

地球磁気圏近尾部領域における LH 帯低周波波動の統計解析

0955007 高橋 和也

1.はじめに

Geotail 衛星が飛翔し始めて十数年が経ち、この間に地球磁気圏の構造や、多くの波動現象が解明されてきた。本研究室は DC ~ 32Hz の超低周波波動の解析を行っており、超低周波帯波動のデータが多く蓄積されているが、これらのデータについてあまり解析が進んでいない。本研究では LH 帯波動の発生条件を調べるために、Geotail 衛星に搭載された電場観測装置 (EFD) によって得られた電界データを用いて、地球磁気圏で観測された LH 周波数帯のプラズマ波動の解析を行う。更に磁場やイオンなどのプラズマ環境を調査し、LH 帯波動が発生している領域の特定や発生条件に関する統計解析を行う。まず、Geotail 衛星が $-30 < X < 30 [R_E]$ の間を飛翔している 1995 年 3 月 ~ 1996 年 12 月までの観測データを用いて基礎解析を行った。基礎解析では LH 帯波動が観測された領域分布や領域毎の空間分布を主に解析していく。さらに調査範囲を 1995 年 3 月から 1996 年 12 月まで Geotail 衛星の観測データのうち、 $X < -10 [R_E]$ の磁気圏近尾部領域に絞り、この期間の波動データ、磁場データ、プラズマデータなど様々な観測データを抽出し、LH 帯波動観測時のイオン速度と LH 帯波動の観測頻度の相関や個別の LH 帯波動観測例なども含め、観測データ間の相関について解析する。

2.LH 帯波動の基礎解析

1995 年 3 月から 1996 年 12 月までの EFD データを用いて LH 帯波動の自動判別を行い、LH 帯波動を 1843 秒、連続して発生している LH 帯波動を 445 秒抽出した。まず、各領域における LH 帯波動の観測頻度を比較した。表 1 は LH 帯波動の領域別観測数及び発生頻度をまとめたものである。磁気圏の領域の中で観測頻度が一番高かったのはローブ (Lobe) で約 0.21 % であった。また、プラズマシート境界層 (PSBL: Plasma Sheet Boundary Layer) での観測頻度は約 0.03 % で、その他では 0.00002 % であった。したがって、領域別の観測頻度は Lobe, PSBL, その他の順で高かった。特に Lobe における観測頻度は PSBL の約 7 倍であり、Lobe で LH 帯波動が発生しやすい要因があると考えられる。

表 1: LH 帯波動の領域別観測数

	のべ観測時間 [秒]	観測数 [秒]	観測頻度 [%]
Lobe	356475	763	0.214
PSBL	2414179	765	0.0317
その他	14188880	315	0.0000222
計	16978819	1843	0.000109

さらに、Lobe, PSBL, その他の領域で観測された LH 帯波動の空間分布を比較した。図 1 に Lobe, 図 2 に PSBL での空間分布を示す。LH 帯波動は磁気圏内で広く観測されているが、連続して発生している LH 帯波動は主に $X < -10 [R_E]$ の磁気圏尾部領域で観測されていた。Lobe と PSBL での LH 帯波動が観測されている領域は磁気圏尾部領域であり、空間分布が重なっている。本来であれば粒子環境的に静かであるはずの Lobe 領域で多くの LH 帯波動が観測されていることを考えると、LH 帯波動が Lobe の全体で観測されているわけではなく、PSBL に近い境界領域で観測されていると推測できる。このことは、その他の領域でも特に境界層領域で LH 帯波動が多く観測されていることと合わせて、LH 帯波動が境界領域で発生しやすいことを示唆している。

