



# GEONETリアルタイムデータを用いた 電離圏擾乱のリアルタイムモニタリング

\*<sup>1</sup>齋藤 享、<sup>1</sup>吉原 貴之、<sup>2</sup>山本 衛

<sup>1</sup>電子航法研究所

<sup>2</sup>京都大学生存圏研究所

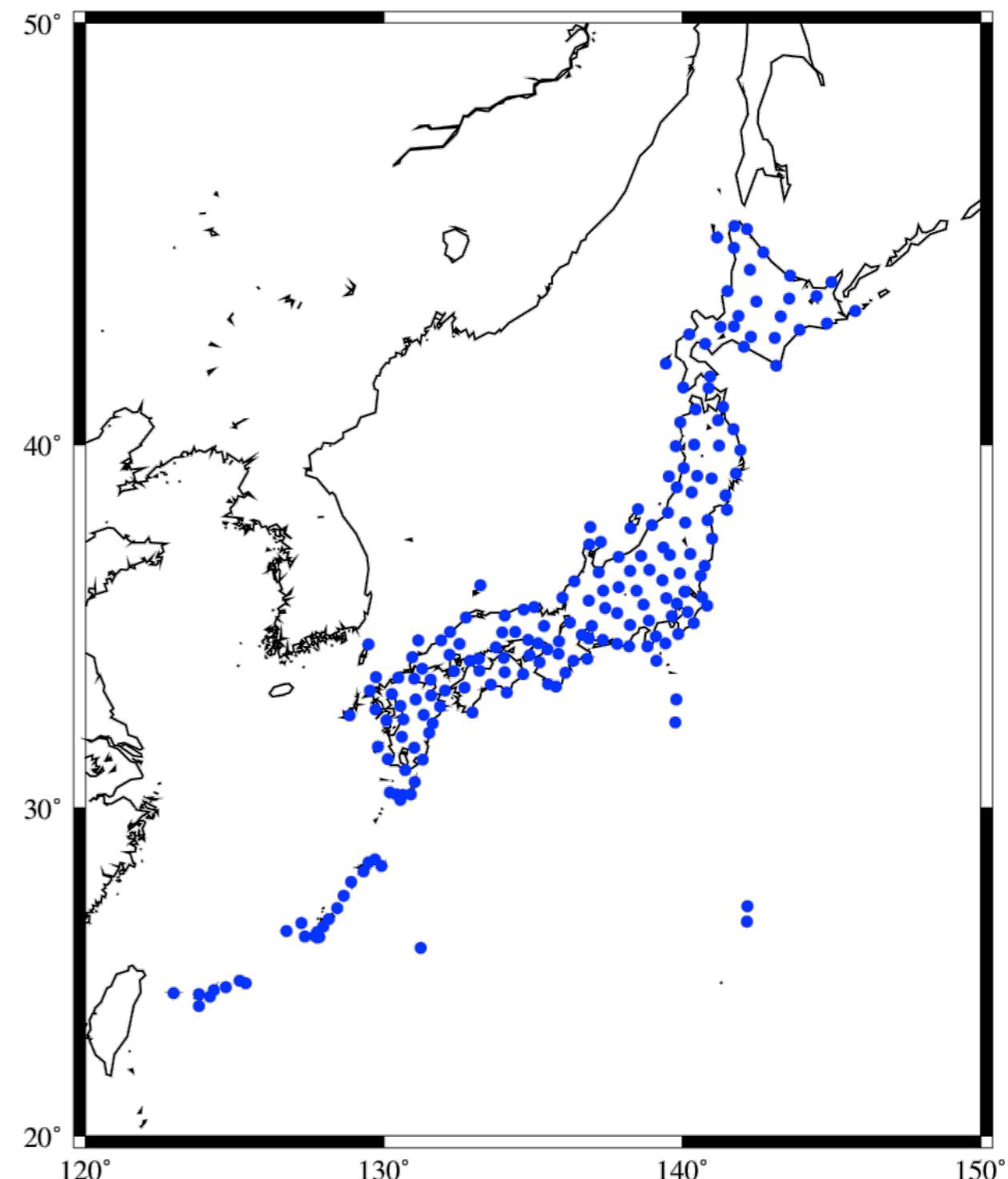
## 目的

- \* ロケット打ち上げのgo/nogo判断のため、MSTID発生をリアルタイムでモニタするシステムを開発する
  - GEONETデータのリアルタイム収集
  - TEC/TEC変動のリアルタイム解析
  - TEC変動マップの作成
  - ロケット射場へのMSTID発生情報のリアルタイム提供
- \* ロケット打ち上げ前後の電離圏の時間・空間変動を観測する

