



▲ M-14-3 TVC 大気燃焼試験（本文記事参照）（撮影：前山勝則，新倉克比古）

新年の御挨拶

所長 松尾 弘 毅

明けましておめでとうございます。

昨年は省庁の再編で明けました。宇宙科学研究所はこれまでの研究機関課から離れて、国立天文台とともに、文部科学省研究開発局宇宙政策課の所掌となりました。

4月には宇宙科学研究所，宇宙開発事業団，航空宇宙技術研究所のいわゆる宇宙3機関が連携して研究プロジェクトを実施するための運営本部が発足し，本研究所の小野田教授が本部長に就任しました。このような具体的なシステムづくりとあわせて3機関の在り方の検討が更に進められた結果，8月には遠山文部科学大臣から3機関統合の方針が示されました。これを承けて，9月には青山副大臣を長とする統合準備会議が発足し，これまでに新機関の機能についての議論を終え，今年度中に全体の骨格を定める予定です。

宇宙研が属している大学共同利用機関全体についても国立大学共々法人化の議論が最終段階を迎えており，今年度中には結論が出る予定です。

一方，研究活動ではM-Vの回復が順調に進んだことが特筆されます。7月に第2段M-25モータ，9月に第3

段M-34モータと進み，去る12月には第1段M-14モータの地上燃焼実験が無事終了しました。色々な曲折を経たC/Cスロートの製作に苦闘された関係者の方々，12月の荒天の能代で辛抱強く実験を成功に導かれた実験班の方々に，敬意を表します。第2段，第3段については幸い実験当日現地に居合わせることが出来ました。去年楽しかったのはこの2日間だけということに書いていて気がついたというのは余談です。

ほかに金星オービタが認知されたことも将来に向けて明るい話です。さらに日本全体でいえば8月にH-IIAの初号機が成功し，ある種の落ち着きが得られました。新年には2号機で宇宙研の超高速再突入実験機DASHが打ち上げられます。いいネーミングをしてくれたと思っています。

さて，昨年末には1993年以来8年ぶりの外部評価が行われました。宇宙研の成果，将来計画は高い評価を受け，特色を生かし新機関に積極的に取り組むように勧告されました。

その通りの一年にしたいと願っています。

（まつお・ひろき）

金星探査計画PLANET-C

宇宙科学研究所 小山 孝一郎

1. はじめに -金星大気の謎-

火星探査機「のぞみ」に続く日本の惑星探査計画として、金星大気の謎の解明を目指す金星探査計画PLANET-Cが、宇宙科学研究所を中心として進められています（図1）。金星を望遠鏡で覗いたことのある方は、金星と言えは、のっぺりとした表面が月のように満ち欠けするちょっと退屈な天体、という印象を持たれているかも知れません。

しかし、そのペールの下の素顔は極めてダイナミックで謎に満ちたものなのです。ここでは、これまでに判っている金星大気の様子を概観し、この探査計画について紹介します。

金星は古くから「宵の明星」「明けの明星」として人々に親しまれてきました。大きさや重さや太陽からの距離が地球と近いため、地球と似た状態で誕生した双子のような惑星と考えられています。しかしアメリカや旧ソ連の探査機によって明らかにされた金星の素顔は、生命をはぐくんでいる地球とは全く異なるものでした。金星の大気は、以下の3つの点で地球大気と大きく異なっています。

第1の特徴は、大気の97%が二酸化炭素であること

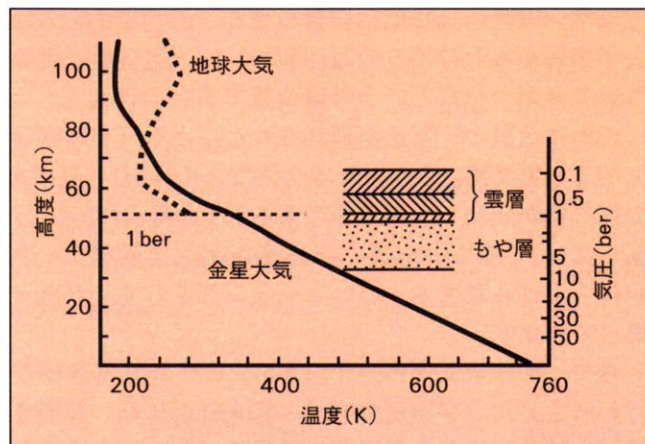


図2 金星大気温度の高度分布。右側のスケールは対応する気圧を示す。比較のため、地表面を1気圧に合わせて地球大気温度分布も示した。金星の高度45-70kmには濃硫酸の雲が分布している。

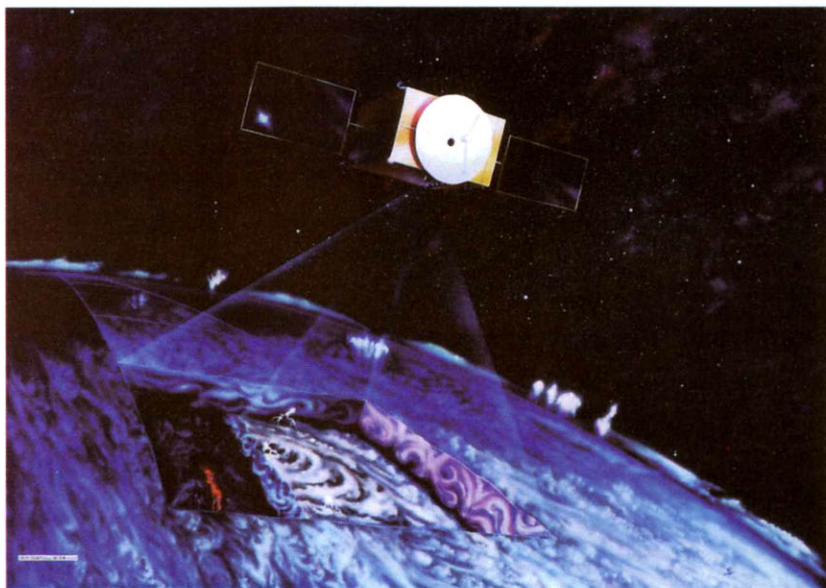


図1 金星大気を赤外線で立体的に透視する探査機の構想図。この図では、明け方の上空から渦巻く雲や雷や地表面を観察している。白い噴水のようなものは雷雲と電離層をつなぐ放電現象、金星の縁で水平にたなびいているのはオーロラや高層大気の化学的発光現象（イラスト：池松均）。

です。大気量が非常に多いため、地表面気圧は水深1kmに相当する高圧（91気圧）です。大気は乾燥していて、海はありません。およそ高度45kmから70kmに雲が分布しますが、その雲は濃硫酸からなっています。

