



種子島宇宙センターで公開された小惑星探査機「はやぶさ2」。台車の下に置いた鏡を介して、探査機の下面に取り付けられた衝突装置と5個のターゲットマーカが見える。右上は、「はやぶさ2」に相乗りで打ち上げられる超小型深宇宙探査機PROCYONの組み立ての様子。

宇宙科学最前線

「はやぶさ2」搭載ハニカム構造 軽量高利得平面アンテナ

東京工業大学大学院 電気電子工学専攻 准教授
宇宙科学研究所 宇宙機応用工学研究系 客員准教授
広川二郎

11月30日に小惑星探査機「はやぶさ2」の打ち上げが予定されています。本稿では、「はやぶさ2」に搭載されている、ハチの巣状の六角形をしたハニカム構造の使用により軽量化された高利得平面アンテナについて解説します。また、同じハニカム構造を用いて開発が進められている小型衛星搭載用合成開口レーダシステムについても説明します。

「はやぶさ2」搭載高利得平面アンテナ

図1に「はやぶさ2」のイラストを示します。探査機本体の上面に設けられた2つの円板状のものが、高利得平面アンテナです。一つがXバンド(8.4GHz)のアンテナで、これは2010年5月に打ち上げられた金星探査機「あかつき」にも用いら

れました。もう一つがKaバンド(32.0GHz)のアンテナです。アンテナの利得を高く、また通信速度を大きくするため、Kaバンドの高い周波数を用いると同時に、多くの地球局で用いられているXバンドも組み合わせで使います。

いずれのアンテナも直径は約90cmと大きいですが、電波が通る導波路部にハニカム構造を用いて、約1kgと軽量化を実現しています。

ラジアルラインスロットアンテナ

図2に「はやぶさ2」搭載高利得平面アンテナとして用いられているラジアルラインスロットアンテナの写真と構造図を示します。ラジアルラインスロットアンテナは、1980年に後藤尚久 東京工業大学名誉教授により発明され、衛星放送受信

図1 小惑星探査機「はやぶさ2」探査機本体の上面に設けられた2つの円板のうち、左がKaバンド (32.0GHz) のアンテナ、右がXバンド (8.4GHz) のアンテナ。



用高効率平面アンテナとして実用化されました。2枚の円形導体板を誘電体を介して挟み込んでラジアルラインを構成し、その中心部に設けられた同軸線により給電 (アンテナに電波として発信する信号を入力すること) する簡単な構造です。同軸線より給電された電波は外向きの円筒波となってラジアルライン内を伝搬する間に、上部円形導体板に開けられた数多くの細い窓、すなわちスロットから外部へ放射されます。

通信分野では、電界の向きが時間とともに回転する電波 (円偏波といいます) が、衛星の姿勢が変わっても安定に通信できる点で適しています。直交する2つの線状スロットを1/4波長ずらして配置する (これをスロットペアといいます) と、X軸とY軸に90度の位相差の単振動を加えると円運動が生じる原理と同じように、円偏波が発生します。また、正面方向へ電波を放射するため、スロットペアがらせん状に並んでいるのです。アンテナには約1万5000個のスロットペアが設けられていますが、各ペアから放射する電波の振幅と位相を制御するために、各スロットの長さ、間隔を微妙に変えています。

ハニカム構造 ラジアルラインスロットアンテナ

ラジアルラインスロットアンテナを衛星搭載用として軽量化するために、ラジアルラインを図2 (b) で示すようなハニカム構造で実現しました。東京工業大学の安藤真 教授の指導のもと、NEC 東芝スペースシステムの協力を得ながら設計、試作、評価を進めました。

まず、Xバンドアンテナを8.4GHzで設計しました。実際のアンテナでは導波路がハニカム構造になっており、円形の導体板上に数千個のスロ

ットペアがらせん状に設けられます。これらを正確に考慮して解析、設計するのは困難です。そこで、いくつかの近似を導入しました。スロットペアのらせん状配列は円板の外周に行くに従って曲率が大きくなります。解析では、その曲率を無視した格子状配列に置き換えました。さらに、横方向での電磁界の周期性を仮定して電波の進行方向だけを取り出した1次元アレーモデルを導入しました。

また、アンテナの全体設計においてハニカムコアの六角形の形状や厚みまで考慮することは困難なので、簡易な設計モデルが必要です。ハニカムコアの六角形の周期は1/4インチ (6.35mm) と8.4GHzでの波長 (35.69mm) に比べ十分小さいので、厚さ5mmのハニカムコアの部分は比誘電率1.03の等質の誘電体層で置き換えました。しかし、スロットアンテナの直下にある厚さ0.36mmのスキンはスロットアンテナの放射特性に影響を与えるので、比誘電率3.10の別の層として設計の際に考慮しました。

