

R007-01

Zoom meeting A : 11/1 AM1 (9:00-10:30)

09:30-09:45

## Plasma themes of the Comet Interceptor mission

#Satoshi Kasahara<sup>1)</sup>, Takanobu Amano<sup>2)</sup>, Kunihiro Keika<sup>2)</sup>, Kazuo Yoshioka<sup>3)</sup>, Yutaka Ohira<sup>1)</sup>, Ayako Matsuoka<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>The University of Tokyo, <sup>2)</sup>University of Tokyo, <sup>3)</sup>The Univ. of Tokyo, <sup>4)</sup>Kyoto University, <sup>5)</sup>JAXA

Comets are pristine small bodies and thus provide key information about the solar system evolution. Remote observations by ground observatories have characterized various comets, while in-situ observations by spacecraft have brought much more detailed information on several comets. However, the direct observations by spacecraft fly-by or rendezvous have been limited to the short-period comets, which neared the sun many times in the past and thus lost some of primitive characteristics. The Comet Interceptor mission, led by ESA, aims at a long period comet or an interstellar object. JAXA will provide an ultra-small (24 U) daughter spacecraft, whose closest approach will be less than 1,000 km, allowing the first-ever multi-spacecraft fly-by observations of a comet. Here we give an overview of the mission with an emphasis on plasma aspects. Small gravity and high production rate of comets set neutral-plasma environments that are unique in the solar system, while providing insights into plasma universe.

R007-02

Zoom meeting A : 11/1 AM1 (9:00-10:30)

09:45-10:00

## 地球磁気シースにおける温度異方性によって作られる磁気ミラー構造の Grad-Shafranov リ コンストラクション手法

#島田 稜也<sup>1)</sup>, 天野 孝伸<sup>2)</sup>, 北村 成寿<sup>3)</sup>, 長谷川 洋<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>東大, <sup>2)</sup>東大, <sup>3)</sup>東大・理・地惑, <sup>4)</sup>JAXA・宇宙研

### Grad-Shafranov Reconstruction of Magnetic Mirror Structure generated by Temperature Anisotropy in the Earth's Magnetosheath

#Ryoya Shimada<sup>1)</sup>, Takanobu Amano<sup>2)</sup>, Naritoshi Kitamura<sup>3)</sup>, Hiroshi Hasegawa<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>University of Tokyo, <sup>2)</sup>Univ. Tokyo, <sup>3)</sup>University of Tokyo, <sup>4)</sup>ISAS/JAXA

It is well known that perpendicular temperature anisotropy ( $T_{\text{perp}} > T_{\text{para}}$ ) exists particularly for ions in the Earth's magnetosheath region behind the quasi-perpendicular bow shock. The anisotropy is believed to be the origin of magnetic mirror structures and "lion roars", which are electromagnetic whistler waves propagating nearly parallel to the ambient magnetic field. The minimum-B along the magnetic field line of the mirror structure is thought of as the source of lion roars. However, in general, it is a difficult task to identify the minimum-B and the distance from it from in-situ spacecraft observations alone. In this study, we introduce the Grad-Shafranov (GS) reconstruction technique with the effect of temperature anisotropy for obtaining assumed 2-D magnetic mirror structures to investigate the property of lion roars.

The GS reconstruction is a method to reconstruct a two-dimensional, time-stationary, and magnetohydrostatic structure under the assumption of isotropic plasma pressure from one-dimensional (time-series) data obtained by in-situ spacecraft measurement. The GS reconstruction technique has been extended to include the effect of temperature anisotropy (Sonnerup et al., 2006), which can be used to reconstruct the magnetic mirror structure in the magnetosheath. However, the validity of assumptions adopted in the extended models has not been confirmed yet and applications to actual spacecraft observation are very limited at present.

For application to actual observation data, the determination of an invariant axis is necessary. For the determination, we use the Minimum Direction Derivative (MDD, Shi et al., 2005) method which requires simultaneous multispacecraft measurements. We will use the four-spacecraft MMS observation data for this purpose and try to reconstruct the magnetic mirror structures in the magnetosheath.

地球磁気圏と惑星間空間の間には bow shock と呼ばれる衝撃波面が存在しており、その下流には磁気シースと呼ばれる領域が広がっている。シース内でも特に準垂直衝撃波の下流では選択的な粒子加熱によって、特にイオンにおいて磁場に垂直方向の温度が平行方向の温度よりも大きくなる温度異方性 ( $T_{\perp} > T_{\parallel}$ ) が発達していることが知られている。この温度異方性のある領域では磁気ミラー構造が発達し、ミラーモードと呼ばれる波動が励起される。このような場の特徴的な現象には lion roars と呼ばれる高周波ホイッスラー波動がある。lion roars を解析する場合に重要になるのは、磁気ミラー構造の中心付近で磁力線に沿った磁場の大きさが最も小さくなる場所 (minimum-B) である。しかしながら観測衛星が必ずしもミラー構造の中心を通るとは限らないため、衛星観測で得られる 1 次元 (時系列) データから minimum-B の空間分布を特定することはできない。衛星の観測データから磁場構造を再現するためには Grad-Shafranov(GS) リコンストラクションという手法が必要になるが、温度異方性のある場における正しいモデルはまだ確立されていない。本研究では実際の磁気シースへの GS-リコンストラクションの適用とその妥当性を考える。

Grad-Shafranov(GS) リコンストラクションとは、2 次元・時間定常・圧力等方・磁気圧力平衡状態であるプラズマ構造を、その内部を通る衛星が観測した時系列データから再現するための解析的手段である。具体的には GS 方程式と呼ばれる微分方程式を観測データを初期値として積分していくことで実行でき、マグネトポーズの観測などに適用されている (Hau & Sonnerup, 1999)。

この GS リコンストラクションを修正しさらにいくつかの仮定を加えることで、磁気ミラー構造のような圧力異方性のある構造に対して拡張することができる。この修正は、プラズマの圧力が磁場に平行・垂直の二方向とも磁場の大きさにのみ依存するという仮定 (Teh, 2019) や、二重断熱近似 (Sonnerup et al., 2006) を用いて GS 方程式を書き直すことで実現できる。このようにして拡張した GS リコンストラクションを地球の磁気シースのように実際に異方性のある場へ適用することで、2 次元平面上で磁力線に沿った minimum-B (磁気ミラー場においてはボトル構造の中心) を特定することができる。これを利用して、観測位置と lion roars の発生源と考えられている minimum-B との距離を推定し、ホイッスラー波動の伝播に制約を与えることが可能になる。しかしながら、上記いずれの仮定についても磁気ミラー構造のリコンストラクションにおける妥当性は十分に議論されておらず、慎重な検討が必要である。

実際の観測データを用いた操作を考える場合、リコンストラクションを実行する前に対象となる構造が 2 次元であることを確認し、またその場合の不変軸を決定する必要がある。この確認のために Minimum Direction Derivative (MDD) という手法を用いる (Shi et al., 2005)。この手法は Minimum Variance Analysis (MVA) と同様にパラメータの変動が最も小さくなる方向を探すが、複数の衛星で同時に観測した磁場の値を使用することで磁場に対する不

変軸を各時間ごとに定めることができる。本研究では 4 機編隊から成る MMS 衛星の観測データを用いて磁気シースで観測された磁気ミラー構造の不変軸を決定し、そのリコンストラクションを試みる。

