

バンド幅合成処理ソフトウェア (KOMB)の広帯域化(完結編) Development of Wideband Bandwidth- Synthesis Software (Final)

情報通信研究機構鹿島宇宙技術センター

近藤哲朗

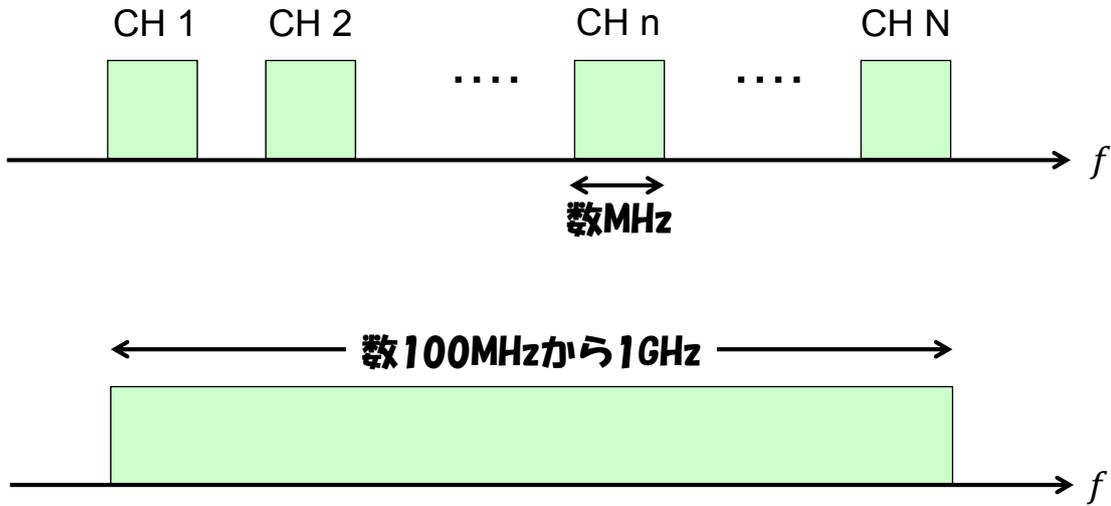


今回の中身

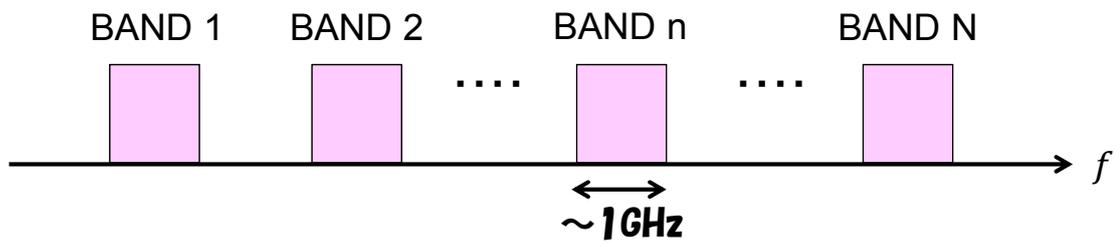
- 前回PCAL信号を使用しない広帯域バンド幅合成の手法を報告した
- 今回は電離層補正の手法も含めて処理プログラム KOMBの改修を終えたので、電離層補正を中心に報告する



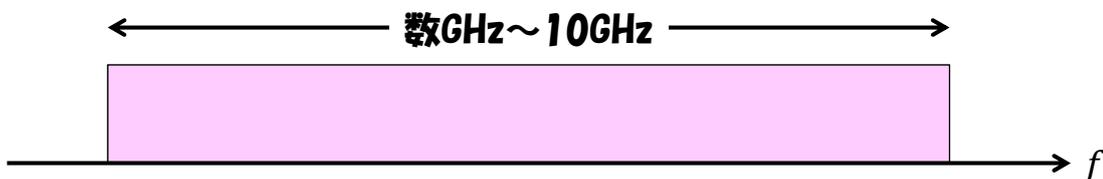
従来のバンド幅合成



広帯域バンド幅合成



今までのバンド幅合成のスケール 



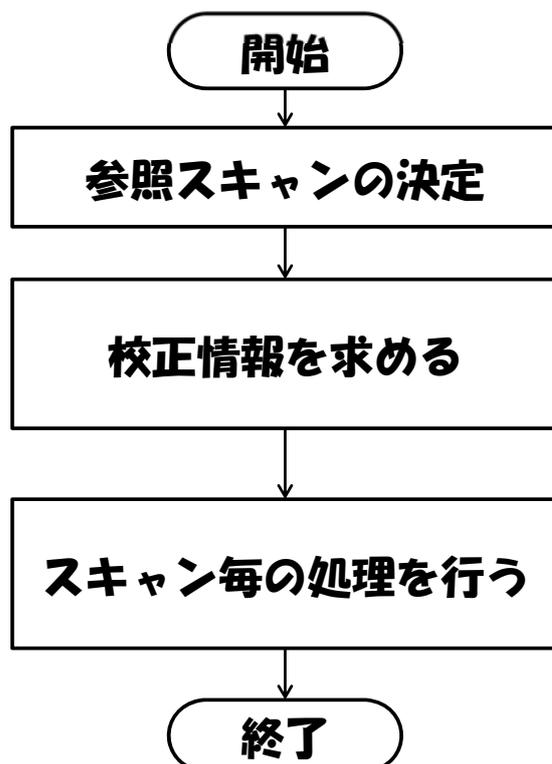
広帯域バンド幅合成手法

1. まず基準とする観測（スキャン）を1つ決める
2. バンド毎に処理をして
 1. バンド間遅延差を求める
 2. バンド内位相特性差を求める
3. こうして得られた補正データで他の観測（スキャン）も処理する
4. 広帯域バンド幅合成後の位相スペクトルを用いて観測（スキャン）毎の電離層補正を行う

