

「あかつき」の電波掩蔽観測による太陽コロナの電子密度変動のスペクトル解析 Spectral Analysis of the Electron Density Fluctuation in the Solar Corona obtained by Radio Occultation Experiments

宮本 麻由^{1*}, 今村 剛², 徳丸 宗利³, 安藤 紘基¹, 磯部 洋明⁴, 浅井 歩⁴, 塩田 大幸⁵, 矢治 健太郎⁶

mayu miyamoto^{1*}, Takeshi Imamura², Munetoshi Tokumaru³, Hiroki Ando¹, Hiroaki Isobe⁴, Ayumi Asai⁴, Daikou Shiota⁵, Kentaro Yaji⁶

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部, ³ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ⁴ 京都大学宇宙総合学研究所, ⁵ 理化学研究所, ⁶ 立教大学理学部

¹Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ²Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science, ³Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ⁴Unit of Synergetic Studies for Space, Kyoto University, ⁵RIKEN, ⁶College of Science, Rikkyo University

コロナ加熱のメカニズムとして波動の寄与が考えられている。エネルギー輸送の点で Alfvén 波が注目されており、音波は光球や彩層などの太陽表面を出るとすぐに衝撃波を作り散逸してしまうためコロナに伝搬しにくいと考えられている。しかしコロナ中で音波は観測されており、これは Alfvén 波がその減衰過程で生成する音波ではないかと考えられている。したがって、コロナ中の音波の観測は Alfvén 波がエネルギーを散逸する過程を捉えている可能性がある。

現在太陽周回軌道を航行中の金星探査機「あかつき」は2011年に太陽コロナの電波掩蔽観測を行った。これは地上局から見て探査機が太陽の背後へ入出する際、探査機から送信された電波が太陽コロナを通過し地上局に届くことを利用した観測で、電波の受信周波数変動や強度の時間変化を得る。受信周波数変動からはコロナ中の電子密度変動の電波経路上の積分値が求まる。今回「あかつき」は太陽中心から1.5-20.5 Rs(太陽半径)という太陽近傍の観測を行った。本研究では、この受信周波数変動データのスペクトル解析を行い、コロナ中の音波の周期をはじめ、今まで算出されていなかった密度、エネルギーフラックスの太陽からの距離依存性とコロナ加熱への寄与を考察した。

フーリエ解析の結果から、太陽から遠いところ(3.5-20.5 Rs)では密度変動スペクトルが乱流のべき乗則に従う傾向が、太陽近傍(1.5-2.4 Rs)ではそれと異なる背景スペクトルから突き出るふくらみが見られるという全体的な特徴を捉えた。またウェーブレット解析の結果、3.5-10.5 Rs で周期100-3000 sの準周期的な密度変動が、1.5-2.4 Rs では周期100-3000 sと共に周期3000 sを超える準周期的な密度変動も見つかった。また、そのそれぞれの密度変動における周期とその継続時間が同等ということもわかった。密度変動の空間スケールが音波の波長程度と仮定し電波経路上の積分値から見積もった密度変動の振幅の背景密度に対する割合は太陽からの距離と共に大きくなる傾向を示し、0.2-40%であった。この傾向は Alfvén 波から二次的に生成される音波のエネルギーフラックスの1次元数値モデルによる推定と定性的に似ているが、振幅は小さい。観測された変動が音波によると仮定し見積もったエネルギーフラックスは最大でおよそ $10 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であった。この値もモデルの予想より小さかった。

キーワード: コロナ, 電波掩蔽, 音波, ウェーブレット, あかつき

Keywords: corona, radio occultation, sound wave, wavelet, Akatsuki

太陽風中で観測される上流伝搬ホイッスラーモード波動の類似性 Similarities of upstream whistler-mode waves observed in the solar wind

津川 靖基^{1*}, 加藤 雄人¹, 寺田 直樹¹, 小野 高幸¹, 綱川 秀夫², 高橋 太², 渋谷 秀敏³, 清水 久芳⁴, 松島 政貴²
Yasunori Tsugawa^{1*}, Yuto Katoh¹, Naoki Terada¹, Takayuki Ono¹, Hideo Tsunakawa², Futoshi Takahashi², Hidetoshi Shibuya³,
Hisayoshi Shimizu⁴, Masaki Matsushima²

