

# オーロラサブストーム時の電離圏変動

渡辺 穰次(学芸大地学) 石井 守(情報通信研究機構) 松田 佳久(学芸大地学)

## 1. はじめに

オーロラサブストームは極域の電離圏を研究する上で重要な現象である。オーロラを輝かせる降り込み粒子は、磁力線に沿って極域の超高層大気に流入し、この領域の力学、化学過程等に強く影響を与えている。南極昭和基地では、イオゾンデによる電離圏の観測が 1959 年より定期的に行われており、長期間のデータセットをもつ。しかし、今までそのデータを用いてオーロラサブストーム時の電離圏の変動は研究されていない。降り込み粒子が電離圏に与える影響をよりよく理解するためにも、それをまとめる必要がある。本研究では、オーロラサブストーム時の電離圏の変動が、イオゾンデ観測データ(図 1)にてどのように確認できるのか検証を試みた。

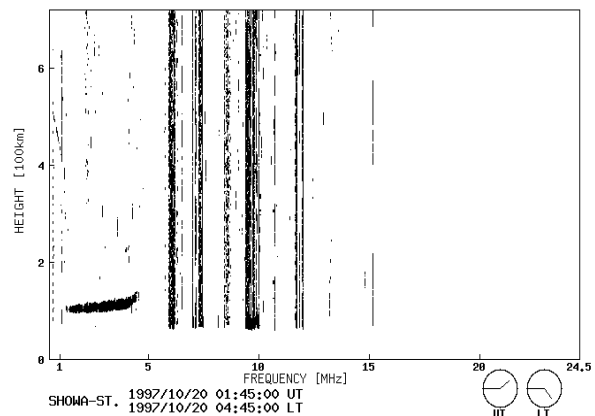


図 1. イオノグラムの例

(南極昭和基地、1997 年 10 月 20 日 04:45LT)

## 2. 使用データ

本研究では、南極昭和基地(69.0S, 39.6E)で観測された以下のデータの比較研究を行った。

### 1) イオノグラム読み取りデータ

パラメータは、電波吸収の目安として  $f_{min}$ (反射波の最低周波数)、オーロラ Es 層最大電子密度として  $f_{tEs}$ (E 領域反射波の最大周波数)、オーロラ Es 層最大電子密度高度として  $h'_{Es}$ (Es 層みかけ高度)を用いた。データは 15 分値、期間は 1997 年 10 月 1 日から 1 年間分を用いた。

### 2) 地磁気 3 成分(X,Y,Z)デジタルデータ

データは 10 秒値を用い、オーロラサブストームのイベントを選出するために用いた。

### 3) オーロラ全天画像データ (All-Sky Imager )

波長は 557.7nm, 630.0nm, 427.8nm, Panchromatic を用いた。データは 10 日間分を用い、事例解析の際にオーロラサブストームの時間変化、及び空間変化を知るために用いた。

## 3. 解析手法

サブストームの各フェーズにおいて電離圏がどのような変動の傾向を示すのかみてみるために、まずオーロラサブストームのイベントを選出した。次に、サブストームの各フェーズを決定したのち、イベントと同時観測されたイオノグラムから上記 3 パラメータを読み取り、プロットして比較した。

また、各パラメータの変動に関係があるか調べるために、それぞれ散布図を作成し相関係数を計算した。

イベントの選出方法は、まず地磁気 X(南北)成分の時系列図(1997年10月1日から1年間分)を作成し、その中から目視により図2のように典型的な単発のサブストーム発生時の変動を示していた例をイベントとして選出した。各フェーズは変動の形から分類した。この手順で72例のイベントを選出した。

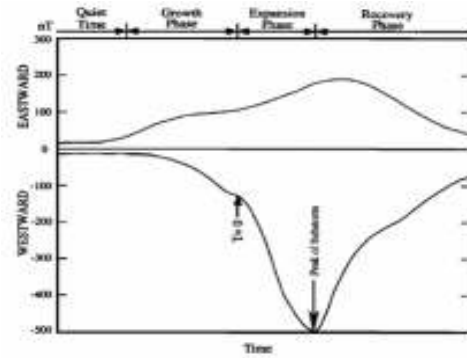


図2. 典型的な単発サブストーム発生時の地磁気 X 成分の変動 [Kamide et al., 1996]

#### 4. 結果と考察

図3に地磁気、イオノゾンデ、全天画像データの同時観測結果の一例を示す。上から地磁気3成分(青:X, 緑:Y, 赤:Z),  $f_{min}$ ,  $f_{tEs}$ ,  $h'Es$ , 南北ケオグラム(557.7nm)を示す。図4には72例のサブストームイベント発生時のイオノゾンデ同時観測結果を示す。エラーバーがついている青線はデータの平均値を示す。サブストームの Growth phase から Expansion phase にかけては、 $h'Es$  の平均値は下降し、 $f_{min}$  の平均値と  $f_{tEs}$  の平均値は増加が見られた。このことは、Expansion phase において、高エネルギー(10keV以上)の粒子が降り込むことにより、E領域の比較的low高度(100km付近)の電離、及びD領域で電波吸収の増大がおこったためと考えられる。

