

# 授賞者の研究業績の紹介

## 2016年度 第9回宇宙科学奨励賞授賞者

宇宙理学分野

国立天文台チリ観測所 特任助教

岡本 丈典（おかもと じょうてん；1980年生）

業績の題目：飛翔体観測による太陽大気波動の研究

「約6000度の太陽表面の外側を100～200万度の高温のコロナが取り巻いているが、太陽表面からどのようにしてエネルギーが運ばれて高温のコロナが作られているのか？」というコロナ加熱の問題は、太陽研究の長年の大問題であり、太陽観測衛星「ひので」が解明をめざす大きなテーマの一つである。岡本丈典氏は、「ひので」の観測データをもとに、「太陽表面から外側に向けて磁気波動（アルベン波）が伝わり、それが高層大気を加熱させてコロナが作られる」とする筋書きでコロナ加熱が説明できるかに挑戦した。彼は緻密な位置合わせ技術と独創的な着眼点をもって、「ひので」の動画データから太陽大気コロナ中には普遍的に波動が存在していることを世界に先駆けていち早く見出し、その波動の性質を進行波・定在波に分離し、外側に向けて進む波が卓説していることを示した。さらに、近年登場したNASAの太陽観測衛星「IRIS」も含めて研究を進めた結果、コロナ中で下方からの波動がまわりの大気を温めているエネルギー散逸の現場を観測的に初めて捉え、コロナ加熱への波動の寄与を明確にした。以下、段階的に深められていった研究成果をまとめる。

### 1) 「ひので」動画中の振動現象の発見

岡本氏の第一の研究成果は、「ひので」衛星搭載の可視光望遠鏡でとらえたプロミネンス中に振動現象を見出したことである。「ひので」の初期データが出始めたとき、岡本氏は動画の中に振動する構造があることを発見した。微妙な現象であったが、彼は粘り強い解析により、振動がコロナ磁場に沿ったアルベン波の伝播に起因することを明快に結論付けた。天文学における磁気流体波動の最初の検出である。この成果は、彼を主著者としてScience誌に掲載された（論文1）。「ひので」衛星データを用いた日本人主著者の論文では、2016年の段階で引用数が最も多い。

太陽表面の擾乱に起因して遠方のコロナへエネルギー輸送が可能なアルベン波は、コロナ加熱や太陽風加速のエネルギー源として有力候補であったが、実際に観測で確認されたのは彼の研究が初めてである。岡本氏は、この波動が運ぶエネルギー（ポインティングフラックス）を見積もり、コロナ加熱に必要なエネルギーを持っていることを示した。本研究の特筆すべき点として、（1）対

流層が波動を放出している現象の普遍性、(2) 波動の振幅が小さく、地上観測やNASA・ESA衛星では性能制約により発見できなかったこと、(3) 振動周期の情報から測定が難しいコロナ磁場の算出を行ったこと、(4) 広帯域フィルターによる高分解能の撮像観測のみでこれらの結果を導出したことが挙げられる。この研究以降、高空間分解能の画像データを用いた波動の観測的研究や理論的研究が活性化し、この論文のインパクトは極めて大きいものがあった。

## 2) 外向きの進行波が卓越していることの発見

プロミネンス中に波動が存在したとして、それが外向きの進行波になっていなければ、波動のエネルギーはコロナに輸送されない。岡本氏は、次に、この問題を解決すべく、ロッキードマーティン太陽天体物理学研究所(アメリカ)のDe Pontieu 氏との共同研究のために1年間渡米して研究を実施した。岡本氏は、「ひので」で超高空間分解能の観測を実施し、De Pontieu氏の研究対象であるスピキュールのデータを取得した。そして、工学分野の画像処理の観点からも研究対象となる微細構造追跡のアルゴリズムを開発し、スピキュールの自動検出とそれに沿った波動の同定、及びその位相差の測定を統計的に行った(論文2)。高度ごとに振動の位相差を調べることで、上向き進行波、下向き進行波、定在波を同定し、そして上向き進行波が卓越していることを示した。また、彩層底部から伝播した波動が遷移層で反射することや、上下方向の進行波の重ね合わせで定在波が生成することなどを初めて観測的に明らかにした。これは、アルベン波が実際に大量のエネルギーをコロナに運んでいることを確定させたという点において重要なものである。

