

GNSSによる地殻変動推定における 時間分解能向上のための技術開発

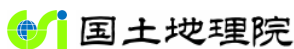
【研究期間】

平成26年4月～平成29年3月（3年間）

【予算】

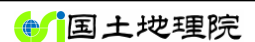
特別研究経費 18,517 千円（3年間の総額）

国土地理院 地理地殻活動研究センター
宇宙測地研究室



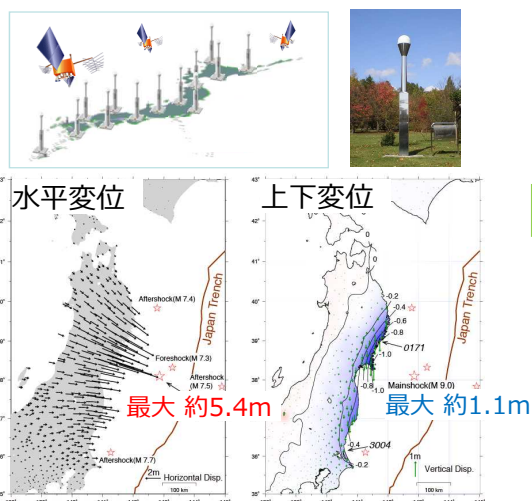
Geospatial Information Authority of Japan

本研究の背景・必要性

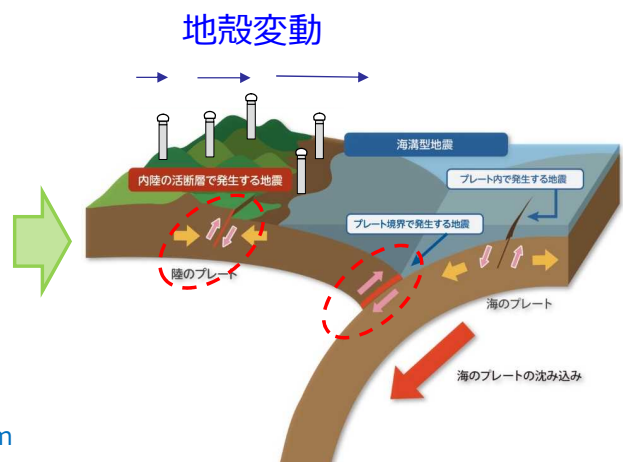


国土地理院では、電子基準点等によって地殻変動を監視し、得られた情報を政府の委員会等に提供している

国土地理院が展開する電子基準点網（GEONET）



東北地方太平洋沖地震による地殻変動



GEONETの定常解析（提案時）

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

* いずれも、ある時間幅(6時間ないし24時間)の平均的な位置を求める
スタティックGNSS測位解である。

Slide 3

東日本大震災（2011年3月11日）の発生に対し、建議（※）
において、地震や火山噴火の被害軽減のための取り組むべき
方針が見直された

（※）地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の見直しについて（建議）

将来の活動予測による減災・防災につなげるために取り組むべき方針は、

- （1）過去に発生した地震・火山噴火の発生に至る過程の理解
- （2）現況の地殻活動の的確かつ迅速な把握



**高時間分解能で地殻変動の推移把握を可能とする
(リアルタイム) キネマティックGNSS測位の活用が有効**

* キネマティックGNSS測位：GNSSのデータ取得間隔（1秒~30秒）で、
観測局の時々刻々の位置を求める測位手法のこと

Slide 4

(リアルタイム) キネマティックGNSS時系列を用いて

- 地殻変動を高い時間分解能で抽出する技術の開発
- 地震・火山噴火の発生過程の理解に基づく地殻状態の迅速推定システムの開発

(1) 時系列に含まれる誤差の低減技術の開発 (平成26年度)

主要な誤差要因であるマルチパス誤差低減技術を開発する

(2) 地殻変動を抽出する技術の開発 (平成27年度)

複数の観測点に現れる共通信号に注目した地震・火山起源の地殻変動抽出手法を開発する

(3) 地殻状態の迅速推定 (プロトタイプ) システム構築 (平成27~28年度)

