



SAS ニュース

宇宙科学研究所

1999.10 No.223

▲ASTRO-E熱真空試験（本文記事参照） 撮影：新倉克比古

〈研究紹介〉

電子・原子衝突で自然現象を探る

山口大学大学院理工学研究科 季村 峯生

はじめに

私たちが住んでいるこの世界で目にする、あるいは知覚する多くの自然人工現象で、電子やイオンと原子分子との衝突あるいは相互作用によって起きる様々な過程が関係している現象が多くあるのは良く知られている。

幾つかの例を挙げてみると、(i) 電子捕獲（電荷移行）過程は星間空間、惑星星雲、HII領域、超新星爆発残滓、銀河コロナ等様々な宇宙領域での原子種同定、物理的環境（温度、密度、原子分子種分布等）診断に無くては成らない重要な基礎過程を提供している。(ii) 星間ガスの多くは分子状態にあると思われるが、これら星間分子の同定を可能にしたのは最近の電波天文学（赤外線、マイクロ波、X線）の発達によるが、星間分子に発光を誘起するのは宇宙空間に存在する光・電子・イオン・原子分子あるいは核種などとの相互作用により様々な内部量子状態に励起されることに始ま

る。

又テクノロジー面では (iii) 半導体製造工程で低温プラズマを利用しプラズマエッチングを行うのが基盤技術であるが、低温プラズマの生成には電子と CF_4 、 C_2F_6 等のエッチングガスとの衝突による分子解離をうまく制御し選択的に高効率でエッチングをするラジカルと呼ばれる高反応性分子種やイオン種を作り出し、それらをSi基盤表面に輸送しエッチングを行う。(iv) 医療分野では、古くから放射線治療は用いられてきたが、最近特に有効性が認識されだした重イオン照射ガン治療法がある。これは高エネルギー重イオン (C^{q+} , O^{q+}) のエネルギーロスが入射地点からある距離だけ離れた所で局所的に起きる (Bragg効果) 現象を利用し深部のガンを選択的に破壊するのに非常に効果があることが最近分かってきた。これらざっと見渡しただけでも基礎科学から応用まで広く電子・イオン-原子分子衝突による原子分子のイオン化、電子・振動・回

転励起、化学反応等の素過程が深く現象に関わっていることが分かる。私は共同研究員として宇宙研・市川行和教授グループと共同でこれら電子・イオン・原子・分子衝突による素過程のダイナミックスの理解と衝突断面積の整備を行っており、この研究分野の一端の紹介をさせて頂きたいと思う。

電子・陽電子—分子散乱過程

この宇宙で安定に存在できる構成物質の内、質量が陽子に比べ2000倍も小さい電子は原子分子と外場（電磁波、粒子等）との相互作用で容易にイオン化され自由電子となってこの広い宇宙空間を動き回っている。これらイオン化された電子（2次電子）の多くは幅広いエネルギースペクトル（MeV-meV）を持っており、これら2次電子と他の原子分子との相互作用でさらなる衝突素過程が可能になり非常に重要である。また電子の反粒子である陽電子（ポジトロン）と原子分子との衝突相互作用を考えることにより電子衝突による様々な素過程のメカニズムと相互作用の本質がより深く理解できる利点がある。現在までのところこれら陽電子が宇宙空間でおきる種々のダイナミックスで主要な役割をするという、確たる証拠は見つかってはいないが、将来何か陽電子が関与する新しい物理現象が見つかる可能性も秘めている。応用領域では陽電子を用いた固体表面あるいは固体内部欠損の診断に広く使われているし、最近ではPET（Positron Emission Tomography）を使い脳等の生体器官の働きをリアルタイムで観測する事ができるようになった。我々は電子・陽電子と分子との衝突過程、特に電子励起、振動励起について理論的に調べている。

図1にCO₂分子と電子・陽電子との衝突による全散乱断面積の値を衝突エネルギーの関数として与えてある。入射荷電粒子と標的CO₂分子との全相互作用は

(i) 静電相互作用、(ii) 交換相互作用、(iii) 分極相互作用の3つの寄与の和としてかけるが、電子の場合それぞれ引力で全体の和として強い引力の相互作用となりCO₂分子は電子を引き込むようになる。一方、陽電子とCO₂分子との静電相互作用、分極相互作用は（陽電子の場合交換相互作用は存在しない）それぞれ斥力、引力となり、斥力と引力がキャンセルしあって、陽電子が感じる分子からの力は電子の場合に比べ相対的にかなり弱い相互作用となる。この相互作用の強さの差が全断面積の大きさにおおよそ反映していることがこの図から読み取れる。

しかし-2eVより低く0.7eVより高いエネルギー領域では陽電子断面積の方が大きくなる事が分かる。これはどうしてであろうか？このエネルギー領域で起こりえる非弾性散乱過程は主に振動励起か回転励起であろう。では電子と陽電子とCO₂分子との衝突による振動回転励起メカニズムはどのように違うのであろうか？CO₂分子には3つの第一振動励起状態がありそれぞれ対称性伸縮（100）、反対称性伸縮（001）、そして変角（010）振動である。量子力学的close-coupling法を用いて調べてみると非常におもしろいことが分かった。電子衝撃による（100）振動励起断面積は陽電子のそれより2桁から3桁も大きくなる事が分かったが、一方（010）と（001）振動の励起断面積は電子と陽電子によってほとんど際立った差は出ない（図2）。これは（100）振動励起は弱く且つ短距離力の分極相互作用によって誘起されるが、（010）と（001）振動励起過程は強い遠距離力の双極子相互作用によって起こされるためと考えられる。

