

＜学生が聴く、日本の惑星探査の過去・現在・未来＞ 第8回
The planetary explorations of Japan, interviewed by students.
将来計画委員会・惑星探査検討グループ企画

惑星探査の窓口－白田宇宙空間観測所－

Port of Planetary Exploration —Usuda Deep Space Center (UDSC)—

インタビュワー：金尾 美穂 (ISAS M2)

“学生が聴く、日本の惑星探査の過去・現在・未来”と銘打ったこのシリーズも、第8回目を迎えます。今回はこれまでと異なり、実際に飛行する探査機に関してではなく、それらの探査機と地上とを結ぶ地上局を取り上げます。探査機への通信は、その距離によって様々な口径の物が使い分けられておりますが、特に地球を遠く離れて、深宇宙とも呼ばれる惑星間空間に巡航する探査機と通信するには、大口径の通信局が必要となります。

日本ではハレー彗星の探査を行った惑星間探査機、「さきがけ」の打ち上げにあわせて作られた白田の地上局が、現在も日本ただ一つの深宇宙通信基地として現役で活躍しています。

今回はこの白田地上局に関して、宇宙科学研究所附属白田宇宙空間観測所の加藤隆二先生にお話を伺いました。聞き手は宇宙研の金尾さんをお願いいたしました。

日本で初めて、そして現在でも日本ではただ一つしか存在しないこの深宇宙通信基地の設立の経緯、海外の深宇宙通信基地との連携、そして単なる通信基地にとどまらない科学観測機器としての側面など、非常に興味深いお話を聴くことができました。また今後の日本の惑星探査にとって、白田の後継基地がいに重要な課題であるかをお聴きすることができました。

本稿がこれから惑星探査の門に進まれるすべての方の参考になれば幸いです。

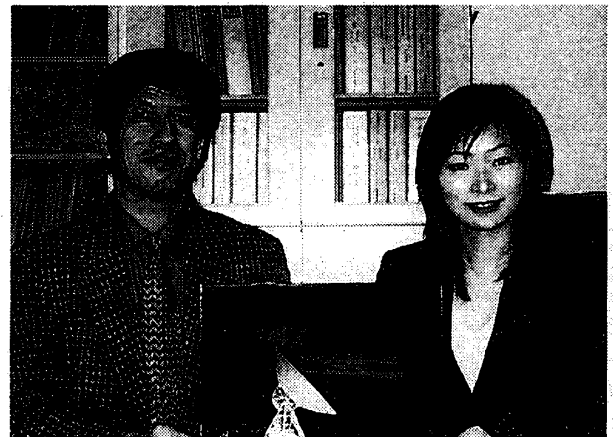


図1 著者と加藤隆二先生

1. 白田地上局について

宇宙科学研究所は、我が国における宇宙科学研究の中核機関として、宇宙飛翔体(ロケット、科学衛星、惑星探査機および大気球等)の研究・開発を行うとともに、これらを観測手段として用いて宇宙科学の研究を行っています。白田宇宙空間観測所は、その附属施設として管理・運用されており、惑星や彗星のような天体に接近して観測を行う惑星探査機に向けて動作指令を送信したり、逆に観測データを受信するために建設されました。超遠距離にある探査機からの微弱な信号を受けるため、都市雑音などの妨害電波が少ないこの地(長野県白田町)が選ばれ、1984年10月に開所し、1985年1月から運用しています。施設の中核をなす大型パラボラアンテナは、直径64mで総重量は1980tです。惑星探査機との交信はS帯(2GHz)とX帯(8GHz)で行われています。同様の目的をもつこのような大型アンテナは、世界でもアメリカ

(NASA), ヨーロッパ(ESA), およびロシアが保有しているのみです。当観測所は、深宇宙探査の窓口の1つとして、世界から期待を集めています。また、電波天文衛星「はるか」からのVLBI(超長基線干渉計)観測データの取得を目的とした、10mアンテナを含むKu帯(15GHz)の送受信システムも設置されています。

