

科学の  
峰々

69

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立極地研究所副所長

佐藤 夏雄 先生 に聞く

オーロラ物理学と  
日本の南極観測 上

聞き手：南	明則	東京科学機器協会	理事／広報副委員長
	中村	友香	同 理事／広報委員
	野村	篤史	同 広報委員
	山口美奈子		同 広報委員
	藏満	邦弘	同 事務局長
	岡田	康弘	同 事務局／主事

(取材・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)

と き：2012年3月7日

ところ：東京科学機器協会会議室



## 佐藤 夏雄先生のプロフィール

1971年 山形大学理学部物理学科卒業  
 1973年 東京大学大学院理学系研究科修士課程地球物理専門課程修了  
 1973年 東京大学大学院理学系研究科博士課程地球物理専門課程入学  
 1973年 同上 休学(第15次日本南極観測越冬隊に参加のため)  
 1975年 同上 復学  
 1976年 同上 中途退学(国立極地研究所に就職のため)  
 1976年 国立極地研究所 助手  
 1982年 国立極地研究所 助教授  
 1991年 国立極地研究所 教授  
 (1994年より現在まで 総合研究大学院大学教授を併任)  
 2005年 国立極地研究所 副所長(研究教育担当)  
 2008年 国立極地研究所 副所長(総括・研究教育担当)

## 〈専門分野/研究テーマ〉

オーロラ物理学/オーロラの南半球と北半球との比較研究

## 〈南極観測歴〉

日本の観測隊

第15次日本南極地域観測隊 越冬隊員(1973年11月～75年3月)  
 第22次日本南極地域観測隊 越冬隊員(1980年11月～82年3月)  
 第29次日本南極地域観測隊 副隊長兼夏隊長(1987年11月～88年3月)  
 第34次日本南極地域観測隊 隊長兼越冬隊長(1992年11月～94年3月)  
 外国基地(交換科学者)

フランス南極観測隊 夏隊(1977年)

ソ連南極観測隊 夏隊(1979年～80年)

## 〈北極観測歴〉

アイスランド・スバルバル・ノルウェー・グリーンランドなどへ多数参加

## 〈学会〉

地球電磁気・地球惑星圏学会、米国地球物理学会

## 〈賞〉

1982年 日本地球電気磁気学会・田中館賞

1998年 米国宇宙センター(NASA)・グループ研究賞

## 方程式で自然の美しさを説明する オーロラ研究に関心を持つ

— 佐藤先生のご専門はオーロラ物理学という分野で、現在は国立極地研究所に所属されています。まずはご経歴を振り返り、これまでの研究の概要や所属団体などをご紹介していただけますでしょうか。

佐藤 経歴を振り返ってお話をすると、大学は物理学科でしたが、大学でオーロラを学んだわけではありません。オーロラに目覚めたのは大学4年生のときでした。研究者になりたいと思い、では、どんな研究分野を目指そうかと、図書館へ行っているといつと本を読んでいたとき、オーロラにぶつかったのです。

当時から純粋物理より地球物理学的なサイエンスをしたいと思っており、オーロラの研究は物理学の方程式を使って自然の美しさを説明することができ、かつ、自分の手で観測ができるということで、これを目指すことにしました。

そこで、どの大学院に行ったらよいかと調べていくと、日本でオーロラの観測をやっていたのは南極観測隊で、その中でも東京大学の地球物理学科が行っていました。それを指導していたのが永田武先生という、日本の南極観測を始めた方であり、国際的にも活躍している研究者でした。その先生の研究室に入れば南極観測に行きやすいだろうと、さっそく受験し、東大の地球物理学科へ進みました。

大学院の面接試験でも「ぜひ南極へ行って、自分の手でオーロラの観測をしたい」と言っていたように、博士課程の1年のとき、念願が叶って実際に南極へ行き、1年間越冬隊に参加することができました。

南極から戻って博士課程に復学しましたが、国立極地研究所が研究スタッフを集めていた時期で、来てくれという話をいただき、博士課程を途中退学。国立極地研究所の助手となりました。