R007-03

Zoom meeting A : 11/1 AM1 (9:00-10:30)  
10:00-10:15

## 太陽風磁気ロープの観測される非対称構造の解析

#丸橋 克英

情報通信研究機構

### Analysis of observed asymmetric structure of interplanetary flux ropes

#Katsuhide Marubashi

NICT

Interplanetary magnetic flux ropes (IFRs) are the central part of plasma structures which are launched into the solar wind in association with coronal mass ejections. Many of them are observed as asymmetric structures by in situ measurement by spacecraft. In particular, decreases of the solar wind speed are common within IFRs, which are generally taken as evidence that IFRs are in expansion. Understanding generation and subsequent evolution of IFRs requires knowledge of precise details of those structures. The following 4 interpretations are possible to explain the asymmetric signatures which are seen in in situ observations by spacecraft: (1) IFRs are being accelerated (decelerated) during spacecraft passage. (2) IFRs are in the state of expansion (contraction). (3) IFRs are really of asymmetric structure. (4) Magnetic field lines are eroded at some part of the IFR near the surface. The cases (1) and (2) indicate that the time variations obtained by single point observations can be asymmetric even if the structure itself is spatially symmetric. Some appropriate structural model is needed to explain the observed asymmetric signature by invoking the assumption. Actually, no reliable models have proposed so far. In a sense, the case (4) is a special case of (3), and the erosion idea is becoming a popular research subject. The author has long been trying explain observed IFRs based on flux rope models of expanding force-free structure. In such studies not a few IFRs were encountered which require invoking situations (1) and (3) for interpretation. Recently, Demoulin et al. (A&A 639, A6,2020) analyzed more than 90 IFRs and showed statistical results about the asymmetric features of IFRs. Their study starts with estimation of expansion rate of IFRs from the temporal variations of the solar wind velocity within IFRs, and then proceed to estimate how the expansion affects the spacecraft observation of magnetic fields. They showed that observed magnetic field variations could be explained only for about 30 % of the cases, and concludes that some additional mechanism is needed for understanding the magnetic field variations. In my opinion, however, it is needed to analyze both velocity and magnetic field data simultaneously for estimation of the IFR expansion. Therefore, I've made up my mind that I should examine more details about the observed asymmetric behaviors of the IFRs. Our final objective is to estimate the mutual importance among (1) ? (4) in each of the observed IFRs. However, it may not be expected that the least squares fitting analysis with a model which includes all of the conditions (1) ? (4) simultaneously. The reason is that the effects of (1)-(4) are more or less similar. Thus, we first compare the fitting a result obtained by assuming one of the four condition independently with another fitting result obtained from a different condition. Then, we calculate one possible theoretical model with one of the four conditions (for example, condition (1)), and try fitting analyses with a model which take other Conditions (for example, (2) or (3) or (4)). Through such trials it is expected that we can get insight to distinguish groups of IFRs for which what conditions are most effective in each of the all observed IFRs.

太陽風磁気ロープはコロナガス噴出 (CME)によって太陽風中にとび出すプラズマの塊り (ICME)の中心をなすものである。飛翔体による直接測定では多くは非対称な構造として観測される。特に、磁気ロープ内部で速度が減少することが多いので、コロナから膨張しながら伝搬してくるものと考えられている。その構造を解析することは、コロナにおける発生からそれ以後の発展を理解するために必須である。飛翔体による観測で太陽風磁気ロープが非対称に見えることの説明として以下のようなことが考えられる。(1) 磁気ロープが減速(加速)している。(2) 磁気ロープが膨張(収縮)している。(3) 構造そのものが非対称である。(4) 磁気ロープ外縁の磁力線が部分的に剥ぎとられている。(1)と(2)は空間構造が対称であっても、飛翔体で観測される時間変化が非対称に見える場合である。(3)の空間的非対称構造で観測を説明するためには、適当な構造モデルを仮定する必要があり、いまだに試行されていない。ただし(4)は(3)のうちの特殊例であり、磁気ロープの浸食(erosion)と呼ばれ、関心を集めている。

筆者は自己相似則にしたがって膨張するフォースフリー磁気ロープモデルを用いて観測の説明を試みてきた。その中で、膨張(収縮)だけでなく、(1)、(3)を含める説明が示唆される事例に遭遇している。

最近、Demoulin et al. (A&A 639, A6, 2020)が90例以上の磁気ロープを解析して非対称性について統計結果を発表している。彼等は磁気ロープ内部の太陽風速度変化から磁気ロープの膨張率を算定し、その膨張が磁場強度にどんな影響をおよぼすかを評価している。それによれば観測される磁場強度が説明できる事例は30%程度であり、別の理由を考える必要があると結論している。筆者は、磁気ロープの膨張は速度と磁場のデータの非対称性を同時にあつかって算定すべきだと考える。そこで、観測される磁気ロープの非対称性について詳しく検討することとした。目標は、個々の磁気ロープ観測例について(1)から(4)までの効果を評価することであるが、すべての効果を同時にふくむ最小2乗法がうまく答えをだしてくれるとはあまり期待できない。なぜならば、(1)から(4)の効果はおたがいに似ていると思われるからである。そこで第1段階として、4つの効果を独立に仮定して最小2乗により観測とあわせえた結果を比較してみる。次の段階として、たとえば(1)だけを仮定した理論モデルを(2)、(3)、

(4) の仮定による最小 2 乗法で fitting をかけたらどんな結果がえられるかを調べる。このような試行により、観測事例ごとに (1) から (4) のどんな仮定が最も効果的であったかを考察する。今のところ解析は始まっていないが、(1) から (4) のもつ特徴について、いくつかはわかっている。それは飛翔体が横切って掃引していく磁束に関するものである。(1)、(3) では飛翔体が磁気ロープの内側に進む間に掃引する磁束は、外側に出ていく間に掃引する磁束と等しい。(2) では、2 つの磁束は磁場の時間変化に相当する差をもち、その補正をすれば等しくなる。(4) では非対称が本質であり、入るときと出るときの磁束は異なる。この非対称性が erosion の効果である。erosion を議論するには、非対称性が見える理由を正しく判定しなければならない。

R007-04

Zoom meeting A : 11/1 AM2 (10:45-12:30)  
10:45-11:00

### 3年間の Crab pulsar 観測における DM 探査を用いた太陽風密度構造の測定

#前田 龍哉<sup>1)</sup>, 徳丸 宗利<sup>2)</sup>, 俵 海人<sup>2)</sup>, 寺澤 敏夫<sup>3)</sup>, 岳藤 一宏<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>名大・理・宇地研, <sup>2)</sup>名大 ISEE, <sup>3)</sup>東大・宇宙線研, <sup>4)</sup>NICT 鹿島

### Measurement of solar wind density distribution using DM survey of Crab pulsar observation for 3 years (2018-2020)

#Ryuya Maeda<sup>1)</sup>, Munetoshi Tokumaru<sup>2)</sup>, Kaito Tawara<sup>2)</sup>, Toshio Terasawa<sup>3)</sup>, Kazuhiro Takafuji<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>ISEE, Nagoya Univ., <sup>2)</sup>ISEE, Nagoya Univ., <sup>3)</sup>ICRR, Univ. Tokyo, <sup>4)</sup>KSTC, NICT

We estimated the plasma density of solar wind (SW) from observations of Crab pulsar when the line-of-sight (LOS) of the pulsar approaches the sun. Crab pulsar is a neutron star that emits pulsed radiation with a period of about 33 milliseconds. This radiation is affected by intervening plasma, such as interstellar medium and SW, resulting in signal propagation delays. This delay depends on frequency, and the magnitude of frequency dispersion is called dispersion measures (DM). DM provides an integral of the plasma density on the LOS from the pulsar to the observer. The LOS of Crab pulsar approaches the sun by  $\sim 5R_{\odot}$  ( $R_{\odot}$ : solar radius) in every mid-June. Observations at this distance range are important for understanding SW acceleration. Previous observations have shown a rise in DM as the LOS of Crab pulsar approaches the sun. We have made observation of Crab pulsar using 327MHz radio telescope (SWIFT) since 2018 at Toyokawa. The observation time for a given day was usually 6 minutes, and 8 minutes when LOS approaches the sun in 2019 and 2020. Focusing on strong pulses ( $\text{SNR} > 15$ ), we determine the DM which optimize intensity height of the pulse. Based on the obtained values, we investigated the relationship between the variation of DM value and the distance from the sun. The 2019 analysis shows that the density distribution tends to increase sharply near the sun. Similar observations was made in 2020, and analysis is underway. We will present the results of DM value for 3 years including analysis results for 2020 in this meeting.

