

広帯域バンド幅合成(WBWS)での TEC推定の現状

Current Status of TEC Estimation in the
Wideband Bandwidth Synthesis Software

近藤哲朗*1,*2、岳藤一宏*2

*1 中国科学院上海天文台

*2 情報通信研究機構鹿島宇宙技術センター



今回の中身

- 広帯域バンド幅合成(WBWS)ソフトウェアでの電離層 ΔTEC の推定結果の検証を長基線で行った
- その結果、低SNRでの ΔTEC 推定が思わしくない
- そこで、電離層 ΔTEC 推定法の改良を行った
- その結果、低SNRでも ΔTEC の推定が可能となった



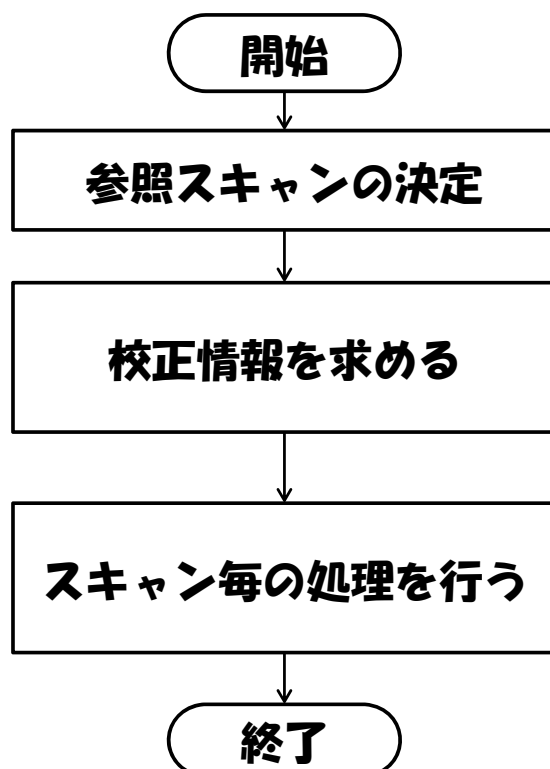
広帯域バンド幅合成手法

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

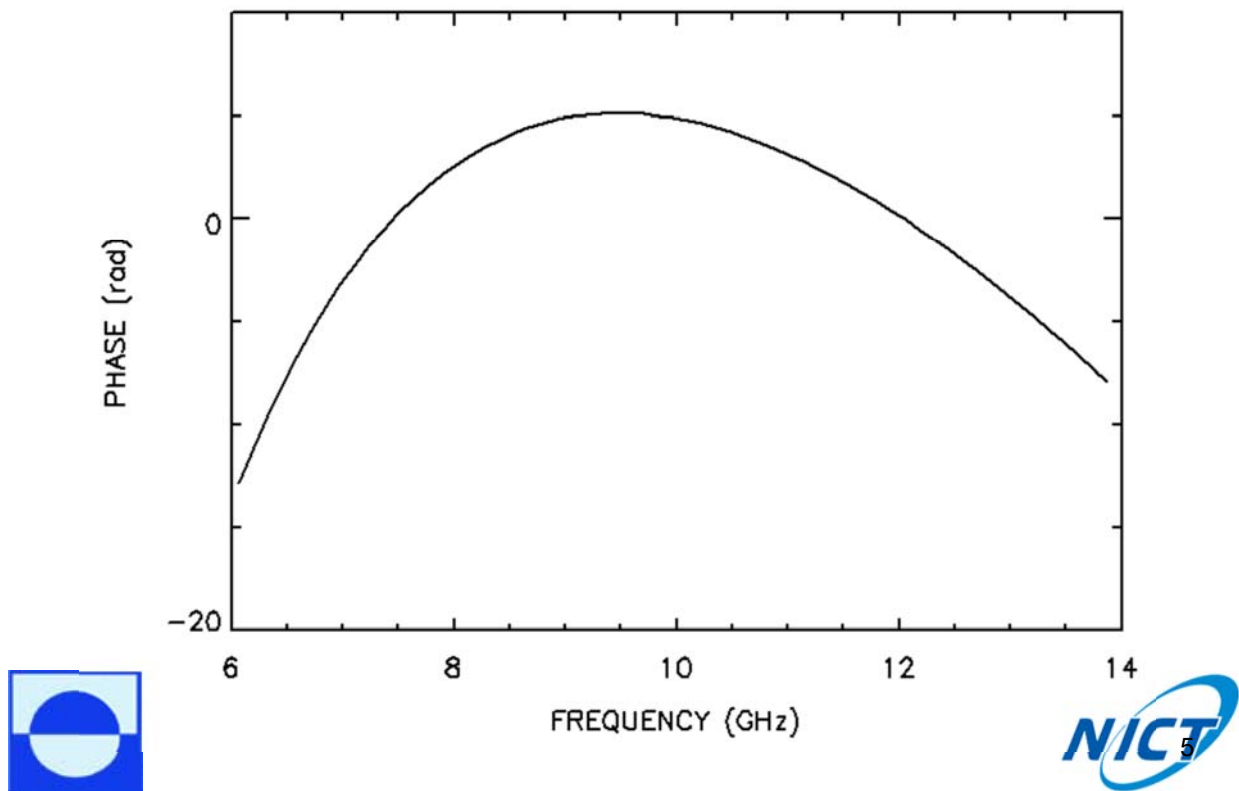
システムがある程度安定であることを仮定している