電子と陽電子がCO₂分子に近づいて行くと静電相互作用により電子はCO₂分子の中に入り込めるが陽電子は斥力で分子の近傍で追い返されてしまう。この時相

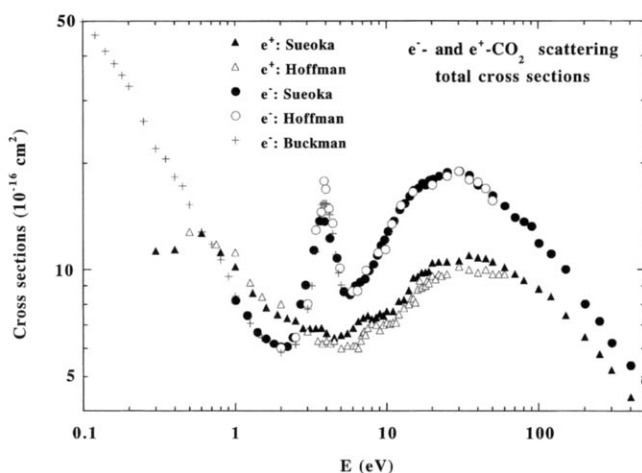


図 1

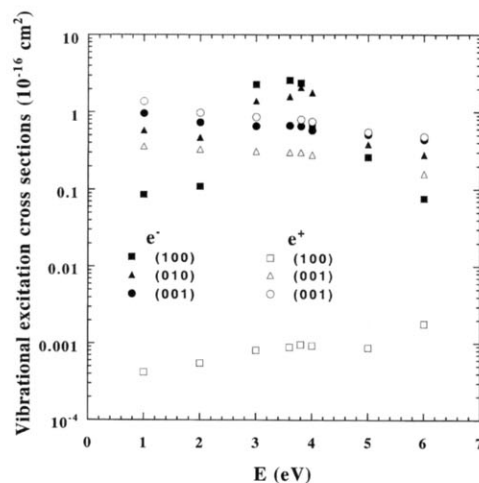


図 2

相互作用が短距離力の場合、陽電子と CO_2 分子との相互作用は電子の場合に比べ非常に小さくなる。しかし相互作用が遠距離力（双極子相互作用）の場合は陽電子がそんなに分子の近くまで近寄れなくても分子と十分強い相互作用をし電子の場合とそれほど変わらない断面積を持つ事ができると予想される。これから3つの振動励起断面積の和は電子衝撃の場合が陽電子衝撃に比べ大きくなるという事が分かった。したがって実験結果を説明するためには回転励起が陽電子の場合に電子の場合よりはるかに大きくななくてはならない訳であるが、実際、摂動論に基づいた計算をすると陽電子による回転励起が電子の場合に比べ非常に大きくなることが分り実験結果を説明する事ができる。

電子励起についての組織的研究はまだないが、陽電子の場合交換相互作用が無いので電子交換による1重項-3重項の電子遷移は起きない。従って上の振動についての研究から同じように電子励起についても電子衝撃と陽電子衝撃とでは非常にそのダイナミックスの様子が異なるであろうと予想される。一般に分子サイズが大きくなるに従い、電子・振動励起の自由度は増え様々な励起モードが可能になる。そして電子・振動励起過程およびその断面積の大きさも電子・陽電子によって非常に異なってくることが予想される。分子の場合（電子・振動）励起と分子解離のチャンネルとが強く結合していて高い準位への電子・振動励起を起こすと分子解離を起こし、小さな解離種に壊れる。電子・振動励起過程が電子と陽電子でこのように極端に異なる場合、電子・陽電子衝撃によって生成される解離分子種とその生成量も非常に異なるはずであり、選択的に特定の解離種生成に使用できる可能性がある。

低速電子が分子場に入射するとしばしばその分子場に捕まり負イオンを作ることが知られている。この確かな実験的証拠は見つかっていないし、理論的にも予言されていないが、様々な傍証から陽電子が分子にくっついて正イオンを作っているのではないかと、言われている。これら分子負イオン、分子正イオンは不安定でやはりすぐ解離して小さな解離種に壊れるであろう。この壊れた解離種もまた電子付着によるか陽電子付着によるかで全く異なるに違いない。これらの研究はほとんど無く基礎物理としてもまた応用上も非常に興味がある問題であり新しい物理に発展する可能性を秘めている。

イオン-分子散乱過程

様々な種類（ H^+ , C^{q+} , O^{q+} , ...）の重粒子イオンが宇宙線中に含まれている。これらイオンと原子分子との

衝突によって電子の場合とは異なった新しい素過程が可能になる。たとえばイオン化でも入射イオンからのイオン化、標的からのイオン化、あるいは両方からのイオン化と色々バラエティーがある。電子励起、振動回転励起などの標的の内部量子状態の変化等の他に電子捕獲過程、化学反応（原子捕獲）過程等イオン入射特有の過程も多くあり電子入射の場合とは異なった面白い物理を提供している。

応用面では核融合プラズマ中での不純物イオンと燃料原子分子との衝突でのイオン化・電子捕獲過程による原子分光の知見は融合炉内プラズマ診断にとってかくことができない情報を与える。またイオンビームを用いた薄膜形成、エッチング等の応用も重要である。重粒子線ガン治療の成否をにぎっているのは入射イオン種、イオン種のエネルギー・空間分布、イオンと生体分子（水分子、DNA分子等）との非弾性衝突断面積などの正確な情報であると言っても過言ではないであろう。しかし現在これらの情報はまだほとんど蓄積されていなく、イオン-分子散乱分野の研究は始まったばかりである。

