

# 測地VLBIでの 広帯域バンド幅合成

情報通信研究機構鹿島宇宙技術センター

近藤哲朗、岳藤一宏

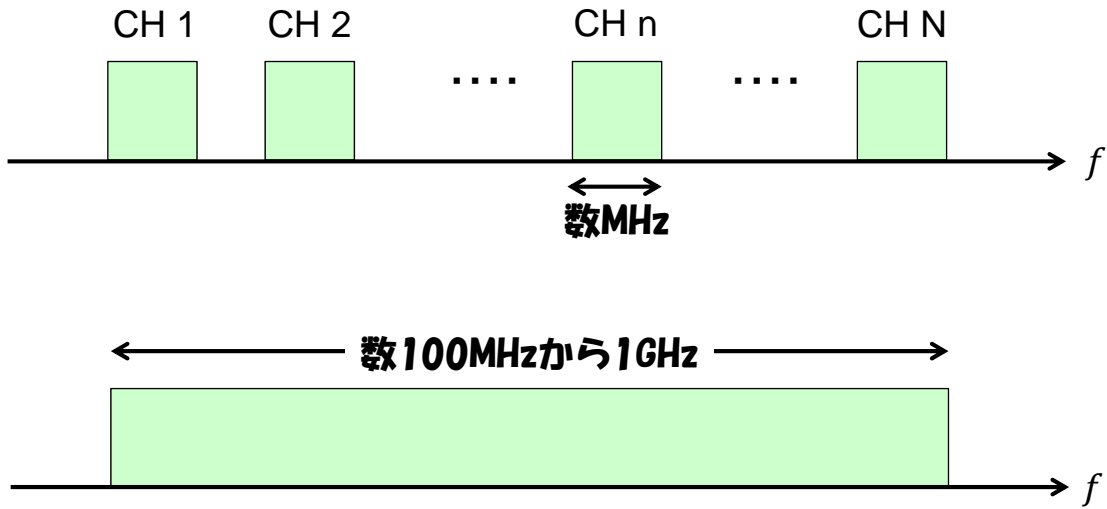


## お話の中身

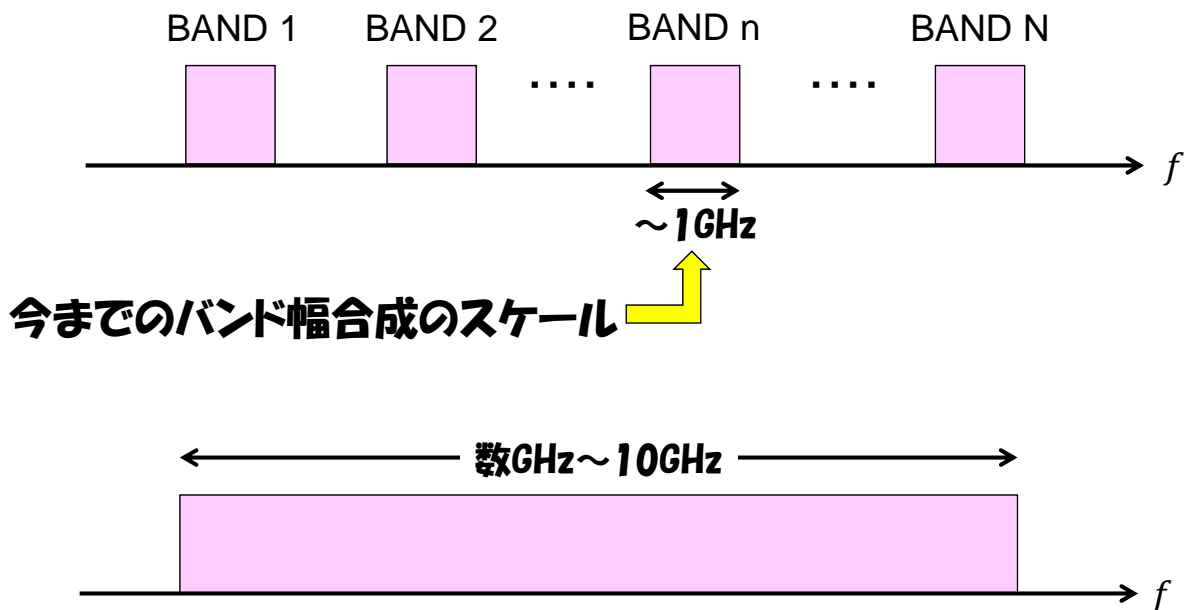
- 今までのバンド幅合成
- 帯域10GHzに及ぶ超広帯域バンド幅合成
- バンド間の遅延補正
- バンド内位相補正
- 電離層補正
- まとめ