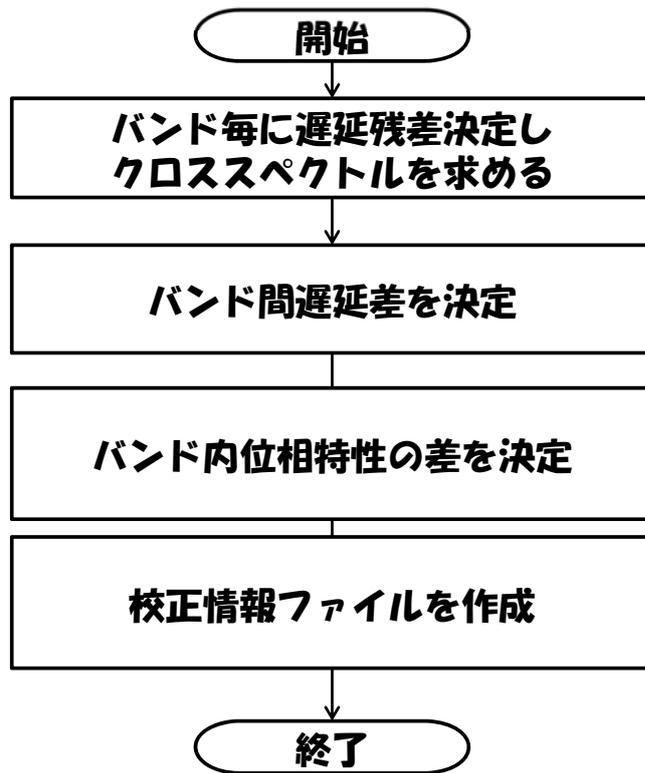
システムがある程度安定であることを仮定している



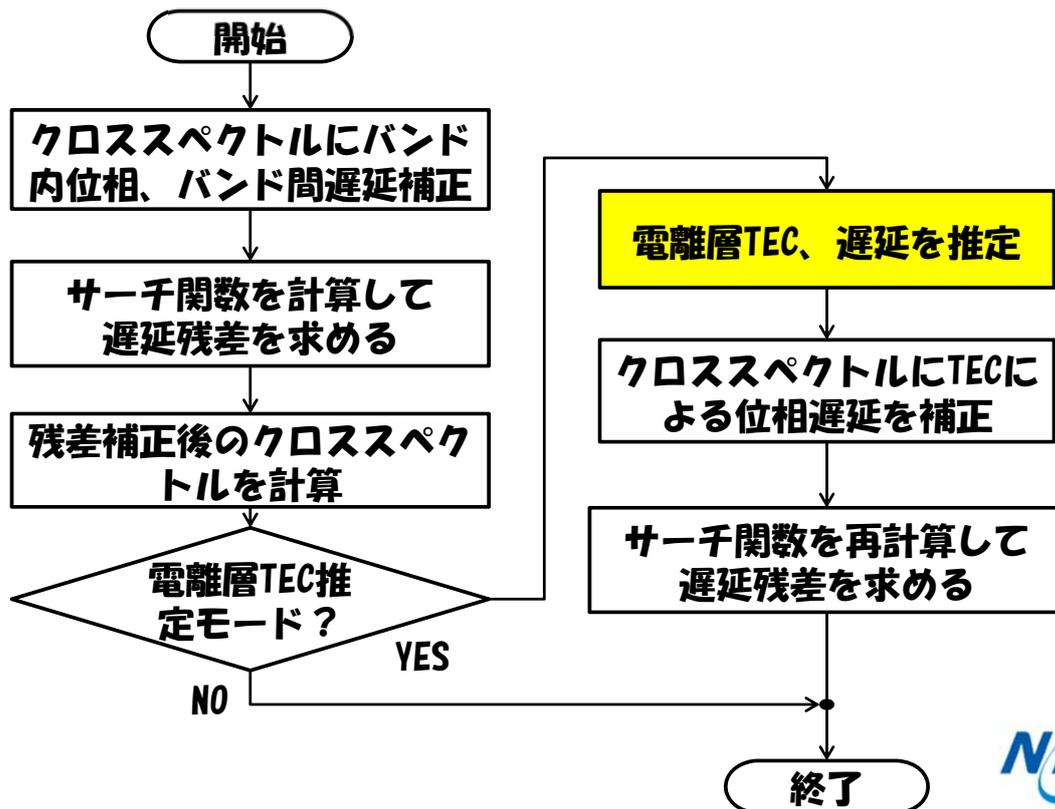
処理方法の簡単なまとめ



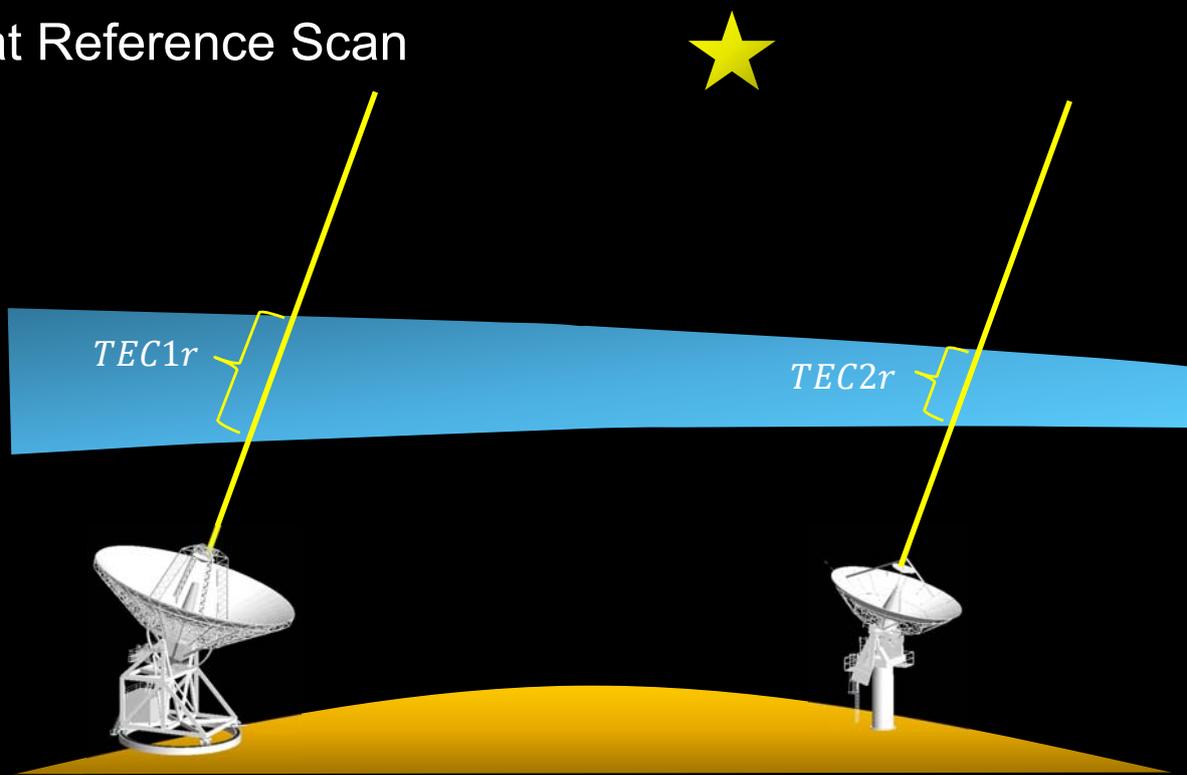
校正情報の求め方



スキャンごとの処理



at Reference Scan

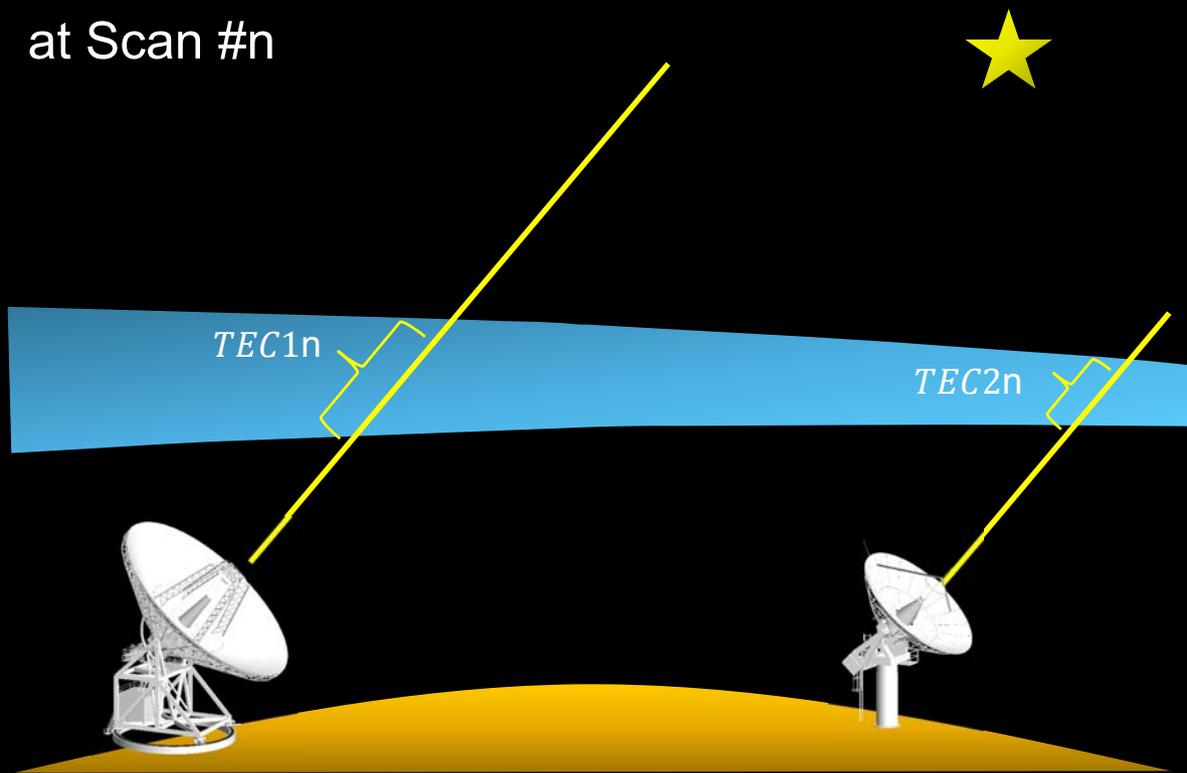


$$\Delta TEC_r = TEC_{1r} - TEC_{2r}$$

これは位相校正情報に含まれてしまう

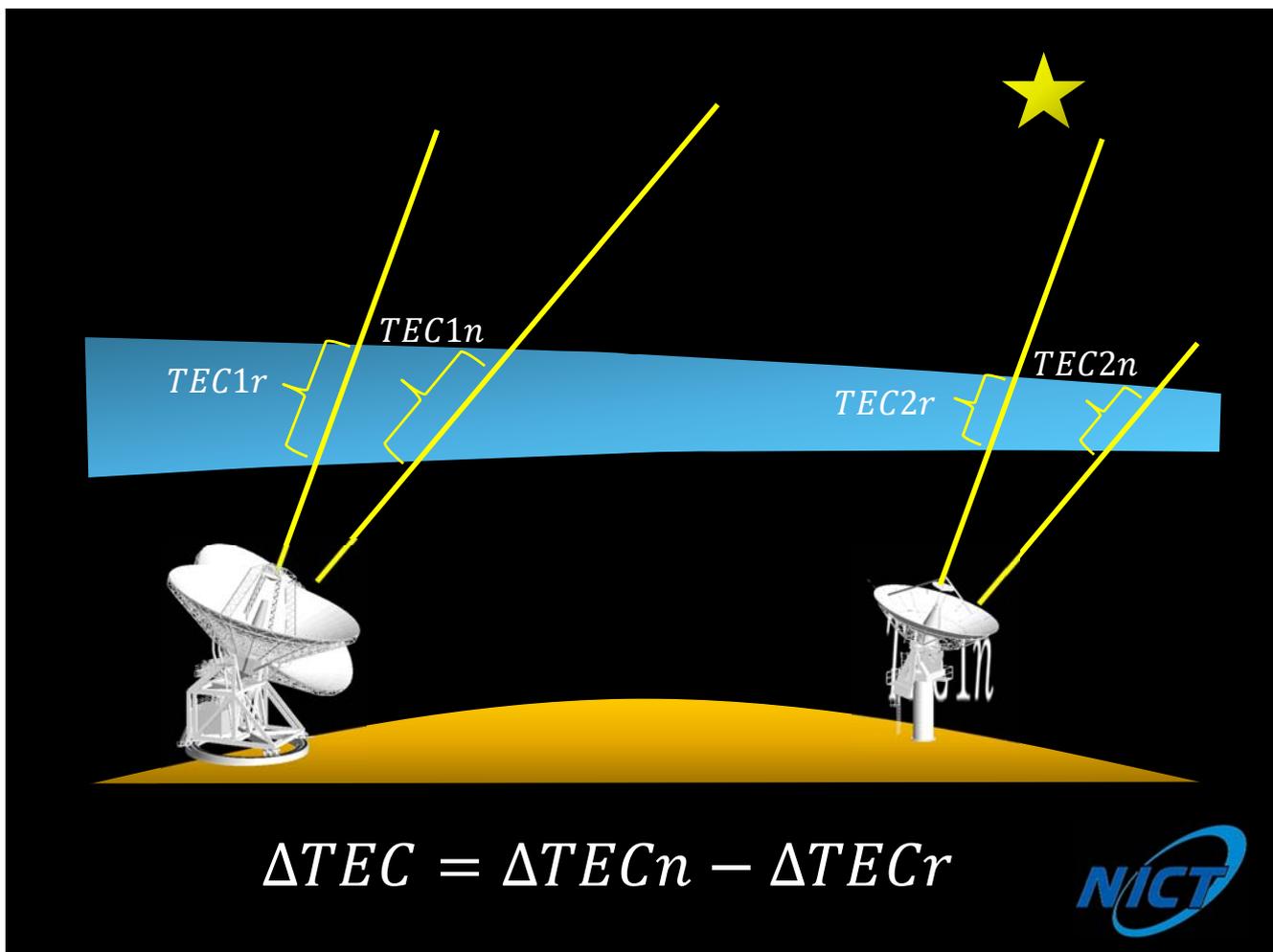


