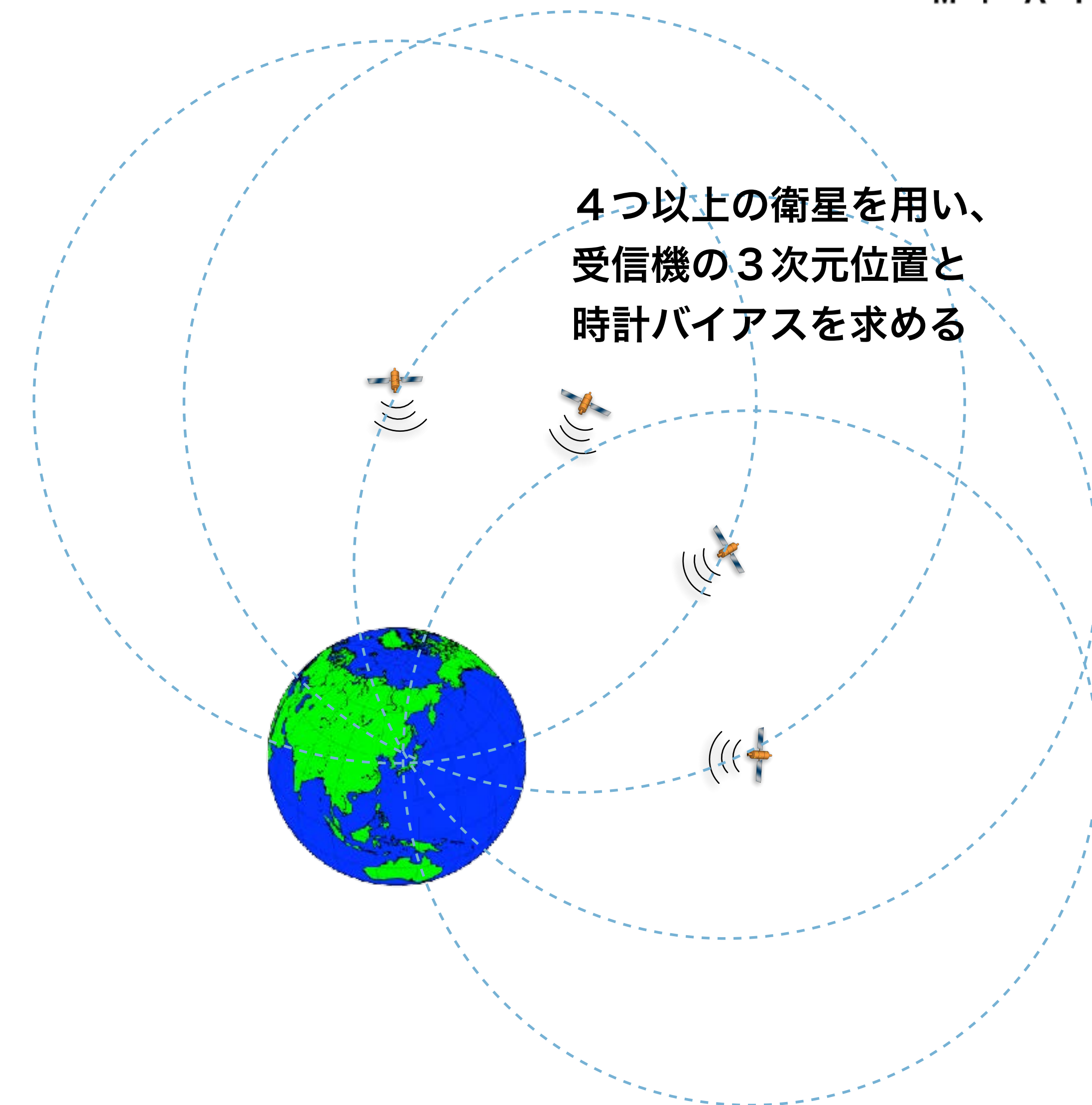


宇宙天気と衛星測位： 影響を与えるメカニズムと障害の内容

海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所

齋藤 享

- * 複数の衛星から放送される信号の伝播時間を測定し衛星との距離を測定し、受信アンテナの位置と受信機の時刻を決定する。
- * 3次元位置と時刻を決定するため、最低4つ以上の衛星が必要。
 - 一般的に、使用可能衛星数が多く、天球上に均等に分布しているほど、測位誤差が小さくなる。



