精密単独測位法によるキネマティック GPS 座標時系列の再現性評価

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

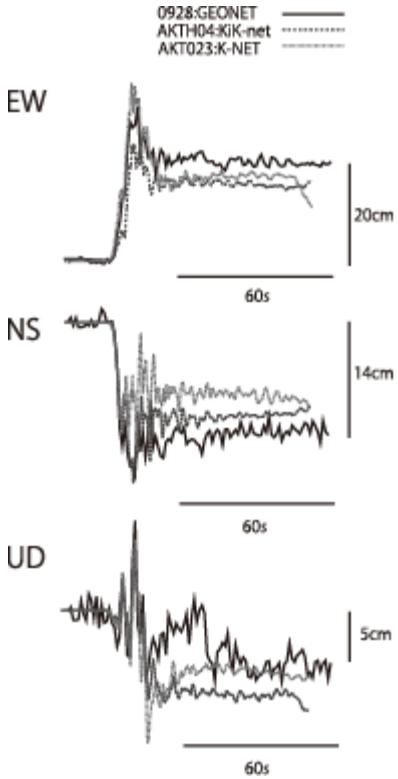
キネマティックGPS座標時系列は情報の宝庫

国土地理院

・キネマティックGPS座標時系列
→GPSの観測エポック（1秒～30秒）毎の座標時系列

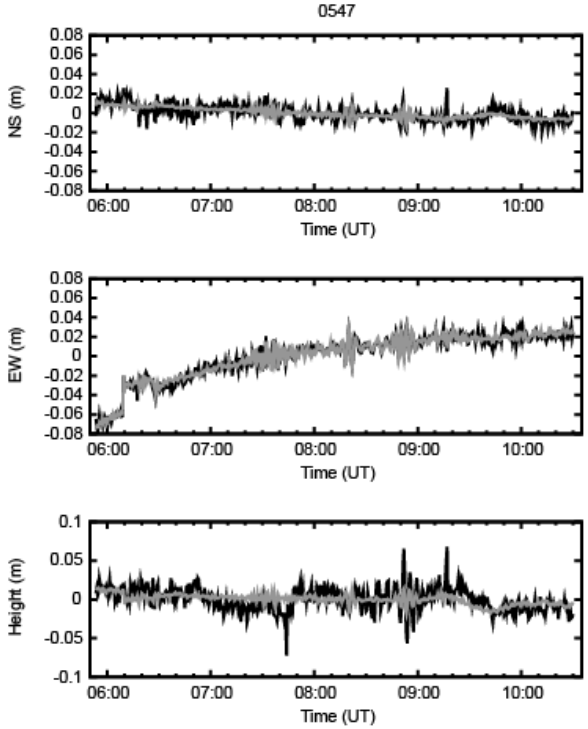
地震時変動

岩手宮城（Yokota et al., 2009）



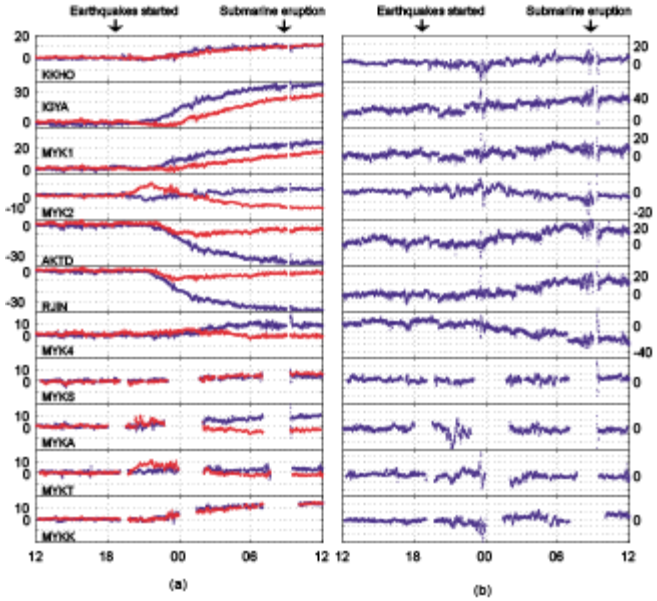
余震・余効変動

東北地方太平洋沖（Munekane, 2012）



火山変動

三宅島（Irwan, 2003）



キネマティックGPSの問題点

・データベースが存在しない→対象を限定し、解析者が
自分で解析する必要がある
→解析に要する時間が長い

・干渉測位には参照基準点が必要
→異なる参照基準点を持つ基線どうしの
比較は困難
→参照基準点を少なくするのは、基線が長く
なり精度劣化を招く

↓

簡単に、網羅的な解析ができる環境ではない

↕

(GEONET F3解)

精密単独測位(PPP)キネマティック法

国土地理院

・衛星軌道・暦を固定し、観測点GNSSデータのゼロ位相差からキネマティック座標を推定→**参照基準点が不要**

・計算が高速（整数不確定性を決めなくても可）

↓

キネマティック座標データベースに最適

欠点
・精度が暦・時計に依存する
・整数不確定性を解かない分精度が落ちやすい

本研究の目的

- 精密単独測位法による電子基準点でのキネマティックGPS座標時系列の整備
- 座標再現性の評価
  - ✓年代毎の差はあるか
  - ✓使用する暦・時計による精度の違いはあるか

手法について

- 使用ソフトウェア：RTKLIB 2.4.2（Takasu, 2013）
  ->極潮汐をIERS2010に適合するように改造
- 使用データ：電子基準点データ(約1300点)
- 解析期間：2003-2013.5
- 解析エポック：30秒間隔
- Overlap: 前後12時間
- マッピング関数：GMF
- 使用暦：IGS Final（2008～）
  IGS reprocess 1（～2008）