at Scan #n



$$\Delta TEC_n = TEC_{1n} - TEC_{2n}$$

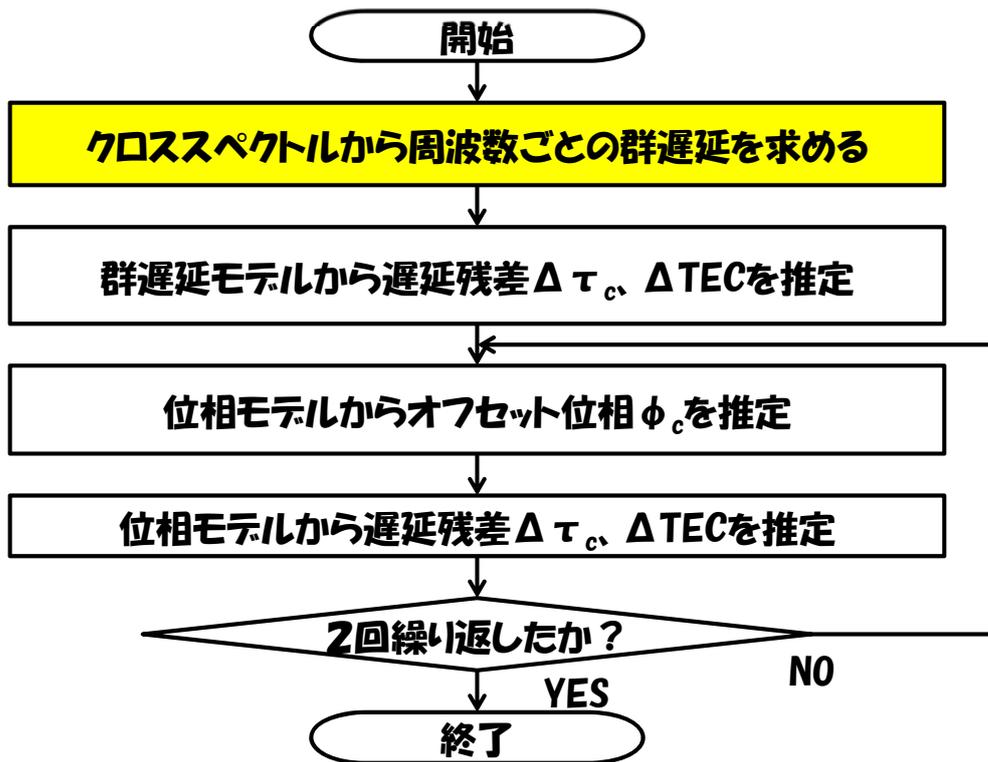




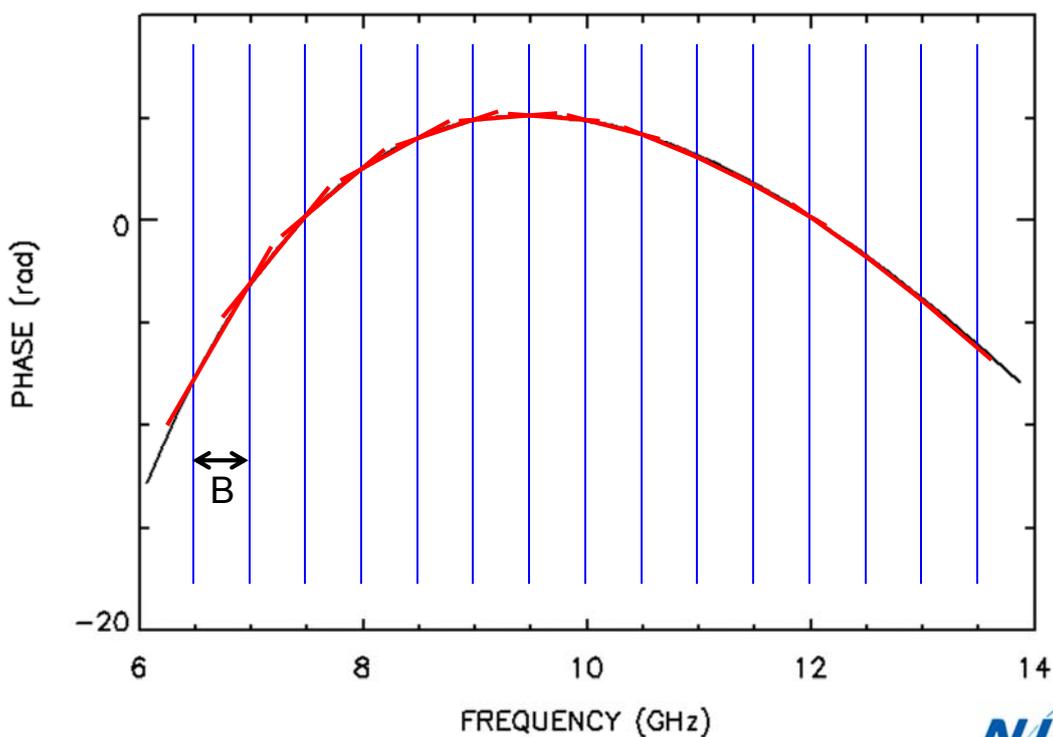
電離層補正手法

1. クロススペクトルから群遅延（の周波数特性）を計算
2. 群遅延モデルから遅延残差 $\Delta\tau_c$ 、 ΔTEC を推定
3. 位相モデルからオフセット位相 ϕ_c を推定
4. 位相モデルで ϕ_c を固定して、 $\Delta\tau_c$ 、 ΔTEC を推定
5. 3. 4のプロセスを計2回繰り返す
6. クロススペクトルに ΔTEC の補正を行う
7. 再度、遅延残差、遅延変化率残差を求める