2. インタビュー

日本の深宇宙向け通信局、臼田地上局に関して、宇宙科学研究所附属臼田宇宙空間観測所の助教授でいらっしゃる加藤隆二先生にお話を伺いました。聞き手は宇宙研の金尾さんです。

2.1 臼田の設立経緯について

Q: 何故臼田のように大きな地上局を作ったのでしょうか。その経緯について教えてください。

A: 宇宙科学研究所臼田宇宙空間観測所(UDSC)は1984年10月に完成しました。それ以前は、日本ではKSC(鹿児島県内之浦町にある鹿児島宇宙空間観測所)の10m, 20mのアンテナがあるのみでした。KSCのアンテナは地球周回衛星の為に建設されたものです。地球重力圏より外側の空間を、深宇宙といいますが、KSCのアンテナは深宇宙を航行する惑星探査機には対応していませんでした。当時NASAのJPLの深宇宙ネットワーク, DSN (Deep Space Network) は、64mのアンテナをゴールドストーン(アメリカ, カリフォルニア), マドリッド(スペイン), キャンベラ(オーストラリア)という離れた場所に保有していました。地球が自転しているので、約120度毎に3箇所のアンテナを設置することによって24時間惑星探査機の運用を可能にしていたのです。

このような中、臼田宇宙空間観測所は1982

年に着工し、およそ2年という短い期間で1984年10月に完成、そのたった3ヶ月後にはハレー彗星探査機「さきがけ」の追跡を開始しました。

Q: 日本のその他の衛星信号の地上局、野辺山等の電波〜ミリ波天文学の施設や、鹿児島KSCのアンテナとの違いを教えてください。

A: 天文台との比較ですが、国立天文台付属の野辺山(45m)は天体からのミリ波帯の電波を受信するいわゆる電波望遠鏡とよばれるものです。水沢, 入来, 小笠原, 石垣島にあるVERAのアンテナ(20m)も同じく電波望遠鏡です。受信のみしかできない点が臼田やKSC等の探査機と通信(電波の送受信)可能な地上局とは異なります。

また、臼田が惑星探査機の追跡の為のものであるのに対し、KSCは地球周回衛星追跡のためのものです。臼田がアンテナの場所として選ばれたのは、都市雑音が少なく、また電波障害となる湿度(水蒸気)が少ないという条件を満たしていたからです。このようにKSC(10m, 20m)で対応できない惑星探査機の運用の為に臼田宇宙空間観測所は計画されたのです。

Q: 臼田計画の時の苦労話などをおしえてください

A: 臼田にあるアンテナは野辺山(45m)のアンテナを作った実績のあるメーカーがそのまま同じ技術で作成しました。64mもの規模の大きなアンテナは重力の影響をうけて大きいたわみます。このたわんだ状態でもパラボラアンテナの特徴を保持できるような設計が必要でした。

また野辺山のアンテナが高原の平地に設置されたのとは違って、UDSCアンテナの設置場所は標高1450mの山の中であり、臼田町の中心地から700mも林道を上がっていかねばい

けませんでした。アンテナを造るにあたっては、資材運びの道の整備から行うなどの苦勞が大きかったときいています。64mという巨大なアンテナを支えるための基盤を山の中に作るには大量のコンクリートが必要で、これも大変な作業だったようです。さらに、「さきがけ」(ハレー彗星用)に間に合わせるということで、建設期間が非常に短かったことも苦勞したところでしょう。