## GEONETリアルタイムデータ

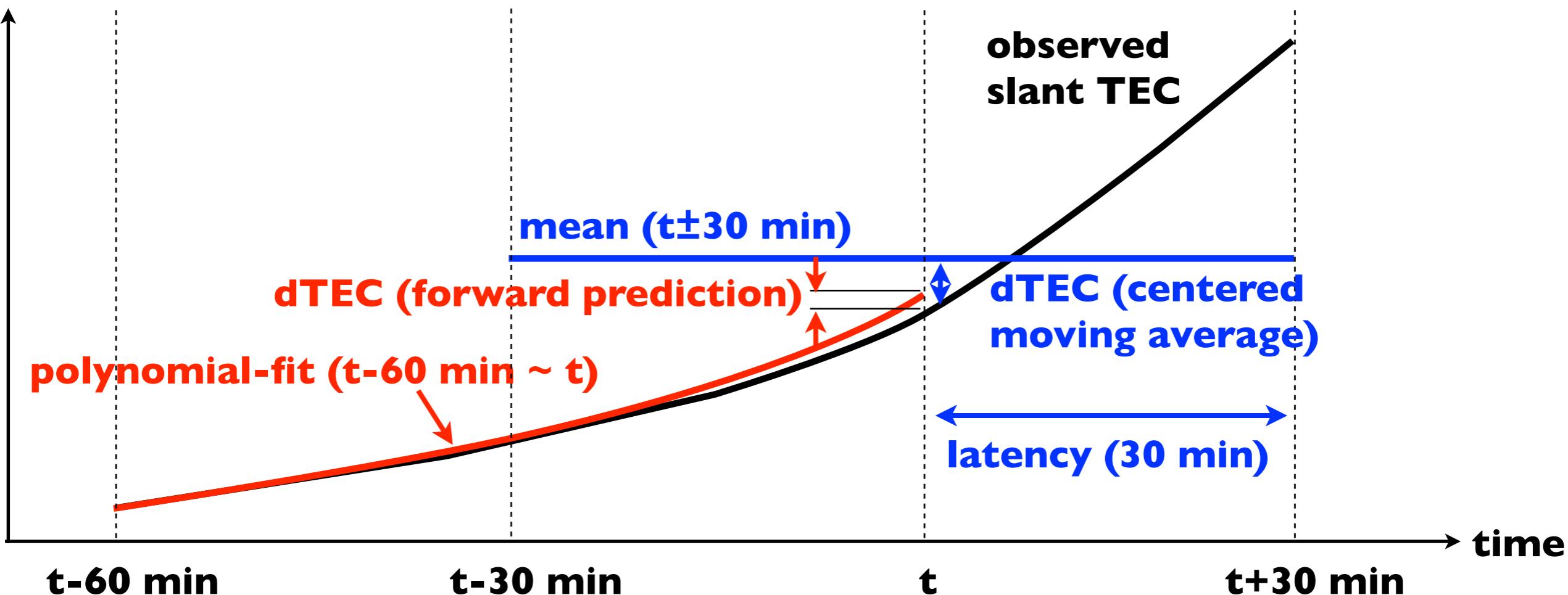
- \* GEONET: 国土地理院が展開する電子基準点網
- \* 約1200の観測点のうち、200点の1Hzリアルタイムデータを電子航法研究所で収集
- \* 200点の選定方針
  - 日本全土をカバーする
  - 南西諸島はできる限り全て収集（プラズマバブル対応）
- \* データ配信サーバから専用回線で配信→ほぼ時間遅れなし