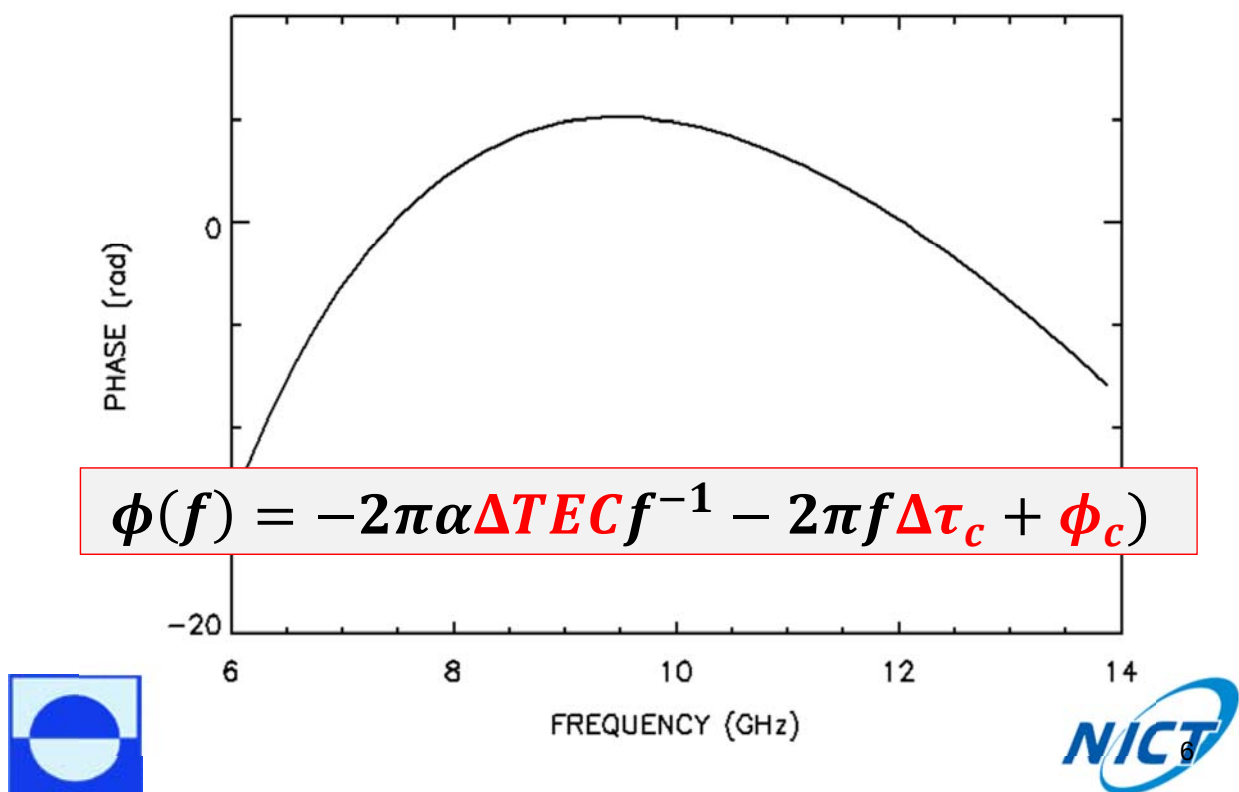
処理方法の簡単なまとめ



遅延サーク後の位相スペクトル



遅延サーク後の位相スペクトル



ΔTEC 等の推定法

位相を観測量としたときの観測方程式は

$$\phi_o(f) = \phi(f) + \varepsilon_\phi(f)$$

ここで $\varepsilon_\phi(f)$ は位相の観測誤差

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

アンビギュイティを排除した位相モデル

$$R(f) = \cos \phi(f) \quad I(f) = \sin \phi(f)$$

観測量は

$$R_o(f) = \cos \phi_o(f) \quad I_o(f) = \sin \phi_o(f)$$

観測方程式は

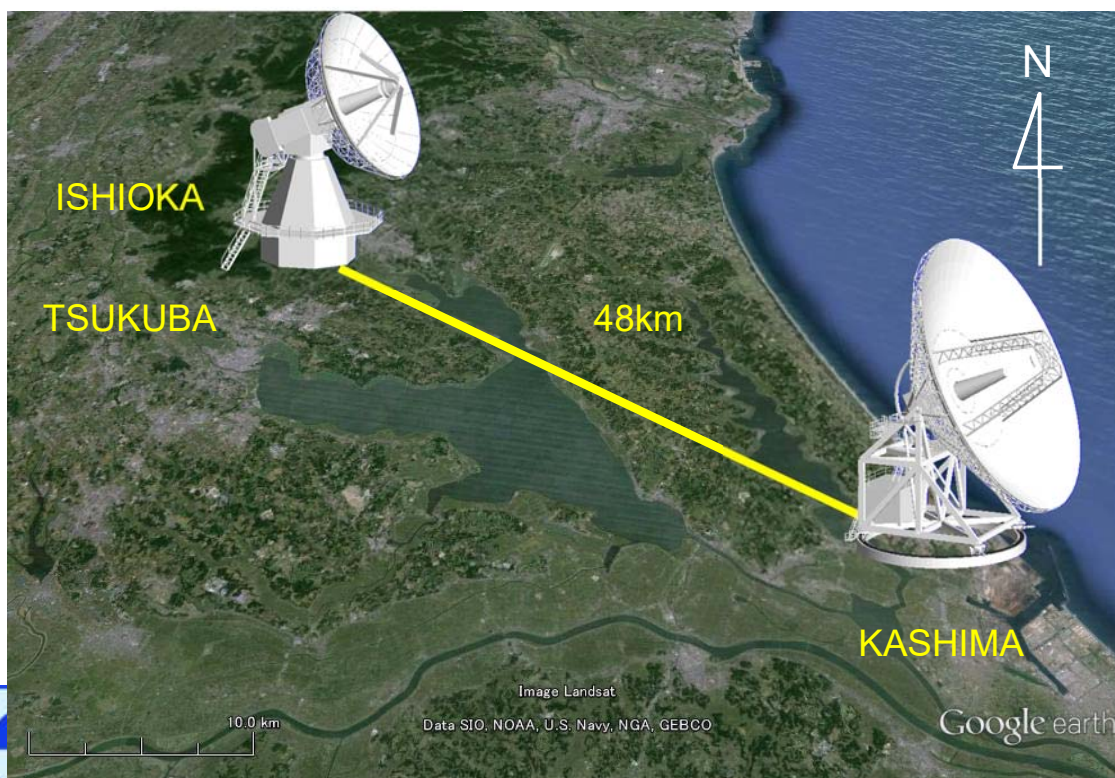
$$R_o(f) = R(f) + \varepsilon_R \quad I_o(f) = I(f) + \varepsilon_I$$



