

## 「あけぼの」によるオーロラ粒子観測

向井 利典・賀谷 信幸<sup>1)</sup>・佐川 永一<sup>2)</sup>  
平原 聖文<sup>3)</sup>・三宅 亙<sup>2)</sup>・小原 隆博  
宮岡 宏<sup>4)</sup>・町田 忍・山岸 久男<sup>4)</sup>  
江尻 全機<sup>4)</sup>・松本 治弥<sup>1)</sup>・伊藤 富造

## Observations of Auroral Particle Precipitation and Acceleration Processes from the Akebono (EXOS-D) Satellite

By

T. MUKAI, N. KAYA, E. SAGAWA, M. HIRAHARA, W. MIYAKE, T. OBARA, H. MIYAOKA, S. MACHIDA, H. YAMAGISHI, M. EJIRI, H. MATSUMOTO, AND T. ITOH

**Abstract:** The Japanese AKEBONO satellite was successfully put into a semipolar, elliptical orbit in order to study the particle acceleration processes in the auroral magnetosphere. The onboard LEP (low energy particle) instrument has three different charged particle observation modes; 1) energy and pitch-angle distributions of auroral electrons and ions, 2) mass/charge analysis of positive ions, and 3) onboard detection of particle flux modulations in the HF and VLF ranges. In this report we describe the LEP instrumentation, and present some preliminary results from mode 1. Due to the initial orbital configuration, emphasis is placed on the dayside phenomena including the polar cusp. Unique examples of high particle activity in the polar cap, and the hot plasma distribution along the transpolar are also described. The observations in the cusp region reveal intense but patchy electron fluxes accompanied by the keV-range ions with the characteristic energy/time/space dispersion. These data are interpreted as signatures of longitudinal and/or temporal fluctuations of the magnetosheath plasma injection into the polar cusp.

---

<sup>1)</sup> 神戸大学工学部

<sup>2)</sup> 通信総合研究所

<sup>3)</sup> 京都大学理学部/受託大学院学生

<sup>4)</sup> 国立極地研究所

The dayside is characterized by the frequent appearance of low-energy ion conics and beams accompanied by the intense low-energy electron precipitation. Finally It is noted that low-energy accelerated ions upwelling along the magnetic field line are observed in a very limited region around the dayside edge of the transpolar arc.

## 概 要

オーロラ磁気圏における粒子加速過程を研究するために打ち上げられた「あけぼの」には、低エネルギー粒子観測装置 (LEP) が搭載されている。LEP は3種類の異なった観測を行なっている。即ち、(1)オーロラ電子とイオンのエネルギーおよびピッチ角分布、(2)イオンの質量分析、そして(3) HF および VLF 周波数帯における粒子フラックス変動スペクトルの観測である。本論文では、第一の観測について初期結果を報告する。衛星の軌道の関係で、初期観測の中心は昼間側の現象であった。そこで最も注目すべき領域はカスプで、特徴はエネルギー分散を示すイオン降下と低エネルギー電子の降り込みである。そのフラックスは強烈であるが、経度方向に不規則な構造を示していることが見いだされた。これらのデータはマグトシースのプラズマの磁気圏内への侵入の構造・時間的な変化を示しているその機構については今後さらに詳細に研究すべきテーマである。また、昼間側のオーロラ帯における特徴として、強烈な低エネルギー電子に伴って低エネルギーイオンの上向きのコニックスやビームがしばしば観測された。そのほかの特異な現象として、通常静かなポーラー・キャップ域で非常に活発な粒子降下があったデータ例とポーラー・キャップ域のオーロラ・アークに沿って衛星が移動したときのデータ例を報告する。

## 1. 緒 言

オーロラ帯やポーラー・キャップの上空1~2 Re (Re:地球半径)の高度領域における粒子加速はオーロラ物理および磁気圏物理の中心課題の一つである。この領域におけるプラズマの加速・加熱現象を説明するために、沿磁力線電場とか共鳴的あるいは非線形な波動粒子相互作用のさまざまな機構が提唱されている。最初の直接的なデータはS3-3衛星によるプラズマ、粒子、電場、磁場、波動の観測から得られ[1]、その後、オーロラ・イメージャーを搭載し、またより広い高度領域における観測を行なったDE衛星による観測で、加速域の存在は確固たるものとなった。また、DE衛星は、 $\theta$ 型オーロラ[2]や電離層イオンの大量の磁気圏への流出[3][4]のように新しい現象を見いだした。S3-3の結果から、8,000 kmまでの高度の観測では不十分であることがわかり、またDE衛星のオーロラ粒子観測器は打ち上げ後約3カ月でその機能を停止してしまった。最近打ち上げられたVIKING衛星は、昼間側のオーロラ帯における活発な粒子加速・加熱現象を見いだした[5]。これらの衛星はいずれも、オーロラ帯における粒子加速過程の理解に大きく貢献したが、同時にまた、

解明すべき新しい現象を見いだしてきた。しかし、これらの衛星で十分な機能を保っているものはないのが現状である。

日本の EXOS-D 衛星（打ち上げ後、「あけぼの」と命名）は、1989年2月22日に打ち上げられ、オーロラ磁気圏における粒子加速・加熱過程の研究に供される衛星シリーズの第四番目になった。初期軌道の傾斜角は  $75.1^\circ$ 、遠地点及び近地点はそれぞれ 10,482 km, 272 km であった。遠地点は S3-3 よりも高く、DE-1 や VIKING よりは低い。搭載されたプラズマ粒子観測器（LEP）は、以前の衛星のものに比べて高度な技術を用いた包括的な機能を有している。本論文では、初期の観測期間にえられた結果を報告する。

