宮原准教授は言う。



屋久杉の年輪 撮影：宮原ひろ子

続いて2018年には、弘前市に残る『弘前藩庁日記』と、八王子市に残る『石川日記』という江戸時代の2つの文献から雷の発生日を調べ、太陽活動が活発化するほど、日本の夏の雷に、ある周期性があらわれてくることを明らかにした。太陽活動には約27日のサイクルがあるが、文献からもその周期が読み取れたのである。『石川日記』は農家の日記なので、農作業、作物、天候などについて書かれています。ただし詳しく書かれている時代もあれば、家長によっては天気あまり興味がないこともあったようで、「今日は雨」ぐらいしか書かれていない時代もありました。一方『弘前藩庁日記』は公文書なので、いつ雷が起こったのかといった具体的な記録が約200年分まとまっており、質の高いデータが取れる非常に貴重な文献でした。寒冷な地であることもあり、天候にはものすごく敏感だったのだろうと推察されます」と宮原准教授は言う。「大気の上層で光るオーロラには、27日周期が見られるということが知られていました。今回の発見は、大気のさらに奥深いところでも、そういった27日周期の影響が見える、というものです」。

太陽活動と地球の気象

「太陽活動は間違いなく地球に影響を与えているのですが、どのように影響しているのかを突き詰めるのは難しい」と宮原准教授は言う。太陽活動の指標として太陽黒点数が知られているが、黒点が増えても、地上の気温にはほとんど影響しないとする見方が長く続いていた。「1980年代に、人工衛星で太陽の日射量を詳しく調べる観測が行われたのですが、気温を変えるには変動が小さすぎるということが判明した経緯があります」。しかし、日射量の変動が小さいにもかかわらず、太陽活動と地球の気候が1万年ものあいだ非常に強い相関を示し続けているという画期的な論文が2001年に発表され、それまでの認識が大きく方向転換したという。

「今までは地球で起こったことは、地球の中だけで解こうとしてきたと思うんです。何かが変化すれば、大きな変化が生まれることもある。例えば氷が融ければ海洋循環が弱まって、そして大気がこうなって……と。しかし、その一番最

初の変化がなぜ起こったのか、というところが解けていない例も多い。そこで、もうちょっと宇宙から見たら、根源から理解できるのではないか、と考えたわけです」。

周期に注目して太陽活動の影響を追う

宮原准教授の研究は、太陽の持つ周期に注目する。一番短いものは自転周期である約27日。この他に、11年周期や、200年という周期もある。「気体はすぐ混ざってしまうので、普通に考えると長期的な変動を生み出すのは困難であるように思うのですが、太陽の活動には1,000年周期や2,000年周期といったものもあるのです」。

太陽活動によって変化するのは日射だけではなく、紫外線や宇宙線などもある。「どれもみんな太陽活動の変動と同期して変化しています。日射が減れば、紫外線も減り、一方宇宙線は太陽活動が弱まることによって強まる逆相関の関係にあるので、逆に増えます。時間変化のパターンがとても似ているので、それぞれの影響は見分けがつきにくい」。しかしこれらをグラフにした時に見えてくる、非常に微細なところに、宮原准教授は手掛かりをつかむ。「27日周期などのいくつかの周期では、日射・紫外線と宇宙線との変動が微妙に違うんですよ。日射や紫外線の変動は黒点のサイズと位置によって決まるが、宇宙線の変動は、黒点から宇宙空間に放出される磁場の影響として現れる。「このメカニズムの違いが、変動のパターンにわずかな違いを生み出す。どの要因が地球のどこにどう効いているかをきれいに分離できる可能性があるんです」。

しかもこの27日というスパンの短さには、さらなるメリットもある。「例えば数百年といった長いスパンで太陽の気候への影響を見ても、影響し終わった最終的な姿しか見えなくて、影響していったプロセスを追うことはできません。でも27日なら、まず地球のどこが影響を受けて、それがどう伝搬していくかというプロセスを追える可能性があるんです」。今や人工衛星などの観測によって、世界各地の毎日の気象データが膨大に手に入るため、27日周期がどう表れて、



どう伝搬したかを全球的に見ることもできるわけだ。

宇宙天気と地上の天気予報をつなぐ

これまでの研究を通じて、太陽活動と地球の気候との関係性が「だいぶ見えてきた」と宮原准教授は言う。「太陽活動が長期的に低下しても、地上の気温は全体としては0.5～0.6度

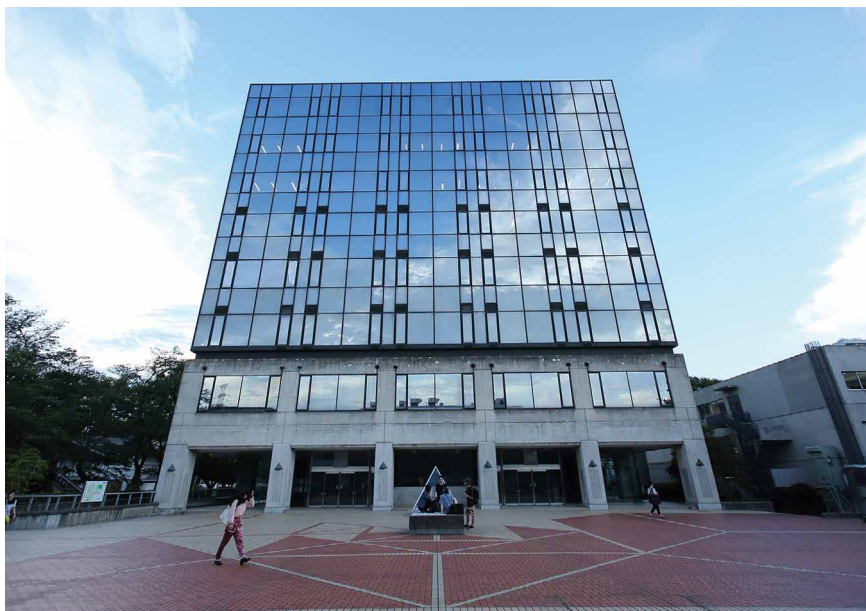
しか下がらないと言われているのですが、データが集まってくると、影響が大きい地域と影響がほとんどない地域の差がとても大きいことが見えてきます。このうち日本は影響が大きく現れる地域であり、



