



リアルタイムで再現する超高層大気環境

品川 裕之 (総合解析部門)

1. はじめに

高度80 km以上の大気圏最上部は、超高層大気と呼ばれ、電荷を持たない中性気体と、イオンや電子からなる電離気体(プラズマ)が混ざった領域です。両者は性質が大きく異なるため、2つを区別して、中性の大気を熱圏、プラズマの大気を電離圏と呼んでいます。熱圏は密度が地表面の大気の10万分の1以下という極めて稀薄な大気領域で、電離圏はさらにそれより何桁も密度が小さい大気です。地上付近の大気に比べると、ほとんど真空と言えるほどの薄さですが、人間の活動に大きな影響を及ぼすことがあります。例えば、短波を使った通信やラジオの放送は、電離圏での反射を利用して行われています。

ところが、太陽フレアに伴うX線や、磁気嵐による高エネルギー粒子の降下によって電離圏が異常に電離されると、通信や放送に障害を起し、私たちの生活に影響を与えることがあります。また、激しい磁気嵐の時には、極域に降り注ぐオーロラのエネルギーによって超高層大気の加熱・膨張が起こり、熱圏の大気密度が大きく増加します。このような時、高度300 - 400 km付近を飛ぶ低高度の地球周回衛星は、大気の摩擦力を強く受けて軌道の制御が困難になり、最悪の場合には落ちてしまうことがあります。最近では、2000年7月にわが国の科学衛星「あすか」がこの障害のために姿勢を乱し、2001年3月についに落下してしまいました。

超高層大気の現状を把握して、将来の状態を予測できれば、適切な手段を講じて、被害を未然に防いだり、軽減したりすることが可能です。現在、世界の研究機関では、さまざまな宇宙天気予

測モデルの開発が進められています。ここでは、それらのモデルの一つとして、私たちが開発している「リアルタイム熱圏・電離圏シミュレーションモデル」を紹介します。

2. 熱圏と電離圏の構造

超高層大気は、1960年代から人工衛星や地上からの観測によって本格的な研究が始まり、基本的な構造が明らかになってきました。熱圏の中性大気は、地上付近の大気と同様、鉛直方向には地球の重力と気圧の勾配力によってほぼ釣り合っています。その運動は、大まかに言って、昼から夜への大きな流れ、地球の自転の効果(コリオリ力)、電離大気と衝突することによる摩擦力、などによって生じていることが分かってきました。最近では、地上付近の気象現象によってできた大気の波が80 km以上も上まで伝わって、熱圏の運動に影響を与えていることも明らかになってきま

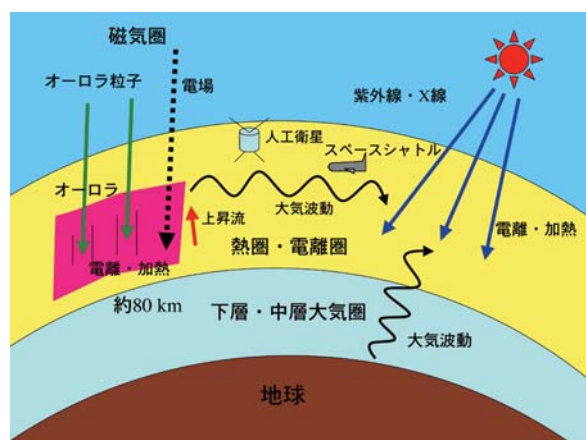


図1 熱圏・電離圏領域の物理過程。

した。熱圏の中性大気の一部は、太陽からの波長の短い紫外線やX線、オーロラ粒子などによって、イオンと電子に分解されてプラズマとなり、電離圏を形成します。しかし、熱圏と電離圏は、それぞれが勝手に振る舞っているわけではありません。実は、電離圏のプラズマと熱圏の中性粒子は、衝突や化学反応を通じて、お互いに強く影響を及ぼし合っているのです。プラズマが動くとき衝突によって中性大気も動かされ、逆に中性大気が動くときプラズマも動きます。一方で、プラズマは電磁気的な力も同時に受けているので、中性大気と同じようには動くことができません、とても複雑な運動になるのです。特に極域では、オーロラ活動に伴って、オーロラ粒子の降り込みや、磁気圏起源の電場、電流が存在するため、熱圏・電離圏の密度、温度、組成などが大きく変動することが知られています(図1)。

この数年、地上からの光学観測やレーダー観測の技術が飛躍的に向上し、熱圏・電離圏の高精度の観測が行われた結果、高緯度領域の熱圏においては、水平方向の風だけではなく、毎秒100メートルにも達する非常に大きな速度の鉛直風や大振幅の波がしばしば現れることが分かりました。これは、地上で言えば、台風や竜巻クラスの猛烈な風が発生していることになり、「熱圏大気は基本的に安定である」という従来の常識を覆すことになりました。この激しい風の原因としては、オーロラ活動によって生じる電流による加熱や、降下粒子による加熱、電離圏との衝突の効果、などが考えられていますが、まだ十分に解明されていません。

3. 熱圏・電離圏の数値シミュレーション

熱圏と電離圏の構造や運動は極めて複雑であるため、簡単な式で書き表すことはできません。このような複雑なシステムの場合、コンピュータによってその振る舞いを再現する「数値シミュレーション」が非常に有効です。数値シミュレーションは、物理量の変化を表す基本的な微分方程式を、コンピュータを使って数値的に解くことによって物理的状态を再現する研究手法で、「数値実験」とも呼ばれています。熱圏・電離圏の分野では、1970年代頃から数値シミュレーションが行われるようになり、1980年頃からは、米国の研究機関を中心に、たくさんの物理・化学過程を含む3次元の全地球的なモデルが開発されるようになりました。最近の研究では、オーロラ活動に伴う電離や加熱などによって熱圏・電離圏のグローバル構造や運動が複雑に変化する様子が表現できるようになっています。

しかし近年、従来のモデリング方法に問題があ

ることが明らかになってきました。これまでに開発されたほとんどのグローバルモデルでは、熱圏大気は静力学的平衡(静水圧平衡)にあると仮定されています。この方法の利点は、少ない計算量で3次元のシミュレーションを行うことができ、熱圏のグローバル構造を再現できることです。ところが、この近似が成り立つのは、現象の水平の空間スケールが鉛直の空間スケールに比べて十分に大きく、かつ、現象の時間スケールが、数十分より大きい場合に限られます。実際の熱圏・電離圏では、局所的で急激に変化する現象がしばしば現れ、宇宙環境全体にも大きな影響を及ぼします。このような現象を再現するには、モデルのほうも時間・空間スケールの小さい現象まで定量的に取り扱える方程式系を用いなくてはなりません。そのため私たちは、鉛直方向の運動量方程式を精度良く扱える非静水圧圧縮性熱圏大気モデルを独自に開発しました。このモデルによって、オーロラ活動などに伴う局所的で短い時間スケールの熱圏・電離圏変動や、急激な加熱による大気の膨張現象も精度良く再現することができます。

