

**JAXA相模原キャンパス
 特別公開**

今年の特別公開は7月27、28日の2日間の予定でしたが、台風12号の影響を受け、残念ながら27日だけの開催となりました。それでも、この記録的な猛暑の中、1日目としては前年より約1,200名多い6,139名の方々においでいただきました。今年も相模原キャンパスに加え、相模原市立博物館、国立映画アーカイブ相模原分館をお借りして様々な展示、実験、工作、講演会等が行われ、各会場とも来場者と説明スタッフのやりとりで熱気にあふれていました。



宇宙科学最前線

「ひので」が見た太陽表面の模様

SOLAR-Bプロジェクト研究員
 大場 崇義 (おおば たかよし)

星の表面模様

夜空に広がっている無数の星を思い浮かべることは簡単なことですが、その一つ一つの星の表面がどんな模様になっているかというイメージは湧きますか？ 多くの人は、「のっぺりとしている」と考えるのではないのでしょうか。あまり良く知られていないのもそのはずで、単純に地球から星まではとても離れているため、星の模様を観ることは最先端の望遠鏡を使っても難しいのです。

では、一星の模様を見るためには、それを観測できるような巨大な望遠鏡が開発されるまで私たちは待たないといけないのか？—という、そうではありません。地球から最も近い星である太陽を観測すればよいのです。幸い、太陽は「普通」の星と考えられているので、太陽を観測することで一般的な星についての有用な情報が得られるのです。

太陽観測衛星「ひので」は、太陽の表面（光球）を観測することに特化した可視光磁場望遠鏡を搭載し、2006年に打ち上げられました。口径50cmの望遠鏡は、0.2-0.3秒角（太陽表面上の200-300km）の構造を分解することができます。これは、人間の視力のおよ

そ300倍に匹敵します。

それでは、実際に星の表面はどうなっているのか、「ひので」が捉えた光球の画像（図1左）をご覧ください。小さな粒状の構造で覆われていることがわかります。「星の表面模様は？」という冒頭に述べた疑問の答えは、「つぶつぶ」ということになります。黒点を除いた99%以上の光球面がこの粒状構造で覆われています。この明るい粒は「粒状斑」、その周囲の暗い溝は「間隙」と呼ばれています。これらの典型的な大きさは、それぞれ1秒角、0.3秒角程度となっており、とても小さな構造であることがわかります。毎日私たちが浴びる日光は、粒状斑・間隙から放射された光ということになります。

ここで気になるのは「どうして粒々の構造が形成されているのか」ということですが、これは対流現象に由来します。鍋で熱せられたお湯がぶくぶくと沸き立っているのと同じメカニズムです。熱いガスが下から上昇し、明るい粒状斑となって太陽表面に現れます。そのガスが放射によってエネルギーを失うことで温度が低下します。冷たくて重くなったガスが周辺に沈み込むことで、暗い間隙を形成しているのです。

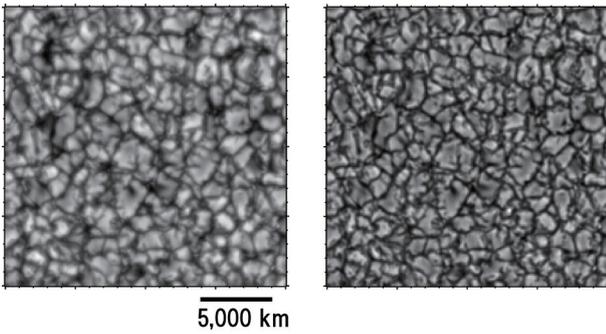


図1 左) 太陽観測衛星「ひので」/可視光磁場望遠鏡が観測した太陽表面(光球)の画像。右) 左図の画像に対し、結像性能を補正することで得られた画像(詳細は本文を参照)。

粒状斑はとてもダイナミックです。一つ一つが日本の本州ほどのサイズがある無数の粒が、たったの数分間で分裂・生成を絶え間なく繰り返しています(とても美しい太陽光球の動画が「ひので」で捉えられているので、是非一度ご覧ください*)。

この対流運動は、星の大気現象を理解するためのキープロセスです。粒状斑は膨大な運動エネルギーを保持しており、運動的・熱的・磁氣的と多様なエネルギー変換を通じて、大気中におけるさまざまな動的現象を駆動していると考えられています。とりわけ興味深いのが、上述の「磁氣的」なエネルギー変換です。驚くべきことに、太陽の上空大気(彩層・コロナ)では、表面の温度(6,000℃)よりも非常に高温な状態(数万℃・数百万℃)が維持されています。通常、太陽の中心核において核融合によって生成されたエネルギーが外層に伝播するため、熱源から離れている上空ほど低温になるはずですが。上空大気が高温状態を維持するためには、太陽表面に分布している磁場に対流運動のエネルギーを蓄え、非熱的(磁氣的)に上層まで伝播・解放させなければなりません。この太陽物理学の大きな謎を解明するためには、光球におけるガス運動の理解が鍵となります。

一筋縄ではいかない粒状斑・間隙の速度場解析

光球の対流運動は、星のダイナミクスを決定する基礎的な物理現象です。どのようなガス運動が生じているのかを特徴づけるためには、ドップラー効果による吸収線の波長ズレを分光観測することが必要になります。粒状斑・間隙のドップラー速度場を解析するには、吸収線の微細な変形を捉える必要があるため、精密な分光観測が必須です。一方、宇宙空間から観測ができる「ひので」は、地球大気のゆらぎの影響を受けることなく高精度な分光データを提供することができます。筆者は、この「ひので」の特長に着目し、光球における詳細な対流構造の解析を試みました。