¹ 東北大学理学研究科地球物理学専攻, ² 東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻, ³ 熊本大学大学院自然科学研究科, ⁴ 東京大学地震研究所

¹Department of Geophysics, Tohoku University, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology,

³Department of Earth and Environmental Sciences, Kumamoto University, ⁴Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Narrowband whistler-mode waves whose frequencies close to 1 Hz have been observed near the Moon by WIND [Farrell et al., 1996], Geotail [Nakagawa et al., 2003], Lunar Prospector [Halekas et al., 2006, 2008], and Kaguya spacecraft [Tsugawa et al., 2011]. These waves are propagated upstream against the solar wind and Doppler-shifted in the spacecraft frame to be left-hand polarized. Similar waves have been observed in the upstream regions of many solar system bodies over four decades and have been called '1 Hz waves' [e.g., Heppner et al., 1967; Russell et al., 1971; Fairfield, 1974; Orłowski et al., 1990, 1995; Brain et al., 2002]. However, some unclear issues in their propagation and generation processes have not been solved, such as required condition to observe the waves, spectral formation mechanism, and the frequency dependences of the processes.

In the present study, we compare the waves in different regions to answer the issues. We investigate common properties of the waves observed by Kaguya at 100 km altitude of the Moon and by Geotail in the upstream region within $20 R_E$ from the Earth's bow shock. Group velocity vectors of the waves in both regions are going to cancel the solar wind velocity vector. This condition is required to observe the waves and would make the narrowband spectra. We suggest that the wave frequency is determined so as to satisfy the condition. We reveal that the wave propagation angles in the upstream region of the Earth's bow shock are typically in the range of 20° - 40° degrees and are smaller than those near the Moon which are in the range of 20° - 70° degrees. This result suggests differences of the wave generation and damping processes.

AMATERAS によって観測された太陽電波 type-II バーストの微細構造 Fine spectral structures of a solar radio type-II burst observed with AMATERAS

佐藤 伸太郎^{1*}, 三澤 浩昭¹, 土屋 史紀¹, 岩井 一正², 増田 智³, 三好 由純³, 小原 隆博¹

Shintaro Sato^{1*}, Hiroaki Misawa¹, Fuminori Tsuchiya¹, Kazumasa Iwai², Satoshi Masuda³, Yoshizumi Miyoshi³, Takahiro Obara¹

¹ 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, ² 国立天文台野辺山太陽電波観測所, ³ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹ Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, ² Nobeyama Solar Radio Observatory, National Astronomical Observatory of Japan, ³ Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

太陽電波 type-II バーストは、コロナ中の衝撃波で加速された電子によって引き起こされる。その発生周波数はおよそ電波源となる領域のプラズマ周波数かその整数倍となる。さらに type-II バーストには、メイン構造の中に「herringbone」と呼ばれる高速な周波数ドリフト構造を持つ微細なスペクトル構造が含まれる場合があり (Robert, 1959) それらの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と解釈されている。しかし、そのような微細構造の特徴を示した解析結果の報告は少なく、起源となる電子の加速機構についても未だ結論は出ていない。本研究の目的は、高分解能スペクトル観測データの解析によって微細構造の持つ性質を抽出し、電子の加速機構に新たな制約を加えることである。

東北大学が所有するメートル波帯太陽電波望遠鏡「AMATERAS」は、時間分解能 10ms、周波数分解能 61kHz の性能を持ち、太陽電波バースト中の微細なスペクトル構造を鮮明に観測することが可能である (Iwai et al., 2012)。2010 年 11 月 12 日、AMATERAS によって特徴的な微細構造を持った type-II バーストが観測された。この観測された微細構造のスペクトルについて解析した結果、以下のことが明らかになった。

1. 惑星間空間方向へのドリフト構造は、太陽方向へのドリフト構造よりも多く存在した。
2. 多くの場合、太陽方向へのドリフト構造の開始周波数は、観測された type-II メイン構造の中心周波数近傍に存在した。
3. 電子ビームの平均速度とその偏差は、太陽表面からの動径距離が離れるにつれて、大きくなった。

