

PEM028-01

会場:201B

時間:5月27日 14:15-14:30

## イオンビーム起源の運動論的アルフェン波と大振幅アルフェン波の急激な減衰について

### On beam-induced kinetic Alfvén waves and rapid dissipation of circularly polarized Alfvén waves: A 2-D hybrid simulation

成行 泰裕<sup>1\*</sup>, 羽田 亨<sup>2</sup>, 坪内 健<sup>3</sup>

Yasuhiro Nariyuki<sup>1\*</sup>, Tohru Hada<sup>2</sup>, Ken Tsubouchi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 高知工業高等専門学校, <sup>2</sup> 九大・総理工, <sup>3</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup>Kochi National College of Tech., <sup>2</sup>E.S.S.T., Kyushu Univ., <sup>3</sup>NICT

ビーム不安定性は無衝突プラズマ中の基本的な緩和過程の1つである。太陽風、地球フォアショック、地球磁気圏などではビームが観測されており、その周辺のプラズマ中における加熱過程や非熱的粒子の生成などへの寄与が議論されている。

本講演では、0次の平衡状態であるイオンビームが存在する場合の単色円偏光アルフェン波の不安定性を、2次元ハイブリッドコードを用いて議論した結果を報告する。計算結果から、近年平行伝搬波動の励起に対して示されていた大振幅・低周波アルフェン波によるビーム不安定性の安定化が斜め伝搬波動(運動論的アルフェン波)の励起においても生じることが明らかになった。一方で、運動論的アルフェン波の励起に伴う低周波アルフェン波の急激な減衰が確認された。

キーワード: アルフェン波, イオンビーム, 運動論的アルフェン波, 太陽風, フォアショック, 太陽コロナ

Keywords: Alfvén wave, ion beam, kinetic Alfvén wave, solar wind, foreshock, solar corona

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PEM028-02

会場:201B

時間:5月27日 14:30-14:45

## 衝撃波上流域での被加速粒子の空間分布推定 Superdiffusion transport of energetic ions accelerated a shock wave

杉山 徹<sup>1\*</sup>, 塩田 大幸<sup>2</sup>

Tooru Sugiyama<sup>1\*</sup>, Daikou Shiota<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 理化学研究所

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>RIKEN

We study the transport properties of energetic particles in the upstream region of interplanetary shocks considering the possibility of anomalous diffusion, where the density decay profile has not an exponential profile but a power-law behavior. The ACE spacecraft observations at 1 AU show that the energetic ions with energy of 0.55 ~ 0.76 MeV spatial profiles are well fitted by a power law distribution and we have  $\langle dx^2 \rangle \sim t^a$ , with  $a \sim 1.33 \pm 0.01$ . This implies that particle propagation around a near earth orbit can be intermediate between normal diffusion ( $a = 1$ ) and ballistic motion ( $a = 2$ ) even though the power of the magnetic wave is sufficient large to scatter the particles.

キーワード: 衝撃波, 粒子加速, 拡散現象

Keywords: shock wave, particle acceleration, diffusion process

PEM028-03

会場:201B

時間:5月27日 14:45-15:00

## CIR 衝撃波の粒子加速に対する magnetic decrease 構造の影響 Energetic particle generation in CIR with and without magnetic decrease structures

坪内 健<sup>1\*</sup>

Ken Tsubouchi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人情報通信研究機構

<sup>1</sup> NICT

Corotating interaction regions (CIRs), which are the plasma and field compression regions, are typically bounded by a pair of shock waves (forward/reverse shock) at the heliocentric distance  $> 2\text{AU}$ . The spacecraft observations have found the increases in energetic particle intensities coinciding with CIR events, especially exhibiting the peaks at its boundaries. This implies that the effective acceleration process is taken place at the forward and reverse shocks. Furthermore, the intensity increase near the reverse shock is mostly larger than those measured near the forward shock.

We perform one-dimensional hybrid simulations which show the evolution of both forward and reverse shocks simultaneously to account for such an asymmetric feature. The result indicates that the reverse shock becomes a quasi-parallel regime by the reduction of tangential field amplitudes due to the solar wind adiabatic expansion. Thus ion injection into diffusive shock acceleration process is more easily established, resulting in the thermal solar wind possibly accelerated up to the suprathermal range.

On the other hand, the magnetic decrease structures (MDs) are well developed in the reverse shock downstream via the interaction of large-amplitude Alfvén waves embedded in the fast solar wind with the shock. Since the MD carries more particles away from the shock front, the temporal development of the reverse shock, such as the transition to a quasi-parallel regime, is suppressed. Therefore, in the presence of MDs, the acceleration efficiency at the reverse shock is declined.

By the meeting, we will further investigate the energetic particle profile throughout a whole CIR and compare the results with observational features.

Keywords: CIR, shock, particle acceleration, magnetic decrease

PEM028-04

会場:201B

時間:5月27日 15:00-15:15

## 太陽圏終端衝撃波の微細構造 Microstructure of the heliospheric termination shock

松清 修一<sup>1\*</sup>, Manfred Scholer<sup>2</sup>  
Shuichi Matsukiyo<sup>1\*</sup>, Manfred Scholer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 九大総理工, <sup>2</sup> マックスプランク研究所  
<sup>1</sup> ESST Kyushu Univ., <sup>2</sup> MPE

Microstructure of the heliospheric termination shock is investigated by utilizing one-dimensional electromagnetic full particle simulation. A relative pickup ion density of 30% and two different shock angles 90 and 87 deg. are assumed. In addition a run with a 60% relative pickup ion density is performed to investigate a pickup ion dominated shock. There is an extended foot upstream of the ramp due to reflected pickup ions. In this foot a large shock potential is produced mainly due to the positive bulk velocity of the pickup ions perpendicular to the magnetic field and to the shock normal. The maximum value of the potential is over 30% of the shock ram energy. Pickup ion reflection at the shock is almost 100%; part of the pickup ions are essentially specularly reflected by the magnetic field force term of the Lorentz force in the overshoot, part are reflected in the extended foot due to a combination of magnetic force term and the cross-shock potential. In the 30% pickup ion case about 90% of the total thermal energy in the shock is gained by pickup ions, 10% by the solar wind ions and electrons. The thermal energy gain by pickup ions increases as the pickup ion relative density increases. The pickup ion temperature increases continuously from the upstream edge of the extended foot to the shock ramp and stays then constant through the overshoot and downstream.

