



宇宙科学研究所

2001.1 No.238

特集：21世紀の初夢

▲ハワイのマウナ・ケア山頂から見た21世紀の初日の出(撮影・安部正真)

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。

ISASニュースの編集委員長を辞任してから、要するに所長に就任してから早くも1年が経ち、新しい文部科学省のもとで新年を迎えることになりました。

昨年2月のM-V-4号機の失敗とそれによるASTRO-E衛星の喪失は返す返すも痛手でしたが、ようやく回復の軌道上を走り出しました。5年間で今回の事件の影響を克服するとの方針のもとで検討、折衝を重ねた結果、2002年末のMUSES-C（小惑星サンプルリターン）に始まり、以下LUNAR-A（月ペネトレータ）、ASTRO-F（赤外線天文学）、ASTRO-E II（X線天文学、ASTRO-Eの再挑戦）、2005年のSOLAR-B（太陽物理学）に至るまでの新しいスケジュールを確定することが出来ました。関係各方面のご指導、ご支援と所員一同の努力の賜です。

ただ、このような宇宙研としての王道のみに専念してもいられない状況として、独立行政法人化の流れへの対応があります。大学と異なり所帯の小さな研究機関にとって、対応を検討すること自体が大きな負担ですが、もちろんゆるがせにする訳にはまいりません。

これまでの制度を保存すべく大学共同利用機関共通の場を通じて議論を深めていくことになります。

最後に、失敗直後のESAのR. Bonnet科学局長からの書信，“・・・I am sincerely sorry to learn that by now all hopes have gone. I believe that the scientists and technicians of ISAS do not deserve such a

setback. I can assure you of my high appreciation of ISAS undertakings, marked by so many successes. Unfortunately, space is an unforgiving business, as I know from personal experience with the first flight of Ariane 5 in 1996.”, まことにその通りで、衛星は失いましたが自信は失っていません。我が国の宇宙開発の最も明確な基軸として、厳しい予算状況をも励みとして、この年に臨みたいと思います。

(まつお・ひろき)



21世紀最初の特集は、宇宙科学研究所の若手たちの初夢です。実現の可否を現実的に考慮し過ぎないように風呂敷をひろげてもらいました。紙面に登場しなかった若手たちには、もっと彩り鮮やかな夢を、負けず競って論じてほしいものです。宇宙科学の第2の黄金時代を招来する世代の若手たちの志を、この20数ページから読み取っていただければ幸いです。



他の惑星の空を飛べたらいいと思います。飛行機も良いのですが、気球で風まかせというのも悪くありません。寒いところより暑いところのほうが好みなんで、地球の兄弟星、金星で想像を膨らませてみます。

金星は惑星全体が厚い雲で覆われているので、地表面を外から可視光で見えることはできません。レーダーで雲を透かして表面地形が調べられたことがあります。そこは多種多様な火山地形や溶岩原に覆われた異形の世界です。地表面は比較的？新しく、数億年前に大規模な火成活動で地表面が作り変えられてしまったと考えられています。しかし可視光で外から見えないから、いま活火山があるのかもわかっていません。地表面の組成も謎だらけです。

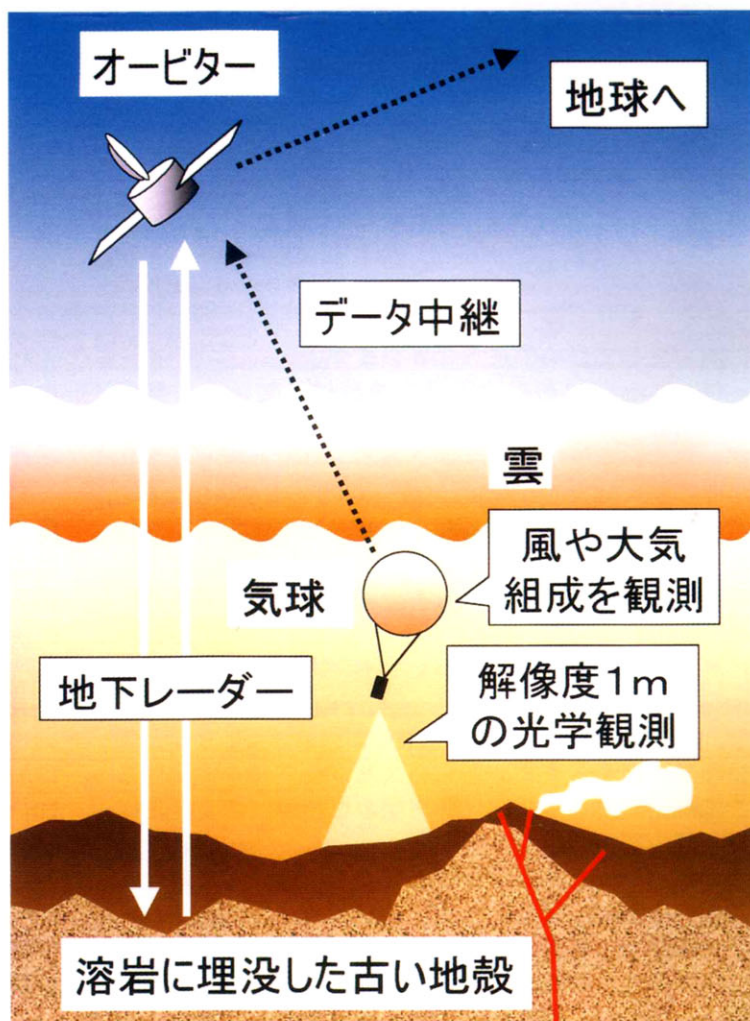
そこで、雲の下に気球を浮かべて、風に流されながら広い範囲の地表面を観察したらどうでしょうか。雲の下とは言っても、金星は大気が濃すぎて、可視光では霧の中にいるようなものなのですが、ある種の赤外線では大気が透明であることがわかっています。そのような赤外線を写すカメラを持っていけば、表面地形を1mまで分解することができます。これまでで最も細かい金星の地形図はマゼラン探査機のレーダー観測によるもので、分解能は100mですから、一気に百倍です。大山脈や溪谷の上を漂いながら下界を見下ろせば、一体何が見えるのでしょうか。地形の形成過程や溶岩の組成について理解が進むのはもちろん、活火山があれば噴煙が見えるかもしれませんし、夜側では噴出したばかりの熱い溶岩が輝いているのが見えそうです。想像もしないような地形が見つかるかもしれません（遺跡はないかもしれませんが）。もちろんこのような画像は、オービターを介してどん

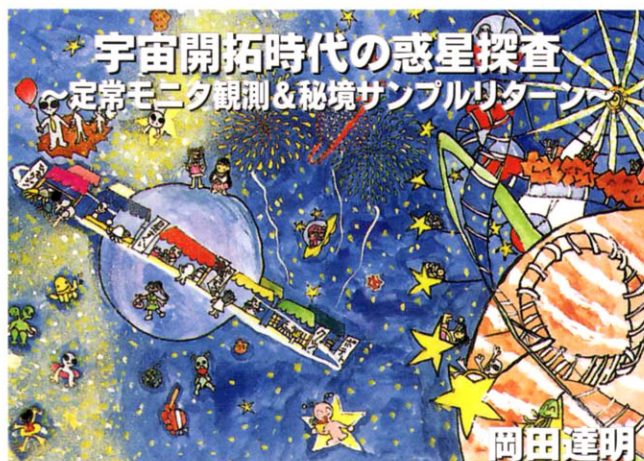
どん地球に送って、我々は準リアルタイムで気球からの眺めを楽しみましょう。金星ではどこでも強い東風が吹いていますから、下界の景色はどんどん変わっていくはず。気球を浮かべるからには、気球の運動から風を調べて、金星気象の謎も解きましょう。金星のどこでも吹いている東風ですが、このような風が吹く理由はわかっていません。大気組成、とくに同位体（同じ化学的性質を持つが重さが異なる物質）も面白いターゲットです。これをちゃんと測ると、金星の歴史がわかるばかりでなく、金星と同時期にできたと思われる地球の成り立ちのヒントにもなります。

気球のデータの中継するオービターでも面白い観測ができます。波長の長い電波による地下レーダーはどうでしょうか。このような探査をするには電離層が邪魔なのですが、太陽活動度が低い時期なら夜側では十分に電離層が薄くて、レーダーで地下を探る可能性があります。数億年前の火成活動で姿を消した太古の地殻が姿を現すかもしれません。

妄想は尽きません。

（いまむら・たけし）





20世紀の終わりの宇宙ステーション建設を皮切りに、人類は宇宙開拓を本格化した。最初は宇宙実験室レベルであったが、探査機を組立・試験する工場レベルになり、研究作業とその家族の生活区域を含むコロニーまで発展していった。水星から小惑星帯までの惑星近傍や惑星間空間に数カ所のコロニーが建設され、宇宙船の寄港中の食料・燃料の支援、科学観測基地、探査機のデータリレー基地として機能している。小惑星帯以遠は食料供給源の地球から航行時間が長く、原発反対運動の煽りをうけて電力供給に課題があり、依然として小型無人探査機が往来するのみである。

資源や運送、観光が21世紀の宇宙産業を経済的に支え、惑星科学はその恩恵に浴している。惑星探査機も地球上空の宇宙コロニーで作られる。今や20世紀のように、厳しい打ち上げ環境条件を何とかクリアした小型衛星が、ロケット打ち上げ失敗で海の藻屑と消える不安に苛まれることは無い。惑星近傍のコロニーでチェックを受けた探査機が目標観測ポイントや太陽系内の人類未踏の秘境からのサンプルリターンを目指して飛び立つ。19・20世紀の地理学・考古学探査で未踏地への探検、古代遺跡の発掘などを通じて地球科学的理解が飛躍的に深まったのと同様な構図が、21世紀の太陽系の秘境探査、惑星進化の痕跡を辿る惑星探査に見ることができる。

20世紀の惑星探査は短期間や、単独の観測点で行われ、惑星の外観について知識を蓄積した。日本のルナーA・ペネトレータ式内部構造探査やセレーネ・多種リモセンによる月探査、のぞみ・火星大気探査、ミューゼスC・初の小惑星サンプルリターンなどもキラリと光る画期的な探査であった。惑星科学の命題、原始太陽系の進化、惑星の形成・進化、火成活動やテクトニクス、惑星ダイナモ、大気進化とダイナミクス、生命の起源云々の研究は進展したが、ますます詳細・精緻なデータを必要とした。

宇宙コロニー時代となり、宇宙航行の確実性が向上し、探査機の低コスト化が進んだ現在の惑星探査では、ペネトレータ方式や惑星ローバで設置された多数の観測点を用いた多点同時観測や定常モニタ観測、あるいは太陽系未踏地からのサンプルリターンによる地質調査・物質分析が主な手法となっている。以下では、各惑星で行われている主な惑星探査プロジェクトを紹介する。

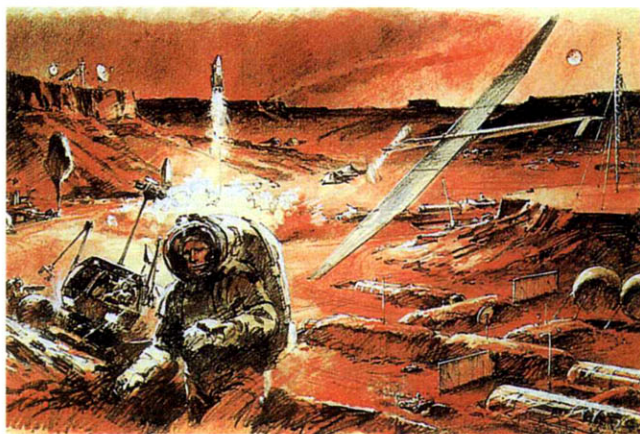
水星の北緯75度、地下10メートルには、常温一定で快適な地下基地がある。外の環境は厳しいが、地中に地震計、磁力計、重力計、傾斜計などの観測網を設置することで惑星ダイナモの究明や、太陽潮汐によって生じる水震や地殻の変形を測定し、内部構造を調べる。各観測点の保守点検は176日周期の朝・夕のみで、それに合わせて地質調査も行う。毎年、物資調達に多数の隊員が訪れ、一部が越冬隊として任務をこなす。リョウもその1人で、昨日はカロリス盆地の絶壁の石を拾ってきたと嬉しそうに言った。

金星周回コロニーでは金星大気にバルーンを放ち、その運動と搭載観測器のデータをモニタし、解析する。最近の高温・腐食性大気に耐性のある材料や技術の確立により、宇宙船として降下し、グライダー式に大気中を滑空し、地表付近では潜水艇のように振る舞う探査機が建造され、今年度から就航した。「今後の主な探査は金星表面物質の採掘サンプルリターンです。金星特有のブルーム型テクトニクスを解明して、惑星進化の理解に繋がります」と、女性初の所長となったユウコは熱く語った。

月面表側の最古の基地は、ITなどインフラや隕石衝突安全性機能の老朽化に伴い隣接する新基地に、月震観測網のデータ収集機能、月探査ローバでの採取試料や小惑星探査機の採取試料の分析システムなどの機能移転が済み次第廃止となり、アポロの遺品や発掘されたペネトレータ、月や小惑星の石コレクションを展示する博物館になることが決まると、広報担当のケンは発表した。なお裏側の月面電波天文台は良質の観測を続けている。

火星の衛星フォボスの地中基地では、フォボスを強制的に自転させた遠心力で擬似的な重力を作り出している。火星上に基地が無く、探査も進まないのは、火星が低温で砂嵐が頻発する悪条件に加え、未だに発見されない生命の痕跡を求める生命探査にとって、人類による汚染が禁物だからである。しかし殺菌・検疫法の発達で、無人ローバによるその場分析やサンプルリターン、ペネトレータ式内部構造探査などが5年前に本格化した。火星の古環境やオリンポス山など火山活動についての全貌が明らかになってきた。航法管制官のカナエによれば、フォボス基地は火星探査の出発点として、始源天体の宝庫の小惑星帯、外惑星、さらにカイパーベルト探査への玄関口として今後重要性を増してゆく。

(おかだ・たつあき)





「本スペースポート発、ラグランジュポイント経由、木星周回ステーション行きをご利用の方は、5番ドックからのご搭乗になります。」柔らかな声が頭上から降り注いだ。窓の外に視線を移すと、搭乗便が2時間遅れでドッキングするところであった。と、その瞬間、弱い衝撃とともに長さ数キロにおよぶスペースポートがゆっくりとうねり始めたが、それも数秒で静まった。どうやら、振動・波動制御システムが機能したようだ。無重量の展望モジュールからあえぐように老体を急がせて搭乗口にたどり着き、シートに身を任せた。

間もなく、出発のコールサインとともに、船体はスペースポートから射出され、ラグランジュポイントへの軌道に乗った。宇宙気象台がここ数日は太陽風の可能性はないと言っていたので、スペースポートの周りでは、宇宙少年団が一人乗りソーラーセイルヨットの展開・収納や操作の訓練を行っている。眼下に広がる青い地球からは大きなコンテナが軌道上の物資集積ステーションにつり上げられている。軌道エレベータだ。この地上とステーションとをつなぐエレベータである巨大なテザーシステムは、概念こそ古くからあったが、ナノテクノロジーの応用と宇宙の無重量下での素材製造技術によって従来の強度をはるかに上回る軽量な材料が出現したことで丈夫なケーブルが製造可能となり、ようやく日の目を見ることができた。彼方からは、白く輝く大きな膜面とマニピュレータを持ったデブリ回収船が近づいてきた。この膜面は、小さなデブリならば、高速で衝突してきても、貫通させることも周りに飛散物を生じさせることもなく包み込んでしまう非常に優れた衝撃吸収材でできている。この技術は、宇宙船外壁の対デブリ防護システムにも応用されており、一昔前のように、デブリが船室を貫通するような事故はなくなった。しかし、いったいいつになったら人類はゴミ問題から解放されるのだろうか。遠ざかる地球を見ながら、そのような思索を巡らしていると、久しぶりに宇宙に出たせいか、睡魔がまぶたを優しく撫でていった。