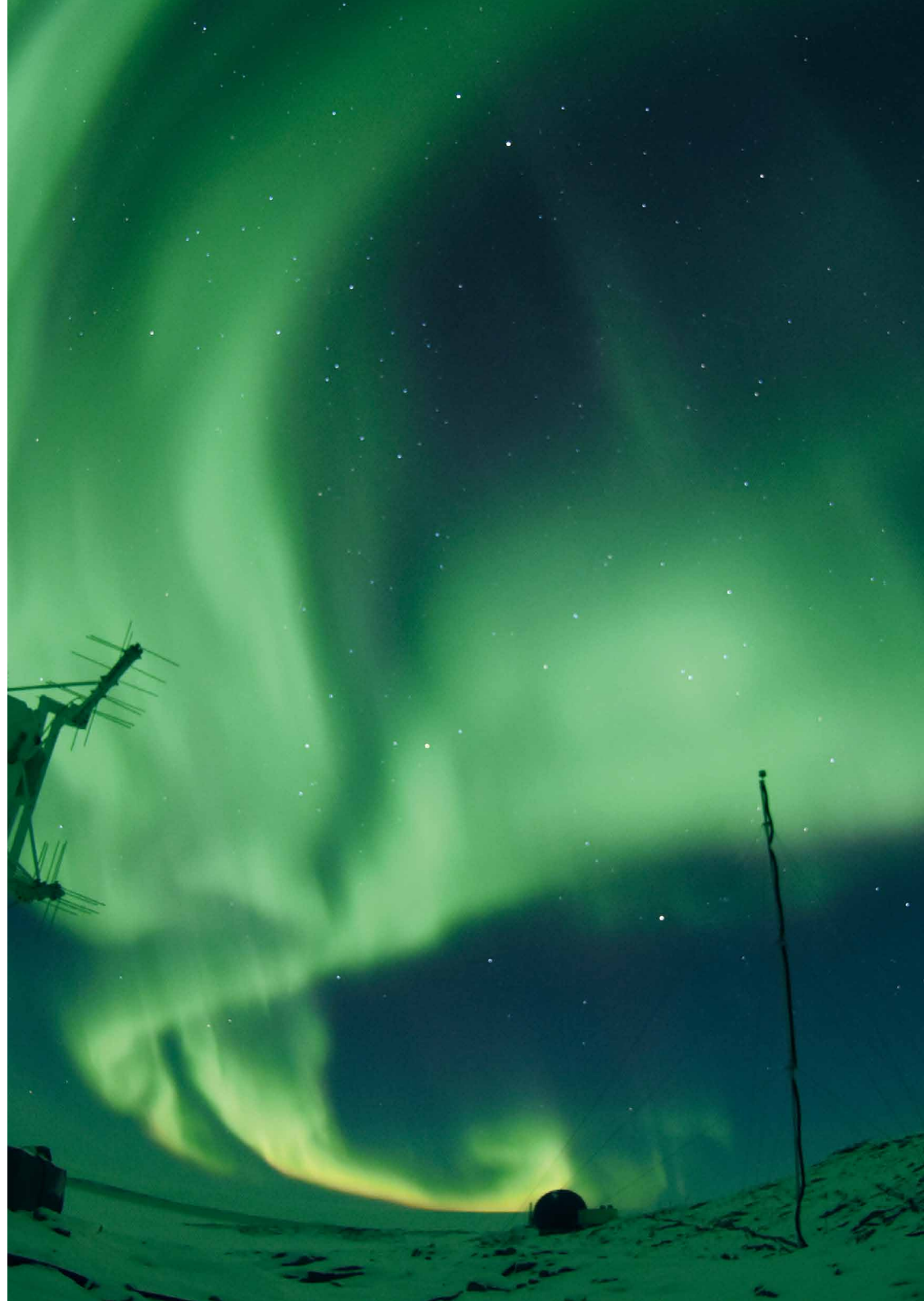
太陽活動が低下すると、最大約2.5度も気温が下がるんです。そして、日本ではこのとき雨も増えるんです。これが何十年も続くとなると、農業をはじめ社会的な影響もかなり大きくなると考えられます」。

ところで、太陽活動や地磁気の変動などによって起こる宇宙環境の変動を「宇宙天気」という。既に、日本を含む世界でこの予報が開始されており、人工衛星や通信機器等の障害を軽減することなどに役立てられているが、「将来的には、宇宙天気予報と地上の天気予報をつなげたい」と宮原准教授は言う。太陽表面での活動の予測や、それらの地球への波及の予測といったものを、さらに、地球の大気モデルに入力し、気象を予測する。「今提供されている天気予報は10日先ぐらいまでが限度となっているが、1カ月以上先まで伸ばせる可能性もあるかもしれない」という。

公開日：2018/10/10



写真は、東京都小平市にある武蔵野美術大学鷹の台キャンパス。大学では、美術を志し日々制作に打ち込む学生たちを対象に教鞭をとる。「アートが身近にある環境は、研究にもよい刺激になる」と宮原准教授は言う。



「オーロラ爆発」を 再現できるか？

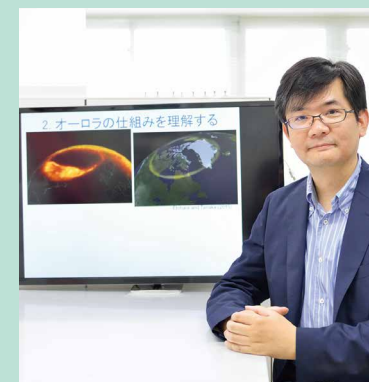
突発的に大規模なオーロラが発生する現象があり「オーロラ爆発」と呼ばれている。多くのオーロラと同じように南北の極域でリング状に広がるオーロラオーバルに沿って高度およそ100～400kmに発生するが、「爆発」と名にあるように全天に広がって目まぐるしく変化するスケールの大きさが特徴だ。このような現象の背後に、いったいどんな地球磁気圏のダイナミクスがあるのか——科学者たちは長らくこの疑問を統一的に説明しようとしてきた。今回はこれを数値シミュレーションで解明する研究を紹介しよう。

答える人

海老原祐輔 准教授

〔京都大学〕

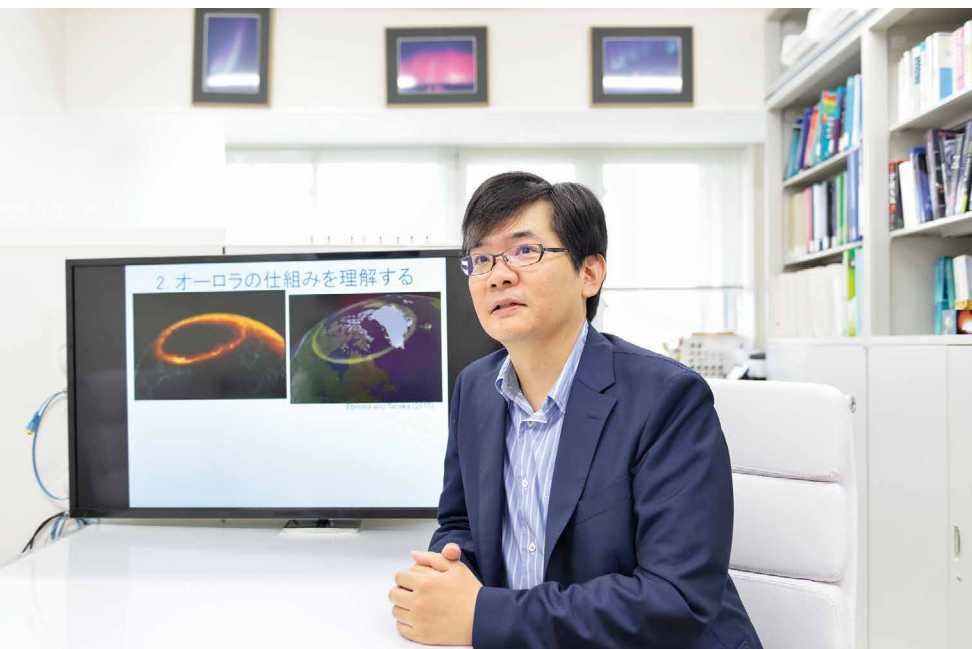
えびはら・ゆうすけ。京大大学生存圏研究所 准教授。1999 年総合研究大学院大学博士後期課程修了後、名古屋大学高等研究院特任講師等を経て、2011年より現職。専門は宇宙空間物理学。地磁気が数日間乱れる磁気嵐や、突発的に大規模なオーロラが発生するサブストームの研究で知られる。2015年には九州大学田中高史名誉教授が開発したシミュレーションを用いてオーロラが急激に明るく光り出す「オーロラ爆発」現象を合理的に説明できるモデルを提唱した。