電子航法研究所がリアルタイムデータ収集する**GEONET**観測点



## 全電子数(TEC)変動のリアルタイム導出法

slant TEC



\* 一般的な方法

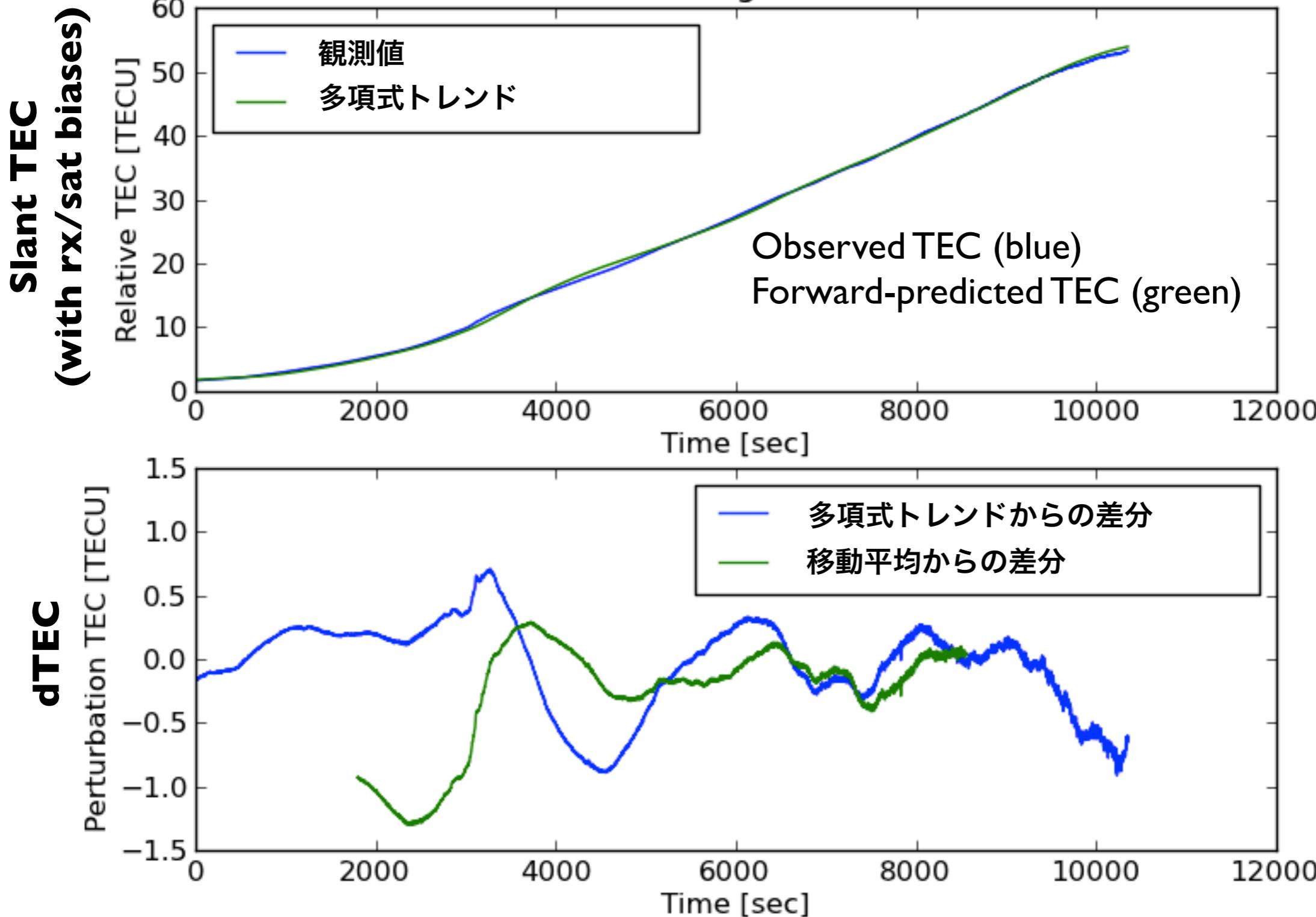
- 前後30分の平均からの差分を変動分とする
- 最低30分の時間遅れ

\* リアルタイム用

- 過去1時間のトレンドからの差分を変動分とする
- 時間遅れは計算時間のみ

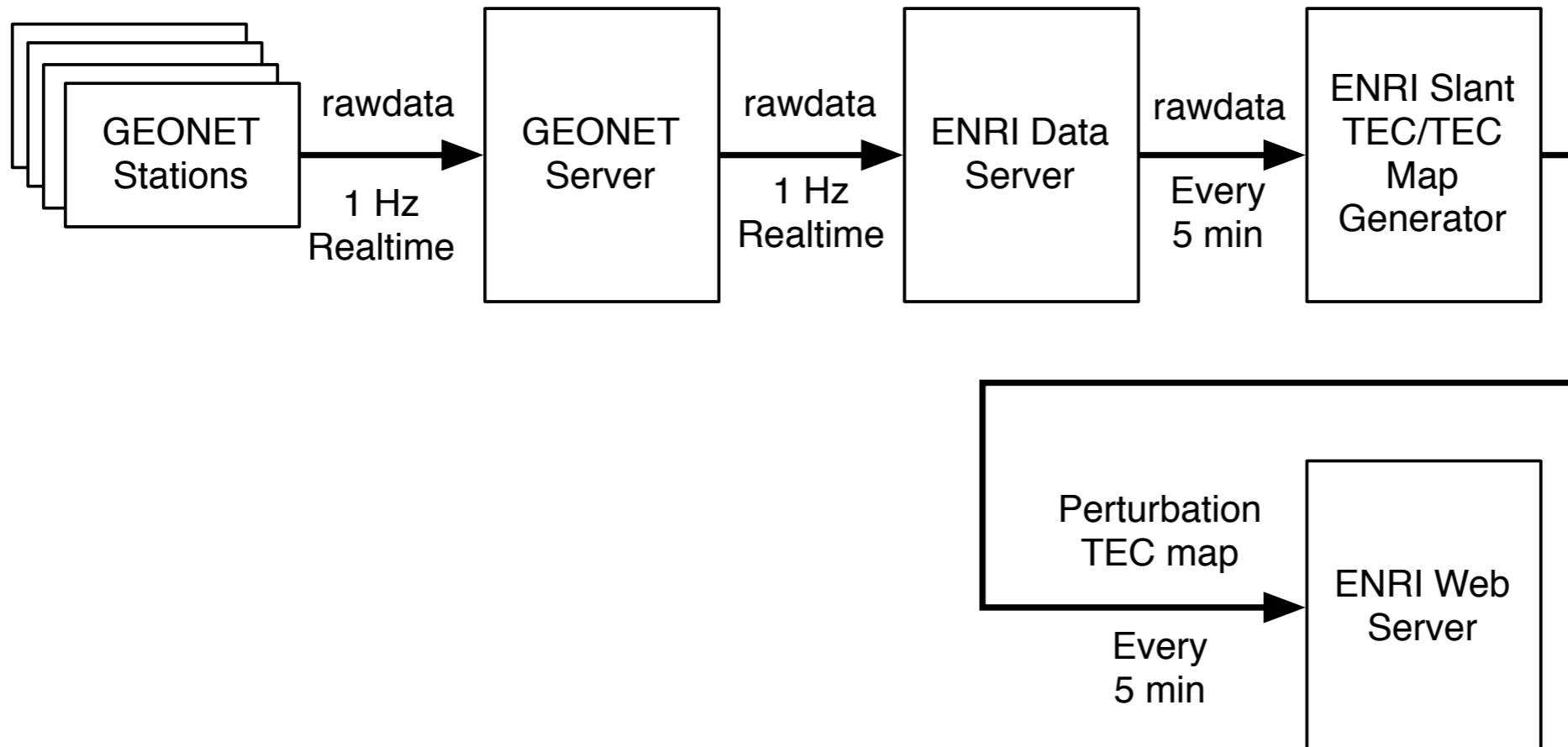
## 多項式トレンド除去によるTEC変動導出

PRN 16 04-Aug-2011 KMITL



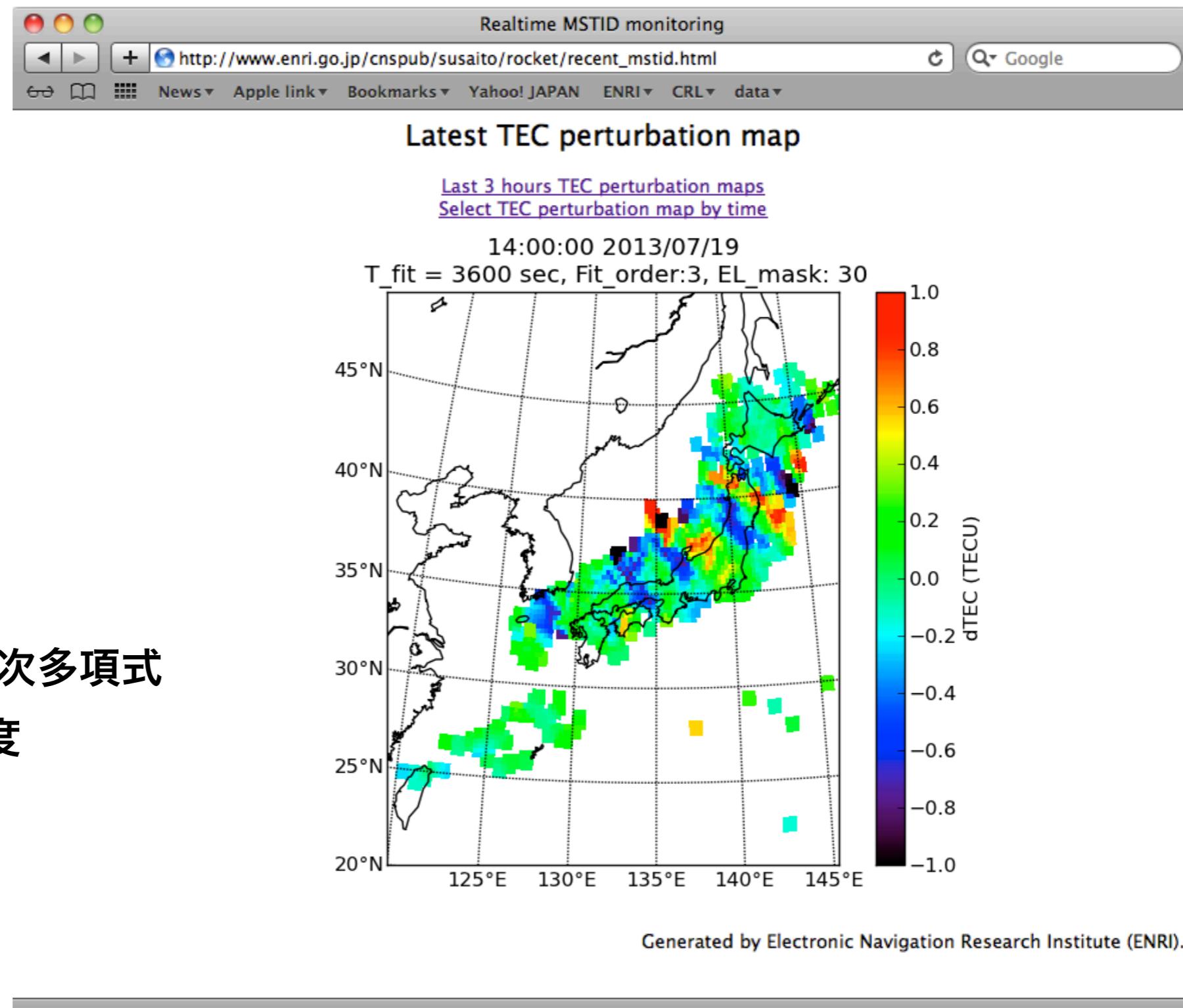
- \* 2つの手法の変動パターンは、一部差はあるもののよく似ている
