

SW 太陽圏プラズマ物理学研究室



岩井 一正 教授



藤木 謙一 助教

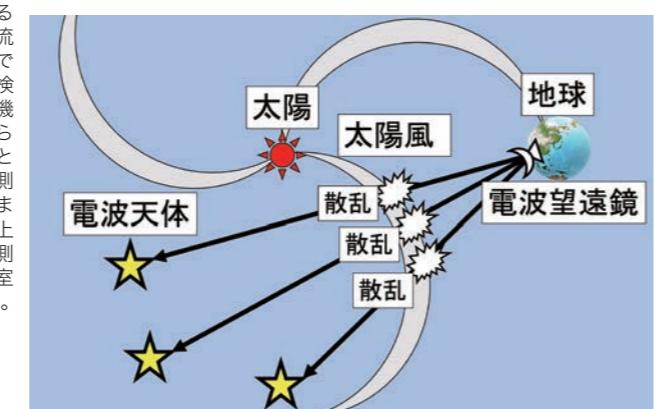
大型電波望遠鏡の開発、観測、データ解析、シミュレーションを一貫して行い、太陽圏変動の解明と宇宙天気予報の実用化を目指す。

宇宙空間は真空と思われがちですが、実際は真空ではありません。100万度にも達する高温の太陽大気コロナでは、プラズマ化した大気の一部が宇宙空間に太陽風(Solar Wind)となって流出し宇宙空間を満たしています。太陽風は秒速数100kmもの超音速に達し、地球を含む太陽系の惑星を包み込む広大な太陽圏を形成しています。また、太陽ではフレアに代表される爆発現象が発生し、宇宙空間に大きな擾乱をもたらします。太陽風の擾乱は人工衛星や無線通信などに大きな影響を与えることがあります。宇宙進出の進む現代においては太陽風の擾乱や、その擾乱が宇宙環境に与える影響を予測する宇宙天気予報(Space Weather)の重要性が高まっています。一方、太陽風はその加速過程も十分に解明されておらず、現在世界各国で活発に研究が行われています。

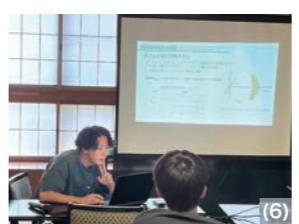
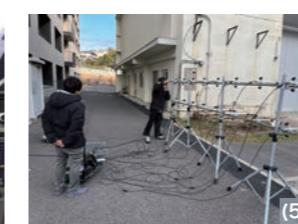
SW研究室では、日本最大級の大型電波望遠鏡3台からなる独自の太陽風観測装置を保有し、世界で唯一50年以上も継続して太陽風の地上電波観測を行っています。太陽風観測データを中心として、様々な人工衛星や地上観測データ、物理モデル、AI等を組み合わせて太陽風や太陽圏の幅広い研究を行っています。またデータ同化シミュレーションによる宇宙天気予報モデルの開発研究を行い、その実用化・高精度化にも貢献しています。観測と並行して、最先端の技術を投入した次世代大型電波望遠鏡の開発も進めています。完成すれば世界最高性能の太陽風の電波観測装置となります。

惑星間空間シンチレーション観測による太陽圏研究

太陽風は地球軌道では1cm³あたり10個程度と極めて低密度で、太陽風自体が発する電磁波を観測するのは困難です。一方で太陽風中のプラズマに含まれる密度ゆらぎは電波を散乱する性質があります。太陽系の更に外にある電波天体と地球との間を通して太陽風によって電波天体からの電波が散乱されることで電波の“またたき”が発生します。この電波のまたたき現象は惑星間空間シンチレーション(Interplanetary Scintillation; IPS)と呼ばれます。IPSの振幅は太陽風中のプラズマ密度に関する情報を教えてくれます。また、IPSによる電波強度の変動パターンは太陽風の流れに伴って移動するため、離れた複数の地点でIPS観測を同時にすることで、太陽風の速度を測定できます。私たちは独自の電波望遠鏡を用いたIPS観測によって太陽圏研究を推進しています。様々な方向にある電波天体をIPS観測することで、広大な太陽圏を流れる太陽風のグローバルな分布を理解することができます。IPS観測は太陽風中の変動現象を迅速に検出することにも効果的です。またIPS観測には探査機を送り込むことが困難な太陽の近傍や、黄道面から離れた太陽圏の高緯度領域の太陽風を観測できるという利点もあります。数多くの電波天体をIPS観測するには高感度な電波望遠鏡が必要になります。また、太陽風速度を精度良く導出するには3箇所以上で同時に IPS 観測が有効です。このような観測を連続的に実現できているのは世界でも SW 研究室だけであり、ユニークな太陽圏研究を実現できます。



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、独自に大型電波望遠鏡システムを開発し、IPS観測によって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)、木曽(長野)の国内3箇所に設置されており、いずれも我が国最大級の面積を有しております。豊川の電波望遠鏡の受信面積は約3500m²、富士と木曽の電波望遠鏡の受信面積は約2000m²です。このような国内最大級の電波望遠鏡を占有して毎日電波天体の観測ができるのがSW研究室の強みです。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て非常に小さいため、それを検出するには高感度の受信システムが必要です。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。

