

## 惑星間空間シンチレーション観測によって得られた太陽風速度とコロナホールの面積の関係

# 徳丸 宗利 [1]; 里中 大紀 [2]; 藤木 謙一 [3]; 林 啓志 [2]; 袴田 和幸 [4]  
[1] 名大・STE研; [2] 名大 ISEE; [3] 名大・STE研; [4] 中部大・工

### Relation between coronal hole area and solar wind speed derived from interplanetary scintillation observations

# Munetoshi Tokumaru[1]; Daiki Satonaka[2]; Ken'ichi Fujiki[3]; Keiji Hayashi[2]; Kazuyuki Hakamada[4]  
[1] STE Lab., Nagoya Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] STELab., Nagoya Univ.; [4] Chubu Univ

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

We investigated the relation between coronal hole (CH) areas and solar wind speeds during 1995–2011 using potential field (PF) model analysis of magnetograph observations and interplanetary scintillation (IPS) observations by the Institute for Space-Earth Environmental Research (formerly Solar-Terrestrial Environment Laboratory) of Nagoya University. We obtained a significant positive correlation between the CH areas ( $A$ ) derived from the PF model calculations and solar wind speeds ( $V$ ) derived from the IPS observations. The correlation coefficients between them are usually high, but they drop significantly in solar maxima. The slopes of the  $A$ - $V$  relation are roughly constant except for the period around solar maximum, when flatter or steeper slopes are observed. The excursion of the correlation coefficients and slopes at solar maxima is ascribed to the effect of rapid structural changes in the coronal magnetic field and solar wind. It is also demonstrated that  $V$  is inversely related to the flux expansion factor ( $f$ ) and that  $f$  is closely related to the square root of  $A$ ; hence,  $V \sim A^{1/2}$ . A better correlation coefficient is obtained from the  $A^{1/2}$ - $V$  relation, and this fact is useful for improving space weather predictions. We compare the CH areas derived from the PF model calculations with He 1083 nm observations and show that the PF model calculations provide reliable estimates of the CH area, particularly for large  $A$ .

コロナホールは EUV や X 線観測で暗く見える領域であり、単極性の磁場が惑星間空間へ開いている領域であると考えられている。これまでの研究からコロナホールの面積と太陽風速度の間には正の相関があることが知られている。この関係を用いればコロナホール画像の解析から地球へ到来する太陽風を予測することが可能になる。しかし、従来の研究では地球軌道付近の飛翔体観測による太陽風データが用いられているため、コロナホール観測と正確な対応付けができていなかった。そこで本研究では、名古屋大学宇宙地球環境研究所の惑星間空間シンチレーション (Interplanetary Scintillation; IPS) 観測データを使ってコロナホール面積と太陽風速度の関係について調査を行った。IPS 観測からは全球面における太陽風速度の分布が得られるので、コロナの磁力線を追跡することによってコロナホールとの正確な対応付けが可能になる。解析に用いた期間は 1995~2011 年 (但し 2010 年を除く) である。まず、Kitt Peak 太陽観測所で得られた磁場観測データをポテンシャル磁場 (PF) モデル (Hakamada, 1995) を使って開いた磁場の領域を決定し、これをコロナホールと仮定して光球面上のコロナホールの面積  $A$  を計算した。そして、コロナホールとつながった Source surface の領域における平均太陽風速度  $V$  を IPS データから求めた。その結果、 $V$  と  $A$  の間に良好な正の相関があることが示された。相関係数は太陽極大期に低下するが、その他の期間では概ね良い値を示した。また、比例係数も太陽極大期に大きく変動するが、その他の期間では概ね一定であった。極大期における相関係数や比例係数の変動はコロナ磁場や太陽風の構造変化が速いことによると考えられる。従来から  $V$  と磁力線拡大率  $f$  の逆数との間に良好な相関関係があることが知られていたが、本研究の結果はそれと同程度のものである。ここで  $A$  と  $f$  の関係を調べたところ、両者には  $f \sim A^{-1/2}$  の関係があることが判った。このことから  $V$  と  $A^{-1/2}$  の関係を調べたところ、より高い相関関係が見られた。さらに本研究では、 $A$  と He1083nm 観測で見られるコロナホールの面積の比較を行った。その結果、両者は概ね一致しており、一定規模以上のコロナホールは PF 解析から精度よく面積が決定されていることがわかった。本研究で得られた太陽風速度とコロナホール面積の関係は、宇宙天気予報の精度向上に寄与するものと考えられる。