4. リアルタイムシミュレーションモデル

熱圏・電離圏の数値シミュレーションの研究は大きく発展してきましたが、これまで行われてきたシミュレーション研究は、観測データに基づいた代表的な入力データをあらかじめ用意し、その条件のもとで計算を実行し、その結果を別の観測データと比較することによって、物理過程を調べるというやり方でした。このような研究方法は、特定の現象に対する理解を助ける意味では有用ですが、そのモデルが任意の現象をどこまで再現できるか、境界条件は妥当なのか、入力データの精度はどの程度か、などについて十分な情報を得ることはできません。モデル、入力データ、境界条件などの妥当性を調べるには、現実に行っている全ての条件のもとでシミュレーションを行い、その結果を時々刻々いろいろな観測データと比較してみないと分らないのです。

この数年で、観測データのデジタル化とネットワークの高速化が進み、世界各地の観測データをリアルタイムで取得して直ちに表示できるようになってきました。このようなシステムを用いれば、リアルタイムの入力データを与え、即座にシミュレーションを実行し、その結果を画面上に表示して、地上・衛星観測と同時に比較することも可能です。これまでは、3次元で十分な精度を持った熱圏・電離圏シミュレーションを高速で実行するには、膨大な計算量とメモリを必要とするため、スーパーコンピュータを使わざるを

得ませんでした。最近では、パーソナルコンピュータの性能が飛躍的に向上したおかげで、かなり大きな計算が手軽に行えるようになってきました。通常、大学や研究所などのスーパーコンピュータは、多くのユーザが共有して使うため、利用時間に制限がありますが、パーソナルコンピュータは、そのような制約を受けないので、常時連続して計算を行うリアルタイムシミュレーションに向いていると言えます。

太陽地球環境研究所では、5年前に太陽地球環境データ解析システム（GEDAS）が導入され、世界各地からさまざまなデータを収集しています。現在開発中のリアルタイム熱圏・電離圏シミュレーションモデルは、このGEDASの一部として、磁気圏モデルや、リアルタイム電離圏モデルなどで得られた電離圏データを入力しながら同時にシミュレーションを実行し、結果を表示するものです（図2）。

このモデルは、熱圏と電離圏それぞれ別々の数値計算モジュールからなっていて、お互いの間で物理量のデータを交換することにより、相互作用過程を矛盾なく取り入れられるようになっています。入力データとして、磁気圏モデルから得られる電離圏の対流電場や電気伝導度を用いる方法も計画中で、この場合には、太陽風のデータを入力すれば、熱圏・電離圏の状態が再現できるようになります。将来的には、これを宇宙天気予報のツールとして用いることもできるでしょう（図3）。

また、リアルタイムシミュレーションによって熱圏・電離圏モデル自体のテストや改良をするだけでなく、入力モデルの違いによってどの程度の

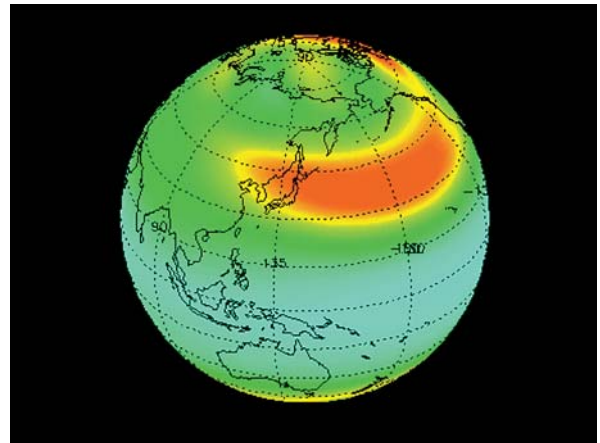


図3 熱圏・電離圏シミュレーションモデルで計算された高度300 km付近の中性大気密度変動。オーロラ領域で加熱が起ってから約2時間後の状態。赤い部分が密度が大きく上昇しているところ。ここを人工衛星が通過すると大気の摩擦をより強く受けることになる。

違いが生まれるか、どの入力モデルが実際の現象を最も良く再現できるか、などを評価することもできます。さらに、より高い精度の予報を行うために、気象の数値予報で用いられているようなデータ同化*の研究も進めていく予定です。

5. 太陽地球環境リアルタイムシミュレーションモデルをめざして

熱圏・電離圏領域は独立した一つの系ではなく、上は磁気圏、下は中層・下層大気とつながっていて、お互いに影響を与えています。従って、数値シミュレーションで熱圏・電離圏を厳密に再現しようとする、磁気圏モデルや中層・下層大気モデルとの結合がどうしても必要になってきます。ところが、これらの領域は物理的に非常に異なる性質を持っていて、モデルに使われる方程式系も違うため、結合と言ってもそれほど簡単なことではありません。特に、磁気圏モデルと電離圏モデルの間で、電場や電流、電気伝導度などを交換する方法は、まだ完全には確立されておらず、大きな課題の一つです。

コンピュータの進歩とシミュレーションモデルの発展により、太陽から地球大気圏に至る広大な宇宙空間の天気を再現する「太陽地球環境リアルタイムシミュレーションモデル」も、もはや夢ではなくなってきています。人工衛星で得られた太陽風の観測データを与えて、大気圏領域までをリアルタイムで再現できるようになれば、近い将来、地上の天気予報のような「宇宙天気数値予報」が実現することでしょう。

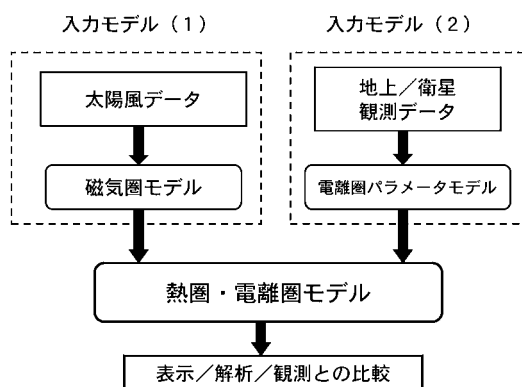


図2 リアルタイム熱圏・電離圏シミュレーションモデルの模式図。入力データとして、太陽風データと磁気圏モデルを使う方法と、観測データに基づく電離圏パラメータモデルを使う方法がある。