キーワード: 終端衝撃波, ピックアップイオン  
Keywords: termination shock, pickup ion

PEM028-05

会場:201B

時間:5月27日 15:15-15:30

## Evidence of strong deformation of the Earth's magnetosphere under low Ma solar wind Evidence of strong deformation of the Earth's magnetosphere under low Ma solar wind

Masaki N Nishino<sup>1\*</sup>, Masaki Fujimoto<sup>1</sup>, Tai-Duc Phan<sup>2</sup>, Yoshifumi Saito<sup>1</sup>, Toshifumi Mukai<sup>3</sup>, Masha M. Kuznetsova<sup>4</sup>, Lutz Rastaetter<sup>4</sup>

Masaki N Nishino<sup>1\*</sup>, Masaki Fujimoto<sup>1</sup>, Tai-Duc Phan<sup>2</sup>, Yoshifumi Saito<sup>1</sup>, Toshifumi Mukai<sup>3</sup>, Masha M. Kuznetsova<sup>4</sup>, Lutz Rastaetter<sup>4</sup>

<sup>1</sup>JAXA/ISAS, <sup>2</sup>UCB/SSL, <sup>3</sup>JAXA, <sup>4</sup>NASA/GSFC

<sup>1</sup>JAXA/ISAS, <sup>2</sup>UCB/SSL, <sup>3</sup>JAXA, <sup>4</sup>NASA/GSFC

The density of the solar wind (SW) around the Earth's magnetosphere at times decreases to only several percent of the usual value, and such density extrema results in a significant reduction of dynamic pressure and Alfvén Mach number (Ma) of the SW flow. While simple expansion of the Earth's magnetosphere by the low dynamic pressure was assumed in previous studies, a recent simulation study predicted a remarkable dawn-dusk asymmetry of the magnetotail in shape under low Ma SW and Parker-spiral IMF configuration (Nishino et al., Phys. Rev. Lett., 2008). Therefore, direct observations of the magnetopause under these conditions have been awaited. Here we show evidence of strong deformation of the magnetotail under low Ma SW and Parker-spiral IMF conditions, based on Geotail observations on both the dawn and dusk sides. The tail magnetopause on the duskside remained at the usual position despite extremely low dynamic pressure in the SW, while the magnetotail on the dawnside drastically expanded dawnward, both of which are consistent with the simulation result. The strong deformation of the magnetotail can be universal phenomenon, because it is attributed to the extremely low Ma (low beta) SW environment that may also take place around the Earth's magnetosphere passed by coronal mass ejections (CMEs) as well as around Mercury and in the interstellar medium outside the heliopause.

キーワード: low Ma solar wind, solar wind - magnetosphere interaction, deformation of the magnetosphere, Geotail observations, global MHD simulation

Keywords: low Ma solar wind, solar wind - magnetosphere interaction, deformation of the magnetosphere, Geotail observations, global MHD simulation

PEM028-06

会場:201B

時間:5月27日 15:30-15:45

## ウェイク境界におけるイオンと電子の密度構造について Expansion fronts of solar wind ions and electrons at the wake boundary

中川 朋子<sup>1\*</sup>

Tomoko Nakagawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東北工業大学工学部情報通信工学科

<sup>1</sup>Tohoku Institute of Technology

月のように、誘電体で構成され、固有磁場を持たない小天体に太陽風が吹きつけた場合、プラズマのほとんどがその表面で吸着され、下流にはウェイクと呼ばれるプラズマ密度の薄い領域ができる。ウェイクの境界では、イオンと電子の熱速度の違い(約40km/sと2000km/s)によって電荷の不均一(プロトンだけが入れない領域)が形成され、分極電場によって電子がイオンを引っ張り、イオンが加速されるという説明がされてきた。この説明からは、まず電子がウェイク中に入り、ほぼ同時またはやや遅れてプロトンがウェイクに侵入して行くような姿が想像されるが、実際に2次元粒子コードで数値実験を行ってみると、天体の近くのウェイク境界の電場の強い領域ではむしろプロトン密度のほうが電子密度より高くなっていることがわかった。ある程度天体から離れた距離になってやっと電子密度がプロトンを上回るようになる。ここでプラズマの計算には全粒子法である ElectroMagnetic 2-D particle-in-cell code(Birdsall and Langdon, 1985)を用い、電磁場はFDTD法を用いて計算、天体にぶつかったプラズマはその場に吸着するものとした。プロトンの熱速度  $V_i$ 、太陽風の平均速度  $V_{sw}$ 、電子の熱速度  $V_e$  の比は  $V_i:V_{sw}:V_e=1:8:32$  とし、デバイ長は天体の半径の1/4または1/8とした。この比率は計算時間を短縮するために設定されたものであり、月のような大きな天体の場合に比べ、帯電の効果が強調されることに注意されたい。

