



## 2004年12月26日のスマトラ沖地震による電離圏の変動

大塚 雄一（電磁気圏環境部門）

2004年12月26日、インドネシア・スマトラ島の西方沖でマグニチュード9.3の巨大な地震が発生した。ご存知のように、この地震によって起こった津波は、周辺諸国の沿岸域で多大な被害をもたらし、地球の反対側にまで到達した。実はこの地震では、津波だけではなく“大気の波”も引き起こされ、高度300 km上空の電離圏にまで届いていたことが明らかになった。

GPS (Global Positioning System; 汎地球測位システム) を用いて、電離圏のプラズマ密度を測定することができる。GPSは、カーナビ(カー・ナビゲーション・システム)などに使われている。これは、高度約2万 kmを飛翔するGPS衛星から送信された電波を利用して、地球上での現在位置を測定するために開発されたものである。しかし、この電波は、地上に届くまでにプラズマが存在する電離圏を通るため、10 m近い測位誤差が生じることもある。したがって、精密な測定を行うためには、電離圏を通過する際に受ける影響を取り除く必要がある。電離圏による影響、つまり“伝搬遅延”の量は、電波の周波数によって異なるため、2つの周波数の電波を受信し、その違いから求めることができる。また、電離圏による影響だけを取り出すことによって、電離圏プラズマの量を測定することができる。このプラズマの量は、衛星から受信点までの電波の通り道に沿ったプラズマ密度の足し合せ(積分値)であることから、

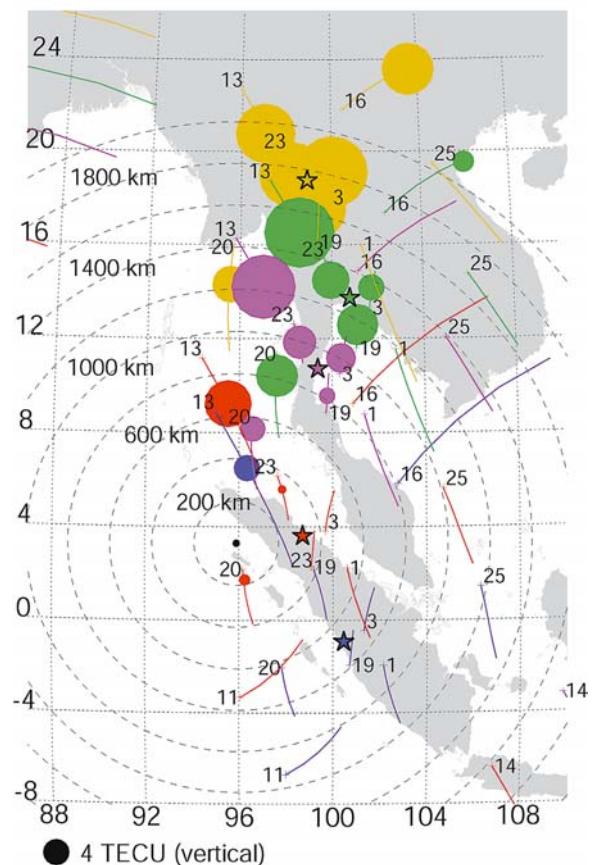


図1 震央の位置(3.3°N, 95.9°E)とGPSで観測された全電子数変動の位置を示す地図。同心円の点線は、震央からの距離を示す。5ヶ所のGPS受信機の位置は、星印で示す。図中の色のついた曲線は、地震発生直後の1:00から1:30 UTの間にGPSによって観測された位置を示す。この時、各受信機において9基の衛星(衛星番号1, 3, 13, 16, 19, 20, 21, 23, 25)からの電波が受信されていた。曲線上にある円の大きさは、全電子数の大きさを表す。

全電子数 (Total Electron Content; TEC) と呼ばれる。

この研究では、まず、インドネシアのスマトラ島の2ヶ所 (サンパリ、パダン) とタイの3ヶ所 (チュンポン、バンコク、チェンマイ) に設置されたGPS受信機のデータを解析し、スマトラ沖地震直後の全電子数の変動を調べた。そのうちのスマトラ島北部のサンパリにあるGPS受信機データは、SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) が公開しているものを用いた。一方、パダンのGPS受信機は、文部科学省特定領域研究「赤道大気上下結合」の一部として赤道大気を観測するため、インドネシア航空宇宙庁 (LAPAN) の協力を得て、2002年に当研究所がパダンのアンダラス大学に設置したものである。また、タイの3ヶ所のデータは、情報通信研究機構から提供して頂いた。今ではスマトラ島およびその周辺の諸国には、スマトラ沖地震の余震等を調べるために多くのGPS受信機が設置されているが、当時は数が少なく、このGPS受信機もスマトラ沖地震やその後の余震活動による地殻変動を調べる貴重なデータにもなっている。

さて、スマトラ沖地震の後の全電子数を詳しく調べた結果、地震が発生した2004年12月26日00:58 UTの14分後から30分後までの間に、10分から30分程度の時間スケールをもった全電子数の変動が起こったことが明らかになった。この全電子数の変動は、震央の位置 (北緯3.3度、東経95.9度) から秒速約2 kmで広がり、2000 km以上離れたタイ上空まで伝わった。図1に、地震の震央と観測された全電子数変動の大きさを表す地図を示す。図中の星印はGPS受信機的位置を表し、実線は01:00から01:30 UTの間にGPS電波で観測できる電離圏の位置を示す。一台の受信機によって同時に9基のGPS衛星からの電波が受信されており、5台の受信機によって約40ヶ所が同時に観測された。また、図中の円の大きさで、観測された全電子数変動の振幅を示す。図から、震央よりも北側では、2 - 7 TECU (1 TECU=10<sup>16</sup>/m<sup>2</sup>) の全電子数の変動が見られること、震源の近くよりも2000 km以上