そこでプロトタイプとして宇宙空間でも存在が確認されている CH_4 , C_2H_2 分子と H^+ イオンとの衝突による電荷移行過程を衝突エネルギー数keVの領域について調べた。図3に C_2H_2 分子の電荷移行断面積を衝突エ

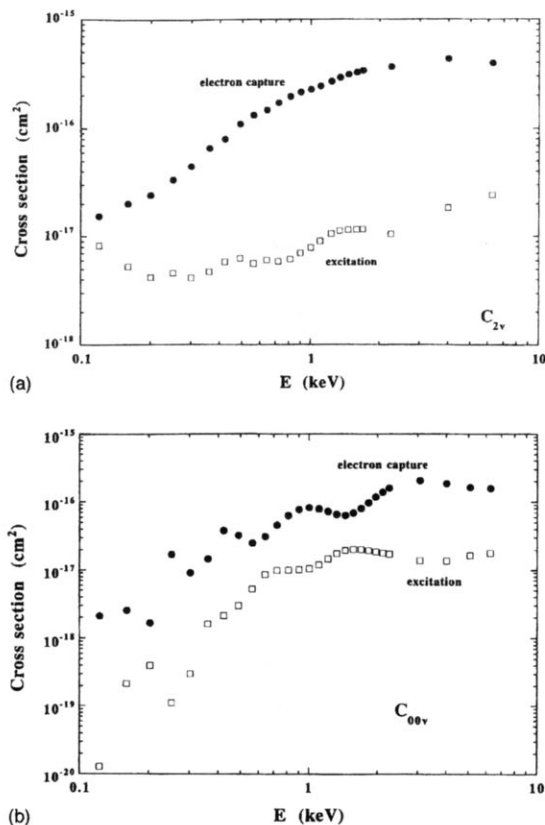


図3

エネルギーの関数として示してある。又入射粒子に対する分子の向き（分子配向）の違いも区別しており、 C_{2v} は入射イオンが分子軸に垂直に入射する場合、 $C_{\infty v}$ は入射イオンが分子軸に平行に入射する場合を表している。分子の向きによって電荷移行断面積の大きさが非常に異なることが分かる。さらに $C_{\infty v}$ の分子配向では電荷移行過程と標的電子励起過程とが強く結合しているためそれぞれの断面積は逆位相で強い振動構造を示している。種々の非弾性散乱過程に対する分子の配向効果について、keV領域で理論的に示したのは初めての試みである。

最後に1つ、2つの理論グループによる計算が互いに全く合わない例について話をする。 N^{4+} イオンとH原子との衝突による電子捕獲過程についてであるが、この衝突エネルギーは低eV領域以下とかなり低いため、理論計算に用いる断熱ポテンシャルや相互作用の決定にかなり高精度の計算が要求される。図4にこの衝突系の電荷移行断面積について、実験値と2つの理論値を示してある。理論はともに量子力学的close-coupling法を使い計算を実行している。10eV近傍より大きな衝突エネルギーでは2つの理論グループの計算値の一致は良いが、これより低いエネルギーでは1つの理論値は衝突エネルギー減少と共に断面積も上昇する傾向があるが、我々の理論値は逆に衝突エネルギー減少と共に、減少し続けている。2つの理論値は定性的にも定量的にもまったく違う傾向を示しているが、実験値は我々の結果と良く合っている。これは低エネルギーでの衝突計算の難しさを示す良い例であろう。このどちらの断面積の値を使うかによって宇宙環境や核融合