(1) と (2) で開発した技術を結合し、迅速に地震や火山活動による地殻変動をモデリングする (プロトタイプ) システムを構築する

- ① 地震時地殻変動の迅速なモデル化
- ② 火山性地殻変動力源の迅速なモデル化

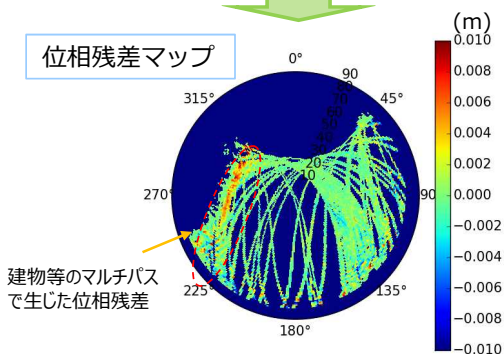
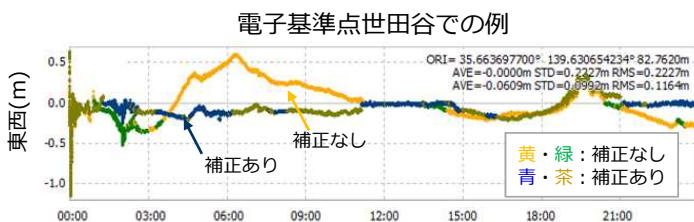
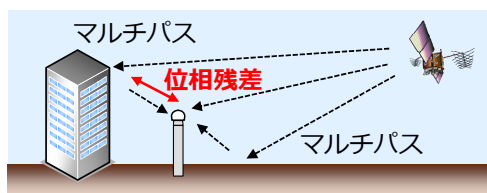
Slide 5

成果 (1):時系列に含まれる誤差の低減技術の開発

位相残差に基づくマルチパス誤差の補正手法の開発

GNSS衛星はほぼ同じ軌道面を繰り返し飛んでいる

- **固定観測点**では、同じ視線方向から繰り返し受信
 - 周辺地物が同じならば、同じ視線方向の衛星からのマルチパス誤差がほぼ一定
- **位相残差マップ**をもとに、**マルチパス誤差の補正ファイル**を作成して適用



補正	標準偏差 (cm)			fix率 (%)
	東西	南北	上下	
なし	20.2	8.8	22.7	22.3
位相残差に基づく補正	9.8	4.8	21.1	40.4

特に水平成分で精度改善し、本手法の有効性を確認
→ リアルタイム解析への組み込みを行った

Slide 6

(注) マルチパス誤差が時間変化する場合は、マスクを作成してデータを除外 (参考資料)

地震や火山活動による地殻変動は複数の観測点で共通信号として現れる

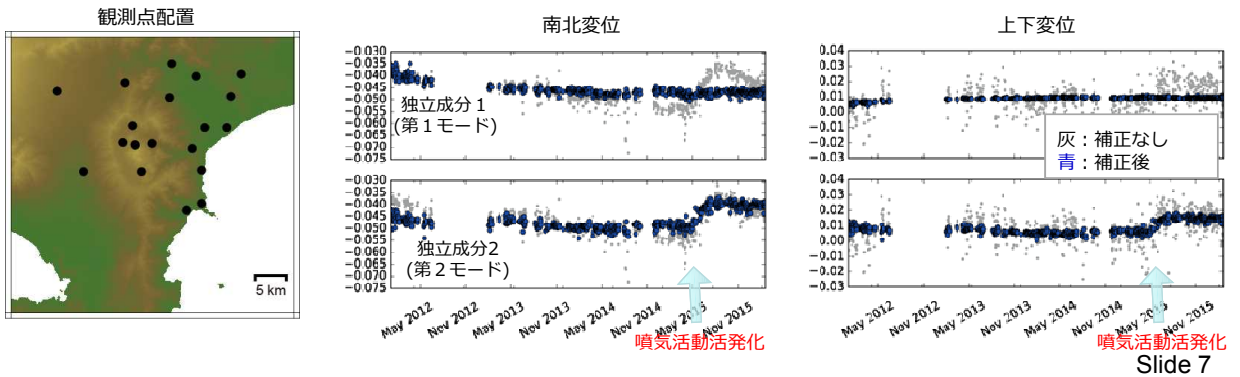
- 主成分分析・独立成分分析と呼ばれる統計的手法で、時空間的に相関があるパターン（モード）の重ね合わせでGNSSキネマティック測位の座標時系列を表現
- 地殻変動に関連するモードのみを抽出することで地殻変動を高精度に抽出