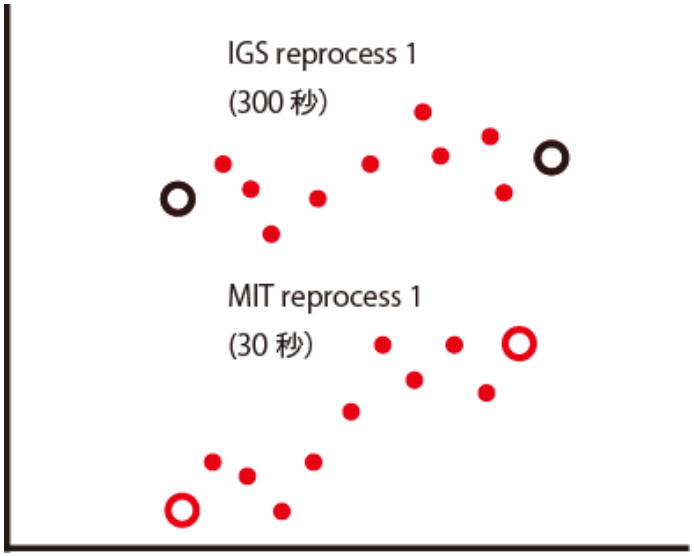
ハイブリッド時計

国土地理院

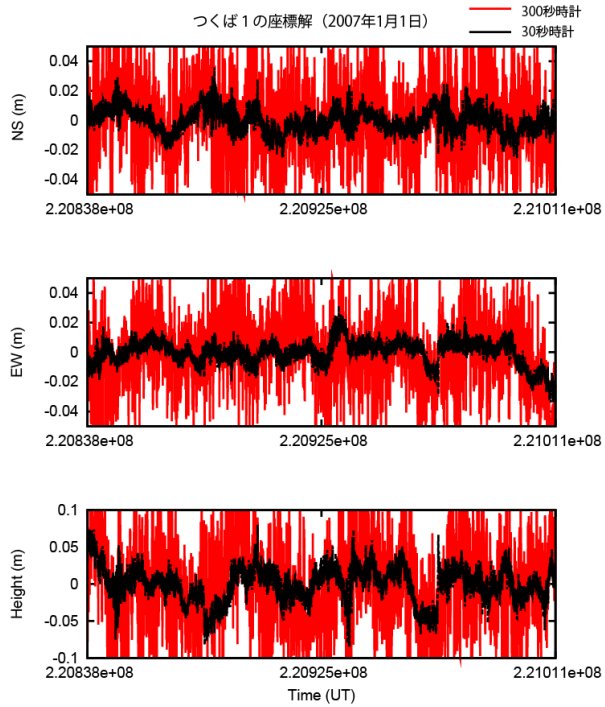
- IGS reprocess 1の時計は300秒間隔
  →そのまま使うと、内挿誤差が目立つ

↓

- 30秒時計（MIT reprocess 1）と結合して使用



傾きが合うように補正して挿入

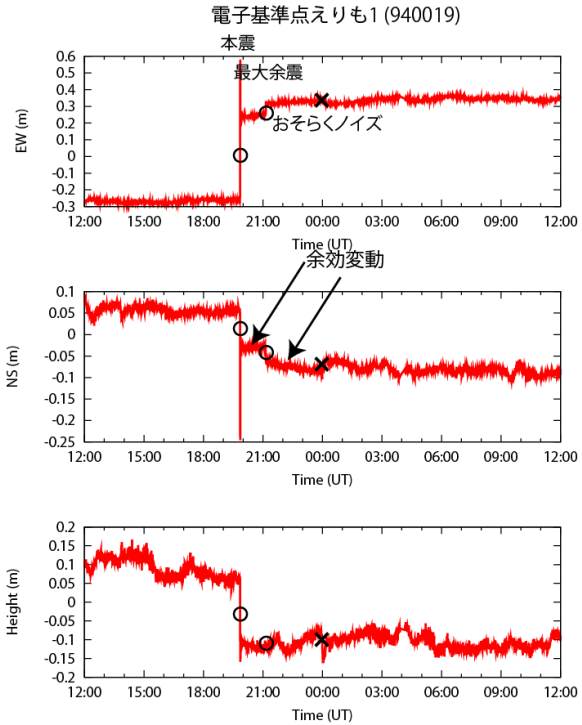


	RMS（東西）	RMS（南北）	RMS（上下）
300秒時計	0.025m	0.029m	0.064m
30秒時計	0.008m	0.008m	0.024m

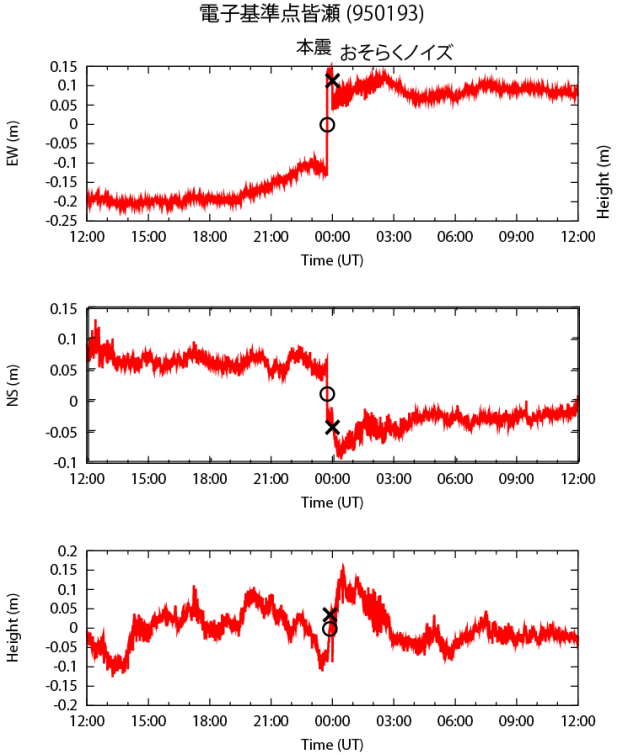
結果：捉えられた地殻変動の例

国土地理院

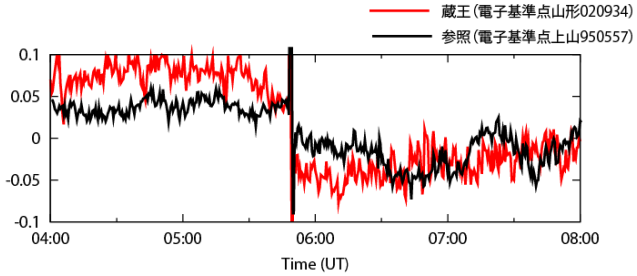
2003年十勝沖地震



2008年岩手・宮城内陸地震



2011年東北地方太平洋沖地震に伴う火山の沈降 (Takada&Fukushima, 2013)