ラグランジュポイントのスペースポートに近づいたことを知らせるアナウンスでふと目を覚ますと、非常に大きな構造物が視野に飛び込んできた。太陽光発電プラットフォームと電波天文衛星「はるか7」だ。も

う、7代目になる「はるか」のアンテナは直径約10キロメートルの巨大さにも関わらず、その鏡面精度は1ミクロン以下に抑えられている。この精度を保つために、鏡面を構成する構造部材には磁界強度に応じて連続的に伸び縮みする薄膜が使用されている。また、このアンテナは数十メートル四方に折り畳むことができ、僅かなスピンと薄膜の伸縮機能によって自己展開する。したがって、かつてのように地球軌道上で組み立ててから運ぶ必要もなくなった。

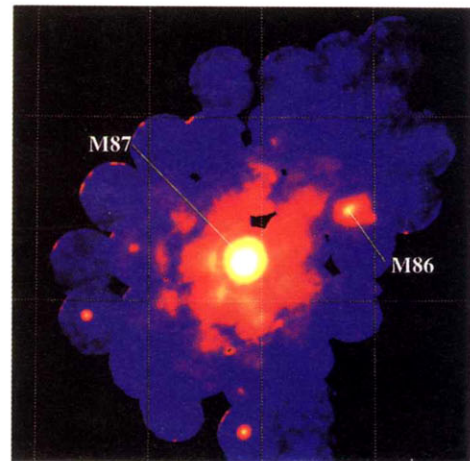
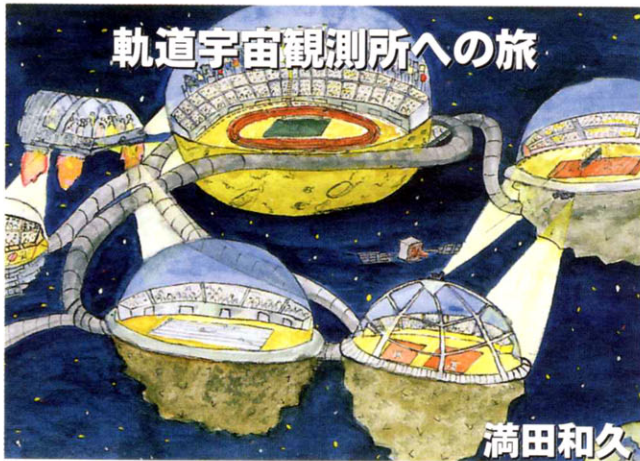
今、科学者の間では、更に巨大で高精度な「はるか8」を別のラグランジュポイントに作り、「はるか7」と連動させる計画が進んでいるらしい。いつの時代も、科学者の要求はつきるところを知らないなと昔を思い出し、不覚にも相好をくずしてしまった。

ラグランジュポイントから木星への道すがら、斜め前の席の夫婦と仲良くなった。彼らは小惑星資源探査のための調査員で、アステロイドベルトあたりでカーゴベイに収納された最新鋭の資源探査船で本船から離脱し、調査に入ると教えてくれた。この資源探査船には、マイクロマシニングの粋を集めた超小型探査衛星が数十個搭載されており、各々の超小型探査衛星が別々の小惑星を探索し、情報を資源探査船に送ってくる。その中で最も有望な小惑星で本格的な調査を行うはずだそう。見せてもらった超小型探査衛星は手のひらに乗る程度のサイズだが、大きな衛星とまったく変わらない機能を持っている。「さらに」と彼は続けた。この探査船は、アステロイドベルトを航行中に小惑星の破片と衝突するなど何らかの損傷を船体を受けたとき、その損傷の位置と度合いを瞬時に判断する自己診断機能とその損傷部分を自動的に補修する自己修復機能も備えているらしい。「この船で直せないのは夫婦仲だけだね」と返答に困るギャグを残して彼らは去っていった。

蛾の紋様のような大赤班が次第にはっきりと見えてきた。かすかに、木星周回ステーションと木星から液体水素を汲み上げるプラントが確認できる。ようやく人類初のマイクロブラックホールを利用して空間を飛び越える宇宙船にまみえることができる。席から身を乗り出した瞬間、鈍い衝撃とともにキャビン内圧の低下を示す警告シグナルが点滅した。小型の衛星が衝突か？腰に取り付けられたインフレータブル携帯救命システムが自動的に作動を始めた。これは、身体全体を包み込むように膨張した後に繭型に固化し、内部にはほぼ1気圧の空気を維持し、外部からの人体に有害な放射線などを遮蔽する救命装置である。「膨らみが足りない！」空気漏れの音とともになま暖かい膜が顔にへばりつく。！！！！？？？

はっと目を開くと、そこには寝息を立てるはるかの顔が間近にあった。カーテンの隙間からは朝日がこぼれ落ちている。
(みねすぎ・けんじ)

(注)「ラグランジュポイント」については、17ページの図参照。



“くっ”と重力の変化を感じた後、周囲は無重力状態から1Gの世界に戻った。窓の外には地球の青色が遠ざかってゆくのが見える。

2023年2月20日（注）、私は地球周回スペース・ステーションでシャトル機を乗り継ぎ、第5ラグランジュポイント軌道宇宙観測所に向かっていた。目的地までの所要時間は70時間弱。1Gに制御された宇宙船の加速度のおかげで宇宙にいることを全く感じさせない快適な旅である。ボールペンが浮いたりはしない。中間点での推進方向切り替えの短い時間を除いては……。もちろん宇宙線は完全に遮蔽されており地上よりも放射線環境はよいくらいである。

第5ラグランジュポイント観測所には、低周波電波望遠鏡や赤外線からガンマ線までの全波長域をカバーする軌道望遠鏡群が揃っていて、今や宇宙観測のメッカである。その昔ハワイのマウナ・ケア山に登ったように、今の時代の観測者は自らの新しい検出器を担いでこの地（？）を、軌道観測所を訪れる。私は今回新しく開発したX線強度干渉装置（intensity interferometer）をカーゴベイに携えている。これを2台の超大型X線反射望遠鏡の焦点面に設置するのである。

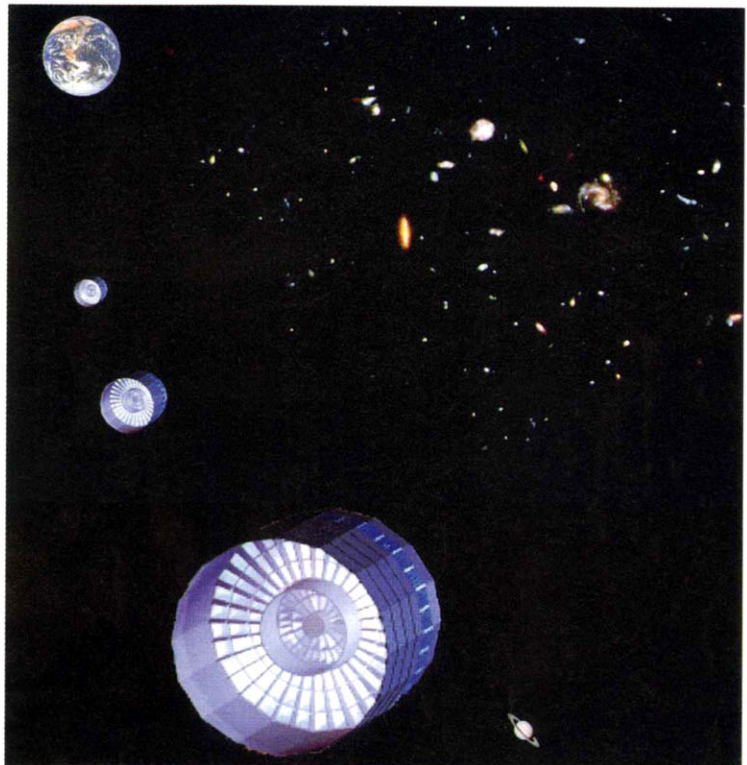
テレビドラマの台詞、『あなたとわたしが出会うことは、ビッグバンの時にすべて決まっていた』。なんという、メロドラマチックな台詞。しかし、本当にそうだろうか？ 現在の宇宙の姿を作った最初の偶然とは何なのだろうか？ 最初にできた天体が潰れた時に作られた高エネルギー光子、そのレッドシフトした姿を捕らえるのが、この観測の主な目的である。基線長1000m、波長1オングストロームの強度干渉計の空間分解能は0.02マイクロ秒，“宇宙の果て”における地球と太陽の距離の10分の1の大きさを分解できる能力である。この方式は、光子検出を行った後で二つの望遠鏡のX線強度を干渉させるので、難しい光学系は必要としない。その代わりにその実現には莫大な検出面積と超高X線エネルギー分解能の実現が必要であった。果たしてfirst lightはうまくゆくであろうか。どんな最初の天体の名残を見せてくれるであろうか？

うか？ それはきっと現在の宇宙の姿の最初の種を見せてくれるに違いない。そんな不安と期待を抱きながら……。やがて目が覚めた。

時は変わって、24世紀。連日、以下のような記事が、亜空間通信新聞のヘッドラインを賑わしていた。『天文学者の見てきたような嘘、またまた明らかに。』人類の宇宙活動圏内にワームホールが発見され、そこに送り込んだ探査機から、我々の銀河中心の直接探査データが続々と送られてきているのである。直接探査した結果からは、あれこれと状況証拠を積み重ねてきたこれまでの解釈とは矛盾するところがたくさん見つまっている。記事には、『本質的には、過去の解釈と変わらない。3万光年の遠方から観測してこれだけ正確だったのはむしろ素晴らしいと言うべきでしょう。』という天文学者のコメントが載っていた。

凄い時代になったものである。全く悪夢である。

（みつだ・かずひさ）



注：1983年2月20日、1993年2月20日はX線天文衛星『てんま』と『あすか』の打ち上げ日である。



私の見てみたいもの。巨大彗星。大流星雨。オーロラ。皆既日食。今では予めいつごろどの程度のものが見えるのかは事前にわかるようになってきているため、その予報に合わせてその場所に行けば良いのだが、大昔はある日突然その現象が起こり、人々はその現象を理解できなかったことと思う。これらはある意味、神のなせる業という認識だっただろう。

私が見て感動したもの。乗船実習で外洋に出て見た、周りに何も存在しない360度の水平線。初めての海外旅行で多分ロシア上空から見た延々と続く川で作られた地形。火星探査機「のぞみ」が送ってきた月と地球の画像。シューメーカー・レヴィ彗星が木星に衝突した画像。どれもそれを肉眼でみたり、データが届く瞬間に立ち会えたりしたものばかり。広い空間や長い距離を実感した。

私が知って感動したこと。北極星がいつまでも北の空の中心ではないこと（地球の自転軸が動いているため）。北斗七星の並び方は遠い将来には変わってしまうこと。月が次第に地球から遠ざかっていて、遠い遠い将来だが皆既日食が見られなくなってしまうこと。長い時間スケールを実感した。

今、宇宙研にいて、探査機を用いた太陽系の探査に携わっている。他の人に自分のやっていることを話すと。たいがい人は「夢のある仕事でいいですね」という言葉を口にする。確かに、私の感動体験である時間や空間の広さを実感できる魅力ある仕事だ。常々この感動体験をもっと一般の人にも共有してもらえないかと思っている。きっとこういった体験を共有することによって、見た人の何人かはもっといろいろな感動体験をしたいと考えて、自分の将来の道を決めてくれるかもしれない。そうでなくてもその日の夕食の話題になったり、友達との



ニーオルスンで見たオーロラ
(撮影：大島勉)



携帯電話での会話の一部にはなるだろう。近年はインターネットを利用したさまざまなライブ中継が実施されている。宇宙研所内でもロケットの打ち上げがライブ中継されるときはモニタの前に人だかりができる。そういうものが所外でも見られるようになればと思う。感動体験を得るまでの道のりは長く険しいものだが、その部分は置いておいて、感動の瞬間だけでも多くの人に味わってもらいたい。

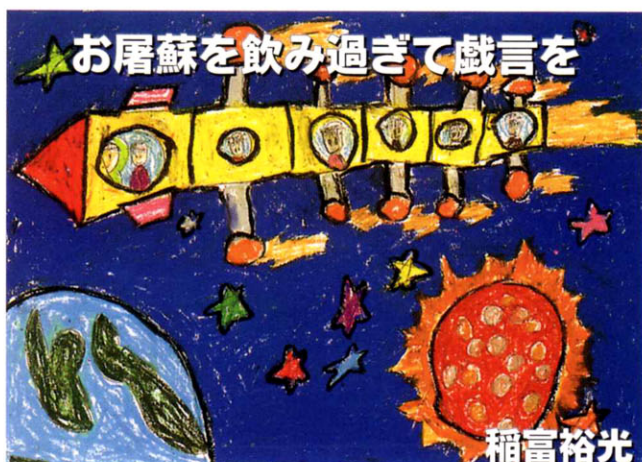
我が家には二人の息子がいて、上の子が幼稚園で書いた絵の中に「お父さんが宇宙科学研究所の窓から手を振っている絵」というのがあった。幼稚園の先生に聞くと、「お父さんのお勤め先はとっても楽しいところと感じているようです」とのこと。息子には、宇宙という認識はまだないようだが、漠然と何か大きなもので、何か楽しいことをしていることという認識があるようだ。息子が大きくなっても、今と変わらぬ印象を持ってもらえるような研究所でありたい。

人は宇宙に出るとそれまでの考え方が変わってしまうと聞く。広い空間スケールと長い時間スケールに対峙することによって、自分の存在の小ささを実感してしまうのかもしれない。遠い将来、人間を乗せた探査機が太陽系の黄道面から離れて太陽系全体を見渡せるようになったら、人間はどうなるだろう。またその時の気持ちを探査機に乗らない人も共有体験できたらどうだろう。広い空間スケールの実感や長い時間スケールの実感することで、地球上で起きている戦争が少しでもなくなり、地球規模で進んでいると思われる環境破壊を防ごうという気持ちが少しでも芽生えればと思う。

(あべ・まさなお)



1999年11月に地中海上空で航空機が撮影したしし座流星雨。
NHK開発の超高感度ハイビジョンカメラにて撮影。
画像提供：NHK/矢野創(ISAS)



「一富士二鷹三なすび」。ご存じ、初夢で見ると縁起の良いものとされているものである。21世紀の幕開けにふさわしい縁起物は何か。根拠はさして無いが「一海二大地三うちゅう」か？ 初夢特集ということで今まで実際に見た夢を思い出そうとしてはみたが、「宇宙と未来」に関する夢を見た記憶が無い。むしろ「宇宙」「未来」に関する先入観がSF小説や映画、何かの雑誌の記事によって植え付けられてしまっていることに改めて気づかされる。「地上は主として人々の居住空間、教育、芸術の場になり、地下に交通・通信網が張り巡らされ、オフィス、また好みに応じてマンションなどがやはり地下に建造される。地上の過剰な照明は規制され、地下では土壌が汚染されないように生物にとって有害な物質の回収・処理システムが完備される。20世紀後半に数多くの人々が時として時間つぶしに使っていたコンピュータと呼ばれる魔法の箱はもはや単なる小さな部品と化す。その部品同士の結合で構成された巨大な通信網とつながっている高速情報端末が各家庭のキッチンテーブルの隅に置かれ、お茶でもすすりながら他の地域、星で暮らしている自分の子や孫の3Dホログラフィー像と会話する」などと、私にとっての将来の宇宙、近未来に対するイメージというときいざいこの程度のものである。三文SF小説でも今更取り上げそうもない自分の貧困な想像力をとても情けなく感じる。

