

# 迅速・高精度なGNSS定常解析システムの構築に関する研究

国土地理院地理地殻活動研究センター  
宇宙測地研究室

## 本研究の背景

**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、地震防災対策強化地域判定会：地震活動の評価

火山噴火予知連絡会：活火山の山体の変化の監視等

## 現在のGEONET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)	
定常解析	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	約10cm より良	

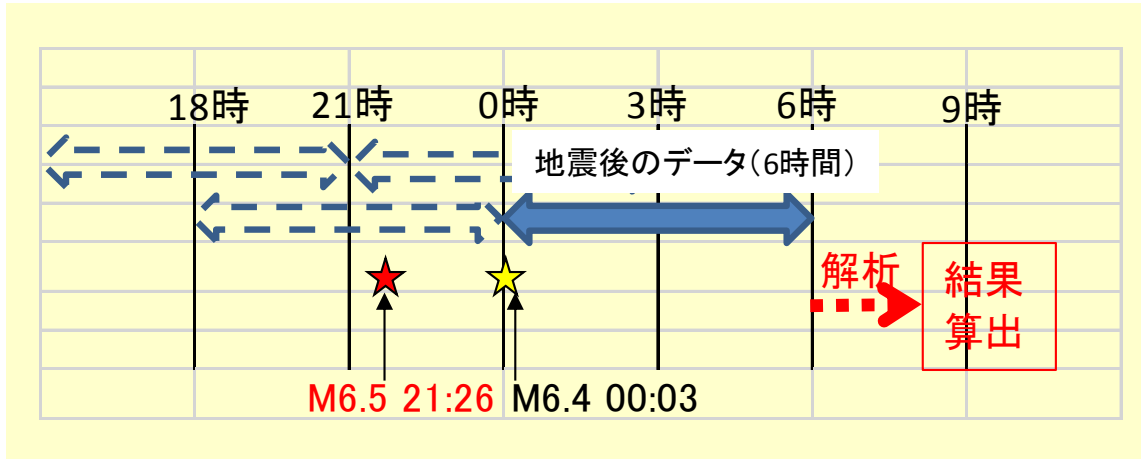
\* REGARD：海溝型大地震に伴う津波予測を支援するためのシステム

定常解析の弱点：迅速性や時間分解能が不足する場合がある

2016熊本地震 (4/14 21:26発生 M6.5の地震)

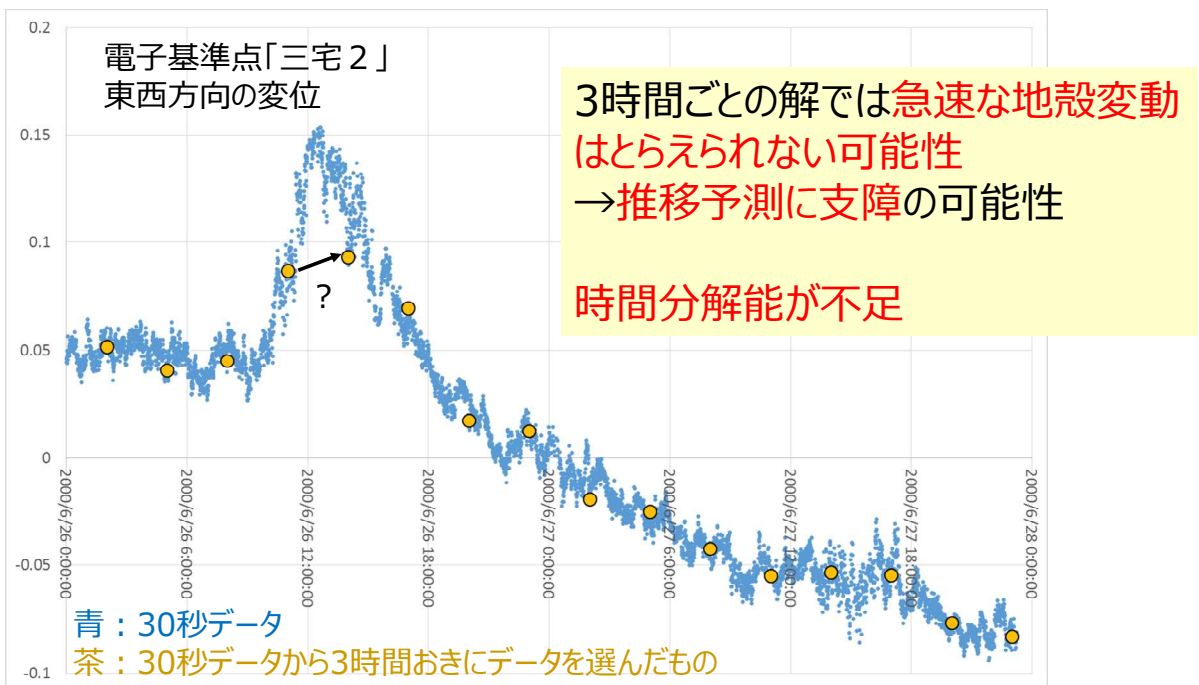
地殻変動の算出：およそ半日 (Q3解)

