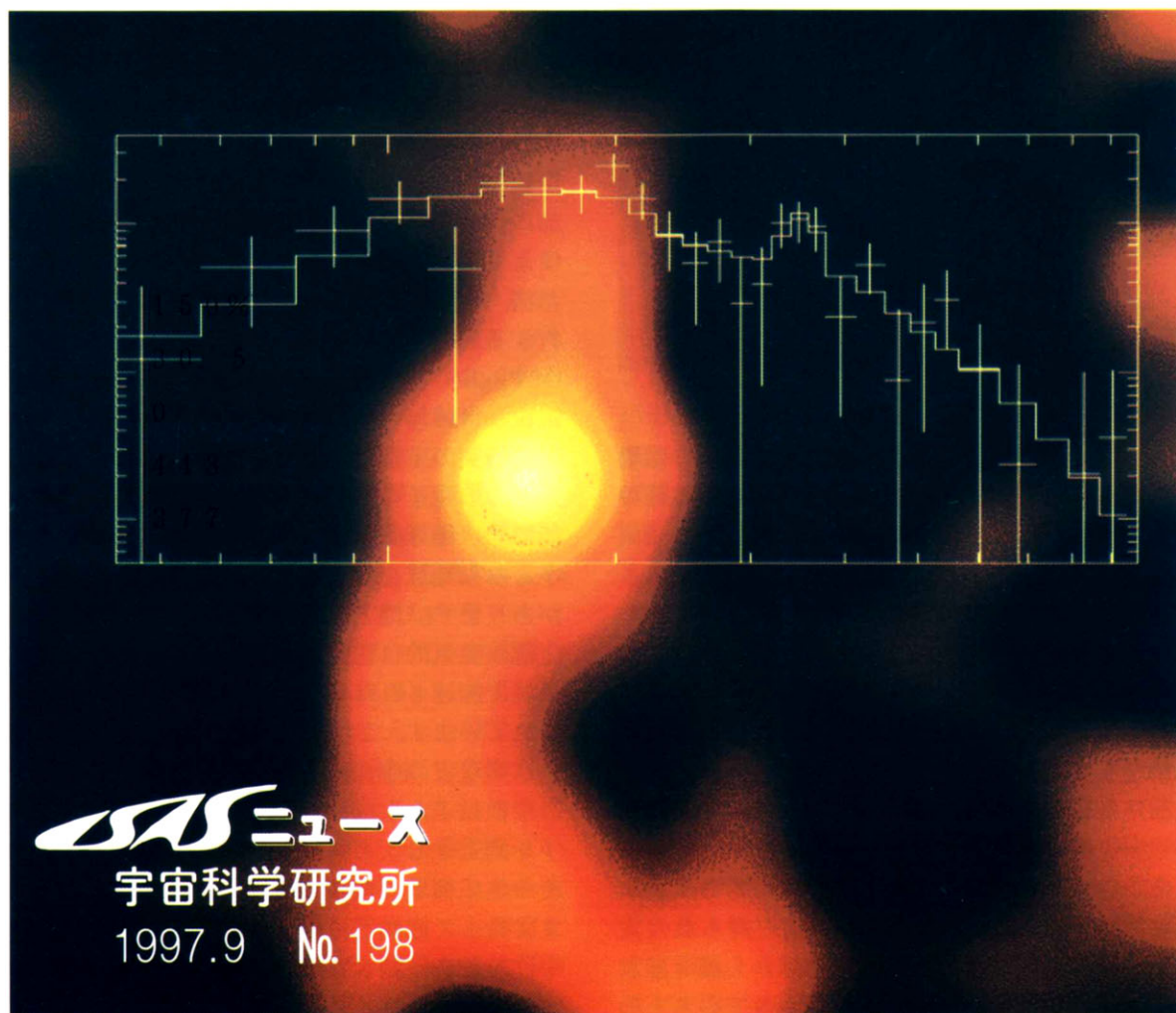




ASニュース

宇宙科学研究所

1997.9 No.198

▲暗黒銀河団 (AX J2019+1127) のROSAT衛星によるX線像とあすか衛星によるX線スペクトル

〈研究紹介〉

太陽系諸天体の磁気圏構造を探る

宇宙科学研究所 齋藤 義文

地球を含む太陽系の惑星・衛星周辺の宇宙空間、惑星間空間は様々な元素のイオンと電子から成るプラズマや電荷を持たない中性の粒子で満たされています。これらのプラズマや中性粒子は何処にどれだけ存在し、一体何処から、どのような機構で、どれだけの量が供給されるのでしょうか？これらのプラズマや中性粒子は周囲の宇宙空間の構造やその時間的变化にどのような影響を及ぼし、どのような現象を諸天体周辺に引き起こしているのでしょうか？これらの疑問に対する答えを求めて私たちの研究室では観測ロケットや衛星搭載用プラズマ、中性粒子観測器の開発を行っています。

地球周辺の空間はこれまでにいくつもの観測ロケットや国内外の人工衛星によって調べられてきました。現在も観測を続けている「あけぼの」衛星、「ジオテイル」衛星も地球電離圏、磁気圏を観測する衛星でこ