2. 2 地上局の宇宙科学惑星探査における役割

Q: JPLのDeep Space Network (DSN, 深宇宙通信網)と日本がどうつきあってきたか教えて下さい

A: 「さきがけ」の打ち上げの時から現在に至るまで、日本の深宇宙用の地上局は臼田地上局が一つあるのみです。しかし、一つの地上局からでは探査機が見えない時間帯が存在します。JPLの地上局がアメリカ・スペイン・オーストラリアに分散しているのもこれを防ぐことが理由です。このため「さきがけ」の打ち上げ時には軌道決定等の為にNASAに支援してもらっていました。現在でも、運用は宇宙研(臼田)で行いますが、打ち上げ等の重要なイベントのある時は支援をお願いしています。また一方で、臼田から見える範囲内で大事なイベントを迎えられるように軌道を計画することも重要です。

逆に臼田がNASAを支援することもあります。臼田はキャンベラのほぼ真北にあるため、逆にDSNが混みあっている時は、NASAの「ICE」の追跡支援をおこなったこともありました。

Q: 臼田64mアンテナとKSC34mアンテナとはどのように使い分けているのでしょうか? また、使い分ける際のスイッチの切り替えや役割分担に関して教えてください

A: KSCアンテナは主として地球周回衛星用、臼田アンテナは惑星探査機用です。たとえば「のぞみ」は火星にむかう惑星探査機なので主として臼田で運用しますが、臼田のアンテナが何かの原因で運用出来ない時は、KSC34mアンテナをバックアップとして使用します。これに対して「ジオテイル」は現在地球の近くを運行していてKSC20mアンテナでも定常運用可能です。また、今年の5月にKSCから打ち上げ予定の「MUSES-C」は、小惑星探査の探査機です。「MUSES-C」の運用は、地球からあまり離れない最初の期間は打ち上げ場所でもあるKSCメインで行われますが、打ち上げ4日後からは臼田局メインになる予定です。

2. 3 臼田-日本の探査受信局として

Q: 臼田の歴史と成果について教えてください。

A: 臼田宇宙空間観測所の建設目的は1985年1月打ち上げの「さきがけ」、8月打ち上げの「すいせい」の追跡でした。

「すいせい」、「さきがけ」は1986年3月にハレー彗星に相次いで接近し、多くの観測成果をあげました。その後も「さきがけ」は長期にわたって運用され、1999年の打ち上げと同日に、地上からの指令で衛星からの送信電波を止め、14年間にわたる使命を終えました。

1990年からは「ひてん」を追跡運用し、月スイングバイの軌道制御技術の習得に貢献しました。この技術は、「ジオテイル」、「のぞみ」に生かされています。「ジオテイル」も1992年以来10年以上も運用を行っています。

臼田では64mのアンテナで1998年に打ち上げられた「のぞみ」と「ジオテイル」を、10mアンテナで「はるか」を運用しているのが現状です。惑

星探査機は, 通常黄道面上を航行するため, 可視時間帯の変化は惑星と同じですが, 現在の「のぞみ」は去年の12月から今年の6月まで黄道面から北に離れて, 地球と併走しているため, 北天で一日中見えています.

一方「ジオテイル」の軌道は遠地点が地球と月との中間にあるため, 日によって見える時間帯も変化します.

Q: 現在の仕事内容, スタッフの体制, 人数等を教えてください.

A: 臼田には正式な職員は2人, それに以外に御飯をつくってくれる人, 施設の外回りを整備する人, 秘書さんがいらっしゃいます. 2人の職員は主にアンテナおよび送受信機の管理運営を行う方々です. 冬場などは64mのアンテナの雪対策等もしていただきます. 運用は三菱とNTスペースの方が交代で行っています. これに相模原のメーカー, 運用オペレータを加えて実際の毎日の運用を行っています. 「はるか」は臼田の現地で研究者が直接運用しています.

Q: 地上局から惑星探査に関わる魅力について, 臼田は海外と協力してサイエンスを行ったりもしているとききましたがそれについても教えてください.

