

あけぼの会
あけぼの衛星によって観測されたカスプ領域の
沿磁力線電流と *Alfvén* 波

M1 平野 由美

2002.2.27

目次

1	はじめに	2
1.1	カスプ領域で観測される電場変動	2
1.2	<i>Alfvén</i> 波と沿磁力線電流	2
2	目的	3
3	使用データおよび解析手法	3
3.1	使用データ	3
3.2	解析	3
4	結果	3
4.1	例 1 : 1990 年 1 月 29 日 03:00 - 03:20 UT	4
4.2	例 2 : 1990 年 2 月 6 日 22:15 - 22:35 UT	5
4.3	結果のまとめ	5
5	考察	6
5.1	上向き沿磁力線と電場スペクトル強度増大との対応	6
5.2	電場スペクトルの高調波構造	6
6	まとめ	7
7	今後の課題	7

1 はじめに

1.1 カस्प領域で観測される電場変動

これまでのあけぼの (EXOS-D) 衛星による粒子波動観測によって、カस्प・クレフト領域において、大振幅の低周波電場変動が観測されることが報告されている。その例を図1に示す。図1では、カस्प領域特有のエネルギースペクトルをもつ粒子が 23:15 - 23:20 UT に観測されており、これに対応して強い電場変動が観測された。

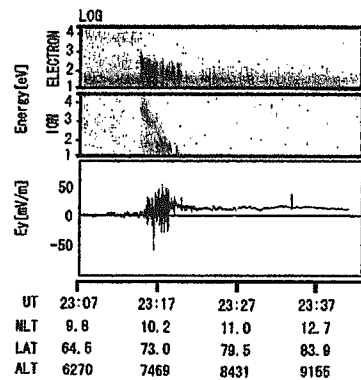


図 1: あけぼの衛星で観測されたカस्प領域での電場変動

1.2 Alfvén 波と沿磁力線電流

この電場変動の原因として、以下の2つが考えられている。

Alfvén 波 Alfvén 波の電場変動をそのまま衛星が観測した。

沿磁力線電流 磁気圏と電離圏をつなぐ沿磁力線電流によって閉じた回路が形成されている。その回路に生じる磁力線間の電場 (= 電位差) の向きの変化を衛星は、電場の変動として観測する。

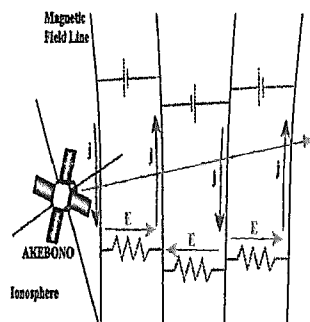


図 2: 沿磁力線電流によって観測される電場変動

しかしながら、このような電場変動の詳細な発生メカニズムについては未解決な問題として残されている。

2 目的

あけぼの衛星によってカスプ領域近傍で観測される、電場変動に対してスペクトル解析を行い、そのスペクトル構造を調べ、さらに、粒子データ、磁場データ、磁場データから求めた電流密度との対応関係を詳細に調べる。

3 使用データおよび解析手法

3.1 使用データ

あけぼの衛星がカスプ領域近辺を通過した際、7パスについて以下のデータを用いた。

低エネルギー粒子観測装置 (LEP) 10 keV 以下の電子とイオンのエネルギースペクトルデータ。

磁場観測装置 (MGF) サンプリング周期 8 秒の SDB (サイエンスデータベース) データ。

電場観測装置 (EFD) サンプリング周波数 32 Hz。GSM 座標系の Y, Z 成分を使用。

3.2 解析

着目したイベントに対して以下のような解析を行ない、プロットした。

LEP E-t ダイアグラム表示

MGF 磁場の波形とともに磁場の変動から求めた沿磁力線電流の電流密度をプロット

EFD データサンプリングが 32 Hz のデータに対して、8 点で移動平均をかけ、データサンプリングを 32 Hz から 4 Hz に落した。そのデータに対して、スペクトル解析 MEM(最大エントロピー法) を行い、ダイナミックスペクトル表示した。

4 結果

あけぼの衛星がカスプ領域付近を通過したときの 2 例を図 2、3 に示す。

両図とも上から、

- 電子・イオンの E-t ダイアグラム
- 磁場の東西、南北成分の波形
- 沿磁力線電流の電流密度
- 電場 Y 成分の波形とダイナミックスペクトル
- 電場 Z 成分の波形とダイナミックスペクトル