- M6.5の地震の3時間後にM6.4の地震：地殻変動を分離不能  
→ 二つの地震の震源断層モデルパラメータをまとめて推定  
それぞれの地震像の把握に支障があるおそれ



火山活動監視

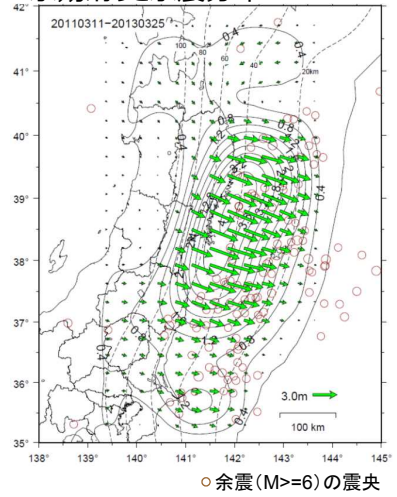
三宅島の噴火貫入イベント (2000/6/26~27)



### 余効変動の推移把握

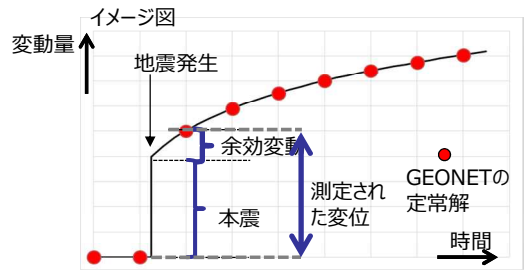
- 東北地方太平洋沖地震：  
余効すべり域の周辺で余震  
→余効変動域の推移や伝搬の監視が重要

東北地方太平洋沖地震の  
余効滑りと余震分布



### 余効変動は：

- 地震直後に大きな変動：低い時間分解能の観測の場合、本震と余効変動の影響が混在  
⇒高い時間分解能の観測必要
- 減衰しながら長期にわたる変動の継続  
⇒高い精度で安定した解が必要



5

### GEONETの課題：精度を保ちつつ、迅速性と時間分解能を向上

- 精度：1cm程度 (Q3相当)
- 迅速性：地震発生の半日後の地震調査委員会臨時会に断層モデルを提出可能  
→地震発生後3時間程度で地殻変動算出
- 時間分解能：火山活動に伴う変動を捉えられること→30秒以下

#### 定常解析 (F3解、R3解、Q3解)

##### スタティック測位

- 解の安定性、精度に優れる
- 解析の迅速性、時間分解能が課題  
(スタティック測位の限界)

