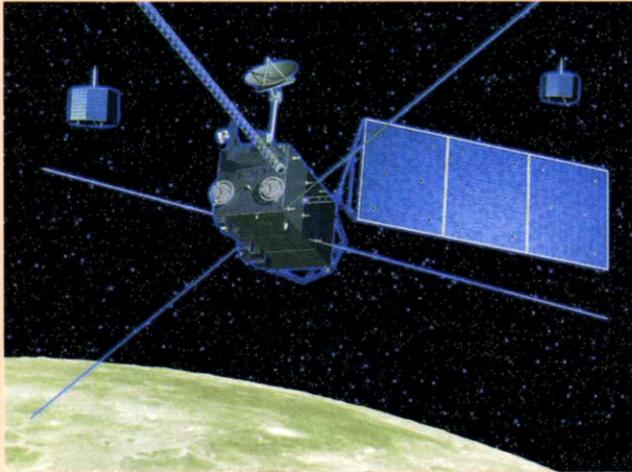




宇宙科学研究所

2002.12 No.261



▲SELENE (本文記事参照) (宇宙開発事業団提供)

〈研究紹介〉

宇宙用高性能半導体メモリー (SOI-SRAM) の開発

宇宙科学研究所 廣瀬和之, 齋藤宏文

1. はじめに

私たちには大きな夢が二つあります。この地球の周辺を離れた遥か遠い宇宙へ惑星探査機を送り出し太陽系の謎に挑むという夢と、打ち上げチャンスの多い小型衛星を編隊飛行させ、天体観測をはじめとする多彩な科学観測をするという夢です。現在の私たちの目標は、この二つの夢を実現するために、探査機や人工衛星に搭載する高性能の宇宙用の半導体部品を開発することです。

宇宙用半導体部品の中でもコンピュータの心臓部となるメモリーとマイクロプロセッサという部品が、私たちが戦略的に開発に取り組んでいる半導体部品です。限られた電力のもとで探査機や小型衛星が遠距離通信や編隊飛行をするためには、メモリーやマイクロプロセッサは、放射線等の苛酷な宇宙環境に耐えるばかりでなく、自律運用が可能なるほどに高速で低消費電力なものでなければなりません。このような部品を

開発することは、世界最先端の宇宙科学プロジェクトを遂行する上での一つの大きなブレイクスルーになるものと信じています。

これまで放射線に強い最先端のメモリーやマイクロプロセッサは米国の戦略部品しかなかったため、ほとんど輸入できませんでした。もし輸入できたとしても、最低数十個程度購入しなければならないとか、機器の一部として購入しなくてはならない等の条件が付き、コストは数千万円に達するものでした。そこで最先端の部品はあきらめて古い世代の部品を輸入せざるを得ない状況だったのです。別の対応策として、放射線に対してそれほど強くはない部品を使い、一つの部品が壊れたり誤動作しても機器としては助かるように予備の部品を併設するという冗長構成をとることもありましたが、その場合は機器のハードウェアやソフトウェアの規模が大きくなり、開発期間の長期化やコストの増大を招き、海外で開発された機器には太刀打ち

ができるものではありませんでした。

放射線にも強く高性能の宇宙用半導体部品が安価に手に入るようになれば、私たち宇宙研だけでなく、大学、企業、ベンチャーなど多くの人々が小型衛星や超小型衛星を自らの手で自らの目的のために飛ばせるようになり、“宇宙へのしきいが下がる”ことになるでしょう。今回、私たちが開発したメモリーはこれまでの宇宙用メモリーより放射線に対して100倍以上強いばかりでなく、最先端の民生製造技術で作製したために高性能でありかつ低コストなものです。本稿では、この宇宙用メモリーの開発についてご紹介します。開発が成功したポイントは、1) SOI技術を用いたことと、2) 民間メーカーと互いの目的のために協力しあったことです。

2. 放射線に強いSOI技術

宇宙用部品においては、宇宙放射線によるソフトウェア（放射線によるビット反転エラー）が深刻な問題であることは皆さんもご存知だと思います。衛星搭載機器異常の原因の4分の1以上がソフトウェアであるという報告があります。一方、地上で用いる民生部品においても、微細化が進んだことにより、部品内部の不純物材料から発生する放射線問題に加えて、地上に降り注ぐ宇宙線中性子シャワーの問題が顕在化しています。航空機だけでなくハイエンドサーバー等IT基盤技術におけるソフトウェアの問題が危惧されているのです。東京湾上では、実に、1時間に1cm²あたり20個以上の中性子が降り注いでいます。IT社会の基盤としてハイエンドサーバーが敷設されていきますが、このままでは、“IT基盤を確保するためには、ソフトウェアは100年に1回以下にしなければならない”という国際半導体技術ロードマップ（ITRS）の勧告をみさせないのが現状です。

SOI（Silicon On Insulator）技術は、このような放射線による障害に対して強い技術として米国では軍や宇宙を中心に早くから注目されてきました。この技術は、シリコンウェーハ上に絶縁物である二酸化シリコン層を設け、さらにこの上に設けたシリコン層（SOI層：厚さ0.1～0.05ミクロン）に半導体部品の動作領域を製造するプロセスです。“絶縁物の上のシリコン”という意味の“Silicon On Insulator”という用語はここからきています。動作領域をシリコンウェーハ（厚さ～500ミクロン）上に形成する一般の製造プロセスと比べて、SOIは技術的に難しくコストアップを招くものとしてまだ一般には広く普及しているものではありません。特筆すべきことは、SOI技術で作製した部品には、寄生バイポーラ構造がないことから、シングルイベントラッチアップ（放射線により過大電流が

流れて永久損傷になる可能性がある障害）というソフトウェアとは別のタイプの放射線障害が全く起こらないことです。このように、放射線に対して何の対策もしない部品をどこの工場で作ってもラッチアップという故障は起きる心配のないことから、SOI部品ではソフトウェアの対策さえしておけば良いのです。このことが、一般のシリコン製造プロセスで耐放射線強化部品を製造するのと比べた際の非常に優れている点です。しかしながら、現在、海外で宇宙用として作られているソフトウェアに対して強いSOI部品は、民生技術より数世代遅れた専用の工場でしか作れませんので、性能が民生部品と比べて劣ることは否めません。