— 南極観測隊でのオーロラ観測は、東京大学に割り振られていたということでしょうか。

佐藤 日本で第1次の南極観測隊が組織されたのは56年前で、途中3年間ブランクがあるので、現在は第53次南極観測隊が南極へ行っています。南極で日本のオーロラ観測がスタートしたときは、きちんとした組織はなく、東京・上野の国立科学博物館が一応窓口となっており、その中でオーロラの観測は東京大学がやるということになっていたのです。

— 現在、先生が所属されている国立極地研究所は「大学共同利用機関法人」「情報・システム研究機構」の中の研究所ということですが、これについて簡単にご説明していただけますでしょうか。

佐藤 国立極地研究所の前身は上野の国立科学博物館の極地部でしたが、後に全国大学共同利用機関として国立極地研究所が創設されま

した。これがさらに国立大学の法人化に合わせ、4つの研究所が1つになって、大学共同利用機関法人、情報・システム研究機構を作り、その中に国立極地研究所があるという形になっています。4つの研究所とは極地研究所のほか、統計数理研究所、国立情報学研究所、国立遺伝学研究所です。研究所の公式名称はとても長い名前になり、一般から見ると分かりにくいかもしれません。

— 現在、日本でオーロラの研究をされている方は何人ぐらいいるのでしょうか。

佐藤 オーロラ研究は超高層物理の中に含まれますが、超高層という範囲は広く、成層圏より上の空間を指します。研究者によっては火星や水星、木星などを対象している人もいます。オーロラは太陽によって起きる現象なので、広くスペースサイエンスとも言っています。

所属している学会は地球電磁気・地球惑星圏学会といい、これが日本のスペースサイエンスの学会です。この学会には700人ぐらいおり、その中でオーロラに近いことを研究するのは400~500人。純粋にオーロラの研究に限定すると、20人ぐらいでしょうか。

— 先生がオーロラに興味を持ったのは大学4年生のときのことですが、それ以前にはオーロラとの関わりはなかったのでしょうか。

佐藤 そうですね、それ以前にはオ

ーローラを研究することになるとは、全く思っていませんでした。そもそも大学も、初めから物理学科だったわけではありませんでした。

高校のとき数学は少しだけ得意だったのですが、大学を受験するとき、山形大学の文理学部が理学部に改組されることになり、数学科とか物理学科とかの区別なく学生をとったのです。そこで物理学科を選んだのは、大学1年のときの一般教養で物理を教えていただいた良い先生と出会ったからです。僕は暗記が嫌いなのですが、講義でのニュートン力学がととても分かりやすく、数個の公式で宇宙の星の動きが解ける。物理とはこんなに面白いものかと、物理学科へ進むことにしたのです。面白いので勉強もしましたし、それで成績も上がり、大きな自信にもつながっていきました。

— そうして大学院へ進み、南極で初めてオーローラをご覧になったときは、どのような印象を持たれたのでしょうか。

佐藤 先ほど言ったようにオーローラを実際に見たのは博士課程の1年生で、第15次南極観測隊に参加したときでした。着いたときは南極の夏だったので、白夜のため全く見えませんでした。オーローラは暗くならないと見えないものなのです。

それが2月になると少しずつ暗くなっていき、2月の下旬になって基地の観測棟の屋上に観測装置を取り付けていたとき、ふと上を見上げると、まだ薄明かりだったのですが、紫色

のキラキラ光るオーローラが見えました。やはりそのときは非常に感動しました。

### オーローラは酸素や窒素と電子との衝突によって起こる

— ここから先生のご専門のお話をお聞きしていきたいのですが、オーローラとは何なのか、その発生のメカニズムなどをご説明いただけますか。

佐藤 オーローラは何かというと、電気と磁気の現象であり、光っているのは反射などではなく、オーローラ自体が光を発しているからです。そのエネルギーの源は太陽から放出される太陽風と呼ばれるガスで、これはプラズマとも言いますが、電子や陽子などの荷電粒子から成っています。