#### REGARD

##### リアルタイムキネマティック測位

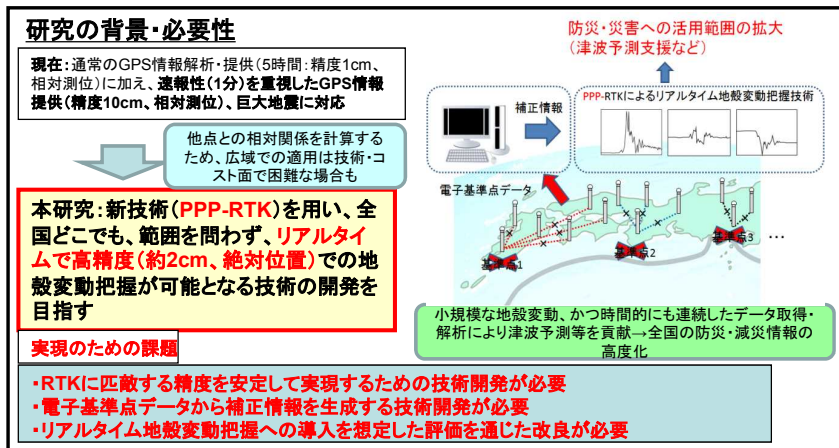
- 解析の迅速性、時間分解能に優れる
- 解の精度に課題  
(リアルタイム測位の限界)
- 計算負荷：大

新たな手法が必要

6

実施中の特別研究

「精密単独測位型RTK(PPP-RTK)を用いたリアルタイム地殻変動把握技術の開発」(H27~29)