ある日、大きな壁に直面しました。太陽光球の対流理論について第一線の実績を有するドイツ/マックス・プランク研究所において、筆者が対流構造の観測結果を報告した際、「なぜ、上昇流の方が下降流よりも速いのだろうか?」という質問を受けました。光球における対流理論では、放射によって冷却されるガスの高密化が顕著に働くことで高速な下降流が生じることが予言されていました。観測結果と理論予想との間で矛盾が生じていたのです。間隙における高

* <https://hinode.nao.ac.jp/gallery/>

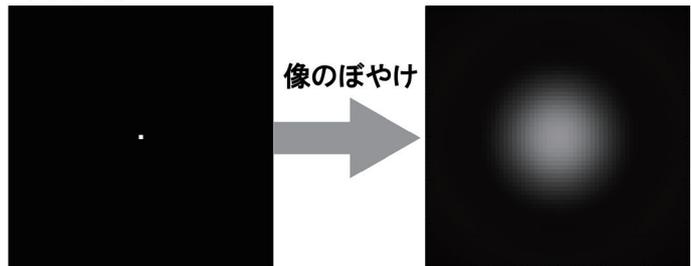
速な下降流は、様々な物理現象の駆動を担っていると考えられていたため、この矛盾は深刻な問題となりました。

矛盾が生じた原因として指摘されたのが、望遠鏡の結像性能による「像のぼやけ」の影響です。これは、どんな望遠鏡でも必ず生じます。光が波の性質を持つことで、壁などを通り過ぎる際に「回折」という現象が起こります。望遠鏡を通りすぎる際に回折が生じることで、まっすぐ入ってきた光が分散されます。その結果、天体から届く光がカメラ上で広がってしまうのです(実際には、望遠鏡のみでなく観測装置由来の様々な要因で像がぼやけます)。この影響について、図2 Aに例を示しています。左図はある一点からの光なのですが、これを実際に観測すると右図のように広がってしまうのです(この広がりが小さいほど、「視力の良い」望遠鏡ということになります)。この図では一つの光の広がりを表現しましたが、光球の画像ではすべての点に光が存在するため、図2 Bのように全体的に粒状斑がぼやけて見えます。

少し話が逸れましたが、「この像のぼやけの影響により、上昇・下降流の信号が混ざってしまうことで観測結果が理論と矛盾したのではないか」という指摘を受けたのです。そこで、この「像のぼやけ」を補正する技術が必要になります。方法としては、図2 B(右)の画像の一点一点に対して、図2 A(右)の広がりを元に戻す計算を行います。この技術は、海外の太陽物理学の研究機関で既に開発されていました。ところがこの補正技術を実際にいくつも試したところ、いずれもノイズを増幅させてしまうという大きな問題点を抱えていました。

一方、結像性能の補正技術は有用なツールであるため、CTスキャンといった医療分野などでも活躍する手法です。筆者は、「他分野で開発されているものが、太陽物理学で効果的になる」可能性を考えました。そこで、信号処理・

A) 点光源



B) 粒状斑の模擬画像

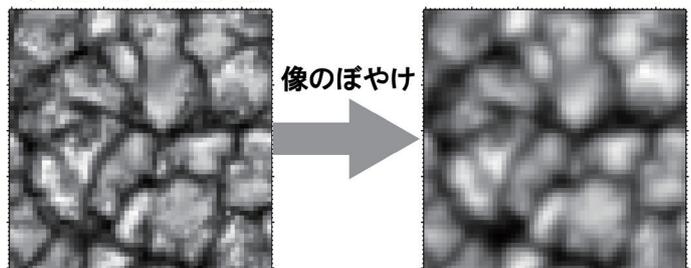


図2 A) 左図は、中央ピクセルにおいてのみ光が与えられた点光源画像。右図は、望遠鏡の結像性能によって左図の点光源がぼやけた画像。B) 左図は、数値シミュレーションで再現された光球の模擬画像。右図は、「ひので」の結像性能を通じて得られる模擬観測画像。