## 2. 観測装置

「あけぼの」に搭載された低エネルギー粒子観測器（LEP）は、オーロラ磁気圏において、3種類の観測機能を有するように設計されている。即ち、(1)電子とイオンのエネルギー（E/

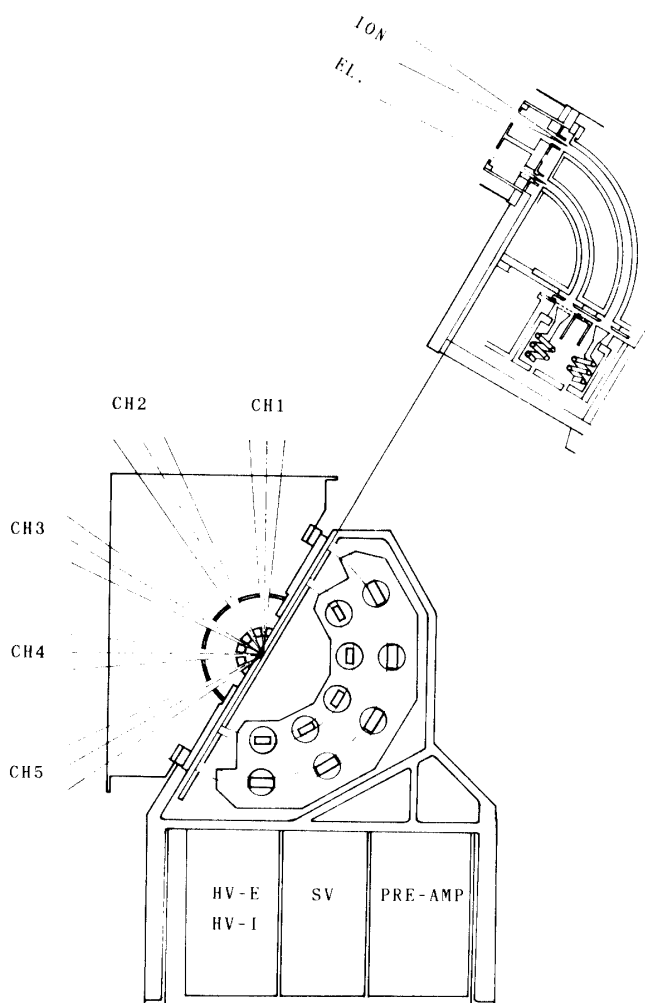


図1 「あけぼの」搭載低エネルギー粒子観測装置のE/Q分析器（LEP-SIおよびLEP-S2）。

Q) およびピッチ角分布, (2)イオンの質量 (M/Q) 分析, (3)HF および VLF の周波数帯における粒子フラックス変動の機上処理機能である. そのために, LEP は4個のユニット (LEP-S1, LEP-S2, LEP-M および LEP-E) から構成されている. ここでは, 第一の観測機能をもつ LEP-S1 および LEP-S2 について述べる. 第二のイオン質量分析器については, Kaya et al. [6] を参照されたし. また, 粒子フラックス高周波変動の検出原理は, Sagawa et al. [7] で述べられている. フラックス変動成分のデータ解析はまだ予備的な段階で本論文には含まれていない.

LEP-S1 と LEP-S2 は全く同一の構成のエネルギー分析器である. 図1に示すように, それぞれ, 入射コリメータ, 2組 (電子測定用, イオン測定用) の1/4球型静電エネルギー分析器と10ケのチャンネルトロン (5ケが電子用, 5ケがイオン用) から構成されている. 1/4球型分析器の特徴は, 荷電粒子のエネルギー分析をすると同時に入射方向に関する情報が得られることで, 今の場合, 電子用, イオン用の各5ケのチャンネルトロンが30°毎の間隔の入射方向に対応するように置いている. 分析器が衛星に組み付けられたとき, その5方向は衛星座標系で180°, 150°, 120°, 90°, 60°に対応する. ここで, 衛星のスピンの軸方向は太陽指向になるように姿勢制御されているので, 0°方向は太陽方向である. 従って, 太陽光が分析器に直接入射することはなく太陽紫外線によるバックグラウンドがないのが「あけぼの」に搭載された分析器の利点の一つである. 図2に示すように, LEP-S1 と LEP-S2 はスピンの軸に対称に配置されており, 両方で240°の視野角をカバーできる. このため, 電子およびイオンの上向きと下向きのフラックスが同時にしかも別々に測定できる. 従って, 両方向性イベントの検出に曖昧さがなく, また, LEP-S1 と LEP-S2 のエネルギー掃引モードは独立に制御できるので, さまざまなオペレーションが可能である.

エネルギー分析は, 電子分析器では内・外球にそれぞれ正負の電圧を, イオン分析器では

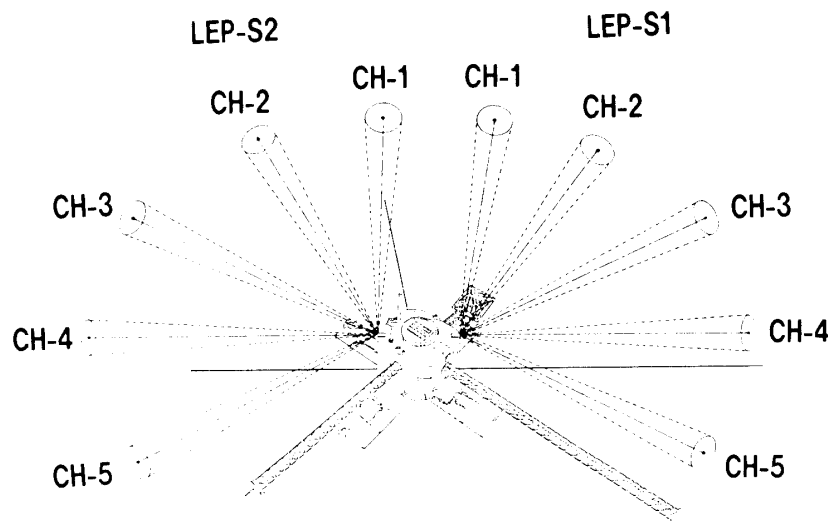


図2 衛星上における LEP-S1 および LEP-S2 の視野方向.