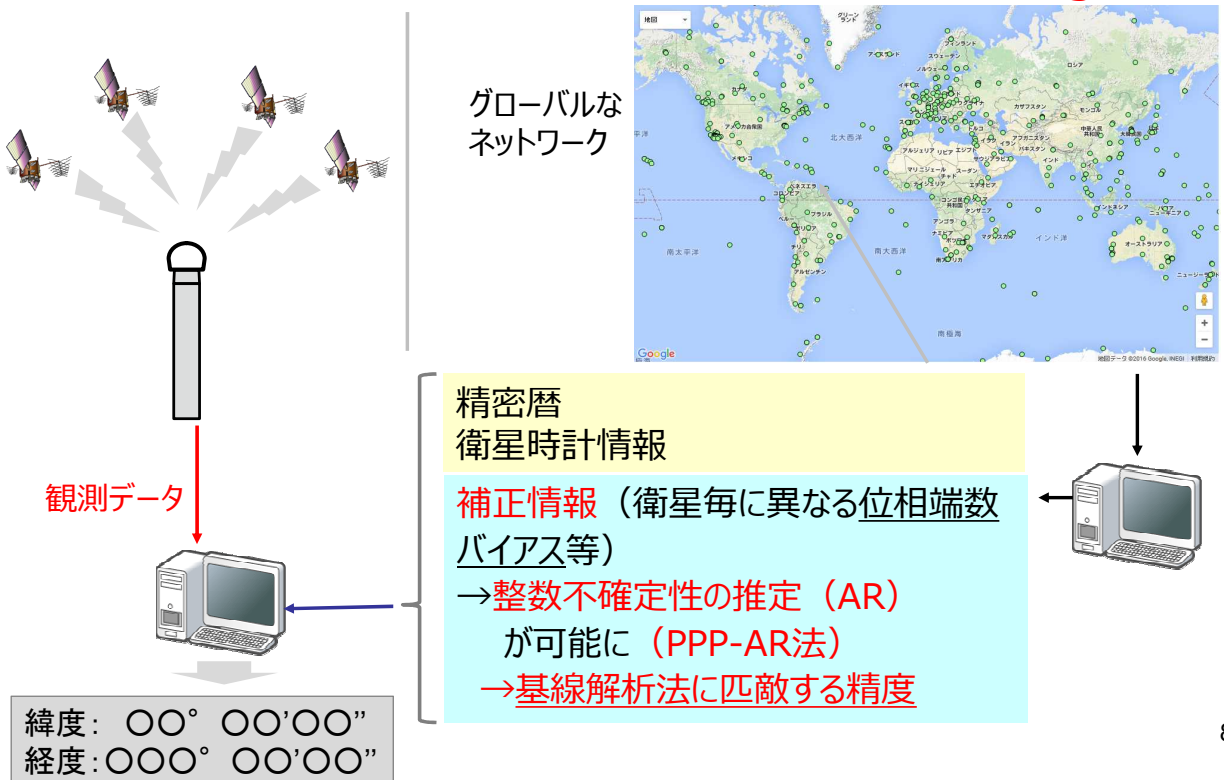
リアルタイムで所定の精度が得られているところ。

➡ この手法を後処理解析に適用させればさらなる精度の向上が期待でき、「精度と安定性を保ちつつ、迅速性と時間分解能を向上させる」というニーズが満たせる見込み

- 後処理による、より高精度な補正情報、独自の精密暦・衛星時計情報

本研究の背景

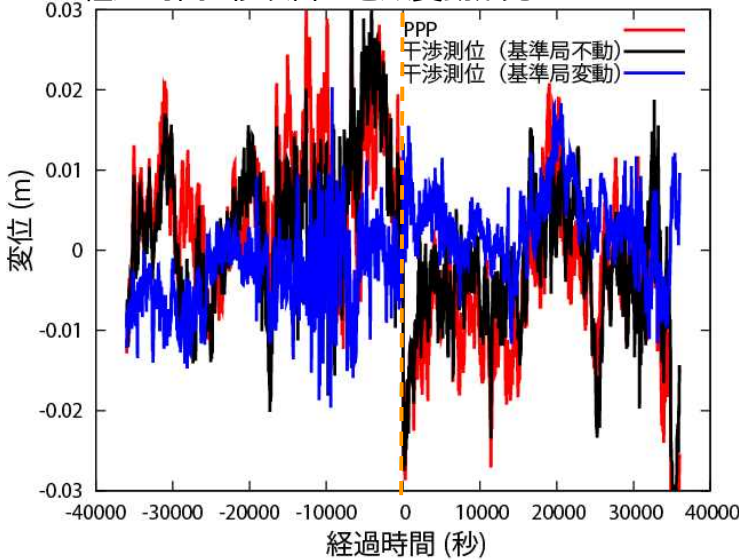
精密単独測位 (PPP : Precise Point Positioning) 法



