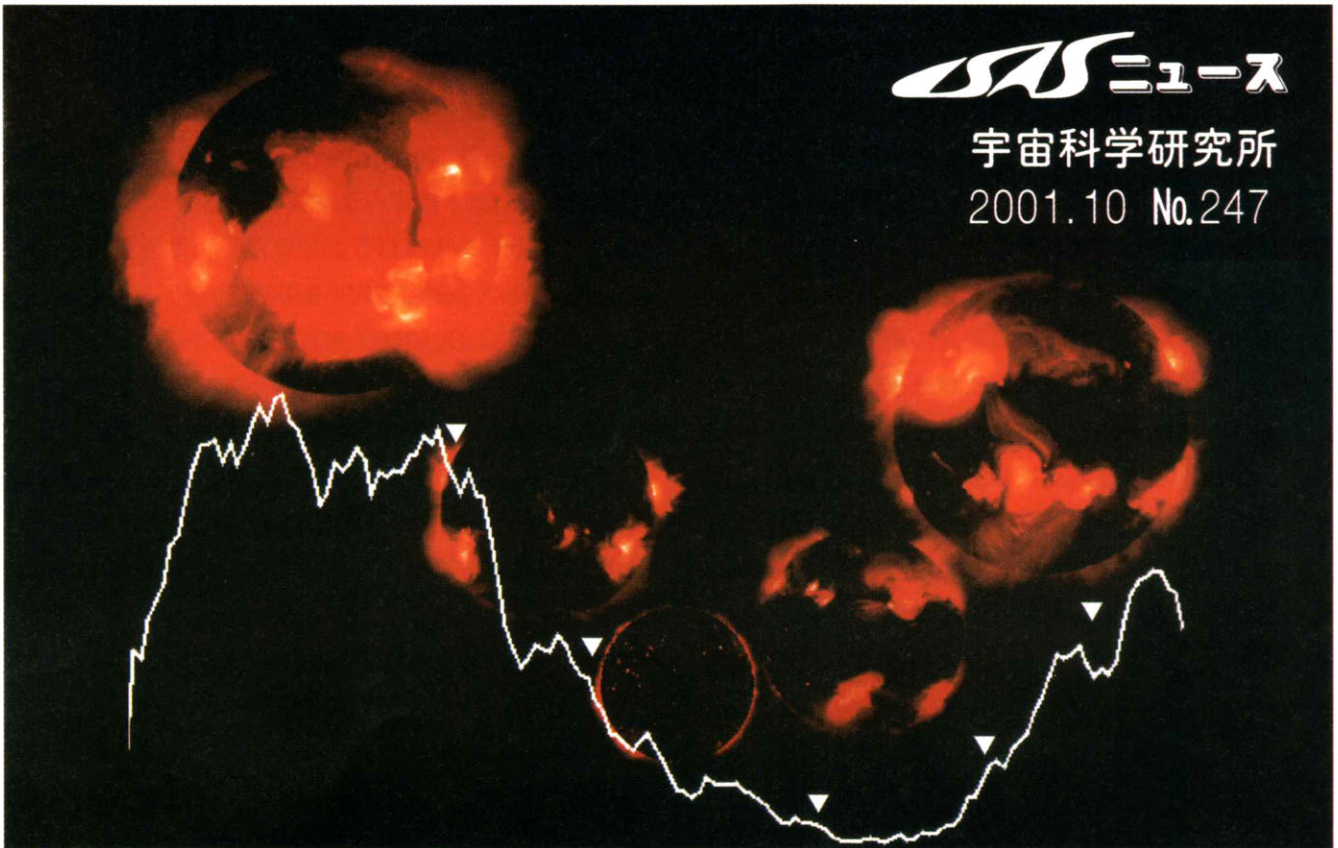




宇宙科学研究所
2001.10 No.247



▲「ようこう」が見つめつづけた太陽コロナ10年間の変遷（1991～2000年）（本文、6ページ参照）

〈研究紹介〉

アーク加熱高エンタルピ気流

九州大学大学院工学研究院 西田 迪雄

気体をアーク放電場で加熱した後ノズルを通して加速し、真空チャンバー（測定室）へ超音速アークジェットとして膨張させるアーク加熱風洞は宇宙飛翔体の大気圏突入時の空力加熱の地上試験、表面触媒性の空力加熱への効果の評価、アブレーション試験等に用いられている。気体がアーク加熱を受ける際、振動励起／電子励起を経て、一部解離／電離した状態となるので、アークジェットは解離／電離気体の基礎研究にも用いられ、また高エンタルピ気体であることを利用して電気ロケット推進の一つであるアークジェット推進機に応用されている。

国内における最初のアーク加熱風洞は1963年航空宇宙技術研究所に設置され、次いで1964年京都大学にも設置された。しかし当時我が国には具体的な宇宙往還

機の計画がなかったので、アーク加熱風洞は空気より専らアルゴン、窒素、ヘリウムを試験気体として、電離気体の基礎研究に用いられていた。その後1980年代後半になり、我が国独自の宇宙往還機の話が具体化されるとともに、航空宇宙技術研究所のアーク加熱風洞が750kWへ改修された。一方、宇宙科学研究所で小惑星サンプルリターンミッションMUSES-Cが立ち上がると、新たにアーク加熱風洞が導入された。その後、超高温材料研究センター（岐阜県多治見市）及び九州大学にも設置された。

アークヒータにはノーマル型、Huels型、コンストリクタ型（分割式コンストリクタ型）、MPD型があるが、図1にノーマル型のアークヒータを示す（このタイプのアークヒータには特に名称がないので、このよ

うに呼ぶことにする)。中心部に陰極を、ノズルを含む外側に陽極を配し、これら二つの極の間にアークが飛ばされる。左側から入ってきた試験気体はアーク放電場を通る際一部電離し、ジュール加熱により先ず電子の並進エネルギーが高められる。次に試験気体が単原子気体の場合、電子並進-重粒子並進の内部エネルギーモード間のエネルギー交換により重粒子並進エネルギーが高められる。また分子気体の場合、電子並進→分子振動、電子並進→重粒子並進および分子振動→重粒子並進のエネルギー移動により重粒子並進エネルギーが高められる。このようにして高エンタルピー気体が生成される。この加熱機構は、分子気体の場合電子並進→分子振動→重粒子並進の順に励起されるので、衝撃波加熱のような重粒子並進→分子振動/電子並進の順に加熱される過程とは逆である。

