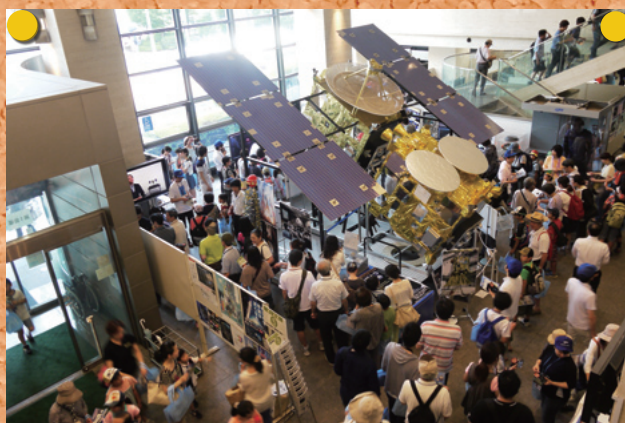




2015年7月24日・25日に行われた相模原キャンパス特別公開の様子

宇宙科学最前線

「我々の起源」の探索の果てへ

宇宙物理学研究系 宇宙航空プロジェクト研究員
松村知岳

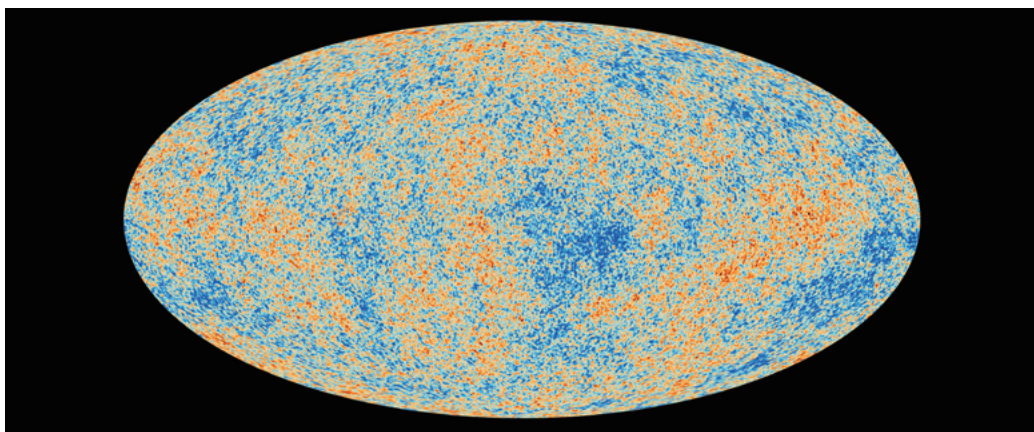
宇宙の始まりに目を向けて

「我々はどこから来たのか？」という哲学的な問いは、この現代社会において、なお本質的な問題として多くの科学分野にて議論されている。海洋生物学者なら海溝にヒントが、また天文学者なら彗星、星間ダスト、また超新星残骸が我々の起源である、と答えるかもしれない。さらに認知科学者であれば、脳を理解しなければ起源以前に「我々」を理解できないと言うかもしれない。これらの答えは、すべて間違っていない。ただ、科学者の興味として「なぜ？」を突き詰めると、この純粋な問いの行き着く果てとして、宇宙の始まりを考えざるを得ない状況に我々は追い込まれていく。

1915年にアインシュタインが一般相対性理論を提唱してから今年でちょうど100年である。アインシュタインは数多くの業績により、その名を知られる。その中でも一般相対性理論は、我々に宇宙を定量的に記述する道具を与えてくれた。現在、観測的宇宙論の研究者は、現代の技術力を駆使することで、「ビッグバンから宇宙は始まり、現在も加速膨張中」とする標準宇宙論を確立した。これにより、我々が住む宇宙は、たった6つのパラメータ^{*1}でその挙動が記述できることが示され、非常に大きな成功を収めている。

観測精度が上がる一方で、「宇宙はなぜ一様なのか?」「宇宙はなぜ平坦なのか?」、また「我々が現在住む宇宙の構造の起源はどこから来たのか?」など、標準宇宙論では説明できない観測事