離れたタイ上空の方が変動が大きいことが分かる。この変動の大きさは、電離圏の全電子数の約1割に相当する。一方、震央の南側では、震央の近くで1 TECU程度の小さな変動が見られたが、さらに震央から距離が離れた場所では全電子数の変動は観測されなかった。また、震央の東でも全電子数の変動は見られなかった。

全電子数の変動は、地震によって発生した津波が大気を動かすことによって大気の振動 (音波) が発生し、その音波が高度300 km付近の電離圏にまで伝わったことが原因と考えられる。図2に、地表から上空に音波がどのように伝わるかを計算した結果を示す。音波の進む速度 (音速) は、大気の温度の平方根に比例する。温度が急激に上昇する中間圏界面 (高度90 km付近) より上では、音速が高度とともに大きくなり、電離圏では秒速約800 mほどになる。このように高度によって音速が異なることにより、音波の進む方向は曲げられ、図2から分かるように、音波源から離れた上空の電離圏 (高度300 km付近) では音波はほぼ水平に進む。また、このような音波の屈折から、音波が震央から1000 km以上離れた上空の電離圏まで伝わる事が分かる。さらに、この計算結果から、震央の真上でも音波が地上から電離圏に到達するには十数分かかることが分かった。この時間差は、地震発生時刻からGPSによって最初に全

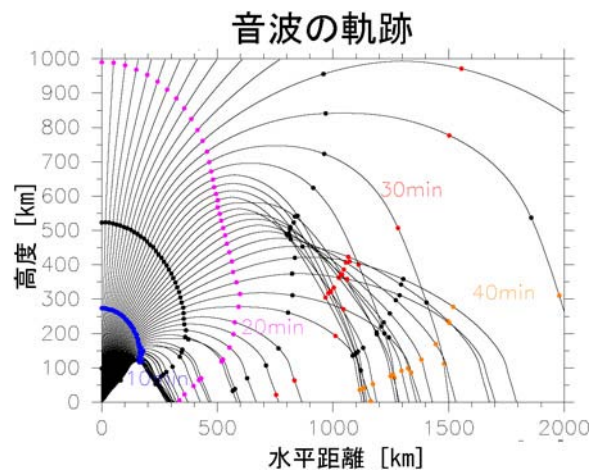


図2 音波の伝わる軌跡を示す「水平距離 - 高度」の断面図。水平距離0 kmの位置にある点源から音波が発生したと仮定し、大気の経験モデルを使って計算した。各線は、音波が出る仰角を30度から90度まで1度ずつ変えた場合の軌跡。

電子数の変動が観測されるまでの時間差とよく一致している。

ところで、図1に示したように、震央の北側では大きな全電子数の変動が見られたが、南側と東側ではほとんど変動が見られなかった（西側には観測点がない）。全電子数変動の異方性があるのはどうしてだろうか？この研究では、モデル計算を行うことにより、異方性が地球の磁力線の傾きと関係していることをつきとめた。音波は、空気のうち濃い部分と薄い部分が交互に伝わる波（疎密波）であり、空気が振動する方向は音波の伝わる方向と平行である（図3に模式図を示す）。また、電離圏中のプラズマは、大気との衝突によって磁力線平行方向にのみ動かされる。よって、大気振動の振幅が同じ場合でも、音波の伝搬方向と磁力線が平行に近いほど全電子数の変動は大きく表れる。震央付近は、地理的には北半球であるが、地軸と地球の磁場の軸がずれているために地磁気的には南半球になり、磁力線は水平から約15度上に傾いている。このため、音波が北向きに伝搬する場合に最も全電子数変動が大きく現われる。以上のことから、地震発生後にGPSで観測された全電子数の変動は、地震によって発生した音波が電離圏高度まで伝搬し、電離圏プラズマ密度の変動を起こしたためと考えられる。

しかし、GPSで観測された全電子数の変動は、上述したメカニズムだけでは説明しきれない。例

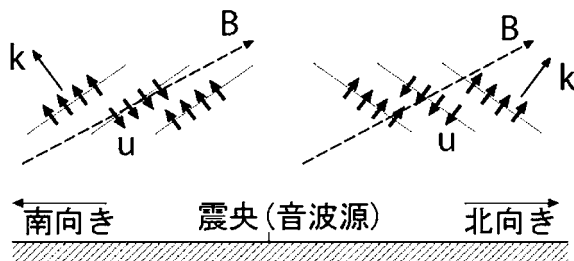


図3 南向き（左）および北向き（右）に伝搬する音波の模式図。Bは磁力線を表し、uは音波によって大気が振動する方向を表す。北向きに進む音波によって、磁力線とほぼ平行に大気が振動するため、電離圏中のプラズマが動かされやすい。一方、南向きに進む音波は、大気の振動方向が磁力線とほぼ直交するためプラズマは動かされにくい。このため、図1に示したように震央の南側で全電子数の変動が小さく、北側で大きいという異方性が起ると考えられる。

えば、タイの上空で観測された全電子数変動の周期は30分以上あり、音波として存在できる周期よりも長い（音波は、地上付近では約5分、電離圏では約12分以下の周期のものしか存在できない）。また、全電子数変動の周期が震央から遠ざかるほど長くなることも説明できない。これは、スマトラ沖地震の地殻変動が南北に1000 km以上にもわたって起こったため、複数の場所から音波が励起され、電離圏中で音波が重なりあって観測されたからではないかと考えられる。また、音波による大気の振動によって、さらに周期の長い大気重力波が励起された可能性もあるが、観測結果を説明するには、さらなる研究が必要である。