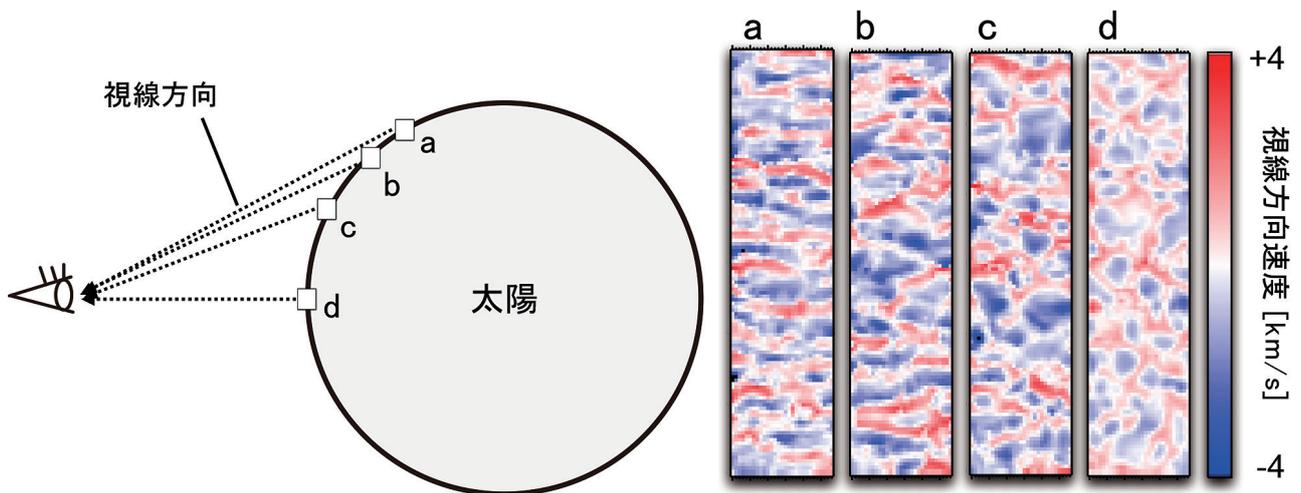


図3 左図は、太陽面緯度と視線方向との関係。太陽面中心(d)では視線方向が光球面に対して鉛直方向となり、太陽縁に向かって(c→b→a)視線方向が光球面に対して水平方向を反映するようになる。右図は、太陽面の各緯度に対して求めた視線方向速度場を示す。青色は観測者側に近づく方向、赤色は観測者から遠ざかる方向を示す。

統計学を基礎から勉強し、ノイズ増幅の抑制に焦点をしばった手法を試みました。具体的には、従来のアルゴリズムにノイズ抑制を機能させる正則化項というものに加え、新たにアルゴリズムを組み立てました。開発した手法に対してテスト検証を行ったところ、従来の手法よりもノイズを抑制した状態で画像を復元できることが確認できました。図1右は、実際の観測画像(図1左)に適用した例です。粒状斑・間隙を空間分解するだけでなく、粒状斑内部の構造までもが鮮明に捉えられています。

この結像性能を補正した観測データから、間隙部において卓越した下降流を捉えることに世界で初めて成功し、理論で予想されていた対流運動の特徴に合致しました。この結像性能の補正技術の開発により、これまで得られなかった太陽表面における微細な対流運動を診断する手段が得られたことになります。

このように上昇・下降流の解析が進む一方で、ガスの水平運動はどうなっているのでしょうか？ 太陽表面上に分布する磁場構造に作用を与えるのは水平なガス運動であるため、その理解はより重要とされるのですが、過去にほとんど報告されていません。これには観測上の難点がありました。そもそもドップラー速度は、視線方向と同じ方向のガス運動を反映するという性質があります。図3左のように、

- ・太陽面中心：視線方向とガスの鉛直運動
- ・太陽縁：視線方向とガスの水平運動

が同じ向きとなります。したがって、水平ガス運動をドップラー解析するには太陽縁観測が必須となります。一方、太陽縁観測の問題点は、「太陽が球状構造をしているため、斜めから見ると粒状斑・間隙の構造が圧縮された形で写る」ことです。つまり、実質的な空間構造の分解能が低下してしまうのです。特に、太陽面中心で観測される間隙の幅(0.3秒角)はちょうど「ひので」の分解能と同程度ですので、間隙の観測が困難になります。これが、粒状斑・間隙を空間分解した上でガスの水平運動を取得できなかった要因でした。

そこで筆者は、今回独自に開発した結像性能の補正技術を適用することで画像劣化の影響をできるだけ軽減し、水平ガス運動の導出に挑戦しました。図3右が、各

太陽緯度における視線方向のドップラー速度場です。太陽縁(高緯度)に向かうほど、速度のコントラスト(青→赤)が明瞭になります。これは、視線方向に水平成分を反映するほどドップラー速度が大きくなることを示しています。この水平ガス運動の平均速度について、1.9 km/s程度と見積もりました。鉛直ガス運動の平均速度(0.8 km/s)と比較すると、2倍以上大きいことがわかります。さらに水平ガス速度の空間分布を調べたところ、間隙において最も高速になっていることがわかりました。この物理機構ですが、粒状斑から湧き上がったガスが溜まり、強いガス圧勾配が生成されることで高速な水平流となっていることが考えられます。これまでの間隙の認識は「単に下降流が生じている領域」というものでしたが、水平流が非常に卓越した領域である証拠を今回初めて得ることができました。

この研究により、粒状斑・間隙を空間分解したうえで水平ガス運動を診断できるツールを初めて手に入れることができました。今後、結像性能の補正を施した「ひので」データを更に解析することで、これまで未解明だった「水平ガス運動が関与する物理現象の駆動メカニズム」が明らかになる可能性があります。特に、間隙は磁場が局所的に集中する領域であるため、対流・磁場との間におけるエネルギー変換過程についての理解が飛躍的に進展することが期待されます。

むすび

古来、私たちは太陽をはじめとする多くの星を観てきました。現在においては、太陽表面の様子が見えるだけでなく、「その模様がどのように形成されるか」、そしてそれが駆動する「太陽の物理現象」について理解できるかもしれないレベルまで到達しています。太陽だけではありません。実は他の恒星においても対流現象起因とされる表面模様が実際に観測されつつあります。今後、「太陽のように」とまではいかずとも、詳細な星の様子が直接見える未来もそう遠くないかもしれません。筆者が学生時代から抱いている「太陽はいわゆる『普通』の星で、他の星でも本当に太陽のような粒状斑があるのか？」という好奇心もいつか満たされるかもしれません。