PPP法のメリット

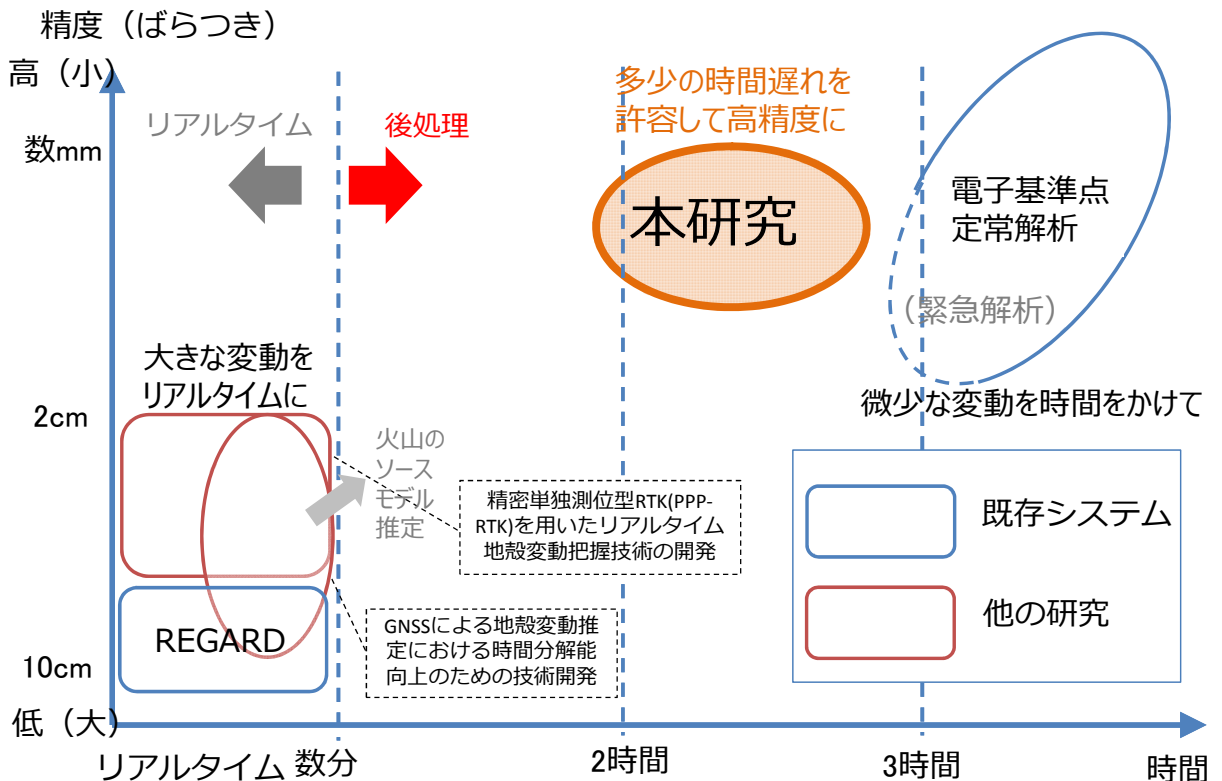
- 軽い計算負荷 = 迅速な解析可能
- 観測局ごとの（絶対）位置が求まる = 地殻変動に強い

PPPと干渉測位による同一局の座標変化の比較例  
経過時間0秒以降に地殻変動が発生



- 基準局が変動しない場合：  
PPPによる測位と干渉測位のいずれによっても正しい地殻変動が得られる
- 基準局が変動した場合：  
干渉測位では、正しい地殻変動が得られない。

本研究のターゲット



目的：

- 現在の定常解析よりも**迅速・高時間分解能**なGNSS解析手法の開発
- 将来の定常解析を想定した**プロトタイプシステム**開発

開発要素：

- グローバルな観測データを用いた、より高精度な衛星軌道、衛星時計の推定手法の開発
  - 観測点の選定、データ入手タイミングの最適化等
- より最適なPPP-AR手法の検討
  - リアルタイムよりも遅れがあるが、より確実に解が得られる手法
- これらを実装したプロトタイプシステムの開発と、過去データによる評価

アウトプット指標：

- GEONETデータにより、定常的・安定的に、**1秒間隔の解をデータ収集の約2時間後**までに算出する**プロトタイプシステム**

本研究の目指す解

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)
<b>従来の定常解析解</b>				
F3 (最終解)	24時間RINEX (1日)	1日	2~3週間後	2~3mm
R3 (速報解)	24時間RINEX (1日)	1日	2日後	2~3mm
Q3 (迅速解)	6時間RINEX (6時間)	3時間	約3~9時間後	1cm
REGARD	リアルタイムデータ (1秒)	1秒	リアルタイム	約10cm
<b>本研究により得られる解</b>				
<b>精密単独測位</b>	<b>1時間BINEX (1秒)</b>	<b>1秒</b>	<b>約2時間後</b>	<b>約1cm</b>

## H29年度

- 後処理で高精度な精密単独測位を行うことが可能な精密暦及び補正情報を生成する手法の開発
  - ✓ 特別研究「精密単独測位型RTK(PPP-RTK)を用いたリアルタイム地殻変動把握技術の開発」(H27~29)の成果活用
- 補正情報生成ソフトウェアの開発