磁気圏のメカニズムをシミュレーションで解く

オーロラは、宇宙からやってくる粒子（主に電子）が地球の超高層大気に衝突して発生する。オーロラの発生には3つの要因が欠かせない。エネルギー源である太陽、発光体としての地球の超高層大気、そしてオーロラの種となる電子を捕まえる地磁気である。地磁気は目に見えないが、太陽の影響下にある地球を取り巻く環境を考える上でとても重要だ。

「地球の磁力が及ぶエリア、つまり磁気圏は、たいへん広大なんです。オーロラ爆発のときに磁気圏がどうなっているか、人工衛星を打ち上げて測定が行われていますが、太平洋に舟を浮かべて測るがごとしで、1点の状態だけわかっても、



左は人工衛星が観測したオーロラ爆発。リング状のオーロラオーバルの一部にひときわ明るい弧（画像左下）が光り始めて、ぼわっと燃え広がるように東西の方向に伝わっていく。右はシミュレーション。観測で捉えられたオーロラ爆発の特徴をうまく再現することができる。

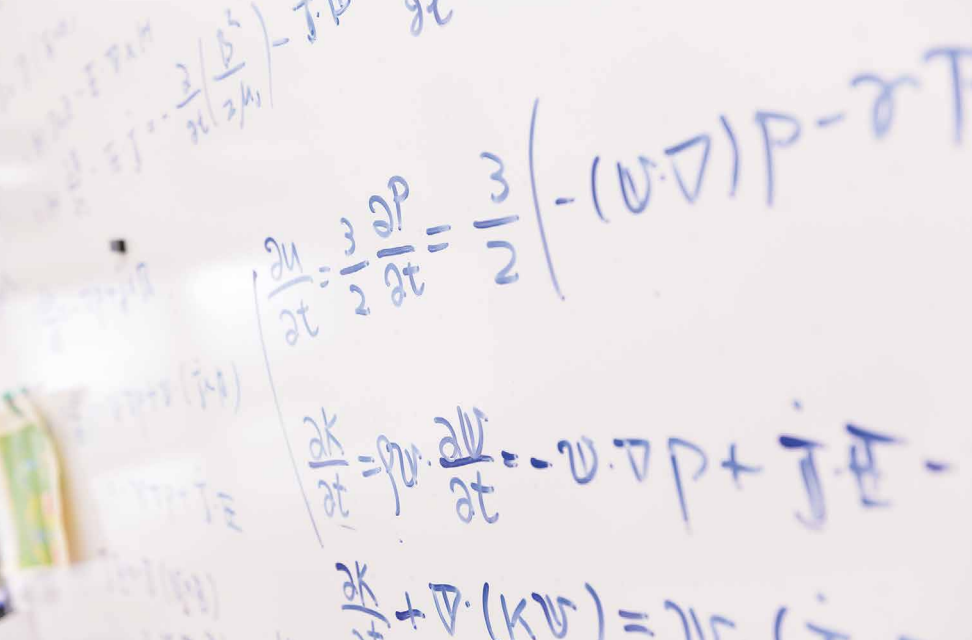
磁気圏全体がどうなっているのかはわからない。最近は複数の衛星から同時観測も行われていますが、それでもなかなか把握できません。そこで20～30年前から、数値シミュレーションによってスーパーコンピュータでこの問題を解いていこうという試みが始まりました」と、京都大学の海老原祐輔准教授は言う。

海老原准教授が駆使するシミュレーションの作者である九州大学田中高史名誉教授は、1983～4年南極地域観測隊に参加して昭和基地で越冬した際、オーロラ爆発を観察して感銘を受け、これをコンピュータの中に再現しようと思い立ったところから開発が始まったという。田中名誉教授のシミュレーションは「オーロラ爆発の特徴をよく再現している」と海老原准教授。1990年代半ばに開発され、現在もライフワークとして拡張し続けられているのだそうだ。

スウェーデンで「オーロラ爆発」を体験

海老原准教授は1999～2001年にスウェーデン最北の都市「キルナ」にある研究所に博士研究員として勤務していた。当時は主に磁気嵐の研究を行っていたが、そこで何度もオーロラ爆発を目の当たりにしたことがサブストームに強い関心を寄せる大きなきっかけになった。「まず夜空の1点で突然光が輝き出し、瞬く間に全天にオーロラが明るく広がりました。しかも細かいカーテン状の光が縦横無尽に、まったく不規則に走り抜けるというもので、どうなっているのかまったく想像がつかない……。自然はなんて凄いんだろうという畏敬の念を抱かざるを得ませんでした」。

オーロラ爆発がおこると極域の地磁気が数時間激しく乱れる。不規則で激しい地磁気の乱れには磁気嵐とサブストームの2種類があることが知られており、磁気嵐は全世界的に地磁気が減少する現象だ。いったん発生すると現象は数日間続き、通常は極域でしか見ることができないオーロラが中・低緯度地域にも現れる。この嵐（ストーム）に対して、イギリスの地球物理学者でオーロラの解明にも功績のあったシドニー・チャップマン（1888-1970）が提唱したのがサブストームである。磁気嵐が起こるときには、極域で小さな地磁気の変動がいくつも断



続的に現れるため、このような「サブ」ストームがたくさん集まって磁気嵐が起こればと考えられたのである。しかしサブストームがなくても磁気嵐は発達することなどが知られるようになり、現在、その関連は未解決の問題となっている。磁気嵐との大きな違いは、サブストームは極域を中心に起こり、数時間しか続かない点だ。

