



名古屋大学 太陽地球環境研究所

<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp>

September 2002

STEL Newsletter

No. 30

短波レーダーによる電磁気圏と中性大気の研究

西谷 望 (共同観測情報センター)

短波レーダーとは

地上から約90～1000 kmの高さには、電子やイオン(プラズマ)で満たされている電離圏と呼ばれる領域があります。北極や南極をとりまく極域の電離圏においては、このプラズマが大規模な水平方向の運動(対流運動)をしており、そのスピードは速いときで秒速1000～2000 m(時速3600～7200 km)になります。これは、ジェット機の何倍もの速さです。何がこれほどの速度の対流を引き起こしているのでしょうか?それは、電離圏のもっと上にある磁気圏と呼ばれる領域中に存在する電場です。磁気圏では、太陽から地球に吹き付ける高速の電子やイオン(プラズマ)の流れである太陽風によって、電場が作られます。そして、太陽風の特徴によってダイナミックに変動する電場は、夜側で発生するオーロラの活動とも密接な関連を持っています。太陽風が地球の磁気圏や電離圏に影響を与えるメカニズムについては、基本的なところは分かっていますが、まだまだ不明な点が数多く残されています。

このような未知の問題を解決するために威力を発揮するのが短波レーダーです。短波レーダーは、地上から短波帯の電波を発射し、電離圏のプラズマで反射されて戻ってくる電波の周波数を観測する機器です。プラズマが動いていると、発射した電波と戻ってきた電波にはわずかな周波数のずれが生じるため、それを利用してプラズマの運動速度を知ることができるのです。この特長を活かし、

極域の電離圏におけるプラズマの流れがどうなっているかを広範囲にわたりモニターすることを目的として、SuperDARN(Super Dual Auroral Radar Network)と呼ばれるプロジェクトが始まっています。現在では、アメリカや日本をはじめとする10ヶ国がこの計画に参加しており、電離圏や磁気圏などに関する研究が精力的に行われています。

最近の成果

STE研における電磁気圏環境研究部門と共同観測情報センターからなるグループは、極地研究所の佐藤夏雄教授らと共同でSuperDARNのデータを用いた研究に携わっています。ここでは、その研究成果について簡単に紹介していきます。

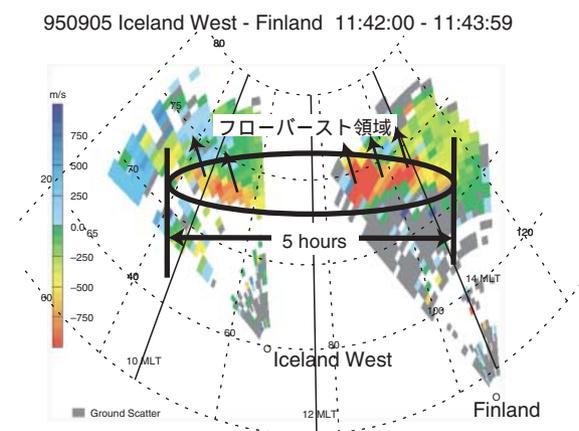


図1 SuperDARNレーダーで観測された昼間側フローバーストの例

1) 昼間側フローバーストの研究

昼間側磁気圏と太陽風との境界領域では、磁力線の再結合という現象が起こり、これが磁気圏内に電場を作り、電離圏プラズマの対流を駆動する原動力になっています。再結合は、場合によって突発的に起こることが観測などにより明らかになりました。この突発的な磁力線再結合が磁力線を動かして電離圏まで影響を及ぼした結果起こる現象はフローバーストと呼ばれ、昼間側の極地方における昼から夜への突発的なプラズマの流れとして観測されます。

このフローバースト現象の横幅の最大値は、地球の磁力線と太陽風が直接つながっている領域（カスプ）の広がりを示します。フローバーストの広域観測によって、カスプ領域の横方向の広がりに関する情報が得られれば、太陽風と地球の磁気圏 - 電離圏システムとの相互作用に関する理解は格段に進むと期待されています。しかしながら、今までは広範囲を同時にカバーする観測手段がなかったために、このような研究はほとんど行われていませんでした。

図1は、極域にネットワークを持つSuperDARNのデータを使用すればこのような研究が可能であることを示す例です。今までの通説では、カスプ領域は15～30度程度の比較的狭い経度幅を持っているとされてきました。しかし、図1は、フローバースト領域、ひいてはカスプ領域が場合によってはその通説よりはるかに広い経度幅（約75度：地方時にして5時間程度）を持つことを示しています。

2) 太陽風磁場の変動に伴う電離圏の応答

太陽風磁場の3成分のうち、地球の磁気圏 - 電離圏システムとの相互作用において、最も重要な役割を果たしているのが南北成分です。南北方向の成分が急激に変化した場合、磁気圏を通じて電離圏の対流分布が変動しますが、この変動がどのようなメカニズムにより引き起こされるかについては、いまだに論争が続いています。我々のグループが短波レーダーのほかさまざまな観測手段を用いてこの振る舞いについて詳しく解析した結果、太陽風磁場の変動に伴い2つの異なるモードの応

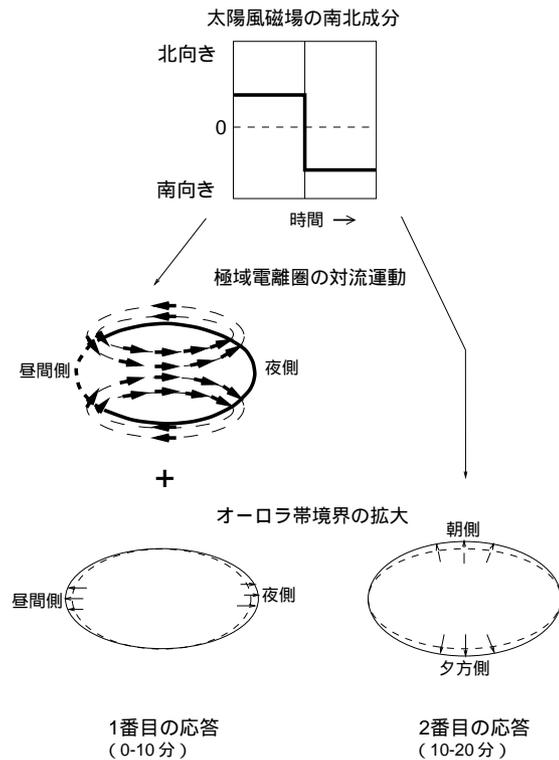


図2 太陽風中の磁場が南向きに变化した際の電離圏の変化の様子。2つの異なるモードで変動が伝わる様子が示されている。

答が時間差を伴って起こることを発見しました（図2）。1番目の応答では、電離圏の対流運動が全体で始まると同時に、昼側および夜側のオーロラ帯境界が拡大していきます。これは電離圏中を横切って高速で伝わる、磁気音波と呼ばれる波の伝搬によるものと推定されます。これに対して、続けて起こる2番目の応答においては、（おもに夕方側の）オーロラ帯境界が拡大するのに伴い、対流分布の形が変化していきます。これは、太陽風磁場の変動により、磁気圏の形が次第に変化していくためであると考えられます。1つの太陽風磁場の変動に対して2つのモードが時間差を伴って起こるといふ観測事実の発見は、南北方向の成分の変化による電離圏の対流分布の変動についてこれまで続けてきた論争に決着をつけることになり、重要な意義を持ちます。

