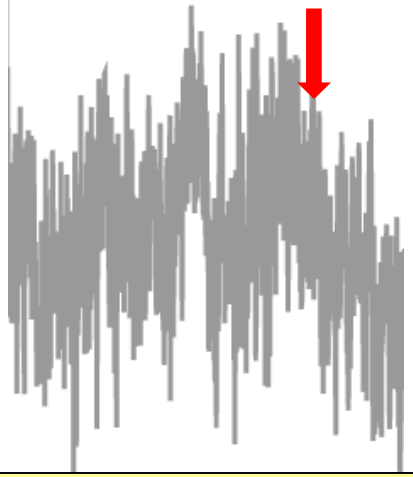
電子基準点誤差分析システムの開発

国土地理院　地理地殻活動研究センター
宇宙測地研究室
宗包　浩志

研究背景

- 電子基準点の座標時系列の変化は必ずしも地殻変動を表しているとは限らない→ただのノイズの可能性も
- 地殻変動の監視において通常とは異なるシグナルが検出された際には**今後推移を見守るべき変動か、あるいは誤差かの判断**を行う必要がある
  - →もし誤差でないなら重点的な監視が必要
  - →誤差ならば地殻変動情報の利用者（防災、研究者コミュニティーなど）に適切に注意喚起が必要



誤差かシグナルか紛らわしい時系列

研究背景

従来の対応：

→そのまま監視を続ける

○誤差かどうか判明するまでに時間を要する

→新たに観測データの誤差特性に関する情報を収集
（周囲の観測点で動いていないだろうか、天気が悪いせいだろうか、電子基準点の周囲に木が茂ってないだろうか、ピラーが傾いていないだろうか・・・）