ハニカムコアの材料は、Quartzと呼ばれる伝送損失が小さい材料です。ハニカム構造の導波路の伝送損失は1cm当たり0.03dBと小さい値を実験で確認できました。直径92cmのアンテナで重さは1.16kgと軽く、利得35.9dBiを58.7%のアンテナ効率で実現しました。これを「はやぶさ」に搭載された直径1.6mのパラボラアンテナと比較してみます。「はやぶさ」のパラボラアンテナは、利得は37.0dBiで重さは6.8kgです。「はやぶさ2」の平面アンテナでは、利得は22%低く (1.1dB低下) になりましたが、重量は83%も軽量化できました。

次にKaバンドアンテナを32.0GHzで設計しました。初めに、Xバンドアンテナと同じようにハニカムコアの周期が1/4インチのものを用いて導波路内の電磁界分布を測定しました。周方向にハニカムコアの六角形状に起因すると思われる六角形の振幅分布が観測されました。32.0GHzでの波長が9.37mmと小さくなり、ハニカムコアの周期が1/4インチ (6.35mm) では大き過ぎるためと考えられます。そこで、ハニカムコアの周期を1/8インチ (3.17mm) と小さくしました。しかし、現時点で周期が1/8インチのハニカムコア材料は、Nomex®というQuartzに比べて伝送損失が大きい

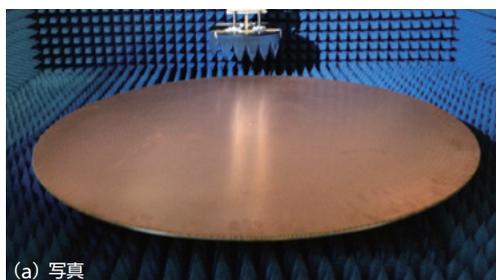
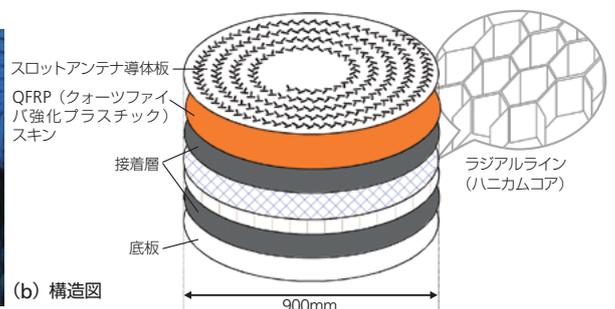