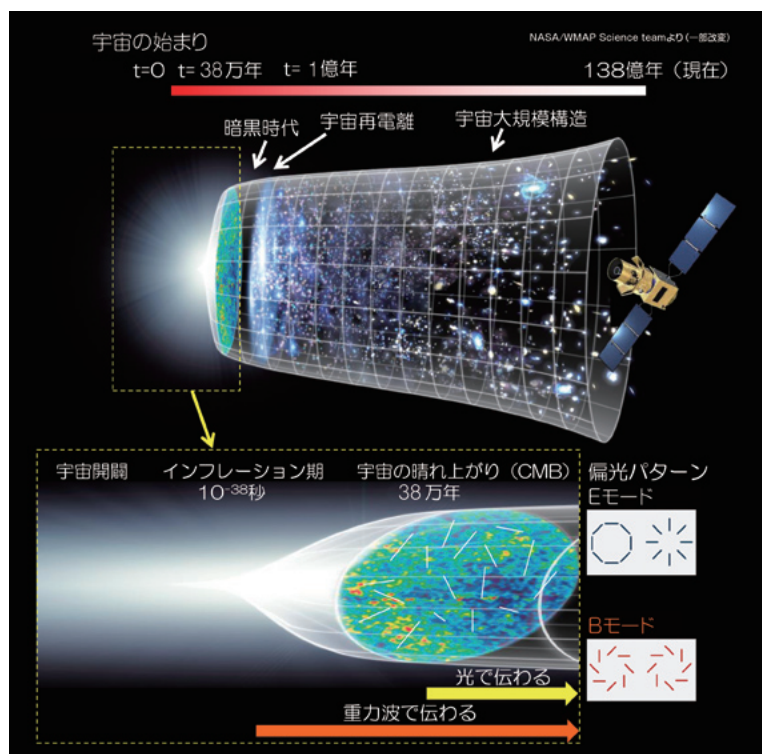
図1 Planckによる宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 温度揺らぎの全天観測結果
 一様な放射からのずれを示している。このずれは、宇宙年齢38万歳時のダークマターの密度の揺らぎに対応する。この揺らぎは、その後重力収縮により現在の宇宙大規模構造となり、そして銀河や星となる。一方で、この揺らぎの起源はインフレーション仮説が正しい場合、宇宙初期の量子揺らぎと結論できる。インフレーション仮説の探索は、「我々の起源は量子揺らぎである」という仮説の探索である。
 ©ESA



実が多く報告されている。こうした標準理論の枠を超える観測的事実を一挙に説明するため、佐藤勝彦、Alan Guthなどにより、宇宙開闢後 10^{-38} 秒に指数関数的な空間膨張があったとするインフレーション仮説が提唱されている。

ここまで、シンプルな問いから出発して宇宙の始まりに目を向け、文字通り宇宙開闢直後の物理現象を科学者は真面目に議論していることを紹介した。しかし、この初期宇宙のインフレーション仮説は、ただ単に宇宙開闢に迫るロマンだけで注目されているわけではない。初期宇宙では宇宙が小さいため重力と量子論を同時に扱う必要があり、「アインシュタインの夢」と呼ばれた物理相互作用の統一という視点でも、非常に注目された物理系と認識されている。このサイエンスの面白さは、理論的に議論できることもさることながら、この物理現象が実験的に探索可能である点である。故に、その発見に向け世界的に熾烈な競争が繰り広げられている。果たして、こんな初期宇宙をどう探索するのか。それが次の話題である。

図2 宇宙の歴史
 特にインフレーション由来の原始重力波の影響を、電磁波であるCMBの偏光パターンとして観測することを示す模式図。



初期宇宙探索の観測量とは？

宇宙観測では、遠くを見れば見るほど昔の状態を見ることになる。では初期宇宙を知るために遠くを見れば、宇宙の始まりが分かるだろうか？ 星も銀河もなるべくない空の領域をミリメートルの波長で観測すると見えてくるのが、ビッグバンの残り火である宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background : CMB) である。宇宙年齢38万歳時の火の玉宇宙の光が、現在でもCMBとして観測可能である。普段は気付かないが、CMBは太陽、月の次に大きいエネルギー総量を持つ電磁波を地球に降り注いでいる光源でもある。全天のどちらの方向を見ても我々はCMBに囲まれている。つまり、我々は宇宙年齢38万歳時に設置されたスクリーンに囲まれているような状態なわけである。

このCMBは1965年にPenziasとWillsonによって発見され、2人にはノーベル賞が与えられた。その後、多くの地上、気球、そして衛星によって詳細な観測が実現している。このCMBを観測することにより、宇宙の構成要素 (ダークマター、バリオン、ダークエネルギーなど)^{※2}のエネルギー密度、宇宙の平坦性、宇宙年齢など、宇宙を記述するパラメータの推定が可能になった。特にこれまでのCMB観測において衛星は非常に大きな貢献をし、NASAが1989年に打ち上げたCOBEの観測結果に対してノーベル賞が授与された。現在、NASAのWMAPやESAのPlanckの結果から宇宙年齢 (138億年) や宇宙の構成要素のエネルギー密度が1%以下の精度で分かっており、CMB観測は精密宇宙論の確立で大きな役割を担った。図1はPlanckによる全天CMB温度揺らぎ地図である。

現代宇宙論を確立する上で非常に大きな成功を収めたCMB観測であるが、一方ではしよせん宇宙年齢で38万歳の情報であり、それ以前の物理はある程度理解できたとしても宇宙開闢に直接迫るには至らない。残念ながら電磁波を用いて38万歳以前の宇宙を直接「見る」ことはできない。しかし、インフレーション理論の特徴は、初期宇宙にインフレーションが起きたとすると、宇宙開闢時に「時空

