

# GEONET全電子数観測による 大規模伝搬性電離圏擾乱の研究

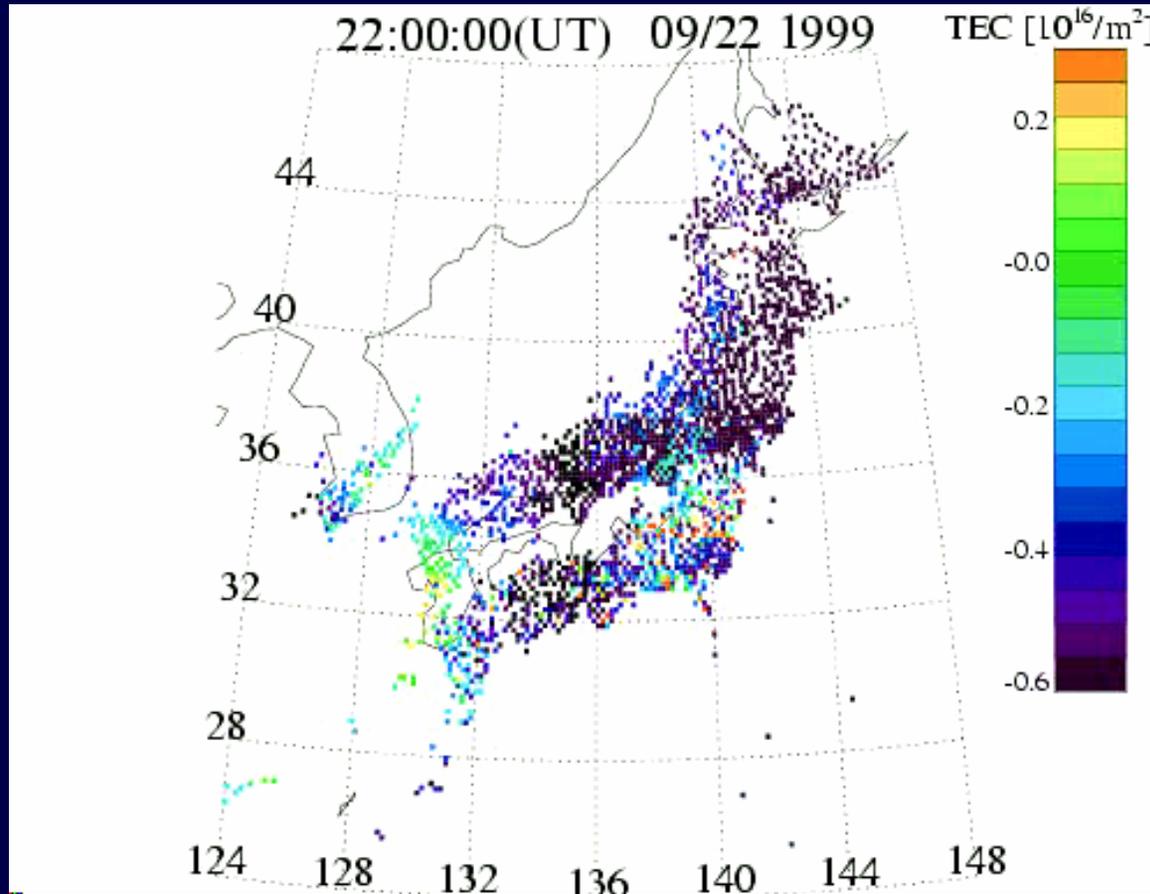
津川 卓也 [1], 斎藤 昭則 [1], 大塚 雄一 [2]

[1]京都大学大学院理学研究科

[2]名古屋大学太陽地球環境研究所

1. 大規模伝搬性電離圏擾乱 (LSTID)
2. GEONETを用いたLSTIDの統計解析
3. Global GPS Networks
4. 今後の課題と中緯度短波レーダーへの期待

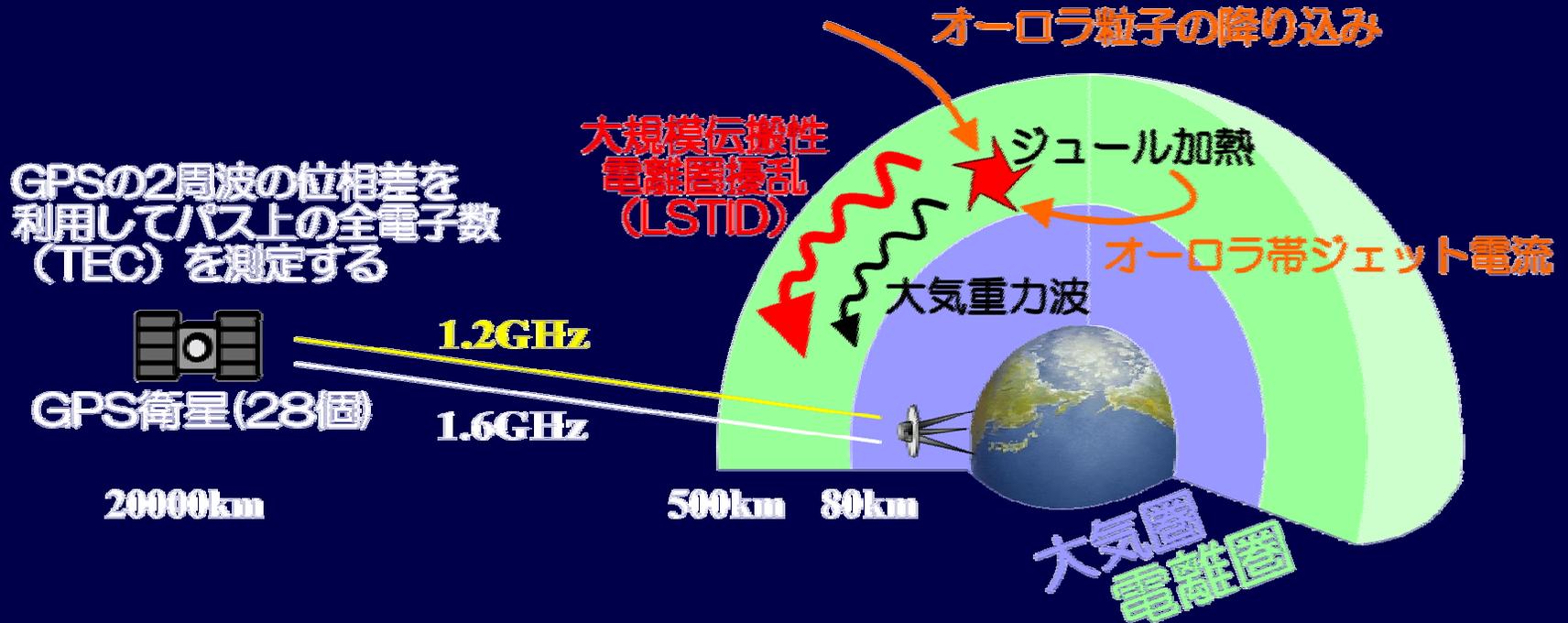
# 1. 大規模電離圏擾乱 (LSTID)



