

## 高ベータ低マッハ数衝撃波における電子加速 Electron acceleration at high beta low Mach number collisionless shock

松清 修一<sup>1\*</sup>; 松本 洋介<sup>2</sup>  
MATSUKIYO, Shuichi<sup>1\*</sup>; MATSUMOTO, Yosuke<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>千葉大学  
<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>Chiba University

Voyager spacecraft revealed that the solar wind termination shock is a rather weak shock since the upstream plasma beta is high and effective Mach number of the shock is low due to the presence of pickup ions. Nevertheless, the fluxes of non-thermal electrons and ions (the latter are called as termination shock particles) are enhanced when crossing the termination shock. Electron acceleration at a weak shock is also reported in terms of galaxy cluster merger shocks. In this study we perform two-dimensional full particle-in-cell simulation to discuss microstructure of the high beta and low Mach number shock and the associated electron acceleration. Unlike a one-dimensional simulation, electrons are not reflected at the shock when a shock angle is close to 90 deg. due to the effect of rippling. Nevertheless, some electrons are accelerated locally at the transition region. Wave-particle interactions appear to play a role.

キーワード: 無衝突衝撃波, 数値実験, 粒子加速  
Keywords: collisionless shock, numerical simulation, particle acceleration

## Acceleration of pickup $H^+$ , $He^+$ , and $O^+$ in the corotating interaction regions Acceleration of pickup $H^+$ , $He^+$ , and $O^+$ in the corotating interaction regions

坪内 健<sup>1\*</sup>  
TSUBOUCHI, Ken<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学  
<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology

Pickup ions (PUIs), interstellar neutral particles ionized mainly by the charge exchange with solar wind plasmas, are considered to be the dominant source of anomalous cosmic rays (ACRs). Recent studies suggest that the heliospheric termination shock alone is not capable of accelerating primary PUIs up to the ACR energy range, an order of MeV. Among other mechanisms responsible for the PUI acceleration, we focus on the preacceleration process inside the heliosphere before the encounter with the termination shock. Corotating interaction regions (CIRs) are one of such a particle accelerator because their boundaries form the (forward and reverse) shocks. We perform two-dimensional hybrid simulations to investigate the PUI dynamics in association with CIRs. We have already shown that the hydrogen PUIs can gain energy over 250 keV. A periodic boundary in the present CIR model allows the successive CIRs, where the diffusive shock acceleration for PUIs can be attained between them. In the present study, we will pay additional attention to the behavior of other PUI species, helium and oxygen, which are also main ACR components. Detailed processes as well as efficiency of their acceleration are compared with those of hydrogen case. We will further unify the composite acceleration process during the CIR propagation.

## Strahl formation in the solar wind electrons: Particle-in-cell simulation Strahl formation in the solar wind electrons: Particle-in-cell simulation

JUNGJOON, Seough<sup>1\*</sup>; NARIYUKI, Yasuhiro<sup>2</sup>; YOON, Peter H.<sup>3</sup>; SAITO, Shinji<sup>4</sup>  
JUNGJOON, Seough<sup>1\*</sup>; NARIYUKI, Yasuhiro<sup>2</sup>; YOON, Peter H.<sup>3</sup>; SAITO, Shinji<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Human Development, University of Toyama / JSPS Postdoctoral Fellow, <sup>2</sup>Faculty of Human Development, University of Toyama, <sup>3</sup>IPST, University of Maryland / School of Space Research, Kyung Hee University, <sup>4</sup>Graduate School of Science, Nagoya University

<sup>1</sup>Faculty of Human Development, University of Toyama / JSPS Postdoctoral Fellow, <sup>2</sup>Faculty of Human Development, University of Toyama, <sup>3</sup>IPST, University of Maryland / School of Space Research, Kyung Hee University, <sup>4</sup>Graduate School of Science, Nagoya University

The present study puts forth a possible explanation for the outstanding problem of the *strahl* formation in the solar wind electrons. Making use of the fact that in the collisionless limit the electron core-halo relative drift exists in the direction away from the Sun in such a way that the halo usually flow faster than the core, the present study carries out one-dimensional particle-in-cell simulation of whistler instability, assuming anisotropic core and drifting isotropic halo. The enhanced whistler waves driven by anisotropic core lead to the pitch angle scattering of drifting halo in an asymmetric way since the number of the drifting halo participating in the resonant interaction is different between the halos moving the sunward and anti-sunward directions. In this way, pitch angle scattering of the anti-sunward moving halo by the whistler waves propagating sunward is more efficient in phase space and leads to the energy transfer from the drift energy to the thermal energy of halo. During the saturation phase of whistler wave-halo particle resonant interaction, the remaining part of the anti-sunward moving halo, which is out of resonance with the whistler waves propagating sunward, turns out to be a field-aligned *strahl* in the electron velocity distribution.

