



徳丸 宗利 教授 岩井 一正 准教授 藤木 謙一 助教

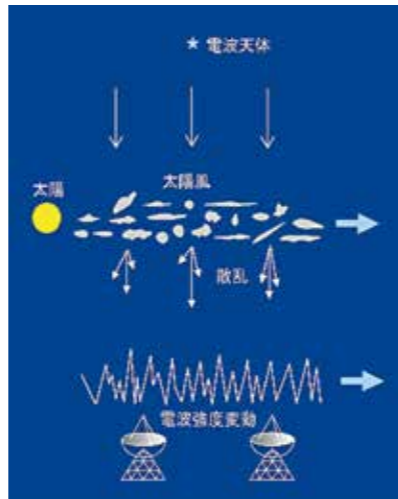
独自に開発した大型電波望遠鏡を用いた観測から、宇宙天気や地球環境に大きな影響を与える太陽風の謎を解明する。

太陽と地球の間は物質が存在していないように見えますが、実は太陽から吹き出す超高温のプラズマの流れで満たされています。このプラズマ流は太陽風 (Solar Wind) と呼ばれます。太陽風は超音速のスピードで太陽から常時四方八方へ拡がり、太陽系の惑星すべてを包み込んでいます。そして、太陽風は地球軌道半径の約 100 倍の距離で恒星間を流れるガス流と接していると考えられています。太陽風が星間ガスの中に作る空間が太陽圏 (Heliosphere) です。

太陽圏では、太陽の磁気活動を反映して激しい変動が絶えず起こっていて、それらは地球周辺の宇宙環境に大きな影響を与えています。太陽風によって時々刻々変化する宇宙環境の状態は、最近では宇宙天気 (Space Weather) と呼ばれ、注目されるようになりました。それは、人工衛星や無線通信、電力設備が宇宙天気によって深刻な障害を受けることがあるからです。また、太陽風の影響は地表近くまで及んでいることも知られており、地球の気候変動との関連性も示唆されています。したがって、太陽風についてより正確な理解が重要になっています。太陽風と類似した現象 (恒星風) は他の天体でも見つかっており、多くの天体をもつ共通の性質と考えられます。太陽風は、こういった宇宙に普遍的な現象を間近で観測することができる利点があります。私たちの研究室では独自に開発した観測装置 (大型電波望遠鏡群) を使って太陽風を地上から遠隔測定し、その 3 次元構造や生成機構・太陽活動に伴う変動現象の研究を行っています (研究室の略称 SW は、Solar Wind の略)。

惑星間空間シンチレーションによる太陽風の観測

太陽風は非常に高温 (約 10 万度) ですが、その密度は極めて低い (地球軌道で粒子数は 1cm^3 あたり 10 個程度) ため、それ自身が放射する電磁波を捉えることはできません。よって、太陽風を観測するには探査機を用いるのが一般的です。しかし探査機による観測は 1 点でしかなく、限られた数の探査機では広大な太陽圏の全貌を明らかにすることはできません。そこで私たちが観測に用いているのが、天体電波源の "またたき" 現象を用いる方法です。この "またたき" 現象は、惑星間空間シンチレーション (Interplanetary Scintillation; IPS) と呼ばれ、太陽風中にあるプラズマ密度のゆらぎによって生じます。太陽風の密度ゆらぎによって発生した電波強度の変動パターンは、太陽風の流れて地上を動いていくので、この強度変動パターンを地上に配置した複数のアンテナで同時に観測してやると、太陽風の速度が測定できます。また、IPS の強さは太陽風プラズマの密度に関する情報を与えてくれます。IPS 観測には、探査機による観測と比べ優れた点がいくつかあります。まず、高感度の電波望遠鏡を用えれば多くの天体電波源について IPS 観測をすることができますので、色々な場所での太陽風のデータを短時間に取得することができます。広大な太陽圏の全域をモニターしながら、変動現象を効率よく検出することが可能になるのです。さらに、IPS 観測は探査機では観測が困難な太陽のごく近傍や高緯度の太陽風を測ることができます。



