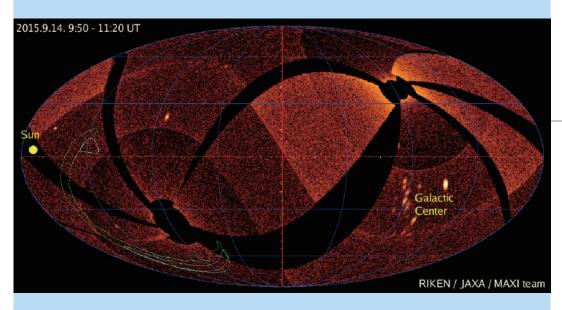


JAXA宇宙科学研究所

2016 9 No.426

人類初の重力波イベント GW150914のMAXIに よるX線上限値の観測

人類初の重力波が2015年9月 14日9:50:45 UT に検出された。 図は赤道座標で描かれたX線強度 図で、重力波の発生方向は水色や 緑の線で囲まれた内側の領域であ る。2種類の異なる方法で90% 信頼度で推定された。重力波発生 の瞬間には、MAXIは放射線帯に あり観測していなかった。4分後 から観測を開始し、30分後まで にほぼスキャンを終えた。このス キャンにおいても、また前後1カ月 においても、有意な新天体は発見 されなかった。扇形の黒い領域は、 太陽近辺や放射線帯のため MAXI が観測できなかった領域である。



宇宙科学最前線

ライトバード(LiteBIRD)で ビッグバン以前の宇宙を探る

はじめに

宇宙誕生の瞬間とは?宇宙創生を支配する物理学の根本法則とは?これらの問いに答えることは科学のグランドチャレンジ(最も重要かつ壮大な挑戦)です。と同時に、科学を超えたセンス・オブ・ワンダー(感動をともなう不思議な感覚)を喚起する研究テーマです!なんと言っても、私たち人間を含めた「すべての存在の始まり」ですから、凄いと思いませんか?締め切り過ぎたこの原稿(編集の方スミマセン)を書いている夜のしじまに、遥かな始まりの瞬間にじっと思いを馳せていると、私の心はセンス・オブ・ワンダーで満たされていきます。と同時に、「科学者の原動力は、理ではなく情だよなあ」とつぶやいてみたりするのです。

宇宙は熱い火の玉状態からビッグバンと呼ばれる爆発的な膨張で始まったと言われます。 ビッグバンを「とにかく宇宙の始まりの瞬間」と定義してしまうと、論理的にその前はないことになってしまいそうです。でも、熱い火の玉宇宙があって、それがビッグバンを起こした、という定義だったら、その前、があっても良い気がしてきませんか? 表題の「ビッグバン以前の宇宙」は、この「熱い火の玉状態以前の宇宙」という意味でつけたのです。

高エネルギー加速器研究機構(KEK)素粒子原子核研究所 (兼)東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構

羽澄 昌史(はずみまさし)

実は、観測技術の進歩のおかげで、今や人類は「熱い 火の玉状態以前の宇宙」を観測できそうなのです。いく つかのやり方が提案されていますが、最も有望(だから 世界的な研究競争状態)な方法が、宇宙マイクロ波背景 放射(Cosmic Microwave Background、以下 CMB)の 偏光測定です。CMB は全天から降り注ぐ宇宙最古の電 磁波で、周波数は、およそ 160GHz(波長 2 mm 程度) を中心としています。 LiteBIRD は、CMB 偏光を宇宙空 間でとことん観測する現在提案中の衛星計画です。

宇宙マイクロ波背景放射(CMB)と ビッグバン宇宙論

CMB は、1964 年 (論文掲載は 1965 年) にアーノ・ペンジアスとロバート・ウィルソンにより発見されました。 2人はその業績で 1978 年ノーベル物理学賞を受賞しています。

宇宙はビッグバンのあと膨張しながら冷えていきました。誕生から約38万年たった頃の宇宙では、電子と陽子がバラバラに存在していた状態から、お互いがくっついて水素原子になるという大きな変化が起きます。それまで電子や陽子としょっちゅう衝突していた電磁波は、

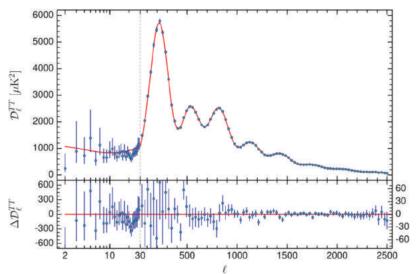


図 1 プランク衛星による CMB の温度ゆらぎの観測結果。横軸はゆらぎのサイズ、縦軸はゆらぎの強度を表す。実線は、標準宇宙理論によるフィット結果を示す。図中の下側は観測 結果とフィット結果の差を示している。

以後自由に宇宙空間を伝わることになります。これが「宇宙の晴れ上がり」です。この自由に伝わり宇宙に満ちた電磁波が CMB です。晴れ上がりの CMB の温度は約3000K でした(以下、温度はすべて絶対温度(K)で表します)。一方、CMBの現在の温度は約2.7K だとわかっています。低くなったのは宇宙膨張とともに CMB の波長が伸びたからです(電磁波の波長が長くなれば、その温度は低くなります)。このことから、CMB の存在そのものが、ビッグバンの重要な証拠とされています。

1989年には米国の COBE 衛星が地球周回軌道での観測を開始しました。CMB 精密観測時代の幕開けです。COBE 衛星の功績により、2006年のノーベル物理学賞はジョン・マザーとジョージ・スムートに与えられました。その後、2001年には角度分解能で COBE 衛星をしのぐWMAP衛星が太陽・地球のラグランジュ点の一つ(L2)で観測を開始し、さらに 2009年にはヨーロッパが主導して、WMAP 衛星の感度と角度分解能を上回るプランク衛星が打ち上げられました。これらの観測によって、宇

宙の年齢が約138億年であることや、宇宙はまだ人類が解明できていない謎のエネルギーに満ちていることなど、我々の宇宙の驚くべき姿がわかってきたのです。

2015年に発表されたプランク衛星の観測結果を図1に示します。実線が理論予想、点が観測結果(棒は誤差)を示します。CMBの温度を全天にわたり精密に観測し、どれほどのムラ(「ゆらぎ」と表現します)があるかを解析(スペクトル解析と言います)した結果で、横軸がゆらぎのサイズ、縦軸がゆらぎの強を知らなくとも、理論と観測がとてもよく合っていることがわかりますよね。まさに精密宇宙論と呼ぶにふさわしい結果です。これは驚くべきことだと思います。100億年以上離れた昔のことが正確にわかってしまうのですから。

電磁波には、波長(色)、強度(明るさ)、偏光(振動の方向)の3要素があります。プランク衛星後のCMB研究のフロンティアはまだ精密に観測されていない偏光の観測に移りつつあります。CMB偏光の観測により、熱いビッグバン以前の宇宙を探れるからです。それがどんな宇宙だったか、人類はまだ正解を知りませんが、最も有力な仮説がインフレーション宇宙仮説です。

インフレーション宇宙仮説

インフレーション宇宙仮説は 1980 年代初頭に提案されました。我が国の 佐藤勝彦先生も提案者の一人です。基 本的アイディアは実に簡単で、宇宙は、 熱い火の玉状態になる前に急激な加速 膨張を起こした、というのです。この たった一つの仮定で、素朴なビッグバ