これまで、音波と同じく大気の振動である大気重力波については、多くの研究がなされてきた。そして、大気重力波が地球全体の風系や温度構造に大きな影響を与えていることが明らかになっている。今回、我々の研究では、地表付近で発生した大気の振動が音波として、はるか上空の電離圏にまで伝搬していることが明らかになった。大気の音波による振動は、台風や低気圧などの大気の擾乱によっても発生すると考えられており、そうして発生した音波は、励起源から遠く数千 km 以上も伝わるのが分かっている。地球の大気中には音波がみちみちていると言えるだろう。しかし、音波が地球大気にどのような影響を与えているかは未解明である。これまで、音波に関する研究がそれほど多くされてこなかった理由の一つとして、音波を捉えるのが困難だということがあげられる。周期が数分以下と短いために、高い時間分解能で観測しなければ捉えられないからである。今後、観測装置の発達とともに高時間分解能の観測が可能になれば、音波の研究はさらに進むであろうと期待される。

なお、この研究成果は、Earth, Planets and Spaceのスマトラ沖地震の特集号（2006年）に掲載されている。

謝辞：本研究では、タイに設置されている情報通信研究機構のGPS受信機のデータ、およびSOPACが開しているGPSデータを使わせて頂いた。

## 空電でD-/E-領域電離圏を探る

- 昔からの観測データに眠っている新しい知見 -

大矢 浩代（千葉大学工学部電子機械工学科）

名古屋大学太陽地球環境研究所（STE研）の前身が「空電研究所」であったことは、周知の事実です。衛星がない時代に、地上観測で磁気圏の情報まで持ち帰るホイッスラー空電が重要視されていたことは、容易に想像できます。この1970 - 1980年代の空電ブームの終了後も、母子観測所および鹿児島観測所では、ELF/VLF帯電磁波の定常観測が続けられており、約40年分の基礎データとして非常に貴重なものとなっています。観測所におられる技術職員の方々のご尽力に感謝しつつ、その貴重な観測データから重要な現象を見つけメカニズムを解明するのが本共同研究の目的です。

本共同研究「トウィーク法による夜間中低緯度帯D領域電離圏擾乱の研究」は、STE研ジオスペース研究センター・プロジェクト2の研究課題の一つです。トウィーク（1.5 - 10 kHz）とは、雷から放射され、地球 - 電離層導波管内を長距離伝搬（数千km）するELF/VLF波のことで、空電の一種です。このトウィークを解析することによって、伝搬路上の下部電離圏の状態を推定することができます。トウィークを下部電離圏研究に使う利点は、地上観測で広範囲（海上も！）の観測ができることと、放送保護のため人工的に使用できない低い周波数帯であるため、イオノグラムより低い高度（100 km 以下）の現象を推定できることです。この高度領域は電離大気と中性大気

が物理的にも化学的にも複雑に相互作用している領域で未解明の部分が多く、これまでの観測データも少ないため、トウィークによる下部電離圏モニターは重要なパラメータのうちの一つになりうると考えています。トウィークの初期研究では、その伝搬機構やホイッスラーの先行空電として方向探査に使われており、下部電離層研究に使えると示唆されていたものの、現在のような計算機がなかったため解析するにはかなり困難だったようです。それを本共同研究では、現在のパソコン（スペック）や手法で解析しますので、昔からの観測データに眠っている新しい知見を見つけるべく日々奮闘しています。

これまで両観測所ともELF/VLFデータをアナログで保存していたので、リアルタイムA-D変換して保存するように改良するため、2006年6月20 - 21日、塩川先生、技術職員の児島さんおよび山本さんと母子観測所に行きました。旭川空港からレンタカーで観測所まで行ったのですが、途中の景色の緑が濃くすがすがしく感じました。

パソコン設置では、作成して持っていったプログラムの方針（やり方）が悪く、現地で塩川先生にご迷惑をかけながら作り直し、完成したのは午前1時20分でした。幸いなことに、その即興ソフトがきちんと動作し、現在まで欠測はなく正常に動作しています。

翌日は、母子観測所で行われている観測を全て見学しました。長年いただいているVLFデータのループアンテナと対面でき、感慨深いものがありましたが、このアンテナは人の身長以上の雑草が生えている場所に設置されており、たどり着くまでにブチ・サバイバル状態でした。

ELF/VLF波のデータは6月以降、順調に取得されており、~ 10 kHzの毎時20 - 22分および50 - 52分の波形のデジタル・ファイルが保存されています。ご興味ある他の研究者の方にも、今までよりも扱いやすくなったと思います。様々な面でお世話になったSTE研の方々に、深く感謝いたします。



母子観測所玄関前にて



# 一般講演会を開催



- オーロラの科学 オーロラ発生の謎にせまる -

野澤 悟徳 (電磁気圏環境部門)

2006年7月30日(日) 13:00 - 17:00、名古屋市科学館生命館B2階サイエンスホールにおいて、一般講演会「オーロラの科学 オーロラ発生の謎にせまる」を開催しました。6歳から90歳まで幅広い年齢層の参加者269名を迎えた今回の講演会は、名古屋市科学館および名古屋大学21世紀COEプログラム「太陽・地球・生命圏相互作用系の変動学」との共催で実施しました。

