

GNSS観測から高時間分解能で 地殻変動を捉える

-精密単独測位法による電子基準点
キネマティックGNSS解析システム-

測地部 宇宙測地課長
宗包 浩志

GEONET定常解析：高い精度と安定性により、我が国の基本的な地殻変動データとして認識

- ・ 地震調査委員会など：地震活動の評価
- ・ 火山噴火予知連絡会：活火山の監視等

定常解析

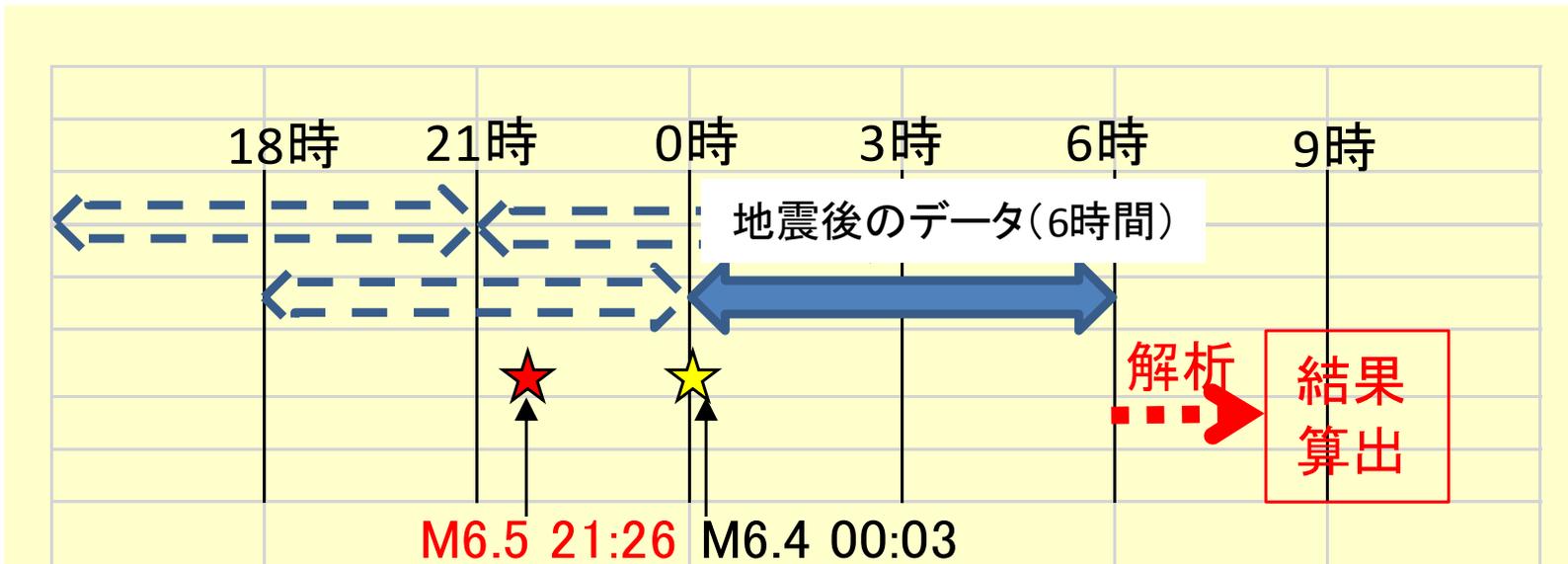
解析の種類	解析に用いるデータ (時間分解能)	解の間隔	データ取得後、 解が出るまでの 時間	水平精度 (座標再現性 の代表的な 値)
F3 (最終解)	24時間RINEX	1日	2~3週間後	2~3mm
R3 (速報解)	24時間RINEX	1日	2日後	2~3mm
Q3 (迅速解)	6時間RINEX	3時間	約3~9時間後	1cm
REGARD * (試験運用)	1秒リアルタイムデータ	1秒	リアルタイム	5cm程度

* REGARD：電子基準点リアルタイム解析システム

定常解析で不足しているもの：時間分解能

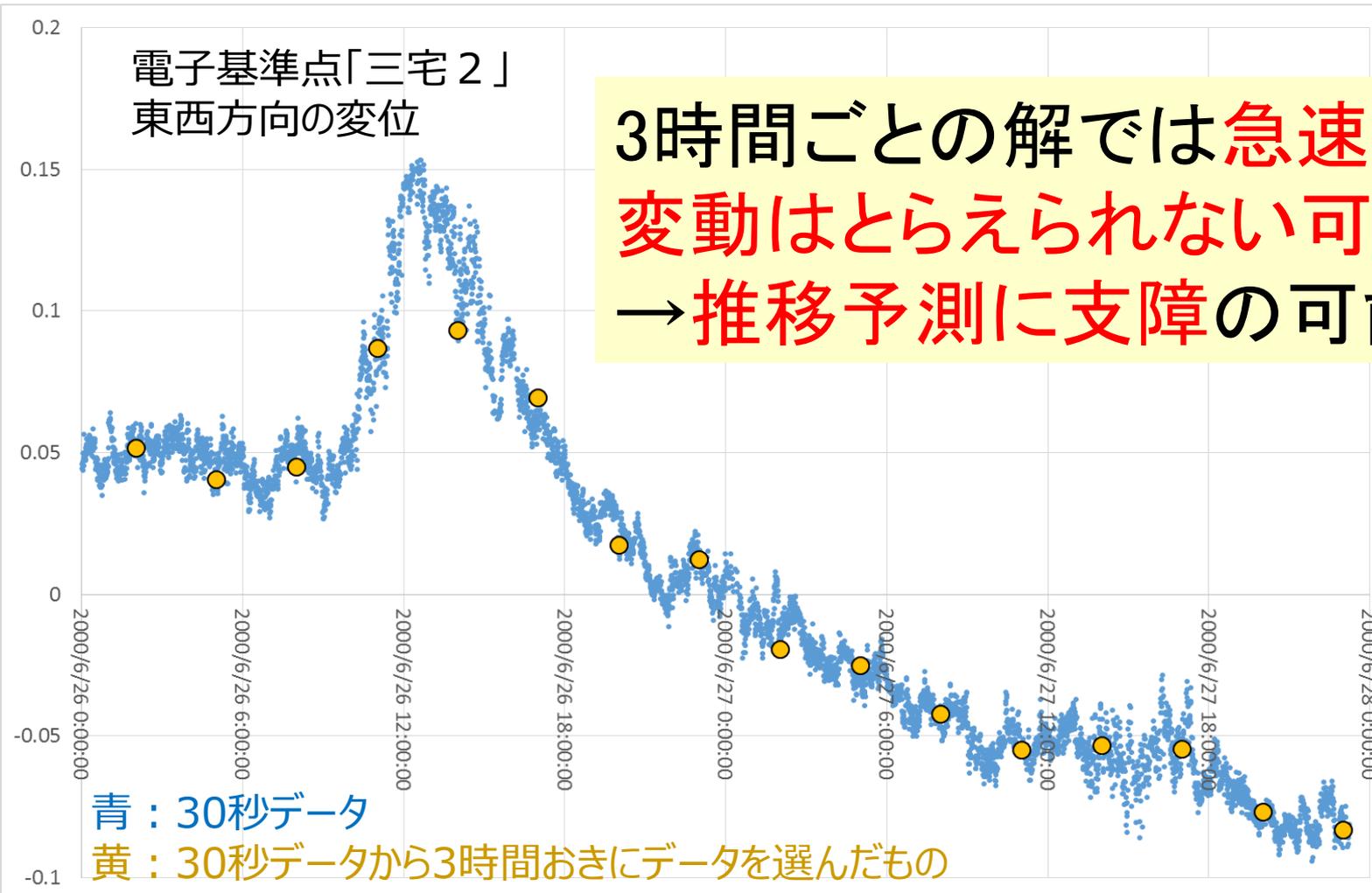
平成28年(2016年)熊本地震の前震群 (4/14 21:26発生 M6.5の地震)

