

R007-01

C会場：11/25 PM2 (15:30-18:15)

15:30~15:45

ミュオン計ネットワークを用いた銀河宇宙線の南北異方性の研究 (2)

#小財 正義¹⁾, 林 優希²⁾, 宗像 一起²⁾, 加藤 千尋²⁾, 片岡 龍峰³⁾, 三宅 晶子⁴⁾, 門倉 昭¹⁾

(¹ROIS-DS, (²信州大, (³極地研, (⁴岐阜高専

Study of north-south anisotropy of galactic cosmic-rays using the muon detector network (2)

#Masayoshi Kozai¹⁾, Yuki Hayashi²⁾, Kazuoki Munakata²⁾, Chihiro Kato²⁾, Ryuho Kataoka³⁾, Shoko Miyake⁴⁾, Akira Kadokura¹⁾

(¹Joint Support-Center for Data Science Research, Research Organization of Information and Systems, (²Shinshu University,

(³National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, (⁴KOSEN Gifu College

The north-south (NS) anisotropy in the galactic cosmic-ray (GCR) intensity within the 10 – 100 GeV energy range is known to reverse its polarity in response to the interplanetary magnetic field (IMF) sector. This phenomenon represents the diamagnetic drift of GCRs induced by their density gradient in the IMF. Based on this mechanism, we can estimate the density gradient and diffusion coefficient of GCRs, which are crucial for elucidating GCR propagation in the solar wind plasma. However, the GCR anisotropy is as small as only 0.1% of the intensity, and the methods for its observation and analysis are still in the developmental stage. We are developing a new analysis method for anisotropy that implements mathematical approaches such as graph theory and Bayesian estimation, and demonstrating it by analyzing the NS anisotropy.

Muon detectors, which measure muons as the main component of cosmic rays on the ground, feature high sensitivity to anisotropy but have suffered from perturbations by the atmospheric temperature variation. This research introduces a correction method using meteorological reanalysis data, allowing us to combine different-site observation data directly free from local atmospheric effects.

To optimize the combination of directional channels in network observations for the NS anisotropy analysis, we introduce the general graph matching of graph theory. Furthermore, while traditional methods supposed an analytical function such as a power-law rigidity spectrum to derive space anisotropy from ground-based observations, this study employs Bayesian estimation with the Gaussian process as a prior probability distribution. It allows for deriving the rigidity spectrum of the anisotropy without assuming an analytical function. By applying these approaches to observation data over two solar cycles by Nagoya and Hobart muon detectors, we reveal year-to-year variations in the GCR density gradient, diffusion coefficient, and their rigidity dependencies.

10~100 GeV 領域の銀河宇宙線強度に現れる南北異方性は、惑星間空間磁場のセクター構造に伴い、南北極性を反転させることが知られている。これは宇宙線の密度勾配に起因する反磁性ドリフト現象を示しており、その解析により、太陽風プラズマ中の宇宙線伝搬を解明する上で重要な宇宙線の密度勾配や拡散係数を推定することができる。しかし異方性は宇宙線強度に対して 0.1% 程度の微量であり、その観測・解析手法は未だ発展途上である。本研究では、グラフ理論やベイズ推定などの数理アプローチを積極的に導入した新たな異方性解析手法を開発し、上記の南北異方性を解析することでその実証を進めている。

ミュオン計は地上での宇宙線主成分であるミュオンを計測し、異方性への高い感度を特長とするが、気温高度分布の影響を受ける事が欠点とされていた。本研究では近年実用化が進みつつある気象再解析データを用いた補正法を導入する。それにより、ローカルな大気効果の影響を受けずに複数地点の観測データを直接結合することができる。ネットワーク観測の各方向チャンネルの組み合わせを南北異方性解析へ最適化するため、グラフ理論の general graph matching アルゴリズムを導入する。さらに、従来手法では地上観測データから宇宙空間の異方性を推定する際に、べき乗則などの解析的関数に従う rigidity スペクトルを仮定していた。それに対し、本研究ではガウス過程を事前分布としたベイズ推定を導入することで、解析的関数を仮定せずとも異方性の rigidity スペクトルを推定できることを示す。名古屋とホバートでの 2 太陽活動周期にわたる連続観測へこれらの解析を適用し南北異方性を求めることで、宇宙線の密度勾配と拡散係数、及びそれらの rigidity 依存性の年々変動を明らかにする。

R007-02

C 会場 : 11/25 PM2 (15:30-18:15)

15:45~16:00

#宗像 一起¹⁾, 林 優希¹⁾, 加藤 千尋¹⁾, 小財 正義²⁾, 片岡 龍峰³⁾, 門倉 昭⁴⁾, 三宅 晶子⁵⁾

(¹⁾ 信州大・理, (²⁾ PEDSC/ROIS-DS, (³⁾ 極地研, (⁴⁾ ROIS-DS/極地研, (⁵⁾ 岐阜高専

Global analysis of the cosmic-ray rigidity spectrum during extended Forbush decreases and its implication

#Kazuoki Munakata¹⁾, Yuki Hayashi¹⁾, Chihiro Kato¹⁾, Masayoshi Kozai²⁾, Ryuho Kataoka³⁾, Akira Kadokura⁴⁾, Shoko Miyake⁵⁾

(¹⁾ Faculty of Science, Shinshu University, (²⁾ PEDSC/ROIS-DS, (³⁾ National Institute of Polar Research, (⁴⁾ ROIS-DS/National Institute of Polar Research, (⁵⁾ KOSEN Gifu College

We present the global analysis of two extended decreases of the galactic cosmic ray intensity observed by world-wide networks of ground-based detectors in 2012. This analysis is capable of separately deriving the cosmic ray density (or omnidirectional intensity) and anisotropy each as a function of time and rigidity. A simple diffusion model along the spiral field line between Earth and a cosmic-ray barrier indicates the long duration of these events resulting from about 190 degree eastern extension of a barrier such as an IP-shock followed by the sheath region and/or the corotating interaction region (CIR). It is suggested that the coronal mass ejection merging and compressing the preexisting CIR at its flank can produce such the extended barrier. The derived rigidity spectra of the density and anisotropy both vary in time during each event period. In particular we find that the temporal feature of the “phantom Forbush decrease” reported in an analyzed period is dependent on rigidity, looking quite different at different rigidities. From these rigidity spectra of the density and anisotropy, we derive the rigidity spectrum of the average parallel mean-free-path of pitch angle scattering along the spiral field line and infer the power spectrum of the magnetic fluctuation and its temporal variation. Possible physical cause of the strong rigidity dependence of the “phantom Forbush decrease” is also discussed. These results demonstrate the high-energy cosmic rays observed at Earth responding to remote space weather.

R007-03

C会場：11/25 PM2 (15:30-18:15)

16:00~16:15

フォーブッシュ減少の多点比較で迫る 2022/3 の ICME の時空間発展に関する研究

#木下 岳¹⁾, 吉岡 和夫²⁾, 村上 豪³⁾

(¹⁾ 東大地惑, (²⁾ 東大・新領域, (³⁾ ISAS/JAXA

Study of the spatio-temporal evolution of the ICME in 2022/3, approached by the multi-point observation of Forbush Decreases

#Gaku Kinoshita¹⁾, Kazuo Yoshioka²⁾, Go Murakami³⁾

(¹Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, (²Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo., (³Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency

The large gravitational potential difference between the Sun and Earth and the harsh environment near the Sun have made it challenging to deploy spacecraft into the inner solar system. Consequently, a few multi-point in-situ observations have been necessary to track Interplanetary Coronal Mass Ejection (ICME) structure and magnetic field changes. However, recent advancements in orbital engineering have allowed multiple spacecraft to be deployed in the inner heliosphere simultaneously, providing valuable opportunities to study solar ejecta evolution (Hadid et al., 2021).

