



宇宙科学研究本部相模原キャンパス航空写真（2004年4月15日撮影）

宇宙科学最前線

宇宙開発における標準化と情報化  
～Faster Better Cheaperを実現する方法～

山田隆弘

宇宙情報・エネルギー工学研究系助教授

**Faster Better Cheaperとは？**

Faster Better Cheaper (以下ではFBCと略す)、すなわち「より早く、より良く、より安く」は、NASAのゴールドフィン前長官が提唱したスローガンです。これが提唱された当時から「この三つを同時に満たすなんて不可能だ」とか「自己矛盾したスローガンだ」と悪評を買ってきました。「FBCのおかげでNASAは失敗が増えた」とさえ言われました。確かに、FBCの三つを同時に満たすのは容易ではありませんし、FBCを適用したために失敗することもあるでしょう。

しかし、私はFBCを実現する方法はあると思っています。「うんと早く、うんと良く、うんと安く」は困難かもしれませんが、「ちょっと早く、

ちょっと良く、ちょっと安く」程度ならば、うまく工夫すれば実現できます。私は、宇宙開発でFBCを実現するための方法として、標準化と情報化の研究を行っていますが、このそれぞれについて以下で説明します。

**標準化**

宇宙開発でFBCを実現する第一の方法が、標準化です。これは、いろいろな衛星やいろいろな目的で使える標準的なものを開発し、それを利用しようということです。これが実現すれば、衛星ごと、あるいは目的ごとに別々のものを開発する必要がなくなるので、初めに開発する手間は大きいかもしれませんが、複数の衛星を平均して考えれば「より早く」と「より安く」は実現できます。「より良く」につい

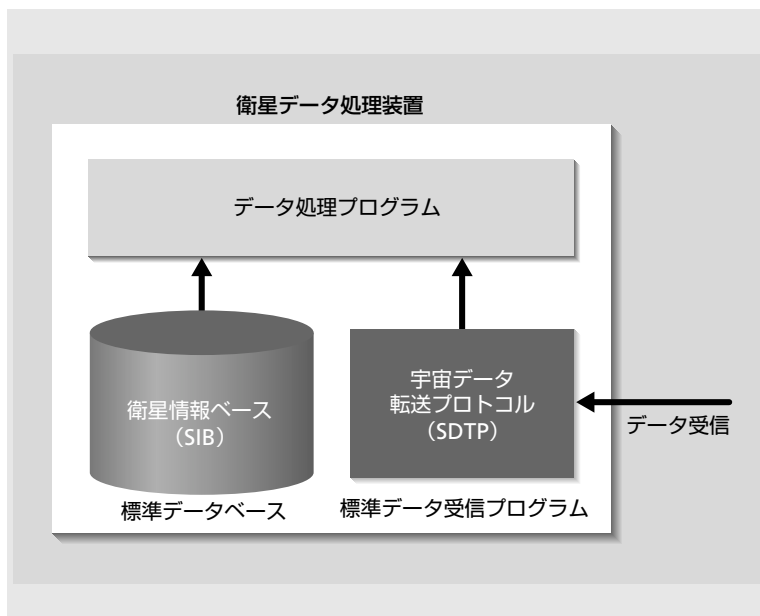


図1 宇宙研の衛星運用システムにおける標準化（濃い網掛け部分が標準品）

でも、初期の製品のまずい点を後の製品で改良すれば、実現できます。

というように、作文を書くのは簡単ですが、実際にはそれほど簡単ではありません。なぜかという、やはり衛星や目的ごとに事情の違いがあり、それを一つのもので吸収するには限度があるからです。それを吸収するためには、一般的な枠組みを設定し、事情の違いがその枠組みの中にうまく収まるようにする必要があります。広い範囲に適用できる枠組みは必然的に抽象的になりますが、抽象的かつ実用的な枠組みの構築は、けっこう大変です。私は何年も標準化にかかわってきましたが、私の経験から言えば、良い枠組みを作るには良いアイデアを出す必要があります。

## 標準化の例

それでは、標準化の例として、宇宙科学研究所本部で衛星の試験や運用のために地上で使用しているシステムを紹介します。

宇宙研の地上システムでは、次のような二つの標準的な道具を提供しています。一つ目は、地上の装置間でデータをやりとりするための標準方式およびそれを実行する標準ソフトウェアで、宇宙データ転送プロトコル (Space Data Transfer Protocol, SDTP) といいます。二つ目は、衛星が地上と送受信するデータの形式を定義したデータベースで、衛星情報ベース (Spacecraft Information Base, SIB) といいます。SDTPは、宇宙研のすべての衛星に対して、すべての地上の処理装置で同じものが使用できます。SIBは、衛星ごとに少しずつ異なりますが、一つの衛星に対してはすべての処

理装置で同じものが使用できます。

衛星から送られてくるデータを処理するための処理装置を開発する場合、データ処理プログラムとしては固有のものが新たに必要であったとしても、SDTPとSIBについては、標準品として提供されているものを取り込んでそのまま利用できます (図1)。このようにすれば、その装置固有のプログラムを開発するだけで済みます。

この例は地上で使用するシステムですが、衛星の中でも同じような標準化が可能です。私は、衛星に搭載される機器同士で情報をやりとりするための標準方式の設計を、アメリカの研究者と共同で行っています。

## 情報化

今まで標準化についてお話ししてきましたが、標準化によるFBCには限界があります。それは、先ほど述べたように、衛星にはそれぞれ違いがあるからです。特に科学衛星の場合、新しい観測をするためには新しい衛星が必要ですから、標準的なものばかりを使うわけにはいきません。そのような場合は、FBCは実現できないのでしょうか？