衛星航法における測定量と誤差

測定量
 疑似距離 $\rho = r + c[\delta t_u - \delta t^s] + I_\rho + T_\rho + \epsilon_\rho$
 幾何学的距離 r 電離圏遅延 I_ρ 対流圏遅延 T_ρ マルチパス、受信機ノイズ等 ϵ_ρ
 時計誤差 $\delta t_u - \delta t^s$
 位相 $\phi = \lambda^{-1} [r + I_\phi + T_\phi] + \frac{c}{\lambda} [\delta t_u - \delta t^s] + N + \epsilon_\phi$
 時計誤差 $\delta t_u - \delta t^s$ 整数不定性 N
 電離圏遅延 $I_\rho = -I_\phi = \frac{40.3 \cdot TEC}{f^2}$ 衛星・受信機間の全電子数[m⁻²]

* 電離圏遅延

- 1周波ユーザーにとって大きな誤差要因
- 2周波ユーザーは消去可能（ただし、雑音が約2.6倍に増加する）

* 信号雑音比の劣化

- ランダム誤差の増加
- 信号ロックオフ

誤差要因	誤差
電離圏遅延	垂直換算で数m～数10 m 衛星仰角により最大3倍程度の変動。
対流圏遅延	垂直換算、海面高度で2.3～2.6 m 衛星仰角により最大10倍程度の変動。 モデルによる補正が有効
衛星時計誤差（放送暦補正後）	約3 m
コード疑似距離ランダム誤差（受信機雑音、マルチパス）	0.5～1.0 m（衛星仰角、信号雑音比によって変動）
位相疑似距離ランダム誤差（受信機雑音、マルチパス）	0.5cm～1.0 cm（衛星仰角、信号雑音比によって変動）

