

Juno/Waves データを用いた木星狭帯域キロメートル放射 (nKOM) の出現特性解析

#菅原 廉太郎¹⁾, 三澤 浩昭¹⁾, 笠羽 康正¹⁾, 土屋 史紀¹⁾, 安田 陸人¹⁾

(¹⁾ 東北大学

Occurrence characteristics of Jovian narrowband kilometric radiation (nKOM) using Juno/Waves data

#Rentaro SUGAWARA¹⁾, Hiroaki MISAWA¹⁾, Yasumasa KASABA¹⁾, Fuminori TSUCHIYA¹⁾, Rikuto YASUDA¹⁾

(¹⁾Tohoku University

In Jupiter's inner magnetosphere, narrowband kilometric radiation (nKOM) appears around ~100 kHz which is thought to originate in the Io plasma torus. nKOM was first detected by Voyager 1 (Kaiser & Desch, 1980) in 1979, however observing areas of past planetary explorers (such as Voyager and Galileo) were limited near the Jovian magnetic equator, preventing a comprehensive view of its occurrence properties. With Juno's polar orbit since 2016, its Waves instrument has enabled observations across the full magnetic-latitude range, revealing a distinctive nKOM source distribution: occurrence rates are low near the magnetic equator and peak at mid-latitudes (Louis et al., 2021). This distribution is closely linked to generation and beaming/propagation characteristics. Using this source distribution, Boudouma et al. (2024) built a 3-D model suggesting that nKOM is radiated by waves excited near the local plasma frequency and beamed anti-parallel to ambient density gradients. They also proposed existence of two nKOM types depending on observation latitudes; i.e., low-frequency ordinary-mode (O) at high latitudes and high-frequency extraordinary-mode (X) at low latitudes. These pictures are statistically obtained by an accumulation of about 20 Jupiter orbits in 2016 – 2019, however its long-term stability and temporal variability of nKOM occurrence remains insufficiently constrained.

The aim of this study is to determine nKOM occurrence tendencies and intensity variability over longer Juno orbital periods (6 July 2016 – 27 April 2023; ~50 perijoves) and thereby explore temporal variability of the inner magnetospheric environment. We use absolute-flux dynamic spectra from Juno/Waves calibrated by the Paris Observatory team (see Louis et al., 2021). To process seven years of observation data efficiently, we first generated daily dynamic spectra and picked up nKOM visually, then applied an automated intensity thresholding routine for observed phenomena to extract significant nKOM events. For each event we recorded start/end times and radiated intensity and compiled them, together with the spacecraft's magnetic latitude, into a catalog comprising thousands of nKOM events. In the visual step, narrowband emission within ~60 – 160 kHz was the primary criterion, while the ~10-hour (comparable to the Jovian rotation period) recurrence served only as an auxiliary indicator; events without clear periodicity were still classified as nKOM when their spectral characteristics matched.

As an initial check, intensity maps on the magnetic latitude – frequency plane reproduce the key occurrence features reported by Louis et al. (2021) — a near-equatorial depletion and a mid-latitude peak — supporting the validity of our nKOM detection approach.

Using the produced database, we are now investigating nKOM occurrence characteristics on the Juno orbital period (~53 days) and/or annual timescales. Variations in Io's volcanic activity modulate plasma supply, and plasma injection events and solar wind pressure variations also affect environment of the Jovian inner magnetosphere. nKOM occurrence would respond to these magnetospheric phenomena. The long-term nKOM event catalog assembled in this study will allow us to examine these influences quantitatively.

In the presentation, we will describe the construction of the long-term nKOM event catalog, derived variability in occurrence properties, and also discuss relations between nKOM occurrence variability and internal/external drivers of the Jovian magnetosphere.

木星の内部磁気圏には、100 kHz 付近に出現する狭帯域キロメートル波 (nKOM) と呼ばれる電波放射が存在し、その起源は衛星イオの公転軌道付近に形成されているプラズマトーラスの外縁から放射されると考えられている。nKOM は 1979 年に Voyager 1 号によって初観測されたが (Kaiser & Desch, 1980)、過去の惑星探査機 (Voyager や Galileo など) は観測者の磁気緯度が木星赤道近傍に限られ、この放射の出現特性の全体像を十分に捉えることができなかった。2016 年に木星の極軌道へ投入された Juno 探査機搭載のプラズマ波動計測器 Waves によって初めて全磁気緯度域からの観測が可能となり、nKOM の出現頻度が磁気赤道付近で低く中緯度で極大になるという特異な緯度分布が明らかにされた (Louis et al., 2021)。このような緯度分布特性は、電波の発生機構や電波の放射・伝搬特性と密接に関連している。Boudouma et al. (2024) はこの緯度分布特性を用いて、緯度分布を再現する 3 次元モデルを構築し、nKOM は局所プラズマ周波数で励起された波動が周囲の密度勾配に反平行に放射される可能性を示した。また、観測緯度に応じて 2 種類の nKOM が存在すること、即ち、高緯度では低周波・通常モード (O モード)、低緯度では高周波・異常モード (X モード) が存在し得ることを提唱している。この緯度分布特性は Juno の初期木星周回期である 2016~2019 年の約 20 周回で得られた統計的な描像であるが、nKOM の出現特性の長期的な安定性や変動性は十分には調べられていない。

本研究の目的は、Juno 探査機で得られた、より長期の観測期間 (2016 年 7 月 6 日~2023 年 4 月 27 日、約 50 周回) の

データを用いて nKOM の出現傾向および強度変動を求め、それにより木星内部磁気圏環境の時間変動の特徴を探究することである。この解析には較正処理された Juno/Waves スペクトルデータを用いた。約 7 年分の膨大な観測データを効率よく処理するため、目視識別と自動閾値処理を組み合わせ、nKOM イベントを検出した。各イベントの開始・終了時刻と放射強度、周波数を観測時の磁気緯度情報とともに蓄積し、数千件規模の nKOM イベントカタログを構築した。目視識別では、 $\sim 60 - 160$ kHz 帯で観測される狭帯域放射を nKOM の主要判定基準とした。また、約 10 時間周期（木星の自転周期にほぼ相当）で繰り返し出現する特徴を参考情報として用い、周期性が不明瞭でもスペクトル特性が合致する事例は nKOM として採用した。

初期結果として、磁気赤道近傍の低出現域と中緯度付近の高出現率域という Louis et al. (2021) と同様の特徴が再現され、本検出手法の有効性が確認できた。

現在、作成したデータベースを用いて Juno の木星周回周期単位（約 53 日）での nKOM 出現特性を求めつつある。nKOM 出現の緯度依存性には、イオの火山活動変化に伴う内部磁気圏へのプラズマ供給・注入変動の影響が現れることが想定される。また、その出現頻度には、木星磁気圏のプラズマインジェクションや太陽風動圧変動が関わるものが想定される。本研究で構築した長期モニタリングデータによりそれらが検証されることが期待される。

講演では、本研究で行っている nKOM の長期イベントカタログの構築と得られた nKOM 出現特性変動の紹介、および、nKOM 変動と木星磁気圏変動の磁気圏内・外変動因との関係について議論を行う予定である。