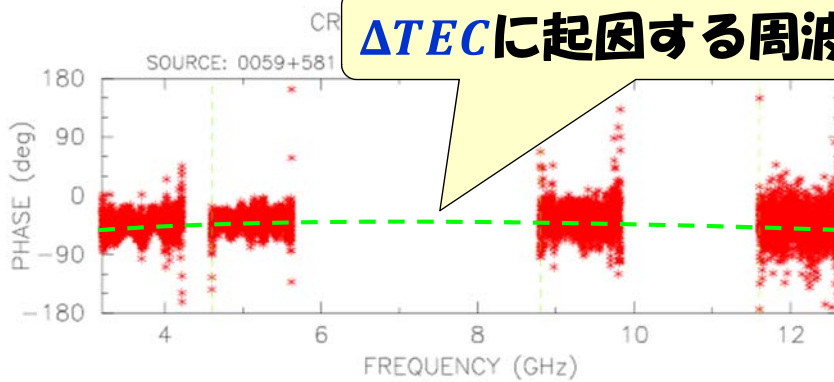
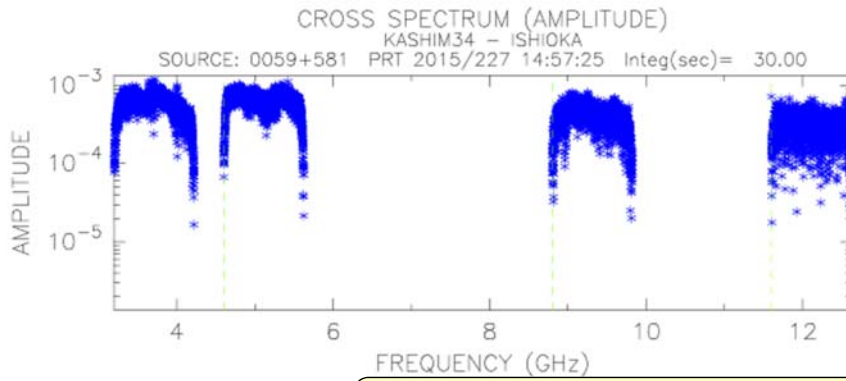
最小二乗法によって各パラメータを推定する