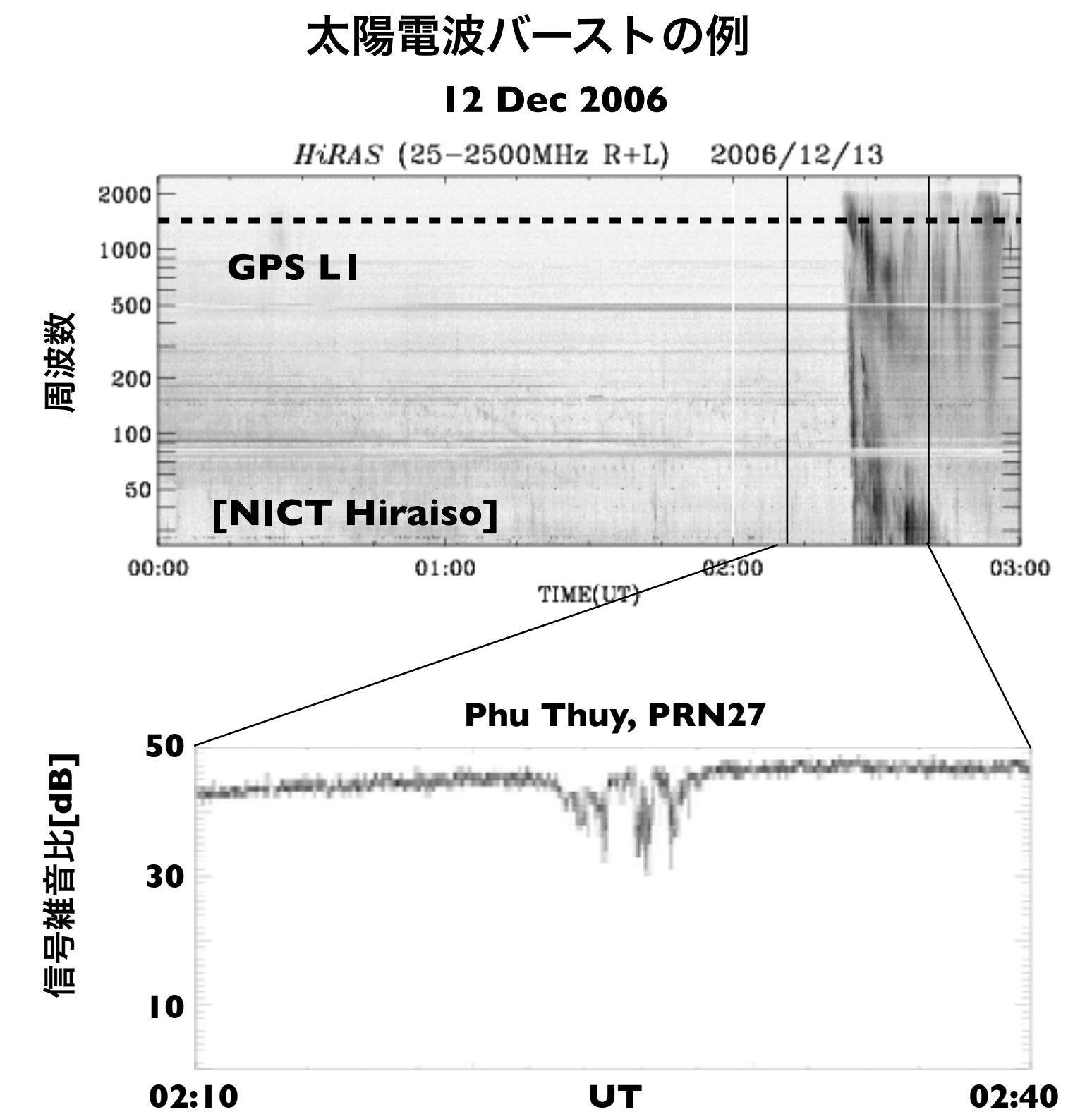
* 電離圏変動（擾乱）

- 電離圏遅延量が通常状態から大きく変動しモデルによる補正の誤差が大きくなる
- 電離圏遅延量が空間的に大きく変動し、ディファレンシャル補正*の誤差が大きくなる
- 電離圏不規則構造により、信号強度、位相が不規則に変動し、測距精度の劣化、信号のロックオフが発生する（シンチレーション）

* 太陽電波バースト

- Lバンドの成分を含む太陽電波バーストにより、信号雑音比が劣化し、測距精度の劣化、信号のロックオフが発生する

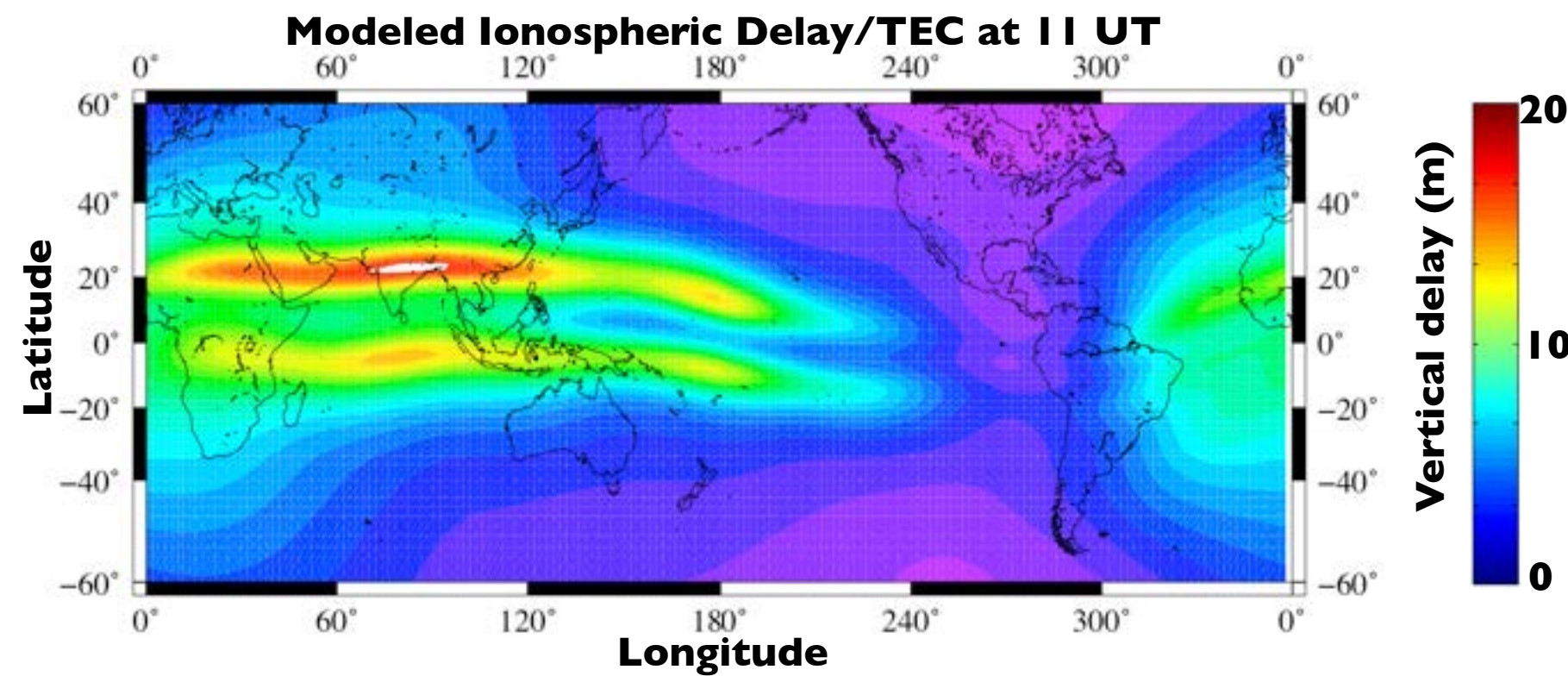
*ディファレンシャル補正：位置が既知の基準受信局の測定値を元にユーザーの測定値を補正する方法