○作業が煩雑であり、手軽に調べられない

○どのような分析が効果的か分からない

○個別に作業が必要で非効率的

誤差かどうかの判断に有効な電子基準点の観測データの誤差特性に関する情報をアーカイブしておき、必要に応じて分析ができるようなシステムはできないだろうか

研究目的・目標

国土地理院

● 目的

全国の電子基準点の観測データの誤差特性をアーカイブし、ユーザーが簡便に分析できるシステムを構築する

電子基準点観測データ

GEONET解析システム

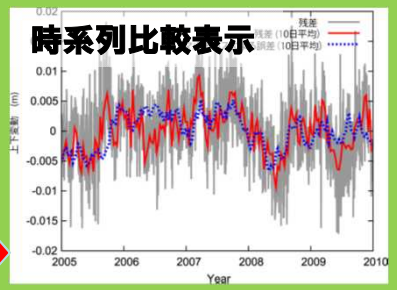
電子基準点誤差分析システムの設計図

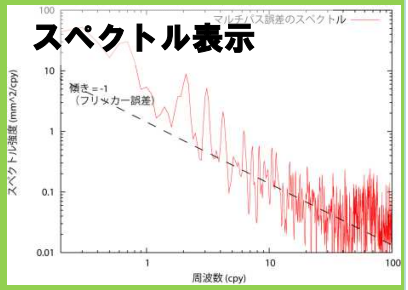
電子基準点時系列

電子基準点誤差時系列
・先行研究で開発したGPS時系列誤差推定手法により誤差を予測

電子基準点誤差判別補助時系列
・ある種類の誤差の指標となる時系列を準備

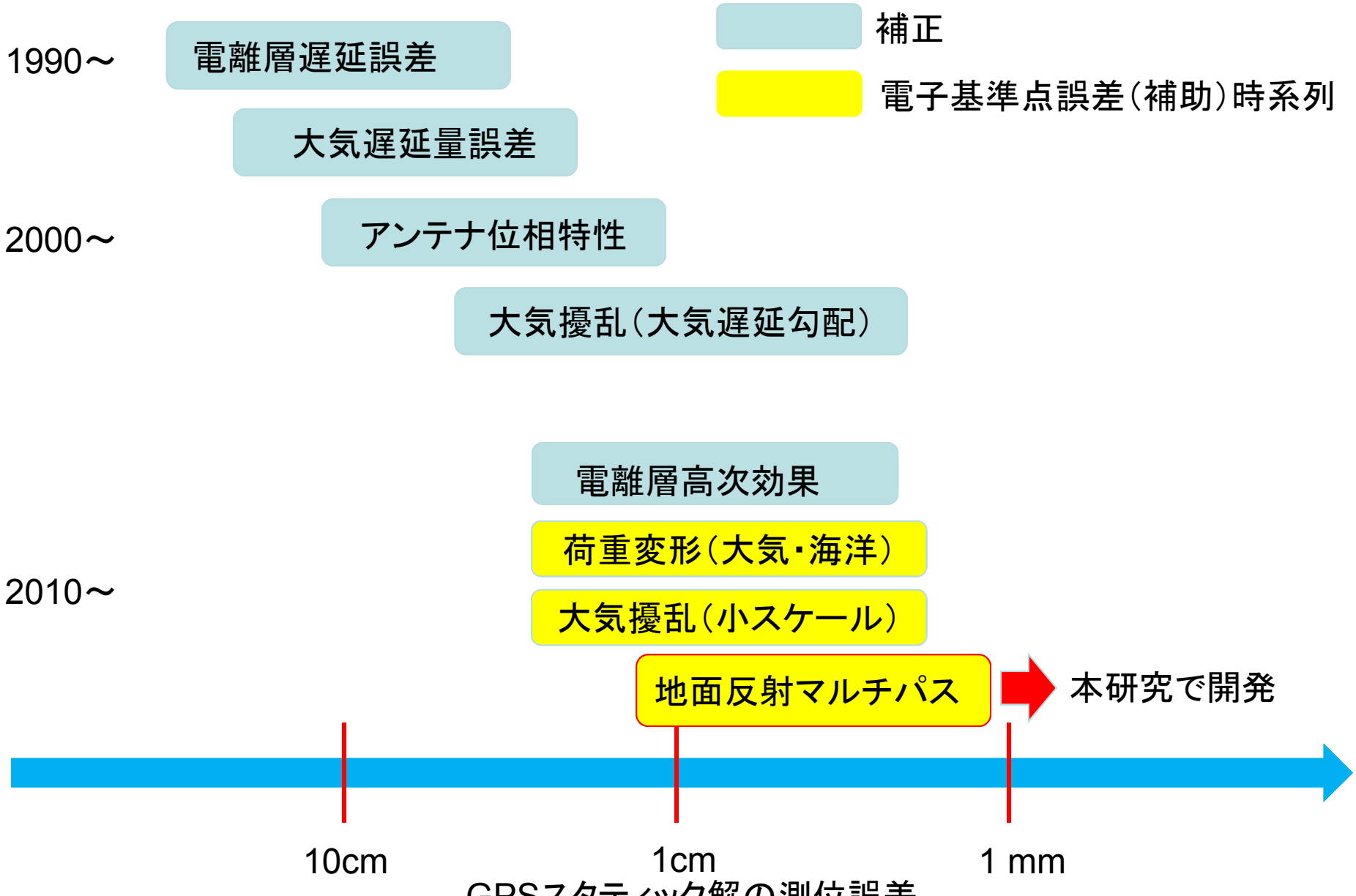
分析





先行研究で開発したGPS時系列誤差推定手法

国土地理院

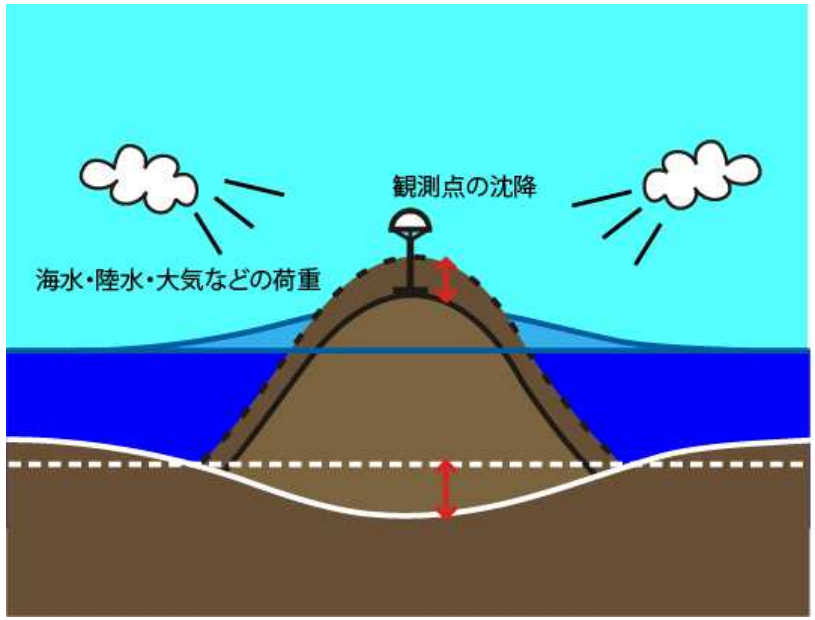


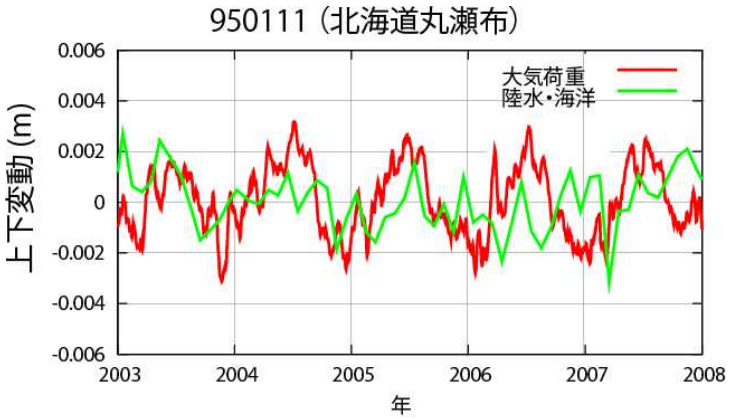
荷重変形について

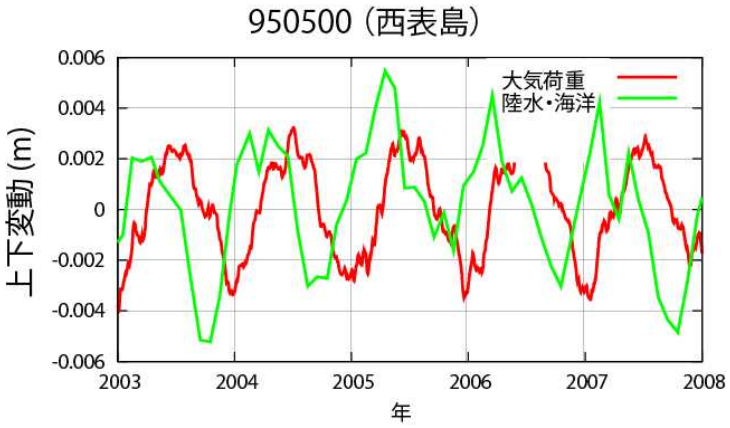
国土地理院

海水・陸水・大気などの荷重による地面の変形を数値モデルを用いて予測する（平成19～21年度実施課題）

荷重変形のイメージ







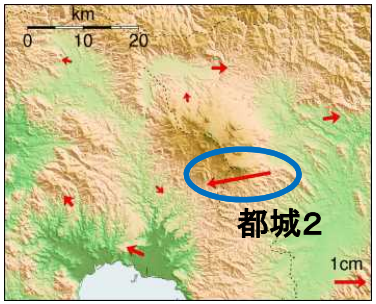
数値モデルによる海底圧力、土壌水分量、気圧を用い、海水・陸水・大気の重みによる地球の変形（荷重変形）を予測

大気擾乱(小スケール)について

国土地理院

大気擾乱による電波の伝播遅延に伴う測位誤差を、数値気象モデルを用いて予測する(平成22～24年度実施課題)