一方、近年民間でもSOI技術は高速・低消費電力動作を可能とする技術として注目を集めるようになりました。米国のIBMがハイエンドサーバー用の部品をSOI技術で製造すると宣言して以来、国内でもにわかに脚光を浴びています。このため最先端のSOI技術を利用して国内でも半導体部品を作れる時代となりました。しかしながら、IBMや国内の半導体メーカーが作った最先端の民生用SOI部品は宇宙環境でのソフトウェアに対する考慮が全くないので、シングルイベントラッチアップは発生しないものの残念ながらソフトウェア耐性が低いことが明らかになっています。

3. SOI-SRAM開発における宇宙研と民間の協調路線

この期待されるSOI技術を用いて宇宙用部品を宇宙研の限られた予算の中でいかに開発するかが次のポイントとなります。半導体部品の開発には巨額の費用がかかり、半導体メーカーは小口ユーザーである宇宙研のために特別な部品を作ってはくれません。そのため私たちは惑星探査のための戦略的開発体制、STRAIGHT（STudy on Reduction of Advanced Instruments weiGHT program）というプログラムの中で開発することにしました。小型惑星探査機に必要な戦略的技術を選択して、産業界の広範囲の製造技術と宇宙研の特殊技術の協調体制のもとで開発するというものです。これは利用できる民間の技術を発掘して単に採用するという考え方ではありません。宇宙研と産業界にとって互いの技術が魅力的なものである時に、お互いに技術を出し合って、開発費を負担しあい、互いの目的のために協力し合うというものです。本開発においては、自動車・建設機械・原子力機器等の耐環境性・高信頼性が要求されるエレクトロニクス製品を製造している三菱重工業名古屋誘導推進システム製作所のSOI技術と、宇宙研の耐放射線化技術を融合することで、この関係を成立させることに成功しました（図1）。その結果、パソコン等と比べて遥かに高信頼性が要求される民生産業機器用メモリーのソフト

エラー問題と共に、衛星搭載用メモリーのソフトエラー問題を同時に解決しました。産業機器のために年間十数万台のメモリーを製造している三菱重工と協調路線がとれたからこそ最先端の宇宙用半導体部品を実現することができたのです。半導体部品の製造手法がファウンドリーという受託生産体制に変わったこと、ならびにソフトエラーに対する認識が民間でも深刻に受け止めるように変わったという時代の変化が生んだ幸運と言えます。

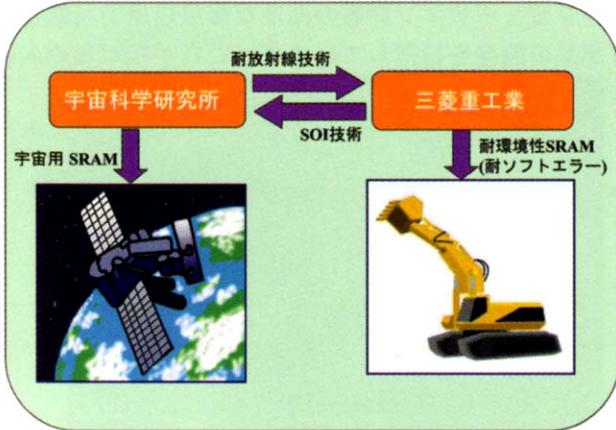


図1 SOI-SRAM開発における宇宙研・民間の協調路線

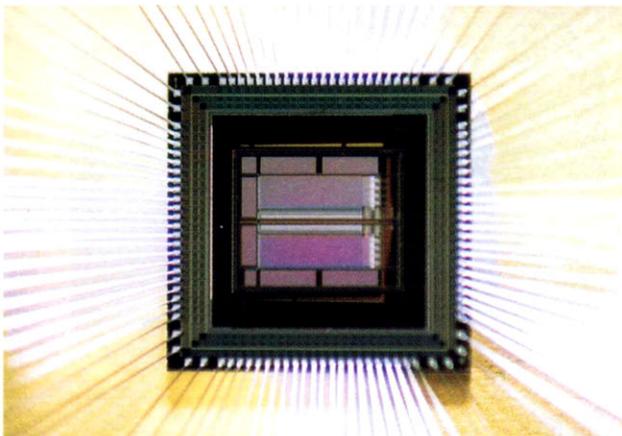


図2 SOI-SRAMチップ (チップサイズ: 3.5×4mm)

4. SOI-SRAMの性能

今回開発に成功したメモリー (図2) は、SRAM (Static Random Access Memory) 型のメモリーで、128Kbitの容量を持つものです。LSIの高速化・低消費電力化が期待されている国内の最先端の0.2ミクロン・デザイン・ルール of 民生SOIプロセスを用いて製造されたメモリーであるにもかかわらず、海外の宇宙用の工場で作ったものよりソフトエラー発生確率が極めて低いものです。本SRAMは、図3に示すように、SOI構造の採用と、トランジスタ構造の工夫と、回路上の工夫によりソフトエラー発生 of しきい値LET (荷電粒子が半導体に与えるエネルギー量で表す) が $45\text{MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)$ 以上と高い上、シングルイベント

ラッチアップという別の障害が全く起こらないという特性を持ちます。このしきい値LETの値から推定される静止軌道上でのソフトエラー発生確率は、太陽が活発に活動する時期でも約9000年に1回と極めて小さいもので、従来の海外の宇宙用SOI-SRAMに比べて2桁

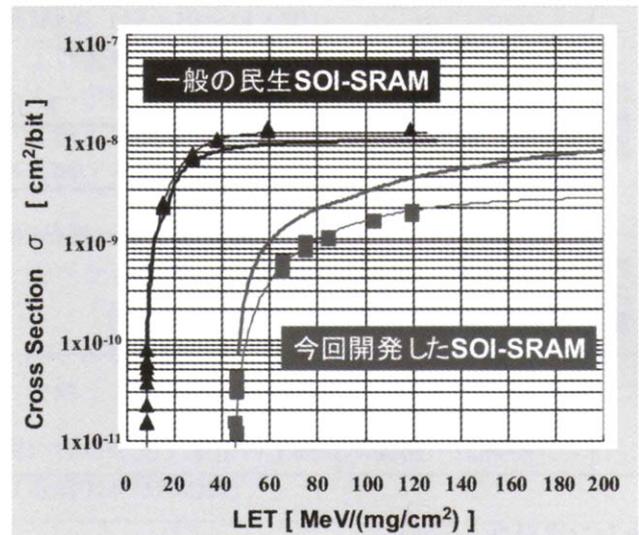
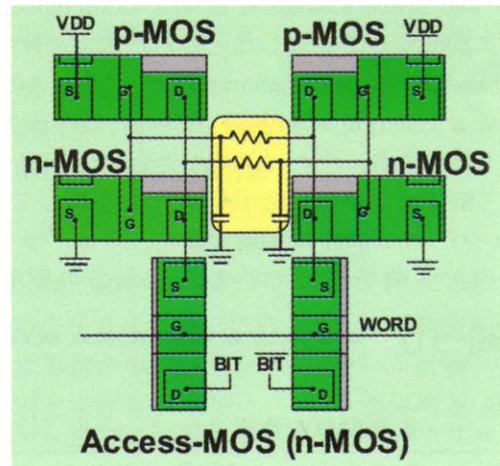


