

地震及び火山噴火予知のための 観測研究計画 - 平成21年度年次報告 -

平成22年6月14日
独立行政法人
防災科学技術研究所

基盤的地震観測網の 整備・維持管理・更新

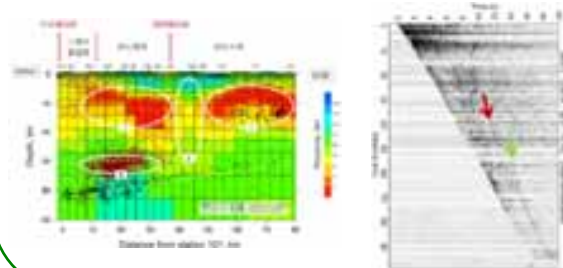
H21年度

新設: 3点
移設: 1点



臨時機動観測

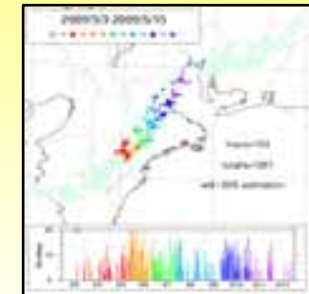
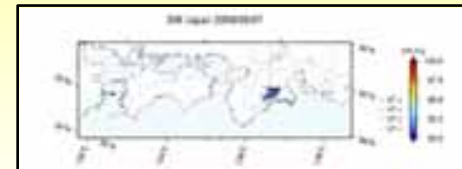
より詳細な地殻活動データの取得



地殻活動モニタリングシステムの開発・高度化

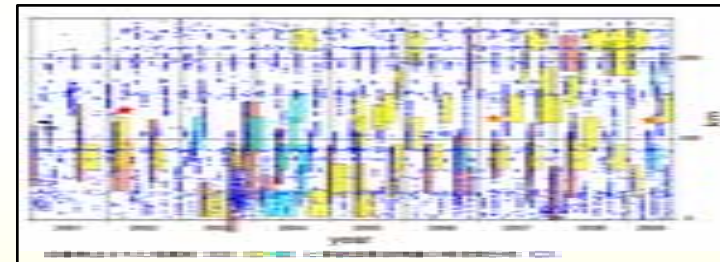
【SPAシステムの運用・調整】

- ・自動処理への「ハイブリッド法」導入



【地殻変動モニタリングシステム高度化】

- ・SSE自動検出手法の開発



【相似地震モニタリングシステム高度化】

- ・システム高速化→モニタリング対象領域の拡大へ

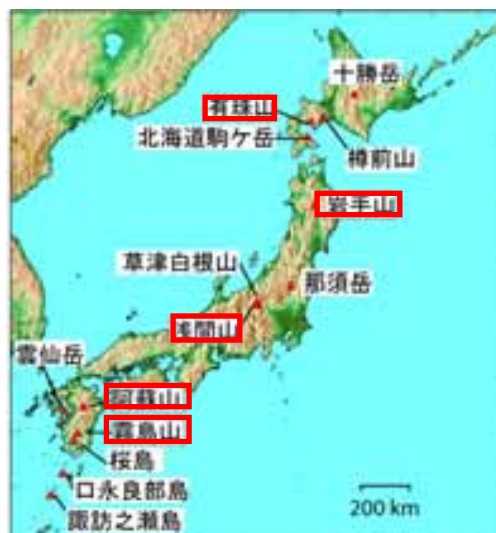


その他,

- ・AQUAシステムの安定稼働
- ・浅部超低周波地震モニタリングの実施 (SPA) など

火山観測網整備

基盤的な火山観測施設を有珠山(1), 岩手山(1), 浅間山(2), 阿蘇山(2), 霧島山(2)に整備(数字は観測点数)



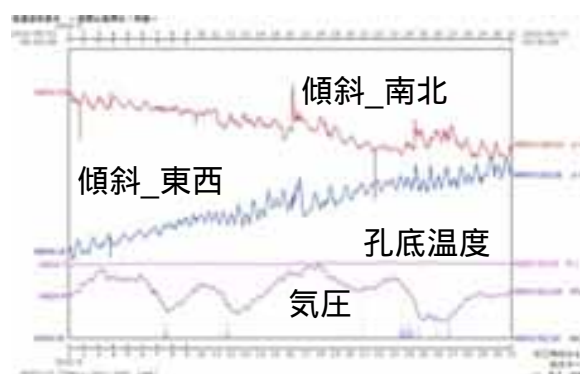
地表付近に
広帯域地震計
GPSを設置

深度200mの観測井に
地震傾斜観測装置

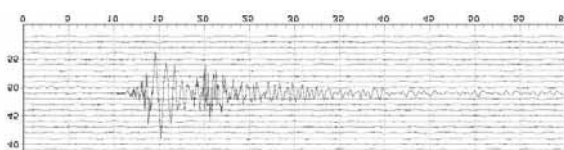
浅間山鬼押出火山観測施設の例



傾斜変動(5月)