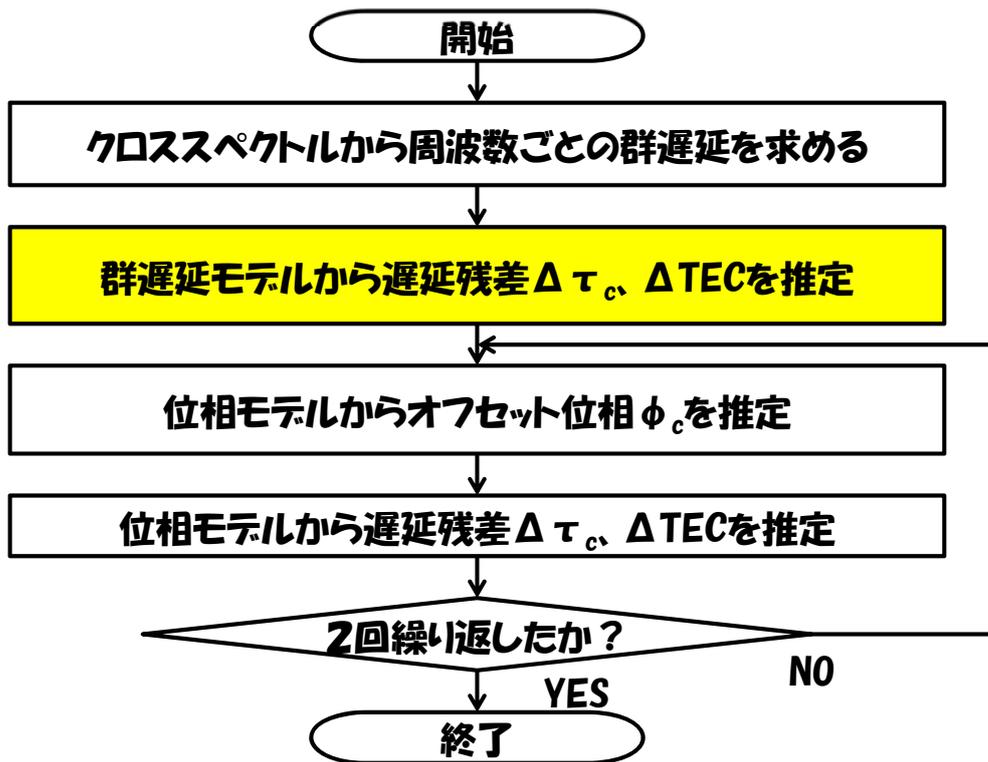
電離層(TEC)推定処理



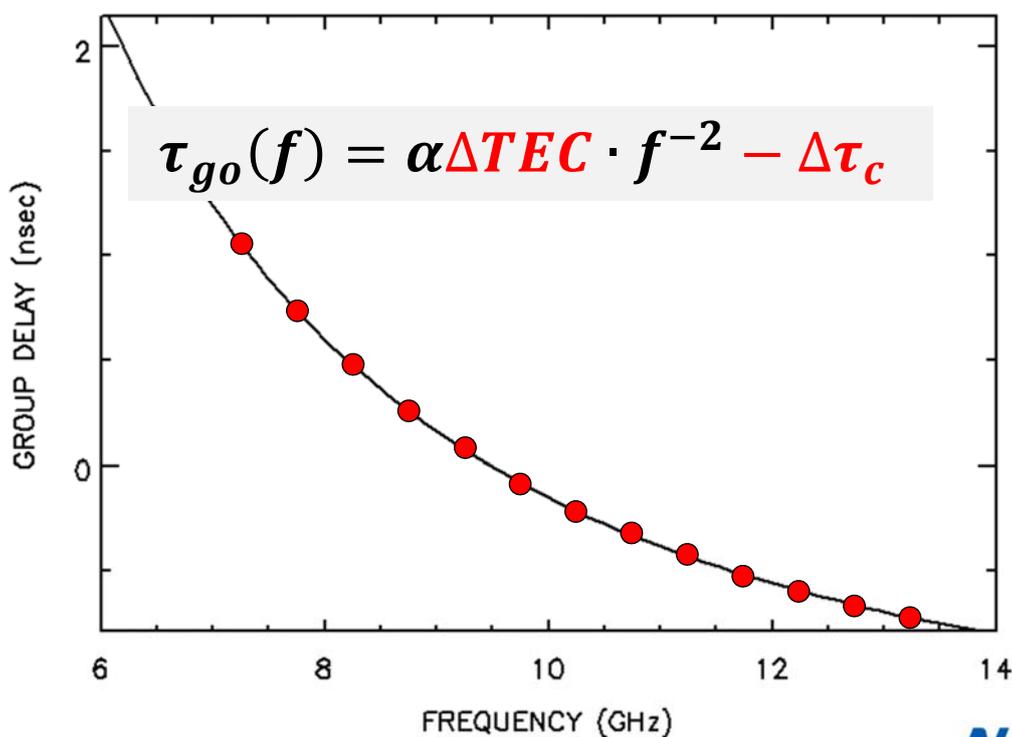
周波数毎の群遅延の決定



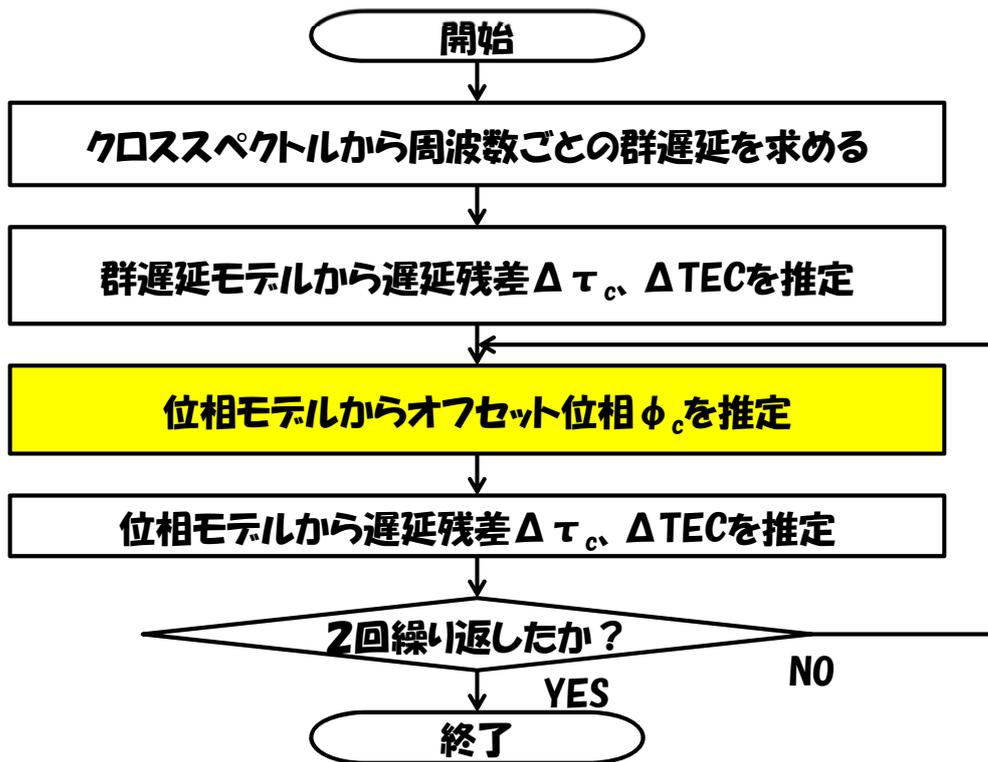
電離層(TEC)推定処理



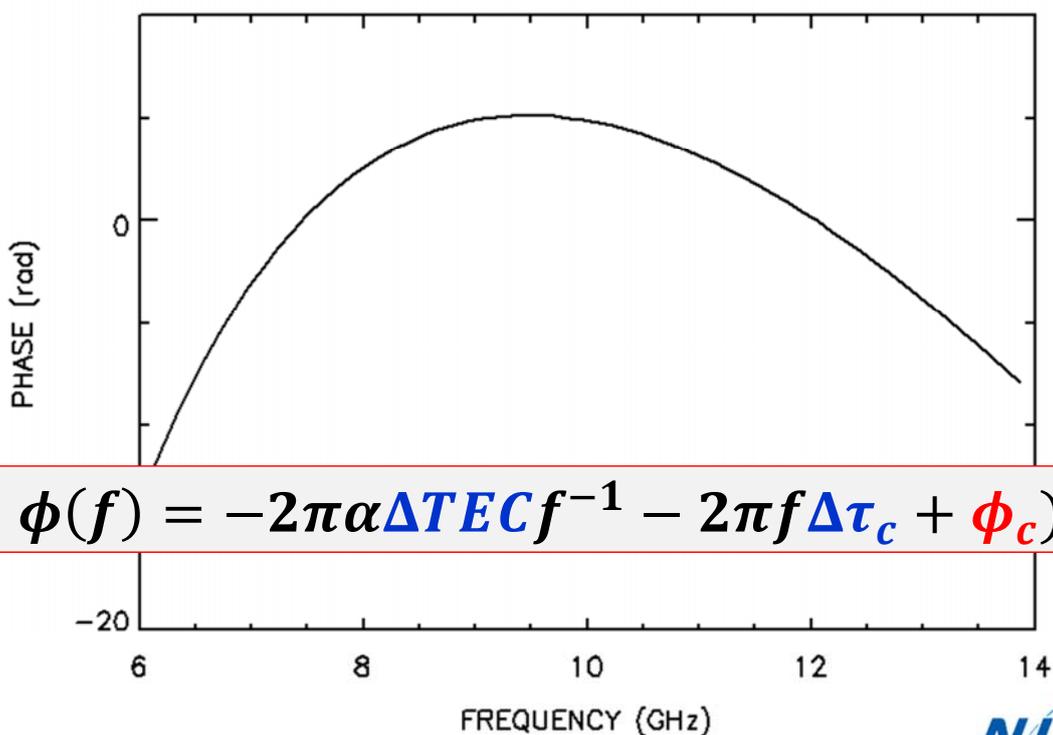
得られる群遅延



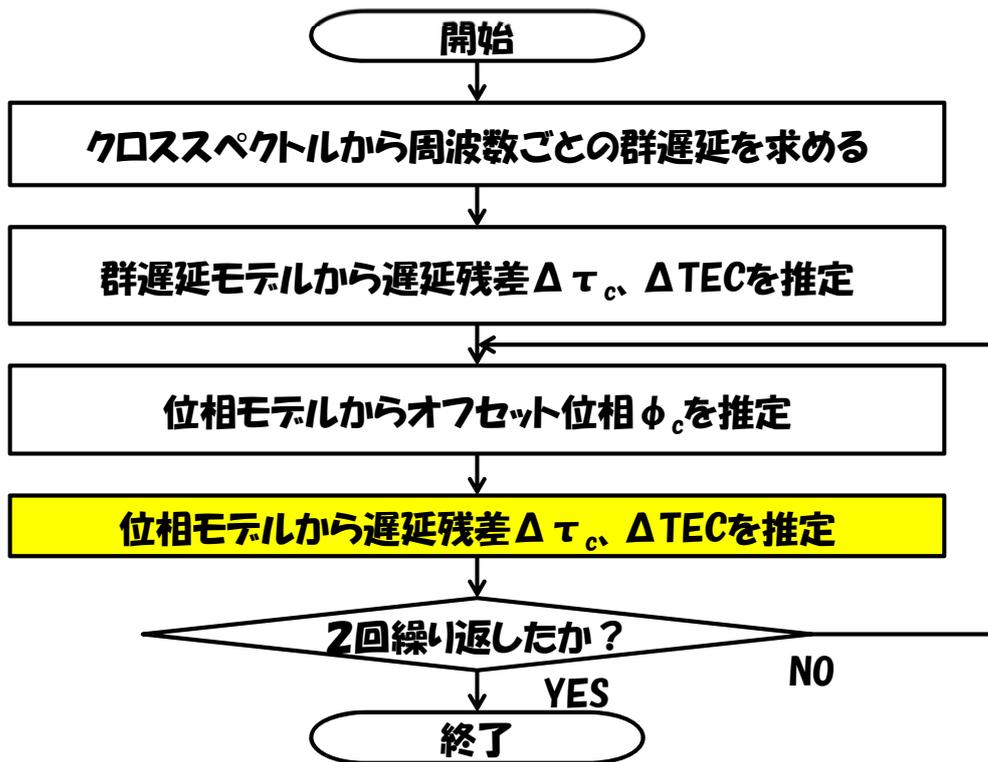
電離層(TEC)推定処理



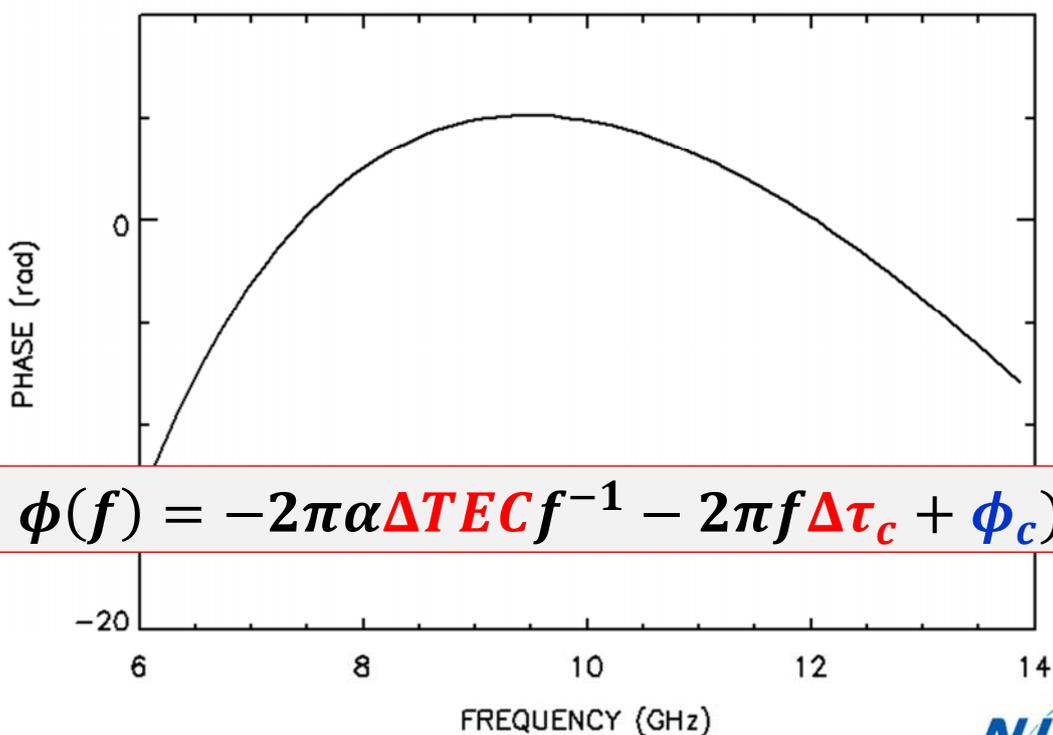
位相スペクトル



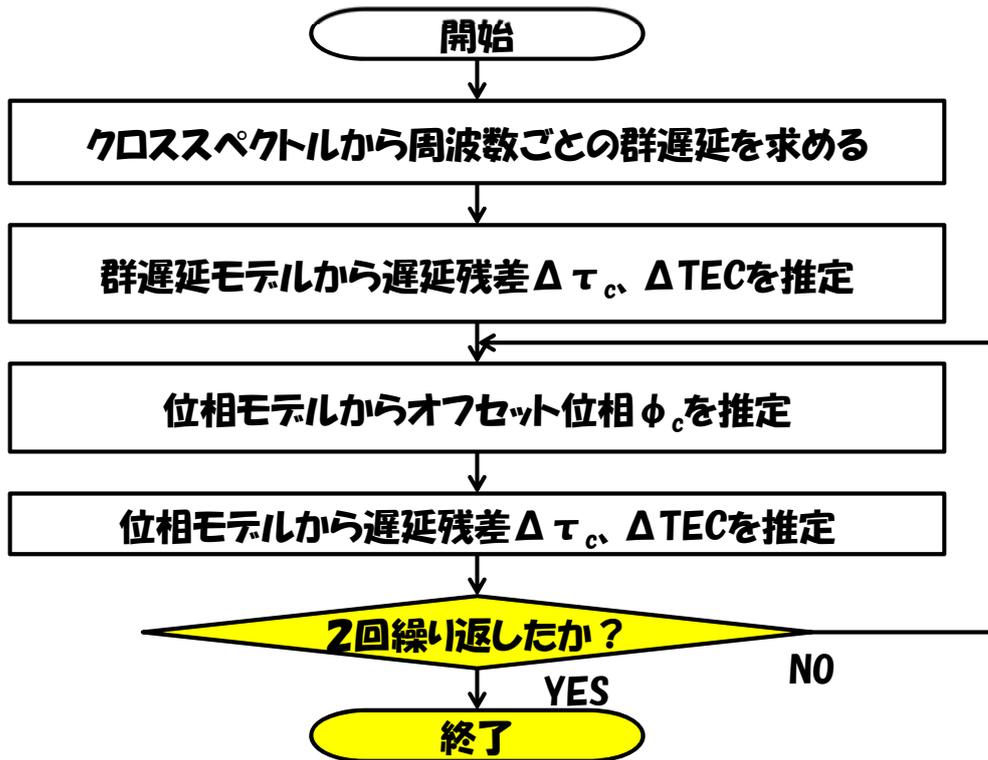
電離層(TEC)推定処理



位相スペクトル



電離層(TEC)推定処理



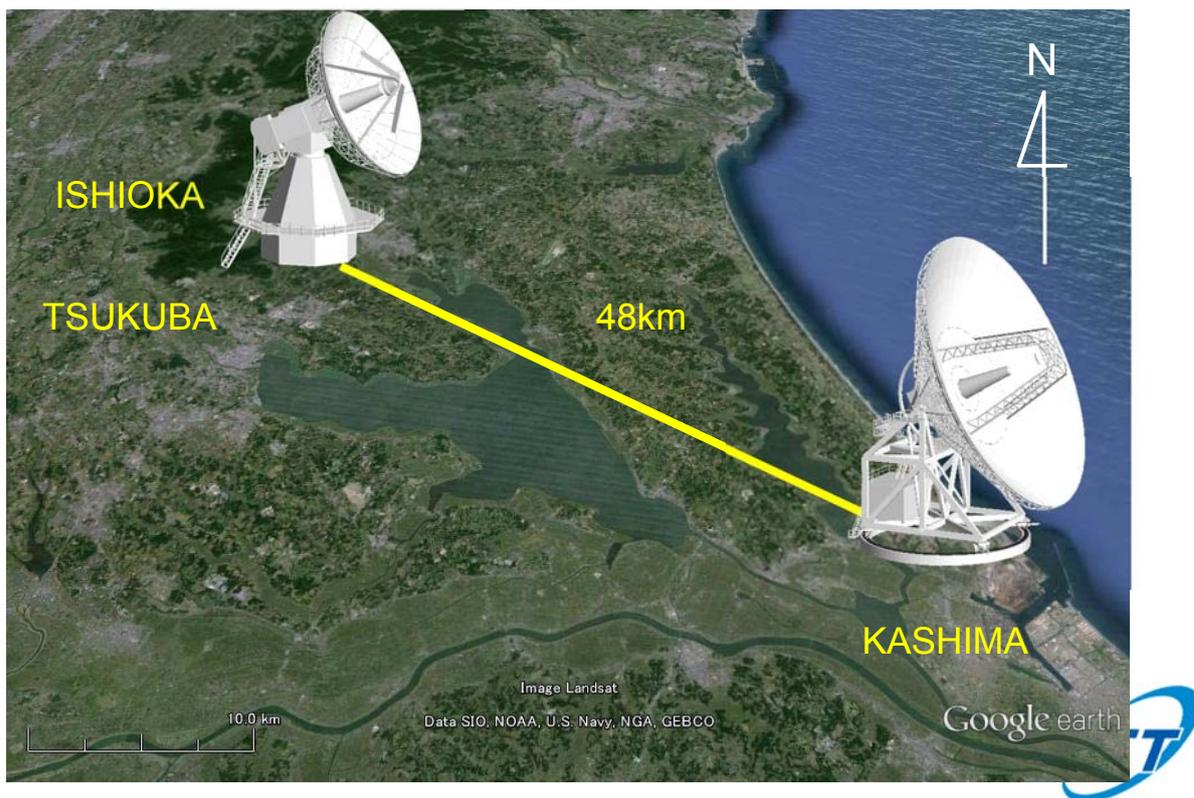