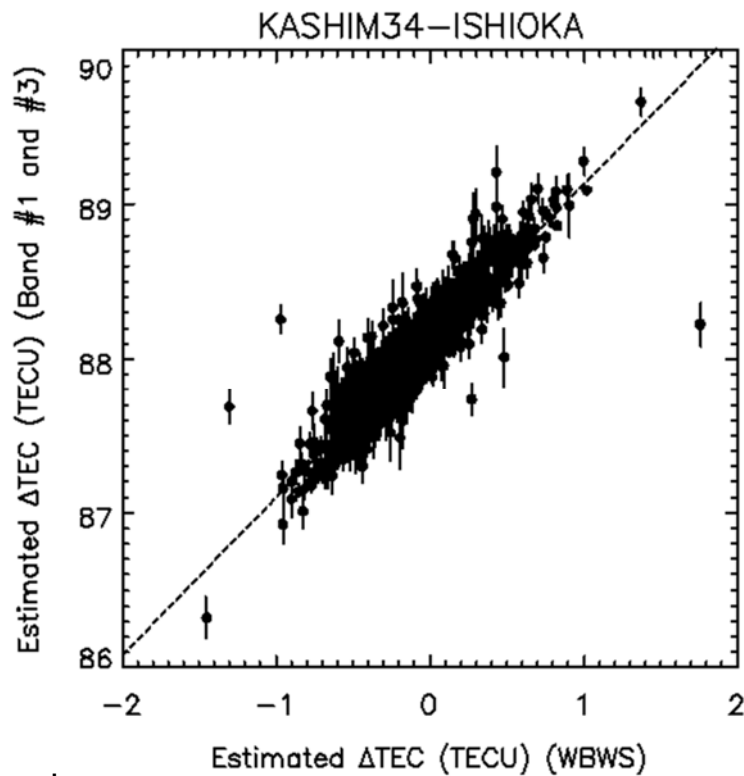
鹿嶋 - 石岡 基線



クロススペクトルの例



従来の2バンド法との比較



$$y=ax+b$$

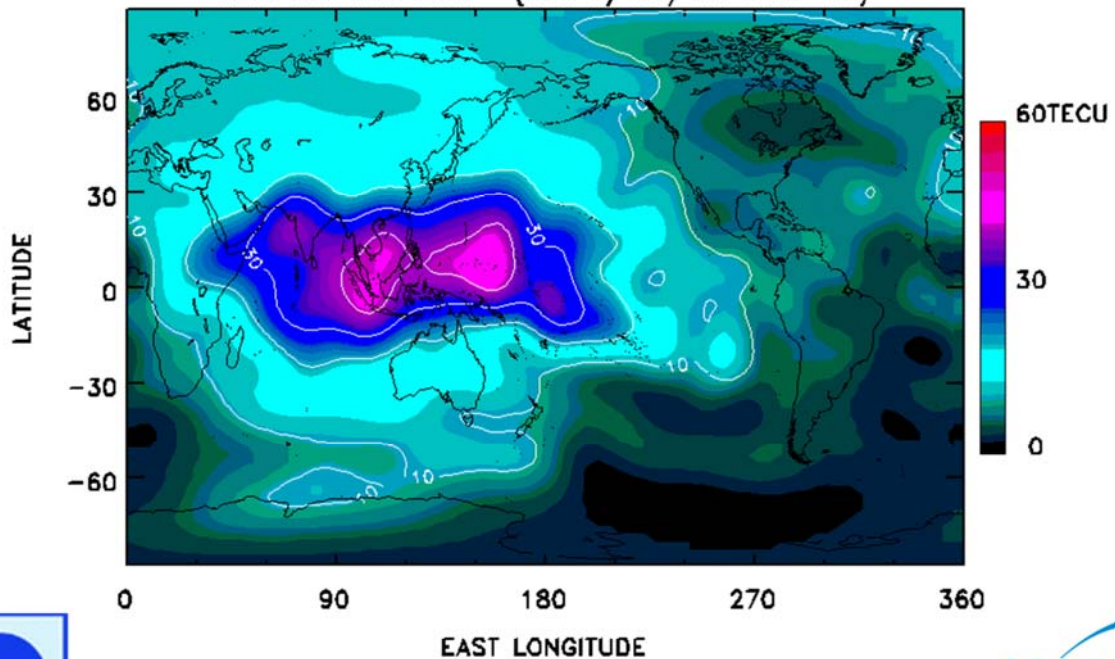
$$a=1.016\pm 0.0132 \quad b=88.1149\pm 0.0050$$



GNSS観測との比較

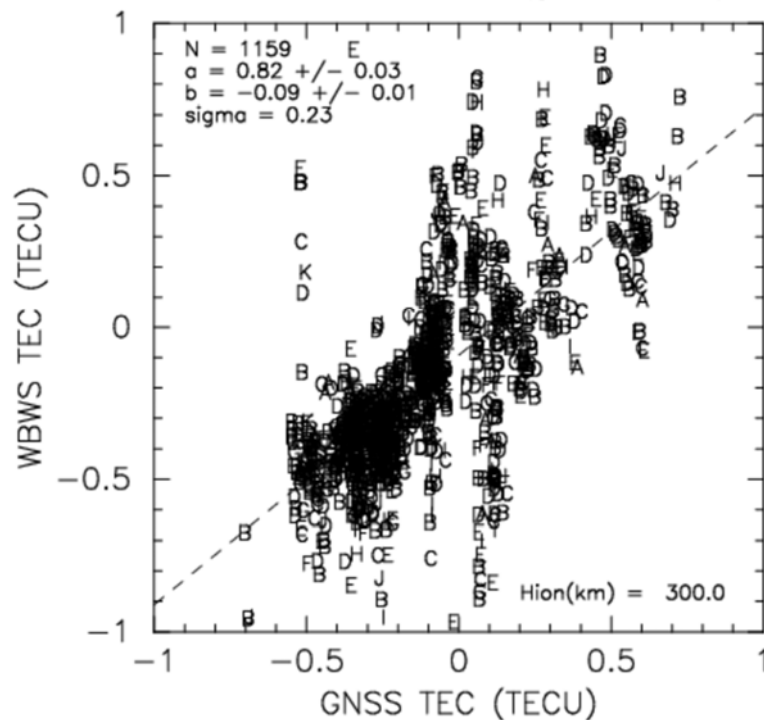
TECマップ例(2015/08/14)

GLOBAL TEC MAP (2015/08/14 06h UT)



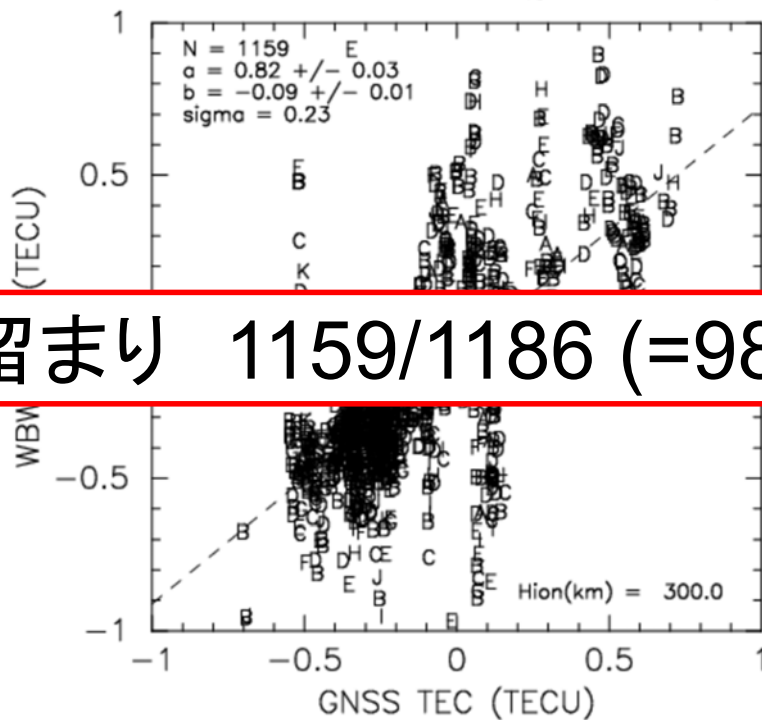
GNSS観測との比較

WBWS TEC vs GNSS TEC
KASHIM34-ISHIOKA (gv15226)



