

オーロラと宇宙空間の天気予報

名古屋大学太陽地球環境研究所所長 上出 洋介



はじめに

皆さん、こんばんは。いま西田先生から、宇宙プラズマに関する最近のお話を聴きました。60年代から、正確に言いますと50年代の終わりからですが、この分野では人工衛星の貢献が大きく、西田先生の講演は、太陽風によってつくられる地球磁気の尾っぽの話、その中で起きるプラズマ加速の話、そしてちょっと難しかったと思いますが、分布関数の話などが含まれていたと思います。とにかく、この30年-40年、地球周辺の宇宙空間について様々な発見がなされましたが、宇宙天気という私の講演に関連して、「人工衛星の時代」にわかったことを一言で言いますと、「私たち地上の生命は、ぎりぎりの条件下で生きているんだ」ということではないでしょうか。

かなり誇張していますが、太陽と地球の関係は図1のようになります。誇張していると

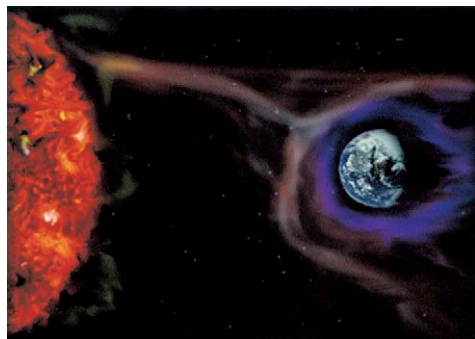


図1 地球は太陽大気の中にある (IAGA提供)

地球が大気と磁場を持っているため、地球圏が太陽風プラズマの直撃を受けていることに、私たちはふだん気がついていない。この大気と磁場があるから、地球にはオーロラが出現する。

いいますのは、この図では地球が大きく描かれすぎているからです。太陽と地球のサイズ、そしてこれらの間の距離をどのように描いたら現実的かと言いますと、たとえば皆さんの頭が太陽だとしますと、30メートル先にある0.3ミリのシャープペンシルの先端端みたいな球が地球です。皆さん（つまり、太陽）の眼に、地球が見えますか。

誇張したついでに言いますと、地球は太陽の影響をもろに受けているんだということ。この図を見て言いますと、太陽のふーっという一吹きで、地球が危ない気がしてきますね。少し難しい言葉で言いますと、太陽と地球の間の宇宙空間、つまり太陽-地球システムは、太陽の活動に非常に敏感であるということです。たとえば、オーロラの出現や動きは太陽活動に直接コントロールされているということです。

そんなことは当たり前じゃないかと言う方がおられるかもしれませんが、少なくとも私が大学院に入ったころの有力な学説は、地球の尾っぽ（図1参照）には大量のエネルギーがいつもたまっていて、そのほんのわずかの量を使うだけで立派なオーロラがぼんぼん発生する、換言すれば、太陽活動の影響を直接受けなくても大規模なオーロラが出る、という考えがあったんです。図2は、私自身が70年代にした仕事です。図3に示したような見事なオーロラ（これは、ブレイクアップと専門用語で言われている、ダイナミックなオーロラ）の発生確率が、太陽風が太陽から剥ぎ取ってくる磁場の方向によって支配されている

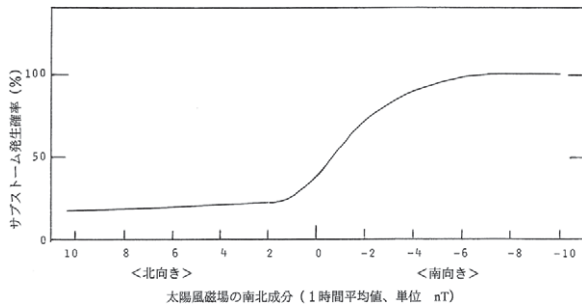


図2 オーロラの発生確率は、太陽風の磁場の向きで決まる



図3 オーロラブレイクアップの瞬間
(フィンランドで、群馬県の横山二郎氏撮影)

という結果です。地球磁気圏が効率よく働いている、と言い替えることができるでしょう。今では当たり前のことでも、当時は学会で多くの批判を受けたものです。

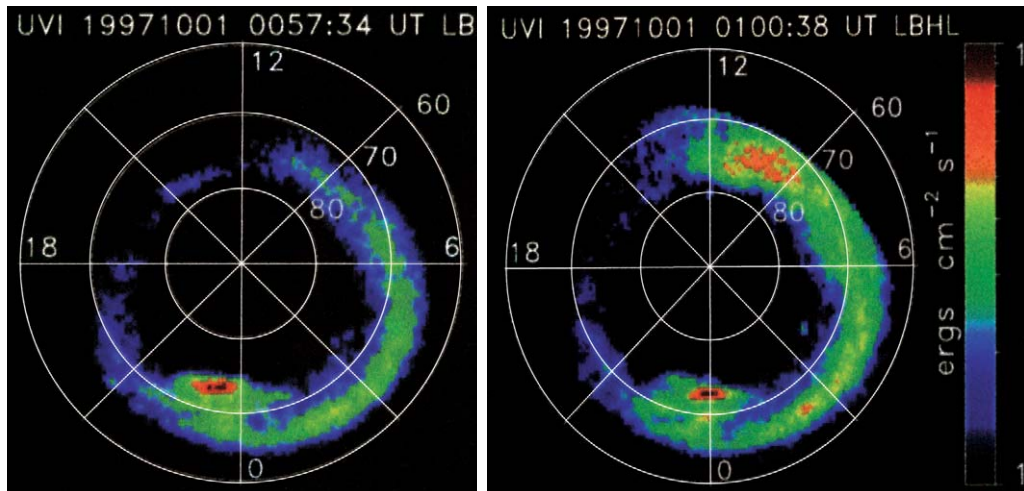
このように、地球周辺の現象が太陽活動に直接支配されているということは、道は決して平坦ではありませんでしたが、この30年ほどの研究により、実際そうであることが実証されてきました。つまり、磁気圏内の現象が太陽の呼吸みたいなものにもろに支配されているわけですから、太陽と地球の間の空間に人工衛星を飛ばし、太陽風データを刻々と見ていれば、オーロラや磁気嵐の発生が予報できるということにもなります。これはいいニュースですね。