$$x_j(t) = a_{j1}s_1(t) + a_{j2}s_2(t) + \dots + \cancel{a_{jn}s_n(t)}$$

座標時系列 第1モード 第2モード 無関係なモード

箱根火山周辺のGNSS時系列への適用例

独立成分 1：東北地方太平洋沖地震の余効変動に対応
独立成分 2：箱根火山の活動に伴う地殻変動に対応



時系列のノイズが大幅に軽減され、本手法の有効性を確認

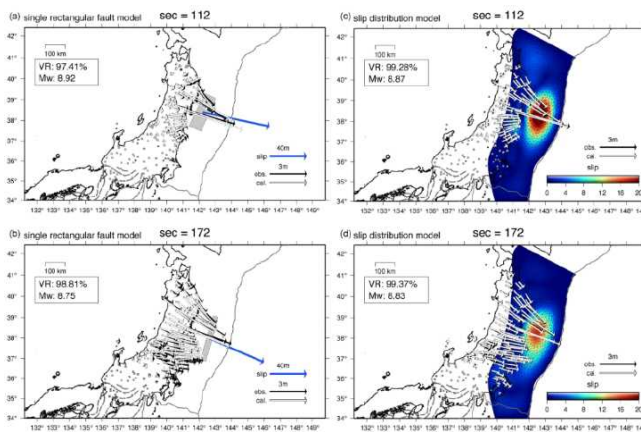
Slide 7

① 地震時地殻変動の迅速なモデル化

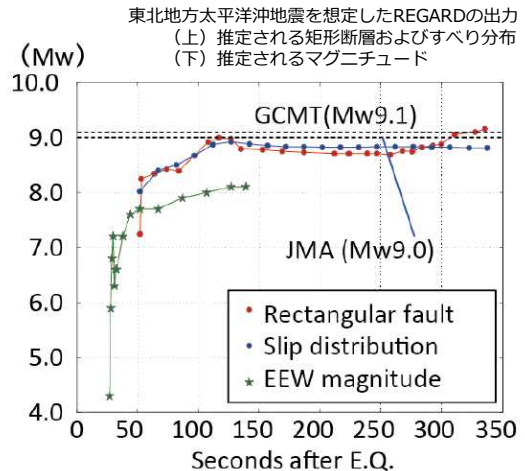
REGARD システムの構築

(REal-time GEONET Analysis system for Rapid Deformation monitoring)

津波予測のための適時的な地震規模推定を目指し、リアルタイムキネマティックGNSS時系列から即時的に断層モデルを推定するシステム



Kawamoto et al. (JGR, in press)



- 地震に伴う断層モデル推定ソフトウェアをREGARDへ組み込んだ。
- 東北地方太平洋沖地震を想定したシミュレーションで、地震発生後150秒後程度で地震規模が推定できることを示した。

Slide 8

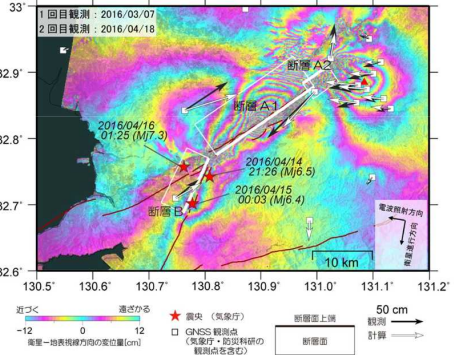
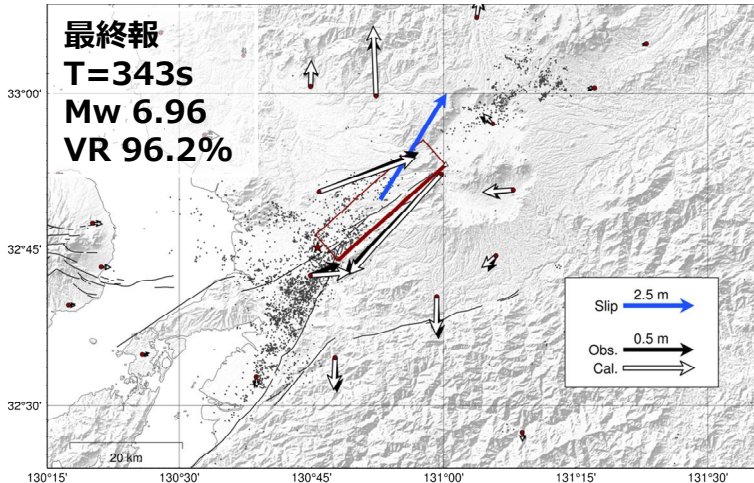
① 地震時地殻変動の迅速なモデル化