れらの衛星で得られたデータから地球周辺のプラズマ環境について様々な新しい結果が得られています。地球が双極子磁場を持った巨大な磁石であることは古くから知られています。太陽からは電子と水素の一価の正イオンを主成分とする（他にヘリウムイオンや鉄イオンなどの重粒子イオンも含まれる）プラズマである太陽風が休みなく流れ出して地球まで到達します。ところが荷電粒子は磁場中ではローレンツ力を受けるため自由に動くことができません。このことは、太陽風が地球周辺の空間に自由に侵入できないということを意味しています。現実には地球磁気圏内には太陽風起源と考えられるイオンと地球起源と考えられるイオンの両方が存在します。では太陽風中のプラズマはどうやって地球磁気圏内に侵入するのでしょうか？プラズマは磁力線と同時に動くという基本的な性質を持って

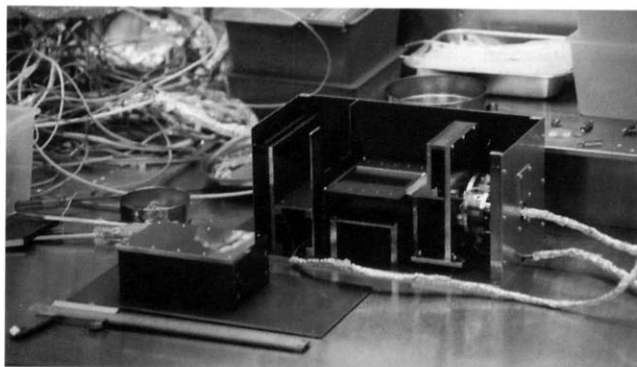


写真1

いるため、太陽風のプラズマと一緒に太陽起源の磁場も同時に流れてきます。この太陽風中の磁場が地球の固有磁場と反平行となると磁力線のつながり（磁気リコネクション）が起こり、もともと太陽風中にあった磁力線と地球の固有磁場の磁力線がつながります。この結果、太陽風中にあったプラズマは磁気圏内に侵入することができます。このような磁力線のつながり変えは磁気圏尾部の領域でも起こっており、地球磁気圏尾部の構造を支配しています。「ジオテイル」衛星では磁気圏尾部における磁気リコネクションの間接的な証拠が数多く観測されています。また、プラズマが磁気圏尾部の側面から侵入していると解釈できるデータも得られています。「ジオテイル」衛星で得られた大きな結果の一つに地球磁気圏尾部の地球から遠く離れた場所で地球起源の酸素イオンが観測されているという結果があります。これらの酸素イオンの存在はまた磁気圏尾部の構造やその時間変化に影響を及ぼします。このように「ジオテイル」衛星による観測の結果、地球磁気圏については私たちの疑問に対する答えが次第に得られつつあります。

これまで私たちは「あけぼの」衛星や「ジオテイル」衛星のように一つの衛星に多くの観測器を搭載してその衛星軌道におけるデータを取得し研究を進めてきました。一機の衛星による観測だけでも様々な新しい現象の発見や理論的予想の証明などが可能ですが、一機の衛星だけでは時間変化と空間変化を完全に分離することはできません。さらに詳しく磁気圏を調べるためにはどうしてもこの問題を避けて通ることはできません。この問題を解決する一つの方法が多数の衛星を用いて同時に観測を行うことであり、現在実際に日本、米国、ロシア、ヨーロッパなどがそれぞれの衛星を用いて同時に観測を行い、お互いのデータを交換することによって解析を行い成果を挙げつつあります。時間変化と空間変化を分離するためのもう一つのそして新しい方法が、磁気圏の撮像です。これには、可視光、紫外光などの光学観測による磁気圏の観測も含まれますが、私たちの研究室では高速中性粒子（数キロから

数十キロ電子ボルト程度）による磁気圏の撮像を目指して現在観測器の開発を進めています（写真1）。写真1はこの高速中性粒子観測器のテストモデルです。観測器に入った中性粒子は入射口近くにある非常に薄い炭素の膜を通ることによってイオン化され、観測器内部に作った電場でイオン化した粒子軌道を曲げることによってノイズカウントの原因となる紫外線と分離した後、検出します。検出には一定の2点間を粒子が飛行する時間を測定してその速度を求める TOF（Time Of Flight）法を用います。先にも述べましたが、荷電粒子は磁場の中を自由に動くことができません。一方無衝突の宇宙空間では中性の粒子は例えば磁場があってもその粒子の生成領域から直線運動をすることが可能です。地球磁気圏にはリングカレントと呼ばれる文字どおり地球を取り巻くように電流の流れている領域があります。地上の極地方でオーロラが光るような磁気圏が磁気的に活動的な時にはこの領域に磁気圏尾部領域で加速された荷電粒子が多数侵入するものと考えられています。これらの高速の荷電粒子はもともとあった水素などの中性粒子と荷電交換反応をおこし、高速の中性粒子が生成されます。もしこれらの高速中性粒子を測定することができれば直線運動する中性粒子はその生成領域の情報を磁場に邪魔されることなくそのまま持って観測器に飛び込みます。このことは、高速中性粒子を観測することによってリングカレントの領域の撮像を行うことができるということに他なりません。来年2月に打ち上げられるSS-520観測ロケットの初号機にこの高速中性粒子の観測機が搭載される予定です。今後、観測ロケットだけでなく地球を含む太陽系の諸天体の磁気圏の撮像を目指して更に高速中性粒子の観測器開発を進めていく予定です。