ところが、そう言っているお前は宇宙空間で生活したいのかと問われたら、弱い私はノーと答える。いわゆる宇宙飛行士は、強靱な精神・肉体を持ち、極限環境でも的確な判断・行動がとれると言う意味で私にとって尊敬できる人である。宇宙空間ではデブリの衝突などの危険性に晒され、低重力のために体はむくみ、それでも遠く離れた地球上の人々（彼らは空調の利いている部屋でコーヒーを飲みながらかも知れないが）の言うことを頼みに上も下も無いような空間につき進むその真摯な姿勢は、英雄そして時にはある種の聖者にも見紛うばかりである。それに比べて、ジェットコースターにすら乗ったことが無く高所恐怖症である臆病な私は、地球外で生活することなど想像もできない。地球上のいろいろな地域へ行っては住み、様々な人々

と生活を共にし、せいぜい一生に一度か二度、一日程度の宇宙観光旅行をする程度で充分だ。要は、地上に家族や友人と共に住める場所があり、うまいものを食べ、遊び、そして自分が納得できる仕事ができれば人生を楽しんでいるといってもよいだろう。そして足りることを知って、ほど良いところで皆さんとサヨナラをする。強いて言えばこれが私のバラ色の人生であろうか。ただ、問題はそのためにあと寿命がどれだけ必要かということである。まあ50年ぐらいか。いや何かと未練があるだろうから100年、200年、いっそ1000年でも足りないかも知れない。逆に、1000年も生きていたらいい加減何かにうんざりするかも知れない。いずれにせよ、美しい海と広大な大地、そして深遠なる宇宙の懷で元気に過ごしていきたいものである。

ただ、きれいな水、空気、そして光を子孫に残すことは我々の義務と私は考えている。遠い未来社会であっても地球全域にわたり、昼は澄んだ青空や流れる雲が、夜は深い闇に輝く星がはっきりと見えるようになって欲しい。そのためにはどうしたらよいか？ 現在急務とされながら具体化が遅々として進んでいない地球規模での環境問題の改善に、宇宙利用は何らかの形で寄与出来よう。将来、数多くの人々が宇宙空間から地球全体を実際に眺めることにより我々が住んでいる星がどのような状態であるのかを目の当たりにすることは、問題意識を高め、また維持する意味でも大切なことである。20世紀末までは宇宙開発と言うとややもすると高価なガラクタを地球周回軌道に放り込んでいる（地球に優しくない？）というイメージが拭い切れなかったが、その一方で高解像度カメラをはじめとする様々なセンサーを搭載した人工衛星が例えば気象予測に大いに活躍しているのも周知の事実である。一つの方法として、地球規模の環境変化を宇宙の幾つかの観測点からリアルタイムで監視し、そのデータ群を地上で速やかに分析し具体的に対処することが地球環境維持につながるであろう。宇宙開発がその実現に欠かせなくなるという日が遠くない未来に訪れることを願う。

つれづれに戯れ言を書き連ねてきたが、夢の話は支離滅裂が当たり前、細かいところは気になさるがよろしい。21世紀が良い世紀となりますよう。

(いなとみ・ひろみつ)





従来の燃焼試験による実証は今後もロケットの開発において重要な意味を持つだろうが、一方で21世紀に大きな飛躍が期待されるのは、第三の科学と呼ばれる計算科学技術を駆使したバーチャル（仮想の）ロケットである。それは多くの実証試験を要せずに、開発技術を維持発展させていくためのキーテクノロジーと言える。

ロケット推進の原理は、高圧容器内で燃料を燃焼させ、絞った穴からガスを噴出して、反動で推進するという単純なものである。しかし、そこで起こる物理化学現象は極めて複雑であり、それはロケットの内部宇宙と呼ぶにふさわしい世界である。固体ロケットを例に取れば、バーチャルロケットとは、イグナイター、推進薬、モータケース、内部流体、ノズル等の主要パーツに対し、熱、化学反応、流体、構造等に関する数学モデルを用意し、各々を連立させて、着火から消火にいたるまでの時間発展を数値解析するものである。さらに、移動境界の幾何的取り扱いやパーツ間のデータ授受、および結果の可視化等の技術をも含む。

バーチャルロケットを開発するための要件は、ロケット内部宇宙のサイエンス、コンピュータハードウェア、そしてアルゴリズムとソフトウェアである。それぞれ大規模な投資なしには達成は望めない。

ロケット推進系サイエンスでは、固体ロケット内部宇宙を計算機内に仮想的に再現することを共通目的にして、以下に挙げる研究を進めることが大切である。

- ①固体推進薬の着火や定常燃焼
- ②燃料消費に伴うグレイン形状変化の取り扱い
- ③内部流体の乱流
- ④燃焼するアルミ液滴やアルミナ粒子を含む混相流
- ⑤CFRPやC/C等の複合材料や黒鉛のような脆性材料の材料の力学・熱化学的特性
- ⑥それらの焼失・破壊等を含んだ数学モデルの構築
- ⑦流体・伝熱・構造の非定常連成解析
- ⑧高速数値計算のための情報処理の研究等。

そのようなバーチャルロケットの研究は、現在米国DOE（Department of Energy）の委託によりイリノイ大学のCSAR（Center for Simulation of Advanced Rockets）で組織的に行われている。核保有国という

特殊事情があるとはいえ、大学組織における先導的な取り組みであり注目に値する。

ではバーチャルロケットは、どのくらいの規模の数値計算になるのだろうか？ 単相非反応性の内部流体のシミュレーションを例にとり、数値時間積分を1時間幅進める間に、1格子点当たり1万回程度の浮動小数点演算を要すると仮定する。100万点の格子点について計算するのに、従来の10GFLOPS（1秒間に百億回の演算性能）クラスのスーパーコンピュータを使用した場合、1時間幅進めるのに要する演算時間は1秒となる。ノズルスロート壁に沿う加熱率を計算するためには、乱流境界層内の壁最近傍の層流底層を解像しなければならない、0.1～1ミクロン程度の空間解像度が要求される。これに応ずる時間積分幅は1ナノ（10億分の1）秒～100ナノ秒程度に制限される。ロケットの燃焼時間は100秒の程度だから、着火から燃焼終了までに要する演算時間は、10億秒～1000億秒、即ち、30年～3000年となる。単相非反応性流体の計算だけでさえこうであるため、バーチャルロケットは到底実現できないように見える。これを打開する技術として、サブスケールの現象に関して別途パラメータ化（テーブル化）し、それらを詳細なシミュレーションの枠外に出すことにより、はるかに大きな時間積分幅が許される手法や、タイムズーミングと呼ばれる手法が提案されており、この種の技術をさらに研究することの意義は深い。

また一方、ハードウェア性能は着実に向上してきている。2000年6月、米国DOEとIBM社が開発したASC（Accelerated Strategic Computing Initiative）-Whiteは8000ノードの並列計算機で、12.3TFLOPS（1秒間に12.3兆回の演算）を達成した。ASCIでは今後2004年までに100TFLOPS達成が計画されている。計算機の処理能力が100TFLOPSになると、全燃焼時間にわたる詳細なシミュレーションが、数日でできる可能性もある。日本においても同クラスの超高速計算機が開発されつつあり、バーチャルロケットには直接結びつかなくとも、潜在的ハードウェア技術は主導的レベルにあると言える。

産官学をあげて全日本の研究者がこのような基礎研究に協力して取り組むことができればよいが、と願うものである。（しまだ・とおる）



光子推進機関と広がる探査の場



スプートニクで始まった宇宙時代の到来から宇宙紀はいまだ1世紀なかばにすぎない。人類の活動が宇宙へと展開できたのは、化学ロケット機関の実用化であった。一方、電気推進機関に代表される非化学推進機関は、ようやく本格的な実用段階にいたりつつあり、応用計画が数多く出されるようになってきた。しかしこの電気推進機関においても、実用的な宇宙機としての速度修正能力は高々10km/秒程度でしかなく、これは地球の公転速度にもはるかに及ばない程度であって、自由に惑星間を闊歩できるとはいいがたい。探査の守備範囲は、推進機関の性能に依存するのであって、新型の高性能な推進機関が出現すれば、惑星間を思いのままに航行し、太陽系を飛び出す時代の到来も予見されるところである。運動量を交換する形式の推進機関の性能とは、まさに排出速度であり、究極速度は光速に違いない。すなわち、将来型の推進機関として注目すべきは、光子推進である。

光子推進には、大きく分けて2種類の方法がある。一つは受動的な方式で、太陽光を反射させて運動量変化を利用する、いわゆる太陽帆推進 (Solar Sail) であり、もう一つは、自らが「光」を発することで運動量を得る方式である。後者は、かりに電力へ一旦変換を行う方法だと、現在実現されている原子力プラントでは、実用化には2桁くらい推力-重量比が及ばず、技術的な一大革新が必要である。しかし、Solar Sailに関しては、実用レベルは意外と近いところにある。

惑星間を軽快に動ける加速度は、 $20\mu\text{G}$ レベルであって、典型的な帆の大きさは、探査機が1トン級であれば、直径が200m強である。地球の公転加速度は約 $600\mu\text{G}$ で、その大きさはまだ一桁以上小さいが、それでも太陽の重力の拘束からかなり解放される飛行が可能となる。

数々のSolar Sailを用いた構想がなかなか実現しなかった奇妙な理由の一つとして、そもそもこのような高性能な推進機関を要求するような需要、探査計画が存在しなかったことが挙げられる。唯一

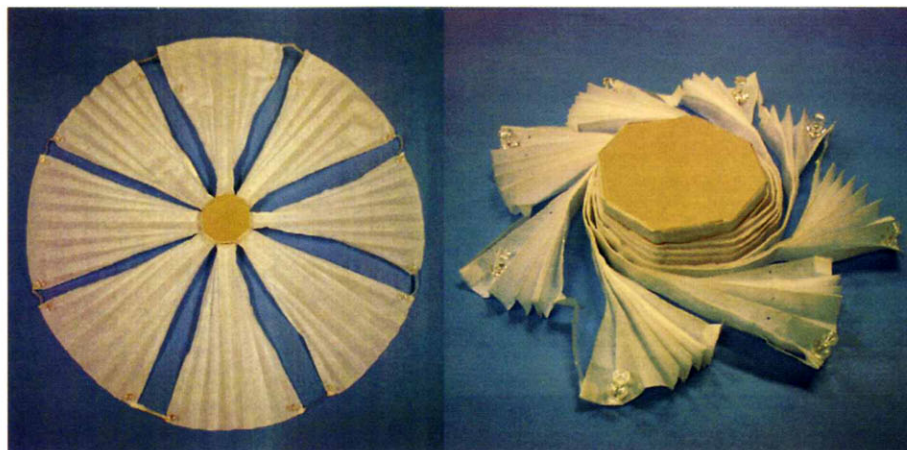
の例外は、1986年のハレー彗星接近時のNASAの構想にみることで、まさに数十km/秒の加速を行って周回方向を変え、ハレー彗星にランデブーさせようというものであった。現在ようやく、この高性能推進機関を必要とする段階まで需要が追いつきつつある。

数十km/秒の加速を必要とする計画例としては、まさにその彗星ランデブーやそこからのサンプルリターン、黄道面を垂直に回る円軌道化、メインベルト小惑星の多数回ランデブーとそれらからのサンプルリターン、木星以遠の外惑星への短期間飛行、太陽系外への飛行などがあげられる。地球の公転加速度の数%の加速度を用いると、例えば黄道面に関して常に地球の真上を飛行しつづけるような、非ケプラー型軌道も実現が可能となってくる。宇宙紀1世紀目の後半には、このような計画へと人類の探査の場も拡大していくのではなかろうか。

もちろん、Solar Sailが実現に至らなかった要因には、当然ながら技術的に困難な課題が山積していたことも事実である。第1には軽量で加工が現実的な膜材が存在しなかったことで、上述の膜を平米30グラムの膜材で製作すると、膜自体だけで1トン級となってしまふ。これまでは、輻射平衡温度や紫外線環境を満たして、工業的に連続生産が可能かつ、貼り合わせ可能な軽量の膜材を見いだすことは難しかったが、熱可塑性コーティングを施すことができるポリイミド薄膜の連続製造が最近可能となってきている。また、このような巨大な膜構造物の形状維持や展開方法、さらに姿勢制御方法なども、これまでは具体的な現実的な方策を見いだすことができない面もあったのだが、これらにも工夫の余地があり、Solar Sail実現に道が見え始めたと考えているところである。最近、実証探査機の計画検討を有志の方々と始めている。

Solar Sailをはじめとする光子推進も、ともすればそれ自体がミッションであるかのような見方があるが、それは誤解である。これらは推進機関であって、主ペイロードを輸送するためのエンジンであり、あくまで目的惑星、目的軌道へペイロードを輸送するという観点にたった実用化研究が行われなくてはならない。実証計画を進めたいと考えている。

(かわぐち・じゅんいちろう)



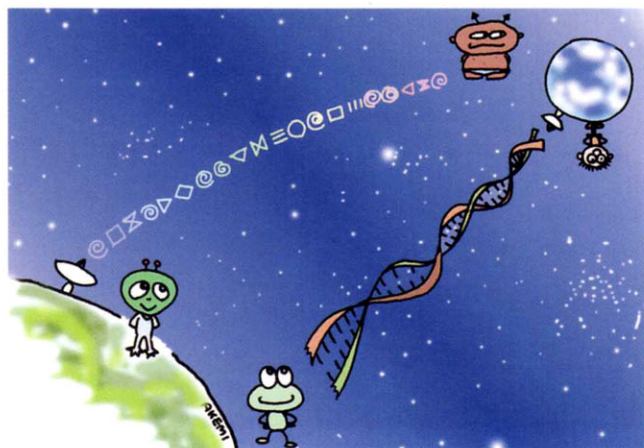
Solar Sail展開モデル



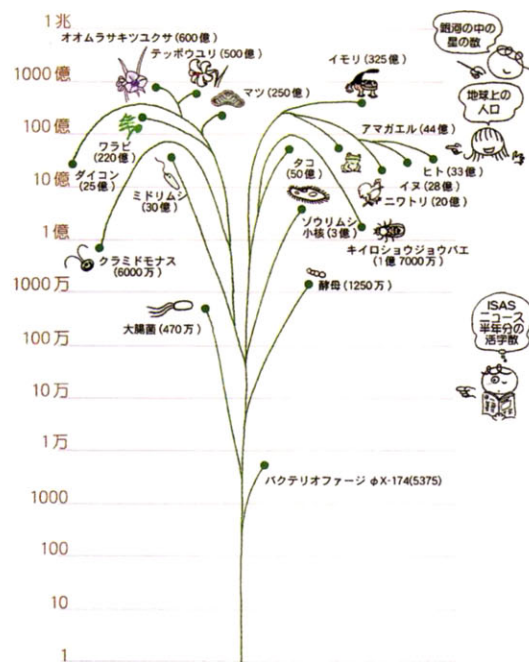
20世紀最後の年に、ヒトゲノムの概要の読みとりが完了した。ヒトゲノムとは私たち人間のからだをつくるすべての細胞にある、ヒトの全遺伝情報を備えた1セットのDNAである。「ヒトゲノムの概要の読みとりを完了した」とは、「人類の全遺伝情報の塩基配列を完全に調べた」ということである。これで私たちは「人間の設計図」を手に入れたことになると言われるが、当然ながら、この設計図だけでは人間を造りあげることはできない。それぞれの塩基配列の指示する情報、つまり、人間の一生の中でどの細胞が、いつどのように現れ、どんな機能をするのかという設計図の意味を読み解いていくことが必要になる。これは単純な全塩基配列の読みとりとは桁違いにたいへんな作業となるはずだ。この新しい世紀の間にどこまで進むのか、たいへん興味深い。