GNSS観測との比較

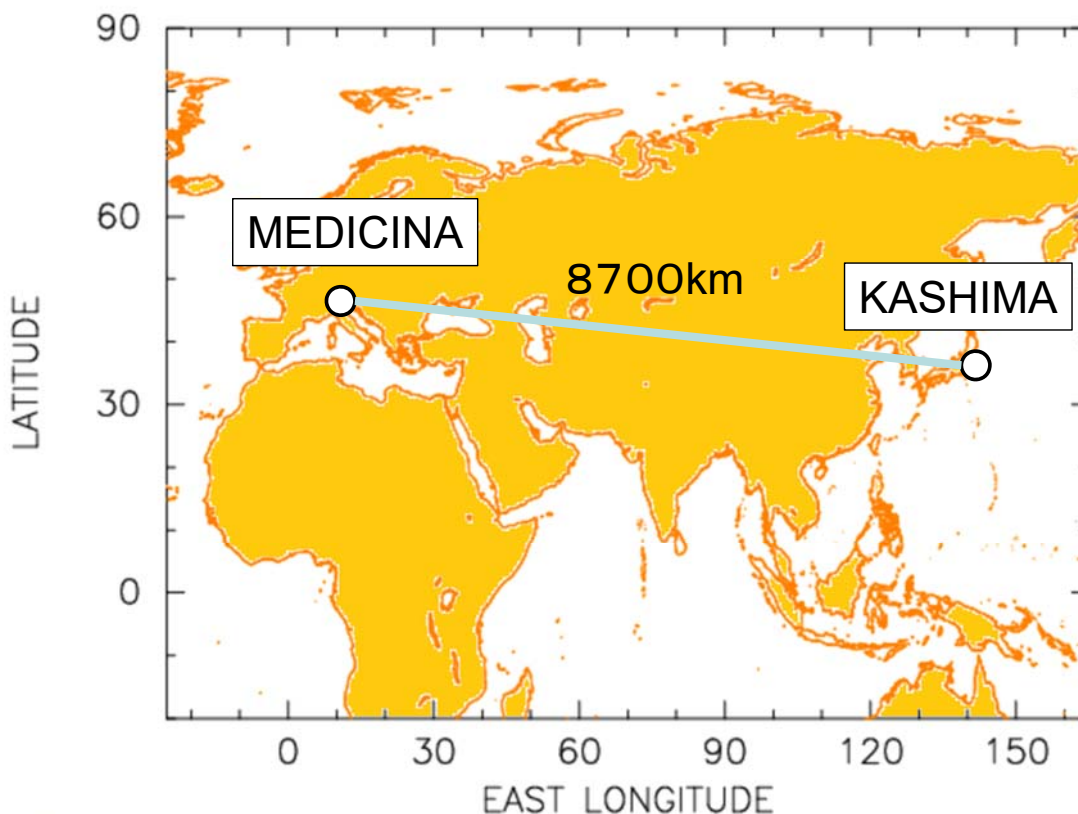
WBWS TEC vs GNSS TEC
KASHIM34-ISHIOKA (gv15226)



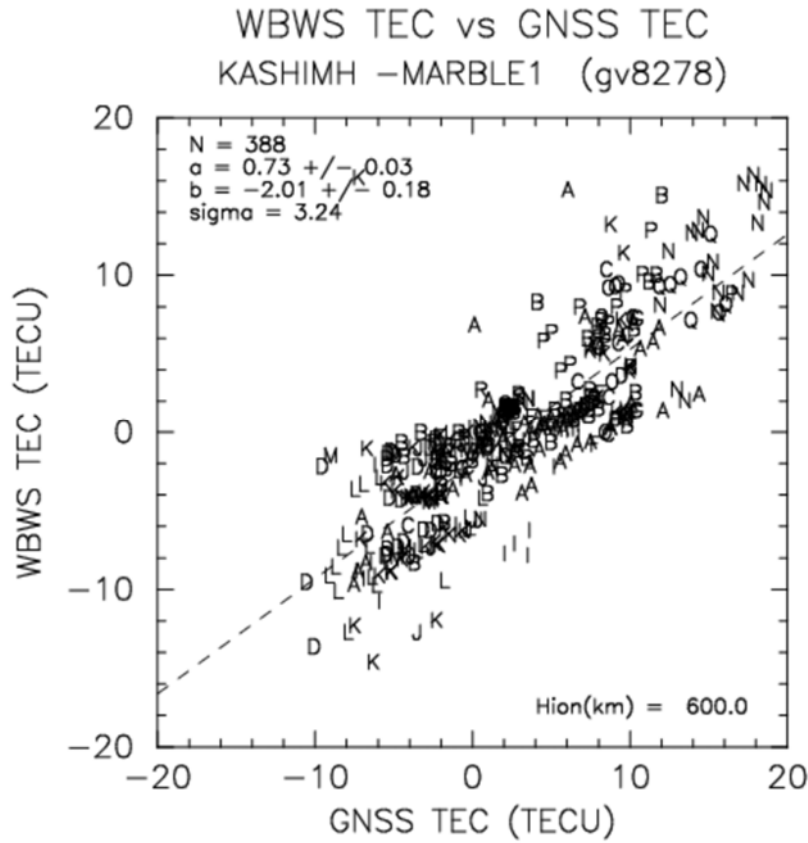
歩留まり 1159/1186 (=98%)