図2 ハニカム導波路を用いたラジアルラインスロットアンテナ



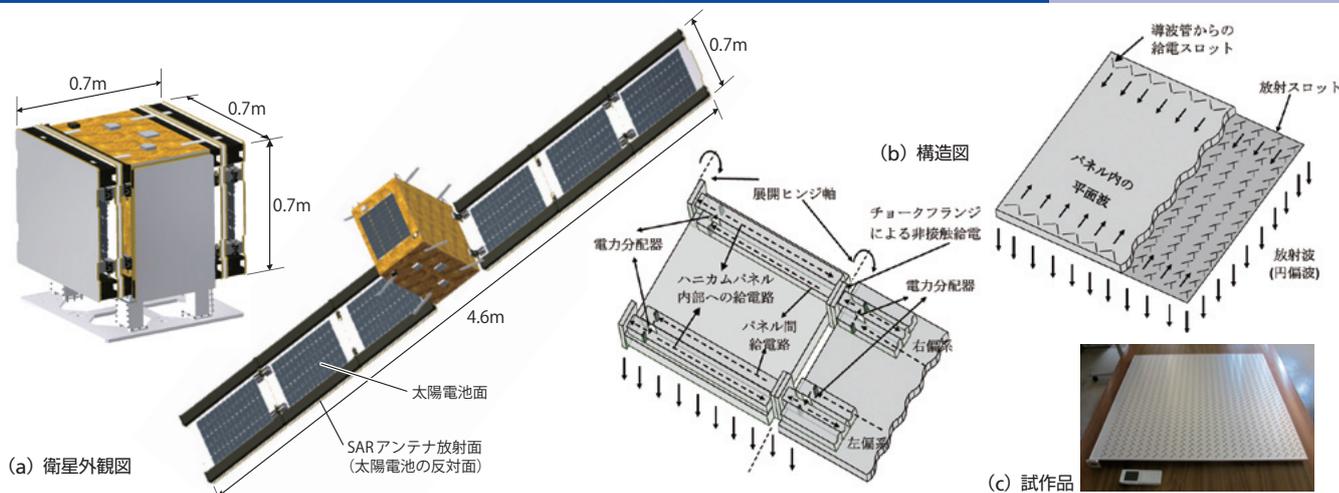


図3 合成開口レーダ用平面アンテナ
 (a) 小型合成開口レーダ衛星のアンテナ収納状態と展開状態。アンテナの裏面にシート太陽電池を設置する。
 (b) 展開型アンテナの構造図
 (c) 試作した0.7m四方のXバンドハニカムパネルスロットアレーアンテナ。アンテナ効率55%を達成した。

ものしか入手できないことが分かりました。そのため、ハニカム構造の導波路の伝送損失は1cm当たり0.16dBと大きくなりました。直径90cmのアンテナで利得44.6dBiを実現しましたが、損失が3.7dBあり、その多くはハニカムコアによると考えられます。

小型衛星搭載用合成開口レーダシステムへの適用

このハニカム構造平行平板スロットアレーアンテナを100kg級の小型衛星に搭載可能な合成開口レーダシステムへ適用する共同研究を、宇宙研宇宙機応用工学研究系の齋藤宏文 教授と行っています。多数の小型衛星に合成開口レーダを搭載して、数時間以内の高頻度観測を行う災害観測や海上監視などを想定しています。地表に露出したターゲットの短時間での視認が中心となるため、直進性の強いXバンドの高周波観測バンド(9.65GHz)が適しています。さらに、人工物の視認に必要な約3mの分解能を得るために、9.65GHzを中心として130MHzの周波数幅を持った電波を送受信する必要があります。また、100kg級の小型衛星を低コストで実現するためには、レーダシステムのすべての電子装置を衛星内に搭載し、電子機器が搭載されていない平面アンテナのみを展開して軌道上で形成する方法が適しています。

図3 (a) に衛星外観図を示します。アンテナは0.7m四方のパネル6枚から構成され、ピギーバック打上げ可能な0.7m立方サイズに収納されています。展開時には4.6m×0.7mになります。アンテナと反対の面には太陽電池パネルが設けられます。

図3 (b) に1枚のアンテナパネルの構造図を示します。0.7m四方の正方形のハニカム構造の両面にアルミニウムのスキンを貼り、平行平板導波路を形成します。下面が放射面であり、円偏波を放射するスロットペアを格子状に配列しています。導波路内の電波のスロットペアへの入射方向により、円偏波の回転方向を変えられます。そこで、上面の両端に給電導波管を設け、スロットペアへ2つの方向から入射する構造とし、それぞれから右

旋円偏波と左旋円偏波を放射できるようにしました。給電導波管は2種類からなり、外側は上述のようにパネル内に電波を給電し、内側は6枚のパネルに電波を分岐給電します。各パネルへの線路長を同じにするため、パネル間給電導波管は、スポーツ大会のトーナメント方式の図のような、どのパスも長さが等しい構成になっています。動作原理を説明します。パネル間給電導波管の狭壁に開けられた給電窓からパネル内給電導波管へ電波が伝搬します。さらに、パネル内給電導波管の広壁に開けられた結合スロットを通して平行平板導波路へ電波が伝搬します。最後に、平行平板導波路上のスロットペアから円偏波として放射されます。

動作の確認をするため、平行平板導波路の上面の一端だけに給電導波管を設けた右旋円偏波のアンテナパネル(0.7m四方)1枚の設計、試作、評価を行いました。ハニカムコア材料としてはアラミド繊維シートを用い、その厚さは6mmです。利得35.0dBiが得られ、アンテナ効率は55%となりました。「はやぶさ2」の円形アンテナと同程度です。損失は1.6dBあり、半分の0.8dBはハニカムコアによると考えられます。残りの0.8dBに関しては、給電導波管を平行平板導波路に固定する際と平行平板導波路の周囲を金属チャンネルで固定する際に用いた導電性接着剤による損失などであると考えています。この矩形アンテナの特長は、太陽電池パネルと同様、びょうぶのように折り畳みと展開ができる点にあります。図3のように小さく収納して0.7m立方の小型衛星に搭載して打ち上げて軌道上で展開できるので、レーダを搭載した小型衛星が大活躍する日もそう遠くはないと思っています。