水平変位ベクトル
Q3解析結果

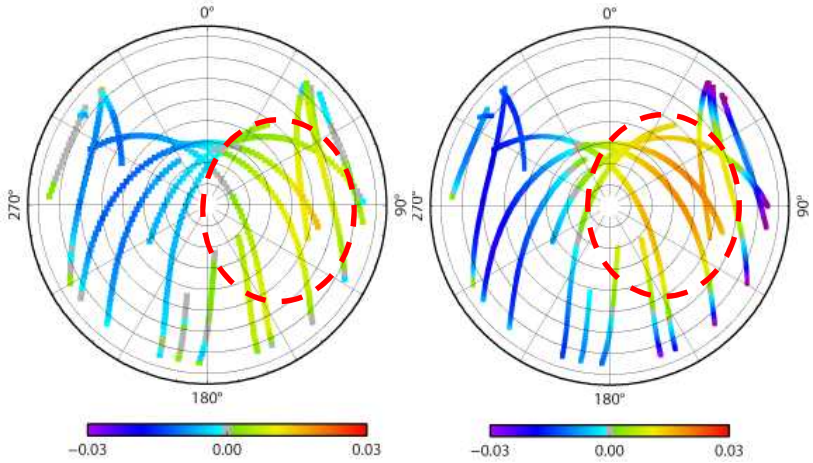


みかけ変動推定値

西向きの変動を再現

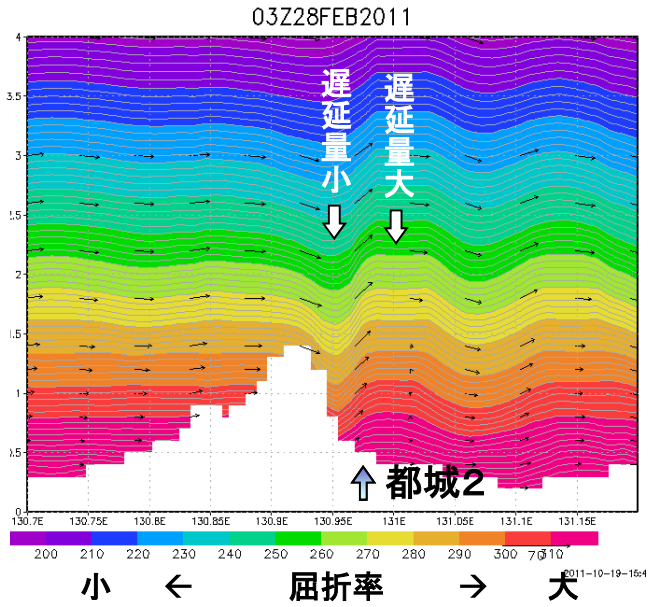
座標値誤差をもたらす方位別の残差

実観測データ　　推定値



残差の方位分布が一致
→誤差の発現機構を再現
　測位誤差の原因は大気擾乱

数値気象モデルによる屈折率分布の鉛直断面分布予測

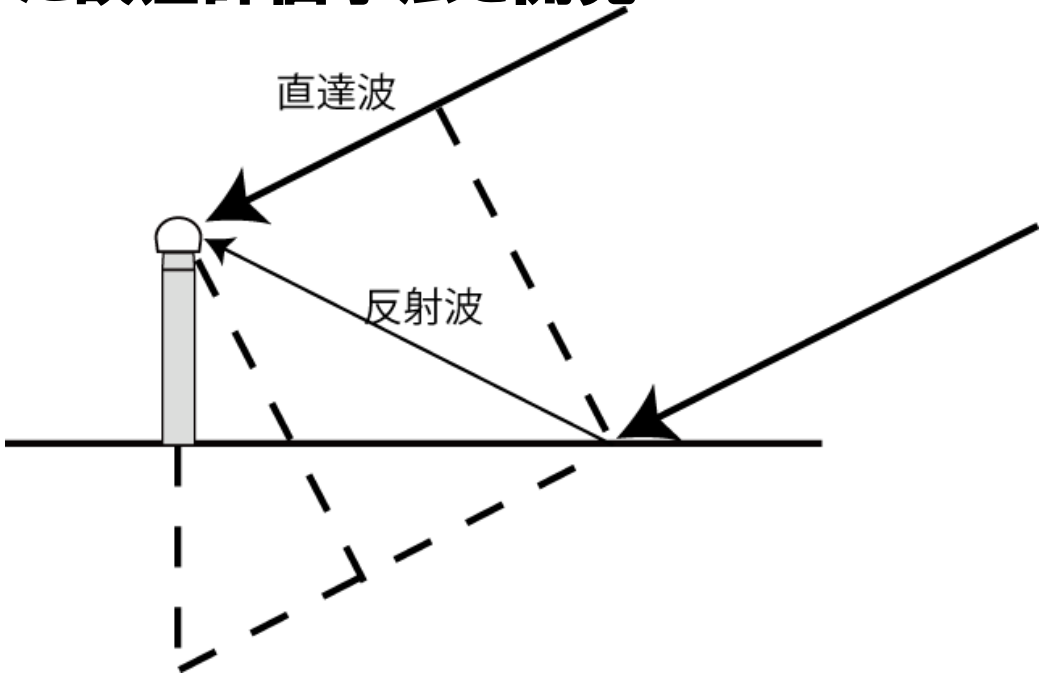


屈折率分布及び風速から、山岳波として大気擾乱が生じている

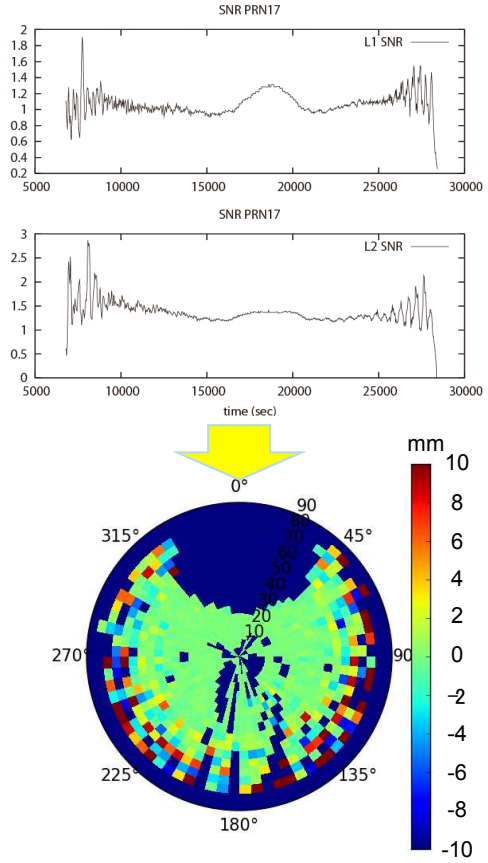
数値気象モデルによる屈折率分布を用いることにより、小スケールの大気擾乱に起因するみかけ変動を予測

地面反射マルチパスについて

地面から反射される電波によるマルチパス（反射波の混信）が時空間的に相関を持つ複雑な測位誤差（～1 cm）をもたらすことが判ってきたことから、GNSS受信機SNR（信号ノイズ比）を用いた誤差評価手法を開発

