



宇宙科学研究所

2003.9 No.270



▲水面に浮かぶアマミアオガエルの雄。指先の吸盤でも分かるように、樹上棲で田の畦などの水面より上の部位に泡状の卵塊を生む。奄美大島などに棲息。(本文記事参照)

## 〈宇宙科学最前線〉

# 宇宙に生命を探し 生命に宇宙を見る —宇宙生物科学の課題—

システム研究系 山下雅道

今後何年間にノーベル賞をいくつ日本からといった、学術について数量的な目標の設定や成果の評価が跳梁跋扈する世の中を憂いているというのに、のっけから数字を挙げるのははばかれるが、科学の広い分野を守護範囲とする「Science」と「nature」両誌の表紙の絵の分野を、それぞれ最近の60号（およそ1年分）について指を折って数えてみた。表紙の絵の数で軽重を量るのは、漫画本にしがみつくと子供に字本を読めと声を荒げる自らの口跡と不整合であり、幼児性とのそしりは免れないが、数えた結果は、60%が生物、宇宙・惑星・地球が23%、物性・化学・材料をまとめると9%、基礎物理が4%であった。宇宙生物科学は、生物と宇宙・惑星・地球の双方にかかわる分野であり、その重要性は表紙の絵でも分かると主張したいところだが、宇宙生物科学は2つの分野の積集合であろうかとも思い返し、この分野の中心的な課題が何であるのか

を説明したい。表題に掲げたのは、2003年11月に開催される日本宇宙生物科学会の公開講演会（[http://surc.isas.ac.jp/JSBSS\\_Exo/JSBSS\\_Exo.html](http://surc.isas.ac.jp/JSBSS_Exo/JSBSS_Exo.html)）の主題「地球圏外の生命の探査と異なる原理の生命の理解」をかみ砕いてキャッチフレーズとしたものである。

### 宇宙に生命を探す

生物には親がいてそのまた親がいて、自然発生することはない。それにしても、最初の生命が地球上あるいは他の天体上でどのように始まったかを、宇宙史や星間空間での化学進化に続く過程として描き出さなくてはならない。寄生的なウイルスの人工的な合成はすでに報告されているが、自立的な生命活動を営む細胞状の生命体の完全合成はまだなされていない。細胞の生きている仕組みが解明されればされるほどに、前生命的な前駆物質と始原細胞との間の大きなミッシング・

リンクが認識されている。生命の起源については、星間空間で生成した前駆物質を豊富に含んだ隕石が飛来して水との反応により一挙に生命体の部品が高密度に得られたという仮説や、深海熱水噴出孔の周辺の特異的な物理・化学的環境にモデルを求めるなどがなされている。地球の活発な地殻運動は、始原的な生命体とそれを生んだ環境の情報を消し去ってしまっている。宇宙に生命を探す理由は、地球以外の天体にも生命体は存在する（した）かに答えること、そして生命の起源とその環境条件にかかわる発見への期待である。

多種多様に進化した地球上の生物は、共通の祖先にたどることができる。地球上の生物は、一度獲得した仕組みや生化学的な物質を、保守的に継承してきている。体をつくるのに光学異性体のどちらをとるかとか、アミノ酸の組み合わせなど、およそ恣意的に選びとられたかにみられるものがある。生物体を構成する元素にしても、太陽系とその惑星である地球に相応した組成がみられる。このように、惑星としての地球が生物の起源や進化に与えた規定要因に着目して、地球上の生命の原理が地球に限定されているかを探る分野を、惑星生物学と宇宙空間科学研究委員会(COSPAR)ライフサイエンス部門では呼んでいる。たとえ生命体を構成する元素の組み合わせが変わろうが、生物学の基本的な概念である種とか進化は、宇宙的な視点から見て生命に普遍的な原理であるかもしれない。このような仮説を科学的に検証するには、他の天体で生命体探査を行い、比較するのが有効である。ただし、地球上で他とは隔絶された環境に、他の生物とは祖先を異にする生物種を見いだすほうが早いかもしれない。

### 火星隕石の波紋

これらの研究に大きな衝撃を与え、また考えさせることの多かったのは、南極で採集された火星起源と推定された隕石に、火星での生命活動の可能性を示すかもしれないいくつかの発見が報告された時である。そのうちの一つは、隕石の劈開面へきかいに見られた微生物の生痕化石にも見える構造であり、その物理的な大きさが地球上の細菌の大きさと比べると格段に小さいと多くの科学者から指摘された。地球上の生物とは異なる原理に基づく生物を探索するのが最大の眼目ともいえるのに、火星の生命体が地球で見慣れた生物体とは異なると論難するのもおかしなことである。

このような議論が沸き立つ中で、米国では最小の生物体の大きさを推定するワークショップが開かれた。寄生的ではない自立的な生物が、生命を営み自己複製

するために必要な情報量を見積もり、その情報をコードする分子の量へと翻訳した。さらに、情報を発現する仕組みや自己を周囲から区切る境界である細胞膜を加えて、ぎりぎりの生物体の大きさが検討された。その大きさは、得られている知識で生物体を逆アセンブルすることでもあり、知られている最小の自立的生物体であるマイコプラズマのそれと大きく変わることはなかった。

細胞を構成する細胞器官はかつてそれぞれが独自の生物であって、ある時代に取り込まれ共生を始めた。小さな生物体を求めるのであれば、細胞器官がまだそれぞれに独立な生物であり、いくつかの生物体が協同して生命活動を営んでいる姿などを構想すべきだと結論された。およそ異なる原理による生命の発見とその理解にとっては、生命についての深い理解を基礎にするのはもちろんのこと、それに束縛されない自由な発想を維持することが必要である。