## H30年度

- 補正情報を用いて解を算出するプロトタイプシステムの試作
- 過去データの解析。安定性、精度の評価

## H31年度

- プロトタイプシステムの改良、運用支援ソフトウェアの開発

13

## 期待される成果と活用方針

- 想定される成果

地殻変動把握の**迅速化**(2時間程度)、**高時間分解能化**(1秒)手法の開発。**プロトタイプシステム**への実装

- 活用方針

1. 地殻変動情報や地震断層モデル・火山活動モデル等の**迅速な発信**
2. 大地震時に
  - **確実に地殻変動情報を提供可能。**
  - 地震本震による地殻変動と余効変動とが、より正確に分離可能になり、**地震活動の正確なモデリングが可能**
 →地震調査委員会臨時会による**地震活動の評価**に活用
3. 火山活動時に**噴火前後の火山活動の正確なモデリングが可能**  
→火山噴火予知連絡会で**火山活動の評価資料**としての活用
4. 複数の地震が時間差をもって発生する可能性がある場合：  
**破壊進展や破壊領域把握、余効変動の遷移のモデリングの迅速な実施**  
→地震調査委員会や地震防災対策強化地域判定会による、**震源域隣接領域の破壊可能性の予測への貢献**

14

現在の定常解析と同程度の精度で、  
より迅速で高時間分解能な地殻変動情報



地震・火山の適時的な推移把握が可能



防災機関に情報が適切に提供されることで、  
地震・火山噴火における活動予測に貢献



地方公共団体等へ情報が適切に提供されることで  
地震・火山噴火の被害軽減への貢献

15

## 期待される波及効果

- 地理院に対して：  
本研究により、各電子基準点の絶対座標値が整備。これは定常解（F3解）の品質情報として有用
  - 測量一般に対して：  
本研究により、PPPに適用可能な精密暦や時計情報、補正情報が、データ取得後1時間程度で計算可能
    - IGSの超速報暦（3時間遅れ、6時間ごと）よりも迅速
      - ※ IGSの超速報暦はPPPで必要な時計情報を含まず
- これが標準的な暦や補正情報等として提供されれば、PPP法を測量分野で活用する条件の一つが整い、将来的には日本における測量のさらなる効率化＝測量にかかるコスト削減につながる可能性

### 基準点体系分科会（V）報告書：

「PPPの測量分野での活用については、（中略）今後、リアルタイム精密暦及び時計情報の精度向上や整数不確定性の処理技術（PPP-AR）の確立、ITRF系に基づく測位結果を日本の測地成果へ変換する手法の開発等により、測量方法の主流となる可能性も秘めている」