## IPS 観測値を用いて推定した太陽風速度と人工衛星の太陽風観測値との相互相関

# 袴田 和幸 [1]; 徳丸 宗利 [2]  
[1] 中部大・工; [2] 名大・STE研

## Cross correlation between solar wind speeds by IPS observation and speeds by the artificial satellite

# Kazuyuki Hakamada[1]; Munetoshi Tokumaru[2]  
[1] Chubu Univ; [2] STE Lab., Nagoya Univ.

Institute of Space and Earth Environment, Nagoya University, has been constructed synoptic charts of solar wind speed estimated by the IPS technique. We use 166 synoptic charts during CR 1800 (Carrington Rotation) through CR 2075, which show enough data coverage. Solar wind speeds are expanded into spherical harmonic series on the bases of Carrington rotation. By using those expansion coefficients of every Carrington rotation, we can calculate solar wind speed at the any point on the source surface. Since the longitude of synoptic chart corresponds to time, we can obtain the temporal variations of wind speeds from the longitudinal variations of them. We, first, calculate hourly value of the wind speed at the sub-earth point on the orbit of the earth projected on the source surface. Then, we calculate daily averages of wind speed (Vips).

We also calculate daily averages of wind speed (PFspeed) from hourly average observed by artificial satellite in interplanetary space published by OMNIWEB data. We calculate cross correlation coefficients (R) between Vips and PFspeed with time-shifts from 0 day to 10 days corresponding to transit time of wind from the sun to the earth. We found that occurrence frequency of the maximum R has the peak at time-shift=4 days, and the averages of R have the peak at time-shift=5 days. Time-shift 4 days and 5 days correspond to 434 km/s and 347 km/s speed of wind, which are reasonable values of real solar wind speed. These results suggest that the synoptic charts based on the IPS

observations show reasonable wind speed distribution in the space and give us the reasonable wind speed on the daily bases.

名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) 太陽風研究室では、惑星間空間シンチレーションの観測値を用いて 1 カリントンローテーション (CR: Carrington Rotation) 毎にソース面上の太陽風速度分布図 (シノプティックチャート) を描いている。本論文では、CR1800 から CR2075 までの間で、観測データ数が十分にある 166 ローテーションのシノプティックチャートを用いて、太陽風速度を球面調和関数に展開し各ローテーション毎の展開係数を計算した。これらの係数を用いると、各ローテーション毎に、ソース面上の任意の位置における太陽風速度を計算することができる。ソース面上のカリントン経度は時刻に対応しているため、経度方向の太陽風速度の変動を求めることは、太陽風速度の時間変化を求めることに相当する。我々は、ソース面上に投影した地球軌道上の太陽風速度を、この係数を用いて 1 時間毎に計算し、さらに、これらの 1 時間値を用いて 1 日平均値 (Vips) を計算した。また、OMNIWEB に公開されている、地球近傍における太陽風速度観測の 1 時間値からも 1 日平均値 (PFspeed) を計算した。太陽が太陽近傍から地球軌道に到達するまでの時間を考慮し、時間差 (Time-Shift) を 0 日から 10 日までの範囲でとりながら、Vips と PFspeed との相互相関係数 (R) を求めた。その結果、ここで用いた 166 ローテーションでは、ローテーション毎の R の最大値が出現する頻度は Time-Shift が 4 日の場合に最大となり、また、この期間の R の平均値は Time-Shift が 5 日の場合に最大となることが分かった。Time-Shift が 4 日と 5 日は太陽風速度にして、それぞれ、434km/s と 347km/s に相当し、実際の太陽風速度に近い値となっている。以上のことから、IPS 観測を用いて求めた太陽速度のシノプティックチャートは実際の太陽風の三次元空間分布の良い指標となっており、1 日平均値程度の時間的精度で太陽風速度を推定できることが分かった。