「みお」(MMO)射場整備作業とBepiColomboシステムへの引き渡し

5月2日の南米ギアナのロケット発射場への搬入以来、「みお」の射場整備作業をおこなっています。これまで「みお」をコンテナから取り出し、スピン分離機構を装着、推進系のチェックと推進剤の最終充填、多層断熱材 (MLI) の交換、各部の清掃、ねじ固着等の最終仕上げ、電気的な健全性確認をおこないました。

「みお」はクリーンルームの中にあつたとはいえ、日本から発送されたのが2015年4月で期間が長かったため、それなりの埃等 (粒子状コンタミネーション) が付着していました。今回の一連の射場整備作業の中で「みお」各部の清掃もおこないました。粒子状コンタミネーションはセンサ等の性能に影響するのでそれを除去することは重要です。特にサイドパネルは観測センサ開口部に近いこともあり念入りに (一つ一つ丁寧に!) 粒子状コンタミネーションが除去されました。観測センサ自体も担当の科学者によって同様に清掃されました。

「みお」は観測要求により衛星表面に特殊な材料をつかっています。衛星外表面に装着されているMLIの最外層にはゲルマニウムが蒸着された特殊なフィルムが用いられていますが、ゲルマニウム蒸着は大気中の水分によって徐々に劣化するため、「みお」単体の整備作業の最後に5年以上にわたって大気に晒されてきたMLIを新品に交換しました。

探査機を最終状態に仕上げた後、6月27日に最後の電気試験をおこない探査機が正常であることを確認しました。



7月2日に行われた「みお」をMOSIFフレームへ結合する様子。MOSIFフレームには「みお」とヨーロッパ側モジュールとの機械的・電気的インターフェースがあります。「みお」には太陽電池パネルを保護するカバーがかけられています。左にあるのがMPO。

6月28日には最後の確認として、太陽電池パネルに強力なライトを照射して太陽電池の健全性を確認しています。

6月29日に「みお」はBepiColomboシステムに引き渡され、7月2日にはMPOとのインターフェースであるMOSIFフレームという部材と結合されました。今後、試験ケーブルで各モジュールが電気的に連結され、電気試験によってBepiColomboシステムとしての健全性が確認されると、MPOと機械的に結合されます。

(小川 博之)

最新情報は「みお」プロジェクトホームページに掲載されています
<http://www.stp.isas.jaxa.jp/mercury/index-j.html>

小惑星リュウグウの素顔が次々と明らかに

「はやぶさ2」は、6月27日にリュウグウに到着しましたが、その後、観測は着々と進んでいます。

現時点で最も特筆すべきことは、ボルダー (岩塊) の多さです。到着してからしばらくの間は、高度が20 km くらいのホームポジションから観測をしていましたが、7月20日には、高度6 km以下まで降下する運用を行いました。そのときに撮影した写真が図1です。この画像では、数メートルくらいの岩塊まで見ることができませんが、至る所に岩塊があることが分かるかと思います。

図2は、ホームポジションから撮影した画像に対して、見かけの大きさが10 m以上の岩塊についてマークをしたものですが、これを見ても至る所に岩塊があることが分かります。岩塊そのものは科学的に非常に興味深いのですが、着陸にとっては厄介です。今後、より詳細に表面を調べて、安全に着陸できる場所を探すことになります。

一方、中間赤外カメラ (TIR) による観測も行われ、リュウグウ表面の温度についても情報が得られました。データの一例を図3に示します。赤い色が温度の高い地域を、青い色が温度の低い地域を表しています。南半球 (上側) と北半球 (下側) とで温度差が見られますが、自転軸の傾きによって太陽光の照射量に南北差ができるためです。小惑星の温度に「季節変化」があることがTIRによって



図1 高度約6kmから撮影したリュウグウ。2018年7月20日、16時頃 (日本時間) に望遠の光学航法カメラ (ONC-T) によって撮影。画像クレジット: JAXA、東京大学、高知大学、立教大学、名古屋大学、千葉工業大学、明治大学、会津大学、産業技術総合研究所

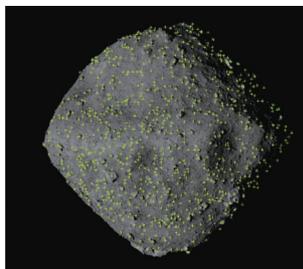


図2 リュウグウ表面の岩塊の分布 (正面の経度60度)。緑色のマークは見かけ上10m以上の岩塊を示す。この図では、小惑星の北極が上向きになっている。画像クレジット: 近畿大学、JAXA、東京大学、高知大学、立教大学、名古屋大学、千葉工業大学、明治大学、会津大学、産業技術総合研究所

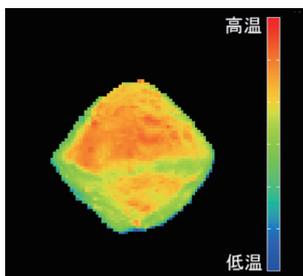


図3 中間赤外カメラ (TIR) によって観測された小惑星リュウグウ。2018年6月30日にホームポジションより撮影。画像クレジット: JAXA、足利大学、立教大学、千葉工業大学、会津大学、北海道教育大学、北海道北見北斗高校、産業技術総合研究所、国立環境研究所、東京大学、ドイツ航空宇宙センター、マックス・プランク研究所、スターリング大学

