SuperDARNレーダーで観測され たMHD波動のLomb-Scargle 解析によるモード特定

名古屋大学宇宙地球環境研究所(ISEE) B4 森田洸生

極域・中緯度SuperDARN研究集会

2021/03/05



1.背景 Pc5波動

▶Pc5波は、周期が150~600 s(周波数が1.6~6.7 mHz)のMHD波動である。
 ▶多くは磁力線共振のn倍振動に対応していて、周期はMHD波動の地球磁力線に沿う往復時間の1/nに等しい。

	Period (s)	Frequency (mHz)
Pc1	0.2-5	200-5000
Pc2	5-10	100-200
Pc3	10-45	22-100
Pc4	45-150	6.7-22
Pc5	150-600	1.6-6.7
Pi1	1-40	25-1000
Pi2	40-150	6.7-25

e.g. Saito [SSR, 1969]

2021/03/05

1.背景 ULF波 (共鳴振動) のモード

- ▶トロイダル (toroidal) モード
 - 電離圏プラズマを東西方向に動かす。
 - ケルビン・ヘルムホルツ波などの磁気圏 境界面波が一つの要因として考えられている。

▶ポロイダル (poloidal) モード

- 電離圏のプラズマを磁力線に垂直な南北 方向に動かす。
- 太陽風の動圧変動が一つの要因として考えられている。



[Hudson et al., 2004]

1.背景 Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) を用いたULF波に関する先行研究

 Sakaguchi et al. (2012): MLAT 60~67°
 ▶Pc5の発生率が昼間より夜間で高い。
 Shi et al. (2018): 広いMLATの範囲
 ▶高時間分解能のデータでPc5を解析し、MLAT / MLT分布を示した。
 Wharton et al. (2019): MLAT 60~76°
 ▶レーダーと地磁気で見える周波数が 異なり、何らかの周波数帯域が広い 駆動源を示唆。



2.本研究の動機・目的

- ▶これまでのSuperDARN短波レーダーを用いた多くのPc5波の研究は、単 一の視線方向で解析しているため、モードについてはまだ分かっていない ことが多い。
- ▶本研究では、周波数解析手法のLomb-Scargleピリオドグラムを用いて Pc5波を検出し、SuperDARN北海道-陸別第一レーダーにおける異なる視 線方向のデータを使い、Pc5波の振幅を比較するとことによって、モード を特定する。
- ➤モード特定を様々な磁気緯度(MLAT)や地磁気地方時(MLT)で行うことで、モードのMLAT/MLT依存性を統計的に解析し、それぞれのモードの 生成メカニズムについての手がかりを得ることが最終的な目標である。

2021/03/05

3.観測機器・手法 SuperDARN北海道-陸別第一レーダ-

- 地磁気座標:35.54°,211.94°(2020年)
 [京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センターHP]
- 視野の磁気緯度範囲: 40~75 degs
- 視野は16のbeam方向でカバーされる。





▶本研究では、電離圏のプラズマ対流速度を直接 観測するために電離圏エコーを抽出する。その ために以下の条件を適用する。

- i. ドップラー速度の絶対値が50 [m/s]以上
- ii. スペクトル幅が50 [m/s]以上

▶Pc5の波動成分を目立たせるために、ハイパス フィルターをかける。 →あるデータ点から前後5分(合計10分)相当 のデータ点の中央値を引く



極域・中緯度SuperDARN研究集会

2021/03/05





閾値







2008-1-10~2008-2-14 (28データ点)

/ 华	生里	2008-1-10~2008-2-14 (28テータ点)										
統計解析結果	MLAT[deg]	L 値										
	52.2	2.67					1.8/1					
	51.9	2.62					1.8/1		3.7/1			
	• • • • • • • • • • • • • • • • •	<u> </u>	0.50					1.9/2		3.8/1		
: 7									2.1/1	3.8/1		
: F 1										3.5/1		
11.		- 0~1 MLT、MLAT 48~52 T 51°付近を境としてそれ ではトロイダルモード、高い イダルモードになっていた。									3.0/1	
	にわいては、IVILA トリバルガケーター							1.8/1	1.9/1		3.0/1	
	より低い悩丸解皮							1.8/1	2.0/2			
	悩 気程度ではホロイ							1.8/1	3.0/1			
スヘクトル								1.8/1				
十均问版女								1.8/2	2.7/2			
	48.4	2.27				1.7/1	2.5/1					
これらのMLAT/MLT 以外ではPc5イベント は見られなかった		48.0	2.24						2.3/1			
			MLT 2	0 2	1 2	2 2	23 (0 1	1 2	2 3	8 4	
2021/03/0	15	極域・中緯度SuperDARN研究集会							14			