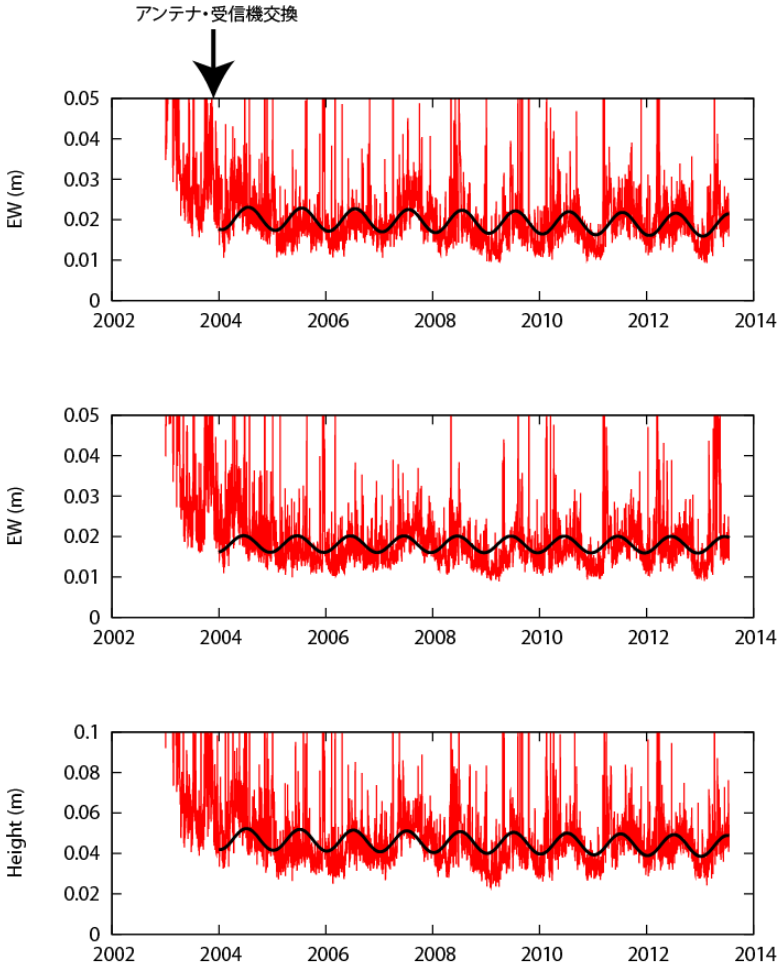


沈降はcoseismic

ノイズの部分は、近傍の観測点で似通っているので(Common Mode Error: CME)、地震シグナルがない観測点の時系列をスタックして差し引くことで補正可

結果：全電子基準点における再現性（subdaily）

全電子基準点の平均的な再現性



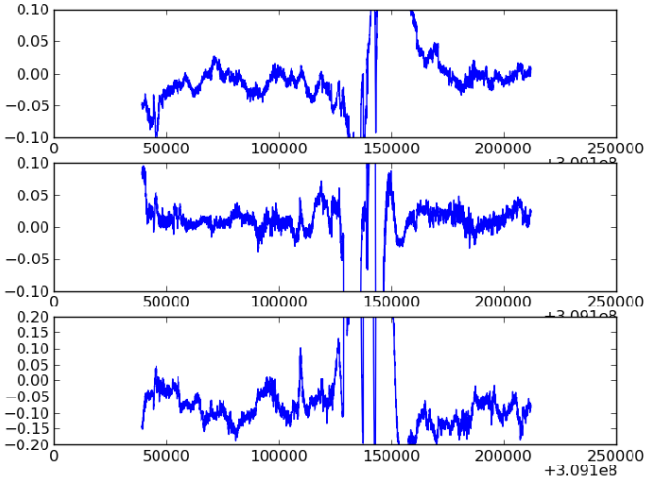
	オフセット	季節成分	最大値を取る日
EW	0.019m	0.003m	DOY 201
NS	0.018m	0.002m	DOY 168
H	0.045m	0.005m	DOY 188

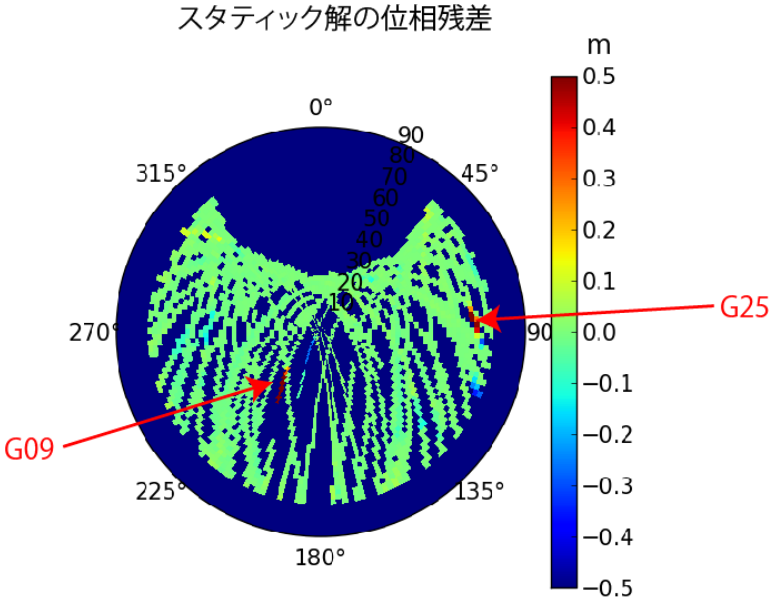
- 電子基準点のアンテナ・受信機交換後はほぼ精度一定
- 夏場に誤差が大きくなる傾向
- 誤差が極端に大きくなる日の存在