When an ICME passes through a spacecraft, it causes a "Forbush Decrease (FD)" (Forbush, 1937), which ICME shields the background galactic cosmic rays. The FD can be observed with simple particle detectors, and its amplitude and recovery time provide crucial information about ICMEs. However, most of the previous FD studies have relied on terrestrial neutron monitors (JLF von Forstner et al., 2021), so FDs acquired by spacecraft are essential for broad comparison. This study aims to infer ICME properties from by investigating the correspondence between FD multipoint observations and transient ICME structure.

We focus on multipoint ICME observations by BepiColombo, Solar Orbiter, and Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) from March 10-16, 2022. BepiColombo and Solar Orbiter were located at nearly the same solar distance but about 40 degrees apart in azimuth. At the same time, LRO and Solar Orbiter were almost radially aligned and 0.6 AU apart, making them ideal for studying the large-scale structure of a single ICME. Using high-energy particle observation data, we extracted FD with the calibration methods (e.g., Kinoshita et al., submitted to JGR). We compared it with in-situ magnetic field, particle density, and spacecraft positions in the ICME model. We succeeded in observing the distribution of magnetic cloud and shock sheath in the azimuthal direction of the ICME and the different contributions of each structure to the FD profile.

With the solar activity peak predicted for 2025, multipoint observation data are accumulating. By leveraging FD observation's low entry barrier and applying this study's method to other events, we aim to collect statistically significant FD comparisons to understand ICME propagation and improve arrival predictions.

太陽-地球間の大きな重力ポテンシャル差などが原因で太陽系内部への探査機投入は難しい。よってこれまで惑星間空間コロナ質量放出物 (ICME) の伝搬中の構造や磁場強度変化の追跡に必要な、多点での直接観測例が不足していた。しかし近年、軌道工学の発展などによって Parker Solar Probe、Solar Orbiter、BepiColombo など複数の探査機が内部太陽圏に同時期に展開中で、太陽噴出物の動径・方位角方向の進化に迫る絶好機が訪れている。

ICME が探査機周辺を通過する際に、その Shock Sheath と Magnetic Cloud によってバックグラウンドの銀河宇宙線を遮蔽する "Forbush Decrease (FD)" という現象を起こす (Forbush, 1937)。FD は簡易な粒子観測機さえあれば検出できる観測への参入障壁が低い現象ながらも、その振幅、回復時定数は通過する ICME 構造の重要な手掛かりとなる。しかしこれまでの FD 研究は地球の中性子モニタによるものが主流で、深宇宙探査機による広範囲の FD 比較例はまだ少ない。そこで探査機による多点観測データを用いて ICME 構造と FD の対応関係を明らかにし、FD データから ICME 構造を推測する手法を確立したい。

本研究では 2022/3/10-16 に行われた BepiColombo、Solar Orbiter、Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) による ICME 多点観測のデータを扱う。BepiColombo と Solar Orbiter は太陽からほぼ等距離で方位角方向に 40 度ほど異なる場所に位置しており、一方で LRO と Solar Orbiter は動径方向に 0.6 AU 離れてほぼ直線的に並んでいるため、単一の ICME の大規模構造に迫るために最適である。そこで各探査機の高エネルギー粒子観測器データから本研究で確立した較正手法 (e.g., Kinoshita et al., submitted to JGR) などを用いて FD を抽出した。取り出した FD データを磁場や低エネルギー粒子密度のその場観測データ、及び ICME モデル上の探査機の位置関係と合わせ比較した。その結果、Shock sheath-Magnetic Cloud の構造的な分布やそれぞれの FD 振幅寄与率の動径方向の依存性が明らかになった。

来る 2025 年に太陽活動周期のピークが到来すると予測されており、多点観測データもそれに合わせて蓄積している。FD 観測の参入障壁の低さを活かし、本研究の手法を他イベントや他探査機にも適用して統計的に有意な FD 比較例を蓄積できれば、ICME の伝搬過程の解明と到達予測に貢献できるはずである。

R007-04

C会場：11/25 PM2 (15:30-18:15)

16:15~16:30

膨張する太陽風磁気ロープに適用可能な Grad-Shafranov 方程式による新方式の解析法

#丸橋 克英¹⁾, 塩田 大幸¹⁾, 久保 勇樹¹⁾, 長谷川 洋²⁾, 徳丸 宗利³⁾, Al-Haddad Nada⁴⁾

(¹⁾ 情報通信研究機構, (²⁾ 宇宙科学研究所, (³⁾ 名古屋大学, (⁴⁾ ニューハンプシャー大学

A New Scheme of GS Equation-Based Analysis for Expanding Interplanetary Flux Ropes

#Katsuhide Marubashi¹⁾, Daikou Shiota¹⁾, Yuki Kubo¹⁾, Hiroshi Hasegawa²⁾, Munetoshi Tokumaru³⁾, Nada Al-Haddad⁴⁾

(¹⁾National Institute of Information and Communications Technology, (²⁾Institute of Space and Astronautical Science,

(³⁾Nagoya University, (⁴⁾University of New Hampshire

This is an attempt to extend the applicability of an analysis method of interplanetary magnetic flux ropes (IFRs) based on Grad-Shafranov (GS) equation so that the IFR structure can be reconstructed for the cases of expanding IFRs. The point is to estimate the expansion rate of the observed IFR, and to perform the GS reconstruction procedures after eliminating the effects of expansion from the observational data. An example of analysis with this new scheme is shown in the Figure. The analyzed IFR is the 15 July 2000 event. The observational data exhibits strong anti-symmetric behaviors in the magnetic field and velocity variations. Our analysis gives the expansion rate of 1/23 (the size becomes two times in 23 hours). With this expansion in mind, the structure was calculated for the time of the first contact of the spacecraft with this IFR. The left figure indicates that the Pt (pressure) vs A (vector potential) relation in the inbound pass and that in the outbound pass coincides with each other. The right figure shows the distribution of Bz (magnetic field component parallel to the axis) in the cross-sectional plane. A very important point is that the structure itself is symmetric at the time of the first contact (actually the symmetry is maintained afterwards), while the observational data shows a strong asymmetry.

Grad-Shafranov 方程式に基づく太陽風磁気ロープの構造決定法 (GS 法) を、膨張する磁気ロープに適用可能にする方式を開発した。GS 法では磁気ロープの断面形状が解析の結果として算出されるという利点がある一方、観測される磁場の時間変化は空間構造を観測しているとする強い仮定がされている。つまり、太陽風磁気ロープの構造は時間変化しないものとする強い制約がある。これまでの研究によれば、衛星が磁気ロープを通過するときに観測する磁場強度の減少、太陽風スピードの減速は、磁気ロープが膨張している証拠と理解されている。我々は 2022 年ごろから、磁気ロープの観測データを解析して、膨張を評価し、その効果を差し引いた上で GS 法による解析を実行することにより、各瞬間の構造が計算できることを示してきた。今回は、2000 年 7 月 15 日から 16 日にかけて地球を通過した太陽風磁気ロープに対する解析結果を報告する。このイベントの衛星観測データは非常に大きな非対称性を示すもので、膨張率は 1/23 (23 時間で 2 倍のサイズになる) と評価された。この膨張率を考慮して、磁気ロープが衛星に到達した時刻の構造を求めた結果を図に示す。左図は衛星が磁気ロープに侵入していく (inbound) と外向きに動く (outbound) 部分で、同一の Pt-A 関係が得られたことを示し、右図は構造自身がこの瞬間に (実際はその後も) 対称的であることを示している。

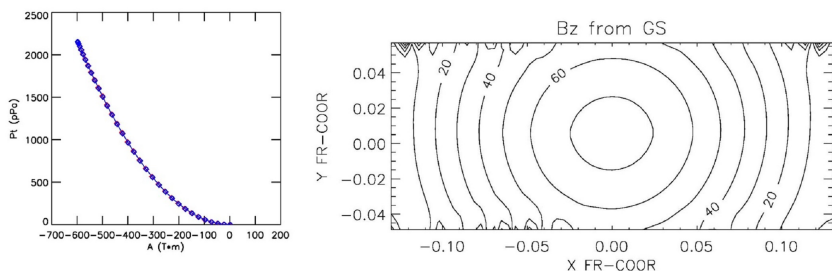


Figure. (Left): Pt (pressure) vs A (vector potential) obtained for the 15-July-2000 flux rope with the best fitted axis direction. Pt-A in the inbound and outbound portions of the spacecraft pass are completely coincident.