シミュレーションデータの作成

1. 生相関データ $R(\tau, k) \Rightarrow$ クロススペクトル $S(f, k)$
ここで τ : ラグ、 k : 時間、 f : 周波数
2. 電離層 (ΔTEC) による位相遅延を受けたクロススペクトル $S_i(f, k)$ を次式で計算 付加ノイズ
$$S_i(f, k) = S(f, k) \exp[i\{\phi_{ion}(f) + \sigma_\phi(f)\}]$$

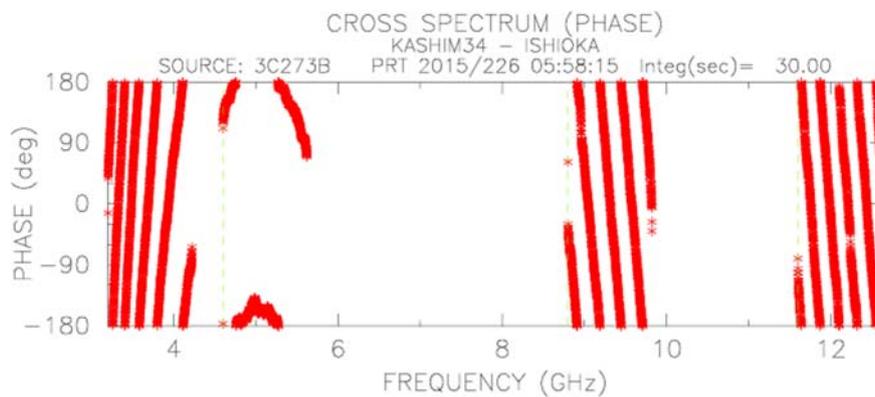
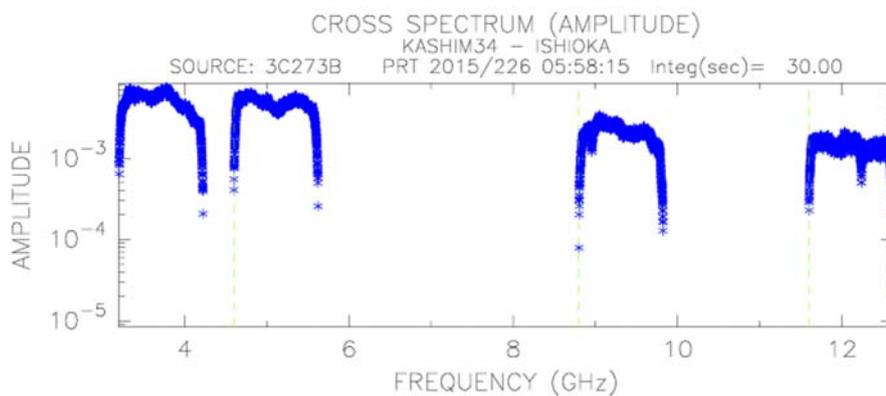
ここで $\phi_{ion}(f) = -2\pi\alpha\Delta\text{TEC} \cdot f^{-1}$
3. クロススペクトル $S_i(f, k) \Rightarrow$ 相関データ $R_i(\tau, k)$