第2は、気温が460℃という鉛が溶けるような高温に達することです。この高温は温室効果によるものとされています。金星は反射率が高いため、降り注ぐ太陽光エネルギーのうちわずか数パーセントしか地表まで到達しないのですが、温室効果気体である膨大な量の二酸化炭素のために熱がこもり、高温を保っているのです（図2）。

第3の特徴は、強い東風の存在です。金星の自転は西向きで、周期は243日と大変長いのですが、その上の大気は全ての緯度で自転を追い越して流れています（図3）。速さは高度とともに増加して、雲頂のあたり（高度70km）では毎秒100メートルに達し、金星をたった4日間で一周します。地球や火星にも毎秒数十メートルの風が生じることがありますが、狭い緯度範囲に限られており、しかも自転速度よりずっと遅いので、気象学的には不思議ではありません。ところが金星の



図3 1974年にマリナー10号が紫外線で撮影した金星の連続画像。上層の雲が東から西へと吹き流されている。

東風は、金星全体に広がっていて、自転速度の実に60倍に相当するので、簡単にできそうにありません。この風は「スーパーローテーション」(超回転)と呼ばれて、金星における最大の謎のひとつとされています。金星大気が4日間で一周していることは、1957年にフランスのアマチュア天文家Charles Boyerによって発見されました。彼はこの発見を有名な学術雑誌Icarusに投稿しましたが、論文を審査した若き日のCarl Saganは、金星の大気がそのような高速で回転することは理論的に有り得ない、観測が間違っているのだろう、と言って論文を却下しました。その後、1974年に米国のマリナー10号機が金星の近くから連続的に雲の写真を撮り、Boyerの発見が正しかったことが確認されたのです。

2. 金星気象衛星の挑戦

これまでスーパーローテーションを説明するために多くの研究がなされてきましたが、発見から40年経つ今もメカニズムは分かっておらず、金星の気象学は暗礁に乗り上げています。最大の理由は、金星では厚い雲と大気が光を遮るために、人工衛星からリモート・

センシングの手法で(気象衛星「ひまわり」のように)気象現象を観察することができなかったことです。この難局を打開するのがPLANET-Cです。PLANET-Cは、雲の下の大気や地表面まで宇宙空間から透視できる赤外線(波長1.0, 1.7, 2.3 μ m)で低層の雲や微量大気成分の金星全体の分布を、金星周回軌道から連続的に高解像度カメラで撮影します(図4)。PLANET-Cは、このような赤外線で、雲に隠された金星の大気大循環をムービーとして手に取るように見てやろうというのです。

また、このような赤外線に加えて、雲が発する遠赤外線、太陽紫外線の散乱光、高層大気の化学的発光現象などを撮影し、さらには探査機と地球を結ぶ電波を利用して大気を上下方向にスキャンします(電波オカルテーション)。このように異なるデータを総合して広い高度領域をカバーし、金星の大気運動の3次元構造を可視化する目論見です(図5)。また、惑星探査機としては世界で初めて、雷放電発光専用のセンサーを搭載します。金星における雷放電については、探査機や地上望遠鏡による観測の報告が少なからずありますが、いまだ確定的な証拠がなく、その有無をめぐって

20年以上も論争が続いています。

PLANET-Cは、雷放電の動かぬ証拠をつかんで長年の論争に終止符を打ち、雷を伴うような激しく局地的な大気運動を解明することを目指します。

このような本格的な気象観測が地球以外の惑星で行われたことはありません。PLANET-Cは、金星の科学にとどまらず、大気科学の統一理論とも言うべき「惑星気象学」の研究に新時代を拓きます。

PLANET-Cは、雲を透視できる赤外

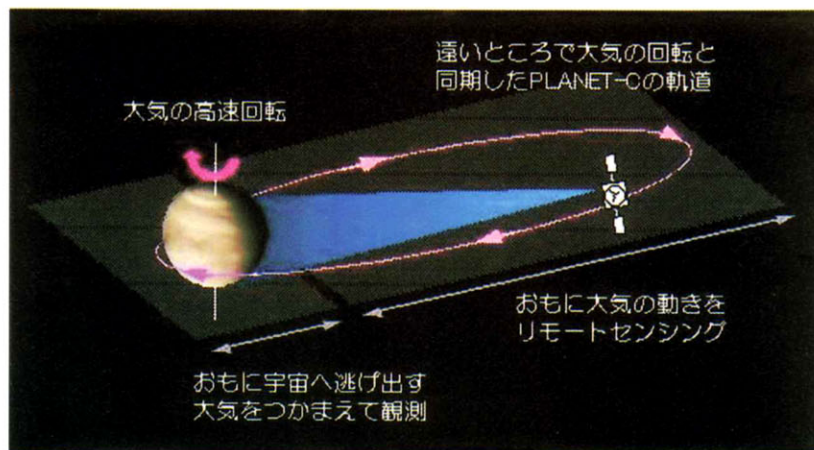


図4 PLANET-Cの金星周回軌道。大気特定の半球を長時間にわたって連続的に観測できるよう工夫されている。

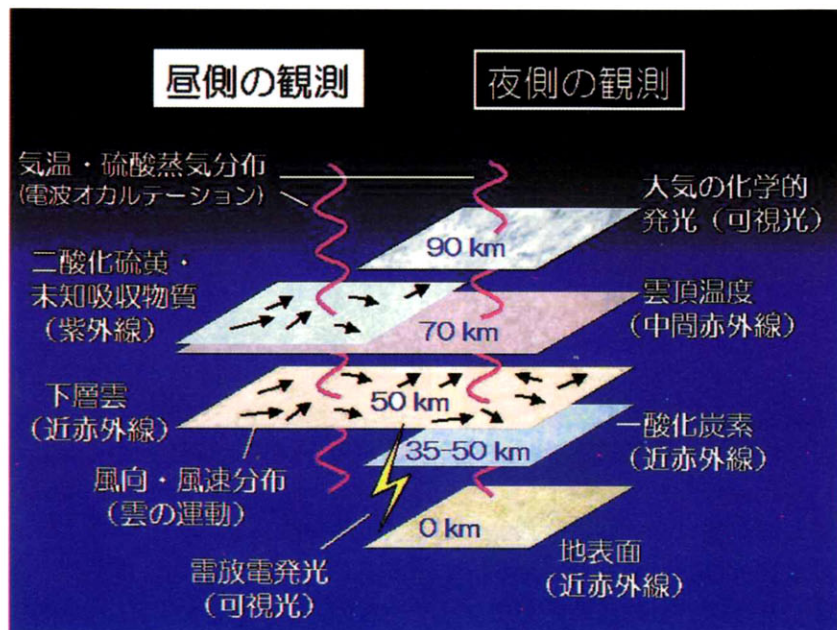


図5 金星周回衛星からの気象観測の概念図。多くの波長で複数の高度の現象を同時に可視化することによって、3次元的に観測領域をカバーする。

線を使って活火山の探索も行います。レーダーを使った観測によれば金星の地表には様々な火山地形が存在しますが、現在の噴火活動を示唆するものは見つかっていません。地球以外で活火山が確認されているのは木星の衛星イオのみですが、金星にも活火山が存在することが分かれば、惑星の進化の研究が新しい段階に進むことが期待されます。