むすび

衛星搭載を目的としてハニカム構造により軽量化した高利得平面アンテナの説明をしました。今後は、より低損失なハニカムコア材料の使用に加え、ハニカム構造を正確に取り込んだアンテナの電磁界解析による特性向上を検討していく必要があると思います。(ひろかわ・じろう)

「はやぶさ2」種子島射場作業

コンテナに収められた探査機が9月20日に相模原を出発し、22日に種子島宇宙センターに搬入されると、射場作業が着手された。まず、燃料・酸化剤・気蓄器・キセノンといった圧力タンク系の気密試験を実施した。先行して別路にて種子島入りして最終組み立てを行っていた、帰還カプセル・衝突装置・分離カメラ・ローバ・サンプリホーン・各種火薬類を、探査機へ順次取り付けた。

10月7日は、気象衛星「ひまわり8号」の打上げのため宇宙センターへ入構できないので、休日の措置。代わりにH-IIAロケット25号機の勇姿を見送り、54日後に迫る我々の出番に闘志を新たにす。

この前後、続けざまに台風18号・19号の襲来を受く。合わせて3日間宿舎待機を余儀なくされ、射場作業が進まない。遅れを取り戻すため、夜遅くまでの作業を強いられる。特にキセノン充填は中断できない昼夜兼行の連



組み上げられた機体と開発スタッフ。
種子島宇宙センター衛星組立試験棟にて。

続作業のため、台風通過後にしか開始できないのだが、鈍足19号の動静にヤキモキ。昼夜2交代による4日連続作業にて、ようやく充填完了。引き続き、詳細電気機能試験・無線通信試験を行い、すべての搭載機器の健全性を確認した。

種子島総合指令棟や相模原衛星管制室に人員を配し、

インカムで連絡を取り合いながら、種子島衛星試験棟から探査機に実際にコマンドを送り、打上げから追跡に至るリハーサルを実施した。ロケット打上げカウントダウンの録音の放送をも交えて、実運用さながらの臨場感ある試験が行われた。同時に、私の胃がきしむ音も聞こえた。

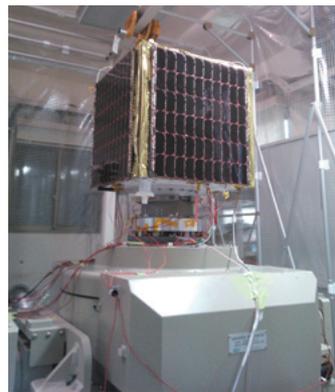
10月27日には種子島における機体公開が開催され、完成した探査機をお披露目(表紙参照)。この後は、燃料・酸化剤を充填してロケットの最上部に取り付けて、いざ深宇宙の大海原に挑む。(國中 均)

超小型深宇宙探査機 PROCYON 完成

PROCYON (プロキオン) という探査機をご存知でしょうか? 11月30日に打上げ予定の小惑星探査機「はやぶさ2」に相乗りで打ち上げられる、50kg級の超小型の深宇宙探査機です。

「はやぶさ2」の打上げに際して発生するH-IIAロケットの余剰能力を生かした、惑星間軌道への相乗り小型衛星が公募されたのが昨年4月。東京大学と宇宙研の共同ミッションとしてPROCYONを提案し、正式に打上げが決定して開発がスタートしたのが9月。

そこから1年ちょっとで完成させなければなりません。しかもミッションは、世界初の超小型の深宇宙探査機バスの実証(なんと小型のイオンスラスタも搭載して軌道制御も行います)、深宇宙向けの超小型通信系の実証、高精度軌道決定のための新しい方式のDDOR(Delta Differential One-way Ranging)実験、小惑星の至近距離



PROCYONの振動試験の様子

を高速でフライバイしながらの高分解能撮像実験など盛りだくさんで、1年で完成するだろうかと心配になったくらいの挑戦的なプロジェクトです。

短い開発期間でつくり上げるために、地球周回の超小型衛星用に開発されたバス機器を流用し、新規開発箇所を必要最小限に抑えました。それでも、システム設計から、熱構造モデル(STM)試験、フライトモデル(FM)製造、総合試験まで、わずか1年でこなすことは大変厳しいものでした。特に総合試験が

始まってからは、毎日何らかの不具合が発生してその対処に追われ続ける怒濤の日々を送ってきました。そんなPROCYONも、ようやく完成の時を迎え、打上げを待つところまでこぎ着けました。

PROCYONの開発に当たっては、宇宙研をはじめとして、(信じられないほどの)たくさんの方のご支援ご協力を

頂きました。ここに感謝の意を示すとともに、そのご恩に報いるためにも、何とかこの挑戦的なミッションを成功に

導くべく、プロジェクトメンバー一同、打上げ・運用の準備に余念がありません。
(船瀬 龍)