観測対象の拡大

短波レーダーによる観測は、今までは主として電離圏領域を念頭に置いていましたが、最近にな

もっとも高度の低い下部熱圏（90～120 km）や中間圏（50～90 km）と呼ばれる領域の観測にも使えることが分かってきました。夏期には、極域の上部中間圏（80～90 km）領域からPMSE（Polar Mesospheric Summer Echoes）と呼ばれる電波の反射が観測されています。このエコーは中間圏の温度降下と密接な関係があり、また温度降下は人間活動と大きな関連があると考えられています。従来この現象の観測は超短波帯に限られていましたが、最近の研究で、短波レーダーによっても観測が可能であることが判明しました。つまり、現在ある短波レーダーのネットワークを使えば、地球規模の広範囲で中間圏環境のモニターができることになります。さらに、次に述べる中緯度短波レーダー計画が実現するならば、中緯度領域でも中間圏のモニターができるようになるでしょう。

また、熱圏における重力波の発生・伝搬の様子についても、短波レーダーは威力を発揮します。極域から低緯度領域まで、熱圏における波がどのように伝搬していくか、GPSのネットワークやほかの種類のレーダーとの協力により、研究のさらなる発展が期待できます。

より低緯度へ：中緯度帯短波レーダー計画

現在南北両極域には、それぞれ9基と6基、合わせて15基のレーダーが稼働しています。図3に示される通り、稼働しているSuperDARNのレーダーは、すべて地磁気緯度が約60度以上の極地方に設置されています。これは、太陽活動の影響を直接反映しているのが主に電離圏領域であると考えられていたためであり、また、電離圏の観測条件が良いのは高緯度領域に限られると信じられてきたためでもあります。しかしながら、すでに述べたように、短波レーダーは電離圏だけではなく、熱圏や中間圏領域の観測にも威力を発揮する可能性を秘めています。

そこで、より低緯度に大型の短波レーダーを設置して新たな観測をする計画を進めています。地磁気緯度にして約35～38度にある北海道にレーダーを建設し、運用すれば、図3のように中緯度からオーロラ帯の低緯度側境界にわたる非常に広

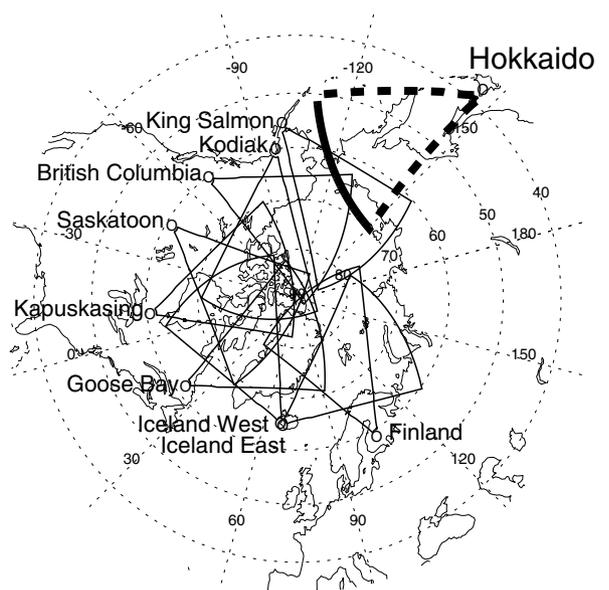


図3 北半球の極域におけるSuperDARNレーダーの観測範囲。南半球にも同様のネットワークが存在する。点線は北海道短波レーダー（計画中）の視野範囲。

範な領域を観測できるのです。

地磁気緯度60度付近の領域はトラフ領域と呼ばれ、オーロラ帯の低緯度側境界付近に当たり、ここでは境界領域特有のさまざまな不安定現象が起こっています。しかし、広い範囲を同時にカバーする観測手段はまだ整備されていません。ここで短波レーダーを新たに設置すれば、現象のよりよい理解につながります。

また、熱圏・中間圏観測に対して非常に威力を発揮するという特徴を活かして、SuperDARNの従来の観測範囲外にある領域について、2次元で観測を行うことにより、今まで注目されていなかったテーマの研究が数多く遂行できると期待されています。

まとめ

短波レーダーはもともと高緯度電離圏プラズマの観測を目的として設置されましたが、最近ではもっと低高度の熱圏や中間圏という領域も観測対象になってきました。また、高緯度だけではなく、中緯度領域においても短波レーダーによって新たな発見の可能性が指摘され始めています。これらの新しい研究方向の可能性を今後とも追求していくことが重要です。

赤道プラズマバブルの磁気共役点観測

大塚 雄一（電磁気圏環境部門）

鹿児島県佐多町とオーストラリアのダーウィンに設置した超高感度全天カメラによって、2001年11月12日真夜中頃、「プラズマバブル」とよばれる電離圏中の現象が捉えられました。全天カメラによってプラズマバブルが南北両半球で同時に観測されたのは、この観測が初めてです。ここでは、そのプラズマバブルについて紹介します。

全天カメラによる観測

現在、我々は超高感度全天カメラを国内の3ヶ所（北海道陸別町、滋賀県信楽町、鹿児島県佐多町）と国外の1ヶ所（オーストラリアのダーウィン）に設置し、超高層大気の出す光の観測を行っています。このうち低緯度に位置する佐多町（鹿児島大学農学部附属佐多演習林内）とダーウィンとは、同じ磁力線で結ばれている地磁気共役点の関係にあります。図1の左が、佐多町で2001年11月12日15:44 UT（日本時間の0時44分）に観測された波長630.0 nmの大気光の全天画像です。全天画像の上が北、左が東であり、真中が佐多町の天頂にあたります。画像を見ると、大気光

の暗い影のような領域が南から北に伸び、数箇所枝分かれしていることがわかります。波長630.0 nmの大気光は、高度250 km付近の酸素原子が出す光です。この酸素原子は酸素イオンと酸素分子との衝突によってつくられるので、大気光の発光強度は酸素イオンの密度、つまりプラズマ密度に比例します。したがって、大気光の暗い領域はプラズマ密度が減少していることを表しています。図1の右に、ほぼ同時にダーウィンで観測された630.0 nm大気光の全天画像を並べて示しました。この画像も、上が北、左が東、真中为天頂です。佐多町で観測された630.0 nm大気光強度（図1左）の減少領域と上下対称の構造が観測されており、この影の構造が磁力線に沿っていることが示唆されます。