ン宇宙論におけるいくつもの問題を一網打尽に解決して しまうので、現在最有力の仮説なのです。これまでの観 測結果も、すべてインフレーション宇宙仮説をサポート しています。

こう書くと、インフレーション宇宙仮説が正解でいいのでは、と思われるかもしれませんが、事はそう単純ではありません。人類が現在手にしている物理学の標準理論(最も基本的な法則を集めたもの)と矛盾するのです。宇宙の森羅万象は、すべて物理法則どおりに動いています。問題は、標準理論では宇宙の加速膨張は起こせない(減速膨張しかしない)ということなのです。

じゃあインフレーション宇宙仮説はダメなの、というと、そうではないのです。ここが面白いところです。物理学研究は、将棋のルールを知らない人が、対局を横で眺めるだけでルールを突き止めるようなものです(このやり方で完全なルールブックを突き止めるのは、骨が折れることでしょう)。現在の標準理論は、未完成なものなのです。私を含む多くの物理学者は、宇宙のルール

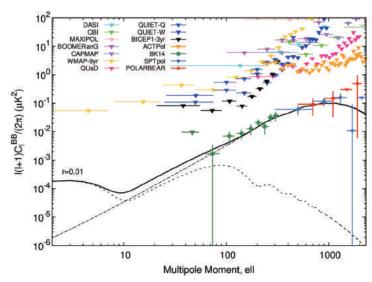


図2 CMB Bモード観測の現状。横軸・縦軸は図1に同じ。丸は中央値、三角は上限値を表す。 (作図はカリフォルニア大学バークレー校の茅根裕司氏による)

ブックには未知の物理学根本法則が書いてあり、それはインフレーション宇宙も作れるし、現在の標準理論も導けるはずと思っています。すでに物理学根本法則の提案はいくつかあって、観測によるテストを待っています。代表的な例としては超弦理論があり、世界は4次元を超えた高次元でできているとか、万物の根源は素粒子ではなく、ひも状の何かであるという、大胆な予想をしています。

CMB 偏光による原始重力波観測

では、どんな観測をすれば、インフレーション宇宙仮説の決定的な検証ができるでしょうか? 答えは「原始重力波」です。

インフレーション宇宙仮説の最も重要な 予言は、原始重力波の生成です。重力波と は、時空のゆがみが波として伝わる現象で す。インフレーションの加速膨張は重力波

を生みます。天体の運動で生まれる普通の重力波と区別して、これを原始重力波と呼びます。原始重力波の検出なくしてインフレーション仮説を証明することはできないので極めて重要です。

CMB 偏光を使った原始重力波の検出方法を説明しましょう。原始重力波はインフレーション宇宙で生まれた後、晴れ上がりの時にも宇宙空間を満たしており、CMB 偏光の分布に特殊な渦巻きパターン(「Bモード」という名前がついています)を刻印したと予想されています。これを検出すれば、インフレーションの動かぬ証拠です。人の指紋を検出するのと似たような感じです。

現在、原始重力波の発見を目指した CMB 偏光観測の世界的競争が行われていて、群雄割拠の状態です。地上の望遠鏡や気球を使ったプロジェクトが進行中もしくは準備中です。我が国の研究者も高エネルギー加速器研究機構(KEK)の CMB グループを中心にチリ・アタカマ高地での POLARBEAR プロジェクトなどで活躍しています。これまでの探索結果を図2に示します。図1は CMB の温度のゆらぎをスペクトル解析した結果でしたが、図2はBモードのゆらぎをスペクトル解析した結果です。たくさんデータがあります(丸は中央値、三角は上限値)が、要するに、横軸の値が小さいところで見えるはずの原始重力波の信号はまだ見えていない、ということです。ゆらぎの強度の上限だけが得られています。原始重力波を発見するには、これまでより少なくとも10 倍以上の感度で観測を実行しないといけません。

決定的な観測をするには大気の影響を受けず全天をカバーする究極の測定が必要になります。つまり衛星計画です。我が国では 2008 年ごろにすでにこうした流れを読んで、世界に先駆けて比較的小型の衛星を打ち上げる検討を KEK の CMB グループが中心となって開始しました。これがライトバード(LiteBIRD)衛星計画です。

ライトバード (LiteBIRD) 衛星計画

LiteBIRD 計画は、2015年2月に JAXA 宇宙科学研究 所へ正式提案を行い、初期の審査を通過したところです。 現在、KEK、東京大学カブリ IPMU、JAXA、岡山大学、

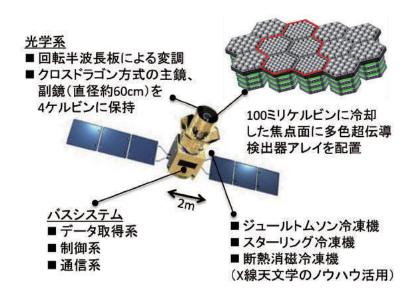


図3 LiteBIRD 衛星の概要

国立天文台、カリフォルニア大学バークレー校、マックスプランク宇宙物理学研究所などから総勢130名以上の研究者がLiteBIRDワーキンググループに参加し、2020年代半ばの打上げを目指して概念設計に従事しています。CMB観測を手掛けている研究者以外にも、X線天文学や赤外線天文学の研究者などが参加しています。

図3に LiteBIRD 衛星の概要を示します。搭載される主 な装置は、1)観測の系統誤差を減らすために CMB 偏 光を変調する回転半波長板、2) およそ4Kに冷却した 直径約80cm程度の主鏡と一枚の副鏡を持つ反射型望遠 鏡、3) 100mK の熱浴温度で動作する多色超伝導検出 器アレイ、4) ジュール・トムソン冷凍機とスターリン グ冷凍機で構成される予冷系、5) 断熱消磁冷凍機およ びバスシステムからなります。WMAP やプランク衛星と 同様、地球から 150万 km 離れた太陽・地球のラグラン ジュ点の一つ(L2)で3年間の観測を行うことを検討し ています。歳差運動するコマのような運動をすることに より、まんべんなく全天をスキャンする方式を考えてい ます。超伝導検出器アレイによって、およそ 40GHz か ら 400GHz までを 15 バンドに分けて観測する予定です。 標語的には「ナノケルビンのでこぼこを見る究極の観測 装置」となります。全般に、地上観測で使い込んでいる 技術の延長としての検出器システムに、これまでの JAXA の科学ミッションで実績のある冷凍機や衛星バスのコン ポーネントを使って、高い実現性をもたせる計画です。

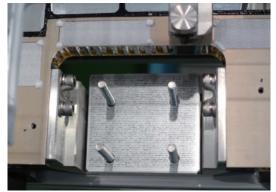
おわりに

CMBの観測はこれまで二度のノーベル物理学賞に輝いていますが、原始重力波の発見は、それを超えた大成果になると言われています(なんと言っても、ビッグバン以前の宇宙からの信号です!)。衛星による精密観測は、発見だけでなく、超弦理論などの物理学根本法則の候補をテストするという役割も担います。決して簡単ではない実験プロジェクトですが、少しでも感度を上げて、ぜひ「全ての始まり」という大いなるセンス・オブ・ワンダーを喚起する問題に迫っていきたいと考えています。ご期待ください!