- Mw6.2の地震の3時間後にMw6.0の地震:
→二つの地震の震源断層モデルパラメータが
分離できないまま推定
→地震像の把握に支障があるおそれ



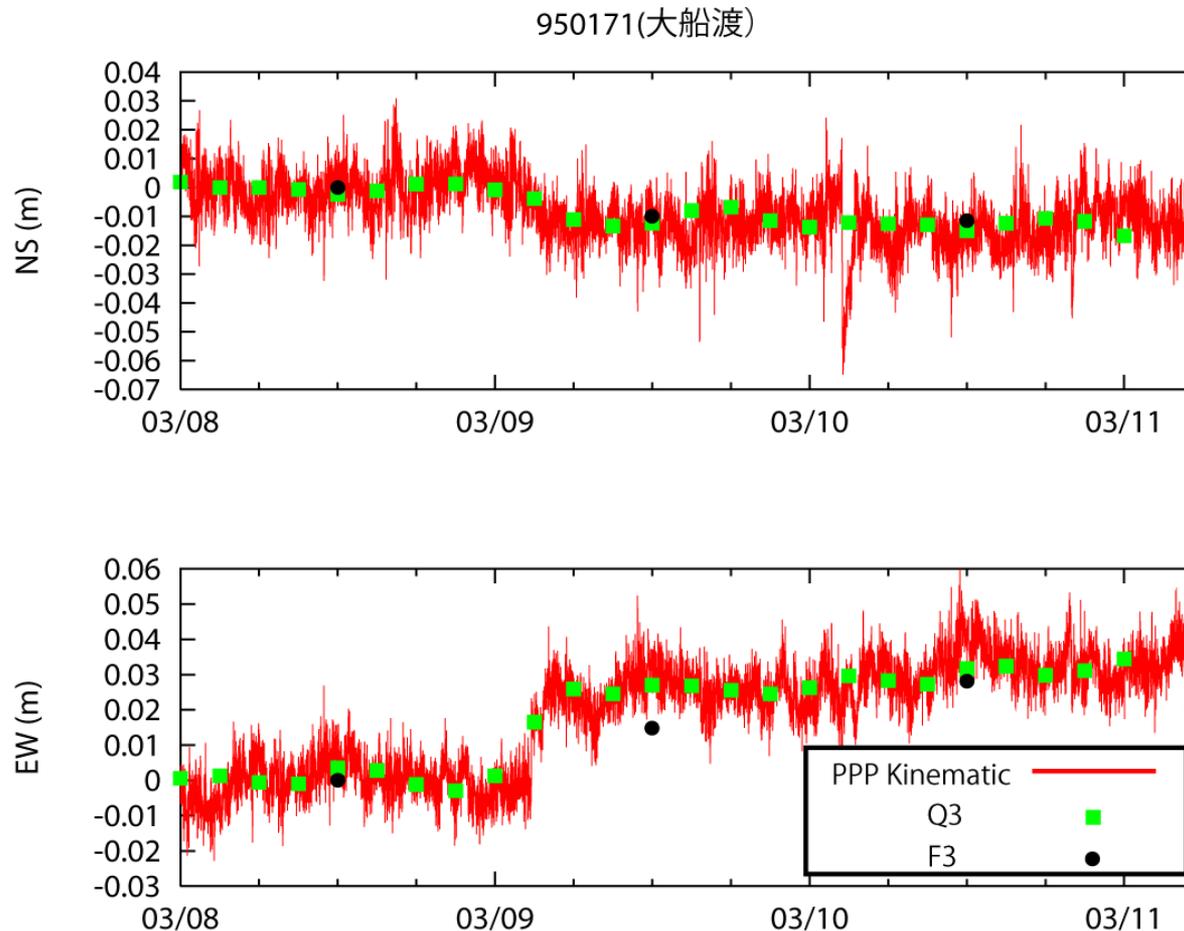
火山活動監視

三宅島の噴火貫入イベント (2000/6/26~27)



キネマティックGNSS解析

- 観測エポック(1秒・30秒・・・)毎に座標解を推定する解析
 ⇔ スタティック解析(例: GEONET定常解析)