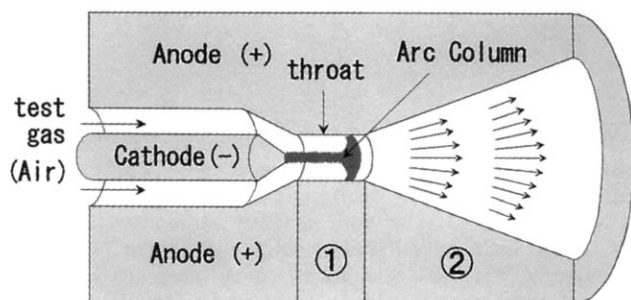


図1 アークヒータノズル

アーク加熱風洞は衝撃波管や衝撃風洞に比べて長時間の安定した高温流れが得られるが、それをもってしてもなおアークジェットの性質（温度、速度、化学種密度）を同時計測することが困難であるという欠点もある。これらの欠点を補う方法としてノズル流の数値解析からアークジェットの性質を見積もることが有効な手段として考えられる。アーク加熱部からノズル出口までの流れはジュール加熱を受け、振動励起、解離/電離、内部エネルギーモード間のエネルギー交換を伴う流れとなるので、その解析は基本的には流体力学方程式をオームの法則式およびマクスウェル方程式と連立させて行なえばよい。この解析はアルゴン、窒素、水素などをプロペラントとするアークジェット推進機で一部すでに行われているが、アーク風洞で用いられるような空気を試験気体とする場合には、多くの化学種と並進、回転、化学種毎の振動、電子の温度を含めな

ければならず、その数値解析には困難が生じるものと考えられる。そこでアーク加熱部からノズル出口まで、解離・電離した空気の熱化学的非平衡ノズル流の簡便な解析を試みるようになった。

図1に示すようにアーク加熱部①とノズル膨張部②に分けてモデル化を行う。加熱部①で試験気体は瞬時に加熱を受け、熱化学的平衡状態となり、高温空気の11化学種(N_2 , O_2 , NO , N , O , N^+ , O^+ , NO^+ , N^{++} , O^{++} , e^-)が生成されると考える。試験気体に注入されたアークエネルギー ηP (η =加熱効率, P =アークパワー)により試験気体の運動エネルギーとエンタルピー(並進、回転、振動、解離、電離エネルギーが含まれる)が高められるとする近似モデルと11化学種の化学平衡計算コードを用いてスロート出口(加熱後)の流れの諸量及び化学種密度等が求められる。

次に求められたスロート出口条件を境界条件としてノズル膨張部②の数値解析が行なわれる。ノズル内では化学凍結流が仮定される。これは予備計算において化学反応はスロート下流で凍結していることがわかったためである。ノズル膨張で流れの特性速度が内部エネルギーモード間のエネルギー移動速度と同程度のオーダーあるいはそれより大きくなるので、内部エネルギーモードに基づく温度は非平衡状態にあると考えられ、並進温度(T_{tr})、回転温度(T_{rot})、振動温度($T_{vib}(N_2)$, $T_{vib}(O_2)$, $T_{vib}(NO)$)、電子温度(T_e)から成る6温度モデルを採用する。図2にここで考慮した内部エネルギーモード間のエネルギー移動を示す。このノズル流解析には熱化学的非平衡Navier-Stokes式が用いられる。

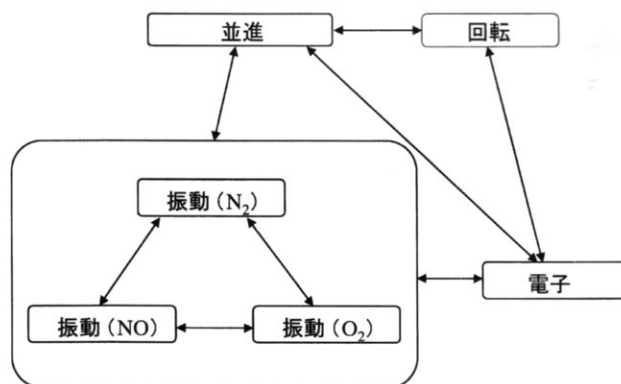


図2 エネルギー交換

実験で用いられたノーマル型アークヒータノズルの形状（スロート直径5mm，ノズル出口直径 100mm，ノズル半頂角15度の円錐ノズル）及び実験条件（流量 $W=0.75\text{g/s}$ ，アークパワー $P=11.4\text{kW}$ ，加熱効率 $\eta=30\%$ ）に対して解析が行われる。加熱部計算から求められた温度は3,140Kであり， N_2 及び O_2 の解離度はそれぞれ2.3%，36%である。この条件をスロート出口条件としてノズル計算を行った結果を図3にノズル軸上における各温度の分布として示す。ノズル出口で並進温度410K，回転温度510K，NO振動温度1,110K， O_2 振動温度1,810K， N_2 振動温度3,070K，電子温度3,060Kとなった。 N_2 振動温度，電子温度はエネルギー交換のカップリングが強いため，殆ど同じ温度となっている。しかも他のエネルギーモードとの間のエネルギー交換が十分に起こらず，高い温度のまま凍結していることが分かる。回転温度は並進温度と非平衡を保っているが，その温度差は小さい。またNO振動温度， O_2 振動温度は並進温度とかなり強い非平衡を示している。ノズル内では化学凍結を仮定しているため，ノズル出口の化学種の質量分率はスロート出口と同じである。

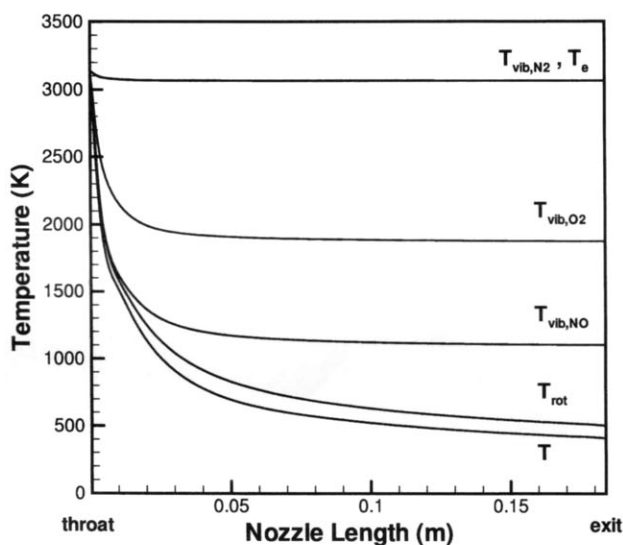


図3 ノズル軸上の温度分布

ノズル流解析から求められたノズル出口条件を安部隆士教授の下で開発されたスペクトル計算コードSPRADIANに用いて，340-480nmの発光スペクトルをもとめ，これを実験と比較した。図4に波長領域 340-400 nm，および 400-480 nmにおける発光スペクトル