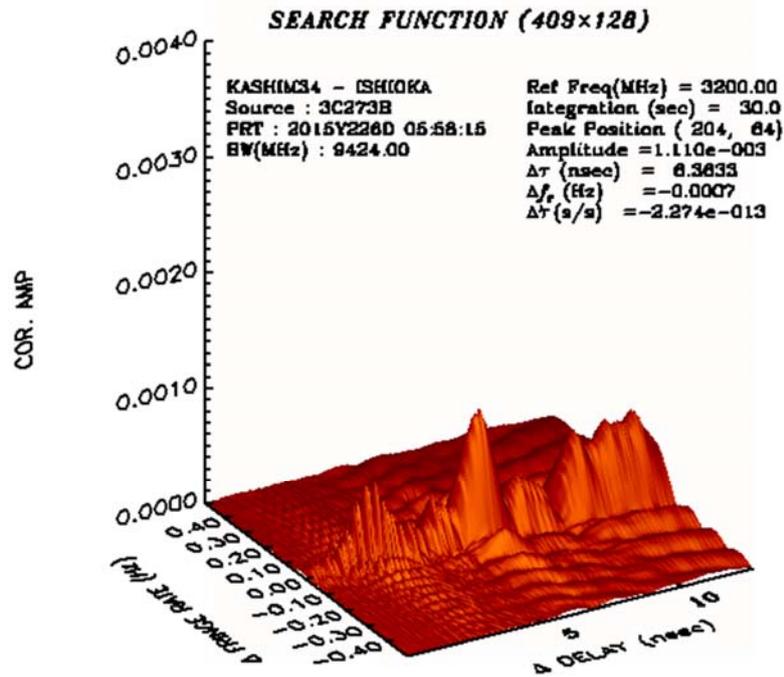
鹿嶋-石岡 基線



TEC simulation data 100 TECU 付加/イヌなし

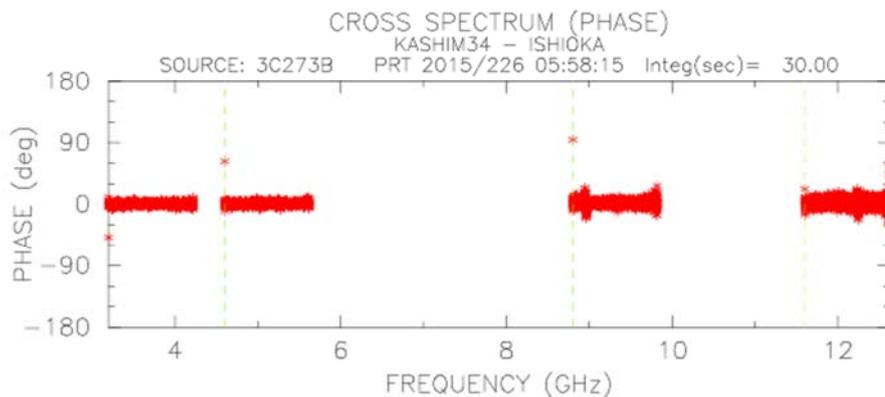
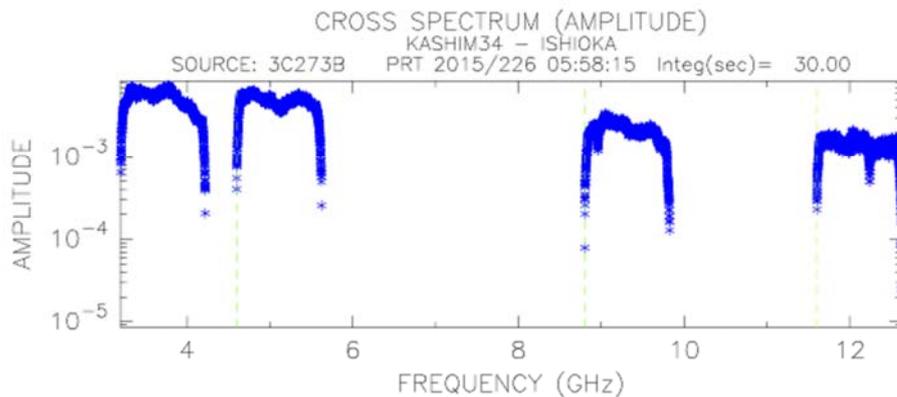


TEC simulation data 100 TECU 付加/イズなし



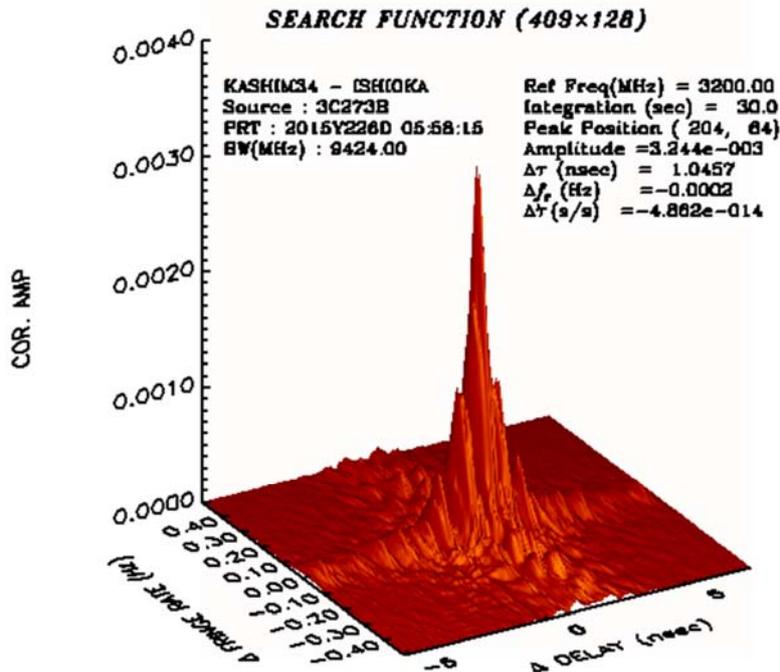
After TEC estimation

Estimated TEC = 100.0028 ± 0.0007

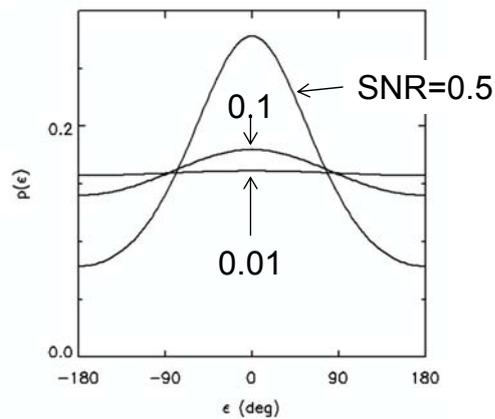
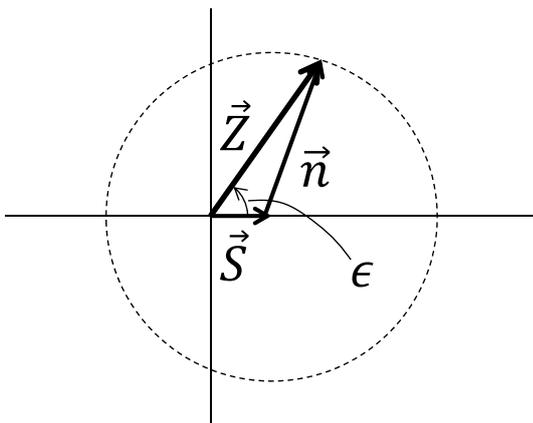


After TEC estimation

Estimated TEC = 100.0028 +/- 0.0007



付加ノイズはどのように与えるか

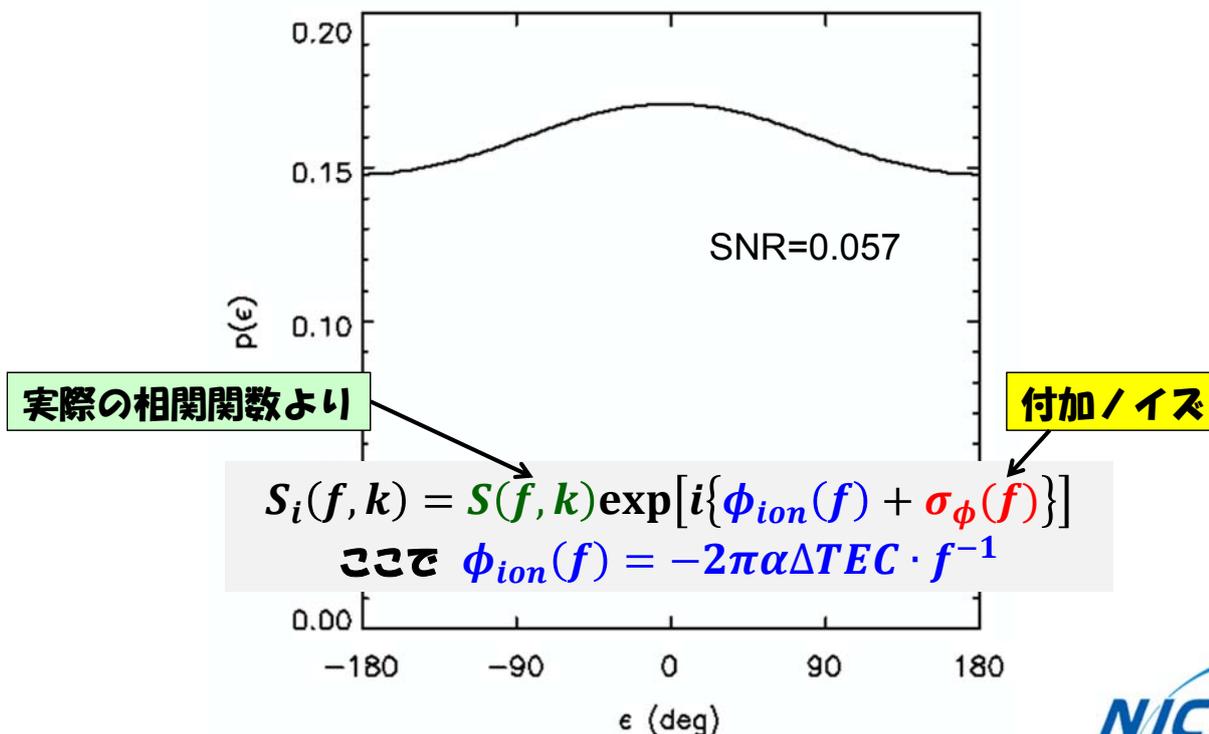


$$p(\epsilon) = \frac{1}{2\pi} \exp\left(-\frac{1}{2}SNR^2\right) \times \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\pi}{2}}SNR \cdot \cos\epsilon \cdot \exp\left(\frac{1}{2}SNR^2 \cos^2\epsilon\right) \left[1 + \text{Erf}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}SNR \cdot \cos\epsilon\right) \right] \right\}$$