太陽系には地球を含めて9つの惑星と、地球の月を初めとするそれらを回る衛星があります。これら太陽系の諸天体の磁気圏を大局的に見た場合、太陽から流れ出す太陽風が諸天体の持つ様々な境界条件のもとで諸天体と相互作用して各々の磁気圏が形成されているということができます。例えば地球には固有の双極子磁場があり、また電気伝導度の高い電離層も存在しま

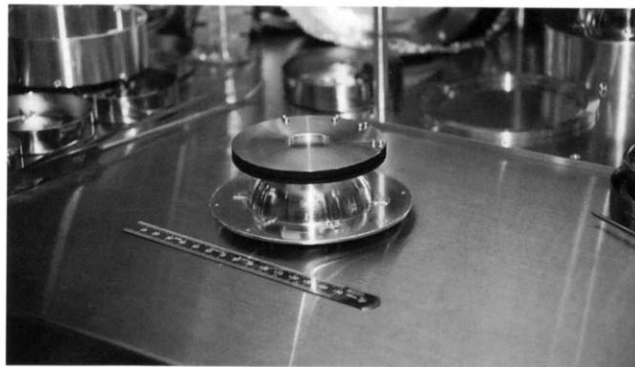


写真2

す。地球磁気圏の構造やそこで起こっている様々な現象にはこの惑星の持つ境界条件が大きな影響を与えていることがこれまでの地球磁気圏の観測でわかってきました。この観点において地球外の他の天体は地球とは異なった境界条件を持っているということが出来ます。これらの地球外の天体で磁気圏の観測を行うことはいわば自然の実験室で実験パラメータを変えてその影響を見ることができるということを意味しています。もちろん各天体固有の特別な条件も同時に存在するため問題が単純化されるとは限りませんが、少なくとも様々な異なった条件下で生起する現象の比較を通じて両者の理解を深めることができるのは確実です。現在私たちの研究室では、我が国初の惑星探査衛星となる「PLANET-B」衛星にプラズマ粒子の観測器を搭載するべく準備を進めています(写真2, 3)。写真2がこのプラズマの観測器ですが、これはTOPHAT型アナライザーと呼ばれています。観測器上部の円形の隙間から荷電粒子が観測器内に入り、入り口の下にある半球状の電極に印加する電圧を変化させて入った粒子のエネルギーを分解、荷電粒子を1個毎に検出しその数を数えます。写真3はセンサーをイオンソース付の真空チャンバーにセットして特性を測定する準備をしているところです。「PLANET-B」衛星の目的地である火星は固有の磁場が全くないかあるいはあっても非常に弱いものと考えられています。また、火星には大気があり、電離層も存在します。固有磁場が無いのか弱いということは、太陽風が火星大気と直接に相互作用できるということを意味しています。これまでのロシアの火星探査衛星「フォボス」の観測によれば、大量の酸素イオンが火星の夜側で火星から逃げ出しているという報告がなされています。この現象についてはまだ観測があまり無いことから原因ははっきりとはわかっていません。「PLANET-B」衛星のプラズマ観測で明らかとなることが期待されます。

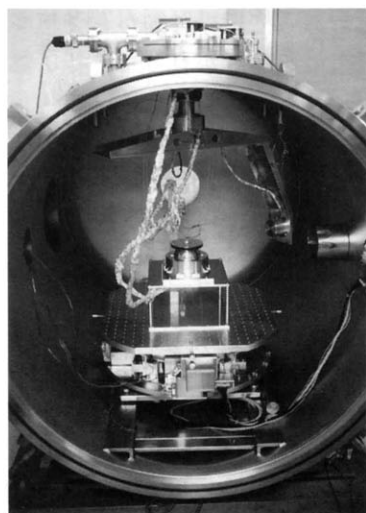


写真3

人類が初めて月にその足跡を残してから30年近くが経ちました。これまでも述べたことですが、磁気圏という観点で見た場合太陽系の諸天体は各々異なった境界条件を持っています。月の場合は固有の磁場もありませんし、大気も薄いものしかありません。太陽風は月表面に直接到達し、吸収されてしまいます。

このため、月の太陽と反対側には、プラズマの密度の低い領域ができ、その領域と太陽風の流れの間には乱流領域の存在することが期待されます。そこは乱流状態のプラズマを研究する格好の実験室であるということが出来ます。また、月表面に到達した太陽風は、月表面の物質を周辺空間に叩き出します(スパッタリング)。叩き出された物質は、太陽紫外線によって一定の割合で電離されてイオンとなります。先に磁力線はプラズマと一緒に動くと言いましたが電離されたイオンは太陽風のプラズマと一緒に月を通り過ぎる磁力線の影響を受け加速されます。この加速された粒子のエネルギーと質量を高い分解能で測定することができれば月の表面についての情報が月周回軌道上から得られることになります。このために必要となるイオンのエネルギー質量分析器には水素、酸素、窒素などのイオンはもちろん、ナトリウム、カリウム、アルミニウム、カルシウム、マグネシウム、鉄などの重イオンの質量を分解できるだけの性能が要求されます。現在私たちの研究室では月周回衛星に搭載を目指してここで述べたような高い質量分解能を持つエネルギー質量分析器を開発しています。また、月にはとてどころ表面磁場の強い場所が存在します。電子は磁場の周りを回転しながら運動しますが磁場の弱い領域から強い領域にはいると磁場に跳ね返されるという性質を持っています(磁気ミラー反射)。この性質を用いると月周回軌道上で電子の三次元分布を測定することによって月表面の磁気異常の観測をすることができるということになります。このための電子エネルギー分析器も併せて開発を行っているところです。このようにプラズマの観測は天体周辺の宇宙空間の観測にとどまらず固体の天体にまでその観測、研究対象を広げつつあります。