惑星間空間シンチレーションによる太陽風観測

IPS 観測専用の多地点大型電波望遠鏡システムの開発

SW 研究室では、独自に IPS 観測専用の大型電波望遠鏡システムを開発し、太陽風データを収集しています。それらの電波望遠鏡は豊川 (愛知)、富士山麓 (山梨)、木曾 (長野) の国内 3 箇所に設置されています。これらの望遠鏡は、いずれも我が国最大級の受信面積を有しています。例えば、富士の電波望遠鏡の受信面積は約 2000m^2 、豊川にある新しい電波望遠鏡は約 3500m^2 です。何故このような面積が必要なのかというと、元々天体電波源からの信号は非常に微弱で、IPS のシグナルは電波源自体の信号に比べさらに小さいため、それを検出するには高感度の受信システムが必要だからです。また IPS は速い変動を示すことから時間積分によって感度を向上させることができません。SW 研究室の高感度な電波望遠鏡では、1 日に数多くの電波源について IPS 観測が可能です。また本望遠鏡の高感度な特性を活かし、最近ではパルサーの観測も行っています。

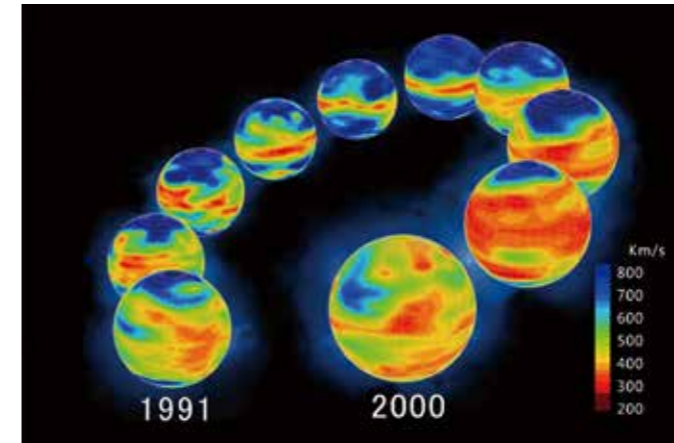
また、SW 研究室では、将来の IPS 観測をリードするべく、新しい大型電波望遠鏡の建設を計画しています。この将来装置では、既存の装置の 10 倍の性能を目指して、最新の技術を導入する予定です。現在は、多方向を同時に観測できるデジタルフェーズドアレイ装置のプロトタイプを開発し、信号処理の実験を行っています。また、観測に適したアンテナ形状の設計も行っています。これらの設計開発は研究室のスタッフや大学院生が協力して行っています。自分たちが考えたアイデアによって装置が出来上がっていく過程を体験できることも本研究の魅力の一つです。



豊川に建設された UHF 電波望遠鏡 (SWFT)

CT 解析による太陽風 3 次元構造の復元

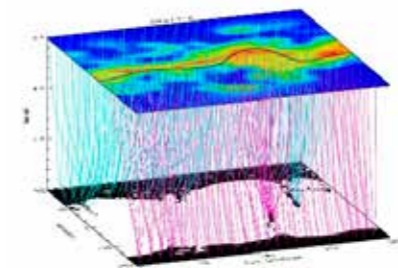
SW 研究室が持っているもう一つのユニークな技術は、IPS 観測データによる太陽風の CT 解析です。CT とは計算機トモグラフィ (Computer-assisted Tomography) の略で、医療分野での応用が有名です。IPS 観測で得られる太陽風データは視線に沿った積分値ですが、SW 研究室で開発した CT 解析法を使うと、IPS 観測で得られたデータから太陽風の 3 次元構造が復元できます。これまでの研究から、CT 解析によって得られた結果は飛行体による観測ともよく一致していることが示され、その信頼性の高さが確認されています。この CT 解析は SW 研究室の研究に活用され、次に述べる太陽風生成機構や惑星間空間擾乱、宇宙天気予報の研究でいくつもの成果を生んできました。



太陽活動 11 年周期に伴う太陽風速度分布の変化 (Tokumaru, 2013)