天体近傍のウェイク境界において、プロトンの密度が電子密度よりも高かったのは、天体の夜側が電子の衝突により負に帯電し、エネルギーの低い大多数の電子を寄せ付けないためである。天体の夜側が負に帯電するのは、太陽風のバルク速度よりも電子の熱速度のほうが速いという太陽風の性質によるもので、それを担うのは、太陽風速を凌駕して夜側表面に到達できる、エネルギーの高い電子である。一方、電子密度を稼ぐのはあまりエネルギーの高くない電子たちであり、昼夜境界を越えた辺りから天体表面の帯電によって軌道を曲げられ、ウェイクから遠ざけられてしまう。天体近傍でイオンをウェイク中心へ向かって加速するのは、ウェイク中のごくわずかな電子というよりむしろ天体夜側表面の帯電であり、ウェイク中の電子がイオンを引っ張るのは、やや下流になってウェイク中心部に電子密度がプロトン密度を凌駕する場所ができてからと考えられる。

キーワード: ウェイク境界, 帯電, 熱的電子, 電子温度, 太陽風, 電場

Keywords: wake, electrons, expansion front, surface charging, PIC simulation, ambipolar electric field



PEM028-07

会場:201B

時間:5月27日 15:45-16:00

## かぐや衛星によって観測された100秒周期磁場変動の発生機構 Generation mechanism of the 100-second magnetic field variations observed by Kaguya

中山 研仁<sup>1\*</sup>, 中川 朋子<sup>1</sup>, 高橋 太<sup>2</sup>, 綱川 秀夫<sup>3</sup>, 渋谷 秀敏<sup>4</sup>, 清水 久芳<sup>5</sup>, 松島 政貴<sup>3</sup>

Akihito Nakayama<sup>1\*</sup>, Tomoko Nakagawa<sup>1</sup>, Futoshi Takahashi<sup>2</sup>, Hideo Tsunakawa<sup>3</sup>, Hidetoshi Shibuya<sup>4</sup>, Hisayoshi Shimizu<sup>5</sup>, Masaki Matsushima<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北工業大学, <sup>2</sup> 東京工業大学大学院理工学研究科, <sup>3</sup> 東京工業大学大学院理工学研究科, <sup>4</sup> 熊本大学大学院自然科学研究科, <sup>5</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Tohoku Inst. Tech., <sup>2</sup>Tokyo Tech., <sup>3</sup>Dept. Earth Planet. Sci., Tokyo Tech., <sup>4</sup>Dept. Earth Sci., Kumamoto Univ., <sup>5</sup>ERI, Univ. of Tokyo

月が太陽風中にあるとき, 月の昼間側ないし昼夜境界付近で約100秒周期の磁場変動が「かぐや」衛星搭載の磁力計(MAP-LMAG)によってしばしば観測されている(Takahashi et al., 2009)。この磁場変動の発生機構を解明するため, LMAGによって2008年1月1日から2008年11月30日までの間に観測された磁場データ(1秒平均値)を解析した。磁場データを600秒ごとにフーリエ変換すると, 0.01 [Hz] のパワーが卓越していることがわかった。発生頻度は, パワーが100[nT<sup>2</sup>/Hz] 以上の大振幅の現象に着目すれば, 全観測期間の10%であった。パワーが10[nT<sup>2</sup>/Hz] 以上の比較的小さな振幅の現象まで含めると, 全区間の54%もの頻度で観測されていた。この磁場変動の波数ベクトルの方向を調べると, 太陽風磁場に平行, 太陽風に垂直, 月面に垂直となる傾向が見られた。また, 磁場強度も変動しているため圧縮成分があることがわかった。発生位置をSSE座標とME座標でマップにすると月の昼夜境界や月磁気異常で多い傾向が見られた。

この磁場変動の発生機構について, 太陽風中の波が月面で反射するプロトンとサイクロトロン共鳴すると考え, 共鳴条件が成り立つか調べた。太陽風中を伝搬する波を反射プロトンから見た場合, ドップラーシフトして周波数が上がって見える。これがイオンサイクロトロン周波数と等しくなると共鳴が起こりえる。共鳴条件を調べるためには太陽風の系で見た波の周波数と波数ベクトルが必要であるが, かぐや衛星によって観測される周波数(太陽風速度の分だけドップラーシフトしている)の式を反射プロトンのサイクロトロン共鳴条件の式と連立させることにより波数ベクトルおよび周波数を知ることができる。その際, イオンサイクロトロン周波数は磁場観測から求め, 太陽風速度はACE観測を1時間ずらして使用し, 反射プロトン速度の大きさは太陽風速度と同じと仮定した。プロトンが反射する方向はわかっていないため, 様々な方向を仮定した。波数ベクトルの方向は最小変化法で求めたが, 向きが2通りあるため, それぞれの場合について試算した。

その結果, 波が太陽風を遡る向きでは解が無く, 波が太陽から遠ざかる向きで, 反射プロトンが波に向かって進む場合にのみ共鳴条件を満たす解が得られた。試算した波の周波数はイオンサイクロトロン周波数より低いことから, 太陽風中の磁気流体波が考えられる。その速度を観測から推定すると, 試算された波の速度とほぼ一致した。

以上のことから, 月周辺の100秒周期磁場変動は太陽風中の磁気流体波と月で反射された太陽風プロトンの共鳴で起こりえることがわかった。

キーワード: 月, かぐや, MHD波, 磁場変動, プロトン反射, 太陽風

Keywords: Moon, Kaguya, MHD wave, magnetic field, MAP/PACE LMAG, solar wind

PEM028-08

会場:201B

時間:5月27日 16:00-16:15

## かぐやのモノポールアンテナで観測された月周辺静電孤立波 (ESW) の解析 Electrostatic Solitary Waves (ESWs) observed by Kaguya monopole antennas near the Moon

橋本 弘藏<sup>1\*</sup>, 橋谷 真紀<sup>2</sup>, 大村 善治<sup>3</sup>, 笠原 禎也<sup>4</sup>, 小嶋 浩嗣<sup>1</sup>, 小野 高幸<sup>5</sup>, 綱川 秀夫<sup>6</sup>