- 変動の検出には十分

## 全電子数変動リアルタイム解析システム



- \* GEONETリアルタイムデータはデータ配信サーバから専用回線で配信(1Hz)
- \* TEC変動成分導出アルゴリズムの改良、ソフトウェアの効率化で時間遅れ2分以内でTEC変動マップを公開

# リアルタイムデータ提供

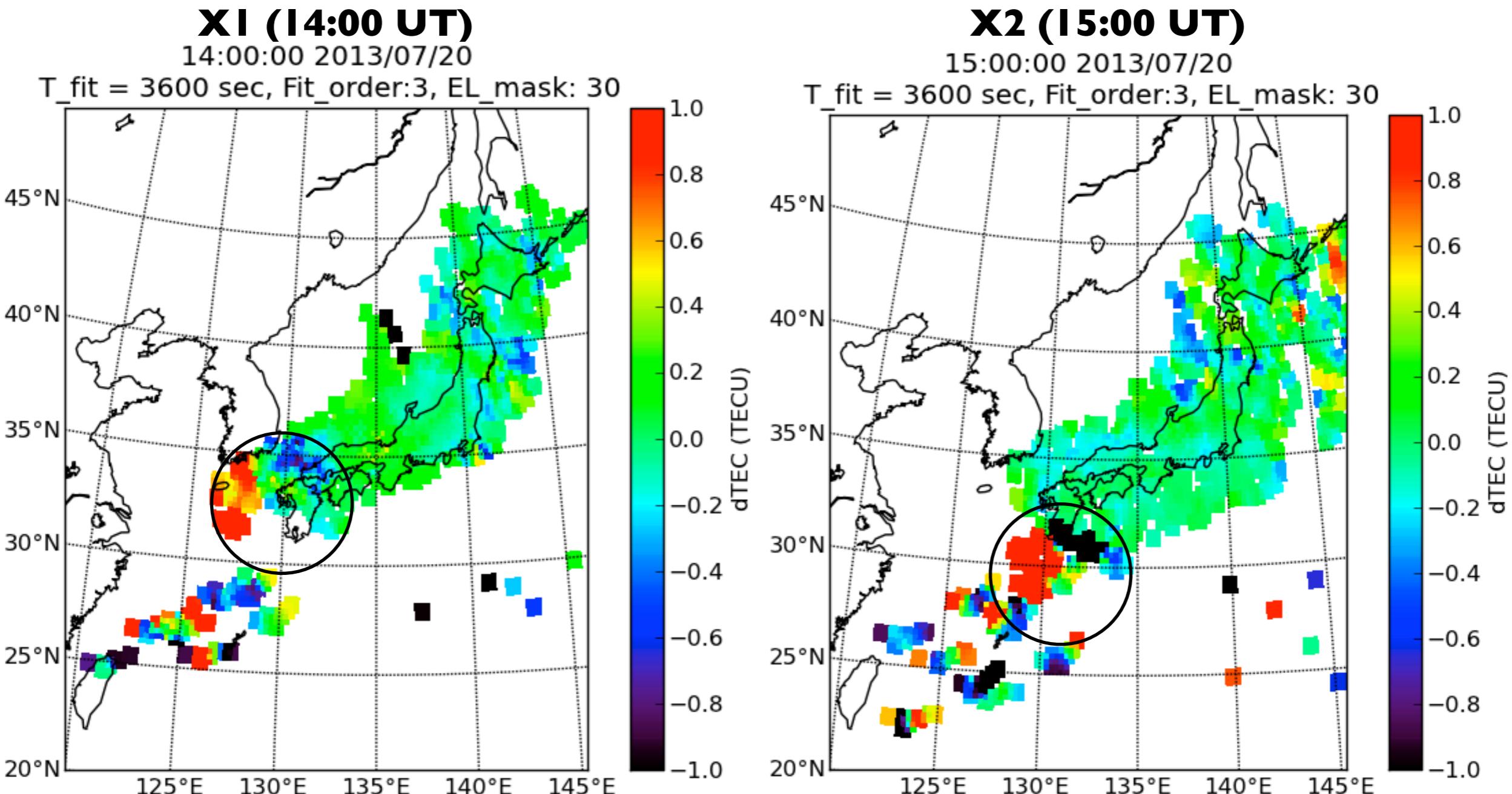


トレンド除去：3次多項式  
仰角マスク：30度

\* Webサーバを通じて公開（現在も公開中）

- [http://www.enri.go.jp/cnspub/susaito/rocket/recent\\_mstid.html](http://www.enri.go.jp/cnspub/susaito/rocket/recent_mstid.html)

