

X帯デジタルトランスポンダー  
機能評価用試作機の上ぶたを開けた様子

宇宙科学最前線

# 次世代X帯デジタルトランスポンダーの開発

戸田知朗

宇宙情報・エネルギー工学研究系助手

太陽系を旅するはるか彼方の人工物を想像しても、少しも不思議に思われない時代にあつてすら、目に見えないその人工物からの便りが定期的に手元に届くとしたら、何かしら感じるものがあるに違いありません。現実には、人工物たる探査機は設計された通りに、無味乾燥な2値の羅列で素っ気ない便りを送ってくるだけかもしれないけれども、その忠実さは時に健気にさえ見えてくるものです。そんな錯覚も、探査機との通信があつて初めて意味があります。

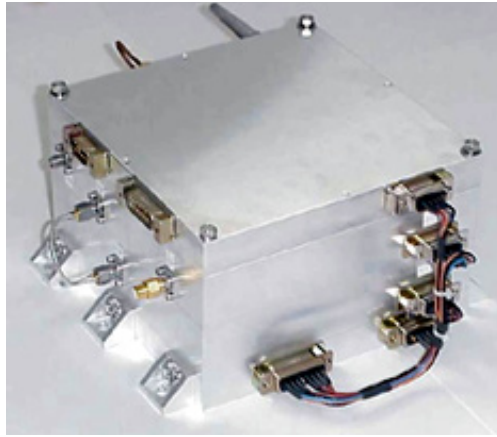
探査機の耳目は、空気のない世界も伝わる電波を頼りにしています。彼らは、私たちの世界に携帯電話が普及するずっと以前から、この電波だけを唯一の手段として地球とつながってきました。その意味では、打ち上がってしまったからの探査機にとっては、通信こそが文字通り命綱であり、プロジ

ェクトを成功させるためには、私たちにとつてもそれは変わりありません。思えば、宇宙にたった独りぼっちでいる寂しさは、探査機に勝るものはないのではないのでしょうか？ 深宇宙通信は、さながら孤独な探査機のつぶやきに耳をそばだてて、じつと“聞き入る”ことかもしれません。もちろん、私たちの耳には“聞こえない”のですが。

## トランスポンダーの開発

探査機に搭載されている通信機は、トランスポンダー(Transponder)と呼ばれています。これは、トランスミッター(Transmitter)とレスポンス(Responder)を掛け合わせた造語です。問い掛けに応じて答えを投げ返してくれるもの、といった意味です。探査機に限らず、衛星と名の付くものは皆、このトランスポンダーを持っています。私たちが地球

図1 X帯デジタルトランスポンダー機能評価用試作機



にいながらにして、彼らの身边で起こる出来事を逐一知ることができるのは、この装置が機能するおかげなのです。言うまでもありませんが、通信とは相手があって成立するものです。トランスポンダーの相手とは、探査機の言葉の通訳代わりをしてくれる、地上局に設置された送受信機のことです。通信の話題は、この両者を対にして語られねばなりません。本稿はトランスポンダーの解説ですので、背景に地上局の送受信機が常にあることを忘れないでくださいとだけ付記しておきましょう。

トランスポンダーは、探査機にとってそれほど重要な装置であり、その歴史は宇宙開発の歴史そのものに重なるほどです。そして、多くの探査機技術同様、研究開発を経ながらも往時とさほど変わらない姿で生き残ってきました。現在では、信頼性の見本のような完成された技術です。従前、ISASの科学衛星・探査機の開発にあたっては、トランスポンダーもその都度、新しく作り直されるものでした。宇宙科学を目的とする挑戦が、それぞれに特殊であって個性的であるので、通信機もまた個性を反映した仕様が求められたからでした。私たちが目にする美しい天体画像が明らかにしてくれているように、宇宙が多様な姿を持つからには、それは自然なことです。

しかし、21世紀となり、ISASの宇宙科学は深宇

宙探査へと大きく踏み出しました。「のぞみ」から「はやぶさ」と続いて、特別な実験という垣根がはられ、太陽系探査をめぐる新しい提案が矢継ぎ早に上がるようになりました。それらの提案のどれをとっても、特殊性はさらに一通りではないでしょう。こういう局面にあって、今まで通りに過去の技術を踏み台にして、着実な一歩を積み上げていくだけでは、新しい計画に対応しきれなくなってきました。ISASでは、新しい時代には、深宇宙探査にも対応した新しいトランスポンダーを作る必要性が強く認識されたのです。

## 次世代の原型“幼虫”

図1の写真は、次世代を担う新しいX帯トランスポンダーの姿です。これは、新たに付与される基本機能の検証のために、試作機として製作されました。まだ開発段階の初期のもので、衛星・探査機に搭載される資格は持っていませんが、機能・性能はまさしく最新です。4段重ねの重箱のような姿に、遠く離れた探査機の通信に必要なものが詰め込まれています。表紙はベースバンド部(下記参照)のふたを開け、ケーブルを接続して試験を行っている様子です。表1に3種類のトランスポンダーの仕様を比較していますが、この試作機のサイズは15cm×15cm×9.45cm、アルミニウム材の構体で、重量は3.4kgとなっています。これまでのトランスポンダーに比べて小型化・軽量化を意識しています。しかし、さすがに現在の技術の粋たる携帯電話のようにはいきません。右から左へと技術移転を図る上で、宇宙技術の特殊性が、やはりコスト面で障害になりますし、何より信頼性の評価が問題になります。

各段の構成は上から、受信電波の復調をして信号の同期再生を行うベースバンド部(第1段)、アンテナから送受信する電波を変復調する高周波部(第2段)、変復調に必要な周波数関係の電波を作る周波数合成部(第3段)、トランスポンダーの動作に必要な電圧を作る電源部(第4段)に分かれます(以下、送受信という言葉は、トランスポンダーから見た立場で使用します)。ベースバンド部はまた、受信電波と適当な分数比(880:749)の周波数関係になる位相のそろった(コヒーレントという)電波を再生する機能も担っています。新しいトランスポンダーの特長をまとめると、次のようになります。