## 従来のバンド幅合成



## 広帯域バンド幅合成



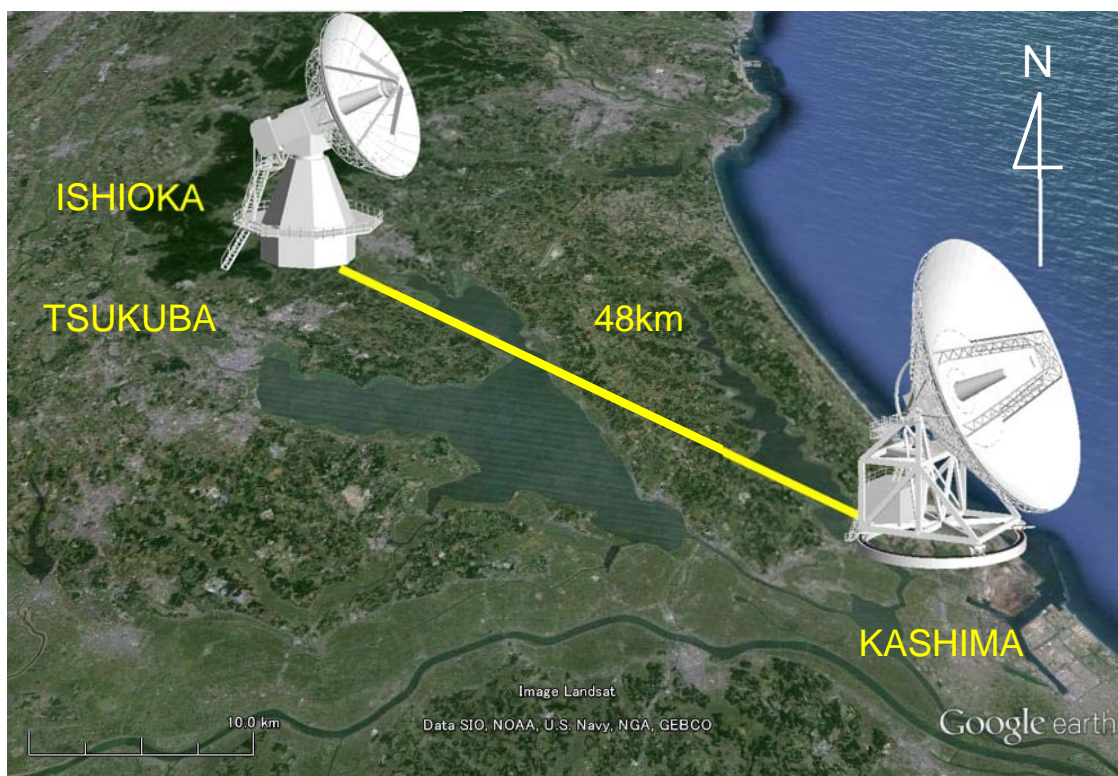
# 広帯域バンド幅合成手法

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

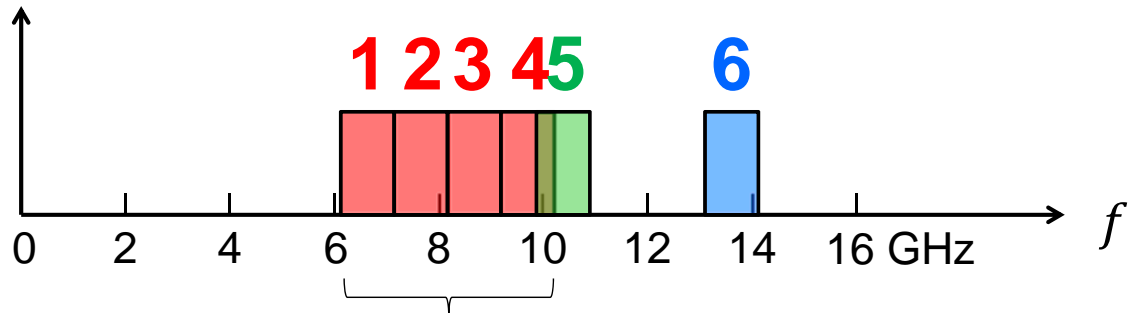


## 鹿嶋－石岡 基線



# 受信周波数バンド

それぞれ1024MHz帯域



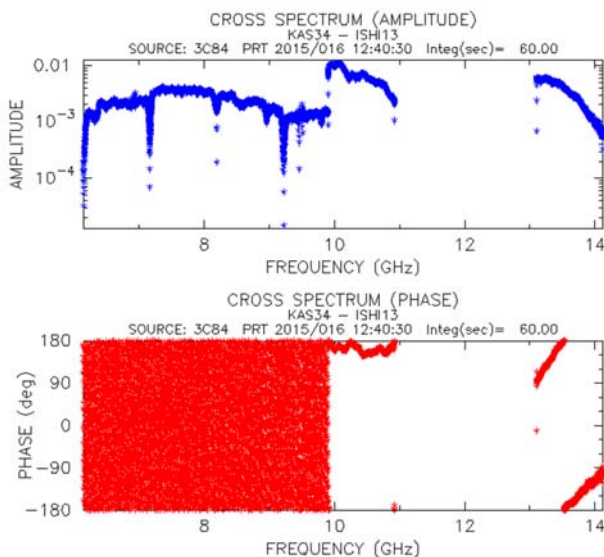
ダイレクトサンプリング



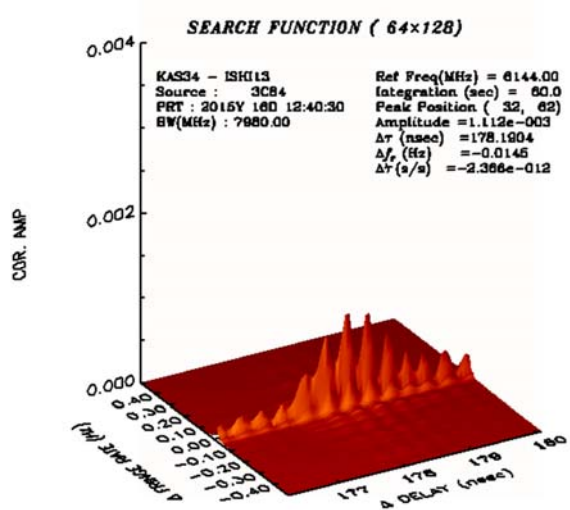
## 具体例

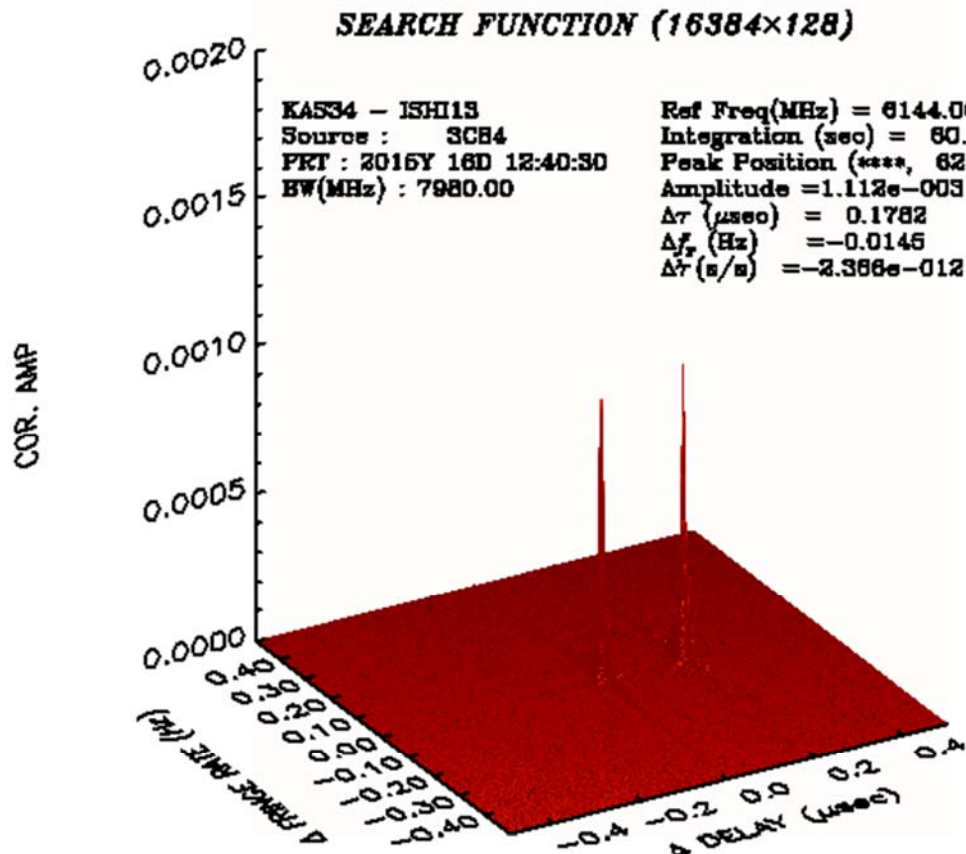
何も補正せずに単に6バンドを合成してみると

クロススペクトル



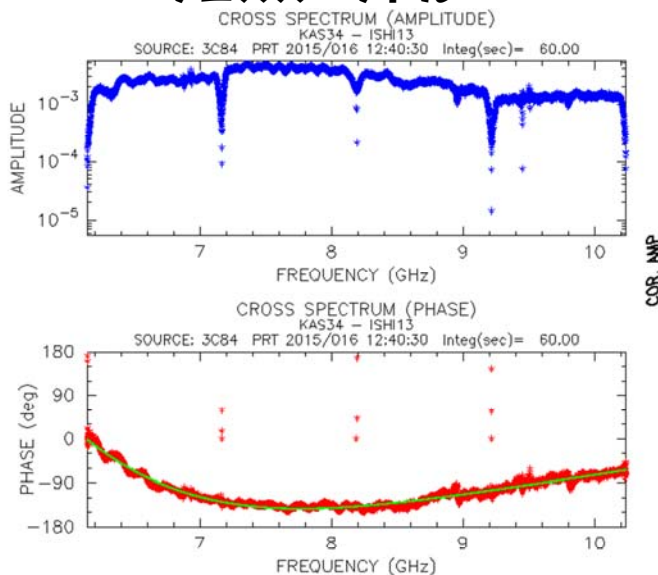
サーチ関数



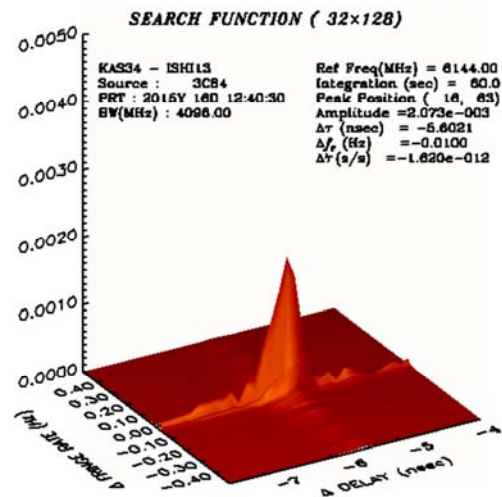