キーワード: non-thermal solar wind electron velocity distributions, the magnetic-field-aligned strahl, whistler instability  
Keywords: non-thermal solar wind electron velocity distributions, the magnetic-field-aligned strahl, whistler instability

## イオンスケール・ホイッスラー乱流のカスケードについて Forward cascade of whistler turbulence at ion scales

齊藤 慎司<sup>1\*</sup>; 成行 泰裕<sup>2</sup>; 梅田 隆行<sup>3</sup>  
SAITO, Shinji<sup>1\*</sup>; NARIYUKI, Yasuhiro<sup>2</sup>; UMEDA, Takayuki<sup>3</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学大学院理学研究科, <sup>2</sup>富山大学人間発達科学部, <sup>3</sup>名古屋大学太陽地球環境研究所  
<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>University of Toyama, <sup>3</sup>STE Laboratory, Nagoya University

Two-dimensional electromagnetic particle-in-cell simulations in magnetized, homogeneous, collisionless electron-ion plasma demonstrate the forward cascade of whistler turbulence at ion scales. Saito et al. (2015, submitted) emphasized that the modified two-stream instability could contribute the dissipation of kinetic turbulence at ion scales, by demonstrating rapid damping of a monochromatic ion-scale whistler wave in two-dimensional particle-in-cell simulation. The instability is driven by the electric current fluctuation perpendicular to the mean magnetic field. Through the development of the instability, electrons and ions are scattered in the directions parallel and perpendicular to the mean magnetic field, respectively. We expect that the forward cascade of whistler turbulence and the dissipation related to the modified two-stream instability contribute plasma heating and have key role of variability of power-law index of magnetic spectrum at ion scale in solar wind. Solar wind observations show that larger cascade rates of turbulence lead to steeper power-law magnetic spectra. The instability driven dissipation could explain property of the magnetic spectra at ion scales. Discussion will focus on properties of whistler turbulence, such as the power-law index, wavenumber anisotropy, electron and ion heating, through the forward cascade of decaying whistler turbulence.

キーワード: 運動論的乱流, プラズマ加熱, 波動粒子相互作用  
Keywords: kinetic turbulence, plasma heating, wave-particle interaction

## カポン法による乱流解析 Turbulence analysis using Capon's method

羽田 亨<sup>1\*</sup>  
HADA, Tohru<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院総合理工学研究院  
<sup>1</sup>IGSES, Kyushu University

単一衛星により取得されたデータからは時間変化と空間変化の分離ができない。これを解決するために、複数衛星による多点データの取得が行われている。時間に関しては観測継続時間とサンプリング時間の比に対応したデータ点が取得できるが、空間に関しては衛星数（通常は数基程度）だけのデータ点しか取得できないため、通常のフーリエ解析などの方法は空間データに対してはほとんど無力である。そこでデータ数が少数である場合の解析法として、Capon法、Maximum Entropy法などいくつかの手法が提案されている。

一方、宇宙プラズマ中の磁気流体波動は、大振幅で非線形性が強く、極めて多数の波動が混在する乱流状態になっていることがしばしばである。このように波動の数が観測点の数を上回る場合には、上にあげたいずれの方法でも波動の分離は原理的に不可能である。

しかし、乱流データの解析において我々に興味があるのは、個々の波動の分離ではなく乱流エネルギー、スペクトルのベキ指数まどのマクロ量である。我々は最近、これらマクロ量の推定においてCapon法が極めて有効であることを見出した。講演ではその詳細について述べ、多点衛星観測データへの適用について提案を行う。なお、この研究は現在（2015年2月）九州大学修士課程2年の大山達也氏との共同研究である。

キーワード: 磁気流体乱流, カポン法  
Keywords: MHD turbulence, Capon's method

## Kaguya observations of the lunar wake in the terrestrial foreshock Kaguya observations of the lunar wake in the terrestrial foreshock

NISHINO, Masaki n<sup>1\*</sup>; SAITO, Yoshifumi<sup>2</sup>; TSUNAKAWA, Hideo<sup>3</sup>; FUJIMOTO, Masaki<sup>2</sup>; HARADA, Yuki<sup>4</sup>; TAKAHASHI, Futoshi<sup>5</sup>; YOKOTA, Shoichiro<sup>2</sup>; MATSUSHIMA, Masaki<sup>3</sup>; SHIBUYA, Hidetoshi<sup>6</sup>; SHIMIZU, Hisayoshi<sup>7</sup>  
NISHINO, Masaki n<sup>1\*</sup>; SAITO, Yoshifumi<sup>2</sup>; TSUNAKAWA, Hideo<sup>3</sup>; FUJIMOTO, Masaki<sup>2</sup>; HARADA, Yuki<sup>4</sup>; TAKAHASHI, Futoshi<sup>5</sup>; YOKOTA, Shoichiro<sup>2</sup>; MATSUSHIMA, Masaki<sup>3</sup>; SHIBUYA, Hidetoshi<sup>6</sup>; SHIMIZU, Hisayoshi<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>ISAS/JAXA, <sup>3</sup>Tokyo TECH, <sup>4</sup>SSL/UCB, <sup>5</sup>Kyushu University, <sup>6</sup>Kumamoto University, <sup>7</sup>ERI, The University of Tokyo

<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>ISAS/JAXA, <sup>3</sup>Tokyo TECH, <sup>4</sup>SSL/UCB, <sup>5</sup>Kyushu University, <sup>6</sup>Kumamoto University, <sup>7</sup>ERI, The University of Tokyo

There forms a tenuous region behind the Moon in the solar wind, as the lunar dayside surface adsorbs most of the incident solar wind plasma. Entry processes of solar wind plasma into this tenuous region, which is called the lunar wake, have been widely studied. In addition to gradual refilling of the wake by the ambient solar wind, it has been known that a portion of solar wind protons that are scattered at the dayside surface or deflected by crustal magnetic fields can enter the wake (i.e. type-2 entry). However, proton entry into the deepest lunar wake (i.e. anti-subsolar region at low altitude) by the type-2 process needs specific solar wind conditions. Here we report, using data from Kaguya spacecraft in orbit around the Moon, that solar wind ions reflected at the terrestrial bow shock easily access the deepest lunar wake, when the Moon is located in the foreshock. When the spacecraft location is magnetically connected to the lunar night-side surface, the kinetic energy of upward-going field-aligned electron beams decreases or electron beams disappear during the reflected-ion events, which shows that the intrusion of the shock-reflected ions and electrons into the wake changes the electrostatic potential of the lunar night-side surface.