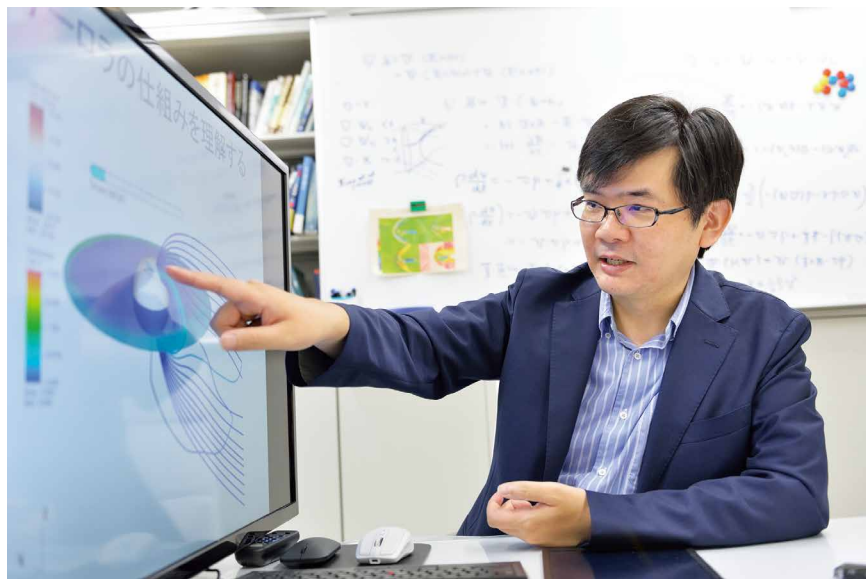
「オーロラ爆発は、衛星や地上の通信・電力網などを破壊するなどの障害を引き起こすことが知られています。しかしサブストームは突発現象なので、いつどこで起こるかわかりません。予測が難しいという点で地震によく似ています。サブストームがどのような過程で起こるかは、磁気圏の大変動の解明という点からも、たいへん興味深いですね」。海老原准教授は2010年ごろまで主に磁気嵐の研究を行ってきた。「磁気嵐は太陽風（太陽から吹くプラズマの風）の状態が決まれば、ある程度予測ができます。ところがサブストームは予測が難しい上に一旦起こると磁気圏の状態が一変します。そこが面白い。そして何よりオーロラ爆発は美しい。サブストームには沢山の魅力があります」。

再現してわかったオーロラ発電のしくみ

田中高史名誉教授のシミュレーションは、オーロラ爆発のひと続きの流れをきれいに再現することができる。「地球の南北の極から磁力線が延びており、一方から太陽風に見立てた電気を帯びた粒子（プラズマ）を、シミュレーションでぶつけてみます。すると太陽の側にある磁力線が地球のほうへ押しつけられ、磁力線が大きく変形していきます。磁力線はどんどんと太陽と反対の方向へ吹き流されるように延びていき、長く尾を引くようなかたちになって、地球の磁気圏が出来上がります」。

太陽の反対側の引き延ばされた空間を「尾部」と呼ぶが、ここにプラズマシートと呼ばれる電気を帯びた粒子が蓄積されている。磁力線には自ら縮もうとする性質があるため、この尾部で隣り合った磁力線が相互に結び合う「リコネクション」という現象が起こると、プラズマとともに地球方向へ押し戻っていく。すると地球近くでプラズマの圧力が高まり、比較的高緯度で磁力線に沿って流れる強い電流「沿磁力線電流」が作られる。これが地表近くの電離層に接続すると、オーロラ爆発が起こるのである。

一連の流れを再現するこのシミュレーションは、地球の磁気圏のダイナミクスを解明する大きな一歩となった。「オーロラ爆発の時には3箇所が発電が起こっていることがシミュレーションでわかったんです」と海老原准教授は言う。「火力発電所では石油や天然ガスを燃やして水蒸気を作り、蒸気が流れる力でタービンを回して発電します。それと同じようにプラズマの粒子を動かすと発電することができます。宇宙ではこうした発電機が順に作動していくのですが、磁気リコネクションの結果として生じた地球近くの発電機が最終的に強い沿磁力線電流を作り、それが電離層と接続すると地球に向かって電子が降りはじめ、オーロラ爆発が始まるのです。電子と電流は逆向きに流れるため、明るいオーロラが出ているところでは上空へ向かって強い沿磁力線電流が流れていることになります」。



海老原准教授が指さしている青い球は地球を見立てたもの。画面左奥から太陽風が吹いてくる想定シミュレーションで、画面右手前に「尾部」が広がり、リコネクションを起こしているところ。

この壮大な変動には、さらに続きがある。「明るいオーロラの周囲では電離層を流れる電流の流れ方が変わるので、ここでも発電作用が起こり、西の方向に燃え広がるような明るいオーロラが生じると考えています。つまり宇宙だけでなく地球もオーロラ爆発に積極的に関わっていて、お互いが協調してオーロラ爆発という壮麗な現象を引き起こしている——そんなことをシミュレーションは教えてくれました」。

磁気圏の全容を理解することへ向けて

ところで、シミュレーションは目に見えるかたちで答えを示してくれるが、シミュレーションの中で何が起きているのかについては、人間が分かりやすい形では教えてくれない。シミュレーションの結果を解析するにあたり、海老原准教授は「定説とされていたメカニズムを検証したがことごとく失敗した」と振り返る。そこで、従来のように尾部にあるプラズマシートを2次元的に見るのではなく、宇

宙空間を広く3次元的に俯瞰したところ、オーロラ嵐の理解につながった。ちなみに脈動オーロラ（p20参照）は、オーロラ爆発後によく現れる現象で、「地球の近くの磁気圏に溜まったプラズマのエネルギーが何らかの原因により不安定となってばらばらと地球に落ちてきたもの」なのだそうだ。

「しかしまだオーロラ爆発の細かい構造は、シミュレーションでは再現できていないのです」と海老原准教授は言う。特にオーロラ爆発の初動に現れる複数の明るく小さな構造が再現されないのだそうだ。「シミュレーションの精度を上げていくとともに、シミュレーションの結果が何を意味しているのかを詳細に検証し、観測と比較しながら宇宙空間で起きている出来事についてその理解を深めていく必要があります」。

公開日：2018/11/12



京都大学宇治キャンパスにて。

太陽黒点、 400年の謎を 解き明かせるか？

オーロラの出現には、太陽活動の変動が大きく関わっている。1610年、ガリレオが自ら作った望遠鏡で黒点の観察を始めて以来、少なくとも400余年にわたって人類は太陽を観察してきたが、これらのデータからわかるのは、太陽の変動には明らかにパターンがあるということだ。ガリレオ自身も、自らが記した克明な黒点の記録から太陽の自転運動を推論したが、およそ27日で一回転する自転のほかに、太陽活動が活発と不活発を繰り返す、約11年の周期が知られている。太陽緯度を縦軸に、時間を横軸にとって黒点の出現をグラフに表すと、約11年ごとに、ちょうど蝶のような形をしたパターンがくっきりと現れるのである。なぜ11年なのか？——明らかな規則性があるに関わらず、そのメカニズムは今も明らかになっていないのだそう。オーロラの源をたずねて、今回は遠く太陽の内部まで迫ってみよう。

答える人

堀田英之 特任助教
[千葉大学]

ほった・ひでゆき。千葉大学大学院理学研究院 特任助教。2009年東京大学卒、同大学院、研究員等を経て、2015年より現職。博士（理学）（東京大学）。葛飾北斎の「富嶽三十六景 神奈川沖浪裏」のようなパターンを見せるケルビンヘルムホルツ不安定性のシミュレーションを見て、初期条件を与えて方程式を解くと絵が出て来るしくみに魅せられ、研究者を志す。学生時代の研究を発展させた太陽活動のシミュレーションで、2016年、太陽の複雑な磁場生成メカニズムを世界で初めて解明する論文を米科学誌『Science』に発表。太陽はなぜ11年周期を持っているのか、太陽物理学最大の謎に挑む。