- * 衛星測位を用いた測位手法には目的によって様々なものがあり、電離圏の影響も手法によって異なる。
- * 手法の要素
 - 1周波/2周波、単独/相対、通常/精密
- * 手法による特性
 - 1周波測位では、電離圏遅延量変動そのものが誤差要因となる
 - 相対測位では、基準局との電離圏遅延量差が誤差要因となる
 - 精密測位では、センチメートル級の誤差要因が問題となりうる
 - 全手法に共通し、信号雑音比の劣化による測距精度が劣化、信号ロックオフによる衛星数の減少、測位精度の劣化が問題となりうる

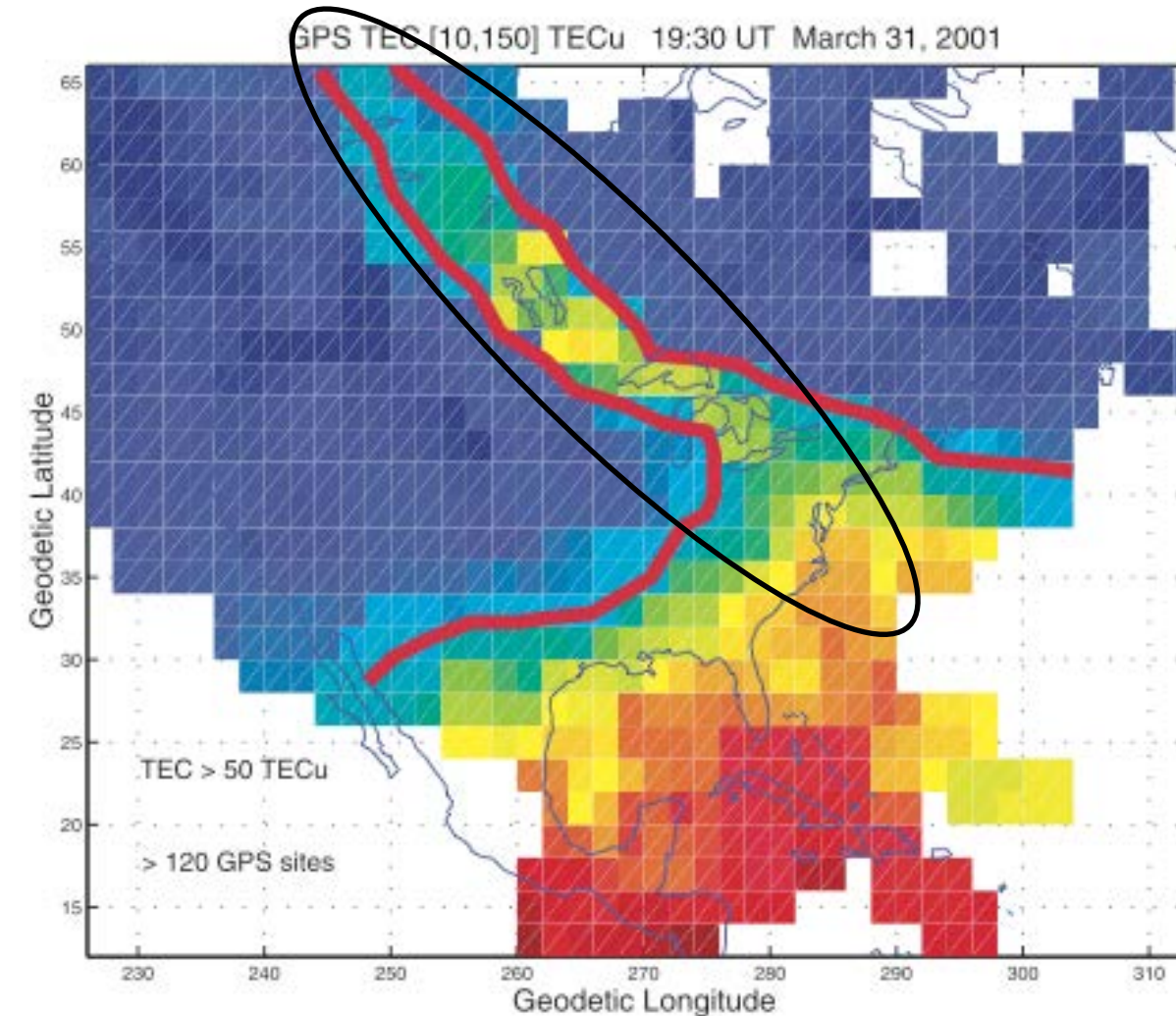
電離圏変動の例 (I)