Kozo Hashimoto<sup>1\*</sup>, Maki Hashitani<sup>2</sup>, Yoshiharu Omura<sup>3</sup>, Yoshiya Kasahara<sup>4</sup>, Hirotsugu Kojima<sup>1</sup>, Takayuki Ono<sup>5</sup>, Hideo Tsunakawa<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 古代学協会, <sup>2</sup> 九州電力, <sup>3</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>4</sup> 金沢大学, <sup>5</sup> 東北大学, <sup>6</sup> 東京工業大学

<sup>1</sup>Paleological Association of Japan, <sup>2</sup>Kyushu Electric Power Co., <sup>3</sup>RISH, Kyoto University, <sup>4</sup>Kanazawa University, <sup>5</sup>Tohoku University, <sup>6</sup>Tokyo Institute of Technology

月周回衛星「かぐや (SELENE)」搭載 LRS[1] の WFC-L 波動観測装置 [2] では、100Hz-100kHz の波形を観測でき、多数の静電孤立波 (ESW) が観測されている。観測された ESW については、一部報告済みである [3]。通常は直交ダイポールアンテナで観測しているが、モノポールアンテナ対による ESW の伝搬速度等の解析も可能である。今回は、後者のアンテナを用いた解析結果を中心に報告する。

モノポールモードにおける波形解析により、ESW の伝搬速度やポテンシャル等を評価した。ESW の波形は外部磁場に対して平行な成分だけでなく、垂直成分を多く含んでおり、ポテンシャルは 2 次元構造をしている。両の成分からなる ESW の理想形に fitting を行った上で、これらの諸量を評価した。GRL[3] で報告した各所で受かった例について、伝搬速度、ポテンシャルの符号、深さ等の解析を行った結果について報告する。

### References

[1] Takayuki Ono, Atsushi Kumamoto, Yasushi Yamaguchi, Atsushi Yamaji, Takao Kobayashi, Yoshiya Kasahara, and Hiroshi Oya, Instrumentation and observation target of the Lunar Radar Sounder (LRS) experiment on-board the SELENE spacecraft, *Earth Planets Space*, 60, 321-332, 2008.

[2] Y. Kasahara, Y. Goto, K. Hashimoto, T. Imachi, A. Kumamoto, T. Ono, and H. Matsumoto, Plasma Wave Observation Using Waveform Capture in the Lunar Radar Sounder on board the SELENE Spacecraft, *Earth, Planets and Space*, 60, 341-351, 2008.

[3] K. Hashimoto, M. Hashitani, Y. Kasahara, Y. Omura, M.N. Nishino, Y. Saito, S. Yokota, T. Ono, H. Tsunakawa, H. Shibuya, M. Matsushima, H. Shimizu, and F. Takahashi, Electrostatic solitary waves associated with magnetic anomalies and wake boundary of the Moon observed by KAGUYA, accepted for publication in *Geophys. Res. Lett.*, 37, L19204, doi:10.1029/2010GL044529, 2010.

キーワード: 月, かぐや, 静電孤立波, ウェイク

Keywords: Moon, Kaguya, Electrostatic Solitary Waves, Wake



PEM028-09

会場:201B

時間:5月27日 16:30-16:45

## CME中に発生した太陽電波 Type-Iバーストと関連するコロナ磁場構造 Solar radio type-I radio bursts generated during CMEs and their related magnetic structures

岩井 一正<sup>1\*</sup>, 増田 智<sup>2</sup>, 三好 由純<sup>2</sup>, 下条 圭美<sup>3</sup>, 三澤 浩昭<sup>1</sup>, 土屋 史紀<sup>1</sup>, 森岡 昭<sup>1</sup>, 井上 諭<sup>4</sup>, 塩田 大幸<sup>5</sup>  
Kazumasa Iwai<sup>1\*</sup>, Satoshi Masuda<sup>2</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>2</sup>, Masumi Shimojo<sup>3</sup>, Hiroaki Misawa<sup>1</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>1</sup>, Akira Morioka<sup>1</sup>, Satoshi Inoue<sup>4</sup>, Daikou Shiota<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東北大・理・惑星プラズマ大気, <sup>2</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>3</sup> 国立天文台野辺山太陽電波観測所, <sup>4</sup> 情報通信研究機構, <sup>5</sup> 理化学研究所

<sup>1</sup>PPARC, Tohoku Univ., <sup>2</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>3</sup>NSRO, NAOJ, <sup>4</sup>NICT, <sup>5</sup>RIKEN

コロナ中で高エネルギーに加速された電子ビームの一部は、付近のプラズマ粒子を振動させることで静電波を励起する。それが電波に変換されたものが太陽電波バーストとして地球で観測される現象である。メートル波帯域で発生する太陽電波バースト現象の1つに Type-Iバースト(通称 noise storm)と呼ばれる現象がある。type-IバーストはCMEと共に観測されることがあると指摘されているが、今までそれらの物理的関連は詳しく解明されてこなかった。type-Iバーストの放射には指向性があるため、放射源である活動領域が太陽面の中心付近にあるときに観測することが望ましい半面、コロナの三次元的磁場構造はリム方向からの撮像観測が有効である。地球軌道からの観測のみでは、この二つの観測条件を同時に満たすことは不可能である。2006年に打ち上げられたSTEREO衛星は地球周回軌道を脱出し、太陽を地球とは異なる角度から観測することが可能である。本研究では、地球から見てディスク中心に存在する活動領域に対して、地球からの電波バースト観測とSTEREO衛星でリム方向からの撮像観測が同時に成立したデータセットを用いて解析を行った。なおこのときのSTEREO衛星は太陽-地球方向に対して65から70度離れた軌道に位置していた。