その逆極性の電圧を一つの高圧掃引電源から供給することにより行われている。エネルギー掃引は対数的に等間隔な64ステップの階段状に行われ、電子測定で10 eV~16 keV、イオン測定で13 eV/Q~20 keV/Qをカバーする。その掃引速度はテレメーターのビットレートと同期していて、高レート(65,536 bps)の場合に毎秒32ステップの割合(16,384 bpsのときは毎秒8ステップ)である。掃引ステップの選択、掃引方法はコマンドで種々選択可能になっている。基本モードは4ステップ飛びの16ステップを4回(それぞれ、0, 1, 2, 3の系列)繰り返すことにより64ステップモードのエネルギー・スペクトルを得る方法で掃引するモードであるが、本論文で報告する初期観測期間ではステップNO.0~62を2ステップ飛びに掃引するモードで運用された。

各チャンネルトロン出力電荷パルスは波形整形され、弁別レベル以上のパルスは19ビット・カウンターで計数され、エネルギー・ステップ毎に8ビットに圧縮されてPCMテレメーター所定のワードで地上に伝送される。

観測の生データのカウンタ数を物理データ(粒子フラックス、位相空間密度)に変換するためには分析器の幾何学的定数が必要である。図3は飛翔前のセンサー較正実験で得られた分析器の特性の一例を理論計算の結果とと比較して示す。各チャンネル毎の図3のような較正実験データから幾何学的定数が求められた。また、各センサー間の相対的な感度比は軌道

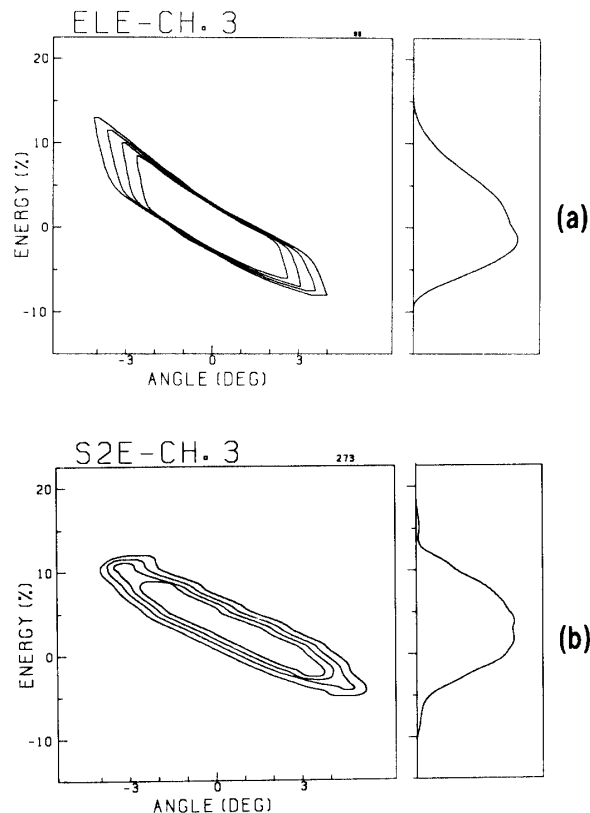


図3 LEP-S2の電子分析器CH-3の特性の理論計算(a)と較正実験結果(b)の比較。同様な比較をすべてのチャンネルについて確認している。

上での観測データ（同一のエネルギーとピッチ角のデータ）からも得られる。それぞれのチャンネルトロン劣化特性には固体差があるので、実際のデータ処理では最も安定しているチャンネルのデータを基準に軌道上でのデータ比を基に物理データに変換することとした。

データ処理の際の最大の問題は、バックグラウンド・ノイズの差引である。一般には、そのノイズの原因としては電磁干渉や太陽紫外線、高エネルギー粒子に起因するものがあるが、「あけぼの」の場合にはオーロラ帯ではいずれも無視できるほど小さかった。但し、地球ジオコロナからの紫外線によって生ずるバックグラウンドが予想外に大きく、これについては地上データ処理で除去した。しかし、電子の10eV近辺ではこの紫外線から分析器内部で作られた光電子、二次電子があり、完全には除去できていないときもある。

粒子スペクトルの全体的な変化をとらえるための常套手段は、いわゆる E-t ダイアグラムである。しかもその変化はピッチ角依存性が重要であるので、本論文では60°毎のピッチ角にソートして示している。前述のように、電子、イオンそれぞれ10ケのチャンネルがあるので、それぞれのピッチ角範囲にソートしたデータの最大値を図示している。この最大値をとった理由は、鋭いピッチ角分布をもつイベント現象の発見を主目的とするためであり、平均値をとっていないためにデータの解釈には注意を要する場合がある（例えば、loss-cone 角の変化）。