の数値解析と実験との比較を示す。同定されたスペクトルはこの波長範囲ではすべて N_2^+ である。計算による結果は実験結果を再現できていないことが分かる。この原因として回転温度，振動温度が低く見積もられていることが挙げられる。スロート加熱部の計算によってノズル解析のための境界条件が決定されるため，スロート部での計算モデルの見直しが必要である。実際は中心付近(コア)の温度は壁面近くに比べてかなり高くなっていることが考えられる。本研究のモデルでは温度は加熱部で半径方向に一定として求めているが，断面において温度分布を考慮した現実的なモデルを考える必要がある。加熱部の壁面で温度300K，軸上で6,000Kとなるような半径方向の温度分布を考え，残りの状態量（密度，圧力，速度）を求め，ノズル流計算をおこない，得られたノズル出口データを用いてスペクトルを求め，実験と比較したが，両者の一致は満足できなかった。

そこで実験スペクトルにフィットする数値スペクトル（図5）の温度を求めたところ，回転温度4,000K， N_2 振動温度7,000Kが得られた。実験とは340-400 nmの広い範囲にある N_2^+ の特徴的なスペクトルについてかなりよい一致をしていることが分かる。よって，回転温度，振動温度についても計算では低く見積もっていることが分かる。この結果はアーク加熱のモデル化が，ここで提案する熱化学的平衡モデルではなく，非平衡加熱モデルによらねばならないことを示唆している。気体がアーク加熱を受ける過程は，ジュール加熱→電子並進→振動→重粒子並進/回転と考えられるが，振動→重粒子並進のエネルギー移動が十分行われなくて，振動温度が重粒子並進温度より高い状態のまま，加熱部を通過していくと考えられる。ここでは N_2^+ のスペクトルについてのみ議論しているが，アークジェットでNO， N_2 のスペクトルも観測できるので，これらの結果と併せてアーク加熱機構について議論する必要がある。

（にしだ・みちお）

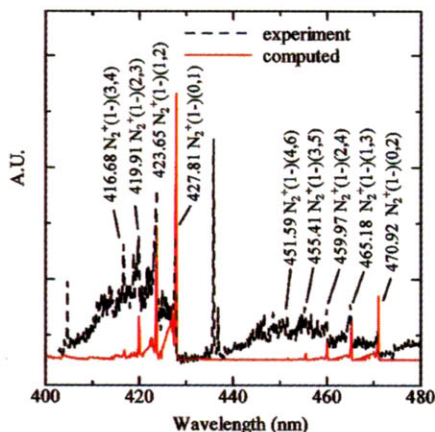
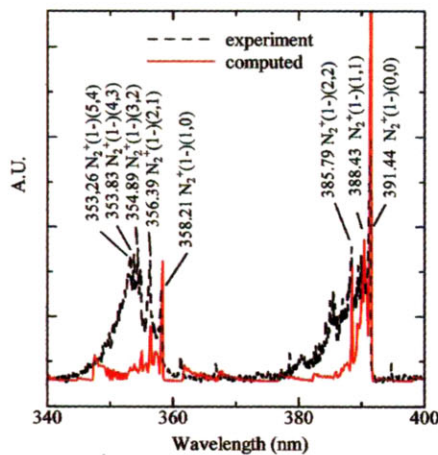


図4 ノズル流解析から得られた数値スペクトルと観測スペクトルの比較

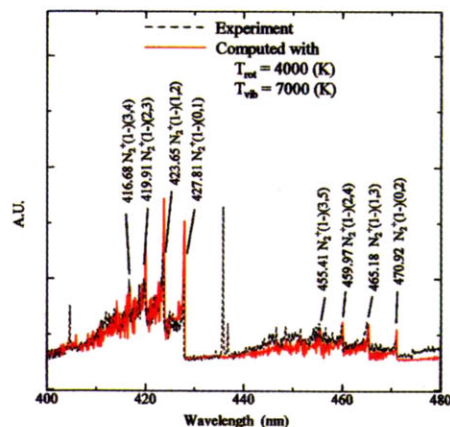
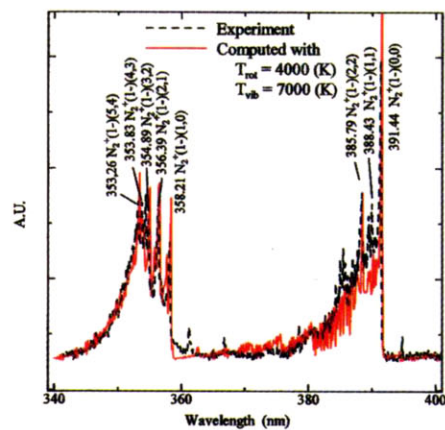


図5 観測スペクトルに適合させた数値スペクトル



★SOLAR-Bプロトモデル試験速報

2005年夏に打ち上げを予定しているSOLAR-B衛星のプロトモデル電気試験が、7月16日より9月13日までの2ヵ月間、C棟の衛星クリーンルーム及びチェックアウト室で行われた。SOLAR-Bは、現在なお活躍中の「ようこう」(SOLAR-A)衛星が観測した太陽コロナのダイナミックな世界に注目しつつ、可視光での太陽光球面の超高分解能・精密磁場観測と極端紫外線での分光撮像という新しい手を追加して、光球面とコロナを一体のシステムとして捉え、電磁プラズマ現象の素過程や高温コロナの成因の解明を目指す。

PM試験には日・米・英3国が協力して製作する3つの観測装置(望遠鏡)の電気部と、観測制御及び膨大な画像データを処理するミッション・データ・プロセッサ(MDP)、衛星データ処理装置(DHU)などが参加した。装置間の電氣的インタフェース、観測制御インタフェース、テレメトリインタフェースなど多岐にわたって試験が行われ、電気部の設計妥当性を確認した。試験中には様々な不具合や予想外の現象が発生し、原因

究明に時間を要したが、改修を要する箇所が明確となり、これらはフライトモデル設計に反映される。

このPM試験には、衛星システム担当メーカの三菱電機をはじめ日本国内の機器担当メーカや研究機関の関係者が多数参加した。また、米国からは可視光磁場望遠鏡の焦点面検出器担当のロッキード研究所、X線望遠鏡の鏡筒部担当のスミソニアン天文台、英国からは極端紫外線撮像分光装置担当のマラー宇宙科学研究所の科学者・技術者が参加した。

(国立天文台 清水敏文)