4名の講演者がそれぞれの領域から見たオーロラについて各40分の講演を行いました。各講演終了後質問用紙を配布し、4名の講演終了後、総合討論の時間を設定し、参加者の疑問に答えました。会場で寄せられたその他の質問とその答えを、次のホームページに掲載しています。

<http://www.coe.env.nagoya-u.ac.jp/meeting/domestic/fyh18/meeting002.html>

2006年7月30日(日)  
名古屋市科学館  
サイエンスホール

オーロラ発生をのぞく  
**オーロラ発生の謎にせまる**  
オーロラは極域上空をいぐるむ磁気圏高層大気圏におよびダイナミックな現象です。本講演会では、オーロラを写真やビデオで紹介するとともに、その発生メカニズムに迫ります。

プログラム (13:00-17:00)

13:00	開場
13:15	開会の辞
13:25-14:05	1. 太陽、オーロラのみるさと 野澤 悟徳 (名古屋大学 太陽磁気圏環境研究所助教授)
14:05-14:45	2. 磁気圏、オーロラを起こす 三好 由純 (名古屋大学 太陽磁気圏環境研究所助教授)
15:00-15:40	3. 超高層大気、神秘の光オーロラ 藤井 良一 (名古屋大学 太陽磁気圏環境研究所助教授)
15:40-16:20	4. 中層大気、地球環境への影響 高橋 篤生 (名古屋大学 太陽磁気圏環境研究所助教授)
16:20-17:00	全体を通しての質問、総合討論
17:00	閉会

主催  
名古屋市科学館  
「太陽・地球・生命圏相互作用系の変動学」  
名古屋大学地球環境研究所

交通案内  
〒460-0008 名古屋市中区三軒下1丁目1号  
名古屋科学館 本館5階(13:15) 生命館B2階(13:30) 本館5階(13:30) 生命館B2階(13:30)

名古屋大学21世紀COE地球支援室  
〒464-8601 名古屋千種区千種 名古屋大学 地球環境研究所515号室  
TEL:052-788-6206,6042 FAX:052-788-6206,6044  
http://www.coe.env.nagoya-u.ac.jp

参加費無料

案内のポスター。名古屋市内を中心として広く配布されました。



上：質疑応答のため、壇上に並んだ講演者。楽しい質問や面白い質問が飛びました。下：会場の様子。300名収容のホールがほぼ満員になりました。

講演会は片山卓科学館副館長の開会の辞で始まり、最初に増田智助教授による「太陽 オーロラのみるさと」と題した講演が行われました。太陽に関する最近の研究成果に基づいて、太陽が非常に活動的な星であり、オーロラの源となる粒子を放出していることなどを解説しました。次に、「磁気圏 オーロラを起こす」と題して、地球磁気圏の紹介を三好由純助手が行いました。一般的にあまりなじみのない「磁気圏」ですが、オーロラの発生に重要な役割をしていることやそのしくみなどを、画像を駆使して分かりやすく説明しました。この講演を通して、磁気圏について聴衆が興味を持ったのではと推察します。休憩をはさんで、「超高層大気 神秘の光オーロラ」と題して、藤井良一所長が講演を行いました。北極や南極で撮影されたものをはじめ、たくさんのオーロラ画像をス

クリーンに写し、その種類や色、形などの説明をしました。特にオーロラの「音」には、参加者もびっくりしていたようです。そして最後に、「中層大気 地球環境への影響」と題して、長濱智生助教授が身近な問題である地球温暖化、オゾンホールについて説明しました。オーロラ活動が地球環境問題と関係している？ というのは、少し驚きだったかもしれません。講演終了後に、聴衆の疑問に答えるために、総合討論を行いました。総合討論では、4名の講演者が壇上に揃い、質問に丁寧に答えました。長い講演の後であったにもかかわらず、

鋭い質問が飛びました。なかでも小学生からの「オーロラってどういう意味？」という質問は、会場の共感を呼んでいました。

当日回収したアンケートでは、8割以上の方から「良かった」との評価をもらいました。「最前線の研究者の方々のお話が身近に聞けて勉強になりました」「最新のオーロラの発生メカニズムがよく分かりました」などのコメントは企画した者として嬉しく思いました。今後もこのような講演会を通して、我々の研究成果を分かりやすく紹介していきたいと思います。

## A Journey Back to STEL

Jih-Hong Shue, Visiting Associate Professor  
(from National Central University, Taiwan)

I was working as a postdoctoral researcher at the Solar Terrestrial Environment Laboratory (STEL) during the period of 1996–1999. My wife was with me in Japan at that time. Our son was then born in Toyokawa. We made a lot of friends during the period. After that, we moved to the US, staying there for four years, and finally settled down in Taiwan. Although I continued collaborating with Prof. Y. Kamide and Dr. A. Ieda on various research topics even after I left Japan, my family and I had not found a chance to come back to visit Japan until this summer. We missed friends and things in Japan.

In December of 2005, I contacted Prof. Kamide for a plan of visiting. At that time STEL was planning to move from Toyokawa to Nagoya. He asked Dr. Ieda to be the host of my visit, filing paperwork for me.

A few days after I arrived at STEL, I presented a seminar on the auroral electrojets to have STEL faculty members and students getting to know my research area. I also took time to talk to STEL's individuals to get to know their research. I learned new scientific results from them through the interactions.

I visited the World Data Center in Kyoto University, and presenting a seminar there. My family and I took time to walk around Kyoto, seeing temples and walking along traditional routes. We were amazing about Japanese dedication to try to preserve the ancient architectures. I also went to present a poster at the 30th Symposium on “Space and Upper Atmospheric Science in the Polar Regions” at the National Institute of Polar Research (NIPR) in Tokyo. I saw a lot of modern buildings in Tokyo on my way to NIPR. I am surprised at a mixture of modern and traditional things in Japan and no



Seminar on the causes of the auroral electrojets.

conflicts between them.