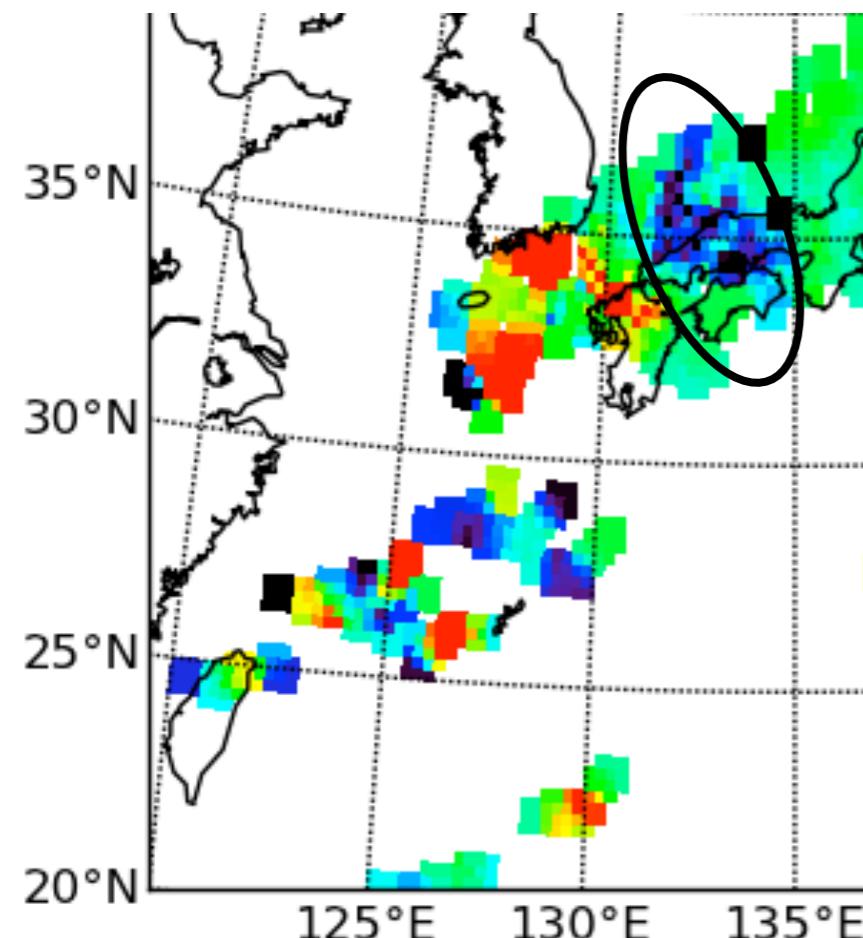
# ロケット打ち上げ時のTEC変動 (2013年7月20日)



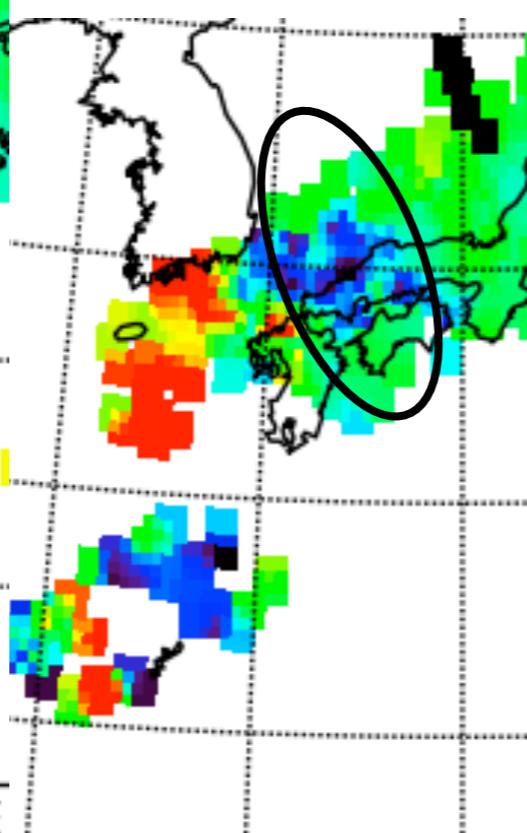
- \* ロケット打ち上げ時(X1, X2)に九州周辺でTEC変動あり
- \* TEC変動発生時のロケット打ち上げに成功