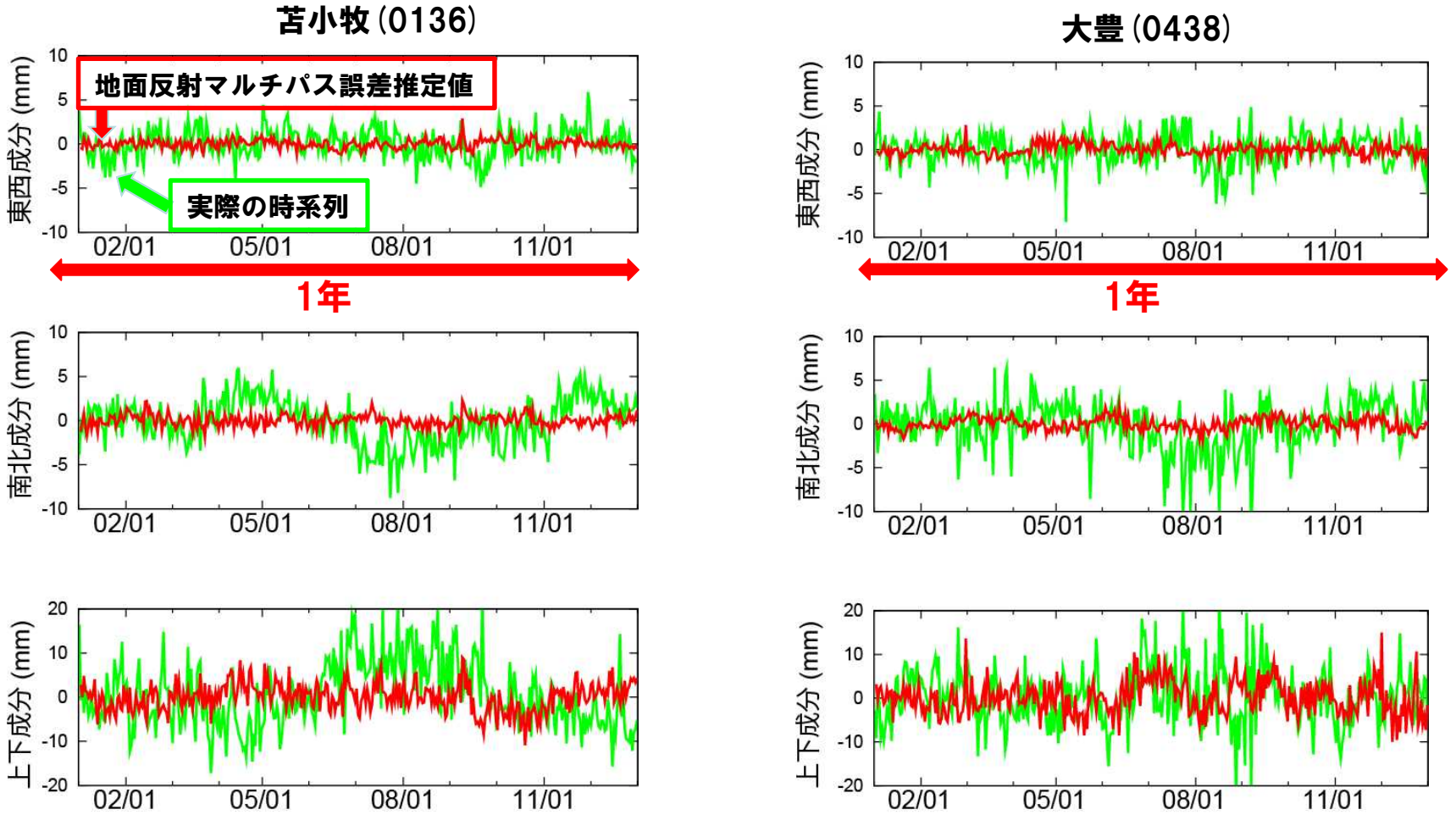


地面から反射される電波によるマルチパスのイメージ



受信機SNRの振動から、方位毎のマルチパス誤差を推定

地面反射マルチパスについて



標準偏差[SE, SN, SU] = [0.50, 0.67, 3.2] mm　　[0.63, 0.69, 3.9] mm

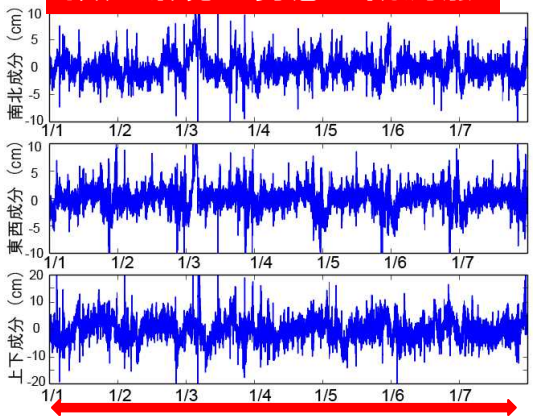
- **予察的知見**
  - ✓ **水平成分は誤差要因としては無視できる（標準偏差1mm以下）**
  - ✓ **鉛直成分は、標準偏差で3-4mm程度であり、観測点によっては、誤差要因として寄与が大きい（0438:　大豊など）**