A: 先ほどふれましたように臼田は世界的にみてもNASAの持つキャンベラ(オーストラリア)の地上局の真北という良いポジションにあります. キャンベラから探査機の可視状況が悪いときには臼田局が重要な役割を果たします. 実際, 1989年8月に「Voyager-2」が海王星に掩蔽された時の日米共同電波科学実験では, 臼田局が使用されました. また同様にその場所のよさから, 米国のTDRS衛星を用いた日米共同スペースVLBI実験が, 1986年臼田, キャンベラの間で行なわれ

ました. (VLBIについては後述参照).

2. 4 加藤先生の臼田宇宙観測所での研究について—臼田をアクティブに利用する

Q: 軌道決定について教えてください.

A: 「さきがけ」を打ち上げた頃は, 惑星探査機の軌道決定に対する要求は今よりもずっと簡単なもので, 通信ができて探査機が目的地にむかいさえすればよい, というものでした. 従って, 探査機を見失わないように軌道決定し, アンテナを探査機に向けるための予報値作成が, 重要な任務でした. しかし「ひてん」「ジオテイル」においては月スイングバイという月の重力を利用した高度な軌道制御を行い始め, さらに「のぞみ」に関しては, 火星に到着させ, さらにその軌道に投入するため, それらに必要な高度な軌道決定精度が要求されています. 軌道決定には今後ますますより高い精度が求められるでしょう.

Q: 軌道決定とは何でしょうか.

A: 軌道決定とは, ある時刻における探査機の位置および速度を観測データから決めることです. 使うデータは基本的にレンジとレンジレートの2種類です. レンジとは, 往復の距離に相当するデータのことです. 地上局から探査機に上げた電波の往復伝播時間です. またレンジレートとは, 往復のドップラー周波数のことです. この2種類の時系列データをもとに, ある時刻における探査機の位置および速度を求めます. 軌道制御計画策定やアンテナ予報値に必要な予報軌道は, この値を初期値として運動方程式を解いて求めます. ちょっと簡単そうにも聞こえますが, この際に惑星重力や太陽輻射圧等も考慮しなければならないので, 大変に複雑な作業です.

Q：軌道決定の為に用いる従来のドップラー周波数データと異なるVLBIについて教えてください

A：前述したレンジとレンジレートは双方とも視線方向に関するデータです。遠く離れた二つ以上の電波望遠鏡から同一のものをみることで、望遠鏡間の距離に相当する巨大望遠鏡と同じ解像力を得る手法がVLBI(Very Long Baseline Interferometry)、超長基線電波干渉計技術です。この技術を活用し、探査機からの電波を、2ヶ所以上のアンテナで同時に受信し、その到達時刻の差を精密に計測し、その値から探査機の天空上の位置(視線方向に垂直方向)を求めるものです。VLBIの特徴としては、局が遠いほどよい精度が得られる、地上局は受信のみ可能であればよいという事などがあげられます。このため現在日本では、KSC、臼田以外にも通信総合研究所の鹿島局、国立天文台の水沢局等多くの地上局がVLBIの実験に協力しています。このVLBIの技術を開発することによって位置および速度データをさらに精度よく改良することが期待されています。

2. 5 臼田、または地上局のこれからの可能性改良点、将来展望

Q：臼田の耐用年数、後継基地に関して教えてください

A：臼田は来年の10月に建設20年目をむかえます。もうすでにアンテナなどの老朽化が進んでいて、塗装のやりかえが必要な状況となっています。しかし、日本で唯一の深宇宙観測所の運用をとめるわけにはいきません。この為、臼田の代替・後継基地が必要とされています。

Q：「のぞみ」、「MUSES-C」、「Lunar-A」、「SELENE」の運用で臼田局が埋まっている現状はどうなってしまうのでしょうか。

A：現在では「のぞみ」、「ジオテイル」をKSCと調整しながら運用しています。しかし将来的には「MUSES-C」、「SELENE」、「Lunar-A」のうち上げ予定がある為に、臼田局はパンクする可能性があります。これらのことから考えても新しい地上局を早急に作る必要があると思われます。