正相嵐/負相嵐



- * 電離圏全電子数が通常に比べて大きく変動する

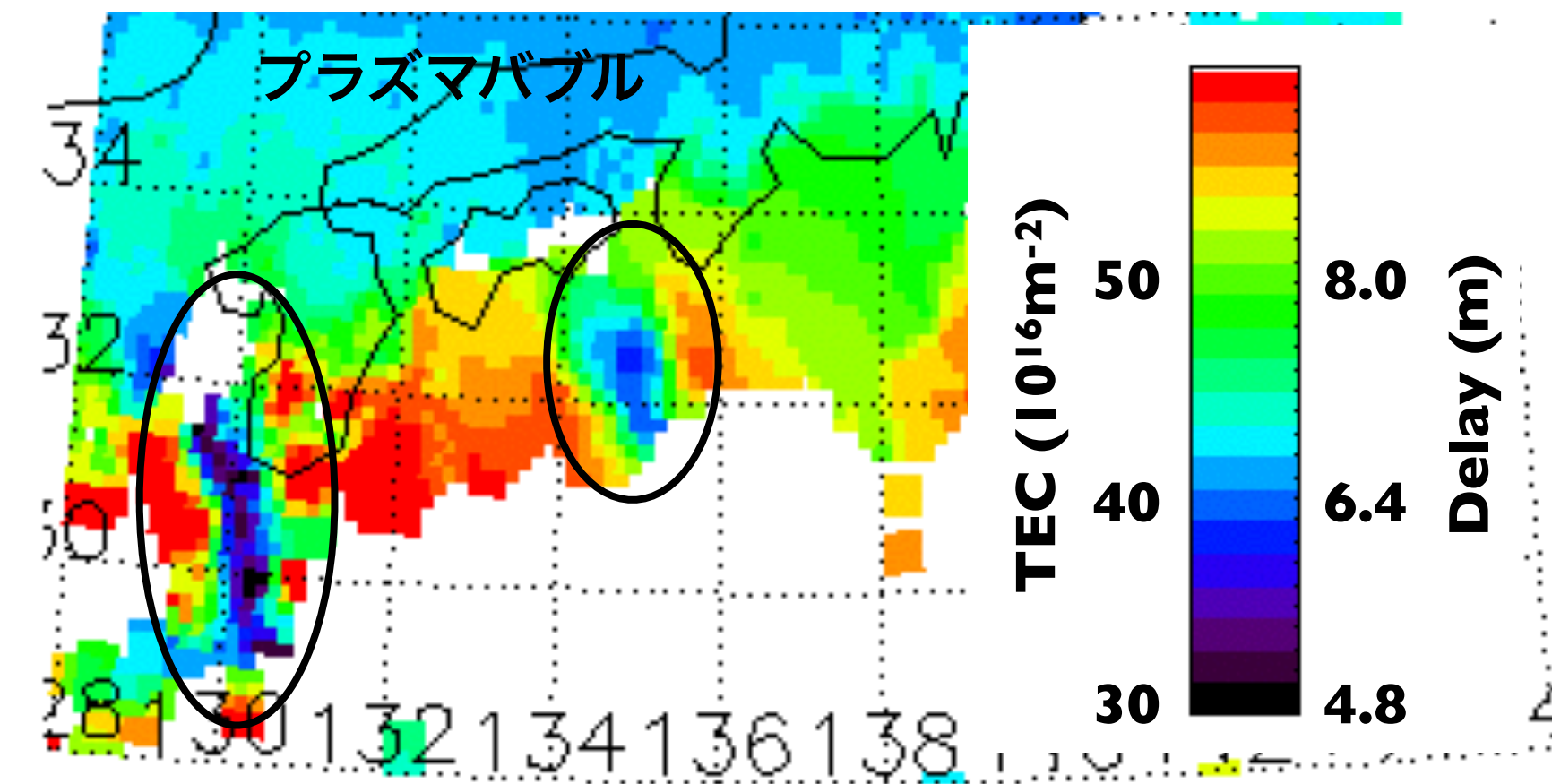
SID/SIPS



[Foster et al., 2002]