の歪み」である原始重力波が生成され、その原始重力波が宇宙を伝搬していく過程でCMBに対し影響を与えている、という予想を持つことである。図2は、これを模式的に示した。この原始重力波の影響はCMBの偏光シグナルのパターンとして現れ、このパターンを定量化することができる。インフレーションのシグナル強度は r というテンソル・スカラー比と呼ばれるパラメータ（偏光パターンを定量化した量）と関係づけられ、具体的にはインフレーションのエネルギースケール^{*3}と以下の関係を持つ。

$$E=3.3 \times 10^{16} r^{\frac{1}{4}} [\text{GeV}^{\frac{1}{4}}]$$

故に、宇宙開闢に迫る初期宇宙の物理は、観測量を持つ検証可能な科学である。

インフレーション探索の現状

これまでのCMBを用いた宇宙観測は、地上や気球による観測が技術開発をけん引しながら科学成果を出しつつも、衛星が高精度全天観測にて決定的な仕事をしてきた背景がある。2014年3月に、南極点で観測を続けるCMB偏光観測実験BICEP2チームは、インフレーション由来の偏光シグナル（Bモード）の発見を発表した。翌日には世界中の新聞がトップ記事として伝え、この世紀の大発見に世界中が驚いた。しかし、その後ESAのPlanckなどの広帯域観測との共同解析により、その発見されたシグナルはインフレーション由来ではなく銀河系内からのダスト偏光放射であることが示された。図3に示すのは、現在のインフレーション探索の現状を示すパワースペクトル^{*4}である。Planck, BICEP2, Keckなどの観測結果を統合し、現在96%の確率で $r < 0.09$ という制限がついている。この上限により数多くあるインフレーションモデルを一部棄却することが実現できている。

我々は38万歳の宇宙に設置されたスクリーンのイメージを精密に見たいわけだが、我々が住む太陽系、銀河系、そして宇宙大規模構造を通して見る必要がある。BICEP2の結果は、こうした途中の「邪魔者」を分別して解析することが非常に重要であることを示す事例となった。

筆者はカリフォルニア工科大学のポスドクとして、BICEP2の前身であるBICEP1やPlanckに携わった。前述の共同解析以前に、より野心的な衛星からのインフレーション探索を目的としたLiteBIRDなどのプロジェクトへ軸足を移したが、身近なところから発された大きな、そして紆余曲折をはらむニュースは、研究者として非常に学ぶことが大きいものであった。

この世紀の発見がお預けになったことは残念だ

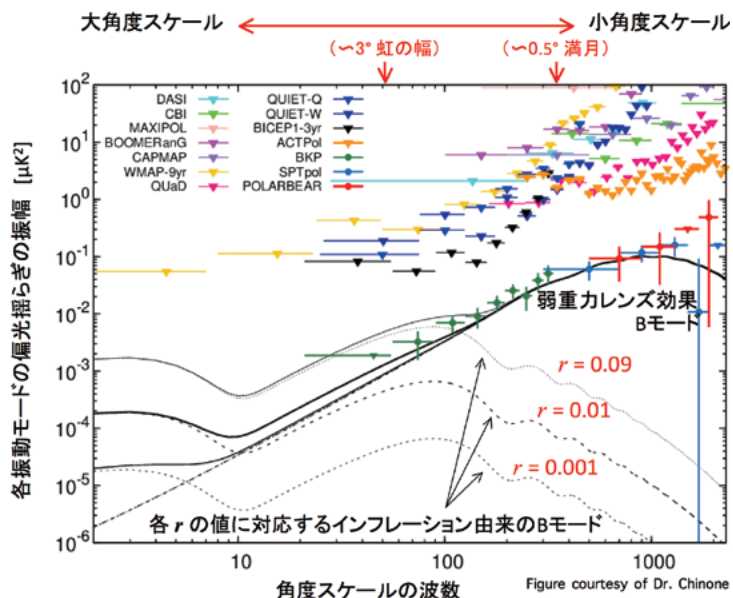


図3 CMB偏光観測の現状

宇宙論のBモードは、二つの要因（インフレーションと宇宙大規模構造の弱重力レンズ効果）により生成される。インフレーション由来の信号はまだ発見されておらず、三つの r に対応するBモード信号を記す。小さい r を探索するには、インフレーション由来の信号が弱重力レンズ効果より支配的な大角度スケールを探索する必要があり、地上では困難な全天観測を可能とする衛星は大きな役割が期待されている。

が、一方で宇宙論コミュニティではがぜん、インフレーション探索に向けての期待が強まった。インフレーション探索のための観測の難しさは、その微弱な信号を捉えるために、サンプル数を増やしランダムノイズを抑えつつ、さらに系統誤差を抑える要求が、これまでの実験よりも1桁から2桁高い精度で求められることにある。そのため装置には、液体ヘリウム温度まで冷却した望遠鏡に大きな窓を設置し多くの光を取り込み高感度な多素子超伝導検出器で信号を受ける、という実験的に挑戦的な要素が多く含まれる。しかし、このような挑戦にもかかわらず、BICEP2は現実の観測にてこうした装置を用いて実験感度を実現し、さらに要求を満たす装置由来系統誤差の抑制を示し科学成果を出したことは、コミュニティに次世代感度の観測の扉を開いたといえ、大きな貢献である。