宇宙科学プロジェクトの実行改善について

宇宙科学ミッションは、世界レベルの科学成果を創出するため、自由な発想に基づき挑戦的かつ高度なミッションを実現し、日本の宇宙科学の活動領域の拡大、日本の宇宙技術の牽引において主動的な役割を果たしてきた。しかしながら、昨今、複数のミッションにおいてコスト超過が顕在化し、プロジェクトの実行段階において開発計画・資金設定の大幅な見直しを余儀なくされており、開発中止に追い込まれたミッションもある。衛星・探査機の大規模化やシステムの複雑化、周辺状況の変化に伴い、今までのやり方では対応できず、時代に合った新たな宇宙科学プロジェクトの進め方を構築する必要がある。

2012年に、宇宙科学プログラムの実行上の改善に関するタスクフォースが設置され、宇宙科学プログラムの現状認識と課題の抽出、実行上の改善に対する提言がなされた。提言の具体的な項目を表に示す。しかしながら、提言に基づく具体的なアクションプランが不十分であり、今なお問題が顕在化している。そこで、2014年に宇宙科学研究所内に検討チームをつくり、科学コミュニティと協力して取り組むべき最重要課題として、アクションプランの再検討を行った。検討の中で、宇宙研全体で議論を行う場を設けて、課題の共有および宇宙科学プログラムの進め方について討議し、実行方策の具体化を行った。

本検討では、今後の宇宙研のプロジェクトの在り方という基本的な考え方に立ち返り、宇宙科学プロジェクトのあるべき姿、進め方、プロジェクト体制について議論した。限られたリソースでいかに挑戦的な宇宙科学ミッションを遂行するかが大きな課題である。

宇宙科学プログラム実行上の改善に対する提言

- A-1 技術的成立性と開発に必要なリソースの見積もり精度の向上
- A-2 適切なベースラインの設定・維持
- A-3 メーカーの活用・コミュニケーションの改善
- A-4 審査・評価の充実
- A-5 プロジェクト実行体制の強化と人材育成
- A-6 バス系サブシステム技術の戦略的な開発

そこで、創造性を生かし技術的にチャレンジする部分の「柔らかな」要求・仕様について段階的なベースライン化を行い、「挑戦リスクの最小化」を重視したプロジェクト遂行を行うこと、プロジェクトマネージャを含むマネジメントチームが分担してプロジェクトを推進すること、ミッションの立ち上げから開発に至るプロセスが円滑に確実に行われるような審査体制とミッションをより良くするための審査会を実施すること、宇宙研の支援の充実や人材育成など、多くの方策を打ち立てた。

すでに開発中の水星探査計画BepiColombo、X線天文衛星ASTRO-H、ジオスペース探査衛星ERGに本方策を適用し、また現在審議中のイプシロンロケット搭載宇宙科学ミッション提案にも適用しているところである。今後さらに宇宙科学コミュニティと宇宙科学プログラムの進め方について意見交換を行い、より良い方策を随時取り入れることを進めていきたい。今後も新しい挑戦的な宇宙科学ミッションを創出し確実な遂行を進める所存です。
(久保田 孝)

ERGプロジェクトの現状

ジオスペース探査衛星ERG計画は、高エネルギー電子に満たされたヴァン・アレン帯が、いつ、どのように生まれ、どのように消えるのか、そのメカニズムを解明することを目的とします。このために、最も放射線環境の厳しいヴァン・アレン帯の中心部で広いエネルギー帯のプラズマとプラズマ波動を観測し、世界で初めて高エ

ネルギー電子が生まれ、失われる現場の詳細データを“その場で”取得することを目指して開発を進めてきました。しかし、3月の詳細設計確認会以降、ERGの挑戦的なミッションの実現に向けて予期できなかった技術課題などが明らかになり、計画の見直しが迫られる事態となつてしまいました。

計画の見直しに際しては、久保田孝 宇宙科学プログラムディレクターのもとに全研究所的なERG対策検討チームが設置され、見直し後の開発スケジュールの成立性確認などの精査がなされました。対策検討チームとERGプロジェクトの検討の結果、①打上げ時期を当初予定の2015年冬期から2016年夏期に変更する、②高度化イプシロンロケットを使用し遠地点高度を4.5倍地球半径に上げることでヴァン・アレン帯観測軌道を最適化する、③プロジェクト実施体制を強化する、などの対策が取られることが決定され、9月初めにJAXAの計画変更審査を受審しました。最終的には、10月下旬の理事会議にて審査結果が承認され、新しい計画にてプロジェクトを続行させていただくこととなりました。ここ