図3 ソフトエラー耐性を強化した (黄色と灰色部分) SOI-SRAMのセル構成と、ソフトエラーの発生確率を表す断面積。(プロットは放射線試験結果、太い曲線はシミュレーションによる予測値)

表1 海外の宇宙用SOI-SRAMとの性能比較

	宇宙研・三菱重工が開発したSOI-SRAM	海外で開発されたSOI-SRAM
SOIプロセス	民生SOI	宇宙用SOI
微細化ルール	0.2 μm	0.35 μm
電源電圧	1.8 V	3.5 V
ソフトエラー耐性しきい値LET飽和断面積	45 $\text{MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)$ 1 $\mu\text{m}^2/\text{bit}$	35 $\text{MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)$ 8 $\mu\text{m}^2/\text{bit}$
宇宙環境でのソフトエラー頻度128K-bitの場合	9000年に1回	80年に1回 (一般民生SRAMでは6分に1回)
4M-bitの場合	290年に1回	2.5年に1回

以上耐性を高めたこととなります。(表1)

5. 今後の展望

本成果を、放射線が半導体素子に及ぼす影響を討議する世界最大（530名参加）の国際会議（IEEE Nuclear and Space Radiation Effects Conference, フェニックス2002年）で発表したところ、米国のNASA, SNL（Sandia National Laboratories）フランスのCommissariat a l'energie atomique（CEA）等の研究機関より高く評価され、デバイスの引き合いが来ています。このうちSNLおよびCEAと共同研究を開始しており、バンクーバーでプロトン照射実験を、ロスアラモスで中性子照射実験を進めていて、私たちの開発した

SRAM についてさまざまな評価を国際的に進めることができるようになりました。

冷戦が終わり宇宙用の最先端部品を入手することは世界的に難しくなっている状況下で、宇宙研の耐放射線化技術と日本の民生の最先端SOI技術の協調により宇宙用部品を安価に開発すれば、日本の戦略的部品となるものと考えています。現在、本SOI技術を発展させて、マイクロプロセッサに加え、高速データベースを持つコンピュータボードを開発して、分散処理や並列コンピューティング等の高度な衛星運用を可能とする部品の開発を目指しています。これが私たちの大きな夢を実現するための次の目標です。

(ひろせ・かずゆき, さいとう・ひろふみ)

お知らせ



★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（12月・1月）

	12 月	1 月
相模原	M-V-2 B1仮組立 4 (IA富岡)	
		MUSES-C 総合試験
		INDEX 第1次噛合せ試験
内之浦	M-V-5 TVCオペレーション 12 → 19	M-V-5 第1組立オペレーション 10 → 19
	再使用型ロケットエンジン燃焼試験 (IHI相生) 7	

★シンポジウム

<p>「宇宙航行の力学シンポジウム」 開催日：12月2日（月）～3日（火） 場 所：宇宙科学研究所 研究・管理棟2階会議場、入札・会議室</p>	<p>「宇宙利用シンポジウム」 開催日：平成15年1月20日（月）～21日（火） 場所：宇宙科学研究所 研究・管理棟2階会議場ほか</p>
<p>「宇宙空間原子分子過程研究会」 開催日：平成15年1月6日（月）～7日（火） 場所：宇宙科学研究所 研究・管理棟2階会議場</p>	<p>「太陽系科学シンポジウム」 開催日：平成15年1月23日（木）～24日（金） 場所：宇宙科学研究所 研究・管理棟2階会議室A</p>
<p>「宇宙科学シンポジウム」 開催日：平成15年1月9日（木）～10日（金） 場所：宇宙科学研究所 研究・管理棟2階会議場</p>	<p>「システム計画研究会」 開催日：平成15年1月24日（金） 場所：宇宙科学研究所 研究・管理棟2階会議場</p>
<p>「宇宙輸送シンポジウム」 開催日：平成15年1月15日（水）～17日（金） 場所：宇宙科学研究所 研究・管理棟2階会議場ほか</p>	<p>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（ダイヤルイン）</p>

★平成14年度「宇宙学校(相模原・東京)」について

今年度も恒例となりました宇宙学校(相模原・東京)を以下のとおり行います。

●A会場

日時：平成15年1月25日(土)

場所：相模原市立産業会館
(相模原市中央3-12-1)

●B会場

日時：平成15年2月1日(土)

場所：東京大学教養学部13号館1323教室
(目黒区駒場3-8-1)

●概要

対象：小学5年生以上の小・中・高生

(※申込があった場合には制限はしない)

応募方法：先着順ですので、ふるってご参加下さい。

●時間割

校長 的川泰宣教授(A会場)

國枝秀世教授(B会場)

開校式 9:30～

第1時限(9:40～11:30)

- ①星の王子さまに会いに行こう 澤井秀次郎 助手
－世界初の小惑星サンプルリターン計画－
- ②宇宙と生きもの 黒谷明美 助教授
映画「オーロラのふるさと」

第2時限(12:10～14:00)

- ①近未来の宇宙ロケット 成尾芳博 助手
－宇宙旅行の実現をめざして－
- ②超小型衛星の魅力 大西 晃 助手
映画「人工衛星」

第3時限(14:30～16:20)

- ①ブラックホールはX線で輝く 中澤知洋 助手
－「見えない」ブラックホールの証拠を探して－
- ②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」

問い合わせ先：宇宙科学研究所企画・広報係
(電話042-759-8008)



★南極周回気球実験

(Polar Patrol Balloon)