を示す。

4.1 例 1 : 1990年1月29日 03:00 - 03:20 UT

03:06 - 03:11 UT イオンのデータを見るとエネルギーの dispersion を観測していることから、この時間に衛星はカusp領域を通過したと判断できる。

この時間帯では、電場データにおいて大振幅の変動が観測されている。また、その時間帯の沿磁力線電流が上向きの際、電場スペクトルは両成分でバースト状に強度が増大する。

03:07:30 - 03:08:00 UT 電場スペクトルの Z 成分では、バースト状のスペクトル強度の増大に伴い、0.7 Hz, 1.1 Hz 付近にピークを持つ高調波構造が観測される。

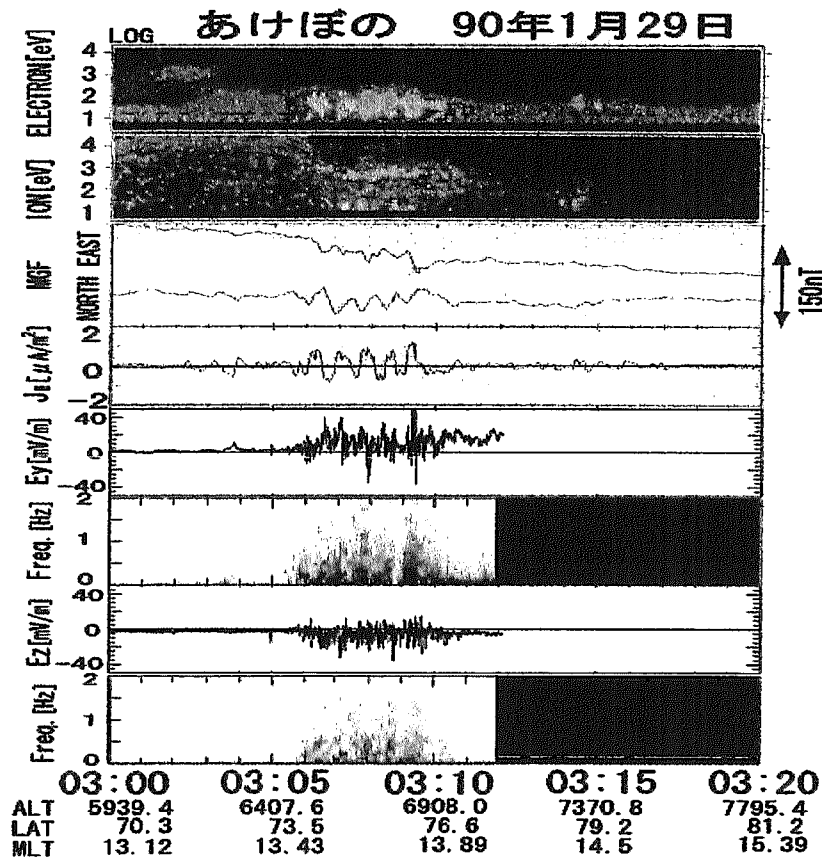


図 3: 1990年1月29日 03:00 - 03:20 UT のあけぼの衛星データ

4.2 例 2 : 1990 年 2 月 6 日 22:15 - 22:35 UT

22:25-22:29 UT イオンのエネルギーの dispersion がみられることから衛星 がカस्प領域を通過したことがわかる。電場磁場ともに強い変動が観測される。この領域では、上向きの沿磁力線 電流が観測されており、その領域で電場スペクトル強度の 増大も見られる。

22:25:30-22:26:00 UT 電場の Y 成分スペクトルにおいて、バースト状のスペクトル強度の増大に伴って、0.25 Hz、0.75 Hz 付近にピークを持つ高調波構造が見られる。

22:26:50 - 22:27:20 UT 電場の Y 成分スペクトルにおいて、バースト状のスペクトル強度の増大に伴って、0.25 Hz、0.75 Hz 付近にピークを持つ高調波構造が見られる。