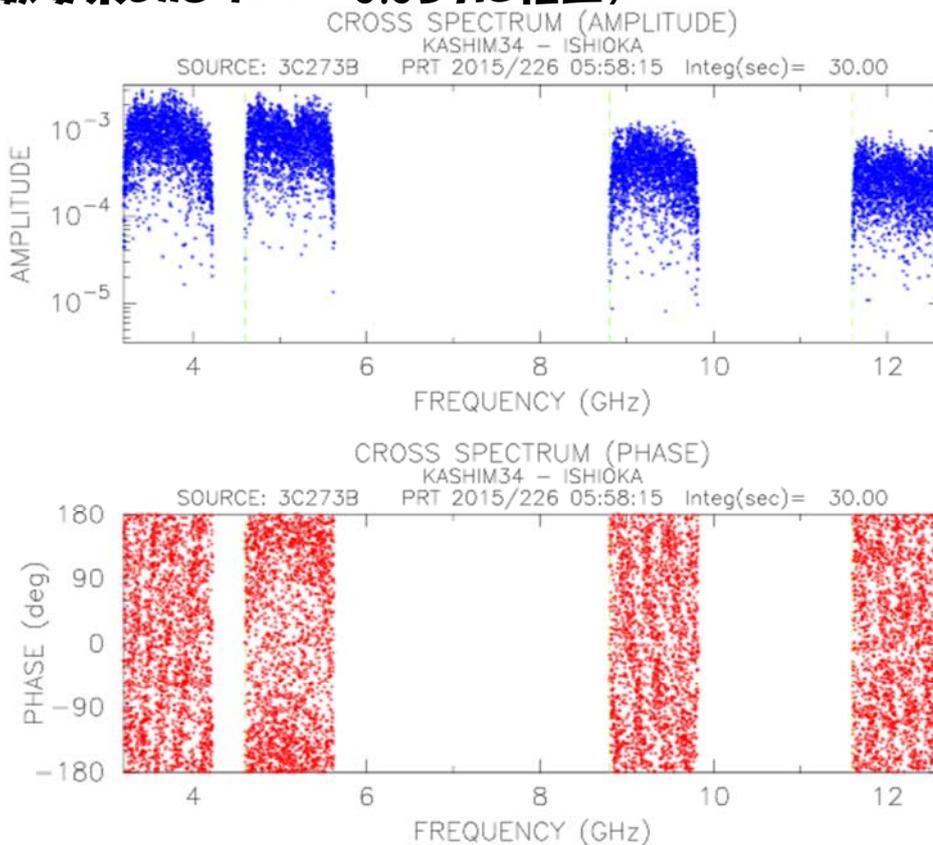
このSNRは単位積分時間(1sec)周波数要素あたりのSNR



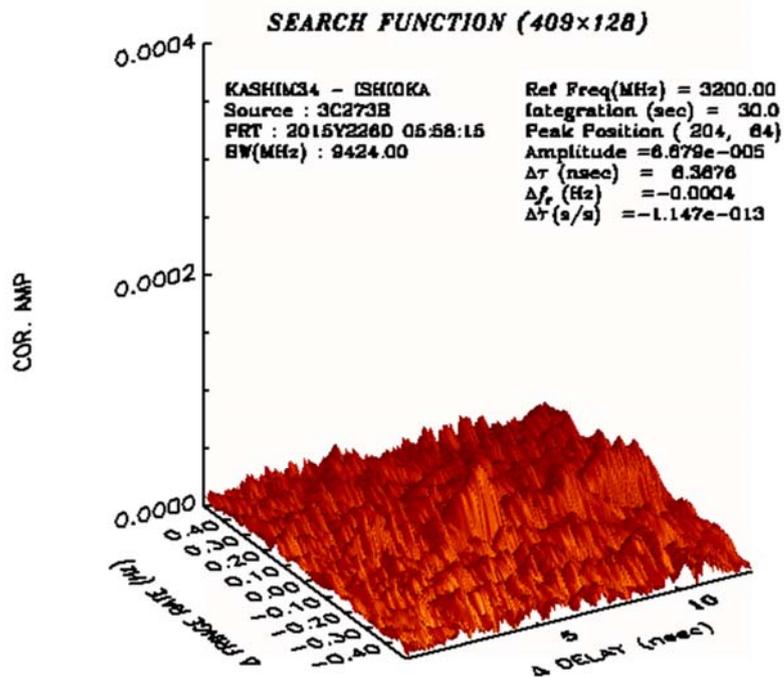
**バンドあたりSNR=10の場合
(周波数要素あたりSNR=0.057に相当)**



**バンドあたりSNR=10の場合
(周波数要素あたりSNR=0.057に相当)**

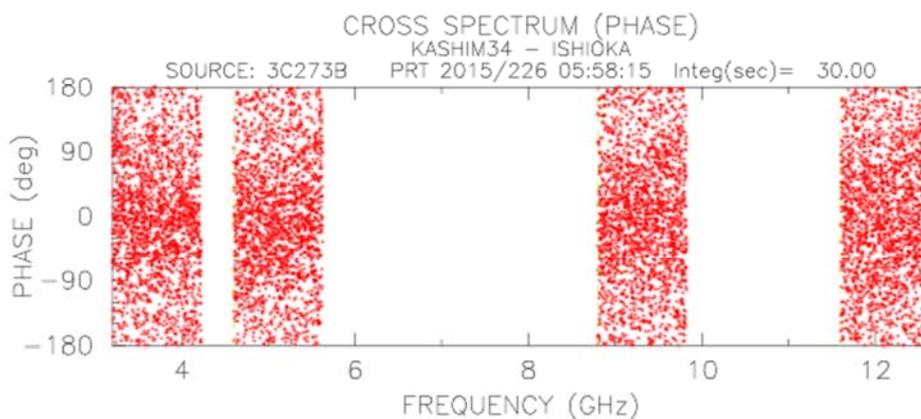
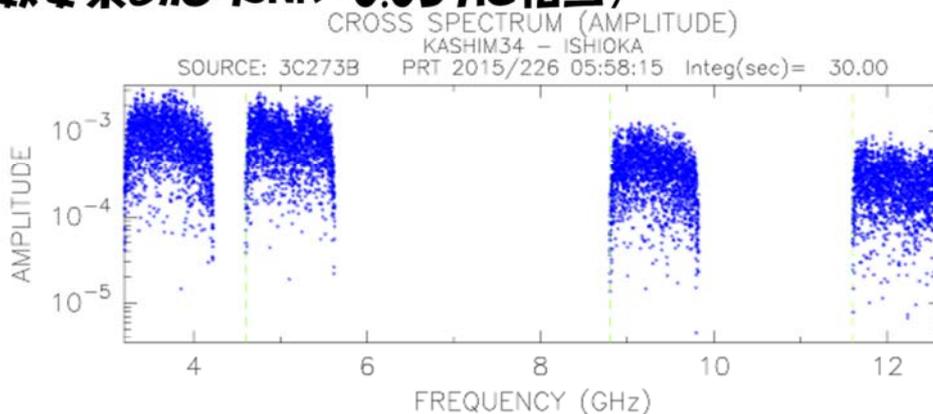


**バンドあたりSNR=10の場合
(周波数要素あたりSNR=0.057に相当)**



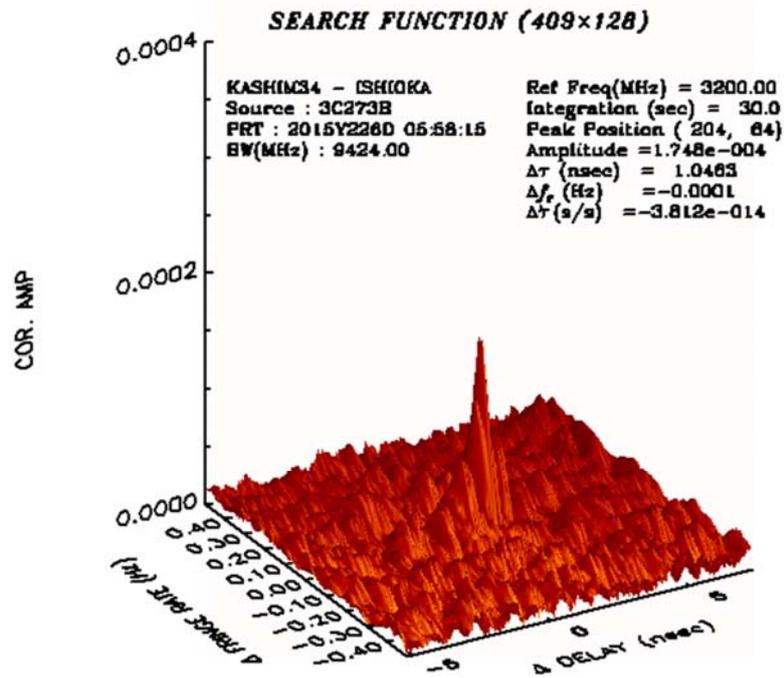
**バンドあたりSNR=10の場合
(周波数要素あたりSNR=0.057に相当)**

