

革新的電波観測による太陽嵐予測の実現

	研究代表者	名古屋大学・宇宙地球環境研究所・准教授 岩井 一正 (いわい かずまさ)	研究者番号：00725848
	研究課題情報	課題番号：24H00022 キーワード：宇宙天気予報、太陽嵐、電波望遠鏡、デジタル信号処理、フェーズドアレイ	研究期間：2024年度～2028年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

人類の生活基盤は、近年急速に宇宙空間に進出している。例えば多くの情報通信衛星が我々の生活を支え、新たな宇宙開発、有人の月面・火星探査、更には民間による宇宙旅行も計画されている。太陽では、フレアに代表される爆発現象が頻発し、太陽大気塊が秒速2000kmもの超音速の爆風「太陽嵐」となって放出される。太陽嵐は太陽系で最もダイナミックな物理現象と言える。この太陽嵐は地球に到来し、地球周辺環境に大きな擾乱を与え、社会インフラが甚大な被害を被ることがある。実際に、2022年2月には約40機もの超小型衛星が太陽嵐の影響で墜落している。太陽嵐の到来を事前に予報することは喫緊の問題である。一方、太陽嵐は極めて希薄で、宇宙空間の観測は限られてきた。そのため、太陽嵐の伝搬過程は宇宙空間における主要な未解決問題となっている。現状では、太陽嵐の到来時刻の24時間前予報には10時間以上の誤差がある。本研究では、宇宙空間を伝搬中の太陽嵐の伝播過程を解明することを目的とする。手法としては、太陽嵐が電波を散乱する性質を用いて地上電波観測から太陽嵐を検出する。特に独自のデジタルフェーズドアレイ技術を用いた新しい電波観測装置を開発し、太陽嵐の異なる8箇所を同時にスキャンする世界初の観測を実現することで、高速に移動する太陽嵐の構造を素早く正確に導出する。そのデータを用いたデータ同化シミュレーションから太陽嵐の伝搬を再現することで、到来時刻の24時間前予報誤差を1時間にまで劇的に向上させ、人類の安全な宇宙活動に貢献する。

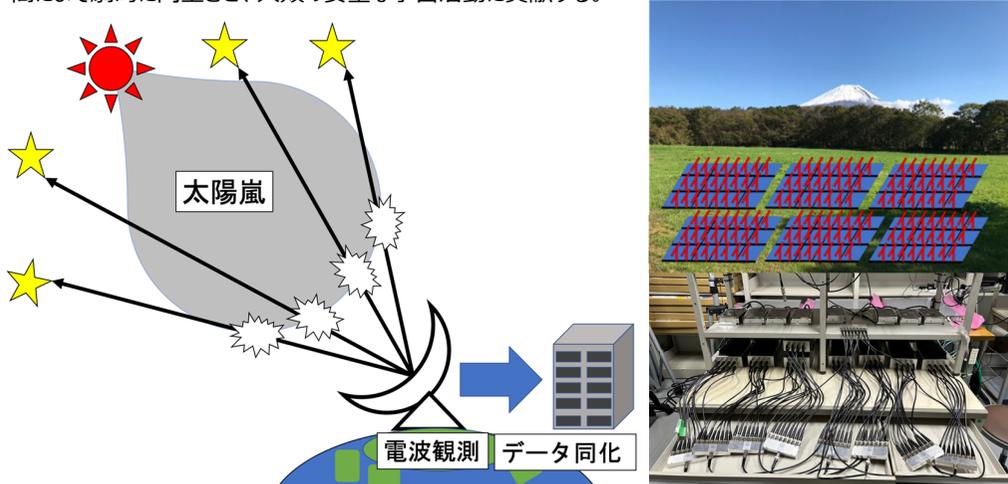


図1 地球に迫り来る太陽嵐を地上から電波観測するイメージ（左）と本研究で開発する電波観測装置のイメージ、および搭載するデジタル信号処理装置のプロトタイプの写真（右）

●太陽嵐の電波観測

太陽嵐は電離した大気（プラズマ）の塊であり、電波を散乱する性質がある。太陽系外の天体を電波観測中に、地球と電波天体の間を太陽嵐が通過すると、天体からの電波が散乱され、強度が激しく変動する。この「電波のまたたき」現象からは、またたき現象を起こす媒質（この場合は太陽嵐）の密度や速度に対応する情報を取り出すことができる。研究代表者らのグループではこの散乱現象に着目し、独自の電波望遠鏡を用いて太陽嵐を観測してきた。これまでの研究で、電波観測からは太陽嵐の前面部分を効率よく検出でき、この情報を使えば太陽嵐の構造や伝搬がより詳細に調べられる可能性が見出されてきた。