キーワード: Solar wind-Moon interaction, Lunar wake, Plasma refilling, Shock-reflected ions, SELENE (Kaguya)  
Keywords: Solar wind-Moon interaction, Lunar wake, Plasma refilling, Shock-reflected ions, SELENE (Kaguya)

## 月周辺の太陽風中で ARTEMIS によって観測された ULF 波動の分類 Classification of ULF waves observed by ARTEMIS around the Moon in the solar wind

津川 靖基<sup>1\*</sup>; 加藤 雄人<sup>1</sup>; 寺田 直樹<sup>1</sup>; 原田 裕己<sup>2</sup>; 栗田 怜<sup>3</sup>

TSUGAWA, Yasunori<sup>1\*</sup>; KATOH, Yuto<sup>1</sup>; TERADA, Naoki<sup>1</sup>; HARADA, Yuki<sup>2</sup>; KURITA, Satoshi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>2</sup>Space Sciences Laboratory, University of California, <sup>3</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>Department of Geophysics, Tohoku University, <sup>2</sup>Space Sciences Laboratory, University of California, <sup>3</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

Electromagnetic waves in the ULF band have been observed around the Moon in the solar wind by Explorer 35 [Ness, 1969], WIND [Farrell et al., 1996], Geotail [Nakagawa et al., 2003], Lunar Prospector [Halekas et al., 2006, 2008], Kaguya [Nakagawa et al., 2011, 2012; Tsugawa et al., 2011, 2012], and ARTEMIS [Halekas et al., 2013]. It has been suggested that these waves originate from the solar wind interaction with the Moon, e.g., particle reflections by the lunar magnetic anomalies or surface, temperature anisotropies through the surface absorption, or plasma instabilities at the lunar wake boundary. However, it has been difficult to establish the energy sources and the propagation processes of the waves by a single spacecraft observation. Their phase velocities comparable to or smaller than the solar wind velocity also make it difficult to identify the characteristics of the waves because of large Doppler-shift by the solar wind. We investigate the dataset of ARTEMIS which is a two-spacecraft (P1 and P2) complement in order to reveal natures of the ULF waves.

The two probes are orbiting around the Moon in the ecliptic plane at selenocentric distances ~1.1-12 lunar radii since July 2011. We analyze the time series of the magnetic field vectors sampled in 4 Hz by the fluxgate magnetometer (FGM) in the fast survey mode. In consequence of comprehensive analyses, we identify four types of ULF waves: 1) broadband electromagnetic noise, 2) 1 Hz whistlers, 3) 30 s waves, and 4) wake front perturbation <0.01 Hz. The electromagnetic noise is caused by currents or drift driven instabilities in the dayside and wake boundary. 1 Hz whistlers also originate from the instabilities but propagate and group-standing in the Moon frame. 30 s waves of terrestrial ion foreshock are frequently observed around the Moon even 60  $R_E$  upstream from the Earth when the interplanetary magnetic field (IMF) connects to the bow shock. 30 s waves are also occasionally generated by the ions reflected from the Moon when IMF is parallel to the solar wind. The wake front perturbation is observed with right-hand and left-hand polarizations at inbound and outbound the wake, respectively. These features suggest that they are phase-standing whistler perturbation outward the wake edge Doppler-shifted by the spacecraft velocity.

## 野辺山強度偏波計による太陽電波長期観測 Long-term observation of the solar radio emission by the Nobeyama Radio Polarimeters

岩井 一正<sup>1\*</sup>; 柴崎 清登<sup>1</sup>; 下条 圭美<sup>1</sup>; 篠原 徳之<sup>1</sup>; 川島 進<sup>1</sup>; 新海 久子<sup>1</sup>; 竹村 美和子<sup>1</sup>;  
花岡 庸一郎<sup>1</sup>; 齋藤 正雄<sup>1</sup>; 南谷 哲宏<sup>1</sup>  
IWAI, Kazumasa<sup>1\*</sup>; SHIBASAKI, Kiyoto<sup>1</sup>; SHIMOJO, Masumi<sup>1</sup>; SHINOHARA, Noriyuki<sup>1</sup>; KAWASHIMA, Sumumu<sup>1</sup>;  
SHINKAI, Hisako<sup>1</sup>; TAKEMURA, Miwako<sup>1</sup>; HANAOKA, Yoichiro<sup>1</sup>; SAITO, Masao<sup>1</sup>; MINAMIDANI, Tetsuhiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立天文台

<sup>1</sup>National Astronomical Observatory of Japan

太陽の長期モニタリング観測は太陽活動の変動を理解するための基礎情報である。一方、観測装置や装置を運用するプロジェクトには有限の寿命があり、約11年の太陽活動周期の変動を如何に均質的にモニタするかは極めて難しい課題である。野辺山強度偏波計(以下、偏波計)では、彩層上部からコロナにかけての太陽活動度の良い指標とされる、マイクロ波帯域の太陽電波観測が行われている。本研究では、偏波計のこれまでの観測を総括し、今後の長期観測について展望する。