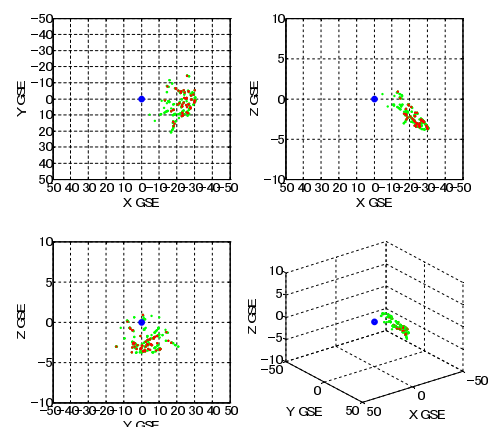


図 1: Lobe で観測された LH 帯波動の空間分布；緑が LH 帯波動、赤が連続している LH 帯波動を表す。

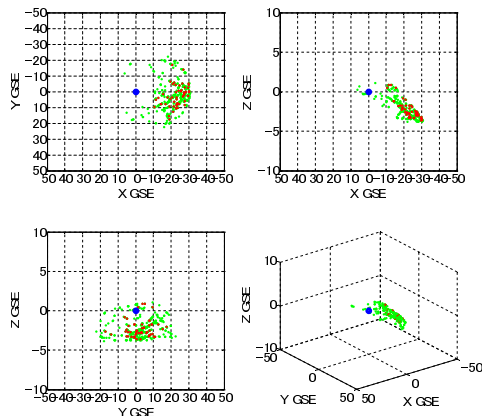


図 2: PSBL で観測された LH 帯波動の空間分布；緑が LH 帯波動，赤が連続している LH 帯波動を表す。

3. 磁気圏近尾部領域で観測された LH 帯波動の統計解析

解析範囲を GSE 座標系で $X < -10[R_E]$ の領域に絞り，磁気圏近尾部領域におけるイオン速度と LH 帯波動の観測頻度との相関を調べ，LH 帯波動の発生条件について考察した．まず，LH 帯波動と様々なプラズマパラメータとの関係について詳しく解析するため，磁気圏近尾部で観測された LH 帯波動の個別解析を行った．その結果，LH 帯波動の発生にはイオン流とそれに伴うイオンの垂直方向の温度上昇が関係している可能性があることがわかった．そこで，イオン速度 V_x 及び磁場に対して垂直なイオン速度 V と LH 帯波動との相関を調べた．まず， V_x が正のときと負のときの LH 帯波動の観測数を調べた．表 2 はその結果である．

表 2: LH 帯波動の条件別観測数

観測領域と V_x [km/s] 条件	のべ観測時間 [秒]	観測数 [秒]	観測頻度 [%]
Lobe $V_x = 0$	56549	266	0.470
Lobe $V_x < 0$	188604	495	0.262
PSBL $V_x = 0$	618716	561	0.0907
PSBL $V_x < 0$	603267	186	0.0308

表 2 より，Lobe における LH 帯波動の観測頻度は $V_x < 0$ の時よりも $V_x = 0$ の時の方が約 1.8 倍高く， $V_x = 0$ の時の方が LH 帯波動が発生しやすい環境であるといえる．PSBL における LH 帯波動の観測頻度でもこの傾向は変わらず， $V_x < 0$ の時よりも $V_x = 0$ の時の方が約 2.9 倍高く，やはり LH 帯波動が発生しやす

い環境であるといえる．以上より，Lobe，PSBL とともに $V_x = 0$ の条件時に観測頻度が高くなる傾向が見られた．このことは，磁気圏近尾部において地球方向のイオンの流れがある場合に LH 帯波動が発生しやすいということを示している．

さらに，磁場に垂直方向のイオン速度の頻度分布を作成し，LH 帯波動観測時のイオンの持つエネルギーの傾向を調べた．図 3 に示したように，LH 帯波動観測時には磁場に垂直方向のイオン速度頻度分布が通常時と比べて大きくなっている．また，その傾向は連続波動観測時により顕著になっている．したがって，LH 帯波動観測時に磁場に垂直方向のイオン速度が通常より速い傾向があることがわかった．また，LH 帯波動の発生には磁場に垂直方向のイオンのエネルギーが関係しており，特に磁場に垂直方向のイオンのエネルギーが高い時に長時間の LH 帯波動が発生すると考えられる．

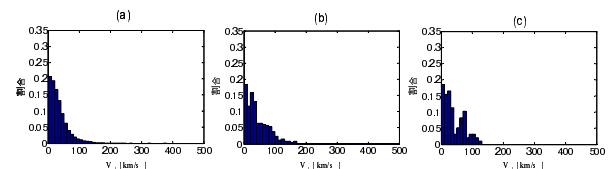


図 3: Lobe で $V_x = 0$ [km/s] の時の磁場に垂直方向のイオン速度の頻度分布；(a) 通常時，(b) LH 帯波動観測時，(c) 連続波動観測時

4. まとめと今後の課題

本研究では LH 帯波動の発生条件を調べるために，Geotail 衛星に搭載された電場観測装置 (EFD) によって観測されたデータから自動判別ツールで LH 帯波動を抽出し，LH 帯波動の頻度分布及び領域分布を調査した．さらに，LH 帯波動がよく観測されている Lobe と PSBL の境界領域を含む磁気圏近尾部領域に解析範囲を絞り，イオン速度と LH 帯波動の観測頻度との相関を調べた．

その結果，LH 帯波動は Lobe と PSBL の境界付近のイオン流が存在する領域で多く発生していることが明らかになった．また，LH 帯波動の発生時に磁場に垂直方向のイオン速度の上昇や地球方向のイオン流が観測されており，LH 帯波動の発生機構とそれらの現象との間に相関があると考えられる．

今後の課題として，観測された波動の偏波を調べる等，波動のモードを特定する必要がある．さらに，LH 帯波動の発生メカニズムを明らかにするために，粒子の速度分布や直流電磁場を調べる等，より詳細な解析が必要である．