●革新的電波観測の実現

既存の大型望遠鏡では、1度に1方向しか観測することしかできず、広範囲に広がる太陽嵐の構造は得られなかった（図2左）。我々の近年の開発研究では、デジタルデバイスを用いた電波観測用の信号解析装置の開発を推進してきた。この技術を用いて、多数の入力信号を同時にデジタル処理し、信号合成の度合いを変えて複数の方向を同時に観測できるというアイデアを使った信号解析装置「デジタルフェーズドアレイ装置」を開発した。本研究ではこの装置を視野の広い電波望遠鏡に搭載し多数の方向を同時に観測することで太陽嵐の観測効率を劇的に向上させる（図2右）。

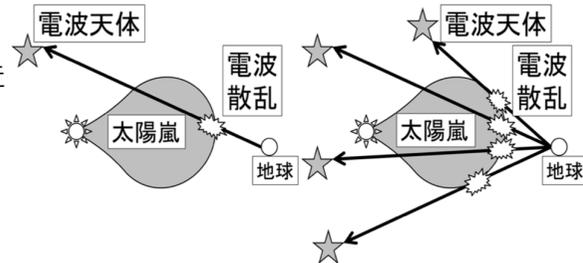


図2 従来の装置による1方向だけの太陽嵐観測（左）と、本研究で開発する装置を用いて同時に多方向の太陽嵐を観測するイメージ（右）

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●太陽嵐の3次元構造の解明

本研究ではテニスコート6面分の広さにアンテナを並べた視野の広い2次元アレイアンテナを開発する。このアレイアンテナの信号をデジタル化し、アンテナの視野内に入る8天体を同時に追尾観測する。太陽嵐が通過すると、その進行方向に沿って、異なる8つの断面の観測ができる。太陽嵐の散乱現象では、散乱の振幅から太陽嵐の密度が、散乱のスペクトルから太陽嵐の速度が、それぞれ導出できる。導出された物理量は視線方向の積分量だが、異なる8つの断面でデータが取得できるので、医療機器で用いられるCTスキャンと同じ原理で、3次元構造を復元することができる。

●リアルタイムデータ同化シミュレーションによる実用的宇宙天気予報と宇宙防災の実現

本研究で得られた太陽嵐の観測データをデータ同化磁気流体シミュレーションに取り込む。このシミュレーションでは、太陽表面付近の観測データをもとに初期パラメータの異なる多数の太陽嵐シミュレーションが駆動される。これらのシミュレーション結果をデータ同化の手法を用いて観測結果と比較し、観測結果を最も再現できる太陽嵐のパラメータを見つけることで伝搬過程の全貌が明らかになる。更に、そのパラメータのシミュレーション結果から、太陽嵐の未来の伝搬を正確に予測できる。本研究の地上電波観測データは即時利用できるため、データ同化シミュレーションを用いたリアルタイム到来予報ができる。本研究では、太陽嵐の構造の決定精度は太陽-地球間距離の1/50~1/40、 $3 \times 10^6 \sim 4 \times 10^6$  kmである。太陽嵐の典型的な伝搬速度は毎秒1000km程度なので到来時刻の誤差は3000~4000秒、つまり約1時間の精度で決定できる。本研究の実施グループは日本で採用されている太陽嵐予報システムの開発に携わっており、本研究で得られる新しい太陽嵐観測データやデータ同化シミュレーションは宇宙天気予報に即座に反映される。到来が事前に予報できれば、人工衛星・宇宙ステーションの運用計画や航空機の運行計画を調整することが可能であり、大規模な宇宙天気災害の発生を未然に防ぐことができる。また、本研究で1時間の精度で到来が予測できれば、台風の上陸に備えた計画運休のように、安全を担保しながら経済活動を行うことが宇宙開発でも実現できる。

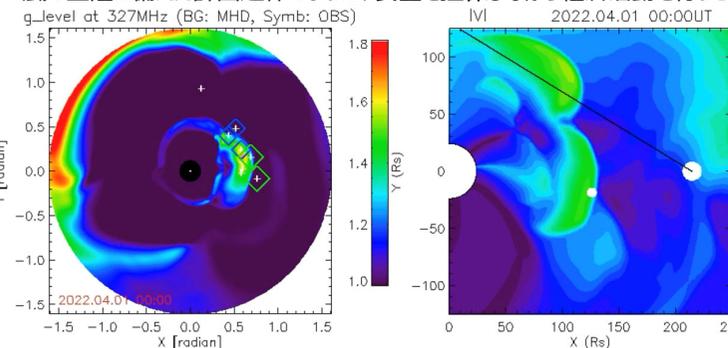


図3 太陽嵐観測データを取り込んだリアルタイム宇宙天気予報シミュレーションの例  
（左）太陽嵐のシミュレーション結果から予想されるある時刻の電波の散乱現象の分布を天球上にマッピングした図  
（右）太陽（左端の大円）から地球（右の円）の間を伝搬する太陽嵐（緑の円弧）と電波観測の視線（黒線）の関係