ミッション部総合試験に向けた衛星データ処理系の噛合せ試験の様子(上)と
ミッション部構体の組み立ての様子(下)

に至るまでには宇宙研内外の多くの方々にご多大なご尽力と叱咤激励を頂きました。ご協力・応援いただいた皆さまにこの場をお借りして厚くお礼を申し上げます。

ERGプロジェクトは現在、計画変更後の新しいスケジュールに沿って開発を進めており、10月よりミッション部総合試験1を実施するとともに

フライトモデル (FM) 製造を開始しています。今後、来年春からの一次噛合せ試験、夏からの総合試験を経て、2016年夏の打上げを目指して開発が進む予定です。

ERGプロジェクトチーム一丸となって大きな科学成果が挙げられるよう邁進してまいります。引き続きERGプロジェクトへのご支援・ご指導をよろしくお願い致します。
(篠原 育)

れいめい君，9歳の誕生日を迎えました

2005年に打ち上げられた小型衛星のれいめい君は、8月24日に満9歳の誕生日を迎えました。翌日の勤務時間後には、相模原キャンパス新A棟4階のれいめい運用室にて、ささやかな誕生パーティーを、れいめい運用に関わっているメンバーで行いました。写真は、恒例になっている、れいめい君の姿をチョコで描いたバースデーケーキです。

れいめい君は、宇宙研の若手職員や学生が生みの親となり、体重が70kg、開発コスト約5億円で誕生しました。オーロラや大気光、スプライトなどの観測を行い、数多くの科学論文を生み出しました。その独特な開発手法や、低価格ながら高い信頼性を備えた小型衛星の在り方は、日本を代表する高機能な小型衛星として評価され、2012年度には日本航空宇宙学会技術賞を受賞しています。

9月末には、JAXAのプロジェクトとしては終了することになりました。これからは、リチウムイオン電池の軌道上評価や衛星運用の省力化の研究開発のために、所内チームの形で運用を継続していきます。ぜひ10歳



れいめい君9歳のバースデーケーキ

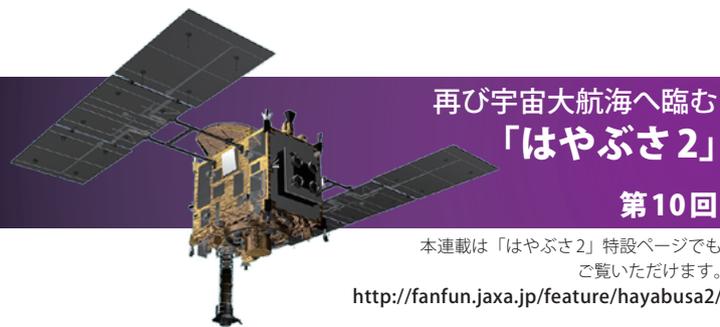
の誕生日を迎えさせたいと思っています。

れいめい君の運用は、相模原キャンパス新A棟屋上の3.8mアンテナで行われています。近年、大学などが小型衛星を開発する機会が多くなってきましたが、打上げ後の衛星運用地上局の確保に苦労することが多いようです。そこで、大学共同利用の形態で、本アンテナを大学などの小型衛星運用に供することを計画しています。すでに、東京

大学の「ほどよし3号」「ほどよし4号」、和歌山大学の「UNIFORM-1」の運用や受信を行っており、東京工業大学の「TSUBAME」の受信も準備中です。

そのような大学共同利用のサービスだけではなく、最先端の研究開発として、Xバンド周波数を利用した高速ダウンリンク通信の技術開発を本アンテナを用いて行っています。すでに、「ほどよし4号」にて320Mbps、16QAMダウンリンク通信の実証にも成功しています。

このように、れいめい君に続けとばかり、元気な弟が次々と誕生してきているところです。
(齋藤宏文)



再び宇宙大航海へ臨む 「はやぶさ2」

第10回

本連載は「はやぶさ2」特設ページでも
ご覧いただけます。

<http://fanfun.jaxa.jp/feature/hayabusa2/>

「はやぶさ2」は、2010年に帰還を果たした初号機「はやぶさ」をベースに開発されましたが、外観上の変化として際立っているのが2枚の円板の存在です。なくなったものに注意すれば、それらは新しいアンテナに違いないと気付く方は多いはず。ご明察です。でも、1つであったものが2つに。「はやぶさ2」からは、初号機でも使用したXバンド（約8GHzの周波数で振動する電磁波）に加え、Kaバンド（約32GHzの周波数の電磁波）も利用することになりました。