### 生命に宇宙を見る－小宇宙としての生命

さて、宇宙生物学のキャッチフレーズの後半部分は「生命に宇宙を見る」である。生物学の世界が豊潤であるのは、生物が多様に分化して豊かな生物圏をつくり出してきた生物の進化を対象としているからである。惑星としての地球が生物に与える環境が、生命活動にどのような淘汰圧となり進化の原動力として働いたか、生物のさまざまな機能や生物個体間の相互作用に重力はいかに関与するかを明らかにするのが、惑星生物学や重力生物学の課題である。「生命に宇宙を見る」とは、生命とその進化の過程が、どれほどに宇宙史や地球・太陽系の環境に依存しているかを、生命体の中に刻まれた歴史から解読することである。その歴史は細胞の中の生化学的な過程に見ることもできるし、個体や個体群・生態系の階層でそれぞれに特有な支配があるかもしれない。

### 両生類の宇宙・重力生物学

どんな現象、生物種を研究の対象として選ぶかは繰り返し検討され、その中で取り上げられた一つが両生類である。両生類は、およそ4億年前に陸上に進出した初めての脊椎動物である。陸棲化には、重力に抗して体を支えての運動、耐乾燥、空気による呼吸の仕組みをつくるなどいくつかの要求があった。陸上に進出した生物群は、その棲息環境を多様に豊かに作り出し、爆発的な適応放散を果たした。

両生類は、陸棲に移行した初期の脊椎動物の姿を保

存している。オタマジャクシは多くの場合水中に棲息し、変態時に繰り返し陸棲移行の歴史をたどる。さまざまな段階の陸棲適応がみられ、水中で幼生期を過ごすことなく直接発生する種すらある。両生類は多様な種に分化して、種の数ほどに多様な生態や行動を示す。棲息域をみても、地表に加え、水辺に近い地表、樹上、地中、水中と多様な種が両生類にはある。重力への適応は、動物の生態や行動世界に従って多様に要求される。水中や樹上では、動物の行動世界は3次元的であり、重力は行動する世界を認知する参照座標軸として活用される。多様な生態や棲息域を示す両生類のいくつかの種を系統的に選んで、その体や器官の形態や機能、動物個体の示す行動などの比較から、陸棲への移行と重力に対する適応のようすを知ることができる。

### 動物個体の行動や生理と重力

動物は、餌を探し、捕食者から逃げ、生殖の相手に出会い、生存に適した環境を選ぶ。動物の行動とは、丸のままの動物個体が示す振る舞いである。微小重力下で自由な空間にカエルが飛び出すと、四肢を伸ばし背側に反らせ、腹を横に膨らませる。地上でも高い所から飛び降りれば、カエルは微小重力状態を経験する。落下中には、腹を膨らませて流れに対向する体の断面積を増大し、四肢を背側に反らせて流体力学的な抗力中心を重心より背側にずらし、腹側を下に向けて安定して降下する。宇宙で自由な空間に漂った時に、地上での微小重力状態においてとる姿勢をカエルが示したと推定できる。

ニホンアマガエルは、宇宙で表面にとまった時に頭を背側に強く反らせる姿勢を頻度高く見せた。これは、腹圧を上げて吐き戻そうとする時に見せる姿勢に似て

いる。航空機による無重力飛行実験から、乗り物酔いへのかかりやすさが種の生態に依存するのが分かった。高い所から飛び降りる樹上棲の種で、微小重力下での姿勢制御プログラムを持つものが、長秒時の微小重力を経験すると高い頻度で嘔吐する。これは宇宙飛行士が広い宇宙船内を遊泳するようになってから、前庭覚と視覚などの入力情報が中枢神経系で混乱することで宇宙酔いが始まったとする説と符合する。生物個体は、その生存能や適応能を高めるさまざまな反応を示す。嘔吐は毒性の餌を胃から吐き戻すもので、生理学的適応反応の一つである。毒は動物に食害される植物が生き出し、ある動物はそれを蓄えて他の動物種に対抗したりする。宇宙酔いで嘔吐は嘔吐中枢の刺激によるのだが、悪心や発汗、心拍数の変化や変動などいくつかの指標があり、これらは小宇宙としてある生物体の総合的な反応である。

### 透明なオタマジャクシの内臓運動

オタマジャクシは宇宙酔いになるだろうか。オタマジャクシには腹圧を上げて嘔吐する機能は備わっていない。そこで、腹壁の透明なオタマジャクシにより、内臓運動から生理的状态を解析する宇宙実験（代表：島根大学・内藤富夫教授）を提案し、国際的にも高い評価を得た。心臓と消化管や、呼吸運動についてみると、ペースメーカーが埋め込まれており、そこで基本的なリズムが発振して周期的な運動が起こる。それに加えて、内臓運動の周期や運動の強度は、個体の生理的状态やその要求に応じ、個体の統合指令系により調節される。アマミアオガエルなどのオタマジャクシでは腹壁が透明で、呼吸運動に加えて、心臓や消化管を簡単に撮像・観察することができる（図）。内臓運