- ・深宇宙探査用のX帯周波数チャンネルに対応
- ・深宇宙での測距(距離計測のこと)回線品質の改善
- ・受信感度の改善
- ・ベースバンド部のデジタル信号処理化

これらのことから、私たちは新しいトランスポンダ

表1 X帯トランスポンダー比較表

	プロトタイプモデル		はやぶさ用X帯トランスポンダー	
	送受信機	受信機(推定)	送信機	機能評価用試作機
形状(mm)	150×150×120	190×160×103	168×143×90	150×150×94.5
重量(g)	2100	2250	1510	3400
密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.78	0.72	0.70	1.60
消費電力(W)	18.2	17	9.6~11	19.8
機能	変調度可変 信号再生方式測距機能 安定化電源	変調度可変 安定化電源		変調度可変 信号再生方式測距機能 非安定化電源
ハウジング 材質	マグネシウム (比重:1.74)	マグネシウム (比重:1.74)		アルミニウム (比重:2.69)

※開発中のものは送受信部一体の構成となっている。  
はやぶさ用X帯トランスポンダーの受信機は冗長構成を兼ねて2台で1台の機能をカバーしている。

ーを「X帯デジタルトランスポンダー」と呼んでいます。

送受信をX帯とするISASのトランスポンダーとしては、これまでには5月に打ち上げられた深宇宙探査機「はやぶさ」しかありません。これ以後の深宇宙探査に認められる周波数チャンネルはX帯より高い周波数とされています。「X帯」という言葉を断りなく使ってきましたが、周波数8GHz/7GHzの電波をそう呼ぶ習わしです。したがって、X帯深宇宙チャンネルへの対応は、将来にわたってこのトランスポンダーが採用されるためには外せない条件です。

また、X帯のトランスポンダーは「はやぶさ」に搭載されたわけですが、2AU(AUは天文単位。1AUは地球と太陽の平均距離で約1億5000万km)を超える深宇宙探査では測距回線がまずボトルネックになること、すなわち、探査機の軌道決定が困難になることが分かっています。探査機までの距離を測定するためには、地上から測距信号を載せた電波を送出し、探査機からトランスポンダーを経由してブーメランのように折り返される電波を地上で受信するまでの時間を計測します。今までの測距方式は、探査機のトランスポンダーではただ折り返すだけでした。けれども、新しいトランスポンダーでは、受信した測距信号を再生して品質を回復した後、再変調して送り返す方式を採用しました。従来の手法では電波に載せられた測距信号は、往復の間に品質が損なわれることになりませんが、新しい方式では品質の低下は片道分で済む勘定です。図2は両方式を比較した実験結果です。従来の方式(図2上段)では、雑音に埋もれて測距信号パターンが判然としない状態であったものが、新しい方式(図2中段)によれば元の信号がきれいに再現されている様子がよく分かります(再生信号のピーク位置と送信パターン[図2下段]の高低の対応を見てください)。これにより、アンテナ指向や探査機の姿勢制御の手間をかけずとも、測距回線は5AUの距離までも成立できる見込みです。これは、将来的には木星探査が射程に入る実力といえましょう。

遅ればせながら、デジタル信号処理は時代の要請といえるかもしれません。ようやく消費電力と費用に見合う、宇宙環境でも使用可能な部品調達が可能になったわけです。デジタル化による恩恵は受信感度の改善に加え、アナログのマイクロ波回路に付き物の調整過程が不要になるので、コスト低減にもつながります。先ほどの測距信号再生方式を導入して測距回線を改善した後は、探査機から地上局への通信回線が新たな限界となるため、ここでの受信感度の改善は大変意義のあることです。新しい誤り訂正符号との組み合わせで、

通信回線も5AUの距離まで成立できるでしょう。

以上の特長はすべて、図1にある機能評価用の試作機を用いた実験を通じて確認することができました。

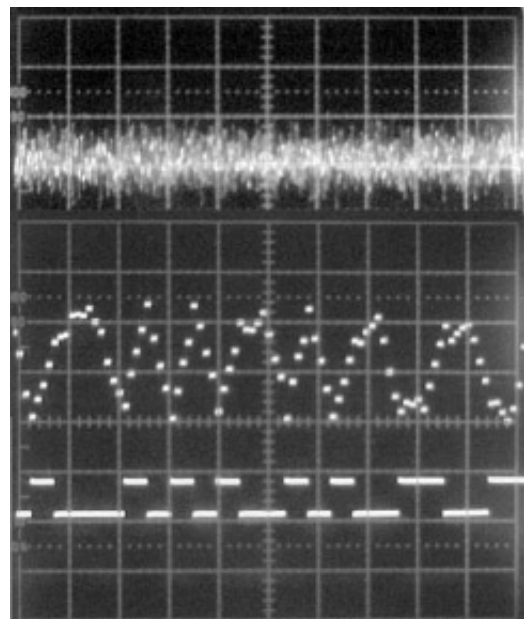
## “さなぎ”を作る計画、そして蝶へ

新型トランスポンダーを作る計画は、2000年度に始まりました。一昨年度までの2年間で、ここまでに述べたような新機能を網羅する実証実験を完了しました。そして、その後の3年半で搭載性を保証するプロトタイプ製作を行う予定です。このプロトタイプは、実証試験に供された試作機をベースに開発されます。本稿が皆さんの目に留まるころには、搭載に必要な資格を満たす使用部品の選定、他搭載機器とのインターフェースの確定、デジタル信号処理回路の搭載仕様品への適応などを終えて、具体的な惑星探査プロジェクトを挙げて目標を絞る段階にあるでしょう。デジタル信号処理を含むベースバンド部のプロトタイプ開発はすでに完了して、これからは高周波部、周波数合成部、電源部の開発を行う予定だからです。機能評価用試作機との違いは、搭載可能部品への移行と外部機器とのインターフェース仕様を見直したことで、試作機の4段から5段構成に変わることが決まっています。その他の違いは、表1にまとめた「はやぶさ」の搭載品、試作機、これからのプロトタイプモデルの比較を参考にしてください。開発は順調です。