観察されました。なお、高温の場所でおよそ 100℃、低温の場所で室温程度でした。

観測されたデータは、リュウグウを理解することに役

立つだけでなく、どこに着陸をするかや、どこにランダーやローバを降ろすかを定めるための重要な情報になります。(吉川 真)

観測ロケットシンポジウム2018の開催

観測ロケット実験を用いた宇宙科学研究の一層の推進を企図して「観測ロケットシンポジウム2018」を7月17～18日に開催しました。観測ロケット実験を主題とするシンポジウムは過去にもありましたが、しばらく途絶えていました。観測ロケットの実験は、国内の実験はもとより、日本のロケットによる海外での実験、さらには海外のロケットによる実験など、大きく広がりつつあります。さらに、昨年度には、観測ロケット機体を利用した超小型衛星の打上げにも成功しました。その現状と成果を紹介いただき、その成果をもとに、観測ロケット実験をさらに発展させることを目指して、本シンポジウムを企画しました。

シンポジウムは、1) 提案中の観測ロケット実験、2) 観測ロケット実験の研究成果、3) 新たな観測ロケット実験の提案、4) 採択された実験の進捗報告、5) 海外の観測ロケットを用いた実験、6) 観測ロケットに係わる技術開発、という6つのセッションから構成され、計29件の講演が行われました。今回は観測ロケット実験を提案中のグループに講演をお願いし、質疑応答を通して科学的意義や実現性についての理解を深めることを目指したことも新たな試みとしてあげられます。

1日半のシンポジウムに、世話人の予想を大きく上回る延べ124名の出席者がありました。このことは、観測ロケットに代表される小型飛翔体を用いた実験に対する需要の高さを表したものだと感じています。



シンポジウムの様子。

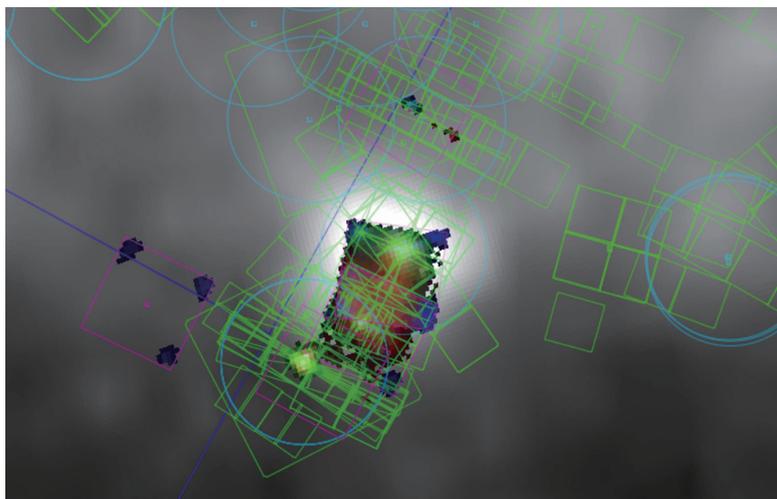
1日目の夕方には、観測ロケット実験の将来にむけて、総合討論の場を設けました。ここでは、観測ロケット実験への期待が述べられた一方で、国内実験での「実験機器の回収」や「高精度の姿勢制御」に関する要望が多く寄せられました。これは同時に、観測ロケットを用いたものがまだ使うことができていない、潜在的ユーザが相当数いることを物語るものです。この強い要望をまとめ、今後のロケット実験の方向性の検討に役立てていきたいと思えます。

近年、国内の観測ロケット実験は、諸事情により、実験者が希望する頻度をもって進めることができない状況となっています。本シンポジウムで行われた議論を十分にいかして、本飛翔体を用いた宇宙科学研究の推進につなげたいと思えます。(阿部 琢美、羽生 宏人、中川 貴雄)

宇宙科学研究所の科学データアーカイブ

道路を挟んでISASの向かい側にある「フィルムセンター」が、いつのまにか、「国立映画アーカイブ」という名前が変わっていました。「アーカイブ」という外来語も、すっかり社会に定着したようですが、私たちが開発・運用しているDARTS*1が、ISAS/JAXAの科学データアーカイブです。そこにはISASミッションの貴重な科学データだけでなく、「きぼう」や海外の装置で取得されたデータなどもアーカイブされています。

さらに、ISASは、大学共同利用システムとして、大学等に保管されていた過去のISAS衛星や気球のデータをアーカイブ化し、DARTSから改めて公開するというも行っています。一昨年度から昨年度にかけて整備を行った、データと参加機関の例を示します：「かぐや」ハイビジョンカメラデータ(高知大学)、JEM-GLIMS 高高度放電発光



JUD02*4で表示した、いて座のM17(オメガ星雲)付近の赤外線・X線画像。1991-1992年にISASの気球搭載赤外線望遠鏡(BICE)が撮影した赤外線画像の上に、後に撮影された「すざく」衛星のX線画像と視野(ピンク)、NASAのChandra衛星の視野(緑)、ESAのXMM衛星の視野(水色)を重ねています。ワンクリックでChandraやXMMのアーカイブセンターにジャンプし、データをダウンロードすることもできます。