## バンド#1, #2, #3, #4 (ダイレクトサンプリング なのでひとまとめ) の処理結果

### クロススペクトル



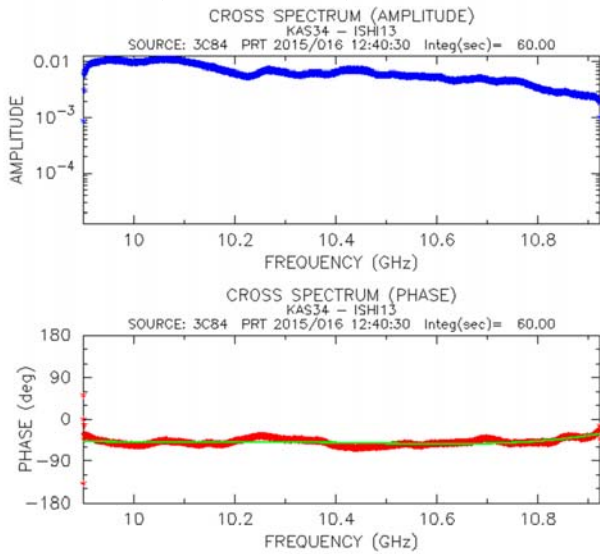
### サーチ関数



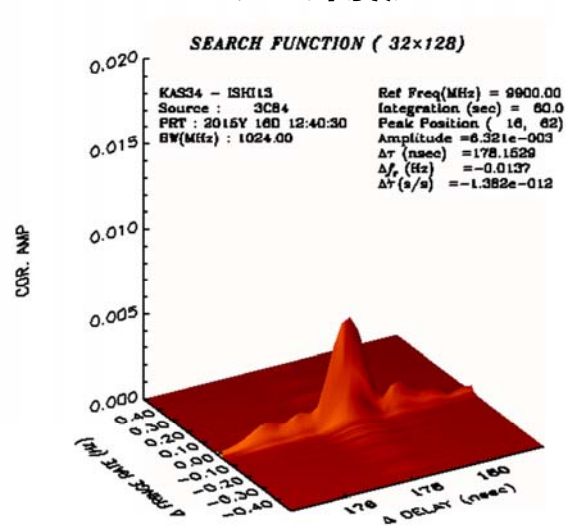


# バンド#5のみの処理結果

## クロススペクトル

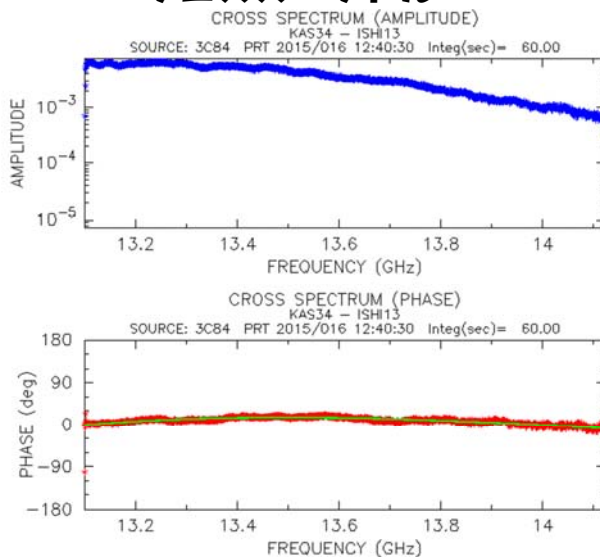


## サーチ関数

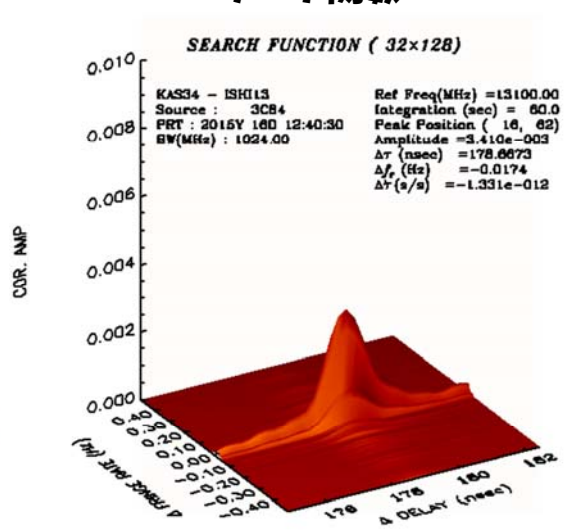


# バンド#6のみの処理結果

## クロススペクトル



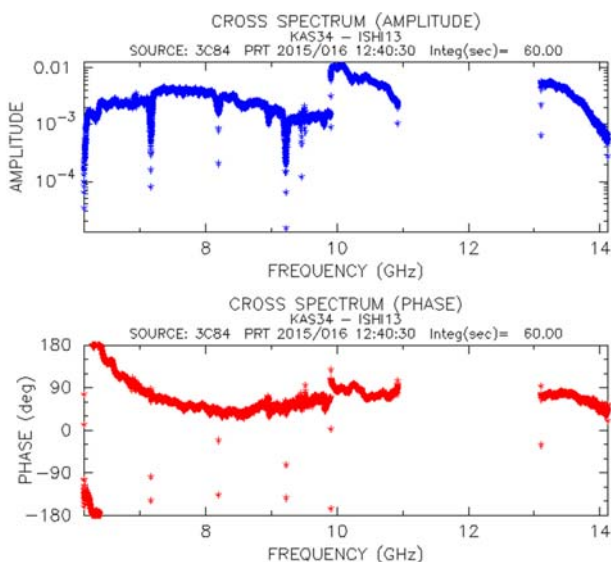
## サーチ関数



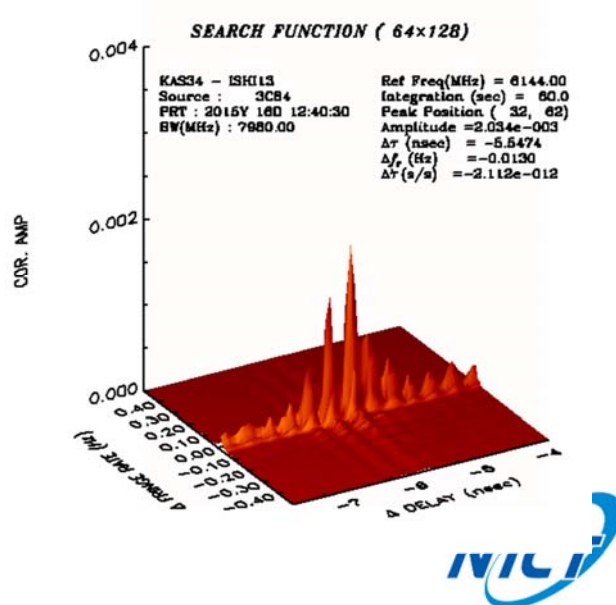
# いよいよ合成

まずはバンド間遅延のみ補正してバンド幅合成

### クロススペクトル

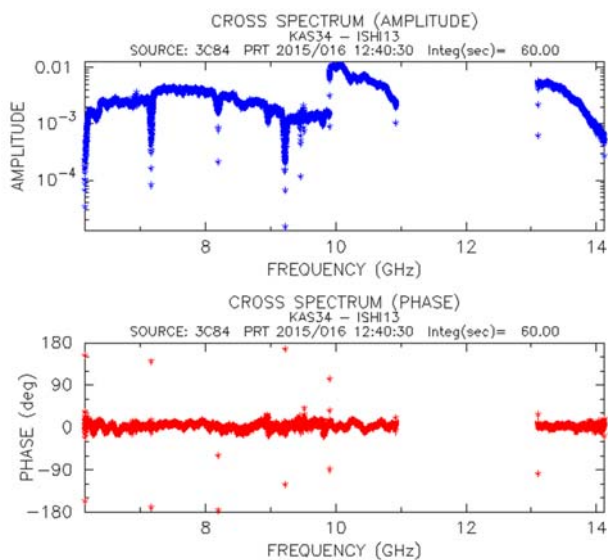