私たちのトランスポンダーは、いつお披露目を飾るのでしょうか？ 金星へ？ 水星かもしれません。いずれにしても、宇宙航空研究開発機構(JAXA)にとって最初の深宇宙探査機になることを希望しています。今のところ、地上で理解する探査機の話は、穏やかに唱える念仏のように“聞こえ”ます。でも、年々進化していくIT技術のその先には、はるか彼方の探査機との間に禅問答が生まれるかもしれません。宇宙科学は、人間の世界観そのものを揺さぶる強い力を持っています。探査機の伝える言葉がその世界観に違いないなら、深宇宙通信は深淵そのものではありませんか。

(とだ・ともあき)

図2 測距信号再生方式の効果。同条件下で受信測距信号パターンを観測したもの。上段：従来の測距方式、中段：測距信号再生方式、下段：送信信号パターン。



## 再使用ロケット実験機第3次離着陸実験

統合直後の10月14日から11月1日まで「能代多目的実験場」で再使用ロケット実験機の3回目の離着陸実験を行いました。今回の実験は、これまでの機体を改修して耐久性設計を施したエンジンインジェクタなどの新しい要素を組み込んだり、複合材極低温タンクに液体水素を入れて初めて飛ばすことや、繰り返し飛行のシステム構築のために故障を許容するシステムの検証など、いろいろな新しい試みを載せて、繰り返しの飛行運用をすることが目的です。中でも複合材液体水素タンクは、これまでに何度も予想外の漏れや不具合に見舞われ、飛行に耐える状態にするまででこずりましたが、今回の実験では漏れなしの完ぺきな運用ができました。実験は静的な飛行から動的な飛行へと順次進め、いずれも計画通りに行われました。この結果、繰り返し飛行の実験環境を利用しながら、新技術の実証や、再使用のシステム設計および運用技術の勉強という所期の目的を達し、次のステップで目標とする高度100km以上の弾道飛行を目指す機体の設計のための基礎データの蓄積が図られました。

実験をこの時期に行うにあたり、新機関の多方面の方々には大変お世話になりました。旧宇宙科学研究所の能代ロケット実験場は総合技術研究本部の所管となったため、10月以前から移管の段取りとあわせていろいろな交渉が必要でした。特に角田宇宙推進技術センターの方々には相当なわがままと無理なお願いをし、実験の実施と新しい体制での実験場の運営の両面で、多大なご協力をいただきました。統合で変わった財務・旅費システムにより、物を1つ買うのも出張の届けを出すのも、何がなんだか分からない状態での現場突入に、宇宙科学研究本部はもちろんのこと、総合技術研究本部、宇宙基幹システム本部さらにはHQまで、多くの方を巻き込んで次々に問題を起こしながら、まさに手探りの状態で実験を進行することになりました。実験実施の責任体制や緊急時対応の話から、実験班の使うトイレトペーパーは誰がお金を負担するの

かまで、それこそピンからキリまで体制変更に伴うあらゆることを決めながらです。実験者の立場からあえて無理を申し上げたことも多くありましたが、今後計画される他の実験も含め、あくまで新機関での基礎研究や小規模実験を行う自由度を大きくすることが目的ですので、ご理解いただきたいと思います。この場を借りてご支援とご協力にお礼申し上げます。ありがとうございました。

(宇宙航行システム研究系教授 稲谷芳文)



離陸直後の実験機

### 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	LUNAR-A 総合試験 10	M-V-2 噴合せ試験 26
内之浦		S-310-33 フライトオペレーション 9 15 28



## 能代多目的実験劇場

# ネバーエンディングストーリー

「コントローラスタートします。よーい、はい65, 64……」10月31日11時10分、再使用ロケット離着陸実験、天気で遅れて3回目最後のフライト。「エンジン予冷OK」「バルブ操作搭載側へ」「タンク調圧正常」「水素検知器ゼロ」「SJOK」「GPS正常」……20, 19……「推力制御弁OK」……8, 7, 6……「はい点火器OK」「エンジン点火正常!」……2, 1……「エンジン停止!!」「なに!?!」……離陸1秒前でエンジン停止……

「着コネはずした後です!」「内部電池は?」「20分!」「エンジンは?」「搭載計算機側から止めたようです」「ちょっと待て、まず安全にだ。各班異常ないですね」「機体周り異常なしのめよう」「水素検知器ゼロ」「計測も正常です」「エンジンはエマストモードで正常に停止、搭載側でページ中」「OK, まずタンク減圧しましょう」「コマンド打て」……液水、液酸タンク減圧……「航法系異常検知の信号で止めたみたいです」「太陽フレアでGPSアウトなんてのじゃないよな、もっと調べる」「エンジン班2名外部コネクタとカプラ接続に行きます」……地上操作ケーブル機体に接続。エンジンバルブ操作権搭載から地上へ、この辺りは着陸後の操作と同じで手慣れている……

「テレメータではこれ以上分かりません。機体に行って内部データをダウンロードしないと」「ちょっと待て、まだ水素酸素入ってる」「エンジン班、水素は?」「あと2回分」「酸素は?」「これで終わり、今注文できるか電話してます」「ヘリウムは?」「これで抜いたらアウト、今頼むと東京から4~5日」「よ