さて、ヒトゲノム計画の最終目的が生物を一から造りあげることではないにしても、将来、生物を創造するだけの情報や技術を得ることが必要になる場面が出てこないとはいえない。

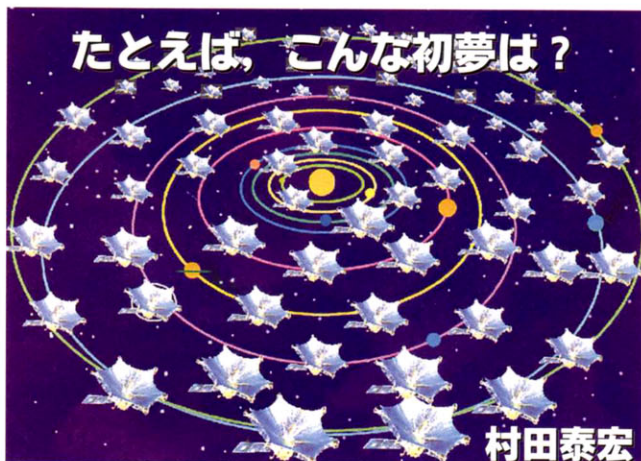
こんな夢を見た。ずいぶん遠い未来のことのようにも、実は近未来のことなのかもしれないが、ヒトゲノム計画が順調に進み、人類がヒトやその他の生物の設計図とその読み解き方を完全に手中に収めたあとのことである。ついに、人類は地球外の知的生命体からの信号を受信する。地球外知的生命体との交信がどんなに難しいのか検討もつかないが、物理学や数学の法則は、おそらくお互いに共有できる（通じる）共通の知識情報であろう。しかし、生命科学の情報というのは、宇宙では、どのくらい一般的なものであろう。それを知ることが、地球外生命を探索する目的の一つではあるわけなのだが……。いろいろな交信を試みていくうちに、どうやら向こうも



人間くらいの知的レベルの生命体であることがわかった。どちらも互いの星を訪問する技術はまだもっていなかった。信号のやりとりだけで自分たちの星の生物について説明しなくてはならない。私たち人類は、ヒトゲノム計画で明らかになったヒトやその他の地球生物の設計図とその読み解き方を信号として送った。相手も同様の情報を地球へ送信してきた。どちらもその設計図と読み解き方を使って、相手の星の生物を造ることができるのだ。ついに人類は地球外生命体の顔を見、その手に触れることができる！ところがそれほど簡単ではなかった。どちらの星でも、送られてきたマニュアルの「できあがり図」にあるオリジナルとはまったくちがう生物が創造されていた。すべてを物理学や数学の法則で置き換えることがまだできなかった、複雑な生命科学の情報を正確に伝えるのはやはり難しかったのだ。それぞれの星に相手側が想像もできないまったく異なる「常識」というものが存在していたことも一因であった。「ほらね、こんな風にも、あんな風にも、考えることができるんだ。」美しいみどり色の皮膚、大きな眼の異星人生物学者は、この矛盾をていねいに説明してくれた。「だから、相手の星で造られた生物がまったく別の生物になっちゃうこともあるんだ。本当はすごく友好的な異星人のはずが、とてつもなく攻撃的な猛猛な動物にもなりうるし....。」夢の中で、私はどういうわけか相手の星にいて、日本語で会話し、足りないところはみどり色の水かきが付いた手で身振りして話していた。私は、地球からの情報をもとに創造された初めての人類で、代表としての意識に燃えていた。そして相手の見事な解釈の数々を目の当たりにして感激していた。「この考え方で地球の生き物のゲノムを読み直すとすごいことがわかるにちがいない。共通の遺伝情報からまったく別の生物....。これはどういうことなのだろう。」などと興奮気味に考えていた。でも残念！その鮮やかな理論は、眼が醒めたとたんにすっかり忘れてしまったのだ。もちろん、手の水かきはもとの白魚のような指に戻っていた。（くろたに・あけみ）



いろいろな生物のゲノム数。ゲノムのサイズは、からだの大きさや複雑さとは必ずしも対応しない。（平林久・黒谷明美『星と生き物たちの宇宙』集英社より）



「初夢」というお題をいただき、思いつくことはいろいろとありますが、ここでは、現在進行中のVSOPという計画の拡張をかんがえていった場合どこまで行きつくか、考えをめぐらしてみたいとおもいます。

VSOPでは、スペースではじめて干渉計型の望遠鏡を実現しました。「干渉計」というのは、1枚のレンズや凹面鏡で光（電磁波）を集めるのではなく、2つ以上のレンズや鏡を使ってあつめた光（電磁波）をさらに後段で光学的にまたは電氣的に「干渉」させることにより、複数の望遠鏡を組み合わせ、1つの望遠鏡を作るというものです。VSOPの場合は、地球上の望遠鏡と宇宙望遠鏡を組み合わせ、約3万kmの大きな望遠鏡を作りました。

「干渉計」は電波天文学の分野で進んでいます、電波以外の電磁波の領域でもどんどん開発がすすんでいて、スペース望遠鏡の将来計画でも「干渉計」型の望遠鏡の計画がたくさんあります。電波天文学ではけっこう古い（といっても20世紀半ばの）技術ではありますが、今後の将来計画にとっては、まさに「旬」な技術です。それはなぜかという、と、「干渉計」型の望遠鏡は、

- ①複数の望遠鏡を離すことにより解像度を上げることができる、
 - ②大型の望遠鏡を作って感度を上げようとする製作できる大きさが限られるが「干渉計」型の望遠鏡ではそのような制約が少ない、
- などという利点があるからです。

さて、ここからは、つばを眉につけてお聞きください。「干渉計」の基線を延ばせば延ばすほど解像度が上がります。ここでは、一つの干渉計を構成するアンテナを太陽系のなかにちりばめ「太陽系干渉計」（タイトルバック）を作ります。たとえば、冥王星軌道あたりまで太陽系全体に千個くらい置いてみましょうか。あんまり波長が長い波だと星間シンチレーションのために天体の像がボケてしまいますので、波長1ミリくらいの波長で観測するとしましょう。波長1ミリで口径が76天文単位（約100億km）の望遠鏡だと、50光年の距離で、5kmの解像度になります。もちろん遠い天体についてはそれなりに解像度は悪くなりますが、そ

れなりに楽しい天文学が考えられます。

いろいろと考えをめぐらしたいのですが、紙面の都合で、ここでは近い天体の惑星の観測について考えます。すでにもう太陽系外に10個程度の惑星がすでに発見されています。今後観測装置の発展とともに、「太陽系干渉計」実現のときにはすでにもうたくさん太陽系外の惑星が見つかるでしょう。「太陽系干渉計」は解像度が高いので、太陽系外で見つかる惑星に対して、高解像度で観測できます。

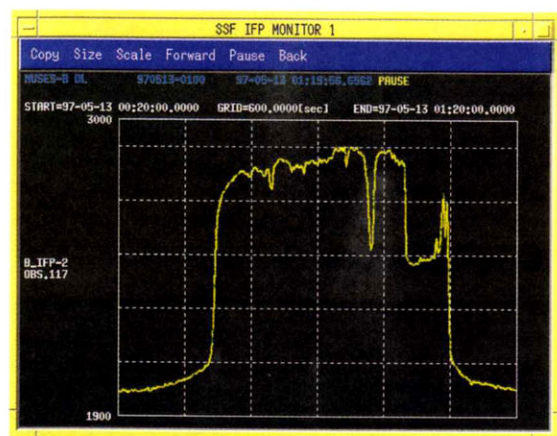
下図は、「はるか」が実際に波長6cmの電波で見たわれわれに一番近い地球型惑星（地球）です。これは人工電波ではなく自然の電波放射です。地球の場合、海と陸があるために電波の強度が図のように変わります。解像度は約5kmです。

もし「太陽系干渉計」が実現されることになると、同じ解像度で、50光年くらいの範囲の太陽系外の惑星に対して同じような観測をし、何がその惑星にあるかわかるようになります。宇宙人がいて、われわれと同じように電波を通信に使い、そのような電波を傍受することができるかもしれません。傍受した電波のスペクトルを調べてやれば、どのような変調方式を使って通信をしているかわかります（物理法則は全宇宙で共通な筈なのでおなじようなことを宇宙人もしている筈です）。うまく解読してやれば、宇宙人の会話を盗み聞くことができます。

ただ、「太陽系干渉計」を実現するためには干渉計を構成する一つのアンテナの大きさが数万kmにもなります。VSOPでは3万kmを実現しましたが、これはほとんど電磁波を集める能力のないスカスカのアンテナです。それとは違って直径数万kmに入ってくる電磁波をすべて集めなければなりません。アンテナの鏡面（またはレンズ）をそれぐらいに広げてやらなければなりません。まさに「大風呂敷」をひろげるのです。

この「大風呂敷」を太陽系中に散らして「太陽系干渉計」を実現します。もっとも、どこかに技術の発達した宇宙人がいて、すでに「太陽系干渉計」を実現し、地球人の会話をすでに盗聴しているかもしれませんね。

（むらた・やすひろ）



「はるか」が観測した地球の一次元の電波放射強度。横軸が時間、縦軸が電波強度の相対値である。「はるか」の軌道運動のため見る位置が変わるので、横軸は「はるか」が見ている方向に対応する。

空に気球が飛び交う日々のために



科学気球はあまり世に知られていないのですが、そんな話は過去のこと。今世紀の気球はメジャー復帰します。なにしろ、気球グループは、素晴らしい気球を開発しつつあるのです。科学気球開発の夢は「より高く、より長く」です。現在、この夢がかないような状況になっているのがうれしいところで、この世紀の初頭には、「高度60km程度をずっと飛びつづける気球」が実現します。これができると、世の中では次のようなことができるといわれています。(いや、ほとんど斎藤が考えてみただけの話ですけど。)

1 気象気球ネットワーク

現在、気象観測は、地上での定点観測と、気象ゾンデ、人工衛星からのモニターに依存しています。しかし、より研究を深めるためには、その現場での気温や湿度といった情報が必要です。というわけで、山ほど(500個くらいの)の気球を世界にばらまこうと考えている人々がいます。風に流れて飛ぶ気球は、その航跡そのものが情報として重要です。その現場での情報を得るにはうってつけというわけです。むろん、衛星で培われたリモートセンシング技術も使えます。

2 ペンギンの追跡

ペンギンの観測をしようと思うと、極のあたりに飛行体が必要ですが、人工衛星は軌道面が地球の重心を通る必要があるため、極だけに存在させることはでき



ません。ところが、気球は風の関係から航跡制御をしなくても、南北の極のまわりを周回することになります。というわけで、数十個くらいの気球を南極で飛ばすと、とあるペンギンの上には常に気球がいる、という状況が出現します。ペンギンの生態を観測しましょう。ある種のペンギンは大移動をすることで知られており、その学術的研究が待たれているのです(?)。むろん、白熊も見えます。

3 多波長・多粒子観測天文台

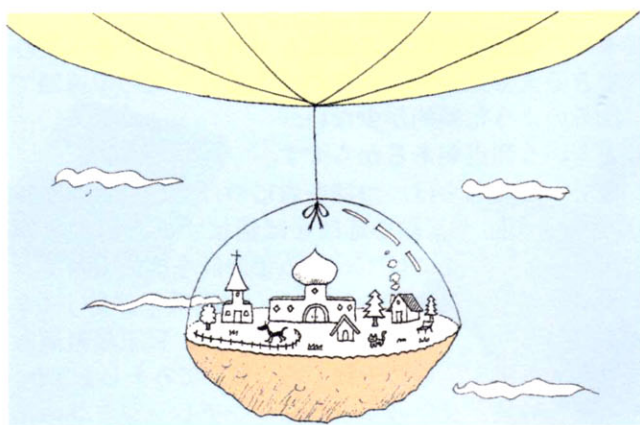
現在、天体観測を行う上では空気に邪魔されない環境を求めて人工衛星まで行ってしまうわけですが、極端紫外、軟X線領域を除けば、気球高度で十分です。むろん、粒子線だってつかまえられるし、宇宙塵だって降ってきます。ぜひ、多波長、多粒子観測天文台を作りましょう。

4 天空の城ラピュタ

宇宙ステーションは、無重力という点で魅力的ですが、人間が暮らしてゆく上で、重力がないというのは不便なものです。宇宙線の影響はありますが宇宙ステーションよりは住みやすいでしょう。生物実験にとっても重要な基地となります。宇宙ステーションでの実験で問題となるのが、無重力状態になることと、宇宙放射線を浴びることの二つが同時に起こるため、どちらの起源による現象か区別ができないことです。気球ステーションでの挙動と宇宙ステーションの挙動の違いによってどちらの影響かわかるようになります。ぜひ、与圧部をつくって木を育てましょう。飛行石はありませんが、ラピュタができます。

5 気球ウォッチングブーム

このような気球が空を飛び交うようになると、ちょっと気をつけると簡単に気球を見ることができるようになります。大空に浮かぶ大気球は半分透明で、海の中を泳ぐくらげを連想させます。また、夕闇が迫る頃、金星のように輝きながら飛行する気球はなかなかロマンチックです。気球はかなり離れていても見える大きさなのですが、半透明なため、見つけるには慣れが必要です。肉眼でもみえますが、もちろん、双眼鏡や望遠鏡を使うのもお勧めです。



アヤシイ話をいろいろ書きましたが、それもこれも「高度60km程度をずっと飛びつづける気球」ができたらのこと。そのためには、せっせと開発を続けるしかありません。今年もまたフィルムと格闘してゆくことでしょう。(さいとう・よしたか)



【201X年】

宇宙活動は多様性を増して種々雑多な宇宙システムが運用されるようになりました。それぞれは多種多様なスラスターを搭載しています。そうそう、そのスラスターとやらを昔は「電気推進」などと呼びちまちま研究していたものですが、今はすっかり一般技術となってたくさんの企業が独自に製造するようになっていきます。

驚くなかれ、その××%にマイクロ波放電式(μw : マイクロウェーブ)イオンエンジンが利用されているというのだから、時代は変わったものです。初期型「 μ (ミュ)10」はもとよりその後継型「 $\mu 20$ 」, さらに推力増強型「 $\mu 30$ 」が実用化済みです。

今日はこれから無人資源探査宇宙船28号が小惑星1960HKに着陸、鉱物資源分析データを送信してくる予定になっています。その機体番号が示すように、もうすでに数十の探査船が宇宙を飛び回り、資源探査を自動自立で行っているのです。もちろん、信頼性安定性に勝る μw イオンエンジン「 $\mu 20$ 」が搭載されていることは言うまでもありません。

これまでの科学探査を目的としたサンプル採集により、プラチナなど稀少貴金属や工業的に有用な建設材料物質の存在が明らかとなり、各国は所有権/領有権の主張のため盛んに宇宙資源調査を行うに至ったのです。

それでは宇宙に張り巡らされたスペース・インターネット経由で探査機に接続してみましょう。

あれ!、今朝の「月」経由はたいへん混雑しているようで、なかなかスムーズにはデータ受信してくれま

せん。ごく最近稼働を始めた「火星」経由に切り替えてみましょう。そういえば、この新ネットワークの基幹である火星静止衛星の主推進にも μw イオンエンジンが使われているはずです。おっと、そうこうするうちに、無人資源探査機からのデータが画面に並び始めました。どうも岩質は「炭素質コンドライト」のようです。ずいぶんたくさんの水を含んでいます。この小惑星は人類の惑星間旅行のための補給基地「宇宙のオアシス」として大いに役立つと期待されます。