16

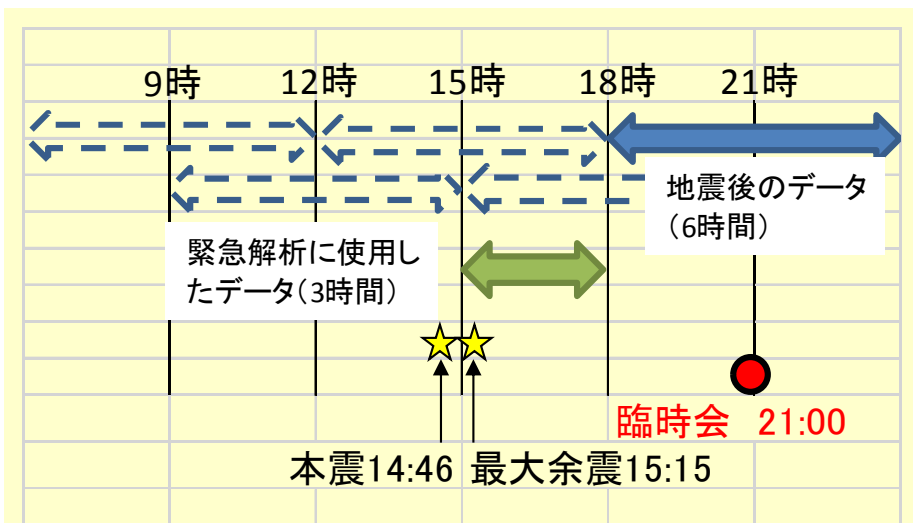


本研究の背景

2011東北地方太平洋沖地震（3/11 14:46発生）

地震調査委員会臨時会（3/11 21:00開催）までに

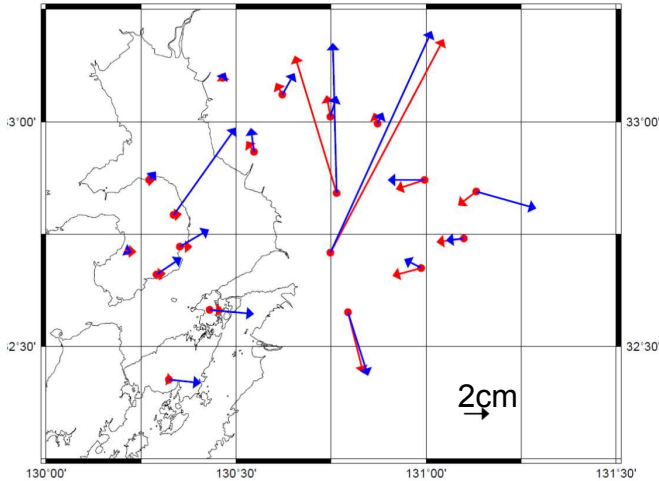
- Q3解は間に合わず→3時間データによる緊急解析
  - 断層モデルが間に合わず
  - 最大余震と本震の地殻変動量の分離不能
- 地震像の把握に遅れ



## 「電子基準点リアルタイム解析システム」(REGARD)

- 海溝型大地震に伴う津波予測支援のため、**大地震発生時に** GEONETデータを**リアルタイムに**キネマティック解析。地震前後の時間分解能1秒の時系列から、**自動で断層モデルを推定し、数分以内で地震規模を推定。この目的には十分な性能**

熊本県の2016/4/14 21:26 (M6.5)及び4/15 0:03 (M6.4)の地震に伴う地殻変動検出を試行(本来の用途ではない使い方)



津波予測支援を目的にしているため、**内陸地震の断層を詳細にモデル化する用途**に用いるには、**解の精度が不足**

赤 : Q3による変動  
 青 : REGARDによる変動  
 (二つの地震の変動のベクトル和)

19

## 用語集

- 整数不確定性
  - GNSS観測では、衛星と受信機との間に電波の山が何個あるかを連続的に追跡している。ただし、その絶対値はわからず、基準となる個数からのずれしか分からない。その基準となる個数のことを言う。整数バイアスとも言う。測位解析の過程でこのバイアスを推定できる(=整数化できる)と座標精度が向上する。
- 位相端数バイアス(FCB)
  - 上の整数バイアスは、厳密にいうと衛星および受信機の電子回路に起因する誤差のせいで完全な整数ではない。その誤差を言う。通常の測位では、処理の過程でこの誤差が消去され、バイアスを整数として取り扱えるが、PPPの場合はそうでないため、バイアスを推定する(=整数化する)ためには位相端数バイアスの情報が必要となる。

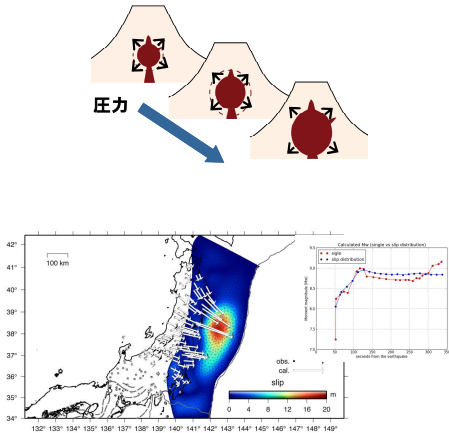
20

- キネマティック測位
  - GPS等の衛星測位において、観測間隔かそれに近い時間間隔で、受信機の位置を推定する測位方法。主に移動体の位置決定や、地震・火山活動等に伴う地殻変動の研究など、受信機が短時間で大きく動く場合に用いられる。
- スタティック測位
  - 測位衛星からの信号を2点以上で同時に受信し、観測された信号の差を用いて、観測局間の相対的な位置を求める方式。この際、基準とする観測局のことを基準局と言う→基準局
- 単独測位
  - 一点の観測局で受信された測位衛星からの信号を用いて、観測局の絶対的な位置を求める方式。