し、水素取りあえず排液しましょ」「タンク加圧、排液弁開」……「酸素注文しました。昼には入ります」「それでは酸素も抜けますね」……水素酸素残液処理終了……

「よし、これで内部データおろしに行つてよし」「搭載計算機班2名行きます」「エンジン班、もう1回やるとして再開は?」「マイナス1時間からでいいでしょ。タンク冷えてるし」「OK, 搭載計算機班、1時間やるから原因調べてくれ」……「えーっと高圧ガスの届けはどうなってたっけ?」「今日、月末で切れます」「そーか、あとは……」「管制班モチハラ新婚旅行、明日朝10時半新横浜」「明日はなしか。くっそー今日まで引っ張ったのに……」

……すでに当初の実験終了日を4日ほど過ぎていた。この数日の相模原との電話……「天気で延期を余儀なくされ、兵糧が尽きかけています。実験延長していいですか?」「統合後は、プログラム単位でお金は責任を持ってやって下さい」「じゃあ残りを切り上げて帰りますけどいいですか?」「……」「続けてやってもいいんですか?」「……」「昔のえらい先生は『いったん実験に行ったら何があっても終わるまで帰ってくるな。金の心配はせんでよろしい。現場は実験主任に任せる』と言ってくれたよな」……

「分かりました。エンジン着火の衝撃で加速度が制限を超えて止めたようです」「GPSじゃないんだな、何で衝撃大きいのか?」「エアロシェルから廻ったか?」「ケツの目張りか?」……環境計測のために機体底面

の止め方をいろいろ試して今回がっちり固定……「構造班、目張り全部はずせますか。この前と同じにしたいんだけど」「ええーっ、昨日残業3時間もかけてやったのに」……

「この加速度制限をアマクして飛ばしてたらどうなった? このデータでシミュレーションできるか」「やってみます」「時間は?」「うーん30分」……「えーと、これだと2時半か。GPSは?」「2時半ごろは衛星切り替わりでダメです。2時50分より後」「エンジン班は?」「今メシ食ってます」「2時50分離陸で準備できますか?」「はいよ、エンジン点検済み」……「せんせい! ちょっと困ります。HQと報道には2時半までで通知してあります」「おいモチハラ、そのメガネのにいちゃん、口にガムテープ貼ってその裏にしぼとけ」……

「シミュレーション終わりました。この加速度ピークでは航法演算には影響ありません」「ホントだな」「あー、はい」「間違っていない絶対に」「いーうー」「もう忘れてることないか?」「えー……」「さてと……エンジン班いいですね。よーし、もう1回行きますか?」「おー!」「えーと搭載パラメータ書き換えて、ここから再開で、これとこれはスキップで、2時50分で大丈夫だな。あつ内部電池は?」「もう交換しました」「いつも足引っ張るのに早いな……ホイ管制、ここからスタート。各班ひとまわり状況聞いてくれ。これだと明日、新横浜間に合うよな」……

「実験班にお知らせします。スケジュールを再開します」……再度水素酸素充填、準備完了、コントローラスタート、エンジン点火、離陸上昇、実験場を見下ろして着陸、全部正常……「よーしOK, これで生きて帰れる。高度は?」「えーと42m」「なに? ちょっと低いのか?」「イヤーはい。あの一、JAXAマークが重くて上がらなかったみたいです」「そーか、納得できるな。まあいいっか。次、来年!」……「再使用」の無限地獄はまだまだ続く……

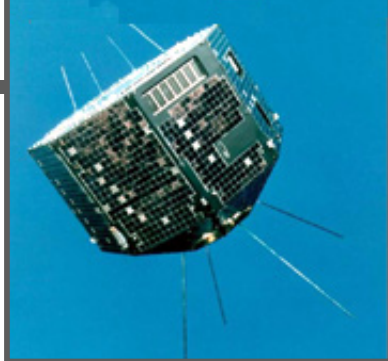
(アフターファイブ能代運営委員会:作)

この物語はフィクションであり、登場する人物や団体や実験機などは実在のものとは無関係です。



実験場を見下ろして飛行

# 浩三郎の 科学衛星秘話



井上浩三郎

「はくちょう」

念願のX線天文衛星誕生の喜びの中、「はくちょう」は約90分で地球を1周し、データレコーダに蓄えられた1周分のデータを内之浦上空で約10分間地上に送り続けました。

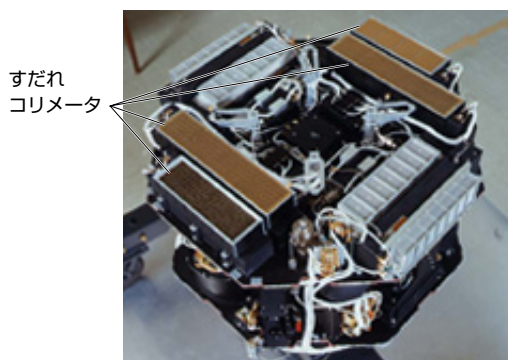
## 機上データ処理装置と地上データ処理

「はくちょう」には、観測したデータを効率よく地上に伝送するために、近藤一郎先生を中心に開発した機上データ処理装置が初めて搭載されました。これは、データの編集、X線の強度変化やエネルギーの分布を処理し、また観測器の動作を詳細に制御するため、通常のコマンド4項目を用いて16の機器にその動作を指定する8ビットの情報を伝えるなど、従来にない特長を持ったものです。これによって、多くの観測データの処理が行われました。

一方、地上においては、当時急速に発達したコンピュータによる処理が盛んに行われるようになっていました。「はくちょう」のデータ処理においても、内之浦では、ミニコンピュータ(U-200)によるデータのクイックルック、姿勢データの取得と処理、データ伝送などが行われました。また



