

Contents

- 1 大型電波望遠鏡を使って太陽風の謎に迫る
- 4 最近の地球環境研究 ～温暖化対策への貢献～
- 5 第1回 ISEE Award を Hisao Takahashi 博士へ授与
赤道大気に関する国際スクール International School on Equatorial Atmosphere (ISQUAR)
- 6 外国人教員研究報告
2019年度共同利用・共同研究採択課題一覧
- 12 さいえんすトラヴェラー
- 14 名大祭研究公開企画
研究所一般公開と講演会開催報告
- 15 コラム「くすのき」
- 16 2018年度博士号取得者紹介
- 17 2019年度各委員会の構成
- 18 異動教職員のごあいさつ
- 21 人事異動
- 22 ニュースダイジェスト
- 24 受賞者紹介・報道リスト

大型電波望遠鏡を使って太陽風の謎に迫る

太陽風と太陽圏

太陽を取りまく高温のコロナは太陽の重力を振り切って超音速の太陽風(solar wind)となって流れ出し、星間空間の中に太陽圏(heliosphere)と呼ばれる巨大な領域を作っています。すべての太陽系惑星は、この太陽圏の中にあり、惑星周辺の環境は太陽風によって大きな影響を受けています。地球の極域に見られるオーロラは太陽風と地球磁場の相互作用の現れですが、太陽風の影響は直接目に見えない形で様々な場所に及んでいます。例えば強力な太陽風によって地球周辺の宇宙環境に擾乱が発生したときには、無線通信や電力設備に深刻な障害が発生することがあります。高度情報化した現代ではこういった障害は社会基盤を揺るがすものなので、宇宙環境擾乱の発生を予報すること(宇宙天気予報)が緊急の課題となっています。また、太陽圏外から地球へ飛来する銀河宇宙線の伝搬についても、太陽風が持つ磁場が大きな影響を与えています。銀河宇宙線の変動は地球気候の長期変動と関連している可能性があることから、太陽圏における太陽風や磁場の3次元構造を正確に理解することが、地球環境の将来予測のために重要になっています。

太陽風が発見されたのは今から約50年前ですが、それ以降様々な太陽風の研究が行われてきました。しかし、太陽風が如何にして生成・加速されるか、太陽圏の3次元構造はどうなっているか等の基本的な事柄は未解明のままです。このことが宇宙天気予報や地球環境の長期予測の精度改善において大きな妨げとなっています。太陽風の謎の解明を阻んでいる要因の一つとして、太陽圏があまりに広大で観測データが不足していることが挙げられます。また、太陽風が時間と共に激し



徳丸 宗利 教授 プロフィール

東北大学大学院理学研究科(地球物理専攻)博士課程を単位取得退学後、1985年郵政省電波研究所(1988年より通信総合研究所、現NICT)に入所。1986年博士課程修了。同研究所鹿島支所・研究官、平磯宇宙環境センター・主任研究官、稚内電波観測所・所長を経て、1995年名古屋大学太陽地球環境研究所太陽圏環境部門・助教授に着任。2008年同研究所・教授に昇任。現在、宇宙地球環境研究所太陽圏研究部・教授。

く変動することも、謎の解明を難しくしています。宇宙地球環境研究所(ISEE)では複数の大型電波望遠鏡を用いて太陽風の観測を実施し、取得したデータに基づいた研究から太陽風の謎を解明しようとしています。本稿では、ISEEの太陽風観測と、それを用いた最近の研究成果について紹介します。

惑星間空間シンチレーションによる太陽風の観測

見かけの大きさの小さい天体電波源からの電波が太陽風プラズマを通過する際

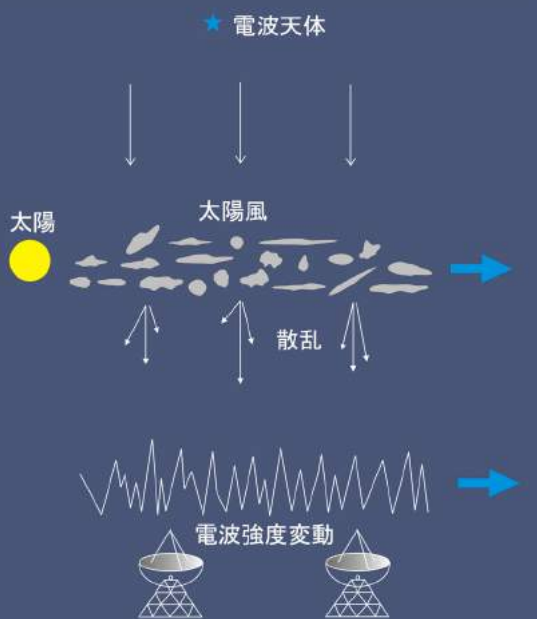


図1. IPS観測の原理

に密度ゆらぎによって散乱され、地上で強度変動が観測されます(図1参照)。この現象を、惑星間空間シンチレーション(interplanetary scintillation; IPS)と呼びます。夜空の星が瞬くのと同一現象ですが、光の瞬きは地球大気のゆらぎが原因です。IPSを地上に置かれた複数のアンテナで観測すると、2つの強度変動のパターンの間に太陽風の流れに対応した