平成14年12月末から平成15年1月末にかけて、国立極地研究所と宇宙科学研究所が中心となり南極昭和基地より4機の大型気球を放球し、南極上空を周回させる気球実験が計画されています。4機の気球は、地球物理観測用が3機、宇宙物理観測用が1機です。南極大陸に沿って高緯度を周回するPPBは、地磁気座標で緯度50度から80度までの広範囲な領域を横切って飛行するため、様々な現象を観測することができます。地球物理観測では、1機の気球にVLF波動、電場、磁場、オーロラX線、全電子数を観測する観測器が搭載されます。同一の観測器を搭載した3機の気球をできるだけ近接させて飛翔させるバルーンクラスター飛行を行うことによって、様々な現象の2次元的な拡がりや時間変化が明らかになり磁気

圏境界領域に生起する現象が解明できるものと期待されています。また、宇宙物理観測は、2週間から1ヵ月におよぶ長期連続観測が可能なPPBでは、従来の国内気球観測とは比較にならない500倍以上の高エネルギー一次電子の観測が期待されており、宇宙線の生成源、銀河系の中での伝播機構に新しい知見が得られるものと期待されています。新しい気球工学技術として、商業衛星を用いた観測データの伝送およびコマンド制御、太陽電池とニッカド水素電池を用いた電源の供給、CPUを用いたオートレベルコントロール等が搭載されます。現在、4機の観測器は、全ての動作試験および環境試験を終え、南極観測船「しらせ」に積み込まれ、11月14日に出航し南極に向かっていきます。宇宙科学研究所からは並木技官、松坂技官、斎藤助手の3名が参加し、昭和基地において気球放球・電波受信を行うことになっています。(山上隆正)



★セレーネ衛星の熱試験モデルによる熱真空試験

月探査周回衛星セレーネは、平成17年夏の打ち上げを目指して現在フライトモデルの設計と一部製作を進めています。衛星の構造試験モデルによる機械環境試験はこの春に完了しました。熱試験モデルによる熱真空試験は10月23日から約2週間にわたり筑波宇宙センターの総合環境試験棟で行われました。熱試験モデルには、衛星本体のモデルだけでなく、観測機器チームが準備した15種類の搭載機器のモデルも組み込まれています。表紙で示した写真（右）は大型スペースチェンバー（直径13m）への搬入を待つ熱試験モデルです。セレーネ衛星は3機の衛星から構成され、アポロ計画後では人類が月に送る最も大型の探査機です。写真の作業者と比較するとその大きさが良くわかります。セレーネ衛星は観測機器搭載面を常時月面に向けたための3軸姿勢制御を行います。この熱条件を模擬するため、観測機器搭載面側に月面からの赤外放射を模擬するIRパネルを設置し、その反対側にソーラーシミュレーターを配置して試験を行いました。この試験により衛星の熱数学モデルの検証と熱制御系の性能の確認が行われました。平成8年に宇宙研と宇宙開発事業団の共同プロジェクトとして始まったセレーネ計画も本格的な開発の山場にさしかかりつつあります。次の大きなイベントは来年の5月から予定されている囀合わせ試験です。（佐々木 進）

★マイクロ波イオンエンジンのプロトモデル

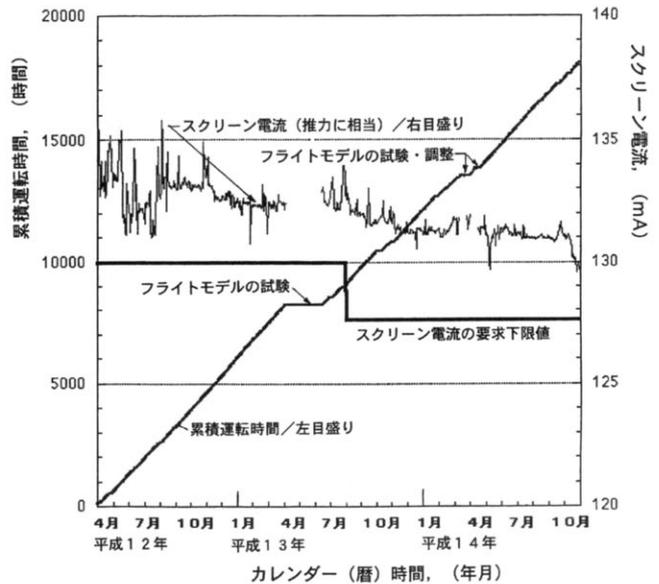
18,000時間の自律・耐久運転を達成！

平成15年5月に打上げ予定の小惑星サンプルリターン計画（MUSES-C）探査機には惑星間航行用エンジンとして宇宙科学研究所が独自開発したマイクロ波イオンエンジンが搭載される。そのイオンエンジンのプロトモデルが18,000時間の自律・耐久運転を達成した。平成12年3月30日に18,000時間のミッション要求を実証すべく耐久試験を開始したイオンエンジンは、ほぼ2年半の長期にわたり自律的運転を継続して来たが本年10月25日午前2時に当初の目標であった18,000時間を経過し、現在もその運転を継続中である。耐久試験に使用されたエンジンはMUSES-Cのプロトモデルで、フライトモデルと同一設計・同一材料・同一加工が施されている。

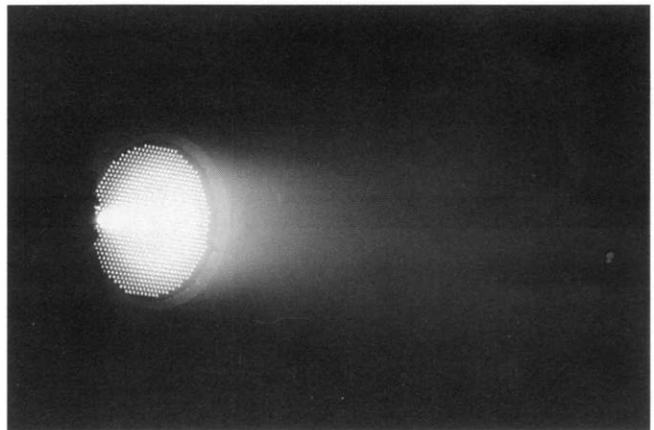
図は、耐久試験開始後から18,000時間を達成するまでの累積時間（左目盛り）と推力に相当するスクリーン電流（右目盛り）をカレンダー（暦）時間に対して示したものである。図中に示すように累積時間が停止している箇所があるが、これらはフライトモデルの試験・調整のために耐久試験設備を使用したこと、法定計画停電や耐久試験設備の定期保守・点検のためにエ

