

極夜に舞う華麗なオーロラ

江尻全機

総合研究大学院大学教授極域科学専攻/国立極地研究所教授



極地の空を彩るオーロラ

「極夜を彩り乱舞するオーロラ(極光)は、神がこの世に創造した最も美しい自然現象の1つである。氷点下の凍てつく雪原や氷山に映えるオーロラ、満天の星空を背景に東西にそして南北にと疾走するさま、時には朝暁の東の空に一輪の大きな白百合がぼっかり浮いているようにじっとたたずんでいたり、まるで真紅のカーテンがそよ風にひらひらとはためいているように見えたり、透き通るような光の雨が……神はこの自ら創った自然現象を表現する言葉を、人間に与えてくれなかったのだろうか」。オーロラに魅せられて書いた一文である。

この美しい自然現象は、太陽から送られてくる高エネルギーの電子(太陽風)が、地球磁場によって南北の磁極に集まり、そこで大気中の原子、分子(及びそれらのイオン)と衝突し、それらを励起する(エネルギーを与える)ことによって起こる。励起された原子や分子は、それぞれ固有の波

長の光を放射する。これがオーロラの光である。太陽風には陽子もあり、これもオーロラと同様の現象を起こすが、発光輝度が弱く、人間の目ではほとんど見ることはできない。

太陽風電子と大気中の原子、分子などとの衝突、それによる光の放出という過程は、実験室での観測によってよく理解されている。しかし、オーロラとして大規模な集団運動が起きるメカニズムは、まだ完全にはわかっていない。これを理解するには、くわしいシミュレーションを行い、太陽風電子の運動とエネルギー分布、オーロラ光の方向と波長の分布を観測し比較する必要がある。ここ40年間のコンピューターの進歩と、ロケットの利用によって、この比較はかなり一致してきた。

南極昭和基地とオーロラの観測

第3回国際極年として、1957年から大規模な国際地球観測年(IGY)が計画された。ちょうど宇宙時代の幕開けともいう

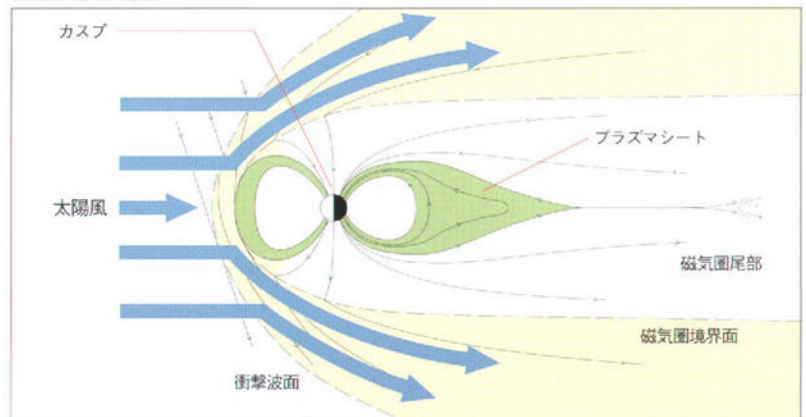
べき人類初の人工衛星「スプートニク1号」がソ連によって打ち上げられた年でもある。そのIGYの一環として、同年1月、南極に昭和基地が開設された。昭和基地は、オーロラの最もよく出現する極光帯の真ん中に位置している。第1次隊のオーロラ観測は、目視(紙と鉛筆)であったものの、磁気嵐時におけるオーロラの発達過程を描写することができた。第3次隊から全天写真観測、分光観測が行われ、第12次隊からは超高感度TVカメラによって、オーロラの動きをとらえることができるようになった。

しかし、オーロラが実際に光っているところは地上100~300kmで、太陽風電子や地球電磁場の変動などは、観測ロケットによってその場所に行かないと測定できない。1982~85年には、中層大気国際共同観測計画が実施され、宇宙科学研究所から人工衛星EXOS-Cが極軌道に打ち上げられた。昭和基地でも観測ロケットが打ち上げられている。また、太陽から地球までのエネルギーの流れを理

楕形オーロラ



地球磁気圏の構造



解すべく、太陽地球系エネルギー国際協同研究(1990~95年)も立案された。

オーロラの成因を解明すべく、1989年に日本は再びEXOS-D(あけぼの)衛星を打ち上げた。衛星からオーロラの全球的発光分布とそのダイナミクスを観測すると同時に、高時間・高空間分解能をもつオーロラ分光器を開発し、オーロラの発光過程のダイナミックに変化する多様なスペクトルの特性を明らかにすることができた。この時期は太陽活動も非常に活発で、昭和基地では全天を覆う真紅のオーロラが出現した。IGYから実に32年ぶりのイベントであった。自然科学を研究する者にとって、一生に1度遭遇するかしないかという現象もあるのだと、認識を新たにさせられた。