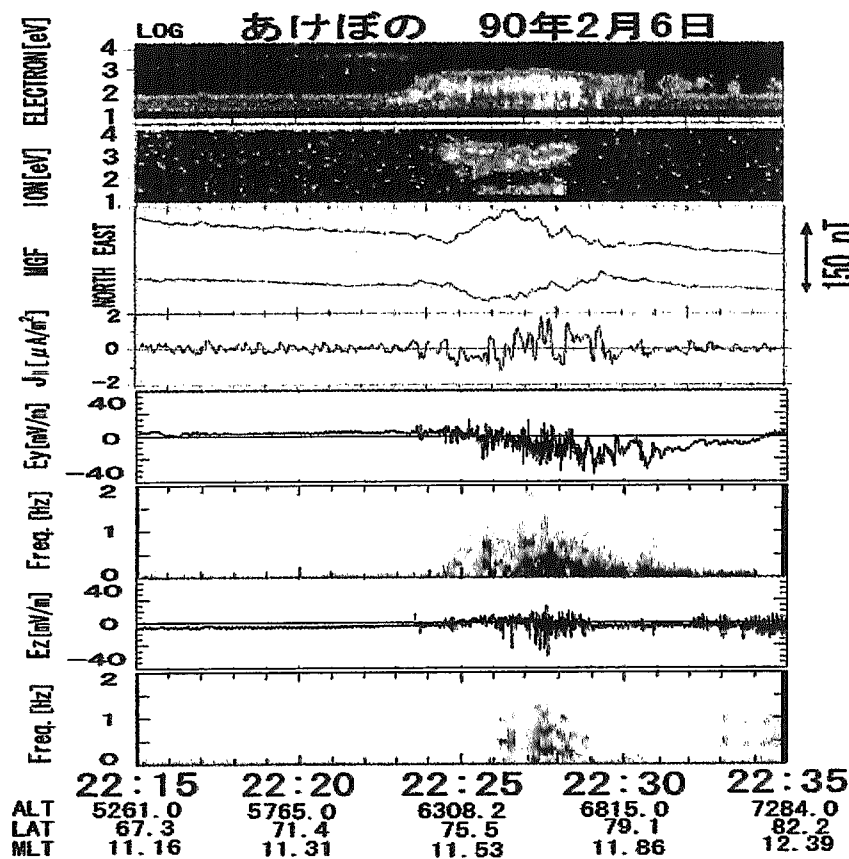


図 4: 1990 年 2 月 6 日 22:15 - 22:35 UT のあけぼの衛星データ

4.3 結果のまとめ

以上の 2 パスの結果を踏まえてまとめると、次のようになる。

カस्प的な粒子の降り込み領域に対応して電場の変動が観測された。その電場変動に対してスペクトル解析を行なった。その結果以下のことがわかった。

1. 上向き沿磁力線電流領域に対応して、電場スペクトル強度がバースト状に増大する。

2. パースト状の強度の増大に伴って高調波構造が見られた。

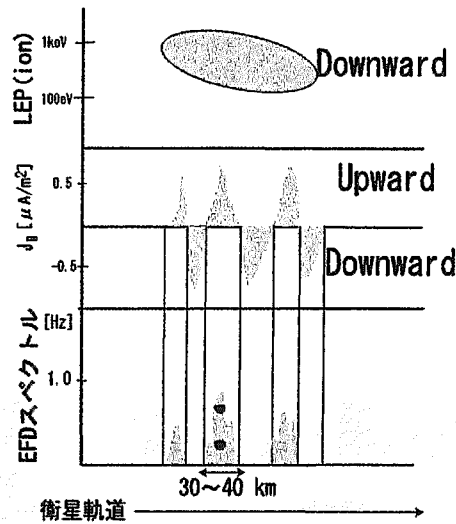


図 5: 粒子データ、沿磁力線電流、電場スペクトルの関係

5 考察

以上の結果を、以下のように考察した。

5.1 上向き沿磁力線と電場スペクトル強度増大との対応

緯度幅の狭い (30 - 40 km) の上向き沿磁力線電流領域と電場スペクトル強度が増大する領域の一対一の対応関係は、磁力線に垂直な方向に短い波数をもつ Dispersive *Alfvén* wave により説明される。Dispersive *Alfvén* wave は磁力線に対して斜め方向に伝播するために、 E_{\parallel} と E_{\perp} の成分が存在する。この E_{\parallel} により電子は下向きに加速され、これが沿磁力線電流を担う。あけぼの衛星はこのような上向きの沿磁力線電流を観測した可能性が考えられる。電場スペクトルのパースト状強度増大は、Dispersive *Alfvén* wave を観測したためと考えられる。

5.2 電場スペクトルの高調波構造

観測される電場変動は、スペクトルが 2.0 Hz 以下の高調波構造をもっていた。その観測結果は、以下のような *Alfvén* 波共鳴により説明される。*Alfvén* 波の速度は磁場強度と粒子密度の高度依存性により、図 5 のようになる。