R007-05

Zoom meeting A : 11/1 AM2 (10:45-12:30)

11:00-11:15

## Orbit 1,2 の近日点付近における Parker Solar Probe 観測と惑星間空間シンチレーション観測の比較

#徳丸 宗利<sup>1)</sup>, 藤木 謙一,<sup>1)</sup> 林 啓志,<sup>1)</sup> 岩井 一正,<sup>1)</sup> 前田 龍哉,<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>名大 ISEE, <sup>2)</sup>名大・理・宇地研

## Comparison between Parker Solar Probe and interplanetary scintillation observations around perihelions of Orbit 1 and 2

#Munetoshi Tokumaru<sup>1)</sup>, Ken'ichi Fujiki<sup>1)</sup>, Keiji Hayashi<sup>1)</sup>, Kazumasa Iwai<sup>1)</sup>, Ryuya Maeda<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>ISEE, Nagoya Univ., <sup>2)</sup>ISEE, Nagoya Univ.

Where and how the solar wind is accelerated remains an open question. The region between a few and a few 10s solar radii (Rs) from the Sun is considered as the most likely distance range for the solar wind acceleration. This distance range is difficult to observe by optical methods owing to low plasma density, and inaccessible to in situ measurements owing to strong radiation from the Sun. The shortage of observational data for this range prevented from elucidating physical processes of the solar wind acceleration. The in situ mission for the unexplored region near the Sun, named the Parker Solar Probe (PSP), was launched in August 2018. The PSP orbits and approaches the Sun repeatedly, and it will eventually reach to 10 Rs (The closest distance of past in situ mission was 60 Rs by Helios spaxecraft). The PSP has already completed 5 orbits, and the closet distance was 27 Rs, as of writing this abstract. In order to observe the solar wind acceleration, the radial variation of the solar wind speed must be discriminated from the longitudinal or latitudinal variation. However, it is difficult to do it from PSP observations only. We intend to identify the radial speed variation corresponding to the solar wind acceleration accurately by comparing between PSP and interplanetary scintillation (IPS) observations of ISEE. Our IPS observations enable determination of distribution of the solar wind speed in longitude and latitude for the region where the acceleration finished. This report presents results from comparison between PSP and IPS observations for the period when PSP approached to the Sun in November 2018 and April 2019 (Orbit 1 and 2, respectively). PSP data of Orbit 1 and 2 have been open to the public. In this comparison, we assumed that the solar wind flows radially with a constant speed. Since the closest distance of Orbit 1 and 2 was 36 Rs, the effect of the solar wind acceleration is unlikely to be discernible. We note that a limited amount of IPS data were available for the analysis periods since ISEE IPS observations during winter were suspended owing to snow. In particular, IPS data corresponding to the period of the Orbit 2 closet approach were almost unavailable, and hence we used IPS data for the neighboring period. PSP observations for Orbit 1 showed that the solar wind speed changed from slow to fast ones, and IPS observations were generally consistent with this change. As for Orbit 2, both PSP and IPS observations showed that the speed was slow, but we couldn't draw a conclusion since there was a discrepancy which may be caused by the deficit of data. In this analysis, we derived variations of the solar wind density and temperature from IPS speed data by using the 1D hydrodynamic model, and compared with PSP observations. We found that derived variations of density and temperature generally agreed with PSP observations. Based on results obtained here, we will make comparison between PSP and IPS data further in order to address the effects of the solar wind acceleration and stream-stream interaction.

太陽風が、どこでどの様にして加速されるかは未だ謎として残されている。太陽風の加速領域として有力視されているのが、太陽半径(Rs)の数倍から数 10 倍の距離の領域である。この距離範囲は、低密度のため光学的な観測が難しく、強力な太陽放射のため探査機による観測が実施されていない領域であった。この観測データの乏しさが太陽風加速機構の解明を阻んできたが、2018 年 8 月に Parker Solar Probe (PSP) が打ち上げられ前人未踏の太陽近傍の直接観測が開始した。PSP は太陽を何度も周回しつつ最終的に 10Rs の距離まで到達する予定である (過去に最も太陽に接近したのは Helios が約 60Rs まで)。現在までに 5 回の太陽最接近を実施しており、最接近距離は 27Rs である。PSP 観測から太陽風加速の様子を探るには、動径方向の変化と緯度経度方向の変化を分離する必要があるが、PSP 観測のみからこれを行うのは難しい。そこで、我々は ISEE の惑星間空間シンチレーション (IPS) 観測と PSP 観測を比較することで、太陽風の加速に伴う動径方向の変化をより正確に決定しようとしている。我々の IPS 観測からは、加速が完了した領域における緯度経度方向の太陽風速度の分布が求められる。本報告では、2018 年 11 月と 2019 年 4 月に PSP が太陽に接近した時 (それぞれ Orbit 1 および 2) の公開済みデータについて、IPS 観測と比較した結果を示す。本解析では太陽風は等速度で動径方向に伝搬すると仮定し、PSP データと IPS データの比較を行った。Orbit 1,2 における PSP の最接近距離は 36Rs であるので、加速の効果はほとんど見られないはずである。また、冬期間の ISEE-IPS 観測は雪のため中断するため、解析期間における IPS データは限られていた。特に Orbit2 では、対応する時期の IPS データが殆どないので、最寄りの時期のデータを比較した。Orbit1 における PSP 観測は低速風から高速風への変化を示しており、IPS 観測でもこれに概ね一致する傾向が見られている。Orbit2 では、PSP 観測は概ね低速風を示し、IPS 観測でも同様に低速風が見られているが、データ欠損によると思われる食い違いもあるため結論はできない。本解析では、1 次元流体モデルを用いて、IPS 観測で得られた太陽風速度から温度・密度の変化を求め、

PSP 観測と比較を行っている。求められた温度・密度は PSP 観測結果と概ね一致することがわかった。これらの結果に基づいて、今後得られる PSP データについて IPS データと比較して、太陽風加速や低速風-高速風相互作用の効果を明らかにしてゆきたい。



R007-06

Zoom meeting A : 11/1 AM2 (10:45-12:30)

11:15-11:30

## Spacecraft radio scintillation observations of the solar wind acceleration region in different solar activity periods

#Shota Chiba<sup>1)</sup>, Takeshi Imamura<sup>1,2)</sup>, Munetoshi Tokumaru<sup>3)</sup>, Daikou Shiota<sup>4)</sup>, Hiroki Ando<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>Complexity Science, Tokyo Univ., <sup>2)</sup>The University of Tokyo, <sup>3)</sup>ISEE, Nagoya Univ., <sup>4)</sup>NICT, <sup>5)</sup>Kyoto Sangyo University

Radio occultation observation is one of the limited means to approach the solar wind acceleration region, whose physical properties are difficult to obtain by optical methods because of the thin, dark plasma. The coronal heating by magnetohydrodynamic waves and the wave-induced magnetic pressure are thought to play major roles in the acceleration. Radio occultation observations of the corona have revealed frequent occurrence of quasi-periodic fluctuations of the received frequency, which are thought to be caused by density fluctuations associated with acoustic waves (e.g., Efimov et al. 2012). The acceleration profile and the radial distribution of quasi-periodic density fluctuations were revealed by radio occultation observations in 2011 using radio waves transmitted from Akatsuki spacecraft and received at the ground station (Imamura et al. 2014; Miyamoto et al. 2014). The density fluctuations were attributed to acoustic waves and were considered to have been generated from the nonlinearity of Alfvén waves that originate from the photosphere. They also quantitatively analyzed the radial dependence of the wave energy flux. However, since the observations in 2011 using Akatsuki covered the quiet sun region only, the characteristics in coronal hole regions is unclear. Moreover, the dependence on the 11-year solar activity cycle is also left to be studied.