Q：探査機の24時間運用のため世界に地上局を展開する必要性すなわち、「DSN以外の」もう一つの全地球的ネットワークの必要性についてはどうお考えでしょうか

A：現在、南米サンチャゴのあたりに日本の地上局を建設したいと考えています。DSNもNASA独自の探査機の運用で混雑した状況であるため、日本の追跡運用要求を通すことが困難になってきており、我が国独自のネットワークが必要であると考えています。この南米に地上局を作る計画が実現すれば、可視時間の制約が大幅に解消されるとともに、軌道決定精度の大幅な向上が可能になります。また、臼田のバックアップ局として、臼田局の改良工事が可能になります。さらに、この局はNASAのゴールドストーン局(カルフォルニア)の真南にあたる為、南北基線のVLBI観測として、ゴールドストーン-サンチャゴが有効であり、同じく南北基線の臼田-キャンベラとのgive and takeの関係が期待され、VLBIによってさらにより軌道決定の精度がえられるでしょう。

3. おわりに

私も参加している「ジオテイル」や「のぞみ」の運用

ではサイエンスデータは勿論、レンジデータの取得や、アンテナの切り替えなどの場面に実際に遭遇します。地上局や、そこで行われる惑星探査の運用が宇宙科学には必要不可欠だと知ってはいても、それらについてはわからないことが多くありました。今回加藤先生のお話をきいて、宇宙空間観測所、すなわち地上局、とりわけ臼田についておききすることができ、地上局の役割について少しではありますが知る事ができたと思っています。

当たり前のことですが、探査機からのデータをもとに研究をする我々の宇宙科学にとって、地上局はなくてはならない存在です。臼田局は日本で唯一の惑星探査機と交信できる地上局として、設立以来、特別な役割を担ってきました。

これからも発展する宇宙科学において様々な探査機が打ち上げられ、多くの探査機の運用が必要となることが予想されます。そのためにはNASAと協力し、NASAの地上局の支援を受けさらに精度のよい軌道決定を行うことが期待されています。さらには、NASAによらない我が国の深宇宙ネットワークを形成するため、臼田の宇宙観測所以外にも、今後我が国の宇宙科学分野に貢献する新しい地上局の建設が期待されているのです。

最近では携帯電話の電波が「のぞみ」でも使っているS帯と重なるために、衛星で使う電波を変更しなければいけないという問題が生じています。科学は、生活の便利さとも協調しながらも発展する必要があると思います。私たちは地球上のほんのわずかな二次元の空間から、惑星探査という手法を使って宇宙という3次元の空間に挑戦しています。その3次元空間への窓口が地上局なのです。

日本では、太陽系の中でも地球近くの惑星への探査がやっと可能になってきたばかりです。地上局という一つの手段を通してこれからも宇宙科学が進歩することを期待しています。

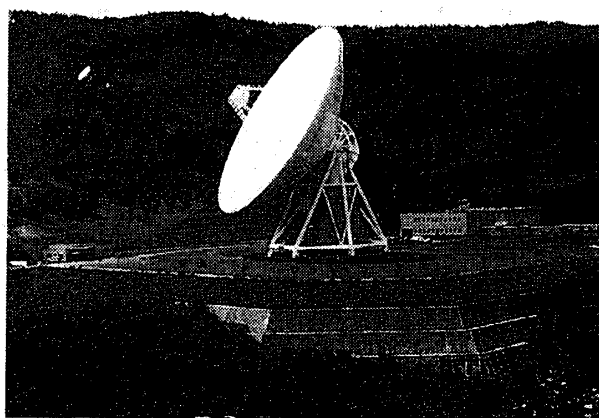


図2 臼田宇宙空間観測所遠景

人物紹介

加藤隆二(かとうたかじ): 文部科学省宇宙科学研究所臼田宇宙空間観測所助教授。御専門は宇宙電子航法工学。探査機が実際に太陽系空間のどこをどのような速度で飛行しているかを決める軌道決定に関する、電気推進による低推力飛行探査機の軌道決定精度向上の研究、VLBI(超長基線干渉計)技術を用いた探査機の軌道決定の研究が行われており、臼田と淵野辺の宇宙研を往復される多忙な日々を送られている。