結果：誤差が大きい日の特徴

国土地理院

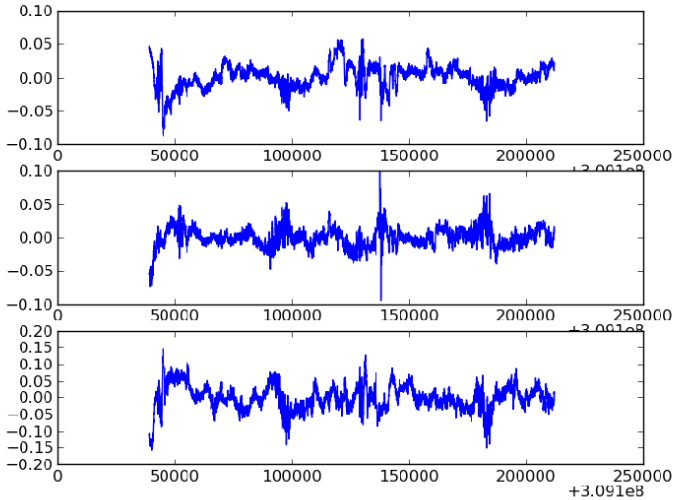
2009年10月18日　at つくば1





G09、G25に、50cmを越す大きな残差

解析からG09、G25衛星を除外

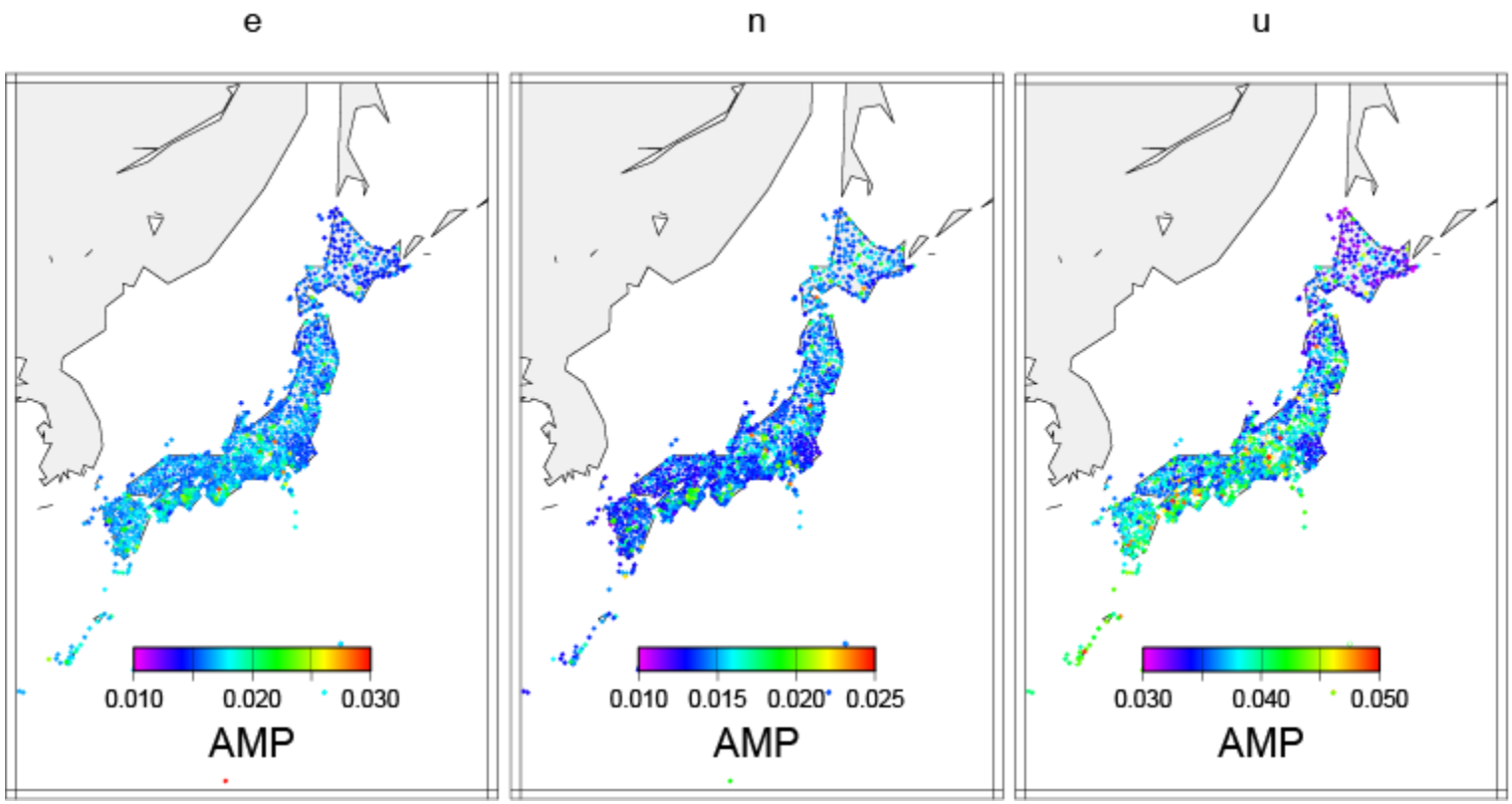


精度の悪い衛星の除外手法の検討が必要

結果：ばらつきの空間分布

国土地理院

2005～2010の平均

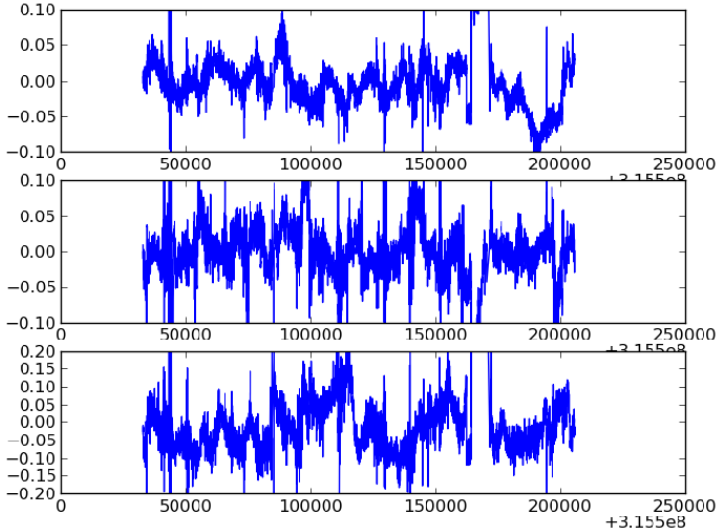


- 脊梁山脈では、再現性が悪い
- 上下成分では、緯度依存性が強い
- 特に悪い観測点あり

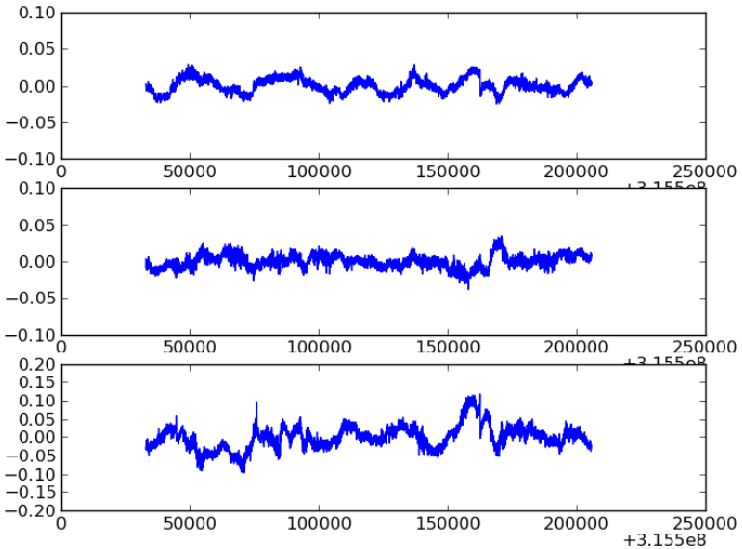
結果：再現性がよくない観測点の特徴

国土地理院

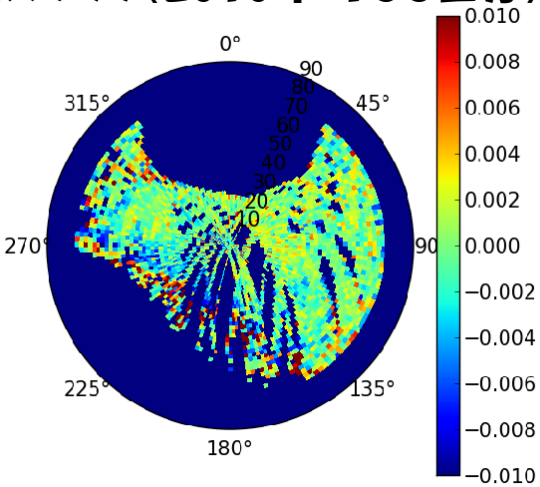
悪い観測点の例