この暗い影の構造がどこまで磁力線に沿っているのかをもう少し詳しく調べてみましょう。図2の左に、佐多町で観測された630.0 nm大気光の全天画像（図1左）を地理緯度・経度座標系に投影したものを示しました。なお、大気光の発光層は高度250 kmにあると仮定しています。図2の右

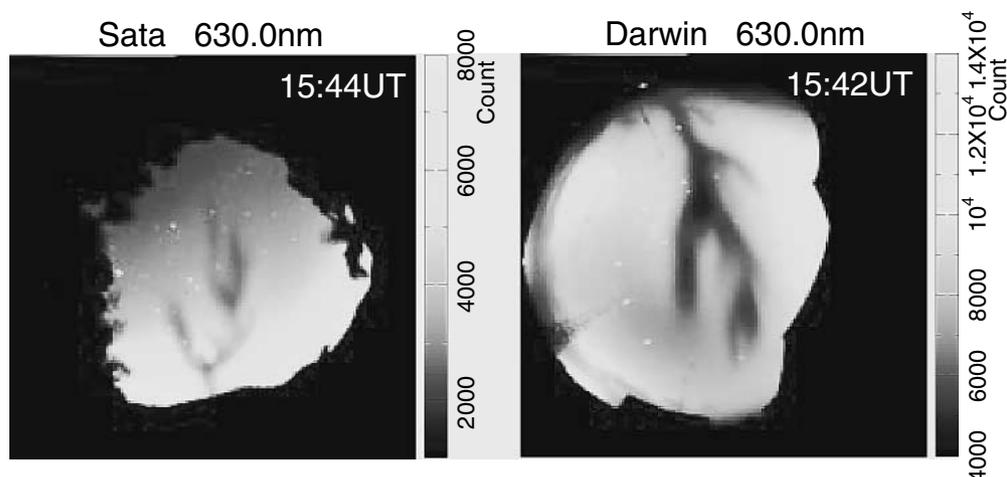


図1 2001年11月12日に鹿児島県佐多町（左）とオーストラリアのダーウィン（右）で観測された大気光の全天画像。光学フィルターを使って、電離圏中の酸素原子が出す波長630.0 nmの赤い光だけを取り出した。魚眼レンズを用いているので、画像の上が北、左が東、画面の真中为天頂に相当する。南（画像の下）から天頂（真中）にかけてのびている暗い部分は、プラズマバブルによってプラズマ密度が減少している領域を示す。

は、ダーウィンで観測された大気光の全天画像（図1右）を磁力線に沿って北半球に投影したものです。大気光の暗い領域の幅（東西方向の距離）は、約40～100 kmであり、図2の左右の図を比較すると、暗い影の構造が良く一致していることが分かります。特に、北緯27.5度、東経130.7度付近で鉤型のように見える小さな空間スケール（幅約40 km）の構造まで良く一致しています。図で示した領域（高度250 km）を通る磁力線の赤道上空での高さを図の左に示しました。暗い影は赤道上空で高度1700 kmまで到達していたことも分かります。

影の正体、プラズマバブルとは？

では、この暗い影は何なのでしょう？そして、何故このような影が見えたのでしょうか？赤道上空では地球の磁力線が水平になるため、赤道電離圏特有の現象が起こります。その1つがプラズマバブルとよばれる現象です。プラズマバブルとは、電離圏中でプラズマの穴（プラズマ密度の低い領域）が生じる現象です。プラズマバブル内部では、その周りに比べてプラズマ密度が1/100以上も低くなるのが人工衛星によって観測されています。

赤道域電離圏においてプラズマバブルは日没直後に発生し、電離圏下部（高度200 km付近）から電離圏上部まで上昇し、時には、高度2000 km以上に達することがあります。この現象は、水中で生じた泡が水面に向かって上昇する様子に似ていることから、「バブル（泡）」と名付けられました。水中では浮力がかかるように、プラズマには電場が上向きの力として働くので、バブルは上昇するのです。

赤道域電離圏では、日没直後に磁力線を横切る東向きの電流が流れますが、場所によって電流の流れやすいところと流れにくいところがあります。電流の流れやすさが不連続になるところでは、電荷がたまり、電場（分極電場）が作られます（図3参照）。プラズマバブル内部のプラズマ密度の低い領域では、東向きの分極電場がつくられます。この分極電場は、プラズマバブルをさらに高い高度へ持ち上げ、プラズマ密度の変動をさらに拡大。このように、最初にあった小さな密度変動が次第に大きくなっていく現象は、不安定現象と呼ばれます。プラズマバブルは、特に、プラズマ不安定の一種であるレーリー・テラー不安定によって発生します。密度の低い領域が上昇するとい

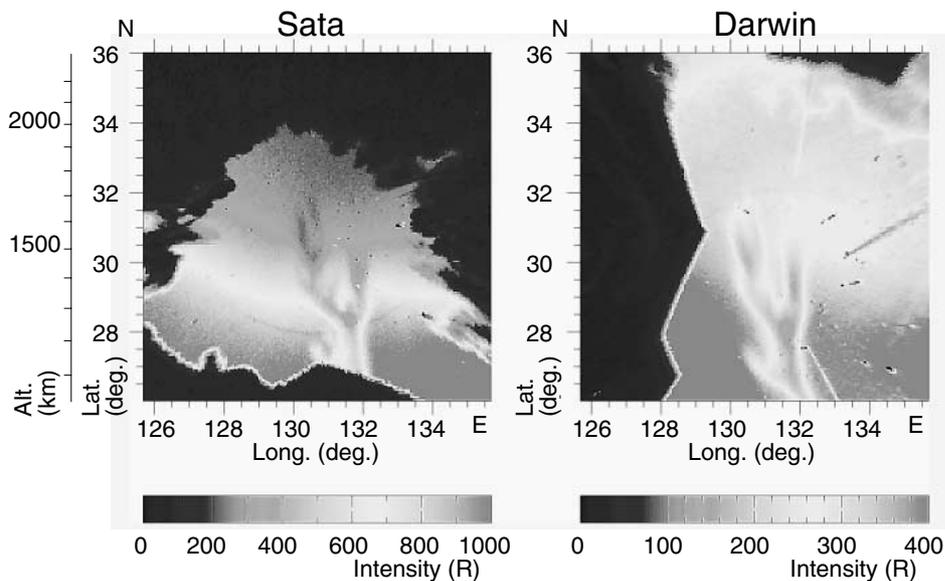


図2 左図は、佐多町で観測された630.0 nm大気光の全天画像（図1左）を地理緯度・経度座標系に投影したものである。この時、大気光の発光層は高度250 kmにあると仮定した。右図は、ダーウィンで観測された630.0 nm大気光の全天画像（図1右）を磁力線に沿って北半球に投影したものである。両図に見られるプラズマバブルの構造が良く一致しており、プラズマバブルの構造が磁力線に沿っていることがわかる。磁力線が赤道上空でどの高さにあるかを図の左に示す。