### サーチ関数

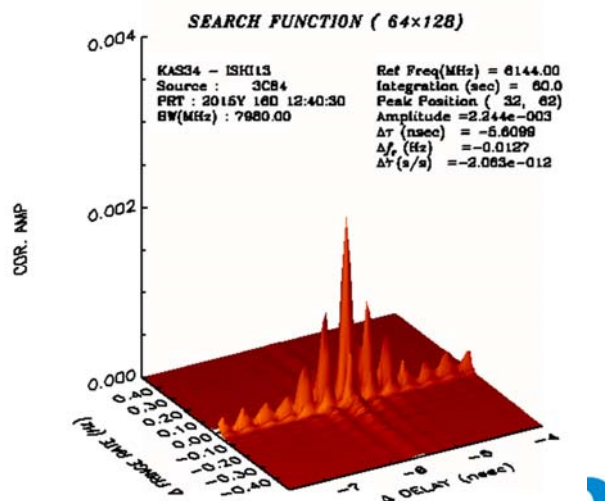


バンド内位相も補正してバンド幅合成すると

### クロススペクトル

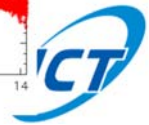
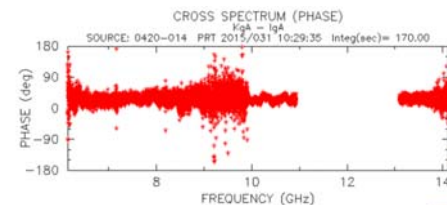
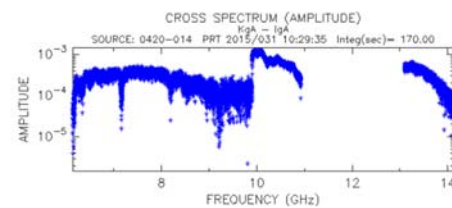
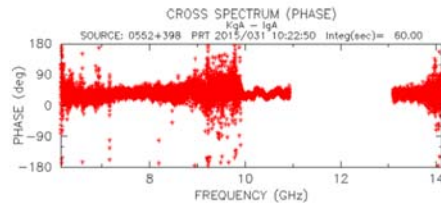
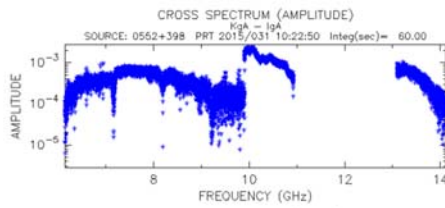
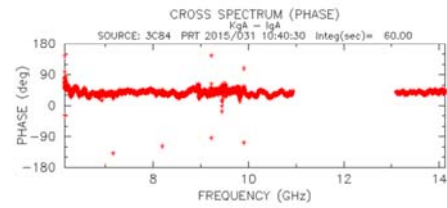
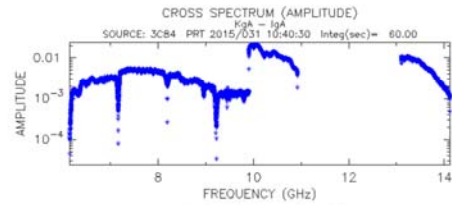
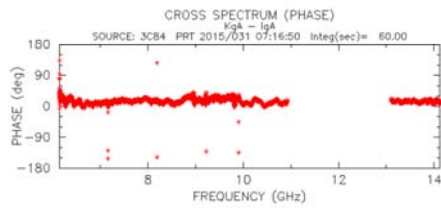
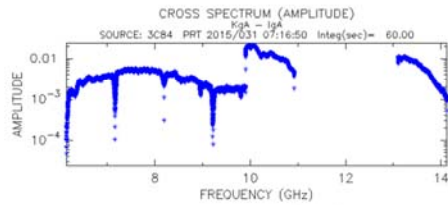


### サーチ関数



理論的誤差は27fs (フェムト秒)