- GEONETデータから算出された、60分以下のTEC変動成分( TEC) 2次元マップ。

# LSTID

(Large-Scale Traveling Ionospheric Disturbances)

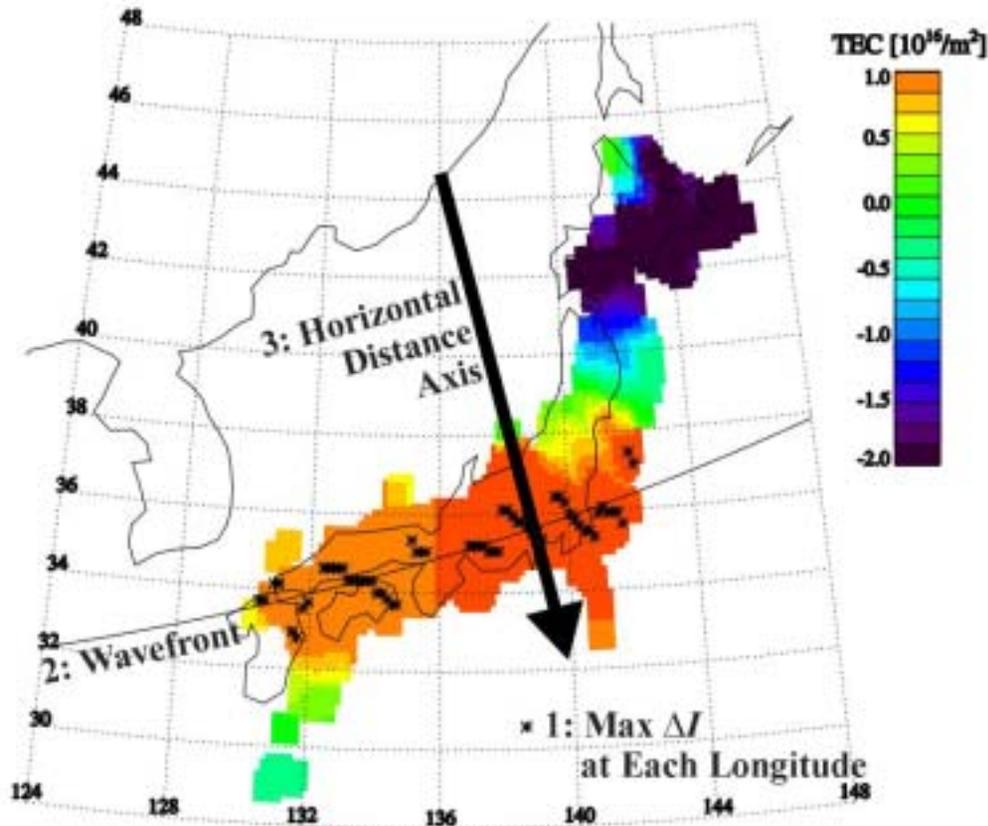


- 水平波長 1000km以上
- 位相速度 数100m/s - 1000m/s
- 周期 30分- 3時間
- TEC変動の振幅 10 - 20 %

# LSTIDについての未解明な問題

- どこで、どのように生成されているのか？**  
 地磁気擾乱に伴って高緯度電離圏に流入するエネルギーによって生成すると考えられているが、その直接的な生成機構は明らかになっていない。
- どこまで、どのように伝搬しているのか？**  
 定性的に議論されているだけで、十分に解明されたとは言えず、観測的研究もほとんど無い。
- 経度幅はどの程度広がっているのか？**  
 議論されることが少なく、経度方向の一様性などを仮定することが多い。