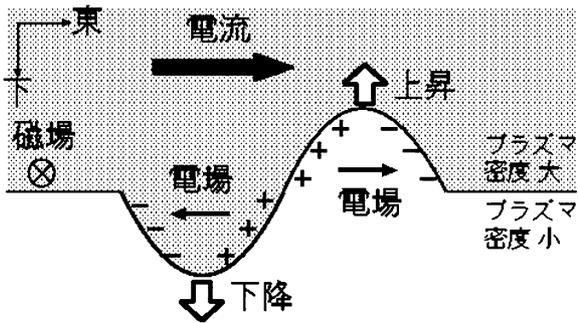


図3 プラズマバブル発生の様式図。低い高度にあるプラズマ密度の小さい領域が電場によるExBドリフトで持ち上げられる。

う点で、水中の泡とプラズマの泡は良く似ていますが、泡の「形」はどうでしょうか。水中の泡は丸い形をしているのに、プラズマの泡は、地球の磁力線に沿った細長い形をしているのです。これは、電離圏中のプラズマが磁力線に沿って拡散するからです。赤道上空で高度2000 km付近を通る磁力線を高緯度方向にたどっていくと、日本付近の緯度では高度250 kmになります。したがって、非常に高い高度まで上昇したプラズマバブルが、日本でも観測できるのです。

プラズマバブルによる衛星通信障害

プラズマバブルの内部では、数m～数kmのスケールでプラズマが不規則な密度分布をしています。このプラズマ密度の疎密構造に人工衛星の電波が入射すると、電波の回折が起こり、地上で受

信する信号強度が変動します。これが「シンチレーション」と呼ばれる現象です。赤道上空では、プラズマバブルが発生しやすいため、シンチレーションも頻繁に発生します。時には、シンチレーションによって衛星からの電波が受信できないこともあり、衛星通信やテレビなどの放送に障害を起こすことがあります。このような電離圏環境による被害を事前に予測することが、世界各国で重要な課題となっています。

プラズマバブルの発生については、春と秋の日没直後に頻度が高いことは既に分かっていますが、日々の変化については全く分かっていません。現在、電離圏の下層から伝搬してくる大気重力波の活動が関係しているのではないかと考えられていますが、まだ確かな証拠は得られていません。しかし、全天カメラを用いれば、電離圏よりも下層の高度90 km付近の大気の波についても調べることができます。現在、我々は赤道直下のインドネシアに全天カメラを設置する準備を進めており、プラズマバブル発生の予測にむけてさらに研究を深めていきたいと考えています。

謝辞

鹿児島県佐多町とオーストラリアのダーウィンでの超高感度全天カメラを用いた観測は、それぞれ鹿児島大学とオーストラリアのIPS Radio and Space Servicesのご協力のもとで行われています。

STE 研ホームページが新しくなりました！

7月より、当研究所ホームページのデザインを日本語版、英語版とも一新しました。リンクのつながりやすさを心がけたので、必要な情報に行き着きやすくなったと思います。特に、「オンラインデータ」のページを新しく設置し、WEB上に公開されている研究データの場所へ容易にアクセスできるようにしました。また、トップページには随時最新のお知らせを掲載していく予定です。

当研究所の動きをWEB上へ速く適切に反映し、多くの方々に活用していただけるページ作りをしていきたいと考えています。

日本語版トップページのURLは、以下の通りです。

<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/ste-www1/index-j.html>



宇宙天気予報に関する国際ワークショップ

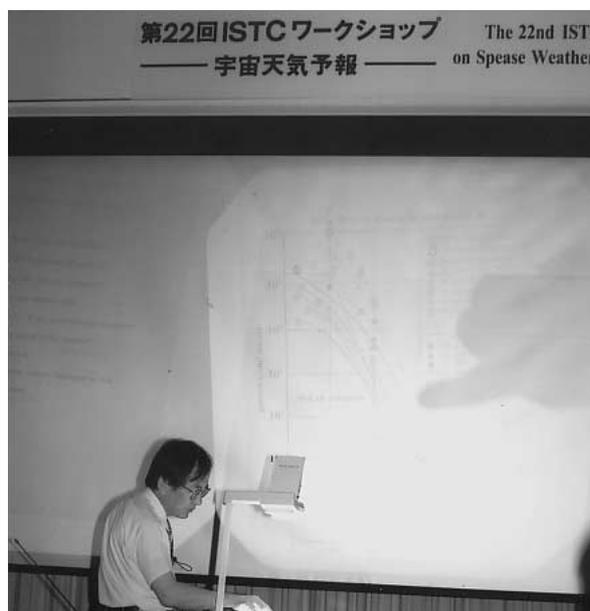
第22回ISTCワークショップが6月5 - 6日、STE研（太陽地球環境研究所）とISTC（国際科学技術支援センター）の主催、NASDA（宇宙開発事業団）の共催により、名大シンポジオンホールで開催されました。ISTCとは、旧ソ連の科学者、技術者を支援する国際的組織で、日本では外務省、文科省、通産省が支援対応機関となっています。

「宇宙天気予報」がテーマとして取り上げられた今回のワークショップは、STE研の村木綏教授による開会の辞で始まりました。続いて文科省の笹岡賢二郎交流推進官の挨拶、ISTCの大窪道章次長によるISTCの活動報告の後、国内外の研究者が上記テーマで発表を行いました。

発表では、オーロラ電流により誘導された電流が送電線や石油のパイプラインに流れ込み、さまざまな社会的障害を発生させていること、宇宙活動における宇宙飛行士の放射線障害の事例、NASDAの衛星で蓄積された放射線障害の線量のデータ、中性子による被爆の症例などが紹介されました。

国外の研究者からは、ロシアの豊富な宇宙放射線データを宇宙天気予報にどのように利用できるか、太陽地球系科学の歴史、現在のロシアにおける宇宙天気予報関係の観測例とモデリングの諸活動などについての発表がありました。

また、M>5の太陽フレアの時に中性子が検出され



た観測の紹介があり、30分以内に検出するシステムの構築が今後の宇宙天気予報の活動にとって本質的に重要であるとの提言がありました。

発表後のフリートークでは、宇宙天気予報のノウハウを蓄積し、未来の人類の活動で宇宙天気予報を使うための準備を整える必要があるということが再確認されました。会議のプログラムは、下記のとおりです。