キネマティックGNSSの利点・欠点

● 利点

- ✓ 時間分解能が高い
- ✓ 変位に対する周波数応答がフラット
- ✓ 大きな入力信号(地震動)についても飽和しない

→ 地球を監視する新しい窓

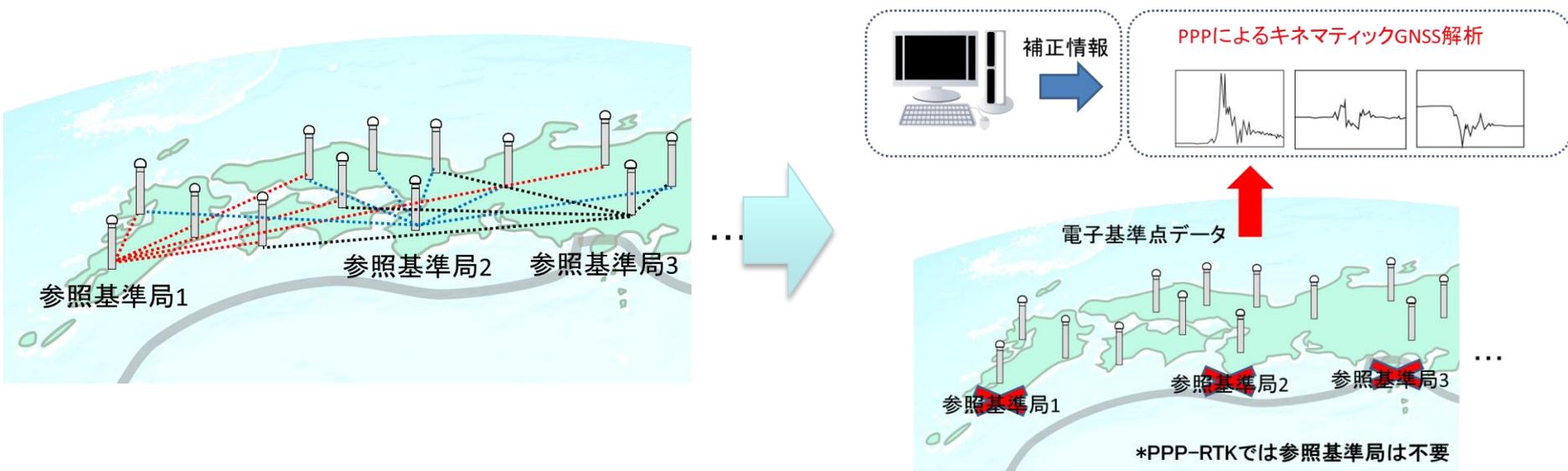
× 欠点

- ✓ ノイズが大きい
- ✓ スタティック解析に比べて計算が煩雑
→ 精密単独測位法による効率化で克服

精密単独測位(PPP)とは

*PPP=Precise Point Positioning (精密単独測位)

参照基準点との相対測位を行う通常のキネマティックGNSS解析とは異なり、グローバル解析から取得する補正情報(GNSS衛星の軌道・時計など)を用いながら各観測点で単独測位を行う方法のこと



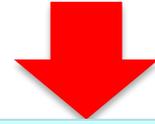
各観測局データの単独測位→計算負荷が小さいため、よりコンパクトなシステムで実現可能

従来型キネマティック解析の問題点を解消する新技術

*本システムは後処理システムである

グローバルGNSSデータ
(120局程度)

電子基準点データ



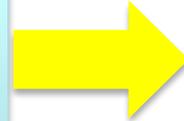
PPP補正情報の生成
(MADOCA*)

*宇宙航空研究開発機構
(JAXA)による補正情報生成
ソフトウェア

PPPによるキネマティック
GNSS解析
(RTKLIBソフトウェア**)

**高須氏によるオープンソース
GNSS解析ソフトウェア

キネマティック
GNSS解析解

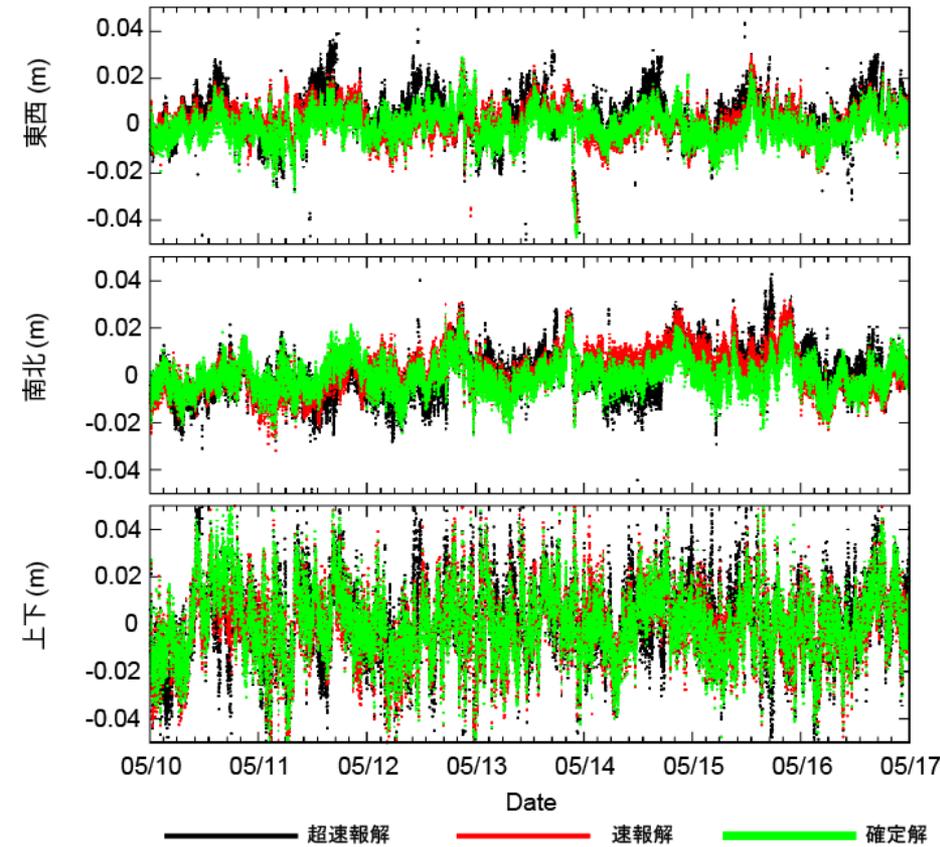


他機関GNSSデータ
(気象庁など)

