



放射線炭素と過去の太陽活動

増田公明（太陽圏環境部門）

我々の周囲にはたくさんの放射能が存在する。それらは、46億年前に地球が誕生した時から存在する放射性同位元素、宇宙から到来する宇宙線、その宇宙線が地球大気に作り出す放射性同位元素、さらには人工的につくられたものなどさまざまである。放射性炭素（ ^{14}C 、半減期5730年で崩壊）のほとんどは、宇宙線（おもに高エネルギー陽子）が地球大気と原子核反応を起こして作られる二次中性子が、大気中の窒素原子核 ^{14}N に捕獲される反応 $^{14}\text{N}(\text{n}, \text{p})^{14}\text{C}$ によって生成される。この放射性炭素は大気圏、海洋圏、生物圏などの間の炭素循環過程に取り込まれ、典型的な自然放射性同位元素となっている。また、放射性炭素は食物連鎖を通して人間

の体内にも摂取され、放出される線は、ラドンや ^{40}K などとともにヒトの内部被曝の原因ともなる。

大気中の放射性炭素濃度は、少なくとも過去数千年の間、おおむね一定に保たれてきている。これは、放射性炭素の生成と消滅がほぼ平衡状態にあることを意味すると同時に、銀河系の中で太陽系近傍の宇宙線強度がほとんど一定であったことを示している。しかし詳しく見ると、大気中の放射性炭素濃度は時間とともに変動してきたことが分かる。

太陽はダイナモ機構により磁場をつくっている。その磁場の形や強度は時間とともに変化し、太陽圏や地球近傍の環境に影響を与えている。

太陽活動が活発でその磁場が強い時は、太陽系外から来る銀河宇宙線は太陽圏に侵入しにくく、地球へ到達する宇宙線強度が減少し、宇宙線が地球大気中につくる放射性炭素の量が少なくなる。現在の太陽はほぼ11年周期（Schwabe cycle）でその活動の極大と極小を繰り返しており、大気上層で生成される放射性炭素の量も11年周期で変化すると考えられる。

植物は光合成によって大気中の二酸化炭素を取り込む。樹木の年輪や葉のように1年毎に成長するもの、あるいはワインなどのように1年毎に植物から生成される物には、その年（特に春から夏の季節）の、大気中の二酸化炭

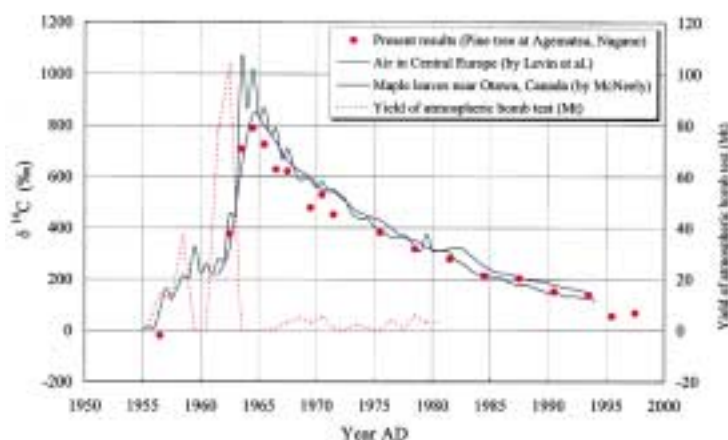


図1 長野県上松町の赤松の年輪（赤丸）、中央ヨーロッパの大気（緑線）、カナダのメープルリーフ（青線）における放射性炭素濃度の年変化。 ^{14}C は19世紀後半の全地球的な放射性炭素濃度に対する増加分を千分率で表す。大気圏内核実験の規模（点線：TNT火薬等価メガトン）の増大に対応する放射性炭素濃度の増大とその後の減少の時間変化が分かる。

素が取り込まれている。この二酸化炭素は、宇宙線によって大気中に生成された放射性炭素を含んでいる。樹木はその木が生まれてから死ぬまでの期間の情報を年輪の中に保持しており、年輪中の放射性炭素濃度を測定することによって、その育った年代における大気中の放射性炭素濃度が分かる。このようにして過去の時代の宇宙線強度や太陽活動の程度を知ることができる。

過去1万年の間で、放射性炭素濃度は約10%以上変動している。これは、地球自身の磁場の変化によるものであることが分かっている。地磁気の強度によって、地球大気に入射する宇宙線の量が変化するためである。この大きな変化とは別に、放射性炭素濃度は100年のスケールでも数%変化しており、これは太陽活動の変動によるものと考えられている。特に過去千年についてみると、西暦1300年、1500年、1700年頃を中心として、それぞれ数十年から百年程度の間、放射性炭素濃度が高かった時期が存在する。これらを太陽活動の変動によるものと考え、放射性炭素濃度が高い時期は太陽活動が弱い極小期に対応することになり、それぞれ古い方からウォルフ（Wolf）極小期、シュペーラー（Spörer）極小期、マウンダー（Maunder）極小期と呼ばれている。時代が比較的新しいマウンダー極小期については、太陽活動の指標となる黒点数が極端に少なかったという記録が残っている。これより古い時代についてははっきりした記録はないが、やはり太陽活動と密接に関連しているオーロラの出現回数が少なかったという記録がある。もしこれが確かなら、これらの極小期には、本当に太陽活動が低下していたことになる。さらにこれらの極小期に対応する時代は、小氷河期とも呼ばれ、地球の気候が寒冷化した時代に対応している。太陽磁場活動の極小期と地球の気候の間にどのような相関があるのかを調べることは、地球環境を知る上で非常に重要であり、今後を予測する手だてともなる。

このような目的で、我々宇宙線グループは、過去千年間の太陽活動極小期について、樹木年輪中の放射性炭素を高精度で測定するプロジェクトを進めている。極小期にはSchwabe cycleの周期が11年ではなく22年であったという報告もあり、これを確かめるためには、Schwabe cycleに対する放射性炭素濃度の変動がわかる測定精