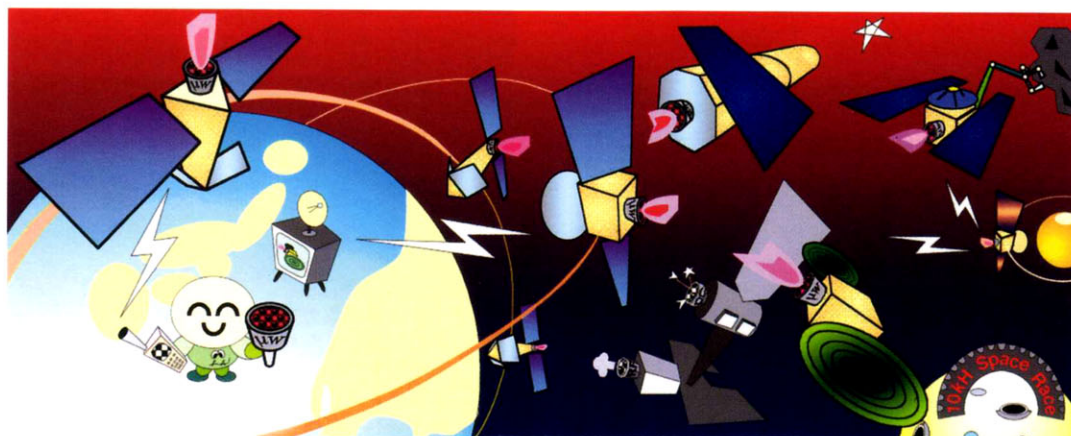
【202X年】

宇宙船の性能、快適性、耐久性、生産性、経済性向上など、多くの技術革新の励行と宇宙活動革新の原動力として、「1万時間宇宙耐久レース」が企画されるようになりました。

宇宙航行はそれまでの国家規模の事業ではなく、個人民間レベルの活動となり商業活動としてまたプレジャー目的に利用されています。大小様々の組織企業が宇宙船をデザイン、製造、販売する時代となっています。その技術力を競い合い世に示す好機と捉え、大企業やレーシングチューナー・ショップが名誉と威信を懸けてこのレースに臨んでいます。

地球低高度軌道よりスパイラルレーシングにより軌道を徐々に上昇させ、1万時間後に地球からもっとも遠い船とそのチームに栄誉が与えられるのです。太陽電池メーカー、スラスター・サプライヤー、機体製造会社、燃料推進剤製造業者がタッグを組み、独自の宇宙船をレースにエントリーさせています。レース専用のフォーミュラ仕様とは一線を画し、あくまで性能向上を図った実応用宇宙船がその主体となります。宇宙船本体のみならず、1年以上の期間におよび宇宙船を遠隔操縦する各オペレーション・チームの戦術戦略も見どころです。レースの様子は宇宙にちりばめられた超小型衛星から、またレーシング船のオンボードカメラから逐次その映像が全宇宙中継されるのです。

さて μw イオンエンジンのレース仕様「 $\mu 30gt$ (グラン・ツーリスモ)」は複数のプライベートチームやワークスチームに採用されています。スプリントレースならともかく、耐久レースならば信頼性安定性操作性に優れる μw イオンエンジンは正にうってつけ。残念なことに今回は他方式イオンエンジンに苦杯をなめています。今回こそはコンストラクターズ・チャンピオンシップの奪取を期し、今レースの火ぶたが切って落とされようとしています。(くになか・ひとし)





衛星の機能を高く保ちながら衛星をコンパクトにすることは、1kgあたりの打上げコストが有意に高い状況では、宇宙開発の低コスト化にとって非常に有効です。衛星の小型化についての将来の夢を述べてみましょう。

衛星のサイズを考えてみると、それを規定している要素には、二つの要素があります。一つは、衛星の表面に露出するアンテナ、観測機器等の開口面の大きさです。通信用の電波を送受信するために必要な面積であり、望遠鏡等に必要な口径です。最近では、複数の衛星を編隊飛行させて (formation flight)、電波や光の干渉計を構成して全体としての空間分解能を高める工夫も考えられています。しかし、ある開口面積が必要であるというこの事実は、物理法則に規定されたものであり、克服するのがかなり困難です。

二つ目の要素は、衛星内部に搭載される搭載機器の大きさです。こちらの方は、昨今のエレクトロニクスやマイクロマシンの技術によって、かなり小さくなってきています。第一の開口面の物理的な制約を受けない衛星、磁気ミッションでは、これらの技術進展によって衛星を劇的に小さくする事が可能です。例えば磁気圏の磁場や粒子を多点で同時に観測するミッションでは、このような超小型の衛星を、多数打ち上げることが有効になります。先に述べた編隊飛行による計画の一種であり、Geotail-2と呼ばれる計画が考えられています。

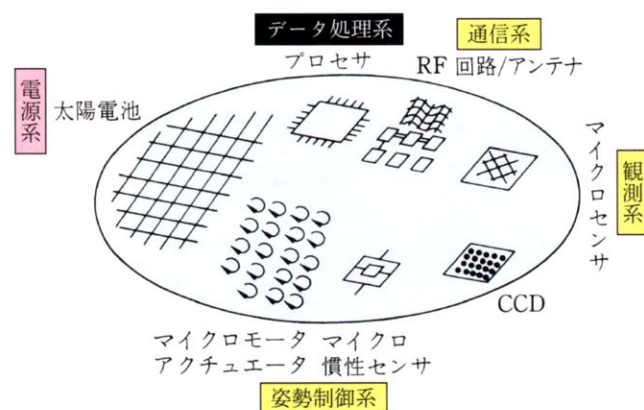


図1 未来の「宇宙を舞うシリコンウェハ」
シリコンウェハ上に、衛星の必要とする情報、エネルギー、メカニクス機能が集積的に取り付けられるだろう。

その究極の小型衛星の姿は、図1のようなウェハーサテライトです。電子機器の機能はシリコンウェハーに微細加工されます。電力はシリコン太陽電池で発生できます。情報処理や通信機能はシリコン基板状の電子回路で行えます。光学、粒子、電波的なセンサーもかなりのものがシリコンで製造できます。機械的なジャイロセンサーもマイクロマシン技術によって製造できます。(これらをすべて1枚のウェハーに納めるというのは、正月のワインの飲み過ぎであって、実現化するときにはもう少し、個別な実装方法をとることでしょう。) こういった機能は、基本的には携帯機器に要求されているシステムオンチップ (一つの半導体チップの中に、センサー、センサー駆動回路、データ処理、メモリー機能、通信機能、電源制御機能等の電子機器システムの機能を埋め込む) の概念と、非常に近いものです。

ウェハーサテライトの中で、いわゆる電気分野から一番離れたものが、推進系です。ここではマイクロマシンの技術を利用できます。現在、マイクロマシン技術で有名な東北大学の江刺研究室と、宇宙研の固体推進系の堀先生、徳留助手の共同研究で、図2のようなデジタル固体ロケットアレイの試作が行われています。1mm以下の固体推進剤をあれい状に並べたマイクロ固体推進系です。点火させたい固体ロケットの格子点に着火電流を流して、点火させるわけです。こうすると、弁のリークの問題もなく、推力の制御も自由にできます。

このようにして、開口面の制約をあまり受けたくないようなミッションにおいては、ウェハーサテライトが単独、もしくは編隊を組んでミッションを実行していく事が、将来には実現されるでしょう。今までのロケットや衛星が手工業的に1個1個製造されていたのに対して、マイクロエレクトロニクス、マイクロマシン技術は、バッチ処理によって多数個の製品を一挙に生産してしまいます。これによる衛星コストの低減効果は大きく、また、1個の衛星の故障によっても全システムの健全性があまり損なわれないロバストな宇宙システムにもなります。

(さいとう・ひろぶみ)

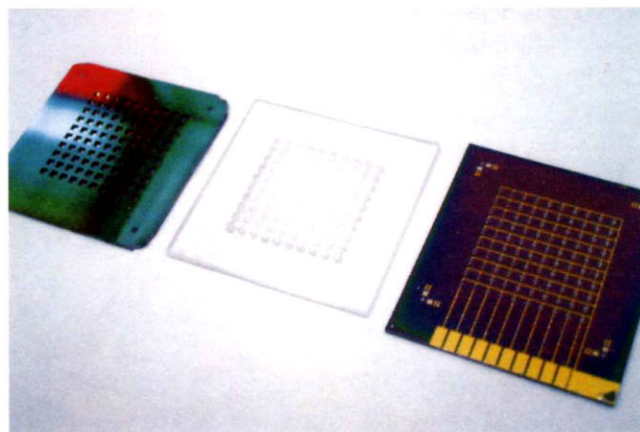


図2 宇宙研の協力で東北大マイクロマシニンググループが試作中の固体マイクロロケットアレイ。概略寸法10mmに10個の微小固体ロケットが配置されている。左から、第1層のロケットノズル、第2層の推進層、第3層の着火制御電子回路。これら3層を層状に固着する。



惑星探査が多くの人々の関心を集めるのは、見たこともない光景が次々と展開され、わくわくするような発見や感動があるからでしょう。「知らないことを知りたい」という好奇心は、誰もがもっているものです。かくいう私も宇宙を探検したい一人ですが、できるだけ楽に探検をしたい。「楽」というと「若者は楽ばかり考えて」と思われるかもしれません。でも、地球上にいて安全に、手軽に、楽しく、宇宙を覗いて観ることができるといういいなあと思います。もちろん宇宙へ飛び出してみたいという気持ちもあることはありますが.....。

さて、将来の惑星探査はどのようになっていくのでしょうか。太陽系の起源と進化を解明するという壮大な目的のために、探査機のリモートセンシングによりさまざまな惑星を広く調べることから探査がはじまりました。そして月・火星を集散的に深く研究する時期が訪れ、また小惑星や彗星など原始天体探査ミッションが注目されています。探査方法もフライバイやオービタによるリモートセンシングから、ペネトレータ、ランダ・ローバによる探査、サンプルリターンと多種多様となっています。

深宇宙探査ミッションを支援する技術の1つとして、ロボティクス技術があります。地上では二足歩行ロボットや学習機能を有するロボット、感情を表現するロボットなどが実現されています。宇宙においても今後ますます進歩して、有能な情報収集能力と判断・意志決定のできる人工知能と探査機能を備えたローバが活躍する日もそんなに遠くないでしょう。また、マイクロナノテクノロジーの進歩により小型軽量のロボットが多数、宇宙へ飛びたっていくことでしょう。そして、将来の夢としてマイロボットによる探査が実現できたらと思います。

マイロボットとは、文字どおり自分のロボットです。自分の思うとおりに動いてくれるロボットです。過酷な惑星環境で自分の代わりに探査をしてくれます。マイロボットは自律的に探査

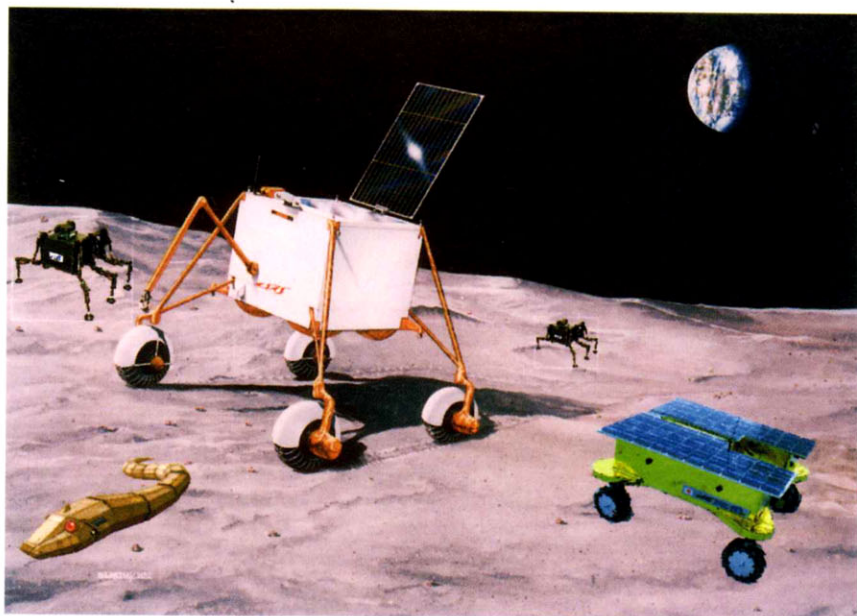
する機能を持っていますが、いつでも、自分の好きな時間に操作することも可能です。そして、ロボットが惑星上で体験したのと同じことを地球上で自分が体験することができます。

マイロボット（マイローバ）の種類は、目的に応じてさまざまなものがあります。自動車感覚で操縦できる車輪型、崖登りやでこぼこしたところでも移動可能な脚型、人間と同じように歩く二足歩行型、クレータの中や中央丘の上まで飛ぶことのできる飛行移動型、小天体など微小重力下で移動するホップ型、地中探査を行うモグラ型、小さい割れ目や穴に入って探査を行う昆虫型などなど。

マイロボットを用いた探査では、地上システムの高度なインテリジェント化が必要となります。使いやすいシステムであることはいうまでもありませんが、操作する人間が、あたかも惑星にいるという感覚を実現することが重要です。マイローバがセンシングした惑星環境をバーチャルリアリティ技術とテレプレゼンス技術を駆使して、臨場感のあるiPSpace (intelligent Planetary Space) を造ることになります。iPSpaceという空間に身をおくと、マイローバが探査している天体に応じて、あるときは火星表面となり、あるときは小惑星表面となります。iPSpaceにおいてセンサグローブとセンサスーツを着装すれば、マイローバを意のままに動かすことができます。通信時間遅れの小さい月や惑星の場合には、例えば、iPSpaceにおいて石をつかもうと動作すると、月面のマイローバがマニピュレータで石をつかみ、つかんだ感覚が地上の操作者にフィードバックされます。石の裏側をみたり、割ったり砕いたりすることも可能です。通信時間遅れの大きい惑星の場合には、探査計画をたてるのに使用し、後に惑星探査を体験できることとなります。

マイローバを用いて、自分の観たいところを積極的に観ることができます。探査シナリオは自分で作ります。あなたも自分の探査ロボットを持ちませんか。

(くぼた・たかし)



マイローバによる惑星探査



宇宙に出る船を作りたいと、昔思っていたが、気がついてみると、いつのまにか、それに近い仕事をしていることに気がついた。この仕事を始める前は、巨大な加速器を使って、素粒子の実験をしていた。素粒子の研究というのは、物質の究極の構成要素を知るところにある。そして、それらを統一的に支配する基本法則をみつけだし、質量の起源まで含めて、この世の中のすべてを記述してしまおうというのが、そのもくろみである。一方で、宇宙の観測の大きな目的の一つは、宇宙のはじまりがどうなっていたかを説明し、宇宙の歴史の流れをつきとめるところにある。両方の分野ともこの世のなりたちを探るという点で、もっとも基本的なものであり、そのめざすところは人間の存在を超えて神秘的ですらある。

最近の研究によれば、ビッグバンの後の宇宙を記述するための処方せんは、素粒子の理論の枠組みの中にあることがわかってきている。こうした考え方は、とても刺激的である。それは、もし、宇宙の理論が、完全に素粒子の理論とつながれば、すべての空間的なスケールで、人間が宇宙（世界）を理解することにつながるからである。現在、われわれが抱えている宇宙での未解決な問題の中にも、銀河団中のダークマターや、超高エネルギーの宇宙線など、素粒子理論に対してインパクトを与えると考えられるものが多い。また、遠方を見ていくと、ビッグバンの名残りの素粒子の痕跡が見えてくるかもしれない。地上での巨大加速器が限界に達しているように思える現状では、宇宙にこそ、素粒子の謎を解く鍵があると思えるのである。

