

オーロラ

赤祖父俊一

1 宇宙船の旅人達

宇宙人達が太陽系を訪れるべく星間空間を運航し続けている。太陽が次第に輝きを増してくるが、まだどの惑星も見えない。やがて宇宙船のアンテナは強烈な電波雑音を太陽系の方向から探知する。太陽がその電波源であることは驚くにはあたらないが、その他少なくとも三ヶ所から数百キロハーツの電波源があり、その点は時間とともに変化し、その一つは一年で太陽を一周することがわかる。もつとも一年とは地球人の時間の単位であるが、宇宙人達は望遠鏡でその電波源を探そうとするが、まだみつからない。宇宙船はやがて外惑星の領域に入り、美しい環をもつた土星の付近を通過する。そして土星が一つの電波源であることが確かめられる。宇宙船は、まもなく

美しい縞模様をもつた木星に近づく。そのとき強烈な電波が木星の極地上空から発生していることを探知し、この惑星上に極を中心とした暗赤色の美しい環を発見するだろう。ところどころで雷光が雲の中に見えかくれる。続いて宇宙船は極地方が氷でおおわれた火星をみつけるが、火星からは電波が発生していない。やがて、宇宙人の視界にコバルト色に輝く惑星がとびこんでくる。この惑星が強烈な電波源であり、指向性のよい彼等のアンテナは、その電波が南北両半球の極地上空から発生し、その真下には美しい緑白色の光の環があることを発見する。あまりの美しさにひかれた宇宙人達はこの惑星の極地に着陸することに決める。次第に高度がさがり、やがてこの光の環の中を通過するときは、まるで光の林の中を突きぬけるようだ。その壮麗さ

は言語に絶する。ついに宇宙船は原始林と雪におおわれた惑星の表面（地面）に降り立つ。地表からは、光の環が東の地平線から西の地平線にのびる光のカーテンのようにみえる。カーテンには垂直の縞模様、つまり細いひだがあり、それが、あるときは急速に、あるときはゆっくりと移動する。光の林のようにみえたのは、実はこの縞模様だったのだ。宇宙人達はこの異様な、そして底しれない神秘さをたたえた美しい現象に、言葉もなく宇宙船の窓からみとれている。

2 地球のオーロラ

この光のカーテンこそ、地球のオーロラなのだ。地表からカーテンの下端までの高さは約百キロメートル、上端の高さは数百キロメートルから千キロメートルに達する。カーテ

ン一枚であるより数枚からなることが多く、極の一点をかこんで現われる。それがはるか極地上空からは光の環としてみえたのだ。この環の中心は北極海にある地理の北極点ではなく、実は磁極点である。これは、地球の磁場を地球の中心に置いた棒磁石で近似し、その棒磁石の軸に沿った線が地表と交わった点であり、現在はグリーンランドの北西端の近くにある。光の環はこの磁極点を中心に大体アラスカ中部を横切り、シベリアの北極海岸、スカンジナビア半島の北端、アイスランド、グリーンランドの南端、カナダのハドソン湾南端へとつながっている。したがって北海道の最北端よりはるか北の空に位置しており、後に述べるように、太陽フレアーの影響によりこの光の環が大きくなり、オーロラの上端が高くなったときに初めて、北海道でも北の水平線からわずかにその上端がみえることになる。

さて、このカーテン状の光であるが、前世紀の中頃まで、物理学者も含めてすべての人が、太陽光線が空中に存在する微細な氷片によつて反射されて起きる現象と考えていた。これはむりのないことである。虹は太陽光線が水滴によつて屈折反射されることによつて生ずる。オーロラは寒い極地の現象であり、またその当時オーロラの高さが正確に求められていなかったため、気象現象の一つとみなされていた。すなわち、超高層大気現象としては考えられていなかったのである。この太陽光線説の正否について解答を与えたのは、ノールウェイの物理学者、オングストローム

であった。彼はもしオーロラが大気中の氷片によつて反射された太陽光線であるとすれば、その光をプリズムで分解すると七色の虹のように見えるはずであると考えた。その結果は予想に反し、プリズムを通してみるオーロラの光はばらばらの線からなっていたのである。これを線及び帯スペクトルと呼ぶ。当時までにこのような線及び帯スペクトルは真空放電から発する光であることがわかつていた。