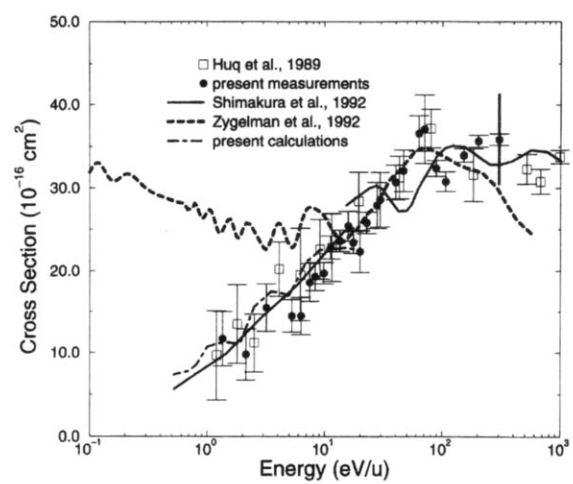


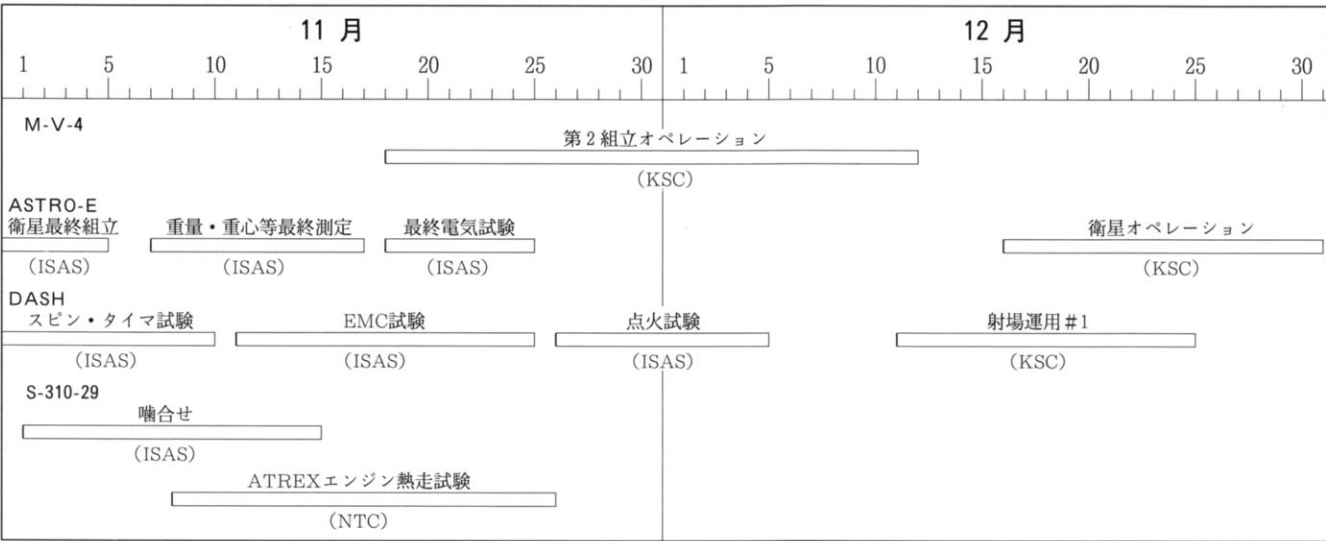
図 4

炉でのエネルギー・電荷バランス等のシミュレーションに大きな影響を与えるであろう。

電子・イオン-原子分子衝突素過程についての我々の理解・知識はまだまだ不完全である。 N^{4+} とHの衝突の例で見たように、理論計算において現代のスーパーコンピュータをもってしてもこのような比較的簡単な衝突系でさえ高精度の計算をすることがなかなか困難である。これが多原子分子が標的になった場合には高精度の理論計算はほとんどお手上げの状態である。しかし我々の仲間たちの努力によって今の計算機的能力を最大限活用しつつ、色々賢い他のアプローチの仕方を発展させて少しずつ自然のバールを剥いで人類共通の知識としている。宇宙研の皆さんから色々新しい現象の観測結果等お教えいただき原子分子レベルでその新現象の理解に役立てることができれば、といつも望んでいる。
(きむら・みねお)

お知らせ

★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（11月・12月）



★平成11年度「宇宙学校・くわな」開催について

日 時：平成11年11月27日（土）
場 所：桑名市コミュニティプラザ
校 長：的川 泰宣 教授

第1時限（9時40分～11時30分）

- ・将来の惑星探査計画 山川 宏 助教授
- ・月・惑星探査ロボット 久保田 孝 助教授
- ・映画「人工衛星」

問合せ先：宇宙科学研究所庶務課企画・広報係
TEL：042-759-8008（ダイヤルイン）

第2時限（12時10分～14時00分）

- ・コンピューターで探る宇宙 星野 真弘 客員教授
- ・宇宙から見た宇宙－宇宙望遠鏡による天文学－
和田 武彦 助手
- ・映画「ブラックホールを探る」

第3時限（14時30分～16時20分）

- ・探査で探る惑星の歴史 岡田 達明 助手
- ・地球の風、火星の風、金星の風
今村 剛 助手
- ・映画「私たちの太陽系」

★人事異動（教官）

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現（旧）職等
		（採 用）	
11. 10. 1	かさ ば やす まさ 笠 羽 康 正	宇宙科学企画情報解析センター助手	
		（転 入）	
11. 10. 1	まえ ざわ きよし 前 澤 洸	太陽系プラズマ研究系教授	名古屋大学大学院理学研究科助教授
		（所内配置換）	
11. 10. 1	藤 原 顯	惑星研究系教授	惑星研究系助教授
11. 10. 1	齊 藤 猛 男	宇宙推進研究系教授	宇宙推進研究系助教授
11. 10. 1	水 野 貴 秀	次世代探査機研究センター （探査機システム分野）助教授	宇宙探査工学研究系助手

★シンポジウム

磁気圏・電離圏シンポジウム

日 時：平成11年10月27日（水）～28日（木）
場 所：宇宙科学研究所本館2階会議場

宇宙航行の力学シンポジウム

日 時：平成11年12月2日（木）～3日（金）
場 所：宇宙科学研究所本館2階会議場

大気球シンポジウム

日 時：平成11年12月9日（木）～10日（金）
場 所：宇宙科学研究所本館2階会議場

問合せ先：宇宙科学研究所研究協力課共同利用担当
TEL：042-759-8019



★平成11年度第2次大気球実験

平成11年度第2次大気球実験は、平成11年8月23日から9月8日まで三陸大気球観測所において実施されました。実験当初は天候が悪く予定期間内に計画された全機を放球できるか危ぶまれましたが、全機を放球することができました。

8月31日に放球したBT5-18号機は、東北大学が中心となり光学的オゾンゾンデによる高度20kmから気球

到達最高高度42kmまでのオゾン濃度の観測に成功しました。本実験でオゾン量の経年変化を調べるための貴重なデータの取得や、地上や人工衛星のリモートセンシング技術では観測できない数キロメートル規模の波状構造の観測に成功しました。

9月1日に放球したBT1-3号機は、宇宙科学研究所気球工学部門が世界に先駆け開発した、メタロセンを触媒にした厚さ3.4ミクロンの新しい超薄膜ポリエチレンフィルムで製作した、容積1,000m³の気球の飛翔性

能試験を目的に行われました。本実験は、超薄膜フィルムで製作した気球の初めての飛翔試験でしたが、極めて良好の結果が得られ、今後の高高度気球の開発に新しい道を開くことができました。