I have been collaborating with Prof. Kamide since I left Japan in 1999. We published a couple of papers together. During this visit, using Wind solar wind measurements, the auroral electrojet indices, and Polar Ultraviolet Imager auroral images, we have found that the westward auroral electrojet driven by solar wind density enhancement is dominated by the electric field in the ionosphere. We have submitted an abstract for this new result to the 2006 Fall American Geophysical Union Conference. We are preparing a paper for a submission to Geophysical Research Letters.

I also published several papers on plasma sheet fast flows with Dr. Ieda in the past. We had an intensive discussion on magnetotail phenomena during my

visit to STEL. We have found that the nightside auroral power increased significantly when an earthward fast flow reached at  $X = -10$  Re. We are preparing to present this result at the Storm-Substorm Relationship workshop that will be held in San Francisco in December 2006. We are also planning a paper for a submission to Journal of the Geophysical Research.

In summary, our journey back to Japan was very fruitful. Through interactions with researchers at STEL, I have acquired some new results. My wife and I met our old friends, and my son went to see where he was born. We also took time to travel outside Nagoya learning more about Japanese culture and custom. We do not know when we are coming back to visit STEL again, but we know we will come back in the future because we have friends here. The journey will continue.

## A Working Visit to STEL – A Model Environment

Herbert Kroehl, Visiting Professor  
(from Applied Physics, Inc., U.S.A.)

At the invitation of Professor Y. Kamide I was provided a wonderful opportunity to spend 4 months at STEL and my wife, Lorraine, was able to enjoy Japanese hospitality for 2 months. We arrived in Toyokawa in the beginning of February along with some of the coldest weather in the last 100 years, yet we always found the staff at STEL to be very warm, friendly, hospitable and extremely helpful for which we will forever be grateful. In my opinion, one of the true measures of an organization is the quality of its people, and in that regard, STEL is a great organization.

We would like to share with you a couple of small yet remarkable, to us, experiences. While Lorraine was here, we tried to go on a trip every weekend and upon returning from one trip, we left our camera on the train. We valued the pictures very

much though not the camera. Clearly frustrated, I called STEL and asked for help; it was late on Sunday. A few minutes later, I was told our camera would be at Toyokawainari Station at 22:00. What was remarkable was not only that the camera was found in Gifu, nor that it was returned, but that it was returned in a package that would have survived a trip to the space station, i.e., bubble wrapped, duct taped, wrapped in paper, boxed and bagged, in much better packaging than we left it. On another occasion, we were lost in the streets of Irigo. A local workman stopped what he was doing, showed us where we were on our map, and then led us to our destination. We had this experience several times.

One of my research interests is in using data recorded on operational satellites in modeling of the auroral region. Our probabilistic model of auroral

electron precipitation, and the conductances they produce, had been used for many years but a formal description had not yet been published. The model was still unique because it was based on the probability of occurrence and on equatorward boundaries. Another interest was in using this model with the new and exciting images from the far ultraviolet imager, Special Sensor Spectrographic Imager (SSUSI), on a latest Defence Meteorological Satellite Program (DMSP) satellite to construct nearly instantaneous maps of conductance. We plan to use these maps if successful generated as input to the ionospheric electrodynamic model to study substorm currents.

SSUSI radiances record the effects of precipitating ions as well as precipitating electrons. It soon became imperative for us to add the contributions from precipitating ions to those from precipitating electrons in our model. Most of my visit has been spent working with Dr. A. Ieda to build this new model, which was based on our earlier version.

During construction we noticed, documented and included several new characteristics of Hall and Pedersen conductance; some of which agree with previous studies and others that do not. For example, a new region produced by lower energy ions exists during large magnetic storms equatorward of precipitating electrons in the pre-noon sector. Also conductance models derived

from precipitating electrons misplace the equatorward boundary in the pre-midnight sector. And finally we show that the dayside auroral oval occurs at much higher latitudes during summer than winter. In general our model shows that the ionosphere plays a much more active role in ionosphere-magnetosphere coupling than previously reported.

In addition I defined new projects I will be pursuing with STEL staff, including proton-produced conductances derived from EISCAT radar and DMSP satellite data, SSUSI-derived conductances in our instantaneous model, and using the realistic model and SSUSI images to study auroral currents during isolated substorms. I am also collaborating with another STEL visiting scientist, Dr. Bernard Jackson, on a comparison of DMSP SSUSI images with low-light but high-altitude images recorded by the SMIE instrument on the Coriolis satellite. The new model is nearing completion and two papers have been drafted.

While in STEL I organized a Meeting of Experts on the Best Practices for Environmental Data Systems in Colorado this summer. The meeting will produce the first authoritative document that discusses the lessons learned by developers of online systems over the last 10 years and the best designs for each subsystem now and in the future. CODATA is ICSU's Committee on Data for Science and Technology.

I had an opportunity to give scientific seminars at STEL and Kyoto University, a paper at the Japan Geosciences Union meeting, and an informal lunchtime presentations about skiing in Colorado to STEL staff in Toyokawa and Higashiyama.

Lorraine and I would like to express our gratitude to the STEL staff for this wonderful opportunity to experience and appreciate the culture, arts, environment and cuisine of Japan. We thoroughly enjoyed the fresh fish, fruits and vegetables and it was a most productive visit for me. Thank you.