Figure. (Right): Magnetic field Bz (axial component) distribution in the cross-sectional plane.

R007-05

C会場：11/25 PM2 (15:30-18:15)

16:30~16:45

次世代太陽風観測装置用のフェーズドアレイアンテナ系の開発

#加賀尾 勇典¹⁾, 岩井 一正¹⁾, 藤木 謙一¹⁾, 竹原 大智¹⁾, 渡部 温¹⁾

¹⁾ISEE

Development of the phased array antenna system for next generation solar wind observation system

#YUSUKE KAGAO¹⁾, Kazumasa Iwai¹⁾, Ken'ichi Fujiki¹⁾, Daichi Takehara¹⁾, Haruto Watanabe¹⁾

¹⁾Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

A radio wave of astronomical object can be scattered by plasma disturbances in solar wind flowing through interplanetary space. This phenomenon is called interplanetary scintillation (IPS). Nagoya University has analyzed solar wind and coronal mass ejections (CMEs) by observing IPS of astronomical radio sources at an observation frequency of 327 ± 10 MHz. Large radio telescopes uniquely developed by the university and installed at three locations in Japan. The obtained data can predict the arrival of solar wind and CMEs to the earth. Hence it is important role in forecasting space weather. In recent years, it has become clear that increasing the number of observations is necessary to provide more accurate space weather forecasts.

Therefore, we are developing a large-scale flat phased array with digital beamforming that can simultaneously synthesize up to eight beams. This observation system enables observations 10 times greater than that of existing instruments (the number of objects is 1,000). As for the antenna system concept, 1024 sets of subarrays will be laid out on a metal reflector. Its subarray consists of 16 dipole antennas arranged at half-wavelength intervals on a straight line.

In this study, we will develop a subarray that satisfies a beam size of $110^\circ \times 7^\circ$ and has impedance matching at the observed frequency. To estimate the beam size, we ran the simulation on the electromagnetic simulator HFSS. Within the simulation, a dipole antenna of the same size as the prototype dipole antenna and a metal reflector were placed at distances of 10, 20, 30, 40, and 50 cm calculate the beam size. As the result, the maximum beam size of 90° was obtained at 30 cm. Since this does not satisfy the desired beam size, modifications are needed, such as adjusting the length of the antenna elements. To investigate the effect of mutual coupling between antenna elements, we placed prototype dipole antennas 3×3 at half-wavelength intervals, measured the S11 (reflection coefficient) of the central antenna, and evaluated it in terms of power transmission loss ratio. From the experiment, it was confirmed that the power transmission loss ratio at the well-matched frequency was more than 99% for both the single element and the 3×3 arrangement, and no change was observed. But the well-matched frequency shifted to the higher frequency side by approximately 5 MHz. This shift to the high-frequency side was also confirmed by the measurement results of different array patterns. Therefore, we consider that it is essential to design antennas that take this result into account. As a perspective, we plan to conduct similar experiments with a modified antenna that is better matched at 327 MHz and evaluate its power transmission loss rate.

遠方に存在する天体の電波が、惑星間空間を流れる太陽風中のプラズマによって散乱される現象を惑星間空間シンチレーション (IPS) と呼ぶ。名古屋大学では、独自に開発した大型電波望遠鏡を国内の3か所に設置し、観測周波数 327 ± 10 MHzにおいて、天体電波源のIPSを観測することで太陽風やコロナ質量放出 (CME) の解析に取り組んできた。得られたデータは、太陽風やCMEの地球到来予測に活用することができ、宇宙天気を予測するのに重要な役割を担っている。近年では、より精度の高い宇宙天気予報を行うために1日に観測可能な天体数を増やすことが必要であるとわかってきた。そこで、既存装置の約10倍の観測量 (1日に約1000天体) を実現するべく、最大8ビームを同時に合成できるデジタルビームフォーミングを搭載した、大規模な平面フェーズドアレイを開発する。アンテナ系統の構想としては、直線上に半波長間隔で配置された16本のダイポールアンテナで構成されるサブアレイを金属反射板の上に1024セット敷設する予定である。

そこで本研究では、 $110^\circ \times 7^\circ$ のビームサイズを満たし、観測周波数においてインピーダンス整合のあるサブアレイを開発する。開発に際して、ビームサイズの大きさを推定するため、電磁界シミュレータ HFSS 内に試作機ダイポールアンテナと同寸のダイポールアンテナと金属反射板を 10, 20, 30, 40, 50 cm の距離でそれぞれ配置しビームサイズを計算した。その結果、30 cm の場合にビームサイズが最大の 90° となった。これは所望のビームサイズを満たさないため、アンテナのエレメント長を調整するなどの改良が必要である。また、アンテナ素子間に生じる相互結合の影響を調査するため試作機ダイポールアンテナを半波長間隔で 3×3 に配置し、中央に配置したアンテナの S11 (反射係数) を測定し電力伝送損失率で評価した。実験から、整合のとれた周波数の電力伝送損失率は単一素子と 3×3 配列時の両方で 99% 以上であり変化は見られなかったが、整合のとれた周波数が約 5 MHz だけ高周波側へ移動することが確認された。この高周波側への移動は、異なる配列パターンの測定結果からも確認されている。そのため、この結果を考慮したアンテナ設計が必要不可欠であると考えられる。展望として、観測周波数 327 MHz でより整合のとれた改良アンテナで同様の実験を行い、その電力伝送損失率の評価を行う予定である。

R007-06

C会場：11/25 PM2 (15:30-18:15)

16:45~17:00

次世代太陽風観測装置用アナログ信号受信系の開発

#渡部 温¹⁾, 岩井 一正¹⁾, 藤木 謙一¹⁾, 加賀尾 勇典¹⁾, 竹原 大智¹⁾

¹⁾名古屋大学 宇宙地球環境研究所

Development of the Analog Signal Receiver System for the Next-generation Solar Wind Observation System

#Haruto Watanabe¹⁾, Kazumasa Iwai¹⁾, Ken'ichi Fujiki¹⁾, Yusuke Kagao¹⁾, Daichi Takehara¹⁾

¹⁾Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

The solar system is filled with solar wind, which is a supersonic plasma flow blowing from the Sun. The solar wind can be observed by using interplanetary spatial scintillation, a phenomenon in which the solar wind plasma along the line of sight scatters radio waves from radio sources. We have observed the interplanetary scintillation with a radio observation system including a 4,000 m² radio telescope at a frequency of 327 MHz, and have analyzed the solar wind. We are now developing a next-generation solar wind observation system equipped with 2D phased array and digital beamformer systems. The next generation observation system will have the capability to generate solar wind velocity and density data approximately 10 times greater than the existing system and be expected to improve an accuracy of the space weather forecasting systems.

In this study, we are developing an analog receiver system for the next-generation observation system. The objective is to achieve high gain and noise performance for a sub-array consisting of 16 dipole antennas, assuming that the observation target is a weak radio source of 1 Jy or less. The three required functions of the receiver system are: 1.) combining the received signals from the 16 dipole antennas, 2.) amplifying the combined signal to the minimum required power by the digital backend, and 3.) bandpass filtering in the required frequency band.

We have made a level diagram of the receiver chain and studied the gain and noise figure of the entire receiver system. For the input noise, we have estimated the antenna noise temperature by convolving the sky model “pyGDSM-GSM2016” with the antenna pattern calculated by the electromagnetic simulator HFSS. For the signal power combiner, we have developed a 16-port combiner that can combine 16 signals at once with an input loss of 0.51 dB, and have evaluated its performance.