当時急速に発達したミニコンピュータによる「はくちょう」の動作チェック風景



すだれ  
コリメータ

小田稔先生の発明による「すだれコリメータ」を備えた軟X線検出器

駒場では、大型コンピュータ(F230-38, F230-75)による最終的な観測データ処理、解析などが敏速に行われました。

## 威力を発揮した「すだれコリメータ」

「はくちょう」には、小田稔先生が考案された「すだれコリメータ」が搭載されていました。これは広い視野を持ち、かつ視野の中のX線源の位置を正確に決めることができるもので、いつ起こるか予測できないX線バーストの監視に大いに威力を発揮しました。「はくちょう」は、衛星に搭載したコイルに電流を流し、地球磁場との相互作用を使って衛星のスピン軸を任意の方向に向け、X線星を多数観測しました。

「はくちょう」は打上げ後、短時日で定常観測に入り、全国のX線天文研究者(大学院生を含む)で観測班が組織されました。駒場で運用責任を持つ“当番”と、内之浦でのトラッキング班とが昼夜を分かたず密接に連絡を取り合っており、機動的な観測が続けられ、大きな成果を挙げました。

成果の主なものとしては、X線バーストを観測したこと、中性子星周辺の物質を明らかにしたこと、ラピッドバースターを発見・観測したこと、X線パルサーの周期が異常に変化することの発見、ブラックホール候補のX線星の観測などがあります。さらに、世界各地の光学天文台との共同観測にも活躍しました。

このように「はくちょう」は多くの成果を挙げ、特に中性子星での爆発現象と考えられるX線バーストの研究では、国際的に高い評価を受けました。そして1980年、これらの功績で「はくちょう」チームは朝日賞を受賞しました。このとき、苦楽を共にしてきた多くの「若きウイドウたち」の喜びの顔が思い出されます。

## 日本のX線天文学が世界の主役の座に

大変難産だった「はくちょう」の成功は、その後、わが国のX線天文学が世界の主役の座に座する大きなきっかけとなりました。活躍した「はくちょう」は、1985年4月15日、大気へ突入しながら最後のX線を観測して6年を越える天寿を全うしました。「はくちょう」衛星打上げ成功をもって、当初計画されたM-4S, M-3C, M-3Hロケットによる衛星打上げ計画はひとまず終了しました。

(いのうえ・こうぞぶろう)

日本初のX線天文衛星「はくちょう」その2

名古屋大学太陽地球環境研究所 日本学術振興会特別研究員

寺田直樹

# 金星大気の宇宙空間への散逸

金星の大気は、地球のものと大きく異なる姿を持つ。地表近くで90気圧、組成の96%をCO<sub>2</sub>が占め、水蒸気もわずかししか含まれていない。また、高度50~70kmには金星全体を覆い尽くす厚い硫酸の雲が形成されている。そしてCO<sub>2</sub>による温室効果によって表面温度は400度以上にもなり、鉛も溶け出す高温高圧の過酷な世界となっている。

金星は、質量、大きさ、太陽からの距離が地球と似ており、「地球の双子惑星」といわれる。にもかかわらず、金星の大気環境はなぜ、これほど地球と異なる姿を持つに至ったのであろうか。惑星間の大気環境の差異を生み出す要因はいろいろあるが、金星の大気が現在のような姿を持つに至った要因の一つとして、大気の宇宙空間への散逸が重要な役割を果たしているのではないかと、という考えがある。

## 失われた水の行方

金星の超高層は宇宙空間に開いた系であることから、さまざまな過程を通して大気構成要素が宇宙空間に流出し得る(図1)。例えば、過去のある時期に金星に大量に存在していたことがいくつかの証拠から示唆されている液体の水(海洋や湖)は、蒸発した後宇宙空間に散逸してしまったとする説がある。大量の液体の水の存在は、CO<sub>2</sub>の吸収・放出によって温室効果を調節し、気温調節の効果を担うものである。高温で乾燥している現在の金星環境の形成を理解する上で、失われた水の行方——宇宙空間への散逸過程——を調べることは重要と考えられる。

大気の宇宙空間への散逸においてまず考えられることは、上層大気が高温の場合に期待される中性大気ガスの熱的散逸である。しかしながら、この過程は現在の金星においては、あまり大きな寄与を成さない。金星の大気は惑星表面近くでは高温である

が、高度約100km以上においてはCO<sub>2</sub>の赤外放射による冷却作用のために大気温度が低くなり、熱的散逸過程は重要とならないのである。

一方、金星特有の性質によって大きな寄与が期待される過程も存在する。それは、金星の超高層の領域で生じるプラズマ過程である。金星では流体核のダイナモ作用による磁場生成が弱く、惑星固有の磁場がほとんど存在していない。固有磁場の欠如に

より、金星における太陽風(太陽から噴出する秒速数百kmもの超高速を持つプラズマ流)の影響は、地球におけるそれとまったく異なるものとなる。金星では、地球の「磁気圏」のように太陽風に対する巨大な磁場の障害物(バリアの役割を果たすもの)は形成されず、超高速の太陽風流は大気コロナの奥深く、高度数百kmの高度域にまで直接吹き流れる。そして幾種ものプラズマ過程によって、多量の大気構成要素をはぎ取っていくのである。このような事実から、金星大気の散逸現象の理解において、プラズマ過程の解明は欠くことのできない要素と考えられている。

## 極端紫外光によるプラズマ撮像に期待

1960年代からの旧ソ連によるマリナーやベネラシリーズの観測に続いて、アメリカの探査衛星パイオニア・ヴィーナスが10年以上にもわたる長期の周回観測を行ったことにより、金星の超高層は今や地球に次ぐ理解を有する領域となった。しかし、それでも金星プラズマ環境の理解は、地球のものと比較して少なくとも30年は遅れている。