浅間山の火山性地震



概要

平成21年度は、5
火山に合計8カ所の
基盤的な火山観測網
整備に着手した。

平成21年度協力機関
北大、岩手大、東北大、地
震研、京大等

気象庁、大学など



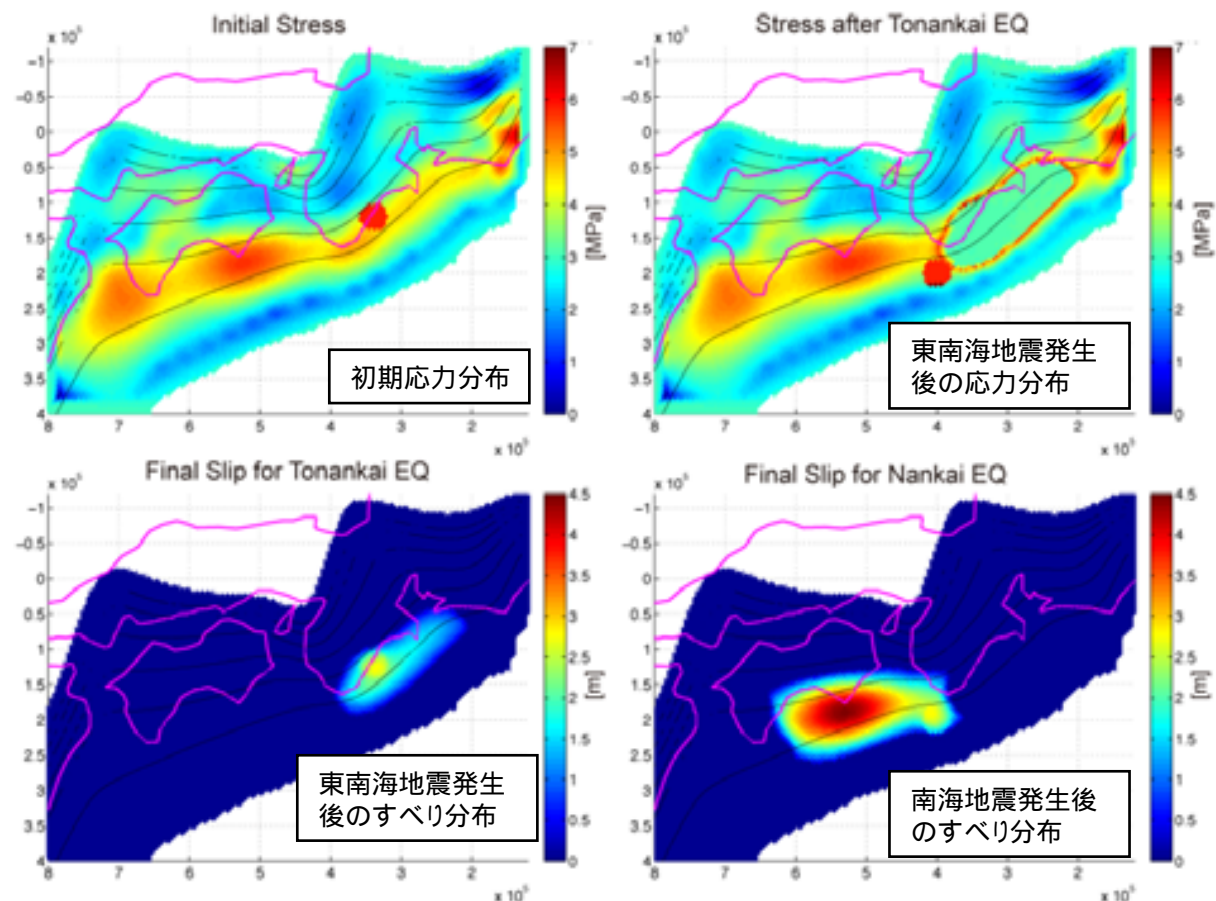
観測データの流通・公
開を準備中



地震発生と波動伝播の連成シミュレーション

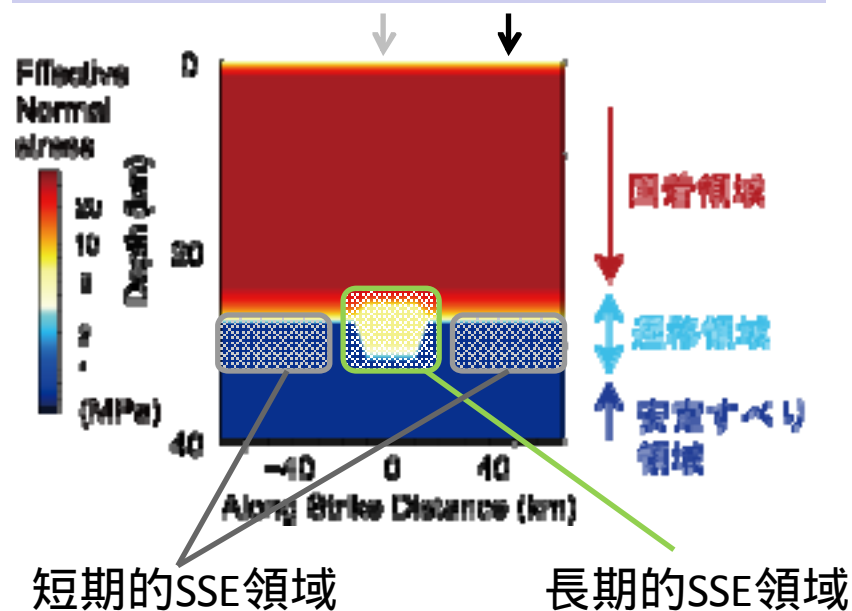
橋本他(2009, 地震学会)によって推定された、フィリピン海プレートのすべり欠損速度分布を用いて分布を用いて、南海・東南海地震の動的破壊伝播のシミュレーションを行った。

- 地震発生間隔を100年と想定し、前回の地震から100年経過した地震のすべり欠損量から、地震発生時に生じるであろう応力降下量を推定し、地震時に生じる応力降下量とした。
- 静摩擦強度と動摩擦強度は、地震破壊開始領域以外は一様とし、初期応力は、応力降下量に動摩擦強度を加えた量と設定した。地震発生域のセグメント構造を考慮し、5つの領域にわけ、それぞれの領域において、最終すべり量に比例するすべり弱化解距離を与えた。
- 上記の条件設定のもと、東南海地震、南海地震を再現するモデルを構築することが出来た。
- しかしながら、条件をわずかに変えることにより、東南海、南海地震が同時に発生するような破壊伝播も可能であり、断層摩擦構成則をいかにうまく推定するかが、シミュレーションにとって重要である。