将来的には水星磁気圏や木星磁気圏など太陽系の他の天体磁気圏観測にも大きな関心があります。水星磁気圏はこれまで米国の「マリナー10」衛星が3回フライバイを行ったのみで殆どわかっていません。水星磁気圏は地球磁気圏とは固有磁場があるという点で似ていますが、地球と異なって水星の、特に夜側には電離層がないと予想されています。このことは水星磁気圏が地球磁気圏における電離層の働きを知る上で格好の比較観測対象になり得るということの意味しています。また、水星磁気圏は地球磁気圏に比べ、固体惑星の磁気圏に占める割合が大きい、現象の時間的スケールが地球に比べて短いなどの特徴があると考えられています。この後者の特徴は水星磁気圏では地球磁気圏で観測されるのと同様の現象がより短時間のうちに観測できる可能性を示しており、これまでの地球磁気圏観測によって得られた知識がどこまで適用できるのか非常に興味のあるところです。(さいとう・よしふみ)



★シンポジウム

科学衛星・宇宙観測シンポジウム

日 時：平成9年10月20日(月)～22日(水)，場 所：宇宙科学研究所本館2階会議場
 問い合わせ先：宇宙科学研究所研究協力課共同利用係 TEL 0427-51-3911 (内線2234, 2235)



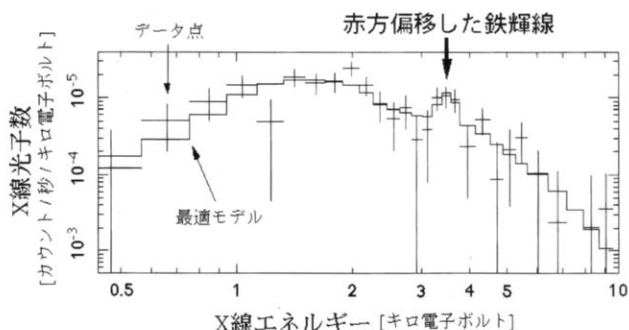
★第3回 日米月・惑星会議について

1995年よりカリフォルニア工科大学の B. Murray 教授の協力を受けて毎年夏開催されてきた本会議も第3回目となった。今年は8月4日から6日の3日間、火星、水星、小惑星探査について日米の科学者が相互に意見を交換し、将来の惑星探査を協力しながら進めようという目的で開催された。火星については、マーズパスイナウンダーが成功した後であったので、特別に3日目の午後はパスイナウンダーに関する特別セッションを設けた。米国からはジェット推進研究所(JPL)の副所長である C. Elachi, マースサーベイヤー'98のプロジェクト科学者の A. Albee (カリフォルニア工科大学), マーズパスイナウンダーのローバーの設計主任の B. Wilcox (JPL), ディスカバリー計画で提案されている水星ミッション(Messenger)のプロジェクト科学者とプロジェクトマネージャである S. Solomon と A. Santo など計7人がいずれも超多忙のスケジュールをやりくりして、本会議に参加してくれ、とても有意義な会議となった。本会議のとりまとめ役をしていただいた B. Murray 教授、ならびに本会議の共催者となって頂いたジェット推進研究所、惑星協会に深く感謝したい。(水谷 仁)



★暗黒銀河団 (AX J2019+1127) の発見 (服部, 他, Nature 338巻146ページ)

一般相対論は光も重力によって進路が曲げられることを予言する。距離約120億光年にあるクエーサー, MG2016+112からの光は、この天体と地球の間にある未知の天体の重力によって曲げられ、3.4秒角離れた3つの像となって見えることが知られていた(重力レンズ効果)。しかし、可視光ではその位置には楕円銀河が一つ見えるだけで、この重力レンズ像を説明するには重力が不足する。服部(東北大学)らは、宇宙科学研究所のX線天文衛星「あすか」とドイツのX線天文衛星「ROSAT」を用いたX線観測によって、こ



の位置に銀河団に相当する強い重力場に閉じ込められた高温ガスからのX線を発見した。つまり、可視光では見えない「暗黒銀河団」をX線で発見したのである。X線が約90億光年の距離から来ていることは、「あすか」の観測で確認された。90億光年の距離に相当する赤方偏移を示す鉄からの輝線スペクトルが観測されたのである(図及び表紙カット参照)。90億年前に巨大な銀河団があり、そこに大量の鉄があること自体が宇宙の進化の考え方に影響を与える重要な発見であるが、さらにその大量の鉄を作った星はどこへいってしまったかなど、今後の発展が期待される謎に満ちた天体である。

(満田和久)