偏波計は1951年に名古屋大学空電研究所(現太陽地球環境研究所)により豊川で最初の観測が始まった。その後、豊川と野辺山で観測周波数を増やしつつ、1994年に豊川の望遠鏡が野辺山に移されたことで、現在の1.0、2.0、3.75、9.4、17、35、80GHzの7周波数体制が出来上がった。偏波計は0.1秒の時間分解能を有し、フレアの研究に用いられることが多い。加えて、強度の較正方法は観測開始以来一貫しており、約6太陽周期に渡る連続観測は太陽活動の研究にも貴重な資料である。日々の観測は完全に自動化され、長期の継続観測に適している。加えて、研究者と技術者が協力し太陽活動や装置の状態を参照しつつ観測データを考証することで、均質で正確なデータの公開を可能にしている。偏波計に使われる全ての部品はリスト化され、可能な限りすべての部品に対して予備品が保存されている。トラブル発生時には、迅速に該当部分の部品を交換し、観測の欠損を最小限にしている。

太陽活動の指標として2.8GHz帯域(波長10.7cm)の電波強度F10.7が広く用いられている。偏波計の観測周波数は2.8GHz帯の周辺を広くカバーしており、太陽活動の変動やその地球環境への影響を評価するためにも有用なデータであると考えられる。

キーワード: 太陽, 電波, 長期変動

Keywords: Sun, Radio radiation, Long term variation



## Global Muon Detector Network (GMDN) で観測された惑星間空間擾乱の平均像 Average features of interplanetary shocks observed with the Global Muon Detector Network (GMDN)

小財 正義<sup>1\*</sup>; 宗像 一起<sup>1</sup>; 加藤 千尋<sup>1</sup>; 桑原 孝夫<sup>2</sup>; 徳丸 宗利<sup>3</sup>

KOZAI, Masayoshi<sup>1\*</sup>; MUNAKATA, Kazuoki<sup>1</sup>; KATO, Chihiro<sup>1</sup>; KUWABARA, Takao<sup>2</sup>; TOKUMARU, Munetoshi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 信州大理, <sup>2</sup> 千葉大理, <sup>3</sup> 名大 STE 研

<sup>1</sup>Physics Department, Shinshu Univ., <sup>2</sup>Graduate School of Science, Chiba Univ., <sup>3</sup>STEL, Nagoya Univ.

It has been well established that the short term decreases of galactic cosmic ray (GCR) isotropic intensity (or GCR density) at the Earth, called 'Forbush decreases' (Fds), are mostly caused by the interplanetary shocks passing the Earth. The GCR spatial distribution which reflects the magnetic structure and geometry of the shock causing Fd can be deduced from the observation of three dimensional GCR anisotropy associated with Fds, because the first order anisotropy arises from the diffusion and drift of GCRs which are proportional to the spatial gradient of GCR density in the Fd.

Deriving the dynamic variation of GCR anisotropy during the Fd observed with a single detector, however, has been difficult because the traditional analyses based on the diurnal variation of GCR intensity provide only the daily mean equatorial anisotropy. The present GMDN consisting of four multi-directional muon detectors in Nagoya (Japan), Hobart (Australia), São Martinho (Brazil) and Kuwait city (Kuwait) started operation in 2006 and successfully observed dynamic variations of GCR anisotropy associated with major Fd events (Okazaki *et al.*, 2008; Kuwabara *et al.*, 2009; Fushishita *et al.*, 2010; Rockenbach *et al.*, 2014).

In this presentation, we analyze the average features of GCR density gradient associated with interplanetary shocks identified by the Storm Sudden Commencement (SSC) onset recorded at the Earth between 2006 and 2014. About 100 SSC events classified into two groups arising from coronal hole and flare are analyzed. From the first order anisotropy corrected for the solar wind convection and Compton-Getting effect arising from Earth's orbital motion around the Sun, we deduce the three dimensional density gradient on hourly basis for each SSC event. We then derive the average temporal variation by superposing variations at the SSC onset timing. We find clear enhancements of radial and latitudinal density gradients after the SSC implying the geometry of low GCR density region in Fds behind the shock front. We also discuss the difference in average features in events caused by shocks arising from coronal holes and flares.

Y. Okazaki *et al.*, *Astrophys. J.*, **681**, 693-707, 2008.

T. Kuwabara *et al.*, *J. Geophys. Res.*, **114**, A05109-1~10, doi:10.1029/2008JA013717, 2009.

A. Fushishita *et al.*, *Advances in Geosciences*, eds. W. H. Ip and M. Duldig (World Scientific Publishing Co., USA), **21**, 199-210, 2010.

M. Rockenbach *et al.*, *Space Sci. Rev.*, **182**, 1-18, 2014.

キーワード: 銀河宇宙線の密度勾配, フォービュッシュディクリーズ, 太陽モジュレーション, 惑星間空間衝撃波, 太陽フレア, コロナホール

Keywords: density gradient of galactic cosmic rays, Forbush decrease, solar modulation, interplanetary shock, solar flare, coronal hole

## 光球面上の太陽風吹き出し領域 The source region of solar wind in the photosphere

袴田 和幸<sup>1\*</sup>; 徳丸 宗利<sup>2</sup>; 藤木 謙一<sup>2</sup>

HAKAMADA, Kazuyuki<sup>1\*</sup>; TOKUMARU, Munetoshi<sup>2</sup>; FUJIKI, Ken'ichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 中部大学, <sup>2</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>Chubu University, <sup>2</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory

本論文では、まず、光球磁場観測値とコロナ磁場モデル (Radial-Field Model, 袴田開発) を用いて、惑星間空間へと開いたコロナ磁場を計算した。このコロナ磁場の磁力線に沿って、名古屋大学太陽地球環境研究所の IPS 観測により求めた、ソース面上の太陽風速度分布図を光球面上に投影した。その結果、以下のことが分かった。(1) 太陽活動極大期付近では、光球面上の、閉じた磁力線領域周辺を取り巻く、非常に狭い紐状の領域から、急激に膨張している磁束を通して、低速の太陽風が吹き出している。(2) 極大期以外の時期では、南北の極の周辺を除く高緯度帯から、比較的小さな膨張率の磁束を通して、高速太陽風が吹き出し、南北の中・低緯度帯にあって、太陽赤道に沿ったごく狭い帯状の領域から、比較的大きな膨張率の磁束を通して、低速太陽風が吹き出している。