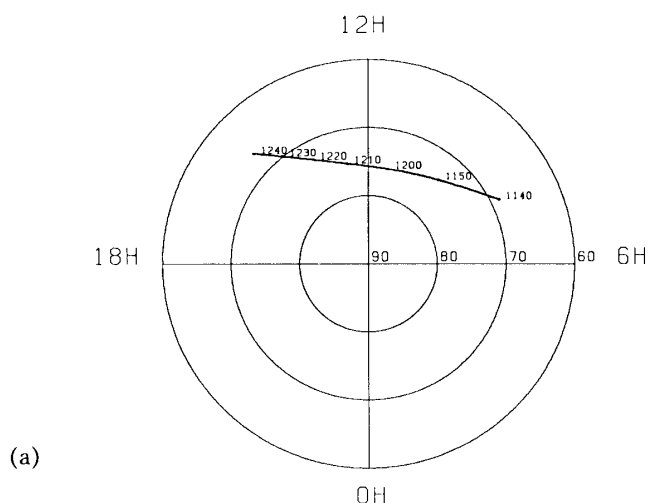
### 3. 初期観測結果

LEPの観測は、全ての高圧電源の投入が成功した3月下旬から開始された。最も興味あるのは粒子加速域に近い遠地点付近の観測であるが、初期観測期間では南半球にあり、地方時の昼間側を朝方から午後側に抜けていく軌道のデータであった。そこで得られたデータのうち、注目すべき結果について以下に紹介する。

#### 3. 1 カスプ域近の観測例

図4はカスプ近傍を朝方から午後側に通過したときの観測結果で、図4(a)にその軌道を、

890404



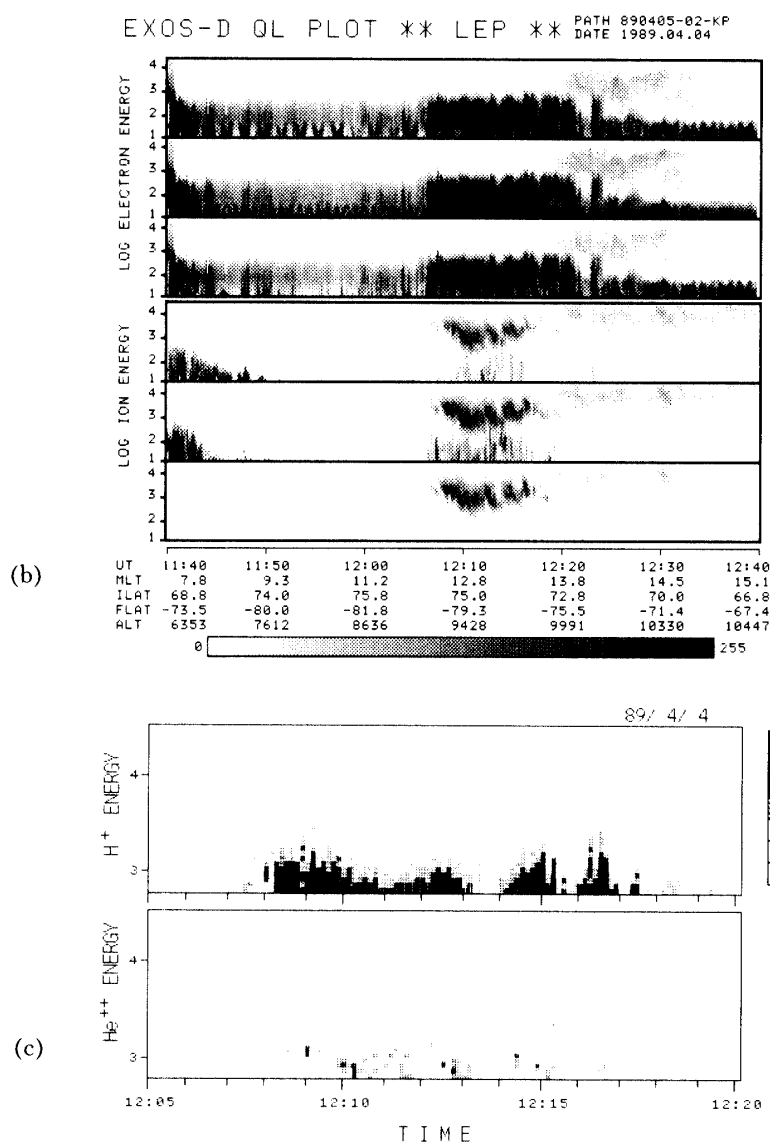


図4 (a) Pass NO. 890405-02-00 における衛星軌道の極座標(不変量緯度・地方時系)表示  
 (b) 電子及びイオンのピッチ角にソートした E-t ダイアグラム. 上から  $0^\circ$ — $60^\circ$ ,  $60^\circ$ — $120^\circ$ ,  $120^\circ$ — $180^\circ$  のピッチ角の電子, 次いで同様のピッチ角範囲のイオンのデータである. 観測は南半球にあるので,  $0^\circ$  のピッチ角が上向き,  $180^\circ$  が降下方向である. 各ダイアグラムにおいて, 強度は微分エネルギー・フラックスを示し, 最下部のスケールの 0 および 255 は電子(あるいはイオン)に対して  $8 \times 10^{-3}$  (あるいは  $2 \times 10^{-1}$ ),  $8 \times 10^{-1}$  (あるいは  $2 \times 10^{-1}$ ) に対応して対数圧縮している.  
 (c) 1205—1220UT の間のイオン質量分析(IMS)の観測結果. 上図はプロトン, 下図はアルファ粒子の E-t ダイアグラム.