★国際天文学連合総会、盛況裡に終わる

国際天文学連合の第23回総会が8月18日から2週間にわたって京都国際会議場で開かれた。この会議は1922年にローマで開かれた以後、3年ごとに開かれるもので、我が国で開かれるのは今回が初めてである。20日には天皇、皇后陛下のご臨席のもとに開会式が行われた。京都で開かれたこともあって世界各国から予想をはるかに越える2000人以上の参加者が有った。特に参加者の7割近くが国外からであることも我が国で開かれる国際会議としては珍しいものであった。会期中には6つのシンポジウム、24のジョイントディスカッションと3つの特別セッションが持たれ、連日、最新成果の報告と将来計画に関する議論が行われ、学問的にも充実した総会であった。議論の内容紹介はこの小文ではとても無理であるが、X線、電波観測など我が国の研究成果が数多く報告され、その他の分野においてもいくつもの重要な貢献が有り、また、意欲的な将来計画(すばる, IRIS, LMSI, ASTRO-E)を持つなど我が国の天文学研究の急成長ぶりが評価され、強い関心が寄せられていたのが印象的であった。(奥田治之)

マイクロプロセ

太陽及び高温プラズマ天体から紫外線、X線領域の分光による観測

がされるようになりその解釈のために高温プラズマの原子過程が研究されましたがそこで中心的な役割を占める過程は電子衝突による電離、励起過程でありました。超新星の残骸からのX線は電離が進行しているプラズマからと考えられています。宇宙で考えられるプラズマのほとんどが電離過程と再結合過程が釣り合っている電離平衡プラズマと考えられています。

さて目を地上の実験室の高温プラズマに向けて見ますと高温プラズマを長時間運転するのが難しいためとプラズマと容器との相互作用により常に粒子のリサイクリング及び拡散があるためほとんどのプラズマが非平衡電離プラズマです。プラズマがたとえ定常でもイオンの電離度は電離平衡になっていないことが多いのです。私は太陽フレアはこの様な非平衡電離プラズマではないか考えています。実験室プラズマでも今までは電離と励起過程が主に研究されてきました。しかしながら最近再結合過程が注目されるようになりました。例えばダイバータープラズマではプラズマからの粒子の壁への衝突による負荷を押さえるため放射損失を多くし、温度を下げ壁を保護することが考えられています。プラズマの温度は1eV ($\sim 10^4$ K) 以下となりこの領域では高温領域のプラズマでつくられたイオンが再結合する際に発生する強い放射が観測されています。又レーザーにより生成されたプラズマはすでに長年研究されていますが、レーザー生成プラズマはレーザー照射が終わると再結合プラズマとなります。これを利用してX線レーザー等の研究が行われています。Z荷イオンからのスペクトル線を考える場合Z荷イオンの基底状態から起因する成分(電離プラズマ成分、これは励起過程によるもの)と電離度がひとつ上のZ+1荷イオンから起因する成分(再結合プラズマ成分、これは再結合過程によるもの)との和で表せます。どんなスペクトル線でも電離プラズマ成分と再結合プラズマ成分とを持っています。電離平衡プラズマでは電離プラズマ成分によるスペクトル線が主要となります。イオンの電離度がそのプラズマ温度で期待される電離平衡値より高い場合は再結合プラズマと呼ばれ再結合が進み電離平衡値へ近づこうとします。再結合プラズマは低温度で強く光り有終の美をみせているようです。

天体では電子衝突でなく光による電離で生成されるプラズマがありますが、この場合は電子温度が電離度に比較して低いために主に再結合過程によって光ります。この種のプラズマは電離平衡であっても再結合プラズマ成分が大きくなります。再結合過程には宇宙で

おなじみの放射再結合の他に二電子性再結合と三体再結合があります。二電子性再結合は二電子励起状態を経て再結合する過程で裸のイオンから水素様イオンへの再結合では起こりません。又低温プラズマではおこらず高温プラズマで重要となります。K殻イオンの二電子性再結合については以前ISASニュースで太陽フレアについてご紹介したようになり研究が進んでいます。L殻イオンについてはまだ充分調べられていません。L殻イオンでは(例えば炭素のBe様イオン C^{+2} からB様イオン C^{+1} へ)二電子性再結合過程は非常に多くの複雑な二電子励起状態を経て再結合をします。又再結合する先が基底状態ではなく主量子数が10-100の高励起状態になります。この様な高励起状態では電子及びイオンによる衝突過程により局所熱平衡状態となり再結合しても実質の再結合とはならなくなり実効的な再結合速度係数が低密度の時の値と比べて小さくなります。どのくらい小さくなるかを図1に示します。太陽コロナくらいの密度になると密度効果が効いてくることが解ります。又プラズマ中で電場、磁場があると高励起状態はこれらの外場の影響を受けます。スタルク効果によるレベル間の混合の効果は密度効果とは逆に二電子性再結合係数を大きくします。電場による影響の例を図2に示します。これらの研究はこれからの課題です。この様に高励起状態の関与する過程は密度及び外場の影響を受けやすく再結合速度係数に影響を与えプラズマ中の電離平衡値にも影響を与えます。最近人工衛星SOHOの観測から太陽コロナ中のイオンに動きのあることが報告されています。高電離イオンが温度の低い領域へ動けば再結合が起こり再結合による光が放射されます。今後観測が精密になり太陽及び宇宙でも非平衡電離で考える時代がくると考えられます。(かとう・たかこ)