*シミュレーションモデルにリアルタイム観測データを組み込んで、自動的に計算結果の修正を行い、より高い精度の予報値を求める計算手法。

新生「国立大学附置研究所・センター長会議」

上出 洋介（所長）

「文部科学省所轄ならびに国立大学附置研究所長会議」という長い名前の組織が、63年も長く続いてきました。たとえば、今年4月より法人化された自然科学研究機構の国立天文台や核融合科学研究所、情報・システム研究機構の国立極地研究所、高エネルギー加速器研究機構などのいわゆる大学共同利用機関、独立行政法人である宇宙航空研究開発機構の宇宙科学研究本部（前宇宙科学研究所）、それに当研究所のような国立大学附置研究所の所長全97名（事務長も出席しますから、実際はこの2倍）が、相互の緊密な協力によって学術の振興に寄与することを目的として設立されたもので、文部科学省の研究振興局長以下10人以上も出席し、共通議題について話し合いを行ってきました。理化学研究所や放射線医学総合研究所、物質・材料研究機構など、旧科学技術庁系の特殊法人、独立行政法人の研究所もオブザーバーとして出席していました。

この通称「全国研究所長会議」は、次の3つの部会に分かれていました。第1部会：理工学関係、第2部会：医学・生物学関係、第3部会：人文・社会学関係。それぞれの部会ごとに、年に一度持ち回りの世話で会議を開いてきました。当研究所は、当然第1部会に属しています。

本年4月からの法人化に伴い、いわゆる大学共同利用機関が独自の活動を続けていくことになり、“残された”国立大学附置研究所は、全国共同利用の研究センターを含めて、標題にある名称でこのほど再出発したわけです。運営費交付金から支払う会費は年15万円（1研究所・センター当り）で、総会の開催費や事業費に充てられます。この生まれかわった組織には、全部で78の附置研・センターが入り、我が国の学術研究の振興を計ることを目的として、幅広い活動を推進していくことになりました。78の内訳は、26の大学にある58の附置研究所、14の大学にある20研究センターです。所属の教員は3300名にもなり、名実ともに日本の学術研究の中核となっています。

会長は毎年持ち回り、本年度は東京大学海洋研究所（第2部会所属）の小池勲夫所長です。また、調査企画、問題提起、提言の草案作成など実務を担当する常置委員会が設けられ、私も委員のひとりになり、文部科学省担当課などの情報交換に当たっています。9月22日、発足後最初の常置委員会が東京大学で開催され、法人化に伴う

予算体制の調査、文部科学省との定期的な意見交換会合、研究活動の紹介パンフレットの作成、ホームページ（<http://www.shochou-kaigi.org>）の立ち上げなど、本年度の事業計画を決定しました。

研究分野による3つの部会（第1部会：39研究所・センター、第2部会：27研究所・センター、第3部会：12研究所・センター）はそのままの形で存続します。そして共同利用機関法人や私立大学とも連携しながら、部会独自のシンポジウム、講演会などを通して多様な活動を行っていきます。

11月18日、北海道大学で新生後初の第1部会が開催されました。新生ではありませんが、それまでの積上げ回数を引継ぐこととし、第49回目の第1部会となりました。研究所・センター単位の科研費とも考えられる、特別教育研究経費への最新情報をもとに議論が行われました。

第1部会の前日17日には、この部会が扱う研究テーマや成果の分かりやすい紹介、関連分野での情報交換を兼ねて、6つの附置研・センター（うち、3つは地元北海道大学）から6つの学術講演が行われ、当研究所から小島正宜教授が「宇宙環境、その見えざる素顔」を講演し、当研究所の研究内容を紹介しました。

これらの動きと併行して、44年間続いた「国立大学附置共同利用研究所懇談会」が、同様の事情で直轄研と別れて、「国立大学附置全国共同利用研究所・研究センター協議会」と名称変更し、レベルアップをして再スタートを切りました。1大学では実現できない研究環境の整備や、地域、国内、国際的な共同研究をリードする拠点として重要な役割を果たすと同時に、当該大学（当研究所の場合は、名古屋大学）の個性発揮と教育に貢献する全国共同利用の附置研がこの組織の会員です。個々の大学が法人格を持った現在、全国共同利用と各大学の理念が相容れない局面が生じることも懸念され、この協議会の重要性が認識されます。

去る10月15日には、大阪大学のお世話で設立総会が開催されました。文部科学省による「全国共同利用」の条件や諸施策の説明と質議応答が行われましたが、新生だけあってこの組織の名称についての大議論（最終的には、多数決で上記が採択されました）もありました。他機関の研究者や学生が頻繁に出入りすることに伴う実際上の問題として、労働安全上の問題や共同研究に発する知的財産権などの問題は、継続審議事項となりました。

連携からフロンティアへ

高村 秀一 (運営協議員)
名古屋大学大学院工学研究科

現代社会の構造は科学・技術研究や教育を含めて、多層的・網目的であると捕らえるのが妥当ではないかと日頃考えています。古い時代には社会構造が単層的・局所的であり、個々の活動単位を接続する網目が乏しかったと考えます。動物の成長あるいは進化は神経網の発達と身体を支える諸器官の高機能化の両面が整合する形で行われてきたと理解しています。現代ではこのネットワークが階層構造を持ち、階層間の情報交換も重要になってきています。動物の神経網の発達と類似的ではないでしょうか。このような社会構造において大切なものは個々の単位を繋ぐネットワークであり、それらを介しての情報交換・情報伝達機能でありましょう。現在のインターネット社会ではそのためにプロトコルがあり、この約束の下に相互に通信が行われ、相手の送信内容を正しく受け取り理解することができます。

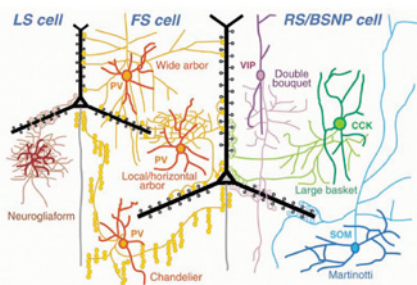
上に述べた2つの視点の内の第一の論点はプラズマをキーワードとした、分野融合、フロンティアの開拓、学際的研究の展開であります。磁場と高温プラズマの絡み合うMHD現象、その中でメソスケールでの運動論的效果、磁気再結合に伴う散逸と粒子加速、ダイナモ効果、衝撃波に伴う粒子の相対論的加速、波動とプラズマ粒子の相互作用、微粒子(塵埃)群が構造形成に与える効果、種々の複雑な輸送過程等々宇宙プラズマと核融合プラズマが共有するプラズマ現象は枚挙に暇がありません。3年前の2001年にプラズマをキーワードとして15の学協会が連合し、京都でプラズマ科学シンポジウムが行われました。日本物理学会、応用物理学会、電気学会、地球電磁気・地球惑星圏学会、日本オゾン学会、放電学会、日本真空協会、プラズマ・核融合学会等です。2005年1月26 - 28日には愛知県女性総合センター「ウイルあいち」でその第2回がプラズマ・核融