度が必要である。この測定の困難さは、Schwabe cycleに対する放射性炭素濃度の変化が極めて小さいことにある。地球大気の成層圏で生成された放射性炭素は酸化して二酸化炭素となり、地球の炭素循環システムに乗って移動する。どのくらいの時間で移動するかを知るために、おもに1960年代前半に行われた、大気圏内核爆発実験で生成された放射性炭素濃度の変化を調べた。図1に我々が測定した結果を、他グループの結果および核爆発実験の規模とともに示す。核爆発実験の規模が1962年にピークを持つのに対して、この影響で作られた人工放射性炭素の地表近くの大気での濃度は、1964年頃にピークを持ち、約10年の半減期で減少する。すなわち、成層圏で生成された時間と地表近くで検出される時間の間に1 - 2年の遅れがあり、さらに10年という時間をかけてゆっくり変化する。この時定数は放射性炭素が海洋に取り込まれる時間を反映している。

太陽活動の強弱によって、上層大気におけるグローバルな放射性炭素生成率は20%程度変化する。この変化は、上述の遅延時間や時定数のために、地表近くの放射性炭素濃度に対して1%程度の変化となって現れるものと見積もられる。このことから、Schwabe cycleの変動を見るためには、0.2 - 0.3%の測定精度が必要であると考えられる。放射性炭素の放射能を測定する場合は、試料の量と測定時間を多くして、全計数値の統計精度を上げなければならない。年輪から合成されたベンゼン10 mlを50時間測定すると、0.2%の精度に対応する計数値が得られる。

我々は、樹齢700年余りの屋久杉の年輪試料（図2）を入手して、この放射性炭素濃度の測定を進めている。現在までに、シュペーラー極小期の年代を含む140年分の年輪試料の削り出しと、この年輪試料に含まれる炭素からベンゼン



図2 測定に用いる屋久杉試料

への合成を完了した。現在、このベンゼンをベースにした液体シンチレータに含まれる放射性炭素の放射能計測が進行中である。この測定には、放射能のバックグラウンドが少なく、安定性の高い計測装置が必要である。そのために我々は信頼性の高い液体シンチレーション法を選択し、手製の高性能液体シンチレーション計数システムを構築して、放射性炭素濃度の測定を行っている。また最近、Wallac社の超低バックグラウンド・ベータ線計数装置（Quantulus）を導入したので、さらに測定の効率が上がるもの

と期待している。量の少ない試料については、名古屋大学・年代測定総合研究センターの加速器質量分析計（AMS）を使用して測定することを考えている。さらに最近、樹齢400年の杉の年輪を入手し、マウンダー極小期に関する測定の準備も開始している。

シュペラー極小期の年輪試料の測定は今年中に完了する見込みである。果たしてどのような周期性が見えてくるのだろうか。過去の太陽活動は現在と違うのか、地球の気候と関連があるのかといった問題の解答を期待している。

極域熱圏のダイナミクスとモデリング

品川裕之（総合解析部門）

地球の大気圏は、高度とともに温度が変化し、その温度変化の特徴から、下から対流圏（高さ0 - 10 km）、成層圏（10 - 50 km）、中間圏（50 - 90 km）、熱圏（90 km以上）と呼ばれている。このうち対流圏と成層圏については、地上からの観測や、航空機、気球を用いた観測によって物理・化学過程がかなり詳しく調べられてきた。これに対して中間圏と熱圏は観測が非常に難しく、その大気がどのように運動しているかはまだよく分かっていない。熱圏は地球大気と宇宙空間の境界領域であり、この領域を正しく理解することは、電離圏-磁気圏相互作用の研究や、中層大気の微量成分の分布を研究する上でも非常に重要である。特に、熱圏の上下方向の風（鉛直風）は、小さい速度でも中性大気の組成や電離圏の構造に大きな影響を及ぼすため、精密な測定が必要とされてきたが、水平風に比べ測定が難しく、最近までほとんど定量的なデータが得られていなかった。

しかしながらこの数年、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、高精度の鉛直風の観測が可能となってきた。最近のファブリ・ペロー干渉計を用いた光学観測では、高緯度地方の熱圏において、10 - 100 m/sの非常に大きな速度の鉛直風がしばしば観測されている（図1）。さらに、オーロラ領域付近では鉛直風の大きさは、高度110 km付近で50 m/s程度、高度250 km付近では100 - 400 m/sにも達するという驚くべき報告もある。また、欧州非干渉散乱

（EISCAT）レーダーの観測でも、熱圏大気における鉛直運動の影響によると思われる50 - 100 m/s程度のイオン運動が観測されている。このことは、極域の熱圏では、水平風に匹敵するほどの大きな鉛直風が起きていることを強く示している。鉛直風の観測はまだかなり誤差があると考えられ、100 m/s以上の鉛直風の存在については疑問の余地もあるが、複数のグループが独自に観測を行い大体同じ結果を得ていることから、相当大きな鉛直風が実際に存在しているのは間

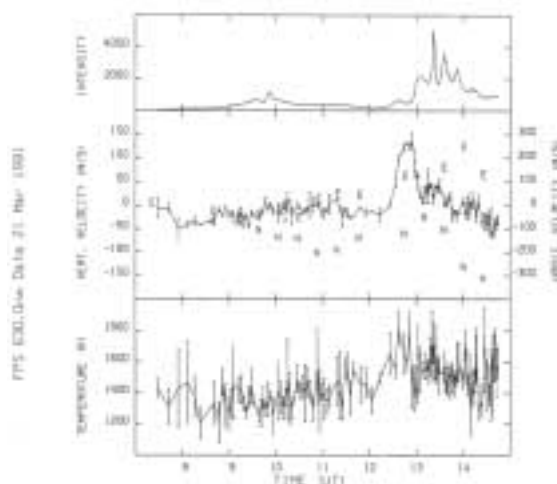


図1 熱圏鉛直風の観測例（Price et al., 1995）。1991年3月21日にアラスカのボーカーフラットでファブリ・ペロー干渉計によって観測されたもの。波長は630 nmで、熱圏の250 km付近の状態を反映していると考えられる。[上段]光子数で表した相対強度。[中段]実線が鉛直風の速度。“N”、“E”はそれぞれ北、東方向の水平風を表す。[下段]中性大気温度。