プログラム

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. 開会の辞 | 村木 綏 (名大STE研) |
| 2. 文部科学省挨拶 | 笹岡 賢二郎 (文部科学省) |
| 3. ISTC機関概要と活動報告 | 大窪 道章 (ISTC) |
| 4. The Importance of Space Weather Forecast | 上出 洋介 (名大STE研) |
| 5. Effect of Solar Flare to the Astronauts | V. Benghin (ロシア連邦国立研究所
宇宙放射線防護部門) |
| 6. Forecasting the Global and Multi-scale Dynamics of the Magnetosphere | S. Sharma (メリーランド大学) |
| 7. Russian Activity on the Space Weather Forecast – General View– | M.I. Panasyk (モスクワ州立大学) |
| 8. Cosmic Ray Observation for Space Weather | E. Eroshenko (IZMIRAN、モスクワ) |
| 9. Aragatz Space Environmental Center (ASEC): Status and SW Forecasting Possibilities | A. Chilingalian (エレバン物理研) |
| 10. Reports of Radiation Monitor and the Effect of Solar Flares to the Satellite | 五家 建夫 (宇宙開発事業団) |
| 11. Solar Energetic Particle Events and Geomagnetic Storms: | L. Dorman (IZMIRAN/イスラエル
宇宙線センター) |
| 12. Muon Observation for Space Weather | 宗像 一起 (信州大理学部) |
| 13. 国際太陽中性子ネットワークを利用した宇宙天気予報 | 村木 綏 (名大STE研) |
| 14. 世界宇宙線データセンターの活動と宇宙天気予報 | 渡邊 堯 (茨城大理学部) |
| 15. 通信総合研究所の宇宙天気予報活動 | 長妻 努 (通信総合研究所) |
| 16. フリートーク | |
| 17. 閉会の辞 | 村木 綏 (名大STE研) |

天体とスペースプラズマのシミュレーションサマースクール

宇宙シミュレーション・ネットラボラトリーシステム開発グループの主管のもと、当研究所が実行母体となって名古屋大学情報メディア教育センターおよび情報連携基盤センターの協力を得て実施した「天体とスペースプラズマのシミュレーションサマースクール」(流体・磁気流体、ハイブリッド、粒子モデルコース)が9月9日から5日間、情報メディア教育センターで開催されました。参加者は、講師が27名、大学院生を中心とする受講者が110名でした。実習室でのコンピュータの数の制限から、学部学生は受講を断らざるを得ない状況でした。

シミュレーションの教材としては、『天体とスペースプラズマのシミュレーションコード』と基本課題集を使用しました。同コードは、科学技術振興事業団(JST)計算科学技術活用型特定研究開発推進事業課題「宇宙シミュレーション・ネットラボラトリーシステムの開発」(代表:千葉大学松元亮治教授)の研究開発として作成されたものです。

本サマースクールのユニークな点は、MHD・流体モデルと粒子・ハイブリッドモデルの解法と基本的シミュレーション法を学び、かつ実際の研究に使われているシミュレーションコードを用いた実習を行ったことでした。受講者は、講義・実習で用いた実践的コードを持ち帰り、自分の研究に利用することができます。主として、午前が講義、午後が実習、夜が自習でしたが、講師と受講者の大半が、毎日端末機が止まる夜の9時半まで

格闘しました。後半は、講師が基本課題・応用課題をグループ分けした受講者に課し、最終日にグループ毎の課題発表会を行いました。応用課題への取り組みと課題発表のまとめは、受講者と講師の一体となった協力を生み、密度の高い実習内容となりました。

受講者からの本スクールに対する感想のうち、主なものを紹介しておきます。

1. 片岡龍峰(東北大理): テーマは面白く勉強になり、CIP法に感激した。数値天体コードCANSの完成度の高さとサンプルプログラムの山に感動した。時間配分は、無駄がない一方、余裕もなかった。若手の交流になるので懇親会はやってほしかった。
2. 志賀章紀(宇宙研): 重点がコンパクトにまとまっていた。内容が密で理解しきれなかったが、ある程度仕方がない。実習は、内容的にも難易度的にも適切であったが、もう少し、自分で考えてコードを組む作業をやりたかった。時間配分は、厳しく、もう少し自由時間があると嬉しい。
3. 岡光夫(東大理): 一通り勉強を試みた人にとっては、これだけまとまって密度の濃い勉強ができたことはすばらしい。特に、多勢が集まって、講師の親切かつ細やかなアドバイスがあり、独学では得られない充実感があった。時間配分は、つめこみの意見が多いかも知れないが、いずれも重要なテーマであり、講義はこんなものと思ったが、自由実習は24時間可能にしてほしかった。基本ソースと教科書もらったので今後の勉強に役立てたい。



サマースクールの参加者(情報メディア教育センター前にて)

4. 高崎宏之(京大理): 短時間の講義で、シミュレーションの解き方を理解するのは難しかった。実習テーマは、どれも楽しかったが、アニメーション動画を見る時が特にそうであった。課題発表テーマは、とことん1つの興味あることに取り組めて充実した時間であった。講師等の準備が大変だったと思うが、良い時間が過ごせた。今回学んだことを自分の研究に生かそうと思う。自分のノートPCをLANに接続する環境がほしかった。

5. 谷川享行(名大理)、成影典之(京大理)、小



実習に用いたスーパーコンピュータFujitsu VPP5000/64 (情報連携基盤センター)



実習の風景

境正也(都立科学技術大)など多数: 今後もこのようなスクールを続けてほしい、このようなスクールがあれば是非参加したい。

実習のあるシミュレーションスクールは講師とスタッフにとって準備が大変ですが、シミュレーションを身近なものとするため、さらにその裾野を広げるために意義が深いと再認識しました。

講義・実習内容

- 1日目(9/9) 講義: イントロダクション、差分法の基礎
実習: 差分法、数値安定性
- 2日目(9/10) 講義: システム方程式解法、テスト粒子計算、PIC法
実習: テスト粒子、衝撃波管
MHD: 磁気流体1次元基本課題
粒子: 粒子基本問題、WEBデモ
- 3日目(9/11) 実習: MHD: 近似的リーマン解法、CIP法、2次元基本課題、応用課題
粒子: Beam(電子)、Beam(イオン)、F-PTCL、Hybridコード
- 4日目(9/12) 実習: MHD: 領域間結合問題の解法、3次元MHDと並列化・可視化、応用課題
粒子: shock(1D)、F-PTCL、Hybrid、大規模3Dデモ、
不均一のdx,dtとcollision、物体-プラズマ相互作用、
波動解析手法
- 5日目(9/13) 全体: 発表準備、課題発表会
(1-4日目 自習: 17:30~)

講師: 松元亮治、福田尚也(千葉大)、篠原育(宇宙研)、岡田雅樹(極地研)、富阪幸治、横山央明(国立天文台)、尾形陽一(東工大)、松本紘、柴田一成、大村善治、臼井英之、杉山徹(京大)、荻野竜樹、花輪知幸、寺田直樹(名大)、村田健史(愛媛大)、田中高史、羽田亨(九大)、他

サマースクールのURL: <http://center.stelab.nagoya-u.ac.jp/summer-school/index.html>

Fond Memories of STEL

Richard Woo, Visiting Professor
(from Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, USA)

My research interests have been in investigating the solar wind by observing its effects on the propagation of spacecraft radio signals. These measurements complement the closely related systematic IPS (interplanetary scintillation) measurements conducted by STEL with natural radio sources, so I have always had a desire to spend some time with Prof. Kojima and his group. My visit became a reality when Prof. Kojima invited me to STEL, and JPL (Jet Propulsion Laboratory) chose me as its first grantee for research leave under a new program started this year.