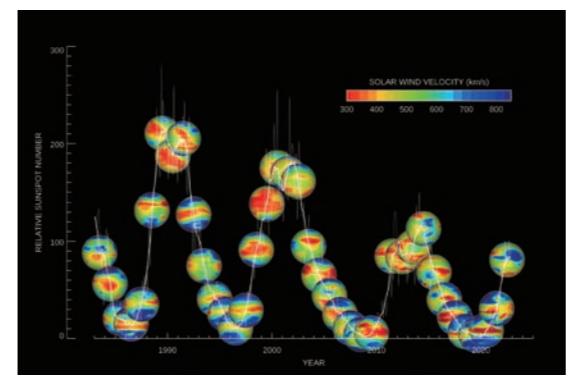
また、SW研究室では、将来のIPS観測をリードすべく、新しい大型電波望遠鏡の建設プロジェクト「次世代太陽風観測装置」計画を推進しています。このプロジェクトでは、既存の装置の10倍の性能を目指して、最新の技術が導入されます。これまでに多方向を同時に観測できるデジタルフェーズドアレイ装置のプロトタイプを開発し、信号処理の実験を行ってきました。また、観測に適したアンテナ形状の設計も行っています。現在は全体の1/3程度の大きさの電波望遠鏡を建設すべく、プロジェクトを活発に進めています。これらの設計開発は研究室のスタッフや大学院生が協力して行っています。自分たちが考えたアイディアによって装置が出来上がっ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。



木曽に設置されている大型電波望遠鏡

CT解析による太陽風3次元構造の復元

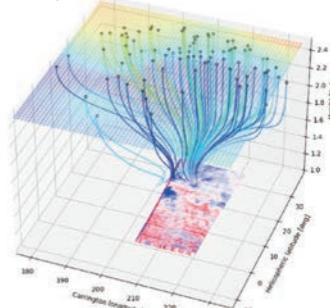
SW研究室が持っているもう一つのユニークな技術は、IPS観測データによる太陽風のCT解析です。CTとは計算機トモグラフィー(Computer-assisted Tomography)の略で、医療分野での応用が有名です。IPS観測で得られる太陽風データは視線に沿った積分値ですが、SW研究室で開発したCT解析法を使うと、IPS観測で得られたデータから太陽風の3次元構造が復元できます。これまでの研究から、CT解析によって得られた結果は飛翔体による観測ともよく一致していることが示され、その信頼性の高さが確認されています。このCT解析はSW研究室の研究に活用され、次に述べる太陽風生成機構や惑星間空間擾乱、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

太陽風生成機構の研究

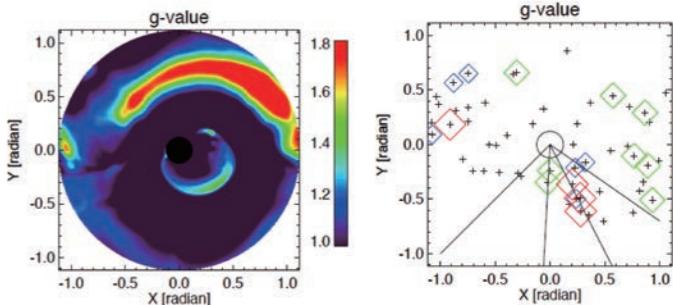
太陽風の生成機構は、未だ解明されていない大きな謎です。現在研究者を悩ませているのは、太陽風を駆動するエネルギーがどこからくるかという点です。最初、太陽風は100万度以上のコロナの持つガス圧により太陽の重力を振り切って流出するというモデルが提唱されました。しかし、その後の研究からコロナのガス圧では太陽風を説明できないことが判っています。特に、コロナホールと呼ばれる低温・低密度領域からより高速な太陽風が吹き出すという観測事実は説明が最も難しい点です。この他、太陽風が300-400km/sの低速成分と700-800km/sの高速成分で構成されるという性質(2成分性)の原因、太陽風がどこでエネルギーを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。



太陽コロナと太陽風の関係。多数の曲線はコロナから惑星間空間につながる磁力線に対応。

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ない。IPS観測は惑星間空間を伝搬中のCMEを効率よ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風シミュレーション(Iwai et al, 2019)

AI・データ同化・数値計算等を用いた研究・開発

SW研究室では大型望遠鏡の装置開発・太陽風観測データを用いた太陽圏研究・数値シミュレーションによる宇宙天気予報システム開発などの中核研究において数値シミュレーション・データ同化・AIなどの先端の数理科学的手法を積極的に研究に取り込んでいます。また、大規模なアレイアンテナの設計に用いる電磁界解析シミュレータ、磁気流体シミュレーションに用いる並列計算機、AI研究に特化した高性能なGPUサーバーなどの研究環境を常にアップデートしています。研究を通じて身につけたスキルは、幅広い研究分野や産業に応用可能で、卒業生は様々な分野で即戦力として活躍しています。

写真の説明: 左より、(1) 研究室メンバー、(2) 木曽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) 東山キャンパスにおけるアンテナを用いた実験の様子、(6) 若手会員の学校での発表の様子

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