- 30秒間隔のキネマティックGNSS解析解を生成
- タイミングは3種類
(超速報解: 6~12時間後; 速報解: 2日後; 確定解: 2週間後)
- 全GNSS観測点の解析(>1,500観測点)を
計算機3台で実現

キネマティックGNSS座標時系列の例

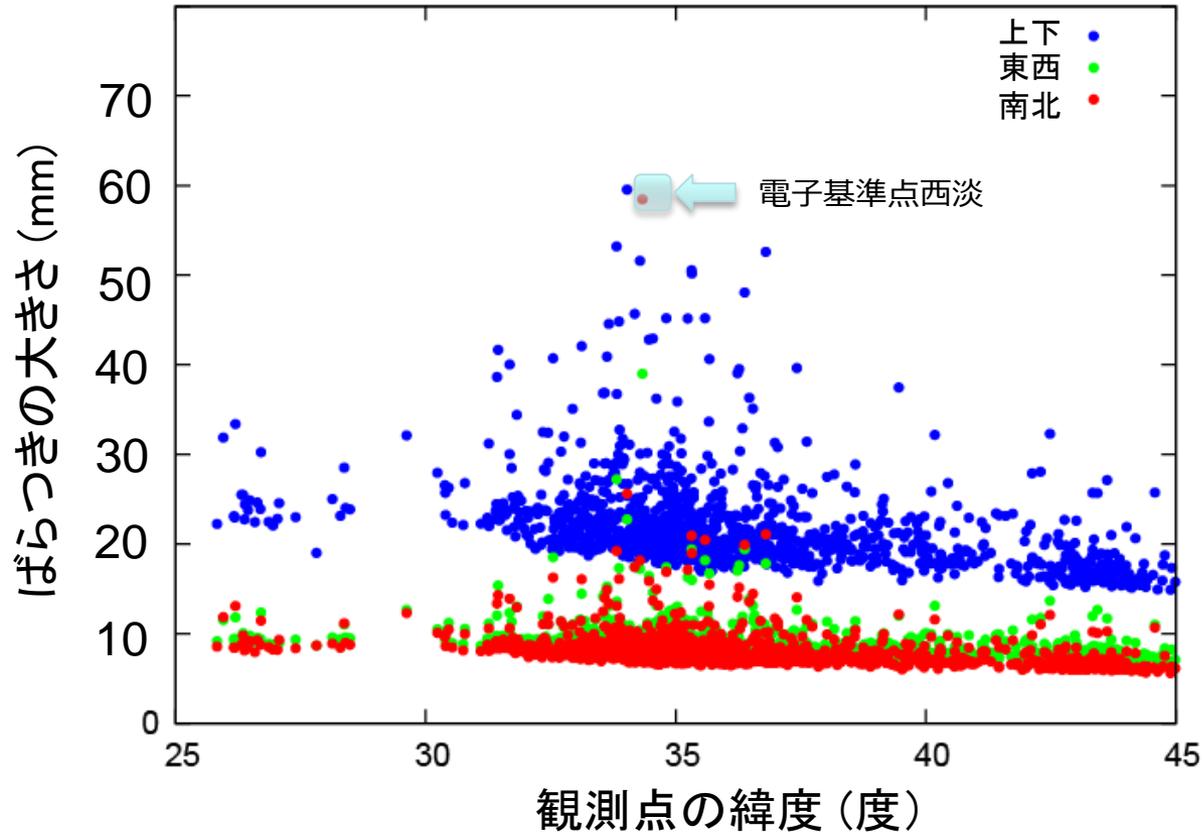
電子基準点つくば1のキネマティックGNSS時系列の例



- 座標解のばらつきは確定解が最も小さいが、いずれも地殻変動の監視に十分な品質を有している

座標解の種類	東西(mm)	南北(mm)	上下(mm)
超速報解	9.5	9.6	18
速報解	7.2	8.5	15
確定解	6.9	7.5	15

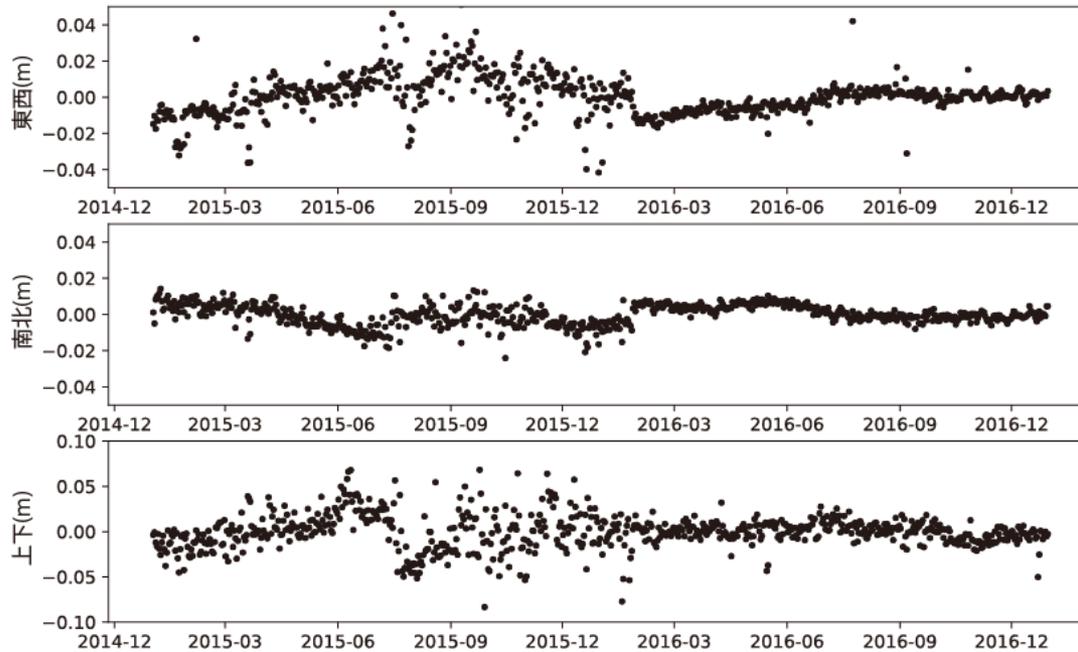
一年間を通じた平均的なばらつき(2015)