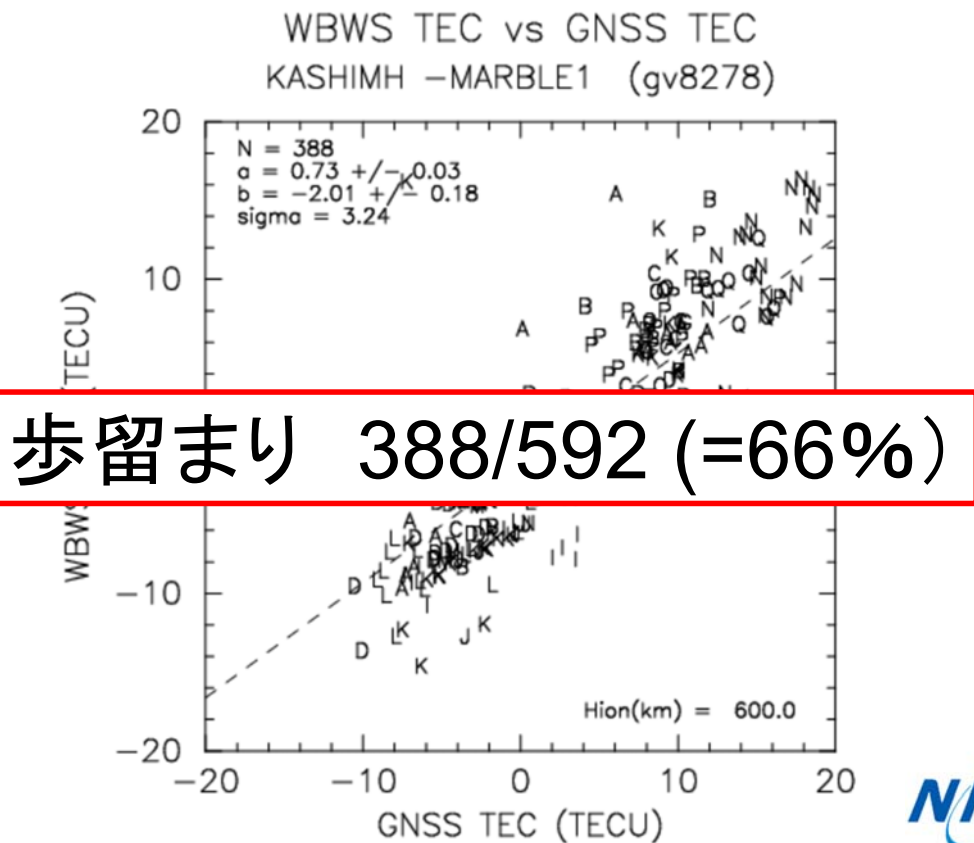
鹿嶋-メジナ 基線



GNSS観測との比較(従来法)

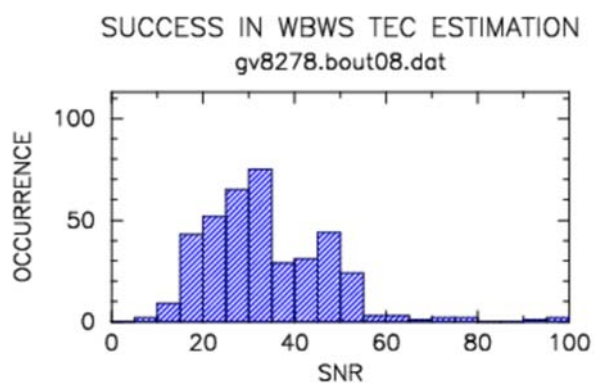


GNSS観測との比較(従来法)