金尾美穂(かなおみほ): 文部科学省宇宙科学研究所修士課程2年。本シリーズ第6回でも取り上げた、金星探査計画を進める中村正人先生の研究室で活躍中。修士論文のテーマは金星の電離圏プラズマについて。現在はPVO(Pioneer Venus Orbiter)のデータ解析を行う傍ら、「のぞみ」「ジオテイル」の運用にも参加し、宇宙研の学生として、探査に接する機会を十分に活用している。今後このような惑星探査の現場で培った運用・機器開発の経験を生かした研究活動が期待される。

本シリーズの謝辞

8回にわたり続けさせて頂きました“学生が聴く、日本の惑星探査の過去・現在・未来”は、今回で最終回となります。本企画に参加頂いた学生の皆様がこのインタビューを通じてどのようにその後の研究の参考にされたのか、またそう遠くない将来に、実際に惑星探査の最前線に立って活躍されるようになったときに、本企画を振り返って、今度は御自身から学生に向けて語りかけて頂けるような企画を行える日が来ることを信じて止みません。

本企画は惑星探査の最前線で御活躍される方々が、プロジェクト推進のため非常にお忙しい中、学生の視点に立ち、わかりやすくかみ砕いた形でインタビューに応じて頂いたことによって成立しました。上杉邦憲先生、早川基先生、長島 隆一氏、川口淳一郎先生、水谷仁先生、中村正人先生、山川宏先生、加藤隆二先生の御協力に感謝いたします。また修士論文・博士論文の作成という大変な時期に、貴重な時間を割いて質問事項の検討・インタビューの実施・原稿作成を行って頂いた学生の皆さんの御協力によりこれまで続けることができました。木村春奈さん、倉橋映里香さん、菅野愛さん、中谷淳さん、姫野洋平さん、伊藤有沙さん、樋口有理可さん、金尾美穂さんに、心よりお礼を申し上げます。本シリーズの企画・作成は、惑星学会将来検討WGの並木則行氏、向井正氏、春山純一氏、中村良介氏、矢野創氏と共に実施しました。学生インタビュー編集員の出村裕英氏、横田康弘氏、濱邊好美氏、中村貴純氏と共に編集・運用を行いました。皆様の御協力無くしては、本企画は実現しませんでした。心より感謝します。また最後になりましたが、遊星人への掲載に当たり井田茂氏、倉本圭氏、城野信一氏をはじめとする遊星人編集部の皆様に大変お世話になりました。感謝に堪えません。

この謝辞は、明日MUSEES-Cの打上げが行われる内之浦の、今回のお話しにも出てきたKSC34m通信局の下にあるサイエンスチームの詰め所にて書いて

おります。昨日5月7日に無事打上げリハーサルは終了しており、現在所内は静寂に包まれています。明日未明よりメンバーが再集結し、5月9日13時29分25秒にM台地射場より、小天体を目指してM-Vは発射される予定です。

本企画の最終原稿の仕上げをこのような形で行うことになったことに不思議な偶然を感じています。ここ鹿児島宇宙空間観測所では、惑星探査と惑星科学の発展のために尽力された先人の思いに触れることが出来ます。宇宙への門が、何時でも誰に対しても、身近に存在する時代が来ることを切望して止みません。そして本企画が、これから惑星探査の門に進まれるすべての方にとって、良い参考書たり得たならこれに勝る喜びはありません。

最後に繰り返しになりますが、御協力頂いた皆様、どうもありがとうございました。明日の打上げの成功を祈りつつ、本企画をここに終了いたします。(秋山演亮)