## 2015年3月17日に観測された太陽風磁気ロープの形状

# 丸橋 克英 [1]; 石橋 弘光 [1]  
[1] 情報通信研究機構

## Geometry of the Interplanetary Magnetic Flux Rope of 17 March 2015

# Katsuhide Marubashi[1]; Hiromitsu Ishibashi[1]  
[1] NICT

A number of papers have been written about the interplanetary magnetic flux rope (IFR) of 17 March 2015 as a main cause of a severe geomagnetic storm with a minimum  $Dst = -223$  nT. The previous studies agree that a halo coronal mass ejection (CME) associated with a C9.1 flare which started at 01:15 UT on 15 March in AR 12297 (S22W25) was the solar source event of the IFR. As for the IFR structure, however, several different geometries are being proposed. The purpose of this report is to show that a torus-shaped IFR extending with the torus plane nearly parallel to the ecliptic plane explains the observed magnetic fields in the most reasonable way. This IFR has right-handed chirality corresponding to the fact that it was formed in the southern hemisphere of the Sun. The IFR was traversed by the Earth near the eastern flank corresponding to the fact that it erupted on the west side of the Sun. The IFR is characterized by the prolonged southward magnetic field throughout the Earth's passage. The above-mentioned geometry explains this feature reasonably well. In addition, the tilt of the torus plane is nearly parallel to the magnetic neutral line in the solar source region. Finally we point out difficulties encountered in interpreting the observation by cylindrical flux rope models.

2015年3月17日に地球に到達した太陽風磁気ロープは、 $Dst$  (minimum) = -223 nT の磁気嵐の主要原因として注目を集め、多くの論文が発表されている。この磁気ロープが、3月15日 01:15UT に活動領域 12297 (S22W25) で発生した C9.1 フレアとそれに伴うハロー CME とともに生成したことは、これまでの研究において一致した結論である。しかしながら、磁気ロープそのものについては、いくつかの異なる形状が提案されている。この発表の目的は、地球軌道面に平行に近い面内に広がるトーラス型磁気ロープが観測された太陽風磁場の変化を最も良く説明することを示すことである。この磁気ロープは、太陽の南半球で発生したことに対応して、右手系のねじれた磁場で構成されている。また、太陽の中央より西側で発生したことに対応して、トーラスの東端が地球を通過している。磁気ロープは始めから終わりまで南向きの磁場が継続するという特徴があり、上に述べた磁気ロープと地球の位置関係はその特徴を無理なく説明する。トーラス面の傾きは、太陽における発生領域の磁気中性線の傾きと一致する。最後に、この磁気ロープの形状を円筒型の磁気ロープで説明するには多くの不都合があることを指摘する。

## Deflection and distortion of CME internal magnetic flux rope due to the interaction with a structured solar wind

# 塩田 大幸 [1]; 伊集 朝哉 [2]; 林 啓志 [3]; 藤木 謙一 [4]; 徳丸 宗利 [5]; 草野 完也 [6]  
[1] 名大宇宙地球研; [2] 名大・STE 研; [3] 名大 ISEE; [4] 名大・STE 研; [5] 名大・S T E 研; [6] 名大 S T E 研

## Deflection and distortion of CME internal magnetic flux rope due to the interaction with a structured solar wind

# Daikou Shiota[1]; Tomoya Iju[2]; Keiji Hayashi[3]; Ken'ichi Fujiki[4]; Munetoshi Tokumaru[5]; Kanya Kusano[6]  
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] STELab, Nagoya Univ.; [3] ISEE, Nagoya Univ.; [4] STELab.,Nagoya Univ.; [5] STE Lab., Nagoya Univ.; [6] STEL, Nagoya Univ.

