

**太陽風の謎を探る新しい電波望遠鏡—太陽圏イメージング装置**

徳丸 宗利 (太陽圏環境部門)

## はじめに

太陽地球環境研究所豊川分室(愛知県)の構内に、銀色をした巨大な構造物が姿を現しました。図1の航空写真で、中央のやや上側に見えるのがそれです。写真中央やや下側には、かつて研究所の本部が置かれていた建物がありますが、それと比べるとその大きさが分かります。この構造物は太陽から吹き出す高速のガス流・太陽風を測定するための装置で、太陽圏イメージング装置と呼ばれます。近くから撮影した写真を図2に示します。装置の大きさは東西40m・南北106mもあるので(写真の弓状構造は東西方向に向いている)、近づくとも全貌を撮影するのが難しくなります。この装置が捉えているのは、太陽風によって生じる天体電波源の“またたき”現象です。天体からの電波を受信しているので、この装置は電波望遠鏡の

一種でもあります。本稿では、この装置が作られた経緯と、その性能や初期観測の結果について紹介します。

## 電波星のまたたきを使った太陽風の観測

太陽風は磁場を伴った超音速のプラズマの流れで、地球を含む全ての太陽系惑星を包み込んで宇宙空間を駆けぬけています。この太陽風の影響により、地球周辺の宇宙環境や超高層大気の状態(宇宙天気)は大きく変化していることが、これまでの研究から明らかになってきました。宇宙天気の変動は、人工衛星や無線通信など現代社会に不可欠なインフラにも深刻な障害を与えることがあるため、太陽風を正確に理解することは益々重要になっています。



図1：上空から見た名古屋大学太陽地球環境研究所豊川分室。



図2：太陽圏イメージング装置のUHF シンドリカルパラボラアンテナ。

当研究所では、長年にわたって地上から太陽風の観測を実施し、その特性を研究してきました。私たちが太陽風の観測に用いているのは、準星やパルサーなどの天体電波源からの電波を地上で受信した際に見られる“またたき”現象です。この現象は、太陽風の密度ゆらぎによって生じる電波の回折パターンに対応しており、惑星間空間シンチレーション (Interplanetary Scintillation; IPS) と呼ばれます。IPS は、その発見以来、地上から太陽風を遠隔測定する有効な手段となってきました。例えば、地上に展開した複数のアンテナで IPS を同時に観測すると、太陽風の流れに対応した遅れ時間が検出でき、この時間差から太陽風速度が推定できます。また、IPS の強さを測定することで、太陽風の密度の情報を得ることができます。

IPS を使った太陽風観測には、探査機による観測と比べ優れた点があります。まず初めに、探査機ではその場所の太陽風しか測れませんが、IPS 観測では1日に多くの天体電波源を用いることにより広範囲の太陽風についてデータが得られます。ここで、

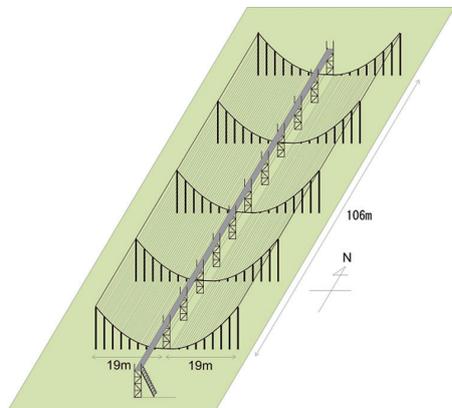


図3：太陽圏イメージング装置の外観図。

IPS の観測範囲には、探査機による観測が困難な太陽の近傍や高緯度の領域も含まれます。また、探査機とは違って地上の装置はこまめに修理が可能なので、長期にわたって観測を継続でき、長期変動を明らかにすることができます。

これらの利点の一方で、IPS 観測には欠点がありました。それは、IPS 観測で得られる太陽風データは視線に沿った積分値であるため、精度が悪いということです。当研究所では、計算機トモグラフィ (CT) を応用した IPS データの解析法を開発し、この欠点を大幅に改善することに成功しました (詳しくは、STEL ニュースレター 1999 年 10 月号の巻頭記事「惑星間空間シンチレーション観測の高精度化」(小島正宜)などを参照のこと)。この CT 解析法を用いた研究により、太陽風の3次元構造や起源に関して様々な興味ある研究成果が得られています。私たちは CT 解析によって得られる IPS データをさらに高めて、太陽風の謎に迫って行こうとしています。

IPS データの CT 解析における精度は、1日に観測される電波源の数に依っています。即ち、数多くの電波源について IPS データが得られれば、CT 解析により高精度で太陽風の速度・密度の分布を決定することができます。また、同じ精度の太陽風データなら、電波源の数が多いほど、より短時間の観測で得られます。IPS 観測できる電波源を増やすには、観測装置の高感度化が必要です。電波望遠鏡を用いた観測では、感度を向上させるために長い時間の積分が行われることがあります。ところが、IPS 観測では長時間の積分を行うことはできません。何故なら、IPS に対応した速い強度変動が見えなくなってしまうからです。従って IPS 観測装置の高感度化には、アンテナの開口面積を大きくすることと受信システムの低音を低減することが欠かせないのです。例えば、従来の当研究所の IPS 観測で用いられてきた4基のアンテナ (豊川・富士・木曾・菅平に設置) は、それぞれ約 2000 m<sup>2</sup> の開口面積を有していました。今回の太陽圏イメージング装置計画では、さらに大きな開口面積 (約 4000 m<sup>2</sup>) をもつアンテナの実現を目指しました。