インフレーション探索のために、現在多くの望遠鏡が観測中である。地上や気球の実験は今後、 $r \sim 0.01$ の感度を目指している。しかし、有力なインフレーション理論の候補を探索し尽くすには $r \sim 0.001$ までの探索が必要であり、そのために次世代のインフレーション探索の決着に特化した観測衛星が世界的に科学コミュニティで期待されている。現在、筆者は日本発の次世代CMBインフレーション探索衛星LiteBIRDの実現性検討を進めている。ぜひ、今後のCMB偏光を用いたインフレーション探索における進展をご期待いただきたい。なお、本原稿のために図を提供してくれた茅根博士（UC Berkeley）には感謝するとともに、この場を借りてあらためてお礼申し上げたい。

（まつむら・ともたけ）

^{*1} 6つのパラメータ：初期宇宙における揺らぎの振幅とスケール依存性、宇宙の構成要素であるバリオンの量とダークマターの量、宇宙膨張速度、最初に星ができた時期を記述するパラメータ。

^{*2} 宇宙の構成要素：宇宙を構成する物質として、我々を構成する普通の物質（ここでは歴史的な経緯からバリオンと呼ぶ）以外に、その正体が分からないダークマター、ダークエネルギーがある。近年のさまざまな観測結果より、光では見えず、重力の相互作用が支配的である物質と、空間膨張に寄与し、そのエネルギー密度がほぼ一定である「物質」があることが分かっている。前者をダークマター、後者をダークエネルギーと名付けている。「よく分かっていないもの」があるということだけは「よく分かっている」と言わざるを得ない状況に追い込まれているところが面白い。

^{*3} インフレーションのエネルギースケール：インフレーションのエネルギースケールが分かると、インフレーション期にどれだけ宇宙が膨張により大きくなったかが分かる。

^{*4} パワースペクトル：CMBの信号は「揺らぎ」であるため、その測定は、それぞれの空間スケールごとの揺らぎの大きさとして表現する。

→ 7ページ
「今月のキーワード」
もご覧ください。

「あかつき」の金星周回軌道再投入に向けて

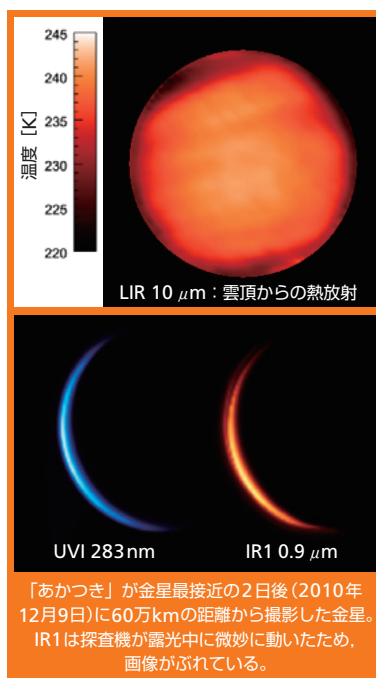
「あかつき」は日本初の金星探査機です。10年の歳月を経て建造され、2010年5月に種子島を飛び立ちました。その年の12月7日に金星に到着し、主エンジンを噴かして周回軌道に入ろうとしましたが、噴射開始後2分38秒で燃焼が停止。機体は、金星をスウィングバイして再び太陽を巡る軌道へ入り、金星を離れていきました。失敗の原因は、推進系内部のバルブが閉塞したためにエンジンが高温となり、燃焼室が破断してしまったことにあります。

普通のケースですと、ここで話はおしまいですが、一度周回軌道への投入に失敗した衛星は、通常そこで命が尽きてしまいます。「あかつき」もそのような運命をたどったと思っておられる国民の皆さんは多いと思います。ところが、「あかつき」は今でも生きて地球と通信を交わしているだけでなく、今年の12月には、再び金星を周回する軌道へ挑戦するのです。誠に天の助けと人々の努力のたまものです。

我々は2011年には壊れた主エンジンを諦め、姿勢制御用のエンジンによる軌道修正に踏み切り、その年9月の軌道修正で2015年暮れに金星に再び会合する軌道に「あかつき」を乗せることに成功しました。今年7月にはさらに大きな軌道修正が計画通りに行われました。そして、5年前に失敗したまさに12月7日に周回軌道投入を試みます。

我々は2011年には壊れた主エンジンを諦め、姿勢制御用のエンジンによる軌道修正に踏み切り、その年9月の軌道修正で2015年暮れに金星に再び会合する軌道に「あかつき」を乗せることに成功しました。今年7月にはさらに大きな軌道修正が計画通りに行われました。そして、5年前に失敗したまさに12月7日に周回軌道投入を試みます。

ここで日本の金星探査の目的を振り返ってみましょう。「あかつき」は、米ソ欧州に次いで金星に挑み、科学探査を目的としています。他国が調べなかった金星特有の現象、金星気象、に的を絞ってこれを明らかにする機器群が搭載されています。金星は自転周期が243地球日と大変遅いのですが、不思議なことに惑星を取り囲む分厚い二酸化炭素の大気は4