Expansion phase においては、他のフェーズと比べてデータ数が減少していた。このことは、降り込み粒子の高エネルギー成分によってD領域の電子密度が増加した結果、E及びF領域からの反射エコーを遮蔽してしまったためと考えられる。図5には各パラメータの関係を示すが、有意な相関係数は得られなかった。

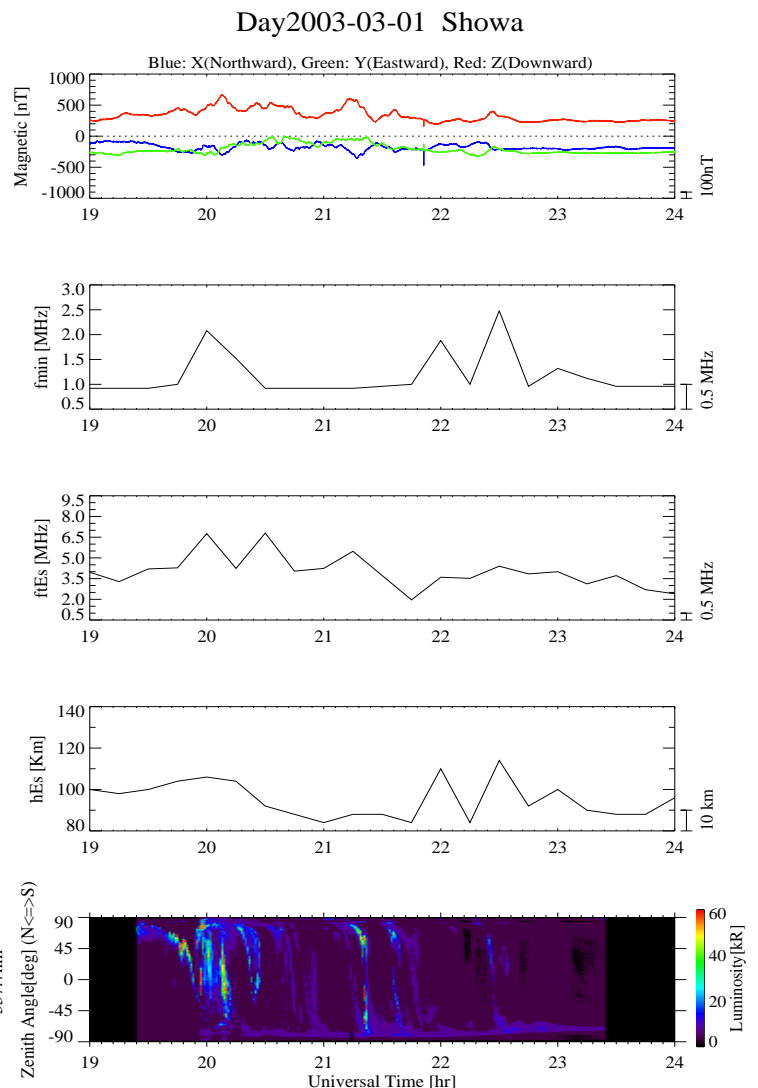


図3. 地磁気、イオノゾンデ、全天画像の同時観測結果の一例(2003年3月1日19:00-24:00UT)