## 2. GEONETを用いたLSTIDの統計解析



1999年4月～2002年12月までのTEC2次元マップを用いて、目視でLSTIDを同定。

156例のうち154例が南向き伝搬。南向き154例について統計解析を行った。

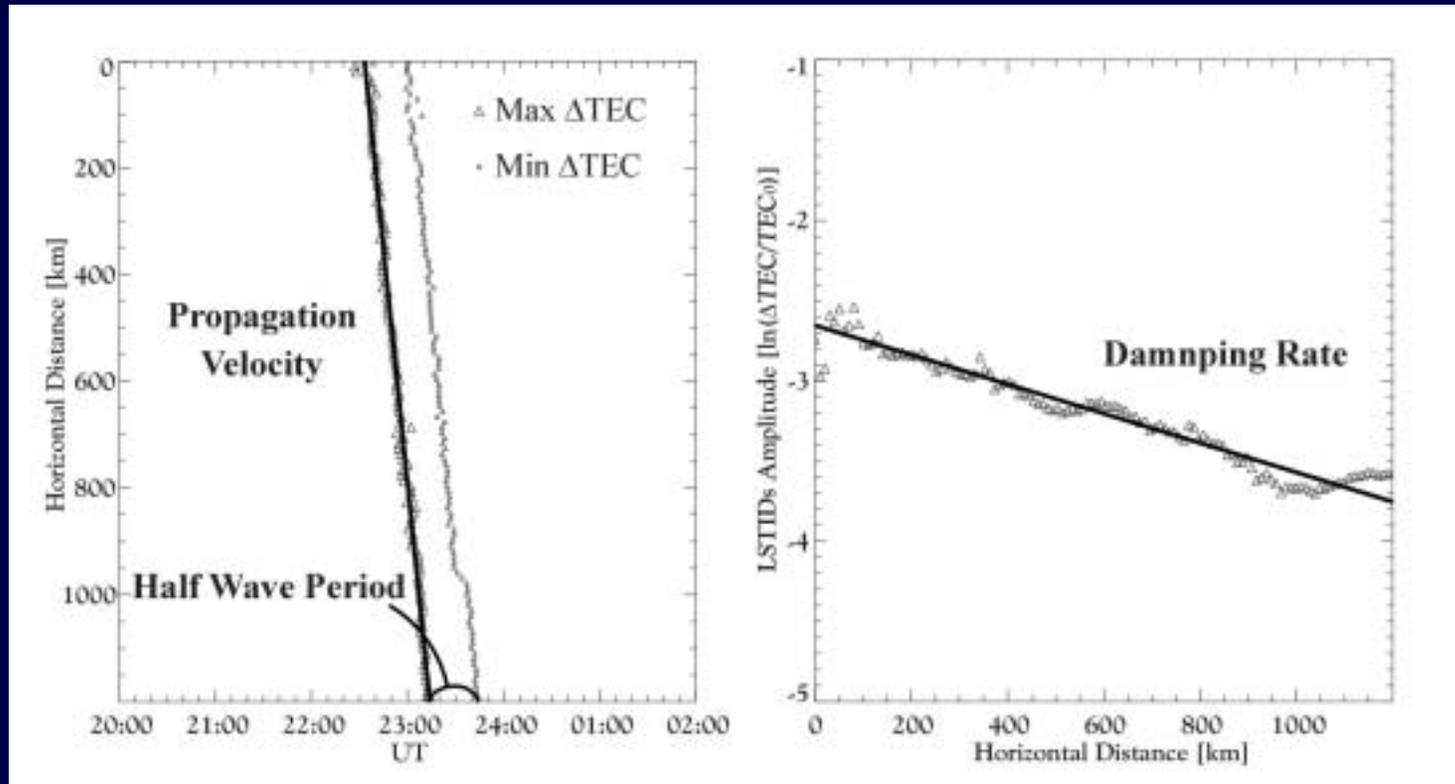
1999年(4 - 12月)・・・21例

2000年・・・50例

2001年・・・45例

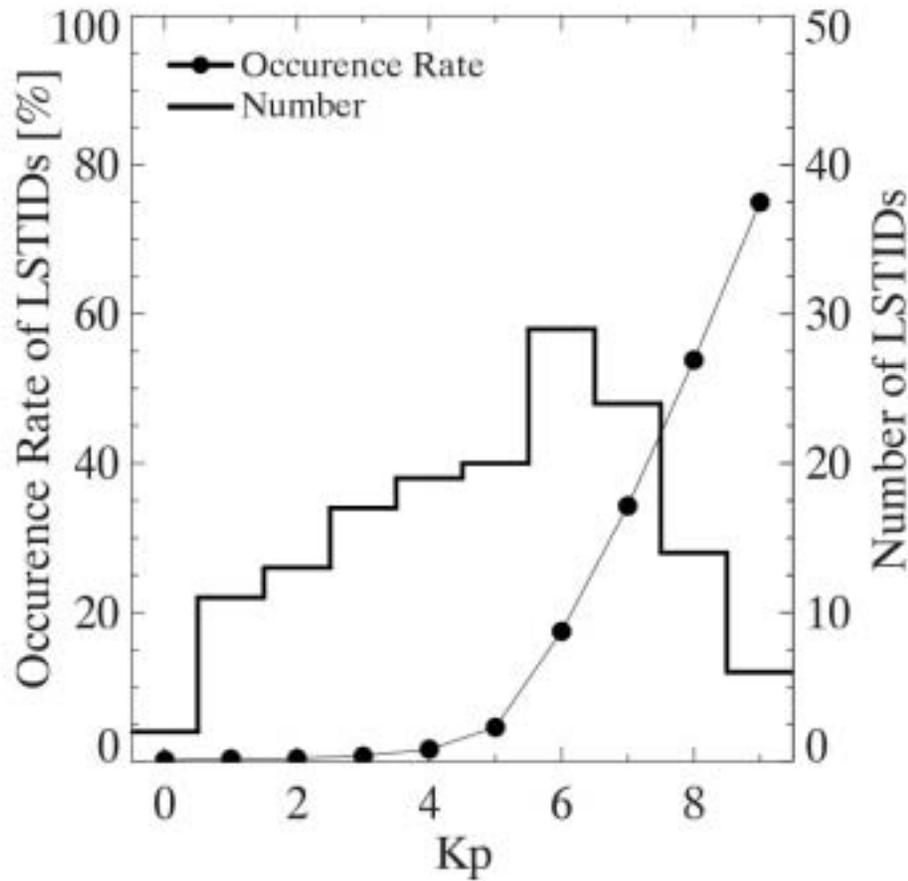
2002年・・・38例

正確に伝搬方向を決定できた58例について、LSTIDの減衰率、水平伝搬速度、周期を求めた。



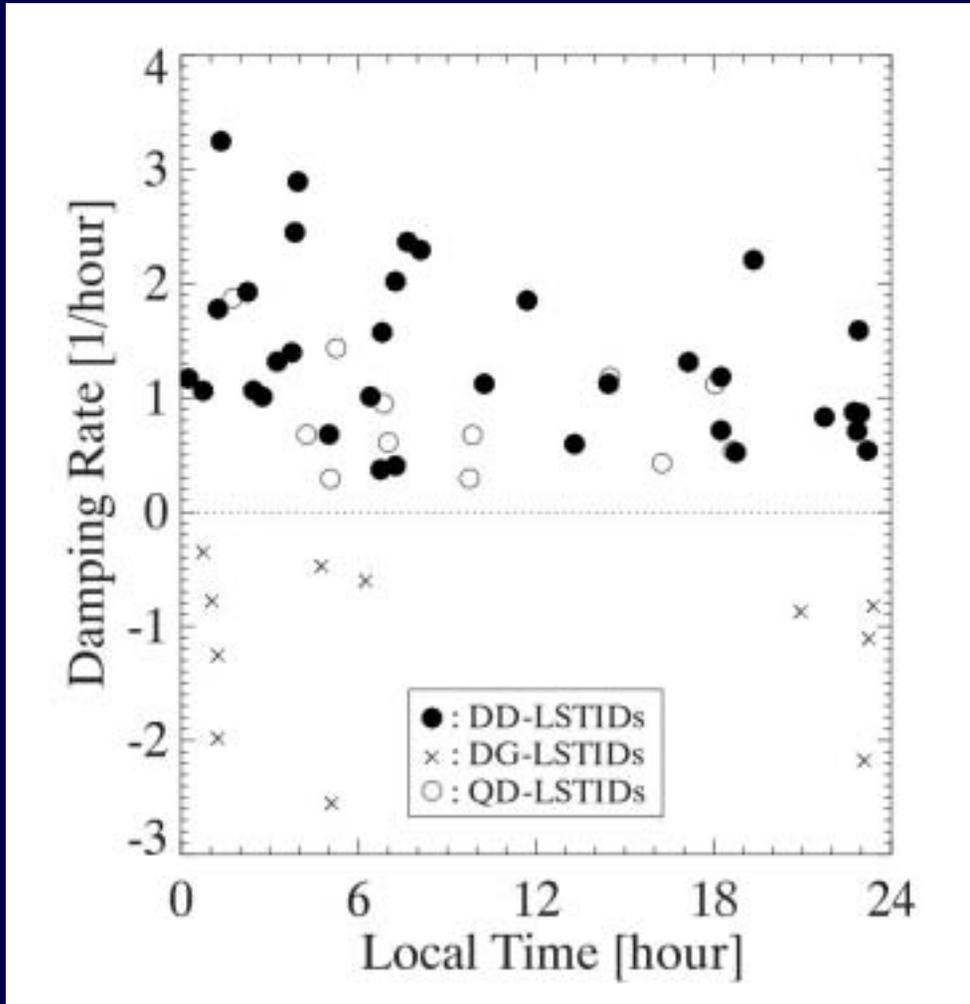
- 伝搬方向に沿う軸において、LSTIDの振幅が最大及び最小となる時刻を求め、その時間差の平均値からLSTIDの周期を求める(左図)。
- 振幅最大となる時刻の近似直線からLSTIDの伝搬速度を求める(左図)。
- 背景のTECに対する振幅の比( $\Delta\text{TEC}/\text{TEC}_0$ )がLSTIDの伝搬距離に対して減衰する割合から、距離に対するLSTIDの減衰率を求め、これに伝搬速度を掛けて、LSTIDの時間に対する減衰率を求める(右図)。