地球日で惑星を1周しています。これを超回転（スーパーローテーション）と呼びますが、このように地球とまったく異なる気候を金星が持つ理由は、地球気象を理解しているはずの気象学では説明できません。惑星本体の自転は西向きであり大気の運動も同方向であることから、惑星本体の持つ角運動量を何らかのメカニズムで大気がくみ上げていると想像されます。しかし、そのメカニズムについては、いくつかの仮説が提唱されていて定量的にどれが正しいかの検証ができていないのです。「あかつき」は観測波長の異なる数台のカメラを搭載し、波長ごとに異なる高さの雲や微量気体の動きを追跡して、角運動量が3次元のどのようにならばいくかを明らかにします。金星気象の理解は、いつかは

地球気象学を超える惑星気象学の構築へと実を結び、我々は地球の気象をもさらに深く理解できるようになるでしょう。

「あかつき」は順風満帆の探査機ではありません。主エンジンは使えない状態、さらに太陽を回る5年の間に9回太陽に近づいて過酷な太陽からの熱にさらされました。当初の予定より3割も多くの太陽光を浴びているのです。太陽電池の温度は、当初予定されていた100℃から140℃に跳ね上がりました。おそらく、探査機の表面は真っ黒になっていることでしょう。満身創痍の体を引きずりながらも、「あかつき」は姿勢制御用エンジンを全力で噴かして周回軌道に入っていきます。そこまでも行き着けないかもしれないとの不安を抱えながら、プロジェクトのメンバーは一日一日、薄氷を踏む思いで探査機を運用しています。準備には万全を尽くしました。後は我々の信念と、皆さまの声援と、天のご加護が「あかつき」を無事金星に送り届けることを信じるのみです。

(中村正人)

X線天文衛星ASTRO-H熱真空試験

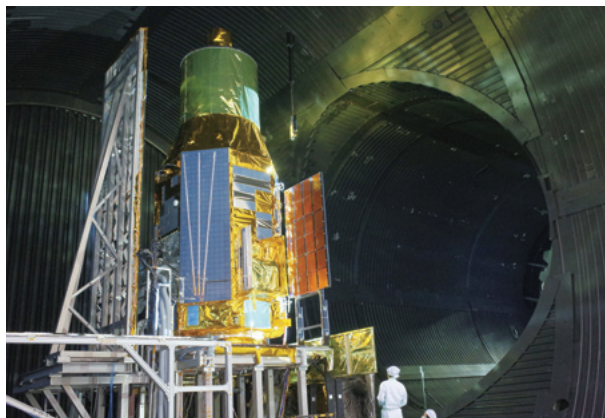
6月24日から7月9日にかけて、X線天文衛星ASTRO-Hの熱真空試験が、筑波宇宙センター13mチャンバで実施されました。熱真空試験は、衛星を宇宙の真空および熱的環境にさらすことで熱モデルの検証を行う、電気試験によって軌道上

での観測機器の機能・性能を実証する、という目的があります。総合試験における大きな山場で、120人にも及ぶチームメンバーとJAXAエンジニアが、衛星システムメーカーや設備担当の皆さんと共に、24時間体制で試験に臨みました。参加

場所も、チェックアウト室、クリーンルーム、チャンバ制御室、相模原など複数箇所に分かれていましたが、すべての場所を音声と映像でつなぐシステムを整えたことで、お互い情報を共有し、試験を円滑に進めることができました。

ASTRO-Hの主要観測装置である軟X線分光検出器(SXS)は、検出器を50mKまで冷やすことで、過去に

例のない分光性能を実現します。その性能を維持するには大規模な治具を要するため、今回の衛星規模の試験がSXSにとって初めての熱真空試験となりました。開始前には不安もありましたが、SXSチームが慎重に準備を行ってきたかいあって、熱真空環境下でも軌道上要求を十分満たす分光性能を持つことを示すことができました。そのほかの観測装置である軟X線撮像検出器(SXI)、硬X線撮像検出器(HXI)、軟ガンマ線検出器(SGD)については、衛星搭載後、初めて低温真空下で



熱真空試験に向けて13mチャンバに搬入されたASTRO-H。
ソーラー光を照射して事前チェックを行っているところ。

動作させる機会となりました。それぞれ期待通りの性能が確認され、軌道上で使うコマンドの実証、キャリブレーションデータの取得など、すべての試験項目を通過することができました。

熱試験としても、熱モデル評価に必要なデータをすべて取得し、現在詳細な評価が行われています。2012年に熱試験モデルを用いた試験を実施しましたが、こ

のときに苦労した点(衛星昇温時に温度が上がらなかった、ヒートパイプが起動しにくかった)に万全な対策を施したことで、試験期間中、熱システムの皆さんの意図した通りに衛星温度を制御することができました。

熱真空試験を終え、ASTRO-Hとしては一つの山を越えたこととなりますが、8月にはもう一つの山場である音響・振動試験が実施されます。現在はその試験に向け、着々と準備が進められています。(佐藤理江)