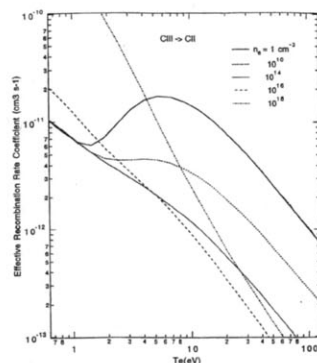


図1

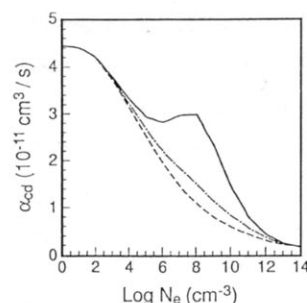


図2

図1. C^{+2} から C^{+1} への実効的再結合速度係数の温度、密度依存性。(ref.1)
図2. C^{+2} から C^{+1} への実効的再結合速度係数。外場のない場合(長破線)、 $1V/cm$ の電場のある場合(鎖線(ref.2)と実線(ref.3))。

References

1. T. Kato et al, Physica Scripta, 55, 185 P (1997)
2. N. R. Badnell et al, Ap.J., 407, L91 (1993)
3. D.B.Reisenfeld, Ap. J., 398, 386 (1992)

Great! Keppel Island

小林 康徳

去る7月20日から1週間、オーストラリアのグレートケッペル島（Great Keppel Island）で開かれた第21回国際衝撃波シンポジウム（ISSW）に参加してきた。成田を朝11時に出発、夕方7時過ぎにケアンズに着く。入国を済ませてその日は国内便乗り継ぎのためにここで1泊。翌早朝7時、33人乗りのプロペラ機でケアンズを発ち、途中3つの空港に立ち寄り、わずかな乗客の入れ替えを行いながら4つめの空港（Rockhampton）でやっと解放された。繰り返し減圧試験にさらされて私の鈍感な耳鼻中枢器官もさすがに参るが、1時間ほどの待合わせで今度は18人乗りのプロペラ機で30分、午後の1時頃ようやく目的地に辿り着いた。はるばる遠くに来たもんだという達成感を味わう。そして遠い昔、各駅停車の国鉄を乗り継ぎ、ビールを飲み継ぎ、2日掛かりで内之浦まで行ったことをフィと思い出した。

この国際会議は隔年に世界各地で開催され、今回は300人弱の参加登録者があったと聞く。内、日本からは50人（参加者実数は60~70人？）ほどの参加、宇宙研からは成田出発から帰り着くまで同道させていただいたH先生と彼地で一緒になったA先生の計3人であった。オーストラリア東海岸の珊瑚礁棚に浮かぶリゾート地、時期は夏休み、とあってか日本からも夫婦や家族連れ、それに大学院学生が大勢見かけられた。日本の経済力もここまで来たかという感慨がある。

ケッペル島は、それほど険しくない岩場ときめ細かい白砂の浜辺が交互に連なる周囲12~3km程度の無人島？（リゾート関係者以外定住者が居ないようだ）である。島全体が日本とは植生が大きく異なる樹木や草花に覆われ、海岸の一部はマングローブの生える湿地帯になっている。浜辺に打ち寄せる小波はあくまで青く澄み、どこを歩いてもゴミ屑や人工漂流物が見当たらない。ここの売り物はやはり海岸での水遊びと珊瑚礁見物で、自然の恵みを満喫してくださいというところであろう。図々しいくらい人見知りをしない色彩豊かな小鳥や小動物たちも観光に役買っているのかもしれない。Greatの後にビックリマーク(!)が付いた表題は、一括運営するカンタス航空会社がこのリゾート地につけた名前であるが、びっくりするほどグレートであるか否かは個人の判断による。会議開催中はわれわれ以外にリゾート客はほとんどなく、この上なく静かで平穏であった。シンポジウム主催者側もこれを

承知してか、セッションは朝7時半から始まり昼食を挟んで午後3時位に終わらせ、そのあとに色々なアフタースリープログラムを組んでいた。

ともかく、「東奔西走」ならぬ離れ小島での「定住禁足」では、披露できるような旅先での冷汗談義もない。会議場周辺の2、3のちっぽけなみやげ物店とカフェーに顔を出すか、清潔そのものの浜辺をさまようくらいで1日が終わる。季節は冬、水遊びをするには少々寒すぎる。健康志向のH先生と私はある日の午後、マングローブの林を抜けて海岸に出て浜伝いに戻る4kmほどの道程を散歩した。H先生の、素足で砂の上を歩くとストレス解消に利くとの説を信じて、2人して靴をぶら下げて波打ち際をテクテク歩いた。帰り着く頃には日が落ちていた。海に沈む大きな夕陽を眺めるのも悪くないが、夜の空に満天の星屑を縦断して力強く流れる天の川がやはり圧巻であった。久しぶりに子供の感動が蘇った。しかし哀しいかな、しばし哲学的気分にと暗闇にたたずむも、ネオン街の雑踏と騒音が染み込んだ俗人はやがて遠く点々と続く対岸の街灯かりに思いを馳せてしまう。