太陽風生成機構の研究

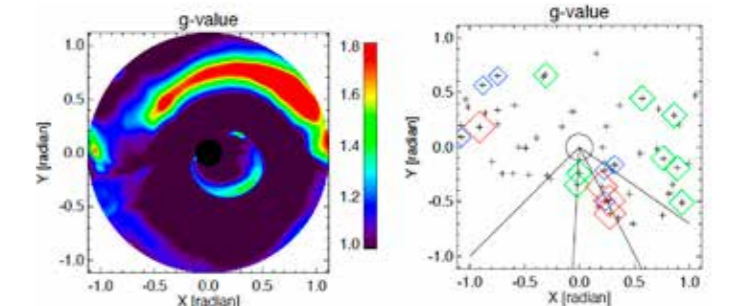
太陽風の生成機構は、未だ解明されていない大きな謎です。現在研究者を悩ませているのは、太陽風を駆動するエネルギーがどこからくるかという点です。最初、太陽風は 100 万度以上のコロナの持つガス圧により太陽の重力を振り切って流出するというモデルが提唱されました。しかし、その後の研究からコロナのガス圧では太陽風を説明できないことが判っています。特に、コロナホールと呼ばれる低密度・低密度領域からより高速な太陽風が吹き出すという観測事実は説明が最も難しい点です。この他、太陽風が 300-400km/s の低速成分と 700-800km/s の高速成分で構成されるという性質 (2 成分性) の原因、太陽風がどこでエネルギーを得て超音速になるかという加速場所の問題、低速風の発生源はどこかという問題など、太陽風生成機構に関する謎は尽きません。SW 研究室のこれまでの研究からは、太陽の磁場特性が太陽風加速を大きくコントロールしていることが判ってきています。



太陽風流源面における速度分布 (上) と光球面磁場 (下) の関係。上下をつなぐ線はコロナ磁場の磁力線を示す。(Tokumaru, 2013)

宇宙天気予報の実用化に向けた研究

太陽表面での爆発現象は太陽大気の一部を宇宙空間に向けて吹き飛ばします。この現象はコロナ質量放出 (Coronal Mass Ejection; CME) と呼ばれ、地球周辺に到来すると電波通信や人工衛星・航空機の航行、GPS 測位など、社会生活に様々な影響を与えるため、到来前に予報することが重要です。しかし、CME が惑星間空間でどう分布し、どの様に伝搬するかについては、まだよくわかっていません。IPS 観測は惑星間空間を伝搬中の CME を効率良く検出することができます。SW 研究室では宇宙天気予報を行う研究機関と共同で IPS 観測データを取り込んだ CME 伝搬モデルの開発を行っています。これまでの研究から、IPS 観測データを取り込むことで CME の到来予測精度が向上することが明らかになっていきました。現在、このモデルを用いた宇宙天気予報の実用化に向けた開発が進められています。



実用化に向けて開発が進む IPS データを取り込んだリアルタイム太陽圏シミュレーション (iwai et al, 2019)

特異な太陽活動に伴う太陽風の変動に関する研究

現在の太陽活動は、過去 100 年来と言われる低いレベルになっています。17 世紀にも太陽活動が長期間低下した時期 (マウンダー極小期) があり、その期間には地球の気候が寒冷化したことが知られています。しかし太陽活動と地球寒冷化のメカニズムは未だよく判っておらず、Missing Link とも呼ばれます。今回の太陽活動の低下に伴って、どんな変化が地球周辺に生じるかは、Missing Link を解明する重要な手がかりとなります。最近の IPS 観測からは、太陽風の分布や特性が過去とはかなり異なっていることが判ってきました。SW 研究室では、太陽風が今後どの様に太陽風が変化してゆくかを IPS 観測から正確に捉えることで、Missing Link の謎に迫っていかうとしています。

写真の説明:

左より (1) 研究室メンバー、(2) 木曾観測施設における一般公開の様子、(3) セミナー中の様子、(4) 開発中の次世代装置の一部、(5) 豊川におけるパルサー観測のデータ処理、(6) 豊川観測所での保守・調整作業

Webページ: <https://stsw1.isee.nagoya-u.ac.jp/>
連絡先: k.iwai@isee.nagoya-u.ac.jp (岩井)