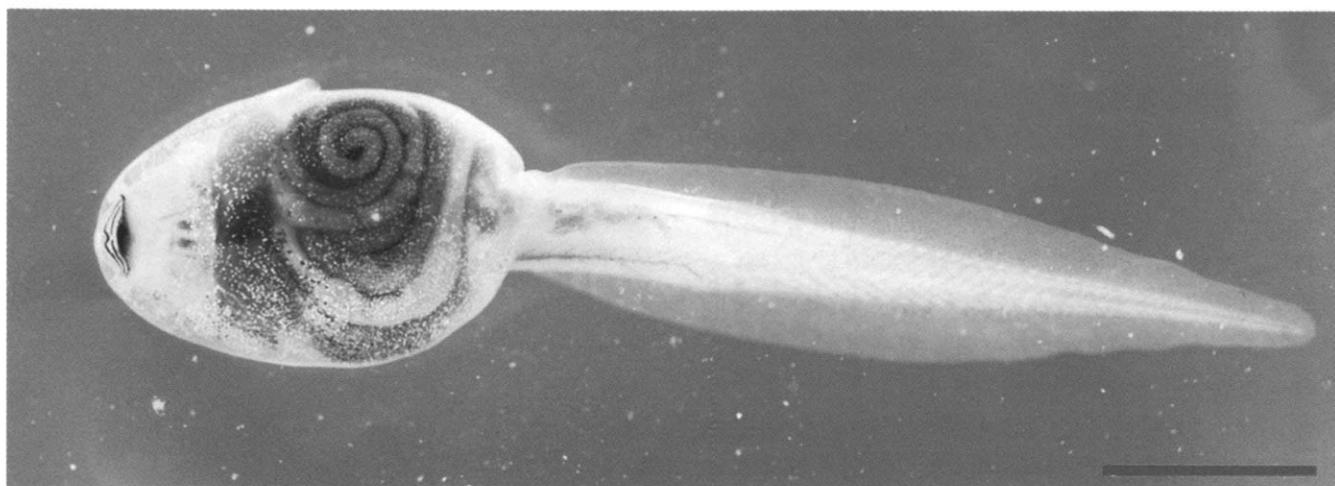


図 アマミアオガエル (*Rhacophorus viridis amamiensis*) のオタマジャクシ。腹壁を透かして見える心臓や消化管の動きから生理的な状態が分かる。(スケールバー：5mm)

動の変化から、個体の生理的な状態や宇宙環境への反応や適応の過程が分かる。分子生物学や神経生理学の発展は、内臓運動やその制御の仕組みについても、研究のさまざまな道具を提供している。

### 宇宙生物科学の針路

長期の実験が可能な国際宇宙ステーションでは、生物を宇宙で継代飼育した時にどのような問題が発生するのか、初期発生から成長・発達、生殖、老化という生活環のどの段階のどんな現象に重力のかかわりがあるかを研究できる。生物の生活環を通しての重力影響を調べ、長期の宇宙環境曝露が生命現象にとってどのようなインパクトを与えるかを評価する基礎的な研究は、人類の宇宙進出の礎となる。

2002年ノーベル賞は物理ではニュートリノ・X線天文学に与えられた。化学は、生体高分子の質量分析・核磁気共鳴による分析ということで、筆者は、化学賞受賞者の1人であるJohn B. Fenn博士とエレクトロスプレー質量分析の初出論文を共著したことから、栄誉のおすそ分けにあずかった ([http://surc.isas.ac.jp/Nobel\\_Prize\\_2002/Nobel\\_Prize.html](http://surc.isas.ac.jp/Nobel_Prize_2002/Nobel_Prize.html))。圏外生命探査における生体関連物質の検出に、受賞した分析法が適用できるかと構想している。生理学医学賞はアポトシス（両生類の変態でも見られる）に与えられ、2002年のノーベル賞は、よくよく宇宙・生物・オタマジャクシにまつわるものであった。

(やました・まさみち)

## お知らせ



### ★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（9月・10月）

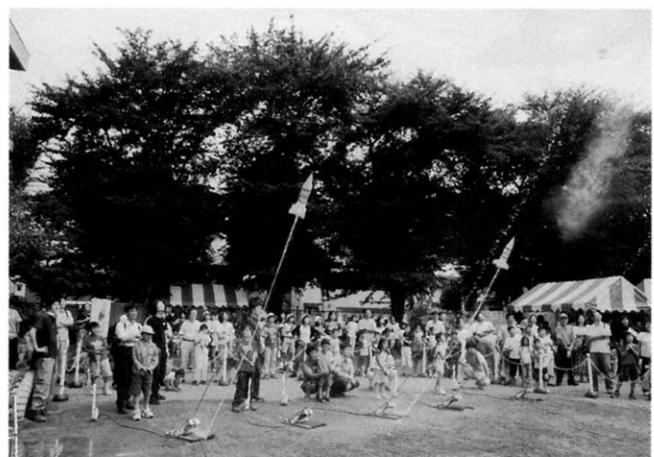
	9 月	10 月
相 模 原	M-V-6 嚙合せ試験 → 末	M-V-2 簡易モーションテーブル試験 ← 下旬
	LUNAR-A 母船-ベネトレータ嚙合せ試験 → 中旬	
	ASTRO-E2 1次嚙合せ試験	
能代		再使用型ロケット離着陸実験 14 → 28
三陸	第1次大気球実験 (4 → 11) 第2次大気球実験 (11 → 22)	



### ★一般公開

さる7月26日（土）に相模原キャンパスで宇宙科学研究所一般公開が行われました。開場前から大勢の人が集まり、予定を繰り上げて9時40分ごろに入場を開始しました。当日は前夜の雨も上がり、薄曇りで絶好の一般公開日和となり、入場者は1万5000人を越える盛況となりました。

今年は、5月に打ち上げに成功した小惑星探査機「はやぶさ」の構造モデルを中心に、惑星系の展示で第1会場（A棟1階ロビー）を飾りました。また共和小学校校庭をお借りして水ロケットを復活しましたが、