In this research, we analyze data taken in Akatsuki's radio occultation observations carried out during the superior conjunction periods from 30 May 2016 to 15 June 2016 and from 29 December 2017 to 20 January 2018 as well as the observations in 2011. Solar offset distances of about 2 to 10 solar radii were probed intermittently 11 times in the former period and 10 times in the latter period. The frequency and the intensity time series of radio waves received at the ground station are analyzed. Radial velocities of the solar wind are estimated from intensity spectra, and wavelet analysis is applied to the frequency time series to detect quasi-periodic density fluctuations that are thought to be manifestations of acoustic waves.

From the data taken in 2016, we derived the radial dependences of the flow velocity, the spectral slope of the density fluctuation, the inner scale and the acoustic wave's amplitude. We found a striking difference in the solar wind velocity between the regions near coronal holes and other regions by comparing the derived velocities with those measured at far distances by IPS (Interplanetary Scintillation) observations. The inner scale, which is the scale of the dissipation of turbulence, was also found to be different between the coronal hole region and other regions. The difference in the plasma processes between fast and slow winds is being investigated.

We also study the dependence of the plasma processes on the solar activity by analyzing all the data taken from 2011 to 2018 and comparing the results.

R007-07

Zoom meeting A : 11/1 AM2 (10:45-12:30)

11:30-11:45

## **Compressional magnetohydrodynamic turbulence as a possible origin of magnetic switchbacks observed by Parker Solar Probe**

#Munehito Shoda, Benjamin Chandran<sup>2)</sup>, Steven Cranmer<sup>3)</sup>

SSO, NAOJ,<sup>2)</sup>University of New Hampshire,<sup>3)</sup>University of Colorado Boulder

Origin of local magnetic polarity reversal (magnetic switchback) observed by Parker Solar Probe (PSP) is one of the most challenging mysteries in the solar (and possibly stellar) wind physics. Amongst two candidates of the origin (reconnection event in the solar atmosphere / in-situ generation by large-amplitude Alfvén waves), we seek the possibility of the latter scenario by conducting a direct numerical simulation that reproduces the bulk property of the solar wind observed in the first encounter of PSP. Our model reproduces several observed properties of the Alfvénic slow solar wind, including radial variation of density and velocity, high cross helicity, and magnitude of density fluctuation. Magnetic switchbacks with Alfvénic velocity enhancement are spontaneously generated by magnetohydrodynamic turbulence above 10 solar radii, although the filling factor of them is significantly smaller than observation.

R007-08

Zoom meeting A : 11/1 AM2 (10:45-12:30)

11:45-12:00

## **On scattering of alpha particles by non-resonant low-frequency Alfvén waves in the solar wind**

#Yasuhiro Nariyuki

Faculty of Education, Univ. Toyama

It is well known that alpha particles in the solar wind often have the relative drift speed to core protons [e.g., March et al, JGR (1982); Bourouaine et al, ApJ (2011); Matteini et al, ApJ (2015); Zhao et al, ApJL (2020)]. Theoretical/numerical studies on the relative speed/ temperature ratio between alpha particles and protons have also been carried out by many authors [e.g., Chandran et al, ApJ (2013); Hellinger+ Travnicek, JGR (2013); Maneva et al, A&A (2015)]. In this presentation, we revisit scattering of solar wind alpha particles from the point of view of non-resonant diffusion by low-frequency Alfvén waves [e.g. Yoon et al, POP (2009)]. Numerical results of test particle simulations show non-resonant pitch angle diffusion in the wave rest frame, which corresponds to increase of temperature. The relationship between the non-resonant diffusion and the Alfvén/Beltrami state [e.g., Yoshida, Nonl. Sci. Numer. Simulat. (2012); Nariyuki, POP (2012); Nariyuki et al, POP (2015)] will also be discussed.

R007-09

Zoom meeting A : 11/1 PM1 (13:45-15:30)

13:45-14:00

## 次世代宇宙地球系観測のための汎用デジタルフェーズドアレイ装置の開発

#岩井 一正

名大 ISEE

### Development of general purpose digital phased array instrument for next generation space-earth environment observations

#Kazumasa Iwai

ISEE, Nagoya Univ.

Low-frequency radio observations are widely used for the space-earth environment researches such as the Sun, solar wind, ionosphere, and atmosphere. In this frequency band, it is effective to obtain a large aperture area and a wide field-of-view by forming an array with a large number of antennas. There are various kind of phased array radio telescopes and radars in Japan, such as the interplanetary scintillation observation system of the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University. In this research, we have developed a general-purpose digital phased array instrument for space-earth environment observation, especially to be installed in the next generation interplanetary scintillation observation system of ISEE.

A digital board newly designed for this instrument has 8 analog input ports, 8 analog-digital converters (ADCs), one field-programmable gate array (FPGA), and one 10-Gbit Ethernet output. The size of this instrument is 37 cm x 27 cm, and it can be further downsized. Hence, it can be stored in the front-end part of various observation systems. In addition, the price has been reduced compared to conventional products. Eight input signals are converted to 12-bit digital signals by the ADCs. The ADCs respond to input signals up to several GHz and can process input signals much higher than the clock frequency by using the aliasing. For example, we can measure 308-346.6MHz by the operating clock of 77MSPs, which corresponds to the 38.5MHz bandwidth, using appropriate bandpass filters in the analog stage. The digitized signal is converted to 16384-point complex spectra by the fast Fourier transform by the FPGA, and the beamforming can be performed by adding the eight complex spectra using arbitrary different delay filters. A power spectrum is derived from the complex spectrum after the beamforming, and output power spectra are derived every 10 ms. This system enables us to measure four beams simultaneously by processing four types of different beamforming in parallel. In the laboratory experiments, we confirmed that the beam can be formed in the appropriate direction by setting appropriate delay filters. It is possible to form a larger array by connecting a large number of this instruments. Therefore, this instrument can be applied to various future projects.

低周波の電波観測は、太陽面爆発、太陽風、電離圏、大気圏など宇宙地球環境の観測に広く利用されている。この帯域では多数のアンテナでアレイを形成することで大きな集光力や広い視野を獲得することが有効であり、国内では名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) の太陽風観測装置など多数の望遠鏡やレーダーが運用され、次世代装置の開発も進んでいる。本研究では、ISEE の次世代太陽風観測用望遠鏡に搭載することを念頭にいた宇宙地球系観測のための汎用デジタルフェーズドアレイ装置の開発を行った。

本装置に内蔵するために新たに設計されたデジタルボードは、8つのアナログ入力ポート、8つのアナログデジタル (AD) 変換、1つの FPGA、1つの 10Gbit Ethernet 出力が実装されている。このボードを搭載した本装置の大きさは 37cm x 27cm で、更に小型化も可能なことから、各種観測装置のフロントエンド部分に収納が可能である。また従来品に比べて低価格化も実現された。8 系統の入力信号はデジタル変換部で 12 bit のデジタル信号に変換される。デジタル変換部は数 GHz までの入力信号にตอบสนองし、エイリアシングを用いることで動作クロックよりはるかに高周波の入力信号を処理でき、例えば、77MSPs の動作クロックを入力することで測定できる 38.5MHz バンド幅は前段に適切なバンドパスフィルタを付加することで、308-346.6MHz などになる。デジタル化された信号は FPGA 内部で 16384 点のフーリエ変換がなされ、8つの複素スペクトルに任意の異なる遅延フィルタをかけ、加算することでビームフォーミングができる。加算後の複素スペクトルからパワースペクトルを作り、積算し、10ms 毎に出力する。遅延フィルタ以降の処理を 4 種類並列に処理することで、4つのビームを出力できる。本装置に既知の信号を使って実験した。その結果、適切な遅延フィルタを設定することで、想定した方向にビームを形成できることがわかった。本装置は多数を接続することで、より大規模なアレイを形成することも可能な設計であり、多様な将来計画に応用できる装置であると言える。

R007-10

Zoom meeting A : 11/1 PM1 (13:45-15:30)

14:00-14:15

## Nancay Decameter Array データを用いた太陽Ⅲ型電波バーストの機械学習を用いた自動検出とその出現の太陽活動依存性の解析

#関 佑一朗<sup>1)</sup>, 三澤 浩昭<sup>1)</sup>, 小原 隆博<sup>1)</sup>, 土屋 史紀<sup>1)</sup>, 藤本 達也<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター

### Occurrence dependence on solar cycle for type III radio bursts based on the automatic detection analysis using machine learning

#Yuichiro Seki<sup>1)</sup>, Hiroaki Misawa<sup>1)</sup>, Takahiro Obara<sup>1)</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>1)</sup>, Tatsuya Fujimoto<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>PPARC, Tohoku Univ.