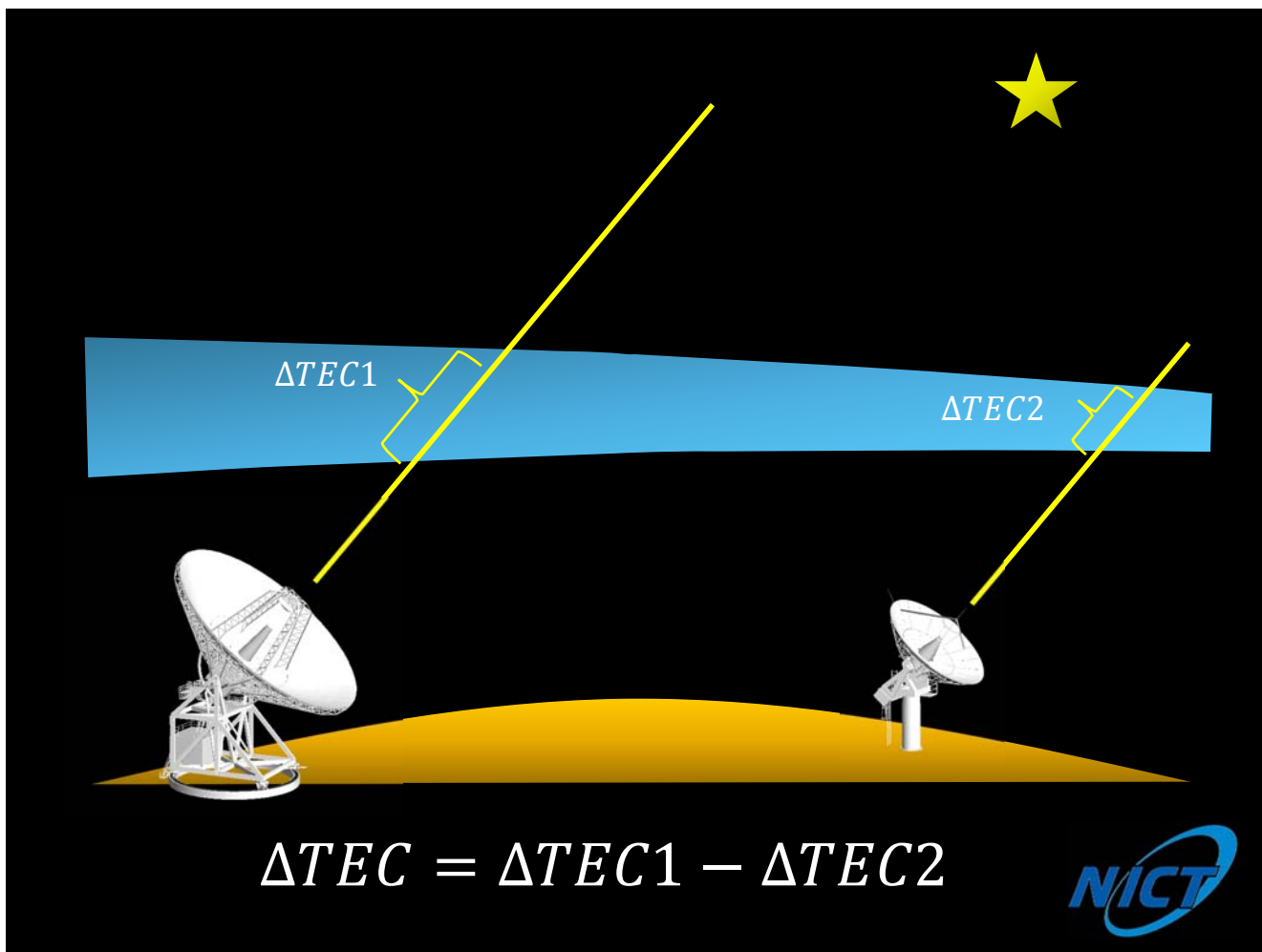
# 他のスキャン（観測）の合成例



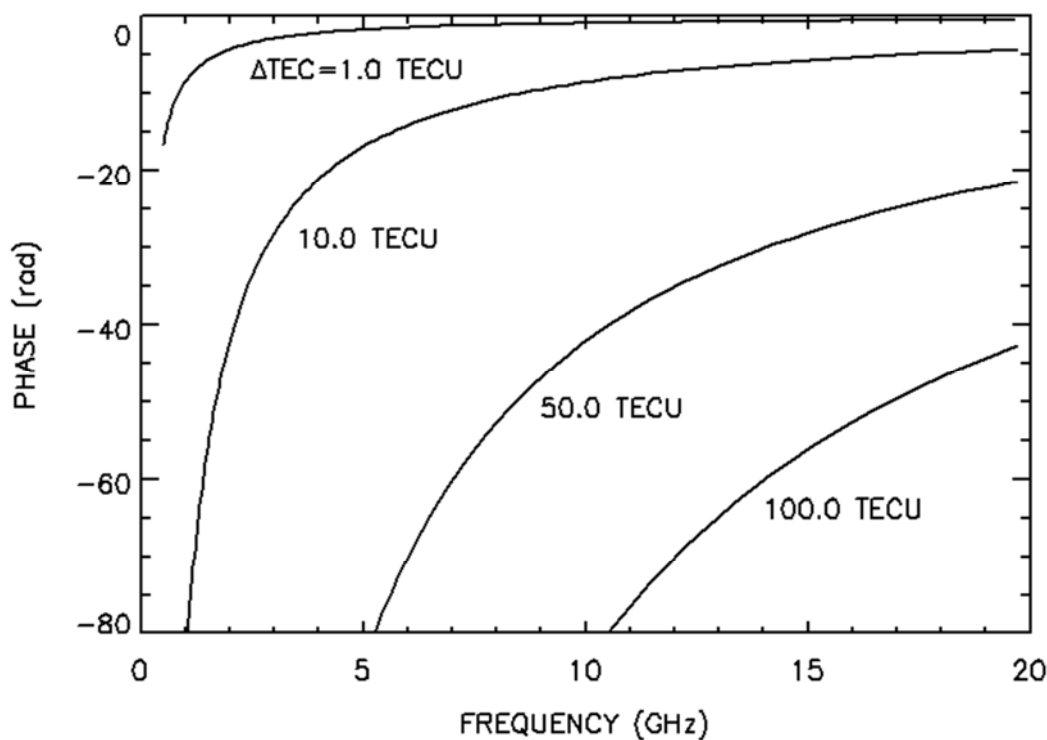
## 電離層補正をどうやるか？







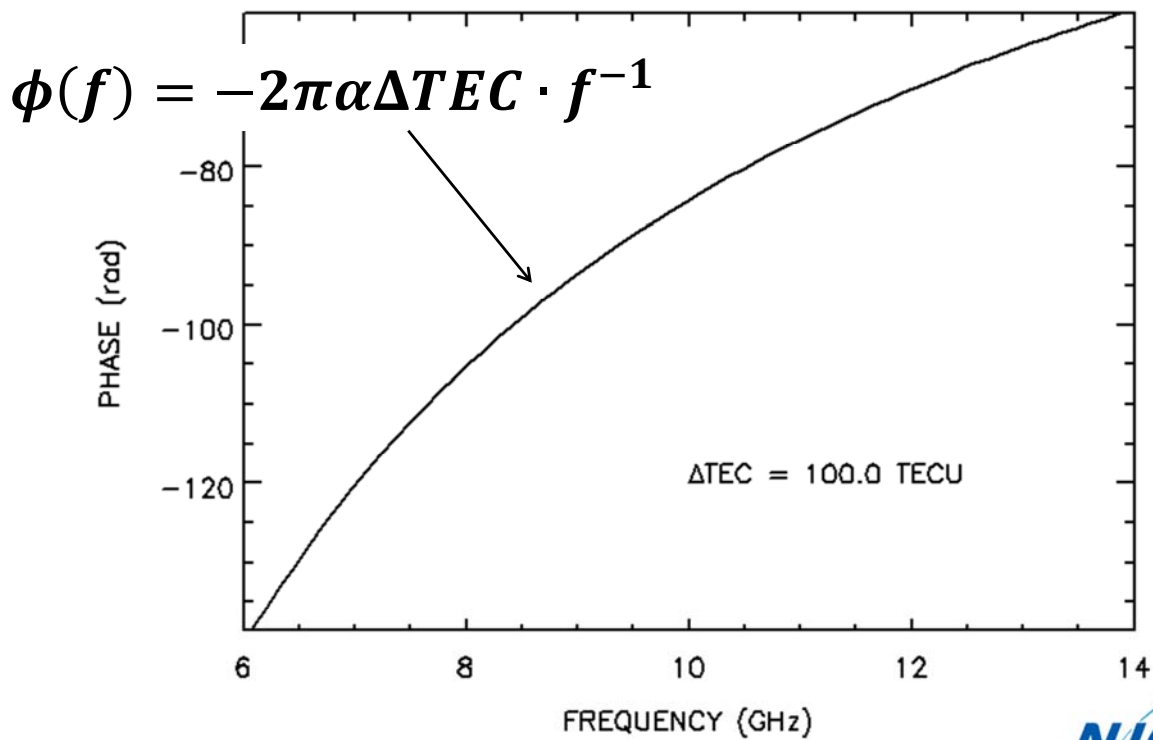
## 電離層の影響：周波数と位相の関係



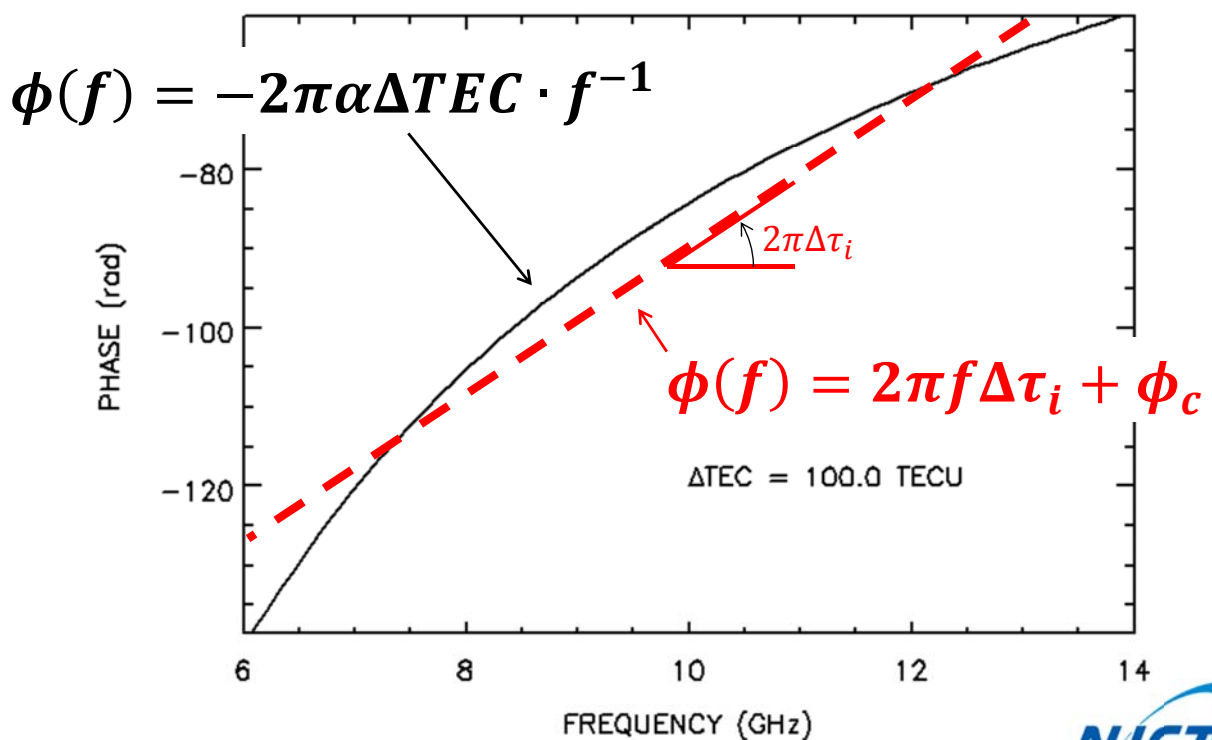
$$\phi(f) = -2\pi\alpha\Delta TEC \cdot f^{-1}$$