観測ロケットS-520-30号機噛合せ試験

9月中旬に打上げ予定の観測ロケットS-520-30号機の噛合せ試験が7月2日から相模原キャンパスにおいて始まりました。

今回の観測ロケット実験は、「酸化物系宇宙ダストの核生成過程の解明」です。天体より放出されたガスから最初に核生成する物質は、その後のダスト(微粒子)から天体に至る進化に非常に大きな影響を与えます。そのため、最初に核生成する物質の同定と生成条件の理解は、宇宙の物質循環を知る上で根幹となります。その物質の最有力候補がアルミナ(酸化アルミニウム)とされていますが、地上実験では確定できていません。そこで本実験では、ロケットの弾道飛行による数分間の微小重力環境を利用して、密閉容器の中でアルミナやシリカ(二酸化ケイ素)を無対流状態にて蒸発させ、その後に酸化物粒子が生成、成長する過程を直接測定することで、その生成条件を理解し、最初に核生成する物質の同定を目指します。アルミナに由来することが明らかになると、次世代赤外



観測ロケットS-520-30号機噛合せ試験の様子

線天文衛星SPICAによる宇宙史の中での物質進化の解明に生かすことが期待されます。そのため、弾道飛行中に以下の2種類の実験を実施します。

①二波長干渉計を用いた実験：アルミナとシリカそれぞれの核生成の起こりやすさを定量的に求めます。シリカは、最も豊富に存在する無機ダストが核生成する際の鍵とされています。

②浮遊ダスト赤外線スペクトルその場測定装置を用いた実験：アルミナが核生成してさらに大きな粒子へと成長する過程において赤外線スペクトル測定を行い、天体のスペクトル観測でのみ現れる13マイクロメートル帯ピークがアルミナに由来するか否かを明らかにします。

噛合せ試験は、構造機能試験棟への搬入に始まり、搭載装置の机上噛合せおよびロケット頭胴部への組み込み、動作チェックを終えました。現在、飛翔体環境試験棟にて、頭胴部の機械環境試験が順調に進められています。(稲富裕光)

全天X線監視装置MAXI運用延長

国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」曝露部に搭載されている全天X線監視装置MAXIの2018年3月末までの運用延長がJAXAで承認されたことを報告させていただきます。

MAXIは2009年8月に運用を開始し、ガス比例計数管とCCDカメラを用いて0.7～30keV領域の観測を続けてきました。これまで芯線切れやデブリが原因と考えられるガス圧低下などの不具合もありましたが、冗長系対応などを行うことで、現在も全天モニターを継続中です。

MAXIはこれまで、新たなブラックホール連星をほぼ毎年1個の割合で発見するなど新天体の発見、潮汐力による星の破壊現象や古典新星の点火の瞬間などまれな現象の発見、既知天体の突発現象の速報、星の巨大フレアの多数の検出、ガンマ線バーストの速報、活動銀河核の活動のモニター、全天のX線源のカタログ作成、大規模に広がった軟X線放射の撮像分光などの成果を挙げてきました。

JAXA（当時はNASDA）、理化学研究所、大阪大学の3機関でプロジェクトを開始したMAXIですが、現在では国内12機関が運用に参加しています。MAXIは現在、世界で唯一の全天X線監視装置であり、ホームページ(maxi.riken.jp)において、X線源の光度曲線、全天X線画像を公開し、

随時更新しています。さらに、任意の天体に対して光度曲線、スペクトルのオンデマンド解析を行うことができます。速報は、ATEL(astronomerstelegram.org)またはGCN(gcn.gsfc.nasa.gov)、および専用メーリングリスト(maxi.riken.jpにて登録)へ配信しています。

今回の観測延長によりMAXIは、2015年6月に発生したブラックホール連星V404 Cygの20数年ぶりの増光をいち早く検知・報告することができました。MAXIによるATELへの第一報以降、60件を超える追観測が報告されています。今回の延長審査に当たって支持の声を寄せてくださった皆さまに深く感謝致します。今後3年間、MAXIチームはさらに緊張感を持って運用していく覚悟です。

これまでは日本のX線天文衛星「すざく」や海外のSwift衛星などと連携観測を行ってきましたが、今後は2015年夏にMAXIと同じ「きぼう」曝露部で観測開始予定のGALETミッション（ガンマ線バーストモニタを搭載）や、2015年度末打上げ予定の日本のX線天文衛星ASTRO-Hとの連携観測も期待されます。延長観測によりさらに成果を挙げ、また観測データの公開・突発現象の速報によって天文学・宇宙物理学コミュニティに貢献していきます。皆様のご理解、ご協力をお願いします。（上野史郎）

相模原キャンパス特別公開

今年の相模原キャンパス特別公開も「夏定番!!」の中での開催でした。7月24日（金）と25日（土）、両日とも35℃を超える暑さの中、合わせて1万3271名が来場されました。

相模原キャンパス内の5会場に46ブースが出展。研究者と直接語らい真剣に一問一答をするなど、今年も大勢の方に楽しんでいただくことができました。第1会場(研究・管理棟)ロビーには、大阪市立科学館製作の「はやぶさ2」実物大模型をお借りして展示しました。さらに、探査対象となる小惑星1999 JU₃の名称案の公募を会場で受け付けたところ、約500件もの応募があるなど、「はやぶさ2」への大きな関心が集まる特別公開だったといえるでしょう。