しかし、ちょっと恐いことも予想されます。太陽の影響が人間のいろいろな生活パターン、あるいは社会／経済にも影響を及ぼしかねな

いからです。今日は、そういう宇宙天気の話をしてします。私の講演は、全体で3つに分かれています。

まず、「宇宙と地球の境界はどこか」から始めます。私たちは日常、あまり深く意味を考えずに、地球とか宇宙とか言ってますね。いったい宇宙と地球というのはどこが境なんだと、改めて問い直してみましょう。皆さんは、この質問に正確に答えることができますか。スペースシャトルの飛んでいるあたりは、宇宙遊泳とか言うぐらいですから、宇宙らしいですね。そして、皆さんが現在いるところは、明らかに地球ですね。ではいったい何キロメートル上空が宇宙と地球の境なのでしょう。それを決めるキーワードは何でしょう。実はその境目でオーロラが起きているのです。それは偶然なのではありません、オーロラの発生には、宇宙の条件と地球の条件との両方が必要のために、必然的にそこで起きるわけです。したがって、オーロラは、太陽と地球を結ぶシステムの状態を表わす重要な指標であるということですよ。

2番目には「宇宙の天気とは何か」という話をします。宇宙の天気といっても、聞き慣れないかも知れませんが、ふつうの、つまり(地上の)天気と比較してお話します。日常生活で天気といえば、今日雨が降るんだったら傘を持っていこうとか、温度が何度だったら暑そうだから半袖で行こうという、「たわいない」ものから、台風が来るから飛行場を閉鎖するといった、経済効果にかかわる事例があります。人間の日常生活、社会や経済に影響を及ぼす、そういう地球大気の様子が天気ですが、ちょっとそれのまねをして、宇宙の天気というのは、人間の文明社会に影響、ときには打撃／損害を与える宇宙の様子のことをいいます。最近では、世界中で不気味な事件が多く発生していますが、宇宙から見れば、地球ほど棲みやすいところはないということ



a. 図4 NASAの人工衛星Polarで撮影されたオーロラの全体像 (M. Brittacher 提供) b.
 a. 太陽風からの衝撃波が到着前、b. 到着直後。
 図の中央が磁北極。緯度は10度ごと、経度は3時間ごとに示してある。
 図の上方は太陽方向。

を自覚したいものです。宇宙／地球科学が発達して、私たち地上の生命はぎりぎりで生きているんだ、ということが分かってきたからです。

そして最後3番目に、オーロラというのは宇宙天気の一つの現われであるという話をします。地球は平和で棲み良いところであると言いましたが、宇宙は非常に危ないところですね。危ないというのは、人間にとってということですが。これは当たり前のことで、人間は、人間にとって棲み良い場所に生まれ、そして進化してきたのです。

まず、地球は太陽風あるいは太陽の活動の影響をもろに受けているという一つの例を示します。図4、これは新しい人工衛星からのデータですが、オーロラが極を中心に地球を一回りしていますね。普通の地理上の極ではなくて、磁極、つまり地球磁場の北です。

図4aで、夜側に明るいオーロラが見えます。これからわずか3分後、つまり図4bで、昼の方に突然オーロラが現れます。実はこの3分の間に、太陽風の圧力が急に上昇したのです。普段、太陽風は毎秒400～500キロメートルで地球に吹き付けていますが、時として突然1000キロメートル／秒にもなること

があります。このように太陽風の圧力が突然高まると、磁気圏はどうなると思いますか。分かっていることは、図1で、地球磁気圏のサイズがぐんと小さくなります。外から急に圧迫されるわけですから、天気予報でお馴染みの静止衛星（地上3万5千キロメートルにある）が、磁気圏から外に出てしまったりすることも実際観測されています。オーロラに何が起きるかといいますと、図4bのように、突然昼間側にオーロラが現れるのです。

もちろん、こうした太陽風圧力の急上昇の原因は太陽です。フレアー、CMEと呼ばれる爆発的活動に原因があります。そういう活動領域が地球に向かって飛んできて、地球の磁気圏の正面を直撃するのとはほとんど同時に、オーロラが昼のほうに現れるというわけです。図4のように証拠がはっきりしているケースの他に、太陽活動の上がり下りのひとつひとつを磁気圏の奥まったところにいる地球で受けているということです。

この直撃型のオーロラは、人工衛星のデータで分かってきた1例です。人工衛星観測の重要性を一言でいいますと、太陽と地球を結ぶ宇宙空間の構造（つまりプラズマ領域）、さらにその中で発生するダイナミックな現象

の理解がぐんと進んだということでしょう。オーロラはそうした現象の中の一つですが、その理解が人工衛星のおかげで急激に進んだのです。

さきほど、地球磁気圏は太陽風に対して効率のよいシステムであると言いました。図4で示したタイプのオーロラは一つの例ですね。それから、太陽風の中の磁場の向きが、磁気圏尾の中のリコネクション（西田先生の講演に出てきました）の位置を左右するとか、その発生が数時間のスケールで太陽風の変動に効率よく対応しているということ。これらのことは、先ほど紹介しましたように、「いつでもしっぽには莫大なエネルギーがあるんだから、オーロラの発生は自発的に起きる」という説に反するわけです。