「はやぶさ2」のXバンドのアンテナは、初号機のようなパラボラアンテナではなく、金星探査機「あかつき」から採用された軽量で高効率な送信専用の平面アンテナを使用する予定でした。そのため、Kaバンドの送信アンテナも探査機全体のバランスから、同じ形状・寸法の平面アンテナとすることに決めました。Xバンドでの開発実績から、Kaバンドへの展開も技術的に難しくないと考えたのです。このようにして、双子のような2台のアンテナは、「はやぶさ2」の個性的な外観に一役買うこととなったわけです。実際、この双子は熱計装をかぶってしまうと、どちらがどちらか区別するのも大変です。見分け方は、探査機のサンプル回収カプセルを正面に見て、左側がXバンドのアンテナ、右側がKaバンドのアンテナです。

「はやぶさ2」でKaバンドを利用する理由は、鋭い指向性（電波をビームにして飛ばすときにエネルギーの集中する程度が高いことを表します）のアンテナ同士を用いる通信では高い周波数を利用するほど効率よく信号を伝送可能になるからです。「はやぶさ2」では、初号機るとき以上にたくさんの観測データを地上へ送り届けたいのです。今回、Kaバンドのアンテナだけでなく、Kaバンドの周波数を合成する装置、Kaバンドの信号を増幅する装置などが併せて開発され、「はやぶさ2」はKaバンドで通信する機能を備えました。Xバンドだけのときに比べると、条件によっては4倍以上のデータを送り届ける手段となります。

ただし、Kaバンドを利用したくても、臼田宇宙空間観測所の64m地上局（初号機の運用で活躍しました）は高い周波数に対応できず、頼ることができません。我が国唯一の深宇宙探査局でKaバンドが使えないわけですから、国際協力が必要になりました。海外では、米国航空宇宙局（NASA）をはじめ欧州宇宙機関（ESA）でも、Kaバンドに対応する地上局を地球規模で熱心に展開しています。「はやぶさ2」が受ける国際支援の中で重要なものの一つが、このKaバンドの利用です。これら海外局を使って、「はやぶさ2」ではKaバンドの恩恵を享受する計画です。

いつの日か、国内にもこのKaバンドを受けられる探査地上局ができるのでしょうか？ 深宇宙探査におけるKaバンド活用の重要性は、ずっと以前から指摘されてきました。臼田64m局の後継は、きっとKaバンド対応の局になるといわれています。しかし、KaバンドはXバンドに比べて取り扱いが難しく、その恩恵を享

Kaバンドアンテナと通信

戸田知朗 「はやぶさ2」プロジェクト 通信系担当



図1 「はやぶさ2」上に並んだXバンドアンテナ（左）とKaバンドアンテナ（右）

図2 臼田64m局と「はやぶさ2」のXバンド／Kaバンド運用を支える海外の深宇宙局（DSN）



受するためにはさまざまな条件を克服しなくてはなりません。その一つがKaバンドの信号を弱らせる湿潤な気候です。国内で環境が良い場所を選んで、年間を通じて見ると、海外機関の地上局の立地に比べてあまり優れていません。例えば、時々刻々の気象条件の変化にも臨機応変に対応するような独自の仕組みが必要かもしれません。先を行く海外機関もKaバンドの取り扱いには手を焼いているのですから、私たちが臼田64m局の後継の開発に取り組むときには十分な備えをして臨む必要があります。Kaバンドは、努力しなければ味わえない果実です。

「はやぶさ2」でKaバンドの最初の試験電波を受けられるのは、打上げからひと月ほどしてからといわれています。私たちの局で受けられないのは残念ですが、NASAの深宇宙局が万全の構えで待っていてくれるでしょう。そのとき、私たちの目にはもちろん見えませんが、確かに「はやぶさ2」が双子のアンテナを地球へ向けて話し掛けてくれているはず。そうやって「はやぶさ2」が先鞭をつけたKaバンドの技術は、より洗練されて次の探査計画へ受け継がれていきます。

(とだ・ともあき)

中性子星の全貌を知りたい

宇宙物理学研究系 教授・研究主幹

堂谷忠靖

—— 2015年度に打上げ予定のX線天文衛星ASTRO-Hで中性子星の観測を計画しているそうですね。

堂谷：中性子星は、質量が太陽の1.4倍くらいで、半径がわずか10kmほどの高密度天体です。ただし、その半径の推定値は8kmから15kmくらいまでと2倍の開きがあります。私たちはASTRO-HのX線観測によって中性子星の大きさを精度よく決めることを目指しています。そのため