# LSTID発生率及び発生数のKp依存性



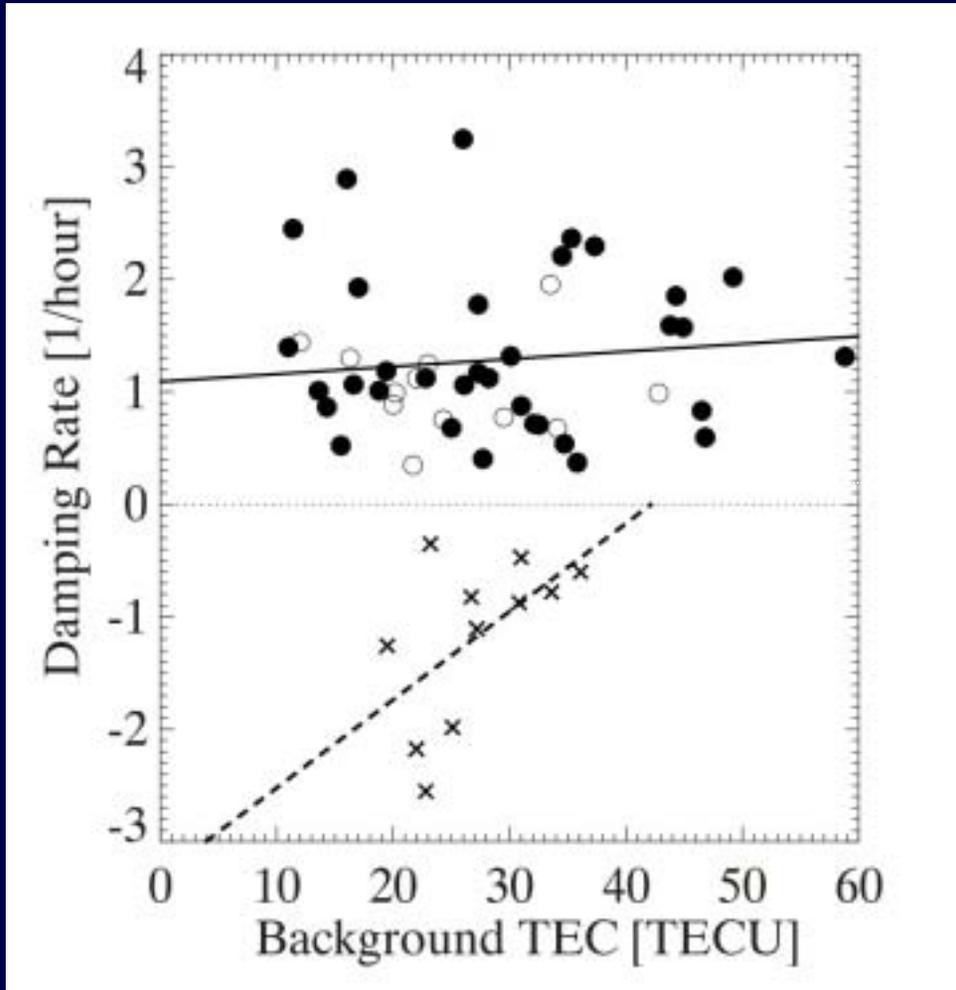
- LSTID発生率及び発生数のKp依存性。
- 出現率はKp指数と良い相関がある。
- 地磁気静穏時 ( $K_p \leq 3$ ) でも、LSTIDの出現数は43例と多い。

# LSTID減衰率のLT依存性



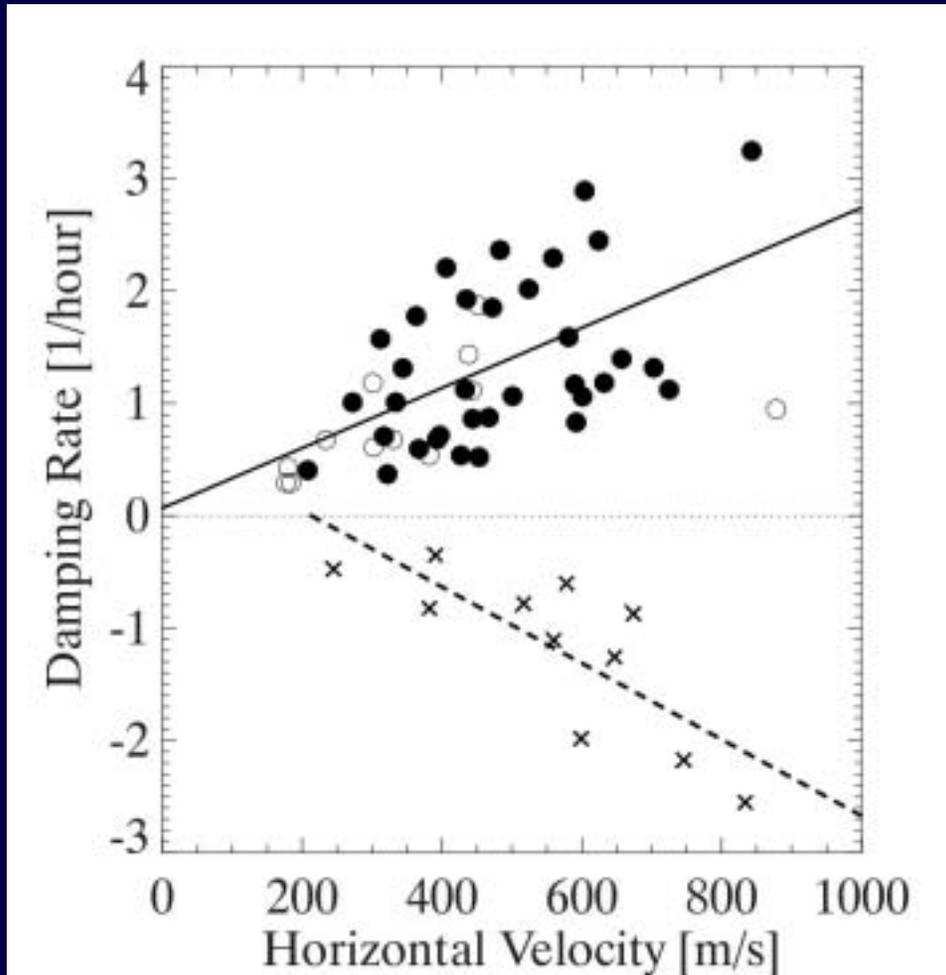
- LSTIDs減衰率のLocal Time分布。
- $K_p$ と減衰率の正負により3つのタイプに分類できる。
  1. Disturbed-time Damping LSTID (DD-LSTID)
  2. Disturbed-time Growing LSTID (DG-LSTID)
  3. Quiet-time Damping LSTID (QD-LSTID)