宇宙と地球の境界はどこ？

それでは、「宇宙と地球の境目というのはいったいどこなんだろう」という話題に移ろうと思います。まず、私たちの研究所で最近つくったビデオをご覧ください。

（ビデオ「太陽、地球、そしてこの空」の一部 5分ほど）

〔ナレーション〕2000年2月、日本人宇宙飛行士、毛利衛さんは、宇宙から地球を観測するため、スペースシャトル、エンデバー号に乗りこみました。これは230キロメートル上空のエンデバーから、毛利さんが撮影した地球の映像です。宇宙に出ると、地上ではまったく気づかない、地球の表情が見えてきます。暗黒の宇宙に、太陽の光を受けて、ひときわ青く輝く球体、それが私たちの星、地球です。表面を薄いベールのように包んでいるのは、大気層です。

映像で分かりますように、地球の勢力範囲は、直感的に言いますと、「大気があって、青く見えるところ」とでもなるでしょうか。

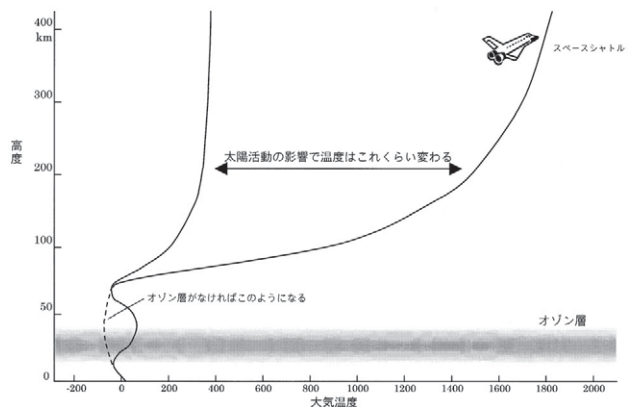


図5 大気温度は、地上からの高度でどう変わるか

空が青いのは、波長の短い青色光が散乱しているからです。それに対し、宇宙は真っ黒に見えましたね。その青と黒の境目、それが地球と宇宙の境界の一つの定義のようなものです。ですから、スペースシャトルで地上からゆっくり（相当速いスピードですが）上がって行きますと、その境を見ることができるはずですよ。

図5は、大気温度が高度でどのように変わっていくかを示しています。縦軸は、50キロ、100キロ、200キロと、線形のスケールではありませんが、地上からの距離をとってあります。地上の温度が20度ぐらいだと想定して、この図が描かれています。上空に行くと、断熱膨張というメカニズムで、だんだん温度が下がっていくことを、私たちは経験で知っていますね。富士山の頂上へ行くと、0度ぐらいに下がるはずですよ。エベレストに登るともっと寒くなる。しかし、この傾向はいつまでも続くはずはありません。どこかからは太陽に近づくわけですから、温度は上がっていきます。

ところが、図5を見て分かりますように、現実の様相はもっと複雑です。本日の講演のトピックスではありませんが、地上20-30キロメートルあたりにオゾン層があります。オゾン層は、ご存じのように、人間に有害な太陽の紫外線を吸収してくれています。その吸収したエネルギーを周囲に放出しているた

めに、一度下がり続けた大気温度がその辺りで上昇し、温度構造が少々複雑になっているというわけです。結局、ジェット機が飛んでいるあたり（地上10キロメートル付近）が、最も温度が低いところなわけです。飛行機の操縦室からの、「只今の外気温度は-50度です」とかいうアナウンスを聞いたことがある方も多いのではないのでしょうか。

しかし、地上から100キロメートル以上上がると、太陽活動の影響で温度が大きく変動することが分かっています。太陽活動が非常に高ければ、そのあたりの温度も高いのです。太陽の活動が高いというのはいったい何かというと、いまのところ黒点の数で判断しています。黒点というのは、文字どおり黒いわけで、温度が低いんです。ところが、黒点付近にあるフレアのような爆発現象が起きている場所では、逆に温度が高くなっています。図5には、太陽活動が高い時期と低い時期での温度を、2つの線で示してあります。スペースシャトルが飛んでいるあたりは、あるときには2000度近くにもなるということです。

2000度もあったらさぞ暑いだろう、と思いますか？ ここが、平和な地上と違う点です。地上ですと、「今日の気温は40度だ。暑い、暑い」なんて言っていますが、このような贅沢は、この地上でしか通じないようです。宇宙に行くと、宇宙といいましても、地上からわずか100キロとか200キロ行くだけで、温度が今日と明日で何百度も変わるなんてことはしばしばあるわけです。この点が、もう一つの宇宙と地球の違いということになるでしょう。つまり、温度が高ければ暑いというのは、地球上のような、大気密度が一定のところでの常識にすぎません。

図6にそれらの点をまとめてあります。地球と宇宙の境界はいったいどこなのか、そもそも地球とは何か、宇宙というのは何かという疑問に対するひとつの見方です。地上の大気は、電氣的に中性です。プラズマではないというわけです。それに対して、宇宙はプラズマです。電離しているということです。こ

宇宙と地球の境界はどこ？

- 地球 … 中性大気
温度の高いところは暑い
- 宇宙 … プラズマ
温度が太陽活動により刻々と変わる

オーロラは、宇宙と地球のちょうど境で光っている

図6 地球とは？ 宇宙とは？

の中性大気の地球とプラズマの世界との、ちょうど境目でオーロラが光っています。それは偶然なことではなく、この意味で、オーロラは、「宇宙で起きていることのヒントを地球人に映している」と言い換えることができるかもしれません。

宇宙の天気とは何か

宇宙天気の話に移っていきしたいと思います。宇宙の天気と言うからには、地上の天気と同じように、「いい天気、悪い天気」というのがあるはずです。宇宙天気という言葉が、どのようにして使われるようになったかといいますと、つまりなぜ素直に「宇宙の状態」と言わないで、「宇宙の天気」と言うかといいますと、その状態が社会生活、人間生活に影響を及ぼすことを強調したいからです。では、どういう影響を及ぼすのかということを話します。