Though it was raining outside, Sakura festivities were not dampened inside. Taken in Toyokawa during the STEL Sakura celebration.



# 太陽系外地球型惑星の発見

村木 綏（太陽圏環境部門）



2005年8月、地球の5.5倍の質量を有した軽い惑星が、我々の銀河の中心方向に発見された。これまでも、太陽系以外の惑星（太陽系外惑星）は見つかっているが、どれも木星程度の重いガス惑星ばかりで、そこに生命の存在の可能性は考えられなかった。ところが、今回発見されたこの軽い惑星は、ガス惑星ではなく、地球のように岩石でできていて表面が氷で覆われている可能性がある。地球に似たこの惑星が発見されたことで、期待はますます大きくなった。近い将来、「地球と同じような惑星があり、そこに生命が存在する可能性が大である。」と言える日が来るかもしれない。

この発見には、“重力レンズ法”というこれまでの観測手段とは全く異なる方法が活躍した。これはどういう方法なのか、まず簡単に説明する。アインシュタインの一般相対性理論によると、強い重力が存在する空間は歪んでいる。従って強い重力場に光が入射すると、光は直進できずに曲げられる。図1は、遠くの星の光が重力場を通過した時の軌跡を示している。本来なら直進する光が重力場で曲げられ、集光される様相が分かる。後方の星の光は集光され増光する。重力場は後方の星に対してレンズの役割を果たしている。重力レンズはすべての天体に存在し、光を発しない天体にもある。したがって重力レンズを検出すれば、光っていない天体の存在が分かる。このような暗天体を検出する方法を“重力レンズ法”と呼ぶ。

写真1はプラスチック板を加工して作った重力レンズある。写真2はボールの運動（星の動き）をプラスチックレンズを通して見たストロボ写真を



写真1 プラスチックで作った重力レンズと等価なレンズ。富士山のような形をしている。

である。ボール（遠方の星）がプラスチック重力レンズ（レンズ天体）の中心付近を通過した時、ボール（星）の像は球でなくリング状になっている。このことから、重力レンズがここにあると言える。

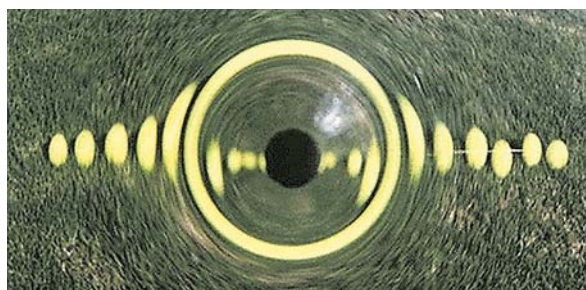


写真2 並んだテニスボールを、ボールの運動の連写（星の動き）と見立て（上）これを重力レンズで見た（下）写真。テニスボールがレンズの中心を通った時、ボールは球ではなくリングになって見える。

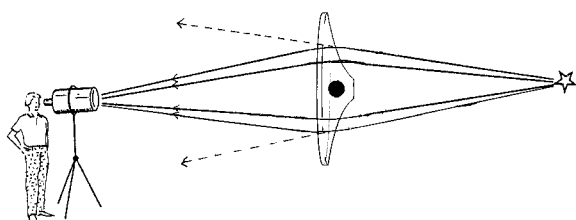


図1 遠方の星（印）の光が重力レンズ領域（中央の印）を通過した時の軌跡。星の光（印）は直進せず屈折し集光されるので増光する。中央のレンズ天体（印）はブラックホールや惑星のような暗い天体に対応している。

太陽系外惑星は自ら光を出さず、あまりにも遠すぎるので普通の望遠鏡では見えない。1995年頃から、この見えない惑星を探す試みが盛んに行われるようになった。そのころの探索は、主星が惑星の運動で揺らぐことを利用して惑星の存在を突きとめる方法（ドップラー法）が主だった。このドップラー法により、現在までに140個の惑星が発見されている（<http://exoplanets.org/massradiiframe.html>）。しかし、光のドップラー法の問題点は、重い惑星は捕らえやすく、軽い惑星は捕らえにくいということで、測定に偏りがあることだった。

我々は従来からのこの方法ではなく、重力レンズ法を使用し、惑星の検出に挑戦している。重力レンズ法では惑星の発見確率は高くないが、偏りなく惑星を検出できるという特徴がある。我々の観測では、銀河中心方向に望遠鏡を向けて毎晩2000万個以上の星をモニターする。銀河中心にある膨大な星を光源星として、これらの星の前に重力レンズがあるか否かを調べる。ちなみにレンズ天体となる暗い星は半年で600個程度見つかる。レンズ天体の質量は増光時間の違いから測定できる。太陽くらいの質量を有したレンズ天体の場合、後方の星の光は2ヶ月程度増光する。木星くらいの天体では、2日間程度増光する。地球くらいの天体だと、わずか2時間の増光である。2時間の増光時間では、地球型惑星が見つかるか否かは運次第になる。そこで南天にある各国の天文台の望遠鏡を連動し、地球型惑星の発見を目指す24時間連続観測システムを構築した。

その結果、今までに重力レンズ法で2例ほど太陽系外惑星が発見された。しかし、発見された2例の惑星の質量は重く、木星程度であり、光のドップラー法で発見された140個の惑星観測の結果と同じであった。従って、地球のような軽い惑星を伴った惑星系は、非常に稀な存在であると考えられる。