真空放電は前世紀の中頃から終りまで、物理学の最先端の研究対象の一つとなっていた。真空放電をみるには細いガラス管内の空気を真空ポンプで取り去り、わずかにネオンなどのガスを封入し、両端に電極をつけて高圧電源につなぐと、管内が美しく輝く。常圧の空気は良い絶縁体であるが、真空になると絶縁能力が低下するため、陰極から陽極に電子が流れる。その電子流がネオンの原子に衝突すると、まずネオンの電子が基底の軌道から上の軌道に飛び移り、そして直ちに基底軌道に戻る。赤いネオンの光はこの基底軌道に飛び移る電子から発する。この真空放電の研究は一八九〇年代にJ・J・トムソンの電子の発見で最高潮に達するわけである。こうしてオングストロームはオーロラの光がこの真空放電によつて発生する光と同類であることを発見したのである。しかし、オーロラの光がどの種の原子・分子からの光であるかを探してあるまでには、その後約八十年の歳月が必要であった。

とくにオーロラで最も普通にみられる緑白色の光の源が酸素原子であることがわかった

のはやっと一九三〇年頃のことである。一時はどうしてもわからないということで、極地上空には、地表に近い大気中には存在しない謎の原子、ジオ・コロニウムがあると提唱されたこともあった。ジオとは地球の意である。これは当時、太陽コロナの発光源である原子が判定できず、コロニウムという謎の原子が考えられていたことと関係がある。太陽コロナの発光源が高温で高度に電離した鉄の原子であることが発見されたのは一九四〇年頃になってからである。

現在、オーロラの発光源として、酸素原子、分子、窒素原子、分子、水素原子、ヘリウム原子、その他数多くの分子の存在が確かめられている。最近ロケット、人工衛星により、これらの原子、分子が直接に検出されている。宇宙人達がみた木星の暗赤色の環は木星のオーロラであるが、木星上層大気が水素原子のガスであり、これが発光しているのである。

これで、オーロラは真空放電現象であることがわかった。すなわちオーロラは大自然のネオンサインなのである。

3 カリントンの 写生観測の功績

しかし、なお問題はのこっていた。放電のためには電源が必要である。低層大気中の放電現象には雷放電があるが、これは雷雲中の氷片の静電誘導作用による。ここでは雲がコンデンサーになり、電圧が絶縁の電圧を超えると、瞬間的に放電が起きる。オーロラの放

電はネオンサインでわかるように、連続的な放電である。したがって発電機が必要となる。発電の根本原理は非常に簡単だ。磁場内で電気伝導体を速く動かすと電流が発生する。電気伝導体としてふつうには銅線で巻いたコイルを用い、コイルを急速に回転させる。そのため、水力と水蒸気力が使われる。そして後者をつくるため火力(石炭、石油)と原子力が使われる。つまり発電機とは、運動エネルギーを電気エネルギーに変換する装置にすぎない。それには磁場と電気伝導体が必要なので、我々はそれに相応するものを地球のまわりに探すことになる。磁場は地球そのものが大きな磁石であるというところでかたづく。コンパスの北針が北を向くということは、地球の北半球の磁極点は現在、実は磁石としては南極であるため、コンパスの北針が南磁極点に引かれるためだ。現在というのは、地球の磁極は百万年ほどの単位で変わることがわかっているからである。

さて、発電機の電気伝導体に相当するものは何か。この問題の解決には長い歴史があった。まず、オーロラが太陽活動に関係があることは、今は小学校の教科書に書かれてもよいほどよく知られていることだ。しかし、この事実が科学者の間で本当に信じられるようになったのはわずか一九一〇年以後のことである。初めて太陽爆発(フレアー)が観測されたのは英国の太陽物理学者、カリンントンが一九五九年九月一日十一時十八分、鉛筆を使って黒点を写生していたときだった。このときに黒点のまわりが急に白色に輝いたのである。それは現在「白色フレアー」と呼ば

れる最もエネルギーの高いフレアー現象である。最近はずべて自動写真観測なので、このような瞬間をとらえることはおそらく不可能であろう。カリンントンは当時初めて導入された黒点の写真観測に反対して写生観測を続けていたというエピソードがある。このカリンントンのフレアー観測後、約一日半の後、全ヨーロッパ、北米でオーロラが現われ、当時、通信の花形であった電信機は誘導電流のためスパークを発生し、しばらく使用不可能になったという記録がのこされている。

カリンントンは「一羽のつばめをみたからといっても夏が来たというわけにはゆかない」とちゅうちよしながらも、フレアーとオーロラとの間には関係があると推論した。ところが、この控めな推論を、「それは偶然の一致にすぎない」と批判したのは英国科学界の大御所、ケルビン卿であった。一八九〇年頃のことだ。ケルビン卿の物理学への大きな貢献はいままでもないが、一方においては地球の年齢は二千万年であると断言して、地質学者を混乱させ、ダーウインを困らせたり、また「空気より重いものは空中に浮ぶことは不可能である」と当時の人達の、空を飛ばうとする努力を笑ったりしたのであった。