キーワード: 太陽コロナ, 粒子加速, 地上観測

Keywords: solar corona, particle acceleration, ground-based observation

IPRT/AMATERAS により観測された太陽電波 Type IV バースト中における狭帯域 Fiber bursts (NFB)

Narrowband fiber bursts (NFBs) in type IV bursts observed with IPRT/AMATERAS

西村 由紀夫^{1*}, 小野 高幸², 加藤 雄人², 熊本 篤志², 三澤 浩昭³, 土屋 史紀³, 岩井 一正⁴

Yukio Nishimura^{1*}, Takayuki Ono², Yuto Katoh², Atsushi Kumamoto², Hiroaki Misawa³, Fuminori Tsuchiya³, Kazumasa Iwai⁴

¹ 株式会社シー・キューブド・アイ・システムズ, ² 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, ³ 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, ⁴ 国立天文台野辺山太陽電波観測所

¹C3IS Systems Corporation, ²Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, ³Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, ⁴Nobeyama Solar Radio Observatory, National Astronomical Observatory of Japan

Solar Type IV bursts are a type of intense radio phenomenon that accompanies solar flares. Following the discovery by Elgaroy (1959), many observations have suggested that Type IV bursts are accompanied by several kinds of spectral fine structure. One type of prominent fine structure is fiber bursts, which are generally assumed to be emitted through the wave-wave coupling between Langmuir waves and whistler-mode waves propagating in the corona. Recent observations in a frequency range of several GHz with high frequency and time resolution have revealed that narrowband fine structures similar to fiber bursts occur in Type IV bursts. In the meter-wavelength range, however, few spectral observations with high resolution have been carried out, unlike at decimeter wavelengths.

In the present study, we have investigated the fine structures in a wide frequency range from 100 to 500 MHz, obtained with a large-aperture radio telescope and a high-frequency and high-time resolution spectrograph, the Assembly of Metric-band Aperture Telescope and Real-time Analysis System (AMATERAS) installed on the Iitate Planetary Radio Telescope (IPRT) was developed by Iwai et al. (2012) and enables us to observe solar radio bursts in the frequency range from 150 to 500 MHz with a time resolution of 10 ms, a frequency resolution of 61 kHz, and a minimum detectable flux of 0.7 SFU. Moreover, both left- and right-handed polarized components can be observed simultaneously. The resolution of IPRT/AMATERAS for observations of metric solar radio bursts is the highest in the world as of January 2013.

We analyze Type IV bursts observed on 7 June, 2 and 4 August, and 6 September 2011 with IPRT/AMATERAS. They consist of the spectral fine structures drifting within narrow-frequency bands. In this study, these fine structures are termed as narrowband fiber bursts (NFBs). They are similar to the phenomena previously reported by Elgaroy and Sveen (1979) in the meter-wavelength range, and Chernov et al. (2008) in the decimeter range. The present analysis of the event on 7 June 2011 reveals the following results: (i) the individual NFB has a negative frequency drift with about -30 MHz s^{-1} , (ii) NFBs exhibit two types of large-scale frequency drift, characterized by negative and positive frequency drift rates, (iii) the negative frequency drift rate is almost the same as that of the individual NFB, while the positive one is about 90 MHz s^{-1} .

Based on the observed characteristics, we discuss the generation mechanism of NFBs as follows: (i) the observed negative frequency drift rate of NFBs can be explained by the propagation of whistler-mode waves in the corona, (ii) the observed frequency interval of NFBs is too small to account for it by the double plasma resonance (DPR) theory, which was applied to similar phenomena in the frequency range above 1 GHz (Chernov et al., 2008), and (iii) a new model is proposed in which a single NFB is emitted from a localized micro-scale emission region and widely distributed emission regions form a group of NFBs. We suggest in the proposed model that the regions are generated by upward whistler-mode waves and intermittent downward-propagating electron beams.

In this presentation, we report the analysis results of NFBs and discuss the generation mechanisms.

Keywords: Sun, radio, Type IV burst, AMATERAS