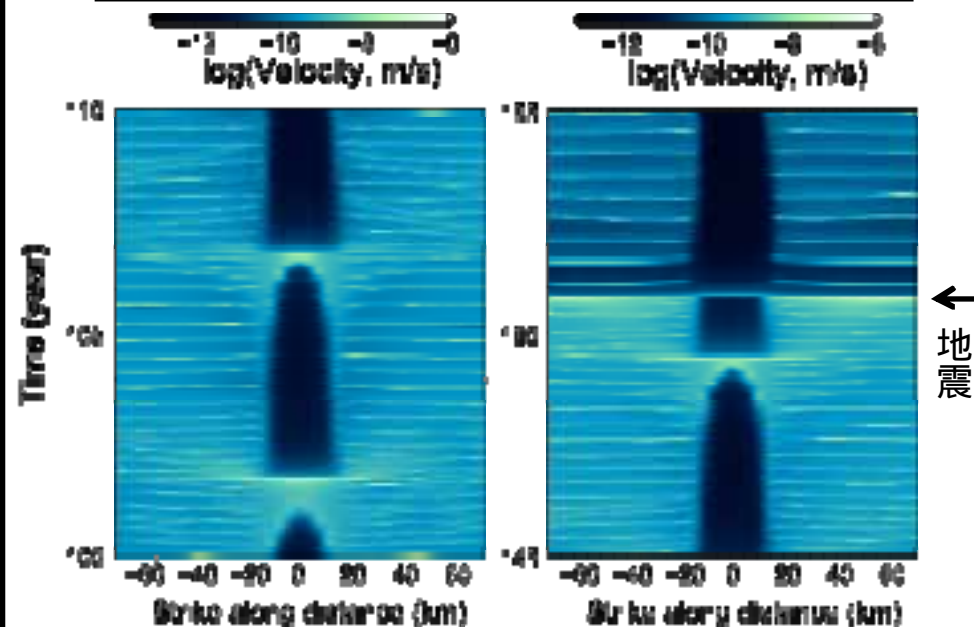
スロースリップイベントの発生サイクルシミュレーション

沈み込み帯を模した平面断層モデル



- SSE領域に高間隙水圧
- 遷移領域の摩擦則

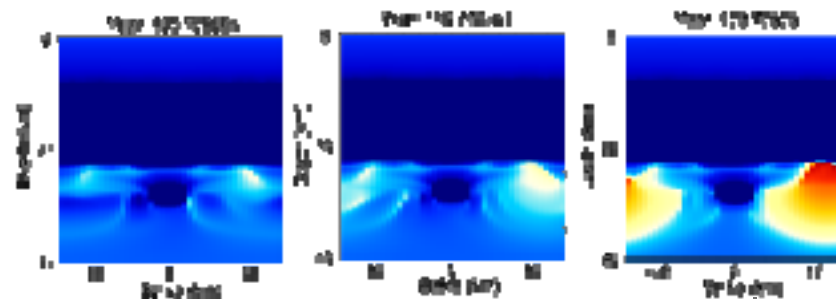
遷移領域でのすべり速度の履歴



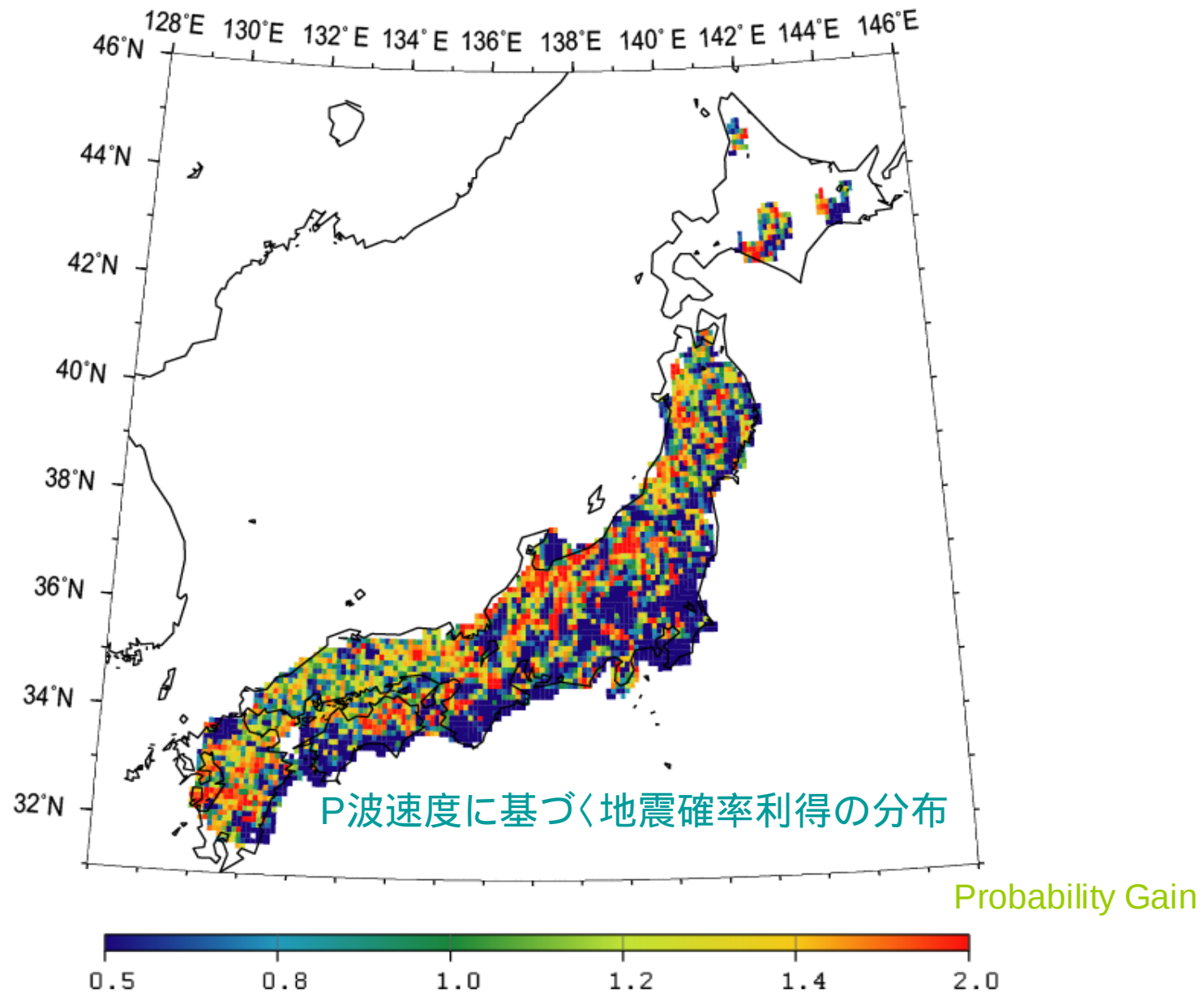
- ✓ 短期・長期的SSEの繰返しを再現
- ✓ プレート境界地震前後でSSE周期が変化

大地震の核形成過程とSSE

- ✓ 短期的SSE領域と固着領域との境界付近でのすべりが大地震へ進展



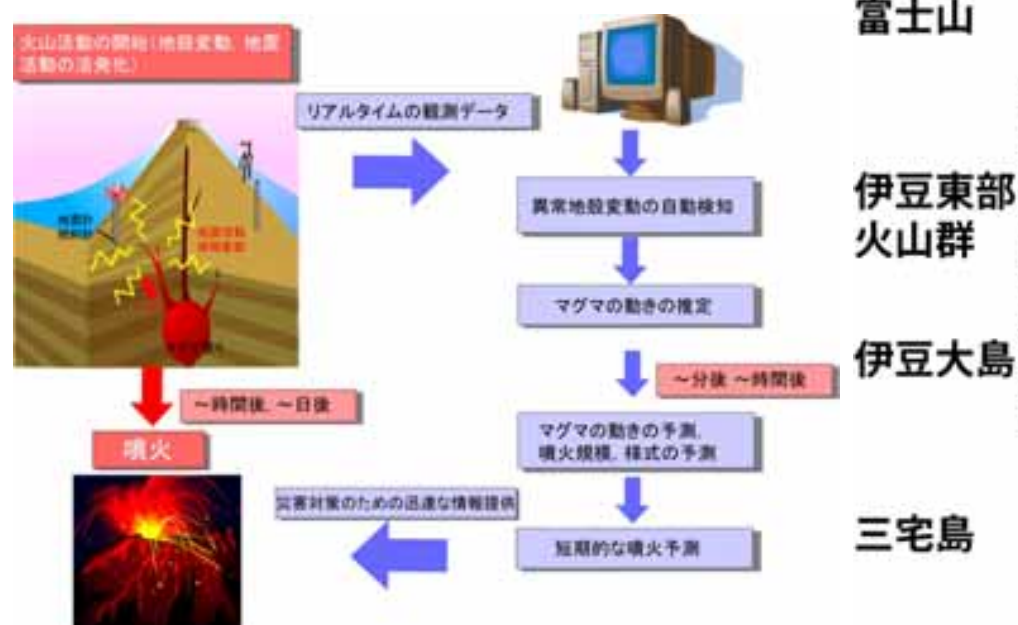
地震波速度構造等に基づく地震発生ポテンシャル評価法の研究



噴火予測システムの開発

噴火予測システム

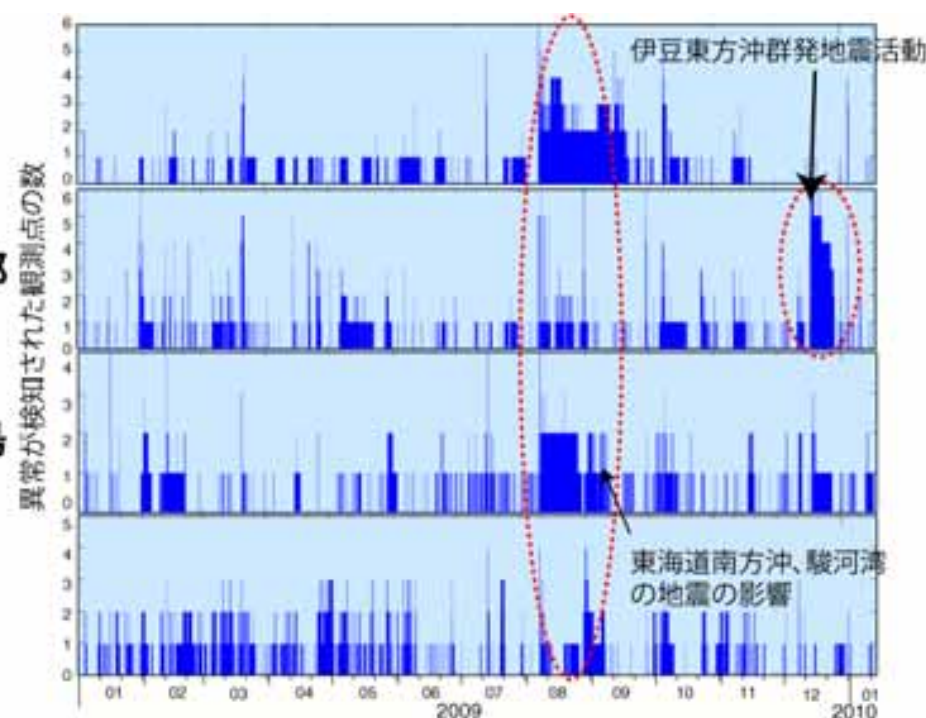
噴火予測システムとは、防災科研の火山観測網のボアホール式傾斜計などのリアルタイムデータを利用して、マグマの動きによる異常な地殻変動を自動で検知し、自動で変動源モデルを推定するシステムである。異常な変動を高精度で迅速に検知し、さらに変動源モデルの推定を自動で行うことによって、火山活動と同時進行で地下のマグマの動きを定量的に推定することができる。