The dynamics of CME propagation is strongly affected by the interaction with background solar wind. To understand the interaction between a CME and background solar wind, we performed three-dimensional MHD simulations of the propagation of a CME with internal twisted magnetic flux rope into a structured bimodal solar wind. We compared three different cases in which an identical CME is launched into an identical bimodal solar wind but the launch dates of the CME are different. Each position relative to the boundary between slow and fast solar winds becomes almost in the slow wind stream region, almost in the fast wind stream region, or in vicinity of the boundary of the fast and slow solar wind streams, which grows to CIR. It is found that the CME is most distorted and deflected eastward in the case near the CIR, in contrast to the other two cases. The maximum strength of southward magnetic field at the Earth position is also highest in the case near CIR. The results are interpreted that the dynamic pressure gradient due to the back reaction from pushing the ahead slow wind stream and due to the collision behind fast wind stream hinders the expansion of the CME internal flux rope into the direction of the solar wind velocity gradient. As a result, the expansion into the direction to the velocity gradient is slightly enhanced and results in the enhanced deflection and distortion of the CME and its internal flux rope. These results support the pileup accident hypothesis proposed by Kataoka et al. (2015) to form unexpectedly geoeffective solar wind structure.

## 磁場に平行な太陽風中と地球磁気圏ローブ中で観測されたイオンサイクロトロン波の周波数について

# 中川 朋子 [1]  
[1] 東北工大・工・情報通信

## On the frequency of ion cyclotron waves in the solar wind with radial magnetic field and in the earth's magnetotail

# Tomoko Nakagawa[1]  
[1] Tohoku Inst. Tech.

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

Generation mechanism of monochromatic, narrowband ion cyclotron waves in the frequency range between 0.5 to 1 proton cyclotron frequencies is studied.

The waves were detected in the Earth's magnetotail by Apollo 15 and 14 Lunar Surface Magnetometers (Chi et al., 2013), Kaguya, GEOTAIL, and Cassini during its earth swing-by (Bogdanov et al., 2003). In the solar wind with radial interplanetary magnetic field, similar waves were detected by ARTEMIS. Polarization of the narrowband ion cyclotron waves was left-handed in 30 percent of the events. The waves are thought to be generated through cyclotron resonance of slow ion beam components with ion cyclotron waves in the background plasma flow.

地球磁気圏ローブ中ないしプラズマシート境界において、プロトンサイクロトロン周波数の0.7倍前後の周波数の狭帯域の磁場変動が、アポロ15-16号ミッションで月面上に置かれた磁力計 (Chi et al., 2013) およびかぐや衛星によって観測された。これらの多く (7割) は背景磁場に対して左回りの偏波を示し、イオンサイクロトロン波と考えられるが、その発生メカニズムは未解明であった。

かぐや衛星によって、これらの波が月面上の衛星位置とは無関係であることが示され、さらに GEOTAIL 衛星によって、月が磁気圏中になくとも地球から 30-150RE 下流の磁気圏ローブ中で観測されたことから、波を発生させているのは月起源のイオンではなく地球磁気圏起源のイオンであることが示唆された。

同様の波は、CASSINI 衛星の地球スイングバイ時にも、磁気圏内の広い範囲において観測されている (Bogdanov et al., 2003)。

よく似た周波数の左回りの磁場変動が、太陽風中の月を周回していた ARTEMIS 衛星でも観測されている (Halekas et al., 2013)。太陽風中の観測であるので、波を励起したのは地球磁気圏の粒子ではなく、月起源のイオンと考えられる。このとき太陽風磁場は太陽風の流れにほぼ平行であった。