水ロケット打ち上げ風景

相変わらず子供たちの人気の的でした。新企画のスペースシャトルを使った人工オーロラもなかなかの人気でした。その他どの会場も大変盛況で、見学者の切れることがありませんでした。今年はお隣の相模原市立博物館の協力を得て、ミニミニ宇宙学校をその会議場で開催しました。こちらは入場者の誘導が今後の課題となりました。

宇宙研の一般公開は今年が最後ですかとの質問を受けました。宇宙研は今年10月に新機構に移行しますが、宇宙科学の研究・開発の現場を市民の皆さんに見学・体験していただき、宇宙科学への理解を深めていただく行事は今後も続けますよ、とお答えしました。来年以降もこのような手作りの一般公開を続けることができるよう願っています。(長瀬文昭)

### ★日本初の衛星「おおすみ」が33歳で大気圏突入

8月2日午前5時45分(日本標準時)、日本最初の人工衛星「おおすみ」が大気圏に突入し、消滅しました。再突入した位置の直下は、北緯30.3度、東経25.0度で、北アフリカ(エジプトとリビアの国境の砂漠地帯)です。

内之浦の鹿児島宇宙空間観測所から、L-4Sの5号機によって日本初の衛星「おおすみ」(24kg)が地球周回軌道に投入されたのは、1970年2月11日13時25分

でした。1955年のペンシル以来の日本のロケット技術が、ついに地球の空へ国産の衛星を運んだのでした。これはソ連・アメリカ・フランスに次ぐ世界で4番目の衛星自立打上げでした。もともと衛星軌道への投入のためのロケットの練習でしたから、「おおすみ」に搭載した機器は、加速度計、温度計、送信機ぐらいで、他には電源の酸化銀-亜鉛電池が載せられていました。打上げ後に内之浦の視界から消え、最初にグアム島の追跡局から「おおすみ」の電波を「受信!」の報が入った時の感動は、忘れることのできないものです。

「おおすみ」が地上と連絡をとっていた時間は14~15時間だったのですが、投入された軌道が、近地点337km、遠地点5,151kmという長楕円軌道だったために、かなり長生きしたものです。もちろん大気圏に突入した「おおすみ」は、跡形もなく消滅して、自らを葬りました。

私個人にとっても青春の喜びの頂点に位置する「おおすみ」の誕生は、多くの関係者にとっても「宝の思い出」でもあります。あのころの湧き上がるような団結の力を、日本の宇宙開発が再び取り戻すことができる日を願って、10月1日の宇宙航空研究開発機構(JAXA)の誕生を迎えたいと思います。(的川泰宣)

### ★ISASからJAXAへ

遠山敦子文部科学大臣が宇宙3機関統合を表明して以来2年たちました。この間、宇宙3機関を中心に検討を重ねてきましたが、いよいよ本年10月1日に新機関、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が発足することになりました。大詰めに迎え、ここ1~2ヵ月間に議論された主要課題を簡単にまとめてみました。・宇宙開発委員会で検討されていた「宇宙開発に関する長期的な計画」がまとまりました。また、これと並行して進められていた中期目標、中期計画の議論もほぼ収束しています。宇宙科学に関してはこれまで理学委員会等で議論されてきた将来構想がこの中に盛り込まれています。また「科学的目標の数量化」を避け「評価をきっちりすること」を基本方針としています。

・組織の検討も進められています。4本部制についてはすでに知られていると思いますが、10月1日に新機関がしっかりと機能できるよう、各本部内の具体的な組織の確定、および人の貼り付けが進められています。関連して本部の日本語名、英語名(通称)も決まりました。宇宙科学を進める組

織は、宇宙科学研究本部、Institute of Space and Astronautical Scienceとなり、英語名に現在と同じISASが残っています。

- ・10月から予算の仕組みが国立学校特別会計から離れ、運営費交付金に変わります。これに伴い、事業計画をまとめ、具体的な予算執行を可能とする作業が進んでいます。予算執行については各本部がかなりの裁量権を持つことになっていますが、JAXA全体での資源配分、リスク管理の在り方等の議論も一方で行われています。
- ・新機関における規定類の整備も重要な作業です。しかし、作業があまりに膨大なため、10月1日JAXA発足時に必要なものに重点的を絞って検討を進められています。

統合のために検討されている課題は上記以外にも多々あります。統合の作業は3機関の多くの方々膨大な時間と労力によって進められてきました。これまで統合にかかわってこられた方々に改めて感謝するとともに、JAXAにおいてわが国の宇宙開発がさらなる発展を遂げることを期待したいと思います。(松本敏雄)



## 勝てる戦略

栗木 恭一

最近、宇宙開発関連企業から配布された説明資料に「勝てるプロジェクト」という見出しがあった。また、官庁では「XX戦略」というタイトルの文書をよく目にした。

「戦略」は「戦い」に用いる「策略」であるから、そもそも公表すること自体がおかしいのであるが、大型プロジェクトとなると関係者も多いから、所信表明として意志・価値観の統一、志気の高揚を図る役割は大きい。特に、公共性の高いプロジェクトでは、最終利用者である社会一般も関係者であるとして、可能な限り「戦略」の具体的内容を公表して理解を得ねばならない。

しからは「XX戦略」に連なるプロジェクトの具体的な目標はと見ると、「X、と同時にY」とか、「Xとともに、Y」など玉虫色の表現をよく見かける。X、Yのどちらも自信なく、どちらかできれば僥倖<sup>きやうこう</sup>という、逃げの姿勢かと勘繰りたくなる。これでは志気を鼓舞し、大勢の共感を得ることはできない。

衛星やロケットのプログラム/プロジェクト・マネージャーは「戦い」の指揮官に似た役目を負っている。戦略目的の事前設定を誤り、XもYも果たし得ず、大敗を喫した例を歴史に拾ってみる。