ンジンを停止したこと、冷却系など地上支援装置の故障などによりエンジンを停止したこと、によるものでエンジンそのものに耐久性を疑わせるものは全く無かった。また、全期間を通じて要求推力性能を維持しており、これからも信頼に足るエンジンであることが実証された。

写真は18,000時間達成後に撮影されたエンジン運転の様子である。推進剤はキセノンで、手前の輝点の中和器からは電子が放出されている。エンジンのイオンビーム加速・排出口周辺には、キセノンイオンのスパッタリングを受けた損耗箇所が見られるが、これらは予想の範囲内であり、エンジンの性能に影響を及ぼすものではない。（清水幸夫）



図：累積運転時間およびスクリーン電流とカレンダー（暦）時間



写真：イオンエンジンの運転の様子

★宇宙学校・北海道

さる11月9日、札幌市の青少年科学館で今年の宇宙科学研究所の宇宙学校を開催しました。250人くらい入る会場は、立ち見が出るほどの盛況で、素朴でいい質問がいっぱい出ました。太陽系と生命、未来技術、

天文学の3時限に分けて実施したのですが、天文学のところは相変わらずほとんどがブラックホールについてのもので、付き添いで来ている保護者の方々もびっくりしていました。大人では考え付かないような質問が次々と飛び出してくるのです。「ブラックホールが何もかも吸い込む天体なら、そのうち宇宙は全部ブラックホールに呑み込まれてしまって、宇宙の全部がブラックホールになってしまうんですか？」などは、その好例です。

北海道の子どもたちは、心の優しい子が多くて、「宇宙へ行ったイモリは、地球に帰って来てからちゃんと重力に適応できましたか？」と心配そうに訊ねるのです。東京の宇宙学校と異なるのはそこです。こましゃくれてないのです。知ったかぶりでもないのです。どこかの本で読みかじったことを聞くのではなく、心に浮かんだことを素直にずっと口に出して質問するのです。私が北海道の子どもたちが大好きな所以です。こんな子どもたちが未来の日本を築く主体になって欲しいなと思いながら新千歳空港を後にしました。

(的川泰宣)

編集長のメモ

《糸川英夫先生の思い出集の出版》

「日本のロケット開発の父」糸川英夫博士の人間としての側面を多くの人に知ってほしいという願いから、『人間糸川英夫博士とは』（仮題：出版社はオフィスHANS）が近く出版されます。戦後に糸川先生がヴァイオリンを含む音響学などに携わった頃の糸川研究室の人たちから始まって、ロケット開発のパイオニアとして活躍された頃の人々はもちろん、組織工学研究所の創立・発展・収束の時代の人々、糸川先生が人生最後のご活躍の場として長野県丸子町音楽村に移り「アース・クラブ」を組織してからの人たちなど、糸川先生の生涯のさまざまな局面で交流のあった59名の方々が寄稿しています。編集は、東京大学の糸川研究室で初期に研究生生活を送られた金澤磐夫氏が責任者となり、大変多くの方がボランティアとして協力されました。糸川先生を知る人たちにとってその魅力的な人柄を一層偲ぶ上でも、また若い人たちが人生を創造的に生き抜くための糧とする上でも、大変楽しみな一書になるはずですよ。

宇宙学校・北海道



エレクトロスプレイ質量分析

— Fenn博士にノーベル化学賞

米国のJohn B. Fenn博士が2002年度のノーベル化学賞を共同受賞されました。Fenn先生（当時Yale大）は、宇宙航空研に1977年に3ヵ月ほど滞在されました。その当時山下は、化学反応をとまなう流れや、真空中への超音速自由噴流による気体分子凝縮の基礎過程、またそれらを対象とする質量分析法を研究していた縁で、在外研究員としてFenn先生の研究室に1980年から1983年にかけて滞在し、今回の受賞対象となったエレクトロスプレイを質量分析用のイオン源として確立する研究をしました。エレクトロスプレイの最初の論文はYamashita and Fennで1984年にJ. Phys. Chem誌に出たものです。この論文は初出の基本論文なので、これを引用している論文数は571にのぼります。またElectrosprayを検索語として医学分野のデータベースであるMedlineを検索すると6,000以上の論文がヒットし、また広い分野をDialogで検索すれば20,000以上があがることからわかるように、極性の高い生体分子の質量分析法としてエレクトロスプレイが広く適用され、多くの研究成果に寄与していることがわかります。

エレクトロスプレイは、液体表面に分布する電荷と液体周囲に形成される強い電場によって、荷電した微小な液滴が分散する現象です。この現象は古くから知られ、工業的にも車の塗装などに利用されてきました。エレクトロスプレイによりつくられた液滴から溶媒分子が蒸発すると、液滴表面の電荷密度が上昇して表面張力を上回るようになり、液滴はいくつかの小滴に分裂し、溶媒分子の蒸発は加速されます。極性の高い分子が液滴のなかにあると、液中の水素イオンなどと会合した分子イオンが得られます。他のイオン化法と比べると、液中のイオンや分子をそのままの形（インタクト・イオン）でとりだせる特徴があります。

ところで、質量分析のためのイオン化法として利用するには、ひとひねりが必要でした。すなわち、溶媒分子の蒸発を促進するには熱浴としての気体が必要であり、イオンの質量分析は真空中でなされるため、生成したイオンを真空中に導入する必要があります。気体を真空中に自由噴流として導入すると、断熱膨張により急激に温度が下がり、イオンは格好の凝縮核となり、凝縮性の分子が存在すると導入し

たイオンはまたたくまに溶媒和してしまいます。伝熱学や気体分子の反応や凝縮素過程の研究からの発想により、運動する帯電液滴に対向して乾燥した気体を流すことにより、エレクトロスプレイは質量分析用のイオン源として用いることができるようになりました。注射針と高電圧電源による実験机上での観察を手始めに、何のイオンも検出できない状態からまずはブロードな信号を得て、それをてがかりに質量スペクトル様の信号へと育て、スペクトルのピークのイオン種を同定し、どのような過程が関与しているか推定して、装置を改良し実用的なイオン源として確立した過程は、研究者として至福の日々でした。ブレイクスルーを得た後は、一気呵成にエレクトロスプレイの適用範囲は広げられ、アミノ酸からそのオリゴマー、多価イオンといった様々な生体分子の分析やさらに負イオンのエレクトロスプレイとすすみました。