## 高速で伝搬する擾乱(XI前後)

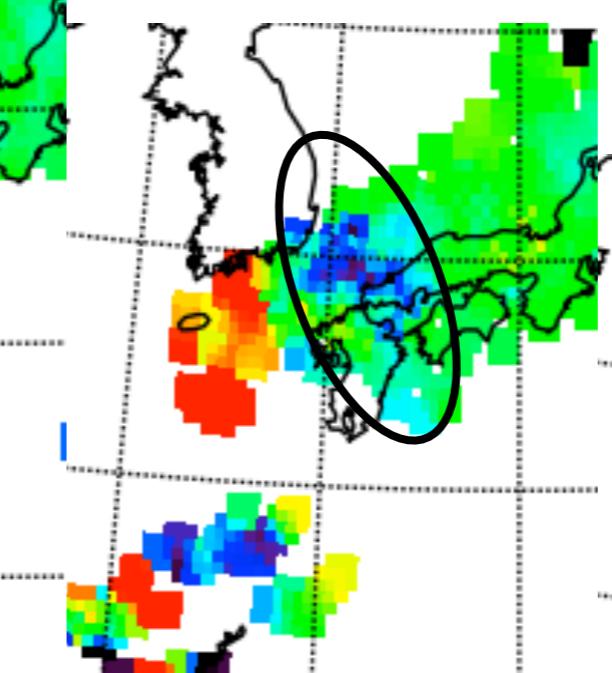
13:50 UT



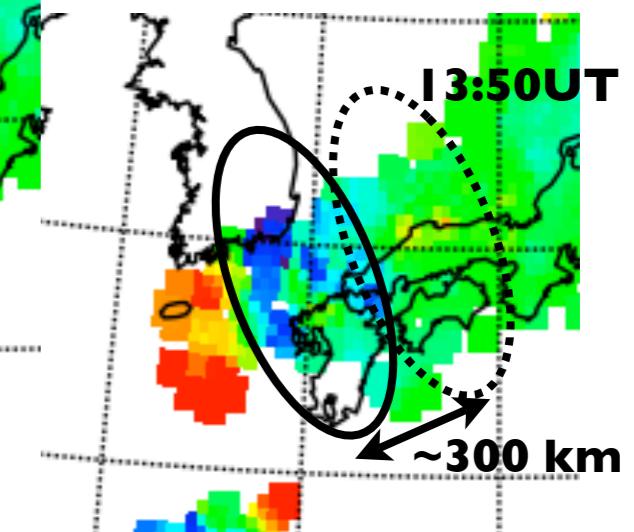
13:55 UT



14:00 UT (XI)