これらの波は、太陽風中や地球磁気圏内という異なる状況下でありながら、プロトンサイクロトロン周波数の0.5-1倍で左回りが卓越している、という共通の性質を持っていた。共通の励起機構として、背景プラズマ (太陽風、またはプラズマシート境界のプラズマ流) に打ち込まれるビーム成分のイオンがイオンサイクロトロン波とサイクロトロン共鳴するという形が考えられる。

サイクロトロン共鳴条件は、角周波数  $\omega$  と波数  $k$  の空間では、周波数軸の切片がイオンサイクロトロン周波数で、傾きがビーム速度と媒質速度の差 (および伝搬方向となる角度) によって決まる直線となる。

地球前面衝撃波での反射プロトンや月面上の磁気異常での反射プロトンのように、ビーム速度が大きく速度差も大きい場合は、この直線の傾きが大きく、共鳴できる波は R と L の両モードの低周波部分 (MHD 領域) となり、衛星で観測されるときには媒質速度のドップラーシフトするため、0.01Hz 程度の、主に左回りの ULF 波として観測される (元の波が R モードでドップラーシフトが小さい場合は右回りもある)。

傾きが少し緩やかな場合は R モードの whistler 波、あるいは L モードのイオンサイクロトロン波と共鳴する可能性がある。ここで励起した whistler 波はドップラーシフトによって月周辺の 1Hz 波として、多くの探査機で観測されている。

本研究で扱うプロトンサイクロトロン周波数の0.7倍 (0.1Hz) 程度の波として観測された波は、速度の小さいビームがイオンサイクロトロン波と共鳴したものと考えられる。もともと速度の小さいイオンが、速い流れのプラズマ領域に入り込んで相対的に速いビームとなってイオンサイクロトロン波と共鳴し、共鳴した波は衛星から見るとサイクロトロン周波数に近い波として観測される。地球のローブないしプラズマシート境界層では、磁気圏尾部へ向かう流れに、ローブ側から遅いプロトンが入り込むことによって起こり得ると考えられる。太陽風中では、月によって垂直方向に散乱された太陽風プロトンが波を励起したと考えられる。太陽風磁場が太陽風の流れに平行な時は、反射プロトンが長時間同一の磁束上に存在すると考えられる。これが太陽風の系から見るとビームの役割を果たし、イオンサイクロトロン波とサイクロトロン共鳴すると考えることが出来る。

なお、磁気圏尾部で観測されたうちの約3割を占める右回り偏波の波は、ビーム成分となったイオンが whistler 波とサイクロトロン共鳴したものと考えられる。

## 地球バウショック上流の波動励起機構における FAB の役割: 1次元 PIC 計算

# 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

Effect of the FAB on the upstream wave excitation in the Earth's bow shock:  
One-dimensional PIC simulation

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

We previously studied effects of the field-aligned beam (FAB) on the diffusive process of energetic ions upstream of the Earth's quasi-parallel bow shock, by performing test particle simulation. The power spectrum of magnetic field observed by the Cluster satellite was modeled by a superposition of different power-law spectra at different energy ranges. The spectrum contains an intense peak corresponding to the waves resonantly generated by the FAB. We found that the waves due to the FAB effectively scatter the ions whose energies are larger than the FAB energy. The resultant spatial diffusion coefficient explained the Cluster observation of 40 keV ions upstream of the Earth's bow shock (Kronberg et al., 2009).

In this study we perform a self-consistent one-dimensional full particle-in-cell (PIC) simulation of a quasi-parallel shock to investigate the excitation mechanism of the upstream waves and the associated spatial diffusion of energetic ions. We will report the results of the run with the Alfvén Mach number 6.5, the shock angle (the angle between the background magnetic field and the shock normal) 20 degrees, and electron and ion beta 0.5, respectively, as a proxy for the bow shock analyzed by Kronberg et al. (2009).