3. 大気流出現象の解明

さらにPLANET-C計画では、金星の大気成分が徐々に宇宙空間に逃げ出す現象の観測も検討しています。現在の金星表面には地球の10万分の1の量の水しかありませんが、遠い昔には金星にも豊富な水が存在したかもしれないことが観測データから示唆されています。金星大気中に含まれる重水素と水素の同位体比は地球のものより100倍以上大きいのですが、この理由としては、重水素よりも軽い水素がより効率的に宇宙空間に逃げて行って失われた可能性が考えられます。水から生じた水素分子(原子)が重力を振り切るエネルギーを得て、あるいは電離されてイオンとなった後にエネルギーを得て、宇宙空間に逃げ出していったのでしょう。水のもう一方の構成要素である酸素も何らかのプロセスで大気圏から逃げたと予想されますが、酸素原子は水素原子より16倍も重いので、そう簡単ではありません。金星がどのような道筋を経て地球と異なる現在の大气組成に至ったのかは、まだ大きな謎なのです。

研究者の中には、地球には強い固有磁場があるため、太陽風が直接地球大気に当たることが防がれて、結果

として大気が宇宙空間に流れ出す量が小さくなっている、と考える人もいます。強い磁場を持たない金星の場合は、太陽風と大気が直接ぶつかるため、この影響で大気の流出量が大きいかもしれません。金星大気が太陽風と接するところでどのような流出現象が引き起こされるのか、興味深いところです(図6)。PLANET-C計画では、イオン粒子計測器やプラズマ波動計測器、紫外線望遠鏡、磁場計測器を使って、大気成分がどのように、またどのくらい逃げていくのかを観測します。

4. 21世紀の金星探査

PLANET-C衛星は、2007年の2月期に宇宙科学研究所のM-Vロケットで打ち上げられます。まず地球周回のフェージング軌道(惑星間軌道投入までの待ち時間調整フェーズ)に投入された衛星は、同年6月に地球を離脱して太陽の周りを回る軌道に入り、さらに1年後の2008年6月に地球をスウィングバイして金星に向かいます。金星到着は2009年9月で、その後2年以上にわたって観測を行います。

近年、米国が中心となって火星の探査を積極的に進めており、日本でも火星探査機を送り出しました。しかしその一方で、私たちの地球の双子惑星とも呼ばれ

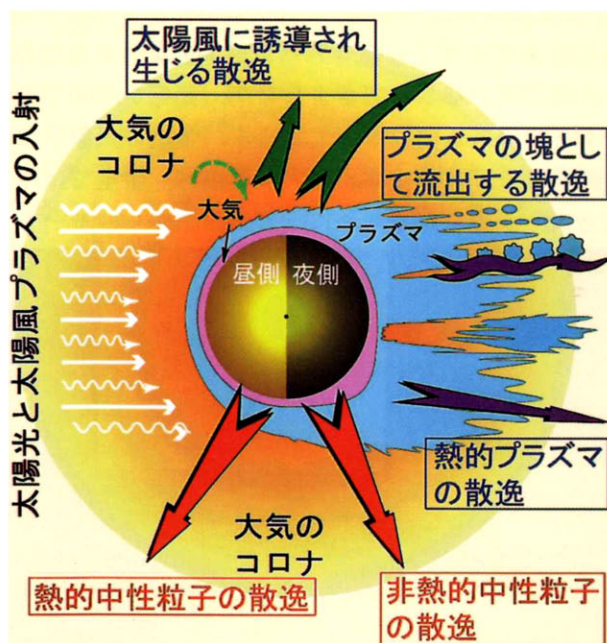


図6 金星で起こっていると予想される、大気が宇宙空間に流出する様々なプロセス。

る金星を調べる重要性は一層強く認識されてきています。実際、新世紀の金星探査を国際的に協調して進めていく動きがあり、昨年10月に宇宙科学研究所で開かれた金星研究に関する国際会議では、米国やヨーロッパから相補うような探査計画が次々と提案されています。その中身は、周回軌道からリモート・センシングを行うもの、大気圏に気球を浮かべるもの、着陸するものなど、実に様々です。PLANET-Cは、21世紀初

頭の金星探査の大きな流れの一翼を担うと同時に、後続の金星ミッションを先導するものと世界的に期待されています。

なお、この原稿は私の名前で出させていただきましたが、惑星大気物理学部門の阿部・今村の協力を得たことを付記します。

(おやま・こういちろう)

お知らせ



★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（2月・3月）

	2 月	3 月
相模原	M-V-5 計器合せ（第2・第3段計器部、頭胴部、衛星） （IA 富岡事業所）→ 20	MUSES-C 総合試験
		LUNAR-A 母船・ペネトレータ通信系試験
	ASTRO-F クライオスタット温度試験 →	
内之浦	S-310-30 フライトオペ → 2	
能代	USERS-RBM 真空スピン燃焼試験 ← 14 (IA武豊事業所) 23	M-24 SIM-3 大気燃焼試験 ← →
	DASH データ回収オペ （モータニア）→ 6	



★M-14-3 TVC大気燃焼試験

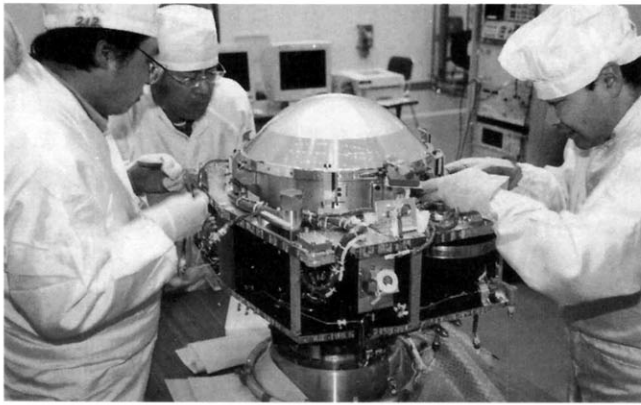
一昨年2月のM-V型ロケット4号機の失敗は、第1段M-14モータの不具合が原因であった。ノズルスロートの材料は信頼性向上のため、グラファイトから3次元織りのカーボン・カーボンへと変更され、その確認試験が飛翔型モータを用いて能代ロケット実験場にて行われた。オペレーションは組立てオペ（10月7日～10月16日）と燃焼オペ（11月20日～12月19日）の2回に分けられ、12月12日に燃焼試験を行った。試験は、着火・燃焼ともに正常、推力・内圧のパターンは予想通り、燃焼後のノズルの状態も申し分なく正に百点満点であった。この結果をもって、次のM-V-5号機に向けては、M-14、M-25、M-34、KM-V2と全段の最終確認試験が無事終了し、主推進系は準備が完了した。