噴火予測システムの処理の流れ

平成21年度成果の概要

噴火予測システムを各火山の観測網のリアルタイムデータに適用しモニタリングを行い、信頼性の検証実験を行った。その結果、2009年12月に伊豆半島東方沖で発生した群発地震活動に伴う傾斜変動を自動で検知することに成功し、この手法の有効性を確認した。手動による解析により、この傾斜変動が群発地震活動域に貫入した岩脈モデルにより説明可能であることを確認した。



各火山観測網での異常が検知された観測点の数の推移。

統合地震波形データベースの構築

1. 観測記録データベースの拡充

基盤地震観測網 (Hi-net, F-net) を, 高い稼働率 (98%以上) で安定稼働し, 波形データベースを拡充した。

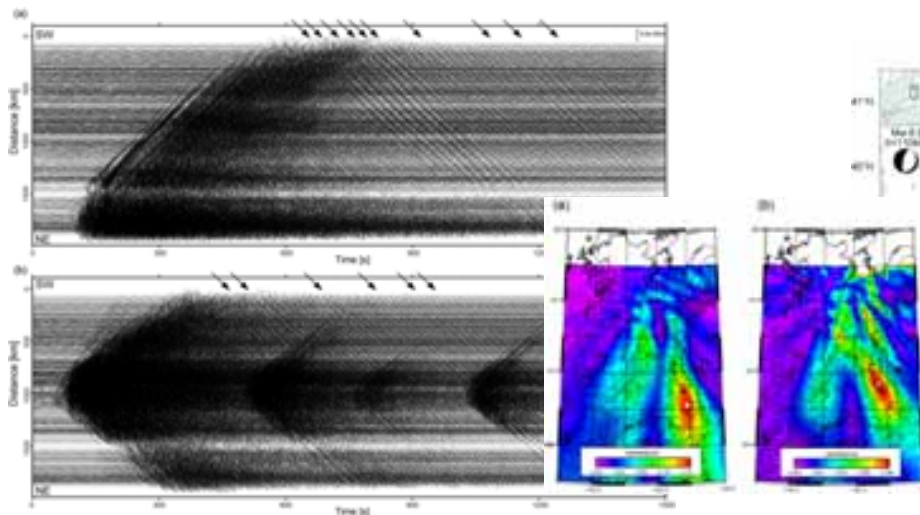
2. 基礎解析データベースの構築

過去発生した大地震 (M6.9以上) の地震波動場の時間発展, アレイ解析による位相速度分散曲線を含むデータベースを作成した。

3. 地震波動伝播特性の解析

特徴的な波動伝播特性として, (I) 九州パラオ海嶺から反射した逆伝播表面波, (II) 天皇海山列から反射したT波の2つの事例について, 詳細な解析シミュレーションを実施した。

九州パラオ海嶺から反射した逆伝播表面波

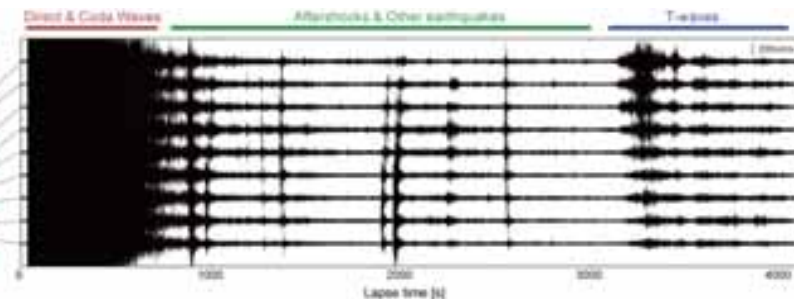


(a)2003年十勝沖地震の余震, 及び(b)2004年新潟中越地震の変位記録ベーストアップ. 参照点 (30.0° N, 133.0° E) からの震央距離順に並べて示す. 時間長は1500秒である. 南西から北東に伝播する顕著な波群を矢印で示す.

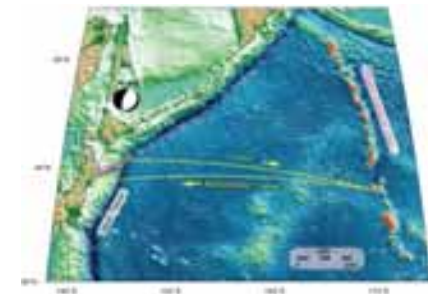
(a)2003年十勝沖地震の余震, 及び(b)2004年新潟中越地震について西南日本の観測点で記録された波形データから直接計算されたセンブランス分布. 橙色が高いセンブランス値を示す.

[Obara and Matsumura 2010 BSSA]

天皇海山列から反射したT波



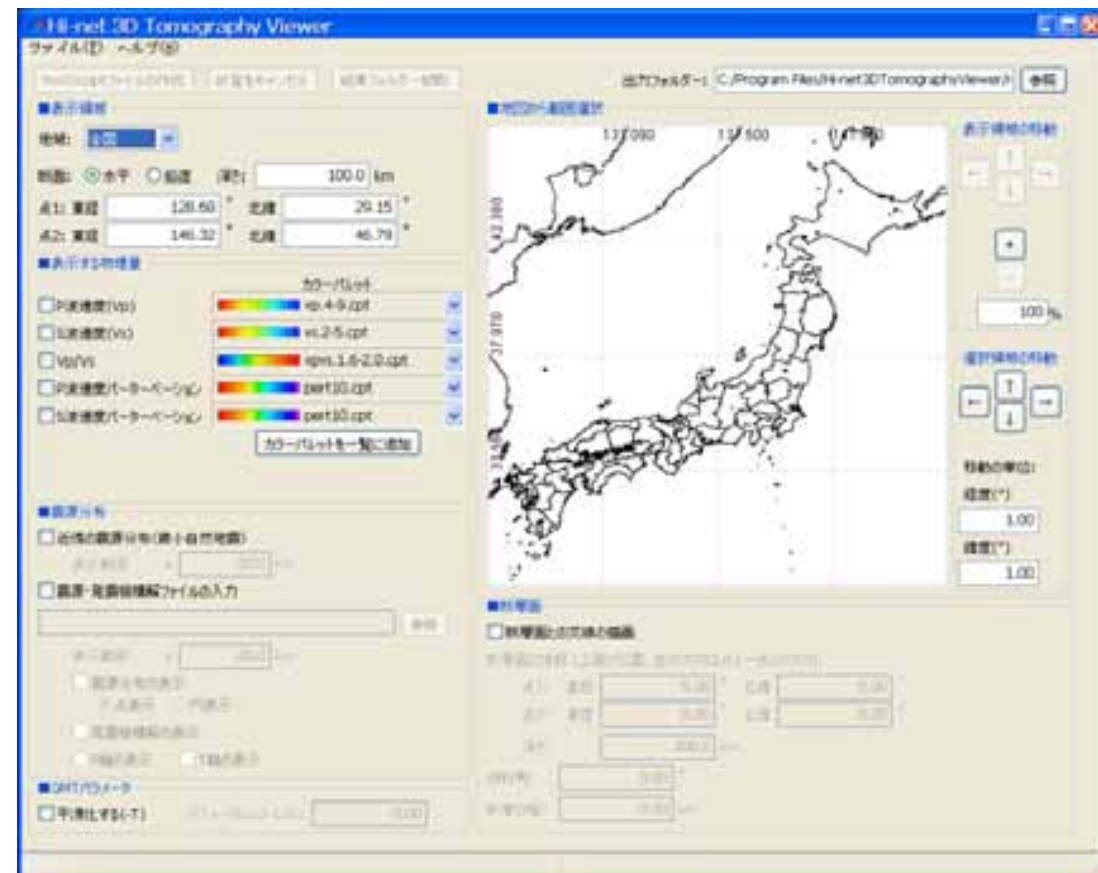
2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震発生後の地震動記録. 三陸海岸の観測点での記録を北から順に並べて示す. 地震発生から700秒までは直達波及びコーダ波振幅が大きく, その後3000秒までは, この地震の余震や6月の岩手宮城内陸地震の余震が記録されている. 3000秒以降に現れる波群がT波である.