- * 磁気嵐に伴い、電離圏密度増大領域が低緯度から極域に向かって伸びる
- 正相嵐+空間変動

プラズマバブル

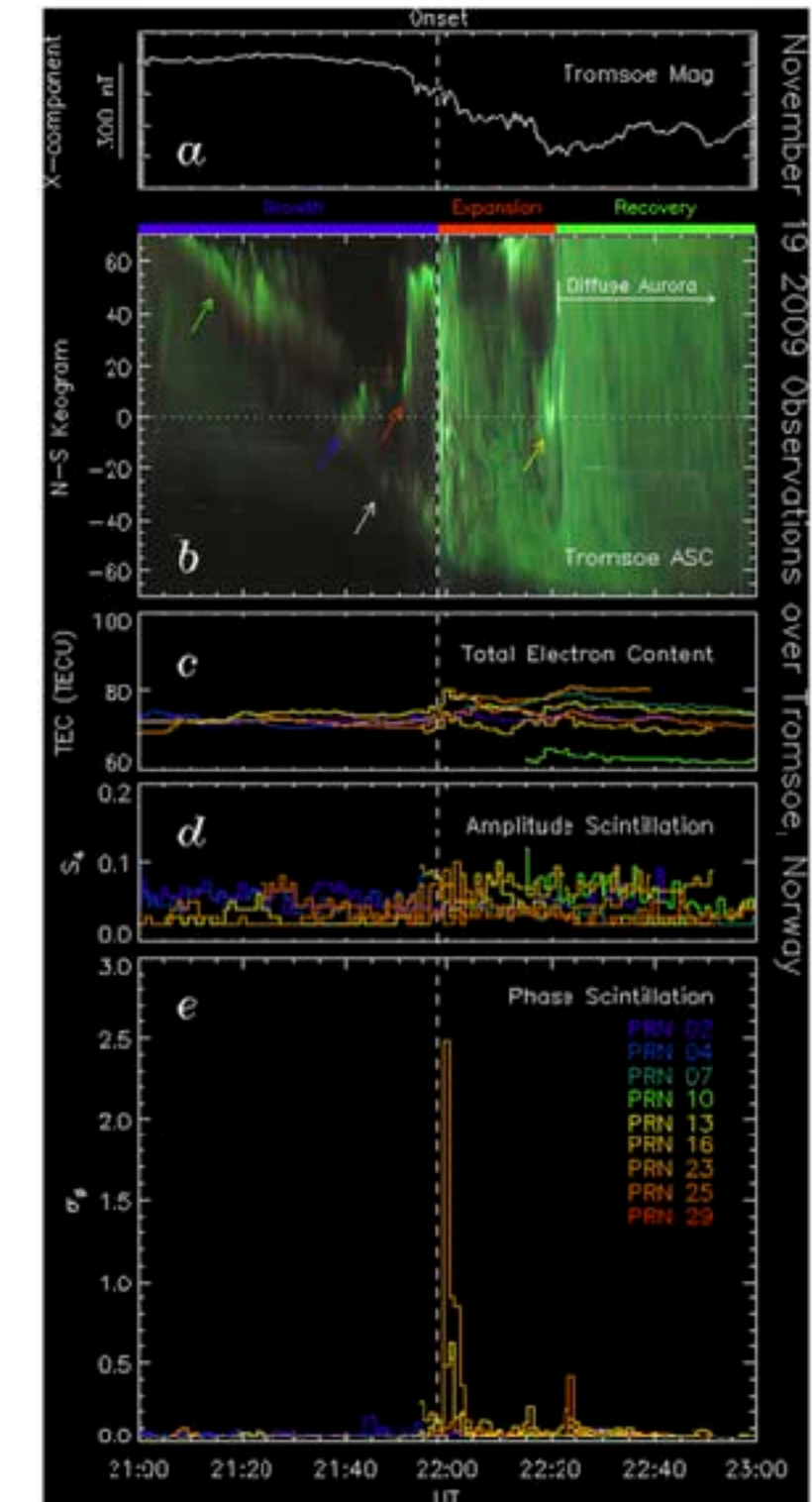