上述したように、今回は4号機の失敗の原因となったモータの燃焼試験だけに、いつもに増して班員の意気は高かった。12月の劣悪な天候の中、黙々と作業を続ける姿にはただただ頭が下がる思いであった。それ

だけに、成功裏に試験を終了した後の喜びはひとしお大きく、おおいに溜飲を下げることができた。もっともこれで終わったわけではない。5号機、2号機、6号機と続き、ASTRO-EIIを成功させるまでは班員の気は晴れない。

今回のオペは風との戦いであった。試験の際には、燃焼ガスが民家の方に流れないように風向きが制限されるが、悪いことにこの時期の典型的な風向き（西～北西）が都合の悪い風向きで、都合4日間の延期を余儀なくされた。また、風向きに関係なく強風にも悩まされた。縦型の組立て棟にロケットのパーツを吊り込んだり、降ろす作業は強風下では不可能であったし、何よりそもそも屋外作業が不能になるような強風がしばしば吹き荒れた。これに加えて、低い気温もこたえた。最高気温が0℃、1℃という日が続き、撤収作業が終わり本館でやっと暖をとれた元スタンド班チーフY田氏は思わず言った。

「もうこんな生活いやっ！」 (堀恵一)



★種子島より（DASH組み立てオベ）

ぼくの名はDASH。的川先生よりもずっと軽い体重86kgのピギーバック衛星だ。もうすぐ宇宙への旅に出る。今ようやくぼくは南の島で組み立てられて、そして、最後のトレーニングを終えたところだ。本当は、そっとロケットに乗り込むつもりだったのに、こうして名乗れと言われるとちょっと照れくさい。たった4日間の旅の目的は、高速で地球の大気圏に突入するときの熱のデータを集めることだ。

ぼくの旅は短いけれど壮大だ。日本が誇るH-IIAロケットに乗って宇宙へ飛び出す。そして、リエントリのトンネルを抜けるとそこは果てしないサハラ砂漠だ。宇宙から見る青い地球。そして、砂と星の世界。砂漠の民には、きっとぼくは流星のように見えるだろう。気がついてくれるだろうか。もし気がついたら、ぼくのは火の玉DASHと呼んでくれ。

ぼくの名はDASH。南の島からもうすぐ旅に出る。

・・・（ひのたま・だっしゅ）

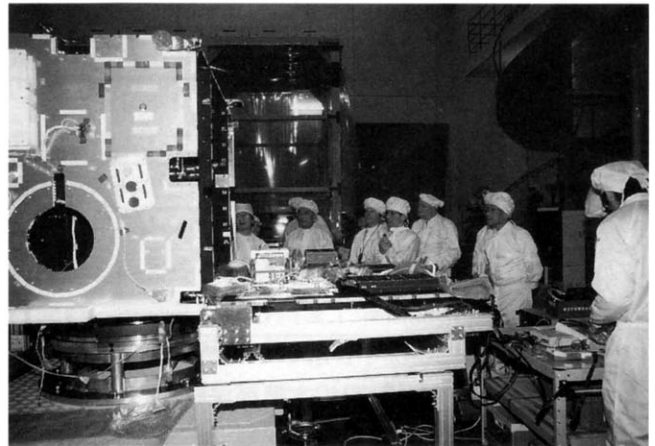
DASH組み立てオベは、12/13～12/21の間に種子島宇宙センターにて行われ、NASDAの協力と実験班の奮闘により無事終了した。連日夜遅くまでのきついスケジュールであったが、まるで奇蹟のように不具合もなく、また、井上浩三郎さんの全国TVデビューなど明るい話題が絶えることも決してなかった。あとは、ロケットへの組み込みを経て打ち上げの時をただ静かに待つのみである。（森田泰弘）

★MUSES-C 総合試験始まる

12月3日から、いよいよ工学実験衛星 MUSES-Cの総合試験が始まりました。「惑星探査機なのに、衛星とはなにごとか。縁起でもない」とは、1985年の「さきがけ」打ち上げ前に平尾先生が述べられていたことですが、これをいつも思い出し、できるだけ「衛星」とはいわないで来ました。公式には、工学実験衛星で

すが、Mu Space Engineering Spacecraftとして、工学宇宙機と呼びたいところです。プロジェクト開始は1996年だったのですから、すでに6年目、構想から早7年を経過しました。構想が実際の形へと変わっていくと、はじめて実プロジェクトだったことに気がつきます。というくらいに、このプロジェクトは、ことあるたびに、内外を問わず「野心的」であり「挑戦的」だと言われ続けてきた、世界に類をみない独創的な計画です。人類がこの形の宇宙船を作ったことはなく、これが今後のサンプルリターン宇宙船の形態を先駆けているのだと思うと、感慨にもまた新たなものがあります。7年を経てもなお、この探査機は「野心的」な状況から微塵もその意義を減じてはいません。これから打ち上げまでは、わずかに1年です。打ち上げを遅らすことができない惑星探査機であるだけに、気を引き締めて着実に進めたいと考えています。

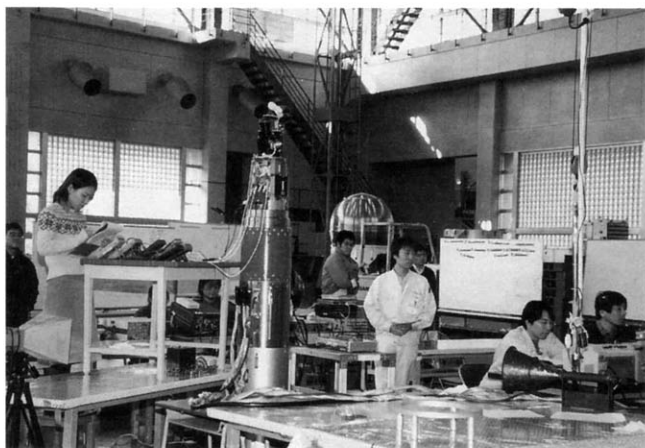
（川口淳一郎）



★S-310-30号機噛み合わせ

S-310-30号機による実験は、地球環境で最も観測の少ない高度（60-150km、人によっては無視された領域、ignorosphere、と呼ぶ）を集中的に研究しようとする世界的な流れの中で、高度約100km付近での大気力学、熱収支を研究するために提案されたものです。平成14年2月初めに鹿児島宇宙空間観測所からのロケットの発射が予定されており、これに向けて12月12日～26日、相模原キャンパス構造試験棟にて現地での打上げ作業が始まる前の搭載機器の試験（私達の言葉で『噛み合わせ』と言います）が行われました。