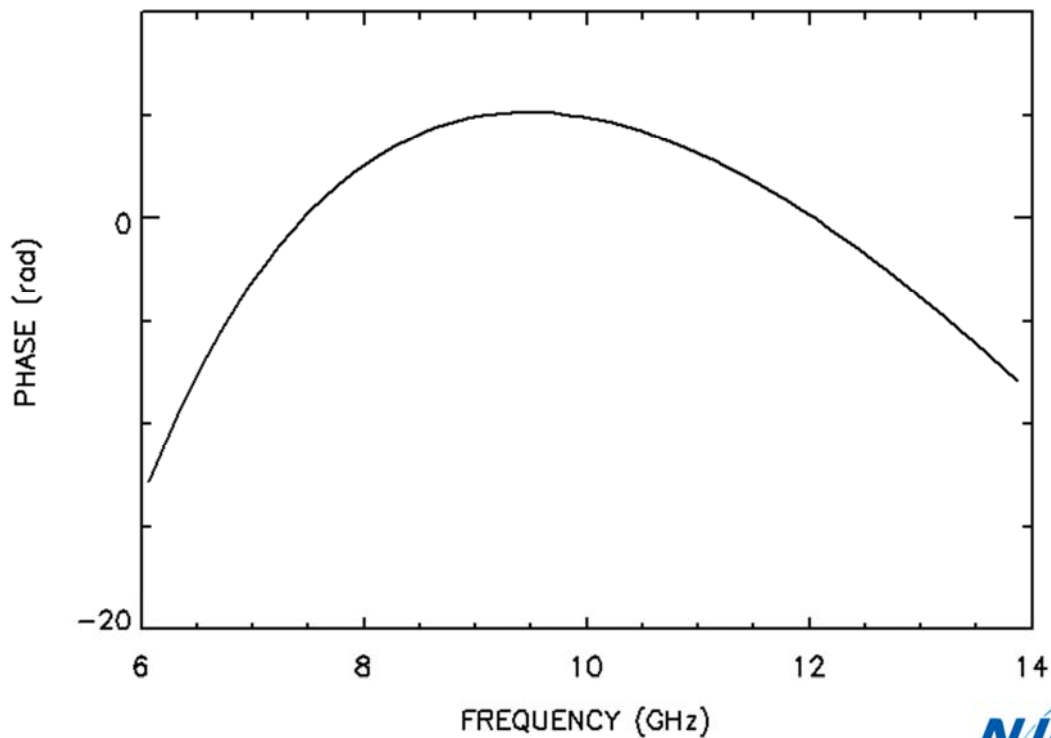
# 6GHz - 14GHzを見ると



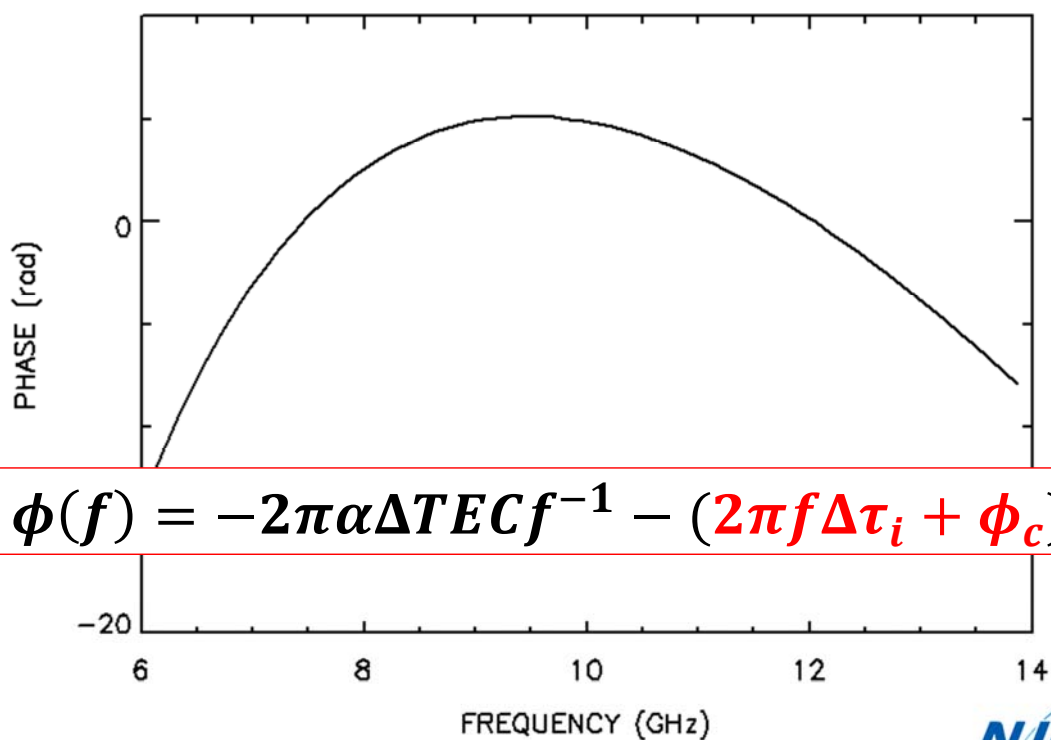
# 遅延は位相の周波数に対する勾配



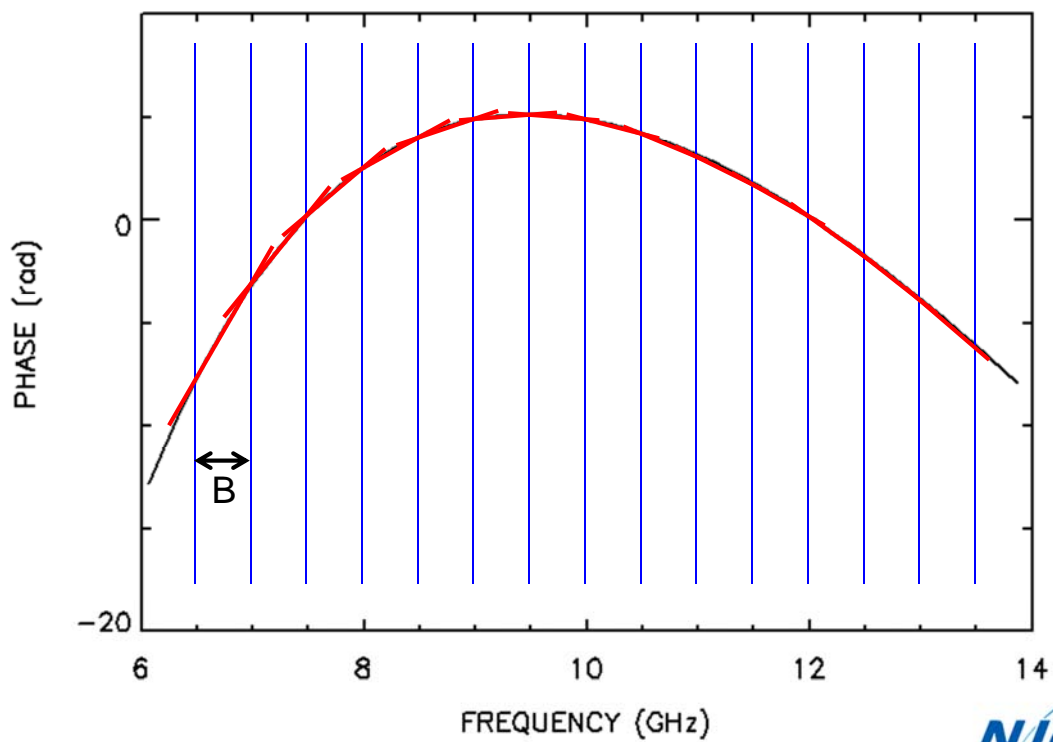
## 広帯域遅延のサーク後の位相残差



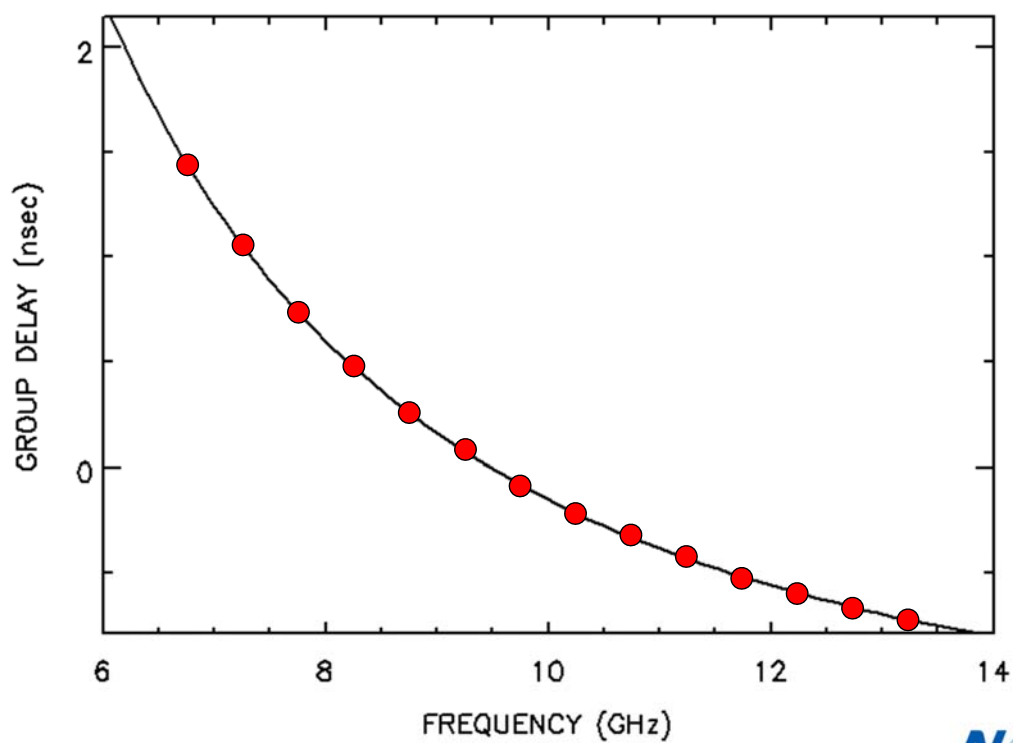
## 広帯域遅延のサーク後の位相残差



## 周波数毎の群遅延の決定



## 得られる群遅延



# $\Delta TEC$ と $\Delta\tau_i$ の推定

位相モデルを角周波数で微分すると群遅延モデルが得られる

$$\phi(f) = -2\pi\alpha\Delta TEC \cdot f^{-1} - (2\pi f\Delta\tau_i + \phi_c)$$

$$\begin{aligned}\tau_g(f) &= \frac{\partial\phi(f)}{\partial\omega} = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial\phi(f)}{\partial f} \\ &= \alpha\Delta TEC \cdot f^{-2} - \Delta\tau_i\end{aligned}$$