太陽活動を示す黒点では何が起こっているのか

太陽の表面には、その活動が活発な時、黒点がたくさん現れる。黒点は必ずS極・N極の2つひと組で出現し、太陽から発せられる光を観測することによって、黒点が強い磁場を形成しているのを確かめることができる。「太陽は中心部で核融合が起こり、そこからエネルギーを放っています」というのは、千葉大学の堀田英之特任助教だ。生成されたエネルギーは、輻射による熱輸送によって、太陽の中心から太陽半径の20～70%にある放射層の中を20万年ほどもをかけて運ばれ、ついにその外側を覆う対流層へ到達する。「対流層は盛んに熱対流が起こり、ボコボコ湧いているような状態です。このうち磁場が強いために熱対流の流れが止められ、冷たくなっている部分が黒点です」。黒点は太陽活動が盛んな領域なのに、温度が低く、暗く見えるのはこのためだ。

黒点のS極とN極は、磁力線によって結ばれており、その大きな磁気エネルギーが熱エネルギーや運動エネルギーに変換されると、爆発の炎を噴き上げるよう

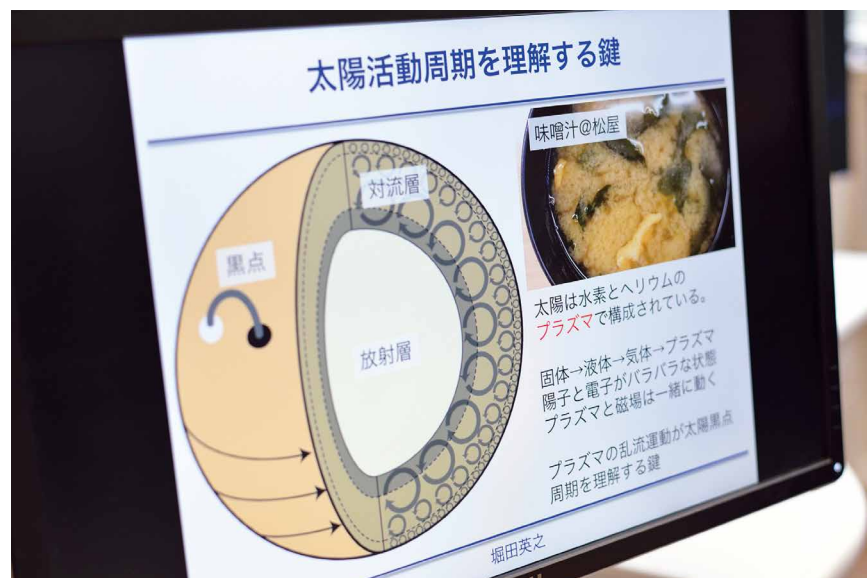


な「フレア」が放たれる。太陽フレアは、大規模な場合、水素爆弾1億個ぶんにも相当する爆発現象であり、これが地球に到達し、オーロラを発生させる原因にもなっている。

また、太陽も地球の南極・北極にあたる極磁場を持ち、地球や他の多くの天体と同じように自転によってダイナモ（発電装置）を構成しているが、太陽では11年周期でこのS極とN極が反転する。「しかしなぜ11年周期なのか、その過程はまだ分かっていません。太陽物理学最古で最大の問題と言えるでしょう」。

太陽の中身を計算で再現する

そもそも太陽は水素とヘリウムでできており、対流層では、それらの陽子と電子がバラバラになった「プラズマ」と呼ばれる気体の状態になっている。巨大な磁場のエネルギーが開放されて熱エネルギーや運動エネルギーになったり、その逆の過程もあるという。「結果としてすごくカオス的な状況なのですが、最終



的にはかなり規則正しい約11年周期を実現しています。ということは、この乱流をきちんと理解すれば、11年周期が理解できるはず」と堀田特任助教は言う。

できると考える大きな根拠の一つは、太陽という天体の中身がすでに詳しく知られていることだ。「これには長い歴史がありますが、基本的には恒星標準理論という恒星進化の理論に基づいており、2015年にノーベル賞を受賞された梶田隆章先生（東京大学）がニュートリノ振動を発見したことで、観測とも合致し、既に理論が確立しています。また地震が起きた時に音波がどう伝わるかによって、天体の中の様子を知ることができますが、この太陽の地震によって太陽内部の構造を解析する日震学という分野も近年非常に発達しています。今日では、太陽内部の様子は0.1%ぐらいの誤差で測ることができ、地球よりもよくわかっていえるでしょう」。

太陽というこのカオス的な巨大なエネルギーの塊の変動過程を、数値計算を用いて解こうというのが堀田特任助教の狙いだ。理論が確立しているので「できな



いとすれば設定に問題があるのではなく、僕らの計算方法がまずいだけ」と言うが、難しい理由の1つは太陽を構成しているプラズマは粘度が低く、いわばサラサラの状態にあることだ。これを判定するレイノルズ数という指標が知られているが、太陽は100億もあるという。「サラサラであるほど小さな流れがたくさんできるため、より細かく捉える必要が生じ、計算が膨大になるんです」。

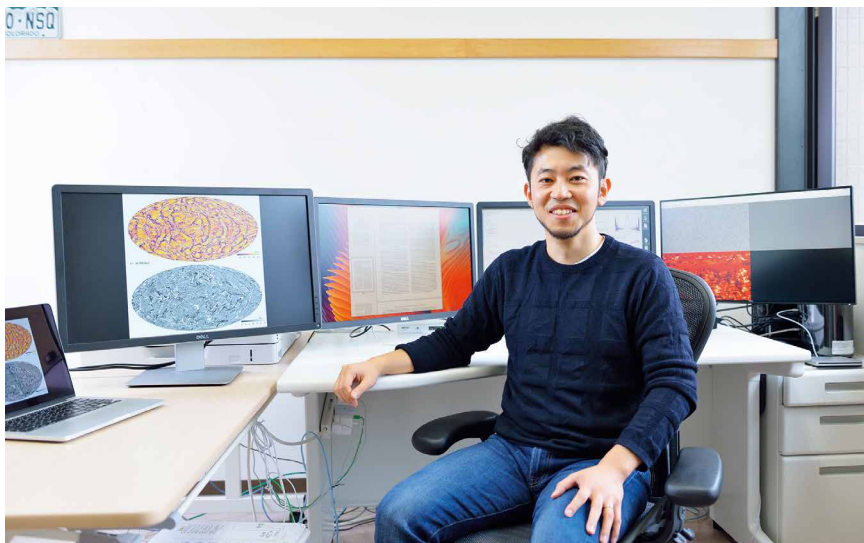
計算が難しいもう1つの理由は「太陽においては、表面と内部で性質が異なり、表面の温度は約6,000度、密度は1ccあたり10の -7 乗gと低く、熱対流の速度と音波が同じぐらいの速度になっているのに対して、中のほうでは速度に対して音速のほう約2,000倍も速い」という点である。「こういう状況だとスパコンが持つ性能を駆使できない」のだそうだ。そこで音速だけを遅くしても、その他の現象については、全く同じ結果を得ることができる方法を開発し、太陽の中心から96%までの部分を計算したところ、2016年、太陽の複雑な磁場生成メカニズムを解く大きな成果につながった。（参照プレスリリース <http://www.chiba-u.ac.jp/general/publicity/press/files/2015/20160324.pdf>。99%までの計算も別途達成）