[Obara and Maeda 2009 GRL]

地震波速度・減衰・熱・温度・ 地質等総合データベースの構築

- 三次元地震波速度構造モデル描画表示ソフトウェアの作成及び公開
- 防災科学技術研究所により公開された日本列島下の三次元地震波速度構造モデル (Matsubara et al., 2008)
- 任意の水平・鉛直断面図をMicrosoft Windows 上で簡便に表示し、ポストスク립トファイルを作成するソフトウェアを開発
- ソフトウェアの一般公開



地震波速度構造および減衰構造の解像度向上

- ・関東における地震波速度異常域の解釈
- ・関東における詳細な減衰構造の推定
- **減衰構造が地震波速度と比較可能な解像度に**
(低速度 - 減衰強, 高速度 - 減衰弱の対応)

地殻熱流量測定と熱構造モデルの構築

- ・関東における地殻熱流量の測定と温度構造の推定
- **沈み込むフィリピン海プレートの影響を受けている**
関東地方の温度構造が明らかに
(関東南部は低温, 多くの地震は350度以下で発生,
蛇紋岩化マントルと指摘されてきた領域は350度以下)

日本列島全域におけるモホ面形状モデルの作成

- ・紀伊半島におけるスラブ起源Ps波振幅の地域性
- **フィリピン海プレートにおける海洋性マントルの**
地震波速度の地域性が明らかに
(紀伊半島西部における顕著な振幅低下は紀南海山列
の沈み込みに対応か)

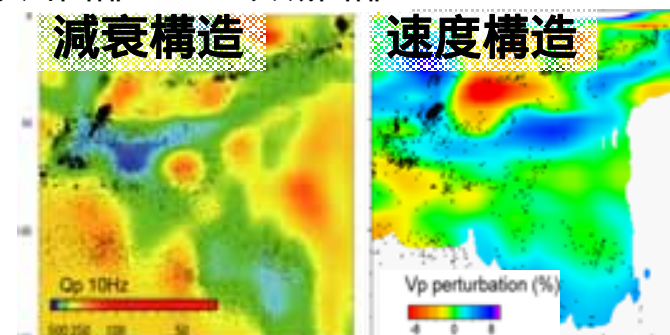
地震発生場の理解に資する
基本的なモデル構築に貢献

神奈川西部

茨城西部

減衰構造

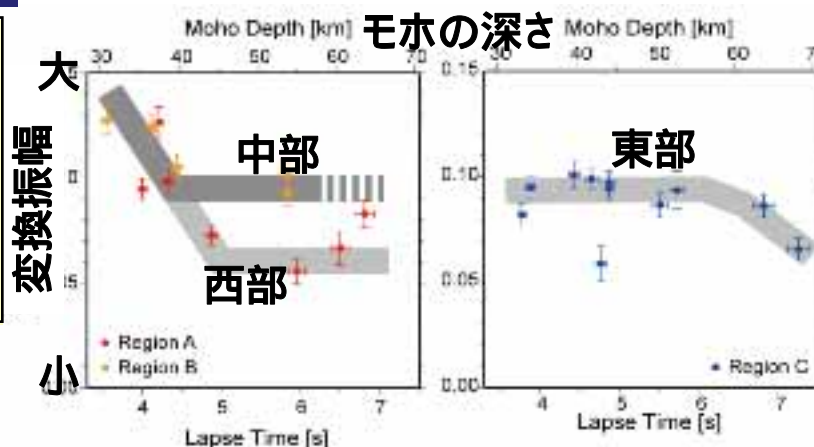
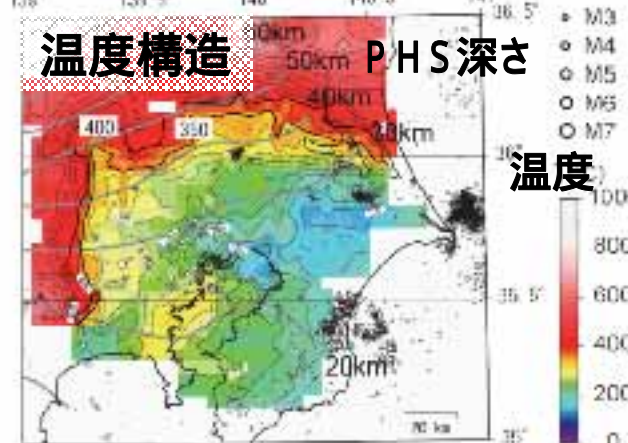
速度構造



温度構造

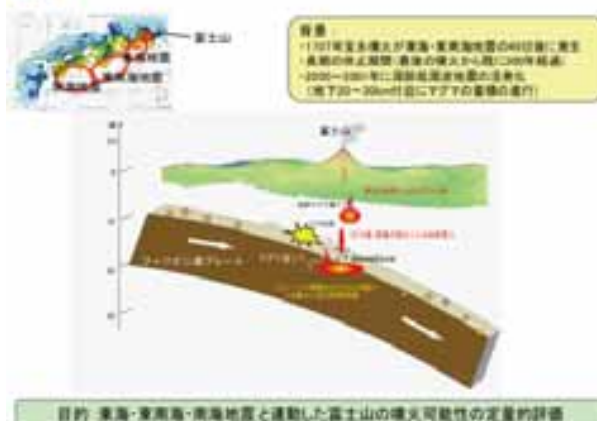
PHS深さ

温度



南海トラフ巨大地震発生による富士山連動性評価の研究

概要



研究テーマ

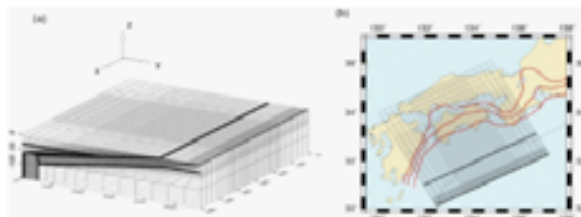
- 1 プレート運動および巨大地震による富士山周辺影響評価
 - a. プレート運動と富士山マグマ供給システムの相互作用評価シミュレーション(static)
 - b. 南海トラフ地震による富士山周辺地震動シミュレーション(dynamic)
 担当: 藤田・小園・藤川・上田・小原・吉岡(神戸大・客員)
 - 2 マグマ上昇過程検証実験およびシミュレーション
 - a. 応力場の変化による岩漿貫入シミュレーション(深部マグマ溜り)
 - b. マグマ溜りの不安定性評価シミュレーション(浅部マグマ溜り)
 - c. マグマ溜りの不安定評価実験研究
 担当: 藤田・小園・藤川・真丸(九大・客員)・小笠原(東大地研・客員)
- 東海地震・東南海地震・南海地震発生時に直ちに噴火可能性を定量的に評価
→ 富士山噴火災害軽減への指針を迅速に提供