万事休すと思いきや、うまい具合に、違う衛星を開発する場合でもFBCを実現する方法があるのです。それがこの記事の第二のテーマ、情報化です。具体的に言うと、衛星は異なるものだということを前提として、「この衛星の中身はこうなっています」という情報をデータとして管理することです。別の言い方をすると、衛星の仕様書やマニュアルをデータベース化することです。

「なんだ、そんなことは簡単じゃないか」と思われるでしょうが、そうは問屋が卸しません。ここで目標としているデータベースは、図2に示すように、あらゆる衛星のデータを格納でき、あらゆるプログラムから利用できるようなものです。特定の衛星のデータだけを格納する、あるいは特定のプログラムのみから利用するというデータベースならすぐにできますが、図2のようなデータベースはすぐにはできません。なぜならば、「衛星に関する情報をどのようにデータとして表現するか」ということを標準化しなければならないからです。標準化がまた出てきましたが、情報化を行う場合にも標準化が必須なのです。

「衛星に関する情報をデータとして表現する標準的な方法」については後回しにして、このようなデータベースが完成すると、どのように



FBCに貢献するのかを先に述べておきます。次のようにいろいろな効能があります。(1)今まで文書ベースで行っていた作業が電子化できる。(2)衛星ごとにデータベースを設計する必要がない。(3)データベースに格納されている衛星の中身に関する情報を利用することによって、どのような衛星にも適用できるプログラムを開発できる。

上の効能のうち、(3)が最も重要です。現在のSIBは、衛星の中身に関する情報は格納できません。これは、上で述べた「衛星に関する情報をデータとして表現する標準的な方法」がいまだに確立されていないからです。従って、現状では図1のようにSIBを使ったとしても、データ処理プログラムは、個々の衛星に関する知識に基づいて衛星ごとに作らないといけません。しかし、ここで述べているデータベースを使えば、個々の衛星に関する情報をデータとして取り込めるので、プログラムが自分自身を未知の衛星に対してカスタマイズすることも可能になるのです。ただし、ここにも標準化の限界があり、どんな衛星に対しても100%の情報を標準方式でデータ化するのは難しいかもしれません。しかし、仮に80%しか実現できないとしても、FBCには貢献できるはずです。

### 情報化とは、すなわちモデル化

さて、先ほど後回しにした「衛星に関する情報をデータとして表現する標準的な方法」について説明します。これは、分かりやすく言うと、衛星に関する情報を表すためのモデルを作るということです。簡単な例を図3に示します。これは搭載機器の例ですが、このような表を標準テンプレートとしてあらゆる衛星のあらゆる搭載機器に標準的に適用するわけです。図3の右側の空欄に、搭載機器ごとの値を入れるのです。

しかしながら、実際のモデルとしては、このような単純な表だけでは不十分です。衛星の中で搭載機器がどのように接続されているのか(機構的に、あるいは電氣的に)というトポロジー情報、搭載機器の内部状態が時間的にどのように変化し得るのか(地上からの指令に対して、あるいは搭載機器内での事象の発生に対して)という時間遷移情報等々、さまざまな情報を表すことのできる複雑なモデルが必要です。しかし、複雑なモデルの説明を限られた誌面の中で行うのは困難ですので、ここではこの程度の説明でご容赦ください。

さらに将来は、今までとまったく異なる構成

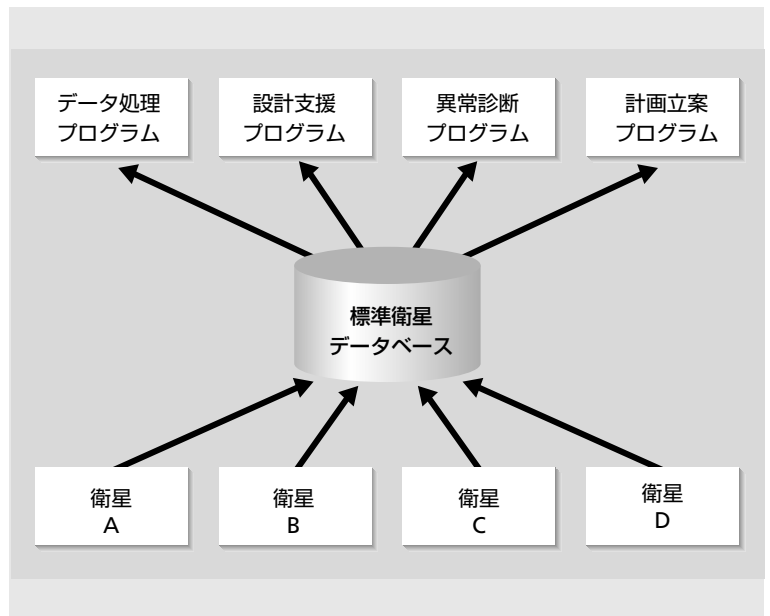


図2 衛星にもプログラムにも依存しないデータベース

の衛星も出現するでしょうから、そのような場合にモデルをゼロから作り直さなくてもいいようにするために、モデルを定義するためのモデルも作っておけば鬼に金棒です。モデルを定義するためのモデルは、メタモデルといいます。私は宇宙用のモデルとメタモデルの双方を構築するための研究をアメリカとヨーロッパの研究者と共同で行っています。

### FBCは本当に可能?

標準化と情報化によってFBCを実現する方法を説明してきました。後者の情報化に関する研究は宇宙分野では2年前に始まったばかりであり、これが実用化されるのは数年後になると思います。実用化されれば、多少はFBCに貢献できると思います。今はまだ研究の初期ですので、先に述べたアイデアが重要な段階です。私はこれからもアイデアを重視した研究を続けたいと思いますので、ご支援をよろしくお願いいたします。

(やまだ・たかひろ)

搭載機器名	
搭載機器番号	
質量	
寸法	
消費電力	
搭載位置	
構成コンポーネント名1	
構成コンポーネント名2	
.....	