東京工業大学の井田茂先生のグループは、最新の惑星形成プロセスをシミュレーションで説明している。その結果、木星のような大型惑星ばかりの惑星系も作られるし、地球のような小型惑星ばかりの惑星系も作られるという結論がでた。我々の太陽系はちょうどその中間にあると井田先生グループは予想している。即ち大型惑星系ができるのか、小型惑星系ができるのかは、最初の原始惑

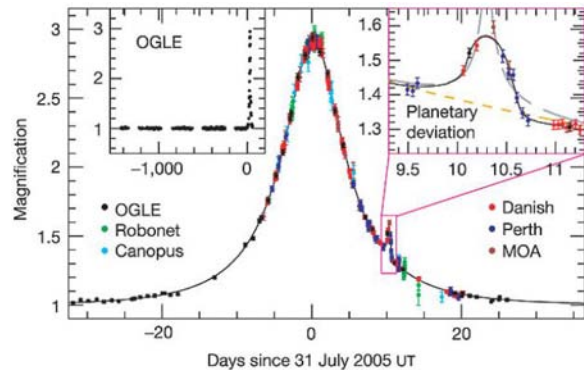


図2 縦軸は後方の星の増光度、横軸は時間を表す。7月31日にピークがある増光は主星の重力レンズによるもの。それから数日後に小さな増光がある。これが小型惑星のレンズによるピークである。

星系を取り囲んでいた塵や分子雲の総質量に左右されるという見解である。原始惑星系の分子雲の質量は、光のドップラー法で観測すると重いことが分かる。しかし、先に述べたように、光のドップラー法は、測定に偏りがでる。そこで、いろいろな条件に左右されない自然な方法が望まれ、重力レンズ法による新しい観測に期待が寄せられた。

そして、2005年8月7日、ついに我々は、重力レンズ法を用いて、ニュージーランドのMOA (Microlensing Observations in Astrophysics) 1.8 m望遠鏡で、地球の5.5倍の質量を有した軽い惑星を発見した。この惑星は地球から2万2千光年のかなたに存在している。この発見の科学的意義は、我々太陽系のような惑星系が、宇宙に多数存在する可能性を、初めて観測的に明らかにした点にある。図2は我々の発見した地球型惑星の重力レンズによる増光曲線である（<http://www.phys.canterbury.ac.nz/moa/>）。

今後、どんな質量を有した惑星が、我々の銀河に数多く存在するのか、その全体像を明らかにしていく必要がある。そして、生命が住める環境の惑星探査が大きな課題となる。すなわち、熱からず冷たからず、主星からほど良く離れていることが、生命の存在に重要な要素となる。今回の惑星は気温が零下220度と予想されるので、生命が生存する可能性は少ない。

しかし、この広い宇宙のどこかには、地球によく似た惑星があるかもしれない。その可能性を求めて、世界のEarth Hunter達は今晚も銀河の中心を見ている。

# Science Traveler

## COSPAR2006に参加して

井上 諭（総合解析部門）

2006年7月17日から7月22日に開催された“36th COSPAR Scientific Assembly”に参加するために、中国の北京を訪問しました。COSPARとはCommittee on Space Researchの略で、中国語では、“世界空間科学大会”と書くらしいです。この国際会議は、地球から太陽や惑星・惑星間空間、さらには超新星爆発や相対論に至るまでの幅広い分野が網羅されており、80もの多岐に渡るセッションが用意されていました。

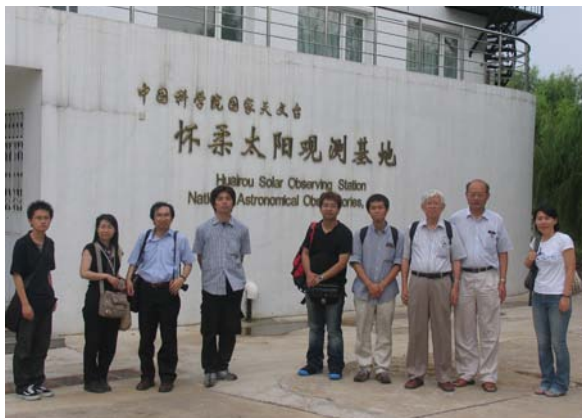
その中の“Energetic Particles and Magnetic Reconnection on the Sun and in the Heliosphere”というセッションで、ポスターの発表をしました。題目は、“Simulation Study of Three-Dimensional Flux Tube Dynamics in the Solar Corona”で、具体的には、太陽コロナ中に存在するフィラメントが、いかにして太陽表面から放出され、またどのような条件下でコロナ質量放出（CME）に発展するのか、などをスーパーコンピュータを用いて調べた結果についての発表です。このフィラメントの正体は、コロナガス（100万度の高温プラズマガス）よりも低温でかつ高密度のプラズマが柱状になった塊です。CMEが生じると、このプラズマ柱が惑星間空間を上昇しているのがよく観測されており、フィラメント放出を理解する事はCMEの発生機構を理解する事に相応しており、宇宙天気予報を実現するためには、非常に重要なトピックスであると位置づけられています。また、本研究は

今年の春、私が学位論文としてまとめたもので、7月には学術論文としてThe Astrophysical Journalより出版されました。私自身としても、ちょうど学術論文として発表されたばかりなので、宣伝活動なども兼ねられると思い、意気込んで会議に臨みました。