2010年01月01日 at P101



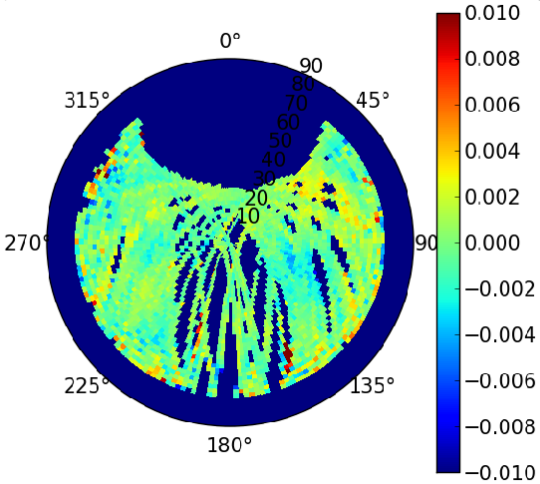
よい観測点の例
2010年01月01日 at つくば1



残差スタック（2010年：100日分）



残差スタック（2010年：100日分）



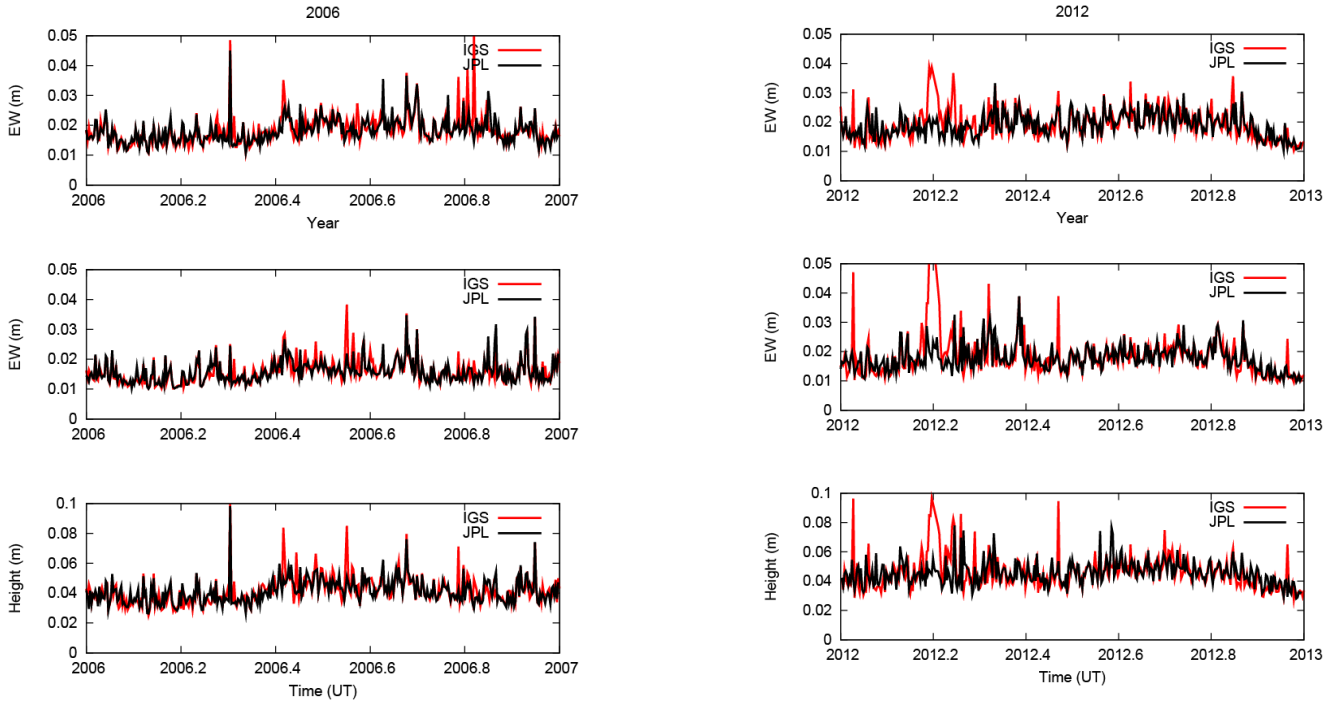
系統的な残差→事前に補正することで精度向上が可能

結果：解析機関による違い

国土地理院

●JPL reprocessed orbit / clockとの比較

第2世代－IGS08 / IERS2010準拠



	IGS (2006)	JPL (2006)	IGS (2012)	JPL (2012)
EW	0.018m	0.018m	0.019m	0.019m
NS	0.016m	0.016m	0.018m	0.018m
H	0.042m	0.041m	0.045m	0.045m