観測方程式は

$\Delta TEC$ と $\Delta\tau_i$ を最小二乗推定

$$\tau_{go}(f) = \tau_g(f) + \varepsilon_\tau(f)$$

↑ 誤差



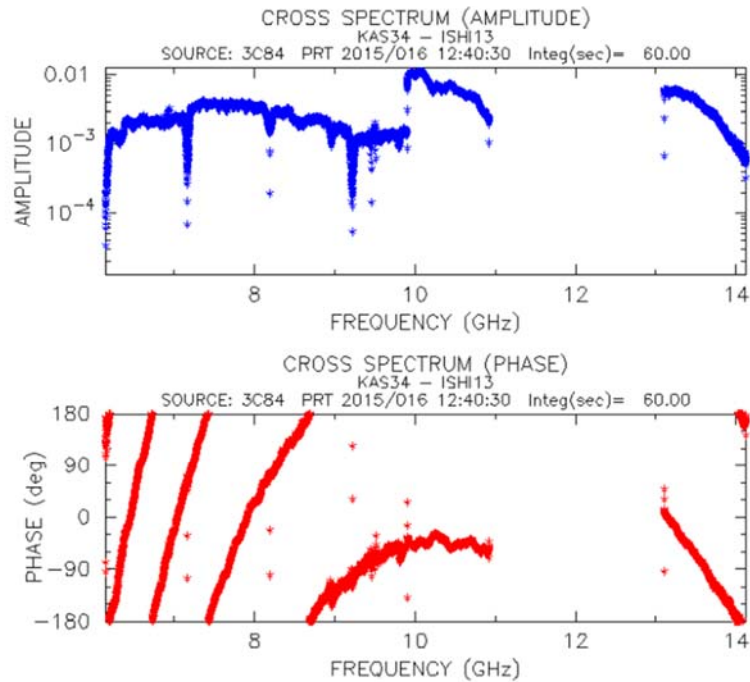
## シミュレーションデータの作成

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 $\tau$ :ラグ、 $k$ :時間、 $f$ :周波数
2. 電離層( $\Delta TEC$ )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  $\phi_{ion}(f) = -2\pi\alpha\Delta TEC \cdot f^{-1}$
3. クロススペクトル  $S_i(f, k) \Rightarrow$  相関データ $R_i(\tau, k)$





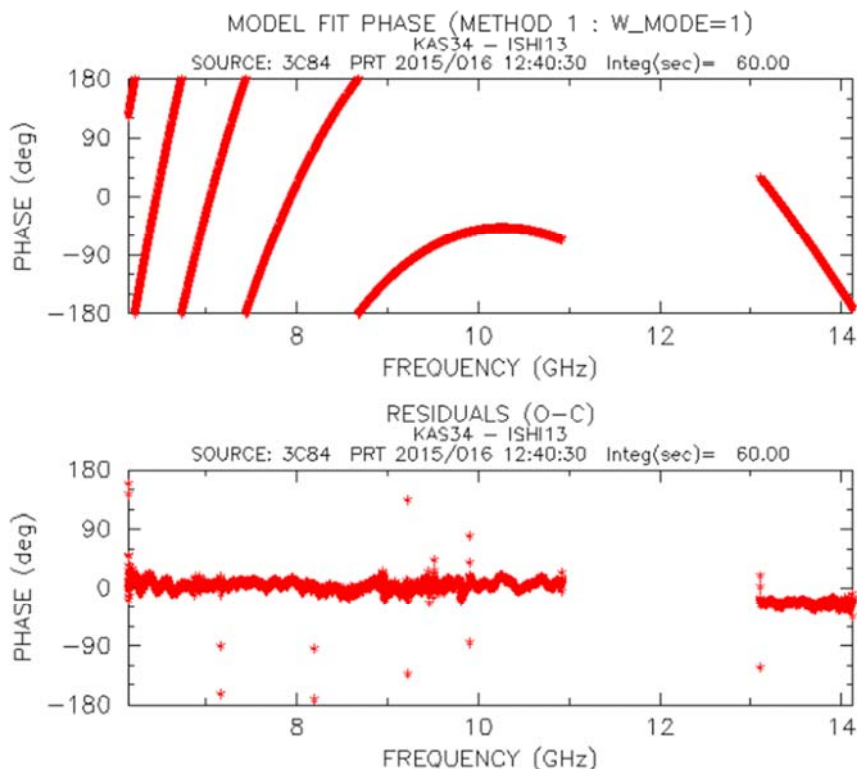
# シミュレーションデータ (広帯域バンド幅合成後のクロススペクトル)