### 装置の構造・機能

図3に、太陽圏イメージング装置のアンテナの外観図を示します。本装置の観測周波数は、従来システムと同じ、327 MHz (波長 92 cm) です。この周波数は電波天文観測のために割り当てされたバンドで、他の無線業務からの干渉がないように保護されてい

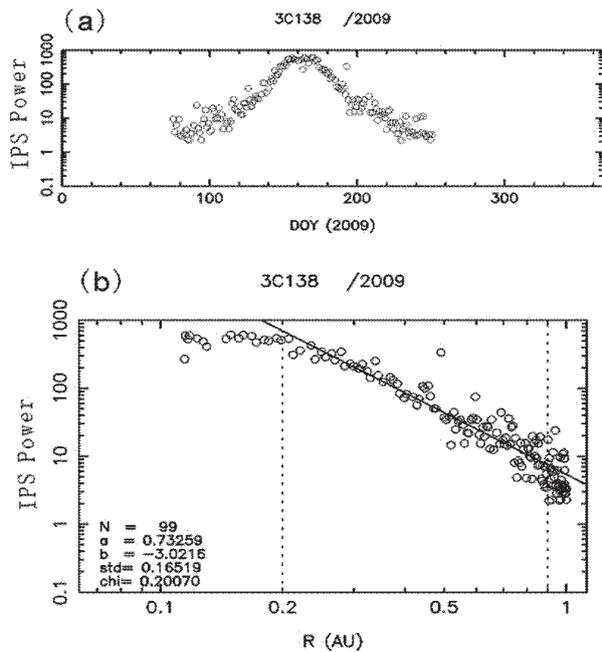


図4：準星 3C138 に対する観測から得られた IPS 強度の (a) 時間変化と (b) 太陽からの見かけの距離の依存性。

ます。また、この周波数で IPS を観測すると、太陽近傍から地球軌道付近までの領域を連続的にカバーすることができ、宇宙天気の研究にとって便利なバンドです。図2の写真では判別できないのですが、図3に示すように弓状の構造の間には細いステン線が3 cmの間隔で張っており、電波を集めるパラボラ反射鏡になっています。このように比較的疎らに張られたステン線であっても、周波数 327 MHz の電波にとっては金属面と同じように大半が反射され焦線(反面中央部のタワー頂部)に集まってきます。

パラボラ反射鏡の焦線には、東西二列にダイポールアンテナ素子が各々 192 個取り付けられており、フェーズドアレイ(高感度のアンテナを実現するもので、複数のアンテナ素子で受信した信号を振幅・位相を調節しながら合成する)を構成しています。図3のように、太陽圏イメージング装置にはアンテナを駆動する装置がついていませんが、フェーズドアレイの採用によりアンテナの指向性(感度が最大の方角)を天頂から南へ60度まで、また北へ30度まで傾けることができます。一方、この装置では東西方向には指向性を変えることができず、天頂を通過する子午面内に固定されたままです。このことは、天体電波源の観測では大きな支障にはなりません。何故なら、地球の自転により天体電波源は1日1回必ず天頂を通る子午面を通過するからです。本装置の観測では、予めアンテナの指向性を天体の仰角に合わ

せておいて、天体が子午面を通過する時刻付近でデータを収集します。フェーズアレイによって短時間で指向性を切り替えることができるので、この装置の感度が高いことと併せて、観測される電波源の数は従来システムの30-40個/日に対し60-100個/日へと飛躍的に増加しました。

#### 初期観測の結果と今後の課題

太陽圏イメージング装置の建設は、特別教育研究経費「ジオスペースにおけるエネルギー輸送」の下で平成17年度から始まりました。アンテナの構造体が完成したのは平成18年12月です。その後、私たちはフェーズドアレイ受信機や観測制御・データ収集システムの開発に着手しました。平成20年春頃には全システムがほぼ完成し、かに星雲などの強い電波源を使って試験観測が実施されています。その結果、様々な不具合が見つかり、改良が行われました。同年8月下旬からは定常的なIPS観測が開始しましたが、システムの改良は翌年2月まで続いています。

図4には、準星 3C138 (0522+166) について、太陽圏イメージング装置を用いた観測から得られた IPS 強度の変化を示します。上段 (a) 2009 年の通算日 (DOY) に対する変化ですが、160 日付近で IPS 強度がピークを示していることが分かります。これは、この時期に電波源が見かけ上太陽に近づき、太陽風の密度ゆらぎが大きい領域を通過するためです。下段 (b) には、太陽からの見かけの距離に対して IPS 強度をプロットした図を示します。太陽に近づくにつれて、IPS 強度が単調に増加していることが判ります(太陽近傍(0.2 AU 以内)で IPS 強度の増加が止んでいますが、これは余りに電波の散乱が強くなり飽和現象が発生したためです)。この様なデータは、年間 1000 個以上の電波源について取得されています。

太陽圏イメージング装置が順調にデータを収集し始めた現在、私たちが取り組んでいる次の課題は、従来システムの更新です。太陽風速度の測定には、複数のアンテナによる多地点観測が欠かせませんが、従来システムの機能ではこの新しい装置と同期して観測し、データの相関をとることが出来ないのです。私たちは、この更新作業を一刻も早く完了したいと思っています。というのは、今期の太陽活動サイクルにおける太陽風は、過去のサイクルとは大きく異なる特徴が見られるからです。この太陽風の異変を性能アップした多地点 IPS システムで捉えることを目指しています。