キーワード: 太陽風, 光球面, 吹き出し領域, 太陽風速度

Keywords: solar wind, photosphere, source region, solar wind speed

## コロナホール面積と太陽風速度の関係 Relationship between coronal hole area and solar wind speed

里中 大紀<sup>1\*</sup>; 徳丸 宗利<sup>1</sup>; 藤木 謙一<sup>1</sup>; 袴田 和幸<sup>2</sup>

SATONAKA, Taiki<sup>1\*</sup>; TOKUMARU, Munetoshi<sup>1</sup>; FUJIKI, Ken'ichi<sup>1</sup>; HAKAMADA, Kazuyuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>2</sup> 中部大学

<sup>1</sup>STEL, Nagoya University, <sup>2</sup>Chubu University

本研究では、キャリントン自転数 1893 から 2108 までの解析から求めたコロナホール面積と太陽風の平均速度との関係を報告する。コロナホールは、X 線の暗い領域であり、高速太陽風の源として知られている。Nolte et al. (1976) は、Skylab data を用いて、赤道域の±10 度に位置する赤道域コロナホールと太陽風速度の最大値の間の関係を調べ、コロナホールの面積と太陽風速度の最大値の間に、 $80 \pm 2 \text{ km s}^{-1} (10^{10} \text{ km}^2)^{-1}$  の傾きを持つ線形の相関があることを報告した。本研究では、Kitt-Peak National Solar Observatory (KP/NSO) のシノプティック磁場データと potential field source surface (PFSS) モデルを用いて、コロナホールを同定し、コロナホールからの太陽風速度は、STE 研の惑星間空間シンチレーション (IPS) 観測から決定した。私たちの解析から、Nolte et al. (1976) と同様にコロナホール面積と太陽風平均速度との間には線形関係があることが判明したが、その傾きは、以前の研究に比べより緩やかであることがわかった。また、本報告では太陽活動がどのように影響するかについても議論する。

キーワード: 太陽風, コロナホール

Keywords: solar wind, coronal hole

## サイクル22-24の太陽風速度のグローバル分布に見られる南北非対称性 North-south asymmetry in global distribution of the solar wind speed during Cycles 22-24

徳丸 宗利<sup>1\*</sup>; 藤木 謙一<sup>1</sup>; 里中大紀<sup>1</sup>; 下山 智也<sup>1</sup>; 中野 裕文<sup>1</sup>  
TOKUMARU, Munetoshi<sup>1\*</sup>; FUJIKI, Ken'ichi<sup>1</sup>; SATONAKA, Daiki<sup>1</sup>; SHIMOYAMA, Tomoya<sup>1</sup>; NAKANO, Hirofumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup> Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

太陽活動の非対称性は、ダイナモ機構の観点から重要である。何故なら軸対称な自己励起ダイナモは存在しないためである (Cowling, 1933)。このため、太陽表面の様々な現象について太陽活動の南北非対称性が研究されてきた。その一方、南北非対称な太陽活動による太陽圏の影響については観測手段が限られているため、これまであまり解明されていない。太陽圏の非対称性は、宇宙線の伝搬や宇宙天気の影響の観点から重要である。そこで我々は、名古屋大学太陽地球環境研究所 (STE 研) の惑星間空間シンチレーション (IPS) 観測を使って、はグローバルな太陽風速度の分布に見られる南北非対称性について調査した。IPS 観測では、Source Surface 上の太陽風速度の全球的分布を太陽自転周期毎に調べることができる。ここで調査した期間は 1985~2013 年 (但し 2010 年を除く) であり、これはサイクル 22 から 24 に相当する。我々は STE 研の IPS 観測データを南北半球にわけて、低速風・高速風・中速風について流源面の面積を求めた。解析期間を通じて見たとき、いずれの速度の太陽風でも標準偏差を上回る南北非対称性は存在していないが、高速風と低速風では大きな標準偏差が見られた。各期間について見ると高速風。低速風の南北非対称が増大していることがわかる。特に、極域 (70 度以上) では顕著な南北非対称性が太陽極大期に発生している。この極大期の南北非対称には北極が南極に比べ 1 年程度先行する特徴があることが解析から明らかになった。即ち、極大期以外は極域は高速風で占められているが、極大期に達すると北極に低速風が南極より速く出現し、約 1 年後に高速風の再出現している。この事実は、太陽極磁場の反転が南北で時間差があり、最近のサイクルでは北半球が先行する事実と一致している。また、サイクル 23 下降期からサイクル 24 極大までの期間で高速風の南北非対称性が大きくなっていることも本解析から明らかになった。この高速風の南北非対称性は、サイクル 23 極大直後の北半球優勢からサイクル 24 極大直前の南半球優勢に変化している。同様な傾向は、極域の太陽風速度を平均した場合にも見られる。この結果を Wilcox Solar Observatory の太陽磁場データと比較した。ここで注目したのは、太陽磁場データを多重極展開した時に得られる四重極成分 g20 である。四重極子は太陽磁場の南北非対称を生む原因として従来から指摘されていた。我々は、g20 と双極成分 g10 の比をとり、IPS 観測で見られた太陽風の南北非対称と比較した。その結果、g20/g10 と IPS データの南北非対称との間に弱いながら有意な相関が見られることがわかった。このことは、四重極子などの高次の磁場モーメントが太陽圏の南北非対称性を作るのに重要な役目をしていることを示している。