合学会を中心として開催されます。宇宙プラズマも主課題の一つです。

このように近接分野との相互交流によってもたらされる「学際」、「境界」、「融合」は新領域開拓の際の基本的な考えで、そこから新しい概念、考え方、アプローチの仕方が生まれるのではないのでしょうか。新しい文化は辺境から起こるとも言われています。STE研もそのような観点から近接分野との積極的な接触活動にリーダーシップを持ってやっていただければと考えます。新しい息吹を生み出し、高いモチベーションを創り出すのではないかと思います。

さて、第二の視点は、総合大学である名古屋大学内の研究所として関連研究部局との連携に関してです。特に工学研究科とのそれについて考えてみたいと思います。電気系専攻の中の2つの協力講座という形で主に教育的な面から寄与していただけていますが、研究的な側面からの連携は弱いのではないのでしょうか。測定機器における先端技術の導入ということだけではなく、大気圏におけるラドンの追跡から種々のガス分子の輸送過程に関する研究は私の所属するエネルギー理工学専攻で行われていますし、さらには研究のヴィジョンとして新たなものの考え方を導入できる可能性もあります。21世紀の科学のあり方として広い意味で「人間(生活)との係わり合い」が前世紀の単なる「好奇心、知的興味」を超える指導原理になって行くのではないかと私は考えています。単に実用という近視眼的なことを申し上げているのではないことはお分かりいただけると思います。係わり方には種々の階層レベルがあるでしょう。宇宙天気に興味を持たれるのは間接的、直接的に人間生活に係わってくるという側面があるからではないのでしょうか。「大気圏」は人にとって最も身近な領域です。化学的效果は興味深いし、未だに未解明で制御できていない雷(空電)は、最近我々の学会講演会で佐藤文隆先生が力説されましたが、古くて新しい題材ではないのでしょうか。新鮮な響きすら感じます。工学研究科ではこの「人間(生活)との係わり合い」をその研究のモチベーションとして意識する研究者が多くいます。そこの深い議論と連携はSTE研の新たな発展を生み出すポテンシャルを内包しているのではと期待しています。

身勝手な議論を展開してまいりましたが、研究所の皆様、コミュニティーの方々が関心を持っていただければ幸いですし、ご意見もお待ちします。takamura@ees.nagoya-u.ac.jp へどうぞ。



大脳神経系。

A Winter Sojourn in STEL

Leif Svalgaard, Visiting Professor
(from Easy Toolkit, Inc./Boston University, U.S.A.)

It was with great pleasure that I accepted Kamide-sensei's kind invitation to spend four months at the STEL. The first two months (Jun-Jul, 2004) I stayed at the STEL-House in the "jungle" on the campus, but when my wife Vera joined me, we moved to Ivy Heights. I'm grateful for the peace and quiet I enjoyed at STEL to prepare the various talks, reports, and papers that I had committed to finish, including a seminar at STEL.

I did find time to visit with Dr. Iyemori at the WDC in Kyoto to "dig" in his archives of old geomagnetic data and later to attend the CAWSES "kick-off" meeting at Irigo, where I gave an invited talk: "On the value of old geomagnetic data". My main research interest is the long-term variation of Geomagnetic/Solar/Heliospheric activity. The Sun's activity is the main driver of what happens in the heliosphere. Observing geomagnetic and auroral activity that are caused by the Sun, we can learn something about the Sun. What we learn can then be applied to forecasting the conditions affecting the Earth and the space around the Earth. As reliance on and use of space-based facilities increase, our daily lives are increasingly affected by solar activity. Maybe solar activity even influences our climate.

At the Irigo View-hotel (often used for weddings), I was struck by the fact that the wedding chapel was a Christian chapel. Later on, we visited combined Buddhist temples and Shinto shrines. The blend of the three religions in Japanese life and the spiritual tolerance that entails made a lasting impression. Among the many historical places Vera and I visited, we found the Pine-Tree street in Toyokawa and the Honjin Inn in Futagawa of particular interest as remains of two of the 53 way-stations on the Tokaido road, showing what travel was like 400 years ago.

While at STEL I finished with Prof. Kamide and Ed Cliver a paper on predicting the size of the next sunspot cycle (number 24 since 1756 they are numbered like typhoons are). Recent solar cycles have been large and powerful, but there are signs that we will be entering a period of much reduced solar activity; cycle 24 will probably be the smallest cycle in the last 100 years. This prediction is based on measurements of the magnetic field near the Sun's poles. Strong polar fields lead to strong sunspot cycles, but the polar fields right now are much weaker than they used to be at a similar point of the cycle for the previous several cycles (we have reliable data since 1967). The reliable prediction of the size of the sunspot cycle is one of the key goals of solar-terrestrial research and has application for spacecraft design, mission planning, power station management, radio communications, and climate modeling. We presented this paper at the SGEPS meeting at Matsuyama in late September.

I relinquished the STEL House to an old friend of mine, Dr. Michael Schulz. Mike and I are collaborating on a paper about the cause of the so-called semiannual variation of geomagnetic activity. This variation was discovered more than 150 years ago and we still don't know what causes it, so it is a classical



The author (left) with his wife Vera and Dr. Schulz (right)

problem with a long and venerable history. Several explanations (at last count, five) have been put forward, but none of them are compelling. We don't even know if the effect is caused by the solar wind (protons) or by solar ultraviolet radiation (photons).

Vera gave a lace-making demo and talk at the regular Friday Lunch Non-Scientific Seminars, and I gave a talk about Greenland (drawing on my experience as an observer [in 1967] at the Inge Lehman geomagnetic station on top of the ice cap at 78N and 45W, altitude 3000 m). Vera attended Ikebana classes and tea ceremony lessons. She tells me that after our stay here, she understands and appreciates much better books by Japanese authors she has been reading (one of her favorites is "I'm a Cat").

I contributed to a paper by Ed Cliver to appear in *Solar Physics: "The 1859 Solar-Terrestrial Disturbance and the Current Limits of Extreme Space Weather Activity"*. The solar flare observed by Carrington in 1859 created effects in Geospace that were among the most extreme ever observed, even disrupting the newly constructed telegraph networks. It is interesting that the first solar-terrestrial event was also one of (or maybe even) the biggest on record.

I finished an invited review paper on "The Value of Old Geomagnetic Data: towards a Climatology of Space Weather" for *Solar Physics*. Variations of the geomagnetic field have been observed on a regular basis since the 1830s and we are now learning how to interpret the old data in terms of properties of the solar wind and of the sun itself. This allows us to construct a "climatological" basis providing a context for current space weather. "Climate" is defined as mean values over an interval combined with knowledge of the extremes to expect.

My time at STEL has been very productive and stimulating, both scientifically, culturally, and gastronomically (I'm still recovering from some of the "all-you-can-eat" meals I devoured).