会場の一つである相模原市立博物館では、特別公開より一足早く開催された企画展に「はやぶさ」帰還カプセルとイトカワ微粒子が展示されており、5年ぶりに市立博物館に収まったカプセルたちは大勢の来場者の視線を浴びてどこか誇らしげです。共和小学校の会場では、昨年は開催できなかった水ロケット教室を行うことができました。ペットボトルを

使った工作と、本物の管制官によるカウントダウンのもと上げを体験するこの企画は好評で、元気な子どもたちの声が校庭に響きました。東京国立近代美術館フィルムセンターでは、まずアストロバイオロジー講演会が開催され、太陽系生命探査についてのパネルディスカッションにおいては、この分野の重要性が宇宙研所長などから語られました。続く宇宙科学セミナーも両日ともに盛況で、5名の講師が最新の宇宙科学を熱く語りました。

アンケートに目を通すと、来場者は北は北海道、南は福岡からおいでいただいていることが分かりました。スタッフ一同、感謝の気持ちでいっぱいです。近隣の施設の多大なるご協力そして地域住民の皆さまのご理解を頂き、無事に開催することができました。関係者の皆さまに、この場を借りてお礼申し上げます。今後も特別公開を、皆さまとじかに接することができ、ご意見を頂ける大切な機会と捉え、運営していきたいと思っています。来年もどうぞお楽しみに。

（相模原キャンパス特別公開実行委員会）

第30回宇宙技術および科学の国際シンポジウム (ISTS)

7月4日から10日まで神戸コンベンションセンターにて、第30回「宇宙技術および科学の国際シンポジウム (International Symposium on Space Technology and Science: ISTS)」が開催されました。30回目の記念大会である今回のISTSは、第34回「国際電気推進会議 (International Electric Propulsion Conference: IEPC)」, 第6回「超小型衛星シンポジウム (Nano-Satellite Symposium: NSAT)」との共同開催で行われました。

組織委員長を務められた藤井孝藏先生の開会あいさつに始まり、基調講演や学術セッションが合計17会場で5日間にわたり行われ、参加登録者数は1500名を超えました。今回は三つの国際会議の共同開催ということもあり、海外から500名以上の方々が参加されました。また国内外からたくさんの学生さんも参加し、学生セッションやポスター



第30回ISTSの開会式および展示会場

セッション、コンテストも大いに盛り上がりました。会期中には、古川聡宇宙飛行士による講演会や神戸国際展示場での「国際宇宙展示会」など、さまざまなイベントも開催されました。展示会場には地元の子どもたちが描いてくれた宇宙をテーマとした絵画も展示され、シンポジウムへの参加者だけでなく多くの地元の皆さんにも会場に足を運んでいただきました。

兵庫県と神戸市のご協力により、「Space Voyage—Frontier for Better Life on Earth!」をテーマとした記念すべき今大会を、大成功で終わることができたと感じております。今大会をサポートされた各組織委員の皆さんも、クロージングセレモニーでは神戸のおいしい料理とお酒を思う存分ご堪能されたのではないのでしょうか。次回、第31回ISTSは、愛媛県の松山で2017年に開催されます。(30th ISTS運営委員長 野中 聡)

今月のキーワード

宇宙背景放射観測衛星 COBE, WMAP, Planck

1965年に宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) が発見されて以来、その精密な観測が進められてきたが、赤外線から電波領域にわたる広い波長域の放射を高精度で測定するためには、地球大気の影響のない宇宙からの観測が理想的である。このような考えに基づき、1989年にNASA (アメリカ航空宇宙局) によって打ち上げられたのがCOBE (Cosmic Background Explorer) である。COBEは、全天にわたって宇宙背景放射の各波長での強度を精密に測定し、それが温度2.73 Kの黒体放射であること、空の方向によりその強度に (ほんの) 10万分の1程度の「揺らぎ」 (強弱のむら) があることを発見した。このことは、宇宙がかつてずっと小さく、ほぼ均一だったことを示していて、ビッグバンに始まり現在に至る宇宙の進化のシナリオを確立する基礎となった。

WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) は、COBEの後継機として2001年に打ち上げられた。その高精度のデータから、宇宙の進化に関するさまざまなパラメータが決められた。すなわち宇宙の年齢が137億年であること、宇宙に存在する物質のうち我々の目に見える「バリオン」と呼ばれる物質はわずか4%しかなく、23%

がダークマターと呼ばれる正体不明の物質、73%がダークエネルギーと呼ばれる未知のエネルギーであること、などである。これらの値は、後の研究で更新されているが、誤差の範囲内でWMAPの結果と一致している。

PlanckはESA (欧州宇宙機関) が開発した衛星で、2009年5月に打ち上げられた。PlanckはWMAPよりさらに高感度・高解像度、広い周波数範囲の観測を行ったほか、偏波観測も行った。その結果、WMAPで確立した宇宙モデルのパラメータをさらに高精度に決めるとともに、そのデータから宇宙初期の急激な膨張であるインフレーションの詳細や、宇宙に存在するニュートリノの総質量を決める研究などが行われている。Planckの名前は、黒体放射の法則を導いたドイツの物理学者マックス・プランクにちなんでいる。