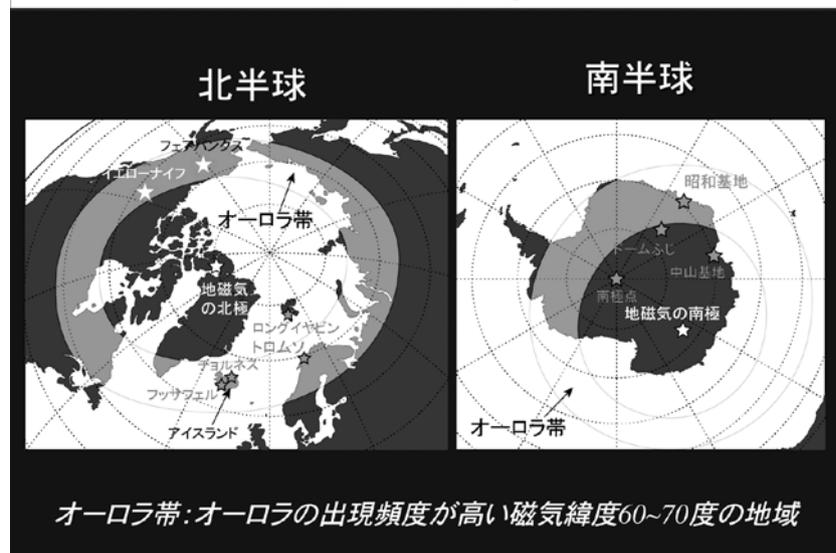
日食のときなど太陽の周りにコロナが広がっているのが見えますが、こ

れが太陽から出ているガスで、宇宙空間を伝わって、地球へやって来ます。このガスが地球の大気の中に入ってきて、その中の電子が大気中の酸素原子や窒素分子に衝突します。その激しい衝突でエネルギーを得て不安定になった酸素原子や窒素分子が安定した状態に戻るときに出す光が、オーローラです。現象としては、ネオンサインや蛍光灯と同じ放電現象です。

— オーローラは実験室でも作り出せるものということでしょうか。

佐藤 全く同じものはありませんが、作り出すことは可能です。最初に実験を行ったのはノルウェーの研究者で、実験室で薄いガスを含む真空状態を作り、磁石に粒子をぶつけると、両極に輪っかのような光が現れました。これによってオーローラと同じようなものが実験室でもできることが分

## オーローラ帯



オーローラの出現頻度が高い地域をオーローラ帯と呼ぶ。北半球ではアラスカ、カナダ、アイスランド、ノルウェー、南半球では昭和基地などが、このオーローラ帯に位置している

かったのです。

— オーロラが南極や北極に現れるのは、どのような理由からなのでしょう。

**佐藤** オーロラが起こるのは、地球に磁石があるからです。その磁力が太陽からやって来る荷電粒子に対して防波堤のような役目をして、地球に入ってくるのを妨げようとしています。しかし、北極や南極は磁力が弱く荷電粒子が入ってきやすいため、オーロラが起きるのです。

オーロラが起きやすいベルト状の地域を、オーロラ帯と呼びます。磁気緯度で言うと65度～70度のあたりです。これより緯度が低いところは磁力が強く、粒子が地球に入れずオーロラが起きないのです。

### 緑・赤・青・ピンクなど オーロラが色を発する理由

— オーロラにはさまざまな色があるようですが、色は何によって決まるのでしょうか。

**佐藤** 色を作り出すのに関わっている要素は2つあります。衝突する電子のエネルギーが高いか低いかと、衝突を受ける大気中の酸素と窒素の兼ね合いです。

よく現れるのは緑色のオーロラですが、これは大気中の酸素にエネルギーの高い電子がぶつかったときに現れます。これに対して、酸素にエネルギーの低い電子がぶつかると、赤いオーロラになります。

また、大気中の窒素にエネルギーの高い粒子が衝突すると青いオーロラになり、さらにオーロラ爆発と呼ばれる激しく渦巻くオーロラの時には、さらに高いエネルギーの電子がぶつかり、ピンク色に輝く非常に綺麗なオーロラとなります。なお窒素の場合は、エネルギーの高い電子が衝突しないとオーロラはできません。

### オーロラの発生には太陽風の 磁場の向き・速さなどが関係

— オーロラの大きさについては、どのように決まるのでしょうか。

**佐藤** 太陽からやって来る電子の量や密度に関係していて、エネルギーが大きいほどオーロラも大規模で、エネルギーが弱いと小さくぼんやりしたオーロラにしかありません。

例えるとオーロラとは、太陽から太陽風という電気を運びたものが地球に流れ込んできて、ものすごい電圧をかけて、地球上で激しいショートを起こしているようなものです。地球自体が発電機となった太陽風発