に、中性子星の表面から出てくるX線の波長が重力でどれだけ引き伸ばされているのか、高い精度で観測します。現在観測を行っている「すざく」など従来のX線天文衛星では、波長の観測精度に2%ほどの誤差がありました。ASTRO-Hでは0.1%の誤差で観測できるので、中性子星の大きさを初めて精度よく決めることができるはずですよ。

私たちの銀河系には約2000個の中性子星が知られています。ASTRO-Hの感度には限界があるため、大きさを精度よく決めることができるのは、X線で明るく輝く数個の中性子星に限られると思います。どの中性子星を観測するのか、それが研究者の腕の見せどころです。私たちと同様に中性子星の大きさを決めることを目指している研究グループが世界に4～5チームあります。一番乗りを目指して私たちは今、「すざく」を使って観測ターゲットを絞り込んでいるところです。

—— 中性子星の大きさから何が分かるのですか。

堂谷：中性子星では、原子核と同じくらいの密度で中性子が集まり、そこには核力が働いています。私たちの身の回りの物質をつくる原子核も、陽子と中性子が核力で結合しています。核力は、陽子や中性子が離れていると引力として働きますが、至近距離では反発力として働きます。その核力の性質がまだよく分かっていません。中性子星の大きさを測定することで核力の性質を知る重要なデータが得られ、原子核の理解にも役立ちます。加速器実験やシミュレーションで核力の研究を進めている原子核物理学の研究者からも、私たちの測定に期待が寄せられています。

また、クォーク星を発見できる可能性もあります。中性子はクォーク3個から成ります。太陽程度の質量を持ち半径が6～8kmの超高密度天体が見つければ、それは、クォーク



どうたに・ただやす。1961年、石川県生まれ。理学博士。東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。1990年、宇宙科学研究所 助手。同助教授を経て、2005年より同教授。2014年より現職。

が中性子ごとではなく星全体を動き回るクォーク星だと考えられます。

—— 子どものころに熱中したことは何ですか。

堂谷：工作です。部品を組み立ててラジオやおもちゃの自動車をつくりました。で

も、途中で別のものがつくりたくなくて、未完成のものが多かったですね（笑）。やがて中高生のころから物理が好きになり、一般向けの本をよく読むようになりました。特に『相対論的宇宙論』（佐藤文隆・松田卓也 著）に感銘を受けました。同じ講談社ブルーバックスで都筑卓司さんが素粒子や宇宙分野の本を何冊も書かれていて、それらも愛読書でした。

—— その後、東京大学に進学して、X線天文学のパイオニアである小田 稔先生の研究室に入られました。

堂谷：研究室の先生方や、先輩、後輩たちと議論しながら研究を進めることが性に合っていると思うようになり、研究者になる決心をしました。そのころからずっと宇宙研で、中性子星やブラックホールをX線で観測する研究を行ってきました。それら極限状態の天体では、物理現象が単純明快な形で見えてきます。そこがX線天文学の魅力です。

—— これからの目標は何ですか。

堂谷：過去20～30年の研究で、すでに知られていた中性子星の中に磁場が極端に強い「磁石星（マグネター）」があることが分かってきました。ほかにも中性子星には、まだ知られていないタイプがあるはずですよ。中性子星がどのような一生を送るのかも分かっていません。中性子星の多様性や一生を、ASTRO-Hの観測により明らかにしていきたいと思えます。2028年には、さらに感度が高いATHENAというX線天文衛星が国際協力で打ち上げられる予定です。ASTRO-HやATHENAの観測により、私は中性子星の全貌を知りたいのです。

—— どうすれば未知の現象を発見できますか。

堂谷：誰が何を言おうと、自分で考え納得して研究を進めること。そうしないと新しいものは見えてきません。

ISAS ニュース No.404 2014.11 ISSN 0285-2861

発行／独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

発行責任者／ISASニュース編集委員会 委員長 山村一誠

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1

TEL: 042-759-8008

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。

デザイン／株式会社デザインコンビア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト

編集後記

ジオスペース探査衛星ERG搭載機器のフライトモデル製造が始まっています。プラズマ粒子観測器の搭載機器数は日本の磁気圏観測史上最多であり、今後、組み立て・試験が始まるとクリーンルームがにぎやかになりそうです。（笠原 慧）

*本誌は再生紙（古紙100%）、植物油インキを使用しています。

R100
古紙配合率100%再生紙を使用しています