図3 搭載機器に関するモデルの例

## 「はやぶさ」地球スウィングバイの実施と結果について

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部(当時、宇宙科学研究所)が2003年5月9日に打ち上げた工学実験探査機「はやぶさ」は、この1年余りの間、太陽を周回する軌道を順調に飛翔し、イオンエンジンを使用し離心率を拡大して、相当する軌道エネルギーの蓄積を行ってきた。この間のイオンエンジンの延べ運転時間は、1基当たりで換算して約1万1000時間に達し、備蓄した増速分は約700m/sに相当する。

「はやぶさ」は、この5月19日に再び地球に接近し、地球スウィングバイを行い、この蓄積された軌道エネルギーを接線方向に振り向け直すことで、太陽周回の軌道を円軌道から楕円軌道へと拡大させ、小惑星「ITOKAWA(糸川)」へ向かう新たな軌道に入った。

地球スウィングバイは、地球の重力を利用し、探査機に搭載する推進剤を新たに消費することなく軌道を大きく変更する技術で、打上げ時に確保していた分を含めて約4km/sの増速を行ったことに相当する。今回のイオンエンジンによる加速を地球スウィングバイと組み合わせて用いる技法は、構想、実施の両面で、世界で初めて

の技術実証である。

「はやぶさ」は5月19日15時22分(日本時間)に東太平洋上空(西経141度、南緯3.5度)にて地球に最接近し、その時点での高度は約3700kmだった。「はやぶさ」は、この直後から約30分間の日陰に突入したが、わが国で初めて搭載されたりチウムイオン二次電池の機能も良好で、翌20日の日本時間午前2時半からの運用でも搭載各部の機器の動作も完全で、正常に動作していることが確認された。このリチウムイオン二次電池は、宇宙機用に開発されたものとしては、世界でも初めて搭載されたものである。

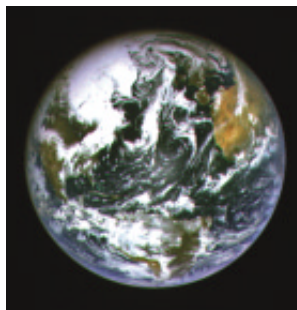
「はやぶさ」探査機の軌道はスウィングバイ後にあらためて推定されており、その結果によれば、スウィングバイ時の目標点からの誤差はおよそ1km程度にとどまり、非常に厳密に実施されたことが裏付けられた。支援を行ったカリフォルニア工科大学のジェット推進研究所の担当部局より、正確な誘導と航法の運用に賞賛の評価を得たところでもある。また、最新の軌道決定結果に基づいた小惑星「ITOKAWA」への飛行計画案の作成にも成功し、5月28日より本格的なイオンエンジンの運転を再開した。イオンエンジンの状態は非常に良好である。

なお、地球接近時に近赤外線分光器の較正観測が行われたほか、探査機に搭載された光学航法カメラ(小惑星との相対位置検出、ならびに科学観測を行うためのセンサ)による月および地球画像の取得にも成功し、宇宙航空研究開発機構および同宇宙科学研究本部のホームページにおいて画像を逐次掲載し、公開した。

(川口淳一郎)



5月17日に撮影した月  
(カラー合成した画像)



5月18日に撮影した地球  
(カラー合成した画像)

## 平成16年度第1次大気球実験が行われる

若葉が芽吹く5月に入ると、大気球実験が宇宙科学研究本部三陸大気球観測所において始まります。平成16年度第1次大気球実験は、5月17日から6月7日の間に5機の気球実験が計画されました。B50型(容積5万m<sup>3</sup>)気球を用いた「硬X線偏光度検出器の基礎性能試験」、B100型(容積10万m<sup>3</sup>)気球を用いた「Micro Segment Chamberによる高エネルギー宇宙電子およ

び大気ガンマ線観測」の2機の科学観測気球と、3機の工学実験気球が放球されました。

「硬X線偏光度検出器の基礎性能試験」では、山形大学、宇宙科学研究本部、大阪大学が中心になって開発を進めている硬X線偏光度検出器の飛翔性能試験を行いました。この検出器は、40keVから200keVのエネルギー領域に感度のある硬X線偏光度検出器として

は、世界最高の性能を持っています。偏光観測が実現すれば、ブラックホール近傍での時空のゆがみの検出、ガンマ線バーストのエネルギー放射メカニズムの解明、パルサーの放射メカニズムの解明など、物理的に非常に重要な研究を行うことができるものと期待されている実験です。

「Micro Segment Chamberによる高エネルギー宇宙電子および大気ガンマ線観測」は、新しい能力を備えた検出器を開発し、エネルギー10GeVからTeV領域までの宇宙電子のスペクトルの観測を目的として行われました。この検出器は、神戸大学、青山学院大学、名古屋大学、宇宙科学研究本部、愛知教育大学が中心となり、従来のエマルジョンチェンバー（原子核乾板）の手法にニュートリノ実験などのために技術革新を重ねてきた精密なエマルジョンチェンバーの高速全自動解析の技術を組み合わせて創出したものです。またエネルギー10GeVから数百GeV領域の大気ガンマ線を同時に観測し、エネルギー100GeVから10TeV領域にわたる一次陽子スペクトルの推定を行うことも目的として実験が行われました。本実験の結果から、宇宙線の起源、宇宙線の銀河内での伝播について貴重な知見が得られるものと期待されています。

これらの科学観測実験のほかに、気球工学実験として3機の気球が放球されました。気球工学実験は、「長時間観測用気球」1機と「超薄膜型高高度気球」2機の飛翔性能試験が予定されていました。