まずテレメータ送信機、レーダトランスポンダー、および観測機器などロケットに搭載するもの全てを結線しての机上でのチェックから始まり、組み立てた全体（頭胴部と言います）の動作チェック、打上げ時の環境を模擬する振動、衝撃試験を得て、最後に頭胴部



をスピンさせて、ヨーヨー展開、プローブの伸展、チャフの放出、信号の切り替え等、タイマー16項目の全ての動作を確認しました。

観測器の電源リレーの不良など、不具合を改修すると共に、能代実験場での地上燃焼試験と重なったことによる人手不足を克服して、なんとか予定通りのスケジュールで試験を終えることができました。最終日の12月26日には発射場の鹿児島宇宙空間観測所へ送るべく、梱包を終えました。(小山孝一郎)

★外部評価について

昨年12月19、20日の両日、宇宙研の外部評価委員会が開かれました。東北大学の阿部学長を委員長として、副委員長はNASA JPLのStone前所長にお願いしました。他には長洲元航空宇宙技術研究所長、鳥井日経新聞論説委員、郷名古屋大学教授、小平総研大学長、小林理研理事長、秋葉宇宙研名誉教授、Canizares MIT教授、Bonnet前ESA科学局長、Bainumハワード大学教授、Axford元マックスプランク・リングウ研究所長の方々にお願いしました。秋葉元所長の下で1993年に開催されて以来8年ぶりのことで、新機関へ向けての統合の準備が始まったこの時期が選ばれました。

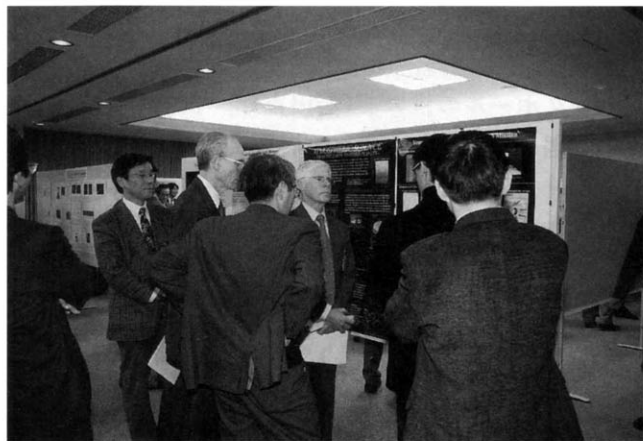


送付した資料に基づいて予めコメントを頂いた後、更に討論が重ねられました。第1日の午後にはポスターセッションが開かれ、如何にも宇宙研らしい企画で大好評でした。難を云えば各委員が一カ所にハマッてしまって2時間ではとても足りなかったことです。

第2日は委員会としての討議に費やされ、報告書がまとめられました。宇宙研の組織、成果、将来計画を高く評価し、新機関への積極的な取り組みを勧告した内容になっています。

3月号に要約の全文を掲載出来ると思います。

(松尾弘毅)



★ESTECにてBepiColombo会議開催される

2009年の打ち上げを目指して現在理学委員会にミッション提案中のBepiColombo国際共同水星探査計画関連の会議が2001年の12月中旬にESA (European Space Agency) のESTEC (European Space Research and Technology Centre) で開催されました。

12月10日から13日にかけては、2001年5月からヨーロッパのメーカー2社によって競合的に行なわれているBepiColombo計画のシステム検討の中間報告がなされ、宇宙研からは5人(向井、早川、笠羽、小川、山川)が参加しました。2機の周回機と1機の着陸機から構成される複雑なシステムをいかに最適化するかという観点から活発な議論が行なわれました。続いて、12月13日午後から14日には、第4回のESA-ISAS Meetingが開催され、ESA-ISAS間の今後の国際協力、ISASが担当することが期待されている磁気圏探査衛星MMO (Mercury Magnetospheric Orbiter) とESA担当部分とのインターフェースを中心に議論されました。さらに17日から19日には、ESAG (European Science Advisory Group) による会議が開催されました。

BepiColombo計画のサイエンスについて白熱した討論がなされ、ISASからは早川(基)、山川の2名がオ

ブザーバとして参加しました。ヨーロッパの科学者、技術者のBepiColombo計画にかける熱意を肌で感じた2週間でした。(山川 宏)

★宇宙学校・徳島

さる12月8日(土)、徳島県板野町のサイエンス・パーク「あすたむ(明日多夢)らんど」で、宇宙科学研究所の宇宙学校が開催されました。

寒さの厳しい日で、しかも近くの学校では参観日などの行事が重なったにも拘らず、延べ461人の参加者を得ました。1時限目は「太陽系の謎に挑む」(担当：山川宏、向井利典：敬称略)、2時限目は「未来の宇宙技術」(澤井秀次郎、田中孝治)、3時限目は「銀河とブラックホールの世界」(前田良知、山村一誠)という時間割りでした。非常によい質問が相次ぎ、講師も慎重に考えながらの対応になりました。たとえば「雷が落ちると豊作というけど、なぜ?」「宇宙輸送機が



安くなっても宇宙の家賃が高いと困る」「ブラックホールは何でできているの?」など。

同じ科学館の別室で企画展「宇宙科学と探査衛星」が同時開催され、宇宙科学研究所から運ばれた衛星やロケットの模型、将来計画などが豪華に飾られました。こちらは1月7日まで展示され、会場ではコンパニオンの女性陣が、宇宙科学研究所の周東三和子さんの指導を経て、サポートしてくれました。

会場となった「あすたむらんど」は、広大な敷地に野外展示もしており、こども館の徹底した参加型の展示と併せ、素晴らしく考え抜かれたものになっています。宇宙研から行ったメンバー一同、必ずまた訪れたいとの思いを残して帰京しました。

開催にあたり何から何までお世話になった「あすたむらんど」の人たちにお礼を申し上げます。有難うございました。(的川泰宣)

第4回、第5回宇宙3機関統合準備会議

第4回の統合準備会議は12月6日に開催されました。「新機関の機能」の中間まとめ素案について意見が交わされ、前2回で議論された「目的と方針」に沿った中間まとめが大筋で了承されました。

第5回は12月20日に開催され、新機関を独立行政法人とする閣議決定を受け、具体的組織の在り方の議論が始まりました。宇宙研としては宇宙科学が新機関の重要な柱の一つであり、これを進める上で、大学共同利用機関の性格を維持しつつ、大学院教育、理工一体での科学衛星開発を進める部門、が新組織において必要であると主張しています。これに関し

ては大方の委員の理解を得ていると思いますが、これがどのような形で実現されるかは今後の課題となっています。新機関の組織については部門構成から職員の身分問題まで、さまざまな課題が残されており、今後議論の詰めが必要とされています。

統合準備会議は組織問題についての検討を新年以降進め、本年3月末までに最終答申を取りまとめることとしています。なお、20日は宇宙研の外部評価最終日と重なったため、宇宙研からは所長に代わって松本企画調整主幹が出席しました。

(松尾弘毅)

All are from the dust, and all turn to dust again.