Type III solar radio bursts are one of intense radio wave emissions that appear with the solar flares. They appear in the wide frequency range from the GHz to kHz band, and show a large negative frequency drift. A generation process of type III bursts is thought that high energy electrons originally generated with magnetic reconnections during a flare event excite Langmuir waves in the solar corona and/or interplanetary space, then the Langmuir waves are converted into electromagnetic waves observed as type III bursts. It is therefore generally assumed that the frequency of type III bursts reflects the plasma density in the solar corona and/or interplanetary space where the radio waves are generated, and their frequency drift reflect the plasma density distribution and the velocity of high-energy electrons.

It is well known that density distributions of the solar plasma differ depending on the activity of solar surface area (ex. Aschwanden and Acton, 2000). This implies that the plasma density distribution roughly varies with the solar activity cycle and therefore the frequency drift rates of type III bursts might show solar cycle dependence since the drift rate should reflect plasma density distributions along the paths of high energy electrons and also their energies. Although the occurrence rates of type III bursts are known to show a positive correlation with solar activity, our knowledge for solar cycle dependence of the drift rates has been still limited (ex. Zhang et al., 2018).

In this study, we have investigated statistical occurrence features of type III bursts, especially drift rate, flux density and their mutual relations, to clarify their solar cycle dependence. For this purpose, we have tried to make statistical analyses of type III bursts using a database of solar radio spectra observed with the Nancay Decameter Array (NDA) in France since 1977. We have analyzed the low-resolution data (175 kHz frequency resolution, 1 second time resolution) of the Nancay Decameter Array (NDA) in Paris, France. Although the observation frequency range of NDA is 10MHz-80MHz, we have used the spectra for 30-80MHz to avoid hard artificial radio noises below 30MHz.

In this analysis, an automatic burst detection system was newly developed to make the statistical analyses. First, candidates of solar radio bursts were picked up as the ones whose radio flux exceeded some threshold level. Second, more plausible candidates as type III bursts were sorted out automatically as the bursts appearing continuity in the frequency and time domains at some extents and also with the negative frequency drift. Next, we visually identified the detected burst candidates, classified the type III bursts and those that were not, and developed a Convolution Neural Network (CNN) that detects type III bursts. Finally, we identified the type III burst from the CNN results through a visual check.

Using the developed automatic detection system, analyses for the NDA data observed in the solar cycle 24 have been performed. A preliminary result shows that the number of detected type III bursts in 2017 (near the solar minimum) was reduced to about 2/5 compared to that in 2013 (around the solar maximum) and frequency drift rate was somewhat higher in 2017 than 2013. In the presentation, we will introduce the automatic type III bursts detection system and show solar cycle dependence for the occurrence characteristics of type III bursts based on statistical analysis with the discussion of their background processes.

Acknowledgments: The solar radio spectrum data was provided by the Nancay Observatory, Observatoire de Paris, France. We would appreciate Dr. L. Lamy and the NDA operation group.

太陽電波Ⅲ型バーストは、フレアに伴って出現する突発的な電波放射の一つである。その出現周波数は GHz 帯から kHz 帯まで広範囲におよび、大きな負の周波数ドリフトを示す特徴を持つ。Ⅲ型バーストの発生過程として、磁気リコネクションによって生成・加速された高エネルギー電子が太陽コロナ中のプラズマを伝搬する際に Langmuir 波を励起し、更に Langmuir 波が電磁波に変換され放射されると考えられている。従って、Ⅲ型バーストの周波数は電波が発生する太陽コロナ中のプラズマ密度を反映し、その周波数ドリフトはプラズマ密度分布と高エネルギー電子の速度を反映すると想定される。

太陽コロナのプラズマ密度分布については太陽表層域の活動状態によって異なることが知られている (ex. Aschwanden and Acton, 2000)。このことは、太陽周期活動の時間スケールで考えた場合、プラズマ密度分布が広域的には太陽活動度に応じて異なることを示唆する。Ⅲ型バーストと太陽活動度との関係については、その出現頻度が活動度と正の相関を示すことは知られている。その一方で、コロナのプラズマ密度分布や電波励起源の高エネルギー電子速度が関係する周波数ドリフト率の太陽活動度との関係については、解析例は限られている (ex. Zhang et al., 2018)。そこで本研究では、太陽周期活動の時間スケールで、Ⅲ型バーストがどのような出現特性 ~ 周波数ドリフト

率、出現強度～を示し、それがプラズマ密度分布や高エネルギー電子速度とどのような関係を持つかを明らかにしていくことを目的に、長期的なⅢ型バーストのスペクトル出現特性の解析を試みた。

この目的のために、本研究では、長期間の太陽電波スペクトル連続観測が行われているフランス パリ天文台 Nancay Decameter Array (NDA) の低分解能データ（周波数分解能 175kHz、時間分解能 1sec）を使用し、Ⅲ型バーストの出現特性解析を行った。NDA の観測周波数は 10MHz-80MHz であるが、今回使用する周波数帯域は人工ノイズの混入が少なく、Ⅲ型バーストの検出が容易な 30-80MHz とした。

解析では、Ⅲ型バーストの統計的な出現特性を捉えるために、Ⅲ型バーストの自動検出プログラムを作成した。電波観測データに対して周波数毎にバーストとして検出する閾値を設定し、閾値を超えたデータをⅢ型バーストの可能性のあるものとして抽出した。得られたデータについて、周波数方向、時間方向に連続性を持ち、周波数ドリフトの構造が確認できること、を追加条件としてプログラムで自動検出した。更に、検出したバースト候補について目視確認を行い、Ⅲ型バーストとそうでない現象の分類を行い、機械学習の教師あり学習を用いてⅢ型バーストを検出する Convolution Neural Network(CNN)を開発した。CNN の検出結果も目視確認を行い、最終的にⅢ型バーストを同定した。

開発した自動検出プログラムを用いて、これまでに、太陽活動周期 cycle 24 の極大期付近の 2013 年と極小期付近の 2017 年のデータ解析を行い、2013 年に比べ 2017 年は検出されたⅢ型バーストの出現率は約 2/5 に低下し、周波数ドリフト率は大きくなる傾向を確認した。現在、解析対象データを追加し周波数ドリフト率の長期変動特性の解析を進めている。

講演では、検出されたⅢ型バーストの統計解析に基づき、太陽活動度による長期変動特性を示すとともに、変動の背景にある物理過程の考察を行う。また、本研究で開発した自動検出プログラムの内容についても紹介を行う予定である。