我々はこれまで、地球バウショック上流における高エネルギー粒子の沿磁力線拡散過程において、沿磁力線ビーム (field-aligned beam: FAB) が果たす役割を、テスト粒子計算を用いて議論してきた。テスト粒子計算では、磁場の観測データにもとづき、上流のアルフヴェン波と FAB がサイクロトロン共鳴を起こす周波数帯に、強いピークを持つ波動スペクトルを仮定した。その結果、この FAB 波動モデルのもとでは、FAB より高エネルギーのイオンは効率良く散乱されることがわかった。得られた拡散係数は、バウショック上流における 40keV イオンの Cluster 衛星観測 (Kronberg ら, 2009) を定量的に説明することができた。

本研究では、衝撃波上流の波動励起における FAB の役割を明らかにし、さらに高エネルギーイオンの拡散に至る過程を自己無撞着な第一原理計算で再現するために、準平行衝撃波のフル粒子 (PIC) 計算を行う。今回は特に、FAB による波動励起機構に着目する。準平行衝撃波の PIC 計算は、最近 Park ら (2015) や Kato (2015) によって高マッハ数 (>20) の例が報告されている。本研究では、Kronberg ら (2009) の観測と同程度のアルフヴェンマッハ数 (~6.5) およびプラズマベータ値 (=1) に対して、衝撃波上流の波動励起を議論する。

## Pickup ion dynamics in the heliospheric boundary region

# Ken Tsubouchi[1]

[1] Tokyo Institute of Technology

Structural properties of the whole heliosphere are regulated by its boundary environment, where the solar wind plasma and the local interstellar medium interact each other. Besides in-situ measurements by Voyager 1 and 2 currently traveling through the heliosheath, the Interstellar Boundary Explorer (IBEX) has provided all-sky maps of energetic neutral atom (ENA) emissions from the boundary of the heliosphere, which enables us to draw the global images of the energy-resolved plasma distribution. The puzzling finding from IBEX mission is a narrow band of bright ENA emissions, called "ribbon". After its finding, numerous models have been proposed to account for the origin. The ribbon geometry is well associated with the local interstellar magnetic field draped on the heliopause, so that the vicinity of the heliopause is the likely source region of the ribbon ENAs. The counterparts of ENAs are interstellar pickup ions (PUIs) embedded in the solar wind. Therefore, the basic properties of PUIs around the heliospheric boundary are the key clue to understand the ribbon generation. In this study, we perform numerical simulations of following the PUI dynamics in the environment of the heliospheric boundary, where the magnetic reconnection or KH instability might take place. Preliminary results regarding the PUI energy distribution will be discussed.



## 「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。

## ゼブラパターンの存否による太陽電波IV型バーストの特性の違い

# 金田 和鷹 [1]; 三澤 浩昭 [2]; 岩井 一正 [3]; 土屋 史紀 [4]; 小原 隆博 [5]; 加藤 雄人 [6]; 増田 智 [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] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [5] 東北大・惑星プラズマセンター; [6] 東北大・理・地球物理; [7] 名大STE研

## Difference between the Type IV Solar Radio Bursts with and without Zebra Pattern Fine Structures

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

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

It is known that there are various spectral fine structures in type IV solar radio bursts. Since they are thought to be caused by some inhomogeneities and/or modulations in generation and propagation processes, they can be important sources of information on the micro scale plasma processes occurring in the flaring region. Zebra patterns (ZPs) are one of such spectral fine structures that consist of a number of nearly parallel, drifting, narrowband stripes of enhanced emission. They are usually observed superimposed on background type IV continuum. However, not all type IV bursts are accompanied by ZPs, and the time and frequency ranges in which ZPs can be seen are rather limited. These facts imply that there are some necessary conditions for generating ZPs. Although the observed characteristics of ZPs are known well, the conditions that determine generation of ZPs have not been understood. In this study, we analyzed both of type IV bursts with and without ZPs, and the flare characteristics associated with them.