3

SAS事情

ERG総合試験終盤戦



メッセージプレートをERG衛星に搭載した際の写真



質量特性試験中のERG衛星

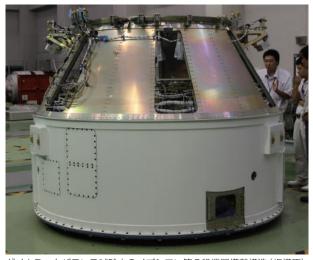
今年2月に始まった ERG 衛星のフライトモデルの総合試験は、3月の振動試験、5月の熱真空試験、6から7月にかけての EMC 試験、7月の最終電気試験、8月前半の質量特性試験と紆余曲折を経ながらも約半年間の試験工程をなんとか乗り越えてきました。試験項目としては、残すところ8月22日からの運用模擬試験のみとなりました。この試験を無事に完了し、9月の開発完了審査会にて開発完了のお墨付きがいただければ、いよいよ内之浦へ向けて出発となります。運用模擬試験は、打上げから初期運用までの実際の手順確認を行うなど、打上げに向けて緊張感が高まる試験

です。また、衛

なして、無事に観測運用に入れるよう、手綱を緩める ことなく頑張って参ります。どうぞ引き続き ERG プロ ジェクトへのご支援・ご協力をよろしくお願い申しあ げます。

左の写真はこの春に皆さんからご応募いただいたメッセージを衛星に搭載した時の写真です。お預かりしたメッセージはしっかりと衛星に搭載されました。右の写真は質量特性試験の風景です。ERG 衛星はスピン衛星ですが、この写真はスピン軸と垂直な軸に対して回転させている実際には起こらない一コマです。珍しい風景なのでご紹介します。 (篠原 育)

強化型イプシロンの開発状況



ダイナミックバランス試験中のイプシロン第2段機器搭載構造(相模原)

私たちは、イプシロンロケットの発展プログラムの一環として強化型イプシロンの開発を進めています。イプシロン開発のコンセプトは、高性能でコンパクトなロケットデザインにより宇宙への敷居を下げることにあります(ISASニュース 417 号参照)。ご存じのように、試験機開発では、自動・自律点検やモバイル管制など、ロケットを打ち上げる仕組みの改革を実現しました。一方、今回の強化型開発の一番大きなポイントはロケット本体の革新にあります。特に、第2段ステージを全面的

に更新し、大型化・高性能化・低コスト化を図っているのが特徴です(燃焼試験の様子については ISAS ニュース 419 号参照)。これにより打上げ能力やペイロードスペースが強化され、今後想定される本格的な小型衛星需要にストレスなく対応する態勢が整うことになります(打上げ能力は試験機に比べて約 30% 向上)。

輸送系技術の発展という意味でも、強化型イプシロンは重要です。強化型開発で挑戦している高性能・低コスト化技術は輸送系の未来を牽引するトップバッターとして期待されており、H3 ロケット開発にも応用される予定です。一方、H3 開発により製品として完成する新サイドブースタ(SRB-3)などは将来のイプシロンにも活用していく計画です。これをH3 とのシナジー開発と呼び、関連する作業がすでに始まろうとしています。こうして輸送系開発全体が我が国の総合力となってきたことは、今後の宇宙科学の進歩や宇宙利用の活性化のためにとても大きいと言えるでしょう。

強化型イプシロンは、イプシロン2号機としてジオスペース衛星 ERG を搭載、2016 年度中に打上げの予定です。今月の初めに開発は無事完了し、総点検も終わって、現在すでに内之浦での打上げ準備作業が始まっています。強化型になって、イプシロンの身長も約2m伸びました。成長するイプシロンを引き続き応援いただければ幸いです。 (森田 泰弘)

ミニ特集

はやぶさが持ち帰った小惑星イトカワ試料分析の最新成果

これまで500 粒以上の小惑星イトカワ試料が回収され、世界中の研究者による試料分析を通して太陽系小天体の歴史が明らかになりました。その最新成果について、ミニ特集として4人の方に紹介していただきます。

酸素同位体比分析から探る小惑星イトカワの進化過程

東北大学大学院理学研究科 助教 中嶋 大輔 (なかしま だいすけ)

酸素は、地球や小惑星など岩石 質の天体の重量のうち約半分を占 める主要元素です。その同位体比 (180/160、170/160) は、隕石種とそ の構成物質ごとに異なる値を取るた め、未知の地球外試料の起源を同定 することに用いられます。さらに、 異なる鉱物間で酸素同位体の交換が 起き、その平衡状態での酸素同位体 比の差が温度に依存することを利用 して天体内部の温度を推定する、酸 素同位体温度計は地球・宇宙科学の 分野で広く適用されています。探査 機「はやぶさ」が持ち帰ったイトカ ワ試料が真に小惑星物質であるか? 小惑星イトカワの母天体小惑星はど のような熱史をたどったか? を知る うえで、酸素同位体比は強力な指標 になります。本稿では、イトカワ試 料の酸素同位体比分析とその成果に ついて紹介します。

イトカワ試料の分析を行った当時、私はポスドクとしてウィスコンシン大学に在籍していました。同大学には二次イオン質量分析計(SIMS; Secondary Ion Mass Spectrometer)の最新型機 Cameca IMS-1280があり、これを用いた地球外試料の同位体比分析が私の仕事でした。SIMSとは、直径 10μm 程度のセシウムイオンビームの照射により試料から叩き出された二次イオンが磁場中を通過する過程で質量/電荷比の違いによっ

SIMS holder

Lip of the SIMS holder

Standard grains

Indium

Epoxy disk containing
Itokawa particle

Smm

図1 SIMS ホルダーに装填されたインジウム マウント

て同位体ごとに分離されることを利用し、同位体比を測定する分析機器です。イトカワ試料のような微粒子(直径 10~100μm 程度)の酸素同位体比を得るには、SIMS 分析が唯一の方法です。実際、イトカワ試料の初期分析でも SIMS による酸素同位体比分析は行われ、地球に飛来する隕石で最も主要な普通コンドライトの酸素同位体比と類似すると報告されています。

我々 SIMS ラボは、初期分析結果 の検証と未分析の鉱物種(Ca 輝石) の分析を目的に、イトカワ試料の第 一回国際研究公募に研究提案を提出 し、採択されました。冒頭で述べた 二つの問いに答えられるだけの十分 な精度が得られることは、普通コン ドライトの SIMS 分析結果から実証 済みだったので、残る課題は試料の 加工成型でした。初期分析で調べら れたイトカワ試料は、6mm樹脂円盤 に包埋され、研磨された状態でした。 一方、SIMS 分析で正確な値を得る には直径 25mmの平滑面を用意する必 要があります。そこで、6mm樹脂円 盤を柔らかい金属であるインジウム の中に押し込むことで、上記の要求 を満たし、なおかつ、分析後に6mm 樹脂円盤を取り出して次の分析へ引 き継ぐことが可能なインジウムマウ ント(図1)を考案し、研究提案に 書きました。ですが、微妙に形状や