キーワード: 太陽風, 惑星間空間シンチレーション, 太陽活動周期, 太陽磁場, 太陽圏, 宇宙天気

Keywords: solar wind, interplanetary scintillation, solar cycle, Sun's magnetic field, heliosphere, space weather

## AMATERAS によって観測された太陽電波 IV 型バースト中の zebra pattern の偏波特性 Polarization characteristics of zebra pattern in type IV solar radio bursts observed with AMATERAS

金田 和鷹<sup>1\*</sup>; 三澤 浩昭<sup>1</sup>; 土屋 史紀<sup>1</sup>; 小原 隆博<sup>1</sup>; 岩井 一正<sup>2</sup>  
KANEDA, Kazutaka<sup>1\*</sup>; MISAWA, Hiroaki<sup>1</sup>; TSUCHIYA, Fuminori<sup>1</sup>; OBARA, Takahiro<sup>1</sup>; IWAI, Kazumasa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学 惑星プラズマ・大気研究センター, <sup>2</sup> 国立天文台野辺山太陽電波観測所

<sup>1</sup>Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Tohoku University, <sup>2</sup>Nobeyama Solar Radio Observatory, National Astronomical Observatory of Japan

太陽電波 IV 型バーストはメートル波長帯からデシメートル波長帯にかけて観測される電波放射で、閉じた磁力線に捕捉された非熱的電子に起因するとされている。IV 型バースト中には様々なスペクトル微細構造が存在することが知られており、それらのスペクトル構造はコロナ中の放射源や電波伝搬域のプラズマ環境を反映したものである。その中に zebra pattern (ZP) と呼ばれる微細構造は狭帯域の放射が周波数方向に並んだ縞模様のようなスペクトル形状を示す現象が時折出現することが知られている。このような ZP の特徴はコロナのプラズマ環境を理解する上で有用であるが、その詳細な生成メカニズムは特定されていない。この ZP について、これまでに考えられているシナリオの検証を通して、その放射及び伝搬過程を明らかにすることがこの研究の目的である。

本研究では、2011 年 6 月 21 日に 200MHz 付近で観測された ZP の偏波について、特にその周波数特性に着目し、太陽電波望遠鏡 AMATERAS により得られた高分解能スペクトルデータを用いた解析を行った。主な観測結果は以下にまとめられる。1) ZP は両円偏波成分に現れていたが、右回り成分が卓越しており、その円偏波率は 50-70% で周波数依存性はほとんど見られない。2) 右回り成分と左回り成分の周波数には数十 kHz のずれが生じており、そのずれは放射周波数により異なっている。3) 右回り成分と左回り成分の出現には顕著な時間差があり、右回り成分に対して左回り成分が約 60ms 遅れて出現し、時間差には弱い周波数依存性がある。ZP が、その発生過程として有力な DPR(Double Plasma Resonance) で放射されたと仮定して、1)~3) の偏波特性が現れた過程を検討した。その結果、ZP が O モードで放射された後、放射源のごく近傍でその一部が、イオン音波やホイッスラーモード波動などの低周波波動との相互作用により X モードに変換されることで周波数ずれが生じ、そこから伝搬する O モードと X モードの群速度の違いにより時間差が発生した可能性が高いことが示唆された。

Keywords: Solar radio, Zebra pattern, Polarization, AMATERAS

## AMATERAS で観測された太陽電波 II 型バーストのスペクトル微細構造の統計解析 Statistical analysis of spectral fine structures in solar radio type II bursts observed with AMATERAS

柏木 啓良<sup>1\*</sup>; 三澤 浩昭<sup>1</sup>; 土屋 史紀<sup>1</sup>; 岩井 一正<sup>2</sup>; 小原 隆博<sup>1</sup>

KASHIWAGI, Hirota<sup>1\*</sup>; MISAWA, Hiroaki<sup>1</sup>; TSUCHIYA, Fuminori<sup>1</sup>; IWAI, Kazumasa<sup>2</sup>; OBARA, Takahiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター, <sup>2</sup> 国立天文台野辺山太陽電波観測所

<sup>1</sup>Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>2</sup>Nobeyama Solar Radio Observatory, National Astronomical Observatory of

太陽電波 II 型バーストは、太陽コロナ質量放出 (CME) に伴う衝撃波付近で加速された電子によって発生すると考えられている。この中に、継続時間が 1 秒未満と非常に短い多数のスペクトル微細構造によって形成されている現象が存在することが報告されている (佐藤他、第 26 回 JpGU 講演会他)。このようなスペクトル微細構造は加速された非熱的な電子ビームの挙動を反映しているものと解釈されており、衝撃波に伴う粒子加速における貴重な情報を持っていると考えられている。

本研究では、東北大学が所有するメートル波帯太陽電波望遠鏡 AMATERAS (Iwai et al., 2012) を用いてスペクトル微細構造を伴う II 型バーストの一般性の査定と、スペクトル微細構造の特徴を明らかにするための統計解析を行った。AMATERAS は時間分解能 10msec のスペクトルデータを連続的に取得可能で、2010 年秋の観測開始以降、多くの太陽電波バーストの観測に成功している。