AMATERAS is a solar radio spectropolarimeter developed by Tohoku University that can observe radio bursts in metric range with high time and frequency resolutions. From the database of AMATERAS during 2010&#8211;2016, we selected 55 type IV burst events and analyzed them. ZPs were identified in 18 events among them. As a result of analysis, we found that (1) the timing of occurrence of ZPs corresponded to the flare peak time. (2) The location of source regions of ZPs was not dependent on the longitude and the latitude. (3) The polarization characteristics of ZPs were widely dispersed and there was almost no correlation with the flare characteristics.

In this presentation, we will show these characteristics in detail and compare them with those of the type IV bursts without ZPs, and will also discuss the conditions for generating ZPs.

太陽電波IV型バースト中に観測される多様な微細構造はフレア発生領域におけるプラズマ素過程を理解する上で重要な情報源である。それら微細構造のひとつであるゼブラパターン (ZP) は、狭帯域のバンド構造が縞模様状に並んだ特異なスペクトル形状を示す現象である。ZP は、IV 型の広帯域放射を背景に観測される現象であるが、全てのIV型中に存在するわけではなく、また、観測される時間・周波数範囲も限定的である。このことから、ZPの放射には、放射源のプラズマ環境が満たすべき、何らかの条件があると考えられる。過去の研究によって、観測されたZPの特徴についてはよく理解されてきているが、その発生条件については明らかにされていない。本研究では、ZPの発生条件の解明を目的として、ZPを伴うIV型バーストとZPを伴わないIV型バーストの双方について、スペクトル特性および関連するフレアの特徴に関する解析を行った。

解析には、東北大学の所有する高分解太陽電波観測装置 AMATERAS の観測データを用いた。2010年7月から2016年7月までに観測された55例のIV型バーストについて解析した結果、そのうち18例にZPが出現していることがわかった。また、観測されたZPとフレアの関係として、(1) ZP発生のタイミングがフレアのピーク付近に集中していること、(2) フレアの発生場所に顕著な偏りはないこと、(3) 偏波特性とフレア特性 (規模、継続時間等) に相関は見られないことがわかった。

本講演では、これらの特徴をZPの発生していないIV型バーストの特徴と比較し、考えられるZPの放射条件について議論する。

## 太陽フレアの規模と III 型電波バーストの出現特性の関係

# 松本 紗歩 [1]; 三澤 浩昭 [2]; 土屋 史紀 [3]; 小原 隆博 [4]

[1] 東北大・理・地球物理; [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; [4] 東北大・惑星プラズマセンター

### Relationship between solar flare level and occurrence characteristics of type III bursts

# Saho Matsumoto[1]; Hiroaki Misawa[2]; Fuminori Tsuchiya[3]; Takahiro Obara[4]

[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] PPARC, Tohoku Univ.; [3] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [4] PPARC, Tohoku University

Type III burst is one of the impulsive radio bursts generated in association with solar flare. Their occurrence frequency has wide band and changes fast from higher to lower. As for their generation process, it is generally considered that the electron beams accelerated by magnetic reconnection excites plasma waves (Langmuir waves), then the waves are converted to electromagnetic waves. The detailed conversion processes and electromagnetic environment required for the generation have been studied for a long time, but they have been still discussed. Type III bursts have been commonly studied with X-ray flares because the X-ray emission is also generated by accelerated particles associated with flares through the magnetic reconnection process. Soft X-ray is considered to have considerable energy of flare and used as a value to indicate a size of flare.

In this study, we have analyzed spectral structures of type III bursts observed with AMATERAS, Tohoku university and have compared them with time variations of GOES soft X-ray flux and SDO EUV images to make precise investigations for particle acceleration processes relating to generation of type III bursts. As a preliminary result, it is found that type III bursts often appeared in the non flare period having almost same structure as in the flare period. This fact indicates some particle acceleration processes occurred even in the non flare period. Then we have investigated spectral characteristics, such as drift rates and intensities, of type III bursts for various period of X-ray flux levels, and also have investigated expected particle acceleration regions and their time variations from multi-wave EUV images.