木を見て、森を再現する、高解像度の威力

堀田特任助教らの太陽の変動を再現する計算は世界最高解像度を持ち、そのシミュレーションは、見た目にも衛星画像かと思ふほど高精細で鮮やかだ。まず中心部で渦巻きながら大きな塊の磁場が形成されていき、「自転の影響で働くコリオリ力がかかり、ちょうどスイカのような縦縞が現れます」。そして表面ではとても小さな熱対流になる。「内部から表面近くまで、一気に再現できたのはこの計算が初めて」という。

「高解像度にしていくと、小さな渦がたくさん作られて、磁場を壊そうとします。例えば台風は一方向で回転するけれども、お風呂の水を抜く時は同じ向きに回転するとは限らないですね？ つまり大きな渦だと自転によって制限を受け、みんな同じような動きをするために大規模な磁場が作られるのです。ところが高解像度計算で生まれた小さな渦は、自転の影響を受けずみんな勝手に動くので、



写真は、千葉大学西千葉キャンパスにある大学院理学研究院宇宙物理学研究室にて。大学では週1回、物理学の講義を担当する。「学生たちに物理の基本を教えるのは楽しい」と、堀田英之特任助教は言う。

大きな磁場をぐちゃぐちゃに壊してしまう」。このため、低解像度計算で見えていた大きな渦が、いったん再現できなくなったという。

「太陽はレイノルズ数100億のサラサラの天体なので、解像度を上げれば上げるほど現実には近づくはず」と、堀田特任助教。誰も試したことがないような高解像度にしたところ、再び大きな磁場が復活した。「小スケールの磁場は、次々と非常に大きなエネルギーへと成長していき、しまいにはお互いが絡み付いて動けなくなって、大きな流れしか許されなくなっていく……という現象が起きることが分かりました」。この新しい理解を元に、堀田特任助教は太陽表面に至る、残りの1%の解明を続けている。

もしも太陽における11年周期の謎が解けたら、磁気流体力学が一步前進し、太陽への理解もいっそう深まるだろう。だが、それだけではない。「現在ではたくさんの恒星が観測されています。そして多くの恒星で、太陽によく似た5～数十年ぐらいの周期があることがわかっています。太陽の11年周期が解明できると、これを他の恒星に応用できる可能性が高いのです」。

公開日：2018/12/10

オーロラの科学は 何を教えて くれるのか？

オーロラの研究は、より広い研究分野である「地球惑星科学」の一部分にあたる。地球惑星科学には、観測や解析によって太陽や地球を調べるだけではなく、「惑星がどうしてできるのか?」「生命はどこから来たのか?」といった問いも含まれるのだそうだ。ビッグデータ時代の莫大な観測データを介して、現在この分野では、地球周辺の宇宙空間である「ジオスペース」と太陽、地上近くの対流圏や成層圏の大気と、50キロメートル以上の超高層大気といった、従来は別々の専門分野だった学問間の連携がどんどん密になっているという。さらには「大気と海洋、そして地殻の研究との関連もどんどん深くなっていて、最終的には一体化していく」と、大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 藤井良一機構長は展望する。地球惑星科学という壮大な科学から、これから何が解明されようとしているのだろうか？

答える人

藤井良一 機構長

[情報・システム研究機構]

ふじい・りょういち。大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 機構長。1974年東京大学理学部卒、1977年国立極地研究所助手。1981年理学博士号取得(東京大学)。名古屋大学教授、同太陽地球環境研究所長、同副総長(2009～2015年)等を経て、2016年情報・システム研究機構理事、2017年より現職。専門は地球惑星科学。中でもオーロラが生起する磁気圏・電離圏に注目し、国際協力によって建設・運用されているEISCATレーダーの日本参加に尽力。2003～2004年EISCAT科学協議長、2015～2016年文部科学省 科学技術・学術審議会海洋開発分科会北極研究戦略委員会主査、2017年より日本学術会議会員、他委員歴多数。



地球惑星科学を捉えるための2つの観点

地球惑星科学には大きく2つの課題がある。1つは「われわれ人類が生存している地球をどう捉えるか?」、そしてその外側を含めた「太陽系ってどんなところだろう?」という問いに答えることだ。「宇宙、なかでも地球に近いジオスペースが、人類がたいへん活躍する重要な場になってきています。気象衛星、通信衛星、GPS（全地球測位システム）などの社会インフラが非常にたくさん宇宙に進出して、もはや宇宙なしでは現代社会の活動レベルは保てません」と、藤井良一機構長は言う。近年特に、インフラの維持・保全といった社会的重要性が増していることから「宇宙という環境を予測する宇宙天気のような研究が進められている」のだという。

もう1つの重要な観点は「宇宙の中の地球」である。「例えば、光で画像を捉えたり、電波でエネルギーを測ったりして太陽系を観測すると、実は宇宙の他の場所でもよく似た現象が広く見られるということがあります。もしかしたらそれ



らの基本原理は同じかもしれませんが、しかし本当に理解するには、実際にその場所へ行くなどして、もっと精密に観測しなければなりません。人類が行ける場所となると、やはり地球近傍で確かめるしかない。実際、2016年に打ち上げられたジオスペース探査衛星「あらせ」は、「ヴァン・アレン帯」という現場へ行って、プラズマ波動と高エネルギー粒子が相互作用する様子を世界で初めて見ようとしています」。

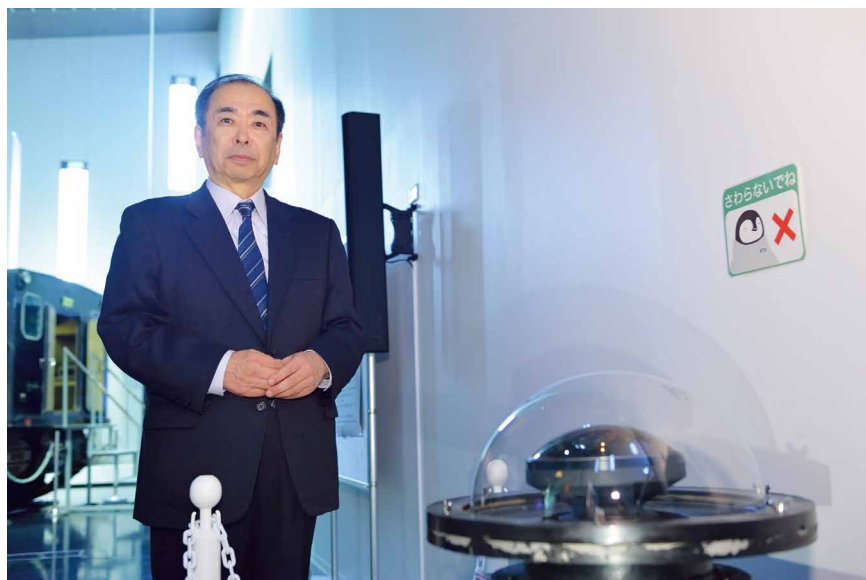
8つの惑星が教えてくれる太陽系の多様性と普遍性

この2つの観点をつなぐのが、多様性と普遍性という地球惑星科学のキーワードだ。太陽系の惑星はそれぞれ大きさが違い、また例えば金星にはほとんど磁場がなく、水星には大気がない。ちなみに、大規模なオーロラが見られるのは、その両方がある太陽風が吹く木星、土星、地球だけだ。「8つの惑星の中にこんなに大事な要素の組み合わせが4通り揃っていて、しかもどれもわれわれの衛星が行くことができる。地球の周りの天体は、たいへん多様性に富んだラインナップなんですね」。