上方から伝播してきた *Alfvén* 波は、*Alfvén* 速度が急激に増大する 3000 km 付近で反射し、さらに、上方から伝播して来た *Alfvén* 波と干渉し共鳴を起こす。このような *Alfvén* 共鳴が起ればスペクトルは高調波構造を持つことになる。あけぼの衛星で観測された電場変動は、*Alfvén* 共鳴波動であった可能性は十分に考えられる。

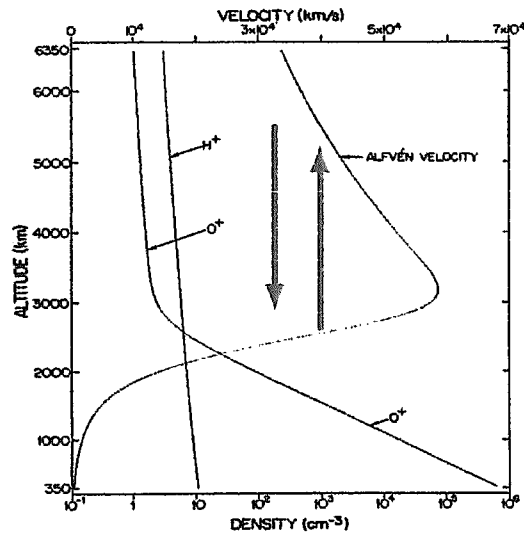


図 6: *Alfvén* 速度の高度プロファイル, after [6]

6 まとめ

解析結果および考えられる解釈をまとめると、以下のようになる。

1. あけぼの衛星により観測された電場変動は、スペクトルが 2.0 Hz 以下に高調波構造を持っていた。これは、高度 3000 km 付近に存在する *Alfvén* 共鳴波動であることを示唆している。
2. 上向きに緯度幅の狭い沿磁力線電流領域と電場スペクトルの強度増大領域が対応していた。このことは、Dispersive *Alfvén* wave を観測したことによる電場スペクトルの強度増大と、Dispersive *Alfvén* wave により加速を受けた電子が担う上向き沿磁力線電流が、それぞれ対応していたと考えられる。

以上のことから、このような Dispersive *Alfvén* wave が、下端が高度 3000 km、上端が高度 6000 km 以上の領域で共鳴を起こした結果、上向き沿磁力線電流領域で高調波構造を持つ電場変動が観測されたと考察される。

7 今後の課題

1. 磁場データのスペクトル解析を行い、電場スペクトルと比較する。
2. 粒子 (LEP) のデータについても解析を行い、波動との対応を見る。

参考文献

- [1] Lysak, Robert L, Generalized model of the ionospheric *Alfvén* resonator, *Auroral Plasma Dynamics Geophys. Mono*, **80**, 121, 1993.

- [2] Nakamura, Tadas K., Parallel electric field of a mirror kinetic *Alfvén* wave, *J.Geophys.Res.*,**105**, 10,729, 2000.
- [3] Matsuoka,A.,T.Mukai,H.Hayakawa,Y.-I.Kohno,K.Tsuruda,A.Nishida, T.Okada,N.Kaya and H.Fukunishi, EXOS-D observations of electric field fluctuations and charged particle precipitation in the polar cusp, *Geophys.Res.Letters.*,**18**,305-308,1991.
- [4] Matsuoka,A.,K.Tsuruda,H.Hayakawa,T.Mukai,A.Nishida,T.Okada,N.Kaya,and H.Fukunishi,Electric Field Fluctuations and Charged Particle Precipitation in the Cusp, *J.Geophys.Res.*,**98**, 11,225-11,234, 1993.
- [5] Stasiewicz,K.,P.bellan,C.Chaston,C.Kletzing,R.Lysak,J.Maggs,O.Pokhotelov,C.Seyler, P.Shukla,L.Stenflo,A.Streltsov and J.-E. Wahlund,Small scale *Alfvénic* structure in the aurora, *Space Science Reviews*, **92**, 423 - 533, 2000.
- [6] Temerin,M., J. McFadden, M. Boehm, C. M. Carlson, and W. Lotko, Production of flickering aurora and field-aligned electron flux by electromagnetic ion cyclotron waves , *J. Geophys. Res.*, **91**, 5769 - 5792 , 1986.