# LSTID減衰率の背景TEC依存性



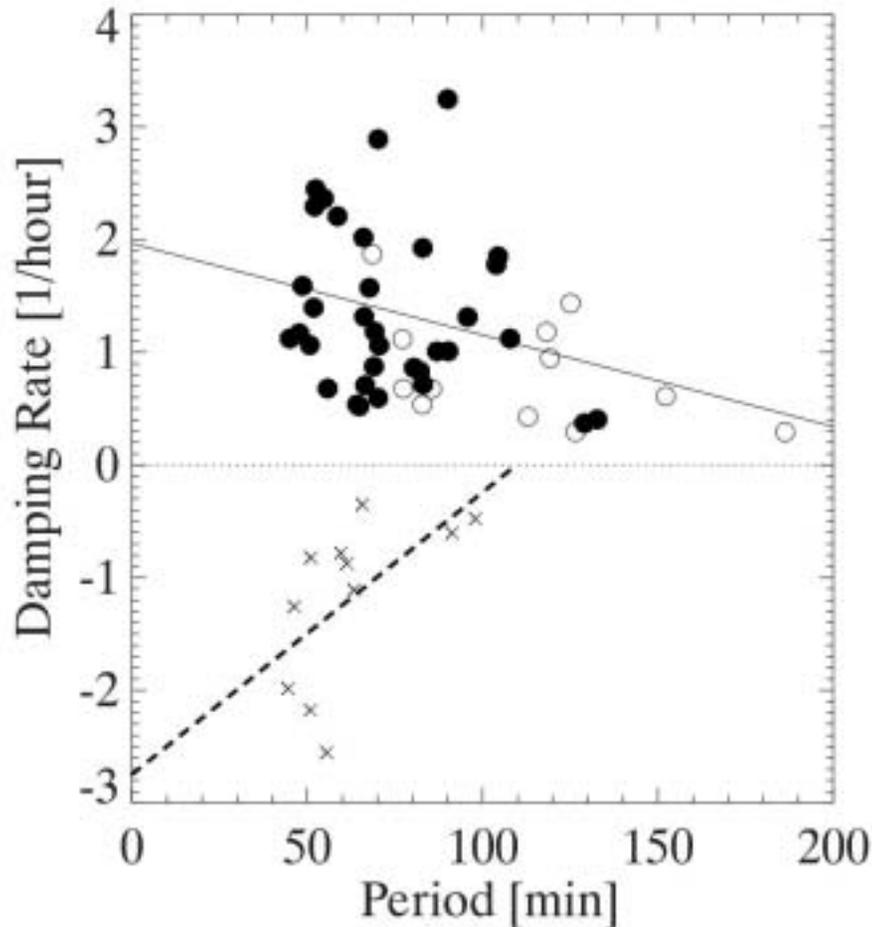
- 正負の減衰率とも、背景TECに対しての正の相関が見られるが、相関係数は低い。

# LSTID減衰率の水平伝搬速度依存性



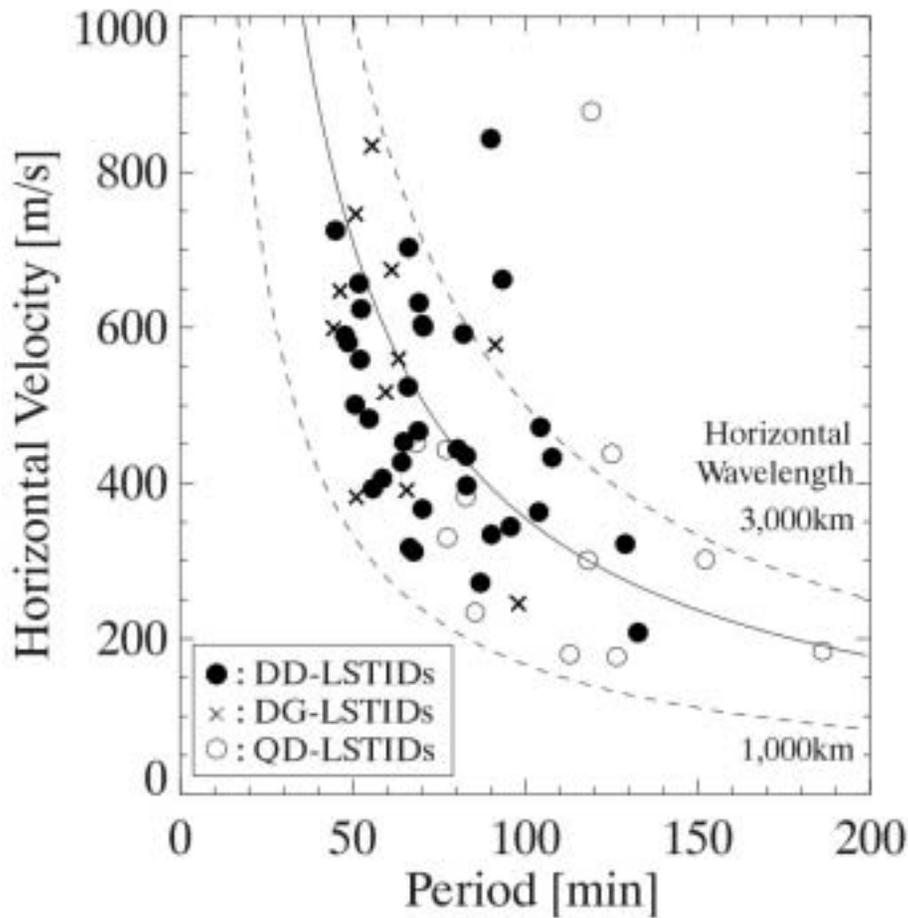
- LSTIDの水平伝搬速度が大きくなると、正の減衰率は増大し、負の減衰率は減少する傾向が見られる。
- 正負の減衰率とも、相関係数は最も大きい。