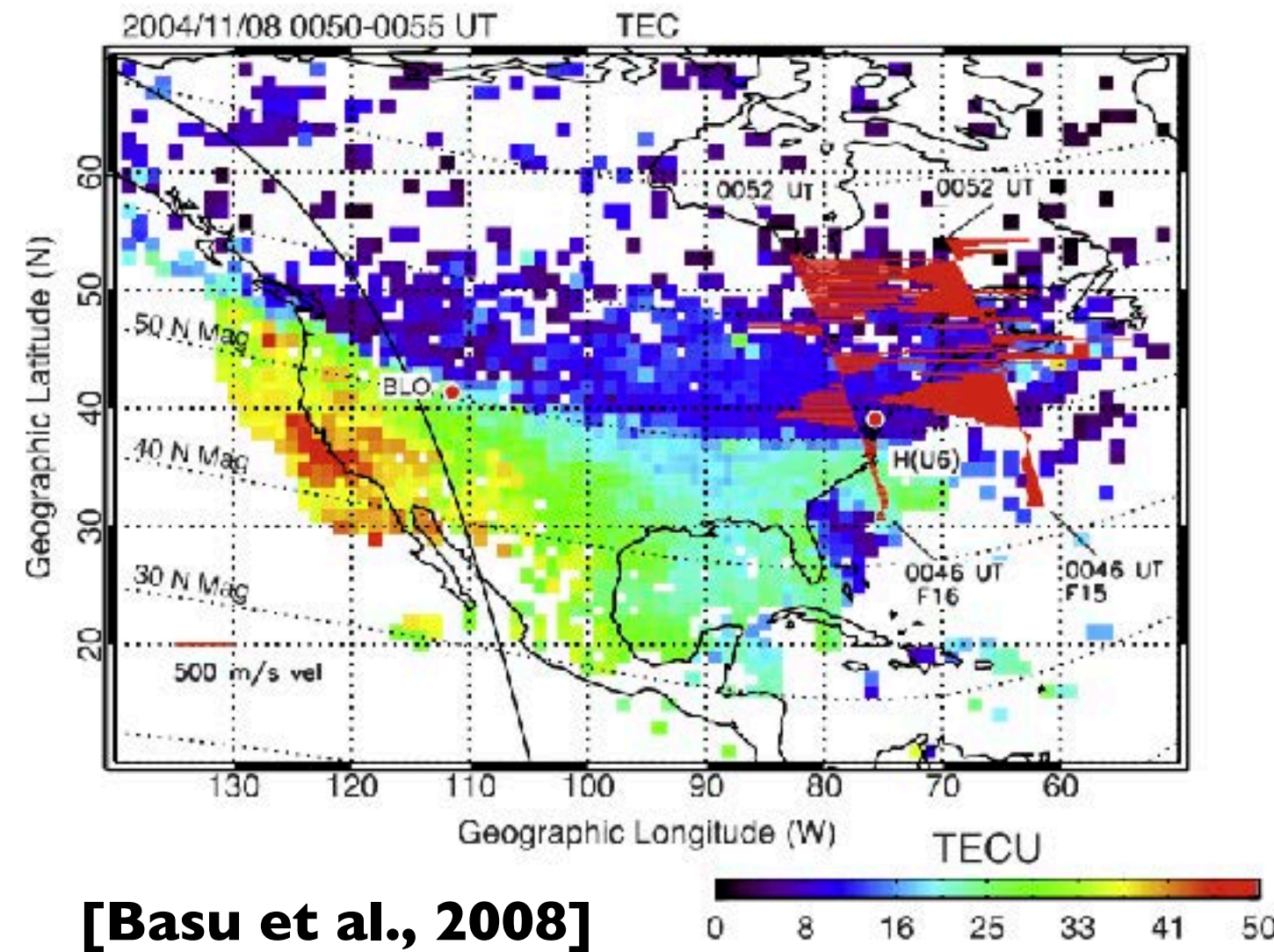
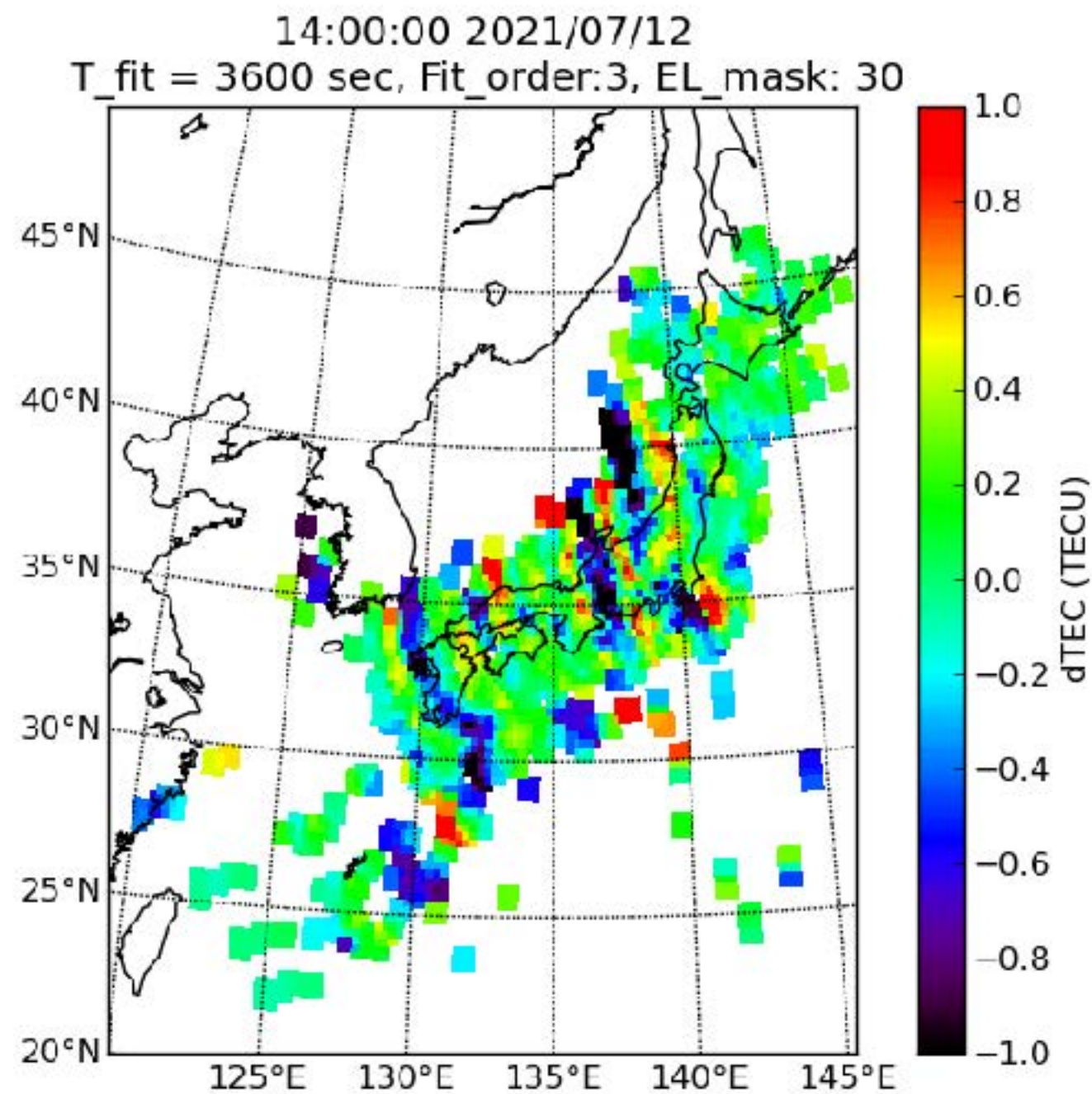