9月2日に放球したB50-45号機は、芝浦工業大学が中心になり大気ガンマ線フラックスの高度変化を測定することにより、神岡実験で問題になっている大気中のニュートリノフラックスの絶対値を校正することを目的として行われました。高度32kmまでに4回の異なる高度での観測を行い、各高度で約2,000例のGeV領域の大気ガンマ線の観測に成功しました。

9月6日に放球したB15-81号機は、昨年度新設した大型気球放球装置を用いた放球試験を目的として行われました。本実験は大型放球装置の性能、安定性、確実性の検証と、気球への安全性を調べることでありました。本実験の成功により本装置の性能の実証および今後の大型気球の放球への道を開くことができました。

(山上隆正)

★新設の「大型気球放球設備」を披露

8月27日（金）、三陸大気球観測所において、平成10年度に製作・建設された「大型気球放球設備」の竣工披露が行われました。この設備は、約14mの高さをもつ新気球組立室、ならびに既設の放球場の長さ20mにわたる拡張とその拡張部分に設置した放球用回転テーブルと新型放球装置からなり、今後より大型の気球の放球を可能にし、薄型高々度気球の飛揚を確実かつ能率的にすることを目指すものです。

佐々木菊夫三陸町長を始めとする三陸町、岩手県、地元関係の方々、施工を担当された企業の方々、総勢二十数名を来賓として迎え、煙雨の中でしたが、竣工式とそれに続く設備紹介が和やかに行われました。宇宙研からは西田所長、大気球実験班のメンバー、管理部関係者が出席しました。三陸大気球観測所としては大窪山受信点の建設以来の大きな施設整備で、三陸の地元の方々に大気球観測所の最近の活動を理解いただく上でも意義のある披露となりました。

(廣澤春任)

★科学衛星「ASTRO-E」の熱真空試験

「ASTRO-E」の熱設計を検証するための熱真空試験が8月28日から9月5日まで、昼夜連続して宇宙環境を模擬した大型スペースチェンバで実施されました。ここでは、「ASTRO-E」の全ミッションを通して衛星の温度が最も厳しくなる低温および高温状態を想定し、4項目の試験が行われました。その結果、解析用熱数学モデル、および熱計装の考え方に誤りのないことが

確認されました。

「ASTRO-E」の熱設計では、衛星の熱歪み解析を行うため、熱数学モデルの節点数が従来の衛星に比べて多く約7000節点であること、搭載機器のX線CCDカメラ（XIS）や硬X線検出器（HXD）等のセンサの冷却を行うため、アンモニアを冷媒としたヒートパイプを採用したこと、などの特徴があります。ヒートパイプの構成は、センサ部から放熱板までの熱輸送を行うヒートパイプと放熱板から宇宙空間への放熱をより効果的にするための放熱用ヒートパイプから成っています。その放熱板には、長さ約2mのヒートパイプが2本搭載されています。従来、ヒートパイプは高温側で多く用いられてきましたが、本熱設計のように大型のヒートパイプが-30℃近傍の低温で使用されることは少なく、宇宙研においても初めての試みになります。

(大西 晃)

★オゾン観測ロケット実験

MT-35-70号機は9月7日、日本時間11時に鹿児島宇宙空間観測所より発射されました。8日に打ち上げ予定の71号機は、打ち上げ作業中の雷雲の到来により中止、さらに9日には、警戒区域への漁船の侵入により中止し、10日には宇宙開発事業団の衛星（MTSAT）打ち上げが予定され、結局11日の同時刻に延期して発射されました。71号機のオゾンゾンデはパラシュートの開傘が充分でなく、予定より速く降下しましたが、両機によって最高高度約55キロメートルから約5キロメートルまでのオゾン密度が観測されました。

今回の2個の高度分布を加えると、平成2年にMT-135-52号機により初めてオゾン観測に成功してよりこれまで19個の内之浦上空におけるオゾン高度分布が得られたことになります。これまで米国の大気放射収支衛星（Earth Radiation Budget Satellite）に搭載されたオゾン観測器との同時観測も行なわれて、長期間、宇宙にある測定器の検定にも役立っています。現在、これまで得られたオゾン高度分布を使って、オゾン密度の太陽活動度依存性、および環境汚染の影響などが研究されているほか、今後は同時に得られた温度、風向、風速データを用いて大気力学の研究もなされるでしょう。観測担当者はこれまでの研究成果をまとめるべく鋭意作業中！

打ち上げは昨年に続いて、鹿児島宇宙空間観測所職員によって主体的に行われました。今回も多くの機関にお世話になりました。観測担当者に代わり、お礼申し上げます。

(小山孝一郎)

宇宙を 探る 第7回

遠赤外線ファブリ・ペロー分光器

中川 貴雄

宇宙にひしめく星というものは、いったい「どこで」「どうやって」生まれてくるのだろうか。

この問いに答えるためには、「星間ガス」というものの性質を知らなければならない。「宇宙は真空だ」と俗に言うが、実は宇宙は真空ではなく、星間ガスと呼ばれる非常に希薄なガスで占められる。星はこの星間ガスから生まれてくると考えられているのである。