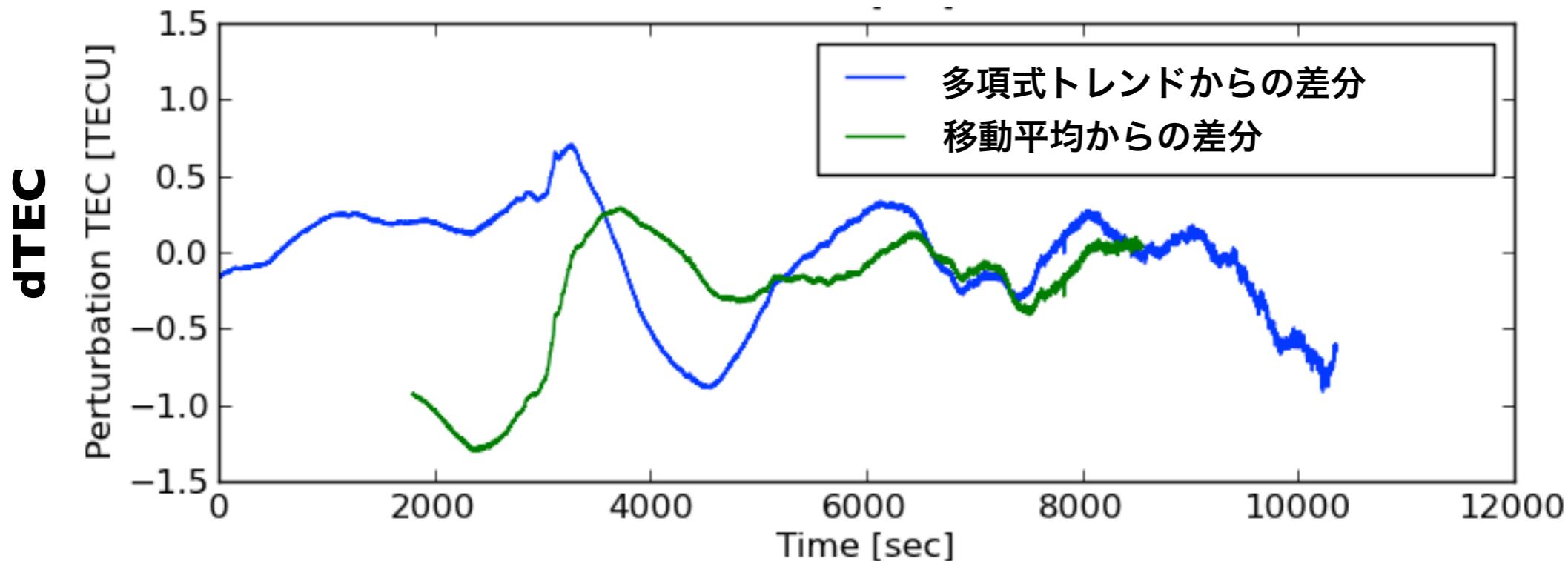


14:05 UT



$$* 300 \text{ km} / 15 \text{ min} = 330 \text{ m/s}$$

## 導出手法によるTEC変動値の違い



- \* 導出されたTEC変動成分は、導出手法により異なる
  - 振幅
  - 位相

\* 背景TEC+変動成分

- 背景 TEC: NeQuickモデル
- 変動成分: 正弦波振動、周期30分
- GPS標準24衛星軌道

\* TEC変動導出法

(1) 多項式トレンド除去1

- 次数: 3
- 過去1時間のトレンドを除去

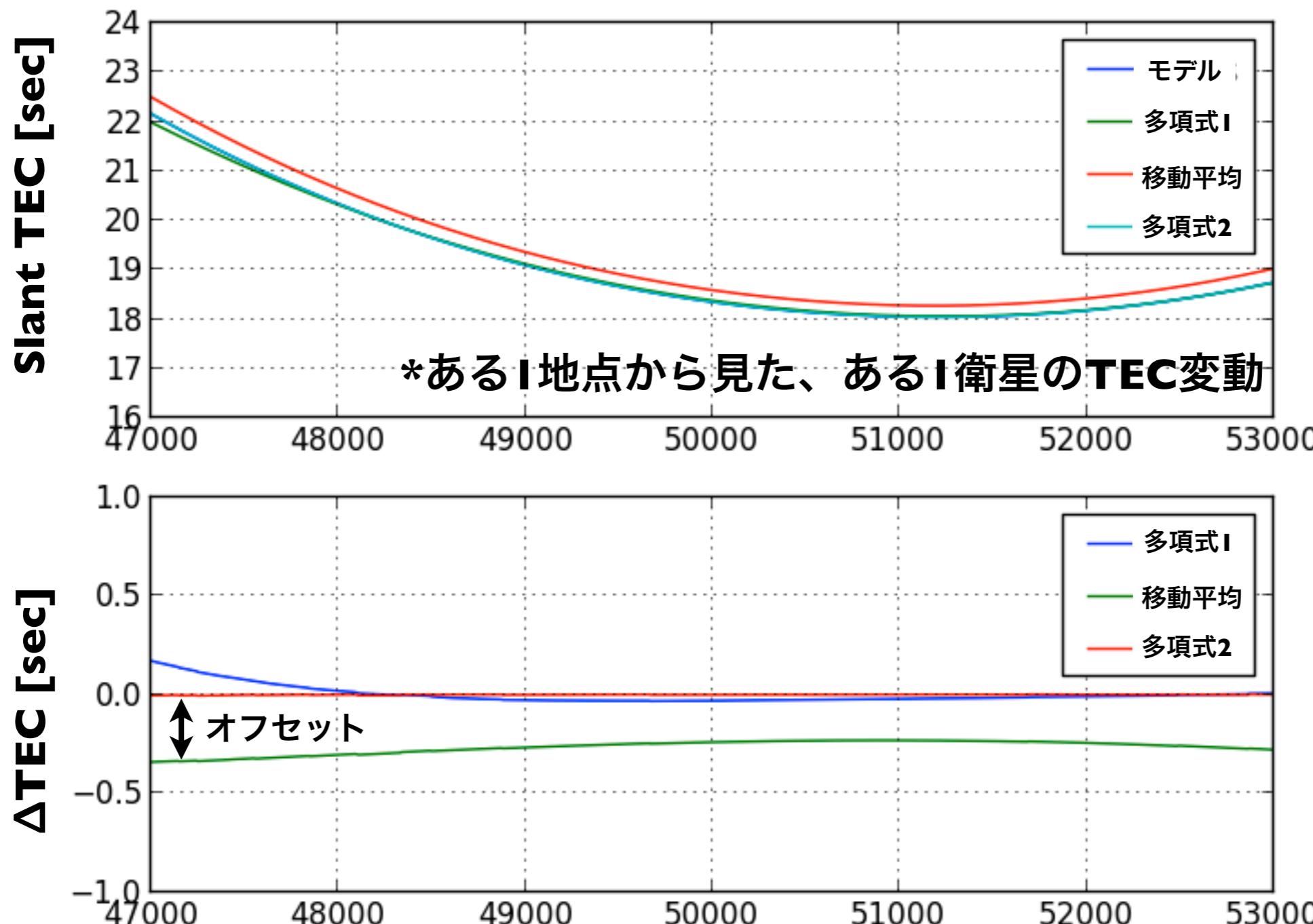
(2) 移動平均

- 前後30分の移動平均を除去

(3) 多項式トレンド除去2

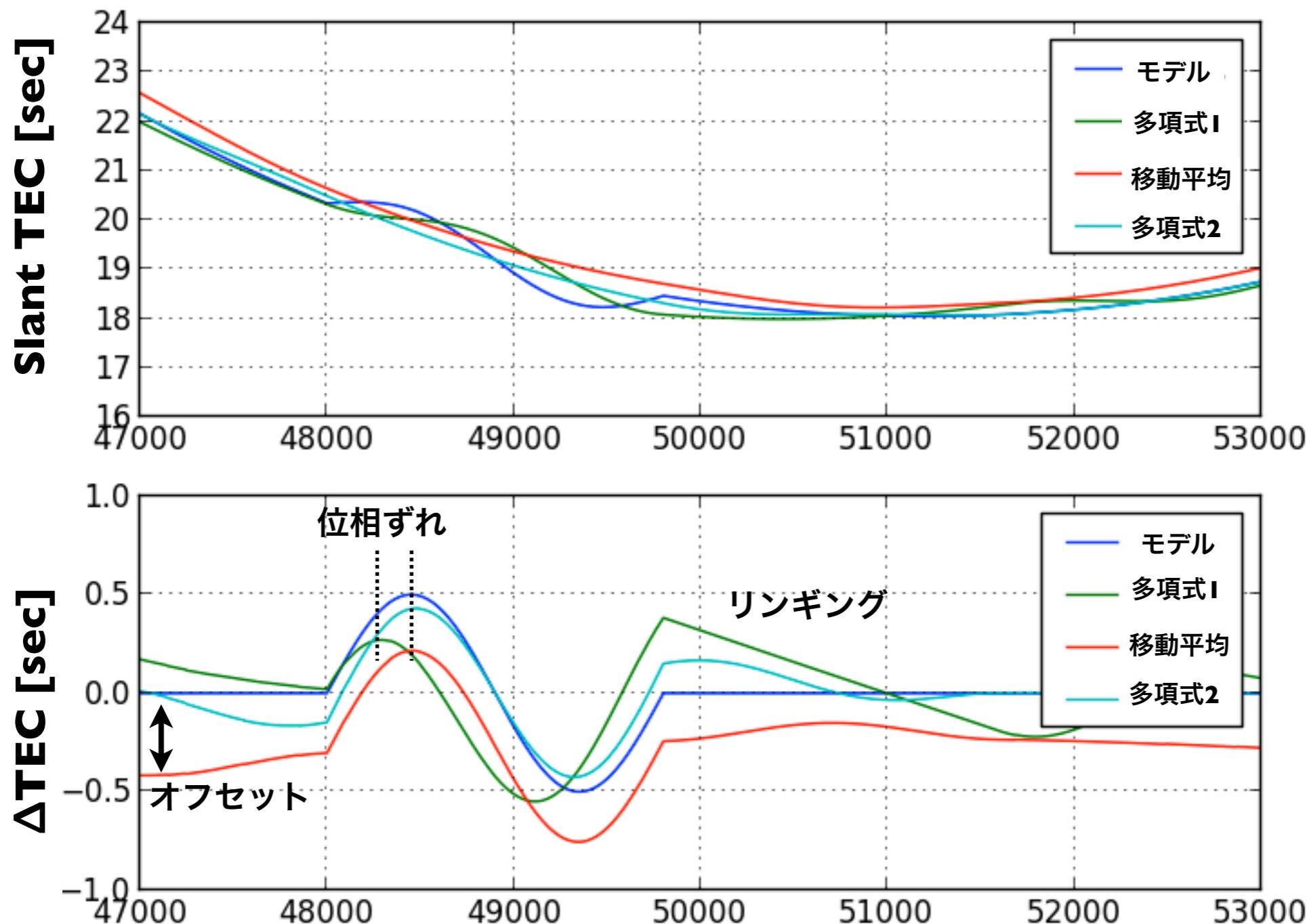
- 前後30分のトレンドを除去

## 結果：TEC変動を与えない場合（背景のみ）



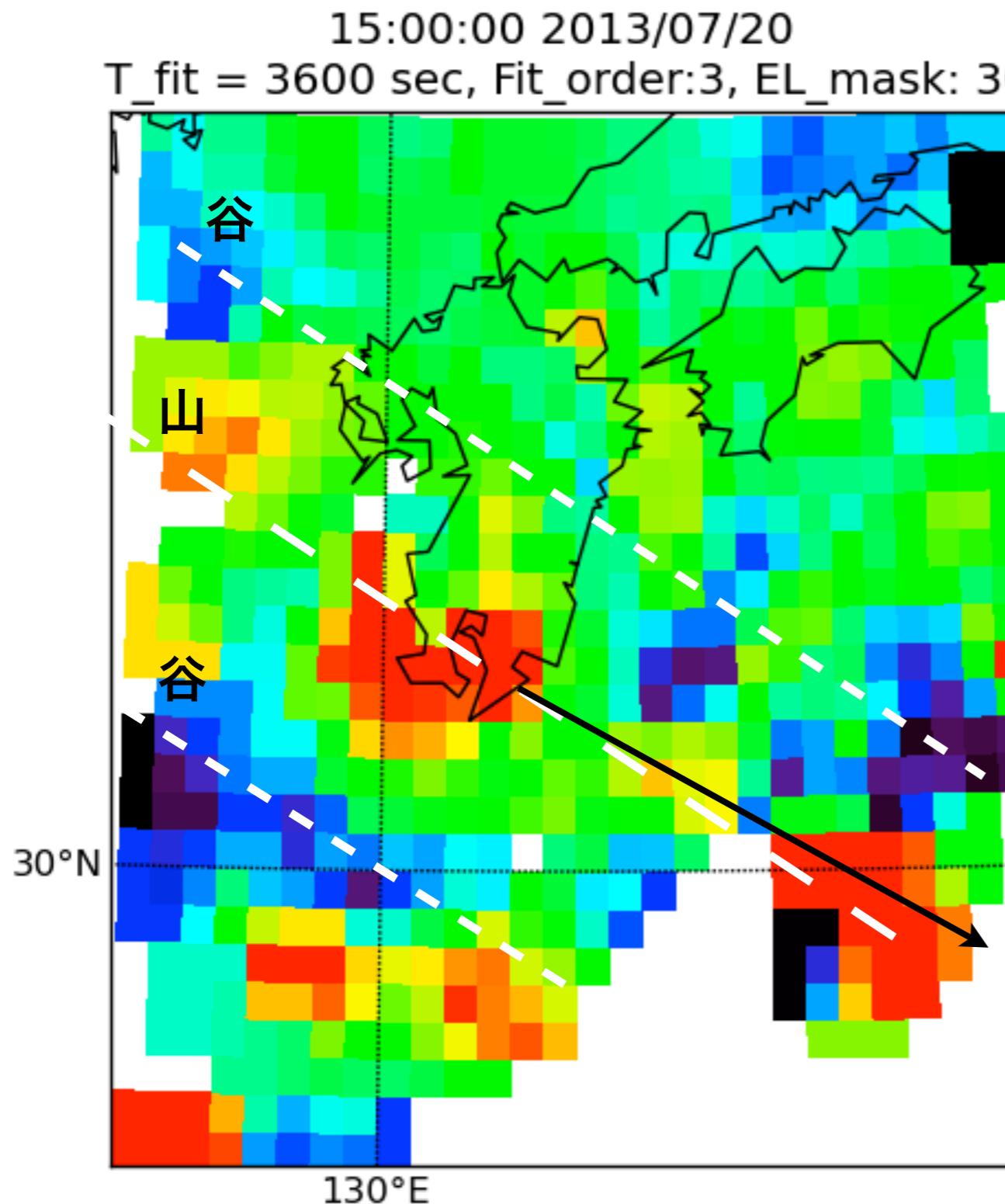
- \* 多項式トレンドは背景TECをよく追従する
- \* 移動平均には高次成分に起因するオフセットがある