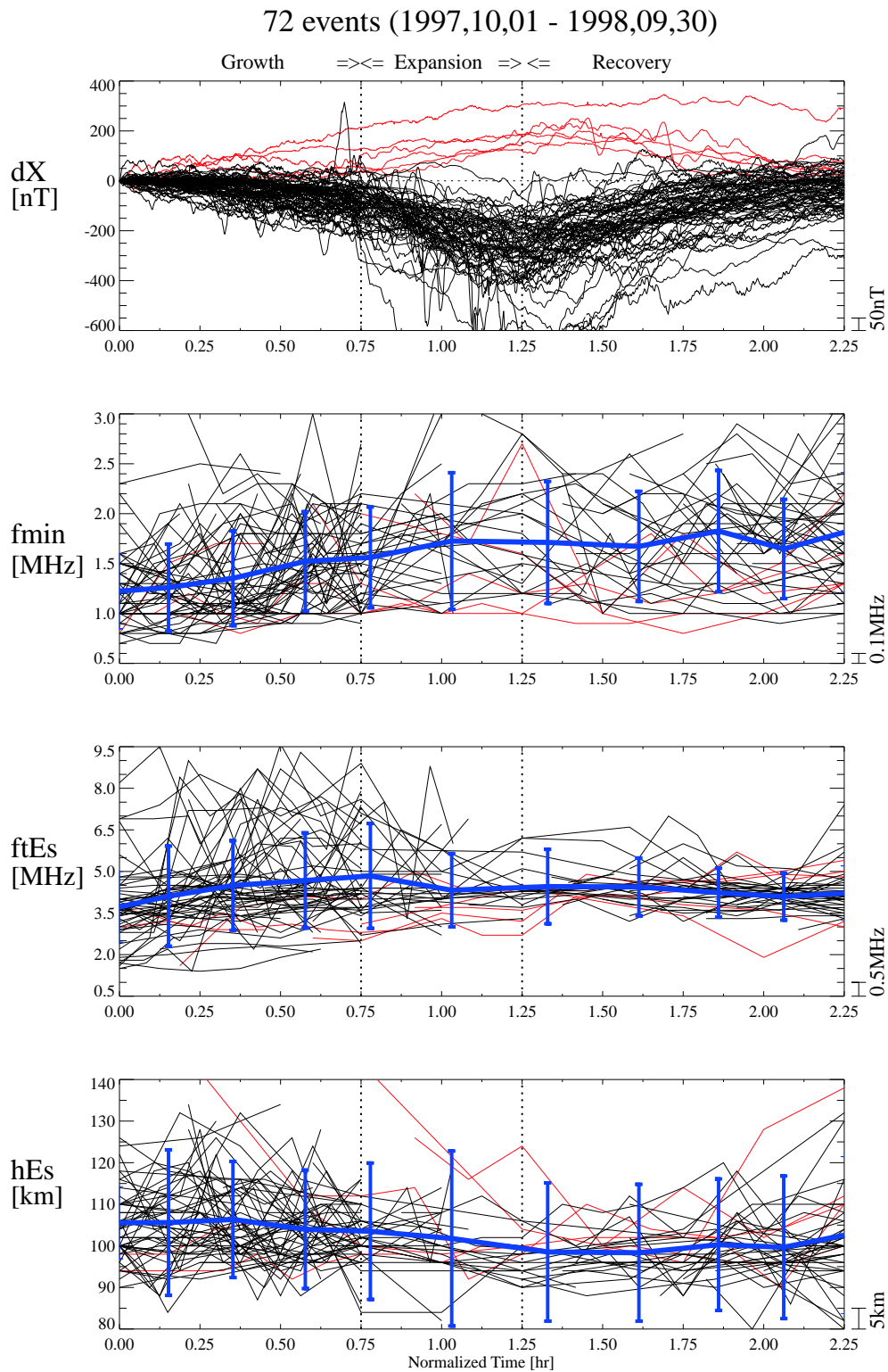


図 4. 72 例のオーロラサブストームイベント発生時のイオノゾンデ同時観測結果  
 上から順に地磁気 X 成分変化量( $dX$ ),  $f_{min}$ ,  $f_{tEs}$ ,  $h'Es$  を示している。 $dX$  は Growth phase オンセットの  
 値からの変化量を示す。縦の点線が各フェーズを区切っている。左から Growth, Expansion, Recovery

phase を示す。縦軸は各物理量、横軸は規格化された時間を示す。イベントごとに異なるフェーズの時間幅は、代表例のフェーズ時間幅との割合を用いて規格化してある。赤線は西向き電流時のイベントを示し、黒線は東向き電流時のイベントを示す。エラーバーのついた青線は平均値を示す。エラーバーの幅は上下とも標準偏差である。

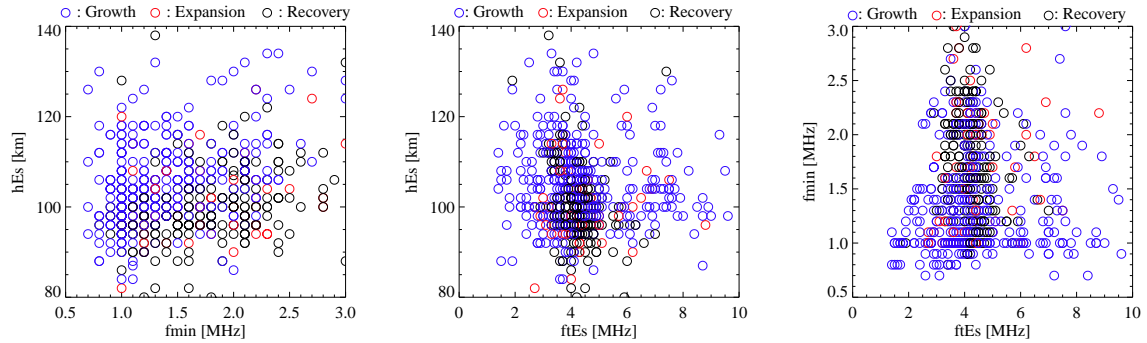


図 5. 各パラメータの関係図(左:横 fmin 対縦 h' Es, 中央:横 ftEs 対縦 h' Es, 右:横 ftEs 対縦 fmin )

記号の色は各フェーズでのデータを示している。青は Growth, 赤は Expansion, 黒は Recovery phase のデータを示す。相関係数は左図が 0.22, 中央図が-0.09, 右図が 0.01 であった。各フェーズのデータでも相関係数を計算したが、有意な結果は得られなかった。

## 謝辞

本研究で使用した地磁気 3 成分デジタルデータ及び、オーロラ全天画像データは国立極地研究所より提供していただきました。心より感謝いたします。

## 参考文献

Kamide.Y, Sun.W, and S.-I.Akasofu, “The average ionospheric electrodynamic for the different substorm phases”, J.Geophys. Res., 101, 99–109, 1996