チリ・ヨーロッパ南天天文台とアタカマ砂漠を訪ねて - その1 -

村木 綏 (太陽圏環境部門)

大マゼラン星雲に現れた超新星

1987年2月23日、南の空に超新星が出現した。ケプラーの観測以来、有視観測では実に383年ぶりのことである。超新星発見の国際天文連合電報 (IAU circular, #4316) は大きな衝撃を我々に与えた。これは天文学のみならず物理学も巻き込む一大事件だった。我々は超新星からのガンマ線を観測するために南半球へ出かけることになり、これがきっかけで南天観測に係わることになった。この超新星の第1発見者は当時カナダのトロント大学の大学院生シェルトンだった。彼はラスカンパナス天文台の望遠鏡に取り付けた写真乾板を見てこの大発見をしたのである。第2発見者はニュージーランドのアマチュア天文家のバットソン、第3発見者はオーストラリアのマックノートであった。第3発見者のマックノートが天体を撮影したのは、第1発見者のシェルトンより早かったが、写真乾板の現像に丸一日かかり、“第1発見者”の栄誉を落としてしまった。第2発見者のバットソンは、最近ニュージーランドのビクトリア大学から功績を評価され名誉博士号を授与された。

物理学を研究してきた我々が、何故超新星と係わりができたのかということをごくもう少し書いておく。この天変地異が生じるかなり以前に、京大の佐藤文隆先生や米国のガイサー・ハーディングらが、“誕生間もない超新星から、エネルギーの高いガンマ線が到来する。”という論文を書いていた。要約すると超新星爆発の最後に作られる中性子星は、太陽と同程度の質量を有するにも係わらず、その半径はわずか10 kmと小さく、コンパクトスターと呼ばれている。この星は爆発前の磁場をそのまま引きずり込み、小さな星に変化してできたもので、そこには強烈な磁石ができていない。この磁石がわずか1000分の1秒という短い周期で猛回転するので、作り出される強い電場で陽子や電子が、高いエネルギーまで加速されるという理論である。もし、その加速され

た粒子が作り出すガンマ線を検出すれば、その理論が証明できる。我々は空気によってガンマ線が吸収されにくい、標高の高い山があるニュージーランドへ出かけた。観測地として選んだ場所は南島の北の町、ブレナムの郊外にある。ここは、日照時間が長く、ワインの生産でも有名である。

結果は残念ながら予想から“はずれ”、超高エネルギーのガンマ線は見つからなかった。しかし、現在我々は、超新星残骸SN1987Aと呼ばれているこの天体で、粒子は超新星爆発の際放出された高速ガスと衝突を繰り返して、高速ガスから運動エネルギーをもらい加速されている、と考えている。この考え方は1977年頃、アックスフォードら3つのグループが独立に提唱したもので、ショック加速理論と呼ばれている。

1987年9月、Springer-Verlagという有名な雑誌社から、「南天の探索」(Exploring the Southern Sky)という表題の写真集が出版された。表紙には「超新星1987Aとハレー彗星の写真も含む」というワッペンが貼られていたので、私はこの写真集を迷わず購入した。今でも貴重な本だと思って大切にしているこの本は、ヨーロッパ南天天文台(ESO)*で25年間に撮影された重要な写真を集めた天体写真集である。その最後に、ヨーロッパ南天天文台の施設が紹介されていた。当時この写真を見て、あまりの立派な天文施設に驚嘆させられた思い出がある。この天文台は今からおよそ40年も前に設立されたのである。その後私がこの天文台を訪問する機会があるとは、当時全く想像できなかった。

チリ中部の天文施設を訪ねて

チリは世界各国の天文施設がひしめく天文銀座である。それぞれの天文台の地理的な位置を知っていただくために、地図を図1に付す。私自身訪問するまでその位置関係がよく分かっておらず、訪問してみてもやっと理解できた。

*ヨーロッパ南天天文台(ESO: European Southern Observatory)は、ヨーロッパ諸国(ドイツ、フランス、イタリア、スウェーデン、オランダ、スイス)が南天観測を目的に作った国際共同研究組織。本部はドイツに置き、チリのラ・シーアとパラナルに観測所がある。また、アタカマに建設予定のALMA計画にも参加することが決定している。

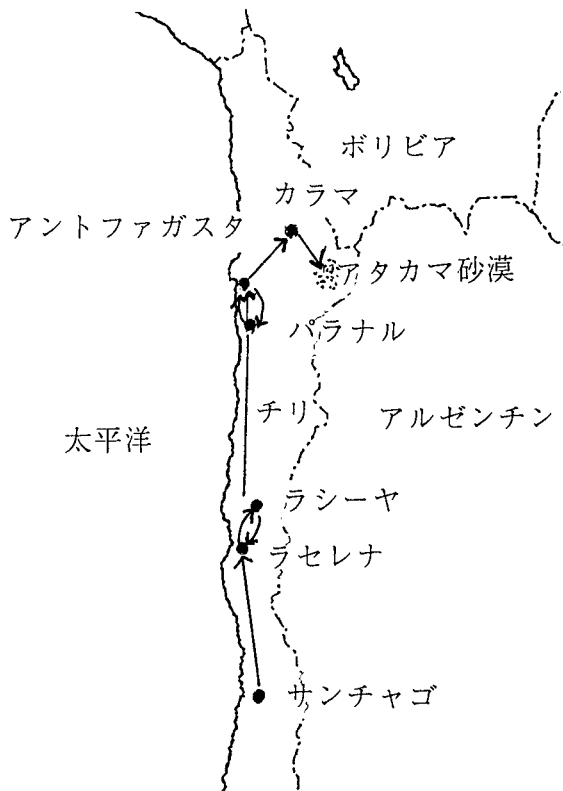


図1 チリ北部の地図。矢印は筆者の軌跡。

さて、今回チリの天文施設を訪問した目的は3つある。まず現在ニュージーランドに建設中の1.8m望遠鏡の共同研究相手グループである、ポーランド・米国チームOGLEの視察と今後の共同研究の準備、2つ目は、まもなく共同研究を開始するパラナルにある光干渉計の視察、そして、3つ目は、アタカマ高地に宇宙線観測装置を設置するための準備である。盛りたくさんの目的を持って希望に胸を膨らませ、日本を後にした。

メキシコで講演した後、ランチリ航空に乗ってまず、チリの首都サンチャゴへ向かう。夜のフライトで何も見えず、朝起きてみるとびっくり、窓の外には雪を抱いたアンデスの高峰が連なっているではないか。どこに飛行場があるか分からないような山の中を降下してサンチャゴ空港に着陸。サンチャゴではチリ大学の先生とカトリカ大学の先生に宇宙線の観測装置を持ち込みたいと交渉する。サンチャゴの町はきれいに掃除がされており、地下鉄もきれいである。その後、いよいよ第1の目的を果たすため、サンチャゴから飛行機で約450 km北上し、チリ中部のラ・セレナ空港へ向か