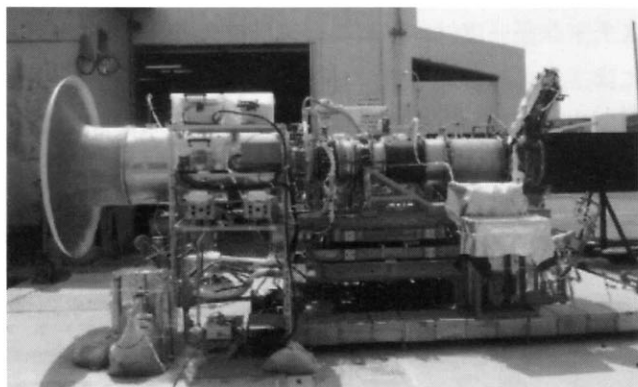


★ATREX-12エンジンシステム地上燃焼試験について

能代ロケット実験場において、8月21日～9月5日に、ATREXエンジンの地上燃焼試験が行われました。このエンジンは、プリクーラと呼ばれる液体水素を冷媒とした熱交換器で取り込んだ空気を予冷却している点の特長で、世界的にも類を見ません。今回の試験では、空気中の水分がプリクーラの冷却管表面で氷結するアイシング現象を解決することを目的としました。凝縮性物質であるメタノールを噴霧するタイプの着霜軽減装置が考案され、試験されました。

1回目の試験でメタノールの着霜低減効果を確認した後、2回目の試験では噴射量とシーケンスを改善しました。エンジン着火から約30秒、ビデオカメラに写る冷却管表面の着霜もなくなり、試験は大成功と思った矢先、ベアリングの故障で試験は中断されました。幸い、2回の試験によって、メタノール噴射装置の効果と問題点が把握できました。

このセラミックス製のベアリングは優れ物で、無冷却、無潤滑で、これまでの11年間、56回の燃焼試験にわたって働き続けました。その間には、プリクーラによる零下100℃以下の環境や液体酸素の噴霧等、航空機のエンジンでは体験できないような厳しい試練に耐えてきました。次回はベアリングを交換して試験を行います。飛翔試験に向けた新しいエンジンの開発も並行して進めていく予定です。（佐藤哲也）



★平成13年度第2次大気球実験

平成13年度第2次大気球実験は、平成13年8月21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。放球した気球は、BT5-22、B80-6、B30-69、B50-22、BT30-1の計5機でした。

BT5-22号機は、成層圏のオゾン高度分布を観測することを目的として行われ、高度20kmから42kmまでのオゾン濃度の観測に成功しました。

B80-6号機は、太陽フレアに伴って放射される硬X

線スペクトルを観測することを目的に行われました。検出器は新規開発されたテルル化カドミウムが用いられました。飛翔中大きなフレアは発生しませんでした。16台の検出器は放射冷却により-10℃以下に冷却され全て良好に動作し飛翔性能確認が行われ、所期の目的を果たすことができました。

B30-69号機は、成層圏における極限環境微生物の採集を目的として行われました。採集方法は大気を吸引し、その中に含まれる微生物等をフィルタに吸着する方式で、回収後フィルタに付いた微生物の培養を行い微生物の単離及び同定を行うものです。高度12kmから31km間で4時間にわたる採集が行われました。

B50-22号機は、エネルギー100GeV以上の電子観測を目的に行われました。飛翔中、観測器は全て正常に動作し100GeV以上の電子観測に成功しました。この観測データは来年度予定されている南極周回気球による長時間観測のための基礎データとなるものです。

BT30-1号機は、宇宙研が開発した厚さ3.4ミクロンのポリエチレンフィルムで製作した容積30,000m³の超薄膜型高高度気球の飛翔性能試験を目的に行われました。気球は正常に上昇し、予定高度50.7kmに到達しました。本気球は従来の同容積の高高度気球の6割程度の自重であり、大幅な軽量化に成功しました。今回到達した高度50.7kmは、日本で放球した気球の最高高度です。（山上隆正）

★S-310改モータ地上燃焼試験

平成13年9月4日、S-310改モータの地上燃焼試験が、愛知県の(株)アイ・エイチ・アイ・エアロスペース武豊事務所ロケット実験場にて実施されました。今回の改良型モータでは、推進薬及び燃焼室断熱材の材料について世代交代が図られると共に、点火の方式に新技術が導入されています。また新しい推進薬を用いることに伴い、推進薬の内面形状も新たに設計されています。さらにノズル絞り部（スロート）の黒鉛製部材に関しては、信頼性を向上させるための設計が施された上で、この材料に相応しい非破壊検査技術が研究され、徹底したチェックが行われています。当日の天候は晴れ、気温25度の良好な環境のもと、午前11時40分に点火され、着火・燃焼ともに正常で、データ取得状況は良好でした。詳細な評価を現在実施中ですが、着火特性、燃焼特性、耐・断熱材の焼失・焼損特性等について貴重なデータが得られたと考えています。今後この試験の結果を基に飛翔型モータの仕様を確定させ、第30号機でデビューさせる計画です。（嶋田 徹）

★「ようこう」10周年記念の記者会見

太陽観測衛星「ようこう」は本年8月30日、打上げ10周年を迎えた。太陽の活動は約11年周期で変動している。第22周期のピーク直後に打上げられた「ようこう」は、いま第23期のピークの観測を終えつつあり、1周期を連続観測した世界で初のX線太陽観測衛星となった。これを契機として「ようこう」の画期的な成果の積極的な広報をめざして、9月10日に記者会見を行い、最新の画像数枚を公開した。

浜松町のNASDA iで行われた記者会見には約10の新聞（通信）社が参加。的川教授の司会のもとで、米・英の仲間からのメッセージ・ビデオが紹介された後、小杉が「ようこう」10年間の成果を、概略、以下のように要約して紹介した。

「ようこう」には『世界で初めて』と誇れることがいくつもある。軟X線望遠鏡は世界初の衛星搭載CCDカメラであり、コンピュータを用いた自動撮像制御が自慢である。硬X線望遠鏡はフーリエ合成型の「すだれ」コリメータで、30keV以上の高エネルギー域でのX線撮像観測を初めて実現した。10年間もの長期にわたってX線で太陽を連続的に観測したのも世界で初めて。これらを武器に「ようこう」は、躍動する太陽コロナを鮮明に捉えて太陽コロナの描像を一新するとともに、太陽フレア等の爆発が磁気再結合現象によることを確証した。また膨大なデータの蓄積により宇宙天気予報の実用化に道をひらく重要な成果をも得た。これらの科学成果は1000編を越す論文にまとめられている。

記者会見には、小川原名誉教授（名誉衛星主任）、NASAの宇宙研駐在員であるHugh Hudson氏も出席した。この記者会見の結果、『朝日新聞』その他の新聞にカラー写真付きの記事が掲載された。いささかなりとも宇宙科学の広報に寄与でき、苦勞をした甲斐があったと考えている。

なお、この記者会見は、米国NASA、英国PPARCと共同で企画したもので、同日ワシントンとロンドンでも記者発表が行われた。共同記者会見で弾みをつけて、9月17日からの「ようこう」10周年記念国際会議の開催地ハワイに乗り込もうとしていたのに、こちらは同時多発テロの発生で延期を余儀なくされてしまった。残念なことであった。（小杉健郎）