長時間観測用気球は、厚さ25 $\mu$ mの多層膜フィルムをラップ・シールが可能な接着装置で製作した容積

1万5000m<sup>3</sup>のパンプキン形圧力気球で、気球グループの長年の夢である“バラストの不要な気球”の初めての飛翔性能試験です。

超薄膜型高高度気球では、一昨年世界最高高度に到達した気球フィルムより厚みが12%薄い3 $\mu$ m、幅で1.75倍のフィルムの開発に成功し、昨年度、容積5000m<sup>3</sup>気球の性能試験が行われ、飛翔に成功しました。今年度は容積を6倍にして、高度51km程度までの上昇試験が行われました。また、今年度開発した厚さ2.8 $\mu$ mのフィルムで容積5000m<sup>3</sup>気球の初めての飛翔性能試験も行われました。この気球の飛翔成功によって、高度60kmの夢の実現への道が開かれました。

写真は、本実験で計画した容積1万5000m<sup>3</sup>の圧力気球の3分の1相似形気球を製作し、地上における耐圧試験を行っている様子を示したものです。地上試験では大変満足のいく結果が得られ、満を持して本実験に臨みました。（山上隆正）



容積1万5000m<sup>3</sup>の圧力気球の3分の1相似形気球による耐圧試験

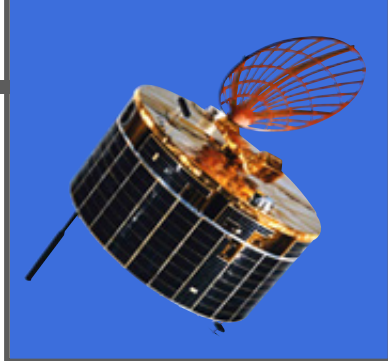
## ロケット・衛星関係の作業スケジュール（6月・7月）

	6月		7月	
相模原	頭	LUNAR-A FM総合試験	末	
	頭		ASTRO-EII FM総合試験	末
	中旬	ASTRO-F FM確認試験	末	
	頭	SOLAR-B FM姿勢系評価試験	末	
	中旬		SOLAR-B FM一次噛合せ	末
	頭		INDEX FM総合試験	末
	中旬	S-310-34号機 FM噛合せ	下旬	
	(IA富岡) 中旬	M-V-6号機 頭胴部仮組立	下旬	
三陸	上旬	大気球実験		
筑波	頭		SELENE FM単体環境試験	末

(FM : Flight Model)



# 浩三郎の 科学衛星秘話



「さきがけ」



井上浩三郎

## 世界初の固体燃料による地球脱出

M-3Sロケットを改良したM-3SIIロケット1号機に搭載された試験探査機MS-T5は、1985年1月8日4時26分(日本標準時)に打ち上げられました。日本として地球の重力圏を初めて脱出し、太陽周回軌道に投入されたMS-T5は「さきがけ」と命名されました。

「さきがけ」は、76年ぶりに太陽に回帰してきたハレー彗星を探査するPLANET-Aの試験探査機として打ち上げられたもので、ロケットの飛行性能確認とともに、わが国初の試験探査機の惑星間空間軌道達成と、太陽周回軌道に打ち上げられたときに必要な惑星間空間軌道の生成と決定、超遠距離における通信、姿勢制御および決定など、新技術の習得を主目的としました。

実験班は全員、内之浦で越年して打上げに備えました。打上げ予定日は1月5日でしたが、天候不良で初日を見送りました。6日には打上げ直前に補助ブースタ可動ノズルの油圧駆動用モータの電源開閉回路が一時閉じなくなる不具合が発生しましたが、地上装置に問題があることが確認されたため、1月8日の打上げに至りました。この成功は宇宙研が総力を挙げて達成したもので、実験班の底力を見たようでした。

わが国初の人工衛星「おおすみ」誕生から数えて15年、記念すべき年になりました。秋葉実験主任より「120%の成功」との場内放送があったのも、このときでした。科学観測として太陽風プラズマと惑星間磁場の観測を行うために、太陽風イオン観測器(SOW)、プラズマ波観測器(PWP)および太陽風・惑星間空間磁場観測器(IMF)という3種類の観測器が搭載されました。

## 打上げ後の状況

惑星間空間軌道に打ち上げられた「さきがけ」は順調に飛行し、新設されたばかりの臼田深宇宙局で第1バスの電波を日本標準時1月8日9時55分に受信しました。受信して得られたデータにより、M-3SIIロケットの性能確認が完全に行われました。その後、探査機搭載機器の正常動作を確認し、測距、軌道決定、姿勢制御、軌道修正など一連の深宇宙探査技術のチェックが順調に行われました。2月19日および20日には、観測装置のアンテナおよびブームの展開、高圧電源の印加が正常に行われました。科学観測も正

常に続けられ、1986年3月のハレー接近時には太陽風のデータの取得が順調に行われました。

## 探査機の開発

「さきがけ」はわが国で初めての惑星間空間探査機で、地球周回衛星と多くの点について異なっており、その開発には関係者の大変な努力がありました。超遠距離通信、軌道および姿勢制御、軌道生成、軌道決定、姿勢決定、熱制御など、初めての経験で、重量はロケットの性能から約140kgと決められていました。

衛星班をはじめ関係者による度重なる検討の結果、形状を円筒形として、姿勢はスピン安定方式にして安定を図り、大きさは太陽電池の面積と姿勢制御用ジェットの観点から、直径1.4m、高さ70cmとしました。

(いのうえ・こうざぶろう)