昨今のコンピュータ能力・数値計算手法の急速な発展によって、金星のプラズマ環境は大規模な時間変動をしており、ダイナミックな過程が大気散逸に大きな寄与を成しているという数値シミュレーション結果(図2)が得られている。しかし、このダイナミックな過程をはじめ、幾多のプラズマ過程がブラックボックスである現状では、大気散逸現象の解明には程遠い。早急な探査の実施による観測的実証が強く求められている。ダイナミックなプラズマ過程を含む幾多の散逸過程は、今後の惑星探査で解明すべき最重要課題の一つであろう。しかしながら、ダイナミックな散逸過程の解明は1台の探査機による「その場」観測では困難(空間構造・時間変化の分離が困難)であり、最近注目が集まっている極端紫外光による惑星周辺プラズマの撮像などのリモートセンシングが必要とされる。プラズマ撮像などの新しい観測技術を用いた今後の探査計画によって、大きく開いた地球磁気圏の理解との差をどれほど縮められるか、楽しみである。(てらだ・なおき)

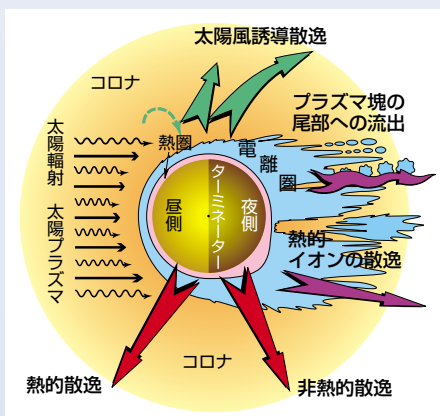


図1 金星からの荷電・中性大気散逸過程 (金星探査計画提案書より)

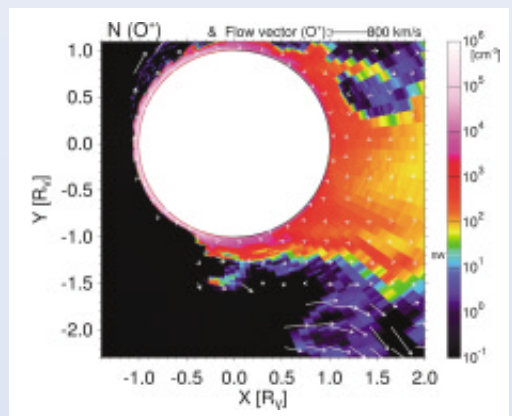


図2 太陽風—金星電離圏相互作用のグローバルハイブリッドシミュレーション結果 (Terada et al., 2002)

## フランス昼食事情

9月末から10月中旬にかけて、フランス、ドイツ、イタリアと3週間ほど出張した。

フランスでは、パリのIAA (International Academy of Astronautics) 本部が用務先である。IAAの本部といっても、それほど大きな事務所ではない。Secretary generalとsecretaryのFabrice君の2名が働いているだけである。

僕は現在、宇宙用語辞書というプロジェクトにかかわっている。このプロジェクトは、ネットワークサーバに辞書を構築し、宇宙用語の各国語の対応関係およびその定義をネットワーク経由で未来永久にメンテナンスし続けようというものである。僕がシステム作りを担当している。その作業を行うため、9月末に1週間ほどパリに滞在したわけである。

宇宙用語辞書プロジェクトは、IAAの公式なプロジェクトである。ヨーロッパ諸国は、自分たちの言語を大切にしており、さまざまな言語がこのプロジェクトに参加している。現在は、日本語も含めて世界で16カ国語が参加しているが、12はヨーロッパの言語である。さらに、宇宙のことを自国語でやりとりする必要のなさそうなヨーロッパの少数言語まで、将来の参加を表明している。このプロジェクトには、EUから励ましのレターが来たこともある。ヨーロッパの人々にとっては、われわれが思っている以上に言語は重要なものであるらしい。

ちなみに、IAAのホームページ (<http://www.iaanet.org>) に行くと、IAAの日本語訳は、「国際宇宙航学アカデミー」になっていることが分かる。この訳語も、宇宙用語辞書のプロジェクトで決まった。

ところで、パリでの昼ご飯は、毎日午後1時くらいになってから、Fabrice君と近くのレストランに出掛けた。フランス流に、ワインを飲んで、最後にカフェを飲むと、とすれば午後3時くらいまで食事をしている。食後は、夕方5時まで再び作業をして、Fabrice君の退社時間に合わせて、僕もホテルに戻る。昼ご飯を3時まで食べているため、当然ながら、夜になってもおなかが減ってこない。勇気を出してレストランに行くときもあるが、出無精のため、1人で外出する気にもなかなかならない。こういうときは、近くのマルシェやスーパーマーケットに行き、チーズやら惣菜やらを買い込み、ホテルで食べる。今回は近くのマルシェで売っていたパエリアがおいしかった。飲み物は、アルコール度数の高いCidre (リンゴの発泡酒) と、アルザスのビールを探すことにしている。

## パリから成田経由でブレーメンへ

パリでの作業が一通り終わり、翌週からはドイツのブレーメンで国際会議 (IAC: International Astronautical Congress) に出席する。しかし、予算の都合上、成田空港経由でブレーメンに行くことになった。JAXA設立のため、9月と10月にまたいで予算を使うことができなかったためである。日本滞在時間は17時間。相模原滞在時間は10時間ほどであった。結局、日本では一睡もせず、再びヨーロッパに旅立った。カバンの中の衣服、下着類は洗濯することなく、すべてそのまま持って行った。このため、ブレーメンでまずやることは洗濯であった。

ブレーメンの国際会議では、2件の発表をした。1件は、宇宙用語辞書の発表であり、もう1件は、本職の小惑星探査ローバMINERVAの発表である。IACは、宇宙のことは何でも大きな国際学会で、宇宙用語のセッションもあれば、宇宙の法律のセッションもある。宇宙がもっと身近になれば、法律や契約などで、われわれのやっている宇宙用語辞書のプロジェクトも重要性を増すのだろう。