聖書の一節のように、「宇宙塵」は恒星と惑星系の一生で重要な役回りを演じています。まず生れる星を包む繭となり、原始惑星系を巡る円盤になります。さらに合体して惑星になったり、小天体に取り込まれた一部は黄道光や流れ星として夜空を輝かせます。星の終焉には周囲に解放され、次世代の星へ「輪廻」する材料に戻ります。惑星間空間でも固体微粒子は、太陽系の物質収支や固体天体表面の進化を考える上で、基本的な観測対象です。そのため、欧米の探査機には微粒子計測器が標準装備されてきました。

日本で装置の自主開発を始めるにはまず、(1)独自の宇宙実績、(2)機器開発のマンパワー、(3)較正実験用の超高速衝突施設、の3つを国内に揃えることが必要でした。私達の研究室では1995年頃から、全国の宇宙塵研究者と定期会合を開いて共同研究を推進しながら、上記3点の充実に努めてきました。例えば、(1)はSFU回収による衝突痕検査から、(2)は南極宇宙塵採集を通じた若手育成からです。(3)のためには、研究室の軽ガス銃に改良を加えたり、東大原子力研究総合センターの3MV静電加速器に固体微粒子用加速管を増設しました。そして現在、日本の独創による三種類の装置の開発が進行中です。5年以内に各PM品を完成させ、次世代の惑星探査機に搭載していきたいと考えています。

【曲面電場式飛行時間型質量分析器 (TOF)】

従来この分野の「世界標準」は、宇宙研のひてんやのぞみにも搭載された、ドイツ製の衝突電離型でした。それを応用し、衝突微粒子から出たイオンを加速させると、原子質量に応じて飛行時間に差が生じることを利用して構成元素を分析するのが本装置です。しかし一般に、飛行時間に比例する質量分解能と装置の小型化は矛盾する要求です。そこで私達は東京水産大学と東京大学を中心として、小型ながら飛行距離が長い屈折イオン光学系を導入し、さらにポテンシャルミラーに曲面電場をかけることで、大面積の開口部のどこに当たっても、小さな検出部へイオンが収束する工夫をしました。最新版では有効面積が30平方cmに拡大され、装置寸法はハレー彗星探査機ジョット用の数割ながら、質量分解能は土星探査機カッシーニ用の数十倍まで高められました。実用化すれば、軌道上での宇宙塵とデブリの峻別は勿論、黄道面を脱出すると主成分になる星間塵など、サブミクロン微粒子の組成解明に

も大きく貢献するでしょう。

【ハイブリッド型非破壊捕集・計測器】

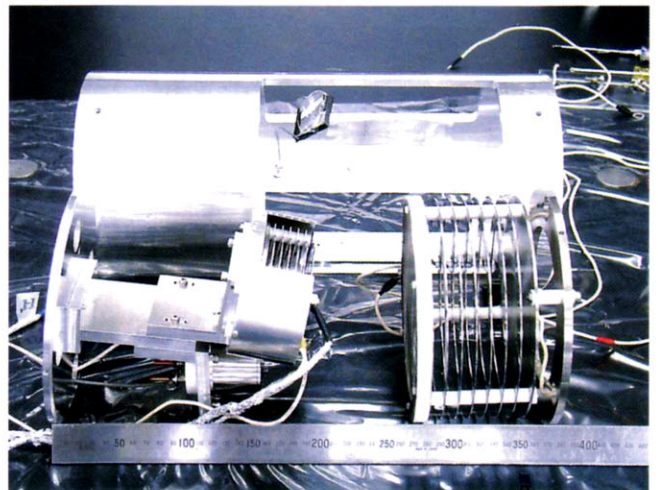
極低密度材エアロジェルを使った本装置は、宇宙塵を回収して多様な物質分析に供します。しかし従来の低軌道上の微粒子採集装置では、各粒子の軌道情報や衝突エネルギーは得られません。そこで私達は茨城大学や東京大学と共に、微粒子のエアロジェルへの衝突発光の測光・分光と、回収試料の鉱物変成度の評価を、衝突実験で試みました。結果、発光と衝突速度や到達温度の相関から、衝突時刻、方向、衝突エネルギーを実測しつつ捕集する装置の開発が可能になりました。

素材自体の最適化も必要です。秒速20 km以上の星間塵でも捕集できるエアロジェルの調合を検討中です。衝突時の到達温度によって紫外線発光量が変化する「温度記憶型」エアロジェルの開発も米UCバークレー校で始まっており、共同研究を要請されています。本装置は電気推進との併用や強いプラズマ環境でも使えるので、次期小天体サンプルリターンや国際宇宙ステーションに応用できるでしょう。

【音響素子式衝突検出器 (PZT)】

本装置は微粒子の衝突による振動を音響素子で検出するもので、海外での宇宙実績も多いです。現在独協医科大学や早稲田大学と、BepiColomboへの搭載を目標に共同開発を進めています。素子自体の大きさは数cm角、厚さ数mm、質量数gほどです。セラミックス製のため+300℃まで使用可能で、探査機外壁に開口部なしで設置できます。そのため搭載重量や熱設計に厳しい、水星探査機や太陽プロープに適します。

(やの・はじめ)



曲面電場式「TOF」質量分析器の工学モデル

帽子が寒さから身を守る為の道具であるとは知らなかった。ミュンヘンの気温はむしろベルリンなどの北ドイツよりも低く、11月も後半になると日中でも0度を越えない日が珍しくはない。そんな日に街中を無防備に散歩すると身体が冷えるだけではなく頭痛がしてくる。頭が痛くなるほどの寒さは初めての体験だ。ドイツ人が帽子を被っているのは決しておしゃれの為だけではないと納得。