宇宙での観測は、まだ始まったばかりであり、地上で行う実験に比べて、まだまだ規模は小さい。もし、宇宙でも、加速器実験で使われているような、数十トン、数十メートル四方の巨大な観測装置を自在に操ることができるになれば、これまでとは違ったことができるかもしれない。また、太陽系全域に衛星をばらまいて、お互いの同期をとった観測ができたりするとおもしろい。

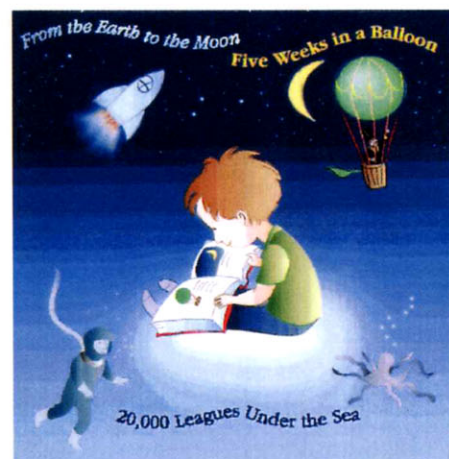
その際、X線やガンマ線の望遠鏡を打ち上げて、より遠くを、そしてより多くの天体をみるというのもよいが、案外、宇宙に加速器を作るというのもおもしろいかもしれない。地上に作っているうちはせいぜい山

の手線の大きさ位のものしかできない加速器も、小型衛星につなぐ、磁石を沢山地球のまわりにとばせば超大型加速器ができるという話もあろう。細く絞り込んだビームを散らさないように沢山のマグネット衛星を制御して、粒子を加速するのは大変だと思うが、やればできるのだろうか？

天体観測のように、遠くにいてものごとを観測するというのは、つねに歯がゆいものである。地球で望遠鏡を見ていたころの惑星の知識と実際に探査機をとばす事ができるようになった時に得ることができるようになった知識とは、質的にまったく異なる。ブラックホールとか中性子星というような極限状況を研究するのはよいが、やじ馬根性がおう盛な者としては、なんとか、実際にそれを自分で作ってみるか、それとも現場にでかけてみたいと思うが、無理なものはなしなのだろうか？ 宇宙の初期に沢山できたといわれるマイクロブラックホールは、案外近くにもあるといわれているのだが。こうした事がかなわなければ、せめてブラックホールの事象の地平線を見てみたいと思う。これは、X線干渉計ができてマイクロ秒というようなイメージ分解能をもつことができれば、どうも実現可能なようである。

科学の大発展というのは、誰も予想もしていなかったような事からはじまることが多いようである。たとえば、最初からノーベル賞をとるつもりで実験をはじめて、本当にとってしまったのは、ヨーロッパのCERN研究所に大きな加速器を作り、そこに反陽子と陽子をまわして衝突させ、Z粒子やW粒子を発見したカール・ルビアのチーム位で、他は、別の目的ではじめたプロジェクトを遂行するために、道なき道をやみくもに進んでいたら、ひょんな所にもっと大きなお宝が転がっていたというのがほとんどなのではないだろうか？ これからも、その傾向は、変わるとは思えないが、大切な点は、道なき道というのは、整備されてしまった所にはないことで、これまで誰も歩いたことのない所に踏み込まないといけないうことである。だから、新世紀の科学の興奮は、これまでによく知られたような名前の分野ではなくて、今は全く予想もつかないような名前の分野から生まれてくるはずである。

(たかはし・ただゆき)



提供：Chandra Science Center



「大きな望遠鏡が欲しい」。これは、天文学者の永遠の夢です。どんなに技術が進もうとも、天体からの微弱な光を検出するためには、光を多く集める「大きな望遠鏡」が必要なのです。

ところが、私の専門である赤外線天文学では、「大きな望遠鏡」を衛星に搭載することが、大変に困難でした。赤外線天文衛星では、高感度の観測を行うために、 -270°C 前後という極低温まで観測機を冷却します。その冷却には、今までは液体ヘリウムが用いられてきました。しかしこの液体ヘリウムが曲者なのです。その保持のために、巨大なタンクと重い真空容器が必要になるのです。そのため、衛星の限られた重量のもとでは、比較的小口径の望遠鏡しか搭載できなくなってしまうのです（図1の左）。しかも、液体ヘリウムが全て蒸発してしまえば、もはや観測を続けることができなくなってしまいます。

なんとか、「大きな望遠鏡」を衛星に搭載できないものでしょうか。

そこで考えました。液体ヘリウムを搭載しなければ良いのです。液体ヘリウムがなければ、巨大なタンクも無骨で重い真空容器も不要になり、衛星は画期的に軽量化されるはずです。逆に言えば、衛星全体の重量が同じならば、従来よりもはるかに大口径の望遠鏡の搭載が可能になるはずです（図1の右図）。

しかし、それでは、どうやって液体ヘリウムなしで望遠鏡を冷却するのでしょうか。

まずは、放射冷却の徹底的な活用です。そのために、地球周回衛星とすることは止め、放射冷却がより有効に働く軌道を選ぶこととしました。具体的には図2に示すよ

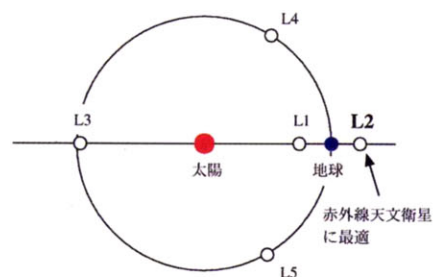


図2 太陽・地球系が作る5つのラグランジュ点。このうちL2が赤外線天文衛星に最も適した軌道。

うな「太陽－地球系が作るラグランジュ点の一つL2」に衛星を投入することを考えました。L2では、地球と太陽がほぼ同じ方向に見え、お互いの位置関係が変わりません。したがって、太陽、地球からの熱放射を完全に遮ることが可能になります。残るは -270°C の極低温の宇宙のみです。放射冷却は非常に有効に働くはずですが。

ただし、放射冷却は低温ほど効率が悪くなります。したがって、本当の極低温を達成しようとする、放射冷却だけでは不十分です。それに加えてもう「一押し」が必要です。そこで、その「一押し」として機械式の冷凍機を採用することを考えました。簡単なモデル計算をしてみると、冷凍機に要求される能力は、放射冷却さえ有効に働いていれば、かなり小さな値に抑えられることもわかりました。

このデザインを採用すれば、液体ヘリウムなしの冷却望遠鏡が実現できます。タンクも真空容器も不要となりますから、画期的な大口径の望遠鏡の搭載が可能になるはずです。例えば、夢は大きく、H-IIAロケットをまるごと一本使うとすると、上記のデザインを採用すれば、口径3.5mという画期的な大口径（ちなみにASTRO-Fは口径70cm）の望遠鏡の搭載が可能になります（図3）。この望遠鏡を約 -270°C の極低温に冷却するために、機械式冷凍機に要求されるのは、わずか30mWの冷却能力。十分に実現可能な値です。液体ヘリウムを搭載していませんから、機械式冷凍機が動いている限りは、いつまでも観測を続けることができます。

このミッションが実現すれば、従来とは全く質の異なる観測が可能になります。宇宙で最も初期の星の光もとらえることも可能となり、宇宙の歴史の解明は大いに進むことでしょう。（なかがわ・たかお）

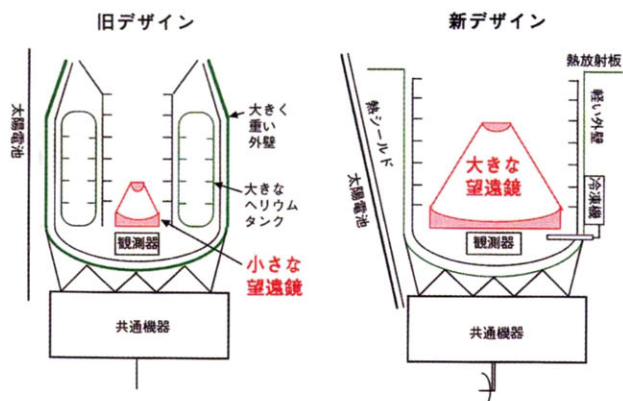


図1 （左）従来の赤外線天文衛星のデザイン。（右）新しい赤外線天文衛星のデザイン。

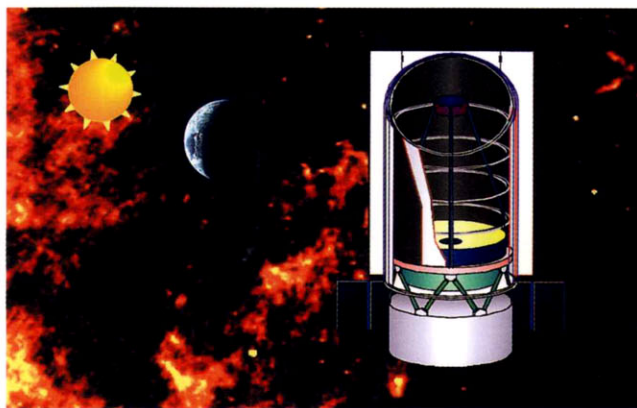


図3 新しい赤外線望遠鏡の概念図。背景に見えているのは、太陽と地球。



「♪しゃっらら・しゃっらら・しゃっららららら・しゃっらららららら。21世紀の夜明けは近い。これから、31年経てば、この世は21世紀。火星に金星、遠くの星に、やっぱり出かけているかしら。しゃらら・しゃらら・……」というの、1970年に流行った（と思われる）歌です（歌の名前は覚えていません）。（余談ですが、私の田舎ではこの曲を盆踊りの曲として使っていた為、毎年聞いておりました。）

30年前といえば、アポロ計画で人類が月に降り立った頃ですから、あの頃に21世紀を想像すると、今ごろは一般人の宇宙旅行が実現していそうです。

私も小さい頃から、宇宙旅行を夢見て現在に至っております。美しい天体写真、アポロ計画の月と地球の映像、ボイジャー計画の美しい映像、最近ではハッブル望遠鏡の驚くべき映像、……と昔からそういった写真を見るたび、「そこに行って、自分の目で見て感じてみたい」と思ってきました。現実の難しさを知った今も変わりありません。写真にあるような景色が視界一杯に広がったら、どんなにすばらしいことでしょう。

宇宙飛行士になれたらなってみてみたいですが、現在の飛行機のように気軽に宇宙へ行けたらいいですね。極軌道2泊とか。地球を外から観ることもすばらしいでしょうねえ、私は他の天体へも行ってみたい。月旅行8泊とか。豪華客船にのって、3ヶ月くらいの旅程で太陽系1周なんていうのは「空想」でしょうか。速い宇宙船も作ればよいと思いますが、「光の壁」は「音の壁」とは違って今のところ物理学的に越えられない壁のようです。だとしたら、光速に近い速度を出せる宇宙船を作りたい。もしそういった、光速近くで飛翔する宇宙船を作ることができたら、その中からはどういった景色が見えるのでしょうか。星が進行

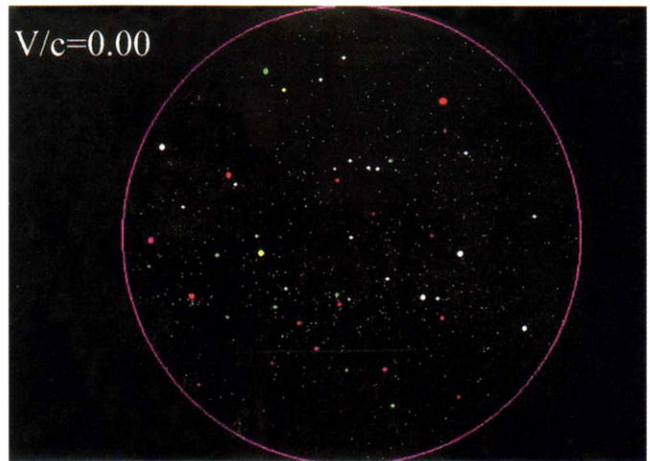


図1 慣性空間に静止しているときに宇宙船から見える星ぼし（北極星の方向）

方向に集まって前方に虹を作るといわれていますが、そういう現象を観てみたいです。それくらい速い乗り物が出来れば、前述の太陽系1周もできますね。

遠くにある星は望遠鏡で観るしかないのでしょうか。今よりもっと高性能な望遠鏡（いろんな波長の）を宇宙に上げて、もっとすばらしい映像と宇宙の神秘を見てみたいと思います。想像できないようなとてもすばらしい映像が見られるのではないのでしょうか。

自分の目で観ることがかなわないなら、せめて探査機を飛ばしたいですね。外惑星にも探査機を送りたい。探査機を自由に操って、太陽系惑星を探検してみたいですね。

「夢」ということで、現実にとらわれないで取り留めなく書かせていただきました。ほとんど「空想」ですが、ご容赦ください。「夢」が現実となるよう、これから頑張りたいと思います。

（おがわ・ひろゆき）

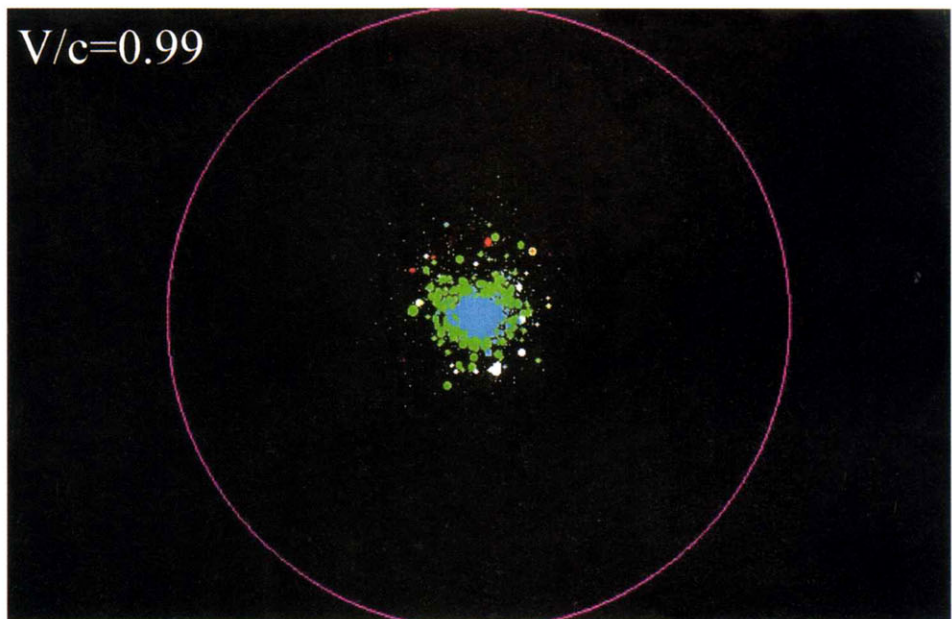


図2 光速の99%で航行している宇宙船から進行方向前方を見たときに見える星ぼし（星虹）。亜光速で宇宙を航行するときには、光行差のために星の見かけの位置が宇宙船の進行方向前方へ移動集中し、またドップラー偏移のため星のスペクトルがずれて星の“色”が変化することにより、宇宙船からは、進行方向を中心としたリング状の星の虹が見えると考えられています。実際はもっと綺麗で感動的だと思います。



磁気圏物理学は、宇宙を研究対象にしているにも関わらず、夢を語るができない。この学問は宇宙の誕生を追求しているわけではないし、宇宙の終焉を予測するものでもない。要するに、万人の知的欲求を満たすには至らない学問なのである。さらに悪く言えば、この学問の求めるところは万人には理解されないため、隠微なものを対象にすることが多い。例えば、私は地球型惑星の大気変遷と磁気圏の関係について興味を持ち研究をしているが、宇宙研の一般公開の場でその話をしたら、「その研究はどこが面白いのですか？何の役にたつのですか？」と質問されたことがある。まるで、話の面白さが伝わらないアメリカン冗句を言ってしまったようで、非常にくやしい思いをした。