「いい宇宙の天気、悪い宇宙の天気」というのはいったいどういうことでしょうか。地上では、雨が降ったら天気が悪いと皆さん言いますね。しかし、それは人間の勝手ですよ。傘を持って出勤するのがイヤだから、それを悪い天気と言う、そういうレベルの話です。「宇宙天気」という言葉をつくったのも人間ですから、宇宙天気の場合も、やはり人間を主体にして考えてしまうのは仕方ありません

ん。この広い宇宙の中で例外的なところが地球ですから、おそらく宇宙自身は、「勝手なことを言うな」と怒っているでしょうね。

宇宙の悪い天気は人間の生活、社会／経済に与えた事例は数多くあります。たとえば、新聞やテレビのニュースでも流されましたが、今年の4月の初め、太陽活動が急に活発になって、成田空港などの管制室でトラブル、つまり飛行機との交信が断続的に40分間も乱れました。航空機が行方不明？ そんなことがあったら深刻な事態ですね。しかし40分間連続してではなくて、断続的にということです。いわゆるデリンジャー現象と呼ばれている電離層の異常現象です。太陽からのX線の突発的増大で、短波通信に擾乱が生じたわけです。

昨年7月15日には、太陽が爆発現象を起こして大磁気嵐が始まり、そのときもちろん激しいオーロラが出たわけです。今日は詳しい話をしませんが、実はオーロラの中には大電流が流れています。最高で何千万アンペアにも達し、電圧が何百キロボルトですから、その電力ワットを日本の全戸数で割りますと、

1戸あたりどれだけの電力が消費できるか計算できます。すなわち、オーロラの電力を全部取り出すことができれば、1戸あたり5000ワットぐらいにもなります。ということは、オーロラが連続的に出れば、日本に発電所がいらなくなるということにもなりますね。

それだけの電流が流れていると、オーロラからジュール熱が出ます。ちょうど電熱器のニクロム線から熱が出るように。その熱によって、大気が膨張しますね。そんなことを知らないで人工衛星がやってきて、その膨張大気の塊に突入するとどうなるでしょう。衛星の軌道が狂います。こうした運命的の出会いをしたのが、日本の「あすか」という天文衛星です。去年の7月15日に姿勢トラブルを起こし、軌道がぐんと下がり、それから何カ月かけてどんどん下降し、今年の3月の初めに南太平洋上で消滅しました。

これはスキージャンプの例です。リレハンメルオリンピックの、この人は日本代表の岡部さん。銀メダルを取った選手ですが、助走姿勢の画像が世界に中継されていたときに、突然バタッと30分間ぐらい消えてしまった。そして回復したときには、この人は銀メダルを取っていたというわけです。この一連の事件の犯人は、太陽、オーロラでした。これは世界中にばれてしまいました。

翌日の新聞には「オリンピックの中継BSが中断」と書かれました。新聞には、「22日午後9時15分ごろ、リレハンメル冬季五輪競技を中継中のNHK衛星第1と第2のテレビ映像が、突然映らなくなった」、そして、「同じような現象は、平成3年の3月にも1時間あり、このときには太陽の黒点の異常が原因であった」とあります。

人工衛星の計器トラブルも実に多い。カナダでの例をお話しましょう。この種の事件が、太陽活動がピークであるこの2、3年、とくに多いのが目立ちます。図7は新聞記事で、「宇宙からの嵐が、ケーブルテレビチャンネルをワイプ(wipe)した」という見出しで

Storm from outer space wipes cable TV channels

HELEN METELLA
Journal Entertainment Writer
and Journal News Services

Edmonton

A massive space storm that's suspected of ripping MuchMusic from television screens in Edmonton and across the country has rendered Canada's main broadcast satellite a mass of space junk.

The most significant satellite failure in Canadian telecommunications history left frustrated Videotron and Shaw Cable subscribers with fuzzy screens in place of regular programming.

Anik E-2 began spinning out of control about 7:30 p.m. Thursday, knocking off the air everything that cable companies access by satellite — nearly all of Canada's broadcasters.

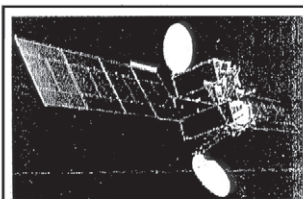
A magnetic storm in space "one hundred times greater than we've seen before" seems to have permanently scrambled electron in circuitry that keeps the \$300-million satellite aimed at Earth, said Larry Bolwert, president of Telestar Canada which owns the satellite.

The storm — caused by energy from the sun — was detected by a nearby environmental satellite. The storm first blacked out the Anik E-1 satellite, mostly used for telephone and computer communications, early Thursday afternoon. But Telestar technicians were able to start its backup stabilizing device that evening.

An hour later, they were stunned when a similar failure struck the E-2. The storm probably charged it with current, causing it to blow a circuit.

Engineers and computer specialists struggled in vain throughout the day to restore the errant satellite.

Edmonton, Calgary, Red Deer and Hinton's cable systems were operating close to normal late Friday night, but it might take



An artist's version of the problem-plagued Anik E-1
What went wrong?

Space junk

— Two Anik satellites are owned by Telestar Canada, a company jointly controlled by Shaw-Jarvisco Ltd. and the Shaw-Jarvisco companies.

— What happened to Anik E-1?

— On Thursday, a stabilizing device

in E-1 — used mostly for telecommunications — failed, making the satellite

unusable by shifting an antenna away

from earth. Telestar technicians tried the

problem with a back-up stabilizer, but

only evening. One hour later, the prob-

lem struck the E-2, mostly used by TV

networks. Its backup stabilizer was still

not working Friday afternoon.

Q. What did users do?

A. Most telecommunications users switched to ground lines. The big TV networks used backup ground-based systems. But some cable channels, including MuchMusic, TVO and the

Weather Network, went off the air in most places.

Q. What's to blame?

A. That's not clear. Telestar says that

damage would be costly to replace.

Q. What's next?

A. Cable TV customers who lost dig-

ital numbers of channels may be

entitled to refunds. Some groups are

calling for an end to Telestar's monopoly

most of the weekend to restore

full service to all of Videotron's

28 services in the province.

