

磁場に平行な太陽風中と地球磁気圏ローブ中で観測されたイオンサイクロトロン波の周波数について

中川 朋子 [1]
[1] 東北工大・工・情報通信

On the frequency of ion cyclotron waves in the solar wind with radial magnetic field and in the earth's magnetotail

Tomoko Nakagawa[1]
[1] Tohoku Inst. Tech.

<http://www.ice.tohtech.ac.jp/~nakagawa/>

Generation mechanism of monochromatic, narrowband ion cyclotron waves in the frequency range between 0.5 to 1 proton cyclotron frequencies is studied.

The waves were detected in the Earth's magnetotail by Apollo 15 and 14 Lunar Surface Magnetometers (Chi et al., 2013), Kaguya, GEOTAIL, and Cassini during its earth swing-by (Bogdanov et al., 2003). In the solar wind with radial interplanetary magnetic field, similar waves were detected by ARTEMIS. Polarization of the narrowband ion cyclotron waves was left-handed in 30 percent of the events. The waves are thought to be generated through cyclotron resonance of slow ion beam components with ion cyclotron waves in the background plasma flow.

地球磁気圏ローブ中ないしプラズマシート境界において、プロトンサイクロトロン周波数の0.7倍前後の周波数の狭帯域の磁場変動が、アポロ15-16号ミッションで月面上に置かれた磁力計 (Chi et al., 2013) およびかぐや衛星によって観測された。これらの多く (7割) は背景磁場に対して左回りの偏波を示し、イオンサイクロトロン波と考えられるが、その発生メカニズムは未解明であった。

かぐや衛星によって、これらの波が月面上の衛星位置とは無関係であることが示され、さらに GEOTAIL 衛星によって、月が磁気圏中になくても地球から 30-150RE 下流の磁気圏ローブ中で観測されたことから、波を発生させているのは月起源のイオンではなく地球磁気圏起源のイオンであることが示唆された。

同様の波は、CASSINI 衛星の地球スイングバイ時にも、磁気圏内の広い範囲において観測されている (Bogdanov et al., 2003)。

よく似た周波数の左回りの磁場変動が、太陽風中の月を周回していた ARTEMIS 衛星でも観測されている (Halekas et al., 2013)。太陽風中の観測であるので、波を励起したのは地球磁気圏の粒子ではなく、月起源のイオンと考えられる。このとき太陽風磁場は太陽風の流れにほぼ平行であった。

これらの波は、太陽風中や地球磁気圏内という異なる状況下でありながら、プロトンサイクロトロン周波数の0.5-1倍で左回りが卓越している、という共通の性質を持っていた。共通の励起機構として、背景プラズマ (太陽風、またはプラズマシート境界のプラズマ流) に打ち込まれるビーム成分のイオンがイオンサイクロトロン波とサイクロトロン共鳴するという形が考えられる。

サイクロトロン共鳴条件は、角周波数 ω と波数 k の空間では、周波数軸の切片がイオンサイクロトロン周波数で、傾きがビーム速度と媒質速度の差 (および伝搬方向となる角度) によって決まる直線となる。

地球前面衝撃波での反射プロトンや月面上の磁気異常での反射プロトンのように、ビーム速度が大きく速度差も大きい場合は、この直線の傾きが大きく、共鳴できる波は R と L の両モードの低周波部分 (MHD 領域) となり、衛星で観測されるときには媒質速度のドップラーシフトするため、0.01Hz 程度の、主に左回りの ULF 波として観測される (元の波が R モードでドップラーシフトが小さい場合は右回りもある)。

傾きが少し緩やかな場合は R モードの whistler 波、あるいは L モードのイオンサイクロトロン波と共鳴する可能性がある。ここで励起した whistler 波はドップラーシフトによって月周辺の 1Hz 波として、多くの探査機で観測されている。

本研究で扱うプロトンサイクロトロン周波数の0.7倍 (0.1Hz) 程度の波として観測された波は、速度の小さいビームがイオンサイクロトロン波と共鳴したものと考えられる。もともと速度の小さいイオンが、速い流れのプラズマ領域に入り込んで相対的に速いビームとなってイオンサイクロトロン波と共鳴し、共鳴した波は衛星から見るとサイクロトロン周波数に近い波として観測される。地球のローブないしプラズマシート境界層では、磁気圏尾部へ向かう流れに、ローブ側から遅いプロトンが入り込むことによって起こり得ると考えられる。太陽風中では、月によって垂直方向に散乱された太陽風プロトンが波を励起したと考えられる。太陽風磁場が太陽風の流れに平行な時は、反射プロトンが長時間同一の磁束上に存在すると考えられる。これが太陽風の系から見るとビームの役割を果たし、イオンサイクロトロン波とサイクロトロン共鳴すると考えることが出来る。

なお、磁気圏尾部で観測されたうちの約3割を占める右回り偏波の波は、ビーム成分となったイオンが whistler 波とサイクロトロン共鳴したものと考えられる。