type-Iの発生と減光現象が2010年2月6日から7日にかけて観測された。その間STEREO衛星は複数のCMEを観測し、観測されたtype-Iの強度は最初のCME発生の後に強くなり次のCME開始の前に減少していたことがわかった。更にSOHO/MDIの光球面磁場を用いたpotential-field source-surface磁場の計算と比較した結果、CMEやtype-Iバーストを放出した活動領域の磁場構造は周辺の磁場と多重極子構造を形成し、CMEはその多重極子中心にある磁気中性線付近で発生していることが示唆された。以上から本研究では多重極子磁場中で発生するCMEモデルを使ってtype-Iの発生から減光までを説明することを試みた。このモデルではCME発生後その足元にカレントシートが形成される。このカレントシートはCME発生後もリコネクションを続けることが可能で、CME後に発生したtype-Iバーストを説明できる。更に2回目のCMEにつながる磁気ループの膨張が電波放射源周辺の磁場構造に変調を与えたと仮定すると、2回目のCMEの発生前にtype-Iの減光が起きたことを説明できる。この仮定はtype-Iバーストが減光したときに最初のCMEはtype-Iバーストの放射高度から数太陽半径上空に位置し、CME本体が放射源に直接変調を与える可能性は低いという観測結果とも一致し、一連の観測結果を矛盾なく説明出来ている。

キーワード: 太陽電波バースト, 地上観測, 活動領域, コロナ質量放出

Keywords: solar radio burst, ground based observation, active region, CME

PEM028-10

会場:201B

時間:5月27日 16:45-17:00

## IPS 観測で捉えられた ICMEs の速度プロファイル Speed profiles of ICMEs detected by IPS observations

伊集 朝哉<sup>1\*</sup>, 徳丸 宗利<sup>2</sup>, 藤木 謙一<sup>2</sup>

Tomoya Iju<sup>1\*</sup>, Munetoshi Tokumaru<sup>2</sup>, Ken'ichi Fujiki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学理学研究科素粒子宇宙物理学, <sup>2</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>Particle and astrophys, Sci, Nagoya-univ., <sup>2</sup>STELab, Nagoya-univ

我々は、4 台の電波望遠鏡による Interplanetary Scintillation (IPS) の観測から、Interplanetary Coronal Mass Ejections (ICMEs) の伝搬特性を調査している。IPS 観測では、太陽赤道域から極域に至る距離 0.2 - 1AU の範囲の太陽風の状態を 24 時間の時間分解能で知ることができる。現在 ICMEs の伝搬特性の研究は、主に SOHO/LASCO による太陽近傍 CMEs の観測データと ACE などによる地球近傍 ICMEs データを利用して行われているが、0.1 - 1AU の惑星間空間での観測が不足しており、この領域での ICMEs 伝搬については不明な点が多い。

今回我々は、IPS 観測で得られた太陽風の擾乱係数 g-value のデータを解析し、IPS 擾乱イベント日のリストを作成した。(1) 太陽活動極小期において 1 日の IPS 擾乱イベント日はその日以前に発生した 1 つの CME に対応している、(2) ICME の運動は Radial である、(3) ICME は enhanced g-value region に位置している、という想定の下 1997 年・1998 年と 2008 年・2009 年の期間で私たちの IPS 擾乱イベント日リスト・g-values 全天マップと SOHO/LASCO CME Catalog [URL: [http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/index.html](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/index.html)] および ICMEs Catalog [Richardson and Cane, 2010] を比較した。これまでの所、SOHO で観測された halo CME と地球近傍で観測された ICME の両者に対応づけられる 14 日分の IPS 擾乱イベント日を特定し、これらのイベント日について太陽近傍 - 惑星間空間 - 地球近傍の 3 点での ICME 伝搬の速度プロファイルを計算した。

本発表では、これらの IPS 擾乱イベント日から求めた ICMEs の速度プロファイルについて述べる。

キーワード: 惑星間空間, コロナ質量放出, 宇宙プラズマ, 地上観測

Keywords: Interplanetary space, Coronal mass ejections, Space plasma, Ground-based observation

PEM028-11

会場:201B

時間:5月27日 17:00-17:15

## 太陽風 3次元 MHD シミュレーションへのデータ同化の試み Solar wind data assimilation using 3D MHD simulation

埜 千尋<sup>1\*</sup>, 篠原 育<sup>1</sup>, 塩田 大幸<sup>2</sup>, 片岡 龍峰<sup>3</sup>, 三好 由純<sup>4</sup>, 徳丸 宗利<sup>4</sup>

Chihiro Tao<sup>1\*</sup>, Iku Shinohara<sup>1</sup>, Daikou Shiota<sup>2</sup>, Ryuho Kataoka<sup>3</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>4</sup>, Munetoshi Tokumaru<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ISAS/JAXA, <sup>2</sup>理化学研究所, <sup>3</sup>東京工業大学, <sup>4</sup>名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup>ISAS/JAXA, <sup>2</sup>RIKEN, <sup>3</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>4</sup>STEL, Nagoya University

太陽から放出されるプラズマ流は、埋め込まれた太陽磁場とともに大規模な擾乱構造を作り、惑星間空間を伝搬する。この擾乱構造は、地球をはじめ、太陽系惑星環境に大きな影響を与える。太陽風擾乱伝搬モデルとして、観測データを取り込んだシミュレーションが広く行われている。数日にわたる大きな構造については、よい精度で地球近傍の太陽風その場観測を再現する。データのシミュレーションモデルへの取り込み方法は、観測データを再現するように内側境界条件を変えるものである。現在は太陽自転周期(約27日)で平均したものや、コロナ質量噴出イベントごとに内側境界に擾乱を設けるため、複数の異なる、かつ、実際のより短く時間変化する観測データを満たす境界条件の導出は困難である。これらの問題に対し、本研究は、3次元磁気流体(MHD)シミュレーションモデルへ観測データを「データ同化」することに取り組んでいる。データ同化は、観測及びシミュレーションモデル双方の誤差の関数で観測データに重みづけをして、シミュレーションに融合する方法である。観測データとして、SOHO/MDIで観測される磁場データおよび名古屋大学太陽地球環境研究所の惑星間空間シンチレーション(IPS)データを用いる。