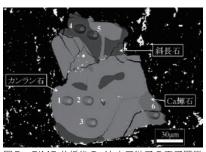


図2 SIMS分析後のイトカワ粒子の電子顕微 鏡像。SIMS分析孔横の数字は、スポットナンバー。

サイズに異なる樹脂円盤に合わせた インジウム量の調整、高低差や隙間 のないマウントの作成は非常に困難 でした。

SIMS 分析した7つのイトカワ試 料(図2)の酸素同位体比データは いずれも普通コンドライトの領域に プロットされました(図3)。すなわ ちイトカワ試料は小惑星物質であり、 普通コンドライトと(イトカワを含 む) S型小惑星は親子関係にあると 言えます。以上のことは、先行研究 と整合的です。一方、4種の鉱物間 での同位体分別から推定される熱変 成温度は、Ca 輝石 - 斜長石間で約 800℃、橄欖石 -Mg-Fe 輝石間でお およそ 1400℃となり、大きく異な ります。1400℃は斜長石の融点を 超えるため、現実的な数字ではあり ません。Ca 輝石を含む 4 種の鉱物 間での酸素同位体比は平衡状態でな いと言えます。これは橄欖石中の酸 素の拡散速度が遅いため、酸素同位 体比が平衡に達する前に熱変成が終 了したためと考えられます。つまり、 これらの物質は800℃程度かそれ以 上の温度にはなったが比較的短い期 間であったことを物語っています。 どの程度の時間であるかを明らかに することは困難ですが、同じような 結果が同様の隕石の分析結果から得 られており、イトカワだけが経験し た特殊な歴史ではなく、これらの隕 石が普遍的に経験した可能性を示唆 しています。

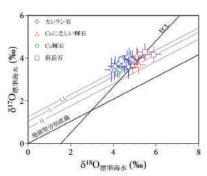


図3 イトカワ試料の三酸素同位体図。 δ^{18} 0 と δ^{17} 0 は、それぞれ試料の 18 0 $/^{18}$ 0 比と 17 0 $/^{18}$ 0 比の標準海水の値からのずれを 千分率で表したもの。H、L、LL の直線 は普通コンドライトのサブグループがプロットされる直線。ECL は、Equilibrated Chondrite (平衡コンドライト) Line の略 (Clavton et al. 1991 GCA)。

5

天体の温度進化から探る 小惑星イトカワの昔の姿

国立天文台理論研究部 専門研究職員 脇田 茂 (わきた しげる)

2010年6月に小惑星探査機「は やぶさ」が小惑星イトカワの微粒子を 地球へ持ち帰りました。サンプルカプ セルの中には、わずか 100 μm (お およそ髪の毛の太さ)ほどの大きさの 微粒子が数多く含まれていました。イ トカワの表面物質である微粒子は全 世界の研究者たちに配布されており、 彼らが行っている分析によって多くの 事実が明らかになってきています。し かし、分析だけではわからないイトカ ワの姿もあるのです。ここでは、「は やぶさ」サンプルの初期分析によって 得られた結果と、数値計算から明らか になった小惑星イトカワの昔の姿を紹 介します。

イトカワの微粒子とはどういうも のでしょうか? 微粒子を構成する鉱 物に含まれる鉄やマグネシウムなど の元素分析によって、地球の鉱物と は異なっていて地球外物質である隕 石と似た組成を持つことが明らかに なりました。主に南極や砂漠で回収 されている隕石は、元々小惑星から 飛来したと考えられてきました。こ のことが微粒子の分析によっても確 かめられたことになります。さらに 詳細な分析から、イトカワ微粒子が 800℃以上を一度は経験したことが 示唆されます。また、鉱物中の同位 体分析により、その鉱物が形成され た年代を調べたところ、太陽系がで きてから 760 万年後にイトカワ微粒 子が700℃以上の環境にさらされた ことがわかりました。

こうして、イトカワ微粒子を分析することで温度に関する事実が明らかになりました。一方、現在の小惑星イトカワの大きさは200~500mと現在発見されている小惑星の中でも小さい方です。こんな小ささで800℃まで内部が温まることができるのでしょうか?この質問に答えるためには数値計算を行う必要があります。

お湯を沸かすにはポットやガスコンロ、冷凍食品を温めるには電子レンジを使います。小惑星のような天体を温めるには何を使うのでしょう

か? ここでも放射性同位体元素の出 番となります。放射性同位体元素は ある時間経つと別の元素に変わりま す。その際に放出されるエネルギー (崩壊熱と呼ばれます) で小惑星を 温める、と考えられています。過去 に行われた研究でもよく使用されて きたアルミニウムを我々の研究でも 熱源の候補として採用しました。質 量数 26 のアルミニウムは半減期 72 万年でマグネシウムに変わります。 イトカワ微粒子に成分が近い隕石は 岩石のみから構成されている未分化 の天体から来たと考えられています。 分化とは内部が高温になってから地 球のようにコアとマントルなどに分 離することで、逆に未分化とは分離 していない状態のことです。計算で 用いた天体もそのような未分化の岩 石天体だと仮定しました。また、元 になった天体は球対称であると仮定 して、その大きさやその形成時期を 変えて多数の数値計算を行いました。

マグカップの中にあるコー ヒーとお風呂にためたお湯が 冷める時間の差を想像してく ださい。それと同じように、 小さい天体ほど温まったとし てもすぐに冷えてしまいます が、大きい天体ほど冷えにく くなります。一方、熱源であ るアルミニウムは崩壊して別 の元素になってしまうために 時間がたつにつれてだんだん 減っていきます。このことは 形成時期が早い天体ほど熱源 であるアルミニウムがたくさ んあるために温めやすいので すが、逆に形成時期が遅い天 体ほど熱源が少なくなってし まって温めにくくなっていく ことになります。

計算の一例として、太陽系ができてから約200万年後に形成された半径30kmの天体の、中心から表面の温度進化を図1に示します。赤い部分が高い温度、青い部分が低い温

度を示していて、右にいくほど時間が 進み、下から上にいくほど天体中心か ら表面に近づいていきます。この計算 結果では天体の中心付近はイトカワ微 粒子の観察事実(800℃以上を経験し、 760 万年後にも 700℃以上) を満た しています。条件を変えてたくさんの 数値計算を行った結果から、微粒子の 観察結果を満たすような天体の姿が明 らかになりました。それは、現在の小 惑星イトカワの大きさよりはるかに大 きい、半径 20km 以上の天体である ことがわかりました。さらに、そのよ うな大きさの天体は太陽系ができてか ら約200万年後に形成されたことま でわかりました。元になった天体から 現在のイトカワになるまでの歴史を図 2に示します。残念ながら今回の研究 では、今のサイズになるような衝突が いつ起こったかまでは明らかになりま せんでした。今も行われている微粒子 の分析結果から衝突イベントが起きた タイミングも明らかになるかもしれま せん。新しい分析結果の便りが届くの を楽しみにしています。

最後に、ここで紹介した研究に一緒に取り組んだ共同研究者の方々と 執筆の機会を与えてくれた宇宙科学 研究所の方々に感謝します。

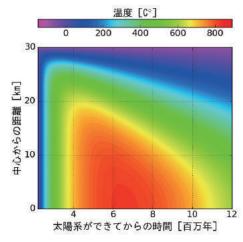


図 1 半径 30km を想定した天体内部での温度進化の 計算結果

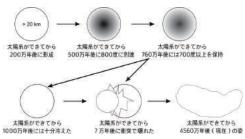


図2 「小惑星イトカワが辿ってきた歴史」

⁴⁰Ar/³⁹Ar年代測定から探る イトカワの生成時期

Kingsborough Community College, Assistant Professor Rutgers University, Visiting Scholar American Museum of Natural History, Research Associate

朴 芝鮮

(ぱく じそん、Jisun Park)