う。この町の北にOGLEグループが観測をしているラスカンパナス天文台がある。冒頭で紹介した超新星を発見した天文台である。飛行機から見ていて、大地が緑から茶色に変わる境界がラ・セレナの町だ。ワインのドンメルチョの産地としても有名である。

我々は、人類が生存する太陽系がこの宇宙で特別な存在なのか、普通の存在なのかを知りたいと思っている。地球のような小型の水惑星が存在するのかどうかまだ分かっていない。これを解明するのが、研究目的の一つである。太陽系外惑星を伴った星が存在するという観測事実は1997年の京都で開催された国際天文連合の全体会議の頃に明らかになった。以来太陽系外惑星（以下系外惑星と略する）の観測例は110例近くに増加し、それ自身珍しくなくなった。惑星を伴った星はいくらでもあるが、銀河全体の星の何%が惑星を伴っているか定量的な答えはまだない（<http://exoplanets.org/>を参照）。見つかった系外惑星のほとんどが木星のような重い惑星で、太陽に近い軌道を回っている。この観測結果をどう解釈すれば良いのだろうか？

観測者の立場から観測結果をみれば、重い惑星しかないという観測データは、バイアスがかかっていると思う。無バイアスの測定が必要である。木星を伴った主星は、重心が主星の中心からずれる。そのため主星は重心の回りを回転しているように見える。主星が地球に近づくときは主星の光は青い方にずれ、遠ざかる時は、赤い方にずれる。これはドップラーシフトとして知られている。このずれから回転速度が分かり、系外惑星の質量や距離が分かる。しかしこの方法はやはり伴星である惑星が重い方が検出しやすい。これが観測のバ

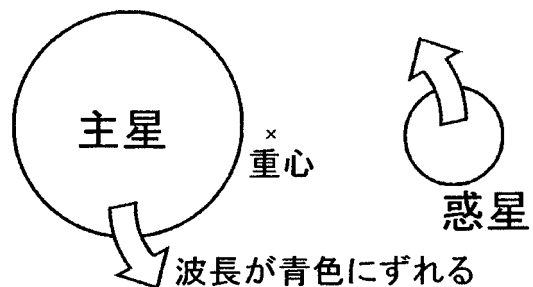


図2 重心の周りを回転する主星と惑星。主星の回転が地球に向かう時は、ドップラー効果により主星の光がわずかに青い方へずれ、遠ざかる時は赤い方へずれる。これから惑星の質量や距離が求められる。

イアス説である(図2)。

では無バイアス観測はどうしたら可能か? 重力レンズ法が衛星に搭載した赤外干渉計しか、地球のような小型惑星は見つけられないと考えられているが、今のところ重力レンズ法しかない。この方法では、たくさんの星を長くモニターする必要がある。地球型の惑星の時は、後方の星の光の増光時間はわずかに1時間程度しか継続しないので、世界中でたくさんの星を連続してモニターしなくてはならない。ここにグローバルな、観測態勢の確立と共同研究が重要となってくる。チリやニュージーランド、南アフリカの天文台と連携して同じ南天の星の密集領域を連続観測する必要がある。同じ目的で観測しているチリのOGLEグループと我々の連携研究には大きな意義があるといえよう。暗い星までモニターし、できるだけ多くの機会を捕えられるように、我々も1.8 mの光学望遠鏡をニュージーランドに準備中である。

さて、いよいよラスカンパナス天文台にやってきた。これはアメリカの天文台である。目玉は2台の6.5 m望遠鏡。これは将来光干渉計にするつもりで作ったようだが、まだ別々に運用されている。この望遠鏡は1991年にデザインされ、2002年、ファーストライト(first light: 初観測)を迎えた。6.5 m鏡の蒸着装置が今まで見たのとは異なるアイデアで設計されており、印象に残った。

まずここではOGLEグループの大学院生のシマンスキーに会った。名大の院生が1ヶ月単位でニュージーランドへ観測に行くように、彼らもほぼ1ヶ月単位で来ている。毎晩8-9ギガバイトの大量のデータが出るので、それを200ギガバイトのテープにまとめてポーランドに持ち帰り精密解析するそうである。もちろん現地でもon-line解析して重要イベントはすぐ公開している。彼によるとチリは地震が多いので、地震のたびに望遠鏡を調整する必要があるらしい。星の光の揺らぎの尺度を表すシーイングが平均0.5秒であり観測条件が非常に良い。

この天文台では、ほかの活動として名大理学部物理学科電波天文学グループが4 m電波望遠鏡「なんてん」をアタカマに移設する準備中。てんやわんやの最中であった。またこの天文台の食堂では鮭料理ができた。さすがチリだと思った。ここで不思議な果物にも出会った。ペピーノという果物で、大きさは小さなウリ程度であるが、表面には縦縞の線があり、色は緑と青と紫があった

皮でつつまれている。しばらく放置しておいて食べると、これがとてもうまい。

翌朝はいよいよ、ヨーロッパ南天天文台に向かう。ラスカンパナス天文台から車で約1時間の距離である。このあたりはラ・シーアと呼ばれている。約30分で分岐点につく。ヨーロッパ天文台への道路は舗装されていた。しばらく走るとゲートがある。ここでは予約を取っておかないと入構できない。ゲートを過ぎてさらに20分くらい車で上ると山の頂にでる。ここは正に天文銀座だ。数え切れないほどの望遠鏡ドームが並んでいる。予めカトリカ大学のキンタナ教授が電話で頼んでくれたので所長(Dr. Jorge Melnick, チリ人)自らの案内となり、我々一同恐縮した。しかし彼に同行して良かった点は、所長のカードはオールマイティなのでどの建物にも自由に入れたことである。工作室も良く整っているし、宿舎はかつての盛んな時を反映するように200人も泊れるのである。ここで小さな国際会議ができそうだ。空手クラブや、大型液晶画面を備付けたTV会議室もある。これで欧州の本部と会議を持つのだそうだ。とりわけ印象に残ったのは、食堂のメニューである。完全にヨーロッパ水準の贅沢な食事が用意されていた。しかしこの標高は2400 mもあり、人里から遠く離れている。おいしい食事は働く意欲をそそるために必要なだろう。