図1 超遠距離用アンテナとして開発された低速のデスパン機構を持つ直径80cmのオフセットアンテナ

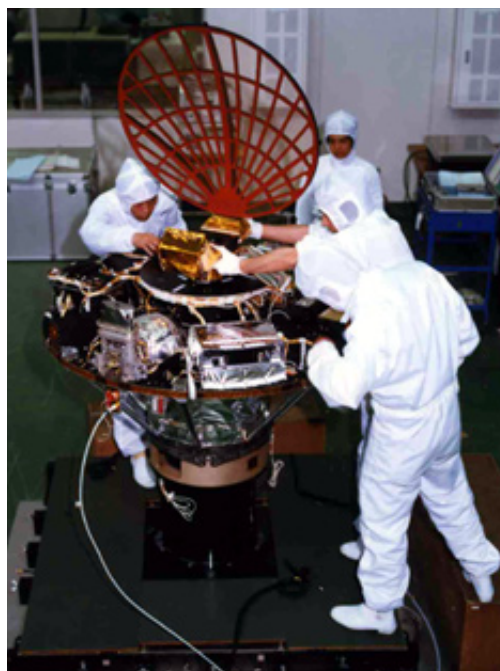


図2 探査機にアンテナを取り付ける総合試験風景

ハレー試験探査機「さきがけ」その1

# いまだ謎！ 水星地殻の化学組成

マリナー10号が撮像した水星の写真を見て、月と区別できる人は通と言ってもいいだろう。水星の表面は、月と同じように激しい隕石重爆撃によって形成された無数のクレータに覆われている。灰白色のモノトーンな色調も、荒涼とした月の高地を忍ばせる。ただし違いはあり、月のうさぎなどの模様でおなじみの「海」は見られない。海とは、月形成後数億年以上たってから長期間にわたって噴出した玄武岩質溶岩が、月の低地を覆ったものである。黒く見えるのは、周囲の斜長岩に比べて鉄分が多く、相対的に反射率が低いからである。

とはいえ、水星はまだ全体の半分しか撮像されていない。化学組成に至っては、まったく未知のままである。ここでは謎だらけの水星の表面全体の平均的な化学組成に注目する。

## 古代太陽系の進化解明の手掛かり

水星の直径は、月や木星のガリレオ4大衛星、土星のタイタンなどと同程度しかなく、惑星としては小型である。そのため早い段階で地殻やマントルが冷え固まり、地球や金星のように現在まで活発な活動を継続することなく、火成活動や造陸運動は初期の段階で終焉してしまった。水星の地殻には、地球型惑星の形成や初期進化を支配したプロセスの痕跡が、地質構造や元素分布として現在も残ると期待される。

太陽系科学における水星の重要性としては、最も内側の惑星であること、非常に高密度であること、さらに「内惑星探訪」シリーズですでに紹介されたように固有磁場の存在が挙げられる。惑星は、その公転軌道の周辺の微惑星だけを集めて成長したのか、それとも微惑星同士の軌道が大きく攪拌され、日心距離の異なる広い範囲の微惑星を集めたのかは、よく分かっていない。一般に日心距離が小さいほど水やアルカリなど揮発性に富む元素に乏しく、また岩石中の鉄量も乏しい。反対に日心距離が大きいほどアルカリや水・有機物など揮発性元素に富み、鉄も金属よりも岩石中に含まれる傾向が強まる。水星の平均化学組成が太陽系内縁部の特徴を持つのか、内惑星域の平均的特徴を持つのか、分かれば、一般的な惑星の出来方が分かり、古代太陽系の進化解明にとって重要な手掛かりになる。

## 重い水星はどのようにできたか

水星の平均密度は非圧縮状態で約 $5300\text{kg/m}^3$ と、他の惑星に比べて圧倒的に重い。それを説明するいろいろな説が提案されてきた。その一つは、水星形成前の段階で岩石と金属の混合物同士が衝突する際、金属は展性によって合体しやすく、岩石は脆性のため破壊されやすい傾向があるため、金属が選択的に成長する。その結果、金属に富む重い水星ができた、というものである。一方、地球と同程度の密度の惑星ができ、地殻・マントル・核の内部構造が形成された後、表面付近の軽い地殻が最初期の活発な太陽活動によってあぶられて蒸発したという説や、他の原始惑星の衝突によって地殻が飛散したという説などがある。以上の説では互いに到達する表面温度が違うため、アルカリや酸化鉄などの揮発性の高いものと難揮発性の元素の存在比に差が表れる。それを調べれば、現在の重い水星の出来方が分かる。

今後の水星探査では表面の化学組成、特に主要元素やアルカリ、放射性元素などの定量分析が必要である。BepiColomboでの周囲軌道からのグローバルな蛍光X線とガンマ線の探査によって、これらの謎の解明が期待される。

(おかだ・たつあき)

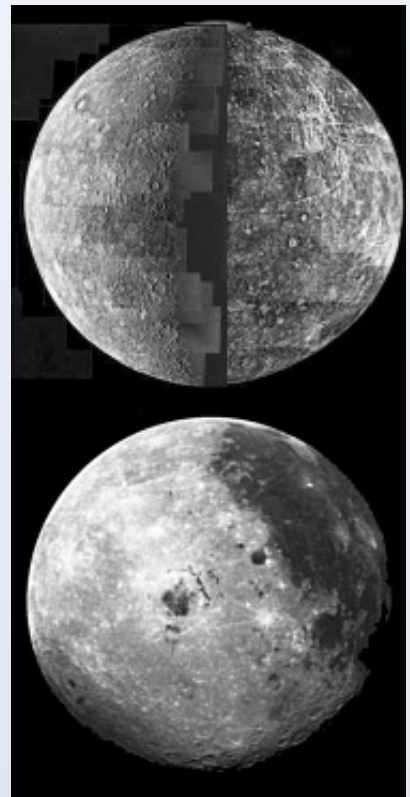


図1 マリナー10号が撮影した水星モザイク画像(上)とガリレオが撮影した月(NASA提供)



意外と近い国  
上海天文台訪問記

VSOPのプロジェクトに参加してから、ほとんどの外国出張がアメリカの中西部(NRAO VLBAの本拠であるニューメキシコ州のソコロとJPLのあるパサデナ)であった。さすがに初めてのときはいろいろとワクワクしたが、回を重ねるごとにそのような気持ちも薄れてきた。「はるか」が打ち上がった後は、しばらくは外国に行く余裕もなく、日本にこもってせつせと衛星の運用をしていた。中国をはじめとする多くの国々と協力をしていたが、衛星の打上げ前後の本当に忙しい時期には、国際会議の多くは日本で行われていた。そのようなこともあり、日本以外のアジアの国に行くのはこれが初めてであった。