Because of the scarcity of observational information on the distribution of fields and particles close to the Sun, understanding the relationship between the Sun and solar wind remains necessarily an observational science. Thus, when radio propagation measurements of the outer corona were recently compared with white-light measurements of the low corona, an unexpected result was obtained. The density of the low corona (imprint of the Sun) appeared radially extended in the solar wind. Fortunately, new measurements of the corona and solar wind have become available from space missions during this golden era of solar and solar wind research. While Yohkoh, SOHO and Trace have been observing the Sun, Ulysses has been directly probing the solar wind out of the ecliptic plane for the first time. Measurements from these missions as well as ground-based observations broadly confirm the presence of the imprint of the Sun in the solar wind.

Without coronal magnetic field measurements, photospheric fields have been extrapolated into the corona using theoretical models. Such models suggest that magnetic field lines are closed everywhere in the corona except in coronal holes, the latter comprising only a small fraction of the solar surface. They have also shown that the solar wind flow observed by interplanetary spacecraft such as Ulysses maps back to, and hence emanates solely from coronal holes at

the Sun. Finding the imprint of the Sun in the radially extended solar wind implies fundamental changes to this picture. Open field lines must permeate the corona rather than being limited solely to coronal holes, the magnetic field in the corona must be predominantly radial, and solar wind flow must originate not just from coronal holes but from the whole Sun.

In light of these exciting developments in solar wind and solar research, I couldn't have picked a better time to come to STEL and visit Japan. I hoped to find the imprint of the Sun in the IPS measurements made by STEL, and to explain our new results to, and interact with the solar wind and solar physics communities in Japan. My visit has been very rewarding on both accounts. There is evidence for the imprint of the Sun in the solar wind flow inferred from IPS measurements near 1 AU, and this will be reported in future papers. I have summarized the new results in seminars not only at STEL and Nagoya University, but also to other solar and space physics research groups in Japan. The resulting mutual exchange has helped me better organize my thoughts, as well as explain how the picture of the solar wind has come to be so seemingly different. These discussions will also improve the papers that I am currently writing.

Although I had never visited Japan before, the warm hospitality and the generous support of everyone at STEL, the small-town friendliness, the rural setting, and the peaceful lifestyle of Toyokawa, all combined to make it a lot easier for me to get my feet wet. Being an American of Chinese descent living in Japan made for some interesting experiences. For instance, I never dreamed that my rudimentary knowledge of the Chinese language would ever come in so handy. When I traveled with Curt Michel and Bonnie Hausman, we made a perfect team. They could speak a little Japanese, read hiragana and katakana while I read the dreaded kanji.



Near the top of Mt. Horaiji

Another interesting experience occurred when I had the occasion to go to a Japanese restaurant with a

couple of Italian friends from the University of Tokyo. Upon entering the restaurant the waiter immediately focused on me and started conversing with me in Japanese. When I motioned to him that I did not speak Japanese, he seemed rather surprised. Clearly, he assumed that I was Japanese and that I was bringing two foreign guests to a very Japanese restaurant. The waiter was even more shocked when my two Italian friends started speaking fluent Japanese and acting as my interpreter for ordering food. As in science, paradigms are sometimes misleading!

To conclude, I would like to thank everyone who made my first visit to STEL and Japan such a memorable and wonderful experience. I am aware that a large number of visitors return a second time, and I can't wait for my turn.

東山の大学院生が初めて豊川の寮に泊まった日の朝、部門の部屋に入って来て次のようなことを言いました。「朝起きると春霞の向こうから、キュンキューン、キュンキューンという、電線の鳴るような物質的な音がしたのです。何だろうと思って友人に聞いてみると、その音はここに住みついている野生のキジの声、と教えられ驚きましたよ。」身近に野生の動物がいると知ったこと、しかもキジの声をじかに聞いたことに彼は、軽いカルチャーショックを受けたことと思われま。この話を聞いた私は研究所内に生息する動物たちに興味がわき、大気圏環境部門の鳥山さんにお話を伺ってみました。

「今、草むらで鳴いている鳥がいるでしょ。なんだか『チョットコイ、チョットコイ』って言っているみたいで楽しいでしょ。コジュケイという鳥です。他にハシボソガラスもいて、この鳥は羽をばたつかせながら3階の共同観測情報センターの窓ガラスを、くちばしでつついていることもあります。まだ面白いのはヤマガラらしき鳥で、車のバックミラーなどに自分の姿が映ると、敵と思って攻撃し糞をするのですよ。」

私は目を輝かせて、聞き入りました。このお話は、鳥は皆ほとんどが同じように見えてしまっていた私に、キジの声に驚いた東山の院生と同じような興味ある驚きを与えてくれました。そして、ひとつひとつの生態を知ることにより、鳥や動植物の自然が身近になり、いとおしくさえ思われてくるのでした。

先日、人間の心理は深いところで自然に結びついている、と書物で読みました。私は今ここで、自然や野生に生息するものたちに囲まれていることに、ほっとした心地良い安らぎをおぼえます。自然は人の中に、人は自然の中にある、とも言われます。ゆえに人に安らぎを与えてくれる自然を、人間は守らなければならないと感じます。

日々積み上げられていく研究は、その根底に自然保全と環境に対しての影響を考慮しつつ、人類の進歩と豊かさを求めているものであると、思っております。

研究所の公開日に子供たちがアンケートに書いた感想を記してみます。「宇宙のことが大好きだから、今日はすごく楽しかった。」「磁力の大切さが分かった。」「太陽には太陽風などあって、すごいと感じた。」「雲やオーロラの見みなど、いろいろ知れて興味が増した。」などなど。子供たちは、太陽や雲やオーロラをただ観賞するだけではなく、科学の目で見ることを体験し、興味深い知識を得て帰ったのです。そしてまた、原生の木々や植物などに囲まれるこの研究所において、最先端の技術を駆使して宇宙のことが研究されている、という驚きを持ったことと想像します。

次世代の子供たちを惹きつけた科学（自然と共にある）が、21世紀をしあわせにするものである、などと思っているこの頃です。

山口洋子（電磁気圏環境部門 秘書）

たらの芽

Science Traveler

タスマニア出張記

藤井善次郎（太陽圏環境部門）

オーストラリアの地図を見ると、大陸の南にりんごの形をした北海道ほどの面積の小さな島があります。この島がオーストラリアの6州のひとつ、タスマニアです。その州都ホバートは島の南端に位置し、今も19世紀植民地時代のたたずまいを残している人口15万ほどの静かな町です。この町にあるタスマニア大学と、ここから15 kmほど南のキングストーンにあるオーストラリア南極研究所（AAD：Australian Antarctic Division）は、国際地球環境年（IGY、1957～58年）以前から南半球において宇宙線強度変動の研究を行っています。