But each receiving cable com-

pany has to physically point their

satellite dishes at their new

satellite source, and it will take

time for cable company crews to

reach distant transmitters in

areas such as Cardston.

Several local radio stations —

including CISM-FM and CKUA

AM and FM — are also carried to

outlying regions via the Anik E-2.

Although CKUA has been

switched to Anik E-1, CKUA will

not be restored to all of Alberta

until noon Monday because en-

gineers must drive to 17 trans-

mitters across the province to

realign the dishes.

"It's a two-man job and we

only have four engineers," said

Jackie Hollins, the station's gen-

eral manager.

The two major national tele-

vision networks, CBC and CTV, had

backup plans — using costly

ground-based fibre optic lines.

Please see SPACE/2

図7 カナダの人工衛星ANIKのトラブルを伝える新聞記事

す。それから通信衛星が、ザップ (zap)、つまり侍がバサッと刀でやるようにやられたという記事もあります。このカナダの人工衛星の名前はANIKというんですが、このトラブルが起きてから、PANIXというニックネームで呼ばれるようになりました。アニックがパニックだと、ダジャレ風に見出しを書いた新聞もありました。

人工衛星にこのようなトラブルが発生すると、どのように社会／経済に影響を及ぼすのでしょうか。アメリカ、カナダのように広い国では、東海岸と西海岸間で人工衛星を経由して新聞や週刊誌の記事や画像を送ったりしていますが、それらが突然ストップしてしまうというわけです。新聞や雑誌の発行がパニック状態になり、経済への波及効果も大きいわけです。トラブルが回復すればいいのですが、永久に治らない人工衛星事件も沢山あります。

このようなメカニカルな問題だけではありません。図 8 は、国際伝書鳩レースで、4000羽以上の伝書鳩が行方不明になったという記事です。何が起きたかという、非常に強いオーロラが発生し、先ほど話したようなオーロラの中を流れている大電流により、地球の磁場が乱れたわけです。「電流が流れると、まわりに磁場ができる」は電磁気学の基本法則です。磁場変動は、オーロラのまわりにだけではなくて、世界中に及びます。つまり、強いオーロラが極地方に現れると、世界中の、もちろん日本でも、磁場が狂うわけ

です。私たち人間はあまり敏感ではないようですが、最近の研究で、磁場の変化に対して非常に敏感な動物がどんどん見つかってきています。おそらく人間もそうだと私は思うのですが、まだ証明はされていません。証明したと主張している、イギリス、マンチェスター大学のグループもありますが。しかし動物で、非常に敏感なのは伝書鳩です。この記事の伝書鳩レースのときには、無事ゴールにたどり着いた鳩は、わずか5%だったということです。大変な損害になるはずですが。

もっとセンセーショナルな事件は、列車の衝突事故です。カナディアンロッキーのジャスパーという町の近くで、貨物列車とふつうの旅客列車が正面衝突しました。それは、一方の列車の信号無視という原因も確かに成立しますが、貨物列車の乗員全員が死んでしまったので結局わからないままです。貨物列車の方が違反したようですが、乗客のほうにも死者がでました。いまでもここを通る列車は、悲しい汽笛を鳴らしています。

この事故は、歴史的に大きな磁気嵐の最中、つまり非常に明るいオーロラが出ていたときに発生しました。しかし、そのオーロラにうっとりと見とれて、運転士が間違っただけのものではありません。カナダのような大きな国では、信号に無線を使っています。オーロラが現れて電離層の状態が変わり、信号電波のモードが変わってしまったというのが一つの原因として考えられます。この事件は結局

✖ 帰って来ておくれ

図 8 磁気嵐のときに行われた国際伝書鳩レースの記事
(読売新聞、1988年7月3日付け)

表 1 宇宙天気予報の例

人工衛星

太陽からの高エネルギーの粒子は、人工衛星内の電子部品に損害を与え、誤信号を送ったり、間違っているデータを地上に送り込んだりする。また、衛星表面に過剰電荷を与え誤操作を引き起こしたり、衛星自体の寿命を短くしたりする。このような被害は、高エネルギー粒子侵入が前もって予測できれば、かなりの割合で防ぐことができる。

オーロラから発生する熱（最大 10^{13} ワットにも達する）は、大気の膨張をおこし、人工衛星の軌道を狂わせる。スカイラブ、SMM、あすか事件のように、衛星の落下を招くこともある。スペースシャトルの大気圏突入に際して、この効果を入れた正確な計算行わなければ、乗組員の生命が危ない。

航行

LORANやOMEGAなど、VLF帯を使っている船舶の航行システムは、電離層の高度の正確な把握がカギである。磁気嵐のときの電離層の各層の高度の変化は、現在地の計算に何キロメートルものエラーを生じる。

GPSは、クルマの現在地の確認のためなど現代社会／日常生活で欠かせない要素になっている。現在日本では100万台以上のクルマに、GPSシステムがとりつけられている。また、将来航空機の離発着にGPSが用いられることが計画されているが、これらの計算にも誤差を生じる。

通信

あらゆる通信は、多かれ少なかれ宇宙の天気の影響を受ける。とくに、オーロラ出現時にHF無線電波は、電離層に吸収されてしまい、地上に戻ってこない。地上局と人工衛星を結ぶ通信も現代では生活に浸透しているが、磁気嵐はテレビ／雑誌／新聞ニュースの配信網を乱してしまう。

宇宙空間での人間活動

人工衛星計器への損害のみではなく、宇宙空間を飛来する高エネルギー粒子／放射線は、スペースシャトル船外での人間の活動にも影響を及ぼす。地上では、ふだん地球の大気と磁場というバリアーにより、私たちの生命がこのような粒子衝突から守られている。