- 多くの観測点で、水平10mm, 上下20~30mm程度のばらつき→地殻変動監視に十分な品質
- ばらつきが大きな観測点→品質不良観測点

ばらつきが大きな観測点

電子基準点西淡の座標時系列(スタティック解析)



←→ ↑
キネマティックGNSS 枝払い
の平均期間

キネマティックGNSS座標解のばらつきが大きい観測点は
スタティック座標解の品質も不良である
→スタティック座標解の品質判断にも利用可能

本システムの適用事例－2016年熊本地震

主な地震

- 2016年4月14日 21:26 (前震1) Mw 6.2
- 2016年4月15日 00:03 (前震2) Mw 6.0
- **2016年4月16日 01:25 (本震) Mw 7.0**

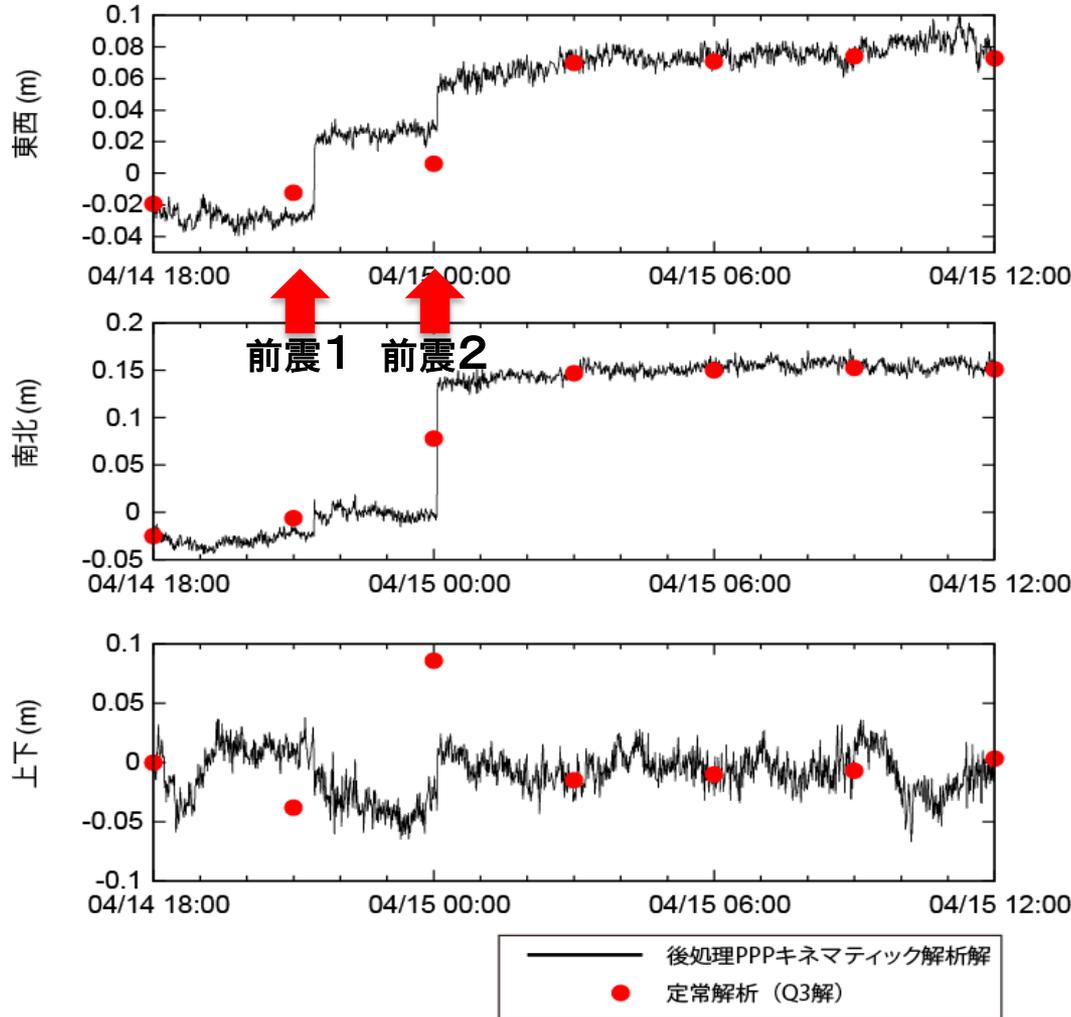
特徴

- 既存の活断層の活動
 - ✓ 日奈久断層(前震1、2)
 - ✓ 布田川断層(本震)
- 短い発生間隔(特に前震1、2)

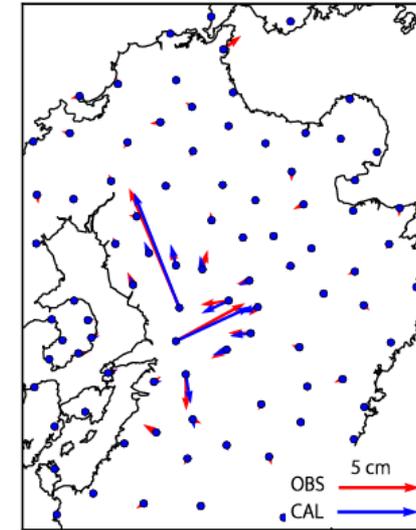


震源近傍の電子基準点の時系列(前震)

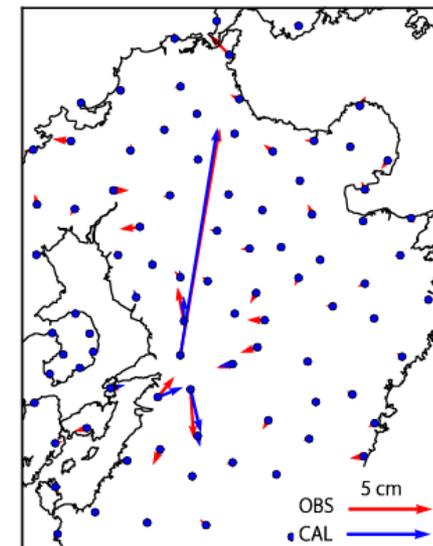
熊本地震前震前後の電子基準点城南の座標変化



4月14日21時26分に発生した地震による地殻変動(水平成分)