★READ実験について

READ(Reentry Environment of Advanced Diagnostics)実験は、無人宇宙実験システム研究開発機構(USEF)が開発中のUSRES (Unmanned Space Experiment Recovery System)衛星に搭載予定の実験で、USEFとの共同研究として進めているものです。

USERS衛星は、H14年度夏期にH-IIAロケットによって打ち上げられ、約半年間地球低軌道上で微少重力関連の実験機器を用いた実験を行ったのち、軌道に残る機体部分から分離された回収機体が、大気再突入を経て、海上回収が行われる予定です。

USERSのミッションは複数のものからなりますが、メインミッションは微小重力環境を利用した高温超電導材料の製造実験です。READ実験そのものは、大気に再突入する際に機体の周りに生じる高温大気からの発光を分光測定し、飛行環境に関する知見を得ることを目的としており、回収機体部分に搭載されます。取得される分光データから、機体周りに生じる高温大気の温度、成分など再突入時の飛行環境に関する貴重なデータが得られることが期待されています。単体の開発は既に終わっており、現在、回収機体に組み込まれた状態で、回収機体ともどもシステム試験が行われ、続いて9月15日から12日間、大型スペースチャンバーでの熱真空試験が進められました。宇宙研の大型スペースチャンバーは、ユーザも多く、試験期間の設定の際には、多大のご迷惑をおかけしましたが、今後も、関係各位のご協力をお願いする次第です。（安部隆士）

★BepiColombo Science Workshop

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を行っているBepiColombo国際共同水星探査計画(以下BepiColombo計画と省略)の初のScience Workshopが、海外からの参加21名を含む93名の参加者で9月17-18日の両日にわたり開催されました。BepiColombo計画はいままで飛翔体を用いた直接観測としては1970年代の米国のMariner10によるフライバイ時の観測があるだけであり、望遠鏡による観測も太陽に近いためにその制限がきびしい水星に2機の周回機と1機の着陸機の計3機の観測機を送り込み地球型惑星としては最も未知の惑星である水星について詳細に調べようという大変野心的な計画です。今回のWorkshop

では日本が担当することを期待されている磁気圏探査衛星MMO(Mercury Magnetospheric Orbiter)での科学観測を中心に搭載機器に関して議論がかわされました。初日はシステム検討の現状や水星に関する観測の意義等について。2日目の午前は関連観測器毎に分かれて開発・分担の方法等について。午後は現状のMMOのモデル搭載機器の検討状況についての議論がありました。一部の観測器では初日の晩のパーティー後にすでに観測器についてのミーティングを始めるなど友好的な雰囲気の中にも白熱した議論がなされました。今後は、年に一回程度の頻度で日欧の研究者を集めたScience Workshopを開催していく予定です。

(早川 基)



★ESAのメンバの来所

ESA(欧州宇宙機関)のメンバー12人を迎えて、日ESA行政官会合が9月18、19日に東京で行われました。この会合は、1972年に締結した交換公文に基づき東京とパリで交互に毎年1回開催されているもので、議長は文部科学省研究開発局長とESA長官が交代で務めます。主な議題は日本とESAの間の協力プロジェクトに関する情報交換です。

宇宙科学は、ESAとの間に実質的には多くの協力ミッションがありますが、日ESA行政官会合の中心的な議題にはなっていませんでした。今回は、東京での会合が終わった後、9月21日にESAの一行の中から6人が文部科学省調査国際室やNASDAの方々とともに宇宙研を訪れ、宇宙科学に特化した情報交換を行いました。団長のJean-Pol Poncelet氏は、ESAの企画・対外局の局長の職にあり、ベルギーの物理学の研究者出身で、副首相を経験した方です。

宇宙研の松尾所長の挨拶に始まり、松本企画調整主

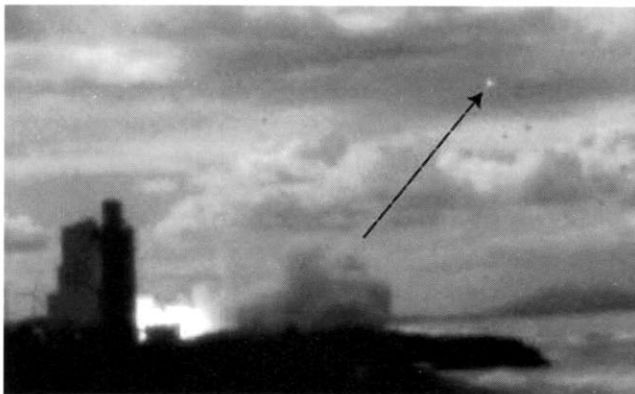
幹と向井太陽プラズマ系研究系主幹による宇宙研の活動の紹介の後、所内施設の見学を行いました。ESAとの間には、赤外天文(ASTRO-F)、水星探査計画(BepiColombo)、太陽観測(SOLAR-B)など多彩な協力が予定され、今後ますます付き合いが深くなります。今回の来訪メンバーは、宇宙科学分野には予備知識があまり無かった様子で、宇宙研が限られたリソースで多くの成果をあげているのに、文字通り驚いている様子が印象的でした。

(中谷一郎)

★M-34-3 TVC 地上燃焼試験

一連のM-V型ロケット各段モータのスロート材変更に関連する地上燃焼試験の1つとして、M-34-3TVCモータの真空燃焼試験が能代試験場で実施されました。試験は、9月22日の午前10:30点火で行われ、後方着火点火器が、点火直後に「見事な」飛行軌跡を残して飛び去ると、M-V型ロケットでは最も長秒時の100秒間にわたる燃焼が、まだかまだかの緊張のうちにも順調に進行して、無事成功裏に終わりました。主目的であった、3次元C/C材料によるノズルスロート部の機能と健全性が確認できました。あまりに燃焼後の状態が良かったため、再使用も可能ではないかとの声も聞こえるほどで、関係者も満足いただけたようです。当日は3連休の初日ということもあり、能代市の宇宙科学体験教室という企画も行われました。国中助教授による講演と、堀助教授の解説付きの燃焼試験見学、さらには試験終了後の試験スタンドの見学という、うまい企画で、参加された親子連れの方々にも満足いただけたと思います。残る大物は、12月の第1段M-14モータですが、今回までで、上段ステージについては、スロート材変更の燃焼試験は完了したといえるでしょう。

(川口淳一郎)



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）

	11 月	12 月
相模原	DASHカプセル再組立 5 ← 15 16 DASH総合試験	S-310-30 噛合せ試験 12 ← 26 MUSES-C 総合試験 3 ← 28 DASH 射場オペレーション (TNSC) 12 14 ← 25
能代		M-14-3 TVC 地上燃焼試験後期オペレーション 20 ← 13

(TNSC : 種子島宇宙センター)