活気ある上海へ

成田を飛び立つと、飛行機は日本列島に沿って西に進む。長崎を過ぎたところで、「着陸体勢に入るので高度を下げる」とのアナウンスがあった。日本からまだ出ていないのに、もう着くのである。空港から上海市街にある上海天文台まで車で1時間くらい。さらに30分くらいで、VLBI観測を行う上海天文台の25mアンテナに到着する。内之浦のアンテナよりも早く着いてしまうのである。とても近い！ 航空運賃(時価)もほとんど変わらない。

『三国志』や『十八史略』などの歴史書を好んで読んでいたために、中国の長い歴史や広大な国土にあこがれる面もある。一方で、国の制度が日本と違っていると、行くのにビザ

が必要であったりと、なかなか遠い(行きにくい)国というイメージがあった。ところが、今年の9月より短期間の滞在の場合はビザが不要になり、だいぶ行きやすくなった。さらに今回上海を訪れて(上海が特別なかもしれないが)、特に不自由もなく滞在できた。最近、市内と空港を結ぶリニアモーターカーが開通していて、高速道路も整備され、高層ビルがどんどん建設されていて、今までの自分の認識を改めさせられた。

上海の街は今、非常に活気がある。車や人がとてもアクティブに動いていて、古い町並みもある反面、これからどんどん発展していくという雰囲気も大いに感じた。歴史的に見ても中国は衰退期と繁栄期を繰り返しており、清朝末から現在の中国になるまでを衰退期とすれば今、繁栄期に向かっているところなのだろう。

上海天文台

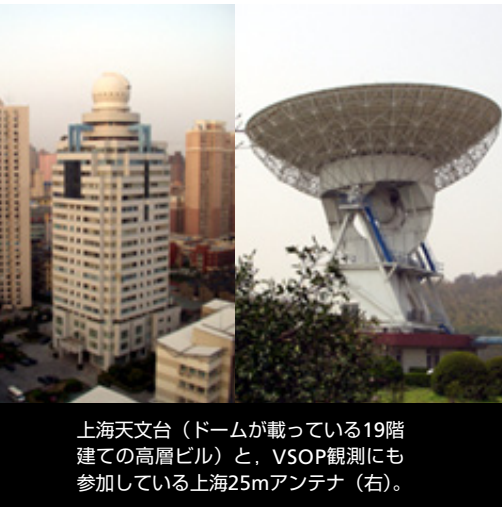
今回の上海天文台訪問の目的は、日本のVLBI計画と中国のVLBIグループとの協力関係について情報交換をすることである。VSOP計画で「はるか」と共同で観測を行った上海天文台の関係者と、VSOPやそれに続くVSOP-2計画の状況および今後の協力関係について意見交換を行った。VSOP、VSOP-2と同様に地上VLBI計画として中国との共同研究を重要視している国立天文台のVERAプロジェクトからも、VERAプロジェクトマネージャの(VSOPでも主力だった)小林先生と一緒に意見交換を行った。

上海天文台は、国立天文台のようにさまざまな分野の天文学者が研究をしており、その中に電波天文学、VLBI観測を専門とする研究者がいる。宇宙研にも客員教官として滞在され一緒に研究をしていた沈博士や、VSOPの運用でいろいろとお世話になっている洪博士が、VLBIグループの中心として活躍している。上海天文台が運用している25mアンテナは、VSOP計画によるスペースVLBI観測に参加した世界中の電波望遠鏡の一つである。最後までVSOP観測に付き合ってくれている電波望遠鏡である。沈博士はVSOPのデータで研究を行っており、彼の指導する大学院生は、VSOPのアーカイブデータを使って研究をしている。ここでもVSOPファミリーが研究活動を行っているのである。

アジアの国々といい関係で

中国や韓国では現在、次世代の電波望遠鏡計画が立ち上がりつつあるところで、今は活動的で発展的な段階にある。日本にあるVLBI観測局との協力関係も今後どんどん進んでいこう。このインターネット全盛の時代であれば、近いから協力しやすいということはないように思えるが、実際は協力していく上で、定期的に直接会って話をするのはとても重要である。VSOPでも年1、2回程度のペースで世界中の関係者が1カ所に集まり、会合を持った。その点でいうと、航空運賃も比較的安く、近くて時差もなく、ほとんど九州や北海道くらいの感覚で往復できるアジアの国々との協力はやりやすい。人材や天文観測のためのリソース(望遠鏡や相関器、VLBI観測ターミナルなど)を広く共有し、協力し、場合によっては互いに競争関係を持って研究を進めていくことは、それぞれの国にとっても有益なことである。互いに楽しく天文学の研究を続けていけるよう、今のいい関係を継続、発展させていきたい。

(むらた・やすひろ)



上海天文台(ドームが載っている19階建ての高層ビル)と、VSOP観測にも参加している上海25mアンテナ(右)。

宇宙情報・エネルギー工学研究系助手

村田泰宏





# 宇宙は生命に満ちている

清水幹夫

宇宙科学研究所名誉教授

下戸の筆者がいも焼酎を飲むのですから、すさまじい話になることをご容赦。

惑星、彗星大気から地球の原始大気も知りたくなり、その化石は其中で生まれた生命に刻まれているだろうと考えたことが発端。生命の基本的要素はアミノ酸と核酸塩基だから、両者をつなぐ遺伝コードが対象になるということで25年間にわたる研究が始まりました。当然、生命の起源が切り離せない問題でもあります。答えが出るかどうか分かりませんが、恩師の小谷正雄先生や江上不二夫先生、その門下生の方々の応援を得て突っ走りのみ。はやりの遺伝子操作や、DNAと違って壊れやすいRNA、ペプチドなどを相手にゴシャゴシャやって、出てきた結果は次の通りです。