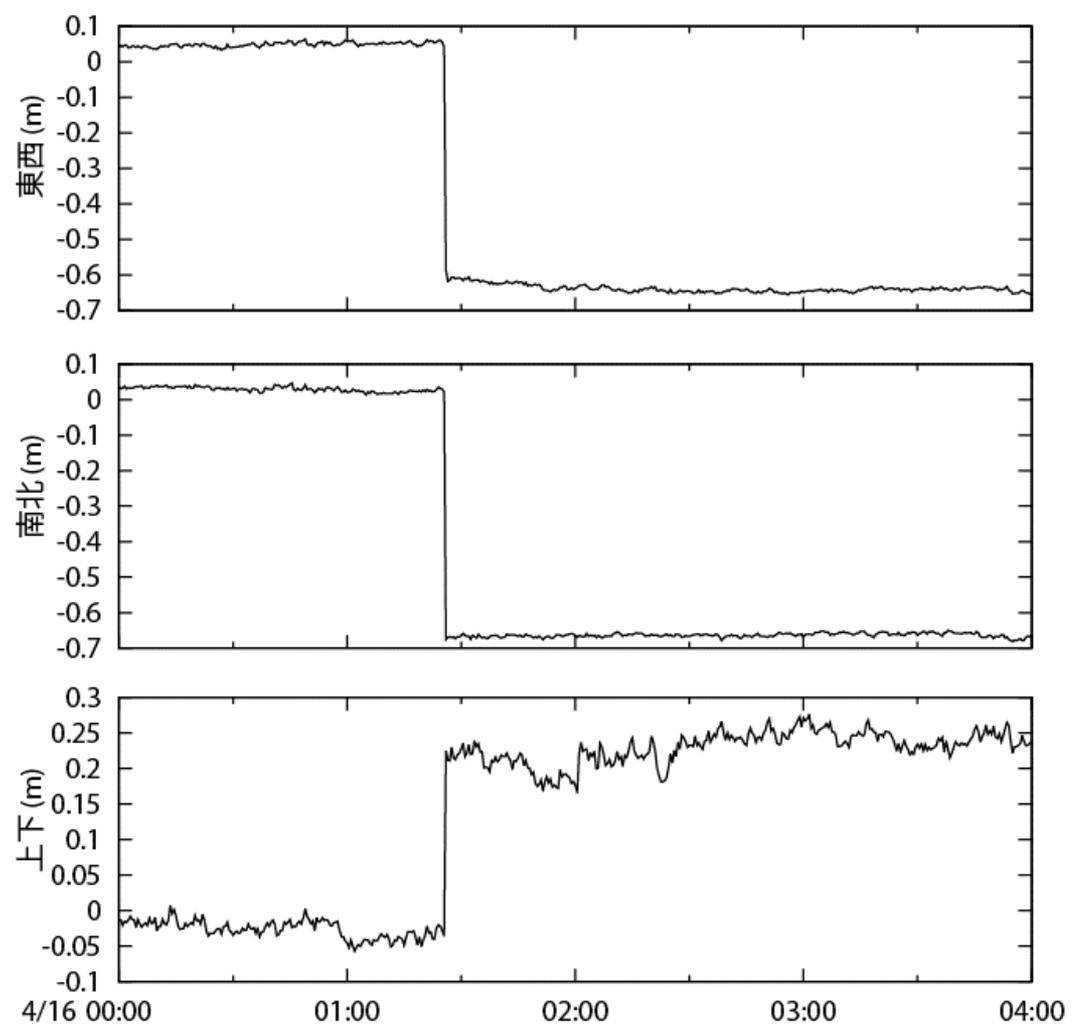
4月15日00時03分に発生した地震による地殻変動(水平成分)



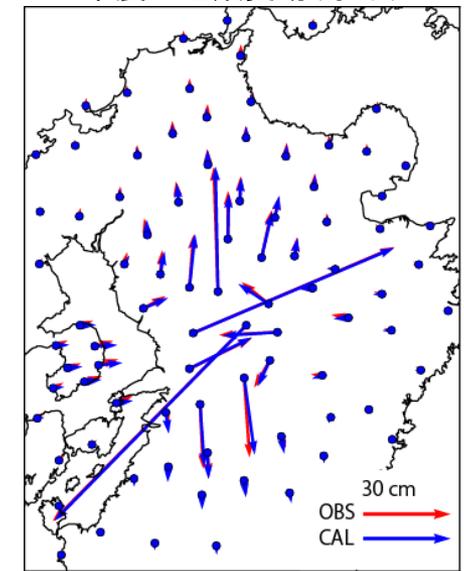
・ 定常解析(Q3解) では困難だった前震1 と前震2 の分離が可能になった

震源近傍の電子基準点の時系列(本震)

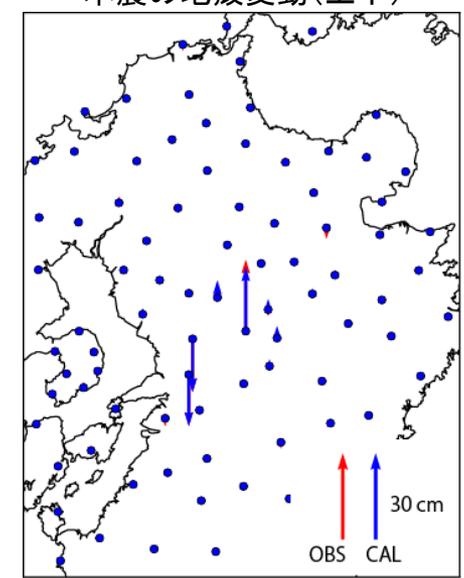
熊本地震本震発生前後の電子基準点長陽の座標変化



本震の地殻変動(水平)