★シンポジウム

宇宙科学シンポジウム

開催日：11月19日（月）～ 20日（火）

場 所：宇宙科学研究所本館2階大会議場

宇宙航行の力学シンポジウム

開催日：12月3日（月）～ 4日（火）

場 所：宇宙科学研究所本館2階大会議場

太陽系科学シンポジウム

開催日：12月5日（水）～ 6日（木）

場 所：宇宙科学研究所
管理棟(新A棟)2階会議室A

大気球シンポジウム

開催日：12月13日（木）～ 14日（金）

場 所：宇宙科学研究所本館2階大会議場

宇宙科学シンポジウム

開催日：1月10日（木）～ 11日（金）

場 所：宇宙科学研究所本館2階大会議場

問い合わせ先：宇宙科学研究所管理部研究協力課共同利用担当

TEL : 042-759-8019

★人事異動（教官）

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現（旧）職等
		（昇 任）	
13. 10. 1	田 中 智	惑星研究系助教授	惑星研究系助手

窒素振動温度の測定

小山 孝一郎

地球大気の約80%を占める窒素分子という言葉は誰でも知っていますが、振動温度という言葉はほとんどの人に馴染みがありません。

窒素分子の数より約1000万分の一も少ない高度100km付近の電子の温度が中性ガス温度より数百度高い理由は今でも明らかではありません。しかし窒素の振動温度が3000K以上であれば観測された電子温度の値は納得できそうですし、これまで私達が測定した電子エネルギー分布にも窒素分子と電子との相互作用を示唆する振舞いがみられています。論文を読みあさっても振動温度に関する理論的な論文は数多くみられますが、宇宙空間で振動温度を正確に測った報告が見られませんでした。ということで、振動温度を何とかして測って見たい誘惑にかられ、まず学部学生と、その技術的可能性を確かめました。次に修士課程の学生を使って室内で窒素振動温度を測定し、最後に博士課程の学生を使ってロケット搭載用としてまとめ1997年にS-310-24号機によるロケット実験を成功裡に終えました。2002年に再度ロケット実験を予定しています。

さて、窒素振動温度とは何でしょうか。図1に示すように、窒素原子が2コくっついた窒素分子は空間を飛び回っています。飛び回りながら原子同士はお互いの間隔を拡げたり縮めたりして振動し、かつ回転しています。飛び交っている窒素分子の運動エネルギーは連続的で、振動、回転のエネルギーは離散的で、ある範囲に分布しています。その平均を温度に換算してそれぞれ大気温度、振動温度、回転温度と呼びます。電離層の中では励起酸素原子、或いは3-4eVのエネルギーの電子を衝突させることで窒素分子に強い振動を与えることができます。振動励起された窒素分子は高度100km付近では電子を加熱する可能性があります。高度300km付近では電子密度に影響します。電離層嵐時の電子密度の変化は高い窒素振動温度を仮定すると理論値とより良い一致を示すとする論文もあります(酸

素原子イオンと窒素分子との反応は振動温度に大きく依存するからです)。

さて、窒素振動温度はどうして測定できるでしょうか。振動励起された窒素の状態を直接知ることにはできないので、まず約600eV以上のエネルギーを持つ電子によってもとの振動情報を維持できる状態で窒素を電離します。すると窒素分子イオンから波長427.8および423.6nmに強いピークを持つ光が出ます。光の強度比から振動温度を計算できますが、図2のように得られたスペクトルに理論カーブをフィットさせると振動温度のみならず、回転温度、および窒素密度が同時に得られます。従ってこの装置はこれまで不可能であった高度100km付近の大気温度の直接測定にも威力を発揮し、またこれまで理論的な研究しかない振動励起された窒素分子と電子との相互作用に関する室内実験にも利用され得ます。

この原理に従えば、測定器は、電子銃と弱い光を増幅して検出する分光計より構成できることになります。開発の最終段階で測定器の性能を確認する必要がありますが、振動エネルギーの緩和時間が長いことを利用して、0.7トールで1700℃まで熱した窒素ガスを10⁻⁴トールの空間にノズルより吹出させそこで振動温度が1700Kである事を確かめました。室温で測定し、測定器が室温と同じ振動温度を与えることを確認したのは当然です。

本測定器の開発に当たり、本研究所の市川行和教授を初めとする多くの方々に助けて頂きました。これらの方々の厚意にも答えるべく、来年の実験を成功させたいと願っています。

測定器およびロケット実験の詳細については

<http://www.ted.isas.ac.jp> をご覧ください。

(おやま・こういちろう)

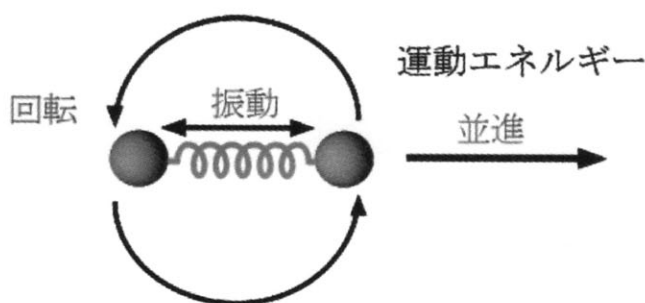


図1 回転、振動、運動エネルギーの概念

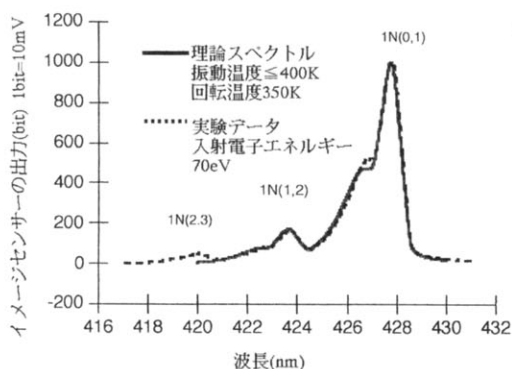


図2 定理で得られた理論カーブ（実線）と観測スペクトル（点線）はよく合う。この際、回転温度、振動温度とも室温（～300 K）を反映している。

インドのタタ研究所（TIFR; Tata Institute for Fundamental Research）はムンバイ（Mumbai; またはボンベイ）市南外れのコラバ地区のアラビア海に面した良い場所にある。この研究所とは、宇宙研が科学衛星を打ち上げていなかった30年以上前から小田先生や早川先生の主導により日印気球共同実験が行われて以来、宇宙科学研究の面でも長い付き合いがある。

今度このタタ研究所で9月11日より “Multi-Color Universe” なる国際研究会議を開くとのことで、招待講演を依頼され気軽に引き受けた。この国際会議の一つには2005年打ち上げを目指して開発が始められたインドの天文衛星、ASTROSAT（紫外線、X線、 γ 線領域をカバーする）に向けて氣勢を挙げるため、もう一つは同研究所で長年宇宙科学分野の主任を務めてきた Agrawal 教授の60歳定年退官を記念してというのが趣旨であった。もっともAgrawal 先生はこれで役職は免除されるけれども、今後も一教授としてはタタ研究所に留まり研究を続けられるとのことで、誠にうらやましい身分になったものともいえる。