帰途、乗り継ぎのために泊まったブリスベン市では、最後の晚餐をというわけでA、H両先生と市中央部の銀座通りに出た。しかし結局、雑踏の大通りの真ん中に張られた吹き晒しのテント囲い食堂に入った。何料理を注文したか忘れたが、東南アジア系の熱くて辛いスープが美味かった。

これは独断であるが、オーストラリアにはまだ固有の料理や食文化がないようだ。たとえばレストランを語るとき、ギリシャ料理のレストラン、といった具合に大抵オーストラリア以外のさまざまな国名がその頭に付く。今のオーストラリアは少数の原住民を除けば、ヨーロッパ、中近東、インド、アジアなど世界の各地から移住してきた民族がそれぞれに固有の文化と生活様式を持ち込んで、お互いにより干渉し合わずに上手に暮らしている生活共同体、まさに人種のるつぼであり、バラエティ文化の国である。現在は民族自決と宗教の時代と言われているが、まだ若くておっとりしたこのオーストラリアはこれからどのような国造りをし、発展していくのだろうか。硬直し制度疲労に悩む国に住む者には羨ましい気もする。

（こばやし・やすのり）

スペースVLBI入門 (3)

一口径と解像度

村田 泰宏

VSOPの画像ができるまでの概略を平林さんが2回の連載を通してしました。残りの4回で、私が個々の大事な点をもう少し掘り下げて御説明いたします。

VSOPの説明をするときには、われわれは「口径3万キロメートルの電波望遠鏡をつくります。それで、非常に高い解像度で天体の像を得ることができます。」といいます。今回は、口径(望遠鏡の大きさ)が大きいとなぜ解像度があがるかという話をしたいと思います。

まず、図1を御覧ください。大きなレンズと小さなレンズがあります。電波望遠鏡は、ほとんど凹面鏡を使っていますが、線が重なるのを避けるために、凸レンズを使って御説明いたします。しくみは凹面鏡も凸レンズも同じです。ひろがりを持たない天体からの電波はレンズの焦点でちょうど波が重なります。図1の大きいレンズではB、小さいレンズではEの点になります。GBとHBの長さは等しくなります。同様に、IEとJEも同じ長さです。

ここで、「解像度」を考えるために、焦点B、Eから少しずれた点で信号の強さが、どのように変わるかを調べます。大きいレンズではAやCの点、小さいレンズではDやFの点です。これらの点は焦点から同じだけ離れています。しかし、大きいレンズか小さいレンズかによって中心に対する波の強さは、変わります。

図2を御覧下さい。実線は、レンズの上部を通った波、点線はレンズの下部を通った波を示します。焦点B、Eでは山と山、谷と谷がうまく重なり、波がうまく集まります。ところが、焦点からずれた点では波がずれます。点Aでは、GAよりHAの方が長いので、その分だけ波がずれます。C、D、F点でも同様に波がずれます。ただし、大きいレンズのほうが、IDとJDの差よりは、GAとHAの差の方が大きくなります(ほんとう?と思われる方は図にもの差しをあてて計ってみて下さい)。波の山のずれかたは、レンズが大きい程大きく、また、波の山と山の間隔(波長)が小さいほど大きくなります(図2(2)、(3))。

このため、足し算したあとの波の大きさは、点D、Fのほうが、点A、Cより大きくなります。このことから、焦点の付近での波の強さのグラフを図1右に示します。天体が広がりがなくとも、像は、レンズの大きさに反比例した広がりを持ってしまいます。

それでは、これらのレンズで、ある間隔で離れた2つの天体を見た場合はどうなるでしょう? 図3を御覧下さい。それぞれの天体からの信号が、図1の右側のグラフで示す像を焦点面に描きます(細い線)ので、

それを足し合わせた結果、観測される天体の像は太線のようにになります。大きいレンズの場合は、太線でピークが2つ出ますので、天体が2つあることがわかりますが、小さいレンズの場合は、ピークが1つになってしまうので、太線(観測結果)をみただけでは、天体が1つか2つかは区別が付きません。つまり、大きいレンズのほうが2つの天体を分離する能力、つまり解像度が高いということになります。これは、焦点に集まった波が通った経路(口径)が離れていればいるほど、解像度が高くなることを示しています。

(むらた・やすひろ)