違いはないであろう。鉛直風の原因としては、オーロラ活動に伴うジュール加熱やオーロラを引き起こしている荷電粒子による大気加熱、イオンと中性粒子間の運動量のやりとり（イオンドラッグ）などが考えられているが、高度とともに温度が上昇する熱圏大気は基本的に安定で、100 m/sという高速の鉛直風を起こすのはそう簡単なことではない。

熱圏にこのように大きな鉛直風が存在すると、これまでの熱圏大気モデリング方法を再検討しなければならない。現在までに開発されたほとんどのモデルでは、熱圏大気は静力学平衡（静水圧平衡）にあると仮定し、鉛直方向に圧力座標を用いた方程式系を用いている。この方法の利点は、比較的少ない計算量で3次元大気のシミュレーションを行うことができ、熱圏の大規模な構造を再現できることである。また、間接的にはあるが鉛直風を導出することも可能である。このモデリング方法は、これまで開発された熱圏大規模モデルで採用されており、熱圏の大規模な構造の代表的・平均的状態を調べる上で成果をあげてきた。しかしこの手法が有効なのは、水平方向の擾乱スケールが鉛直方向の擾乱スケールに比べて十分に大きく、現象の時間スケールが、プラント・パイサラ周期（熱圏で10分程度）より十分大きい場合のみであることに注意しなければならない。空間的に小さい水平スケール（200 - 300 km以下）の構造や30分程度以下の現象は、正確には扱うことはできない。さらに、もし小規模構造あるいは短時間の現象が大規模な構造に影響を及ぼしているとすると、大規模構造や長時間の現象も正確には再現できていないことになる。言いかえれば、静力学平衡近似に基づくモデルは激しい擾乱現象を再現することはできないことになる。

時間・空間スケールの小さい熱圏擾乱を正しくモデル化するためには、鉛直方向の運動量方程式も含めた非静力学平衡モデルを用いる必要がある。我々は、熱圏大気の非静力学平衡・圧縮性大気モデルを独自に開発し、最近の地上観測の結果と比較することにより、観測されている小さなスケールの熱圏大気運動、特に、オーロラ活動に伴う局所的で短い時間スケールの熱圏風の変動メカニズムを調べている。このモデルでは、時間を含んだ流体の式を差分法を用いて解き、質量・運動量・エネルギー輸送過程に

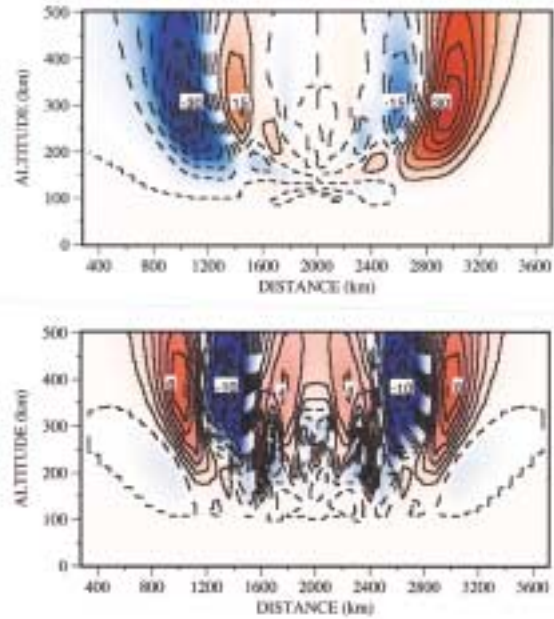


図2 2次元非静力学平衡モデルで得られた熱圏風の構造。横軸の2000 km付近を10分間加熱したときの、加熱開始から30分後の様子を示している。[上段] 水平風（赤は右向き、青は左向きの速度）[下段] 鉛直風（赤は上向き、青は下向きの速度）

重点を置いて、急激な時間・空間変動も正確に取り扱えるような計算方法を採用している。これまでに2次元局所モデルと3次元モデルの開発を行い、代表的な場合について熱圏のふるまいを調べてきた。熱圏中で局所的に加熱が起きると大気が膨張し、まず加熱源で上昇流が作られた後、大気重力波が生じて水平方向に伝搬していく。伝搬するにつれて重力波の水平波長は大きくなり、鉛直風は次第に小さくなっていくようすが、モデルによって再現された（図2）。

しかしながら、現実には観測されているオーロラアーク（オーロラのカーテン）周辺における熱圏風の時間的・空間的変動は極めて複雑である。擾乱時の熱圏大気は、単純にオーロラの加熱に伴う変動だけでなく、（1）加熱源の時間・空間的変動、（2）別の領域から伝搬してきた重力波の影響、（3）背景風と重力波との相互作用、（4）重力波同士の相互作用、などで支配されていると思われる。したがって、モデルの入力、すなわちジュール加熱率や電子密度の空間構造、時間変化をどのように入れるかが大きな問題となる。

EISCATレーダーの観測では、電離圏プラズマの物理量が求められており、ジュール加熱率、電子密度、プラズマ温度などの観測量を熱圏・電離圏モデルに与えることができる。この観測