さて、私が参加したセッションでは、題目どおり、主に磁気リコネクション中、あるいは衝撃波面での粒子加速の話題が多かったように思えます。私自身の研究内容は粒子加速については何も触れてなかったので、他のセッションに出すべきだったのかもしれませんが。ただ、このセッションでは、私と似た様なモデルを用いて、太陽の光球面下部より、磁気浮力不安定性により浮上してくる磁場が、フィラメント放出をトリガーする研究をなさっていた先生も参加されており、ポスターセッションの時間に話を聞いて頂く事ができました。そして、観測的な視点にたったアドバイスなども頂きました。また、このセッションにたまたま参加されていた研究者の方が、現在私が取り組んでいる研究について、非常に興味を持ってくださり、特に数値的な解法についてアドバイスを頂く事ができたのは幸いです。これこそまさに、“タナボタ”です。ただ残念だったのは開催された時間が悪かったせいか、ポスターセッション自体あまり盛り上がっていなかったような気がしたことです。コアタイムにもかかわらず、発表者自身もいないという部屋もありました。

最終日、日本の国立天文台の方々とHuairou天文台を訪ねる機会を頂きました。天文台は、北京郊外に位置しており、湖のほとりに静かにそびえていました。中で太陽望遠鏡を見せていただき、同じように見学に来た海外の研究者の方々や、天文台に滞在している研究者や大学院生と充実した時間を過ごす事ができました。また、この後、万里の長城にも行くことができ、非常に楽しい一日でした。

この会議では、多くの人と知り合い、議論をする機会を得ました。さらに中国の偉大な文化にも触れる事ができ、今後の研究活動のさらなる飛躍をトリガーする日々であったと確信しております。



Huairou天文台の前で、国立天文台の研究者の方々と。（右から5番目が筆者）

## 異 動

### 【助手】

2006.9.1 採用  
大山伸一郎（電磁気圏環境部門）

### 【研究機関研究員】

2006.8.1 採用  
小泉 宜子（電磁気圏環境部門）

### 【技術補佐員（研究支援推進員）】

2006.7.1 採用  
塚本 隆啓（ジオスペース研究センター）

2006.8.31 退職  
花野 和生（陸別観測所）

2006.8.31 退職  
門脇 優香（総合解析部門）

### 【事務補佐員】

2006.9.1 採用  
國枝 素子（総合解析部門）

2006.8.31 退職  
北嶋あやみ（総合解析部門）

2006.8.31 退職  
森田 悦子（会計掛）

2006.8.31 退職  
千葉 和美（会計掛）

2006.9.14 退職  
宇都 泉（大気圏環境部門）

2006.9.30 退職  
谷山 尚永（総合解析部門）

### 【招へい教員】

2006.6.1 - 2007.3.31 客員教授 渡邊 堯  
（茨城大学名誉教授）

### 【協力研究員】

2006.4.1 - 2006.8.31 朴 京善

### 【外国人研究員】

2006.7.1 - 2006.9.16 客員助教授 Shue, Jih-Hong  
（国立中央大学助教授）

2006.7.16 - 2006.12.15 客員教授 Kofman, Wlodek  
（グルノーブル惑星学研究所長）

2006.8.21 - 2006.10.31 客員助教授 Zhou, Xiao-Yan  
（カリフォルニア工科大学研究員）

### 事務部が他の2研究所事務部と統合

平成18年10月1日、東山地区にある3つの研究所（太陽地球環境研究所、環境医学研究所、エコトピア科学研究所）の事務部が統合し、「研究所事務部」となりました。1部2課制で、総務課には新たに研究支援掛が設置されました。これに伴い、次のとおり10月1日付で人事異動がありました。（関係分）

組織改編 社本 好由 総務課長（事務長から）

配置換 横江 基博 医学部・医学研究科総務課掛長（庶務掛長から）

昇任 平松 利朗 第1庶務掛長（総務部総務課主任から）

所属変更 川原 弘美 研究支援掛（庶務掛から）

## STEL ニュースダイジェスト

### 天文ファンが集まった木曾観測施設

8月12日（土）当研究所の木曾観測施設（長野県）において、隣接する東京大学木曾観測所と共同で、特別公開が行われました。毎年恒例の行事ですが、今回は、遠方から来訪される方が目立ちました。この日はまずまずの天候で、50名ほどの方が、次々に訪れました。また、小島正宜教授による一般講演「見えない宇宙を地上から見る」も行われました。

### 議会議場でSSH学校を開催

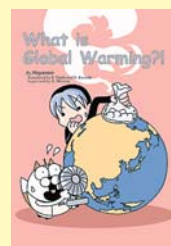
10月20 - 22日、陸別町（北海道）の議会議場で「スーパーサイエンスハイスクール（SSH）秋の学校」が開催されました。文部科学省のSSHに指定されている帯広柏葉高等学校の1、2年生8名と、引率教員6名、東

京大学、JAXA、本研究所からのアドバイザー3名が参加しました。朝9時から夜9時まで、宇宙/地球に関する研究発表、「研究者になる条件とは」座談会、そして「クルマに乗るとなぜ眠くなるのか」についての自由討論など充実したハードスケジュールを終えました。

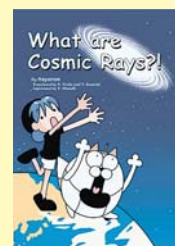
## 最新の冊子はコレ



文・三好 由純



監修・水野 亮



監修・村木 綏



### 受賞

2006.7.10 Honorary Member (Asia Oceania Geosciences Society)

上出 洋介 / 総合解析部門・教授

2006.11.6 大林奨励賞（地球電磁気・地球惑星圏学会）

三好 由純 / 総合解析部門・助手（左写真）

### 編集後記

食欲の秋です。おいしいものに目がない私は、ついつい食べ過ぎてしまいます。冬に備えて食べ物を蓄える動物の本能でしょうか。蓄えた脂肪分を燃焼するべく、ひたすら原稿と格闘です。（浅野）