本研究では、この AMATERAS データベースから、II 型バーストの出現を 9 例同定した。これらの II 型バーストには、全体的なスペクトル構造に、基本波・二倍高調波、バンドスプリット構造をもつものがみられたが、特筆すべき点は、9 例のどれもスペクトル微細構造が確認されたことである。このことからスペクトル微細構造は II 型バーストにおいて一般的な特徴である可能性が示唆される。また、これら 9 例の中から 3 例の II 型バーストに関して、さらにスペクトル微細構造の周波数ドリフトに関する解析を行った。その結果、3 例ともスペクトル微細構造の個々の周波数ドリフト率は、100MHz/s を越えるような大きな値のものが多く含まれていることが分かった。定常コロナ密度を用いて、この周波数ドリフト率を粒子速度に変換すると光速を越える非現実的な値になることが分かった。これは、過去に報告された II 型バースト微細構造の周波数ドリフト率の結果 (佐藤他、第 26 回 JpGU 講演会他) と同様であり、定常コロナ密度とは異なる密度分布の下で電波が生成された可能性を示唆するが、具体的な電波生成過程や粒子加速機構に関する理解は課題となっている。本講演では、個々の II 型バーストのスペクトル微細構造の周波数ドリフト率の特性を紹介するとともに、想定される II 型バーストの生成過程に関して議論を行う予定である。

キーワード: コロナ, 粒子加速, 電波バースト, スペクトル微細構造, AMATERAS

Keywords: corona, particle acceleration, radio burst, spectral fine structures, AMATERAS

## HF～VHF帯太陽電波新観測装置の初期観測結果 Preliminary results of a new solar radio wave observing system in the HF to VHF band

三澤 浩昭<sup>1\*</sup>; 小原 隆博<sup>1</sup>; 岩井 一正<sup>2</sup>; 土屋 史紀<sup>1</sup>

MISAWA, Hiroaki<sup>1\*</sup>; OBARA, Takahiro<sup>1</sup>; IWAI, Kazumasa<sup>2</sup>; TSUCHIYA, Fuminori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学 惑星プラズマ・大気研究センター, <sup>2</sup> 国立天文台野辺山太陽電波観測所

<sup>1</sup>Planet. Plasma & Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ., <sup>2</sup>Nobeyama Solar Radio Obs., Nat'l Astron. Obs. Japan

Tohoku University has developed a new radio receiving system in the HF to VHF band in the Zao observation station. This system enables us to investigate fundamental plasma processes of particle acceleration, heating and plasma environment with the existing solar radio telescope IPRT/AMATERAS in the radial distance of about 1.1Rs - 4Rs from the photosphere. Furthermore, it also potentially contributes to disaster science/space weather research by enabling to obtain early information on occurrence of solar energetic particle events. The new system will consist of wide-band antenna array and high resolution spectro-polarimeter. In the last autumn the first set of antennas was constructed and tentative observations were started with low time and frequency resolutions. Although it is a minimum configuration, some wide-band solar radio bursts have been detected. In the presentation, we will introduce the new radio observing system and also show preliminary results of observed radio bursts.

キーワード: 太陽, 電波, 望遠鏡, HF, VHF

Keywords: solar, radio, telescope, HF, VHF

## 衛星かぐやが月周辺で観測した周波数帯3—10Hzの磁場変動の強さについて On the intensity of the 3-10 Hz magnetic fluctuations observed by Kaguya near the moon

渡邊 祐輔<sup>1\*</sup>; 照井 孝輔<sup>1</sup>; 香川 翔吾<sup>1</sup>; 中川 朋子<sup>1</sup>; 綱川 秀夫<sup>2</sup>

WATANABE, Yusuke<sup>1\*</sup>; TERUI, Kousuke<sup>1</sup>; KAGAWA, Shogo<sup>1</sup>; NAKAGAWA, Tomoko<sup>1</sup>; TSUNAKAWA, Hideo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北工業大学工学部情報通信工学科, <sup>2</sup> 東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>Information and Communication Engineering, Tohoku Institute of Technology, <sup>2</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology

月には大きな磁場がないため、月面に太陽風が当たるとほとんどの太陽風粒子は吸収されるが、一部は月面で反射することが月周回衛星かぐやの観測によって発見された。反射した太陽風粒子は磁場を変動させることがわかっている。

衛星かぐやが月周辺で観測した0.1Hzから10Hzの周波数帯の磁場変動(ホイッスラー波)は、月の日照側で強く、また固有磁場の上空でさらに強くなる事から、エネルギー源は反射粒子であると考えられるが、その発生メカニズムの詳細はわかっていない。反射粒子は太陽風が速いときに多いので、太陽風が速い時ホイッスラー波も強くなると予想し、太陽風速度と月周辺の磁場変動強度の関係を調べることにした。

月周辺の磁場データとして、衛星かぐやに搭載された磁場観測装置(LMAG)が観測した磁場3成分(サンプリング周波32Hz)を使用した。2008年3月1日から11月30日までのうち、月が太陽風に晒されている期間に観測された磁場データを使用する。この期間の衛星高度は月面から100kmであった。太陽風速度のデータには、衛星ACEに搭載されたSWEPAMが観測した太陽風速度を用いた。衛星ACEは衛星かぐやよりも約100万km上流側で観測を行っていたので、2つの衛星間の距離を太陽風が流れてくるのに要する時間分を遡ったデータを使用した。

磁場データを32秒ずつの区間に分けてフーリエ変換し3Hzから10Hzのパワーを合計して磁場変動の強さとし、これと太陽風速度との相関を調べたが、予想したような相関はみられなかった。月面上の場所によって固有磁場が異なり太陽風の反射率も異なると考えられるので、同じ場所(50m以内)で異なる日時に観測された磁場変動強度同士を比べても、太陽風速度とホイッスラー波のパワーの間に明確な関係はみられなかった。