## LSTID減衰率の周期依存性



- 周期が大きくなると、正の減衰率は減少し、負の減衰率は増大する傾向が見られる。
- 正負の減衰率とも、相関係数は水平伝搬速度の次に大きい。

# LSTIDの水平速度と周期の関係

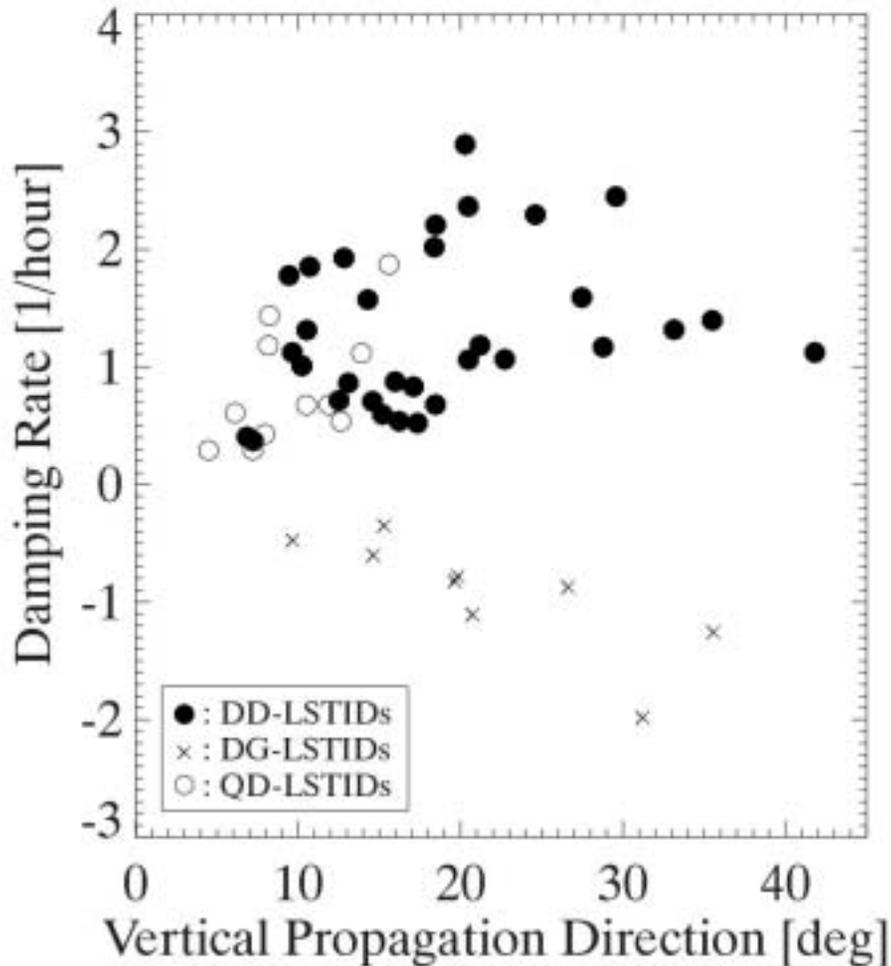


- 水平伝搬速度と周期が逆相関の関係にあり、水平波長が1,000 - 3,000kmと限られている。
- DD-LSTIDsは速度、周期とも広く分布しているのに対し、DG-LSTIDsは比較的周期が短く、速度が早い。
- QD-LSTIDsは比較的周期が長く、速度が遅い。

## 3タイプのLSTIDパラメータの平均値

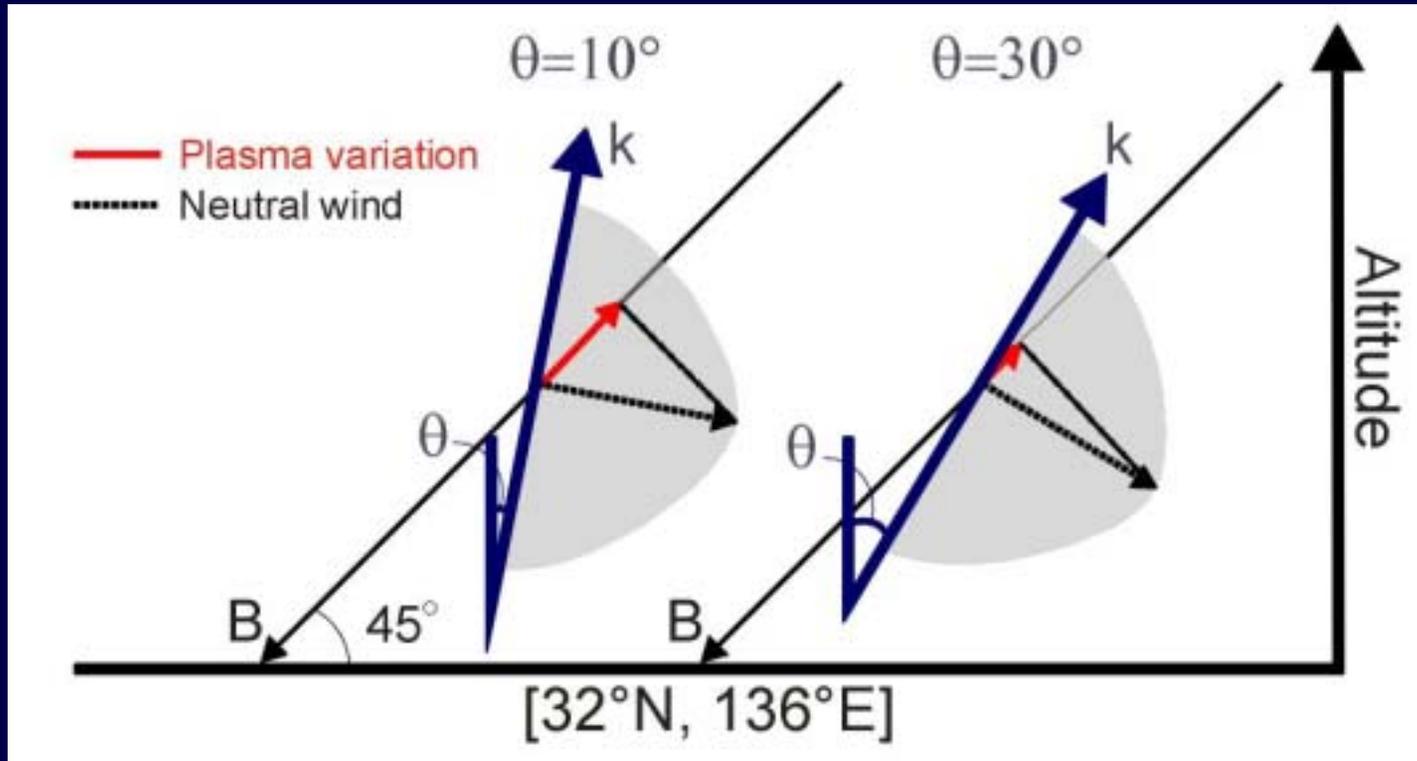
Parameter	All LSTIDs	DD-LSTIDs	DG-LSTIDs	QD-LSTIDs
$N$	58	35 (60%)	11 (19%)	12 (21%)
$\gamma$	0.81 hour <sup>-1</sup>	1.43	-1.18	0.84
$V_H$	475 m/s	487	561	358
$T$	80 min	75	63	111
$L_H$	2,131 km	2,108	2,021	2,301
$\alpha$	177°	176	181	175