## イタリアの気候と二日酔い

学会が終わると、イタリアのローマに旅立った。ローマでは、ローマ大学でセミナーに参加して、研究発表をした。

イタリアには不思議なことに、イタリアンレストランしかない。フランスには、フレンチスタイルのほか、イタリアンも中華もあった。ドイツには、さらにタイ料理もあった。このあたり、食の序列を感じてしまうが、僕は、イタリアンもドイツ料理もビールも大好きである。

イタリアンは、どこで食べてもおいしい。今回は、ローマっ子が「ここが一番」というピザ屋に連れて行ってもらった。イタリア人は夜8時くらいから食事をする。われわれがレストランに入った時は、あまり混んでなかったが、すぐに満員になった。そのまま12時くらいまで、食べて飲んでしゃべり続けた。もともと、元気なイタリア人はそのまま朝まで騒ぐらしいが、われわれはそれでお開きにした。イタリア人はこんな生活を毎日送っているのか？ 翌朝の仕事に差し支えないのだろうか？ と思ったが、どうも平気らしい。僕の場合も、ワインを1人1本は空けたが、翌朝二日酔いもなく、発表も完ぺきだった。日本だと二日酔いになるくらい飲んだはずだが、これは気候のせいだろうか。とすると、イタリアの気候はうらやましい。

JAXA誕生の瞬間を回避してヨーロッパに行ったため、幸いにしてその混乱ぶりは知らない。しかしその分、仕事を精力的にこなし、現地の生活も楽しむことができた。お世話になった皆さまに感謝したい。

(よしみつ・てつお)



バチカン、サンピエトロ広場でのミサの様子 (10月5日。この日は、ローマ法王もお目見えした)





今年5月9日、世界初の小惑星サンプルリターンに挑む「はやぶさ」が、鹿児島県内之浦町の鹿児島宇宙空間観測所から南海の空高く打ち上げられました。

この打上げに際し、宇宙科学研究所（現・JAXA宇宙科学研究本部）からのご招待をいただいておりますが、翌日に「第30回相模原市民若葉まつり」を控えておりましたので、残念ながら現地へ赴くことをあきらめざるを得ませんでした。当日は、朝から打上げのことが気になっていただけに、打上げ成功の報に接したときは、思わず喜びの歓声を上げたことを今でもよく覚えております。

翌日の市民若葉まつりには、内之浦町をはじめ銀河連邦各共和国の方々をご招待しておりましたので、懇談会の席上でも「はやぶさ」の打上げ成功の話題で大変盛り上がりしました。

思えば、この銀河連邦は宇宙科学研究所のつながりから生まれたもので、その交流の輪は、相模原市にとってもかけがえのない財産となっております。銀河連邦は、1987年（昭和62）、当時の宇宙科学研究所の研究施設が所在する2市3町（秋田県能代市、岩手県三陸町〔現・大船渡市〕、長野県白田町、鹿児島県内之浦町、神奈川県相模原市）が連携し、ユーモアとパロディの精神で5つの共和国から成る連邦国家を設立したものです。日本列島の北から南までまったく異なる環境にある5共和国が、互いに協力し合い、教育、スポーツ、経済、宇宙科学啓発などさまざまな交流を通じて、コミュニティの醸成や地域の活性化を図ってきました。

子ども留学交流事業では毎年、各共和国から小学6年生の子どもたちがその年の開催国に一堂に集い、2泊3日の日程で、地域の自然や文化、歴史などを体験します。初めは打ち解けずにいる子どもたちも、さまざまな体験を通してすぐに仲良くなり、地域を越えた多くの友達をつくって

## 銀河連邦に夢をのせて

小川勇夫  
相模原市長

いきます。これらの体験により、彼らに貴重な思い出と、かけがえのない友情の輪が広がっていると確信しております。

また、経済交流では、市民若葉まつり時の物産展を中心に各共和国の特色ある物産を皆さまにご紹介してきました。近年では、各共和国が特産品の販路拡大を目指しており、昨年サンリクオオフナト共和国で開催された銀河連邦首脳サミットでは、経済交流の振興について協議されました。それぞれの地域性を生かした特色ある物産の新たな販路を開拓することが、地域振興の一環として期待されております。

銀河連邦が建国されて17年目を迎えましたが、日本全国でもこのようなコンセプトのもと、長年にわたりさまざまな交流を継続しているのは珍しいことではないでしょうか。これもひと

えに、銀河連邦の趣旨をご理解いただき、ご協力くださっている多くの皆さまのおかげと感謝しております。

特に、宇宙科学研究本部の関係者の方々には、大変温かいご支援をいただいております。毎年市内の会場で開催される「宇宙学校」や公開講座、一般公開などは、各分野の専門研究をされている方々のお話を身近に聞くことができるため、幅広い年齢層の多くのファンが心待ちにしている貴重な機会となっております。また、緑の多い宇宙科学研究本部の周辺は博物館や学校、公園が所在する文化エリアとして、多くの市民に親しまれております。

さて、10月1日に宇宙科学研究所（ISAS）と宇宙開発事業団（NASDA）、航空宇宙技術研究所（NAL）が統合され、宇宙航空研究開発機構（JAXA）として新たな出発をされました。今まで日本の宇宙分野でそれぞれの役割を担い、数々の実績を上げてきた各機関が統合したことで、日本が航空宇宙の分野で新たな発展を遂げ、地球環境問題をはじめ、人々の生活に密着したさまざまなシステム確立の研究が進められると期待しております。また、探査機による水星や金星の本格的な探査や太陽系環境ならびに太陽系の成り立ちについての調査など、宇宙へのあくなき挑戦は、私たちに限りない夢とロマンを与え続けてくれます。

この統合に当たり、「銀河連邦はどうなってしまうのか」というお問い合わせを数多くいただきました。銀河連邦は、今までの実績をもとに、今後もさまざまな交流を通じて5共和国の絆を深めていく所存です。