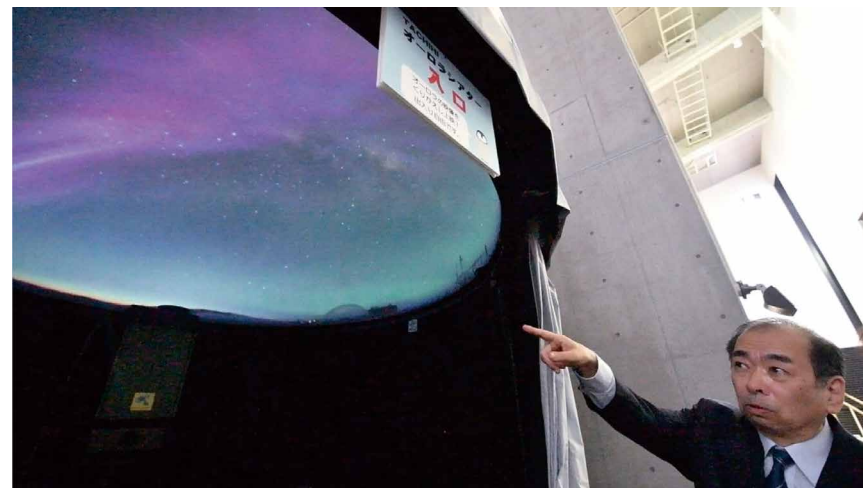


「一方で、それらを貫く共通の物理過程や、1つのシナリオのようなものがおそらくあって、逆に多様性の中から普遍性を抽出できる可能性がある。太陽地球系で何らかの現象の過程が解明できたら、それを宇宙の他の銀河系や、もしかすると地上で行う核融合などの現象にも当てはまる可能性がある——この意味でもすごく重要な科学だと思います」と、藤井機構長は言う。

地球惑星科学では一般に、主に電磁気学と運動・流体力学の方程式を用いて、速度、質量、電場、磁場といった物理量の空間分布と時間変化を導き、さまざまな現象の解明を目指す。しかし自然の複雑さを前に、このような第一原理や理論だけでは到底解くことはできないため、これに観測に基づくシミュレーション、モデリングを加えた三位一体で、複雑な科学への挑戦が進められている。「オーロラ、毎晩出ますよ……なんて言い方をすると、いかにも毎日繰り返すようだ



写真右端は、役目を終えたフィルム式の全方位カメラ。第23次、32次南極地域観測隊越冬隊員を務めた藤井機構長は、「昔、南極で、これを調整しながら一晩中オーロラの記録をつけていたものです」と振り返る。現在では、機械学習を用いて、大量の画像から研究対象となる現象を取り出す手法が広がりつつある。



けれども、自然というのはまったく同じ現象は2度と起こらない。単純化することなくよく知るといことと、矛盾するようだけれどもその中からいかに共通する部分を抜き出すかを考えなければいけません。

伝統的な科学の手法とAIなどの新しい科学の交点

そもそも、地球惑星科学が対象とする宇宙の環境を支配し、そのほぼすべてのエネルギー源であるのは、もちろん太陽である。その表面の磁場の空間分布と時間変動は詳細に解明されており、エネルギー量も計算されていて「恒星の中で最も厳密に物理量がわかっている天体」であるという。しかしながら太陽が持つ短期、長期の周期的な変動と、われわれの生活圏への影響については「相関があることは確認されているものの、詳しいメカニズムは明らかにされていない」。このような中での1つのチャレンジとして「最近、年輪の解析などから、数1,000年の太陽の長期周期変動と地球の気候の関係の研究が進んできています。このような研究から太陽のダイナモ（磁場生成）が理解できると、これから地球は氷河期へ行くのか、あるいは温暖化するのか？ といった将来の予測も可能になるかもしれません。それは、人類にとって大きな違いではないでしょうか」。



藤井機構長によれば、ここで科学が取り得る方法は大きく2つある。「1つは太陽ダイナモやフレア等の太陽の運動、太陽・地球系におけるエネルギー変換・伝播、プラズマの運動などの物理過程を、理論や実際のデータから明らかにして、メカニズムを理解しようという、科学本来のやり方です。もう1つは、AIの急速な発達などを背景に、主に機械学習を用いて大量に入手可能になったデータを機械に学習させ、現実の予測の精度を高めていくという方向性です」。

「私はどうしても基本的な原理を知りたいという習癖がある」と藤井機構長は笑うが、機械学習は急速に多くの成果を挙げており「これだけ社会に影響を与える分野なので、科学としてベスト・プラクティスで予想しなさいという要請に応えることも重要」と指摘する。「2つの方法が連携することが大事であり、それによってデータサイエンスの進展が大いに期待されます」。データサイエンスとは、複雑な現象を大量のデータから解明しようとする、近年の科学の大きな潮流だ。

オープンデータ、オープンサイエンスの要請

複雑な自然を相手にする地球惑星科学には、データの獲得と、データサイエンスの発展が欠かせない。たとえば、もし電離圏の中の大気の密度、温度、動きなどを立体的かつ高解像度に測定したデータが得られれば、ジオスペースやオーロラについての研究は大いに進展する——そこで藤井機構長は1970年代から「EISCAT（欧州非干渉散乱レーダー）」という国際プロジェクトの日本参加に、先駆的に尽力してきた。

その後1996年からEISCAT科学協会に日本の代表機関として国立極地研究所が参加し、現在は、北欧3か所にレーダーを設置して超高層・中層（高さ60～2,000km）大気の密度、温度、動きなどを3次元で高解像度に測定する「EISCAT_3D（次世代欧州非干渉散乱レーダー）」の計画が進められている。「フェーズドアレイという日本の貢献が大きい方式を採用していて、上空へ打つ