3次元MHDシミュレーションを用い、50太陽半径から地球近傍までの太陽風伝搬を解く。モデル内側境界はSOHO/MDI観測磁場および経験モデルで磁場と関連付けられた速度・密度・温度とする。IPS太陽風速度データを組み込むにあたり必要となるモデル系統誤差を、モデル内側境界に擾乱を与え伝搬した結果を基に動径の関数として表現した。これと観測データ誤差の比で重みづけし、観測データをモデルに組み込んだ。観測データの組み込む領域をIPS観測の最も感度の高い地点に限定すると、観測結果が大規模構造にうまく反映されず、内側境界設定によって大きく支配された分布であった。現在のシミュレーションのグリッド数は動径45点×緯度経度8000点=360000点、内側境界条件により8000点、データ同化対象点数は一日あたり数10点である。IPS速度データが反映する空間全体に組み込み領域を広げる等の改善を含め、太陽風データ同化の現状を本講演で報告する。

キーワード: 太陽風, データ同化, シミュレーション, MHD

Keywords: solar wind, data assimilation, simulation, MHD

PEM028-12

会場:201B

時間:5月27日 17:15-17:30

## 電波で見た太陽活動周期とその異常性 Solar activity cycle and its anomaly observed by radio

柴崎 清登<sup>1\*</sup>

Kiyoto Shibasaki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 野辺山太陽電波観測所

<sup>1</sup>Nobeyama Solar Radio Observatory

第24太陽活動周期は始まり、活動領域や黒点の数は上昇してきたが、過去の上昇率と較べて非常にゆっくりである。活動領域のサイズが小さく、寿命も短く、大きなフレアが発生しない。この状況を、野辺山太陽電波観測所のデータを用いて検討した。

電波強度偏波計群は、1951年11月から約60年にわたって連続してマイクロ波帯の電波フラックスを測定している。測定値の較正方法も確立しており、長期間の太陽活動を示す指数として相対黒点数と同様にまたはそれ以上に信頼のけるデータである。それによると、2009年に太陽活動最小期を記録し、その後フラックス値は上昇しているが、過去に比べてその増加率は非常に小さい。

電波ヘリオグラフは18年間連続して画像観測を行っており、前回の極小期から上昇期における状況との比較が可能である。太陽活動周期を検討するには、黒点数の増減のみではなく活動領域や暗条の出現緯度や極域の活動状況等、太陽面全体にわたる活動を知る必要がある。そのために、電波ヘリオグラフによる17GHzの電波画像約6500枚を用いて蝶形図を作成した。これにより、太陽全面にわたる活動状況を捕らえることができる。

低緯度帯の明るい活動域帯とは別に、電波に特有な極域帯の明るい構造がある。この活動は低緯度帯と逆相で、極域の活動を反映している。前回の極小期に較べて今回はあまり明るくならず、南北非対称性が顕著である。暗い構造は暗条に対応しており、暗条は磁場極性の反転する中性線の上に発生するので、暗い構造は太陽表面の大規模磁場構造の活動を示す。この構造は今回も約11年で繰り返している。しかし、低緯度帯の活動領域は13年でやっと上昇を始めた。今までは大規模構造と活動領域帯の活動が同期していたが、今回はこの同期がずれてきているようである。

大型黒点が出現すると電波特有の放射機構である磁気共鳴放射源がみられる。電波ヘリオグラフで観測している17GHzでの電波源は、黒点暗部上空の2000ガウスの等磁場強度面から放射されるもので、非常にコンパクトで明るく、高い円偏波率を示す。しかし、今サイクルに入ってからこのような電波源の数が非常に少ない。この電波源の明るさは3分の振動を示し、振動数を詳細に解析することによって黒点の温度を求めることができる。前サイクルにおいて、この周波数が太陽活動依存性を持ち、黒点温度が太陽活動に依存することが示された。この傾向が、異常な活動状況にある今サイクルでどのようになっているかも非常に興味がある。

キーワード: 太陽活動周期, 電波観測, 野辺山電波ヘリオグラフ, 電波蝶形図

Keywords: solar activity cycle, radio observation, Nobeyama Radioheliograph, radio butterfly diagram

PEM028-13

会場:201B

時間:5月27日 17:30-17:45

## 太陽磁気多重極子の長周期変動 Long term variations of magnetic multipoles of the sun

袴田 和幸<sup>1\*</sup>

Kazuyuki Hakamada<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 中部大学

<sup>1</sup> Chubu University

この研究では、私自身が開発したコロナ磁場の Radial-Field Model とアリゾナ州 Kitt Peak で観測された光球磁場のシノプティックチャートを用いて、1645 カリントンローテーション (1976 年 8 月 17 日) から 2101 カリントンローテーション (2010 年 9 月 5 日) までの 457 枚のコロナ磁場三次元構造の図を描いた。その際、コロナ磁場のスカラーポテンシャルが球関数に展開され、457 組の展開係数 ( $G_{nm}$ ,  $H_{nm}$ ;  $n = 0 - 90$ , and  $m = 0 - n$ ) が得られる。ここで、 $G_{10}$  は磁気双極子成分にあたる。 $G_{nm}$ ,  $H_{nm}$  は磁気多重極子と呼ばれる。ここで得られた 457 組の  $G_{nm}$  を用いて  $G_{nm}$  の時間変動を示すための動画を作成した。この動画から以下のことが分かった。(1) 磁気極性反転後、磁気双極子成分は時間的に安定に推移する。(2) 磁気双極子成分が消えていった後には、磁気多重極子成分のうち、特に  $m = 0$  と  $n = m$  の成分が発達してくる。動画は多重極子成分がどのように時間的に発展するのか理解するのに有効な手段である。