年次計画

		H21	H22	H23	H24	H25
1 富士山周辺地震動評価	a. 地殻内断層構造評価 b. 地震動評価 (dynamical)	・H21は富士山マグマシステムの影響を定量的に評価 ・東海地震発生	・深部マグマ溜りの相互作用評価 ・南海トラフ地震による地震動評価	・浅部マグマ溜りの相互作用評価 ・プレート運動の影響評価	・プレート運動の影響評価 ・プレート運動の影響評価	・総点検
2 マグマ上昇シミュレーション (数値的)	a. 断層侵入シミュレーション b. マグマ溜りシミュレーション c. マグマ溜りシミュレーション	・H21は富士山マグマシステムの影響を定量的に評価 ・東海地震発生	・深部マグマ溜りの相互作用評価 ・浅部マグマ溜りの相互作用評価 ・プレート運動の影響評価	・浅部マグマ溜りの相互作用評価 ・プレート運動の影響評価 ・プレート運動の影響評価	・プレート運動の影響評価 ・プレート運動の影響評価	・総点検
3 マグマ溜りの不安定性評価実験研究	a. マグマ溜りの不安定性評価実験研究 b. マグマ溜りの不安定性評価実験研究 c. マグマ溜りの不安定性評価実験研究	・H21は富士山マグマシステムの影響を定量的に評価 ・東海地震発生	・深部マグマ溜りの相互作用評価 ・浅部マグマ溜りの相互作用評価 ・プレート運動の影響評価	・浅部マグマ溜りの相互作用評価 ・プレート運動の影響評価 ・プレート運動の影響評価	・プレート運動の影響評価 ・プレート運動の影響評価	・総点検
4 マグマ溜りの不安定性評価実験研究	a. マグマ溜りの不安定性評価実験研究 b. マグマ溜りの不安定性評価実験研究 c. マグマ溜りの不安定性評価実験研究	・H21は富士山マグマシステムの影響を定量的に評価 ・東海地震発生	・深部マグマ溜りの相互作用評価 ・浅部マグマ溜りの相互作用評価 ・プレート運動の影響評価	・浅部マグマ溜りの相互作用評価 ・プレート運動の影響評価 ・プレート運動の影響評価	・プレート運動の影響評価 ・プレート運動の影響評価	・総点検

○ H21年度実施状況

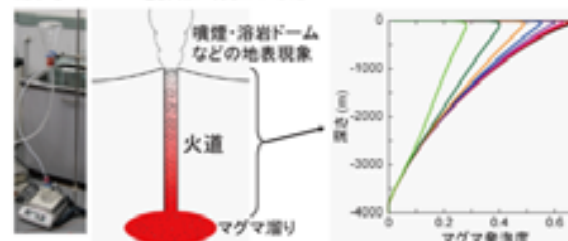
- 1 プレート運動および巨大地震による富士山周辺影響評価
 - ・有限要素法によるモデル化



1. 要素の種類 (4, 6面体要素など)とその組み合わせの選択方法の検討
2. 断層面の形状の適切な組み入れ方の検討
3. 地殻内部構造の適切な組み入れ方の検討
4. 領域外部からの影響を抑制するように境界条件を設定する方法の検討
5. 要求される精度に合う要素数の見積り
6. 従来の研究事例との整合性の検証

2 マグマ上昇過程検証実験およびシミュレーション

- ・ 火道内における気液二相マグマの上昇過程の数値的・解析的研究
 - ・地震波などによって誘発されるマグマ溜りの増圧後、マグマがマグマ溜りから地表まで火道内を流れて噴火に至るまでの過程を、混相流モデルを用いて解析。
 - ・特に、噴火の推移予測に直結する火道内のマグマ気泡度分布の変化を支配するメカニズムを詳細に明らかにした。



・ 地震-火山の連動現象についての包括的なレビュー

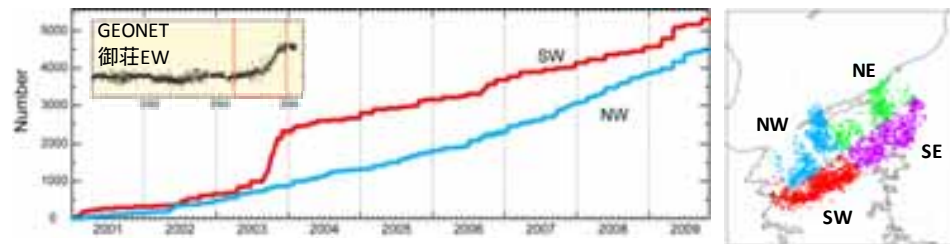
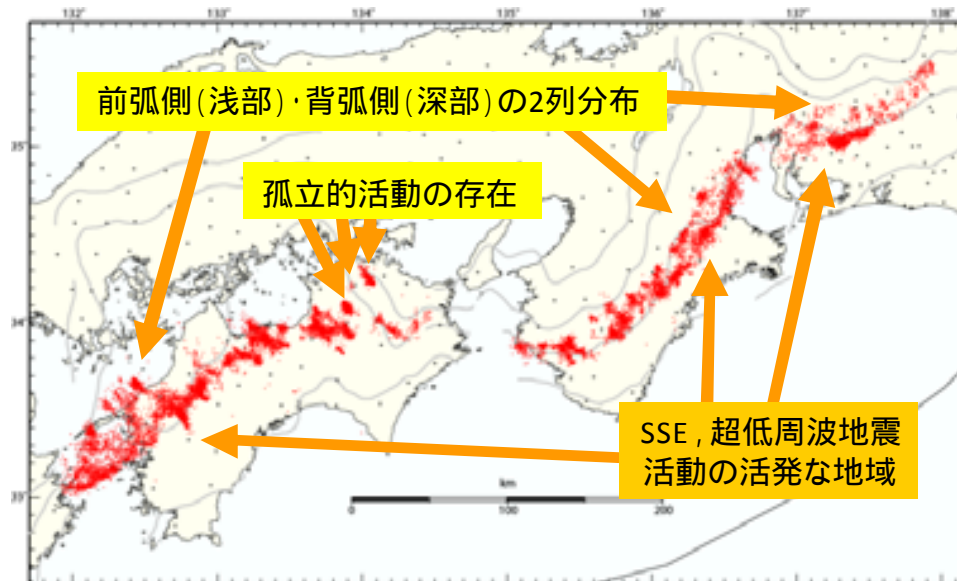
- ・連動事例のデータベース化
- ・連動をもたらすメカニズムの整理
- ・重要なメカニズムとして:
「地震波に誘発されるマグマ溜り内の気泡核生成(気泡) → 増圧 → 噴火」