電子基準点誤差の判別に有効な入力情報の例

国土地理院

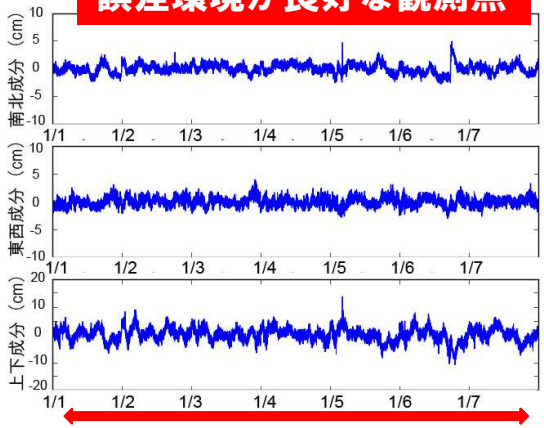
1．キネマティックGPS時系列（高時間分解能（～30秒）での位置推定）

誤差環境が劣悪な観測点



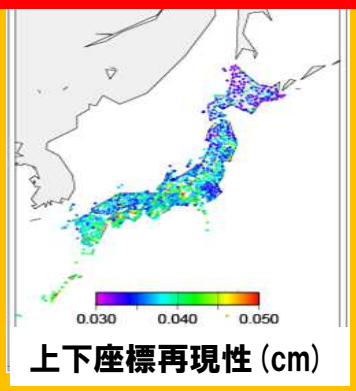
7日間

誤差環境が良好な観測点



7日間

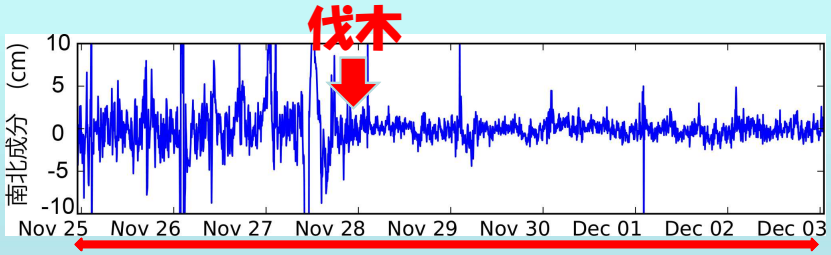
キネマティックGPSのばらつきの空間分布



基本的には地域性を反映しているが周囲よりも特に悪い観測点が散在している

誤差環境が劣悪な観測点の同定が可能

誤差状況が変化したタイミングの特定も可能
→誤差原因の特定に有効



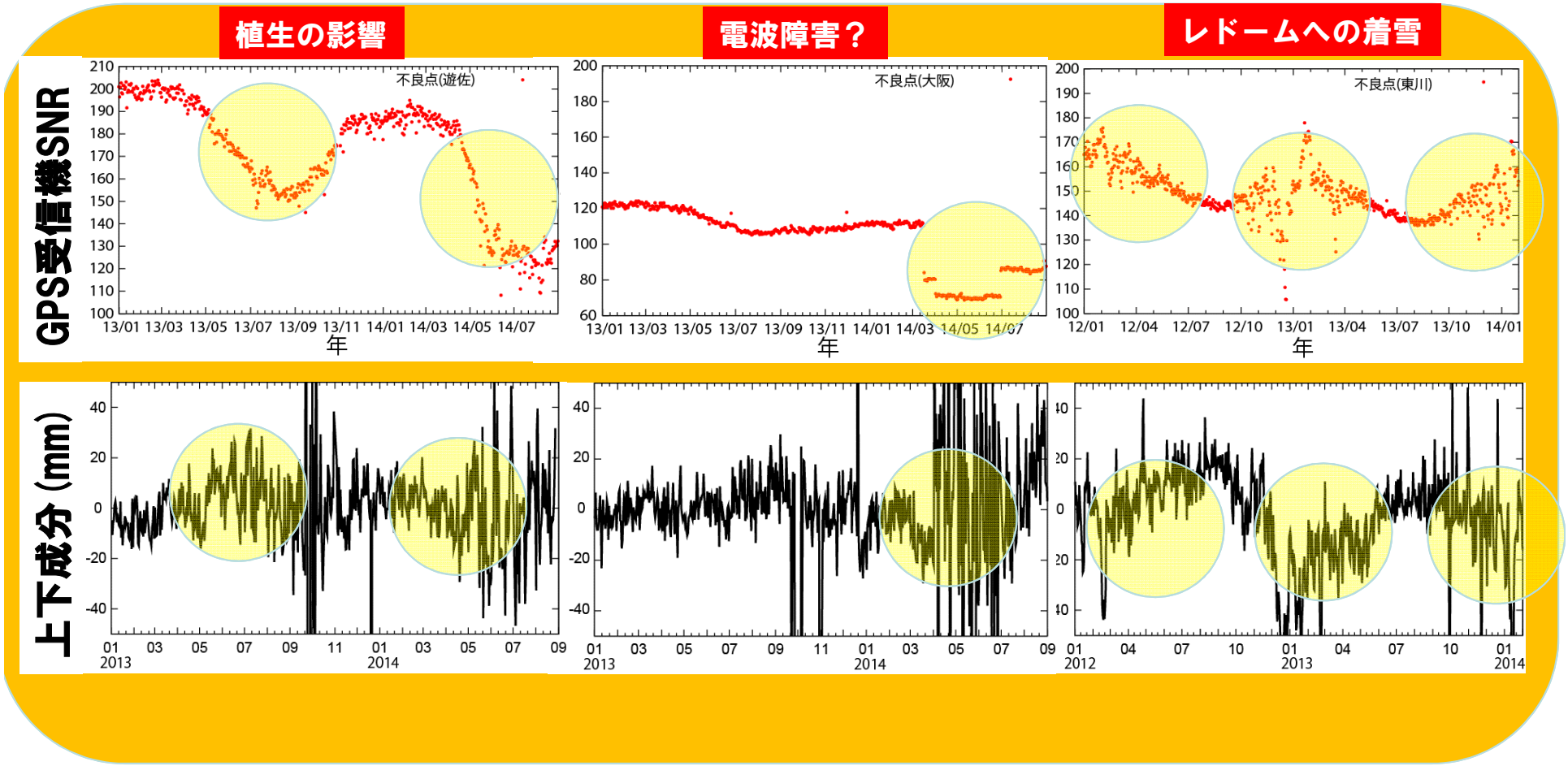
14日間

キネマティックGPS時系列を整備し、誤差状況の把握に使えるようにした

電子基準点誤差の判別に有効な入力情報の例

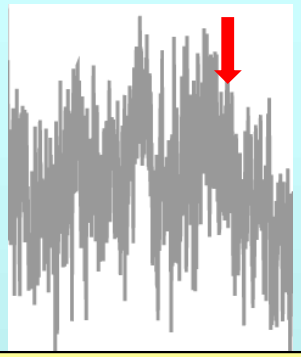
国土地理院

2. GNSS受信機SNR(信号ノイズ比)時系列



GNSS受信機SNR時系列を整備し、電波受信環境の把握に使えるようにした

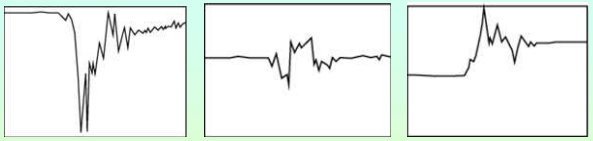
電子基準点誤差分析システムの概要



誤差かシグナルか紛らわしい時系列

電子基準点誤差分析システム

誤差データベースサーバ



分析・図化

時系列取得

分析・表示サーバ

誤差かどうかの判断

➢データベース

■比較用座標時系列
- ■PPP解
- ■PPPキネマティック解

■誤差時系列
- ■積雪荷重変形
- ■大気荷重変形
- ■土壌水分荷重変形
- ■海洋荷重変形

■誤差判別補助時系列
- ■地面反射マルチパス
- ■大気擾乱
- ■受信機SNR
- ■傾斜計
- ■サイクルスリップ

など

➢分析機能

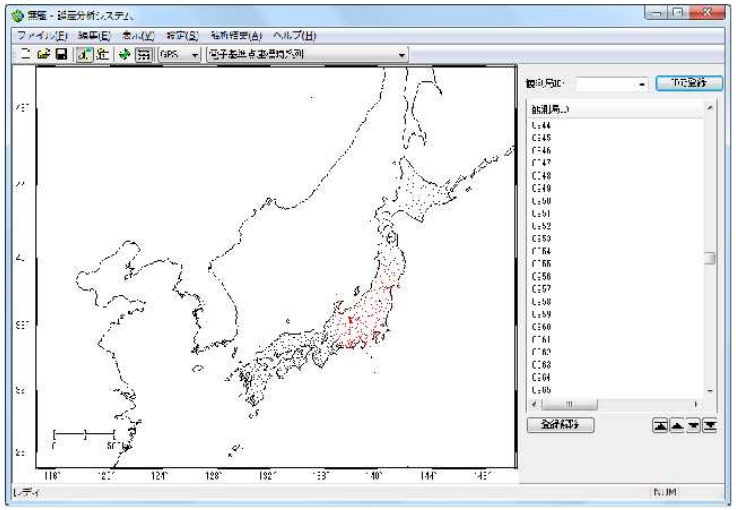
- •単純補正
- •相関計算
- •補正パラメータ計算（季節変動・オフセット等）
- •座標再現性計算
- •スペクトル計算
- •主成分/独立成分分析
- •位相残差スタック計算