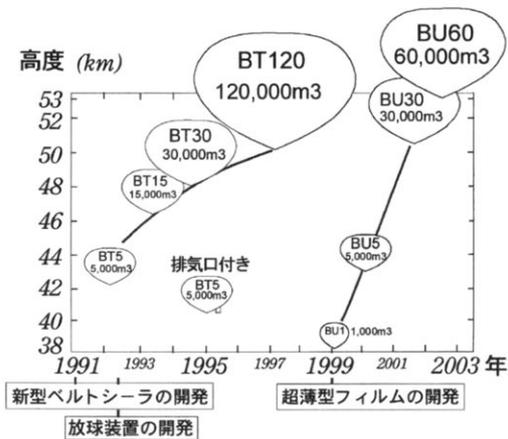
今回のFenn先生の受賞対象はタンパクなど生体高分子のエレクトロスプレイ（1989年の論文）です。高分子に多数のイオンを会合させることにより、質量/電荷比を小さな値にして、質量走査範囲の限られた質量分析計でも高質量の分子を分析することを可能にしたものです。高い価値を認められた業績について、その基礎を確立することに私が貢献できたことを喜んでいるところです。これは、ひとつに、気体反応素過程、伝熱学、希薄流体力学、質量分析という宇宙研の研究の懐の深さに基づくものです。Fenn先生のもとの専門は化学であり、そのあと流体力学分野に入り、二つの分野を総合して分子線化学の基礎を築き、その業績はノーベル賞に値すると周囲ではささやかれていました。

宇宙研教官の停年退官にあたる63歳から、生物・医学分野を中心とする質量分析という新たな研究分野に転進し、85歳でノーベル賞を受賞されました。自分の科学的な好奇心に忠実に、自由闊達に研究を展開し、多くの分野の知識と興味を総合して粘り強く達成された業績をみるにつけ、短視的な目標のもとに管理される「研究」とはおよそ対極をなすものであると、今回のFenn先生の受賞には感慨ひとしおです。

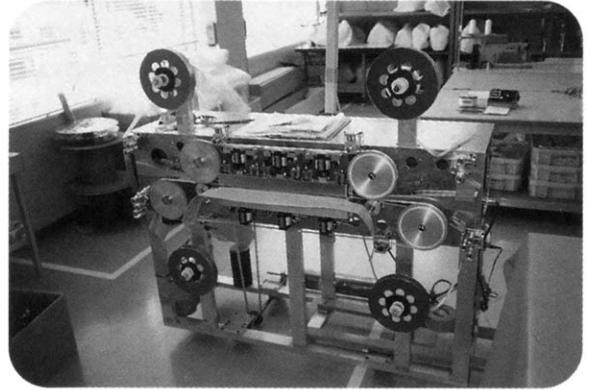
（山下雅道）



科学観測のための飛行体の一つにポリエチレン気球があります。500kg程度の観測器を軽々と持ち上げ5m/sec程度のゆっくりとした速度で大空に上昇する姿は、衛星を搭載したロケットとはまた違った力強さがあります。通常気球は葉の形をした厚さ20 μm (0.02mm)のポリエチレンフィルムを熱接着により貼り合わせて作りますが薄いフィルムには大変気を遣う作業になります。気球の放球作業でも同じことが言えます。10年程前から10kg程度の軽い観測器を、40kmを越え50km以上の高度に飛行できる科学観測用気球の開発(下図)を行ってきました。図中BTはフィルム厚が5.8 μm 、BUは3.4 μm で製作した気球で各々薄膜型高高度気球、超薄型高高度気球と呼んでいます。



高高度気球が科学観測に使用できる条件に、(1)気球本体の重量を如何に軽くすることができるか、(2)気球環境に耐えうる大容積の気球を高い品質管理の下で安定に製造できるか、(3)極めて薄いフィルムでできた気球に損傷を与えずに放球できるか、という問題を解決する必要がありました。(1)はメタロセン触媒を用いたポリエチレン生成法を使い、現在厚さ3.4 μm のフィルムまで国産化しています。(2)は日本での気球製作事情を考慮し、操作性の面でも単純化した連続接着可能なベルトシーラという独自の気球製作装置(右上図)を開発しました。この装置で製作した容積60,000m³の超薄型高高度気球が2002年5月23日に三陸大気球観測所から放球され、到達高度53kmの世界最高高度記録を達成しました。(3)はエアバッグを使った放球装置(右下図)を開発しました。この方式はエアバッグの圧力で気球の全浮力を保持する方法で、気球



フィルム面をほぼ均一な力で保持します。この放球装置は気球を地上に折り畳んだ状態で放球するスタティック放球法や気球の全長を伸ばした状態で放球するダイナミック放球法のどちらにも用いることができます。放球装置により総浮力50kgのU60-1、総浮力110kgのBT120-1等多くの高高度気球を放球し飛行に成功しています。また新しい放球方式として、パッキング放球法を開発しました。ガスを入れる気球の頭部以外の気球部分を畳んで風呂敷にパックした状態のまま放球し、上空でパックした気球部分を伸ばします。容積5,000m³の気球は長さ33mですが、パックした気球はちょっと大きめのゴム気球程度の感じです。従って狭い場所での放球が可能で、しかも2~3名の少人数で簡単に放球を行うことができます。パッキング放球法は気球放球のための特別な技術、経験等は必要ないため、だれでも放球ができ気球観測を行う上での大きな利点となります。例えば南極や北極といった厳しい環境下での高高度気球の放球には最適な放球法と言えます。高度50kmを越える高高度気球が科学観測用気球として開発されたことは、これまで小型ロケットによる中間圏までの観測が気球でも可能になったことを意味します。気球は一定の高度に浮遊することができ、長時間の観測ができることも大きな利点です。観測装置の小型・軽量化が可能になってきている現在、科学観測用高高度気球が多くの「宇宙の謎」を解明する飛行体として活躍することでしょう。

(まつざか・ゆきひこ)



矢島 信之

ヒューストンで開催された34th COSPAR(宇宙空間研究委員会学術総会)の帰途、ハワイから真南に2,000 km, 赤道直下のキリバス共和国クリスマス島に立ち寄った。ここで進められている、NAL/NASDA共同実験である高速飛行実証実験(現地の人々はミニシャトル実験と呼んでいた)を見学するためである。このプロジェクトは、次のフェーズで気球高度から自由落下させる、より高速の飛行実験をフランスCNESとの共同研究としてスウェーデン、キルナで実施する。気球工学の立場から実験へのアドバイスを求められ、協力してきた経緯からこのような次第となった。