From the level diagram including the results of these evaluation measurements and simulations, we have determined the specifications for an amplification system. It consists of two stages: a low-noise amplifier with 30 dB gain and 0.8 dB noise figure, and an amplifier with 40 dB gain. It was also found that the coaxial cable between the antenna and the combiner had a large insertion loss of 1.32 dB. Replacing this cable with a 0.3 dB low-noise cable is expected to decrease the system noise temperature by 70 K or less. These specifications will achieve a gain performance that meets the minimum power requirement of the digital backend and a noise performance that can receive 1 Jy or less radio signals. As a perspective, we plan to prepare a prototype amplification system that meets the specifications and perform evaluation measurements of the gain and noise figure for the entire receiver system.

太陽系は太陽から吹き出す超音速のプラズマ流である太陽風で満たされている。太陽風の観測手法として、太陽風プラズマが観測視線の背景にある電波天体の電波を散乱する現象（惑星間空間シンチレーション）を利用できる。これまで我々は、観測周波数 327 MHz、物理開口面積は最大でおよそ 4,000 m² の大型電波望遠鏡群を用いて惑星間空間シンチレーションを観測し、太陽風の解析を行ってきた。そして現在、平面フェーズドアレイ・デジタルビームフォーマの技術要素を搭載した次世代太陽風観測装置の開発が進められている。次世代観測装置は既存の装置に比べて約 10 倍の太陽風速度・密度データを創出する性能で構想しており、宇宙天気予報システムとの融合により予報の高精度化が期待される。

本研究では、次世代観測装置のアナログ信号受信系の開発を行なっている。ダイポールアンテナ 16 本のアレイ化で構成されるサブアレイに対して、観測対象 1 Jy 以下の微弱な電波天体を想定し、高い利得性能・雑音性能を実現することが目的である。受信系に要求される動作機能は 3 点で、1.) 16 本のダイポールアンテナの受信信号合成、2.) デジタルバックエンドの最低要求電力への増幅、3.) 必要周波数帯域のバンドパスフィルタである。

これまで、受信機チェーンのレベルダイアグラムを作成し、受信系全体のゲイン・雑音指数の検討を行なってきた。入力雑音には、スカイモデル “pyGDSM-GSM2016” と、電磁界シミュレータ HFSS で計算を行なったアンテナパターンとの畳み込みによるアンテナ雑音温度を用意した。また、合成系には、16 本の信号を一度に合成可能、入力損失を 0.51 dB に抑えた 16 ポート合成器を用意した。

この評価測定やシミュレーションの結果を含むレベルダイアグラムから、現段階では、ゲイン 30 dB、雑音指数 0.8 dB の低ノイズアンプと、ゲイン 40 dB のアンプの 2 段で構成される増幅系の仕様を策定した。また、アンテナと合成系を繋ぐ同軸ケーブルの挿入損失が 1.32 dB と非常に大きいことが判明した。このケーブルを挿入損失 0.3 dB の低ノイズケーブルに置き換えることで、システム雑音温度を 70 K 以上低減する改善が見込める。これら仕様によれば、デジタルバックエンドの最低要求電力を満たす利得性能と、電波強度 1 Jy の天体を受信することができる雑音性能を達成できると考えられる。展望として、仕様を満たす増幅系プロトタイプを準備し、受信機チェーン全体に対するゲインと雑音指数の評価測定を実施する予定である。

R007-07

C会場：11/25 PM2 (15:30-18:15)

17:00~17:15

次世代太陽風観測装置用デジタルマルチビームフォーマの開発

#竹原 大智¹⁾, 岩井 一正¹⁾, 藤木 謙一¹⁾

¹⁾名古屋大学 宇宙地球環境研究所

Development of a digital multi-beamformer for a next-generation solar wind observation system

#Daichi TAKEHARA¹⁾, Kazumasa IWA¹⁾, Ken'ichi FUJIKI¹⁾

¹⁾Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

Interplanetary scintillation (IPS) is a radio scattering phenomenon generated by the disturbances in the solar wind. Institute for Space – Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University has detected disturbances of the solar wind efficiently by using IPS observation system composed of 3 cylindrical parabolic antennas at 327 MHz. ISEE has been developing a next generation solar wind observation system (ngSW) which can generate approximately 10 times more solar wind speed data compared to the conventional observation systems. The ngSW is composed of 2D flat phased-array system, and installing digital multi beam forming devices which has 4 beam and 8 beam mode. This digital device has 1,024 analog inputs, and digitize input signals with 12 bits. As a phase-1 project, a 64 channel digital backend (64 ch system), which is part of this system, has already been developed.

In this study evaluation tests of the 64 ch system were executed in the laboratory. We used a white noise with 10 MHz bandwidth as a test signal. In this evaluation tests, the dynamic range, the digital filter characteristics, the grating lobes by numerically changing the antenna configuration and spacing, and the Allan variance were measured. The results show that dynamic range is about 60 dB. This is about 83% of the theoretical value of 12 bit ADC which is 72 dB. On the software side, grating lobes were reconstructed as expected, and this mean that the program for beamforming implemented on the FPGA works appropriately. In the test of the digital filter, the results show that the side lobe level of the 8 beam approximately 20 dB higher than that of the 4 beam mode. In the Allan Variance measurement, different behaviors were observed in each beam mode. The duration of the Allan variance for white noise in the 8 beam was approximately 448 seconds, whereas in the 4 beam it was approximately 110 seconds.

We found several issues to be overcome such as the instability of the AD conversion module and connection between digital device and control PC. There is a large variation in the packet drop rate. To ensure stable operation of the ngSW, it would be suggested that the operational maintainability is dramatically improved by implementing an AI that detects internal abnormalities from the output data.

惑星間空間シンチレーション (IPS) は、太陽風の擾乱によって発生する電波散乱現象である。名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) では、3 局のシリンドリカルパラボラアンテナから構成される IPS 観測システムを用いて、327MHz 帯で太陽風の擾乱を効率よく検出してきた。ISEE では、従来の観測システムに比べて約 10 倍の太陽風速データを取得できる次世代太陽風観測システム (ngSW) の開発を進めている。ngSW はマルチビームシステムを搭載し、4 ビームと 8 ビームが選択可能な 2 次元デジタルフェイズドアレイである。このデジタル装置は 1024 個のアナログ入力を持ち、入力信号を 12 ビットでデジタル化する。Phase-1 プロジェクトとして、本システムを構成する 64 チャンネルデジタルバックエンド (64ch 系) を開発済みである。

本研究では、段階的に拡張可能な大規模フェイズドアレイを実現するための要素技術を獲得することと、64ch 系の評価試験の結果を基に量産に向けた改良を行うため、疑似信号として白色雑音を用いて、実験室にて 64ch 系の評価試験を行った。評価試験では、ダイナミックレンジ測定、デジタルフィルタの性能測定、アンテナの配置と間隔を数値的に変更してのグレーティングローブ測定、アラン分散測定を行った。評価試験の結果から、ダイナミックレンジは 12bit の ADC の理論値 72dB の 83% に当たる 60dB 以上あることが分かった。ソフト面では、想定通りのグレーティングローブが確認され、実装したプログラムに不具合がないことが確認された。デジタルフィルタの性能は 8 ビームモードの方が 4 ビームモードに比べ、サイドローブレベルが約 20dB 高いことが分かった。8 ビームモードのアラン分散は時間スケールが約 450 秒で最小となったのに対し、4 ビームモードでは約 110 秒で最小となった。

課題として、AD 変換を行うモジュールの動作不安定性や制御用 PC との接続不安定性、パケット損失の発生率に大きなばらつきがあることも判明した。システムを安定して動作させるために、出力されたデータから内部の異常を検出する AI を実装することで運用保守性を劇的に改善することを検討している。

R007-08

C会場：11/25 PM2 (15:30-18:15)

17:15~17:30

活動領域の端で観測されるプラズマ上昇流と太陽風の関係

#森島 啓太¹⁾, 岩井 一正¹⁾, 藤木 謙一¹⁾

(¹⁾ 名大 ISEE

Relationship between the plasma upflow observed at the edge of the active region and the solar wind

#Keita Morishima¹⁾, Kazumasa Iwai¹⁾, Ken'ichi Fujiki¹⁾

(¹⁾Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

Solar wind is a supersonic plasma flow blowing from the Sun and is basically classified into the fast solar wind (>500 km/s) and the slow solar wind (<500 km/s). The main source region of the fast solar wind is relatively well understood as coronal holes in the polar regions. On the other hand, the source region of the slow solar wind has not been fully understood (e.g., L. Abbo et al., 2016). From previous studies, plasma upflows (upflows) observed at the edge of active region have been considered as one of the possible candidates of the source region of the slow solar wind. However, there are only a few cases in which the upflows have been identified as the source region of the slow solar wind based on in situ observations (e.g., D. Baker et al., 2023). The acceleration mechanism of the solar wind is also not fully understood. (e.g., S.R. Cranmer et al., 2017). Therefore, in this study, the following analyses were conducted to 1) verify whether upflows can be a source region of the slow solar wind and 2) understand the acceleration mechanism of the solar wind connected to the upflows.