謝辞：太陽電波スペクトルデータは、フランスパリ天文台 Nancay 観測所により提供された。L. Lamy 博士他 NDA 運用グループに感謝申し上げます。

R007-11

Zoom meeting A : 11/1 PM1 (13:45-15:30)  
14:15-14:30

### **$^3\text{He}$ 過剰太陽高エネルギー粒子現象における電子と III 型電波バーストの出現特性について**

#藤本 達也<sup>1)</sup>, 三澤 浩昭<sup>2)</sup>, 土屋 史紀<sup>3)</sup>, 小原 隆博<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター,<sup>2)</sup>東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター,<sup>3)</sup>東北大・理・惑星プラズマ大気,<sup>4)</sup>東北大・惑星プラズマ研究センター

### **The characteristics of electron events and type III radio bursts in $^3\text{He}$ -rich impulsive solar energetic particle phenomena**

#Tatsuya Fujimoto<sup>1)</sup>, Hiroaki Misawa<sup>2)</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>3)</sup>, Takahiro Obara<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>PPARC, Tohoku University,<sup>2)</sup>PPARC, Tohoku Univ.,<sup>3)</sup>Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.,<sup>4)</sup>PPARC, Tohoku University

Solar Energetic Particles (SEPs) are protons, electrons, and heavy ions of 10 keV to several tens GeV generated with flares and coronal mass emissions (CMEs), which are explosive phenomena near the solar surface. SEPs are classified into two types; i.e., impulsive and gradual types, based on the elemental abundances and the time profile of ion flux variations. Also, it has been reported that a phenomenon called type III radio bursts, which are suddenly appearing emissions caused by flares, are often observed in the tens to hundreds of MHz band when impulsive SEPs occur [Cane et al., 1986; McDowell, 2003]. Type III bursts are thought to be generated by energetic electrons accelerated by magnetic reconnections during flares, which propagate along the open magnetic field lines. That is, an injection of the energetic electrons into the solar corona leads to the generation of Langmuir plasma waves, and the waves are converted into radio waves as Type III bursts where the radio wave frequency is as same as the local plasma frequency. Type III bursts appear in the frequency range from GHz to kHz, and show rapid negative frequency drifts. The spectral structure is considered to reflect the motion of accelerated electron beams.

Impulsive SEPs, also known as electron-based events, show higher ratios of  $^3\text{He}/^4\text{He}$  and Fe/O than general composition of the solar corona.  $^3\text{He}$ -rich SEPs are commonly observed below 1 MeV  $\text{nuc}^{-1}$  [Nitta et al., 2015] and they are often associated with 1-100keV electron events [Reames et al., 1985]. Temerin and Roth [1992] proposed that the electromagnetic ion cyclotron (EMIC) waves would exist in the accelerating region of the electron beams that generate type III bursts in the solar corona by a similar physical process of the electron beam generation to that in the Earth's auroral region. In this idea, EMIC waves are thought to play a resonator which selectively increases flux of ions, such as  $^3\text{He}$  and Fe. According to this idea, it is expected that both the flux of impulse SEPs and the spectral structure of type III bursts include some features related to particle accelerations. In addition, if the amplitude of the EMIC wave works effectively in particle acceleration, it is also expected that the SEP flux, the intensity of the type III bursts and the flux of the energetic electrons that generate the type III burst might have positive correlations. However, there are few reports comparing characteristics of SEPs type III bursts from such a viewpoint, and the relationship between both of them has not been clarified well.

In this study, we have tried to make a detailed comparative analysis for impulsive SEP phenomena and type III bursts to elucidate relationship between both of them. We have analyzed energy and flux time profiles of SEPs using solar particle data observed with the ACE, WIND, and SOHO satellites staying around the L1 point. On the other hand, we have analyzed spectra of type III bursts using solar radio wave data observed with the WIND satellite, and ground-based solar radio telescopes AMATERAS of Tohoku University. In the presentation, we will report the results of the comparison studies for the characteristics of ion and electron fluxes of impulsive SEPs and those of the spectra and flux of the type III bursts, and discuss the relationship both of them including generation processes of impulsive SEPs.

Acknowledgments: Solar energetic particle data are provided by the ACE Science Center, NASA, and the Turku University Space Research Laboratory. We thank the operation groups of the ACE, WIND, and SOHO projects.

SEP (Solar Energetic Particle) は、太陽面での爆発現象であるフレアやコロナ質量放出 (CME) などに伴って放出される 10keV から数 10GeV の陽子、電子、重イオンである。SEP の出現様相は、その組成比やフラックスの時間変化から impulsive と gradual の二つのタイプに分類される。また、特に impulsive SEP の発生時には、フレアに伴って発生する突発的な電波の放射である III 型バーストと呼ばれる現象が、数十-数百 MHz の帯域においてよく観測されることが報告されている [Cane et al., 1986; McDowell, 2003]。III 型バーストは、磁気リコネクションによって加速された電子ビームが開いた磁力線に沿って伝搬する際に、背景プラズマとの相互作用によってプラズマ密度に対応したプラズマ波を励起し、そのプラズマ波が電磁波へと変換され生成されたものと考えられている。出現周波数は GHz 帯から kHz 帯におよび、時間とともに周波数が減少する負の周波数ドリフトを示す。そのスペクトル構造は加速された非熱的な電子ビームの運動の様子を反映していると考えられる。

Impulsive SEP は電子主体のイベントとも呼ばれ、高エネルギー粒子の中に  $^3\text{He}$  の存在量が異常に増大する、 $^3\text{He}$  過剰現象を伴うものがあることが知られる。この現象は一般に 1MeV  $\text{nec}^{-1}$  以下のエネルギー帯で観測され [Nitta et al., 2015]、1-100 keV の電子現象を伴うことが知られる [Reames et al., 1985]。また、コロナの一般的な組成と比較して  $^4\text{He}$  に対する  $^3\text{He}$  の割合が高く、また酸素に対して鉄の割合が高いという、特定のイオン種が高い存在比を示す特徴

を持つ。この特徴の成因として、地球磁気圏で生じている高エネルギー電子降り込み域で発生する電磁イオンサイクロトロン波(EMIC波)現象とのアナロジーから、太陽大気中のIII型バーストを生成する電子ビームの加速領域においてEMIC波が存在し、これと共鳴する $^3\text{He}$ やFeイオンが選択的にフラックス増大を引き起こすとするアイデアがTemerin and Roth [1992]により提案された。この通りである場合、impulsive SEP現象発生時に出現するIII型バーストのスペクトルには粒子加速に関わる特徴が含まれることが想定される。また粒子加速にEMIC波の振幅が効果的に働くのであれば、SEPフラックスとIII型バーストの強度およびバーストを生成する電子のフラックスとの間に相関関係が表れることが期待される。

しかしそのような観点でSEPとIII型バーストとの比較を行った報告は少なく、両者の関係については明らかにされていない。そこで、本研究では、impulsive SEP現象とIII型バーストの詳細な対照解析を行い、両者の関係を精査することを目的とする。

本研究では、SEPのデータとしてはL1点に滞留し太陽・太陽圏観測を行うACE, WIND, SOHO衛星の粒子観測データを用い、 $^3\text{He}$ 過剰現象発生時の $^3\text{He}$ と電子のエネルギースペクトルの比較解析を行った。太陽電波データとしてはWIND衛星および東北大学の太陽電波観測装置AMATERASの電波スペクトルデータを用いて、impulsive SEP現象出現時のイオンおよび電子の広いエネルギー範囲のフラックスのタイムプロファイルと、III型電波バーストのスペクトル構造及びメートル波帯の絶対強度との比較解析を行っている。本発表では統計解析に基づく両者の関連性について報告を行うとともに、impulsive SEPの加速過程について議論を行う予定である。

謝辞： 粒子観測データはACE Science Center、NASA、Turku 大学 Space Research Laboratory により提供された。ACE, WIND, SOHO の各運用グループに感謝申し上げます。