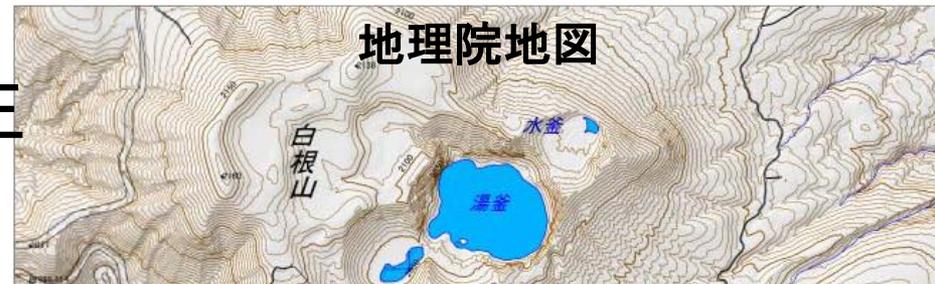


本震の地殻変動(上下)



本システムの適用事例－2018年草津白根山噴火

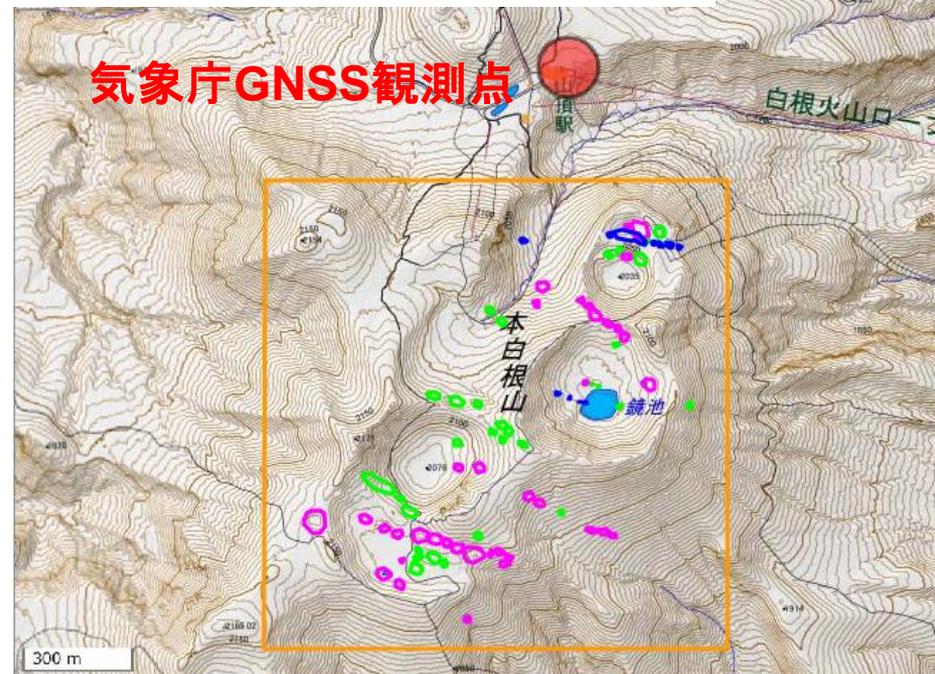
- 1月23日午前10時頃発生
- 警戒されていた白根山（湯釜付近）ではなく、本白根山で噴火
- 水蒸気噴火



- 平成30年1月23日の噴火による推定火口(※1)
- 過去の推定小火口で形状が明瞭なもの(※2)
- 過去の推定小火口で形状が不明瞭なものまたは他の要因で火口状になった可能性のあるもの(※2)
- 判読範囲

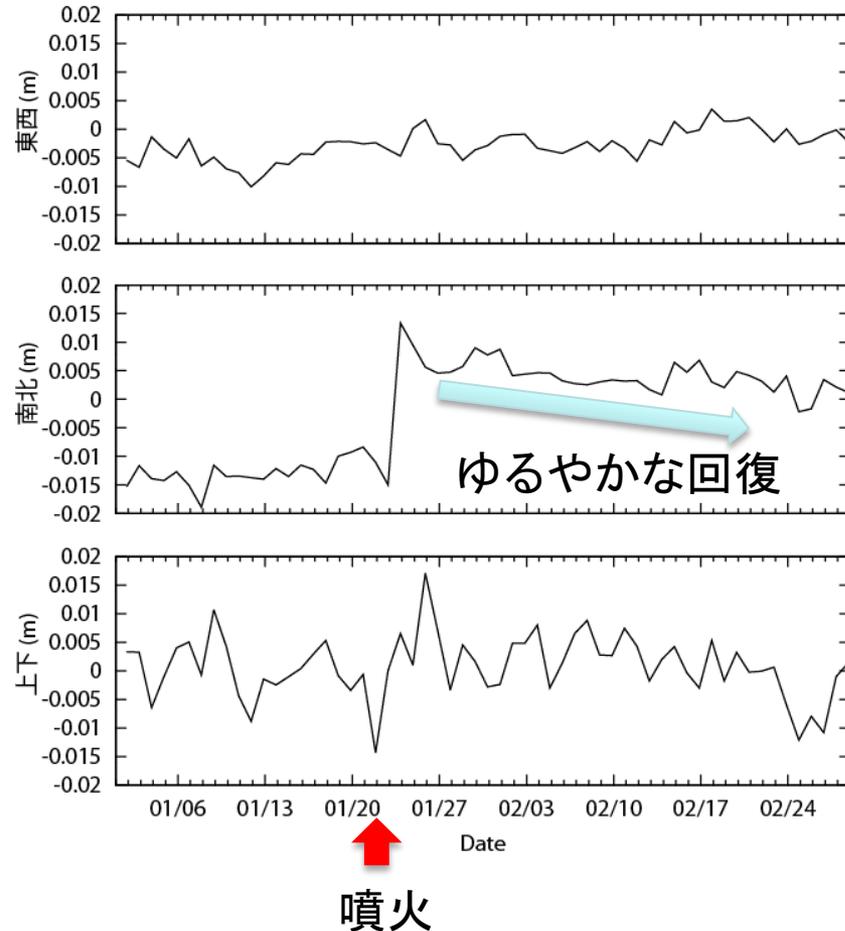
※1 国土地理院の航空機SAR画像の判読及び第140回火山噴火予知連絡会の資料による