寒さについては建物の中がとても快適なのでそれ程身に染みない。冬の訪れはむしろ暗さで実感した。9月末の有名なビール祭（オクトーバー・フェスト）が終わるころには木々の葉は黄色く染まり、短い秋が一瞬の輝きを見せる。日の長さはみるみる短くなり、太陽は空高くには昇らない。建物や街路樹は路面に長い影を落とし、風景は深い陰影の中に浮かぶ。西洋絵画には光と影の表現に印象深い作品が少なくないけれど、実際にヨーロッパで暮らしてみてもその理由がなんとなく分ったような気がする。人々は太陽の光にとっても敏感なのだ。

寒さや暗さを一番辛く感じたのは11月末頃だっただろうか。しかし辛いのはそこまでで、クリスマスの4週間前の日曜日にアドベントが始まると人々はクリスマス・モードに入る。街のあちこちの広場にクリスマス市がたったり、クリスマスツリーやマンションのベランダに電飾が飾られたりして楽しく暖かい雰囲気になる。お店のショーウィンドウは思い思い精一杯に飾られて見るだけでも楽しい。クリスマスが楽しいお祭りになるのは宗教的な理由だけではなくて、長く厳しい冬を乗り越える為の生活の知恵という意味もあるのだろう。

クリスマスに何かが足りないと思ったら、ドイツではサンタクロースが来ない。ドイツの伝統では12月6日（ニコラウスの日）にニコラウス（サンタクロースのモデルとなった聖人）がやって来てよい子にはプレゼントをあげ、悪い子にはお仕置きをするのだそうだ。24日にやってくるサンタクロースはヴァイナフツマンと呼んでニコラウスと区別するらしい。もっとも、クリスマスプレゼントは家族同士で交換するものだそうだが。

賑やかなクリスマス準備期間とはうってかわって、クリスマス当日は街中がひっそりと静まり返って清々しい。クリスマスイブの深夜には街中の教会から美しい鐘の音が凍った夜空に染み透りイエスの誕生を祝う。

人々は鐘の音を合図にクリスマスミサへと出かける。ドイツではクリスマスは家で家族と過ごすのが普通らしく、少し前までの日本のお正月のようだ。ドイツの休日は基本にお店が閉まっていて買い物ができないのだが、クリスマスにはそれが徹底していた。祝日は25、26の両日。去年は24日が日曜日だったこともあって完全な3連休だった。私たち夫婦はレストランぐらい開いているだろうと高をくくっていたので連休の最終日には食料が尽きてしまった。レストランを探して街中をさまよったがパン1つ買えない。街の中心のマリーエン広場にでかけても見かけるのは観光客ばかり。結局、中央駅のスタンドで冷たいサンドイッチを食べながら発着する列車を眺めていた。

クリスマスが終わっても新年までは休みの雰囲気が漂い、日本の「師走」のような慌しさは感じられない。クリスマスの静けさとは対照的に大晦日の晩にはそこら中で人々が大騒ぎをする。カウントダウンとともに街中でおびただしい数の花火が打ち上げられ、あまりの凄さに怖いぐらいだ。そのまま一晩中盛り上がり続けたせいか元日の朝はとても静かだが、日に照らされた花火の残骸と硝煙の匂いが昨夜の狂騒を物語っていた。正午になるとミュンヘン最古のペーター教会の塔上から高らかに響くトランペットの音が新年の始まりを告げる。

新年が始まると今度は日がどんどん長くなることが実感できる。寒さは相変わらず厳しくて雪の降る日も結構あるが、日増しに明るくなるとなんだか嬉しい。南ドイツではファッシングと呼ばれるカーニバルのシーズンも始まり、陽気なミュンヘン子達はお祭り騒ぎに事欠かない。復活祭の50日前の「薔薇色の月曜日」にファッシングは最高潮に達する。マリーエン広場には大勢の人が繰り出して大騒ぎをしていた。出し物があるわけではなく、まるで広場中が大きなディスコになったようなのが面白い。翌々日の「灰の水曜日」から復活祭までは四旬節。四旬節には食べ物や飲酒が制限されるのだが、ビールだけは例外らしい。3月になるとシュタルクビアというアルコール度の高いビールが販売される。このビール、元々は修道士達が栄養補給の為に作った物だそうだ。

復活祭を迎えてもまだまだ寒い日が続くが、人々が名物のシュパーゲルに舌鼓を打つようになるとミュンヘンはようやく遅い春を迎える。

（しのはら・いく）



宇宙環境におけるタンパク質の結晶成長

産業技術総合研究所・人間系特別研究体 安宅 光雄

*タンパク質の結晶はなぜ必要か

タンパク質は、すべての生物(ヒトを含む動物、植物、微生物)の体内で、生きていくのに必要な働きの大部分を行っている。ゲノム(遺伝子)の解読が最近話題になっているが、ゲノムというのはタンパク質を作るための情報で、最終的にはタンパク質を作ることによって生命に役立つ。

種々のタンパク質分子は、それぞれ固有の形をもち、それに基づいて、働き(機能)が決まっている。その「固有の形」を知る手段として最も重要なのが、個々のタンパク質を結晶化し、それにX線を当てて行う「タンパク質結晶学」という方法である。結晶の中では、極めて多くのタンパク質分子が整然と並ぶので、それらからのX線回折を解析すると、個々の分子の形が詳細に分かる。これまでに何千種類かの詳細な立体構造がタンパク質分子について分かっているが、その内の約85%は、結晶を使って決めたものである。

*さらに多くの結晶化を行う必要性

何千種類かの構造がこれまで分かってきたとはいえ、重要なタンパク質で、構造が分からないものが、まだまだ何万も残っている。その中には病気の原因となっていたり、食品の安全と関係するものも含まれる。これらのタンパク質についても、結晶を作り、結晶学を使って、詳細な立体構造を決めていく必要がある。

そのために期待されていることに、宇宙空間で結晶を作るという技術がある。人工衛星の中では、重力と遠心力とが釣り合って、微小重力状態が実現している。そのような環境でタンパク質を結晶化すると、できた結晶が底に沈んで積み重なったり、結晶の周りで必然的に生ずる濃度の小さい溶液が、対流を引き起こしたりすることを防ぎ得ると期待される。そこで、地上で作った結晶に比べ、より整然と分子が配列し、X線を当てたとき、細かい構造まで信頼度高く決めることができることになる。