データを用いたモデル計算の結果と、EISCATで測定されたプラズマ速度やファブリ・ペロー干渉計による中性粒子速度を比べることにより、熱圏ダイナミクスを定量的に調べることができる。また、オーロラアークの位置に関しては、地上の全天カメラによる観測が有用である。観測では、アークによって生成されたと思われる15 - 40分周期の磁力線方向のイオン振動がしばしば観測されている。これに対してモデルでは、アークの通過に伴って、下流側で熱圏鉛直風の振動（周期15分程度）と、それによって引き起こされるイオンの磁力線方向の振動が生成される。また、急激な加熱率の上昇が起こる場合、モデルでも周期30 - 40分の重力波が発生し伝搬する。このことは、観測される熱圏鉛直風は、アークの移動効果と加熱率変化の両方によって支配されていることを示している。我々は、上記、非静力学平衡熱圏・電離圏モデルを用いて、オーロラアークが移動する場合の熱圏・電離圏ダイナミクスを調べた。その結果、アークが移動する際には、アークが固定されている時よ

りも複雑な熱圏風が引き起こされることが分かった。特にアークの下流側で顕著な波状構造が形成される。

鉛直風の速度に関しては、10 - 30 m/s程度の比較的小さい鉛直風はジュール加熱やイオンドラッグによる生成機構で説明ができると思われるが、100 m/sを越えるような“超高速鉛直風”については、通常の加熱やイオンドラッグでは説明が困難である。エネルギー的に考えると、やはりバックグラウンドの大規模な水平風、すなわち背景風とオーロラ領域の風系との相互作用によって局所的に複雑な風系が形成され、それによって鉛直風が生成されていると推定される。また、逆に局所的な風がグローバルな風系に影響を及ぼす可能性もある。今後、(1)超高速鉛直風の生成メカニズムは何か、(2)どのような条件で発生するのか、(3)その空間・時間スケールはどのくらいか、(4)熱圏・電離圏のグローバル構造にどのような影響を及ぼすのかなどに関して、各種観測データの解析とモデリングによる研究の両面から調べていく予定である。

オゾンホール・地球温暖化の問題が明らかになって以来、地球環境研究の重要性が大きくクローズアップされてきました。これは地球物理学という学問の中での新しい流れを表しています。太陽地球環境研究所もこの流れの中にいるわけですが、その中の一研究者として感じることを書いてみました。

地球物理学はもともと物理学の応用として発達してきた学問分野です。「実験」という手法で物理過程を証明していったそれまでの物理学とは違い、地球物理学は「観測」という、自然と直に向かい合う手法で研究を進めてきました。実験のようにまわりの状態をコントロールできるわけでもなく、地球規模とか太陽系スケールといった、人間の大きさに比べてはるかに大きなスケールで起きている自然現象を、いろいろな器械を使ってさまざまな場所で測定し、全体像を想像してきたわけです。しかし根本にあるのは物理学と同じで、「なぜ」その現象が起こるのだろうか、という疑問に答えたいためでした^(*)。

しかし、新しい流れとなっている環境科学は、天気予報のように私たちの生活環境に直接結びついている面があり、「なぜ」を超えて、「どうすれば」「どうなるか」といった面を重要視するので、時には発

端である「なぜ」を考えずに結果を求めることもありえます。例えば宇宙天気予報の手法の1つとして使われはじめているニューラルネットワークは、あるイベント（例えば太陽フレア）が起きたときの将来（例えば磁気嵐が発生・発達するかどうか）を予測する手法ですが、過去の膨大なデータをコンピュータに覚え込ませてパターン化し、予測を行うので、途中の物理過程を考慮に入れる必要は必ずしもない

のです。乱数（ランダム変数）を使って結果を予測するコンピュータシミュレーションにも、こういう側面があります。

理学研究科の出身者は、「なぜ」が分からなければ分かった気がしないので、前述のような環境科学の新しい流れには疑問を感じることもあります。しかし人間活動が地球環境に直接影響を及ぼすようになった現代では、地球物理学という学問もこの新しい流れと無関係ではいられないでしょう。どうすれば分かったと言えるのか、どうすれば分かりやすく説明できるのか、「なぜ」を追求するだけでよいのか、いろいろ考えながら研究を進める毎日です。

塩川和夫（電磁気圏環境部門）

^(*) 朝永振一郎 「物理学とは何だろうか？（下）」（岩波書店）参考

編集部より：この新コーナー「たらの芽」（研究所敷地内でもとれる春の山菜。桜が散ったあとに出てきます）は隔号でお送りし、自由なコラムとする予定です。皆さんからの投稿をお待ちしております。



The First S-RAMP Conference開催される

太陽-地球間のエネルギーの流れ及び変換過程は複雑に絡み合っており、エネルギーの貯蔵/解放に伴う非線形現象が至るところで見られます。オーロラの色や動き、磁気嵐の段階的発達、サブストームの突然の開始、磁気圏/電離圏プラズマ対流などによって引き起こされる高層大気のダイナミックなプロセスは、そうした複雑なエネルギー変換過程の最終結果です。太陽から地球までを1つのシステムと見なし、その中の各領域で起きている現象を総合的に捉えることが必要です。

太陽地球環境Solar-Terrestrial Environment分野では、人工衛星、地上観測、モデリング/シミュレーションを主たる手法とし、太陽と地球の関係を定量的に理解する目的で、S-RAMP (STEP-Results, Applications and Modeling Phase) という国際プロジェクトが実施されています。STEPはSolar-Terrestrial Energy Programの略で、1990 - 1997年に行なわれた太陽地球系エネルギー国際協同研究計画であり、この国際事業を機に当研究所が設立されたことはご存じの通りです。