現象観測データ（北海道大学）、「じきけん」、「おおぞら」、「あけぼの」プラズマ波動データ（東北大学）、「さきがけ」惑星間空間磁場データ（東北工業大学）、気球搭載赤外線望遠鏡（BICE）観測データ（東京大学）、ISS-IMAP 超高層大気撮像データ（京都大学）、「ぎんが」全天モニター観測データ（立教大学）、「かぐや」粒子線検出器データ（神戸大学）、「すざく」硬X線全天モニター時系列データ（埼玉大学）、「ひのとり」太陽フレア軟X線輝線スペクトルデータ（国立天文台）、深宇宙探査機軌道データ（宇宙科学研究所）、「すざく」X線 CCD カメラの再校正（大阪大学）。

これらの貴重なデータも、共同研究を実施してアーカイブ化しなければ、じきに失われるところでした。世界中の科学者がフレッシュな視点でこれらのアーカイブデータを見直すことによって、たくさんの新たな科学成果が生まれることを期待しています。

また、最近、私たちは「宇宙科学研究所のデータポリシー」を策定し、日本語と英語で対外的にアナウンスしました^{*2}。データ作成側の責任として、ISAS の衛星や探査機が取得したデータは、必ず、誰でも使い易いように整備・アーカイブ化して公開することを宣言する一方、公開データの利用者に対しては、用途は問わずに誰でも無償で利用でき、改変や商業利用も可としています。データの出典を ISAS/JAXA とだけ示して頂ければ OK です（データ共有の世界基準である CC BY 4.0^{*3}に準拠しています）。宇宙科学研究所の公開データが、科学や教育だけでなく、商業活動も含め、人類の行うあらゆる社会的・文化的な活動に利活用されるとしたら、それはデータアーカイブに関わるものにとって大きな喜びです。（海老沢 研）

※1 <http://darts.isas.jaxa.jp/>
 ※2 <http://www.isas.jaxa.jp/researchers/data-policy/>（日本語）
<http://www.isas.jaxa.jp/en/researchers/data-policy/>（英語）
 ※3 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>
 ※4 <http://darts.isas.jaxa.jp/astro/judo2>

新大型パラボラアンテナの開発状況(その3)

本誌 2017 年 11 月（440 号）にてご紹介した新大型パラボラアンテナの第3弾です。

今回は「竹花組」による現地でのアンテナ基礎及び電力棟の建設工事と「三菱電機」他によるアンテナ部材の製造状況をお伝えしました。

その後、完成したアンテナ基礎へのアンテナレールの取付け（図1）を行いました。レール取付け時は、施工期限の厳守のみならず、ミリメートル以下の水平度が要求されるため、三菱電機の担当者はマイナス 10℃以下の極寒の環境下、夜通しその調整作業に当たりました。

春を迎え、現地のアンテナ据付工事は急ピッチで進んでいます。6月末の時点で AZ（Azimuth：方位角）回転構造部と呼ばれるアンテナを水平方向に動かすための機構の組立てが完了しました。

8月上旬の時点では、猛暑の中、EL（Elevation：上下角）回転構造部の組立てと主反射鏡部のリブの地組及び調整（図4）を行っているところです。

このまま作業が順調に進めば、年内にはアンテナとしての外観が整い、その雄姿を見ることが出来ます。

一方、アンテナの組立てが終わる頃から、現地は積雪に見舞われるため、屋外での作業が厳しくなります。その間は屋内作業を中心に行いますが、雪解けの時期となる来年4月以降は機器の搬入に続き、2交代制でアンテナの調整と性能を確認するための総合試験に移行する予定です。

（内村 孝志）



図1 アンテナレール据付工事の様子。



図2 ドローンで撮影された8/2時点の敷地内の様子。右奥の山間に見える白っぽいものは白田64mアンテナ。

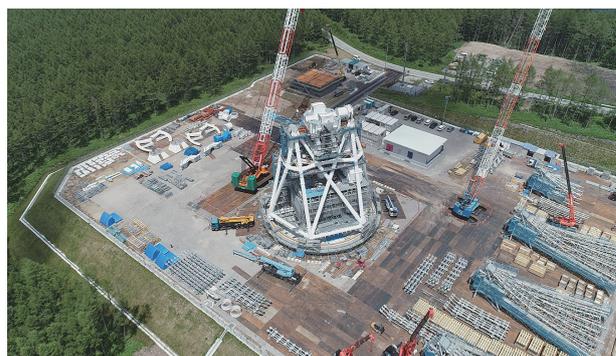


図3 アンテナの据付工事の状況。



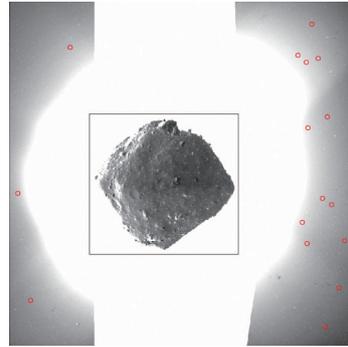
図4 主反射鏡リブの地組の様子。



「はやぶさ2」接近時のリュウグウの位置測定

私たちの目的地「龍宮城」は煌々とした灯りに包まれていました。今年2月にはじまった理工共同作業も最終段階にはいり、6月5日以降連日のように光学航法による運用が実施されました。地球から遠く離れた直径1 kmにも満たないリュウグウに探査機を誘導するために、光学航法は必要不可欠です。私たちに求められた役割は、運用終了から2時間半以内に、できるだけ正確に探査機から見たリュウグウの位置を測定することです。遅延なく翌日の運用計画に反映するため、地上観測、航法、誘導、運用の各チームが親密に連携することが求められます。