## 3) コロナにおける波動の散逸とそれに伴う加熱現象の発見

岡本氏が取り組んだ次なる課題は、波動の散逸現場を観測的に捉え、コロナ加熱との関連性を明らかにすることであった。フレアなどの突発現象によるループ振動が減衰する様子はこれまでに多く観測されているが、定常状態のコロナにおいて波動が熱化する現場やそのメカニズムは観測例が全くない。岡本氏は、紫外線分光により高空間分解能で彩層プラズマの物理情報を取得することを目的とした「IRIS」と「ひので」の共同観測を推進し、プロミネンスの3次元運動を調べ、波動の散逸とそれに伴う加熱現象の有無に迫った。そして、その解析から、波動に伴う温度上昇と、波動散逸に伴う特異な3次元運動パターンを検出することに成功した。その特異な運動パターンに着目し解析を進めた結果、長年假説の域を出なかった「共鳴吸収」とそれに伴う一連の現象によって、波動による磁力線振動のエネルギーが磁束管表面付近で散逸していることを突き止めた(論文3)。この現象の特徴は、(1) 振動のエネルギーが共鳴吸収により磁束管表面の流れに変換され、(2) この流れがケルビン・ヘルムホルツ不安定性により乱流を生成し、(3) 微小な電流層で熱化することである。共同研究者による数値シミュレーション及び輻射輸送計算結果と比較すると、観測で捉えられた特異な速度パターンは、(1) の流れが(2) の磁束管を変形させる効果により観測可能サイズに成長したものであることがわかった。(3) の

加熱も観測で捉えられており、定常コロナにおける波動散逸を初めて観測的に示した。この研究は、これまでに出版された IRIS ミッション最大の成果であり、海外でも非常に高く評価されている。この研究においても、複数のデータ間の緻密な位置合わせが重要な成果につながっており、岡本氏の類稀なる解析技術が生かされた結果であることは特筆に値する。同時に、コロナ加熱の詳細な物理プロセスが観測データからこれほど議論できることを示したのは驚くべきことで、彼の功績は非常に大きい。

以上のように岡本氏は、宇宙物理学に対する深い理解、観測データを読み解く際の注意深さ・緻密さ、明確な目的意識と独創性、関連する世界の研究者との広い連携と言った、観測的太陽研究を遂行する上での高い能力を活かして、「ひので」衛星のみならず、関連する太陽観測衛星の持ち味を最大限に引き出し、大きな成果を挙げてきた。特に、太陽研究の大きなテーマであるコロナ加熱について、「波動による加熱」が起こっていることを、一段一段視点を進めて観測的に実証してきたことは、たいへん大きな業績と言える。このように岡本氏は宇宙科学の進展に寄与する優れた研究成果をあげており、宇宙科学奨励賞を授与することとなった。

#### 関連する論文リスト

1. “Coronal Transverse Magnetohydrodynamic Waves in a Solar Prominence”  
Okamoto, T. J., Tsuneta, S., Berger, T. E., Ichimoto, K., Katsukawa, Y., Lites, B. W., Nagata, S., Shibata, K., Shimizu, T., Shine, R. A., Suematsu, Y., Tarbell, T. D., Title, A. M.  
Science, 318, 1577-1580 (2007)
2. “Propagating Waves Along Spicules”  
Okamoto, T. J., De Pontieu, B.  
The Astrophysical Journal Letters, 736, L24 (6pp) (2011)
3. “Resonant Absorption of Transverse Oscillations and Associated Heating in a Solar Prominence. I. Observational Aspects”  
Okamoto, T. J., Antolin, P., De Pontieu, B., Uitenbroek, H., Van Doorselaere, T., Yokoyama, T.  
The Astrophysical Journal, 809, 71 (12pp) (2015)