国際学術連合 (ICSU) 傘下にある太陽地球間物理学連合委員会 (Scientific Committee on Solar Terrestrial Physics, SCOSTEP) 主導のこのS-RAMPプロジェクトは、1998年1月1日から2002年12月31日までの5ヵ年国際共同研究です。この国際プロジェクトでは、計2回の国際会議が開催されることが合意され、SCOSTEP内に設けられたS-RAMP運営委員会 (委員長 D. N. Baker) から、第1回目を、リーダー国の1つである日本で開催するよう強い要請がありました。第2回目は、米国で開催することがすでに決定しています。

この要請を受けて、当研究所と京大宙空電波科学センターが中心になり、10月2日 (月) - 6日 (金)、札幌市でThe First S-RAMP Conference (日本語で第1回太陽地球間現象国際会議と呼ぶことに決めました) が開催されました。共催/後援は、SCOSTEPの他に、宇宙空間研究委員会 (Committee on Space Research, COSPAR)、国際地球電磁気学・超高層物理学協会 (International Association of Geomagnetism and Aeronomy, IAGA)、国際電波科学連合 (International Union of Radio Science, URSI) などの国際学術団体に加え、国内の地球電磁気・地球惑星圏学会、日本天文学会、日本惑星科学会、日本気象学会で、また文部省からCOE国際シンポジ



活発な議論が続いた全体会議 (上) とシンポジウム (下)

ウムの認定を受けました。組織委員長として、当研究所の上出所長と京大宙空電波科学センターの松本教授 (URSI President, 地球電磁気・地球惑星圏学会会長) が会議全体の指揮をとり、大村委員長 (京大) によってリードされた国際 Scientific Program Committeeによって、太陽から中性大気までのトピックスを広くカバーするようプログラムが組みられました。

国内の実行組織にもall Japan体制で当たり、スムーズな運営ができました。京大の荒木教授をヘッドとするLocal Organizing Committee (LOC)、北大の渡部教授を中心とした、北大/東北大のLLOC委員の皆様には大変な努力をしていただきました。

会議は、ロイトン札幌 (口頭発表)、札幌メディアパーク (ポスター発表) の2カ所で行なわれ、予想をはるかに上回り、世界40カ国から計581名



広々としたユニークな環境のもとで行なわれたポスターセッション

(うち日本人は213名)が登録・参加しました。「太陽から地球大気まで」の幅広い研究成果が、3全体会議、19シンポジウム、夜に行なわれた3ワークショップで、5日間にわたり750件の口頭/ポスターによって発表されました。会議のハイライトは、太陽定数と地球の天気、宇宙科学における理論と観測、宇宙天気、太陽活動と磁気嵐、太陽風と電離層プラズマ対流、オーロラの大規模/小規模変動、磁気圏内の波動、人工衛星異常、超高層大気変動など、多岐にわたりました。

初日の歓迎パーティには桂札幌市長が出席され、磁気嵐/オーロラ、オゾン研究と北海道の関係の重要性を強調されました。同パーティでは、札幌市の子供たちによる和太鼓や、外国人による相撲の土俵入りアトラクションという興奮的一幕もありました。期間中、水曜日午後には、札幌市近郊の広大な土地にある北海道開拓



歓迎パーティーでの土俵入り



札幌ビールとバーベキュー

記念館へのエクスカージョン、続く札幌ビール園での“all you can eat and drink”のバーベキューもあり、参加者は学問と食欲の秋を大いに楽しんだようです。

会議終了後現地で行なわれた太陽地球間物理学連合委員会の理事会でも、サイエンスのレベル、運営の効率のよさが高く評価されました。会議のまとめは、Elsevier Science社の専門誌Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physicsに発表される予定です。なお、同国際会議は、北海道、札幌市、札幌国際プラザ、万博協会、AOARD (Asian Office of Aerospace Research & Development)、JR北海道、札幌テレビ放送、ロイトン札幌、富士通からの援助も受けましたことを記しておきます。

「STE研将来計画シンポジウム」

表記シンポジウムを開催します。シンポジウムの目的は、創立以来10年間の研究所の活動を総括し、さらなる発展へ向けた将来計画策定のため、研究所内外からの意見を交換することにあります。所外から多くの方々にご参加頂き、広くご意見を頂きたいと思えます。

「太陽地球環境の構造と動態の研究」を目的として、1990年6月、当研究所が名古屋大学附置の全国共同利用研究所として設立されて10年が経過しました。太陽圏から大気圏までを1つの系とみなして、そのシステムでのエネルギーと物質の流れを研究する当研究所は、大型装置を保有せず、特別設備クラスの地上観測装置を用いた観測と総合データ解析/モデリングから国内外の研究者と連携して太陽地球環境の研究を行って参りました。

本シンポジウムでは、まず当研究所からこの10年間の研究活動の総括を報告し、検討課題と

今後10年間の将来計画を提案します。続いて、所外から太陽地球環境科学の国際的視野の中でSTE研が担うべき役割は何か、研究所の活動の自己点検に対する評価、STE研に要求・期待することなど様々な立場からご意見を述べてもらうこととなります。これらの討論の中から、STE研の将来計画の骨子が明確になることを期待しております。

多くの方が本シンポジウムに参加され、討論に加わって頂きたいと考えております。参加ご希望の方は、当研究所シンポジウム担当(共同利用委員長・荻野)までご連絡下さるようお願いいたします。旅費ご希望の方もご連絡ください。

「STE研将来計画シンポジウム」

日時：11月13日(月)午後1時から

- 14日(火)午後4時まで

場所：名古屋大学シンポジオン

PSMOSワークショップに参加して

江尻 省（電磁気圏環境部門）

2000年5月22 - 28日、PSMOSワークショップに参加するため、トロント（カナダ）に行ってきました。PSMOSは、中間圏界面領域の大気力学現象を光学・電波を用いた観測装置によってグローバルに観測するために、98年から5ヵ年計画で始まった国際共同観測計画で、今回のワークショップはその中間報告です。PSMOSの初期報告会（DYSMER）は2年前に京都で行われ、これが私の学会デビューでした。当時M1だった私は、集まっている人々が著名な研究者達であることに気づくこともなかったため、ほとんど臆することなく発表できました。しかし、今回の発表はそうはいきませんでした。講演プログラムに連なる名前は、どれも論文で何度となく見かけた名前ばかり！さらに、このワークショップはこの分野で最先端に行く研究集会であり、発表の前にちょっぴり逃げ腰になってしまいました。