キーワード: 太陽磁場, 磁気双極子, 磁気多重極子, 長周期変動

Keywords: solar magnetic field, magnetic dipole, magnetic multipole, long term variation



PEM028-14

会場:201B

時間:5月27日 17:45-18:00

## チベット空気シャワーアレイで観測された10 TeV宇宙線強度の「太陽の影」の太陽活動周期変動

### Solar cycle evolution of the Sun's shadow in 10 TeV cosmic ray intensity observed with the Tibet air shower array

雨森道紘<sup>1</sup>, 浅井孝行<sup>2</sup>, 陳鼎<sup>3</sup>, 郷昌樹<sup>2</sup>, 日比野欣也<sup>4</sup>, 堀田直巳<sup>5</sup>, 稲葉智基<sup>6</sup>, 井上大輔<sup>3</sup>, 梶野文義<sup>7</sup>, 笠原克昌<sup>8</sup>, 片寄祐作<sup>2</sup>, 加藤千尋<sup>6</sup>, 川田和正<sup>3</sup>, 小財正義<sup>6</sup>, 正川友朗<sup>6</sup>, 水谷興平<sup>9</sup>, 元山達朗<sup>2</sup>, 宗像一起<sup>6\*</sup>, 南條宏肇<sup>1</sup>, 西澤正己<sup>10</sup>, 大西宗博<sup>3</sup>, 太田周<sup>11</sup>, 小澤俊介<sup>8</sup>, 齋藤隆之<sup>12</sup>, 齋藤敏治<sup>13</sup>, 坂田通徳<sup>7</sup>, 佐古崇志<sup>2</sup>, 塩見昌司<sup>14</sup>, 柴田槇雄<sup>2</sup>, 白井達也<sup>4</sup>, 宗田天志<sup>3</sup>, 杉本久彦<sup>15</sup>, 瀧田正人<sup>3</sup>, 立山暢人<sup>4</sup>, 鳥居祥二<sup>8</sup>, 土屋晴文<sup>16</sup>, 有働慈治<sup>4</sup>, 山本嘉昭<sup>7</sup>, 安江新一<sup>17</sup>, 吉越功一<sup>3</sup>, 湯田利典<sup>4</sup>  
M. Amenomori<sup>1</sup>, T. Asai<sup>2</sup>, C. Ding<sup>3</sup>, M. Gou<sup>2</sup>, K. Hibino<sup>4</sup>, N. Hotta<sup>5</sup>, T. Inaba<sup>6</sup>, D. Inoue<sup>3</sup>, F. Kajino<sup>7</sup>, K. Kasahara<sup>8</sup>, Y. Katayose<sup>2</sup>, C. Kato<sup>6</sup>, K. Kawata<sup>3</sup>, M. Kozai<sup>6</sup>, T. Masakawa<sup>6</sup>, K. Mizutani<sup>9</sup>, T. Motoyama<sup>2</sup>, Kazuoki Munakata<sup>6\*</sup>, H. Nanjo<sup>1</sup>, M. Nishizawa<sup>10</sup>, M. Ohnishi<sup>3</sup>, I. Ohta<sup>11</sup>, S. Ozawa<sup>8</sup>, T. Saito<sup>12</sup>, T. Saito<sup>13</sup>, M. Sakata<sup>7</sup>, T. Sako<sup>2</sup>, M. Shiomi<sup>14</sup>, M. Shibata<sup>2</sup>, T. Shirai<sup>4</sup>, T. Soda<sup>3</sup>, H. Sugimoto<sup>15</sup>, M. Takita<sup>3</sup>, N. Tateyama<sup>4</sup>, S. Torii<sup>8</sup>, H. Tsuchiya<sup>16</sup>, S. Udo<sup>4</sup>, Y. Yamamoto<sup>7</sup>, S. Yasue<sup>17</sup>, K. Yoshigoe<sup>3</sup>, T. Yuda<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 弘前大理工, <sup>2</sup> 横浜国大工, <sup>3</sup> 東大宇宙線研, <sup>4</sup> 神奈川大工, <sup>5</sup> 宇都宮大教, <sup>6</sup> 信州大理, <sup>7</sup> 甲南大理工, <sup>8</sup> 早稲田大理工学研, <sup>9</sup> 埼玉大, <sup>10</sup> 国立情報学研, <sup>11</sup> 作新学院大, <sup>12</sup> マックス・プランク研, <sup>13</sup> 都立産業技術高専, <sup>14</sup> 日本大生産工, <sup>15</sup> 湘南工大, <sup>16</sup> 理研, <sup>17</sup> 信州大全教機

<sup>1</sup>Department of Physics, Hirosaki U., <sup>2</sup>Faculty of Engineering, Yokohama Nat. U., <sup>3</sup>ICRR, U. of Tokyo, <sup>4</sup>Faculty of Engineering, Kanagawa U., <sup>5</sup>Faculty of Education, Utsunomiya U., <sup>6</sup>Department of Physics, Shinshu U., <sup>7</sup>Department of Physics, Konan U., <sup>8</sup>RISE, Waseda U., <sup>9</sup>Saitama U., <sup>10</sup>National Institute of Informatics, <sup>11</sup>Sakushin Gakuin U., <sup>12</sup>Max-Planck-Institut für Physik, <sup>13</sup>Tokyo Metropolitan College of Industrial, <sup>14</sup>College of Indust. Technology, Nihon U., <sup>15</sup>Shonan Institute of Technology, <sup>16</sup>RIKEN, <sup>17</sup>School of General Education, Shinshu U.