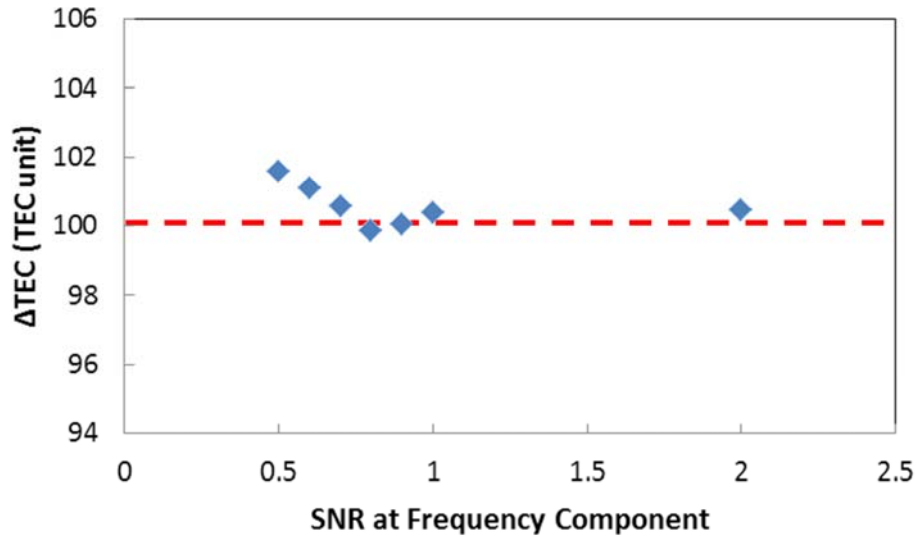
$\Delta TEC = +100 \text{ TECU}$



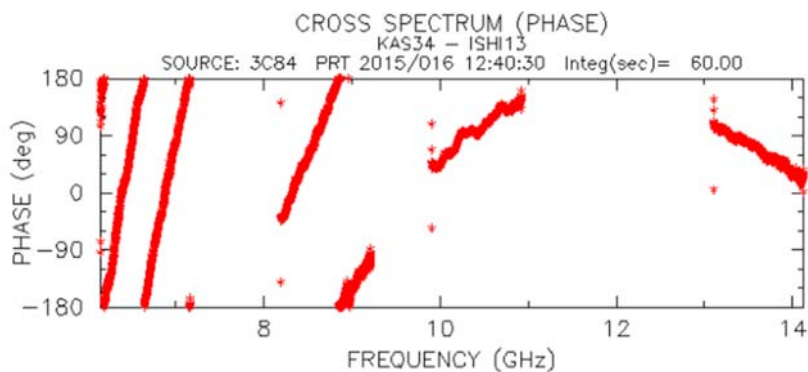
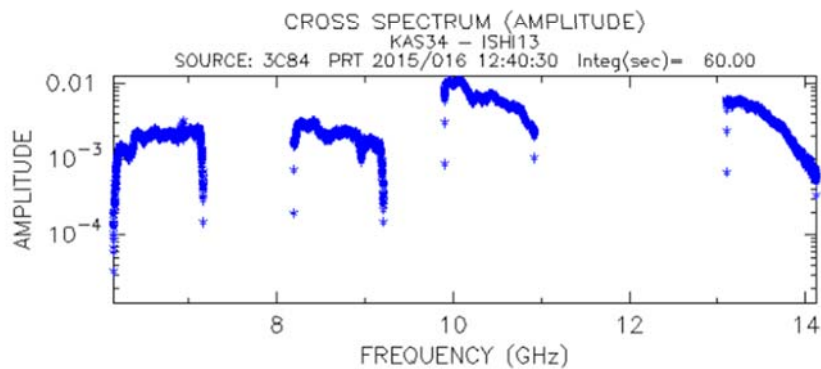
## 推定後のモデル位相と残差



# $\Delta$ TEC の推定結果



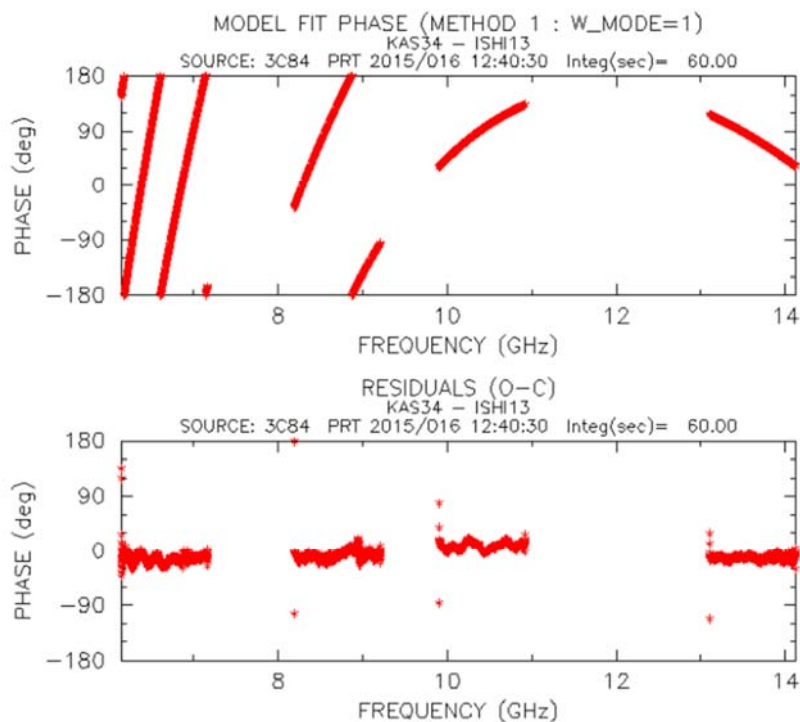
## シミュレーションデータ (バンド # 2と4を欠いた場合)



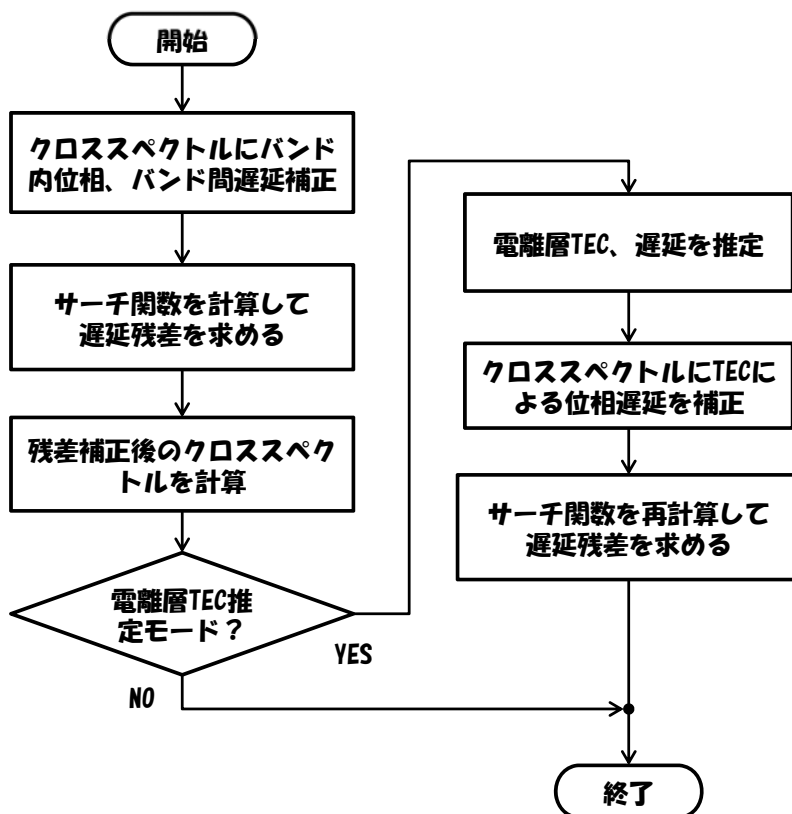
TEC=100



# 推定後のモデル位相と残差



# 処理方法の簡単なまとめ



# まとめ

- 広帯域バンド幅合成の実用的手法をほぼ確立
- 電離層補正の長距離基線データを用いての検証はこれから