再現性は同程度だが、アウトライヤーはJPLのほうが少ない

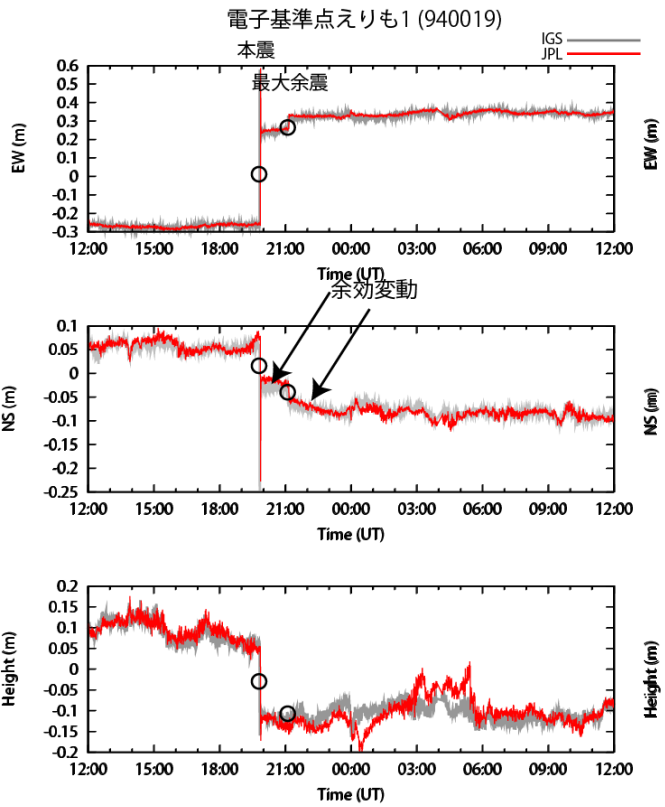
まとめ

- キネマティックPPP解析により、GEONET全点において2003-2013年のキネマティック座標時系列(30秒)を生成
- アウトライヤーの存在→悪い衛星の除外、暦・時計の解析機関の変更により改善の可能性
- 再現性のよくない観測点の存在→位相残差マップの有効活用