誰でも、赤道直下のサンゴ礁の小島、ハワイから飛ぶ手段は週一便のみと聞けば、それなりの覚悟をして出かける。航空宇宙技術研究所からも事前に「出張心得」なる詳しい情報をいただき、理解していたつもりであった。しかし、飛行機から島に一步踏み出すと一瞬たじろぐ。ギラリとする太陽の光の強さ、ムツとする熱気、椰子の木に取り巻かれた小さな空港の建物、待ち受ける中古からさらに古くなった自動車、起伏が見えない平坦な大地、やはり別世界である。

しかも、ここまでの道のりは遠かった。第1日目、早朝4時半にホノルル空港に集まったものの、航路の途中に台風が居座っているため飛行はキャンセルと告げられる。次の日も同様、その次の日とまた次の日は空港への呼び出しもなく、不安は募る。同じ便で島に渡る航技研の森隆茂グループリーダー等は、実験の進行との関連で大変困っておられた。結局フライトが再開され、何とかクリスマス島にたどり着くことができたのは予定より4日遅れとなった。

島は東京23区と同程度の面積だが、海拔は数m程度しかない。特に中央部は低く、海と陸が網目模様であったり、海水の湖が散在する。東側は比較的しっかりした陸地で、北端から南端まで海岸に沿って幹線道路が通っている。人口5,000人程の住民は島の北側半分に住み、空港、ホテルおよびNASDAのダウンレンジ局もそこにある。椰子の葉で葺いた簡単な住宅も多く、貧しいがのどかな生活である。実験班の方々は、住民との友好関係を保つことに配慮され、行き交う人には手を挙げて挨拶する。気持ちの良い笑顔が返ってくる。

南側半分はほぼ無人地帯で、その南端少し手前に1,800m弱の試験滑走路を持つNASDAのAEON実験場がある。北側の居住地域からは車で1時間程の距離があり、地上安全としては申し分のない条件である。実

験施設は、費用のかかる恒久施設とせず、トレーラー家屋をベースにした仮設の建屋5棟程で成り立っており、簡易ながら実用性は十分確保されていて感心する。秋元敏男プロジェクトマネージャー以下総勢50名近い実験班員の大半は、ここで活動しておられた。すでに、10月18日に第一回目の飛行試験に成功され、二回目の挑戦に向け奮闘しておられた。

現地の生活で最も苦勞されるのは、やはり食事であろう。島には畑がないので、当然青野菜の類は期待できない。実験のタイムスケジュールに入ると、配給されるお弁当で食事をとる。米食で、調理も工夫されているが、食材の限界は如何ともしがたい。若い隊員の方々は特につらいであろう。ただし、島の周囲は魚の宝庫である。船で少し沖に出ると、かつおやマグロが面白いように釣れるとのこと。余暇に挑戦し、成果があった時には盛大なお刺身パーティーとなると聞いた。

自由時間に海岸を散歩してみる。石、岩と見えるのは全て珊瑚。その間に、30cmほどもある巨大な貝の殻や、小さく美しい貝殻が散在している。波打ち際には1mを越す海蛇のような魚が昼寝をしている。キリバス共和国も開発は厳しく規制しているようだ。もし、規制が緩み、大資本が進出すれば、この手付かずの美しい海岸線は、たちまちワイキキ海岸となってしまうであろう。すでにインターネットでは、世界に残る数少ない釣り場の秘境として紹介されている。飛行機の座席の多くがそれを目当ての観光客であるのにも驚いた。

実は、クリスマス島を脅かすのは、観光化の波ばかりではない。地球の温暖化が進んで海面が上昇すると、世界で真っ先に海中に沈む国としてキリバス共和国は注目されている。同行したPLAINセンターの本田さんは、故伊東富蔵先生の研究室に所属していた時から成層圏の大気採取装置の開発に取り組んでいる。その約20年にわたり、三陸、北極圏、南極昭和基地での気球による実験の成果として、研究グループは、成層圏の二酸化炭素が年毎に着実に増大しているとの世界で最も精度の高い観測データを提示している。今回のCOSPAR参加も、この装置開発に関する研究発表にあった。その帰りに、地球環境問題の象徴的存在となっているこの国に立ち寄れたのも、不思議なめぐり合わせと言えるだろう。

現地でお世話になった、NAL/NASDAの方々にごここで御礼申し上げます。(やじま・のぶゆき)



日本初の科学衛星「しんせい」(前編)

井上 浩三郎

第1号科学衛星の第2のフライトモデルとして設計製作されたMS-F2は、1971年9月28日M-4Sロケット3号機によって打ち上げられ、軌道に乗って「しんせい」(新星)と名づけられました。研究者が待ちに待った科学衛星の誕生です。

1964年12月のシンポジウムで第1号科学衛星の観測項目の提案と糸川教授によるM-4Sロケットを用いた衛星飛翔計画の提案がなされましたが、途中M-4S-1の不具合や漁業問題のためロケット打上げ実験が約1年半中断するなど遅れ、提案から実に6年9カ月の歳月を経て誕生したものです。宇宙工学者と理学者が一体となって実現した衛星でした。

この第1号科学衛星の観測項目をまとめておられた平尾先生によれば、選定にはかなりの議論があったそうです。選ばれたのは、ロケット観測に十分習熟している理研グループの宇宙線、天文台グループの太陽電波、電波研グループの電離層でした。

観測ロケットと異なり、衛星は極度に制限された重量と容積の中で設計しなければならず、軌道上では長期にわたる観測に耐える必要があります。そこで衛星を設計するための各種の技術研究を行うSA研究委員会が発足しました。発端は、1964年8月の観測衛星懇談会で、エレクトロニクス関係の研究者と理学研究者の十数名が衛星の概案を検討した会議でした。翌年1月から研究委員会は11の小研究班に分かれ、宇宙研、生研の他、全国の大学や研究機関、それに製造会社の技術者達が自発的に参加して活発な研究活動を展開しました。この時の勉強の成果が、その後の科学衛星の技術の基礎を永く培ったことは言うまでもありません。

「しんせい」は直径75cmの球に内接する26面体で、重量は66kg。構体はマグネシウム合金、外板は厚さ8cmのアルミニウム・ハネカム板。24面のハネカム板には、太陽電池が装備されています。

軌道上では、上記の科学観測を行い、さらに地磁気姿勢系、衛星環境計測器によって衛星の姿勢や内部の電圧、電流、温度などを測定します。電源として衛星の表面に貼り付けられた太陽電池によって二次電池を充電し、消費電力15Wを賄います。