一方、ほとんど同じ場所であっても、衛星かぐやと月面が磁力線で繋がっているとホイッスラー波は強く観測され、磁力線が繋がっていない時は観測されないことがわかった。衛星と月面上の磁気異常が磁力線で繋がっているときに磁場変動が強く、反射プロトンが衛星で観測されている場合であっても、磁力線の繋がりが途絶えた時には波も途絶えることがわかった。これより、3Hzから10Hzの磁場変動は、衛星より月面に近い高度で発生していると考えられる。



## 「ひさき」衛星による惑星間空間のヘリウム分布 Helium distribution in interplanetary space by Hisaki satellite

山崎 敦<sup>1\*</sup>; 吉岡 和夫<sup>1</sup>; 村上 豪<sup>1</sup>; 木村 智樹<sup>1</sup>; 土屋 史紀<sup>2</sup>; 鍵谷 将人<sup>2</sup>; 坂野井 健<sup>2</sup>; 寺田 直樹<sup>2</sup>;  
笠羽 康正<sup>2</sup>; 吉川 一朗<sup>3</sup>  
YAMAZAKI, Atsushi<sup>1\*</sup>; YOSHIOKA, Kazuo<sup>1</sup>; MURAKAMI, Go<sup>1</sup>; KIMURA, Tomoki<sup>1</sup>; TSUCHIYA, Fuminori<sup>2</sup>;  
KAGITANI, Masato<sup>2</sup>; SAKANOI, Takeshi<sup>2</sup>; TERADA, Naoki<sup>2</sup>; KASABA, Yasumasa<sup>2</sup>; YOSHIKAWA, Ichiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>JAXA 宇宙研, <sup>2</sup> 東北大, <sup>3</sup> 東京大

<sup>1</sup>ISAS/JAXA, <sup>2</sup>Tohoku Univ., <sup>3</sup>Univ. Tokyo

ひさき (SPRINT-A) 衛星は長期間継続した惑星観測が唯一無二の特徴であるが、惑星観測の合間を利用して惑星間空間からの極端紫外散乱光も観測している。本講演では、ひさき衛星で観測する惑星間空間からの散乱光を導出し、ひさき衛星を用いた惑星間空間のリモートセンシングを議論する。

キーワード: 惑星間空間ヘリウム, 極端紫外光観測

Keywords: Interplanetary helium, EUV observation

## 中心星からの高エネルギー粒子の侵襲による惑星中層大気の電離モデルの開発 Model simulations of ionizations at the planetary atmosphere induced by energetic particles from a central star

森前 和宣<sup>1\*</sup>; 佐藤 達彦<sup>2</sup>; 齊藤 滉介<sup>1</sup>; 前澤 裕之<sup>1</sup>

MORIMAE, Kazunori<sup>1\*</sup>; SATO, Tatsuhiko<sup>2</sup>; SAITO, Kosuke<sup>1</sup>; MAEZAWA, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 大阪府立大学大学院理学系研究科, <sup>2</sup> 日本原子力研究開発機構

<sup>1</sup>Osaka Prefecture University, <sup>2</sup>Japan Atomic Energy Agency

中心星の活動が、系内外の惑星中層大気にどのような影響を与えているか理解を深めるべく、我々は10m電波望遠鏡SPART(Solar Planetary Atmosphere Research Telescope)を用いて、まずは身近な太陽系の地球型惑星、金星と火星の中層大気の微量分子、特に一酸化炭素(CO)のミリ波帯回転スペクトル線の監視・モニタリングを推進している。例えば二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を主大気とする惑星に、中心星からの紫外線が照射されるとCO<sub>2</sub>はCOに光解離される。中心星に起因するこうした光解離以外の影響、例えば太陽フレアやコロナ質量放出に伴う高エネルギー粒子が中層大気の物理的・化学的状态にどの程度影響を及ぼしているかを探るため、我々はベータ・ブロッホの解析公式を用いた高エネルギー粒子の降込みをシミュレーションする数値解析モデルを開発した。金星・火星大気は、磁場で守られていないため太陽イベントに直接暴露された状態であり、またCO<sub>2</sub>が主大気であるため、過去の地球含めた系内外の惑星大気環境を理解する上で、重要なシミュレーションのターゲットである。比較的大きなフレアで発生する1 MeV - 1 GeVのプロトンの鉛直入射の場合、金星では高度が80-90 km付近、火星では地表付近で電離度がピークとなることが分かった。我々はさらに日本原子力研究開発機構のParticle and Heavy Ion Transport code System (PHITS)のモンテカルロ・シミュレーションモデルの地球型惑星大気への応用を試みた。このコードでは最新の核反応データベースや、proton, neutron, photonだけでなく、electron, positron, pion, neutron, muon, kaonなどの輸送アルゴリズムも組み込んでいる。このモンテカルロ・シミュレーションの結果は、プロトンの入射に伴う金星・火星大気電離の高度分布について、前述の解析モデルの結果と非常に良い一致を見せた。また、金星の場合、80 kmよりも低層で生じる電離には、プロトンよりも発生した中性子の寄与が大きいことも分かった。これらCO<sub>2</sub>の電離反応の一部がCOの生成を促す。

本講演では、これらモデル計算の結果について報告を行う。

キーワード: 地球型惑星, 惑星大気, フレア・CME, 高エネルギー粒子, ヘテロダイン分光, 電波望遠鏡

Keywords: terrestrial planet, planetary atmosphere, flare and CME, high-energy particle, heterodyne spectroscopy, radio telescope