※2 過去の推定小火口は空中写真及び赤色立体地図の判読による



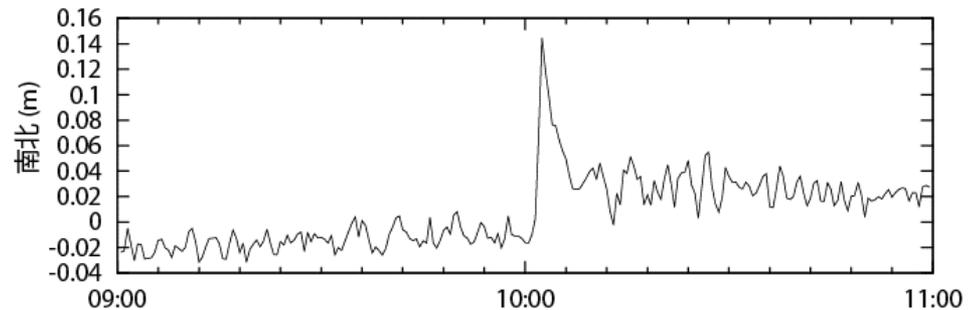
気象庁GNSS観測点の時系列

気象庁観測点（逢ノ峰南東）の座標変化



噴火前後で拡大してみると・・・

気象庁観測点（逢ノ峰南東）の座標時系列（拡大版）



- ・噴火時に、最終的な変動の数倍の一時的な変動が見られる

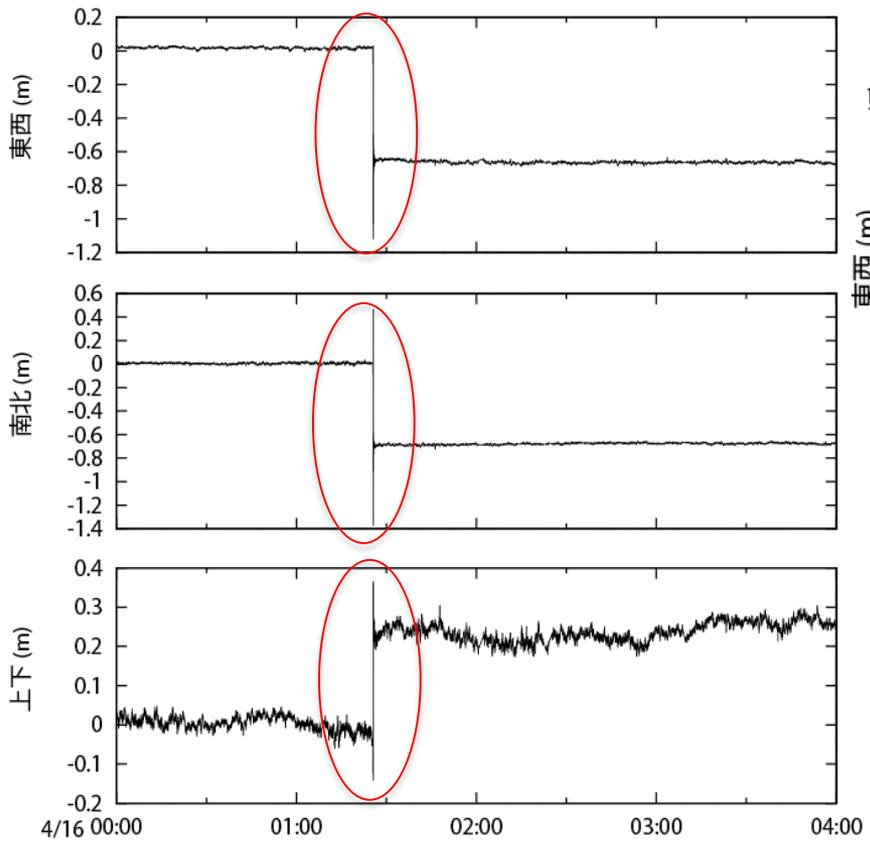
- ・噴火に伴い北向きの変動が見られる
- ・その後緩やかに回復している

現在キネマティックGNSS座標解の分解能を1秒に向上させるための研究を実施している

震源近傍の電子基準点の時系列(本震)

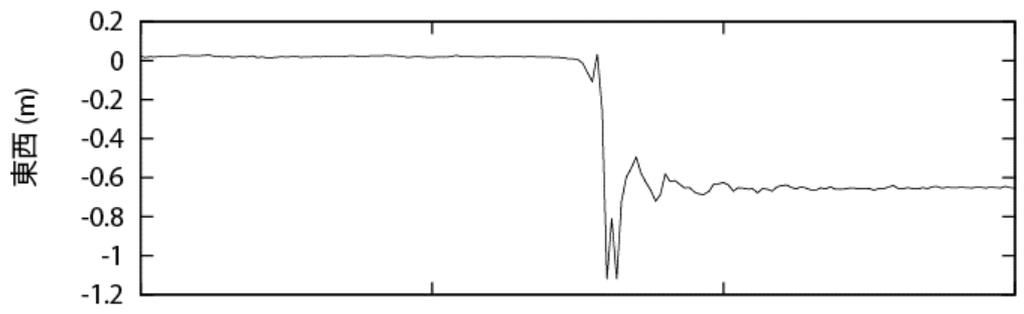
1秒サンプリング

熊本地震本震発生前後の電子基準点長陽の座標変化 (1秒サンプリング)



地震前後で拡大してみると...

熊本地震本震発生前後の電子基準点長陽の座標変化 (1秒サンプリング; 拡大版)



- ・地震動が捉えられている
→活用範囲の拡大が期待できる

・大局的には30秒サンプリングと同じ

- ・ 精密単独測位法による電子基準点(後処理)キネマティックGNSS解析システムを構築した
- ・ キネマティックGNSS座標解はスタティック座標解の品質の判断にも利用可能である
- ・ キネマティックGNSS座標解により、地殻変動監視の新しい「窓」が開いた

【謝辞】

- ・ 宇宙航空研究開発機構(JAXA)から提供を受けたMADCOCAを使用した
- ・ 高須氏が公開しているオープンソースソフトウェアRTKLIBを使用した
- ・ 気象庁から提供を受けたGNSSデータを使用した