

ARTEMIS 衛星で観測される月周辺の電子サイクロトロン高調波の解析

#藤田 晃司¹⁾, 栗田 怜³⁾, 原田 裕己²⁾, 小嶋 浩嗣³⁾

(¹⁾ 京都大学, (²⁾ 京大・理, (³⁾ 京大・生存圏)

Analysis of electrostatic cyclotron harmonic waves observed by the ARTEMIS satellite

#Koji Fujita¹⁾, Satoshi Kurita³⁾, Yuki Harada²⁾, Hirotosugu Kojima³⁾

(¹⁾ Kyoto Univ, (²⁾ Kyoto Univ., (³⁾ RISH, Kyoto Univ.

Electrostatic Cyclotron Harmonic (ECH) waves are a type of plasma wave, which is characterized by a harmonic structure with a spectral peak between integer multiples of the electron cyclotron frequency. It has been confirmed that ECH waves are excited under the electromagnetic environment around the Moon formed by the interaction between the Moon and space plasma, which has no large-scale intrinsic magnetic field and no atmosphere.

In previous studies, ECH waves have been analyzed using data observed by the lunar orbiter KAGUYA, which orbits at an altitude of about 100 km from the Moon, but research on ECH at even higher altitudes has not progressed.

The purpose of this study is to elucidate the relationship between ECH wave excitation and the plasma environment around the Moon using data from the ARTEMIS satellite, which orbits the Moon in an elliptical orbit and observes a wider altitude range than KAGUYA.

First, the region where ECH waves are observed was investigated based on plasma and wave data acquired by the ARTEMIS satellite during the year 2021. We found that ECH waves are observed at the altitude of the ARTEMIS satellite only when the moon is located within the magnetosphere.

The observed ECH waves can be classified into three types: those with a spectral peak near the UHR frequency (Type 1), those with multiple spectral peaks between integer multiples of the cyclotron frequency (Type 2), and those with characteristics of both Type 1 and Type 2 (Type 3).

The regions where the classified ECH waves appeared were examined by focusing on the satellite location relative to the moon. The type 3 event is most frequently observed on the night side, although it was also observed on the dayside. The type 1 and 2 events are observed on both the lunar dayside and night side, but are less frequently observed compared to the type 3 event.

We also investigated the magnetic connectivity between ARTEMIS and the lunar surface during the onset of ECH waves, by straight-line extrapolation of the measured magnetic field by ARTEMIS. We confirmed that ARTEMIS is magnetically connected to the lunar surface in most cases of the ECH wave event. This strongly suggests that the observed ECH waves are excited through moon-electron interactions.

Since the analysis of ECH waves with the KAGUYA datasets has revealed that the presence or absence of a magnetic anomaly at the location of the connection of the external magnetic field with the Moon is important for the generation of ECH waves, we plan to discuss the relationship between ECH excitation and the magnetic anomaly on the Moon in this study as well.

電子サイクロトロン高調波 (ECH : Electron Cyclotron Harmonic Wave) とはプラズマ波動の一種であり、電子の Bernstein mode wave が励起したもので、電子サイクロトロン周波数の整数倍の間にスペクトルのピークをもつ高調波構造が特徴である。大規模な固有磁場を持たず、大気も存在しない月と宇宙プラズマの相互作用によって形成される月周辺のプラズマ環境のもとで、ECH が励起されていることが確認されている。

先行研究においては、月から高度約 100 km を周回する月周回衛星 KAGUYA のデータを用いた ECH の解析が行われているが、さらに高い高度での ECH の研究は進んでいない。

そこで、本研究では、月周辺を楕円軌道で周回し、KAGUYA に比べ広い高度範囲を観測している ARTEMIS 衛星のデータを用いて、月周辺における ECH の励起とプラズマ環境の関係を解明することを目的とする。

まず、ECH が観測される領域を、2021 年の 1 年間、ARTEMIS 衛星によって取得されたプラズマ・波動データをもとに調査した。その結果、ARTEMIS 衛星の高度で ECH が

みられるのは、月が磁気圏内に存在している場合であり、太陽風中では ECH は観測されなかった。また、観測される ECH 波動は、UHR 周波数付近にスペクトルのピークをもつもの (タイプ 1)、サイクロトロン周波数の整数倍の間に複数のスペクトルのピークをもつもの、(タイプ 2)、タイプ 1 とタイプ 2 の両方の特徴をもつもの (タイプ 3) に分類できることがわかった。

分類した ECH の出現する領域を、月と衛星の位置関係に注目して調べた結果、タイプ 1 は日陰側でも観測されたが、日照側で多く観測された。タイプ 2 は日照側と日陰側の両方で観測されたが、観測頻度が少ない。タイプ 3 は最も多く観測され、日照側でも観測されたが日陰側で多く観測された。

次に ECH の発生時において、ARTEMIS を貫く外部磁場が、月面へ接続しているかを確認した。その結果、観測されたほとんどの ECH において ARTEMIS を貫く外部磁場の月面への接続を確認できた。これは、観測された ECH が月の

影響を受けて励起されている事を強く示唆する。

KAGUYA における ECH の解析により、外部磁場の月面での接続位置の磁気異常の有無が ECH の発生に重要であると明らかとなっているため、本研究においても、ECH の励起と月面の磁気異常の関係についても言及する予定である。