

東北大学太陽電波望遠鏡 AMATERAS で観測された狭帯域太陽電波 Type-IV バーストとその生成機構 Study of the slowly drifting narrowband structure in type-IV solar radio bursts observed by AMATERAS

加藤 雄人^{1*}; 岩井 一正²; 西村 由紀夫¹; 熊本 篤志¹; 三澤 浩昭³; 土屋 史紀³; 小野 高幸¹
KATO, Yuto^{1*}; IWAI, Kazumasa²; NISHIMURA, Yukio¹; KUMAMOTO, Atsushi¹; MISAWA, Hiroaki³; TSUCHIYA, Fuminori³; ONO, Takayuki¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, ² 国立天文台野辺山太陽電波観測所, ³ 東北大学大学院理学研究科附属惑星プラズマ・大気研究センター

¹Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, ²Nobeyama Solar Radio Observatory, National Astronomical Observatory of Japan, ³Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University

We show the type-IV burst event observed by AMATERAS on June 7, 2011, and reveal that the main component of the burst was emitted from the plasmoid eruption identified by the EUV images of SDO. The slowly drifting narrowband structure (SDNS) appear in the spectra of the burst. By a statistical analysis, we reveal that SDNS appeared with the duration of tens to hundreds of millisecond and with the typical bandwidth of 3 MHz. For the generation mechanism of SDNS, we propose the wave-wave coupling between Langmuir waves and whistler-mode chorus emissions generated in a post-flare loop, inferred from the similarities of the plasma environments between a post-flare loop and the equatorial region of the Earth's inner magnetosphere. We assume that a chorus element with a rising tone is generated at the loop-top of a post-flare loop. By referring to the propagation properties of chorus in the magnetosphere, we assume that the chorus element propagates downward along the magnetic field line and then propagates away from the central region of the flare-loop toward the outer edge of the loop where the plasma density is relatively small. By the magnetic field and plasma density models, we quantitatively estimate the expected duration of radio emissions generated through the coupling between Langmuir waves and chorus during its propagation in the post-flare loop and find that the observation properties of duration and bandwidth of SDNS are consistently explained by the proposed generation mechanism. The characteristics of SDNS are its intermittency in time and the negative frequency drift in the limited frequency band. While observation in the terrestrial magnetosphere shows that chorus is a group of large amplitude wave elements naturally generated intermittently, the mechanism proposed in the present study can explain both intermittency and slowly drifting narrowband structure in the observed spectra.

キーワード: 太陽電波, コロナ, 波動粒子相互作用

Keywords: solar radio burst, solar corona, wave-particle interaction

高強度レーザー実験における相対論効果による種磁場形成の数値計算 Numerical simulation of magnetic field generation by relativistic effect in high intensity laser experiments

川面 洋平^{1*}; 吉田 善章¹

KAWAZURA, Yohei^{1*}; YOSHIDA, Zensho¹

¹ 東京大学新領域創成科学研究科

¹ Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

現在宇宙に存在する磁場や渦構造の起源は大きな謎である。流体描像におけるプラズマでは磁場は力学的渦と結合し、正準運動量の curl によって規定される。理想状態において渦の生成が有限であるために何らかの非完全微分の形をした項が必要となる。非相対論的理想プラズマにおいて渦を生成しうる非完全項は熱力学的な傾圧効果 $\nabla T \times \nabla \sigma$ のみである。これは Biermann の Battery 効果として知られている。しかし熱力学的傾圧効果による渦生成は熱平衡に近い状態では大きな値を持っていないため初期宇宙などでは、傾圧効果による渦生成は小さいと予想される。これに対して最近 Mahajan and Yoshida によって提唱された相対論効果による渦生成 [1] は熱平衡に近くても大きな値を持つことができるため、宇宙の種磁場形成の有力な候補になるのではないかと考えられている [2]。相対論的プラズマでは 2 つの渦生成項 $S_T = \gamma^{-1} \nabla T \times \nabla \sigma$ と $S_R = T \nabla \gamma^{-1} \times \nabla \sigma$ が存在するため、熱平衡に近く $T \nabla \sigma = \nabla \theta$ であっても、 $\nabla \gamma^{-1} \times \nabla \theta$ という渦生成項 (相対論的傾圧効果) を持つことができる。

このように理論的に予測された相対論的傾圧効果を実験的に検証することが必要とされる。最近の高強度レーザー実験では相対論的電子プラズマを生成し、またそのときに生じる磁場の高解像度な測定が行われているため [3]、レーザー実験において相対論的傾圧効果を観測することができると期待できる。本研究では相対論的プラズマの非線形数値計算を行い、レーザー実験による相対論的渦生成の検証への提言を行う。

これまでの計算結果では参考文献 [3] に妥当なパラメータ領域では相対論的傾圧効果は熱力学的傾圧効果の 10 分の 1 程度であり、相対論的傾圧効果の観測は難しいことがわかった。またプラズマの温度を上昇させるか、スキン長さ/スケールサイズを低下させることによって相対論的傾圧効果の比率を上げることができる (図)。波数空間でみると相対論的傾圧効果は熱力学的傾圧効果よりも大スケールにおいて強くなることがわかった。

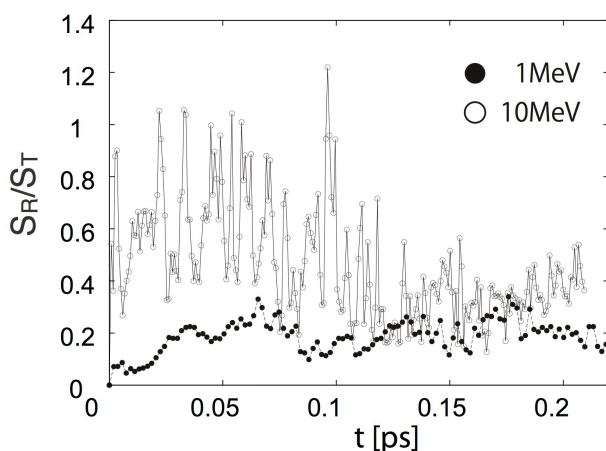
[1] S. M. Mahajan and Z. Yoshida, Phys. Rev. Lett. 105, 095005 (2010).