しかし、星が生まれるもととなる低温の星間ガスは可視光線では一般には見えない。赤外線、とくに波長の長い「遠赤外線」での観測が大切となる。

そこで私たちは、星間ガスからやってくるスペクトル線を詳しくしらべるために、遠赤外線分光器を作ること計画した。1980年代の半ばのことである。

遠赤外線の観測が重要であることは古くから誰もが認めるところであったが、それまで遠赤外線の観測はあまり行われていなかった。それは、地球を包む大気が遠赤外線に対しては全く不透明であるために、地上からはその観測を行うことができないためである。そこで、我々は気球を用いて観測を行うことを計画した。気球であれば、高度30～40kmまでのぼることができる。この高度まで行けば遠赤外線観測の大敵である水

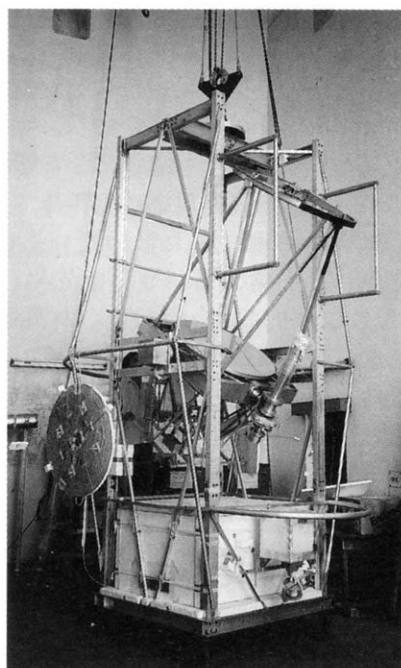
蒸気がほとんどなくなってしまう、天体からの遠赤外線の観測が可能になるのである。

星間ガスからやってくる遠赤外線は、残念ながら大変に弱い。この微弱な遠赤外線を観測するためには、どのような分光器が適しているのだろうか。

赤外線観測では天体を検出できる限界を決めているのは、多くの場合検出器自身がつまみノイズではなく、天体以外からやってくる余分な赤外線の揺らぎである。しかも、その余分な赤外線の最大の源は観測器自身なのである。この観測器からの余分な赤外線を押さえる最も有力な方法は、観測器全体を赤外線を出さないような極低温まで冷却してしまうことである。したがって、分光器としては、冷却が可能であるように小型でなければならない。また、波長分解能(光をその波長で選り分ける能力)の高い分光器であれば、必要な波長のみ選択し余分な光を捨て去ることができ、より感度を上げることができる。

そこで、我々は小型でかつ高い波長分解能を達成することができるファブリ・ペロー分光器というタイプを選択した。ファブリ・ペロー分光器とは、2枚の平行反射板の間での多重干渉によって、特定の波長の光を取り出すタイプの分光器である。我々は、高感度達成のために、その光学系すべてを超流動液体ヘリウムで2K(絶対温度2度)という極低温まで冷却するという、前例のないタイプのファブリ・ペロー分光器の開発にとりくんだ。

前例のないタイプの分光器であるため、その開発には様々な困難がともなったが、1988年には、BIRT(Balloon-borne Infrared Telescope)という気球望遠鏡に搭載して最初の観測に成功し、この分光器は当初のもくろみ通り、素晴らしいデータを生み出し始めた。その後も、搭載する望遠鏡を改良しながら、日本・三陸、アメリカ・テキサス、オーストラリア・アリススプリングスなど、世界各地の気球基地から気球飛翔を行い、ファブリ・ペロー分光器を用いて様々な観測を行ってきた。この過程で、この分光器が生んだデータを基に、5人の博士号取得者が生まれた。現在では、インド・タタ基礎科学研究所との共同で、デカン高原から気球実験をおこなうべく準備を進めているところである。(なかがわ・たかお)



インド・デカン高原にあるタタ基礎科学研究所・気球基地にて、打ち上げを待つ口径1mの気球赤外線望遠鏡とファブリ・ペロー分光器

宇宙科学からスペースアートまで宇宙に関わるあらゆる分野を教えたいという広範な試みをしている大学に国際宇宙大学 (International Space University, ISU) がある。宇宙研関係では秋葉先生や小田稔先生が理事や顧問を勤められている。1988年より毎年3ヵ月の短期コース (サマーセッションプログラム, SSP) を開催しており、1995年には常設校がフランスのストラスブールにできた。このSSPは毎年いろいろな国の大学の施設を夏休みの間借用して開催され、いつも100名内外の学生が参加している。

今年のSSPはタイのスラナリー工科大学で開催された。私とISUとのつき合いは1992年の北九州市でのSSPからで、SFUや「はるか」のプログラムで忙しかったこの数年はとても参加できずにいたのであるが、今年はせっきくのアジア地区での開催ということもあって、8月4日から6日間の予定で出張した。スラナリー工科大学はバンコックから200kmくらい離れたナコーン・ラチャシーマーというタイ東北部の都市にある。とは言っても、タイについては、地名ではバンコックと北部のチェンマイくらい、大学ではアジア工科大学 (AIT) が有名、というだけの知識しかないのだから、もちろんナコーン・ラチャシーマーという都市の読み方も成田で買った旅行案内書でようやく判ったほどで、はなはだ心もとない。いつもの出張のごとく出発の数日前になってようやく直接の準備ができるようになったのであるが、現地に学生として滞在している人達から、むちゃくちゃ暑いとか蚊取り線香と正露丸は必需品とかのうわさが漏れ伝わってくるようになってから、ひょっとしたらこれはいつもの出張と相当違うのでは、と思われた。