時間差を検出することができます。アンテナ間の距離は既知なので、時間差から太陽風の速度が求められます。また、IPSの大きさは視線上のプラズマの濃さに概ね比例しているため、IPSデータから太陽風の密度を推定することができます。

ISEEでは、IPS観測専用の電波望遠鏡群を開発し、太陽風の観測を連続的にを行っています。図2には、ISEEの豊川、

富士、木曾観測所に設置されているIPS観測用の電波望遠鏡を示します。写真ではわかりにくいですが、これらは皆、細いステンレス線で作ったパラボラ反射鏡を持っていて、それで微弱な電波を集めます。パラボラ反射鏡の面積は豊川が約4000m²、富士・木曾が約2000m²で、我が国で最大級のサイズです。なぜこの様な大きな面積が必要かというと、観測対象となる天体電波源が微弱であり、かつIPSのような短時間で変動する現象を検出するには長時間積分によって感度を改善することができないからです。ISEEでIPS観測の対象としている天体電波源は、クェーサ(QSO)と呼ばれるものがほとんどです。QSOの視直径はとても小さく恒星のように見えますが、実は遙か遠方にある銀河と考えられています。観測している周波数は327MHzで、電波天文観測のために保護された周波数にあたります。電波天文観測ではもっと高い周波数を使うのが主流ですが、その理由の1つは伝搬媒質の影響を受けずに天体自体を研究するのに適しているからです。我々が用いている周波数は伝搬媒質の影響を受けやすく、即ちIPS観測に適しているのです。IPS観測用電波望遠鏡にはPCで制御されたフェー

ズドアレイ型受信器が搭載されていて、観測スケジュールに従って天体電波源を切替つつ3地点同時にデータが収集されます。取得したデータはインターネットを経由してISEE(名古屋)に転送され、太陽風速度やIPS強度の解析が行われます。日々の解析結果はISEEのftpサーバを通じて即時的に公開され、国内外の研究者に利用されています。

IPS観測には飛翔体による観測より優れた点がいくつかあります。まず、飛翔体観測では1地点の太陽風しか測れないのに対して、IPS観測では太陽風の全球的な分布を決定することができます。特に高緯度の太陽風は飛翔体観測が難しく、これまでに実施されたのはUlysses探査機の観測のみです。Ulyssesは太陽の極軌道を約6年かけて1周して太陽風の緯度構造を調査しましたが、IPS観測ではもっと短い時間(例えば太陽自転周期の約25日)で太陽風全体を調べることができます。さらに、IPS観測は装置を保守・改良しながら長期間実施できます。ISEEのIPS観測は1980年代から実施されており、3つの太陽活動周期にわたって太陽風の分布がどの様に変化したかを探ることができる貴重なデータを提供しています。こういった利点を持つIPS観測ですが欠点もありました。それは、観測で得られるデータが視線に沿った重み付き積分値であり、太陽風の分布が正確に議論できないということです。この点を改善すべく、我々は計算機トモグラフィ(CAT)解析法を開発しました。CAT解析法では、異なる視線の観測データに対して太陽風分布を仮定して観測で得られる値を計算します。この計算結果が観測データに最も合うように仮定した太陽風分布を調節してやれば、実際の太陽風分布が決定できることとなります。探査機観測によって得られた太陽風データとIPS観測のCAT解析結果を比較したところ、両者はとてもよく一致していました。このことによりCAT解析法の信頼性が確認されています。