はやぶさ探査機は小惑星 25143 イトカワから LL 4-6 コンドライト (石質隕石のうち、コンドルールとい う球粒状構造を持ち比較的金属鉄の 量が少ない種類の隕石)に似た極小 の粒子を 2000 個以上持って帰って きました。その中の三つの粒子につ いてアルゴン(Ar)同位体を用いた ⁴⁰Ar/³⁹Ar(以後 Ar/Ar) 年代測定 * を、アメリカの Rutgers 大学にある 希ガスラボで行いました。得られた イトカワ粒子の年代は約13.5億年 ± 2.5 億年(図1)を示しています。 この結果は、小惑星イトカワを構成 する粒子から約14億年前になんら かのインパクトによる加熱で Ar が 完全に脱ガスされたことを示してい ます。

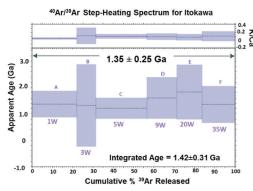
これは Apollo 時代に月から持ち帰られた試料以来、月以外のサンプルリターン物質の初めての放射性年代の報告です。特に、この Ar/Ar 年代測定は、重量が 2 μg(1 μg は 100 万分の 1 g)という極小量の試料について得られた結果であり、次の三つの理由で重要な意味があります。(1) イトカワの粒子は化学的よび鉱物学的に LL コンドライトととした Ar/Ar 年代は約 14 億年であり、多くの LL コンドライトの年代(75%以上の LL コンドライトは 30 億年以上)と比べて著しく若いことです。

これはイトカワの母天体が、地球に 飛来している普通の LL コンドライ トと異なり、形成年代が若いLLコ ンドライトである可能性を示してい ます。(2)「はやぶさ」によるとイ トカワは Rubble Pile (母天体が衝 突によって破壊されたのち、再度集 積したもの)状の天体です。約14 億年の Ar/Ar 年代はこの大規模イン パクトが起こった時代を示しており、 イトカワはその後に破片が集積した 天体であると考えられます。これは 太陽系での Rubble pile 天体の生成 が 46 億年前の太陽系形成以来、32 億年以上続いてきたことを意味して います。(3) Ar/Ar 年代測定は段 階加熱測定が必要なので、ある程度 の試料量が必要です。今回の測定は 2μg という微量の試料について得ら れた結果であり、今後のサンプルリ ターン探査(「はやぶさ2」、OSIRIS REx 等)で得られるマイクログラム サイズの試料に対しても、Rutgers 大学では正確なデータを得ることが できることを示しています。

もしインパクトが原因でイトカワ粒子の Ar-clock が完全にリセット ** されているとしたら、Ar/Ar 年代からイトカワの4つの進化シナリオが考えられます(図2)。シナリオ1:イトカワの母天体に約14億年前にインパクトが起こって Ar-clock はリセットされたが、母天体は破壊さ

れず、その後のインパクトで母天体 が壊れてイトカワが Rubble pile 状 天体となった。この場合、イトカ ワは14億年より若くなる。シナリ オ2:約14億年前のインパクトで イトカワ母天体が壊れて、すぐに Rubble pile 状イトカワ天体が形成 された。小惑星の力学モデル計算に よれば、このような天体はインパク ト後1日程度で作られる。シナリオ 3:イトカワができた後に起こった インパクトによって、Rubble pile 中の粒子の Ar-clock がリセットさ れたが、Rubble pile は壊れなかっ た。しかし、現在のイトカワの空隙 率が 40%に達していることを考える と、Ar-clock のリセットを起こす 程度のインパクトであったら、イト カワ自体が壊れる可能性の方が高い。 シナリオ4:イトカワの上に、イト カワとは関係のない約14億年の年 代を持つ他の LL コンドライト物質 が捕獲されていて、偶然にも「はや ぶさ」が持ち帰った。このシナリオ は可能性としてはほとんどありえ ない。

結果としては、我々は2あるいは1がイトカワ生成のシナリオと考えのイトカワ生成のシナリオと多くのイトカワ粒子の年代測定が必要で結果はクレーターカウンティングからの年齢0.75-10億年とも矛盾しのでいません。最近オーストラリアので、38-46億年と23億年という、我年代を報告しています。このような結果も踏まえて、イトカワ Rubble Pileの生成シナリオについて今後より深い議論がなされるでしょう。



31 イトカワサンブルの段階加熱 40 Ar/38 Ar 年代スペクトラム。試料加熱用レーザー出力を段階的に増加(1Wから35W)して、各加熱段階で放出される38 Ar と40 Ar 量の比から年代を計算する。すべての加熱段階で同様な年代13.5 億年が得られることは、この試料を構成する Ar 保持力が異なる鉱物が全て同じ年代を持つことを示す。

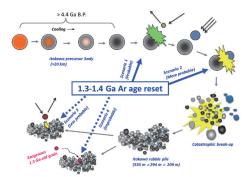


図2 Ar/Ar 年代から見たイトカワの4つの進化シナリオ。

- * Ar/Ar 年代測定は、岩石・鉱物の中に含まれるカリウム(K)の同位体である。³⁸Kの一部を中性子照射によって変換した。³⁹Arと、⁴⁰Kからの放射壊変起源の ⁴⁰Arの量を質量分析法で測定し、³⁹Arから推定したK量と ⁴⁰Ar量の比に基づいて鉱物の年代を求める方法です。
- **Ar は揮発性の高い元素なので、衝突などの加熱が生じやすいイベントにより岩石の中などの閉鎖系から抜けやすい性質があります。Ar-clock のリセットとは、閉鎖系からAr が抜けて、放射壊変起源のArがゼロになって、年代測定のカウントがリセットされることです。

微粒子の表面模様から探る 小惑星イトカワの歴史

地球外物質研究グループプロジェクト研究員 松本 徹 (まつもと とおる)

2010年、探査機「はやぶさ」が 小惑星イトカワから微粒子を回収し、 地球に持ち帰りました。現在は「は やぶさ2」が小惑星リュウグウへ向 かいつつあります。小惑星探査・試 料の採集は今世紀の惑星探査の主役 となるでしょう。小惑星は、惑星に まで成長できないまま、太陽系初期 の40億年以上の昔から、そのままの 状態で取り残された天体です。小惑 星の歴史を理解することで、惑星形 成につながる太陽系初期の進化史を 明らかにできると期待されています。

さて、小惑星から持ち帰った試料か ら、どのようなことが分かるのでしょ うか。イトカワの微粒子の分析の大き な成果のひとつは、地上に降ってくる 隕石が小惑星の物質に由来することを はっきりと証明したことです。これは 一方で、隕石を研究することで、小惑 星の歴史のおおよそは描くことができ るということです。しかし、隕石では 分からない情報があります。それは天 体表面で起きた現象です。隕石のほと んどは天体の内部の岩石が砕かれて 地上に降ってきたものであり、天体表 面での出来事について多くを語りませ ん。そのため、小惑星のサンプルは、 天体表面で起きる具体的な物質科学 的変化を知る手がかりになります。

このような観点から、私は、イトカワ微粒子の特徴の中でも、特に表面の模様に注目しました。微粒子表面は、宇宙空間にさらされていた界面であり、その模様は、イトカワの表層で起きた現象の詳細が保存され