極まわりの航空機

飛行機に乗っていても、高エネルギーの宇宙線を浴びる。とくに高緯度を飛行する路線に何度も乗ると、原子力発電所で働く人の許容年間被爆線量平均1ミリシーベルトを越える可能性もある。

動物・人間の磁場感知能力

伝書バトやイルカが地球の磁場をたよりに行動していることは、よく知られている。国際伝書バトレースは、宇宙天気予報によって開催を決めている。人間への磁場の影響の研究も始まっている。

オーロラ長期予報

ガウスが18世紀始め、初めて地球の全磁力を測定して以来、地球の磁力は着実に減っている。このままの率で減少を続ければ、あと1200年で磁力はゼロになるという計算になる。あと700年もすれば、日本からも毎晩見事なオーロラが見える計算になるが、生命に危険な高エネルギー粒子が、それだけ直接地上にやってくることになる。

裁判になりましたが、単純に「運転士が間違った」のか、「オーロラが犯人」なのか、解決のつかないままで結審しています。

この他に、発電所や送電線の障害もしばしばあります。というのは、オーロラ電流の誘導電流が流れ、変圧器にトラブルを起こしてしまうからです。これで何十億円にも上る損害が起きたのが1989年3月、カナダのケベック発電所です。停電が10時間以上にも及びました。

先ほど説明しました飛行機だけではなく、船の航行にも、電離層異常は影響を及ぼします。また、GPSがたくさん車に使われていますね。いまでは100万台以上あると思うんですが、それらに最高10メートルの誤差が出ます。もちろんそれを補正するようなプログラムができていますので、これはそれほど影響がないかもしれません。それからもちろん宇宙での人間の活動を考えた場合、エネルギーの高い粒子、たとえばMeVクラスのエネルギーの粒子は、宇宙飛行士の宇宙遊泳に深刻なインパクトを与えます。

表1は、こうした宇宙天気の影響のまとめです。悪いことをリストアップしているようですが、最後に書いてあるのは、いいニュースです。つまり、宇宙天気の知識を使って、

オーロラの予報ができるということです。

もう一つの宇宙天気という呼び名がぴったりの理由は、図9aです。これはオーロラ高度の電位の世界分布が描かれています。この電離層の電位の分布というのは、地上の気圧の分布に非常に似ていますね。高気圧や低気圧のような形にも見えます。このときにオーロラの中を流れる電流がどうなっているかというのが、図9bで黄色い矢印で示したものです。真夜中付近、に非常に強い西向きのオーロラ電流が流れていることが分かると思います。ピンク色の等高線で描いたのは、オーロラからどれくらいの熱が出るのかを表わしています。

このような電位分布がもし刻々と計算できれば、宇宙天気予報に非常に役立ちます。たとえばスペースシャトルの宇宙遊泳を中止するとか、ときには打ち上げの延期をしてもらう、さらに人工衛星の計器のスイッチを切るとか、多額の損害を未然に防ぐことができるはずですが。私たちの研究室では、地上での磁場観測データをリアルタイムですでにできるだけ多く集めています。いまのところ、50カ所ほどから集まっています。そして開発したアルゴリズムを使って、電位分布を計算し、世界に

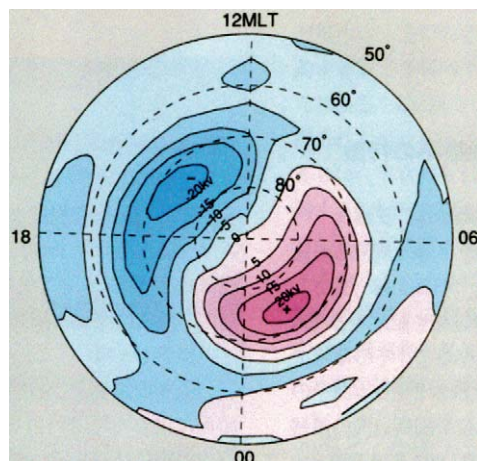


図9a オーロラが最高潮のときの、電離層高度での電位統計図
地上磁場データから推定したもの。

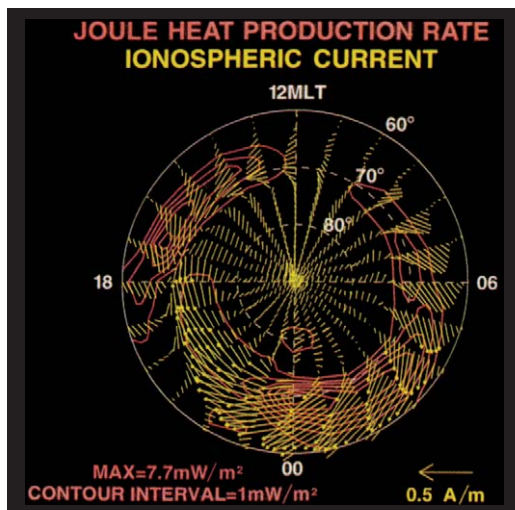


図9b 図9aに対応する電流(ベクトル表示)分布図と、オーロラ電流から発せられる熱量(等高線表示)