4 ビルケランドと チャップマンの登場

一方、北欧の科学者達、とくにノールウェイのビルケランドは、オーロラは電子流により生ずる、そしてその電子流は太陽から飛来

するという推論のもとに強力にオーロラ観測と実験室での真空放電研究を進めた。とくに真空放電管中に、磁化された鉄球を入れて、地球のまわりでの電子の流れを究明した。しかし、電子流が太陽に源をもつという推論には無理があり、オーロラの定量的な説明にはいくつかの困難があった。まず第一に、この電子流は磁極点にだけ突入して、宇宙人達がみたような光の環を作れない。この理論的な困難の一部が取りのぞかれるまでには、その後二十年ほどの歳月を待たねばならなかった。

地球電磁気学の創始者である英国の地球物理学者、チャップマンが一九三一年に、太陽から流出する荷電粒子は同数の陽子と電子からなり、全体としては電気的に中性の気体であることを提唱した。このような荷電粒子がスのことを現代物理学ではプラズマと呼んでいる。チャップマンはさらに、この電気ガスが地球に向かって流れてくると、地球が磁場をもっているため地球を避けて流れ、地球はこのガス流中にできる空洞にとじこめられると推定した。それからさらに二十年をへて、ドイツの天文学者、ピアマンが彗星の尾の研究から、このプラズマはフレアーの時だけでなく、常時、噴出していることを推論し、さらにアメリカの天文学者、パーカーがその理論づけを行うと同時に、このプラズマ流に「太陽風」という専門語をつけた。彼の理論というのは、太陽コロナは非常に高温のため、太陽の重力では地球の大気のように保持できず、常時、超高速で吹き出しているとするものである。この理論の正否はかならずしも

確認されていない。とくに、最高速の太陽風は、コロナの最も低温の場所（コロナ・ホール）から吹き出しているからである。太陽磁場が関係しているという推論もあるが、もしかするとこのコロナ・ホールの中に数多くある、非常に小さい点のようなところから電磁作用で吹き出しているのかもしれない。いずれにせよ、この太陽風は地球のまわりを吹きぬけ、火星や木星、土星を越えて吹いている。

5 新しい研究の潮流

私達の年代の研究者による新しい研究が始まったのは、ちょうどこの頃、一九五八年のことであった。私達に受け継がれた研究の第一は、チャップマンの考えたプラズマ流では、地球のまわりに空洞はできるが発電機はできないということである。地球の磁場はこの空洞内にとじこめられてしまい、電気伝導体であるプラズマは磁場の中を流れることはできない。しかし、当時ほとんどの研究者達は、チャップマンのプラズマ流で何とかして発電機を「作ろう」と考えていた。したがって、チャップマンと当時大学院生であった筆者の「プラズマ流中には何か未知のものがある」との提案に、強い拒否反応を示した。

この困難の突破口になったのは英国の天文学者、ダンジイの推論、すなわち「太陽風中の磁場の磁力線と地球磁場の磁力線とがチャップマンの空洞の壁を通して結合している」であった。現在、この空洞は磁気圏と呼ばれている。この結合には太陽風中の磁場の南北

成分が最も重要であるのがわかった。これこそ私達が探していた「何か未知のもの」であったわけである。したがって結合している磁力線を横切って太陽風が吹くと、磁場内を電気伝導体が動き発電作用が起きる。この電力は約百万メガワットに及び、全米の電力を供給できるほど巨大なものである。

太陽風の磁場は常に変動しており、その南北成分の変動もはげしい。したがって、発電機の電力も常時、変動し、オーロラの輝度も変動することが推量できる。その後の研究により、このオーロラ発電機の電力は太陽風の速さ、太陽風の磁場の強さと方向に関係していることがわかるようになった。だから太陽と地球の間に人工衛星を置き、太陽風とその磁場を観測すれば、電力が計算され、予報ができるわけだ。太陽と地球の重力が釣り合う点をラグランジアン点と呼ぶが、この点に人工衛星ISEE-3号が置かれた。