私たちは、タスマニアが赤道をはさんでちょうど日本と対称の位置にあることから、1991年にタスマニア大学およびAADと共同でタスマニアに地上と地下ミュオン望遠鏡を建設し、日豪ミュオン望遠鏡ネットワークによる全天観測を始めました。地上ミュオン望遠鏡がタスマニア大学構内に設置されて以来、約10年にわたり観測を続けてきました。しかし、昨年タスマニア大学の共同研究者が定年退職したのを機に、私たちは将来にわたる観測の継続を考え、望遠鏡をAADに移設することにしました。AADは宇宙線ミュオンの観測が宇宙天気の研究に重要であることを理解し、所内に観測棟を建てることを引き受け、昨年11月に建設が開始されました。2月はじめにほぼ現地の準備が終わり、日本側から信州大学の宗像一起さんと私が最終セットアップを行うために出張しました。

2月中ごろのオーストラリアは旅行シーズンです。私たちは成田と小牧から2月15日にそれぞれ出発することになりました。今回私が乗った小牧発カンタス便では、200名ほどの修学旅行の高校生と一緒に、大変にぎやかでした。翌朝、シドニー空港に着き、簡単な入国審査を終えましたが、ホバート直便の接続が悪く、出発時刻までここで4時間半ほど待つことになりました。ホバート空港に着くと、AADのDr. Duldig夫妻と一足早く着いた宗像さんが出迎えてくれました。

翌17日は日曜日。まずライアプータの地下宇宙線望遠鏡の点検のために2人で出かけました。ライアプータはホバートから北約150 kmのタスマニア中央高地にあり、望遠鏡は地下50 mほどの発電所のトンネルに設置されています。昼過ぎまでに一通りの点検を終え、もう秋を感じるタスマニア中央高地のドライブを楽しみながらホバートに戻りました。この夜はDuldig夫妻宅でラムステーキの夕食会。とにかく次の日より1週間で地上ミュオン望遠鏡のセッ



AAD 構内の地上ミュオン観測棟（右）と中性子モニターの観測棟（左）。

トアップをすることになっています。望遠鏡の検出器とアブソーバーの鉛はすでにこちらの研究者によって配置できておりますが、予定通りうまく行くか心配しながらホテルに帰りました。

次の日より、毎朝早くホバートのホテルを出て、AADの新しい観測棟内（写真）で宇宙線望遠鏡のセットアップ作業を進めました。夕方作業を終えてホテルに戻るときには、AADの研究者はもう皆帰っておりAADは大変静かでした。この時期オーストラリアはサマータイムで夜の9時頃まで明るく、誰もが仕事の後をエンジョイしているようでした。22日には、廃棄品を再利用したプラスチックシンチレーター検出器には避けられない光漏れの問題を暗幕と梱包用布テープで留め、また、最後まで残った信号ラインのノイズは各検出器に個別のアースラインを張ることにより解決でき、観測を再開しました。この日はホバートに戻ったのが大変遅くなり、やむを得ず港に行き、係留した船で夜遅くまで開いているショップでフィッシュアンドチップを買ってホテルに帰ることになりました。23日に最後の点検を終え、宗像さんは夕方一足早く帰国しました。

24日の日曜日には、朝ゆっくり休んだ後、24年前に初めてホバートに来て家族と共に半年住んだ家に久しぶりに行ってみることにしました。北ホバートの丘の上にあるその家は、当時のままでした。あれ以来、長く続いているタスマニアとの共同研究を思い、感慨にふける一時を過ごしました。

翌朝は眠る間もなく朝4時に起床、5時過ぎにホバート空港に着き6時発のシドニー直便に乗りました。座席に座ると同時に眠ってしまい、気が付いたら飛行機はシドニー空港に降下しているところでした。あわただしい出張でしたが、予定した作業を無事終え帰国の途につくことができました。

新任スタッフあいさつ

関 華奈子（総合解析部門）

数学という言葉を用い、複雑に見える自然現象をシンプルな法則で記述してゆく物理学。その思想や思考方法に小さな頃から感銘を受けてきた自分にとって、自然科学の研究者という職業はあこがれでした。数ある自然科学の研究分野の中で、私が出会い、そして今取り組んでいる宇宙プラズマ物理学、惑星磁気圏物理学とは何なのか、ここでは、その魅力を少しばかり語ってみたいと思います。私が現在の専門分野を専攻する直接の契機となったのは、東京大学在学中、学部3年後期に受講した電磁流体力学の授業でした。当時、授業で語られたプラズマ物理学の理論の美しさと、それが現実の宇宙空間で生起している現象を記述する威力とに感動したことを、今でもはっきりと覚えています。

プラズマとは、全体としてはほぼ中性であるが構成粒子が電離している導電性気体のことで、独特な集団的振る舞いをするところから、物質の第4状態とも呼ばれています。宇宙に存在する物質の99%はプラズマ状態にあるという表現が時に使われるほど、宇宙では珍しくないプラズマですが、私達はふだん残りの1%以下の世界、通常にはプラズマが発生しない中性物質の世界の中で生活しているため、直感的に分かりやすい対象ではありません。構成粒子が電気を帯びているという事は、電磁場と相互作用するという事、つまり、荷電粒子は電磁力を感じて運動すると同時に、その運動が新たな電磁場をつくり、さらに遠くに離れた他の荷電粒子に影響を及ぼすということです。とたんに世界は複雑になります。しかも、そのようなプラズマに支配される世界は、遠くにあるものばかりではありません。たとえば、極域の夜空を彩るオーロラは主に高度90~150 kmで光りますが、これは、加速された宇宙空間プラズマが中性の地球大気に入射して引き起こされる現象であり、プラズマの支配する領域と中性世界との境界での出来事です。100 kmと言えば、名古屋・京都間の直線距離程度でしかありません。地球のすぐ周辺の宇宙環境を理解するためにも、複雑なプラズマの振る舞いを理解する必要があるという事実は、当時の私にとって新鮮な驚きでした。そして、その複雑な自然現象を、数学という言葉の助けをかりてシンプルな法則で記述しようとする営みは、興味深く、エキサイティングなものに映ったのです。

1961年4月12日、ガガーリンが宇宙船ボストーク1号で人類初の地球周回飛行を果たしてから40年余、私達の地球をとりまく宇宙環境に関する理解は急速に進んできました。特に、人工衛星等の飛翔体を用いてプラズマを直接測定することが可能となった意義は大きく、太陽風と呼ばれる太陽から吹き出す超

音速のプラズマ流の発見や、その太陽風と地球固有磁場の相互作用により形成される磁気圏の構造やエネルギー解放現象等の様子が、次々と明らかになりました。最近では、観測対象も惑星へと広げられ、異なる条件下での太陽風・惑星相互作用を比較研究する試みも本格的に行われつつあります。