図4(b)にE-tダイアグラムを示す。図4(b)の電子およびイオンの各3ケのパネルは、上から順に上向き、直角方向、下向きのデータである。図には昼間側の粒子降下とそれに伴う加速現象の興味ある特徴が見られる。最も顕著なのは図の中央付近のカスプ領域で、 $\sim 100$  eVの強烈な電子降下と $\sim 1$  keV/Qのエネルギー範囲のイオン降下、それに伴う低エネルギーイオンの上向きの加速現象がその特徴である。このときに同時に観測されたイオン質量分析の結果(図4(c)参照)から、降下イオンの主成分はプロトン( $H^+$ )で、若干のや、高エネルギーのアルファ粒子( $He^{++}$ )を含んでおり、これらのイオンがマグネシース起源のものであることを示唆している。以下に、ここで観測されたデータを従来の観測と対比しつつ検討する。

カスプ領域のイオンが緯度方向にエネルギー分散を示すことはよく知られているが[5][8][9][10][11]、経度方向の構造に関してあまり知られていない。今の場合、全体としてはV-形のパターンを示しているように見えるが、衛星の軌道を考えてこの変化はカスプの経度方向の構造(およびその間の時間変化)を示すものと解釈される。注目すべきことは、全体としてのV-形のパターンの中にさらに微細構造があることである。個々の微細構造では、降下イオンのエネルギー変化は減少、また別の場合はほぼ一定または増加というふうに、系統的ではない。またカスプの降下電子フラックスも非常に強烈であるが、降下イオンの微細構造に対応した不規則パターンが見られる。電子とイオンのこのような良い対応は、カスプにおける準中性条件の結果と考えられる[12]。図4から、カスプの構造は緯度方向には狭く、経度方向に広く延びているが、必ずしも一様ではなくジグザグと不規則であることがわかる。その変化はもちろん時間変化の反映も考えられるが、いずれにしてもマグネトシースからカスプ内へのプラズマの侵入が空間的/時間的に一様でなく不規則であることを意味する。また、衛星の軌道はほぼ直線的であるので、降下イオンのエネルギーの変化はカスプ緯度の経度依存性(即ち、観測点とカスプの緯度方向の距離の変化)とも考えられ、図4の観測結果は磁力線再結合モデル[9]と矛盾しない。なお、カスプが午後側に片寄っているのは、惑星間空間磁場のY成分が今の場合負であったことの現れ(注:観測は南半球、また現在のところ惑星間空間磁場データの確認はできていない)と解釈できるだろう。

カスプ近傍の構造に関して最近、カスプそのものとLLBL(低緯度磁気圏境界層; Low Latitude Boundary Layer)を区別する試みがある。Newell and Meng[13]は、降下粒子のエネルギーを判定基準(カスプの方がLLBLよりもエネルギーが低い)として区別した。彼らはフラックスのレベルを基準として採用しなかったが、結果は統計的にはカスプの方がフラックスが高かった。また、Lundin[5]は、カスプは電子とイオンの降り込みが強烈であるが一様で連続的な領域であるのに対してLLBLはマグネトシースのプラズマが不連続的に磁気圏内に侵入する領域である、という基準で両者を区別した。我々のデータでは、カスプもまた不規則構造を持っている。カスプの磁力線の片方は地球につながり、もう一方はマグネトシースから惑星間空間磁場につながっているため、カスプは本質的に遷移領域と考えられる。マグネシースの磁場やプラズマの流れはいつもふらついているので、カスプへのプラズマ侵入が不規則であっても不思議でないと思われる。我々は、両者の区別が物理的な意味を持っているかどうか疑問とと思っているが、この点の議論はマグネトシースのプラズマの侵入機構に密接に関連しており今後の課題である。



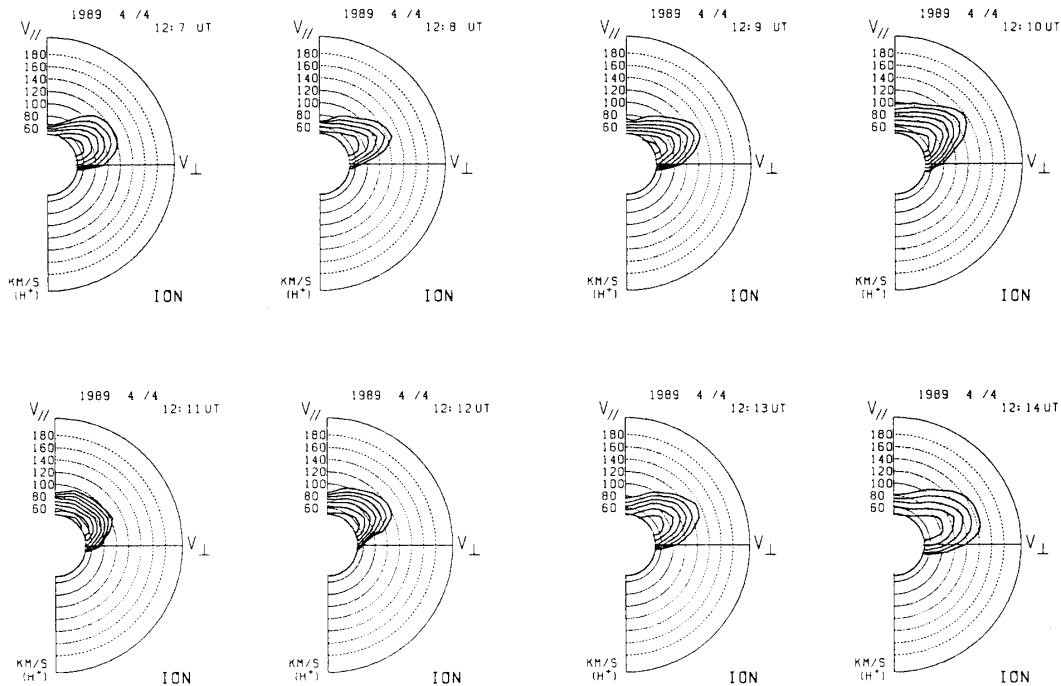


図5 1207—1215UTの間のイオンの速度分布関数の等高線表示.