など

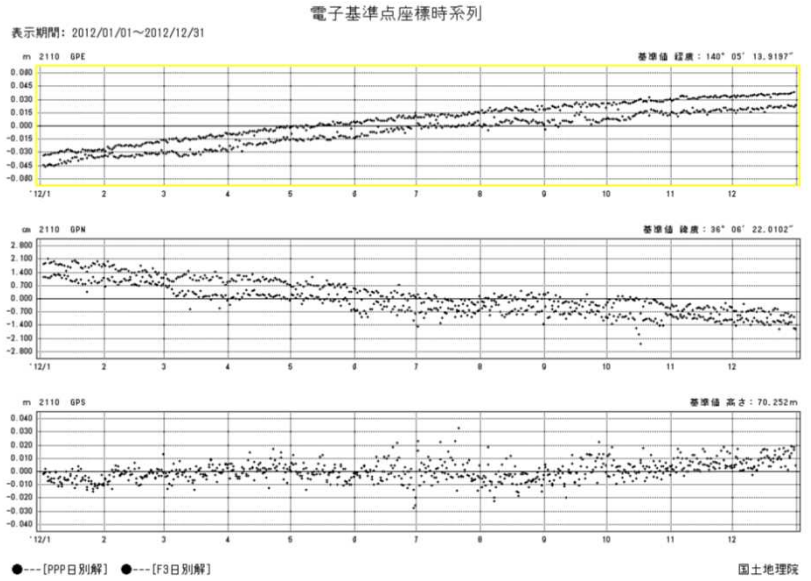
電子基準点誤差分析システムの概要

国土地理院

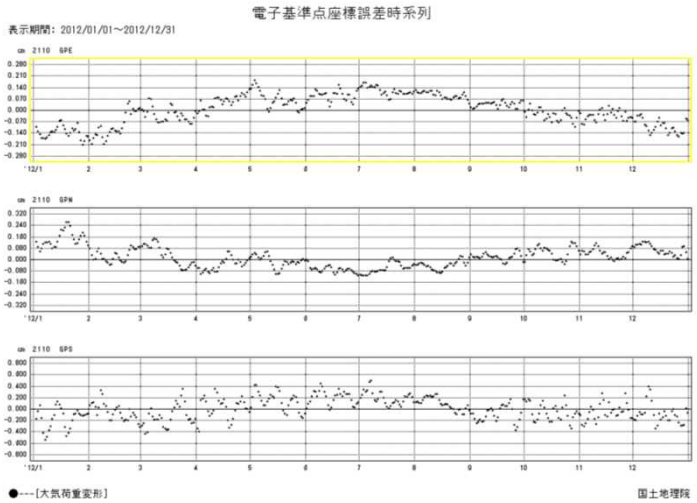
電子基準点選択（地図・リスト）



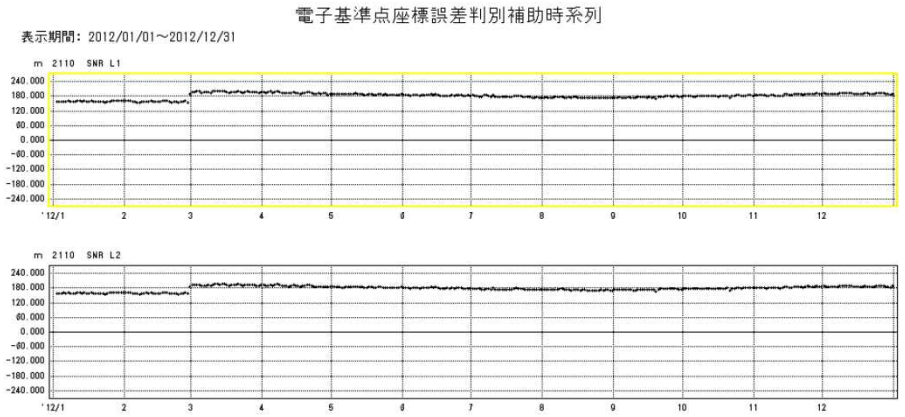
時系列比較（例：F3 vs PPP解）



誤差時系列（例：大気荷重変形）



誤差判別補助時系列（例：SNR）



電子基準点誤差分析システムの概要

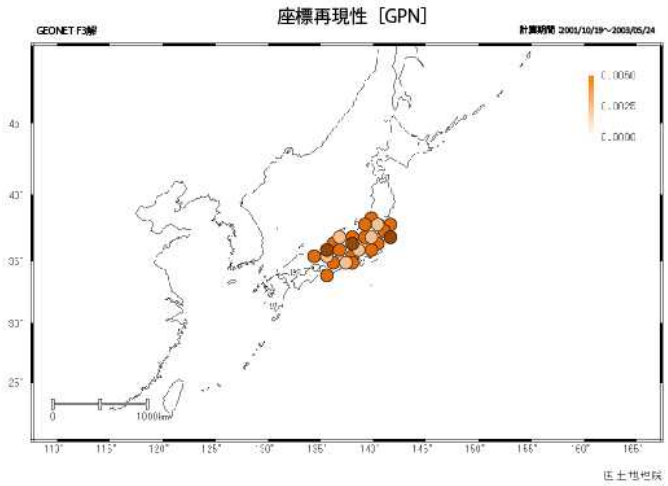
国土地理院

分析（例：座標再現性の計算）

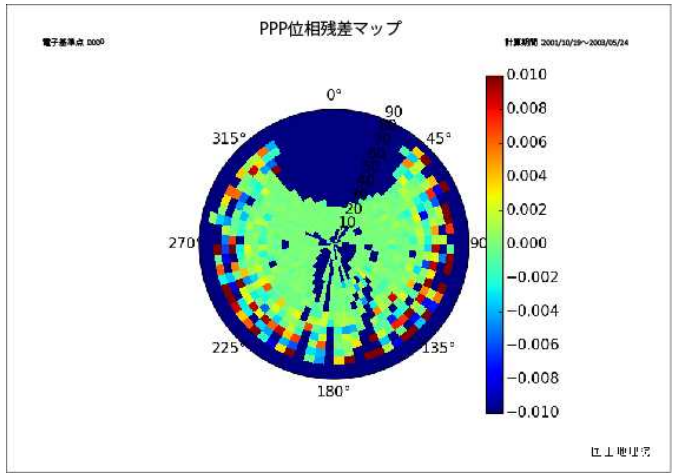
分析（例：PPP位相残差マップの表示）

時系列の種類・期間・異常値除去閾値を設定

描画



描画