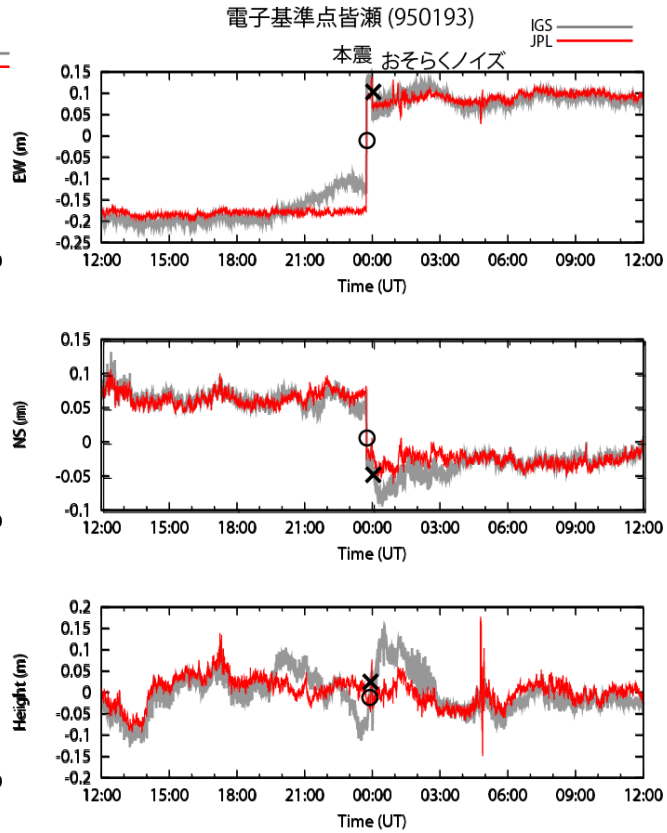
結果：捉えられた地殻変動の例（JPL暦）

国土地理院

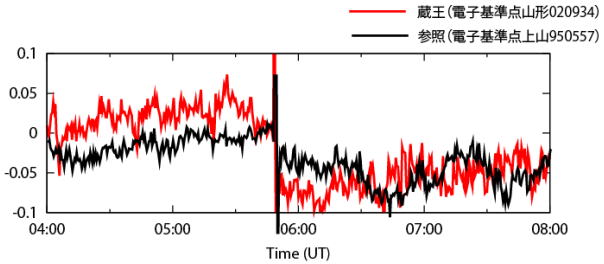
2003年十勝沖地震



2008年岩手・宮城内陸地震



2011年東北地方太平洋沖地震に伴う火山の沈降（Takada&Fukushima, 2013）

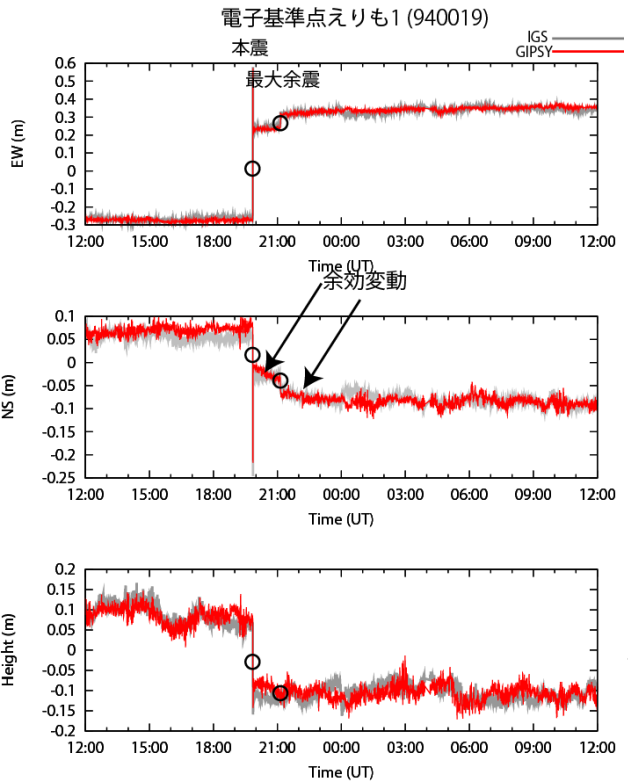


沈降はcoseismic

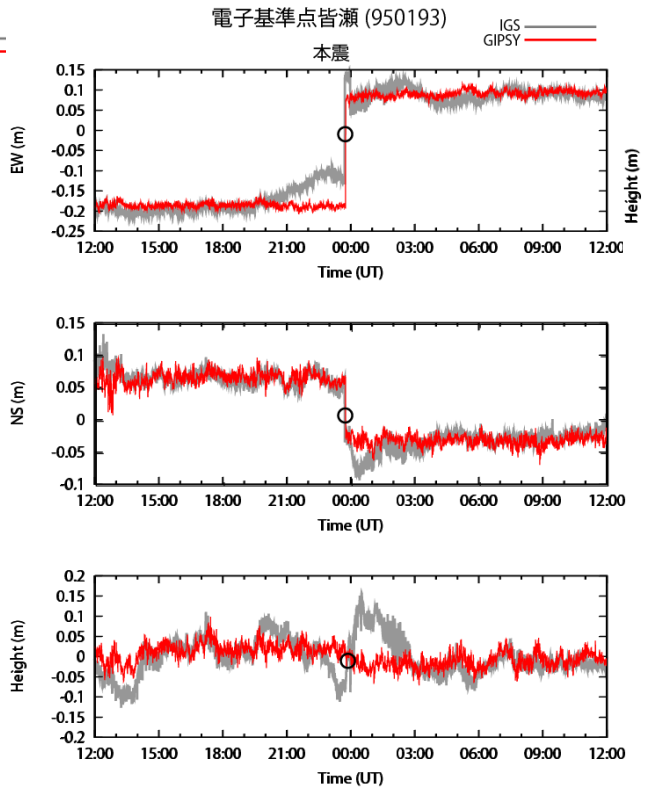
結果：捉えられた地殻変動の例(GIPSY)

国土地理院

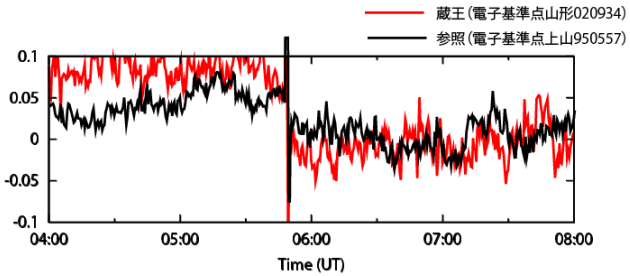
2003年十勝沖地震



2008年岩手・宮城内陸地震



2011年東北地方太平洋沖地震に伴う火山の沈降 (Takada&Fukushima, 2013)

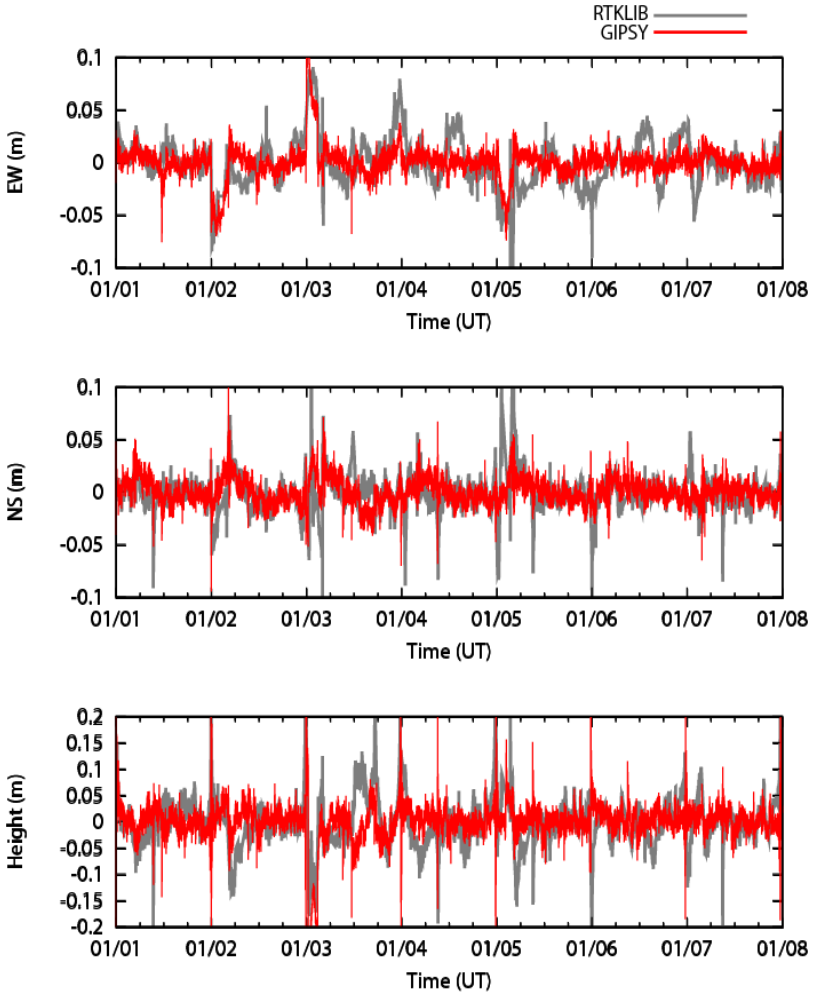


沈降はcoseismic

参考：GIPSYとの再現性比較(例)