ていると予想できます。さらにはイトカワがたどった進化史の記録が刻まれていることも期待しました。本稿では微粒子の表面模様を観察した研究成果について解説します。

微粒子は数十µmの大きさです。まず、粒子を直径5µmのファイバーに固定しました。その後、X線CTと走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて、微粒子表面の微細模様を観察しました。X線CTを用いると、微粒子の外径や鉱物の3次元分布を非破壊で観察できます。一方で、SEMを使うと、ミクロンからナノメートルの世界の様子を見ることができます。

SEM による観察の結果、微粒子表面には、ナノメートルスケールの微細な模様が折り重なっていることが分かりました。そして表面模様のパターンは、4種類に大別できることが分かりました(図1)。

最も多く見られたパターンは破断面です(図1-B)。これは平行な階段模様で構成されます。この模様は、イトカワ形成後、レゴリス粒子が天体衝突による破砕で生成したことを示しています。

次に、太陽風に長時間さらされたために形成したブリスターと呼ばれる模様が多く見られました(図1-D)。太陽風が長時間、微粒子表面に当たると、太陽風の主成分である水素イオンやヘリウムイオンが鉱物表面に入り込み、表面内部で泡構造をつくります。1000年程度のタイムスケールで、この泡構造が結晶表面まで膨らむと、ブリスターとして観察されます。太陽風の照射で小惑星の色が変わる現象は宇宙風化と呼ば

れています。ブリス ターの存在は、微粒 子が宇宙風化を受け た証拠と言えます。

また、ブリスターは微粒子表面の表にも裏にも不りのです。これはレゴリスがイトカワ表面を流動した結果、太陽風が微粒子のさ

まざまな面に当たったことを示してい ます。イトカワ表面では宇宙風化と若 返りの歴史を繰り返しているのです。

さらに、レゴリス流動によって微粒子が動いた証拠として、粒子同士のこすれ合いで摩耗したと思われる模様がありました(図1-C)。表面の模様が消えかけています。

このようなレゴリスの流動は、イトカワが惑星の近くを通過した際に受ける潮汐力やイトカワの自転速度の変化、粒子の静電浮遊などが原動力だと考えています。

そして、さらにはイトカワ母天体の 熱変成に由来する模様が見つかりま した。これは幾何学的な同心円状の 階段模様として見えます(図1-A)。 この模様は、岩石の隙間にさまざまな 成分を溶かした熱水やガスが入り込 み、それが高温で結晶化したときに 形成します。ところが、イトカワ程度 の大きさの天体では幾何学模様が形 成するほど高温にはなりません。小さ いので内部から加熱されても表面か らの冷却が勝るからです。これまでの 研究から、イトカワは現在よりも40 倍程度の大きさの母天体が一度壊れ、 その破片から形成した天体だと考え られています。熱変成や天体衝突で イトカワ母天体が加熱され、幾何学 模様が形成したと考えると、微粒子 の観察結果を説明できます。すなわ ち、イトカワ微粒子の表面には、40 億年以上も昔に遡る、イトカワ母天体 の記憶が残っていたことになります。

このように、微粒子の表面模様には、天体表面の出来事のみでなく、40億年以上昔から現在に至るまでのイトカワの進化史が刻まれていることが初めて分かりました。

この成果によって、表面模様を分析する有効性が示されました。この分析方法の最大の利点は、貴重な微粒子を壊すことなく、数十億年から現在で天体の進化を調べることができることです。試料を破壊してしまう分析の前に、表面模様を分析し、その結果を研究者が共有すれば、その後の別の手法で行う分析や研究にも役立つと考えています。イトカワ微粒子の分析はもちろん、今後のサンプルリターンミッションでも、試料のナノメートルスケールの模様を詳しく調べることで、惑星の形成に至る太陽系の進化について深く理解できると期待しています。

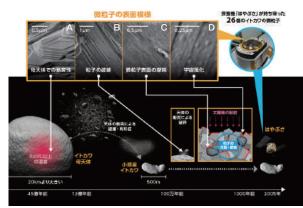


図1 イトカワの進化史の概要と、微粒子の表面模様の電子顕微鏡写真

SAS事情

全天X線監視装置(MAXI)、ISS研究開発賞を受賞



授与された盾。ガラス製(15×20cm)で、宇宙ステーションから撮影された月の出が焼き込まれている。MAXIから見た風景もまさにこのようなものであろう。下の3つのマークは主催3団体:アメリカ宇宙航行学会、NASA、Center for the Advancement of Science in Space.

アメリカ宇宙航行学会主催の「国際宇宙ステーション研究開発会議」において、全天X線監視装置(MAXI)が、ISS 研究開発賞(Innovation in Earth and Space Science 部門)を受賞しました。日本の装置が、アメリカの学会の賞を頂くのは大変名誉なことです。

授賞理由は、MAXIがトリガーとなって展開する時間次元天文学(time domain astronomy)や、MAXIも一翼を担っている多媒体天文学(multi messenger astronomy)を発展させた功績です。従来の可視光天文学は、星図や天体写真のような2次元の天文学が主体です。対してX線天体は時間変動するものが多く、時間次元でも大いに活躍します。新天体出現時には一大ドラ

マが繰り広げられます。MAXI や Swift 衛星の全天観測装置から発せられる X線天体出現リアルタイムアラートを受けて、世界中の天文学者が各自の望遠鏡(電波・可視光・ Y線等のあらゆる波長)をその天体に向け、その天体の位置決定や正体の解明を行っています。インターネットの普及と相まって、地球上のアマチュア望遠鏡から巨大望遠鏡まで、はたまた軌道上の天文衛星と、あらゆる手だてが動員されます。これにより従来のブラックホール新星の発見から、世界初の新星爆発の瞬間や、遠方銀河の巨大ブラックホールに恒星が飲み込まれる潮汐破壊現象、といった新しい種類の現象までが見つかってきました(ISAS ニュース 408 号)。動員される望遠鏡は電磁波だけではありません。今や、神岡や南極のニュートリノ装置や、発見の興奮冷めやらぬ重力波といった多媒体天文学にも展開されています。

MAXIは2009年8月の観測開始から7年間にわたってX線の空を観測し続け、これまでに350件の天体変動現象について速報してきました。MAXIのX線観測データは150件以上の査読付き論文で使用されています。MAXIはまだまだ正常に動作しております。継続は力なりを銘に新しい装置とも連携し、さらなる成果を目指します。新発見のトリガーとなっているMAXIに今後もご期待ください。 (理化学研究所 三原建弘)

第15回「君が作る宇宙ミッション」(きみっしょん)開催



宇宙研 1 Fロビーにて全体集合写真

8月1~5日にかけて行われた高校生向け体験プログラム「君が作る宇宙ミッション」(きみっしょん)には、過去最大の応募数から選抜された24名の高校生が参加しました。

きみっしょんは合宿形式で行われるミッション立案体験で、宇宙研で学ぶ大学院生スタッフにサポートを受けて検討を進め、成果を宇宙研の研究者の前でプレゼンします。さらには翌年3月に行われる日本天文学会のジュニアセッションでの発表を通じて、アカデミックな研究活動を体験します。今年は生命探査や技術実証などに加え、月面でのプロジェクションマッピングをオリンピッ

クエンターテインメントに応用するといった、高校生らしい刺激的なアイデアも見受けられました。ミッション意義を論理的に構築し、技術課題を限られた理数能力で解決しようとする機会は、高校生にとってあらゆる物事の考え方を養う機会としても有意義です。