REGARD システムの構築

(REal-time GEONET Analysis system for Rapid Deformation monitoring)

リアルタイムでの運用事例：平成28年熊本地震 (Mj7.3)

(参考) 干渉SARのデータを取り入れた最終モデル(数週間後)



最も大きくずべった断層A1：Mw 6.96
がREGARDでモデル化されている

Kawamoto et al. (EPS, 2016)

平成28年熊本地震の際にも正常に動作し、迅速に地震規模が推定できた

Slide 9

② 火山性地殻変動の迅速なモデル化

火山性地殻変動逐次モデリングプロトタイプシステムの構築

リアルタイムキネマティックGNSS時系列から火山性地殻変動の力源の状態変化 (位置、形状、圧力など) を迅速に逐次推定するプロトタイプシステムを構築した*

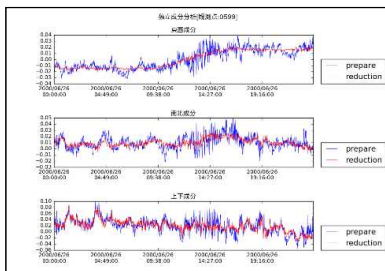
火山性地殻変動力源逐次推定プロトタイプシステムの概要

リアルタイムキネマティック測位モジュール

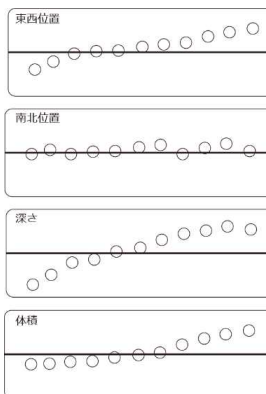
GEONET1秒GNSSデータ

IGS超速報暦

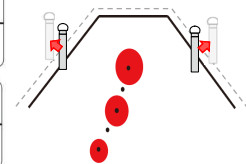
主成分分析・独立成分分析による火山性地殻変動抽出



火山性地殻変動力源の状態変化推定



火山性地殻変動から推定される力源の状態変化 (位置、形状、圧力など) の逐次推定 (1時間おき程度)



* 現在外注にてシステム構築中

Slide 10

目標	実施内容
キネマティックGNSS 時系列の誤差低減技術 の開発	支配的な誤差要因であるマルチパスについて、 <u>位相残差による補正、仰角・方位角マスクによる遮蔽</u> が有効であることを示し、リアルタイム解析に実装
キネマティックGNSS 時系列から地殻変動を 抽出する技術の開発	<u>主成分分析、独立成分分析</u> により地殻変動を高精度に抽出するソフトウェアを開発
地殻状態の迅速推定 (プロトタイプ) システム構築	以下の(プロトタイプ) システムを構築した 1) 地震断層すべりおよび地震規模の即時推定システム →REGARD 2) 火山性地殻変動力源の状態変化 (位置、形状、圧力など) の逐次推定プロトタイプシステム

→ 目標達成の見込み

Slide 11

成果活用の見込み

1. 本研究で開発された断層モデルを推定するソフトウェアについては、平成28年度に測地観測センターの「津波予測支援システム(REGARD)」システムに組み込まれ稼働中であり、関係省庁と連携して津波被害の軽減に活用される。
2. REGARDは、地震発生時の地殻変動および断層モデルの速報のため既に活用されている(例：熊本地震)
3. 本研究で開発された火山性地殻変動逐次モデリングプロトタイプシステムは、宇宙測地研究室および地殻変動研究室で運用され、火山活動が活発化した際の地殻変動監視における力源の状態等の推定に活用される。

Slide 12

本研究で開発した火山性地殻変動逐次モデリングシステムで用いられているリアルタイムキネマティックGNSS解析は干渉測位法を用いているが、対象とする火山を増やした場合、観測点数の増加に伴う計算負荷の増大が問題となる。