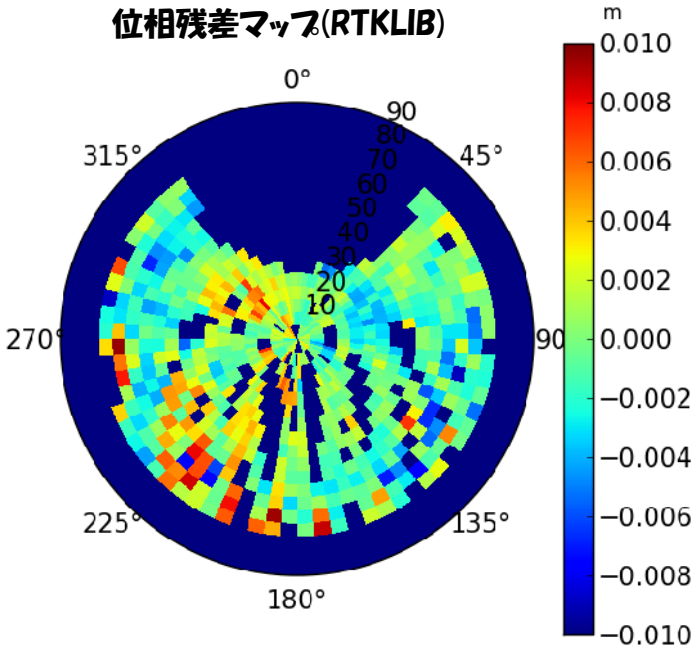
国土地理院

2003年1月1日－7日：つくば1



	RTKLIB	GIPSY	GIPSY (noamb)
EW	0.022m	0.015m	0.018m
NS	0.020m	0.012m	0.017m
H	0.047m	0.037m	0.049m

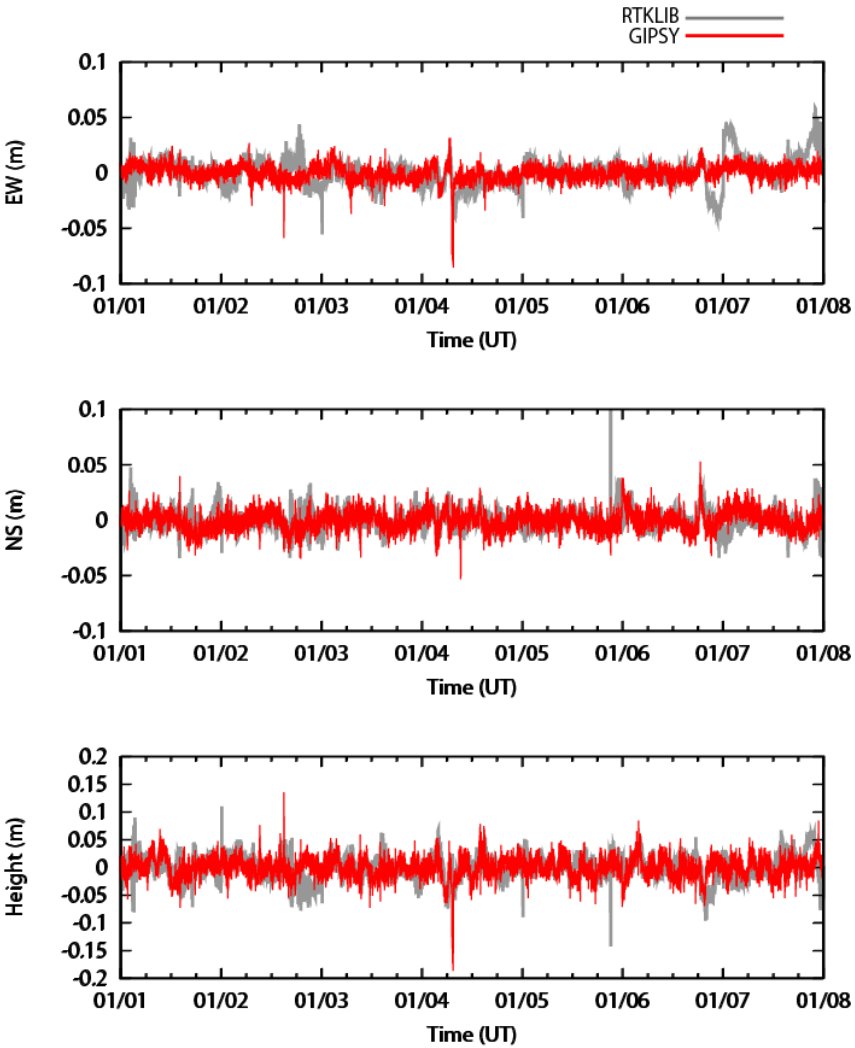
＊RTKLIB:チューニング後、JPL暦使用



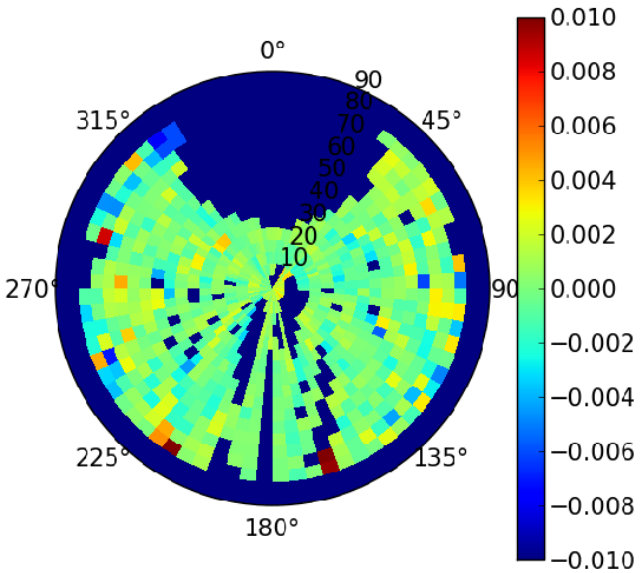
参考：GIPSYとの再現性比較(例)

国土地理院

2013年1月1日－7日：つくば1



	RTKLIB	GIPSY	GIPSY (noamb)
EW	0.012m	0.008m	0.009m
NS	0.009m	0.007m	0.009m
H	0.021m	0.019m	0.020m

＊RTKLIB:チューニング後、JPL暦使用

位相残差マップ(RTKLIB)