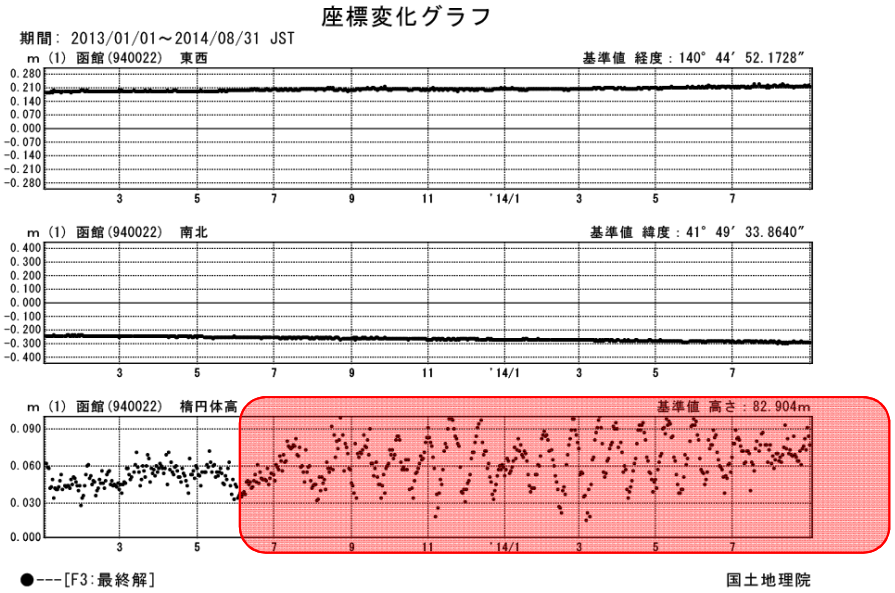


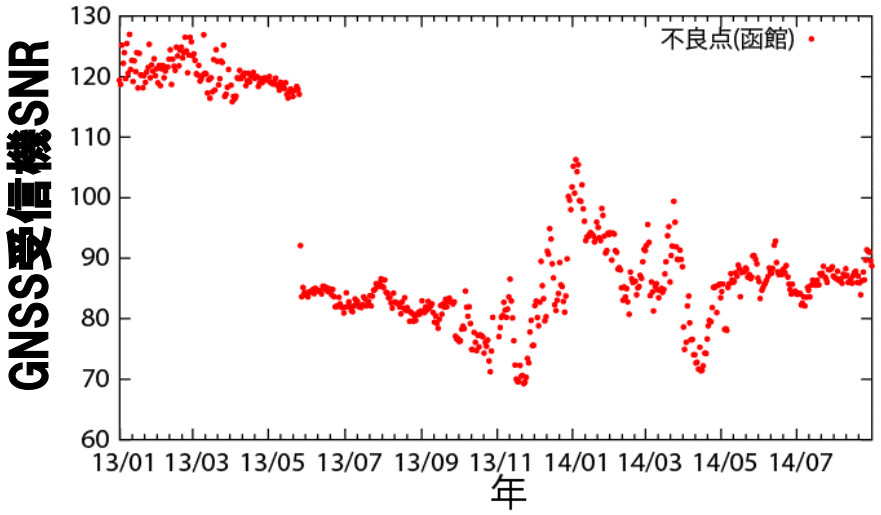
成果活用事例(１)

国土地理院

最近、電子基準点座標時系列の上下成分に、特定の時期以降規則的な変化が見られるようになる事例が散発していることから、開発システムをもとに原因の分析を試みた

例：電子基準点函館　＊2014年10月3日成果停止済





- **GNSS受信機SNRが急落するタイミングと、上下変化が発生するタイミングが一致（13年5月末）することから、GNSSの受信帯域のなんらかのノイズが原因と推測**

本システムでは手がかりとなる様々な情報があらかじめ用意されているため、このような分析がすぐにでき、効率的に調査ができる

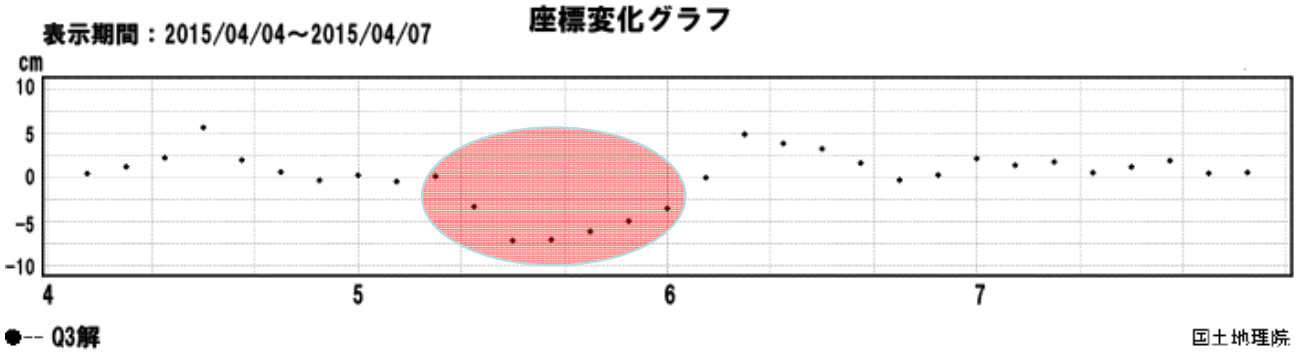
成果活用事例(２)