また近年、イノベーション志向によりビジネス業界で取り入れられ始めた"アイデアソン*1"が話題です。技術の最先端をゆく宇宙開発業界で、きみっしょんのようなアイデアソンが先駆けて行われてきたことは象徴的だと感じます。様々なバックグラウンドを持つ高校生が切磋琢磨し、独創的なアイデアを生み出す過程は、宇宙教育のみならずオープンイノベーション*2という観点からも興味深いプログラムであります。

そして本プログラムは今回で第 15 回を数えますが、参加した高校生がアカデミックを志し、今度は大学院生スタッフとして本プログラムに関わるというサイクルが回りつつあります。今後宇宙利用の裾野が拡大し、より多くの宇宙人材が革新的なアイデアを生み出し活躍する際には、本プログラムの重要性はさらに増すものと思われます。

今年も例年にも増して様々なご支援をいただきました 宇宙研職員およびお世話になった皆様に御礼申し上げま すとともに、今後ともご協力よろしくお願いいたします。 (井出 舜一郎)

隣の庭を見る(後編)— ESAの宇宙科学プログラム —

現代の宇宙科学ミッションでは、国際協力は不可欠です。そのためには、海外の宇宙機関がどのように科学ミッションを進めているのか、そのやり方を知っておくことは有意義でしょう。先月号では NASA (アメリカ航空宇宙局) の科学プログラムについて取り上げましたが、今号は ESA (ヨーロッパ宇宙機関) における宇宙科学ミッションの進め方について解説します。原文執筆の依頼には、藤本正樹前国際調整主幹の協力をいただきました。

The Science Programme of the European Space Agency

Fabio Favata

European Space Agency Head of the Programme Coordination Office Directorate of Science and Robotic Exploration

The Science Programme of the European Space Agency (ESA) has a long history of successful scientific space missions, spanning a wide range of topics, from magnetospheric physics, to the exploration of bodies in the solar system, to space telescopes covering the whole electromagnetic spectrum. The program's success is related to its long-term planning associated with a bottom up approach to the selection of its content, and to its being a hub of cooperation with international partners.

The Science Programme is the only mandatory program of the European Space Agency, i.e., the only program to which all of its 22 Member States contribute, pro rata to their GNP. The program's budget is decided unanimously by the Member States every 3 to 4 years, with a 5 years funding horizon, providing the program with a unique long-term budget horizon.

Large (L) and Medium (M) mission constitute the bulk of the program's content. L missions are ESA's flagships, and, while in general featuring significant international participation, they are ESA-led. They have an ESA cost equivalent to approximately two years of the program's budget (i.e., of order 1 B€). The BepiColombo mission to Mercury is a typical example, being ESA led but with a significant JAXA-provided element

M missions are the program's workhorse, with a cost equivalent to approximately one year of the program's budget (i.e., of order 500 M€), and can be ESA-led or can be contributions to partner-led missions. All possible international cooperation schemes can be implemented for M missions, and they range from missions implemented by ESA alone (e.g., the PLATO mission) to missions implemented in partnership under ESA's leadership (e.g., the Solar Orbiter mission, a partnership with NASA) to contributions to partner led missions (e.g., the ESA participation to the NASA-led JWST mission).

All missions in the ESA Science Programme are defined through an open, competitive process, based

on open solicitation to the broad scientific community, followed by a peer review of the proposals' scientific merit, resulting in an advice to the ESA Director of Science. Based on the outcome of the peer review process, the Director of Science will make a proposal to the Science Programme Committee (SPC, the body where the member states of ESA decide on the content of the Science Programme), following which the SPC will take a decision.

The process is somewhat different for L and M missions. L missions typically require significant technology developments, and therefore a decision about which scientific themes to address with the L missions is solicited to the SPC long in advance of the actual missions' implementation, to allow both ESA and the member states (as well as the international partners) to develop the necessary technology. The relative decision typically covers more than one L mission, and spans up to two decades, giving the program a solid "scaffolding" concerning the science themes that will be covered in a given planning cycle. The definition of the L missions for a given planning cycle is therefore a major event in the program's life.

On the occasion of the selection of the L missions for a given planning cycle an open presentation to the broad community by the proposers is organized (in the presence of the peer review body that will assess the proposal), resulting in a true scientific workshop, and giving the opportunity to the scientific community to express their point of view about the scientific priorities for the program.

M missions need be able to address new scientific challenges on a shorter time scale, and therefore must rely on largely existing technologies, resulting in a shorter time between proposal and implementation. They are solicited to the community one at the time, through open "Calls for Missions", that undergo peer review and then SPC decision. Calls for M missions are released regularly (typically every two years of so) and provide the scientific community with regular opportunities.

L and M mission form the bulk of the program and absorb the bulk of the budget. In addition, fast, small missions (S missions) and of Missions of Opportunity (MoO) complete the program's portfolio. MoOs are small contribution by the program to partner-led missions. They are proposed to ESA by a partner agency and are peer reviewed on the same basis as L and M missions. Given that such opportunities are partner-driven, they can be considered at any time. The ESA participation to the JAXA Hitomi mission is a typical example of a Mission of Opportunity in the program.

S missions are a novel element of the program,

aiming at a short implementation cycle, and are of a significantly smaller size than M missions. Thus far only one has been chosen, and its being implemented (the CHEOPS mission), so that in a sense they are an "experimental" part of the program and their implementation scheme is likely to evolve.

The combination of a well defined structure, a long-term planning horizon and a bottom-up, peer reviewed approach to mission selected has ensured a solid program, that has enabled the scientific community in Europe to lead in a number of scientific areas, and that has made the ESA Science Programme a reliable partner for space faring entities worldwide.

(抄訳) ESA の科学プログラム

ESA の科学プログラムは、ボトムアップを基本とした長期計画と国際協力を特徴としている。宇宙科学プログラムは、ESA の事業の中で唯一「必須の」プログラムである。すべての参加国の合意の上、5年間の科学プログラムの資金枠が確保される。ESA の科学プログラムは、Large (L) および Medium (M) ミッションからなる。Lミッションは ESA のフラッグシップであり、ESA 主体による大規模な国際協力で実施している。予算規模はおおむね 10 億ユーロ。Mミッションはおおむね5億ユーロの規模であり、ESA 単独のミッションから、他の宇宙機関が主体となるミッションまで様々な国際協力の形態がある。Lミッションは通常大規模な技術開発を必要することが多く、ミッション提案は、開発も含めた長期的展望の中で行われる。Mミッションは、既存の技術を基盤として、比較的短いタイムスケールで新しい科学的な挑戦を行うことが期待されている。そのため、おおよそ2年に一回の定期的な提案の機会がある。これら以外に小規模ミッション(Sミッション)と Missions of Opportunity (MoO) という枠がある。MoO は他の宇宙機関のミッションに対して、ESA が小規模な参加をするためのもので、随時提案可能である。Sミッションは新しい枠組みで、まだ試行段階にある。すべての ESA ミッションは、研究者コミュニティに対する公募とピアレビューによる選考によって決定される。レビューの結果は ESA の科学ディレクターを通じて Science Programme Committee (SPC) によって最終的に判断される。 (文責・山村 一誠)

(解説:宇宙科学のやり方 ~ところ変われば、と言うけれど~)