## 地球の原始大気と生命をつなぐ

まず、アミノ酸1個でも弱いながら酵素活性があります。また、遺伝コードでこのアミノ酸に対応する3個の塩基に、同一の酵素活性があります(これで二者の間に分子論的相互関係があることが、浮かび上がりました)。これらの酵素でブドウ糖を分解してその間にATPができます(この回路は我々のと違いもっと古いもの)、その先のクエン酸回路も動きます(さらにアミノ酸、核酸塩基を作ったりしますから、もはやこれらを原始地球から供給してもらう必要性もなくなります)。

アミノ酸はユレー・ミラーの実験などで前生的に生成しますし、塩基も数個ぐらいは同様の実験でつなげられます。塩基なら、代謝だけでなく、遺伝が可能になります。問題は、弱い酵素が働くほど濃い溶液(例えば、10~100ミリモル)ができたかです。まず原始火山活動で煮詰めるという昔からの手があります。フリーマン・ダイソンは、木村資生の中立説の核心である巨大揺動を生命の起源に利用することを提唱しました。彼の玩具モデルはあまりにも雑で、代謝だけの生命という発想(これは生命の定義の問題です)はまったくといってよいほど受け入れられていませんが、巨大揺動でこれら酵素

が濃くなったというふうに使えます。

もう一つ、アミノ酸と3塩基間の特異的親和力も強力な助けになります。片方があれば、もう一方の濃度を増します(これは、現在の生命の中心部を占めるタンパク質合成系の最も原始的な形なのです。タンパク質は、酵素つまり触媒でその濃度を増すことが、合成系の役目ですから)。この助け合いが遺伝コードワールドとも呼ぶべき最小生命分子系を形作ります。

ついでに言うと、原始細胞状のものが固体アミノ酸群を熱してできますが、そのときアスパラギン酸のようなアミノ酸が必要で、その酵素作用を利用しています(ここまでのことを多少詳しくお知りになりたければ、インターネットで著者の氏名と「遺伝コード」をカップルして検索すれば、和文のホームページが見られます)。

ば、和文のホームページが見られます)。

## 原始の火星でも？

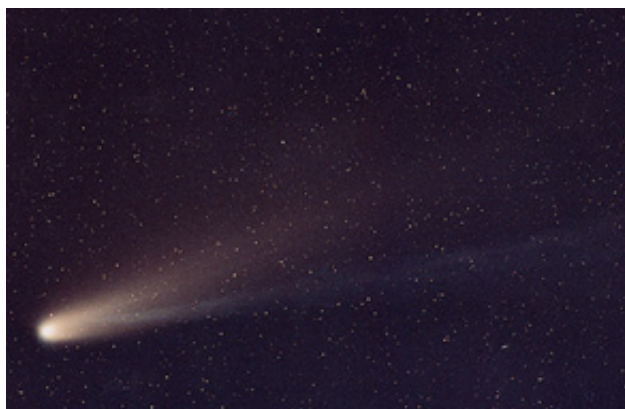
ここで原始時代に分け入りましょう。いよいよ想像をたくましくします。炭素の同位体データから、光化学反応生命が39億年前に生まれたといわれます。生命発生に必要な期間は100万年という人もいますし、光化学反応は前に述べた中央代謝に毛が生えた程度なので、もっと短いかもかもしれません。やっと冷えた地球は火山活動の盛んなオドロオドロした環境で、まだ反応を進めるのに必要な励起分子はたくさんあり、高温なので反応速度も速い。幸いアミノ酸などの小さな分子は高温でも安定です。3塩基は遺伝型であるとともに表現型(酵素という機能)を持つので、進化速度は極めて速い。いったん原始細胞が動きだせば、環境の変化に応じた、いろいろな種類の細胞分化が起こるでしょう。

なんだ、こんなことは火星でもエウロパでも起こるではないか。いや、宇宙のあらゆる惑星系で存在したのではないか？ 微惑星が集まって惑星ができるなら、その表面は溶けざるを得ず、そこに有機物質を含む小惑星が最後に落ちてくれば、局的にでも還元的な環境が形成されるでしょう(すでに太陽系の外側は有機物質に富んでいることが知られていますし、他の惑星系でもそうでしょう。炭素は宇宙のどこにもたくさんあるのですから)。上記の実験事実は、この中で原始生命形成が高い確率で起こることを示唆します。

翻って探査の現状をみると、ヴァイキングが火星の砂に1%の水を見だし、しかし一方、有機物質はまったく検出されませんでした。この後者を覆す発見が次の急務です(火星隕石での生命痕跡などがセネタもいいたところ)です。しかし、ガタガタしている人間社会が夢に向かってそんなに金を注ぎ込めるかどうか？

いずれにしても、宇宙は生命に富んでいるというのが、酔っぱらったあげくの結論です。

(しみず・みきお)



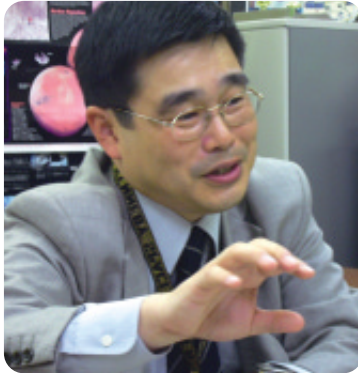
ハレー彗星も有機物に富んでいる  
(撮影：鹿児島宇宙空間観測所シュミットカメラ)