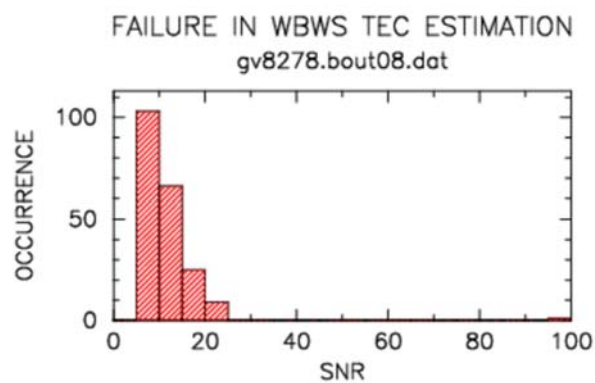


SNR分布を見てみると……

成功

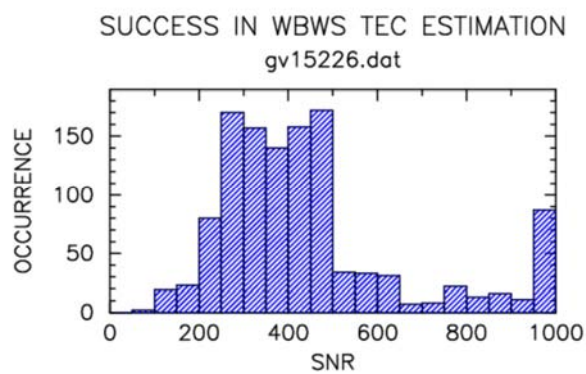


失敗

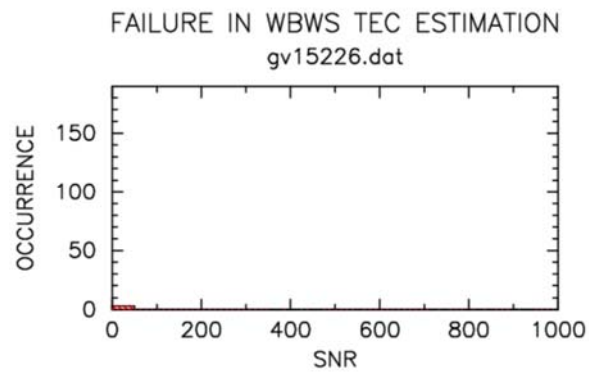


以前の実験 (gv15226) の場合は……

成功



失敗



TECサーチ関数の導入(GM法)

クロススペクトルの位相モデル

$$\theta(f, t) = 2\pi f\{\Delta\tau + \Delta\dot{t}t + \Delta\tau_{ion}(f)\} + \phi_0$$

ここで f : RF周波数、 t : 時間

$\Delta\tau_{ion}(f)$: 電離層遅延差

$$\Delta\tau_{ion}(f) = \alpha f^{-2} \Delta TEC$$

ここでクロススペクトル $S(f, t)$ の $\Delta\tau, \Delta\dot{t}, \Delta TEC$ に関するサーチ関数を以下のように定義

$$F(\Delta\tau, \Delta\dot{t}, \Delta TEC) = \left| \int_{t_0}^{t_1} \int_{f_0}^{f_1} S(f, t) \exp\{-i\theta(f, t)\} df dt \right|$$



$$F(\Delta\tau, \Delta\dot{t}, \Delta TEC)$$

$$= \left| e^{-i\phi_0} \int_{f_0}^{f_1} \left[\int_{t_0}^{t_1} S(f, t) \exp(-i2\pi f \Delta\dot{t} t) dt \right] \exp\{-i2\pi f(\Delta\tau + \alpha f^{-2} \Delta TEC)\} df \right|$$

レートサーチにより $\Delta\dot{t}$ がある程度の精度で決定されているとすると時間に関する積分を実行し、

$$F(\Delta\tau, \Delta TEC)$$

$$= \left| \int_{f_0}^{f_1} S(f) \exp\{-i2\pi(f\Delta\tau + \alpha f^{-1} \Delta TEC)\} df \right|$$



もう少し書き直すと

$$F(\Delta\tau, \Delta TEC) = \left| \int_{f_0}^{f_1} S'_{\Delta TEC}(f) \exp\{-i2\pi f \Delta\tau\} df \right|$$

ここで

$$S'_{\Delta TEC}(f) = S(f) \exp(-i2\pi \alpha f^{-1} \Delta TEC)$$

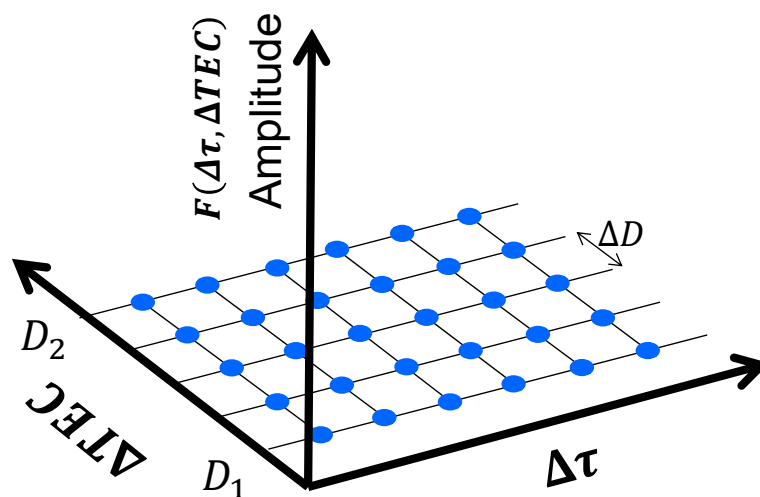
つまり ΔTEC を補正したスペクトル

FFTが使える

$F(\Delta\tau, \Delta TEC)$ を最大化する ΔTEC を求める!

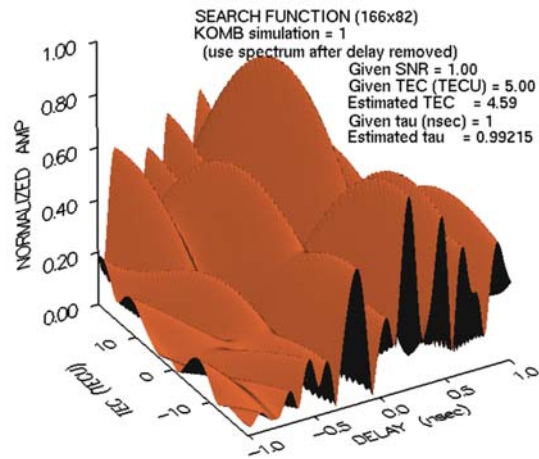
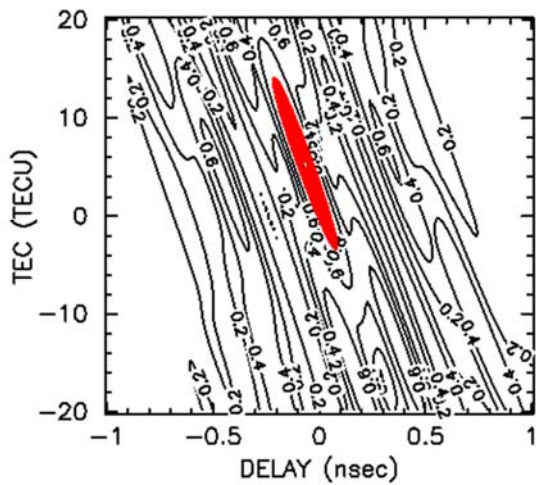
TECサーク関数