カスプ近傍のもう一つの特徴は低エネルギーイオンの上向きコニックスの存在で、観測点以下の高度における直角方向のイオン加速が行われていることの証拠である。今の場合、イオン・コニックスのエネルギーは200~300 eV以下で、降下イオンとは一見して識別できる。1207~1215 UTの間のイオンの速度分布関数の等高線表示を図5に示す。ピッチ角分布としては70°付近にピークがある（今の場合、加速領域が観測点の600 km下の高度域であることに対応する）ことがこの図からわかる。但し、現象はもっと速く変化しているのに対して（図4参照）、表示は1分毎であることに注意する必要がある。昼間側における上向きのイオン・フラックスに関しては、過去にDE-1衛星による観測（但し、50 eV以下）があり、Lockwood et al. [4]はさらに高い高度における観測結果もふまえて cleft ion fountain と名付けた。「あけぼの」の観測はさらに高いエネルギーまでイオン加熱があることを示している。同様な上向きのイオン・コニックスは朝方の高緯度部分（図4(b)の左端部分）でも観測されている。この例では、高緯度になるほどエネルギーが低くなり、ピッチ角が沿磁力線方向に変化しているのがわかる。これらイオン・コニックスは、低エネルギー電子のフラックスが強くなるのと相関があるように見える。このイオン加速/加熱は、EIC そのほか種々の波動粒子相互作用の結果と考えるのが妥当であるが、問題はそのプロセスで今後の重要な研究課題である。この場合、電場、沿磁力線電流、プラズマ波動の同時観測データとの相関を調べるのが第一歩となる。

### 3. 2 朝方オーロラ帯からポーラ・キャップの特異な観測例

図6は朝方オーロラ帯からポーラ・キャップ域にかけての軌道における観測例（図4(a),

890414

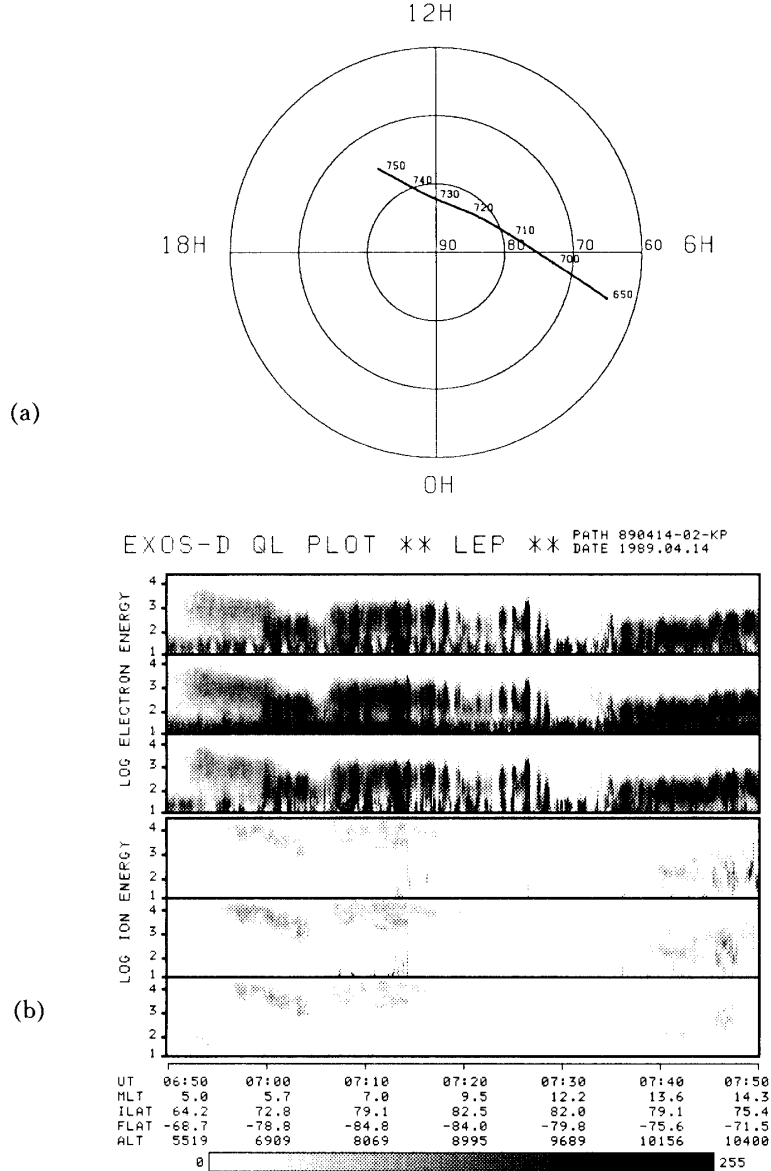


図6 図4(a), (b)と同様. 但し, Pass NO. 890414—02—00.