# LSTID減衰率と大気重力波の鉛直伝搬方向の関係



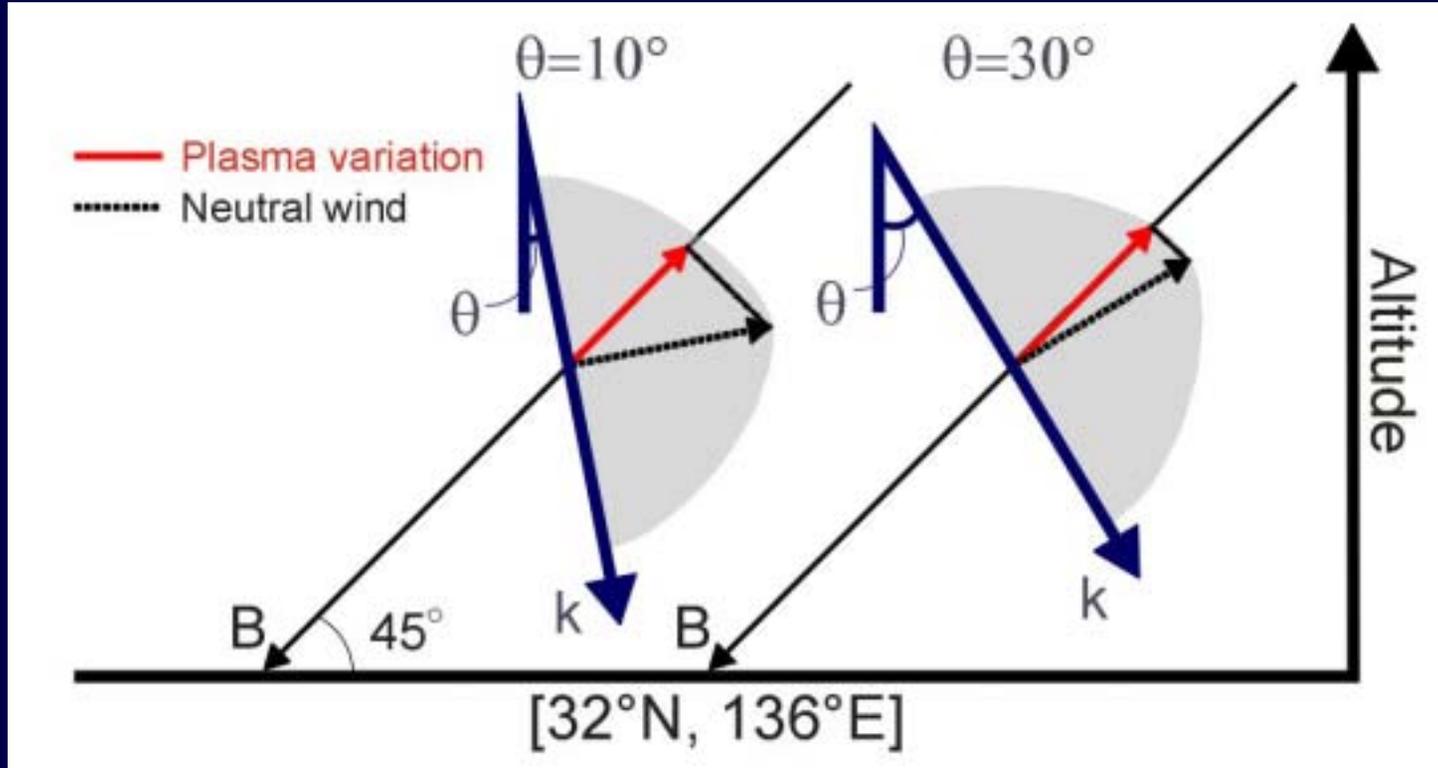
- 鉛直伝搬方向の傾き が鉛直方向から大きくなるにつれて、正の減衰率は増大し、負の減衰率は減少する傾向がある。
- ある に対し、大気重力波の鉛直伝搬方向は、理論的に上向き伝搬と下向き伝搬が可能。

# 上向き伝搬の大気重力波による Damping LSTID



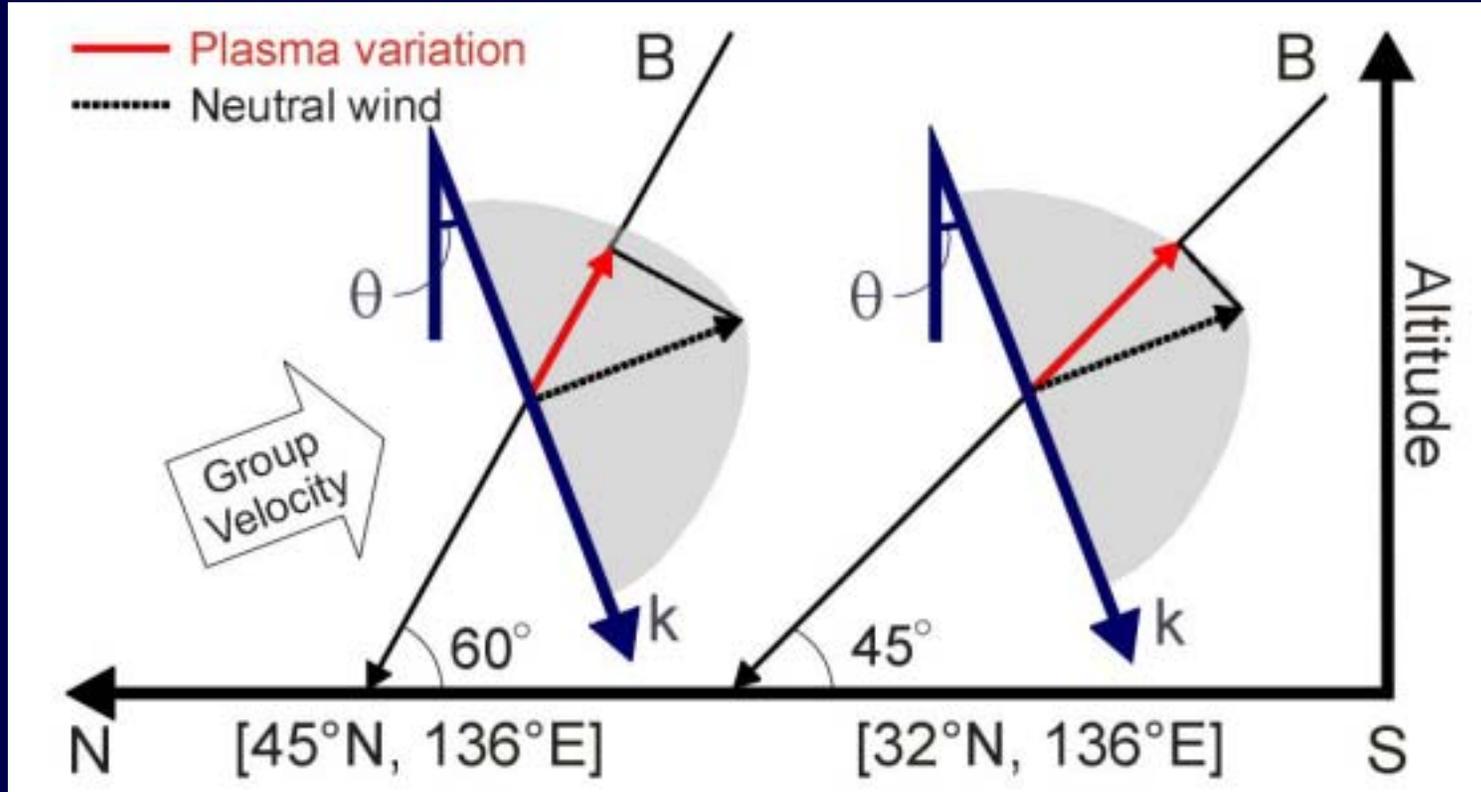
大気重力波が鉛直上向き伝搬と考えると、日本上空においては  $\theta$  が大きくなるにつれて、重力波内の中性風変動は磁力線に直交していくので、イオンドラッグの効果が大きくなり、減衰率が増大する。

# 下向き伝搬の大気重力波による Growing LSTID



大気重力波が鉛直下向き伝搬と考えると、日本上空においては  $\theta$  が大きくなるにつれて、重力波内の中性風変動は磁力線に沿っていくので、イオンドラッグの効果が小さくなり、減衰率が減少する。