私はインドに行くのは初めてで、いよいよ出発日が迫ってインドへの出張・旅行の経験がある先輩・友人に話を聞く内に、これはえらいものを引き受けたと段々憂鬱な気分になってきた。生活様式や習慣の違いによる不便に加えて、下痢、腹痛に悩まされるのは序の口で、やれ赤痢だのコレラだのにかかった、私は急性肝炎になった（ほんとにインド旅行のせいかな？）などと散々脅された。そこで、最近気球実験でインド出張の多い赤外線グループの成田さんにインド生活のノウハウを聞き込み、抗生物質、風邪薬、〇〇丸、ビオ×××から、蚊取り線香、虫よけスプレー、トイレトペーパーにミネラルウォーターを詰め込んだ異様な海外旅行となった。幸い上等なホテルに宿泊できた事と、成田さんの忠告を守って歯磨き、うがいにも市販浄化水を使い、決して水道水やこれでできた氷を口にしない事、腹痛も起こさず快適な旅を終えて帰国した。無事に帰国したので周りの人々は、口では良かったですねと慰めながら、心の中で（顔に出ている！）残念そうにしていた。

サハール国際空港に降り立って、郊外、市内目ぬき通りを抜けてホテルに到着する迄に、早くも一種のカルチャーショックに襲われた。インドの名誉のため詳

しくは語りづらいが、やはり貧困層の多さと都市近代化の立ち後は目を覆うばかりである。市街地が雑然とし、大通りを多数の人が歩き回り、多数の車が無秩序に走り回っているのを見て驚いた。よくもこれで事故が起こらないものだ。町中あちこちで悪臭を発しているのにも閉口した。インドの大多数の国民が衛生的かつ文化的な生活を送れるようになるのは何時の事か（あるいはその様な時が来るのか）と暗澹とした気分になった。

ところで我々滞在中に、例の乗っ取り機による米国防省及び貿易センタービル突撃と言う恐ろしいテロ事件が起きた。アメリカからの参加者は帰りの日程の目処が立たずオロオロする者、「ま、ヨーロッパ迄行って待機するさ」と呑気な者さままでであった。この事件のおかげで、長年の戦争で疲弊したアフガニスタンの町々や国民の姿をテレビで見る機会が多くなった。その姿を見るにつけ、これにくらべればムンバイは天国だよと思う。そして、我々の滞在したホテルは天国の中の天国であった。組織委員会が特別契約したホテルリストの中に “Taj Mahar Hotel” があったので、こんな機会でなければ泊まれないホテルと思い、ここを予約した。さすがにインドの人々が世界有数のホテルと自慢するだけあって立派なホテルである（写真参考）。我々の宿泊したのは EcoTaj と呼ばれる新館の方であったが十分満足した。宮殿風の旧館に泊まる事ができればさぞ王様気分を味わえたであろう（多少残念！）。それにしてもこの旧館に滞在する金持ちで上流階級（？）を思わせるインド人を見るにつけ、「インドって不思議な国だ」、と思う。

（ながせ・ふみあき）



海側から見たインド門とその脇に聳えるタジマハールホテル。



微小重力下の一様な液体と斑らな液体の狭間 —臨界現象—の研究

北海道大学大学院理学研究科 伊丹 俊 夫

臨界現象は非常に興味深く物性基礎および統計力学基礎として重要な現象である。さらに最近では超臨界流体の溶媒としての応用でも注目を集めている。液体Bi-Ga系合金は臨界現象を示し、臨界温度535K、臨界組成70at.%Gaに二液相と均一液相の間の臨界点をもつ。臨界温度より十分に高温側ではこの液体のどの部分を見ても同じ「一様な液体」となっている。臨界温度以下に冷却すると軽い液体と重い液体の上下二層に速やかに分離する。この分離直前の臨界温度直上の均一液相においても、ミクロに見ると、すでに揺らぎとして重い液体ドメインと軽い液体ドメインが発達した「斑（まだら）な液体」となっている。

「斑な液体の成長，すなわち，臨界点への近接過程は重力の影響を強く受けている」，「液体や流体が関係する臨界点への真の近接は無対流の微小重力環境でのみ可能」，このような着眼点のもとで，1992年および1995年の二回に渉り宇宙科学研究所の小型ロケットS-520-15号機(ERM-I)および-19号機(ERM-II)の放物線飛行を利用し，液体Bi-Ga合金の微小重力下の二液相分離過程を電気抵抗をプローブとして追跡する機会を得た。この研究は北大，宇宙研および日産の共同研究プロジェクト「ERM」として行われた。図1は，均一液相側から臨界温度へ近づくにつれ電気抵抗の温度係数が増大すること，その増大傾向が微小重力下の方が地上実験と比較して大きいことを示している。電気抵抗の温度係数は揺らぎに非常に敏感な物理量である。この電気抵抗の温度係数の挙動は，図2に示すように臨界組成で地上と比較していっそう顕著な極大を示しており，臨界点近傍で揺らぎが最大となること，および宇宙が地上に比べて対流に阻害されずに臨界点へ近接可能な環境であることを示している。

海外の微小重力研究においても，ピストン効果が発

見されている (Straub et al.,1995年)。臨界点近傍の流体の発散的に大きな圧縮率(熱膨張係数)のため，試料一端の加熱が急激な体積の膨張を引き起こす。これが疎密波として伝わる温度伝達機構を生み出している。この存在自体は理論的に予言されていた(Onuki,1990)。臨界点近傍の熱容量は揺らぎの発達によりλ型となる発散異常を示す。この液体ヘリウムのλ転移が，より臨界点近傍まで対流に妨げられずに微小重力下で測定されており，理論が予言する温度依存性の傾向と同一の傾向が得られている (Lipa et al.,1994年)。このような基礎科学における宇宙環境利用について，欧米とくにアメリカは今後の系統的な研究展開を表明している。日本においても，基礎物理および物理化学の分野でのテーマの発掘と日本テーマを発足させる動きがすでに始まっている。これらの動向については「宇宙利用のサイエンス」(宇宙開発事業団 井口洋夫監修 裳華房 2000年)を参照されたい。臨界現象もこれらの動向の中で重要な課題である。攪乱のない理想的な宇宙環境を利用して，スケーリング則，普遍性などの重要基礎理論の検証，更には新現象の発見が期待される。