司馬遼太郎の著した『坂の上の雲』（文春文庫、1999年）には、バルチック艦隊を率いたロジェストウェンスキー提督が、日本海海戦で犯した作戦ミスを次のように書いている。

「A. T. マハン（米海軍戦略家）は、ロジェストウェンスキーの大航海については賞賛を惜しかなかったが、彼が決戦前4日間において犯した誤りを執拗に指摘している。“彼は目的の単一性を欠いていた”とマハンは言う。敵に勝つというこの目的に対してあらゆる集中を行うべき所の知的作業において、彼は二兎を追ったというのである。二兎とは“ウラジオストックへ遁走し、それによってたとえ残存兵力が二十隻になったとしても、極東の戦局に対して重大な影響を与える”というのが一兎である。他の一兎は、“東郷と対馬付近で遭遇するであろう。これと当然ながら戦闘を交える”という目的であった。一行動が二目的を持ってい

た。（中略）マハンが東郷がこの“目的の単一性”という原則に忠実であったのに対し、ロジェストウェンスキーが二兎を追うために、その行動原理が極めてあいまいになったことを指摘している。」

山本五十六海軍司令長官は帝国海軍きっての知将といわれたが、ミッドウェー作戦では失策を犯している。『失敗の本質—日本軍の組織的研究』（戸部良一、中公文庫、1991）には、次のように書かれている。

「その作戦目的は次のようにあいまいな内容のものであった。“ハワイ方面よりする我が本土に対する敵の機動作戦を封止するとともに、攻略時出現することあるべき敵艦隊を撃滅するにあり。”前段は、ミッドウェー島攻略を志向し、後段では米艦隊撃滅を目的としている。ニミッツ（米太平洋艦隊）提督が“二重の目的（dual purpose）”と表現したように、目的の二重性すなわち、あいまいさがここにも見られるのである。（中略）これに対して、米軍側が劣勢な戦力にもかかわらず勝利を収めたのは、暗号解読によって日本軍の作戦をきわめて詳細に知り得たことに加えて、“空母以外に手を出すな”と厳命していたことにあり、これが戦力集中という点で有利な状況を生んだことも見逃してはならない。」

プロジェクトは「戦い」同様に集団行動であるから、かくのごとく「一所懸命」が鉄則であろう。個人のライフスタイルであれば、そう堅いことを言わなくてもいいのかもしれない。

ところで、我が宇宙開発の大御所、糸川英夫先生は「マルチ人間」を自認しておられたが、その定義を、諸事平行してなすことなく、時期を画して一事専心の人、とされていた。また、航空界に名をはせた新明和（旧川西航空）工業の菊原静男元取締役技術長はOB会で、「就職最初のボーナスは全部はたいて、かねて狙いのボルサリーノのソフト帽を買った」と話しておられた。

一点豪華にして、その心意気やよし。

（宇宙科学研究所名誉教授 くりき・きょういち）

6月、ドイツ・ガルヒンにあるマックスプランク研究所を訪問し、ギリシア・ミコノス島で開かれた国際会議に出席してきた。目的は、ここ10年あまり取り組んできたX線背景放射の研究の総まとめを行うことと、その結果を会議で発表することであった。ギリシアの会議のタイトルは「多波長宇宙論」。現代天文学はその成熟とともに、ますます多波長研究の重要性が増してきている。もちろん、プロの研究者はある部門で他の追従を許さぬ専門家でない限り誰も相手にしてくれないが、その一方で、自分専門の世界だけに引きこもってはい時代に取り残される。近い将来、電磁波だけに閉じこもる天文学は古いということになるのかもしれない。ともかく、この魅惑的なタイトルの会議が、まだ踏んだことのない異国の地で行われるとあって、急きょ参加を決めたのだった。

ギリシア到着日、ホテルの手配の悪さに思わず発した“Greek organization!”という一人言を旅行会社の人に聞かれ「日本からこられたのですか？ すみません。ギリシアじゃ、すべてが安易なもので」と謝られて立場をなくした以外、客を全力でもてなすという古来からのギリシア人のモットーを感じ、とりわけ泊まったホテルを経営するおじさんとおばさんが、言葉が通じないにもかかわらず朝から晩遅くまで客の一人一人の行動をすべて気にかける姿勢には感激した。会議のバンケットでは主催者自らが、民族音楽に合わせてダンスを始め、最後はレストランが一大「屋外ディスコ」と化した。“Bad girls go to Mykonos”と書かれたTシャツが売られている「眠らぬ町」ミコノスタウンでは、朝の4時まで騒ぎがあちこちで続らしい。とはいえ、すぐ隣にはギリシア神話にちなんだ遺跡で埋め尽くされたデュロス島がある。ここはやはり世界史の教科書の最初に登場する栄光の国であった。初めて見るエーゲ海のあまりの青さに「なんて青いんだ。まるでオホーツク海のように」とつぶやくと、一緒にいた日本人たちは興ざめな顔をした。

さて、サーベイ（探査）とは、天文学に限らず、学問の始まりであり、その基本であろう。古代から、宇宙を見つめてきた人々がまずしたことは、見える天体の正体を片っ端から調べ、それが何であるか、全体的に理解しようとすることである。そして、次に個々のケースについて詳しく研究するというフェーズがくる。