観測データにはPCM-DPSK-AM方式を採用、周波

数136MHzと400MHzのテレメータ電波で地上に送信します。衛星には磁気テープ記録方式のデータレコーダを搭載して1周分のデータを記録し、衛星が内之浦の見通し範囲にはいったところで、地上からのコマンドにより、データレコーダの再生信号を送信します。信号の再生は記録速度の19倍の速度で行われ、ほぼ1周分蓄積されたデータを約5分で送信するようになっています。テレメータデータの速度はリアルタイムで64ビット/秒、再生は1,216ビット/秒です。コマンドは周波数148MHzで、テープレコーダの制御のほか観測器の校正、電源のオン/オフなどを行います。主な搭載機器は、

- (1) 短波帯太陽電波観測器(RN)
- (2) 宇宙線観測器(CR)
- (3) 電離層プラズマ観測器(ID)
- (4) 地磁気姿勢計(GAS)
- (5) 衛星内部環境計測器(HK)
- (6) テレメータ送信機(TM-SA)
- (7) データレコーダ(DR)
- (8) コマンド受信機(CM-SA)
- (9) 電源(PS)
- (10) 衛星タイマ(MS-SA)
- (11) ニューテーション・ダンパ(ND)

でした。

軌道に乗った「しんせい」は、内之浦での受信で電離層プラズマ・プローブの展開、太陽電波アンテナの伸展およびニューテーション・ダンパの作動を確認後、運用に入りました。

電子温度プローブが開頭直後に損傷したこと、第40周頃からCRのガイガーカウンターの一つが不調になったことを除き、搭載した機器および太陽電池の作動は、全て正常でした。

その後6カ月を過ぎても衛星の環境は極めて安定に保たれ、科学観測についても有意義な観測結果が得られ、また軌道上における衛星の環境、機能についても多くの工学データを得ることができ、十分に所期の目的を果たしました。大量のデータは宇宙研へ送られ電子計算機で処理され各観測担当者へ渡されました。

今回は当時の衛星運用についてお話しします。

(いのうえ・こうざぶろう)



浦白町とマイクロコスモス

小田島 敏朗

北海道の中央部を流れる石狩川沿いに、浦白町(空知管内)という小さな農村が広がっている。人口2,650人。基幹産業の稲作が洪水による離農や減反政策で大きな打撃を受け、人口は昭和30年代のピーク時(約7,500人)から減り続ける一方、65歳以上の高齢化率が人口の3割を超える、典型的な「過疎と高齢化」の町である。

この浦白町で、「宇宙医学」を切り口とした高齢者対策の健康診断事業が3年前から展開されている。ひとつの取り組みが「フィールド医学」。医者が診療所で患者を診断するのではなく、高齢者がフィールド(地域)で生活している状態で「日常生活機能」を多角的に調べ、リハビリや生活、栄養指導で「機能障害」を克服しようという取り組みで、京都大学の松林公蔵教授が事業を指導する。立って活動することが少なくなる高齢者には①筋力の衰え②骨からのカルシウムの流出③体液の循環不順による顔のむくみなどの症状が現れるが、これは無重力環境で宇宙飛行士に現れるものと同じ症状で、宇宙医学による発生のメカニズムの解明と対策の知見を地上の高齢者医学に応用しようという、新しい医療分野だ。

2年前からは「時間医学」による新たな挑戦が加わった。町民に1週間、携帯型血圧計を装着してもらい、日中は30分おき、夜間も1時間おきに血圧を計測し、そのデータから心臓病や脳梗塞を予防しようという試み。人間には天体の運行によって影響を受けるさまざまな生体リズム(月経など)や体内時計を持つことが知られている。例えば、血圧の数値は日中の活動とともに上がり、活動が収まる夜間になると下がるが、そのパターンを継続的に調べることで慢性疾患の原因を突き止めたり、心臓病の発病率などが予知できるという。こちらは東京女子医大の大塚邦明教授がインターネットで送られる測定値を東京でチェックする一方、定期的に町内で健康診断を行っている。

先駆的な高齢者医療と浦白町を結び付けたのが、幕末の志士・坂本龍馬だというのが面白い。浦白町の開祖の一人は龍馬の甥に当たる坂本直寛だが、高齢者プロジェクトで地元の窓口を勤める道立衛生研究所の矢

野昭起・健康科学部長が高知県の出身で、高知県人会で山本要・浦白町長から「高齢者の予防医学」の相談を受けたことから、松林、大塚両教授を紹介した。3人は30代のころ、国立高知医大で一緒に研究に取り組んだ仲間だったという。

宇宙医学が高齢者健康診断にどのような成果をもたらしたかは、今後のデータの蓄積と分析を待たなければならないが、「フィールド医学」では痴呆と認定された老人数人が「正常」に戻ったとされるほか、「時間医学」では緊急手術が必要な房室完全ブロック患者の発見や、夜間に血圧の下がらないノンディッパーを複数見つけるなどの成果を挙げている。

一方で課題も浮き彫りになっており、重さ220gの携帯型血圧計には「重い」、「うるさい」、「寝付けない」などの苦情が町保健センターに寄せられている。そこで、課題の解決に乗り出したのが今年6月、北海道内の宇宙科学研究者らによって設立された「北海道宇宙科学技術創成センター」(HASTIC)。フィールド医学の事業化を目指したワーキンググループが、①携帯型血圧計の軽量、省力化②健康情報のGPS送信システムの構築③コンピューター管理による広域的な健診体制の確立、などをテーマに意欲的に開発研究を進めている。

「なぜ、宇宙を研究するの?」。11月9日、札幌で開催された宇宙研の「宇宙学校・北海道」で小学生に尋ねられた的川校長は「外の世界を調べる知的好奇心もあるけど、宇宙から地球を見て自分の世界を知ることにもつながる」と答えたが、「宇宙空間での人体を調べることも、地上の加齢現象を知ることにつながるのか」と納得させられた。浦白町のお年寄りの体にも、「内なる宇宙(マイクロコスモス)」があるに違いない。

(北海道新聞情報研究所 おだじま・としろう)



12月号のお届けです。言い古された言葉ですが、月日が経つのは早いです。年々加速しているように感じるのは、〇〇のせいでしょうか……。来年こそはのんびりとじっくりといきたいものです。(久保田)

ISASニュース

No.261 2002.12

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>)。)