今回は ESA の進め方の紹介です。ここで紹介されている "Cosmic Vision"。中期計画となるプログラム全体に名前がついていることで、わかりやすさに加え、宇宙科学を進める上での意志を感じさせる効果もあるようです。少し違う範疇ですが、NASA の Great Observatories、New Frontiers などプログラムに名前がついていると、それだけで推進力を感じさせるところは確かにあります。JAXA の宇宙科学ミッションは、「宇宙科学ロードマップ」として推進されていますが、日本の宇宙科学が目指すところを体現する良いプログラム名をつけるということも国際的には有用かもしれません。

もっとも、ESA の Cosmic Vision 自体はプログラム化されているわけではなく、Mミッションでは、それぞれの公募に対して様々な分野の計画が提案されます。すべての計画は、欧州の研究者コミュニティから提案され、ピアレビューによって選ばれていきますが、NASAとは違い、天文学・天体物理学と惑星科学、太陽物理学とに分かれておらず、ひとつのMミッションの機会にこれらすべての分野からミッション提案がなされるので、非常に激しい競争になります。一方でLミッションの戦略性も特筆すべきやり方で、20 年先の計画の目指すところを設定し、それに向けて計画的な開発が進めら

れていきます。ESA では国際協力も非常に重視されており、2018年度に打上げが予定される水星探査計画 BepiColombo では JAXA が水星磁気圏探査機(MMO)を担当する主要パートナーになっています。また、大型冷却赤外線望遠鏡衛星 SPICA の提案では、JAXA 戦略的中型計画と ESA Cosmic Vision M ミッションの計画との国際協力として、その実現を目指す計画提案になっています。

JAXAの「宇宙科学ロードマップ」では、大きい方から戦略的中型、公募型小型(イプシロン・ミッション)、小規模プロジェクト、というカテゴリになりますが、コストキャップでいうと、(人件費などの考え方で違うところはありますが)JAXA最大の戦略的中型が、ESAの中型であるMミッション、あるいは、前回紹介のNASAの中型クラスの約半分程度になります。今回の記事では、大型化と同時に様々な規模・分野での計画を総合的に進めるNASAやESAの宇宙科学の進め方を見て、これらに学びつつも、今後JAXAがどのように宇宙科学ミッションを進めていくのか、目指すべき戦略性、多様性、またあるべきミッションの規模も含め、改めて考えてみる良い機会となると期待します。

(国際調整主幹・山田 亨)



「ようこう |打上げ25周年に際して

太陽研究のため 一丸となって取り組んで

モンタナ州立大学

Loren Acton (ローレン・アクトン)



1991 年9月3日に送られてきた SXT 画像

1985年にスペースラブ2で搭乗科学技術者として宇宙を飛行した後、私は「キャリアの点で次に何をするべきか」という決断を迫られた。宇宙を飛んだ飛行士には多くの機会が用意されているのだが、この答えはすぐに見つかった。それは日本の太陽ミッションで軟X線望遠鏡を飛ばす機会をNASAが発表した時だ。これはまさに私の夢だった太陽に関する実験であった。小田稔さんや田中捷雄さんと長年にわたって親交があり、日本の仲間と一緒にこのような研究ができる機会は魅力的であった。

提案チームが、理論 (P. Sturrock)、地上観測 (R. Canfield)、太陽粒子線の専門知識(S. Kane)、および装 置開発の優れた才能 (M. Bruner) を集めて早速編成され た。1986年に我々が選ばれたという吉報が届き、1991 年の打上げに間に合わせるべく我々は直ちに忙しいスケ ジュールのもと動き始めた。軟X線望遠鏡(SXT)の日本 側 PI(Principle Investigator:研究代表者)は平山淳さ んで、私はNASAの米国側PIに指名された。小川原嘉明 さんが率いる、詳細を決定した初期の会議は、非常に建設 的かつ興味深いものだった。ここで、議論の対処法が日本 側と米国側とで少し異なることを知った。米国側は意志決 定が非常に早いものの、プロジェクトが進行するにつれて 決定内容の変更が必要になる傾向があった。日本側は、重 要な決定を下すのには時間を要したが、決定事項の変更が 後に必要になることが極めて稀だった。若い小杉健郎さ ん、常田佐久さん、渡邊鉄哉さんが大変な実務を努めてく ださった。NASAのプロジェクトマネージャ J. Owens 氏にも大いに助けられた。

1991年8月30日のSOLAR-A打上げにより、私が経験した最も素晴らしく、最も良く実行されたプロジェクトが成就した。無用な書類の作成を最小限に抑える一方で、双方の重要な合意事項や文書は最新の内容に保たれるようにした。

打上げ当日、鹿児島宇宙センターは緊張感に満ちていた が、ほぼ完璧な軌道で衛星が安定し動作していることが分 かると、喜びや祝福へと変わった。日 江井栄二郎さんが私に近づいてきて、「ようこう」と命名されたことを告げ、「ローマ字だとどのような綴りにすれば よいか」と尋ねてきた。そういう次第 なので、綴り(YOHKOH)が気に入ら ない人がいたならば、責任は私にある。

もうひとつの緊張は、1991年9月3日にSXTがコロナX 線画像を送ってきた時である。温かいCCDのため背景ノイズが多く、また完璧な方向に望遠鏡が向いていないため、素晴らしい画像ではなかったが、この時SXTが設計通りに動くことを知った。小川原先生やSXTチームの喜びは凄かった。

1991年の時点では、望遠鏡のリモート運用のために信頼できるインターネットもISASの設備もなかった。そのため、米国チームは淵野辺にアパートを借り、ISASで「ようこう」の科学運用に参加した。届くデータを監視して、動画にしてX線コロナやフレアのとてつもないダイナミズムを観察することは、非常に刺激的だった。「ようこう」は、太陽活動の高エネルギープロセスを解明するために我々が期待した通りのことを成し遂げてくれた。1991年末までに、フレアにおける磁気リコネクションの重要性が証明され、X線ジェットといった新しい活動現象も発見された。

「ようこう」の科学運用は、ある意味で研究者仲間の間で平等であった。初期データの検証と研究はすべてISASにあった一つの部屋で行われた。定期的な会議は、「ようこう」のチームにビジターも参加して開催された。「ようこう」は、10年に及ぶ科学運用を通じて目覚ましい科学的成果をもたらしたが、これは1,500を超える論文から明白である。

「ようこう」の生データは複数のサイトで保管されている。「ようこうレガシーアーカイブ」(http://solar.physics.montana.edu/ylegacy/)は、2001年12月に「ようこう」の運用が終了して以来15年かけて(主に武田秋さんによって)作成された。このアーカイブは、各処理レベルのSXTデータ、「ようこう」の他の装置からの広範なデータカタログ、SXTデータやファイル構造の詳細な説明、便利なブラウズ機能やデータ検索機能、動画作成機能、およびISASでの日々の科学運用作業からの膨大な記録に加え、SXTの詳細な技術情報を提供している。最後になったが、私は今年、SXTの軌道上性能と較正に関する長大な論文をSolar Physics 誌に発表したところである。

メメA ISASニュース **No.426** 2016年9月号

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/宇宙科学広報・普及主幹 生田 ちさと 編集責任者/ISASニュース編集委員長 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。 デザイン制作協力/株式会社アドマス

編集後記

この夏は各地で台風の大雨に見舞われましたが、被害を受けた方々にはお見舞い申し上げます。宇宙から地球を観測する様になって久しいですが、地球環境の異変に対する人類の意識はどうでしょうか? (竹前 俊昭)

*本誌は再生紙(古70%)、 植物油インキを使用しています。