しかし21世紀の中ごろには、磁気圏物理学は人間の日常生活に非常に密着した学問になる。ありきたりの話かもしれないが、気軽に宇宙に出るのはいつだろうか？旅行代理店が、「銀河鉄道で行く火星20日間の旅」とかいう企画をいつたてるだろうか。このように人間が宇宙を旅行する場合には、磁気圏物理学を知らないととんでもないことになる。人間は宇宙服を着て、酸素ボンベを背負っても、宇宙や他の惑星では長く生活できないのだ。磁気圏は、太陽や宇宙の彼方からやってくる高エネルギー粒子から我々を守ってくれているのである。これが、隠微な学問“磁気圏物理学”が21世紀に何を人類にもたらしてくれるかという問いへの答えだと思う。

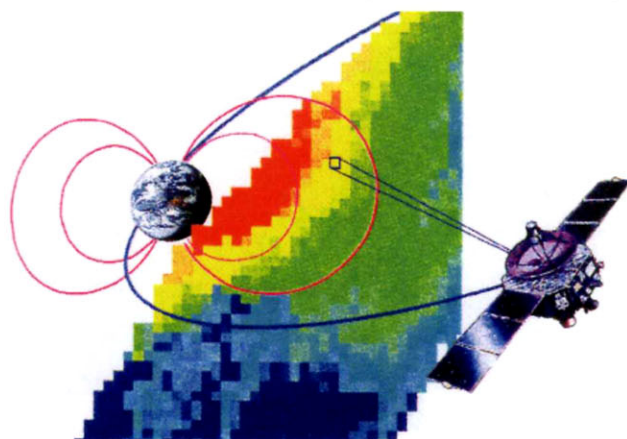
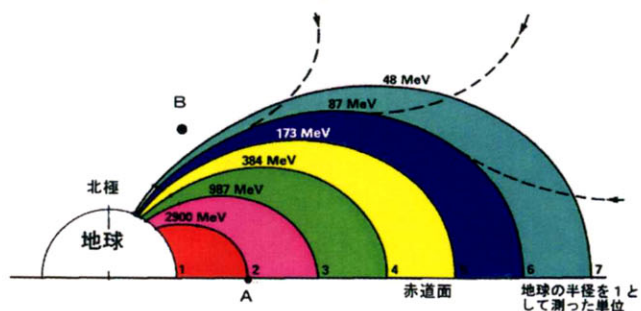
最近、宇宙を旅行すると、どの程度の被爆が予想されるかを明らかにした研究が発表された。人間が地球上で暮らしている限りはせいぜい0.5cSv程度の被爆しか受けない。宇宙が人体に及ぼす影響よりも、人為的な被爆（X線撮影）の方が大きい。しかし宇宙を一年間旅行した場合、最低でも30cSvの被爆が予想され、さ

らに困ったことに、旅行中に一度大きな太陽フレアがおきたら、500cSvを越える被爆の心配がある。（この場合、30日以内に旅行者の半数が死ぬらしい。）おそらく、私たちの記憶にはミールの乗組員の船外活動が残っているため、この予測をにわかには信じられないかもしれない。この誤解の原因は、船外活動が短時間であったこととシャトルの軌道や時期が磁気圏物理を基礎に注意深く計画されていたことがほとんど報道されなかったことにある。下図左には、磁気圏内部に侵入する銀河宇宙線（ここでは水素イオンを仮定）の最低エネルギーを示した。この絵からは、地球近傍をちょこっと旅行する場合にでも、旅行危険区域があるということが分かる。例えば、赤道面内で地球半径2倍の地点を通る場合（図中のA地点）、2000MeV以上の非常に限られた粒子しか磁気圏の中には侵入できないことが分かる。2000MeV以下の粒子は磁気圏がはじいてくれるのである。一方、多少極方向に旅行した場合（B地点）、50MeVという比較的低いエネルギーの粒子でも宇宙船まで到達してしまうのだ。つまり、磁気圏はわれわれ宇宙旅行者を守ってくれないのである。

ここで一つ注意して頂きたいことは、この図に描いた宇宙地図は、平均的な磁気圏の構造を仮定した場合であり、実際の磁気圏は時間・空間変動に非常に富んでいる。つまり、この図を万事信じて旅行をしてはいけないのだ。しかし、本当に宇宙旅行を可能にするのであれば、まずこの点を克服する必要がある。そうは言うものの、対宇宙災害の策を十分に講じれるほど、まだ磁気圏物理学は進歩していない。極論すれば、現在の磁気圏物理の研究者はようやく平均的な描像（例えば下図左）を得ることができたが、稀な現象や突発的な現象を理解・予測するにはまだまだ至っていないのである。磁気圏物理学のさらなる発展が、宇宙旅行をできるか否かを決めると私は信じている。

最後に、下図は火星探査機のぞみに搭載された極端紫外光スキャナが地球の磁気圏の中でも最も地球に近い部分にあるプラズマ圏という構造を世界で初めて映像にしたものである。この絵は人体に重大な危険を及ぼす高エネルギーイオンを可視化したものではないが、今後観測技術が発展することにより、エネルギー別プラズマ画像を得られる日がやってくるであろう。このように地球近傍の様子を時々刻々とモニタする技術は、われわれ磁気圏物理学者が確立したものである。

（よしかわ・いちろう）





ぴいー、ぴいー、ぴいー。やけにけたたましい鳥の声で目が覚める。また寝過ぎたみたいだ。こんな朝は研究所に行くのは止めて家で仕事をしよう。半分だけ起き出した脳みそでコンピューターに呼び掛ける。「宇宙研につないでメール読んで。仕事関係だけ選んで。あっ、全部日本語でね。」

「・・・声が登録されたものと違うと言って接続を拒否されました。」

「うー、寝起きで布団に潜ってちゃだめか。顔の画像も送れないし。えいっ。これでどう？」

「はいOKです。まず緊急のメールはありません。」

「はー、よかった。」

「赤外スペース干渉計プラネットウォッチャーの運用チームからの連絡です。3ヶ月前に発見されたα Uso星系の6番目の小惑星ですが、22年後に第2惑星に衝突する確率が高いそうです。」

「ウォッチャーって、今月の運用責任者は山村君だけ？」

「そうです。」

「じゃ、がセネタじゃないんだな。第2惑星は、もしかしたら結構高度な文明があるんじゃないかって言われてたけど、あんな大きな小惑星がぶつかったら文明どころか惑星自身だってどうなるかわかんないね。」

「日本中から隣人を救えっていうメールが殺到しているそうです。」

「えっ、的川先生もう発表しちゃったの？」

「はい、約30分前にネットに。開かれた研究所ですから。」

「あ、そう。でも隣人を救えったって、光子ロケットなんてないんだし、どうやって助けるんだ？」

「私に聞かないでください。」

「わるい。まあ今まで見つかった他の星は、初期の生命の徴候があるっていうだけか、そうじゃなきゃ文明が減った後じゃないか、っていうのばかりだったから、期待するのもわかるけど。人類って寂しがり屋なんだよねえ。しかしもし何か助ける手段があったとしても、こんな他の惑星系にまで人類が干渉して良いのかなあ。科学技術に思い上がりで傲慢は禁物って、20世紀に身にしみたんじゃなかったっけ？」

「いちいち私に同意を求めないようにして下さい。」

「あーそっか、単なる端末なんだよな。だけどけっこう自然な受け答えするから、つい人間みたいな気がして。」

「わかれば良いです。」

「ふん。でもやっぱり自然に干渉し過ぎちゃいけないと思うなあ。まあ宇宙全体から見れば、人類が無茶だろうが、惑星が減りようが、ちっぽけなことなんだろうけど。」

「たった今、スペースガード協会の吉川先生からのニュースが入りました。我々の太陽系の小惑星2038XXが、突然消えたそうです。」

「そのうち地球にぶつかりそうだから、どうやって軌道を変えようかって議論のあったやつ？」

「そうです。」

「消えたって、ほんとに消えたの？」

「そうです。跡形もなく、だそうです。」

「おい、それって我々の他にも寂しがり屋がいたってこと？」

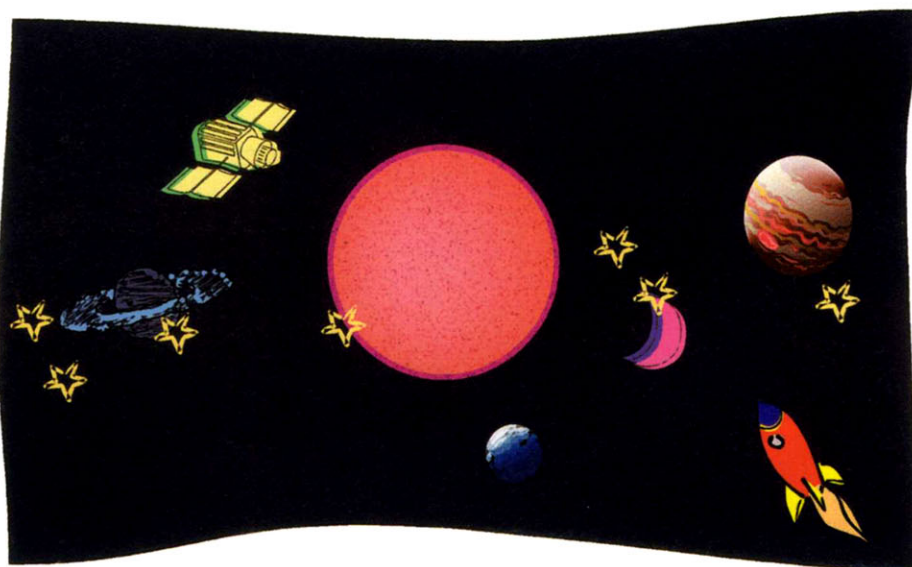
「お答えできません。」

「はい、はい。」

ん？ なんだこりゃ。

夢？ はあー、もう一回寝よう。

(むらかみ・ひろし)





いったい小惑星というのはいくつ存在しているのでしょうか。そんな疑問が、最近、あらためて強いものになってきました。それは、増え続けている小惑星の発見に益々拍車がかかってきたからです。

20世紀末の時点で、正確に軌道が分かって確定番号が付いた小惑星が約2万個。軌道がそれなりの精度で算出されたものを含めると、ついに10万個を超えました。さらに、観測されただけで軌道が計算されていないものがこの何倍もあります。また、小惑星が存在する領域も、小惑星帯に限るものではありません。水星軌道の内側から冥王星軌道のはるか外側まで、太陽系全体に広がっているのです。

ところが、探査機がそばまで行った小惑星は、まだ片手で数えられるくらい。まだまだ未知の世界が広がっているといっているでしょう。

さて、時は変わって西暦20XX年。ついに、高度な人工頭脳を持ったロボット探査機が打ち上げられました。このロボット探査機は、自動的に小惑星を次々と訪れて探査をするように設計されています。1つの小惑星に到着すると、まずその周りから観測を行い、次に特殊な機能を持ったローバーを降ろします。表面の詳細な探査はそのローバーに任せて、探査機自体は小惑星の軌道運動を利用しながら適当なタイミングで次の探査目標へと飛び立っていくのです。

西暦20YY年には、このようなロボット探査機が多数太陽系内を飛び交うようになり、人類は地上にいながらにして、次々と小惑星のデータを得るようになりました。この頃には、IMPACTSと呼ばれる惑星間空間天体追跡システム（Interplanetary Moon, Planet, Asteroid, Comet Tracking System）も稼働し始めています。これは、20世紀末に開発されたGPSシステムを太陽系空間に拡張したようなもので、このシステムによって太陽系内の天体や探査機の追跡が高精度かつ効率的に行われるようになりました。

ロボット探査機から送られてくる映像や各種データは、小惑星なんかすべて同じ石ころのようなもの、という先入観を完全に吹き飛ばすようなものでした。地球上の山が一つ一つ異なるように、小惑星もそれぞれ個性を持っていたのです。そして、多数の小惑星のデー

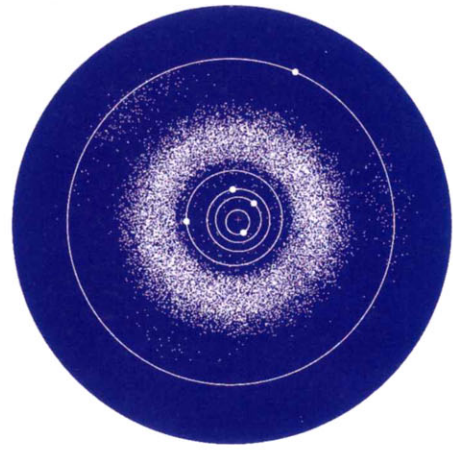


図1 20世紀末の時点で確定番号が付いた約2万個の小惑星の2001年1月1日における位置(軌道は内側から、水星・金星・地球・火星・木星)

タを総合的に解析し相互に関連することを結びつけることで、原始太陽系の真の姿に迫ることももう間近になってきました・・・

こんなことが実現することを夢見ながら、20世紀から21世紀への時の移り変わりを過ごしています。実際には、技術的な難問が沢山あることでしょう。でも、不可能であるとあきらめずに、いつの日にか現実のものになることを期待したいと思います。

夢はさらに続きます。西暦20ZZ年のとある日の夜。街の明かりは消されて、人々は夜空をじっと見つめていました。すると、星空の中にぼつりぼつりと新たな星が輝き出したかと思うと、瞬く間にその数が増えて、あっと言う間に天の川のような光の帯が夜空にかけられました。そうです。これが小惑星に降ろされたローバーのもう一つのミッションなのです。ある時刻に地球に光が到達するように、各ローバーからレーザー光線が発射されたのでした。人々は、このときに初めて多数の小惑星の存在というものを肉眼で実感したのです。小惑星からの光の帯の、何と美しいこと・・・

(よしかわ・まこと)

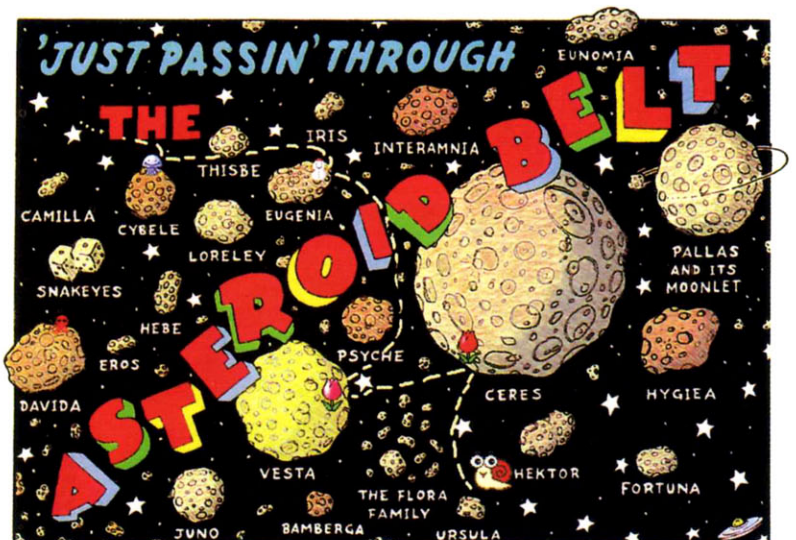
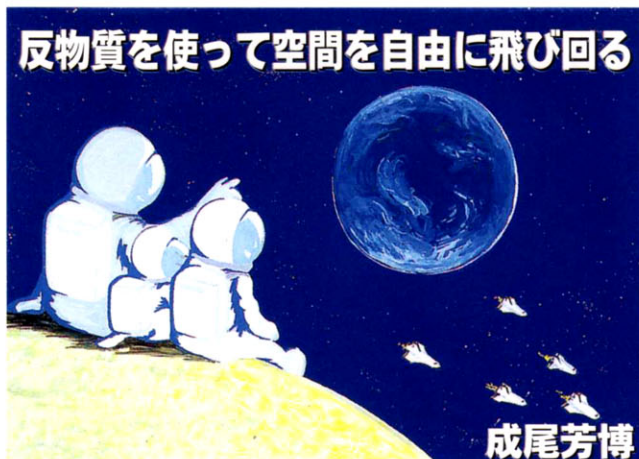