Estimated TEC= 99.9938 +/- 0.0086



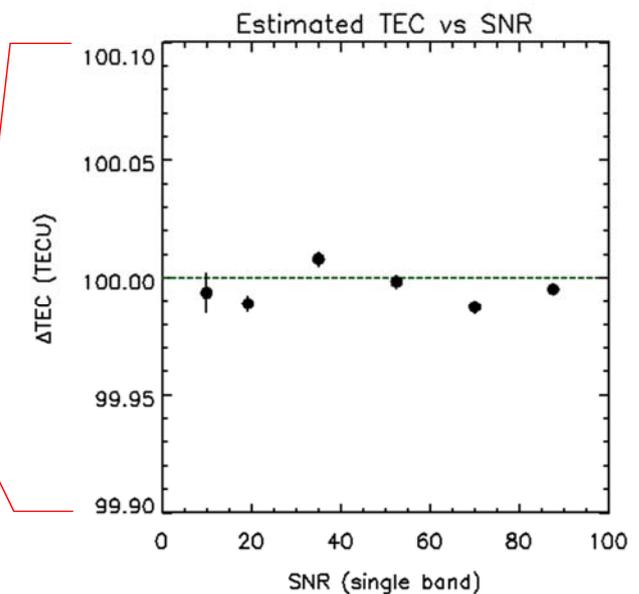
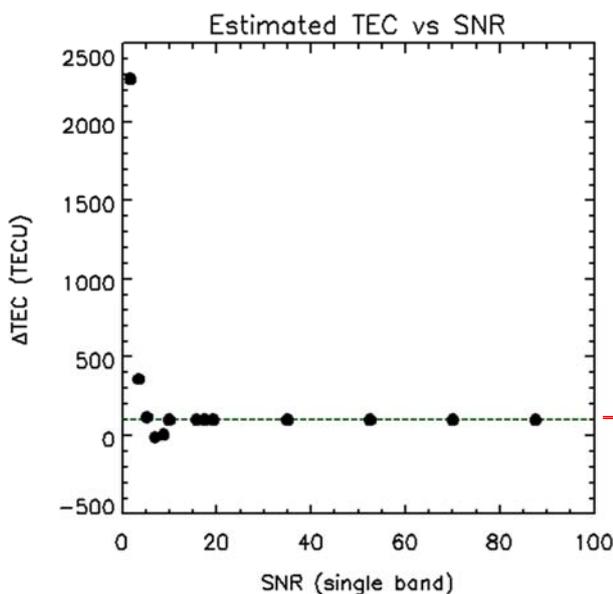
**バンドあたりSNR=10の場合
(周波数要素あたりSNR=0.057に相当)**

Estimated TEC= 99.9938 +/- 0.0086



バンドあたりのSNRとTEC推定結果

$\Delta\text{TEC}=100$



推定した Δ TECが正しいかの検証

1. 従来の2バンド法との比較

$$\Delta TEC = 7.46 \times 10^6 \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} (\tau_2 - \tau_1)$$

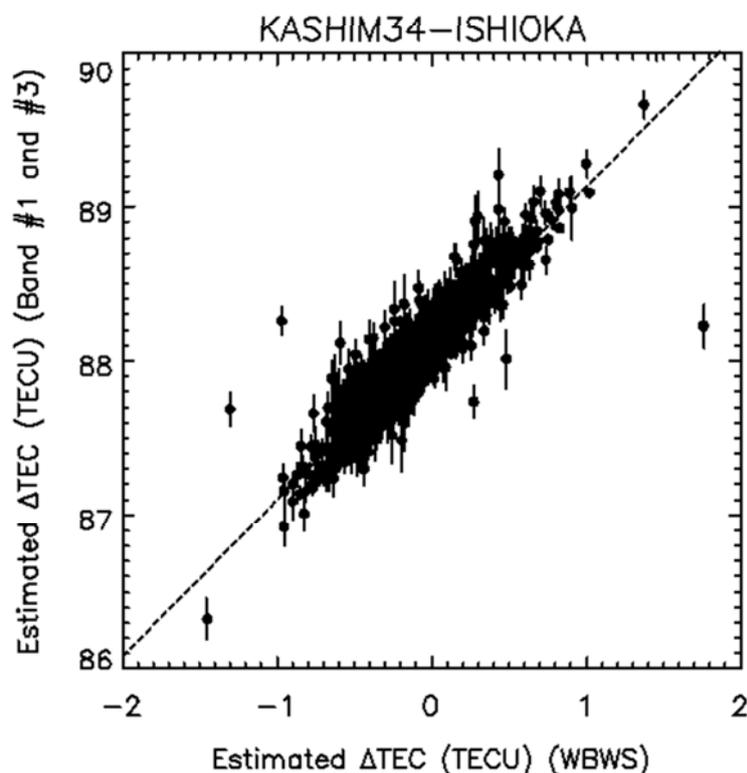
ここで f_1, f_2 : RF周波数 τ_1, τ_2 : 遅延

2. GNSS観測との比較

1. GNSSで観測したTECの汎世界地図から基線に最も近い地点の天頂TEC (ZTEC)の1時間ごとの値を得る
2. スキャンごとのZTECを内挿によって求める
3. 各局での電波源仰角を計算し、各局ごとの視線方向のTEC (STEC)を求める
4. STECの差を求める



1. 従来の2バンド法との比較



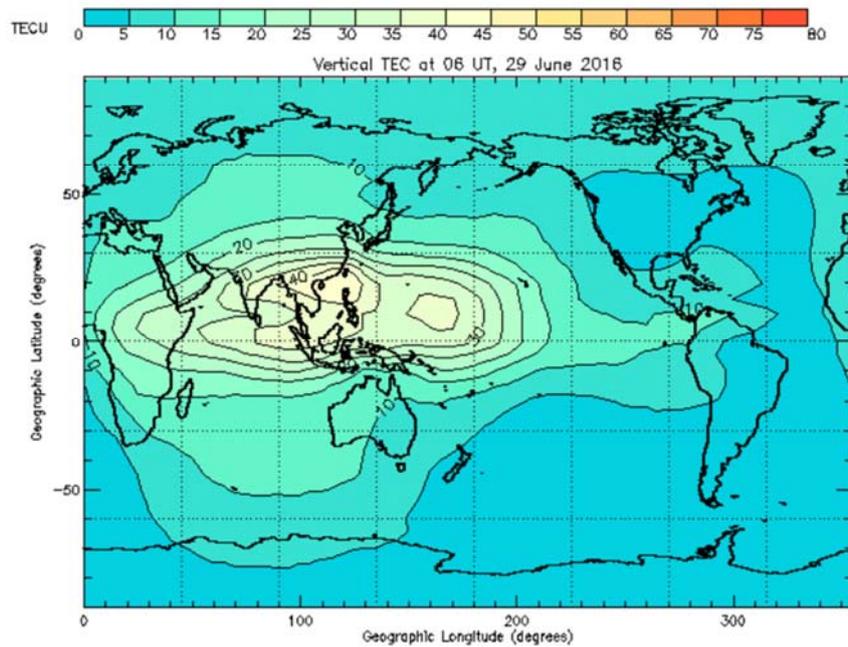
$y=ax+b$

$a=1.016\pm 0.0132$ $b=88.1149\pm 0.0050$



2. GNSS観測との比較

TECマップ例(2016/06/29 06UT)

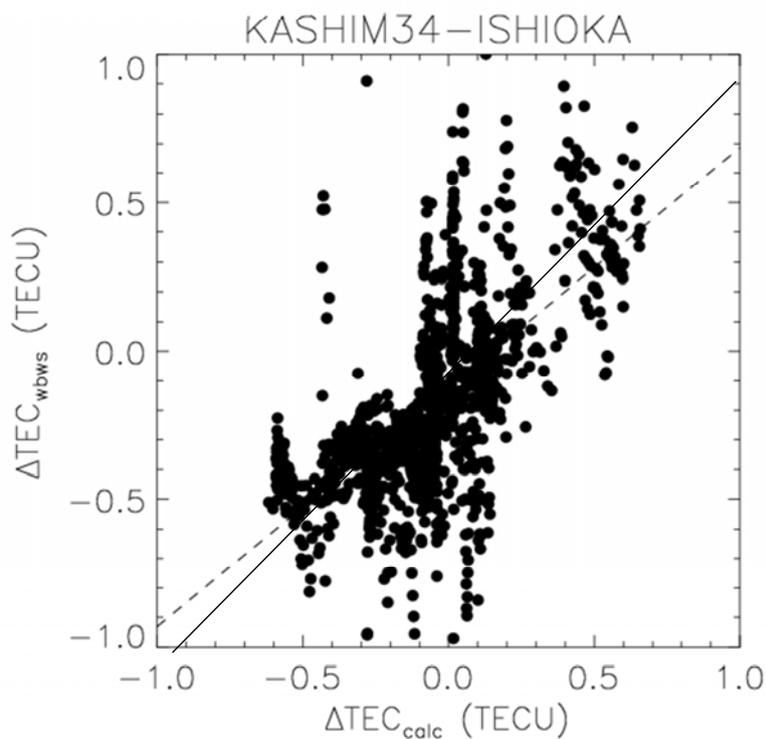


<http://www.sws.bom.gov.au/Satellite/2/2>



2. GNSS観測との比較

Hion=300km



$$y=ax+b$$

$$a=0.8080\pm 0.0282 \quad b=-0.1224\pm 0.0075$$



まとめ

- 広帯域バンド幅合成手法を確立
- 電離層の推定法も確立
 - 2段階に分けることによりロバストかつ高精度な推定が可能になった
- 今後、長基線データによる検証