For objective 1, we analyzed 50 data sets consisting of observations by the Extreme Ultraviolet Imaging Spectrometer (EIS) onboard the Hinode satellite, the Potential Field Source Surface (PFSS) model, and interplanetary scintillation (IPS) observations at 327 MHz by ISEE, Nagoya University. We extracted upflows using Doppler velocities calculated from Fe XIII (202.04 Å) emission lines. The analysis suggests that 32/50 upflows were connected to the interplanetary space via magnetic field lines calculated by the PFSS model. Furthermore, 24/32 of these upflows were found to be connected to the slow solar wind. This result suggests that some of the upflows could be the source region of the slow solar wind.

For objective 2, we compared the solar wind velocity model (Suzuki, 2006), which considers Alfvén wave dissipation, with the velocity of the solar wind connected to the upflows. Suzuki, 2006 suggested that for solar winds originating from coronal holes, the solar wind speeds obtained from IPS observations have a dependence on B/f and are generally within the range given by the parameters of a typical corona. Where B is the magnitude of the photospheric magnetic field and f is the expansion factor of the magnetic field lines. Therefore, we investigate the dependence of the solar wind speeds connected to the upflows on B/f . The result of our analysis suggests that the solar wind connected to the upflows were classified into those with a dependence on B/f (8/32) and those with a dependence completely different from that of the model (24/32). Dependencies that are quite different from the model suggest that the solar wind acceleration mechanism may not be dominated by the Alfvén wave or by B/f . Therefore, we focused on the non-thermal velocities obtained from EIS observations to investigate the difference between the two. Here, non-thermal velocities are due to waves, turbulence, etc. on a spatio-temporal scale that cannot be resolved by observation. We compared the non-thermal velocities calculated from Fe XIII (202.04 Å) emission line. The analysis did not suggest any significant differences between the two. These results suggest that the solar wind connected to the upflows should be considered as acceleration mechanisms other than Alfvén wave dissipation.

太陽風は太陽から吹き出す超音速のプラズマ流であり、高速太陽風 (>500 km/s) と低速太陽風 (<500 km/s) に大別される。高速太陽風の主な流源は極域のコロナホールであるとして比較的理解が進んでいる一方で、低速太陽風の流源は未だに解明されていない (e.g., L. Abbo et al., 2016)。先行研究から、活動領域の端で観測されるプラズマの上昇流 (upflow) が低速太陽風の流源の一つとして有力視されているが、その場観測から upflow が低速太陽風の流源として特定された例は限られている (e.g., Baker et al., 2023)。また、太陽風の加速機構も未だに理解されていない (e.g., R. Cranmer et al., 2017)。そこで本研究では、1) upflow が低速太陽風の流源となり得るかを検証すること、2) upflow を流源とする太陽風の加速機構を理解することを目的として以下の解析を行った。

まず目的1について、Hinode衛星に搭載されている極端紫外線撮像分光装置 (EIS) による観測、ポテンシャル磁場流源面 (PFSS) モデル、および名古屋大学宇宙地球環境研究所による 327 MHz での惑星間空間シンチレーション (IPS) 観測から成る計 50 のデータセットを解析した。我々は、Fe XIII(202.04 Å) 輝線から計算されるドップラー速度を用いて upflow を抽出した。解析の結果、PFSS モデルで計算された磁力線では 32/50 の upflow が惑星間空間へ接続していた。さらに、この中で 24/32 の upflow が低速太陽風へ接続することが明らかとなった。この結果は、一部の upflow が低速太陽風の流源になり得ることを示唆している。

続いて目的2について、Alfvén波の散逸を考慮した太陽風速度モデル (Suzuki, 2006) と、upflow を流源とする太陽風の速度を比較した。Suzuki, 2006 ではコロナホールを流源とする太陽風について、IPS 観測で得られる太陽風速度が B/f に対して依存性を持ち、典型的なコロナのパラメータで与えられる範囲内に概ね含まれることが示唆されている。ここで、 B は光球磁場の大きさ、 f は磁力線の拡大率である。そこで、本研究では upflow を流源とする太陽風速度の B/f に

対する依存性を調べた。解析の結果、upflow が流源と示唆された 32 の太陽風は、B / f に対して依存性をもつもの (8/32) と、モデルとは全く異なる依存性を示すもの (24/32) に分類された。モデルと全く異なる依存性を示すものは、太陽風の加速機構において Alfvén 波に支配されない可能性や B / f に支配されない可能性を示唆している。そこで、EIS の観測から得られる非熱的速度に着目し、両者の違いを調べた。ここで、非熱的速度は観測で分解不可能な時空間スケールの波動や乱流等に起因すると考えられている。我々が Fe XIII(202.04 Å) 輝線の観測から計算される非熱的速度を比較した結果、両者に有意な差異は見られなかった。以上の結果から、upflow を流源とする太陽風については Alfvén 波の散逸以外の加速機構も含めて検討する必要があると考えられる。

R007-09

C会場 : 11/25 PM2 (15:30-18:15)

17:30~17:45

アルベーン波と交換型リコネクションを取り入れた太陽風モデリング

#庄田 宗人¹⁾

¹⁾ 東大地惑

Solar wind modeling based on Alfvén waves and interchange reconnection

#Munehito Shoda¹⁾

¹⁾Department of Earth and Planetary Science, School of Science, The University of Tokyo

Observations from Parker Solar Probe (PSP) and Solar Orbiter (SolO) have significantly deepened our understanding of the solar wind. In response to these observations, numerical models of the solar wind have steadily advanced, and recently, solar wind speed predictions based on physical models have become possible. Nearly all of these practical solar wind models, despite varying degrees of accuracy, are designed based on the scenario of solar wind acceleration by Alfvén waves. However, recent PSP observations and numerical simulations have emphasized the importance of the effects of interchange reconnection, raising questions about the validity of the Alfvén wave scenario. There is a growing need for quantitative verification of which regions of the Sun can be adequately described by Alfvén wave models and what corrections are needed to incorporate the effects of interchange reconnection.

In this study, we construct a model that adds correction terms for interchange reconnection to existing Alfvén wave models and evaluated its validity. For simplicity, the effect of interchange reconnection is incorporated as heating in the corona, adopting a formulation proposed based on observations for the heating rate. We conduct a wide-ranging parameter survey and derived scaling laws for the mass-loss rate. These scaling laws not only explained solar observations well but also aligned with stellar observations. The results of this study suggest that while the effects of interchange reconnection can be neglected in regions with relatively weak coronal magnetic fields, such as coronal holes, their inclusion is essential for outflows from active regions and stellar winds from active stars.