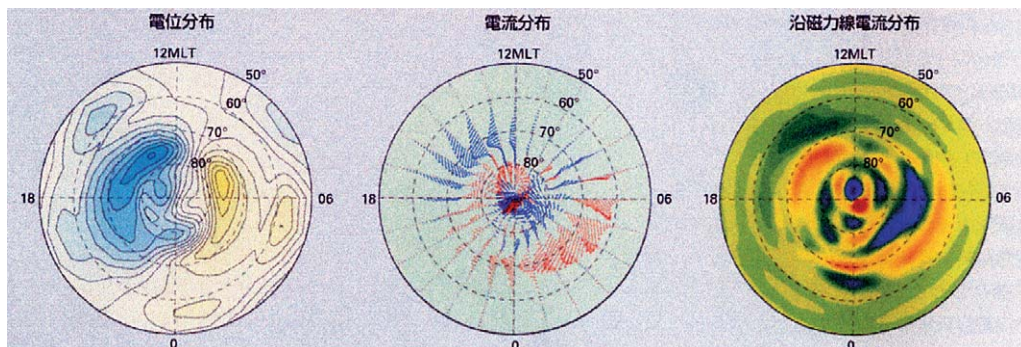


図10 刻々と計算されている、(左から)電離層レベルでの電位、電流、沿磁力線電流の世界分布

発信しております。残念なのは、ロシアからのデータがすぐには集まらないことです。

私たちの研究室では、図9のような平均値ではなく、電位、電流分布を刻々と計算しており、図10は最近の例です。電流の図で、赤く示したところは、強い西向きの電流が流れている場所、青いところは東向きに電流が流れていることを示しています。電流は、このオーロラの流れている領域、電離層といいますが、その中で閉じておらず、宇宙のどこから供給されていることも分かってきました。私たちのアルゴリズムを使えば、オーロラに出入りしているこうした電流（沿磁力線電流という）も同時に計算できます。赤い電流、青い電流は、それぞれ磁気圏から入ってきて、オーロラの中を流れて出ていくことを表わしています。図は、そういう電流の「現状」を表わしているわけです。現状をずっと見ていくと、予報につなげることができると期待しているからです。

まとめます。宇宙の天気とは何かを一言で言いますと、人間の社会、経済、われわれ自身を含む生命に影響を及ぼす宇宙空間の状態のことです。宇宙空間といえば、太陽から始まって、惑星間空間、太陽風、それから磁気圏、電離圏、超高層大気、と各領域のことを述べなければならなくなり、少々長くなりますし、かなりややこしくなります。その全体での状態のことを、一言で宇宙天気とよんでいるわけです。それでは、宇宙天気的重要性

をまとめたビデオを作りましたので、さわりの部分をお見せします。

(ビデオ)

[ナレーション] 太陽と地球の関係。太陽風によって地球上に発生する不思議な現象があります。オーロラです。夜空を駆けめぐる幻想的な輝き、神秘を抱かせる美しい光、この不思議な光の競演は、宇宙と地球のちょうど境目で繰り広げられています。

地球の磁場は、太陽からやってくる太陽風に対しバリアをつくって地球を守っています。太陽風がひきちぎって運んできた太陽の磁場と地球の磁場が結合して、そこには宇宙の巨大な発電所ができます。磁気圏のしっぽにたまったプラズマが、この大きな電力により、どんどんエネルギーを得て、磁力線に沿って極地の大気に飛びこむと、オーロラになるのです。オーロラは、太陽風プラズマと地球の大気の接点で起こる巨大な放電現象であり、その光は太陽が地球に送るメッセージです。

これは人工衛星が2万キロメートル上空からとらえた、宇宙から見たオーロラです。地球の磁極をとりまくこの光のリングは、大きくなったり小さくなったりして常に活動しており、太陽の活動が激しくなると、日本のほうにも迫ってきます。

オーロラは美しいだけでなく、ときどきいたずらもします。電離層で輝くオーロラは、人工衛星の機器を狂わせたり軌道を変えたり、また地上では広範囲な停電を起こさせたり、

動植物の生態系を乱すなど、さまざまな影響を及ぼします。これらの障害は私たちの生活ばかりでなく、世界経済や人命にまで危険をもたらす可能性があります。

こうしたことから、地球周辺の宇宙空間の電磁気的な状態、つまり宇宙天気を予報する必要性が叫ばれ、日本では太陽地球環境研究所が中心の一つになって、宇宙天気プロジェクトに取り組んでいます。現代社会の宇宙通信への依存度はますます高くなっており、太陽が地球に及ぼす影響の研究がますます重要になっています。世界中から刻々と送られてくるデータを前に、観測データをあらゆる角度から検討し、画像データ処理、モデル計算、シミュレーションなどにより、太陽地球システムを総合的にとらえ、エネルギーの流れの再現や予測を行うこともめざしています。

オーロラは宇宙天気の表われである

では最後に、オーロラと宇宙天気の関係についてお話ししましょう。皆さんの中には、すばらしいオーロラを見られた方が何人もおられると思います。魚眼レンズを使って全天を撮ったら、オーロラの舞いはどう写るのかといいますと、図11がその1例です。写真の真中が天頂で、つまり真上です。写真の周囲が地平線です。これで見ますように、天から光が落ちてくるような、降ってくるような感じですね。これは専門用語でブレイクアップ（空が破れるという意味）と呼ばれています

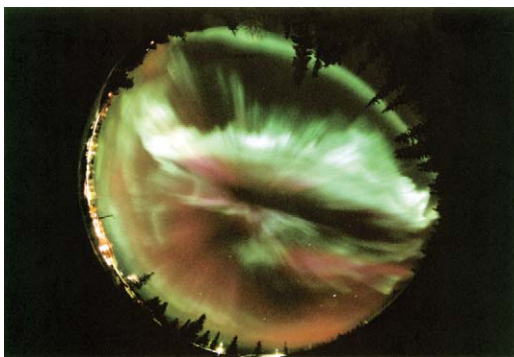


図11 オーロラブレイクアップを全天カメラで捉えた
(図3と同じく横山氏撮影)