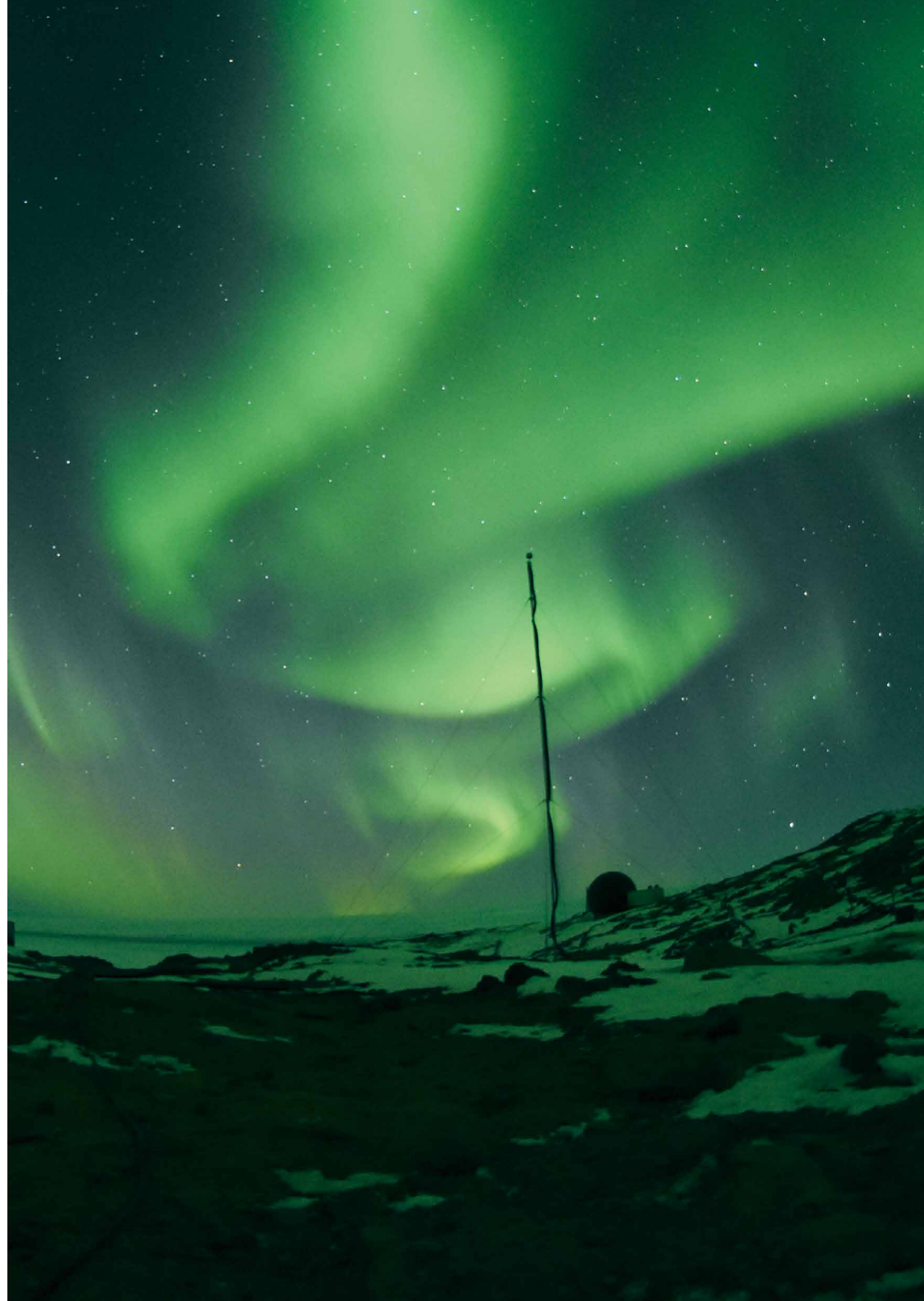


オーロラシアター、全方位カメラ、日本南極観測隊雪上車の展示は、すべて国立極地研究所 南極・北極科学館（東京都立川市）にて撮影。

ビームを超高速に振ることによって、対象とする領域の空間分布と時間変化を全部捉えられる、世界最先端の装置です。電離圏と磁気圏が複雑に相互作用している領域が観測対象に含まれているのも、非常に興味深いところです。もちろん非常に高解像度なので、小さいものまで鮮明に捉えることができ、たとえば隕石が地球へ向かって落ちてくる軌跡などもトレースできます」。EISCAT_3Dは2021年からフル稼動を開始する予定だ。

またデータサイエンスの発展を促進するものとして、近年活発化するオープンデータやオープンサイエンスの動きがある。「データ整備だけでなく、その解析を含めたデータ利活用が新しいフェーズに入りつつある。情報・システム研究機構を構成する研究所には、極域科学を担う国立極地研究所と、シミュレーションとデータを有効に組み合わせる「データ融合」を研究する統計数理研究所があり、大きなポテンシャルを感じる」と藤井機構長。「大学共同利用機関として、データ集積・公開・利用促進、大学等との連携・支援に貢献したいと考えています」。

公開日：2019/01/10







大学共同利用機関法人

情報・システム研究機構について



平成16年、すでに大学共同利用機関として活動していた国立極地研究所、国立情報学研究所、統計数理研究所、国立遺伝学研究所の4研究所が結集し、大学共同利用機関法人情報・システム研究機構が誕生しました。全国の大学等の研究者コミュニティと連携して、極域科学、情報学、統計数理、遺伝学についての国際水準の総合研究を推進する中核的研究機関を担うとともに、21世紀の重要な課題である生命、地球、人間、社会など複雑な現象に関する問題を、情報とシステムという視点から捉え直すことによって、新たな研究パラダイムの構築及び新分野の開拓を目指しています。

平成28年度、当機構は4研究所に「横串」を貫く組織改革を行い、「データサイエンス共同利用基盤施設」を設置しました。これにより、データ共有支援、データ解析支援、データサイエンティスト育成の取り組みを一層強化し、社会のイノベーションにつながるデータ駆動型科学の発展を推進しています。そして研究者コミュニティの要請に応える共同利用・共同研究により、大学等における研究の発展に貢献するとともに、産業界との連携や、市民が参加するオープンサイエンスも進めています。また総合研究大学院大学の基盤機関として、もうひとつの重要な使命である人材育成にも取り組んでいます。

情報・システム研究機構は、各研究所の学理の追究に基づき、データサイエンス時代の新しい研究パラダイム構築を通じて、現代の課題解決や超スマート社会構築等の社会の要請に応えてまいります。皆様の一層のご支援、ご協力を心よりお願いいたします。

機構長 藤井良一
2020年2月

『情報・システム研究機構ブックレット』について

本機構は、新たな研究パラダイムの構築と新分野の開拓を推進し、
また大学共同利用機関法人として、大学等の研究の発展に貢献しています。

『情報・システム研究機構ブックレット』は、
その研究と貢献をわかりやすく紹介していく、シリーズ小冊子です。

情報・システム研究機構ブックレット 4

SCIENCE REPORT 019-024

オーロラは語りかける。

著 者 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構

監 修 藤井良一(情報・システム研究機構 機構長)、
片岡龍峰(国立極地研究所 准教授)

取材・文 池谷瑠絵(情報・システム研究機構 URA広報)

写 真 飯島雄二 (Science Report019-021)、河野俊之 (Science Report022-024)、
国立極地研究所 (p2、4、6-10、24-26、33-34、42、50、59-61)、
塩川和夫 (名古屋大学) (p18)

デザイン ヤマノ印刷株式会社

シリーズデザイン hata design

発 行 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構

〒105-0001 東京都港区虎ノ門4丁目3番13号

ヒューリック神谷町ビル2階

TEL : 03-6402-6200 FAX : 03-3431-3070

<https://www.rois.ac.jp/>

発行日 2020年2月17日



大学共同利用機関法人

情報・システム研究機構

Research Organization of Information and Systems

ISBN978-4-909638-13-7 C0344