探査機から降りてくるデータは、連続して取得された長時間露出画像（露出時間 178 秒）と短時間露出画像（0.087 秒）の2枚1組で構成されています。まず、長時間露出画像を用いて背景の星を検出し、各画像から天球座標系に変換するための座標変換係数を決定します。次に、短時間露出画像を用いてリュウグウの中心位置を測定し、先に調べた座標変換係数を用いて天球座標に変換します。このようなデータが毎日約10組送られてきました。観測画像には、天体からの光や宇宙線だけでなく、観測機器特有の擬似信号や、時には予測できない干渉パターンや欠損データなどが



光学航法望遠カメラONC-Tによる長時間および短時間露出データを用いて作成した合成画像。リュウグウまでの距離は約22km。長時間露出画像では、赤い丸で示した場所に星を検出しましたが、リュウグウが非常に明るく、画像の大半は信号が飽和して真っ白に見えています。この合成画像では、リュウグウの位置を示すため短時間露出画像（輝度を反転）を重ね合わせています（中央部四角で囲った領域）。
画像クレジット：【地上観測チーム】ソウル大学／京都大学／日本スペースガード協会

【ONCチーム】JAXA／東京大学／高知大学／立教大学／名古屋大学／千葉工業大学／明治大学／会津大学／産業技術総合研究所

含まれており、担当者がその都度画像を見ながら解析を行いました。図はリュウグウ到着前日の6月26日に得られた、最後の光学航法用画像です。この時リュウグウの見かけの等級は-15等、実に満月の8倍の明るさに達していました。

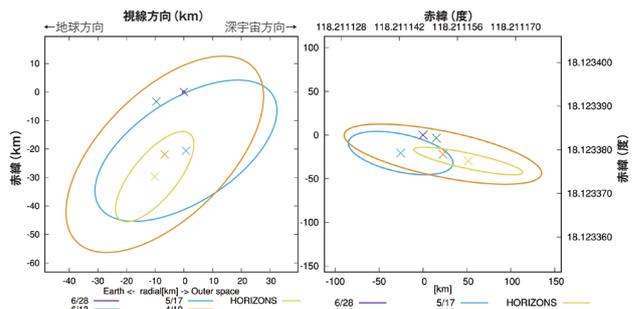
【地上観測チーム】ソウル大学 石黒 正晃（いしぐろ まさてる）
京都大学 黒田 大介（くろだ だいすけ）
日本スペースガード協会 浦川 聖太郎（うらかわ せいたろう）
〃 奥村 真一郎（おくむら しんいちろう）

リュウグウ最終接近フェーズの軌道決定

地上の大型アンテナを利用する電波計測により「はやぶさ2」の軌道を推定する作業が軌道決定です。リュウグウへの最終接近フェーズ前の巡航期間中は1週間に一度の頻度で軌道決定が行われました。その結果は「軌道計画」に反映され、化学エンジン（RCS）やイオンエンジンの噴射計画を調整することにより、常に正しくリュウグウに向かうよう軌道が修正されました。

到着目標となるリュウグウの軌道は、過去の地球からの光学観測結果に基づいてNASAが計算した軌道ですが、遠く離れた地球からの観測に基づいているため誤差が大きく、リュウグウの最終接近フェーズでは頼ることはできません。そこで「はやぶさ2」搭載の光学航法カメラでリュウグウの位置を計測したデータと、地上からの「はやぶさ2」の電波観測データとを組みあわせる「光学電波複合法」により、リュウグウと「はやぶさ2」の軌道を同時に決定・更新しながらリュウグウへの最終接近を行いました。最初のリュウグウ軌道の更新は2018年2月26日に撮られたリュウグウ初撮像データに基づき4月19日に行われ、その後も光学観測データが増える度に逐次的に軌道を更新し到着に至りました（到着直前には1～2日の頻度で推定・更新しました）。

事後の検証により、軌道更新の度に正しいリュウグウ軌道に近づいていた事に加え、軌道更新時に付加情報として示した軌道不定性（1σ誤差楕円）の見通しも概ね



4/19、5/17、6/13、6/28に更新したリュウグウ軌道、及び、NASA（HORIZONS）の軌道における7/1時点のリュウグウ位置。6/13分は富士通の解、それ以外の日はJAXAの解を公式軌道解として提供した。楕円は各々の軌道の位置不定性の推定値（1σ）を表す。6/28の誤差は×印より小さくほとんど見えない。6/13は解析手法が異なるため誤差は示していない。左の図の視線方向成分は地球からの距離284,636,329 [km]の地点をゼロ点とした。

正しい大きさを示していた事が確認できました。このようにリュウグウの軌道を正確に推定できたのは、「はやぶさ2」で新たに採用された軌道決定の電波計測手法DDOR（Delta Differential One-way Range）により2天文単位先の「はやぶさ2」の位置を数キロメートル以下の誤差で計測できるようになった事が大きく寄与しています。DDOR計測はリュウグウ滞在中にも定期的に行われ、リュウグウ表面からの熱放射が軌道変化に与える影響などを調べる予定になっています。

「はやぶさ2」軌道決定担当 竹内 央（たけうち ひろし）

個の力より、これからはオールJAXA、 きちんとチームを組んで 国際競争に臨もう。



宇宙科学研究所科学推進部 計画マネージャ

青柳 孝 (あおやぎ たかし)