図2 ロボット探査機による小惑星巡り(友人から送られた絵はがきを筆者が一部改変した: 原画はPaul McGehee氏。)



音もなく浮き上がり、一度空中に静止したかと思うとスッと彼方に飛び去る。反物質が手軽に手に入らなれば、そんなUFOまがいの飛び方をする飛翔体が実現するかもしれない。

地球周辺の空間の場にある物体は、地球の中心方向に向かって移動する。これは地球周辺の空間が地球の質量によって曲げられているからで、決して地球自体による作用ではない。言い換えれば、そこに地球がなくても、同様な空間の曲がりの場にある物体は全く同じように移動する。このような空間の曲がりを人工的に作り出し、空間に発生する歪み力を飛翔体の推進力として利用しようというのが「空間駆動推進」の考え方である。

この推進方式は、作動物質を噴射してその反作用によって飛行する従来の推進方式とは根本的に異なるため、「飛翔体が慣性力を受けることはない」という特筆すべき特徴を有している。このため、前述のようなUFOまがいの飛行ができる他、搭乗者に負担をかけることなく、準光速を短時間で達成できる等、幾つかの優れた特徴を持つ。

「空間駆動推進」に関する最初の理論的解析は、日本電気の南善成によって1986年に行われた。南は強力な磁気エネルギーによって空間の曲率成分を制御することが可能であると提唱し、「空間駆動型推進装置」の原理を発表した。この装置は1999年6月に特許を取得している。特許公報によれば、機体長（直径）5mの飛翔体に1Gの加速度を与えるには、曲げる空間領域の長さを5m、磁場800億テスラ、推進パルス繰返し周波数4.9MHzとして、1秒当たり4.9TWのエネルギーが必要としている。

800億テスラという磁場の強さもさることながら、4.9TW（49億キロワット）といえば、現在の世界の総発電能力のおよそ3倍に相当する莫大な電力である。1機の飛翔体に投入するにはあまりに大きなエネルギーであり、実現するのは到底不可能なようにも思える。しかし、（少なくとも理論上は）それを可能にしてくれるのが、前述の反物質である。

反物質は、通常の物質と衝突すると激しく反応して両者の質量が100%エネルギーに変わる大爆発を起こ

す。物質が消えてエネルギーだけになるこの現象を素粒子物理学では「対消滅」といい、有名なアインシュタインの公式 $E=mc^2$ によってエネルギーが解放される。

「対消滅」による単位質量当たりの発生エネルギーは、核分裂反応の1100倍、核融合反応（重水素－ヘリウム3）の二百数十倍、化学ロケットの推進剤として用いられる水素－酸素の燃焼反応と比べると、なんと約70億倍にも達する。前述の4.9TWの電力を1秒間維持するために必要な反物質の量は、僅かに27mgである。

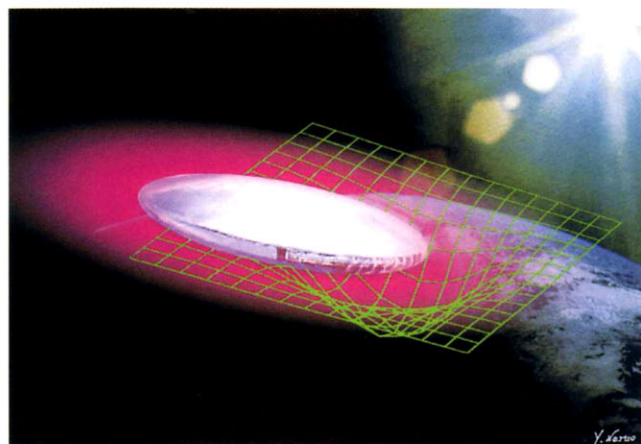
しかし、である。残念なことに反物質は自然界にはほとんど存在しない。宇宙が進化する過程でどこかに消えてしまったのである。ただ、粒子加速器を使えば現在の技術でも人工的に作り出すことは可能であり、保存も可能なことが分かっている。

1996年に欧州原子核研究機構（CERN）の反陽子蓄積リングを利用して初めて反水素原子の合成に成功したドイツの研究者チームによれば、製造効率は今のところ1億分の1パーセントであるという。これは全世界の電力（総発電量13204TWh：1995年レベル）を利用しても、1年間で作り出すことができる反物質の量は 5.3×10^{-5} グラムであることを意味する。現状はともエネルギー源として期待できる代物ではない。

ともあれ、我々の反物質を作る技術はまだようやく緒についたばかりである。2000年8月にはCERNの反陽子減速器が完成し、反物質工場として稼働が開始されたという。日本でも高エネルギー加速器研究機構（KEK）が「Bファクトリー」と呼ばれる巨大な粒子加速器を使って粒子と反粒子の違いを明らかにするための研究を行っている。未来には大いに期待を持ちたい。

ニュートン力学が発表されたのが1687年、量子力学が1900年、特殊相対性理論が1905年、そして一般相対性理論が1915年である。ビッグバン以降の100億年と比較すれば、人類の歴史などほんの一瞬のできごとである。新しい理論が発見されて、反物質の大量生産が可能になれば、人類はエネルギー問題からも解放され、宇宙空間を自在に飛び回ることが可能になるだろう。

（なるお・よしひろ）





新年あけましておめでとうございます。子供のころには遠い先のことだった21世紀をいよいよ迎え、さて今世紀、宇宙にはどんなことが待っているのでしょうか？ お屠蘇でぼんやりした頭でつらつら想像してみましょう。まずは身近なところから・・・

お天道様を気にしながら

人類は地球を離れて月や宇宙ステーションで活動するようになります。そこでは無重力環境を利用した新しい物質の合成や、天文観測用の巨大望遠鏡の組立も行われることでしょう。ごく普通の人々が大気圏の外に出、宇宙を職場とし、またそこで暮らすはずです。

宇宙に出た人類にとって、太陽（右上の写真）の活動は、これまで以上に重要な意味を持つことでしょう。太陽は目に見える光だけでなく、X線やγ線、また電子や陽子などを宇宙空間にまき散らしています（写真下）。それらは地球の大気や磁場にさえぎられて地表にはほとんど届きませんが、宇宙空間では、放射線として人体に有害な影響を与えたり、人工衛星の半導体を壊したりします。太陽の活動と、地球のまわりへの影響を予測する、宇宙天気予報の試みはすでに始まっていますが、21世紀には宇宙利用の本格化とともに、この宇宙天気予報もごく身近なものになるでしょう。気象衛星が地球の表面をにらんでいるのと同じように、何機もの宇宙気象衛星が、太陽や地球磁気圏、それに太陽・地球間を四六時中モニターし、お茶の間に予報を届ける。「明日は絶好の船外活動日和です。」そう遠くないうちにこんな予報が聞けるかも知れません。

そして、人類が地球から宇宙へと飛び出していく一



軟X線でみた太陽の姿。科学衛星「ようこう」に搭載した軟X線望遠鏡による観測。

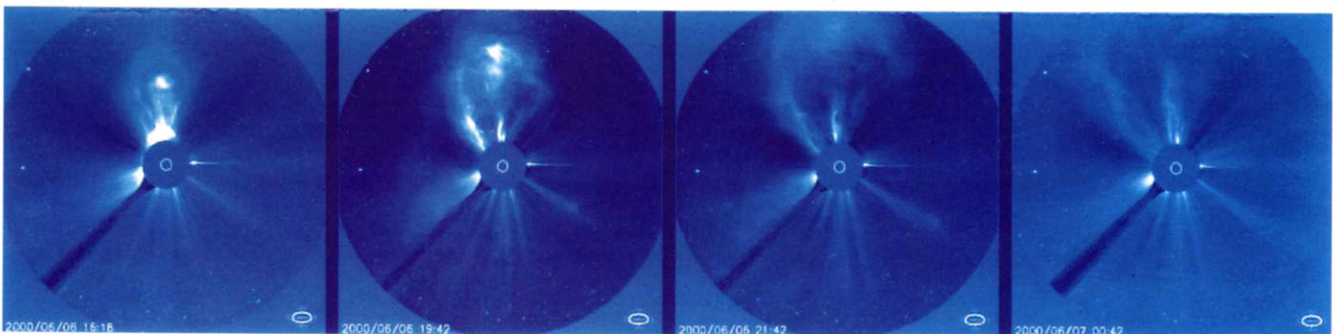
方で、宇宙での「仲間探し」も待っています。

未知の生命を求めて

地球以外に生命は存在するのか？——これはYESという結果が出るまで決して片付かない問いですが、21世紀はこの問いに本格的に取り組む世紀となるでしょう。われわれの太陽系以外にも惑星のあることが、詳しい天文観測により近年わかってきました。太陽系外の惑星は、今後どんどん見つかるでしょうから、それらの惑星に探査機を送ることで、生命の存在を調べます。人間が直接行かなくても、遠隔操作やロボット制御技術の発達により、探査が行なえることでしょう。あわよくば知的な生命体と出会えるかも知れません。

その知的生命体—宇宙人—はどんな姿をしているのでしょうか。人間に似た姿でしょうか、それとも前世紀に「火星人」として描かれた、タコのような姿でしょうか・・・見当もつきませんね。しかし、どんな格好をしていても、もし彼らが「自然」というものを認識していて、自然の示す性質や法則を知ったり知ろうとしているなら、彼らも私たちが「科学」と呼んでいるものに対応するものを持っているはずです。そして、彼らの科学の方法と内容は、私たちの科学と驚くほど似ているのだと思います。いつかそんな宇宙人と出くわして、彼らの科学がどんなものなのか見てみたい。これが私の21（+α）世紀の夢です。

・・・ところで宇宙人も正月にはお屠蘇で酔っぱらっているのでしょうか？ （さかお・たろう）



コロナ物質を放出する太陽（中心の白い円）の連続写真。太陽探査機SOHOのコロナ観測装置LASCOによる観測。地球方向（手前側）にコロナ物質が放出されると、大量の荷電粒子が地球に押し寄せてきます。（SOHO/LASCOチーム；NASA・ESA提供）

— 初夢：編集後記 —

21世紀に入りたてのころ、日本では大幅な省庁再編後の新体制がスタートしました。その時、文部省と科学技術庁が合体して文部科学省ができたのです。当時日本の宇宙開発はちょっと調子が悪くて、マスコミもこぞって「日本の宇宙開発の閉塞期」と呼んでいたものです。なにしろ打上げが失敗すればセンセーショナルに書き立てる割には、たとえばノルウェーのスピッツベルゲンでSS-520という2段式ロケットの打上げに成功した時なんかには、マスコミ各紙はこぞってダンマリを決め込むという始末でしたから、ロケットの現場も意気の上がないことと言ったらなかったのです。

でも20世紀の末の数年間、人々と宇宙科学研究所の結びつきによって、いいニュースもありました。内之浦からM-Vロケットで打ち上げられた日本初の火星探査機「のぞみ」を準備していた1998年7月には、「あなたの名前を火星へ」というキャンペーンを張りました。「はがきに名前を書いて宇宙研に送ってもらえれば、その名前をすべて（縮小はするものの）アルミの板に焼き付けて探査機に搭載して火星まで届けます」って寸法でした。

始めはね、5000人か1万人くらいの人が名前を寄せるかなって思ってたんですが、フタを開けたら、もうドシドシ来ちゃって、ついに27万人もの人の名前を運ぶことになったんです。おまけにその1枚1枚のはがきの余白には、書ききれないほど感動的なメッセージがたくさん添えられていたんです。

当時の宇宙科学研究所では「宇宙学校」って催しをやっていた。それに参加した子どもたちの中から、不登校を返上して元気に小学校に通い始めた子が出たりして、宇宙と子どもたちの心との結びつきは、実践的に証明されつつあったものです。

21世紀に入ると、宇宙の科学は怒涛のごとく宇宙の謎に挑戦して華々しい成果を披露し、「理科離れ」が激しい勢いで進行していた日本

の子どもたちの心に大きな希望の灯をともしようになりました。それは一つには、新しい輸送機が完成して東京ーロサンゼルスも大阪ーパリも2時間で結ばれるようになった結果、宇宙が人々にとってとても日常的な世界になったという事情があり、他方で、20世紀にはどちらかと言えば「閉鎖的に」研究を続けていた研究者たちの側でも、21世紀になると、自分たちの研究を支えているのが、ごく普通の人たちの払っている税金であることを深く自覚するようになり、人々が宇宙科学の成果を楽しむことができるよう、大いに気を配るようになったという事情も出来たからでしょう。

その先駆けとなったISASニュースの2001年新年号の「初夢大特集」を、私は今懐かしく思い出しているところです。そう言えば、あのニュースのどこかに「白魚のような指」という表現が出てきたのですが、20人あまりいる筆者の指をどんなに探しても、そんなものは見つからなかったんです。不思議なこともあるもんです。

それから、あの特集号のそれぞれのページのタイトルバックに使われた可愛い絵は、当時「宇宙の日」絵画コンクールで入賞した子どもたちの作品ばかりだったんです。下にその可愛いイラストレーターたちの名前と当時の学校・学年を紹介しておきますが、その中には、その後宇宙科学者や宇宙飛行士になった子どもたちもいるんですよ。さて、それは誰でしょう？

(まとかわ・やすのり)

ページ	都道府県	学 校 名	学年	作 者	年度
2	愛 知 県	名古屋市立守山中学校	2年	落合 香奈	(1997)
3	北 海 道	札幌市立米里中学校	1年	栢谷さやか	(1997)
4	宮 城 県	角田市立角田小学校	6年	金子 晃伸	(1997)
5	岐 阜 県	岐阜市立長良小学校	5年	風間 勇樹	(1996)
6	福 岡 県	北九州市私立明治学園中学校	1年	大西 幸子	(1998)
7	群 馬 県	館林市立第一小学校	1年	矢崎 和	(1995)
8	青 森 県	柏村立柏小学校	2年	加藤 雄太	(1995)
9	北 海 道	室蘭市立御前水中学校	3年	斎藤 絢子	(1999)
10	長 崎 県	佐世保市立戸尾小学校	1年	金子 和代	(1998)
12	青 森 県	八戸市立小中野中学校	3年	林 由佳	(2000)
13	愛 知 県	名古屋市立名城小学校	2年	塩田 宝	(1998)
14	岡 山 県	岡山市立西小学校	1年	春木 奎	(1996)
15	東 京 都	武蔵野市立第五小学校	6年	大森 廉	(1998)
16	青 森 県	八戸市立明治小学校	1年	小原 勇貴	(1999)
17	東 京 都	狛江市立東京韓国学校初等部	3年	高橋 太賀	(1999)
18	愛 知 県	半田市立雁宿小学校	5年	松井 孝明	(1995)
19	鹿 児 島 県	財部町立南中学校	1年	樺木野 愛	(1999)
20	兵 庫 県	姫路市立大津茂小学校	4年	田中栄理奈	(1996)
21	東 京 都	八王子市立館中学校	2年	小石 可絵	(1998)
22	北 海 道	旭川市立緑新小学校	5年	森 明日樹	(1997)
23	埼 玉 県	浦和市立大原中学校	3年	並木 紀子	(1998)

ISASニュース

No.238 2001.1

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 042-759-8009

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>)。