- ・ 間欠泉のアナログ実験を基に、振動-気泡現象の計測が可能な実験システムを立案。

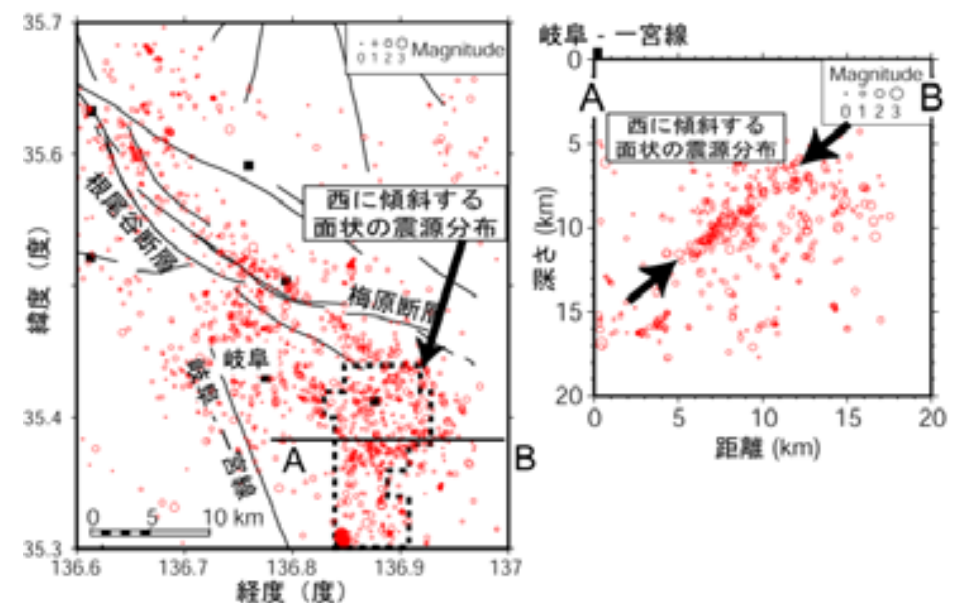


プレート境界すべりの解明



新たな手法による微動カタログ再構築
→ 微動の2列分布・長期的SSEに連動する
クラスター

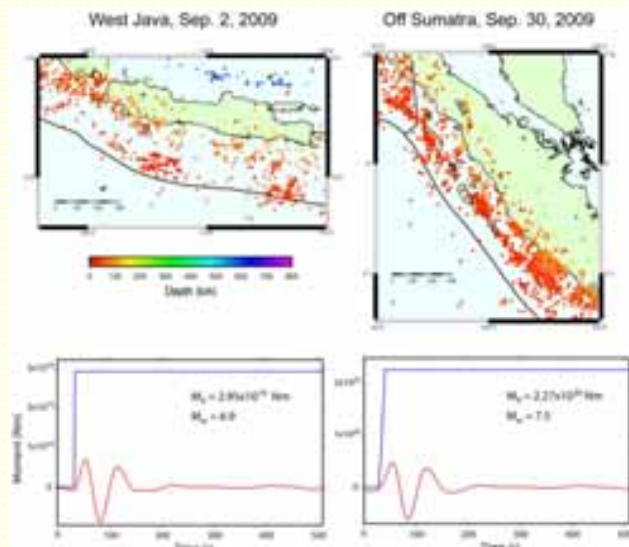
内陸地震活動の解明



濃尾断層帯における臨時地震観測
→ 西傾斜の逆断層が濃尾地震時に
にすべった可能性あり

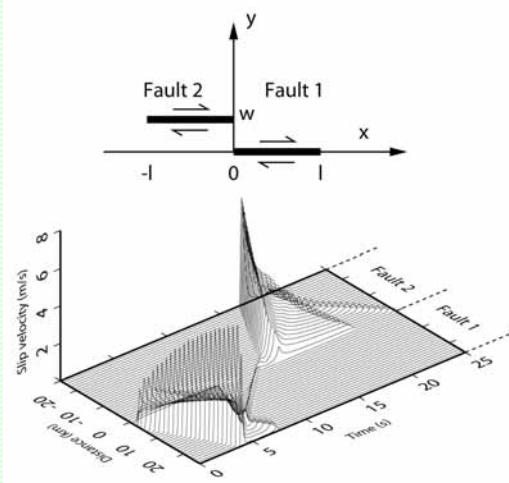
- 微動・SSEの相互作用
- 内陸地震のセグメント構造

インドネシアで発生した地震のリアルタイム解析： 強震による被害を起こしたプレート内地震の震源過程 の解明



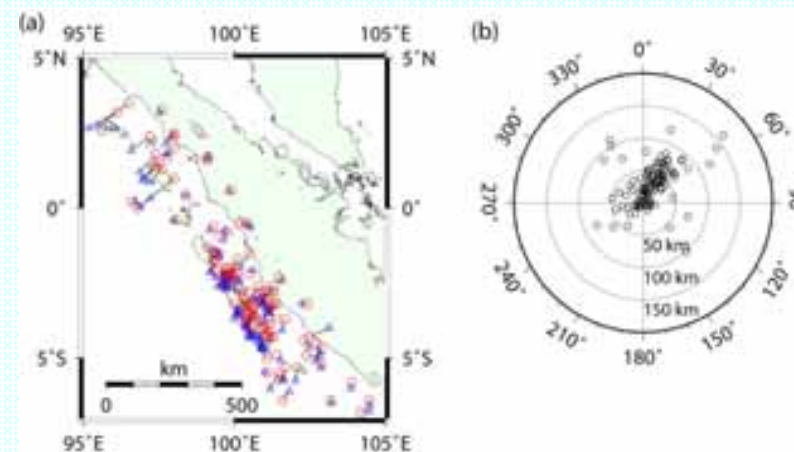
<http://www.isn.bosai.go.jp/en/index.html>

**スマトラ島双子地震の運動メカニズムの解明：
多孔質弾性体における
流体拡散と動的破壊に
おけるレオロジー効果を
評価**



Nakano et al. (GJI, 2010)

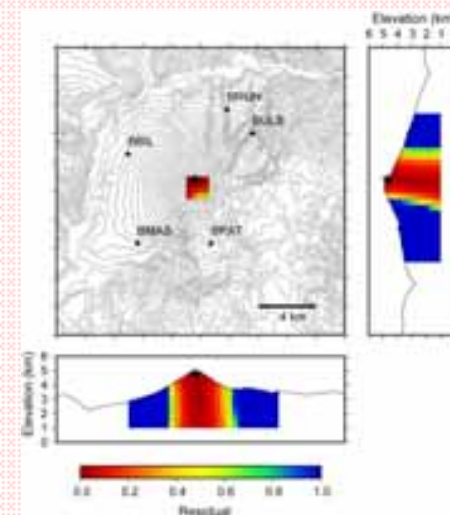
インドネシアCMTカタログの作成:
Global CMT カタログを凌ぐ高精度・高品位性



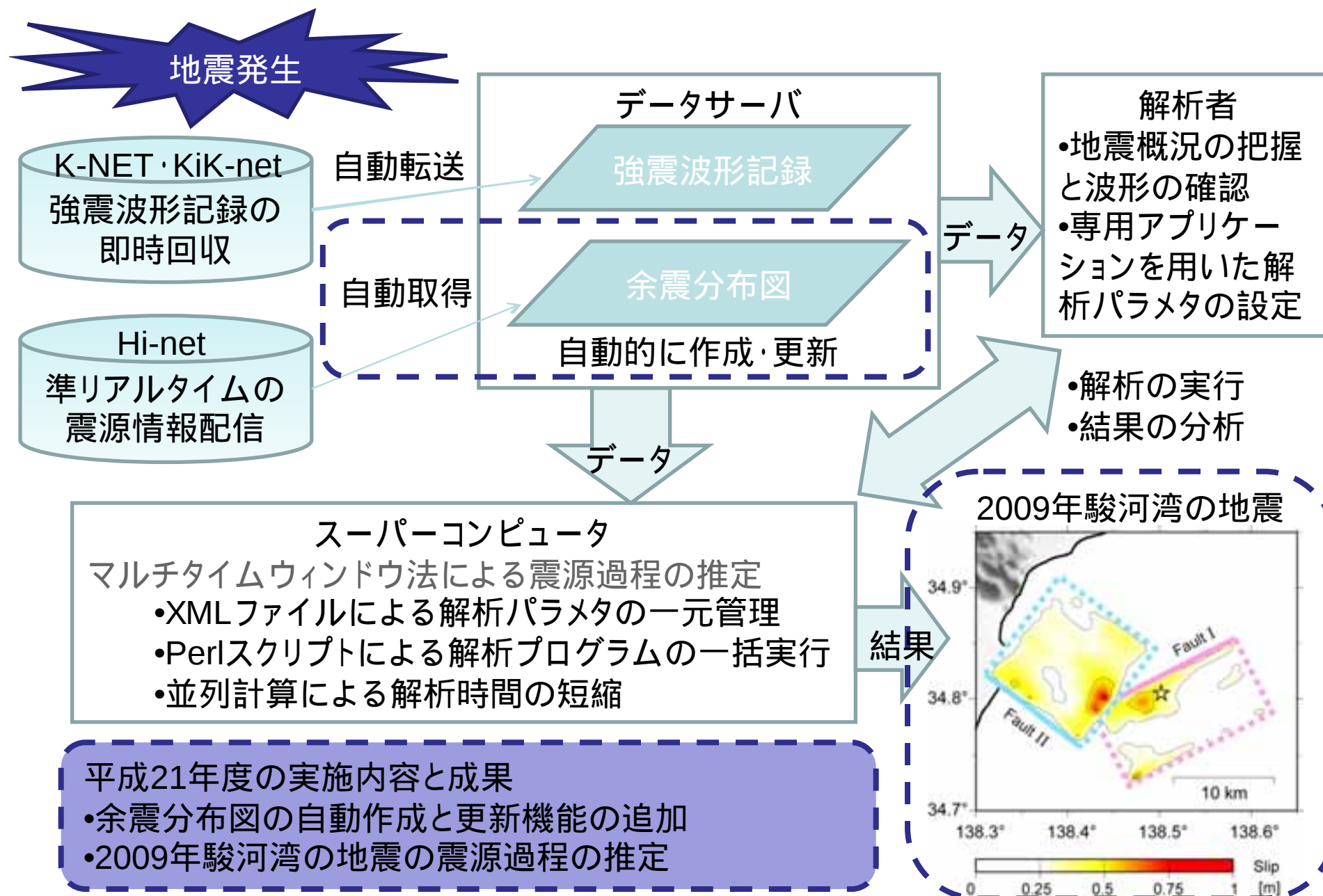
Nakano et al. (submitted to PEPI)