バンコックからナコーン・ラチャシーマーへの飛行機の便は一日に朝夕の二回しかないから、乗り継ぎの都合でバンコックに一泊して翌朝現地に行く。バンコックは大都市であるからここまではまったく問題がない。現地に着くとISUのバンの送迎があるからこれも問題はない。しかし空港を出てから行けども行けども町らしいところはまったく出てこない。道の両側はだれもない田圃続きで、椰子の葉の屋根の高床式のスケスケの建物がぼつりぼつりとしかないところを通っていると、ここでほんとうに宇宙大学が開かれているのかと、なんとなく不安になってくる。実はタイには工科大学が二つだけあって、AITにくらべてこちらは圧倒的に施設の使用料が安いというわけである。約1時間ほどでスラナリー工科大学のキャンパスに着く。この

大学の施設のいくつかは何年か前の博覧会とかの時にできてから本格的に使うのは今回が2回目とかであるが、宿舎の大学のホテルは十分に整っていた。蚊取り線香はいらなかったし、部屋に備え付けの冷蔵庫にミネラルウォーターが常時補給されていたから正露丸もいなかった。タイは植民地化されずに王国を保ってきたので、王室は国民に敬愛されている。バンコックのタクシーのフロントボードにも4cm四角ほどの小さな額入りの国王の写真が飾られていた。ISU SSPの開校式には才媛で名高い王女が出席されたとかで、この国のISUへの歓迎ぶりが知られるのであるが、夏休みということもあって、ISUとホテルの関係者以外だれもいない。町まではバスで30分もかかるので、学生にとっては勉強に集中できるということにはなる。SSPにはウイークエンドにカルチャーナイトと称する息抜きのプログラムなども用意されているのであるが、学生たちは適当に町に抜け出してリラックスタイムを持っているようであった。土曜日の夜には学生たちが町の中心部の賑やかなマーケットを案内してくれたが、今思うとそこの屋台で売っていた果物の王様というドリアンを食べ損なったのが少し残念である。そのほか名前も分からないものが多かったが果物は豊富で、また食事でも中華風の料理が多く我々には違和感はない。マーケットからの帰りはトクトクという三輪車のバイクタクシーに乗る。排気ガスをまき散らすのではあるが、この乗り物はタイのひとつの文化でもある。

宇宙研からは中谷先生と私が短期的に参加、私は宇宙構造物システムとその適応特性について二コマの講義を受け持った。茂原先生 (宇宙工学科学科長、元都立科技大) や村井先生 (衛星応用学科長、元生研、現AIT) が長期に滞在され、また私の短い滞在期間内では林友直先生 (現千葉工大) や草薙先生 (NASDA, 現AIT) にも久しぶりにお会いした。林先生は相変わらずカモメなどの折り紙でISUのスタッフやホテルフロントの女性たちの人気を博していた。

ISUは発足当初は宇宙工学が中心であったが、横断的にスペースビジネスや宇宙法や社会学といった分野を充実させている。宇宙開発の全体像の中での自分の位置付けを明確にできるのが参加者のメリットのようである。発展途上国からの優秀な学生の参加も多く、国際感覚を磨くのいうってつけということもできよう。

タイは穏やかな国であった。あっという間の出張が少し残念のような気がする。

(なとり・みちひろ)

風洞という武器

平木 講 儒

空力シリーズの第5回目となる今回は、風洞を用いたフライトシミュレーション技術について紹介します。これまでの連載で、高速で飛行する物体が被る空力加熱の過酷さやそれを生み出す流れ場の複雑さをわかっていただけたと思いますが、実際にものを飛ばす場合には心配なことはそれだけではありません。ロケットや再突入カプセルなどの飛翔体は姿勢がひっくりかえることなく安定に飛翔しなければなりません。M-Vのように尾翼のないロケットの場合は空力的に不安定な機体であるため、姿勢制御が必須となり、制御力の決定に際しては不安定な空気力を精度良く見積もってやるのが課題となります。例えばこのような空気力の見積には、風洞と呼ばれる設備が一役かっています。

高速風洞は、その内部に飛翔体の模型を支持し高速の気流の中に曝すことによって実際の飛行状態を模擬することが可能な設備で、宇宙研には遷音速風洞と超音速風洞の2つがあります。この2つでマッハ数0.3～4.0の広範囲をカバーすることができます。この風洞、空力屋にとっては数少ない武器のうちの1つといっても過言ではありません。もちろん実際の飛翔体を観測ロケットや気球を使って飛ばすことができれば一番よいのですが、実験の機会が限られますし何よりコストがかかります。機体形状を適当に変え繰り返し試験ができるメリットは、数値計算による手法が発達した昨今であっても、何ら変わることはありません。この風洞という武器をいかに使いこなすかが空力屋の技量の見せ所ということになるのでしょうか。

小惑星からのサンプルを地球に持ち帰るMUSES-Cの再突入カプセルは空気力による減速を最大限に活用するため平べったい形状をしています。このような形状は空力的には充分静的に安定です。しかし、実はこのような形状の物体は特に遷音速領域でピッチ／ヨーの振動が発散する傾向があります。静的に安定であっても振動が発散する傾向があるということは、動的に不安定である、ということですが、この動的特性は通常風洞で行う試験方法では知ることができません。そこで、風洞内でカプセル模型が重心まわりに1自由度で空気力のままに自由に回転できる特殊な装置を製作して、その姿勢変化を各マッハ数ごとに観察することによってカプセルの動的特性を調べるということを行いました。その結果、迎角の小さい範囲に動的に不安