# 宇宙の電池屋さん

宇宙探査工学研究系助教  
曾根理嗣

## —人工衛星の電源系，特に電池の研究をしているそうですね。

曾根：人工衛星の電池は，携帯電話などの電池と基本的には同じですが，使い方が大きく違います。例えば，低軌道衛星は約90分間で地球を1周します。昼の60分間は太陽電池パドルで発電して観測装置などの電力を賄い，電池にも充電します。そして夜の30分間に，電池から放電して衛星の電力を賄います。このように1日に何度も充放電を繰り返しながら，人工衛星のミッション期間である3～5年にわたって，安定して電力を供給することが求められます。電池が切れると，人工衛星は死んでしまう。電池は人工衛星の寿命を左右しているのです。



そね・よしつぐ。1967年，静岡県生まれ。東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻博士課程修了。専門は電気化学。1996年，宇宙開発事業団開発部員。2003年，宇宙科学研究本部助教授。人工衛星の軽量化に向けた電池および電源技術の研究を行っている。

## —小惑星探査機「はやぶさ」には，リチウムイオン電池が搭載されているそうですね。

曾根：宇宙で最初に使われた大型リチウムイオン電池だと思います。これまで人工衛星で使われてきたニッケルカドミウム電池やニッケル水素電池の質量は，人工衛星全体の約7%，1t級の衛星であれば100kg弱です。リチウムイオン電池では半分にできます。約50kg削減できれば，その分，観測機器を追加できますよね。私たちの頑張りどころです。リチウムイオン電池の利点は各国とも分かっていたのですが，新しいタイプの電池は宇宙で何が起きるか心配です。“誰か先に打ち上げてくれよ”と各国がにらめっこし，意気込みのある国はロケットの打上げに失敗しているような状態でした。リチウムイオン電池は，携帯電話やノートパソコンなどに使われていますが，人工衛星のような宇宙独特の使い方ではすぐに劣化してしまう場合があります。電池の設計と使い方がうまくマッチしないと，安定して動いてくれません。そこで私たちのような“宇宙の電池屋さん”が，地上実験や衛星からのデータを解析してノウハウを習得し，電池をうまく使いこなせるようにしているのです。

## —燃料電池の研究もしているそうですね。

曾根：燃料電池は，水素と酸素を反応させて水ができる過程で電力を得ます。バッテリーというよりジェネレーターですね。水素や酸素を蓄えるにはタンクが要るので，小さな人工衛星には向きません。しかし，スペースシャトルのような大きなシステムになると，従来の電池よりも燃料電池を使った方が電源系を軽くできます。今後，軌道上で構造物を組み立てたり，燃料補給や修理・保守をするといった大きな電力を必要とする仕事には，燃料電池が欠かせません。人類のエネルギー問題を解決し

ようという宇宙太陽発電衛星の組み立てにも燃料電池が必要だと思います。太陽発電した電力で水を水素と酸素に電気分解するシステムと組み合わせた再生型燃料電池は，月面で大活躍するでしょう。月では夜が地球の14日間分，昼が14日間分続きます。昼に水を電気分解して水素・酸素を作っておけば，燃料電池で14日間分続く夜を乗り切

れます。そういったことの実現が，私の夢ですね。

## —宇宙に興味を持ったきっかけは？

曾根：もともと星の観察などが好きでしたが，中学2年生のとき，スペースシャトルの初飛行をテレビで見たことが，私の人生を決めました。ものづくりをしながら，仕事として宇宙にかかわっている人がいることを強く感じたのです。絶対に将来は宇宙関係の仕事に就くのだと心に決めました。しかし，中学や高校の進路相談などでは，“夢があつていいなあ。でも，もっと現実的に考えよう！”と言われ続けて……(笑)。

大学では化学を学びました。大学3年のとき授業で，燃料電池を搭載したジェミニやアポロの話先生がしてくれました。それが燃料電池との出会いです。電池の勉強をすれば，いつか必ず宇宙への道が開けるかもしれないと思いました。しかし学生だった1990年代前半，日本では燃料電池の研究は一段落して下火になっていました。指導教官にも，“宇宙ばかり見てないで，地に足を付けて勉強しなさい”とよく言われました。宇宙分野でもスペースシャトルに搭載されているアルカリ形燃料電池は大変高価なため，現在でもスペースシャトル以外では燃料電池は使われていません。

## —現在では，燃料電池自動車の開発などが盛んですね。

曾根：固体高分子形というタイプの技術革新が急速に進んでいます。それを宇宙でも使えるようにするのが，私の役目だと思っています。しかし，水管理が難しく，そのままでは宇宙機に使えません。旧・宇宙開発事業団で私は，固体高分子形を宇宙で転用する研究を続け，めどを付けました。そして昨年10月に宇宙研にきました。今後，気球などに燃料電池を積んでもらい，実証実験をしていきたいですね。燃料電池を使って，太陽が出ない極域の冬でも，例えば100日間くらい連続してオーロラ観測をできるようにしたい。推進系燃料を燃料電池に使う研究にも参加しています。刺激に満ちた毎日で，今，楽しくて仕方ないんです。

ISASニュース No.279 2004.6 ISSN 0285-2861

発行／独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部  
〒229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL: 042-759-8008

本ニュースに関するお問い合わせは，下記のメールアドレスまでお願いいたします。  
E-Mail: newsedit@adm.isas.jaxa.jp

本ニュースは，インターネット (<http://www.isas.jaxa.jp/>) でもご覧になれます。

\*本誌は再生紙(古紙100%)を使用しています。

### 編集後記

2回目の担当となった今回は，実際の編集作業から解放されて，記事の内容チェックに専念できるようになった分，執筆者の方にはずいぶん細かい注文を出してしまい，ご迷惑をおかけしました。運が悪かったと思ってどうかご勘弁ください。今後ともよろしく願います。

(山村一誠)

デザイン／株式会社デザインコンピビア 制作協力／有限会社フotonクリエイト