天文学は「より暗い、よってより遠くの天体を見つけること」を常に第一使命として発展してきた。

これはX線天文学においても変わりはない。X線の空が、原因のよく分からぬ強い放射で満たされていること（X線背景放射）が1962年にジャコーニたちにより発見され、後にこれがどうやら個々の暗い天体の総和であるらしいと認識されるに至り、X線背景放射を感度の良い望遠鏡で個々の天体に分解することが、X線天文学のメインストリームの一つとして発展してきた。これにはもちろん日本のX線グループの貢献も大きい。アインシュタイン衛星、ROSAT衛星、そして日本の「あすか」衛星はこれらの歴史を徐々に塗り替え、最近チャンドラ衛星がその最後のベールをはがした。人類は40年にしてようやく「X線種族」の大部分が宇宙のどこに分布しているのか正しい描像を得るに至ったと言える。この段階に至り、偶然検出器の視野に入るX線源のすべてが研究対象として宝物であった時代は終わり、それらがもはやどうでもよくなるのだから、学問的变化はかなり大きい。「あすか」衛星によるサーベイがこの分野に大きく貢献したこともあり、この数ヶ月必死の体制で書き上げた論文を投稿した私は、意気揚々とこの遠征に出かけたのであった。

ドイツでは、ROSAT衛星のサーベイをリードし、現在チャンドラ衛星のサーベイに深く関わっているハージンガー博士と議論した。恐る恐る論文の図を説明していくと、いつも温和な顔色が急に変わった「この結果は我々（チャンドラチーム）も見つけている。私の収録は引用したか？」「もちろん」と答えたが、このエピソードが物語る通り、とりわけサーベイ天文学は研究方法がストレートなだけに国際競争も激しく、論文が出版されるまでは生きた心地もしない。とはいえ、天文学者なんて100億年も前に発された光の粒一つ一つを数えて、夢を追いかけている人種にすぎない。こういう学術上の競争など、あくまで心地の良い刺激にすぎず、幸せなものである。研究は本来、楽しいものであるはずなのだが、日本にいと、ついそれを忘れてしまうのは自分の精神修行が足りないからであろう。海外で新たな文化に出会うことは、そのような思考をリフレッシュする絶好の機会でもある。

（うえだ・よしひろ）

# 水星の磁場と磁気圏

太陽系プラズマ研究系 松岡彩子

太陽系の惑星の中で一番太陽に近い軌道を周っている水星。最も太陽に近づく時の距離は0.31AU (1AUは太陽と地球との距離)、最も離れた時は0.47AUである。水星の半径は2,440kmで、太陽系の惑星では冥王星の次に小さい。

さらに、惑星の進化を論じる時や、宇宙空間を満たすプラズマの物理を研究する上で重要な特徴として、水星が磁気を持つことが挙げられる。このことは、1974年および1975年の米国マリナー10によるフライバイにより発見された。水星が磁気を持つことの重要性や意外性はそれだけで大変面白い話題なので他の回に譲ることとし、今回はマリナー10による水星の磁気の実験と想像される磁気圏像について述べたい。

1974年3月29日にマリナー10の最初の水星フライバイが行われた。この時の軌道は水星の夜側を通過し、最も接近した時、水星表面からの距離はおおよそ700kmであった(図1)。地球の場合にはこの高度であれば2万ナノテスラ以上の磁場が観測されるのであるが、マリナー10が水星で観測した磁場はそれよりずっと小さい約100ナノテスラであった。一方この時の太陽風中の磁場は約20ナノテスラであったから、水星の内部あるいは近傍に、何か新たに磁場をうむものがあることは確かだった。磁場計測を担当したNessらのグループは、同年7月「Science」の速報の中で、「小さいながらもたぶん水星自身が磁気を持っている」と述べ、水星の磁気モーメントの大きさをおおよそ地球の2000分の1と見積もっている。しかし断定的な表現を避け、水星近傍の太陽風中で磁場が誘導される可能性も示唆している。翌1975年3月16日、今度は表面から300km、しかも、もし水星中心に双極子モーメントが存在するのであれば、最も磁場が強いと予想される北極域をフライバイした(図2)。今度は約400ナノテスラの磁場が

観測され、双極子の極に特徴的な磁場の回転が見られた。同年5月の「nature」で、Nessらは「水星が磁気を持つことがはっきりとした」と高らかにうたっている。

このように「水星は磁気を持つか、持たないか」に対する答えが出てから、すでに30年近くがたとうとしている。この間、新たに水星に向かった探査機はなく、現在の予定では、次は米国のメッセンジャー、続いて日欧共同のベピ・コロomboであるが、いずれもこれから数年は待たないといけない。その間、科学者は知識と想像力とで、水星の周囲の磁場の勢力範囲—磁気圏—と、その磁場に支配されているプラズマの動きに机上で想いをめぐらせてきた。その結果描かれた磁気圏の想像図が図3である。我々の持つ惑星磁気圏の知識はそのほとんどを地球の磁気圏から得ているので、悲しいことに、地球の磁気圏をそのまま小さくして描くのが精一杯である。もしも大きな動物としてカバしか知らない人が目隠しをしてゾウの足をなでたら、その人はやはりカバに似た動物を思い浮かべるに違いない。現在の私たちは、この世に鼻の長い動物がいるとは思ってもみない人と同じかもしれない。

地球の場合と比べて磁気圏のスケールが小さいこと、形が(たぶん)多少いびつであろうこと、大気が薄く電離層がないことが、水星磁気圏の形成に関連するプラズマの素過程にどのように関連しているのだろうか。このことは、水星周回探査機を実現させ多点におけるデータを蓄積して初めて明らかになるのである。また、地球磁気圏の場合には、その中のプラズマの振る舞いは、源である太陽風に大きな影響を受けるため、太陽風との同時観測によって理解が飛躍的に進んだ。水星の場合にも、複数衛星による太陽風あるいは磁気圏中の他の場所における同時観測によって、より正しい理解が得られるものと期待される。(まつおか・あやこ)