今回の私の発表は、CCDカメラを用いた大気光の観測で、中間圏界面付近に見られる微細な波構造について、2地点での同時観測データを使って高度を決定した結果に関するものでした。これは、画像データに見られる波構造のうち、水平構造がもっとも小さいものが、鉛直方向にはどれほどの広がりを持ち、どのような伝搬をしているのか、といったことに興味を抱いて行った研究なのですが、予想以上に評判が良く、多くの研究者から貴重なコメントと、「論文になったら送ってください」という光栄なお言葉をいただきました。また、CCDカメラでの観測を世界に先駆けて行ったことで有名なM. J. Taylor先生には、「論文にするまでは発表内容のコピーを渡してはいけないよ」との教えもいただき、研究も競争なのだということを改めて思い知らされました。

非常に個人的な話題ではありますが、私の中でのビッグイベントは、C. O. Hines先生と二人きりの写真を撮らせていただいたことです！Hines先生と言えば、大気重力波理論の創始者とも言



C. O. Hines先生と並んで撮った写真

うべき人で、1960年の彼の論文は非常に有名です。大気波動の研究をしていてこの論文を知らない人はいないでしょう。あまりの感激に、Hines先生に自己紹介をただけで終わってしまったのがとても残念です。

今回のワークショップでもっとも驚いたことと言えば、僅かながらも耳が英語に慣れたことです。4日間のワークショップで、初めは英語が雑音にしか聞こえないことが度々あったのですが、疲労が極限に達した3日目の午後、突然それらが雑音ではなく言語として聞こえるようになったのです！もちろん、だからといって100%理解できるようになったわけではありません。しかし、英語があまり得意でない私にとっては驚異的な現象でした。この時は、「ひょっとしたら、これで私の英語の聞き取りも改善されるかも！」と、かなり期待したのですが、世の中そんなに甘くはありません。夕食時にはすっかり元の状態に戻ってしまいました。おそらく、蓄積された疲労が一時的に多量の脳内ホルモンの分泌を促し、ランニングハイならぬヒアリングハイの状態になったのでしょう。今回、こうして英語にあまり耐性の無い私の脳でもヒアリング能力を伸ばせる可能性が示されたわけで、私にとっては貴重な、そしておもしろい体験でした。

Building an International Community

T. G. Onsager, Visiting Associate Professor
NOAA/Space Environment Center, U.S.A.

This is currently a very exciting time for space physics research. Throughout the broad international community, new data are being obtained, computer modeling capabilities are improving, and our understanding of the basic processes occurring in space plasmas is advancing. In addition, much of our research is being motivated by important practical applications as our society increasingly relies on satellites and as we travel into space more and more. As research progress is made around the world, a major challenge is to coordinate these advances and encourage worldwide collaboration. How do we all benefit from the great variety of activities occurring worldwide and build on each other's achievements?

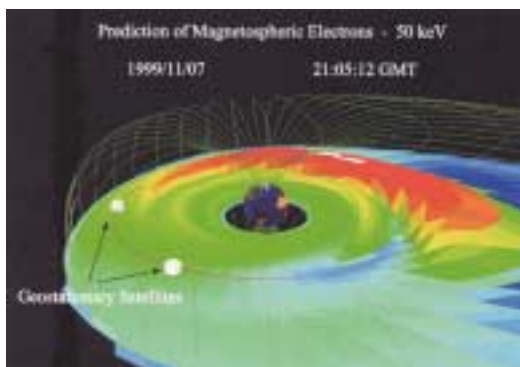
Japan is certainly one of the world leaders in space plasma physics research, and in particular in the study of solar-terrestrial relations. Within Japan, the Solar-Terrestrial Environment Laboratory (STEL) is one of the major laboratories for space plasma research, with strong programs in data analysis, computer simulation, and theory. But what has also strongly impressed me during my stay at STEL is the effective concentration on motivating and organizing international collaboration. The broad spectrum of research areas and new ideas that are actively pursued by STEL scientists is fostered by the support and openness to scientists from all over the world.

The international STEL staff, the international students, and researchers supported by the Visiting

Faculty program all benefit by working together in a collaborative environment of great diversity. During my short three-month visit to STEL, I interacted with researchers from Canada, Korea, Brazil, and of course Japan. In our discussions, the ideas of scientists from a wider range of countries who had visited STEL previously also often entered our conversations. Through these extended interactions, ideas are shared and new directions are pursued in a manner that is far more effective than our typical exchanges through publications, email, and scientific conferences.

One specific focus of international collaboration at STEL is on the development of GEDAS, a computer simulation, data analysis, and visualization system. This system will allow researchers throughout the world to test their theories, develop improved numerical models, and provide tools for further research and for practical space weather applications. An example of the output from one of the models (developed at Rice University) available in GEDAS is shown in the Figure. A great number of satellites operated by countries throughout the world are located in various orbits within the magnetosphere. Therefore, the information provided by models such as this also has a large practical value for assuring the health and safety of our spacecraft and of the international community that relies upon them.

My brief visit to STEL has been a remarkable experience. I was exposed to a great number of new research ideas, I had the opportunity to concentrate on my own research, and I had the great pleasure of enjoying the foods, sights, and hospitality of Japan. I cannot express just how appreciative I am for the help and kindness of the staff and visitors at STEL who made my visit so enjoyable and productive. I am grateful that I have been able to be a member, if only for a short time, of this group. The international environment and the constant exchange of visitors at STEL is an effective approach toward meeting the challenge of worldwide collaboration and to building a truly international scientific community.