# 下向き伝搬の大気重力波による Growing LSTID

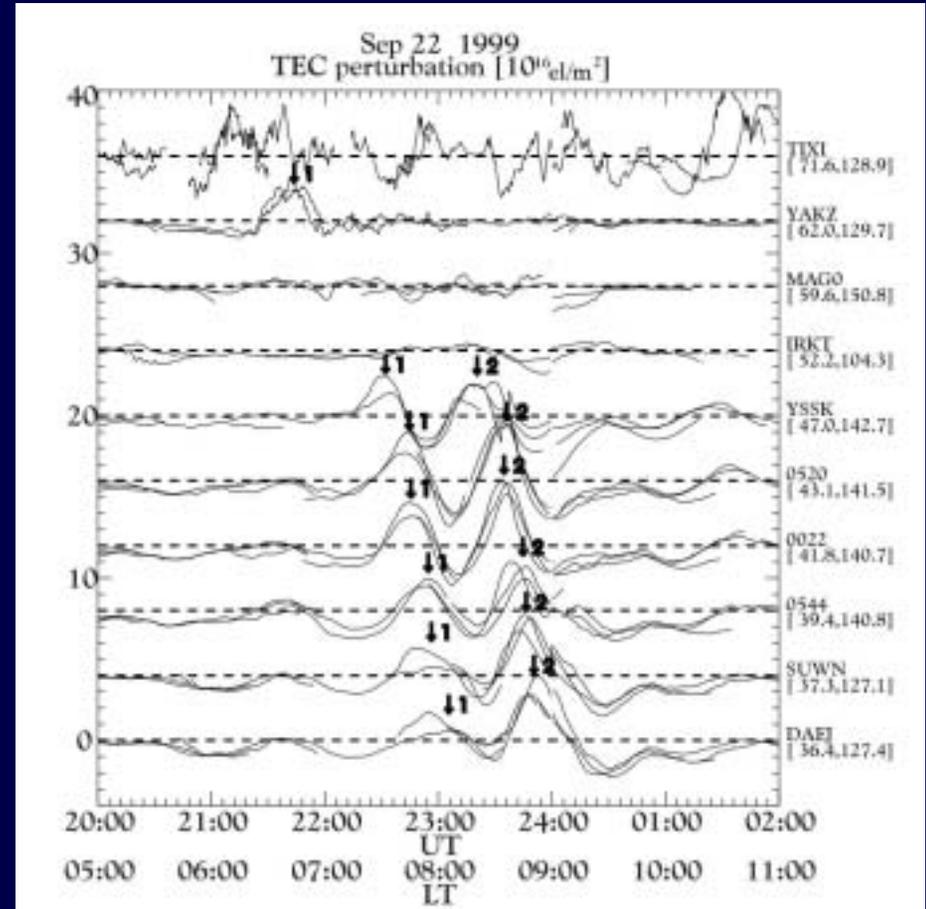
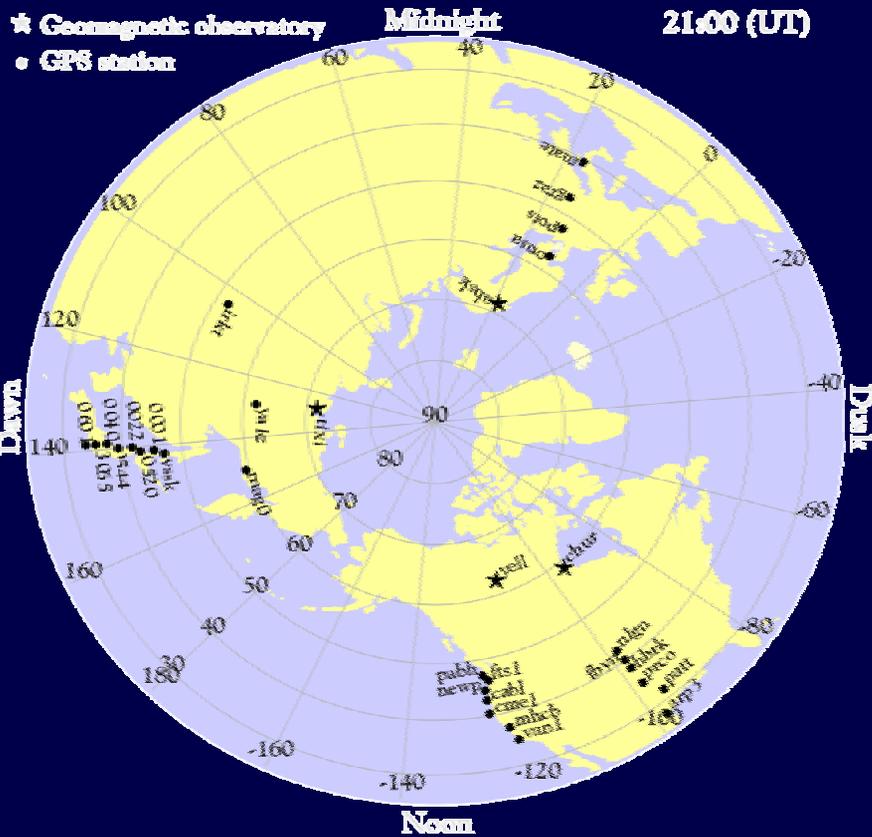


日本上空では、南に伝搬するにつれて地磁場の伏角が小さくなるので、一定の  $k$  に対しては、磁場に沿うプラズマ変動が大きくなり、逆にイオンドラッグ効果は弱まる。 LSTIDsの伝搬に伴う振幅の増大。

## LSTIDの統計解析のまとめ

- LSTIDの出現率はKp指数とよい相関をもつ。しかし、地磁気静穏時の場合でも出現数は全体の28%であり、必ずしも大きな地磁気擾乱だけでLSTIDが出現するものではない。
- LSTIDの減衰率は、大気重力波の鉛直伝搬方向に大きく依存する。日本上空の地磁場の伏角を考慮すると、正の減衰率及び負の減衰率を持つLSTIDは、それぞれ鉛直上向き及び下向き伝搬する大気重力波によって引き起こされたと考えられる。
- 地磁気擾乱度と減衰率の正負によって、観測されたLSTIDは3つのタイプに分類できる。3タイプのLSTIDは、水平伝搬速度、周期にも異なる傾向が見られ、ソースの特性を反映していることが考えられる。

# 3. Global GPS Networks



# 日本より高緯度のGPS受信機網



## 4. 今後の課題と中緯度短波レーダーへの期待

- GEONETを利用した高密度2次元TEC観測により、LSTIDの正確な伝搬方向、速度、周期、減衰率が測定可能になった。

伝搬距離、伝搬機構の観測的解明。

- 中緯度のregionalなGEONETだけでは、LSTIDのソース、経度幅は直接観測はできず、推定の域を出ない。  
より高緯度、広範囲な観測網を用いた研究が必要。  
日本と同経度の高緯度では、GPS受信機を含め、常時運用される電離圏観測機器が密に存在しない。  
中緯度短波レーダーのground backscatter を利用した大気重力波観測により、LSTIDのソース、経度幅の研究。