これらの衛星は、宇宙背景放射だけを観測したわけではない。宇宙背景放射の測定のためには、その前面にある、ずっと明るい黄道光や銀河系内の放射を正確に取り除かなくてはならない。これらの衛星データによって、太陽系内や銀河系内のダストの成分・分布・温度などの研究もまた大きく進んだ。(山村一誠・松村知岳)



衛星データの行方

岡田尚基

科学衛星運用・データ利用ユニット
科学データ利用促進グループ

今回は、衛星運用で得られたデータが利用者の手に渡るまでのお話です。第1回『地上系』のあらまし(『ISASニュース2015年5月号』の図1「大まかな『地上系』の概略図」の左下部分に当たります。

科学衛星・探査機(以下、衛星)のデータ(テレメトリデータ)には大きく分けて2種類あります。衛星自身の状態を表すハウスキーピング(HK)データと、衛星が観測したミッションデータです。前者のHKデータは、衛星運用に使われるほか、よりよい衛星をつくるための研究材料として衛星運用をする人たちや衛星開発をする人たちの手に渡っていきます。後者のミッションデータは、宇宙のさまざまな天体や現象を観測したデータなので、人類の資産として世界中の宇宙の科学者が研究のために使います。これらの衛星のデータを使ってもらうために、衛星共通のいくつかのシステムが動いています。

まずは、テレメトリデータベース「SIRIUS」。これは、後段のデータ処理を容易にするためのデータ整理を行うシステムです。衛星からのテレメトリデータは世界各地の複数のアンテナで受信され、かつ1回の受信で得られるデータには衛星内のレコーダに記録されていた過去のデータも含まれます。それらは相模原キャンパスに集められるのですが、データを解析する人たちからは、「どのアンテナでいつ受信したデータか」ではなく、「衛星がこのときどういう状態だったのか」「このときに観測した天体のデータはどうなっているか」という視点でデータを探したいという要求があります。そこでSIRIUSでは、データの中身はそのままに、それが発生した時間を計算し、その順番にデータを並べ替え、同じデータが複数あれば一つだけを残すように整理し、データ処理をする人たちに配っています。

SIRIUSまでは衛星のすべてのテレメトリデータを扱っていますが、そこから先はHKデータとミッションデータで主な行き先が変わります。HKデータは衛星運用工学データベースシステム「EDISON」へ、



図1 SIRIUS, EDISON, DARTSを構成するサーバ群

ミッションデータは衛星プロジェクトによるデータ処理を経て科学衛星データアーカイブシステム「DARTS」へ行くのです。

SIRIUSに入っている状態のテレメトリデータは、そのまま人が解釈できる状態にはなっていません。EDISONでは、工学値変換という、センサの出力値から物理量を算出する処理を施すことで、衛星の各部分の温度やバッテリーの電圧、姿勢などのHKデータを読みやすい状態にし、衛星運用や工学研究をする人たちへ提供しています。

ミッションデータもHKデータと同様、適切な処理を行わなければ科学研究に使うことはできません。この処理の内容は観測対象・機器によってさまざまで、衛星プロジェクトの観測機器チームが主体となって実施します。処理結果は世界中の科学者が研究に使えるよう、DARTSからWebページを通じてインターネットへ公開されます。DARTSではJAXAの科学衛星のデータのほか、国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」船内実験室での微小重力実験のデータや、NASAの探査機で取得されながらも長らく公開されていなかった月・火星の地震データなどを宇宙研の研究者が公開情報として整備し直したのも、保管・提供しています。

衛星の運用は、数年から十数年で終わりを迎えます。運用が終われば衛星プロジェクトは解散し、組織としてデータを管理することはできなくなります。しかし、それらの衛星が取得したデータは、その後もずっと国内外で使われます。その衛星のことをよく知らない人が使うこともあります。より長い時間、より多くの人に貴重な科学データを活用してもらうためには、データだけではなく、そのデータを読み解くための付加情報を充実させる必要があります。科学者の研究を促進するために、その研究分野に即したデータ形式にしておくことや、研究に必要なデータを検索する方法を提供することも必要です。データを長期間保存し、それが有効に活用されるためにどうすべきか、また衛星が共通的に使用するシステムはどうあるべきなのか、地上系のデータを扱うシステムはそういったことを模索しながら整備されています。

DARTSのWebページは研究者向けではありますが、どなたでも見るができます。このデータはどういう経路をたどってきたのだろう、そんなことを考えながら衛星のデータを見ているのはいかがでしょうか？
(おかた・なおき)

ISAS ニュース No.413 2015.8 ISSN 0285-2861

発行/国立研究開発法人 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ニア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト

編集後記

現在、国際天文学連合(IAU)総会が行われているハワイのホノルルにきている。今月号の入稿がいつもよりも遅かったためか、道中も原稿チェックに追われている。次回はもう少し余裕を持ちたいな。
(清水敏文)

*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