国土地理院

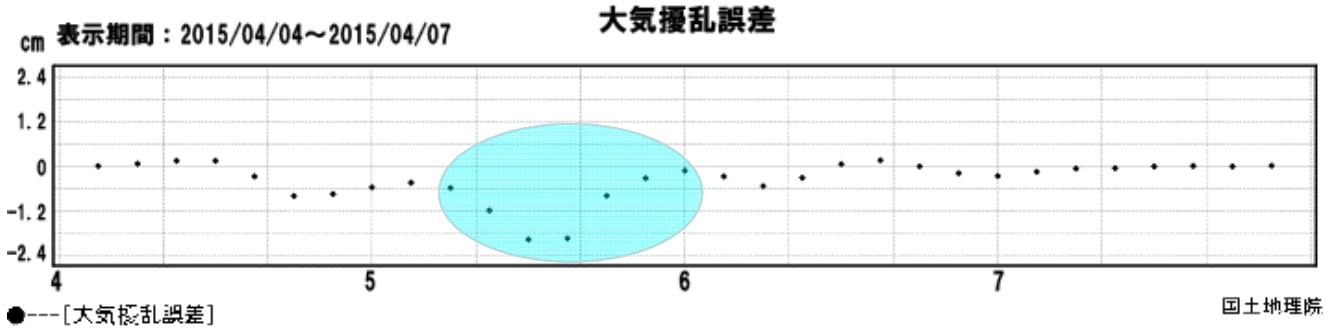
地殻変動とまぎらわしい変化が見られた観測点について、開発システムを用いて地殻変動かどうかの判別が出来た例

例：電子基準点の座標変化の上下成分に異常な変化(沈降)が見られたケース

観測された座標変化（上下成分）



大気擾乱により予測されるみかけ座標変化（上下成分）

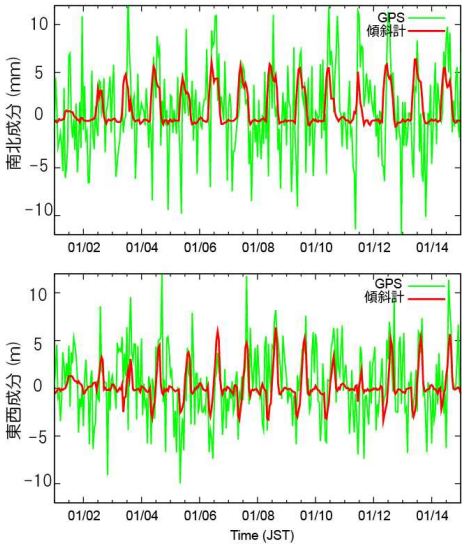


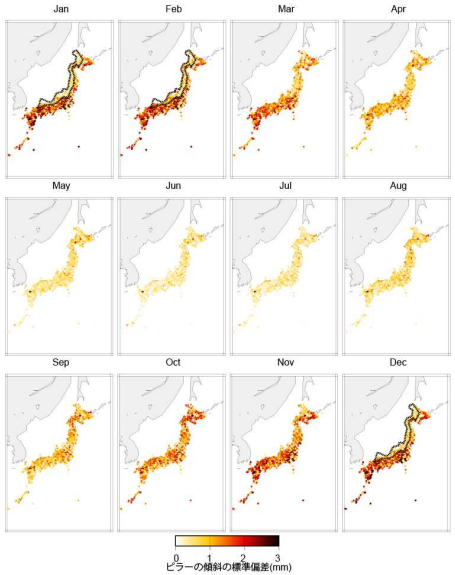
● 変化のパターンが、大気擾乱により予測される変化のパターンと一致することから、この変化は大気擾乱が原因である可能性が高いと考えられる

本研究から派生して得られた成果

国土地理院

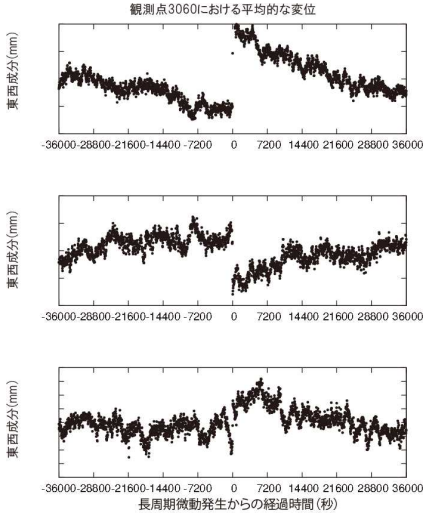
①電子基準点モニュメントの熱変形の定量的な評価

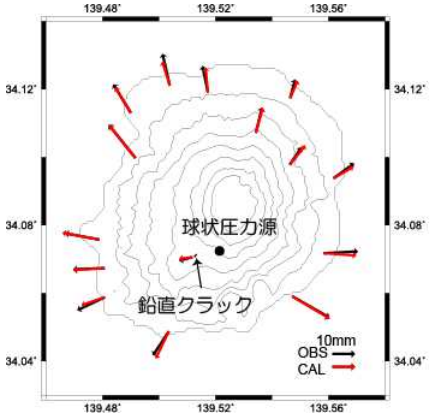


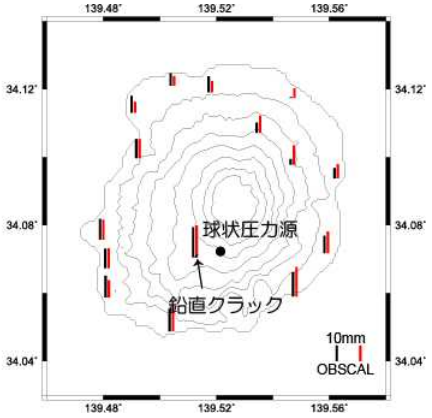


傾斜計記録をキネマティックGPSの変動と整合させることで、熱変形を定量化した。振幅の空間分布から、日射量との相関が高いこと、太陽高度の低い冬場に振幅が大きくなることなどを明らかにした

②キネマティックGPS時系列を用いた火山現象の解明（三宅島）







2000年三宅島噴火のカルデラ形成に伴い観測された長周期地震動に伴う地殻変動を分析し、力源位置やメカニズムを詳細に明らかにした

本システムの成果活用の見込み

国土地理院

1. 本システムでは国土地理院の地殻変動監視業務において、電子基準点座標解の誤差の有無の評価に用いられ、監視業務の効率化のため活用される

2. 本システムで得られた電子基準点誤差情報は、外部の地殻変動情報ユーザ（防災関係者、研究者コミュニティーなど）に、地殻変動情報に含まれる誤差情報について注意を喚起する際に活用される

3. 本研究で整備した電子基準点誤差データベースは、外部（当初は専門家向けを想定）に試験的に提供され、地殻変動研究等に活用される

まとめ

- 電子基準点誤差分析システムを開発した
  - ✓ 効率的な誤差判別作業が可能となった
  - ✓ 地理院における監視業務、外部地殻変動ユーザ向け注意喚起に活用予定

  →より信頼性の高い地殻変動情報の提供が可能に

- システムのうち、構築したデータベース（特にキネマティックGPS時系列）は地球科学研究にも貢献が期待

□ 座標変化の信頼性をよりわかりやすく伝えるための研究を継続