Model output showing the intensity of energetic electron fluxes in the inner magnetosphere during a large geomagnetic storm.

A Very Fruitful Time at STEL

Y. Sahai, Visiting Professor

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brazil

I am very grateful to Dr. K. Shiokawa for kindly arranging a visiting assignment for me to work at this well-known and prestigious research center. It so happened that during one of my visits in 1999 to the University of Calgary in Canada, I saw, on a website related to an international cooperative program, some of the nightglow imaging observations carried out from Rikubetsu and Shigaraki in Japan by Shiokawa-san and his colleagues. I was very much impressed by the extensive latitudinal coverage which these stations were providing for studies related to thermospheric dynamics. Also, it appeared to me that the presence of gravity waves at mesospheric heights was very frequent in this region. I wrote to Shiokawa-san inquiring if it was possible to have an access to the airglow imaging observations obtained by his group. It was a pleasant surprise to me when Shiokawa-san replied to me indicating that he was aware of some of my publications and would be willing to consider the possibility of my visit to STEL in the year 2000. I joined STEL on April 1, 2000 on a six-month assignment and have been working in Division 2.

From 1960 - 1971, I was associated with teaching and research in the Department of Applied Physics and Technology, University of Allahabad in India. In April 1971, I moved to Brazil to join the National Institute for Space Research (INPE) and retired from there in December 1998. Between 1972 - 1991, I headed the airglow group of INPE and was associated with development of several ground-based airglow observational facilities including all-sky imaging. In 1974, I started the ground-based monitoring program for atmospheric ozone in Brazil. From 1992 - 1994, I

was a visiting scientist in the Department of Physics and Astronomy, University of Calgary. My research activities encompass the areas of airglow, ionospheric physics, atmospheric ozone and UV radiation. I served the International Ozone Commission as a member between 1980 - 1988.

This is my second visit to Japan. I was here in 1998 to attend the COSPAR meeting held in Nagoya as the Brazilian national representative. During my visit to STEL, I participated in analyzing the F-region OI 630 nm nightglow images from Rikubetsu and Shigaraki with complementary ionospheric sounding and Global Positioning System total electron content data obtained from different locations in Japan. The objective was to study the ionosphere-thermosphere coupling at middle latitudes during magnetically disturbed and quiet conditions. I would like to point out that the data sets from observations carried out by STEL and complementary observations from other institutions in Japan were available in a very organized way. This has been very helpful. Also, the library facilities are very good. I feel I had a very fruitful and productive time at STEL. I had the opportunity to participate in the Japan Earth and Planetary Science joint meeting held in Tokyo in June, 2000 and attended regular seminars organized by Division 2. From the presentations at the Tokyo meeting and seminars, I feel that there is a relatively good investment in space science in this country. This is very positive and encouraging. Also, it appears to me that there is an excellent atmosphere of active collaboration among different scientific groups in Japan.

Before ending I would like to convey on behalf of myself and my wife Mrs. Manju Sahai, our grateful thanks to the staff at STEL for the kind help, support, and hospitality offered to us during our visit. It has been a great pleasure for us to have been here and we carry with us excellent memories of the time spent at Toyokawa.



Talking with a student at Shigaraki

新任スタッフあいさつ

さこ隆志（太陽圏環境部門 助手）

6月1日付けで太陽圏環境部門の助手に赴任しました。学部4年生から学位取得までいた研究室にまた所属することになったので、「なんだ、さが戻って来たのか」とがっかり(?)される方がいるかもしれません。そう言わず、今後ともよろしくお願いします。

1998年3月に超高エネルギーガンマ線天文学の実験（CANGAROOという日豪共同研究）で学位をとった後、7月から約2年間、フランスのエコールポリテクニクという理系専門大学でポスドク研究員として再びガンマ線天文学の実験（CELESTE）に携わっていました。98年7月のフランスと言えば、そう、時まさにワールドカップ決勝トーナメントの真最中。日に日に熱狂してくるパリの街。フランス語も分からず、初めての一人暮らしでとまどう自分。いろいろなトラブルもあって不安だらけでスタートした生活でしたが、どうにかなるもので、生活、研究ともに有意義な2年間をおくることができました。今後学位をとる人達には、外国のポスドクにもどんどん挑戦してもらいたいものです。



南仏セリニヤン村のファーブルの家で。一緒に写っているおじいさんはそこを管理しているファーブルの孫。

私の趣味は、「昆虫採集」です。子供の頃から特に蝶を中心に採集してきて、大学時代は八重山諸島に毎年通い続けました。ただ採ることよりも、生き物のいる環境を自分の足で歩くことが楽しいので、バードウォッチングもすれば、釣りも、ダイビング（おもに素潜り）もします。東山分室周辺は非常に自然に恵まれており、以前から、周囲の人達への生き物洗脳活動には精をだしてきました。今後も怠りません。

太陽圏環境部門はもちろん、研究所全体が以前に比べて学生数も増え、一層活発になってきているように思われます。「古巣に戻った」利点を生かし、同時に「新入り」として新しいことをどんどん吸収して、それらを研究に還元できるようにしていきたいと考えています。

湯田利典（太陽圏環境部門 教授）

東京大学宇宙線研究所に25年間勤務し、この8月1日からここにお世話になることになった。故関戸先生等が宇宙線の点源を求めて建設した東山のドーム状の建物は、修士課程の最初の1年間を過ごした懐かしい場所である。高校生の時、関戸先生が書かれた“オリオン座の方向に宇宙源を発見か？”という「信濃毎日新聞」の記事を読み、何となくロマンを感じて名古屋大学理学部に入学した。山の上に聳える白いド-