この天文台で望遠鏡の生きた歴史を学んだ。1976年に作られた、3.6 m望遠鏡はまさに巨艦で、直径30 m、高さ45 mのドームに入っている。それに対してNew Technology Telescope(NTT)と呼ばれている望遠鏡は口径がほぼ同じ3.5 mであるが、はるかにスマートである。ずっとコンパクトなドームに入っている。しかも望遠鏡の制御は、スマートなソフトで実施される。加速器の制御室のようである。望遠鏡の焦点距離も $f=1.8$ と短い。鏡の厚みは17 cmと薄いガラスが使用され、adaptive opticsがついている。このスマートさは、設計方針を旧来の赤道儀方式から、経緯台方式に変更したことで実現できた。経緯台の場合は主焦点を回転しなければならないという欠点はあるが、最近は計算機で簡単に回転制御できる。この新しい考え方に基づいた望遠鏡は1987-1990年代にかけて完成した。そしてこれがうまく作動することを確認し、旅の2つ目の目的、8.2 mの光干渉計(VLTI)の視察へ向け、さらに北へ進むとしよう。

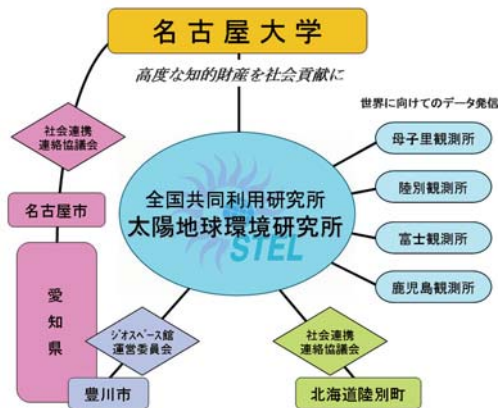
~ 次号へ続く ~

地域貢献特別支援事業への取り組み

国立大学法人の優れた地域貢献の取り組みを重点的に支援するため、文部科学省が平成14年度より始めた「地域貢献特別支援事業費」に、当研究所のプラン「研究所および附属観測施設と地域社会の交流」が選定されています。平成15・16年度は、「高度な知的財産を広く社会に！」という名古屋大学が掲げるキーワードのもと、当研究所では、本部のある愛知県豊川市と附属観測所を置く北海道陸別町を主対象に、下記に掲げる総合事業を通して、地域社会への貢献を行っています。

連携体制

豊川市ジオスペース館（中央図書館に併設されている科学館）については、建設計画の段階からアドバイスをを行い、また「ジオスペース館運営委員会」の委員を当研究所長が務めるなどの連携体制をとっています。陸別町との間には、「社会連携連絡協議会」を設立。「自治体が求めるニーズに応える」と同時に、「自然科学への関心を喚起する」ための活動を行っています。協議会には、陸別町から町長、助役、教育長、天文台長他、当研究所から所長、観測所長、事務長が出席し、名大総務企画部からも出席しています。



小中学校で出前授業を開催

9月14日、小中学校において出前授業を陸別町と共催しました。講師として招いたのは、ノルウェー・トロムソ大学のA. Brekke 教授。午前中は陸別小学校の5、6年生、午後は陸別中学校の2年生を対象に授業が行われました。

Brekke 教授は、ノルウェーにゆかりのバイキング帽子をかぶって登場。授業の前半では、日本とトロムソの気候、習慣の相違、日本に伝播された品々を紹介し、後半では、オーロラ研究の話や映像を使って、観測の歴史、オーロラと地球以外の惑星との関係などについて、丁寧に説明しました。オーロラを初めて見た時の感動や驚きも語られ、生徒達は熱心に聞き入っていた様子です。「陸別のオーロラは赤色なのに、ノルウェーでは緑色に見えるのはなぜ」「オーロラが見える惑星と見えない惑星との違いは」など、数多くの質問が寄せられ、予定時間を大幅にオーバーする人気ぶりでした。



右：北海道新聞2004年9月15日
下：授業風景

オーロラ体験ウイーク



北海道新聞2004年11月1日



オーロラ体験ウイークの目玉は、10月29、30日夜、りくべつ宇宙地球科学館（同建物内に、当研究所の附属観測所がある）で開催された胡弓演奏会でした。1年前から、札幌在住の作曲家/演奏家である華心さんにオーロラの作曲を依頼してありましたが、このほど「オーロラ組曲」が完成し、オーロラの映像をバックにそのお披露目が行われたというわけです。29日には、NHKの特設スタジオが設けられ、午後7時のニュース前のゴールデンタイムに40分間にわたって中継放送されました。

イベント、シンポジウム、討論会

毎年5月に行われている研究所の一般公開に合わせ、シンポジウム「宇宙はおもしろい」を豊川市と共催。国立天文台の渡部潤一助教授、宇宙航空研究開発機構の油井由香利研究員らによる、市民を対象とした最先端の宇宙研究・開発の講演が行われました（STEL ニュースレター2004年8月号を参照）。9月14日には、トロムソ大学から A. Brekke 教授を迎え、陸別町の小中学校で、出前授業を開きました。さらに、昨年陸別町と共催した「オーロラ体験ウィーク」の第2回を10月27 - 31日に行い、写真家によるスライドショー、胡弓奏者によるオーロラ曲初演の他、太陽と地球の関係に関する質問コーナー、パネル展示で話題となりました。

12月には、札幌でパネル討論会「オーロラが教えること」を、北海道新聞社、NHKなどと共催します。国立天文台渡邊鉄哉教授やシンガーソングライター/童話作家の相川七瀬さんといった多彩なパネリストが、オーロラ、太陽の活動、科学の大切さなどについて討論するという内容です。

冊子など

度々紹介していますように、りくべつ宇宙地球科学館、豊川市ジオスペース館と協力して、Q&A形式のわかりやすい解説冊子「50のなぜ」シリーズを企画・制作しています。また、女性人気漫画家はやのん氏を起用し、米国立宇宙環境研究所、地球物理デ

ータセンターと共同で出版しているコミックのシリーズも人気です。

今年の主な活動

自治体との協議会（日、会議名、自治体名）

2月27日	社会連携連絡協議会	北海道陸別町
8月5日	ジオスペース館運営委員会	愛知県豊川市

イベントの開催（日、イベント名、開催場所）

5月30日	「宇宙はおもしろい」シンポジウム	豊川市ジオスペース館
9月14日	「出前授業」	陸別小学校、陸別中学校
10月27 - 31日	「オーロラ体験ウィーク」	りくべつ宇宙地球科学館
12月17日	パネル討論会「オーロラが教えること」	札幌市コンベンションセンター
2005年2月	パネル討論会「ジオスペースとはなにか」	日本科学未来館

冊子の発行

「50のなぜ」シリーズ	テーマは「惑星」、「宇宙線」、「オゾン」、「地球温暖化」、「大気のでっぺん」、「宇宙プラズマ」
コミック	「オゾンってなんだ!?!」、「太陽風ってなんだ!?!」

上記の他にも、中高生による研究所見学の受入れ、科学館で上映するビデオ制作などの事業を通し、当研究所の研究内容への理解だけでなく、自然科学、理科全般への市民の関心を高めることによる地域社会への還元、貢献という目標を目ざしています。