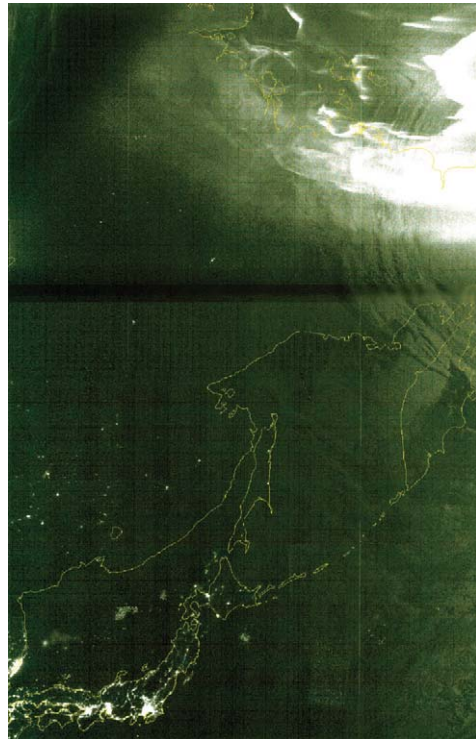


図12 人工衛星DMSP (高度800キロメートル) から見たオーロラと日本列島

が、このような圧倒されるようなオーロラが現地へ行ってもいつでも見られるわけではありません。静かなオーロラが突然音もなく、一点から光が吹き出して、あっという間に全天に広がるというブレイクアップは、宇宙から見ていると、4～5時間に1回ぐらい起きます。しかし、すばらしいブレイクアップが自分の真上で起きるという確率は非常に少ない。宇宙から「公平」に見ていて4～5時間に1回ということです。

人工衛星から撮った写真も沢山あります。図12は地上800キロメートルぐらいの上空から地球を見下ろした、オーロラの写真です。日本列島の街の灯りがよく分かり、そしてシベリア上空にオーロラがあります。

最後に一つだけ楽しい話をしておきます。西田先生が話されましたように、地球の磁気圏というのは太陽風の圧力と地球の磁場の強さのちょうどバランスがとれたところで、つまり地球の半径の10倍ぐらいのところ、そこ

に磁気圏の境がある。それは太陽と地球の力関係で決まっているわけで、太陽のほうが強くなると磁気圏のサイズは小さくなります。磁気嵐、そして烈しいオーロラは、そのような条件下で起きます。ところが同じことは、太陽の状態が同じであっても、地球の磁場が弱くなれば起きますよね。

図13に示しましたように、実はガウスが1800年初頭に地球の磁場を初めて測っております。それ以来いろいろな研究グループが測定しています。特に最近では、人工衛星で地球の磁場を測ることができます。それらを全部総合すると、確実に地球の磁場は減っています。もしこの減少をそのまま単純に延ばしたらどうなるのか、いつ地球の磁場はなくなってしまうんだろうという興味があります。地球の磁場は地上の生命にとって非常に大事なものです、そういう思考実験をすることができますはずです。

たった200年間のデータを使って何百年後に延ばすなどというのは、科学者として不謹慎なことです、ちょっと遊びとしてやってみます。すると、ガウスが測って以来、図13のように地球磁場のモーメントは、どんどん減っています。ところが、最近30年間のデータを使うと、そのスピードがもっと速くなっ

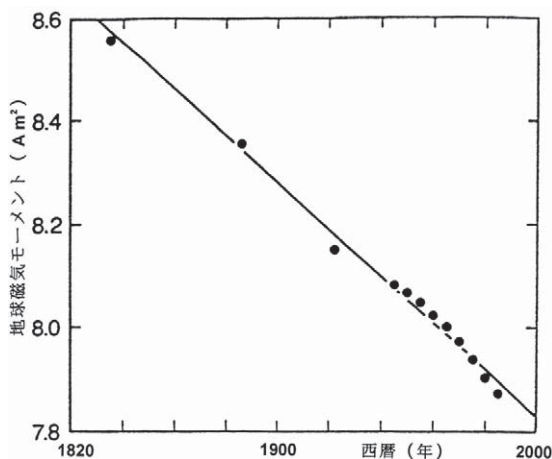


図13 ガウスが測定して以来、地球の磁場は着実に減っている

最近の傾向をそのまま延長すれば、地球の磁力はあと1200年でゼロになってしまう。

ています。減り方が速くなっていることが分かってきたわけです。もしこの傾向をそのまま延長していくと、いつゼロになるんだろうという疑問が当然あります。計算しますと、このままの調子で減っていくと、あと1200年で地球の磁場は消滅することになります。

地球の磁場がなくなってしまうたら、たとえばいまの半分とか30%になる段階で、日本にもオーロラが見えるはず。つまり、太陽の状態が強くなり、北海道でオーロラが見えるのと同じ現象が、地球の磁場が弱くなることによって起きるということです。1000年後、オーロラが一番見えるところはどこになるかという計算をしますと、まさしく日本はオーロラ帯に入ってしまう。つまり、東京からでも毎晩すばらしいオーロラが見えることになるわけです。ですから700年ぐらいたつと、日本から北のほうに毎晩のようにすばらしいオーロラが見えることになる。これはいいニュースです。がんばって長生きするようにしたほうがいいと思います。

おわりに

宇宙という場所は、人間にとって非常に危ないところ。といいますと、怖くそして不安に感じるでしょうが、実は当たり前の話で、人間は「危なくない」ところに出現し、進化してきた結果、現在のように平和な生活をしているわけです。この地球上からほんの一步出ただけで、たった100キロメートル出ただけで、宇宙、つまり人間にとっては危ないところになる。こういうことを教えてくれるのがオーロラです。オーロラは、太陽からのエネルギーのほんのわずかが、地球圏に入り込み、地球人への美しいメッセージとして光っているわけです。

今日の講演で、宇宙の状態が、つまり宇宙の天気が、社会／経済や私たちの生命にまで深刻な影響を与えていることがお分かりいただけたと思います。こうした影響を未然に防いだり、損害

を最小にするためには、宇宙の天気を予報することが課せられた重要な課題です。しかし、しっかりした予報をするためには、太陽－地球間の宇宙空間で起きていることの基本的物理過程を正しく理解しなければなりません。雲がどのようにしてできるかを知らないで、本当の意味の天気予報ができないのと同じです。正直なところ、私たちは現在、太陽－地球間の現象の定量的理解に至ってはおりません。人工衛星／地上観測と、理論／コンピューターシミュレーションを駆使し、世界中の共同作業として、研究を進めているところです。

時間です。どうもありがとうございました。