より細かい構造が精度よく分かると、個々のタンパク質分子が精巧な働きをなぜ行えるのか、確かな議論ができる。また、その不具合で起こる病

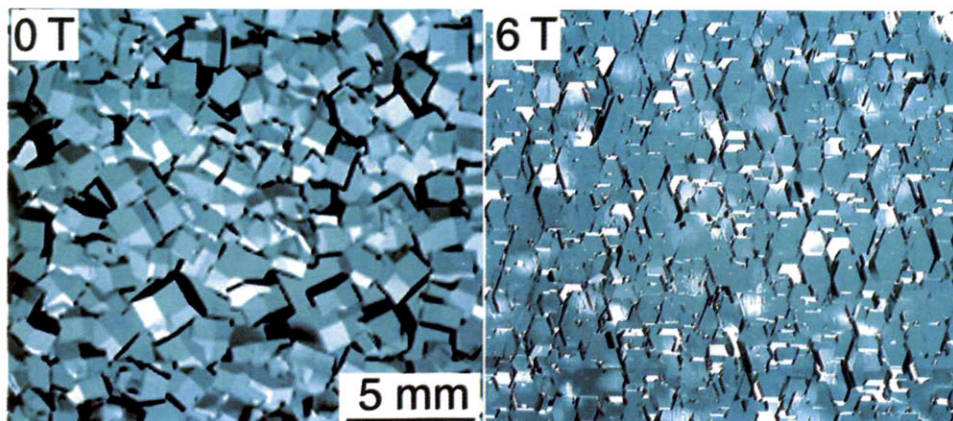
気への対処方法を、具体的に考え、かつ確実に実行できるようになる。

*日本における取り組みの例

宇宙でタンパク質の結晶を作る試みは、世界の各国が競って実施しているが、日本で行われている特徴ある取り組みを3つ紹介したい。

- 結晶を作る基本的な方法にバッチ法がある。結晶ができる溶液を宇宙で作し、結晶ができてくるのを待つ方法である。濃縮や拡散が介在する他の方法に比べ、シンプルだけに確実な情報が得られる。この方法を最初に計画・実施したのは日本の研究者で、国産の装置が設計・提供された。
- 宇宙科学研究所では、結晶の周りの濃度分布を光学的に観察するための装置作りが進んでいる。タンパク質の濃度分布が分かると、宇宙環境の効果や使い方を、より深く知ることができる。また磁石の作る磁場を積極的に利用し、タンパク質の結晶化をコントロールするための研究も行われている。(図)
- 2002年打ち上げ予定のスペースシャトルで、日本人研究者のタンパク質試料いくつかを結晶化する予定である。そこでは、地上で予め結晶成長の研究を進めておき、宇宙実験の的確な設計に生かすと共に、宇宙での現象から、できるだけ多くの情報を確実に引き出そうという計画が進行している。外国の実験などの反省の上にたち、何年間も地上で準備した結果と宇宙実験とを組み合わせ、双方を生かしていこうという発想と計画である。

(あたか・みつお)



磁場を利用した卵白リゾチーム(タンパク質の一種)の結晶方位制御。左：0テスラ、右：6テスラ。



宇宙の謎を解く小さな鍵 一つづき

市川 行和

今から丁度4年前、本ニュースにこのタイトルで文章を書いた。そこでは、原子分子一個一個の振る舞いを知ることが、宇宙におけるさまざまな現象の理解に不可欠であることを述べた。たとえば、我々は宇宙の情報を主として宇宙からやってくる電磁波を観測することによって得ている。これらの電磁波の多くは、宇宙にある原子分子やそのイオンが出している。すなわち、観測した電磁波を解析するには原子分子およびそのダイナミクスの知識が必要である。

原子分子の物理学（あるいは化学）がいかに宇宙科学と深いかわりがあるかをあらためて示すために、前回紹介した二つの例のその後を見てみよう。まず、最も簡単な多原子分子である H_3^+ がやっと宇宙で見つかったことを述べた。ところがその後、観測された H_3^+ の数はその生成・消滅過程が釣り合っているとしてモデル計算で求めたものよりはるかに大きいことが分かった。その原因として第一に挙げられたのは、モデル計算に使われた H_3^+ の消滅率が大き過ぎるのではないかということである。 H_3^+ は周囲にある自由電子を捕獲して中性化（再結合）し消滅する。その速度は実験で求まっているが、実は理論計算よりかなり大きい。この不一致を解決する研究が現在盛んに行われている。

次に例として挙げたのは彗星からのX線である。これは太陽風中の多価イオンが彗星大気中の分子と衝突して電荷移行が起こり、イオンに捕まった電子が高い励起状態から下へ落ちる時にX線を出す、ということではほぼ理解されている。しかし、X線スペクトルを定量的に求めるには、多価イオンと分子の衝突過程について定量的なデータが必要である。現在、日本の研究者も含めていくつかのグループでこのデータを実験的・理論的に求める試みがなされている。原子過程データが正確に求まれば、それを使って現在必ずしも良く分かっていない太陽風中のイオンの状態についての知見が得られる。すでにそのような研究も始まっている。

ところで、2001年のノーベル物理学賞は「原子気体におけるボース・アインシュタイン凝縮 (BEC)」の研究に与えられた。これは原子物理学の一部である。現在、アルカリ原子や水素、ヘリウム原子でBECが実現している。いくら極低温とはいえ、これらの原子間には相互作用が働く。この相互作用を正しく考慮しないとBECは実現しない。このようなことがきっかけとなって、現在極低温における原子衝突 (cold collision と称する) の研究が盛んとなってきた。ナノケルビン (10^{-9}K) における原子衝突などというのは今まで誰も考えたことがなかったが調べてみると結構面白いことがありそうである。宇宙は極限的環境の宝庫であるから、極低温における原子衝突もどこかで実現している可能性がある。いやBECだって存在するかもしれない。「地上の実験室で起こることは必ず宇宙のどこかで起こる」というのが筆者の信念である。

宇宙の研究は昔から原子分子の科学にさまざまな刺激を与えて来た。一方、原子分子の知識は宇宙の諸現象の理解に欠くことができない。上記のように原子分子過程のデータが正確なら、宇宙の情報もより正確に得られる。このように両者は密接な関係を保ちつつ発展して来た。今後もそうであろうことを確信しつつ筆をおくこととする。

(いちかわ・ゆきかず)



明けましておめでとうございます。今年もISASニュースをご愛読頂きますよう、よろしくお願いします。

十数年前、研究所の仕事があり、何の準備もせず正月過ぎたとき、三が日の間は店がほとんど閉まり、ひもじい思いをした。最近では年中無休や二日にでもなれば開く店も多く、ひもじい思いをすることはない。しかし、その頃の記憶がついつい年末の食料の買出しに走らせる。年末年始、何をしてもなく、ひたすらその食料を食べつつけた。正月が過ぎ、なんとなく体が重く感じるのは、休みボケのせいばかりではないようだ。(紀伊)

ISASニュース

No.250 2002.1

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所(文部科学省) ☎229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 042-759-8008

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(庶務課企画・広報係)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>)。