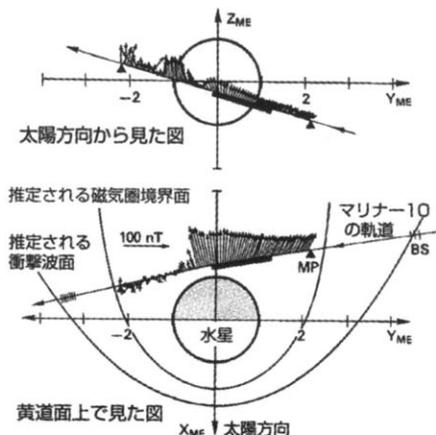


図1 1974年3月29日のマリナー10水星フライバイの時に観測した磁場 (Connerney and Ness, 1988)

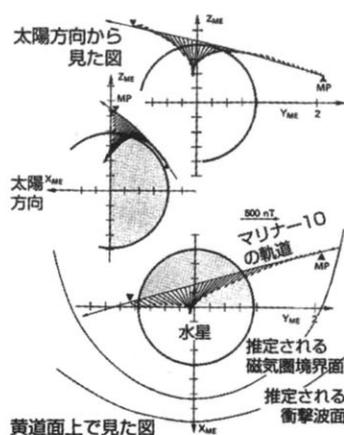


図2 1975年3月16日のマリナー10水星フライバイの時に観測した磁場 (Connerney and Ness, 1988)

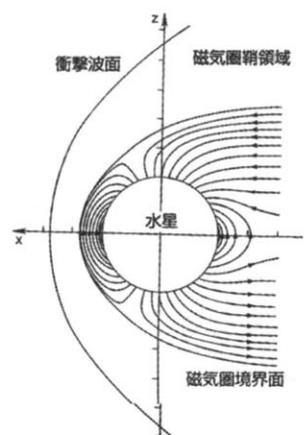


図3 水星磁気圏の想像図 (Russell 他, 1988)



## 第6号科学衛星「じきけん」 その1

井上 浩三郎

総重量約92kgのこの衛星は1978年（昭和53）9月16日14時00分、M-3Hロケット3号機によって打ち上げられ、近地点高度227km、遠地点高度30,051km、軌道傾斜角31.1度、周期8時間44分の長楕円軌道に投入されました。先の「きょっこう」とともに国際磁気圏観測計画に参加し、プラズマ圏より磁気圏深部に至る領域の研究を行うことを目的としました。

観測では多くの成果を挙げましたが、地上300kmの電離層上部から6万km以上にわたる広大な地球磁気圏空間での観測運用では、電離層擾乱による通信障害、帯電現象によるLogic回路の反転など、いろいろな出来事に遭遇しました。長楕円軌道のため可視時間が長く、観測データはほとんど実時間で送られてくるためデータレコーダは搭載せず、可視領域外でのPCMデータは10Kbitのメモリへ記録し、可視の時に再生するようにしました。

「じきけん」には、初めてデータ管制装置（DPU）を搭載しました。これによって、衛星の位置、軌道、観測目的等に応じて自動的にデータ伝送のパラメータを最適状態に制御し、観測者が地上からの指令によってDPU内にメモリした任意のプログラムに従って各観測機器のパラメータ設定を逐次制御し、データの集積、蓄積、編集を行いました。

このDPUの最大の特徴は、オーガナイズドコマンドと呼ばれる複合コマンドを任意のシーケンスに配列し、このコントロールコマンドをもって衛星の自動管制を行うことで、1周8時間あるいは数日間にわたり衛星にコマンドで指令することなく自動的に衛星管制され、データの取得が行われました。特に遠距離で回線が厳しい所では大変有効でした。

### 忘れられない難航した60mアンテナ伸展作業

この伸展作業は「じきけん」のオペレーションの中でも最も重要なものでした。片方60mのアンテナ伸展は、我が国では全く未経験の作業で、専門家の協力を得て60mアンテナ伸展チームをつくり、手順を決めて9月23日から作業にかかりましたが、アンテナ伸展用のモータ駆動により発生した雑音によって、コマンド受信機が干渉を受け、コマンドが効かなくなり、一時コマンド回線が不通になりました。このためアンテナ

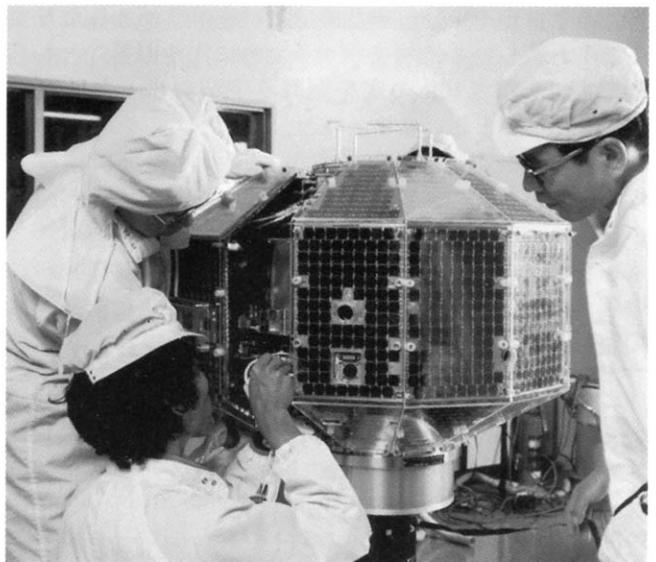
伸展を止められない危険な状態にも遭遇しました。

さらに伸展中、伸展駆動機構の負荷が次第に拡大し、制御回路の温度が上昇するという不具合も発生しました。そして伸展作業末期には、モータの反動により全頂角15度程度の首振り誘起されました。そこで伸展作業は一時中断し、現地で先生方の度重なる検討の結果、大部分の観測はこの状態で支障がないことが分かったため、全伸展をあきらめ、2対のアンテナがそれぞれ等しい長さにとろったところで打ち切りました。