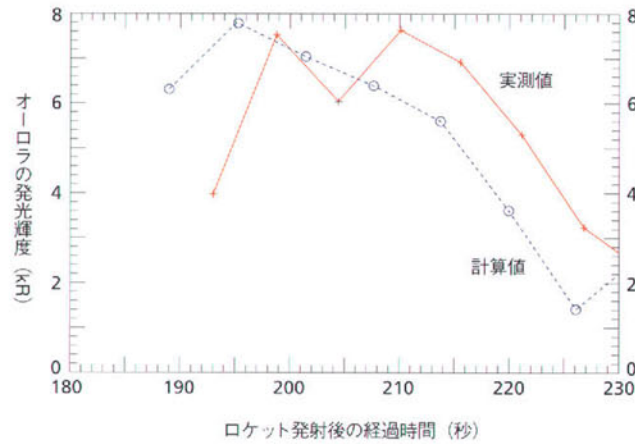
オーロラの謎に迫る

自然現象は、いろいろな物理量と現象が非常に複雑に絡み合ったもので、自分の目で見ることで見ることのできるオーロラ現象でさえ、まだまだ人間の才知の及ばないところにある。左下の写真は楕形オーロラであるが、これほど規則的なオーロラ構造でも、これに関した論文は1つもない。

自然科学は自然現象に主体的に働きかけ、観測して認識することからはじまる。知りたいと思う物理量を計測する手段や方法が存在しないときには、自分で開発研究し、それによって新しい物理量を観測することが、新しい学問体系を切り拓く決定的要因となることが多い。

1984年、昭和基地から3機のロケットが発射された。そこには、オーロラ粒子(電子)のエネルギー分析器と、筆者らが開発したオーロラ発光を計測する超高感度TVカメラが搭載された。

オーロラの発光輝度について、この観測で得られた結果と、大気密度分布についてはあるモデルを仮定し、ロケット観測で測定した太陽風電子の軌道とエネルギー分布を用いて、大気分子などとの衝突過程をシミュレーションして求めた結果とを比較したものを上図に示す。これは研究を思い立ってから18年後の1999年、アメリカの学会誌に発表されたもの



ロケット観測によって実測されたオーロラ発光輝度と、計算機シミュレーションで得られたものの比較。オーロラを光らせる高エネルギーの電子と地球大気の酸素や窒素分子、酸素原子との衝突過程を理論で推定し、観測結果とどう合致するかを調べたものである。

である。

シミュレーションは、より詳細な情報を予言する。しかし、ロケットでの観測だけでは、高度についての情報が得られない。そこで、この計算を検証する方法として、発光の高度分布を測定することを考え、1984年にはじめて昭和基地と南極大陸上の2点で「オーロラ立体観測」を行った。時間的変動が激しく、その分布が磁力線に沿った構造をもつ光の立体像を測定するのは困難を極めた。

その後、アイスランドでの観測を経て、スウェーデンの宇宙物理研究所と協同観測をはじめたALIS(オーロラ広域多点観測網)による観測によって、1997年に酸素原子と窒素分子イオンの発光分布が得られた。これは、酸素原子の緑線発光には、直接的な励起より窒素分子を介したエネルギー移動が重要であるとする、シミュレーションの結果を支持するものであった。

オーロラTVカメラを搭載した人工衛星「あけぼの」の信号を受信すべく、昭和基地には大型アンテナ装置が建設された。現在、地上と衛星で詳細なオーロラの発達過程が観測されている。その結果、オーロラ発生メカニズムについては、これまでの仮説(磁場エネルギーの解放によってオーロラ粒子が加速され、それがオーロラ爆発(注)のきっかけになるという説)では説明できないことを示し、オーロラ発生メカニズムの新たなパラダイムを切り拓いた。

さらなる謎の解明をめざして

オーロラの観測は、観測手段の開発から実施、結果の分析に至るまで、非常に

長い時間がかかる。それと比較すべきシミュレーションも、現代のスーパーコンピュータを使ってもなお、さまざまな仮説を用いて計算時間を短縮しなければならないほど複雑で、時間もかかる。多くの数学者が挑戦しつづけたフェルマーの定理は、360年後にワイルズによってついに証明された。オーロラの研究も然り。一朝一夕にできる研究などはない。

オーロラ発生メカニズムは、やっと一部が解明されはじめたところで、本質的な過程といえども、理解できていないことも多い。たとえば、太陽風プラズマとして地球に送りこまれるエネルギーだけでは、オーロラの発光の全エネルギーには足りないため、太陽風電子は地球磁気圏で再加速されていると思われる。しかし、このような基本的な過程についても、理論と観測の定量的な一致はない。その手がかりを得るために、地上と衛星によるオーロラ発光の微細構造の観測研究も進められている。

スウェーデンの北部キルナ市ではじめてオーロラを見た時、人間の認知の自然に対する無力さを感じた。だが、少しでも客観的(物理的)にオーロラを描写すべく、次にオーロラと対峙するときには、さらに新しい剣(観測手法)で、新たな切り口(物理現象)を見てみたいと思う。

(注) オーロラ爆発
オーロラ嵐ともよばれている。オーロラのカーテンが急速に明るさを増し、光がうねるように突然激しく動き出し、さまざまな形や色彩が全天を舞う現象。