[2] S. M. Mahajan and Z. Yoshida, Phys. Plasmas 18, 055701 (2011).

[3] S. Mondal et al., PNAS 109, 8011 (2012).

キーワード: 相対論プラズマ, 高強度レーザー実験, 磁場生成

Keywords: relativistic plasma, high intensity laser experiment, magnetic field generation



宇宙線変成衝撃波と宇宙線の生成率 The acceleration rate of cosmic rays in the cosmic ray modified shocks

齋藤 達彦^{1*}; 星野 真弘¹; 天野 孝伸¹
SAITO, Tatsuhiko^{1*}; HOSHINO, Masahiro¹; AMANO, Takanobu¹

¹ 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

¹EPS, The University of Tokyo

銀河系内で加速・生成されている銀河宇宙線は、銀河系内で起きる超新星爆発に起因する衝撃波をその起源としている。その加速メカニズムは Diffusive Shock Acceleration (DSA) 理論 [Blandford & Ostriker, 1978; Bell, 1978] として知られているが、そこには多くの理論的仮定が存在する。その一つに「被加速粒子 (宇宙線) の反作用効果」が取り入れられていない点が挙げられる。これについては Drury & Völk (1981) によって宇宙線の圧力を介した反作用効果モデルが提案されている。このモデルは背景プラズマと宇宙線を共に流体として扱うため「2 流体モデル」と呼ばれる。また、宇宙線の反作用を受け、構造を大きく変化させた衝撃波は「宇宙線変成衝撃波」と呼ばれており、近年の観測からその存在が示唆されている。

他方、衝撃波加速による宇宙線の生成効率に関しては、非常に高効率で生成されているという観測 (Helder et al. 2009; Hughes et al. 2000) もある一方で、低効率であるとする観測 (Fukui 2013) もあり、統一的な見解が得られていないのが現状である。本研究では、この衝撃波での宇宙線の生成効率に関して、「宇宙線の反作用を考慮した加速メカニズム」を考えることによってその多寡を定性的に議論した。

宇宙線変成衝撃波では、上流での物理状態に対して下流の物理状態がただ一つ決まる通常の (反作用のない) 衝撃波に対して、最大で3つの宇宙線の生成効率の異なる状態が許され、非常に特異的なものである。

本研究では、この下流の物理状態の「多価性」に着目して、2 流体モデルを用いた数値計算による時間発展を行い、各々の時間定常状態の安定性を検証した。その結果、3つのうち、宇宙線の生成効率が“最も高い状態”と“最も低い状態”の2つが安定的に存在でき、その“中間的な状態”は不安定によって“最も低い状態”へと遷移した。さらに、この特徴は2 流体モデルに対して①磁場の効果を導入した場合も、②衝撃波面での粒子注入効果を導入した場合でも同様であった。

加えて、初期に宇宙線がない非定常な状態からの時間発展を計算すると、この2つの安定状態のうち生成効率が“最も低い状態”が唯一最終的な定常状態として存在できることが分かった。

キーワード: 衝撃波, 粒子加速, 宇宙線の反作用

Keywords: shocks, particle acceleration, feedback from cosmic rays

高ベータ無衝突衝撃波の 2 次元構造と粒子加速に関するフル粒子計算 2D Full Particle-In-Cell Simulation on a High Beta Collisionless Shock and Particle Acceleration

松清 修一^{1*}; 松本 洋介²

MATSUKIYO, Shuichi^{1*}; MATSUMOTO, Yosuke²

¹九州大学, ²千葉大学

¹Kyushu University, ²Chiba University

High beta and relatively low Mach number shocks are commonly present in a variety of space and astrophysical environments, like the earth's bow shock, the heliospheric termination shock (effective beta is rather high due to the presence of pickup ions), galaxy cluster merger shocks, etc. Even such high beta shocks show some evidences that high energy particles are possibly accelerated there. Voyager 2 spacecraft revealed that the fluxes of non-thermal electrons and ions (the latter are called as termination shock particles) are enhanced at the crossings of the termination shock. Radio synchrotron emissions from relics of galaxy cluster mergers imply the presence of relativistic electrons accelerated in the merger shocks. In this study we perform two-dimensional full particle-in-cell simulation to discuss structure of the shock as well as the acceleration process of electrons. The one-dimensional simulations performed in the past showed that under the high beta and relatively low Mach number conditions the shock is more or less laminar and time stationary and electron acceleration occurs through the so-called shock drift mechanism. Here, we reveal that two-dimensional structure of the shock is highly complex even for such a high beta and a low Mach number and further that some electrons are accelerated to high energy but their acceleration mechanism appears not to be so simple as that reproduced in one-dimensional simulations.

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