北京、天安門前にて

ムは東山キャンパスの象徴的存在であった。大学院に入学した当時は、このドームの宇宙線観測装置の使命もほぼ終わり、これを将来どうするか、すなわち研究室（H研）で将来何をやるかをめぐって、理学部の旧木造建物の中で関戸、長島両先生を中心に喧喧諤諤の議論が毎日夜遅くまで行われていた。そんな雰囲気と研究の方向に馴染めず、1年そこそこで飛び出し、別の新しい研究室（湯川先生が命名した渾沌研）へ移ってしまった。昔の研究室はその後太陽地球環境研究所の太陽圏環境部門の一部となり、村木先生を中心に新しい研究が行われている。しかし、主要なテーマはやはり宇宙線の起源に関わる研究である。

ここ10年間は中国と共同でチベットに世界最高感度の空気シャワー観測装置を設置し、高エネルギーガンマ線源の探索等宇宙線の起源、加速に関わる研究を続けている。1998年からは、村木先生等と共同でチベットに太陽中性子望遠

鏡を設置し、身近な太陽で宇宙線の加速現場を捉える研究も始めている。この装置では、10 TeV領域の宇宙線の到来方向を1度より良い精度で測ることができる。視直径約0.5度の太陽による銀河宇宙線の遮蔽効果も検出できる。実際、チベットの観測装置により世界で初めてこれを観測した。この遮蔽効果を用いて太陽近傍の磁場の観測ができることは、1954年に米国の

クラークにより指摘されていた。関戸先生も同じ考えを持っていたという。しかし、当時の装置の性能ではとても実現不可能なことであった。信州大の森先生いわく、もし、関戸先生が生きていたら涙を流して喜んだかもしれない、と。結局のところ、関戸先生が追っかけた夢を別の方法で追っかけているような気がしている。

STELニュースダイジェスト

STEシミュレーション・モデリング合同研究集会開催

当研究所の研究集会、中村匡代表「スペースシミュレーション研究会」と家森俊彦代表「磁気圏ストーム・サブストームにおける観測とモデルの整合性」を合わせたSTEシミュレーション・モデリング合同研究集会が8月22 - 24日、京大大会館で開催されました。全国からスペースシミュレーション研究者とストーム・サブストーム研究者が60名以上集まり、天文・核融合・情報科学分野の招待講演も設けられて、関連分野の進展をレビューし、意見交換を行いました。講演では、大振幅衝撃波による粒子加速、大気重力波とARPS計画、サブストーム開始機構はGEOTAIL衛星観測からどこまで分かったかなどの発表に加え、パルサーでの宇宙ジェットはコリメートするか、月の形成では巨大衝突しか考えられないのか、情報視覚化のユーザインターフェイス最前線など多様な分野の興味ある話題が発表され、熱気のある議論が聞かれました。講演内容に関しては、集録が作成される予定です。

若手研究者による研究集会が開催される

当研究所の共同利用研究集会の1つである「シンポジウム - 太陽地球環境研究の現状と将来」は、地球電磁気・地球惑星圏学会関連の大学院生や若手研究者が集まる夏の学校の一部として、2000年7月17 - 19日に国立中央青年の家（静岡県御殿場市）で開催されました。参加者は約70名で、7つの分科会（電離圏熱圏結合・大気圏、磁気圏A、磁気圏B、電離圏磁気圏結合、惑星、太陽圏、観測手法）に分かれ、それぞれのトピックスに関するレビューや研究発表をしました。初日は惑星科学会の若手研究者による夏の学校との共催。若手研究者間の交流がはかられました。

木曾観測施設一般公開

夏の恒例行事になっている当研究所の木曾観測施設（太陽風観測装置）の一般公開が、8月5日に実施されました。この一般公開は、隣接する東京大学木曾天文台と協同で行われるものです。教官と大学院生総勢11名の太陽風グループ（太陽圏環境部門）は前日から木曾に泊まり込んで準備をし、当日は来訪者への説明に当たりました。5日の午前中の天気は快晴で、絶好の公開日和でしたが、午後になって激しい雷雨と

なり、公開は早めに終了。天候には恵まれませんでしたが、約40名の来訪者がありました。その大半は家族連れで、ふだんは目にする機会のない数々の観測機器を珍しそうに眺めていました。中でも小さな子供たちには、巨大なアンテナが軽やかに動くようすがとても興味深かったようです。

名大祭研究所公開に参加

名大祭期間中の6月11日にSTE研東山分室が一般に公開されました。各研究室の研究内容が紹介されたあと、ラマンライダー、オーロラ観測装置、宇宙線望遠鏡の見学、スパークチェンバーを使った宇宙線の観測、C14による年代測定器の公開など盛りだくさんの内容でした。

2000年度非常勤講師

岩上直幹

東京大学大学院理学系研究科 助教授

担当科目：中間圏及び電離圏・熱圏下部の物理化学過程
河村 隆

北海道大学低温科学研究所 教授

担当科目：エアロゾルの科学

異動

[教官]

2000.6.1 採用 助手 さこ隆志

〔エコールポリテクニク（フランス）研究員から〕

2000.8.1 採用 教授 湯田利典

〔東京大学名誉教授から〕

[招聘客員研究員]

2000.6.1 - 8.31 客員助教授 Onsager, Terrance G.

〔米国立海洋大気局宇宙環境センター 部門主任〕

2000.8.1 - 11.30 客員教授 Atkinson, Gerald

〔プリティッシュコロンビア大学（カナダ） 教授〕

編集後記

STE研の秋は黄金色。敷地内に見事な銀杏の木があり、美しく色づくから。ところで、「季下に冠を正さず」ならぬ「銀杏下に車をとめるべからず」とはここで得た教訓。眺めて美しい銀杏も落ち葉となって車の上に積もれば厄介者。路上に落ちて潰れた実は独特の臭気を放つ。かくして夏の間もてはやされた木陰の特等駐車スペースは、秋には三等席となる・・・。（渡辺）