R007-12

Zoom meeting A : 11/1 PM1 (13:45-15:30)  
14:30-14:45

## 太陽メートル波帯 II 型電波バーストのスペクトル微細構造と高エネルギー粒子現象との関係 - II

#三澤 浩昭<sup>1)</sup>, 土屋 史紀<sup>2)</sup>, 小原 隆博<sup>3)</sup>, 藤本 達也<sup>4)</sup>, 関 佑一朗<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター, <sup>2)</sup>東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター, <sup>3)</sup>東北大・惑星プラズマ研究センター, <sup>4)</sup>東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター, <sup>5)</sup>東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター

### Relationship between solar energetic particles and spectral fine structures of metric type II radio bursts - II

#Hiroaki Misawa<sup>1)</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>2)</sup>, Takahiro Obara<sup>3)</sup>, Tatsuya Fujimoto<sup>4)</sup>, Yuichiro Seki<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>PPARC, Tohoku University, <sup>2)</sup>PPARC, Tohoku University, <sup>3)</sup>PPARC, Tohoku University, <sup>4)</sup>PPARC, Tohoku University, <sup>5)</sup>PPARC, Tohoku University

It is well known that a type II burst is one of sporadic and intense solar non-thermal radio phenomena, which shows gradual negative frequency drift in the metric to kilometric wavelength ranges and is generated with a coronal mass ejection (CME) event. As a plausible generation process of type II bursts, it is proposed that electro-static plasma waves originated from energetic electrons are effectively converted to electro-magnetic waves (type II bursts) at the region where the local plasma frequency is equal to wave frequency. A type II burst often occurs with energetic protons and ions with the energy of more than the MeV grade, and such an energetic phenomena is called a solar energetic particle (SEP) event. The coincident occurrence of type II bursts and SEPs strongly suggests that both energetic electrons and protons/ions would be the same origin initiated by a CME event. The occurrence characteristics of type II radio bursts and also SEPs have important information on the origins and generation processes of energetic particles and have been of course investigated well individually, however their relationships have not been well known except a recent research for the kilometric to hectometric type II bursts (Iwai et al., 2020).

We have investigated the relationship between SEPs and metric type II bursts from a view point of the clarification of characteristics of SEPs from the occurrence characteristics of type II bursts. We have especially paid attention to spectral fine structures of type II bursts identified in the metric wavelength by our group (Kashiwagi et al., 2016). We have analyzed drift rates of fundamental elements of type II bursts using the radio data observed with the AMATERAS system, Tohoku University (Iwai et al., 2012) for the type II burst events observed in 2011 ? 2017 with weak to extinct SEP natures. From the drift rate analyses for the spectral fine structures, two possibilities are suggested for their origin: 1)the fine structures are just apparent ones where radio waves are generated in some expanded area simultaneously if the source regions are in relatively dense plasma condition, or 2)the fine structures reflect fast drift SEPs with radiating short-term radio bursts if the source regions are in not so dense plasma condition. In the presentation, we will introduce results of the drift rate analyses and discuss relationship between SEPs and spectral fine structures of type II bursts including a viewpoint of space-weather, and also make reference to future observations of solar radio observations in meter to decameter wave ranges.

R007-13

Zoom meeting A : 11/1 PM1 (13:45-15:30)

14:45-15:00

#山崎 敦<sup>1)</sup>, 村上 豪<sup>2)</sup>, 吉岡 和夫<sup>3)</sup>, 木村 智樹<sup>4)</sup>, 土屋 史紀<sup>5)</sup>, 鍵谷 将人<sup>6)</sup>, 北 元<sup>7)</sup>, 桑原 正輝<sup>1)</sup>, 坂野井 健<sup>8)</sup>, 寺田 直樹<sup>9)</sup>, 笠羽 康正<sup>10)</sup>, 吉川 一朗<sup>11)</sup>, ひさき (SPRINT-A) プロジェクトチーム<sup>12)</sup>

<sup>1)</sup>JAXA・宇宙研,<sup>2)</sup>ISAS/JAXA,<sup>3)</sup>東大・新領域,<sup>4)</sup>Tohoku University,<sup>5)</sup>東北大・理・惑星プラズマ大気,<sup>6)</sup>宇宙科学研究所,<sup>7)</sup>東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター,<sup>8)</sup>東北大・理,<sup>9)</sup>東北大・理・地物,<sup>10)</sup>東北大・理,<sup>11)</sup>東大・理・地惑,<sup>12)</sup>ISAS/JAXA

## 5-season's optical observation of neutral helium distribution in interplanetary space by Hisaki

#Atsushi Yamazaki<sup>1)</sup>, Go Murakami<sup>2)</sup>, Kazuo Yoshioka<sup>3)</sup>, Tomoki Kimura<sup>4)</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>5)</sup>, Masato Kagitani<sup>6)</sup>, Hajime Kita<sup>7)</sup>, Masaki Kuwabara<sup>1)</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>8)</sup>, Naoki Terada<sup>9)</sup>, Yasumasa Kasaba<sup>10)</sup>, Ichiro Yoshikawa<sup>11)</sup>, project team Hisaki (SPRINT-A)<sup>12)</sup>

<sup>1)</sup>ISAS/JAXA,<sup>2)</sup>ISAS/JAXA,<sup>3)</sup>The Univ. of Tokyo,<sup>4)</sup>Tohoku University,<sup>5)</sup>Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.,<sup>6)</sup>ISAS/JAXA,<sup>7)</sup>PPARC, Tohoku Univ.,<sup>8)</sup>Grad. School of Science, Tohoku Univ.,<sup>9)</sup>Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.,<sup>10)</sup>Tohoku Univ.,<sup>11)</sup>EPS, Univ. of Tokyo,<sup>12)</sup>ISAS/JAXA

Relative motion exists between the heliosphere and interstellar medium, and interstellar medium flows into the heliosphere as interstellar wind. The major constituents of interstellar medium are hydrogen and helium, and their neutrals can penetrate the heliosphere beyond the heliopause. Once the neutrals are ionized by the solar ultraviolet light in the heliosphere, they are picked up by the solar wind and return back to the heliopause. Only neutral helium can penetrate deep near the sun, while remaining neutral. This is because the ionization rate is low due to the high ionization energy.

The motion of neutral particles in the heliosphere is determined by solar gravity and solar radiation pressure. The orbit of helium atoms becomes Keplerian motions because the term of radiation pressure is almost negligible. As a result, dense regions form on the downwind side of the interstellar wind. This is called a helium cone. The helium distribution in the helium cone is dependent on the velocity and direction of the interstellar wind and the density and temperature of helium atoms in the interstellar medium. Although optical observation of neutral helium is a study that has been done since the 1970s, it is a valuable method because it is possible to estimate the parameters of interstellar medium from the observation in interplanetary space.

The "Hisaki" (SPRINT-A) satellite has an extreme ultraviolet spectrograph which can detect resonance scattered light of helium atoms. The main aim of "Hisaki" is to observe planets continuously over a long period, observation of resonance scattered light from helium atoms in interplanetary space is also carried out, as an optional observation, at the time when "Hisaki" passed through the helium cone between November and December from 2015 to 2019.

By comparing the observations with the emission distribution calculated from the simple model of helium cone formation, interstellar wind direction was estimated. As a result, it was confirmed that the direction of the interstellar wind was consistent with recent observation by other satellites, and it was confirmed that the direction of the interstellar wind was temporally stable for these 5 years.

太陽圏と星間物質には相対速度があり、星間物質が星間風として太陽圏に衝突している。星間物質の主成分は水素とヘリウムであり、そのうち中性成分はヘリオポーズを超えて太陽圏に侵入することができる。太陽圏内で太陽の紫外線を受けてイオン化すると太陽風にヒックアップされヘリオポーズへ戻されるが、イオン化エネルギーの高いヘリウムはイオン化率が低く、ほとんどが中性のまま太陽近傍にまで侵入することができる。

太陽圏内での中性粒子の軌道は太陽重力と太陽光放射圧によって決まるが、ヘリウム原子の軌道は放射圧の項はほとんど無視できるケプラー運動となる。その結果、太陽の星間風の風下側に密度の濃い領域を形成することとなり、これをヘリウムコーンと呼ぶ。ヘリウムコーンのヘリウム分布は、星間風の速さと方向、星間空間でのヘリウム原子の密度と温度によって決定づけられる。1970年代から実施されている歴史の長い研究であるが、惑星間空間に滞在しながら星間物質のパラメータ推定が可能であり、貴重な観測方法である。

「ひさき」(SPRINT-A)衛星は、極端紫外光分光装置を搭載しており、ヘリウム原子の共鳴散乱光を検出することが可能である。「ひさき」の主目的は、長期間にわたる連続惑星観測であるが、オプション観測として惑星間空間に分布するヘリウム原子からの共鳴散乱光観測も2015~2019年の5期にわたり実施している。

「ひさき」がヘリウムコーンを通過する11月から12月に合わせて実施した惑星間空間ヘリウム原子の共鳴散乱光分布観測結果とヘリウムコーン形成モデルから計算した発光分布を比較することにより、星間風方向を推測した。その結果、近年の他衛星の観測と一致することを確認し、この5年間の星間風の方向は時間的に安定していることを確認した。

R007-14

Zoom meeting A : 11/1 PM1 (13:45-15:30)  
15:00-15:15

## 銀河宇宙線の太陽圏侵入過程に関するシミュレーション研究

#吉田 光太郎<sup>1)</sup>, 松清 修一<sup>1)2)</sup>, 鷲見 治一<sup>2)</sup>, 羽田 亨<sup>1)2)</sup>

<sup>1)</sup>九大・総理工, <sup>2)</sup>九大・国際宇宙天気科学・教育センター

## Simulation study on the invading process of galactic cosmic rays into the heliosphere

#Kotaro Yoshida<sup>1)</sup>, Shuichi Matsukiyo<sup>1),2)</sup>, Haruichi Washimi<sup>2)</sup>, Tohru Hada<sup>1),2)</sup>

<sup>1)</sup>IGSES, Kyushu Univ, <sup>2)</sup>ICSWSE, Kyushu Univ

Heliosphere is the region dominated by the plasma and the magnetic field of solar origin and has characteristic structures such as termination shock and the heliopause. Most of galactic cosmic rays (GCRs) are prevented from entering the heliosphere. A fraction of them can propagate deep inside the heliosphere and be observed at the earth. The motions of charged particles in the heliosphere are quite complex. The GCRs are transported under the influence of convection due to the solar wind flow and diffusion by complex magnetic fields in the heliosphere. However, the so-called diffusion convection model does not represent particle trajectories. Our goal in this study is to understand the invading process of GCRs in the level of particle trajectory.

We performed three-dimensional relativistic test particle simulations using electromagnetic fields reproduced by the global MHD simulation of the heliosphere assuming time stationarity (Washimi, et al. 2015). In the MHD simulation, the solar wind velocity, density, magnetic field strength and temperature at 1AU are assumed to be 400km/s, 5.0/cc, 35  $\mu$  G and 10<sup>5</sup>K respectively. These quantities are simply extrapolated to the inner boundary of the simulation domain at 50AU from the sun. For the outer boundary at 900AU, the corresponding parameters in interstellar plasma are 23km/s, 0.1/cc, 6,300K, and 3  $\mu$  G respectively. Initially, 5\*10<sup>7</sup> particles (protons) with Lorentz factor  $\gamma = 10$  ( $\sim 10$ GeV) or  $\gamma = 1000$  ( $\sim 1000$ GeV) are distributed just outside the heliopause. Their distribution function is given by a mono-energetic shell distribution.

As a result, we found that characteristics of particle trajectories change depending on the relative scales between particle gyroradii and spatial scale of heliospheric magnetic structures. In case of  $\gamma = 10$ , particle trajectories are strongly affected by local electromagnetic fields, since their gyro radius is much smaller than typical spatial scales of heliospheric magnetic structures. Most of the particles following draping interstellar field lines are mirror reflected at the heliopause or skirt around the heliosphere. A few particles invade into the heliosphere from the side or the tail region of heliopause. Some invading particles propagate deep inside the heliosphere along the solar wind current sheet. Some others travel for long time being trapped by the spiral solar wind magnetic field lines. In the case of  $\gamma = 1000$ , while most particles are mirror reflected at the heliopause or pass through the heliosphere, relatively many particles easily invade the heliosphere due to their large gyro radius. Some invading particles reach the inner boundary with almost linear motion. There are, on the other hand, some particles showing eccentric trajectories. Once they almost pass through the heliosphere but are strongly scattered back by interacting with turbulent magnetic field in the tail region and finally reach the inner boundary. In the presentation we discuss some statistics of the particles reaching at the inner boundary such as spatial distribution, energy dependence of the number of reaching particles, and so on.

太陽圏は終端衝撃波やヘリオポーズなどの特徴的な構造を持ち、太陽風のプラズマと磁場が支配的な領域である。そのため星間空間から到来する銀河宇宙線のほとんどは、太陽圏に侵入出来ず、ごく一部が太陽圏へ侵入し地球上で観測される。太陽圏内での宇宙線の運動は、太陽風による移流や各種磁場構造に起因する拡散の影響を受け、非常に複雑なものになる。従来、宇宙線の輸送は、それらの運動を仮定した移流拡散モデルにより議論されてきたが、粒子軌道にまでは踏み込むことができない。本研究の目的は、銀河宇宙線の侵入プロセスを粒子軌道レベルにまで踏み込み理解することである。

我々は、定常太陽風を仮定したグローバル MHD シミュレーションによって再現された太陽圏の電磁場データを用いてテスト粒子シミュレーションを行い、太陽圏への銀河宇宙線の侵入プロセスを調査した。MHD シミュレーションでは、1 AU での太陽風の速度、密度、磁場の強さ、および温度を、それぞれ 400km/s、5.0/cc、35  $\mu$  G、10<sup>5</sup>K とし、これらの値は内側境界 50AU に外挿される。星間空間に対応する外側境界 900AU での値は、それぞれ 23km/s、0.1/cc、6,300K、および 3  $\mu$  G とした。テスト粒子計算の初期条件としては、ローレンツ因子が  $\gamma = 10$  ( $\sim 10$ GeV) または  $\gamma = 1000$  ( $\sim 1000$ GeV) の粒子 (陽子) を 5  $\times 10^7$  個、ヘリオポーズの外側に配置し、速度分布関数をシェル分布として与えた。

結果として、粒子のジャイロ半径と太陽圏の磁場構造との相対的なスケールに応じ、粒子軌道の特徴が変化することがわかった。 $\gamma=10$  の場合、ジャイロ半径は太陽圏の磁気構造より十分小さいため、粒子の軌跡は局所的な電磁場構造の影響を強く受ける。ドレイブ磁場に沿って進む粒子の殆どは太陽圏界面のヘリオポーズでミラー反射され、一部の粒子がヘリオポーズの側面または尾部から太陽圏に侵入する。侵入した粒子は太陽風電流シートに沿って内部まで伝播、または太陽風のスパイラル磁場に捕捉され伝播する。 $\gamma=1000$  の場合には、ほとんどの粒子がヘリオポーズでミラー反射、もしくは太陽圏を通過する一方で、ジャイロ半径が大きいため、比較的多数の粒子が太陽圏へ容易に侵入する。侵入した粒子は、ほぼ直線的な動きでノーズ領域から内側境界に到達、またはテール領域で散乱され内側

境界に到達する結果となった。講演では、内側境界に到達した粒子の統計（空間分布、到達粒子数のエネルギー依存性など）についても議論する。