国際宇宙基地による本格的な宇宙実験時代を迎える前段階のここ数年，日本では小型ロケット実験が途絶え，上砂川の落下塔の運営も平成15年度以降は明瞭ではない。しかし，今回紹介した微小重力下の二液相分離の研究は小型ロケットの僅かな空間を利用して実施されている。臨界現象の研究については，その普遍性が存在すれば，非常に実験し易い対象を選択して本質を抽出することも可能である。大規模実験に加えて，多様な微小重力手段のほんの少しの空間をも提供する努力で，微小環境利用への興味の広がりや研究レベルの向上を計ることが重要である。(いたみ・としお)

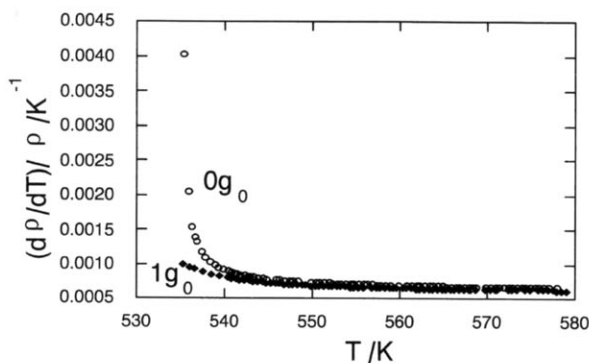


図1 無重力実験および地上実験における比抵抗の温度係数の比較

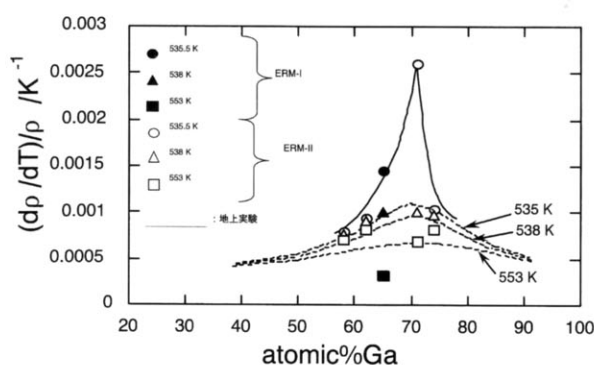


図2 無重力実験および地上実験における比抵抗温度係数の組成依存性の比較



My "do" to Japan

Dogiel Vladimir

My acquaintance with Japan had started long before my first visit to this country.

In 1962 I completed my study in grammar school in Moscow, and entered the Moscow Physical-Engineering Institute. It was one of the best educational institutes in physics in Russia. Physics at that time was the most popular specialty among young people. Competition to enter the institute was very large, and I was very happy when I passed successfully the competitive examination. Just at that time a new complex of buildings for the institute was built on the bank of Moscow River with a nice sporting center. Each student had to choose a sport which he would like to go in. I chose "sambo". The word sambo is an abbreviation of the Russian words for "unarmed self-defense". It is a sort of combat very similar to Japanese judo. Just at that time judo started to penetrate into Russia and naturally sambo wrestlers were first who switched to judo. I did not escape a keenness of judo too. We bought books about judo; we knew names of famous judo wrestlers. I still remember the names of Inokuma and Hensink who competed with each other at that time. I read many books about judo and found that it was not a sport only. The meaning of the word "do" is "way". Judo is a kind of philosophy. Right actions by arms and feet are a minor part of judo. I was impressed by my first contacts with Japanese judo wrestlers who came to Russia for the first time. It seemed to me that they did not bother whether they won or lost. I saw an expression of absolute imperturbability on their faces. We discussed the main postulate of judo "to yield in order to win", which seemed to us absolutely unacceptable. I would say that our motto in sambo was "not to yield in order to win". Judo led us to an unknown philosophy, to unknown ideas, to unknown relations between people and to an unknown way of self-understanding. Thus through judo I discovered Japan, a country which I hoped to visit sometime.

At that time it was an unrealizable dream. Russia was a closed country and all contacts with foreign countries and with foreigners were strongly restricted. Nevertheless, there were many books in which people could find necessary information. I bought a two-volume edition of Chinese philosophy; I read a nice book about Japan "Sakura twig" written by a Russian journalist Jurii Ovchinnikov, who lived for a long time in Japan. From there I knew a little about Japanese and Oriental philosophy. I knew that Japanese tried not to insult each other in order not "to lose face". Not so long ago Japanese turned foreigners back. For Europeans it is a sort of insult, but Japanese did this just to avoid any insult, in order not to insult them by a covert glance.

At that time I read many short Japanese poems "haiku" in three lines of which one could find an understanding of many problems. I read many novels of Kobo Abe in

attempt to understand spirit of Japanese people. And, of course, I watched many Japanese movies of Akira Kurosawa, the title role of which played Toshiro Mifune. I remember "Genius of judo", "Seven samurai" and many others but the strongest impression I got from the movie "Rashomon".

At last in 1993 I came to Japan for the first time. There was a conference on plasma physics in Nagoya. I was impressed how this country was developed; I was impressed how much money this country spends for science and education. I visited the center of thermal nuclear researches and looked there at the world's four largest installations for thermal nuclear synthesis.

After that visit I came to Japan twice, and I have spent more than a year in ISAS. And now Japan is a country in which I have lived a significant part of my life.

I come to ISAS and see my colleagues who work very hard. Even at midnight one can see light in many windows of the institute. I meet here Prof. Inoue who is busy with many new X-ray projects, who spends much time with young scientists and students. He told me once that he could meet his children only once a week. In spite of that he made many efforts to make my stay in ISAS very comfortable. On evenings I feel a delicate smell of a very good tobacco. Then I know that I have a chance to talk to Prof. Nagase who smokes his pipe in the lobby near the institute elevator. He told me a lot about Japan. When I go to the Senda restaurant I meet there many local people who are glad to see me in spite of the fact that I do not speak Japanese and they do not speak English or Russian. Now Japan is not a strange land for me though I cannot say that I understand everything here and up to now Japan is a huge enigma for me which I tried to understand during almost all my life. It may be that one of enigmas of Japan is that this country penetrates into you and you do not feel this. I am Russian and feel myself as a Russian with all my Russian merits and shortcomings but recently I participated in one conference in Germany, and many of my colleagues from different countries told me the same: Volodja, sometimes you conduct yourself like Japanese, there is something Japanese in what how you say, in your gesticulation.

Is it true? (ドギエル・ブラディミール:客員教授)



3年間我々が世話になった出版係の鈴木さんが9月で退職されました。いつも丁寧に仕事をされ、編集委員はどれだけ助けられた事でしょう。本当にお疲れ様でした。矢富係長も法規のお仕事に専念される事になり、寂しいかぎりです。お二人とも長い間有難うございました。これからも企画・広報係と一緒に良い紙面を目指していきますので、見守っていて下さいね。(竹前)

ISASニュース

No.247 2001.10

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>)