5.考察 Pc5イベントの発生率 [Sakaguchi et al., 2012]

▶昼間:導電率が高い

- 電離圏では、磁力線共振の両端が ほとんど固定端になり、磁力線お よびそこに凍結されているプラズ マの振動はほぼゼロになる
- 地上では大きな磁場振動



▶夜間:導電率が低い

[Sakaguchi et al., 2012]

- ・電離圏では、磁力線共振の両端が少し自由端になり、磁力線およびそこに凍結されているプラズマの振動が起こる→SuperDARNで観測できる
- 地上の磁場振動は小さい

2021/03/05



16

6.結論

▶Lomb-Scargleピリオドグラムを用いて、Pc5波の振幅を異なるbeam間で 比較することによって、モードを特定できることを示した。

▶2008-1-10~2008-2-14 (28データ点)の期間での統計解析

- i. Pc5波の発生率は深夜で高かった。
- ii. Pc5波のモードは、0~1 MLT、MLAT 48~52°においては、MLAT 51°付近を境としてそれより低い磁気緯度ではトロイダルモード、高い磁気緯度ではポロイダルモードになっていた。
- ▶ i の結果は、Sakaguchi et al. (2012)の解釈と同様に、昼夜の導電率の違いから生じる、電離圏のプラズマ振動の振幅の違いで説明できる。
- ➢iiの結果は、Wharton et al. (2019)の解釈と同様に、より高い緯度から伝搬してきたポロイダルモードの振動がトロイダルモードの磁力線共振へモード変換されていることで説明できる可能性がある。

2021/03/05

7.今後の課題

▶統計解析の期間・イベント数を増やし、より精度の高いモードのMLAT / MLT依存性を求める。

---Pc5検出やモード特定を自動でできるプログラムを構築し、統計解析 を効率よく行えるようにする。

▶北海道-陸別第一レーダー以外のSuperDARNレーダーでも適用して、対象 とする磁気緯度の範囲を拡張する。

▶それぞれのモードの生成メカニズムの妥当性について更なる考察をする。

2021/03/05



- >モード解析がしやすい視野方向を 持っていること。
 - ー南北方向のbeamと東西に近い
 beam
- ▶今回はinitial studyということで、 名古屋大学が管轄しているもので あり、一番身近でデータが扱いや すいSuperDARNであること。



[Shi et al., 2018]

予備スライド 磁力線振動の高緯度からの伝搬

アルフベン波以外の波動 (isotropic mode) が異なる磁気緯度に伝搬する。



[Tamao, 1964]

2021/03/05

予備スライド 地磁気活動レベル

例えば、SYM-H指数の下限 は-50 nT程度であり、今回 統計解析を行った期間での 地磁気活動レベルは比較的 静穏であった。



(京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター)



2008年は太陽活動極小期にあたり、 そのときの極小期は通常よりも長い(2008~2009年)。

1970年以降の黒点相対数月平均値の長期変化



(http://tenkataihei.xxxblog.jp/archives/51973008.html)



2021/03/05

極域・中緯度SuperDARN研究集会

24



- Lomb-Scargleピリオドグラムの閾値を利用して、Pc5イベントを自動で 検出できるプログラム
 →当面の目標
- ② 異なるbeamごとに振幅を比較し、モード特定ができるプログラム





予備スライド SuperDARNで得られるパラメータ



2021/03/05

予備スライド SuperDARNで観測される後方散乱の種類

(a) F領域からの後方散乱

(b) E領域からの後方散乱

(c) 地表 / 海面からの後方散乱





▶ノイズより高いレベルのPc5の振幅は少なくとも見いだせなかった。



2021/03/05

予備スライド 統計解析期間が短い理由

▶Pc5イベントを手動で探していたために効率が悪い。

• 今回はスライドP.10のような探し方

▶Pc5イベントを探したbeam 4以外のbeamにおいてノイズなどの影響で同じ周波数でピークが見えないことが多く、モード解析ができないPc5イベントも多かった。

2021/03/05