陸別観測所の仕事に携わってから5年になります。観測所では地磁気とオーロラ、それと成層圏（オゾン層）のいろいろな分子の観測をしています。オゾン観測の一つにFTIR（赤外分光計）が使われています。これは雲に遮られない太陽光を必要とするために、常に太陽と雲の動きに注意を払わなければなりません。快晴の日であれば自動観測も可能ですが、時々雲が現れる日は、雲が太陽面を通過する前に観測を中断しなければなりません。空を見に行ったり、分光計を操作したり、一日中部屋の外と中の往復が続きます。

観測をしている日は一日中空を見ているので、いろいろなことに気づきます。一つは雲の動きや雲の発生する様子です。「今日は太陽の近くに雲がないから観測できるかな」と思って観測を続けていると、突然雲が現れて追尾装置が停止してしまうことがあります。「何が起こったんだ?」と空を見ていると、何も無い青空の途中から雲が生まれているのです。逆に雲が太陽に近づいてきたので観測を停止すると、雲が途中で消滅してしまうこともあります。また、「今日は西から雲が流れてい

るからまだ大丈夫だな」と思って観測を続けていると、反対側の東からの雲に遮られてしまうこともあります。雲をよく見てみると、動きが一方向ではなく、雲の高さによっていろいろな方向へ流れていることが分かります。

もう一つは膨大な量の空中の浮遊物に気づいたことです。FTIR観測する時は、太陽に薄い雲がかかっていないかどうか確かめるために、太陽を手で覆って太陽のすぐ近くの青空の濃さを見ることがあります。その時空中に浮遊しているさまざまな物体がキラキラと輝いて目に入ってきます。植物の種子や小さな虫だと思いますが、春から夏にかけてはものすごい量の浮遊物です。この浮遊物はどのくらいの高さまで達しているのだろうか、また1立方メートルの大気中にはどれくらいの生物がいるのだろうか、と素朴な疑問が浮かんできます。普段私たちは身の回りの空気を「透明なもの」と考えてしまいがちですが、実際には膨大な量の生物がうごめいているスープのようなものなのかもしれません。

花野 和生（陸別観測所 技術補佐員）

たらの芽

新任スタッフあいさつ



伊藤 好孝
(太陽圏環境部門)

ニュージーランドに建設中の望遠鏡をバックに。

今年7月16日に着任しました。それ以前は岐阜県神岡町にある東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設に10年いました。あの小柴さんのノーベル賞で有名になったスーパーカミオカンデのある施設です。1995年にその建設に携わって以来ずっとニュートリノの研究を行ってきました。名古屋に生まれて18年、大学からは京都に12年間、その後は神岡(といっても実際に住んでいたのは富山)に10年暮らして、22年ぶりに地元に戻ってきたということになります。今一番興味を持って

いることは、宇宙暗黒物質の問題です。かつてニュートリノも有力な暗黒物質の候補でした。ニュートリノの有限質量は、スーパーカミオカンデでのニュートリノ振動の発見により確かめられましたが、WMAP(NASAが打ち上げたマイクロ波観測衛星)などの観測から、ニュートリノ総質量は暗黒物質のごく一部に過ぎないことが分かってきました。次の候補をいろいろな観点から追い詰めていくことが今後の課題だと思っています。その一つが当研究所の重力レンズ探索計画MOA計画です。重力レンズ天体を100個のオーダーになるまで見つけて、統計的に議論できるようにすることが大事だと思っています。さて宇宙線物理学という分野は、フィールドに最先端観測装置を置くというスタイルであり、当研究所で他のさまざまな課題にも必然的にからんでくるだろうと思います。雑食性には自信があるので、多種分野のぶつかり合いを楽しんでいきたいと考えています。

STEL ニュースダイジェスト

木曾観測施設一般公開

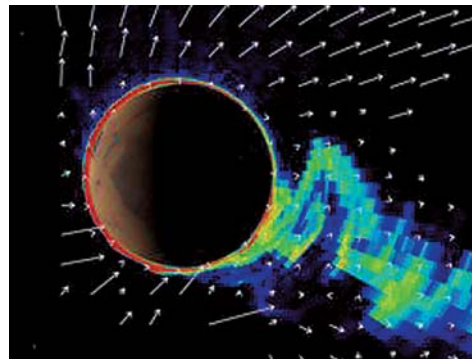
8月7日(土)-8日(日)、長野県木曾郡上松町に設置された当研究所の太陽風観測施設が一般に公開され、多くの来訪者で賑わいました。この行事は隣接する東京大学木曾天文台と共同して毎年8月に実施していますが、今年は同天文台の開所30周年にあたるため2日間にわたって行われました。公開初日は、途中で激しい雷雨となって中断されましたが(天文台での観望会も中止)、翌日は夏の暑い日差しが戻りました。来訪者数は非常に多く、2日間でのべ約320名に達しました(天文台調べ)。訪れた人々は巨大なアンテナを間近で見たり、太陽風についての説明に興味深げに耳を傾けていました。

数値実験結果がNASAホームページで紹介される

高速の太陽風の影響によって、火星から大気が剥ぎ取られる様子を、当研究所の寺田直樹研究者と品川裕之助教授が数値実験で調べることに成功しました。その結果が米国NASAのホームページと米国地質研究所発行のGeotimes誌9月号に掲載されました。NASAホームページでは「火星大気と太陽風の相互作用のコンピュータシミュレーション」と題して取り上げられています。Geotimes誌9月号では、このホームページの内容に基づいた記事が紹介されており、2003年10月下旬から11月上旬にかけて発生した史上最大級の太陽面爆発が火星環境に及ぼす影響について解説されたもので「太陽嵐が火星から水を剥ぎ取る」というタイトルです。詳しくは次のURLをご覧ください。

<http://svs.gsfc.nasa.gov/search/AnimationSeries/Halloween2003SolarStorms.html>

http://www.geotimes.org/sept04/NN_solarstorms.html



火星電離圏と太陽風の相互作用の数値実験結果
(NASAホームページより)

異動

【招聘客員研究員】

2004.10.1 - 2004.12.31客員教授 Kan, Joseph Ruce
(アラスカ大学地球物理研究所教授)

【研究機関研究員】

2004.9.30 退職
袁 志剛(電磁気圏環境部門)

【臨時用務員】

2004.9.1 採用
上米良 かおり(佐久島観測所)

編集後記

台風の当たり年に加えて、さらに大地震の発生。今年は大変な年になりました。自然の力の下では、人間の存在とはなんと小さいものだろうと、改めて思い知らされます。右図の「もるちゃん」と「ミルポ」と一緒に、自然界の不思議な現象や謎を探ってみたくなりました。(浅野)

最新の冊子はコレ!