これらの不具合の原因は、モータがブラシ付であったことと、伸展機構については真空中における歯車機構の摩擦増加と推定されました。これらの経験は今後の衛星設計に生かされました。この伸展作業中、衛星テレメータセンターのボロボロのソファに座っておられた衛星主任の大林辰藏先生が「井上君、僕は薄氷を踏む思いだよ」と、その時の心境を語っておられたことが、鮮やかに思い出されます。

### 観測結果

「じきけん」は打ち上げ後、約1ヵ月で全機器が動作状態になってから、本格的な科学観測に入りました。そしてオーロラキロメートル電波の機構、プラズマポーズの形成機構に関するデータなど歴史に残る成果を挙げながら、1981年、そのミッションライフを閉じました。（いのうえ・こうざぶろう）



〈宇宙・夢・人〉

## 手作りの懐中電灯と 宇宙ロボット

中谷 一郎



なかたに・いちろう。宇宙科学研究所教授。次世代探査機研究センター長。1944年、旧満州生まれ。東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了。専門は制御工学。1972年、日本電信電話公社電気通信研究所研究員。1981年、宇宙科学研究所入所。ロケットや科学衛星の制御、宇宙ロボットを研究。

——ロケットや科学衛星の制御の研究から発展して、最近、宇宙ロボットの研究をされているそうですね。中谷：宇宙科学研究所の科学衛星も月や火星、小惑星を目指すようになりました。するとロケットや地球の周りを回る科学衛星のような自動制御や地球からの遠隔操作だけではすまなくなります。何が起きるか分からない未知の世界で、その場の状況に自分で対応できる“知能”を備えた宇宙ロボットが必要です。

——5月9日に打ち上げられた小惑星探査機「はやぶさ」に、宇宙ロボットが搭載されていますね。

中谷：「ミネルバ」という小さなロボットです。小惑星上の重力は、地球上の1万分の1~10万分の1程度と非常に小さいので、車輪だと摩擦力が働かず空回りしてしまいます。ミネルバは跳びはねながら移動して、画像を撮影します。その最初のアイデアを学位論文として出したのが、私の研究室の大学院生だった吉光君（現・宇宙研助手）です。研究室で、ほかにも、提案段階の月探査ミッションSELENE-Bの探査車などを検討しています。月面を車輪で動き回って地質試料などを採取し、その場で分析したり、着陸機まで持ち帰ってくる移動ロボットです。

——どのようなことが開発の課題ですか。

中谷：例えば、初めての場所を動き回りながら障害物を判断することです。これは大きな石だから危ないので避けようとか、小さな石だから乗り越えようとか、幼児でもわけなく判断できますが、ロボットには難しい。さらに目的地に着いた後、ロボットアーム（マニピュレータ）で試料となる岩などをしっかりとつかむことも容易ではありません。分析のために試料をスライスしたりすることも難しい。地層を調べるために穴を掘ることも必要ですが、深さ10mの穴を掘れる宇宙ロボットは、世界にまだないと思います。

いろいろと課題はありますが、技術は着実に積み上げられています。まずは月、そしてさらに火星など遠く天体を目指したいですね。

——宇宙ロボットはどのように進化していくのでしょうか。

中谷：どんどん賢くなって、人間よりもひとまず先に宇宙に進出していくでしょう。月や惑星にたくさん送

り込まれ、「ロボット植民地」ができるかもしれません。そこではロボット同士が協力して工場や基地を運営したり、探検して開拓を行う。その活動状況を地球に電波で送ってきて、“次はどうしますか”と人間に相談します。やがて宇宙ロボットが太陽系全体にばらまかれる。楽しいですね、そうすると。それが私の夢です。

——子供のころからロボットに興味があったのですか。

中谷：好きでした。ロボットなどの絵ばかりを描いていましたね。ものを作ることに関心があって、小学校1~2年生の時には、竹筒を切って電池を入れ、針金で豆電球につないでブリキの手製スイッチを付けて懐中電灯を作りました。パッとついた時のうれしさは、この歳になっても忘れられないですね。小学校4年生の時には、鉱石ラジオを作りました。夢中になって悪戦苦闘しているうちに、やっと蚊の鳴くような音が聞こえてきて、飛び上がって喜んだ。どうして音が出るのだろうと、根源的な楽しみがありました。ものを作ったり、原理を解明することは、すごく面白いし、わくわくします。ところが今は、出来上がったものが何でもある。子供たちが本能的な好奇心や喜びからどんどん離れてしまっていて、気の毒ですね。そういう喜び・興奮を味わっていないと、理科から遠ざかっていきますよね。

——研究者になってから、感激したことは？

中谷：やはりロケットがうまく打ち上がった時です。長年苦勞して、難しい開発をチームのみんなで作ってきた。しかも相当なお金を使って。毎回、打ち上げの時には冷や汗でびしょりです。胃潰瘍に何度もかかりました。

小さな豆電球がついて、夜眠れないくらいうれしかった。それとロケットがうまく打ち上がるようにと開発する時の気持ち。創造の喜びや原理を追求する好奇心は、小学生も研究者も同じです。若い研究者にも、そういう原点を忘れずに、初志を貫いて欲しいですね。



宇宙科学研究所として出すISASニュースはこの号が最後です。次号からは宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部が出す新生ISASニュースとなります。  
(松岡)

ISASニュース

No.270 2003.9

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>)。