Parker Solar Probe (PSP) や Solar Orbiter (SolO) の観測成果により我々の太陽風への理解は格段に深まってきている。それらの成果に引っ張られるように太陽風の数値モデルは着実に進化を遂げており、近年では物理モデルを用いた太陽風速度予測も行われるようになってきている。そのような実用的太陽風モデルはほぼ全て（精度に違いこそあれ）アルベーン波による太陽風加速シナリオに基づいて設計されている。しかしながら近年の PSP 観測や大規模数値シミュレーションでは交換型リコネクションの効果が重要視されており、アルベーン波シナリオの妥当性が疑問視されている。太陽のどの領域ならアルベーン波モデルで十分記述可能なか、交換型リコネクションの効果を取り入れるにはどのような補正を加えるべきなのか、その定量的検証が求められている。

そこで本研究では既存のアルベーン波モデルに対し交換型リコネクションの補正項を加えたモデルを構築し、その妥当性を検証した。簡単のため、交換型リコネクションの効果はコロナ中での加熱という形で取り入れ、加熱率は観測から提案された定式化を採用した。幅広いレンジでパラメータサーベイを行い、質量損失率に対するスケーリング則を導出した。このスケーリング則は太陽観測をよく説明するだけでなく、恒星観測とも整合的であった。本研究結果は、コロナホールのようなコロナ磁場が比較的弱い領域では交換型リコネクションの効果は無視できるが、活動領域からの放出流や活動的な星からの恒星風では交換型リコネクションの取り入れが必要不可欠であることを示唆する。

R007-10

C会場 : 11/25 PM2 (15:30-18:15)

17:45~18:00

#千葉 翔太¹⁾, 今村 剛²⁾

⁽¹⁾ISEE, ⁽²⁾ 東京大学

Radio occultation observations of the solar corona by Akatsuki spacecraft from Cycle 24 to 25

#Shota Chiba¹⁾, Takeshi Imamura²⁾

⁽¹⁾Institute for Space and Earth Environmental Research, Nagoya University, ⁽²⁾Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

The solar wind is a supersonic plasma flow streamed from the solar corona. Solar wind acceleration mainly occurs in the outer corona at heliocentric distances of about 2-10 Rs (= solar radii), where the coronal heating by magnetohydrodynamic waves and the wave-induced magnetic pressure are thought to play significant roles in the acceleration. Although evidences of Alfvén waves in the chromosphere and the lower corona have been reported from optical observations (e.g., De Pontieu+2007), reliable information of the magnetic field associated with Alfvén waves in the acceleration region is still absent. Radio occultation observations have been conducted in numerous planetary missions to explore the solar corona. In particular, they provide crucial information on the low to mid-corona, which is poorly explored by in situ and even by remote sensing techniques.

The JAXA's Venus orbiter Akatsuki has also conducted the radio occultation of the solar corona during its superior conjunctions, even though the Radio Science (RS) experiment by Akatsuki aims to determine the vertical structure of the Venus atmosphere (Imamura et al., 2011). Akatsuki's RS experiments utilized the X-band (8.4 GHz) downlink signals transmitted by the onboard Ultra Stable Oscillator (USO). Akatsuki's observations cover the acceleration region at various phases of the solar activity cycle from the solar maximum to the minimum. The Doppler data, for example, represents the irregularities of the plasma density, and Akatsuki's observations detected Quasi-periodic density fluctuations in solar winds (Miyamoto et al., 2014; Chiba et al., 2022).

Here, we summarize the results obtained from the Akatsuki's coronal observations.

R007-11

C会場 : 11/25 PM2 (15:30-18:15)

18:00~18:15

#成行 泰裕¹⁾

⁽¹⁾ 富山大・教育学系

On cross-helicity dependence of fluid particle diffusion in shear Alfvénic turbulence

#Yasuhiro Nariyuki¹⁾

⁽¹⁾ Faculty of Education, University of Toyama

It is well known that the cross-helicity of solar wind magnetohydrodynamic turbulence has radial dependence, while its influence on the other statistical characteristics of turbulence has not been fully understood. In this presentation, we discuss the diffusion of fluid particles in the synthetic shear Alfvénic turbulence by using the kinematic simulation [e.g., Kraichnan, 1970; Fung+Vassilicos, 1998]. While the mean square displacement of fluid particles just shows clear scaling laws by Taylor [Taylor, 1921; Bian+Li, 2024] in uni-directional, quasi-two dimensional limit, the existence of counter-propagating waves can affect such a characteristic of diffusion. The influence of cross-helicity and wave-number spectra on the fluid particle diffusion will be discussed in detail.

機械学習を用いた太陽圏を伝搬する銀河宇宙線の粒子軌道クラスタリング

#吉田 光太郎¹⁾, 松清 修一^{2,4)}, 大塚 史子³⁾, 羽田 亨⁴⁾

¹⁾ 九大・総理工, ²⁾ 九大・総理工, ³⁾ 九大総理工, ⁴⁾ 九大国際宇宙

Machine learning clustering of galactic cosmic ray trajectories in the heliosphere

#Kotaro Yoshida¹⁾, Shuichi Matsukiyo^{2,4)}, Fumiko Otsuka³⁾, Tohru Hada⁴⁾

¹⁾ Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University, ²⁾ Faculty of Engineering Sciences, Kyushu University, ³⁾ Department of Advanced Environmental Science and Engineering, Faculty of Engineering Sciences, ⁴⁾ Kyushu University, International Research Center for Space and Planetary Environmental Science

Galactic cosmic rays (GCRs), coming from interstellar space, propagate deep inside the heliosphere and reach the Earth. Their motion in the heliosphere becomes very complicated due to solar modulation. Our study aims to understand how the GCRs enter and reach deep inside the heliosphere at the level of particle trajectory, and to clarify the role of the heliospheric structure contributing to solar modulation.

In our research, we conduct test particle simulation using the electromagnetic field data of the steady heliosphere reproduced by global MHD simulation to investigate the behaviors of GCRs entering the heliosphere and propagating deep inside it. We analyze particle trajectories and particle statistics of GCRs with energies from ~ 10 GeV to ~ 1 TeV that reached the inner boundary defined at 50 AU from the sun. We previously reported the results of particle statistics obtained from the large-scale test particle simulations using 10 billion particles. It was found that particles with an initial Lorentz factor of $\gamma = 10$ (about 10 GeV) reach the mid-to-high latitudes of the inner boundary, while particles with $\gamma = 1000$ (about 1 TeV) are mainly distributed in the tail region of the inner boundary, causing strong anisotropy in their arrival distribution.

In order to clarify the role of the heliospheric structure, it is necessary to quantitatively evaluate the relationship between particle trajectories and particle statistics. However, the particle trajectories within the heliosphere are highly complex and difficult to extract their characteristics. Additionally, there is a need to process large trajectory datasets, making it challenging to identify the patterns of trajectory that significantly contribute to particle statistics. In this study, machine learning techniques are employed to tackle this challenge (S. Markidis., et al, 2020). Here, Principal Component Analysis and k-means clustering are applied to the trajectory datasets, enabling to cluster a large number of particle trajectories reaching the inner boundary at 50 AU. The trajectories of statistically important particles are then identified and analyzed. We report the details of the clustering method and its analysis results.