宇宙空間を満たしているプラズマのもう1つの特徴は、多くの領域で、構成粒子の衝突が無視できるほど希薄な「無衝突」プラズマであるということです。人工衛星によるプラズマの分布関数観測は、マクスウェル・ボルツマン統計で予測される平衡状態からのずれを、直接観測できるユニークな手段であり、衝撃波や磁気再結合、物質の混合など、私達の住む宇宙に普遍的な無衝突プラズマ中の物理的素過程の理解にも貢献してきました。特に、最近のプラズマ直接観測およびコンピュータシミュレーション技術の発展は、無衝突プラズマの実験室としての宇宙空間プラズマ研究の重要性と可能性を提示していると言えるでしょう。このように、宇宙空間で生起するプラズマ現象の研究は、前者の視点に立てば惑星磁気圏物理学、後者の視点に立てば宇宙プラズマ物理学と呼ぶことができます。人類が今後ますます進出してゆくであろう地球および惑星周辺の宇宙環境を知るには、そこで生起しているプラズマ現象の物理メカニズム解明が不可欠であり、また、そうした研究が、宇宙に普遍的な無衝突プラズマ物理の実証的理解にも役に立つということ。まさにこの2面性が、この分野の大きな魅力なのです。

私自身は、まだ駆け出したばかりの新米研究者ですが、このような分野と出会い、新展開が予期されている今この段階で、研究に従事できることは幸せなことだと感じています。これまで、東京大学と米国立ロスアラモス研究所という2つの場で、研究生活を送ってきましたが、周囲にいる「ひと」に恵まれてきたことも幸運でした。見習うべき長所をそなえた有能な人物が周囲にいることほど、それらの人達と研究で得た知見を分かち合い議論しながら更にその質を高めてゆけることほど、研究者にとって素晴らしい財産はないでしょう。3月1日から、太陽地球環境研究所の総合解析部門で仕事ができることになりましたが、隣接する専門分野を持つ研究者が集結し、海外の著名な研究者との交流も盛んな研究所の環境は、学際的知見を必要とする宇宙プラズマ物理学および惑星磁気圏物理学の研究に、ユニークで有意義な共同研究の機会を与えてくれることでしょう。「A(成功) = x(仕事) + y(遊び) + z(沈黙)」アインシュタインが「成功の秘訣は」との問いに提示したこのフレーズの教えてくれるバランス感覚と、多くの優秀な「ひと」との意見交換を大切にしながら、視野を広げ、独自性のある研究を進めてゆきたいと考えています。

STEL ニュースダイジェスト

市民との触れあいの場、「研究所一般公開」

当研究所の一般公開と講演会を、5月18日（土）豊川キャンパスで実施しました。このイベントは、豊川市を中心とした近隣の一般市民に研究所の研究活動を広く理解してもらうことを目的として、豊川市と同市教育委員会の後援を得て、平成3年度から毎年開催しているもので、今年で11回目。今回は近くの小・中学校から児童・生徒が校外学習として参加。見学に訪れた市民は約550名にも及び、地域のイベントとして定着している感があります。

一般公開では、小・中学生にも研究内容をわかりやすくする工夫や、また見学者が自ら参加して行う実演が行われました。公開されたテーマは「雲を作る実験」、「北海道で見たオーロラ」、「太陽系への旅、オーロラシアター」、「宇宙をシミュレートしてみよう」、「電気回路を作ってみよう」など。屋外では巨大な太陽風アンテナの見学や、ペットボトルを使った「ロケット打ち上げへの挑戦」の実演も。

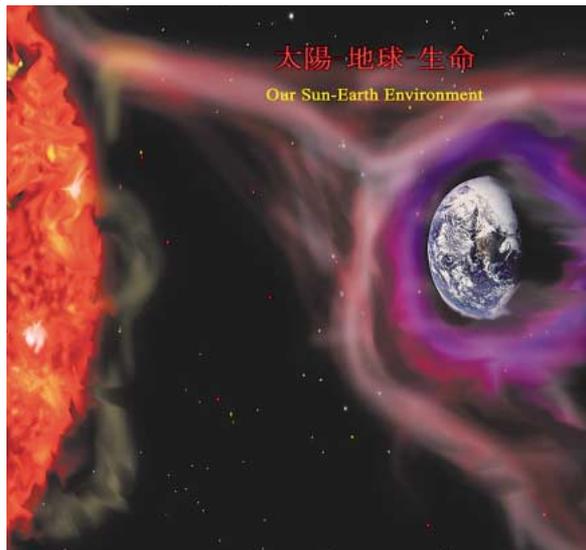
講演会では、徳丸宗利助教授が「太陽の“くしゃみ”」と題して、太陽が時々吹き出す猛スピードのガスが地球に与える影響について多くの画像を見せながらわかりやすく解説。また、西野正徳助教授は「南極と北極ではどう違うのか」と題して、地球の2つの極では、氷山、オーロラ、生物そして人間生活が違っていることを体験に基づいて紹介しました。満席となった100名近くの聴衆者からは多くの質問が寄せられ、太陽地球環境への市民の関心の高さが伺えました。

WISERが発足

STEに関するトピカルな国際シンポジウムの開催、サマースクールを通しての学生の教育、書籍の出版を進めることを目的に、WISER（ワイザーと読み、World Institute of Space Environment Researchの略）が発足しました。これは、本部をオーストラリアのアデレード大学に置く新しい組織で、他の国際学会や大型プロジェクトとも相補的な関係を持ちます。現在、国連大学（UNU）やユネスコ（UNESCO）のスポンサーシップを得るための申請を行っています。7月22～25日、NASAやESAなど、20ヶ国から約60人が招待され、アデレード大学で第1回WISERワークショップ会議が開催されました。STE研のリーダーシップのもと、世界中から学生を集めて太陽地球環境科学サマースクールを日本で開催することが強く求められました。

「太陽 - 地球 - 生命」のパンフレット改訂

当研究所のテーマである「太陽と地球の関係」の研



究の重要さを、一般向けに解説したカラーパンフレットができました。7年前に作成した「太陽 - 地球 - 生命」に、新しい写真やイラストを入れて改訂したもので、地域連携の一環として、豊川市ジオスペース館、りくべつ宇宙地球科学館（通称：銀河の森天文台）との共同制作です。

ASEANから見学者が訪れる

豊川市国際交流協会の紹介により、東南アジア5ヶ国の科学技術分野の青年達が、7月19日に当研究所を見学に訪れました。来所されたのは、国際協力事業団（JICA）の青年招聘事業でインドネシア、マレーシア、タイ、フィリピン、ミャンマーから訪日中の21名。太陽地球環境の全体の説明に引き続き、2グループに分かれて各部門の実験機器、コンピュータシステム、敷地内にある太陽風観測アンテナなどを見学し、研究者との交流を深めました。

STE研のスタッフ、創作童話を出版

電磁気圏環境部門秘書の山口洋子さんが9月初めに童話を出版されました。人間の子供も森の動物の子供も一緒に通う小学校がお話の舞台です。山口さんは本号の「たらの芽」に研究所を取り巻く自然環境についての記事を投稿してくれました。森の中の動物や植物の描写を通して送られた子供たちへのメッセージは、この研究所の森から生まれたのかもかもしれません。「春の足音」山口洋子著（大陽出版）、秋の夜長のひと時を童心に返ってはいかがでしょうか。

異動

[招聘客員研究員]

2002. 8. 1 ~ 2002. 10.31 客員教授 Jürg, Beer

[チューリッヒ工科大学 教授]