(b)と同じフォーマット)である. 観測が始まった図6(b)の左側の部分は典型的な朝方の特徴を示している. 即ち, 低緯度側にディフューズな降下粒子 (しかも低緯度ほど高エネルギー) が見え, その高緯度側でスパイク状の低エネルギーの電子降下に移っていく, というパターンである. この例で注目すべき点は, 通常のポーラ・キャップの領域にまでスパイク状の電子降下が活発で, なかには1 keV程度まで加速を受けているものもあるということ. 惑星間空間磁場が (未確認ではあるが) 北向きの場合の例ではないかと推測される. 朝方では, DMSP衛星で撮られたイメージにおいてオーバルからポーラ・キャップにかけて

の境界が夕方のようにはっきりしないで幾つもの細かいアークがオーバルに平行（正午・真夜中の方向）に見える例が時々見られるが、図6で見られるスパイク状の $\sim 1$  keVの電子降下はこのようなものに対応してるのかも知れない。

図6(b)のパターンから、低緯度側のディフューズな粒子降下と高緯度側からポーラ・キャップにかけてのスパイク状の電子降下のソースは違っているように思われる。低緯度側のパターンはプラズマシートの特徴をそのまま持っていて、従来の磁気圏の描像に一致する。問題は、高緯度側のスパイク状の降下電子のソースである。従来の考えからするとこれはプラズマシートの境界からローブにかけての領域ということになるが、筆者らはさらに、朝方のLLBLの可能性を指摘しておきたい。プラズマシートの境界層では高速の地球方向のプラズマ流があり、LLBLでは逆に反太陽方向にプラズマが流れているので、前者では降下イオンがあるが後者では降下し難いことが有り得ると考えられる。実際、図6(b)でもそのようになっているが、この点については電場のデータとの相互比較をすることが必要で今後の課題である。また、0714:40 UTにパターンの不連続性が見え、そこでは強い低エネルギー電子のスパイクと上向きのイオンフローが観測されている。これが磁気圏のどこに対応してるのか、電場、沿磁力線電流、プラズマ波動のデータとの相互比較を行うことにより今後研究すべき課題である。

その後、衛星は短期間ポーラ・キャップ域を通過して午後側の粒子降下域に入った。午後側といってもかなり正午に近い領域で、前例のカस्प近傍と同様な特徴が見える。前例のカस्प中央付近との違いは、上向きイオンコンニックスのエネルギーがやや高いこと、降下イオンの強度、エネルギーとも低いことである。

### 3. 3 ポーラ・キャップ域アークの粒子降下

図7は、真夜中・正午のラインにはほぼ平行な軌道での例である。全体としての活動レベルは低いが、図の中央付近の幾つかの逆V字型の構造がポーラ・キャップ域のアークに対応していると思われる。ポーラ・キャップ域のアークの特徴はその方向が正午に向かっていることで、ここでは衛星はほぼアークに沿って動いていたものと思われる。ここで興味あることは、アークの昼間側境界に近いところで上向き（しかも、詳細に調べた結果ではピッチ角 $20^\circ$ 以内の沿磁力線方向）の低エネルギーイオンが観測されていることである。ポーラ・キャップ域アークについてはその降下粒子のソースおよび磁気圏の構造との関連が未解決の問題で、「あけぼの」としても高精度の各種の同時観測データを用いて取り組む問題であろう。

## 4. 結 言

「あけぼの」に搭載された低エネルギー粒子観測器（LEP）は8ケの高圧電源（最高 $\sim 5$  kV）を使用しているが、いずれも3月末に無事投入され、現在に至るまですべて正常に作動している。南北両半球オーロラ帯に「あけぼの」のテレメータ受信局があるので、データ取得率は極めて良く、貴重なデータが数多く得られてきた。本論文では、初期観測報告としてその装置の説明と初期の観測結果を紹介した。衛星の軌道の関係のため、まず、南半球における昼間側の現象の観測が中心的であった。観測データは粒子加速・加熱現象に関する従