こうして太陽風観測の信号は電波でNASAの受信所やその他の人工衛星の中継をへて、約七秒後にアラスカ大学の地球物理研究所に送られてくる。太陽風はラグランジアン点から地球まで約四十分から一時間かかって到達するので、約一時間前に電力の予報が可能になったわけである。もともとこの衛星は最近ラグランジアン点を離れ、彗星探査船として活躍している。

6 北海道でみえるオーロラ

オーロラの環の直径もまた、発電力によつ

て変動する。アラスカ地方では、この環は発電力が弱いときには、北極海岸付近だけに存在するが、発電力が上昇してくるとともに南下し、ユーコン河上空からフェアバンクスにひろがる。さらに発電力が上昇するとアンカレッジ、またはもつと南に降りてくる。

とくに太陽フレアー直後は太陽風は嵐のようになり、速さが増すとともに磁場の強さも増加する。したがってオーロラ発電機の電力は磁場の方向が南を向いていると、普通の場合の約百倍にも上昇し、その結果、オーロラの環はアリューシャン列島からシベリア中部に南下する。同時に、オーロラ・カーテンの上端がのび、約千キロメートルにも達し、この上端が暗赤色になる。これは水素の光で

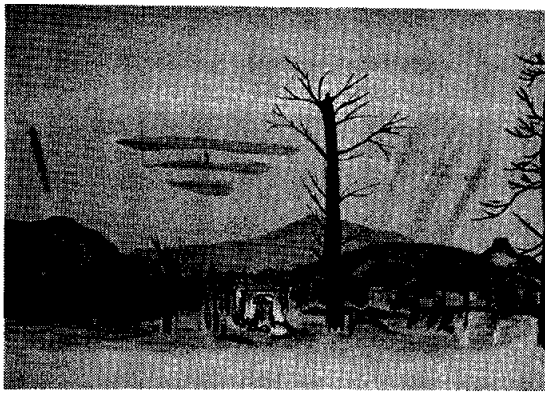


図1 上敷香における極光(昭和13年1月22日19時10分頃)

はなく、酸素原子が高温になると発光する光である。こんなとき、北海道でも水平線上にわずかにオーロラ・カーテンの上端をみることもできるようになる。これが北海道で見えるオーロラで、オーロラの環そのものが北海道まで南下するわけではない。強い太陽フレアーは大きな黒点の付近に起こりやすく、黒点は十一年の周期でその数が増えるため、北海道では約十年に一回ほどオーロラの上端をみる事ができる。なお、樺太の敷香でみられたオーロラのスケッチは図1に示してある。

オーロラの光のカーテンはほとんど常に複雑極まりない変動をしている。一瞬にしてその輝度が増し、くると反物のように巻くこともある。しかも、この巻かれたカーテンは真夜中の空から夕方側の空に向かって急速に移動する。真夜中の空ではカーテンが一秒間に数百メートルの速さで極に向かつて移動することもある。一方、朝方側の空ではカーテンがばらばらになり、長い光の束が空いっぱいになる。このめまぐるしいオーロラの動きは、実は電子流の運動によるのである。この原理を利用して我々はオーロラの運動（オーロラ嵐）を地球近辺の電磁場の嵐の影響としてとらえる。こうしてオーロラの運動から地球近辺の電磁場の変動が推定できる。

さて、オーロラは大電力放電現象なので、これにともなう種々の誘導現象が起こる。オーロラの環の真下には北極海の油田から米国にいたる長い石油パイプ・ラインが建築されている。オーロラはこのパイプに時には千

アンペアにもよる電流を誘導する。長い高圧電線にも誘導電流を起こし、変圧器に突調をおよぼす。さらにここに建てられている巨大な国防レーダー網もオーロラの影響をうける。短波による電波通信は電離層を反射層として使うが、それはちょうどオーロラの現われる高度なので、オーロラ嵐中は通信が不可能になる。人工衛星もオーロラの強烈な電子ビームをあびると障害が起きることがある。このように、オーロラが我々の生活に与える影響は決して少なくない。

7 太陽系を去る宇宙船

さて、この短いオーロラ物語は太陽系を訪れている宇宙人達の話から始まったので、話を再び壮麗なオーロラにみとれていく彼等の上にもどしてみよう。

地球のオーロラに堪能した宇宙人達は、地球からさらに太陽の方向に進む。そして、金星にも水星にもオーロラがないことを確認する。オーロラ現象が起きるためには、惑星が磁場をもっていることが必要なのだ。金星や火星は磁場がないか、あるいは極めて弱い。