## 結果：TEC変動を与えた場合



- \* 過去だけを用いた多項式トレンド除去結果に位相ずれ
- \* 前後を用いた多項式トレンドが最もよくモデルを再現する

## 中心多項式トレンド除去によるTEC変動マップ



- \* 口ケット打ち上げ前後には  $\pm 0.3$  TECU程度の変動があった
- \* 口ケット軌道周辺は TEC 増大領域から減少領域への境目

## まとめ(I)

- \* ロケット打ち上げのgo/nogo判断のため、TEC変動のリアルタイムモニタリングシステムを開発した
  - 過去1時間のトレンドを除去する方式で、時間遅れ2分以内でTEC変動マップを導出
  - ロケット発射前後に九州付近でTEC変動を検出し、TEC変動中のロケット打ち上げに成功
- \* TEC変動導出手法によるTEC変動値の違いをモデル検討
  - 過去のトレンドを除去する方式では位相シフト、リングングが発生
  - 中心移動平均を除去する方式ではオフセットが発生
  - 前後を用いて多項式トレンドを除去する方式が最もよい  
(事後解析用)

## まとめ(2)

- \* 前後のデータを用いた多項式トレンド除去によるTEC変動を事後解析
  - ロケット打ち上げ前後に $\pm 0.3$ TECU程度の変動があった
- \* ロケット軌道周辺はTEC増大領域から減少領域への境目であった。