In this paper, we report for the first time a clear solar cycle variation of the Sun's shadow in the 10 TeV cosmic-ray intensity observed over an entire period of the Solar Cycle 23 between 1996 and 2009. In this variation, the average intensity deficit in the shadow changes in a high negative correlation with the Heliocentric Current Sheet (HCS) tilt-angle, i.e. the intensity deficit decreases (increases) in the solar activity maximum (minimum) period. The amplitude of the variation is as large as one half of the deficit intensity expected when all cosmic rays arriving from the optical Sun disk are excluded from the observation. Based on numerical simulations of the trajectory of antiparticles ejected from the earth to the Sun in the model magnetic field, we find that the Sun's shadow diminishes during the solar activity maximum period due to antiparticles' orbits being deflected in the complicated and disordered coronal field and excluded from hitting the photosphere. During the solar minimum period, on the other hand, we find trajectories in the solar polar region being focused and guided toward the photosphere resulting in the enhancement of the shadow. We also find the Geocentric Solar Ecliptic (GSE) longitude of the shadow center changing in two succeeding solar minimum periods. The average GSE longitude in 1996-1997 is  $+0.039 \pm 0.038$  deg, while it is  $-0.49 \pm 0.036$  deg in 2007-2009 being 25 % larger than the geomagnetic deflection of the Moon's shadow. This is due to the poloidal component of the ordered coronal field deflecting cosmic ray trajectories in an opposite sense to the geomagnetic deflection in 1996-1997, while it deflects trajectories in the same sense in 2007-2009.

キーワード: 太陽の影, 太陽磁場, 太陽活動周期変動, 銀河宇宙線, 空気シャワー

Keywords: Sun's shadow, solar magnetic field, solar cycle variation, galactic cosmic rays, air shower



PEM028-15

会場:201B

時間:5月27日 18:00-18:15

## 1997-2009年における太陽風密度ゆらぎ分布の長期変動

## Long-term variation in distribution of solar wind density fluctuations for 1997-2009

徳丸 宗利<sup>1\*</sup>, 小島正宜<sup>1</sup>, 藤木 謙一<sup>1</sup>

Munetoshi Tokumaru<sup>1\*</sup>, Masayoshi Kojima<sup>1</sup>, Ken'ichi Fujiki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

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

名古屋大学太陽地球環境研究所(以下、STE研)では、1997年から太陽風速度と同時にシンチレーション強度( $g$ 値)のデータを定常的に取得してきた。太陽風速度と $g$ 値は互いに関連した視線積分量であり、両者を同時に計算機トモグラフィ(CAT)法で解析すれば、太陽風速度と密度揺らぎ $N_e$ の分布を求めることができる。この同時CAT法は、Asai et al.(1998)により開発され、1996年のSTE研のIPSデータ解析からその有用性が示されている。今回、我々は1997年から2009年のデータを同時CAT法で解析し、サイクル23における太陽風速度と $N_e$ の分布の長期変化について調べた。これまでに、我々はサイクル22、23における太陽風速度分布の長期変動について調査している(Tokumaru et al., 2010)。その結果から、我々はサイクル23から24へ移行する極小期における太陽風の分布がそれまでの極小期とは大きく異なっていることを発見した。この変化は、サイクル23の後半から顕著になっていることもわかった。今回の調査では、サイクル23において $N_e$ の分布が如何なる発展をしたかについて特に注目する。

周波数327MHzにおける多地点IPS観測は、1993年から富士・豊川・菅平・木曾の4地点で実施され、2006年以降は豊川を除く3地点で実施された。多地点IPS観測データから、太陽風速度が求められている。ここで、太陽風の流れは常に動経方向と仮定したため4地点データから得られる速度の品質は3地点の場合と変わりはない(4地点の場合、3地点の組み合わせが増えるため速度を決定できる確率が増える)。一方、 $g$ 値は全期間を通じて木曾アンテナの観測データから求めた。また、 $g$ 値は各年の低緯度領域(緯度 $\pm 30$ 度~赤道)の平均レベルを基準とした。太陽風速度と $g$ 値のデータの解析に用いた同時CAT法は、Asai et al.(1998)をもとにして改良したもので、source surfaceへの視線の投影する際、キャリントン経度0度で視線が区切れることなく連続につながるようになっている(time-sequence法)。このため準静的な構造の時間発展をより正確に追跡することが可能である。

得られた解析結果からは、次のことが分かった。

- 1) 期間を通じて、高緯度では $N_e$ の低い領域が支配的で、低緯度では $N_e$ の高い領域が支配的である。これは、それぞれ高速風と低速風に対応している。
- 2) 速度データに見られたような極大期と極小期の違いは、 $N_e$ ではあまり見られない。
- 3) 1997年から2009年の期間で $N_e$ が小さい領域の面積は徐々に増加している。この傾向は全球的に見られる。特に2005年以降、低緯度で顕著である。
- 4) 今回決定された速度の分布は、 $g$ 値を使わないで求めた結果とよく一致している。
- 5) 太陽風速度と $N_e$ の関係を調べたところ、2000年を除いて $N_e \propto V^{-0.5}$ の関係があることがわかった。このことは、Asai et al.(1998)の結果を支持している。両者の関係に太陽活動との依存性は見られていない。ただし、速度が350km/s以下では、この関係から低 $N_e$ 側へ外れる傾向が見られ、特に2009年ではその傾向が顕著であった。このような低速風の発生頻度は比較的に少ないため、この傾向が有意なものかどうかは今後十分検証する必要があるが、もし有意ならば大変興味深い結果である。

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, 乱流

Keywords: solar wind, interplanetary scintillation, solar cycle, Sun's magnetic field, turbulence