In the presentation, we will show occurrence characteristics of type III bursts at various solar flare levels based on some event studies and will discuss expected particle acceleration processes contributing to generation of type III bursts.

太陽電波 III 型バーストは、太陽面の爆発現象である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。出現周波数は GHz 帯から kHz 帯まで広範囲におよび、周波数の高い方から低い方へ向かって大きな負の周波数ドリフトを示す特徴を持つ。その出現過程としては、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上昇し、周辺のプラズマを伝搬する際にプラズマ波(ラングミュア波)を励起し、そのプラズマ波が電磁波に変換されたものと考えられている。一方、磁力線に沿って下降する粒子は、彩層の高密度プラズマに突入して制動放射し、そのエネルギーで熱せられた彩層プラズマがコロナループを満たすことで軟 X 線を発生する。太陽フレアの際に緩やかに上昇して観測される軟 X 線フラックスは、フレアの全エネルギーを表す指標と考えられ、フレアの大きさを表す指標として一般的に用いられている。以上のように、III 型バーストと X 線の放射はフレア発生時の磁気リコネクションの発生が関与していると考えられ、両者の間には高い相関関係があることが想定される。

本研究では III 型電波バーストの発生に関わる粒子加速過程の精査を目的として、東北大学の太陽電波望遠鏡 AMATERAS で観測されたメートル波 III 型バーストの出現と GOES 軟 X 線フラックス、また、III 型バーストの出現との関与が示唆されている太陽 EUV の時間変化との比較を行い、電波バーストと太陽大気現象の関係の精査を試みた。この結果、顕著な軟 X 線フレア時に発生する III 型バーストと同じような特徴(大きな負の周波数ドリフトを持ち、同じような周波数帯で発生)をもつバーストが、フレアが観測されていないときにも多く出現することが分かった。このことは、軟 X 線フレアとしては認識されないものの、粒子加速に寄与する過程が起きていることを示唆する。本研究では、顕著なフレアに伴って放射される場合と、軟 X 線のフラックスの変動の少ない場合の両者について、III 型バーストのスペクトルの特徴やバーストの強度を求めるとともに、SDO 衛星の EUV 多波長撮像データを用いて III 型バースト発生に関係した粒子加速領域と、その時間変動特性を探った。

本講演では、多数の III 型バーストの事例解析に基づき、電波出現特性とフレアの規模およびその時間変動特性との関係について報告を行うとともに、III 型バースト発生に寄与する粒子加速過程について考察する。

## 地球前方衝撃波およびマグネットシース領域における低周波波動に対する波動ベクトル解析

# 津川 靖基 [1]; 加藤 雄人 [2]; 寺田 直樹 [3]; 町田 忍 [4]  
[1] 名大 ISEE; [2] 東北大・理・地球物理; [3] 東北大・理・地物; [4] 名大・ISEE

### Wave vector analyses on low frequency waves in the terrestrial foreshock and magnetosheath regions

# Yasunori Tsugawa[1]; Yuto Katoh[2]; Naoki Terada[3]; Shinobu Machida[4]  
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [3] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [4] ISEE, Nagoya Univ.

A variety of plasma waves are generated in the terrestrial foreshock and magnetosheath regions. They may play an important role of dissipation processes of the incident solar wind plasma and energy exchanges through the boundary regions of the magnetosphere. However, their wavelengths cannot be identified uniquely in some cases even if their wave modes are assumed. Wave vector analysis techniques have been developed utilizing multi-point observations [Neubauer and Glassmeier, 1990; Narita et al., 2011]. Recent MMS mission enable us to resolve smaller wavelength in the ion kinetic range [Narita et al., 2016]. We apply the techniques to low frequency waves detected by MMS in the foreshock and magnetosheath regions and identify them as whistler mode, ion cyclotron mode, and magnetosonic mode waves. Based on the results, we estimate the distributions of the wave dispersion relations in the plasma rest frame and discuss the propagation properties of the waves.