- * 磁気赤道付近で発生した電離圏密度減少領域が極方向に伸びる
- 空間変動+シンチレーション

電離圏変動の例 (2)

中規模伝播性電離圏擾乱(MSTID)

オーロラ関連現象



オーロラ
発光

強度シンチ
レーション

位相シンチ
レーション

[Hosokawa et al., 2014]

- * 数100km規模で電離圏全電子数が1TECU(16cm@LI)規模で変動しつつ伝播する
 - 空間変動

- * オーロラに伴う電離、サブオーロラ帯のプラズマ流速増大
 - シンチレーション

電離圏の効果		電離圏全電子数					電離圏不規則構造	
		電離圏遅延		電離圏遅延空間勾配			強度シンチレーション	位相シンチレーション
電離圏現象		正相嵐	負相嵐	SED/SIPS	プラズマバブル	MSTID	プラズマバブル	オーロラ
1周波	単独	✓	✓	✓	✓		✓	✓
	相対			✓	✓		✓	✓
1周波 (精密)	相対 (位相)			✓	✓	✓	✓	✓
	単独			✓	✓	✓	✓	✓
2周波	単独						✓	✓
	相対					✓	✓	✓
2周波 (精密)	相対 (位相)			✓	✓	✓	✓	✓
	単独			✓	✓	✓	✓	✓