1966年東京都生まれ。87年、宇宙開発事業団(NASDA)入社。種子島宇宙センター(燃焼試験課、射場技術課)、打上管制部、輸送本部(エンジングループ)、経営推進部(2度)と歴任。2015年11月より現職。

▶いろいろな苦労のある仕事。

——最初は種子島。LE-7、H-IIロケット開発も。

専門に勉強したのは航空原動機でした。宇宙に興味がなかったわけではないけれど、航空エンジンとかロケットエンジンをやりたかった。実際、大手航空会社から内定をもらっていて、飛行機の整備をやろうと。ところが、旧宇宙開発事業団に先輩がいて、遊びに来ないかと誘われていってみるとそれが面接で、当人は受けたつもりなのに、数日後に合格の連絡が来ました。今になってみればいい選択だったと思います。

入社(旧宇宙開発事業団)した当時、新卒の技術系職員はみな地方の事業所に出されると決まっていた。私の場合は種子島。N-IロケットやH-IIロケットの1段エンジン(MB-3)の燃焼試験場があり、燃焼試験や射場技術として推進系を担当しました。種子島には5年いて本社へ。燃焼試験のかたわら打上げにも携わっていたため、打上管制部に配属されました。そのころ、LE-7エンジンの開発が非常に難航していたため、人員補強も兼ねてエンジングループへ移籍。しばらくLE-7やH-IIロケットの開発に従事しました。その後、経営推進部(当時は計画管理部)に2度配属され、海外研修でドイツ(DLR)へも行きました。現在は離れていますが、30年の職歴の大半は直接技術・開発に携わってきました。もとより、技術の中身を知らないと今の私の仕事はできませんし、計画マネージャのポストはだいたい技術系の人が来ています。

——皆さんに恨まれる仕事。

2年半程前から、宇宙研の科学推進部計画マネージャをしています。宇宙研の運営に必要な予算設定、各プロジェクトの進捗管理、外部資金の導入に関する交渉、管轄省庁に向けた科学研究費の申請など、予算獲得、資金設定のほぼすべてに関与しています。俗に大番頭と称される仕事なのですが、私の中では「皆さんに恨まれる仕事」というのが一番的を射ていると思います(笑)。皆さんにいろいろと文句を言われ

ながら、それでも何とかやっていかねばならない。言いづらいこともしっかり言うので、いろいろと苦労はありますよ。

プロジェクトの進め方の改善にも取り組んでいます。人工衛星をつくるにしろ、ロケットを打ち上げるにせよ、宇宙研には宇宙研のやり方があっていいと思います。しかし、そろそろ修正すべき点はきちんと修正する時期に来ていると思います。今、衛星も大型化し機器も複雑になり、かつ国際競争が激化しています。昔のように1人の先生のヒエラルキーの中でみんなが動くやり方には限界があります。きちんとしたチームを組んで臨まねばならないのですが、気がかりなのが、古参の方と若手との世代間ギャップがあり、考え方が違うことが多いこと。ここをまず埋めていく努力が必要です。計画マネージャの在任期間は3~4年ですから、私に残された時間は多くない。でも、腰掛け的な仕事は私が一番嫌うところです。宇宙研をさらによくするために皆さんと頑張りたいと思います。

▶宇宙研の一番いいところは、若さ。

——先生が主役という先入観に誤り。

本社にいた時代から宇宙研の先生方とは交流の機会があって、何度かお邪魔していました。実際に来てみると、いいところはよりよく見え、今まで悪いと思っていたところは自分の勘違いだったことがわかりました。宇宙研の一番いいところは、ここには学生さんがいるんですね。若さ、これは他の事業所にはない魅力です。年に1度、夏にやるバーベキュー大会は私も楽しみにしています。若い人いろいろな話す機会があり、そこで活力をもらえます。では、悪いイメージは何だったかという、先生方が主役で一般職には張り合いのある仕事はないのではないかと。これは全然違って、逆に、先生方と「技術部門・事務部門」が一緒になっていい仕事をしているのが宇宙研です。外からは先生方がすべてやっているように見えますが、一般職の方も各自適材適所で活躍しているのです。

——焼酎、釣り、草野球観戦。

趣味は、仲間で和気藹々とお酒を飲むこと、そして釣りで。このあたりは種子島の影響が大ですね。種子島にいると、休みの日は全くすることがありません。遊ぶといってもお酒(焼酎)と釣りくらい。釣りは朝・昼・晩、いつでもできます。魚が釣れる。それを肴にまた飲む。気がつくとうこういう連鎖に入っていて、これがまた楽しかった。結局種子島には5年いました。行きは1人だったのですが、帰りは2人に。島の人口を1人減らしてしまいました(笑)。今は観るほうですが、野球も好きです。JAXAの近くの鹿沼公園に野球場があり、土日になると草野球をやっています。これが結構面白い。端っこに座ってビールを飲みながらの野球観戦は、捨てがたいですね。



ISASニュース No.449 2018年8月号

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/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/>)でもご覧いただけます。

デザイン制作協力/株式会社アドマス

編集後記

少しづつはつきりと見えてきたリュウグウの画像を楽しみにしています。荒涼とした岩々やその影、漆黒の宙に興味津々です。はるか彼方の世界に思いを馳せて、しばし、暑さも忘れず。

(斎藤 芳隆)

*本誌は再生紙(古70%)、
植物油インキを使用して
います。



古紙/パルプ配合率70%再生紙を使用