図3は、1985~2013年までのISEEのIPS観測データのCAT解析によって求めた太陽風速度の分布図です。この図から太陽風の分布が太陽活動に伴って系統的



図2. (上から)豊川分室、富士観測所、木曾観測施設に設置されたIPS観測専用の大型アンテナ

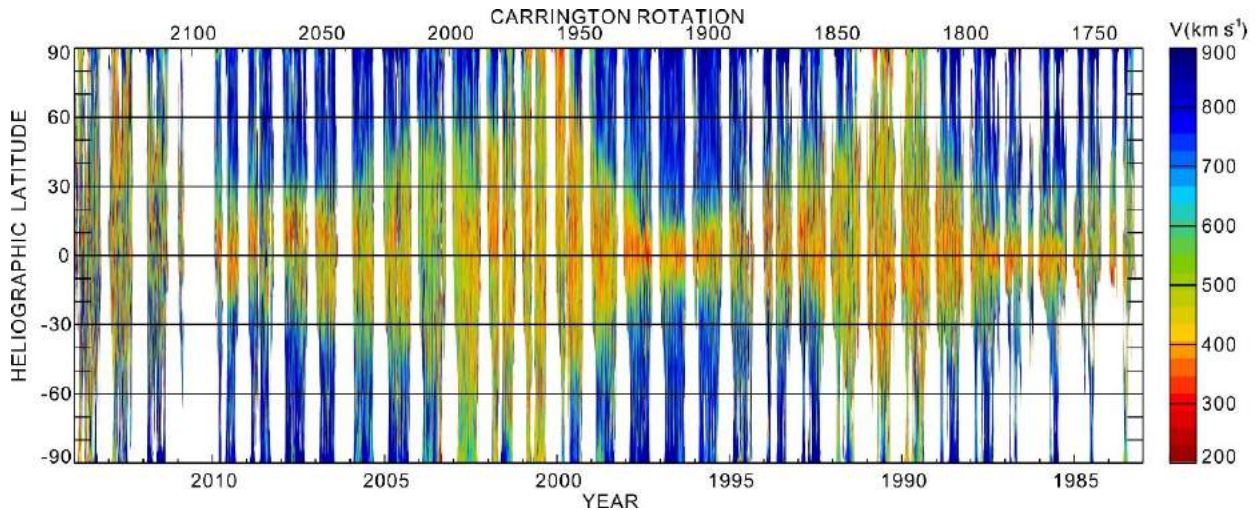


図3. 1985～2013年における太陽風速度分布の変化 (Tokumar et al., 2015より引用)。横軸と縦軸はそれぞれ時間(キャリントン経度)と太陽緯度。但し、時間は右から左向きに経過することに注意。色は太陽風速度を示す。白色は観測データがない領域。

に変化していることが判ります。太陽活動が低い時期：極小期(1985年、1995年、2007-8年頃)には、高速(700～800 km/s)の太陽風が南北極域から中緯度にかけて分布し、赤道付近は低速(300～400 km/s)の太陽風が存在しています。一方、太陽活動が活発な時期：極大期(1990年、2000年、2013年頃)になると、極域の高速風は姿を消し、全緯度に渡って低速風が分布するようになります。このように太陽活動に伴って太陽風の大規模な構造が変化するのは、太陽の磁場が太陽風を加速するのに重要な役割を果たしているためと考えられています。しかし、その詳細な物理過程は未だよく解っておらず議論が続いています。

太陽活動衰退期の到来と太陽風の特性変化

太陽活動の変動には約11年の周期の他、さらに長い周期のものが知られています。最近の太陽活動は大きな衰退を示しており、今サイクルの活動度は過去100年来の低さでした。この太陽活動の低下に伴って、ISEEのIPS観測データにも過去とは異なる特徴が明瞭に捉えられています。その一つは、太陽風密度が全球的に低下していることで、特に低速な太陽風で顕著に見られます。この事実は、従来の研究から知られていた速度と密度の逆相関関係、即ち「低速風は高密度」、が破れていることを意味します。密度低下のメカニズムはよく解っていませんが、太陽風加速機構の謎を解明する手掛かりになる

と考えられます。また、この太陽風密度の低下は太陽圏全体の収縮をもたらすと予想され、その兆候が今後の観測から見えてくることが期待されます。今サイクルの特徴としてその他に、極小期に高速風が赤道付近に出現する頻度が増えていることや高緯度の太陽風が南北非対称な分布をしていることなどがISEEのIPS観測から判りました。

400年前に太陽活動が極端に低下した時期があり、Maunder極小期と呼ばれていますが、このとき地球の気候が寒冷化したことが知られています。太陽活動の低下と地球気候とのつながりは謎として残されており、気候変動の予測のためにもその解明が重要な課題となっています。Maunder極小期において太陽圏で何が起きたかについて、従来の極小期から得られた知識に基づいて議論されてきました。しかし、ISEEのIPS観測が示したように今サイクルの太陽風は過去の極小期は大きく異なっていたことから、その議論は修正が必要になっています。今後の太陽活動と太陽風の発展をISEEのIPS観測から明らかにすることで、太陽活動と地球気候をつなぐメカニズムに迫ってゆけるのではと期待しています。

太陽圏研究の新展開：より遠くへ、より近くへ

太陽圏の研究には今、新たな展開が起こっています。それは、未踏野の領域だった太陽圏境界や太陽近傍に探査機が投入されたことによります。2012年と

2018年に探査機Voyager 1, 2がそれぞれ太陽圏境界面(heliopause)を通過して、太陽圏外へ脱出しました。また、直接観測ではありませんが探査機Interstellar Boundary Explorer (IBEX)による太陽圏境界域の遠隔測定も目下進行中です。これらの観測から得られたデータの解析からは未解明だった太陽圏の3次元構造や恒星間空間媒質の特性が明らかになっています。我々は、IBEXチームにIPS観測データを提供して、太陽圏外圏域に関する共同研究を行っています。遠方の探査が進む一方、2018年8月には太陽近傍を探査するための探査機Parker Solar Probe (PSP)が打ち上げられ、同年11月には太陽半径の35倍の距離まで近づいて太陽風の観測が行われています。今後、PSPは太陽半径の10倍以内に近づく予定です。さらに来年には探査機Solar Orbiterが打ち上げられ太陽に近接して太陽風の観測が実施されます。これらの観測に対してもIPS観測の利点を活かした共同研究を実施し、太陽風加速機構の謎に迫ってゆきたいと思っています。

引用文献

Tokumar, M., K. Fujiki, and T. Iju, North-South Asymmetry in Global Distribution of the Solar Wind Speed During 1985-2013, J. Geophys. Res., 120, 3283-3296, 2015 (DOI:10.1002/2014JA020765).