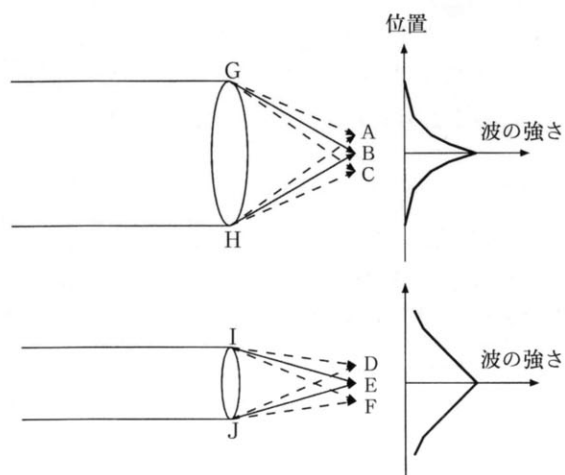


図1 大きいレンズと小さいレンズ

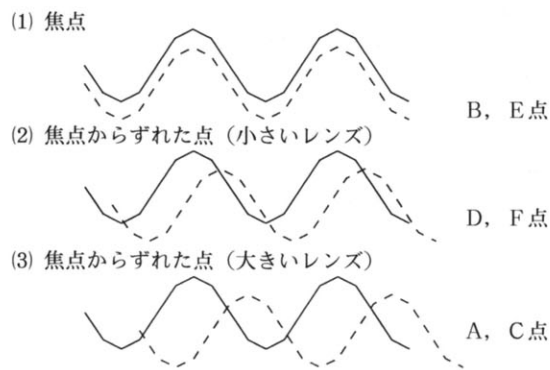


図2 各点での波の重なり方

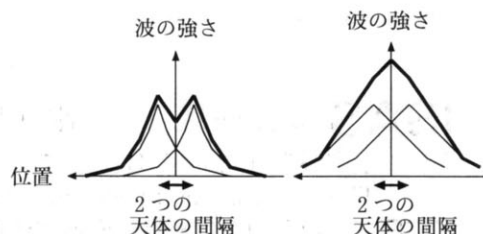


図3 2つの天体を見たときのレンズの大きさによる違い



COMING TO ISAS AND EXPERIENCING JAPAN

Suzanne Murray

This is our fourth summer in Japan and living at the Lodge at ISAS. I am often asked "What is it about Japan that draws me back each time?". It is many things.

Four years ago when Bruce and I, and our then fourteen year old son Jonathan, first arrived it was still June and cool. We were welcomed warmly and made to feel very much at ease. Professors Kawaguchi, Uesugi, Matogawa and Mizutani and their office staffs were wonderful. To counter homesickness I had brought family pictures and some personal items to help make our family apartment at ISAS feel more like home. I still do, along with various household items and foods that are not available around ISAS.

We already enjoyed Japanese food like sushi when we first arrived. But we couldn't read or speak a word of Japanese, so shopping for food at the local 7-11 and COOP was a great adventure. We made many mistakes, but we learned, and wrote home to tell family and friends about our adventures.. Every day brought new challenges like trying to figure out the apartment air conditioner or stove or washing machine or dryer all with entirely Japanese labels, or opening a bank account, or struggling with trains - which side of the platform and which direction are we really trying to go?

A special benefit of our repeated visits to ISAS has been the opportunity to travel widely in Japan. (But be sure to buy a JR rail pass before coming!). Bruce and I especially enjoy the beautiful temples and shrines. We visited Kyoto five times and have taken six day trips to Kamakura during our four summers! I am still amazed by the number of travel connections that are necessary. Earlier this summer Professor Yajima and his charming wife escorted us on a weekend visit to the ISAS balloon launch facility in beautiful Sanriku. We used 11 trains and three or four taxicabs! There was also another first for me. Bruce and I eat almost all the raw fish and seafood we are served. This time the challenge was raw sea urchin. I was OK... until it moved!.

We had been in Japan barely a week on our first summer when we were taken to Nagasaki, in part to see a Mitsubishi space facility there, but also for sightseeing. The atomic bomb memorial was extremely emotional, especially through the eyes of our fourteen year old. But he ended up asking a question for which we have not been able to find a satisfactory answer,

"Why don't they discuss the reasons for the war that ended with the atom bomb?"

Later that summer we spent five days in Ofunato participating in a "Jamboree" of the Young Astronauts of Japan. It was also Tanabata festival time with wonderful fireworks, dances and musket firing from decorated ships. Best of all, we were invited to participate in the festival of a little town nearby. We pulled the ropes of one of the wooden carts in the "battle"! And we were invited for dinner in a traditional Japanese household with some wonderful people from that area.

During our second summer we visited Kobe University and Professor Tadashi Mukai. He and his wife were warm hosts. But the devastation from the great earthquake there six months before was depressing--empty lots where apartments had stood and large darkened areas of the city at night where electricity hadn't been restored. We also managed to get to beautiful Hakone for a day.

During our third summer came a great visit to Sendai to see Professors Oya and Ono at Tohoku University, followed by three wonderful days at Nikko.

We love Yokohama. It is much easier to get to and less crowded than Tokyo, and is full of life.

Through all these opportunities that ISAS has made possible for us as a family we have learned a lot about Japan, its culture and wonderful people. I look forward each year to returning. ISAS and its wonderful people has become my summer home away from home.

Suzanne Murray lives in Pasadena, California with her husband Bruce Murray, right across the street from Caltech where he is Professor of Geology and Planetary Science. Their son Jonathan is entering college this Fall.



連載ものの原稿は量が決まっているので、多少締め切りに遅れても何とかあります（こんなことばらしていいのかなー）。しかし「ISAS事情」は、少しでも新鮮な情報をお届けするために割り付けギリギリまで待ちます。というよりギリギリでもかまわないからと無理をいって執筆をお願いしています。限られた字数、限られた時間で執筆していただいている執筆者の方々にいつも感謝して、割り付けを終えます。（早川）

ISASニュース

No. 198 1997.9

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所(文部省) ☎229 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 0427-51-3911

The Institute of Space and Astronautical Science

◆本ニュースに関するお問い合わせは、庶務課法規・出版係(内線2211)までお願いいたします。(無断転載不可)

*なお、本ニュースは、インターネットでもご覧になれます (<http://www.isas.ac.jp>)