- 基準局
  - スタティック測位において位置の基準とする観測点。基準局に位置の変動がない場合、スタティック測位で得られた、基準局に対する観測局の相対的な位置変化は、観測局の変動そのものを表していると解釈することができる。

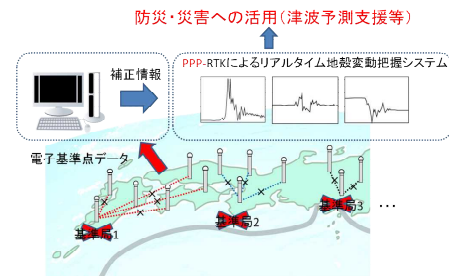
GNSSによる地殻変動推定における時間分解能向上のための技術開発 (H26-28)

概要：  
リアルタイムキネマティックGNSS (RTK-GNSS)時系列のばらつきを抑えた上で、**準リアルタイムで地殻状態の推移を推定**



精密単独測位型RTK(PPP-RTK)を用いたリアルタイム地殻変動把握技術の開発 (H27-29)

概要：  
全電子基準点にスケールアップ可能で目標精度が長期的な座標再現性で**水平各成分2cm程度のPPP-RTKによるリアルタイム地殻変動把握**



## 特別研究課題の比較

	本研究	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 (H26-28)	精密単独測位型RTK(PPP-RTK)を用いたリアルタイム地殻変動把握技術の開発 (H27-29)
対象とする地域・電子基準点	全国 全点	1~2火山 100点程度 ※ソースモデルのモデリングも含むため	全国 全点
解析手法	PPP-AR (後処理キネマティック)	RTK-GPS (リアルタイム) ※相対測位	PPP-AR (リアルタイム)
成果物	各電子基準点の座標時系列 (水平 <b>1cm</b> 程度のばらつき) 精密軌道 補正情報	対象とする火山のソースモデル	各電子基準点の座標時系列 (水平 <b>2cm</b> 程度のばらつき)
座標系	ITRF準拠	地域的な任意座標系	ITRF準拠

## 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 (H26-28)

### 研究内容：

- 細かい時間分解能のGNSS時系列のばらつきを低減する技術
- GNSS時系列から複数観測点で動じ観測される共通信号を抽出し、地殻変動を特定する手法
- RTK-GNSS解析における時系列のばらつきを低減する技術
- RTK-GNSS時系列を用いた地殻状態推定システムのプロトタイプ

## 精密単独測位型RTK(PPP-RTK)を用いたリアルタイム地殻変動把握技術の開発 (H27-29)

### 研究内容：

- 波数不確実性決定 (AR) の安定性向上
- マルチGNSS環境下の測位安定性向上
- 電子基準点データから補正情報を生成する手法
- 全電子基準点にスケールアップ可能で目標精度が長期的な座標再現性で水平各成分2cm程度のPPP-RTKによるリアルタイム地殻変動把握のためのプロトタイプシステム

## 新規提案課題 (H29-31)

### 研究内容：

- 後処理でより高精度な精密単独測位を行うことが可能な精密暦及び補正情報を生成するシステムの開発・評価
- 2時間遅れで精密単独測位による解を安定して求める解析戦略の開発・評価
- イベント発生前後の変動を迅速・詳細に把握可能な、短時間で高精度な精密単独測位法によるGNSS定常解析を導入するための、プロトタイプシステムの開発

津波予測支援システム

電子基準点定常解析