星間空間から太陽圏へ進入した銀河宇宙線は、太陽圏構造の影響により極めて複雑な運動を経験して地球まで到達する。本研究の目的は、銀河宇宙線が太陽圏へどのように進入し地球に到達するのか、粒子軌道レベルで理解し、宇宙線の太陽変調に寄与する太陽圏構造の役割を明らかにすることである。

我々の研究では、グローバル MHD 計算で再現された定常太陽圏の電磁場データを用いたテスト粒子計算を実施し、MHD 計算の内側境界 50AU に到達した 10GeV \sim 1TeV の銀河宇宙線に関して、粒子軌道と統計を調査している。昨年の本セッションでは、粒子数 100 億個の大規模テスト粒子計算を実施して得られた粒子統計の結果について報告した。初期のローレンツ因子 $\gamma = 10$ (約 10GeV) の到達粒子が内側境界の中高緯度に到達すること、 $\gamma = 1000$ (約 1 TeV) の到達粒子は主に内側境界の尾部領域に分布し、到達分布に強い異方性が生じることなどがわかっている。

太陽圏構造の役割を明らかにするためには、粒子軌道を粒子統計と紐づけて定量的に評価することが必要である。しかし、太陽圏内での粒子軌道は複雑で解析が困難、かつ大量の軌道のデータセットを取り扱う必要があるため、粒子統計に寄与する軌道を特定することは難題である。そこで機械学習の手法を用いてこの課題の解決に取り組む (S. Markidis., et al, 2020)。本手法では、軌道のデータセットに対して主成分分析と k-means 法を適用することにより、多数の粒子軌道をクラスタリングすることが可能である。本研究では到達粒子の軌道のデータセットを用いてクラスタリングを行い、粒子統計に寄与する粒子軌道を特定し解析する。本セッションでは、クラスタリング手法の詳細とその解析結果について報告する。

半世紀にわたる IPS 観測で復元した太陽風大規模構造の変遷

#藤木 謙一¹⁾, 岩井 一正¹⁾, 森島 啓太¹⁾

¹⁾ 名古屋大学宇宙地球環境研究所

Periodic Solar Wind Structure Over Half A Century

#Kenichi Fujiki¹⁾, Kazumasa Iwai¹⁾, Keita Morishima¹⁾

¹⁾Institute for Space-Earth Environmental Research

When observing distant (small angular size) radio sources, fluctuations in radio intensity occur due to radio wave scattering caused by the solar wind plasma. This phenomenon, known as interplanetary scintillation (IPS), contains information about the velocity and electron density fluctuations of the solar wind plasma, making it a valuable tool for remote sensing of the solar wind.

At Nagoya University, the construction of antennas for IPS observation began in the late 1960s, and in 1973, a multi-station IPS observation system operating at a frequency of 70 MHz (located in Toyokawa, Fuji, and Sugadaira) started regular observations. Although the observations at that time were limited to a small number of radio sources, the advantage of multi-site observations allowed for the determination of solar wind velocity. The data obtained during that period have been integrated with the data from the University of California, San Diego (UCSD), which conducted similar multi-station IPS observations, and are now available through the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) at Nagoya University.

Currently, by performing tomographic analysis of IPS observation data, we have successfully reduced the line-of-sight (LOS) integration effect, a limitation of IPS observations, and have derived the global velocity distribution of the solar wind. This analysis enables the reconstruction of the solar wind structure in quiet periods (i.e., co-rotating structures). For tomographic analysis to be effective, sufficient overlap of LOSs is necessary, and through the integration of data from Nagoya University and UCSD, we have successfully reconstructed the solar wind structure, even though it is almost confined to the northern hemisphere and limited to certain periods. Nevertheless, by plotting the long-term variation of the latitudinal solar wind structure, a clear dependence on the solar cycle was confirmed. Also, these results are smoothly connected to the results of 327 MHz IPS observations from the 1980s onwards.

In this presentation, we will report on the variations in the large-scale structure of the solar wind over the past half-century, including the newly conducted reconstruction of the solar wind structure during the 70 MHz era. Additionally, we will discuss the distribution of solar wind sources on the photosphere, which we have identified through Potential Field Source Surface (PFSS) analysis using photospheric magnetic field observations from the Kitt Peak Solar Observatory, which began in 1975.

遠方の(視直径の小さい)電波天体を観測すると、太陽風プラズマによる散乱で電波強度の変動が生じる。この現象は惑星間空間シンチレーションとよばれ、散乱源である太陽風プラズマの速度や密度擾乱の情報を含むことから、太陽風のリモートセンシングに利用されている。

名古屋大学では1960年代終盤から惑星間空間シンチレーション観測のためのアンテナの建設が始まり、1973年に観測周波数70MHzでの3地点IPS観測システム(豊川、富士、菅平)が定常観測を開始した。当時の観測は限られた少数の電波天体による観測であったが、3地点観測の利点を活かし太陽風速度の導出が行われた。当時の観測データは、同時期に3地点IPS観測を実施していたカリフォルニア大学サンディエゴ校(UCSD)のデータと統合され、名古屋大学宇宙地球環境研究所(ISEE)にて公開されている。

現在、我々は、IPS観測データのトモグラフィ解析を行うことでIPS観測の弱点であった視線積分効果を提言することに成功し、太陽風の全球的な速度分布を導出している。この解析により、静穏時の太陽風構造(つまり共回転構造)を復元することができる。トモグラフィ解析が有効に機能するためには、観測視線の十分な重なりが必要であるが、名古屋大学とUCSDデータの統合により、太陽風構造の復元に成功した。ただし、復元された領域はほぼ北半球に限定されており、復元できた時期も限られている。しかしながら、今回得られた太陽風構造から太陽周期依存性を調べたところ、緯度構造に明確な依存性が見られ、1980年代以降の327MHzでのIPS観測結果に滑らかにつながっていくことが確認された。

本発表では、今回は新たにおこなった70MHz時代の太陽風構造の復元も含めた形で太陽風の大規模構造の半世紀にわたる変化を調べたので報告する。

また同時に、1975年に開始したキットピーク太陽観測所の光球面磁場観測を用いてPotential Field Source Surface(PFSS)解析を行い、太陽風の光球面上の流源を特定したので、その分布に関してもあわせて報告する予定である。

HF 帯スペクトル観測結果に基づく太陽電波 II 型バースト発生源の移動速度の研究#金野 直人¹⁾, 加藤 雄人¹⁾, 熊本 篤志¹⁾, 岩井 一正²⁾¹⁾ 東北大・理・地球物理, ²⁾ 名大 ISEE**Motion of the source region of the type-II solar radio burst in HF frequency range**#Naoto Kinno¹⁾, Yuto Katoh¹⁾, Atsushi Kumamoto¹⁾, Kazumasa Iwai²⁾¹⁾ Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, ²⁾ Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

Coronal Mass Ejections (CMEs) are phenomena ejecting large plasma masses into interplanetary space due to eruptive activities. Type II solar radio bursts (SRB II) are non-thermal emissions generated by energetic electrons produced by shock waves in front of CMEs. Since the emission frequency of SRB II is determined by the local plasma frequency, the speed of CMEs can be estimated from the frequency drift of SRB II by referring to the coronal plasma density model. Since CNEs have a significant impact on the space environment around the Earth, accurate prediction of the speed and the height of CMEs using the frequency-time variation of SRBs is the key to preventing space disasters.

In this study, we used the HF-band monitor [15-40 MHz; Kumamoto+, 2011] operated by Tohoku Univ. at the Iitate observatory in Fukushima prefecture. We analyzed the SRB II event observed on June 13, 2022, associated with a CME observed at 03:12 UT. The fundamental and harmonic lanes appeared in the spectra from 03:25 to 03:34 UT, and the frequency drift rate changed from -7.5×10^{-3} MHz/s to -1.18×10^{-2} MHz/s around 03:29 UT. The source speed between 03:26:10 and 03:28:00 UT was estimated to be about 200 km/s from the Baumbach-Allen model [Baumbach, 1938; Allen, 1947], and about 295 km/s from the 10-fold version of that model, in good agreement with 195 km/s estimated from SOHO/LASCO C2 images (03:24-03:36 UT). On the other hand, the estimated speed using the same density models was increased to 354-522 km/s during 03:28:20-03:34:20 UT. Although the acceleration of CME could explain this result, we need to consider the acceleration mechanism capable of explaining the time scale of the change of the drift rate. Another possibility is the propagation of the CME across two different density regions. Assuming that the CME moved at a constant speed during the event, we estimated that the observed spectra could be explained by a CME moving at 247 km/s from a region whose density is the 2.82-fold Baumbach-Allen model to a region whose spatial density gradient is different from those of the adjacent region. The spatial variations of the density gradient or magnetic field structure related to the presence of a corona hole near the CME may support this hypothesis.