近年、自治体の合併が相次ぎ、銀河連邦各共和国でもそれぞれ合併に関する話が聞かれますが、今まで銀河連邦が地域の中で果たしてきた役割、培ってきた友好の絆を大切に、今後も人々の夢と笑顔あふれる交流を進めていきたいと考えております。

（おがわ・いさお）



子ども留学交流「どうぞよろしく！」と名刺交換

# 赤外線で宇宙の進化の歴史をひも解きたい

赤外・サブミリ波天文学研究系教授

中川貴雄

——赤外線の観測をしているそうですね。

中川：例えば、私たちの目には同じように見える缶コーヒーでも、赤外線で見るとホッとは明るく、アイスは暗く見えます。赤外線で見ると、可視光とは違う情報が得られるのです。可視光では光らない温度の低い天体も観測できます。ところが、赤外線は地上にはほとんど届きません。だから宇宙で観測するのです。現在、日本初の本格的な赤外線天文衛星ASTRO-Fを打ち上げる準備を進めています。

——ASTRO-Fでは、どんな観測をするのですか。

中川：1983年に打ち上げられた世界初の赤外線天文衛星IRASは全天観測を行い、25万個の赤外線天体を見つけました。ASTRO-Fは、IRAS以来となる赤外線による全天観測を行います。天体カタログを作ることが、その最大の目的の一つです。昔のIRASの空間分解能は数分角。視力1.0の人は1分角が見えるので、IRASの視力は私の裸眼と同じ0.2くらい。一方、ASTRO-Fの分解能は1分角より細かく、視力2.0はいけます。ASTRO-Fで1000万個近くの赤外線天体を観測できるはずですよ。

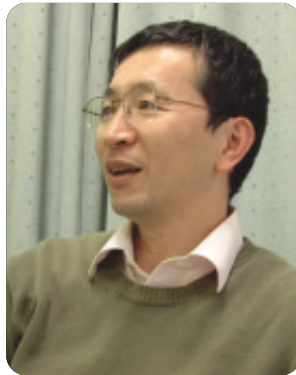
ASTRO-Fでは、星が生まれるときに周りを取り囲むちりやガスの雲「原始惑星系円盤」を詳しく観測します。そこでやがて惑星が生まれます。今までの赤外線観測によって原始惑星系円盤が十数個見つっていますが、ASTRO-Fでは数百のオーダーで見つけられるはずですよ。

また、赤外線で強く輝く銀河も観測します。宇宙の初期に最初にできた銀河は、この赤外線銀河と同じようなタイプだと考えられています。赤外線銀河はまだ近くの宇宙でしか観測されていません。ASTRO-Fで遠くの宇宙、初期の宇宙にある赤外線銀河を観測して、銀河がどのようにして誕生し進化したのかを探りたいと思います。

このように、赤外線で見ると星や惑星、銀河を観測して、宇宙の進化の歴史を見てみたいのです。

——ASTRO-Fの次の夢は？

中川：SPICAというミッションを検討しています。SPICAでは、ハッブル宇宙望遠鏡の光学望遠鏡2.4mよりも大きい、3.5mという大口径の赤外線望遠鏡を搭載する予定です。赤



なかがわ・たかお。1960年、岐阜県生まれ。東京大学大学院理学系研究科天文学専攻博士課程修了。専門は赤外線天体物理学。1990年、宇宙科学研究所入所。赤外線観測により、銀河、星、惑星系の起源を研究するとともに、新しい観測器の開発を行っている。

外線望遠鏡では、望遠鏡自体から赤外線が出ないように冷やす必要があります。今までの赤外線天文ミッションでは、魔法瓶のような真空断熱容器に液体ヘリウムと望遠鏡を入れて、 $-270^{\circ}\text{C}$ に冷却します。でも遠足のとき、魔法瓶は重かった

ですよ。このような従来の方式で口径3.5mにすると、真空断熱容器が重くなりすぎて打ち上げられません。実は、宇宙に行けば真空なので、重い真空断熱容器は要りません。地上で液体ヘリウムを蒸発させないためだけに必要なのです。そこで、SPICAでは機械式冷凍機で望遠鏡を冷却します。液体ヘリウムは持っていきません。実はASTRO-Fでも液体ヘリウムとともに、機械式冷凍機を赤外線天文衛星として初めて搭載します。機械式冷凍機を搭載するアイデアは私たち独自のものです、世界のライバルたちは、うまくいかどうか興味津々で見えています。

SPICAでは、太陽系外の惑星、特に木星のような巨大惑星であれば直接観測できます。太陽系外の惑星はまだ間接的な観測しかなく、直接観測の激しい競争が行われています。そのレースにSPICAも参加します。さらにSPICAの後には、地球のような小さな惑星を直接観測できるJTPFを2010年代後半に実現できたらいいなあと。惑星の大気に酸素があるか、水が液体で存在できる温度であるかを調べて、生命が存在する証拠を探りたいですね。

——天文学に興味を持ったきっかけは？

中川：1971年、私が小学校5年生のときにも火星大接近がありました。望遠鏡を作り、火星を観察しました。6年生のときからずっと望遠鏡を作り、宇宙を見続けてきた気がしますね。そこに何かありそうだけど、まだ分からない。それを自分で探してみたい。赤外線観測を選んだのも、未開拓な分野なので何か新しいことができそうだと思ったからです。自分たちで作った装置で誰もやったことのない観測を行い、新しいことが見えてくる。それが最高の喜びです。

ISASニュース No.273 2003.12 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 10月に3機関が統合されてから、早2カ月がたとうとしています。今はまだ3人4脚といった感じが多少残っていますが、来年は一体となって飛躍していく年になるでしょう。

2004年も、よろしく願い申し上げます。

(M-Vプロジェクトチーム 竹前俊昭)

デザイン/株式会社デザインコンピビア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト