

## Determination of flux rope axis orientations and search of causative coronal mass ejections for MC events during 2006 and 2007

# Nobuhiko Nishimura[1]; Munetoshi Tokumaru[2]; Katsuhide Marubashi[3]  
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] NICT

The magnetic cloud (MC) is a transient structure of the solar wind which is often associated with a specific type of the magnetic field, called the flux rope. The magnetic structure of the flux rope is characterized by helical magnetic field lines around the central axis. The work presented here intend to elucidate the evolution of the axis direction of MCs during the propagation through interplanetary space. This is an important subject for obtaining better understanding of the propagation process of MCs in interplanetary space as well as for improving accuracy of space weather forecasting since the axis direction is one of the controlling factor for the geo-effectiveness of MCs. A recent study showed that the axis orientation of MCs only slightly changes during its propagation from the Sun to 1AU (Marubashi et al., 2015). However, another researches suggested that the axis of MCs can rotate during the propagation in interplanetary space (Yurchyshyn, 2008; Isavnin et al., 2012). In this presentation, we report MC structures determined from in situ measurements at 1AU, and identification of causative coronal mass ejections (CMEs) associated with MCs observed at 1AU. We analyze five MC events during 2006 and 2007. The MC structures are determined from in situ observations by the Advanced Composition Explorer (ACE) using two kinds of the flux rope model: the cylinder model and the torus model (Marubashi and Lepping, 2007). As a result, the torus model yields the axis orientation similar to (less than 11 deg) that of the cylinder model for two MC events, a little different (near 30 deg) for one event, and largely different (greater than 90 deg) for one event and the remaining event can be fitted well by only the torus model. To identify the causative CMEs for these MC events, we check all CMEs in the Large Angle Spectroscopic Coronagraph (LASCO) catalog ([cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/); Yashiro et al., 2004) that occurred 0.5 to 5 days prior to the MC arrival time at 1AU and select candidate CMEs whose first appearance time and initial velocity are consistent with the MC arrival time and velocity at 1AU. Several candidate CMEs are usually found. To examine whether these CMEs are back side or front side, we determine the propagation direction for eight CMEs during 2007 from Solar Terrestrial Relations Observatory (STEREO) coronagraph data using Graduated Cylindrical Shell (GCS) model. Unfortunately, we cannot determine the propagation direction for seven CMEs since CME shape is not clear or not detected. We need to examine some signatures of CME eruption on the solar disk in the future study.

## CME でとび出す磁束と太陽風磁気ロープが運ぶ磁束

# 丸橋 克英 [1]; 石橋 弘光 [1]; 西村 信彦 [2]; 徳丸 宗利 [3]  
[1] 情報通信研究機構; [2] 名大・宇地研; [3] 名大 ISEE

## Magnetic Flux Launched by CME and Magnetic Flux Carried by IFR

# Katsuhide Marubashi[1]; Hiromitsu Ishibashi[1]; Nobuhiko Nishimura[2]; Munetoshi Tokumaru[3]  
[1] NICT; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] ISEE, Nagoya Univ.

Most of the intense geomagnetic storms ( $Dst < -100$  nT) occur when the interplanetary magnetic flux rope (IFR, also called magnetic cloud) encounters the Earth. The IFR is taken to be a flux rope structure formed in the solar corona in association with the CME which is launched into the solar wind. The magnetic reconnection is responsible for the flux rope creation and also forms the post eruption arcade (PEA) in the corona. Based on this idea, a number of studies have been continually made which attempt to deduce the IFR structure from the observed magnetic fields in the corona. It has been increasingly clear that the axis of IFR is generally parallel to the axis of arcade structure of coronal magnetic field which forms after the eruption of CME (PEA: Post Eruption Arcade). (See e.g., Marubashi et al., 2015, *Solar Physics* 290, 137.) For the purpose of getting capability of predicting geomagnetic storms from observations of solar eruptive phenomena, it is needed to foresee the intensity of IFR magnetic field as well as the shape of the IFR. Recently several attempts have been made to find out quantitative relationships between the magnetic flux reconnected during CME eruption and the magnetic flux carried by IFR. Although they show that the magnetic flux launched by the CME and the magnetic flux carried by IFR are roughly equal to each other, the correlation coefficients between the two quantities are not very large, being in the range of 0.5~0.6. (See e.g., Gopalswamy et al., 2017, *Solar Physics* 292:65.) We can point out one possible problem in the previous studies, that is, IFR structures determined by model fitting analysis can be different depending on which IFR model of the cylinder-type of the torus-type is used in the analysis. We chose the appropriate model for each case with the condition of the parallelism between the IFR axis and the corresponding PEA axis. Although some improvement was seen through this modification, the change in correlation coefficient is not significant. This result may suggest a possibility that some detailed physical properties must be taken into consideration.

広く認められているように、強い磁気嵐 ( $Dst < -100$  nT) は、ほとんどすべて、太陽風磁気ロープ (磁気雲) が地球に到来したときに発生する。太陽風磁気ロープは、CME にともなって太陽コロナで生成された磁気ロープ構造が惑星間空間にとび出したものであると考えられている。その生成過程は磁気リコネクションで説明され、磁気リコネクションは太陽風磁気ロープをとび出させるとともに、太陽コロナには磁場のアーケード構造を残す。この考え方を基礎に、コロナの磁場観測から発生した太陽風磁気ロープの構造を推定する研究が継続的に行われてきた。これまでの研究で、太陽風磁気ロープの軸の方向が CME の発生後に太陽で観測される磁場のアーケード構造 (PEA: Post Eruption Arcade) の方向と一致することが示された。(例えば、Marubashi et al., 2015, *Solar Physics* 290, 137) 太陽面の爆発現象の観測から地球における磁気嵐の発生を予測するためには、磁気ロープの形状だけではなく、磁気ロープがもつ磁場の大きさが推定できなければならない。近年、PEA の観測から爆発現象につながる磁気リコネクションに関与した磁束を推定し、太陽風磁気ロープのもつ磁束を比較する試みが進められている。おおかたの結論として、太陽風磁気ロープの運ぶ磁束は PEA から推定されるコロナからとび出した磁束とおおよそ一致していることが示されているが、両者の間の相関係数は 0.5~0.6 の程度とあまり大きいとは言えない現状である。(例えば、Gopalswamy et al., 2017, *Solar Physics* 292:65) ここでは、これまでの研究では太陽風磁気ロープの解析に問題があったことを指摘する。観測された太陽風磁気ロープの構造を推定するには、モデルが必要であり円筒型モデルとトーラス型モデルのどちらを使うかによって結果が異なることがある。従って、どちらのモデルがより正しい結果を与えるかを判定することが必要になる。ここでは、解析で得られた磁気ロープの軸の方向が PEA の方向と一致することを基準にモデルを選択して磁束を計算した結果を報告する。今のところ相関係数には若干の改善がみられるが、期待されるほどではなく、もっと本質的な問題がある可能性が示唆される。例えば、太陽風磁気ロープに沿う磁束の分布が非一様であることを考慮する必要があるかも知れない。

## Numerical modeling of Solar Energetic Particle acceleration and propagation

# Takashi Minoshima[1]; Daikou Shiota[2]; Yuki Kubo[3]

[1] JAMSTEC; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] NICT

Solar Energetic Particles (SEPs) are distinct enhancement of particle flux in space. They are associated with solar events such as flares, filament eruptions, and Coronal Mass Ejection (CME), and their energy is well above the thermal energy in the solar corona (a few hundreds of eV). They have a strong impact on Space Weather through the radiation hazard to humans and spacecraft, and the ionization of the Earth atmosphere. Therefore, understanding the physics of SEPs, generation and propagation toward the Earth, is essential for Space Weather forecasting.

Depending on the source of energetic particles, SEP events are classified into two types; impulsive and gradual events (Reames 1999). The impulsive events, lasting only a few hours and being rich in electrons and heavy ions, originate from flares. The gradual events, on the other hand, continue to several days and are proton-rich. They are well associated with CMEs. Because of their relatively large impact on Space Weather, we especially focus on the understanding of energetic particle dynamics in the gradual SEP events.

Energetic particles in the gradual SEPs are thought to be produced mainly at the interplanetary CME-driven shock, and then propagate along the magnetic field line toward the Earth. Based on this scenario, a numerical model for particle transport from the shock front to the observer at 1 AU is proposed (focused transport equation by Ruffulo 1995). Lario et al (1998) have combined this model with the MHD simulation of CME propagation. They give energetic particle injection at the shock front to find some empirical relationships between the injection parameters and the shock parameters (e.g., downstream-upstream velocity ratio), through comparison between the numerical model and the observation. We advance the above model by including the particle acceleration simultaneously (not treated as the injection). Our model is a combination of the focused transport equation and the drift-kinetic equation (Minoshima et al. 2010), which describes drift and Fermi accelerations at the shock. The acceleration can be stochastically occurred when the pitch-angle scattering is included. This talk presents our new strategy in detail. The coupling between the model and state-of-the-art data-driven MHD simulation of CME propagation (Shiota et al. 2016) will be presented.

## かにパルサーの周波数分散を用いたサイクル24/25極小期における極域太陽風密度の研究

# 徳丸 宗利 [1]; 丸山 益史 [1]; 俵 海人 [1]; 岳藤 一宏 [2]; 関戸 衛 [2]; 宮内 結花 [2]; 寺澤 敏夫 [3]  
[1] 名大 ISEE; [2] NICT 鹿島; [3] 東大・宇宙線研

### Study of the polar solar wind density at Cycle 24/25 minimum using dispersion measures of Crab pulsar

# Munetoshi Tokumaru[1]; Yasushi Maruyama[1]; Kaito Tawara[1]; Kazuhiro Takafuji[2]; Mamoru Sekido[2]; Yuka Miyauchi[2]; Toshio Terasawa[3]  
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] KSTC, NICT; [3] ICRR, Univ. Tokyo

<http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~tokumaru>

The solar activity of the current Cycle 24, is the lowest in 100 years, and peculiar aspects of the solar wind of this cycle have been reported from some observational studies. The most remarkable feature among those peculiarities is a significant drop of the solar wind density. Ulysses observation made during Cycle 23/24 minimum (2007-2008) demonstrated that the fast wind density from the polar coronal hole decreased by about 30 %, as compared to the previous cycle (McComas et al., 2008; 2013). Interplanetary scintillation (IPS) observations made at the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) of Nagoya University showed that the solar wind density fluctuations ( $\Delta N_e$ ) drops globally in this cycle (Janardhan et al., 2011; Tokumaru et al., 2012; Bisoi et al., 2014). This result suggests the global reduction of the solar wind density, since  $\Delta N_e$  is roughly proportional to the bulk density. While Ulysses measurements are no longer available at present, ISEE IPS observations, which have conducted continuously, show that  $\Delta N_e$  keeps declining up to now. The sun is about to enter the next (Cycle 24/25) solar minimum, and recent ISEE IPS data show that fast solar winds have developed over both North and South poles. It has been pointed out the possibility that the activity level of the next cycle is as low as or even weaker than the current cycle, hence to elucidate how the solar wind evolves in future is an important subject.

We plan to make observations of pulsar DM (dispersion measure) as well as IPS to investigate evolution of the solar wind toward the next cycle in detail. The DM is a parameter to represent the frequency dispersion observed in the pulsar signal, and also the integrated plasma density along the line-of-sight (los). By taking difference between DMs when the pulsar's los is located close to and far from the Sun, one can determine the (integrated) density of the solar wind. This kind of remote-sensing measurements using either IPS or pulsar DM is the only method to observe the high-latitude solar wind at present, since Ulysses observations are no longer available. Pulsar DMs are more direct measurements of the density, while IPS observations provide data of  $\Delta N_e$ . The los of Crab pulsar observed in this study approaches to the Sun in mid-June as close as 5 solar radii over the South pole. DM measurements using the Crab pulsar were made in 1970s (Counselman III & Rankin, 1972, 1973; Weisberg et al., 1976), and the solar cycle change of the polar solar wind density was revealed. In this study, we intend to reveal peculiarity of the present solar wind by comparing with those data. The radial distance range observed in this study includes the region in close proximity to the Sun, where our IPS observations are unavailable owing to the effect of strong scattering. Hence, pulsar measurements for such near-Sun region may enable us to provide new information to gain insight into the solar wind acceleration.

We established a system for pulsar DM measurements by utilizing the radio-telescope at Toyokawa (SWIFT; Tokumaru et al., 2011). The observation frequency of SWIFT is 327 MHz, and the effective area is 1970 m<sup>2</sup> (at zenith). For pulsar DM measurements, a high-speed (2Gbps) data sampler ADS3000+ and a 10-TB file server was installed at Toyokawa. The 10GB Ethernet is used to data transfer from ADS3000+ to the file server. Software for data acquisition and analysis were provided from the Kashima Space Technology Center of NICT. Observations of Crab pulsar using this system started in last November, and clear pulsar signals have been detected from the data. I will report preliminary results obtained from the analysis of data collected at Toyokawa.

現在の太陽活動周期、サイクル24は過去100年来の低い活動度を示し、これに伴って過去のサイクルとは異なる太陽風の特性が様々な観測から報告されている。今サイクルの特異性の中で、特に目立つのは太陽風密度の低下である。サイクル23/24極小期(2007-2008年)に実施されたUlyssesによる観測からは、極域コロナホールから吹き出す高速風の密度が前サイクルに比べ約30%減少していることが示された(McComas et al., 2008; 2013)。名古屋大学宇宙地球環境研究所(ISEE)の惑星間空間シンチレーション(IPS)による観測からは、今サイクルにおいて太陽風(電子)密度ゆらぎ $\Delta N_e$ が全球的に低下していること示すデータが得られた(Janardhan et al., 2011; Tokumaru et al., 2012; Bisoi et al., 2014)。ここで、 $\Delta N_e$ は太陽風密度とほぼ比例していることから、この観測結果は太陽風密度の低下を全球的に起こっていることを示している。Ulyssesの観測は2008年に終了したが、連続的に実施されているISEEのIPS観測からは $\Delta N_e$ が現在に至るまで減少し続けていることがわかった。目下、次のサイクル24/25極小期が目前に迫っており、最近のISEEのIPS観測からは南北極域に高速風が出現したことが判る。次のサイクル25は現在と同程度の活動、またはより一層活動が低下する可能性が指摘されており、これに伴って太陽風がどう変化してゆくに注目が集まっている。

そこで我々は従来から実施している IPS 観測に加えて、パルサーの DM (dispersion measure) を測定することにより、次サイクルに向けた太陽風の変化を正確に調査することを計画している。DM はパルサーからの信号が示す周波数分散度を示し、視線に沿ったプラズマ密度の積分値に対応している。パルサーが見かけ上太陽に接近する時と太陽から遠ざかった時の DM の差をとることで、太陽風密度 (積分値) を決定することができる。パルサー DM や IPS のような遠隔測定は、Ulysses 観測が終了した現在では高緯度の太陽風を観測する唯一の手段である。IPS 観測が  $\Delta N_e$  のデータであるのに対して、パルサー DM はより直接的な密度に関するデータとなる。本研究で観測対象とする「かに星雲」のパルサー (Crab pulsar) は、見かけ上 6 月中旬に太陽の南極極上空、太陽半径 5 倍の距離まで近づく。Crab パルサーの DM 測定は 1970 年代に実施されており (Counselman III & Rankin, 1972, 1973; Weisberg et al., 1976)、太陽活動に伴う極域太陽風の密度分布の変化が明らかにされた。本研究では、その観測結果と比較することで現在の太陽風の特異性を明らかにできる。また、本研究の観測範囲は ISEE の IPS 観測では強散乱の効果のため観測できない太陽のごく近傍の領域を含んでいる。このような太陽近傍のパルサー観測からは太陽風加速に関する新たな情報が得られる可能性がある。

我々は、豊川分室の電波望遠鏡 (SWIFT; Tokumaru et al., 2011) を利用してパルサー DM 測定のためのシステムを整備した。SWIFT の観測周波数は 327MHz、有効面積は 1970  $\text{m}^2$  (天頂方向) である。パルサー DM 測定のため高速 (2Gbps) サンプラ ADS3000+ と容量 10TB のファイルサーバが豊川に設置された。これらの 2 つ装置のデータ通信には 10GB Ethernet を用いている。データの収集および解析ソフトウェアは情報通信研究機構・鹿島センターから提供された。本システムを用いた Crab パルサーの観測は、昨年 11 月から開始され、そのデータから明瞭なパルサーの信号が検出されている。本講演では、これまでに取得したデータ解析の初期結果について報告する。

## 地球フォアショックにおける電子加速：1次元PICシミュレーション

# 大塚 史子 [1]; 松清 修一 [2]; 羽田 亨 [1]  
[1] 九大総理工; [2] 九大・総理工

### Electron acceleration at Earth's foreshock: One-dimensional PIC simulation

# Fumiko Otsuka[1]; Shuichi Matsukiyo[2]; Tohru Hada[1]  
[1] ESST, Kyushu Univ; [2] ESST Kyushu Univ.

The Earth's foreshock extends to a large domain of upstream quasi-parallel bow shock, and is characterized by presence of such phenomena as field-aligned beams (FAB), diffuse ions, ultra-low frequency (ULF) waves, high-frequency whistler waves, SLAMS, shocklets, and so on. We have performed a long-term and large-scale one-dimensional PIC simulation of a quasi-parallel collisionless shock to understand the physics of the foreshock which has not been clearly understood. In the previous presentation, we reported the FAB generation, ULF wave excitation by the FAB, ion acceleration near the shock, and electron acceleration in the shock precursor. In this presentation, we investigate the electron acceleration mechanism in more detail. Electrons are accelerated via scattering by the large amplitude Alfvén waves near the shock, and also by the whistler waves further away from the shock. The whistler waves are excited in the region where the electron velocity distribution function has an asymmetry along the background magnetic field. We discuss the relation between the whistler wave excitation and the electron velocity distribution function.

地球フォアショックは、準平行衝撃波の上流遠方まで広がっており、沿磁力線ビーム (FAB) や diffuse ions、ULF 波動や高周波のホイッスラー波、SLAMS などの非線形波動によって特徴付けられる。我々は準平行衝撃波の大規模なフル粒子 (PIC) 計算を行い、地球フォアショックにおける波動励起から粒子拡散・加速に至る一連の過程を自己無撞着に再現することに取り組んでいる。前回の講演では、FAB の生成、FAB による ULF 波動の励起、衝撃波近傍でのイオン加速、さらにフォアショックにおける電子加速の存在を報告した。本講演では、特に太陽風電子が衝撃波面に到達する前に加速するメカニズムを詳細に議論する。電子軌道の追跡により、電子は衝撃波近傍の大振幅アルフヴェン波と、それよりもっと上流のホイッスラー波によって加速されている可能性がある。また、ホイッスラー波が励起されている領域では、磁力線方向に非対称な電子速度分布が観測されている。電子速度分布とホイッスラー波生成の関係、またその時空間発展を議論する。

## 地球磁気圏衝撃波と惑星間空間衝撃との相互作用による電子加速の研究

# 中野谷 賢 [1]; Mazelle Christian[2]; 松清 修一 [3]; 羽田 亨 [4]  
[1] 九大総理工; [2] CNRS,IRAP; [3] 九大・総理工; [4] 九大総理工

## Investigation of Electron Acceleration through the Interaction of between the Earth's Bow Shock and an Interplanetary Shock

# Masaru Nakanotani[1]; Christian Mazelle[2]; Shuichi Matsukiyo[3]; Tohru Hada[4]  
[1] ESST, Kyushu Univ.; [2] CNRS,IRAP; [3] ESST Kyushu Univ.; [4] ESST, Kyushu Univ

Shock waves can exist wherever supersonic relative flows exist in space. They often approach and even collide with each other (we call it a shock-shock interaction). For instance, it is commonly observed that an interplanetary (IP) shock interacts with planetary bow shocks or the heliospheric termination shock. Beyond the heliosphere, shock-shock interactions can be also seen in many astrophysical circumstances.

In those situations, we have a question: 'Is particle acceleration through a shock-shock interaction more efficient than that occurring in a single shock wave?'. However, we have little direct evidence of particle acceleration by a shock-shock interaction. Hietala et al.[2011] discussed ion acceleration while an IP shock was approaching to the bow shock by mainly using ACE, WIND and GEOTAIL data. They argued that ions can be accelerated through bouncing off between the two shocks with a Fermi acceleration mechanism. Until now, on the other hand, we do not still have a direct evidence of electron acceleration by a shock-shock interaction.

In this paper, we report a spacecraft observation implying electron acceleration due to the interaction between an IP shock and the bow shock on January 20, 2004. While CLUSTER observed increase of electron flux two hours before the IP shock crossing, ACE and WIND did not observe such electron flux increase. The reason for the difference is that although CLUSTER was magnetically connected to the bow shock and IP shock, ACE and WIND were only connected to the IP shock. In this case, energetic electrons were probably accelerated through bouncing off between the two magnetically connected shocks. The electrons have a bi-directional pitch angle distribution implying that they come and go between the two shocks. We discuss the acceleration mechanism in detail and compare its efficiency to the case of single shock acceleration (usual diffusive shock acceleration).

衝撃波は宇宙において超音速の相対的な流れがあるところであればどこにでも起こりうる。それらはしばしば、互いに近づいたり衝突したりする。例えば太陽から発生した惑星間空間衝撃波は惑星前面のバウショックや太陽圏終端衝撃波と相互作用することが観測的にも捉えられている。太陽圏を超えても、衝撃波-衝撃波相互作用は多くの天体現象においてみることができる。

それらの状況において、一つの疑問が思い浮かぶ、'衝撃波-衝撃波相互作用による粒子加速の効率は単一の衝撃波より高いのか?'。しかしながら衝撃波-衝撃波相互作用による粒子加速を示す直接的な観測はほとんどない。Hietala et al. [2010] は惑星間空間衝撃波が地球のバウショックに近づいている間にイオンが加速されたことを ACE, WIND, GEOTAIL 衛星の観測から見出した。彼女らは、イオンは二つの衝撃波の間で反射を繰り返しながら加速されたと論じた (フェルミ加速)。しかしながら、これまで、衝撃波-衝撃波相互作用による電子加速の直接的な証拠は報告されていない。

本研究では、2004年1月20日に発生した惑星間空間衝撃波と地球のバウショックとの相互作用による電子加速を示唆する観測結果を報告する。CLUSTER は惑星間空間衝撃波が衛星を通過する2時間前から電子フラックスの増加を観測したが、ACE と WIND はそのような電子フラックスの増加を観測しなかった。その違いの理由は、CLUSTER はバウショックと惑星間空間衝撃波の両方と磁場でつながっていたのに対して、ACE や WIND は惑星間空間衝撃波とだけ磁場でつながっていたことである。その場合、高エネルギー電子は二つの磁場でつながった衝撃波の間を、反射を繰り返しながら加速されると考えられる。さらに観測された電子のピッチ角分布は bi-directional 分布を持っており、それは電子が二つの衝撃波からやってきていることを示している。本講演では詳細な加速メカニズムや、単一の衝撃波による場合との加速効率の比較を議論する。

## 高ベータ低マッハ数準垂直衝撃波における高エネルギー電子の生成

# 松清 修一 [1]; 松本 洋介 [2]  
[1] 九大・総理工; [2] 千葉大理

## Electron energization in high beta low Mach number quasi-perpendicular shock

# Shuichi Matsukiyo[1]; Yosuke Matsumoto[2]  
[1] ESST Kyushu Univ.; [2] Chiba University

We investigate the roles of electron shock drift acceleration in a high beta and low Mach number quasi-perpendicular shock which is commonly present in a variety of circumstances in space such as pickup ion mediated heliospheric termination shock, cosmic ray modified sub-shock of a supernova remnant shock, galaxy cluster merger shock, etc. We previously showed that some of the upstream incident thermal electrons are accelerated through the mechanism called shock drift acceleration and reflected back toward upstream. For appropriate parameters, accelerated electrons can have relativistic energy after the reflection. However, the region of parameter space where the mechanism works is limited. Here, we examine the possibility that a high beta and low Mach number shock can preferentially accelerate the particles having already non-thermal energies which are preaccelerated through some unknown mechanisms. We perform two-dimensional full particle-in-cell simulation of a high beta and low Mach number quasi-perpendicular shock. In addition to the self-consistent plasma electrons and ions, test electrons whose temperature is one order higher than background upstream self-consistent electrons are introduced. We assume that these halo electrons are sufficiently tenuous so that they do not affect electromagnetic fields. We found that the halo electrons are well energized, even though background self-consistent electrons are not. Mechanism and efficiency of energization of the halo electrons are discussed.



## 太陽風中の月のウェイク中のKH不安定的な磁場変動について

# 中川 朋子 [1]; 綱川 秀夫 [2]  
[1] 東北工大・工・情報通信; [2] 東工大・理・地惑

## On the Kelvin-Helmholtz-like waves at the lunar wake boundary in the solar wind

# Tomoko Nakagawa[1]; Hideo Tsunakawa[2]  
[1] Tohoku Inst. Tech.; [2] Dept. Earth Planet. Sci., Tokyo TECH

<http://www.ice.tohtech.ac.jp/~nakagawa/>

Kelvin-Helmholtz vortex-like waves were found by MAP/LMAG onboard Kaguya in the lunar wake. They were preferentially found in the lunar wake boundary when the solar wind magnetic field was perpendicular to the bulk flow. The sense of rotation was consistent with the Kelvin-Helmholtz vortex. The thickness of the density gradient layer at the wake boundary was about 300-430 km, which was only several times of ion Larmor radius. The waveform was steepened at the wake boundary, and became sinusoidal in the central wake. No dawn-dusk asymmetry as observed at Mercury was found.

かぐや衛星搭載のMAP/LMAGによって観測された、月のウェイク中でケルビン-ヘルムホルツ(K-H)不安定による渦と同じ向きに回転する磁場変動について考察する。これは太陽風の流れ(SSE座標でx方向)に対し磁場が垂直( $B_y$ 卓越)な時に顕著に見られ、IMF- $B_y$ が正(duskward)なら北半球で左回り、南半球で右回り、IMF- $B_y$ が負(dawnward)なら北半球で右回り、南半球で左回りとなっていたもので、rotBが北半球でdawnward、南半球でduskwardを向いていることを示し、K-H不安定と同じ向きである。 $B_z$ が卓越する場合も朝側でrotBが南向き、夕方側でrotBが北向きであった。

この波が観測され始めるのは、昼夜境界よりもやや夜側で、月のウェイクに向かってプラズマ密度が急激に減少する層からである。密度変化層の厚さは300-430km程度であり、太陽風プロトンの熱速度から求めたラーマー半径100kmの数倍でしかない。密度が2分の1になるまでの距離はさらに1桁小さく、運動論的な効果が効いてもおかしくないスケールとなっている。低密度のため速度シアアの直接観測は難しい。

このK-H的な波はウェイク境界で最高0.3Hz程度まで観測されるが、これは20-30秒周期の基本波の波形が鋸歯状になったために出た成分であり、乱流が発達した形跡はない。波はウェイク中心にかけて連続的に観測され、月の真裏では周期100秒程度の正弦波となる。赤道通過で偏波が反転し、反対半球のウェイクでまた鋸歯状の波形に戻っていく。ウェイク中心の磁場変動はウェイク境界から伝播してきたか、あるいは誘導されたものと考えられる。最小変化法(minimum variance analysis)によって求められるkベクトルの方向は、背景磁場に平行に近い場合・垂直に近い場合の両方があった。

地球磁気圏や水星磁気圏と太陽風(シース)との境界においても似たような波が良く観測されるが、月の場合は水星で見られたような朝夕非対称に対応するものはなかった。磁場が天体由来のものでないため、対流電場によるラーマー半径の拡大・縮小の効果があまりないと考えられる。

## Evolution of pickup ion density structures in the outer heliosheath

# Ken Tsubouchi[1]

[1] Tokyo Institute of Technology

Two-dimensional hybrid simulations are performed to investigate how the density structure of pickup ion (PUI) evolves in the outer heliosheath (OHS). OHS is considered to be the source region of localized bright emission of energetic neutral atoms (ENAs), known as IBEX Ribbon. The most probable source of these ENAs is PUIs in OHS, origin of which is the charge-neutralized solar wind inside the heliosphere. In the simulation system, we assume hot solar wind and cold interstellar plasmas, which tangentially flow each other at the heliopause. Such environment allows evolution of Kelvin-Helmholtz instability (KHI), resulting in the plasma mixing as well as turbulence development in its nonlinear stage. We analyze the effect of these KHI properties upon the PUI dynamics in OHS. We have identified the growth of filamentary structure in the PUI density when the primary PUI energy density is comparable to those of the background plasma. We will further discuss the dependence of several PUI parameters on the characteristic of PUI dynamics in OHS, which can cause the non-stationarity and non-uniformity of IBEX Ribbon.

## 情報通信研究機構－東北大学統合太陽電波観測データアーカイブ

# 石橋 弘光 [1]; 三澤 浩昭 [2]; 岩井 一正 [1]; 直井 隆浩 [1]; 土屋 史紀 [3]; 久保 勇樹 [1]  
[1] 情報通信研究機構; [2] 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター; [3] 東北大・理・惑星プラズマ大気

## Development of the online integrated archive system for NICT-Tohoku Univ. solar radio observation

# Hiromitsu Ishibashi[1]; Hiroaki Misawa[2]; Kazumasa Iwai[1]; Takahiro Naoi[1]; Fuminori Tsuchiya[3]; Yuki Kubo[1]  
[1] NICT; [2] PPARC, Tohoku Univ.; [3] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.

The importance of solar radio observations has been re-acknowledged in a space weather community lately. Solar radio bursts in GHz band are directly related to space weather disasters as follows: increase in GNSS positioning errors caused by interference in GNSS signals of solar radio bursts; and interruption of air traffic caused by radio wave interference in ATC (Air Traffic Control) radar system. Therefore, observation of solar radio bursts in GHz band is very significant from the viewpoint of space weather disaster monitoring. At the same time, solar radio bursts in MHz band is still recognized as the warning signals associated with formation and propagation of the CME-driven shock wave in solar corona. In addition, solar radio bursts in MHz and GHz band are closely related to each other in terms of their origin: each of them are generated by high energy electrons accelerated in the corona. Thus the wide-band observation of solar radio bursts has potentials enough to stimulate many researchers.

In National Institute of Information and Communications Technology (NICT), wideband (70 -9000 MHz) solar radio spectrograph in Yamagawa radio observation facility has been in operation. On the other hand, Planetary Plasma and Atmospheric Research Center (PPARC), Tohoku University started solar radio observation in lower frequency band (20-150 MHz). As for the frequency range, they are mutually complementary with each other and thus we could observe solar radio bursts in significant wideband under close mutual cooperation. For realizing this idea, we have been jointly working with Tohoku University to develop an online integrated archive system for solar radio observation datasets (FITS, etc.). This system aims to allow users to browse or handle all of data sets of solar radio bursts observed at Hiraiso, Yamagawa (NICT), Iitate, and Zao observatory (Tohoku University) in a sophisticated and integrated way.

In this presentation, we will briefly report the current status of development of the online integrated archive system for NICT-Tohoku Univ. solar radio observation.

Acknowledgements: This work is supported by Tohoku University based on PPARC's collaborative research program.

## 伝搬性ファストソーセージモード波動により変調された太陽電波ゼブラパターンの観測

# 金田 和鷹 [1]; 三澤 浩昭 [2]; 岩井 一正 [3]; 増田 智 [4]; 土屋 史紀 [5]; 加藤 雄人 [6]; 小原 隆博 [7]

[1] 東北大・理・PPARC; [2] 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター; [3] 情報通信研究機構; [4] 名大 STE 研; [5] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [6] 東北大・理・地球物理; [7] 東北大・惑星プラズマセンター

## Observation of Solar Radio Zebra Pattern Modulated by Propagating Fast Sausage Waves

# Kazutaka Kaneda[1]; Hiroaki Misawa[2]; Kazumasa Iwai[3]; Satoshi Masuda[4]; Fuminori Tsuchiya[5]; Yuto Katoh[6]; Takahiro Obara[7]

[1] PPARC, Geophysics, Tohoku Univ.; [2] PPARC, Tohoku Univ.; [3] NICT; [4] STEL, Nagoya Univ.; [5] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [6] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [7] PPARC, Tohoku University

Zebra patterns (ZPs) are one kind of fine structures observed in type IV solar radio bursts. In the dynamic spectrum, they look as a number of nearly parallel stripes superimposed on the background continuum. ZPs often show quasi-periodic modulations in their time profile of intensity or stripe frequency which are known as quasi-periodic pulsation and wiggling, respectively. Since these modulations are possibly related to magnetohydrodynamic waves in their source regions, they can be used to estimate some plasma parameters in the corona which cannot be observed directly. In spite of their high potential to diagnose the coronal plasma, the temporal variation in the frequency separation between the adjacent stripes of ZPs ( $\Delta f$ ) has not been studied well. In this study, we investigated a ZP event on 2011 June 21. By analyzing highly resolved radio spectrum data from the Assembly of Metric-band Aperture Telescope and Real-time Analysis System (AMATERAS), the temporal variation in  $\Delta f$  was obtained. We found that  $\Delta f$  increases with the increase of emission frequency as a whole, which is consistent with the double plasma resonance (DPR) model. Furthermore, we also found that irregularities in  $\Delta f$  are repetitively drifting from the high frequency side to the low frequency side. Their frequency drift rate was 3-8 MHz/s and the repetitive frequency was several seconds. Assuming the ZP generation by the DPR model, the drifting irregularities in  $\Delta f$  correspond to propagating disturbances in plasma density and magnetic field with speeds of 3000-8000 km/s. Taking account of these facts, the observed modulations in  $\Delta f$  can be explained by fast sausage waves propagating through the corona. We will also discuss the plasma conditions in the corona estimated from the observational results.

ゼブラパターン (ZP) は、IV 型バースト中に見られる微細構造の一種で、複数の狭帯域放射が縞模様状に並んだスペクトル形状をもつ現象である。ZP の強度や縞の周波数は、しばしば準周期的な時間変動を示す。これらの準周期性は ZP の放射源における磁気流体波動と関連していると考えられている。磁気流体波の性質からは直接観測が困難なコロナの物理量を推定することが可能である。したがって ZP の準周期的変動はフレア領域のプラズマ環境を理解する上で重要な情報源となる。しかしながら、ZP を特徴づける変数のひとつである縞の周波数間隔 ( $\Delta f$ ) に関する研究は少なく、その時間変動については知られていない。そこで本研究では 2011 年 6 月 21 日に発生した ZP 現象の  $\Delta f$  の時間変動に着目し、データ解析を行った。太陽電波観測装置 AMATERAS で観測されたスペクトルを用いて縞構造の周波数間隔 ( $\Delta f$ ) とその時間変動を調べた。全体的には、放射周波数が高くなるにつれ、 $\Delta f$  は大きくなっていく傾向が見られた。これは、ZP の発生機構として有力な double plasma resonance (DPR) モデルによって解釈できる。一方で、 $\Delta f$  の不均一構造が高周波数から低周波数側へドリフトしていること、またそのドリフト構造が準周期的に繰り返し出現していることがわかった。周波数ドリフトは 3-8 MHz/s 程度、繰り返し周期は数秒程度であった。DPR モデルを仮定すると、観測された  $\Delta f$  の不均一構造は、3000-8000 km/s で伝搬する密度・磁場の擾乱であると解釈できる。この結果は、 $\Delta f$  がフレアループに沿って伝搬する fast sausage mode の磁気流体波動によって変調されていることを示唆する。また、観測結果から想定されるコロナのプラズマ環境についても議論する。

## 「ひさき」衛星による惑星間空間のヘリウム分布光学観測

# 山崎 敦 [1]; 村上 豪 [2]; 吉岡 和夫 [3]; 木村 智樹 [4]; 土屋 史紀 [5]; 鍵谷 将人 [6]; 坂野井 健 [7]; 寺田 直樹 [8]; 笠羽 康正 [9]; 吉川 一朗 [10]; ひさき (SPRINT-A) プロジェクトチーム 山崎 敦 [11]  
[1] JAXA・宇宙研; [2] ISAS/JAXA; [3] 東大・理; [4] RIKEN; [5] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [6] 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター; [7] 東北大・理; [8] 東北大・理・地物; [9] 東北大・理; [10] 東大・理・地惑; [11] -

## Optical observation of neutral helium distribution in interplanetary space by Hisaki

# Atsushi Yamazaki[1]; Go Murakami[2]; Kazuo Yoshioka[3]; Tomoki Kimura[4]; Fuminori Tsuchiya[5]; Masato Kagitani[6]; Takeshi Sakanoi[7]; Naoki Terada[8]; Yasumasa Kasaba[9]; Ichiro Yoshikawa[10]; Yamazaki Atsushi Hisaki (SPRINT-A) project team[11]  
[1] ISAS/JAXA; [2] ISAS/JAXA; [3] The Univ. of Tokyo; [4] RIKEN; [5] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [6] PPARC, Tohoku Univ; [7] Grad. School of Science, Tohoku Univ.; [8] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [9] Tohoku Univ.; [10] EPS, Univ. of Tokyo; [11] -

The Hisaki (SPRINT-A) satellite has a main scientific topic of the planetary magnetospheric and atmospheric observation for a long term, but carried out the non-planetary observation at the time when there is no opportunity for observation of all planets. One of those cases is observation of helium atom resonance scattering from interplanetary space.

A material in the local interstellar medium (LISM) travels into the heliosphere over the heliopause by the relative velocity of the heliosphere and interstellar gases. The helium atoms move into about 0.5Au from the neighboring of the sun without ionizing because of its high ionization energy. The helium atoms are bent by sun gravity along the Keplerian orbit and forms a high density region on the down wind side, which is called helium cone. The distribution of helium atoms in the helium cone can estimate the speed and direction of the interstellar wind, and the density and the temperature of the helium atom in interstellar gases.

Such a study was carried out from the 1970s, but the recent IBEX satellite observation results the distribution of interstellar gasses change dynamically. The Hisaki satellite carried out the observation of the resonance scattering from the helium cone. Hisaki observed the helium cone for two months in 2015 including a ecliptic longitude with the maximum density of the helium in the cone. In this presentation, the helium cone observation result and the change of the wind direction are reported.

ひさき (SPRINT-A) 衛星は長期間継続した惑星観測を行うことが主目的であるが、観測好機となる惑星が存在しない時期には惑星以外の観測も実施している。そのうちの一例が、惑星間空間からのヘリウム原子共鳴散乱光観測である。

惑星間空間には、局所星間空間 (LISM) の物質が太陽圏との相対速度により星間風となって、ヘリオポーズを超えて太陽圏内に侵入している。イオン化エネルギーが高いヘリウム原子はイオン化することなく太陽近傍の 0.5Au 以内にまで侵入することができる。その軌道は太陽重力によってケプラー運動し、太陽の星間風下側に密度の濃い領域を形成する。これをヘリウムコーンと呼ぶ。惑星間空間のヘリウム分布から星間風の速さと方向、星間空間ヘリウム原子の密度と温度を推定することができる。

1970年代から実施されている歴史の長い研究であるが、近年の IBEX 衛星がより精密に局所星間空間の観測を実施し注目されている。その結果、これまで時間変化が少ないとされていた星間ガスの分布が、かなりダイナミックに変動していることが明らかとなった。ひさき衛星もヘリウムコーンからのヘリウム原子共鳴散乱光観測を実施した。2015年末の2ヶ月間に渡り、ヘリウムコーンの密度が極大となる経度を含む期間に観測を実施した。惑星間空間からのヘリウム共鳴散乱光観測結果を報告し、星間風の速度方向の変化について議論する。

## 太陽圏への高エネルギー粒子の輸送過程の数値実験

# 下川 啓介 [1]; 羽田 亨 [2]; 松清 修一 [3]  
[1] 九大・総理工・大海; [2] 九大総理工; [3] 九大・総理工

## Numerical simulation of the transport process of cosmic rays into the heliosphere

# Keisuke Shimokawa[1]; Tohru Hada[2]; Shuichi Matsukiyo[3]  
[1] ESST, Kyushu Univ; [2] ESST, Kyushu Univ; [3] ESST Kyushu Univ.

<http://www.esst.kyushu-u.ac.jp/~space/>

Cosmic rays are highly energetic charged particles found almost everywhere in space. Although the majority of galactic cosmic rays (GCRs) are prevented from entering the heliosphere, some fraction of them can reach deep inside it and can be observed at the Earth. It is not well understood how and from where the GCRs penetrate into the heliosphere. The heliosphere has two large scale discontinuities called the solar wind termination shock and the heliopause. The magnetic field inside the heliosphere typically shows the Parker spiral feature, while the field lines outside the heliosphere (local interstellar space) tilt from those of the solar wind. The trajectories of the GCRs transported into the heliosphere should be complicated because of such complex boundary structures of the heliosphere. Voyager spacecraft are now exploring in-situ the boundary region of the heliosphere and the boundary structures are intensively studied. Further, large scale MHD simulations are also performed and detailed structures of the boundary region are being revealed. In this study, we investigate the transport process of the GCRs into inside the heliosphere by performing test particle simulations using the electromagnetic fields produced by a large scale MHD simulation.

We follow the motions of a large number of test particles (protons) in the electromagnetic fields obtained from the MHD simulation which assumes steady state solar wind and interstellar plasma interactions. There are three typical types of magnetic field line configurations, i.e., interstellar magnetic field lines draping the heliosphere, spiral solar wind magnetic field lines swept away downward by the interstellar wind, and the field lines connecting these two at the heliopause. Here, we consider the test particles with different energies, 10, 100, and 1000 GeV. Initially, they are homogeneously distributed in the interstellar space far upstream of the heliosphere. Their initial velocities are along the local magnetic field. We found that the transport process varies depending on the particle energy. For 10 GeV protons, a majority of the particles travel around the heliosphere along the draping field lines or are mirror reflected at the front edge of the heliosphere. Nevertheless, some of other particles approach the heliopause and keep the motion in the vicinity of the heliosphere. Some of these particles reach deep inside the heliosphere along the solar wind current sheet with relatively short time. Some others travel tail ward along the heliopause and are captured at a certain position by a solar wind spiral field line to follow it toward the sun with relatively long time. For 1000 GeV protons, some particles can enter the heliosphere almost without being affected by the solar wind magnetic field due to their large gyro-radius. In the poster, we further estimate some quantities like the efficiency of transport, the time to reach deep inside the heliosphere, etc.

地球に到達する銀河宇宙線は、例外的に太陽圏内部に侵入した宇宙線の一部であり、これらが太陽圏境界のどの領域からどのような経路を経てやってくるのか、その詳細は現在まで不明である。太陽圏は、太陽から吹き出す超音速の太陽風プラズマと星間プラズマとの相互作用によって形成され、太陽風プラズマが超音速から亜音速に遷移する終端衝撃波や、星間プラズマとの接触不連続面である太陽圏界面と呼ばれる大規模境界構造が存在している。太陽からはスパイラル構造をもつ磁力線が伸びており、太陽圏界面を通過して太陽圏内に侵入した宇宙線は、基本的にこの磁力線に巻き付いて運動をされると考えられている。現在、ボイジャーによる太陽圏境界領域の直接探査が進行中であり、複雑な同領域の構造が観測的に明らかになりつつある。また、大規模 MHD 計算により太陽圏の全体像についての理解も進んできている。本研究では、近年高精度化が進む大規模 MHD 計算とテスト粒子計算を組み合わせ、宇宙線の太陽圏への侵入過程の理解を目指す。

ここでは、定常太陽風を仮定した大規模 MHD 計算で得られた太陽圏の大規模電磁場構造を用い、この中で多数のテスト粒子の挙動を追った。MHD 計算では終端衝撃波や太陽圏界面といった構造が再現されている。基本的な磁力線構造として、太陽圏を引っかけながら迂回していく星間磁場と、星間風の影響を受けて吹き流される太陽風のスパイラル磁場があり、一部では両者が界面付近で繋ぎ変わった磁力線構造がある。テスト粒子として、10GeV、100GeV、1000GeV のエネルギーを持つ多数の陽子をこの電磁場構造の中に配置してその軌道を追跡した。初期条件として、粒子を星間空間にシート状に配置し、速度分布としてすべての粒子が磁力線に沿う向きの速度を持つ場合と、一様なピッチ角分布を持つ場合について計算を行った。結果として、エネルギーに応じて侵入過程が定性的に異なることを見出した。10GeV のエネルギーでは、大多数の粒子は星間磁場に沿って太陽圏を迂回して通り過ぎるか、太陽圏前面部の強い磁場を感じてミラー反射されるが、一部太陽圏界面に沿って運動する粒子が存在した。界面に沿って運動する粒子のうち、一部の粒子は太陽風の電流シートに沿って比較的短時間で太陽圏内部にまで達する。また一部は、界面に沿って尾部の方に移動しながら、ある地点で太陽風のスパイラル磁場に捉えられ、これに沿って長い時間をかけて太陽近傍にまで到達することが分かった。1000GeV のエネルギーでは、ジャイロ半径が太陽圏スケール程度になるため、太陽圏の磁場構造の影

響を受けずにそのまま内部へと侵入するものが多くなる。発表ではさらに、粒子の侵入効率や内部境界への到達時間など、いくつかの統計量に関して定量的な評価を行う。

## 太陽圏境界構造の1次元PIC計算

#野海 智貴 [1]; 松清 修一 [2]; 羽田 亨 [3]  
[1] 九大・総理工・大海; [2] 九大・総理工; [3] 九大総理工

## One-dimensional PIC simulation of boundary region of heliosphere

# Tomoki Noumi[1]; Shuichi Matsukiyo[2]; Tohru Hada[3]  
[1] ESST, Kyushu Univ.; [2] ESST Kyushu Univ.; [3] ESST, Kyushu Univ

The structure of the heliospheric boundary region is highly complex. There are two important discontinuities called the solar wind termination shock and the heliopause. The solar wind is decelerated at the termination shock from supersonic to subsonic. The decelerated solar wind is finally held back at the heliopause. The boundary region is now being explored in-situ by Voyager spacecraft. Numerically, it has been extensively studied by using MHD simulations. However, kinetic simulation is necessary to clarify microstructures in this region.

In this study, the termination shock and the heliopause are simultaneously reproduced by using one-dimensional full particle-in-cell simulation to understand their microstructures and interactions. Initially, simulation space is divided into two regions filled with solar wind plasma at rest and interstellar plasma having a bulk velocity. The latter is continuously injected from the left boundary. As time passes a shock wave (termination shock) is formed in the solar wind and the boundary between the solar wind and the interstellar plasma becomes a contact discontinuity (heliopause). We assume that solar wind plasma beta is 0.23, the ratio of electron cyclotron to plasma frequencies is 0.21, relative density of the interstellar plasma to the solar wind plasma is 9, relative temperature 4, relative magnetic field magnitude 6, and flow velocity is 4.7 times the Alfvén velocity in the solar wind. Electron and ion temperatures are identical in each region. When the ambient magnetic field is perpendicular to the system, Alfvén Mach number of the shock is 6.2. We confirmed that Rankine-Hugoniot relations are roughly satisfied at the two discontinuities. In the poster, microstructures of the two discontinuities will be analyzed in detail. We will also report how the structures are modified when the direction of the ambient magnetic field becomes oblique.

太陽から常時噴き出す太陽風プラズマは、太陽圏と呼ばれる勢力圏を星間空間に形成している。太陽圏は、内側を低温、低密度の超音速プラズマが占め、外側を高温、高密度の亜音速プラズマが占めている。両者の境界には終端衝撃波が形成されている。太陽圏と外側の星間プラズマの境界はヘリオポーズと呼ばれる接触不連続面である。こうした太陽圏外縁の基本構造は、ボイジャー探査機による観測やMHD計算を用いて現在精力的に研究されている。しかしながら、終端衝撃波やヘリオポーズのマイクロ構造には不明な点が多く、その解明には運動論的な数値計算が必要とされている。また、2つの不連続面の間は亜音速の太陽風プラズマで満たされているため、両者は互いの構造に影響を与え得るが、過去の運動論的な数値実験でこれらを1つの系で同時に再現した例はない。

本研究では、1次元PIC計算を用いて、終端衝撃波とヘリオポーズの2つの不連続面を含む系を再現し、各不連続面のマイクロ構造とそれらの相互作用を解明することを目的とする。初期条件として、空間を星間プラズマと太陽風が占める2つの領域に分ける。計算は太陽風の静止系で行い、一定速度を持つ星間プラズマを片側から継続的に注入する。時間の経過とともに太陽風中に衝撃波（終端衝撃波）が形成され、太陽風と星間プラズマの境界が接触不連続面（ヘリオポーズ）となる。ここでは、太陽風のベータ値を0.23、電子サイクロトロン振動数とプラズマ振動数の比を0.21とし、太陽風に対する星間プラズマの相対的な密度を9、温度を4、磁場強度を6、流れの速度を太陽風中アルフヴェン速度の4.7倍とした。また、各領域の電子温度とイオン温度は等しいとした。外部磁場を系に対して垂直方向（z方向）に取ったとき、形成された衝撃波のアルフベンマッハ数は6.2であった。各不連続面における物理量の変化は、ランキン-ユゴニオ関係と矛盾しないことを確認した。発表では、これら2つの不連続面のマイクロ構造について議論し、さらに外部磁場を斜め（xz面内）にしたときの変化について報告する。