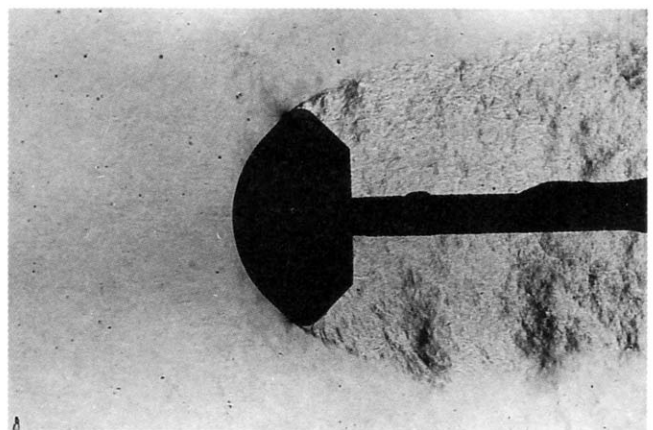
定な領域があること、迎角が大きくなるにつれ動的に安定になり、振動は発散してひっくりかえるところまでには至らず、最大で30°程度の定常振幅の振動におさまることがわかりました。さらに、この風洞試験の結果を用いて動的な空気力をモデル化し、実際のカプセルの姿勢運動をシミュレーションするためのデータベースを作成することができました。

風洞での試験は回転の自由度を1つに限定しているため実際の動的特性と異なることが懸念されたため、気球からの実寸大カプセルの落下試験を行って確認を行いました。結果的には、風洞試験結果を使ったシミュレーションによる予測とフライト結果に大きな矛盾はなく、風洞での動的試験方法の妥当性が示されたことになりました。

ここで紹介したのは一例で、他にもいろいろな取り組みが風洞を使ってなされています。ただ、残念ながら風洞も万能な武器というわけではありません。飛翔体の飛行環境に関する無次元パラメータを完全に合わせることはできません。また、模型の支持装置により流れが歪められている、などの欠点もあります。これら欠点を十分に認識した上での結果の評価が求められるわけで、武器を扱う人間の真価が問われてしまうことになります。

宇宙研の風洞の稼働率は極めて高く、完成から10年ほど経過した現在でもほとんど1年中使用されています。少なくともこの客観的事実は、これからも風洞が空力屋の有力な武器の一つであり続けること、その真価も問われ続けることを示していると考えられます。

(ひらき・こうじゅ)



ピッチ軸まわりに振動中のカプセル後流のシュリーレン写真



パラボラアンテナと私

新谷 一徳

宇宙科学研究所の勤務から離れて半年経とうとしているいま、宇宙研に在職した期間はたった2年間ではありましたが、いろいろなことが思い浮かびます。

宇宙研の施設は北は能代市から南は内之浦町まで各地にあります。鹿児島県内之浦町にあるKSC（鹿児島宇宙空間観測所）には会計検査を始め幾度となく足を運びました。そのたびに内之浦町に入ってから最初に目に入ってくる20mアンテナが印象的でした。昨年には34mアンテナが加わり、2つのパラボラアンテナがならぶ姿は壮観でした。

この2年間のなかで、残念ながら科学衛星の打上げには立ち会うことが出来ませんでした。KSCに行くたびに1987年2月5日にM-3S II-3号機で打ち上げられた「ぎんが」を思い出していました。（皆さんご存じでしょうか、「ぎんが」の寄せ書きにじつは私のサインもあるんです。）

宇宙研にあるもので私が好きなものというと、ロケットや科学衛星は当然ですが、もうひとつ、パラボラアンテナも大好きです。

長野県白田町にあるUDSC（白田宇宙空間観測所）の64mアンテナやKSCの20mと34mアンテナを見るとぞくぞくします。なぜかといいますと、かつて、電波というものに興味を持つきっかけになった、小学生の悪ガキのころ、家にあった真空管のラジオを近所の友達と一緒に分解し、さて組み立てようとしたら、部品のどれがどこにあったか分からず、結局そのままにしてしまったことから始まり、遠く外国からとどく放送を聞いていた頃や、中学生でアマチュア無線というもののにめり込んでいた頃など、まさに「電波少年(?)」そのままに、現在も飽きることのない趣味の世界があるからです。

それぞれのパラボラアンテナが遠く宇宙にいる科学衛星から送られてくる電波を受信し、貴重な観測データを解析する窓口として活躍していると思うとワクワクします。特に「さきがけ」の運用を停止させる場に

も立ち会えたことも思い出深いものでした。2億km近く離れた場所からちゃんとUDSCのパラボラアンテナに向けて微弱な電波を届け続けていることに感動し、送信停止のコマンドを送った後、数分後にその電波が途絶えたとき、14年間お疲れさまでしたという感慨深いものがありました。

私も宇宙科学の研究のお役に少しでもたてたらしめたいカリフォルニア大学バークレー校で行われているセチ・アット・ホームという、プエルトリコのアレシボ電波望遠鏡で受信された電波を世界中のコンピュータで解析して宇宙人からの電波を探そう、というプロジェクトのため、自宅のパソコンを使って解析させたりもしています。

宇宙研の「宇宙科学講演と映画の会」と「宇宙科学研究所一般公開」は今年も行きました。勤務を離れてもかくれた宇宙科学応援団のつもりですので、今後も毎年この2つのイベントには必ず行って、皆勤賞(?)をねらおうと思っています。（笑）

つきることのない思い出がたくさんありますが、今後の宇宙科学研究所の世界に対するさらなる活躍を期待して筆を置きます。

（文部省情報処理室 情報システム専門官、
前宇宙研主計課長 しんがい・かずのり）



ISASニュース

No.223 1999.10

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所(文部省) ☎229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 042-759-8009

The Institute of Space and Astronautical Science

◆本ニュースに関するお問い合わせは、上記の電話(庶務課法規・出版係)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>)。