$$F(\Delta\tau, \Delta TEC) = \left| \int_{f_0}^{f_1} S'_{\Delta TEC}(f) \exp\{-i2\pi f \Delta\tau\} df \right|$$



サ一千関数例

TEC SEARCH FUNCTION



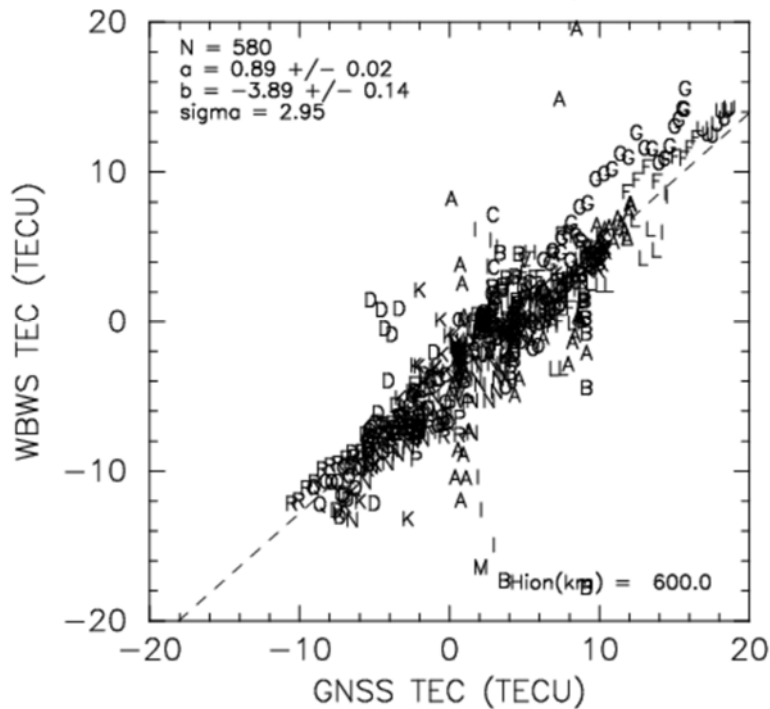
(赤い部分は0.8以上の部分)

TEC=5TECU、遅延=1nsecの広帯域スペクトルデータを発生
SNR=1 (周波数要素あたり)、KOMBシミュレーションモード

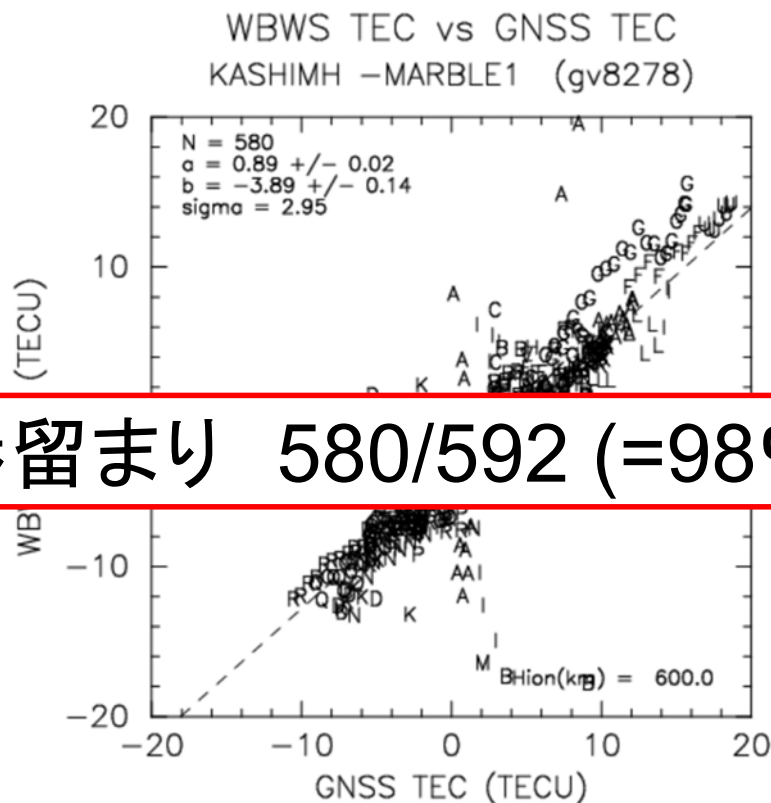


新しい方法(GM法)の結果

WBWS TEC vs GNSS TEC
KASHIMH -MARBLE1 (gv8278)



新しい方法(GM法)の結果



歩留まり 580/592 (=98%)



まとめ

- 電離層の推定法として位相モデルを用いた最小二乗推定法の他に新たにTECサー千関数を使用した推定法を開発した
- その結果、低SNRでの推定が可能となり、有効性が確認できた