したがって太陽風（電気伝導体）が吹いても、発電は起こりえない。一方、水星は磁場はもっているが、発光を起こすべき大気がない。つまり、小さいために重力が弱く、大気を保持できないのである。月は磁場も大気もないので、もちろんオーロラ現象はありえない。結局、オーロラは強い磁場をもつ地球と木星、土星に限られている。彗星にもオーロラに似

た現象があるはずだと推論する学者もいるが、これは彗星が太陽風の磁場をとりこむからである。水星を離れた宇宙船は、さらに太陽に向かつて進む。そして、たまたま太陽フレアーを観測する。このフレアーも太陽大気の高光現象であり、ちょうどオーロラの環を上から眺めることに相当することに気がつく。フレアーこそまさに太陽のオーロラなのだ。発電は光球面のガスが黒点の磁力線を横切つて流れることによる。

このように、オーロラ現象は少なくとも太陽系では何ヶ所にわたって起きている。それならば、この現象は太陽系だけでなく銀河系内の他の天体でも起きているはずだと考えられよう。パルサー（電波天体）は根本的にはオーロラ現象だと考える天体物理学者もいる。

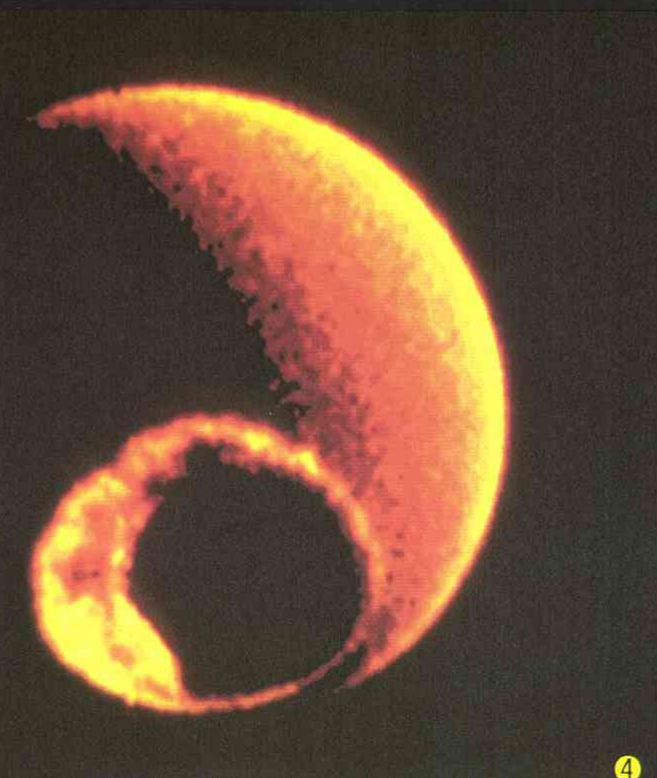
やがて宇宙人達は彗星のように太陽を一周したあと、太陽系を去ってゆく。太陽系外の天体にオーロラ現象を求めると、その方向を琴座の織女星ベガに向けるだろう。最近の人工衛星と電波観測によると、この星は土星のように小石の環でかまされ、惑星系が形成されつつあるというのがその理由である。その他超新星の爆発により飛散するガス（プラズマ）と星との衝突も、おそらくオーロラ現象を起こすであろう。それは、多くの星が磁場をもっているためである。したがってオーロラ現象は広く銀河系内でみられるにちがいない。宇宙船に乗りこんで、その一つ一つを確認する宇宙人達の楽しみはつきないことであろう。

（アラスカ大学地球物理研究所長）

壮大な光のドラマ

■オーロラ

本誌2頁からの赤祖父
俊一「オーロラ」参照。



- ①② アラスカの原始林の上に舞うオーロラ (アラスカ大学地球物理研究所)
- ③ チャレンジャー号から撮影された南半球のオーロラ (NASA宇宙飛行士, D.Lindとアラスカ大学, T.Hallinan)
- ④ 地球の半径の数倍の距離からみた地球とオーロラの環。人工衛星ダイナミック・エクスプローラー号による (アイオワ大学, L.Frank)



大自然の ネオンサイン

- ⑤ 魚眼レンズで写したオーロラ
(アラスカ大学地球物理研究所)
- ⑥ ノールウェイ・トレンゾー市に現われたオーロラ(T. Berkey)
- ⑦ フェアバンクスの小さな教会とオーロラ(赤祖父)
- ⑧ 1958年2月10日夜、全極地に現われた赤いオーロラ。北海道でもみえた(アラスカ大学地球物理研究所)
- ⑨ 極地の動物、ムース(おおじか)の角とオーロラ(M. Grassi)