電と言えます。

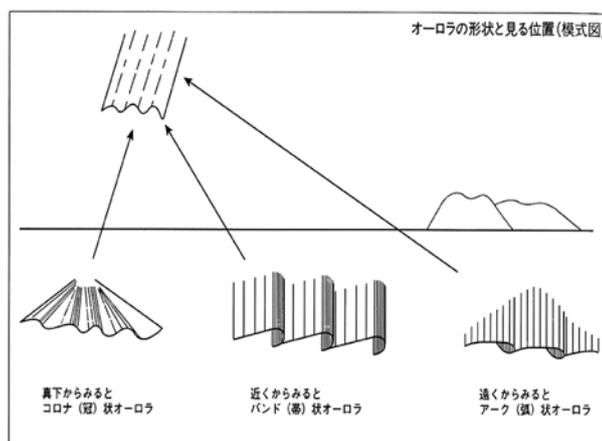
ただし、オーロラができるためには条件があります。地球全体が磁石になっているように、太陽にも磁石があります。太陽から太陽風が放出されるとき、磁場がどちらを向いているかで、電子が地球に取り込まれるかどうかが決まります。つまり、地球は北極がS極で、南極がN極ですが、磁場が地球と同じ向きに放出された太陽風は、地球に届いても同じ極であるため反発し合い、粒子が地球の中に入れないのです。

こうしたことから活発なオーロラが見える条件は、太陽風の磁場が南向きで、高速、高密度であるときとなります。

— オーロラの形はどのようにして決まるのでしょうか。

**佐藤** 形で一番多いのは、東西方向にカーテンのように現れるものですが、形は見る場所によっても変わってくるので、サイエンスとしてはあまり重要視はしていません。

一応、大雑把に分類はあり、遠く



オーロラは見る位置によって形が異なり、見える形状からコロナ(冠)状、バンド(帯)状、アーチ(弧)状などの分類がある

から眺めたとき、弧のように見えるものをアーク状オーロラ、それを近くから見ると帯状に見えるのでバンド状オーロラ、真下から見上げると一点から降り注ぐ放射状に見えるのでコロナ状オーロラと呼んでいます。

ただし、オーロラの中には何重にもなっていたり、塊になったり、ヒラヒラと動くものがあります。どうしてそういう形になるのかは、まだ説明が難しく、おそらく電気があることによって、磁場ができ、磁場ができると、電流が流れ、それらがいたちごっこのように関係して、さまざまな形ができるのではないかと思います。

### オーロラ発生の警告を与える 宇宙天気予報

— オーロラが起きるときには強いエネルギーが発生するというのですが、オーロラは飛行機などに障害を与えることはないのでしょうか。

佐藤 オーロラが起きるのは地上100km～500kmのところで、飛行機が飛んでいるのはそれよりもっと下となり、それには問題はありません。

しかし、宇宙活動が盛んになり、例えば、宇宙ステーションは地上から350～400kmあたりを飛んでいます。非常に強いオーロラが宇宙ステーションや人工衛星の太陽光パネルを壊したり、電気障害を引き起こしたり、GPSに影響を与えることも考えられます。

現在は、太陽の観察からオーロラが起きるかどうかを予測できるようになってきておりますので、太陽爆発が起きた時に人工衛星へ警告を与えようと、宇宙の天気予報を行うようになっています。

— オーロラの巨大なエネルギーを、なんとかして利用することはできないものなのでしょうか。

佐藤 オーロラ爆発が起きたときには、原子力発電何基分もの発電量となるエネルギーが発生します。ですが、一時的に流れるだけなので、それを取り出し蓄電するといったことは、現実的には無理だと思います。

— 南極基地などでのオーロラ観測は、実際にはどのように行われているのでしょうか。

佐藤 よく行われるのは静止画写真による観測です。これは魚眼レンズを使った全天カメラによって、空全体にどのようなことが起きているかを調べるものです。時間的な動きはビデオカメラで撮り、色を調べるためにはフィルター撮影を行います。