コロナ質量放出 (CME) は、太陽表面での活動によって大きなプラズマの塊が惑星間空間に放出される現象である。II 型太陽電波バースト (SRB II) は、CME 前面の衝撃波によって生成される高エネルギー電子によって発生する非熱的放射である。SRB II の放射周波数は局所的なプラズマ周波数によって決定されるため、コロナにおけるプラズマ密度モデルを用いることで、SRB II の周波数ドリフトから CME の速度を推定することができる。CNE は地球周辺の宇宙環境に大きな影響を与えるため、SRB の周波数時間変化を用いて CME の速度と高さを正確に予測することは、宇宙災害を防ぐ鍵となる。

本研究では、東北大学が福島県飯館村に所有する HF 帯アンテナ [15-40MHz; Kumamoto+, 2011] を用いた。2022 年 6 月 13 日 03:12UT に放出された CME に伴う SRB II イベントを解析した。03:25UT から 03:34UT にかけて基本波と高調波の放射レーンが現れ、ダイナミックスpektrルの周波数ドリフトが -7.5×10^{-3} MHz/s から -1.18×10^{-2} MHz/s に変化した。03:26:10~03:28:00UT のバースト源速度は、Baumbach-Allen (BA) モデル [Baumbach, 1938; Allen, 1947] からは 200km/s、 $10 \times BA$ からは 295km/s と推定され、SOHO/LASCO C2 画像 (03:24~03:36UT) から推定された 195km/s とよく一致した。一方、同じ密度モデルを用いた推定速度は、03:28:20-03:34:20 UT の間に 354-522 km/s に増加した。この結果は CME の加速で説明できるが、ドリフト速度の変化の時間スケールを説明できる加速メカニズムを考える必要がある。もう一つの可能性は、2つの異なる密度領域を CME が伝播することである。CME が一定の速度で進んでいたと仮定した場合、BA モデルの 2.82 倍の密度領域から密度勾配の異なる領域へと CME が 247km/s で移動するという条件で、観測された周波数ドリフトレートの変動を説明できることが示された。CME の発生領域近傍にコロナホールが存在していたことから、コロナホールに由来する密度構造または磁場構造を考慮して、この仮説の妥当性を検証する。

R007-P04

ポスター 2 : 11/25 AM1/AM2 (9:00-12:00)

太陽・惑星電波観測用広帯域フィードシステムの開発

#桑山 陽次¹⁾, 三澤 浩昭¹⁾, 土屋 史紀¹⁾, 北元²⁾, 氏原 秀樹³⁾

¹⁾ 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター, ²⁾ 東北工業大学, ³⁾ 立命館大学

Development of a wideband feed system for the solar and planetary radio telescope in Tohoku University

#Yoji Kuwayama¹⁾, Hiroaki Misawa¹⁾, Fuminori Tsuchiya¹⁾, Hajime Kita²⁾, Hideki Ujihara³⁾

¹⁾ Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, ²⁾ Tohoku Institute of Technology, ³⁾ Ritsumeikan University

Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Tohoku University has been operating the Iitate Planetary Radio Telescope (IPRT) with a physical aperture area of over 1000m² since 2001, and is now developing a new feed system to achieve higher sensitivity in a wider bandwidth. The current IPRT has a narrow-band system centered on 325 MHz (& 650 MHz: under development) for high-sensitivity observations and a broadband system targeting the 100-500 MHz band for solar radio spectrum observations independently, but the latter has an aperture efficiency of 20% or higher and a practical bandwidth of 200 MHz. However, the latter system's practical bandwidth of more than 20% aperture efficiency is less than 200MHz, which is a weak point in terms of sensitivity for observing general astronomical objects and understanding characteristics of solar radio bursts appearing with a wide bandwidth. With the recent renewal and development of large radio instruments (e.g., μ GMRT and SKA), it has become important to improve the efficiency of broadband feeds in order to further promote low-frequency VLBI observations. Therefore we have started to develop a new feed system for the 100-700 MHz band, aiming at higher efficiency by integrating feeds for high-sensitivity and broadband observations.

We have been conducted the design study using the electromagnetic field analysis software FEKO for a self-complementary 4-arm sinuous antenna as a model case (c.f. de Villiers, 2017), which has been reported as a feed for the SKA-MID band-1. Our tentative target is 60% or more aperture efficiency in the 325 & 650 MHz band, and 40% or more in the 100-700 MHz band. Considering the rectangular parabola shape of the IPRT and the ease of fabrication, we adopted pyramidal sinuous antenna. A solution with an expected aperture efficiency of more than 50% has been found for all frequency bands. On the other hand, the compatibility of the impedance characteristics with the beam characteristics that match the rectangular parabola is a next issue to be improved.

Currently, we are working on characterization of the 1/4-scale model based on actual measurements and identification of issues for practical application aiming for realization in FY2025. In this presentation, we introduce details of the design of the wideband feed system and evaluation measurements using the 1/4-scale model.

東北大学惑星プラズマ・大気研究センターでは 2001 年より物理開口面積が 1000m² 強の飯館メートル波帯電波 望遠鏡 IPRT を運用してきたが、現在、より広帯域での高感度化に向けてフィードシステムの開発を進めている。現行の IPRT の受信系は、325MHz (& 650MHz: 開発中) 中心の狭帯域高感度観測用に加えて、100-500MHz 帯をターゲットとした広帯域太陽電波スペクトル観測システムを独立して備えているが、後者では開口効率が 20% 以上の実用的な帯域幅は 200MHz に届かず、一般天体の観測や太陽電波でも広帯域に出現するバーストの出現 特性把握には、感度面で弱点があった。また、近年の大型電波観測装置の更新 (μ GMRT 等) や開発 (SKA 等) により、今後一層の展開が期待される低周波数 VLBI 観測推進に向け、広帯域フィードの高効率化は重要になってきている。そこで、当グループでは、高感度観測用と広帯域観測用フィードを統合し高効率化を目指す、新たな 100-700MHz 帯用フィードシステムの開発に着手した。これまで、SKA-MIDband-1 用フィードとしても検討報告がある (c.f. de Villiers, 2017)、自己補対形の 4 アーム sinuous アンテナをモデルケースとして、電磁界解析ソフト FEKO を用いて設計検討を行ってきた (暫定目標: 325 & 650MHz 帯で 60% 以上、全周波数帯で 40% 以上)。IPRT の長方形パラボラ形状と製作の容易さを考慮し、角錐形状の sinuous アンテナで検討を進めた結果、全周波数帯で 50% 以上の開口能率が期待される解が見い出せている。一方で、長方形パラボラの長辺と短辺それぞれに適合するビーム特性の付与とインピーダンス特性の両立が改善すべき課題となっている。現在は、2025 年度での実用化を目指し、1/4 スケールモデルを用いた実測に基づく特性評価や実用化へ向けた課題の洗い出しを進めている。講演では、設計の詳細と 1/4 スケールモデルを用いた評価計測について紹介する。

R007-P05

ポスター 2 : 11/25 AM1/AM2 (9:00-12:00)

#坪内 健¹⁾

⁽¹⁾ 電気通信大学

Polytropic characteristics around the termination shock

#Ken Tsubouchi¹⁾

⁽¹⁾The University of Electro-Communications

The magnetohydrodynamic description of the behavior of solar wind plasmas primarily assumes a polytropic nature between pressure and density. Proper evaluation of the polytropic index is crucial for understanding the thermodynamic properties of the plasma. Since the solar wind can generally be considered adiabatic as it propagates through space, a polytropic index of $5/3$ is frequently applied, such as in calculating the Rankine-Hugoniot relations for shock waves. However, this is not always evident in observations. In the outer heliosphere, the contribution of pickup ions (PUIs) to energy density becomes dominant, leading to cases where the index deviates from $5/3$. The presence of PUIs significantly affects the thermodynamic properties of the plasma in terms of additional heating due to the excitation of plasma instabilities and energy redistribution at the termination shock. We quantitatively evaluate this influence using a polytropic index derived from hybrid simulations about the termination shock in this study. We aim to verify the unique polytropic characteristics specific to the heliospheric boundary region, where particular attention is paid to its correlation with the PUI density by applying the different indices between the solar wind and PUI, as well as between the upstream and downstream.