890516

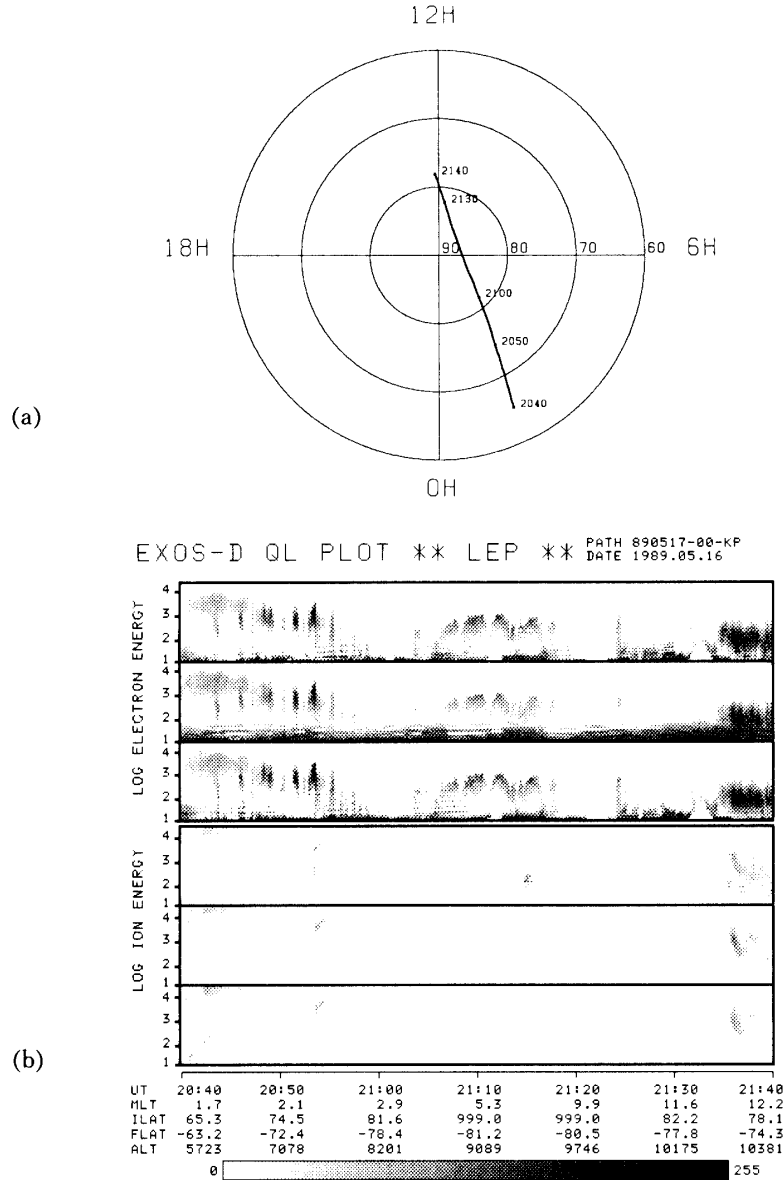


図7 前図と同様. 但し, Pass NO. 890517—00—00.

来の考えを支持するとともに, 新しい観点を見いだした. 例えば, カスプにおけるマグネトシースのプラズマの降下現象の経度的な変化やオーロラ帯の午前と午後の非対称性は, マグネトシースのプラズマの磁気圏への侵入過程およびその後の降下過程と密接に結びついており, 今後の重要な研究課題である. そのための第一歩は, 他の相乗観測機器からのデータとの比較, 相関解析で, 既にそのことに着手している. 「あけぼの」の観測データは, 各観測器とも分解能, 精度等の質・量が従来にもまして向上しているのので, さらに大きな成果に期待するものである.

## 謝 辞

「あけぼの」の低エネルギー粒子観測の成功は、設計から制作・試験・衛星打ち上げ・運用に至るまで宇宙研工学スタッフの援助・協力を負うところ大きく、特に林友直教授、大島勉技官に感謝します。また、鶴田浩一郎教授、大家寛客員教授（東北大教授）を中心とする EXOS-D チームの全員に対して同様に感謝します。まお、LEP のセンサ部は三鷹光器(株)、エレクトロニクス部は明星電気(株)で設計・製作された。

## 参 考 文 献

- [1] Mozer, F.S., C.A. Cattell, M.K. Hudson, M. Temrin, and R.B. Torbert, Satellite measurements and theories of low altitude auroral particle acceleration, *Space Sci. Rev.*, **27**, 155–213, 1980.
- [2] Frank, L.A., J.D. Craven, D.A. Gurnett, S.D. Shawhan, D.R. Weimer, J.L. Burch, J.D. Winningham, C.R. Chappell, J.W. Waite, R.A. Heelis, N.C. Maynard, M. Sugiura, W.K. Peterson, and E.G. Shelley, The theta aurora, *J. Geophys. Res.*, **91**, 3177–3224, 1986.
- [3] Yaw, A.W., E.G. Shelley, W.K. Peterson, and L. Lenchyshyn, Energetic auroral and polar ion outflow at DE 1 altitudes: magnitude, composition, magnetic activity dependence, and long-term variation, *J. Geophys. Res.*, **90**, 8417–8432, 1985.
- [4] Lockwood, M., M.O. Chandler, J.L. Horwitz, J.H. Waite, Jr. T. E. Moore, and C.R. Chappell, The cleft ion fountain, *J. Geophys. Res.*, **90**, 8417–8432, 1985.
- [5] Lundin, R., Acceleration/heating of plasma on auroral field lines: Preliminary results from the Viking satellite, *Ann. Geophys.*, **6**, 143–152, 1988.
- [6] Kaya, N., T. Mukai, and E. Sagawa, Preliminary results from new type ion mass spectrometer onboard AKEBONO satellite, *J. Geomag. Geoelectr.*, submitted, 1989.
- [7] Sagawa, E., H. Yamagishi, H. Mitaoka, N. Kaya, and T. Mukai, Rocket observations of modulations of the auroral electron flux in a wide range of frequency, *J. Geomag. Geoelectr.*, **40**, 887–904, 1988.
- [8] Reif, P.H., T.W. Hill, and J.L. Burch, Solar wind plasma injection at the dusyside magnetospheric cusp, *J. Geophys. Res.*, **82**, 479–491, 1977.
- [9] Reiff, P.H., J.L. Burch, and R.W. Spiro, Cusp proton signatures and the interplanetary magnetic field, *J. Geophys. Res.*, **85**, 5997–6005, 1980.
- [10] Burch, J.L., P.H. Reiff, R.A. Heelis, J.D. Winningham, W.B. Hanson, C. Gurgiolo, J.D. Menietti, R.A. Hoffman, and J.N. Barfield, Plasma injection and transport in the mid-altitude polar cusp, *Geophys. Res. Lett.*, **9**, 921–924, 1982.
- [11] Kaya, N., T. Mukai, H. Matsumoto, and T. Itoh, Characteristics of auroral particles observed by EXOS-C, *J. Geomag. Geoelectr.*, **37**, 347–363, 1985.
- [12] Burch, J.L., Quasi-neutrality in the polar cusp, *Geophys. Res. Lett.*, **12**, 469–472, 1985.
- [13] Newell, P.T., and C. -I. Meng, The cusp and the cleft/boundary layer: Low-altitude identification and statistical local time variation, *J. Geophys. Res.*, **93**, 14549–14556, 1988.