以前は南極の昭和基地で観測を行うだけでした。今は技術が良くなり、インターネットもあるので、北極には無人観測点が設置されています。無人観測点では夜になると自動的にカメラのスイッチが入り、その撮影データを日本に送って来るわけです。

— オーロラは日中は現れないのですね。

佐藤 高緯度では日中もオーロラは起きていますが、明るいので見えただけです。極地へ行くと、秋分を過ぎると、日中の12時でも暗くなるので、発生すればオーロラを見ることができます。

— 脈動オーロラというオーロラもあるようですが、これはどういうものなのでしょうか。



オーロラができる高さは旅客機などの飛行高度のはるか上空で、国際宇宙ステーションや人工衛星が飛ぶ高度にも出現する

佐藤 脈動オーロラはオーロラ爆発のあとに起きるもので、その特徴は光が点滅していることや、いろいろと不思議な形に変化することです。点滅についても、あるところで起きている点滅と別の場所で起きている点滅では周期が違い、現象は分かっているのですが、理由は解明されていません。

脈動オーロラは奥が深く、僕もまもなく定年となるので、その後はこの脈動オーロラの研究に専念したいと思っています。

### 南極と北極のオーロラは同時に発生するのか!?

— 佐藤先生の研究テーマは「オーロラの南半球と北半球との比較研究」とあり、先日アイランドに行っていたとお聞きしましたが、これはどのような研究なのでしょう。

佐藤 いろいろな意味で、南極と北極のオーロラがどう違うかを解明しようという研究です。個人的にはこれに脈動オーロラを加えて、オーロラを解明したいと思っています。

オーロラは地球の磁力線に添って起きており、昔は南極と北極でオーロラは同時に起こるものと言われていました。しかし今は、これは思い込みであり、実際には同時には起きていない方が多いことが分かってきました。

ですが、僕たちは南極と北極で起きるオーロラがどういふとき似ているのか、また、どういふとき似ていないのかを比較することで、オーロラ

### オーロラの全体まとめ

- ・高速の電子が地球大気酸素原子や窒素分子と衝突して発光
  - ・オーロラの起こる高度は90~500km (エネルギーが高いオーロラ電子ほど低高度で起こる)
  - ・光のカーテンの方向は地球の磁力線方向
  - ・オーロラの発生と気温とは関係ない!
  - ・磁気極を中心とした磁気緯度67度付近で発生頻度が最大 (オーロラ帯と呼ばれている)
  - ・オーロラの源は太陽風
  - ・活発なオーロラが見える条件 (太陽風の磁場が南向き、高速、高密度)
  - ・オーロラ嵐時の発電量は100万メガワット (大型発電所の1000個分) 相当
  - ・オーロラは南極でも北極でも起るが詳細は異なる
- ★大気と磁場があれば、他の惑星 (木星、土星など) でもオーロラは起きる

の発生原因を調べようと研究を行ってきました。

運が良いことに、昭和基地から出る磁力線の反対側にはアイランドがあります。これは日本のアドバンテージで、磁力線の両側でオーロラの観測ができるのは昭和基地とアイランドだけなのです。というのも、オーロラのメッカと言われる場所にはアラスカのフェアバンクス、カナダのイエローナイフなどがありますが、その反対側は南極の海で、観測を行うことはできません。

昭和基地とアイランドの両側でのオーロラ観測は20年ほど前から行われており、日本がそのようなデータを持っていることは世界に誇れる宣伝材料の1つになっています。(表組) ←文字は佐藤先生キャブ (上) にあり

— 昭和基地の場所はどのように決まったのでしょうか。

佐藤 昭和基地のある場所は、歴史的には単に割り当てられたところでした。

国際地球観測年というものがあり、各国が協力して地球を観測することになりました。この国際地球観測年に合わせて日本の南極観測が計画されました。そのとき南極では1か所で観測をするより、各国が分かれて基地を作り、データを集めた方がいいということになりました。そこで日本が割り当てられたのが、昭和基地のある場所です。

場所としては、海の氷がとても厚く観測船の到達が厳しい過酷な環境で、お世辞にも良いところとは言えませんが、オーロラ研究者である僕にとっては、今まで述べたように幸いだったと言えます。

次号では 佐藤 夏雄 先生

オーロラ物理学と

日本の南極観測 (下)

において続きをお話いただきます。