高周波振幅を用いた震源決定手法の開発:

数点の観測網のデータを用いて微動や低周波地震などの震源位置を自動で決定可能。火山監視に高い有効性を証明



Kumagai et al. (JGR, 2010)



噴火機構の解明と火山噴火シミュレーション開発

1. マグマ移動過程のモデル化

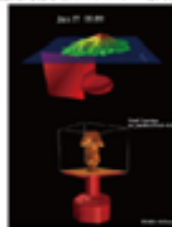
地下のマグマの動態を推定 → マスターモデルの開発

(1) 事例研究

- ① 三宅島・富士山・伊豆大島・硫黄島・那須岳 連続観測対象火山のシステム解析
- ② 八丈島・浅間山・海外の火山などでの研究
- ③ 実発的に発生した火山活動の解析研究

H21計画: 事例研究

- 地下のマグマの動態を推定
- マスターモデルVer1.0を作成、評価



(2) シミュレーション

【対象】

- ・マグマの3次元移動 → それに伴う現象
- ・噴火機構(マグマの発泡・破砕)

H21計画: 地下のマグマの動態を推定

- マスターモデルVer1.0を作成
- 粒子要素による3次元での電磁流・マグマ貫入のモデル化

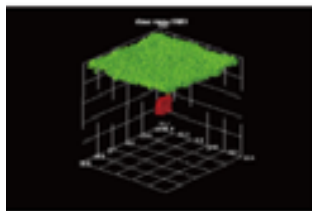
○ H21年度実施状況(シミュレーション技術開発)

・地下のマグマ移動マスターモデル構築

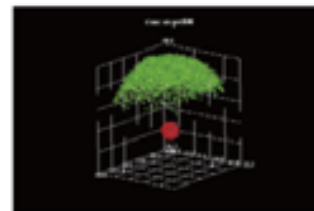
観測要素法により3次元応力場におけるマグマ貫入シミュレーションを実施

→ 地下での破砕も含めたマグマの移動過程のモデル化

★ 前報貫入モデルの例

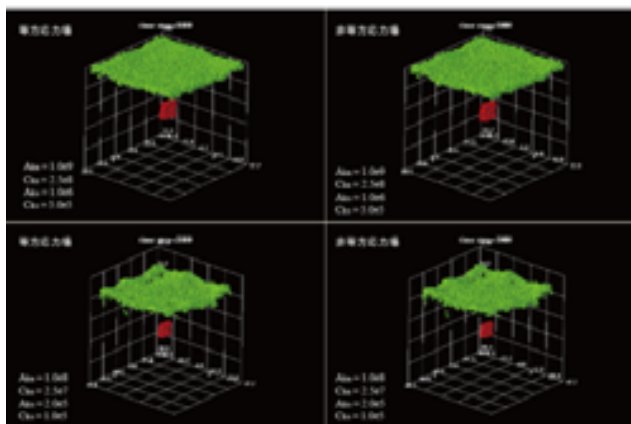


★ 破砕(圧入)モデルの例



1. 粒子要素法による
2. 重力バウンス
3. マグマ貫入・ダイク形成の解析
4. マグマ粒子の移動過程(あるいは圧力)設定

岩盤貫入の物性・応力場依存性



2. 火山防災研究への応用

2-1 溶岩流シミュレーションの高度化

溶岩流シミュレーション管理システム開発

2-2 火山噴火についての確率予測検討

Brownian Passage-TIME model の適用

○ 災害発生範囲や程度を予測する技術を開発

H21実施内容-1: 溶岩流シミュレーション(高度版)

・溶岩流シミュレーション管理システム開発

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

・溶岩流シミュレーションデータベース

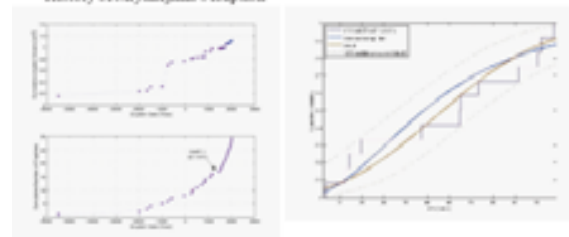
・溶岩流シミュレーションデータベース

○ 災害発生範囲や程度を予測する技術を開発

H21実施内容-2: 火山噴火についての確率予測手法検討

A Brownian Passage-TIME モデルの適用 確率密度関数の決定)

History of Miyakejima's eruption



外資研究員の受け入れ(Alexander Garcia H21/4-4)

Brownian Passage-TIME model

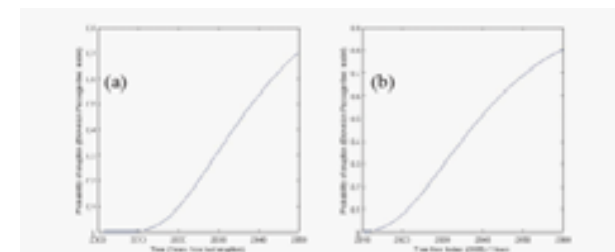
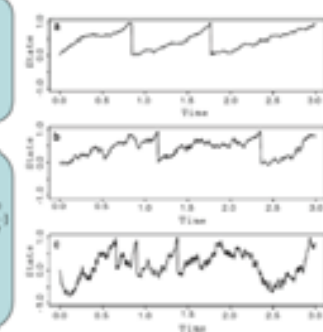
(Matthews et al., 2002; Ellsworth et al., 1999)

State function:

$$X(t) = \lambda t + \sigma W(t)$$
 const. state loading component random component

Recurrence properties
 → BR distribution

$$f(t; \mu, \alpha) = \left(\frac{\mu}{2\pi\alpha^2 t^3} \right)^{1/2} e^{-\frac{1}{2\alpha^2} \left(\frac{t}{\mu} - 1 \right)^2}$$
 μ : period between events
 α : aperiodicity of μ

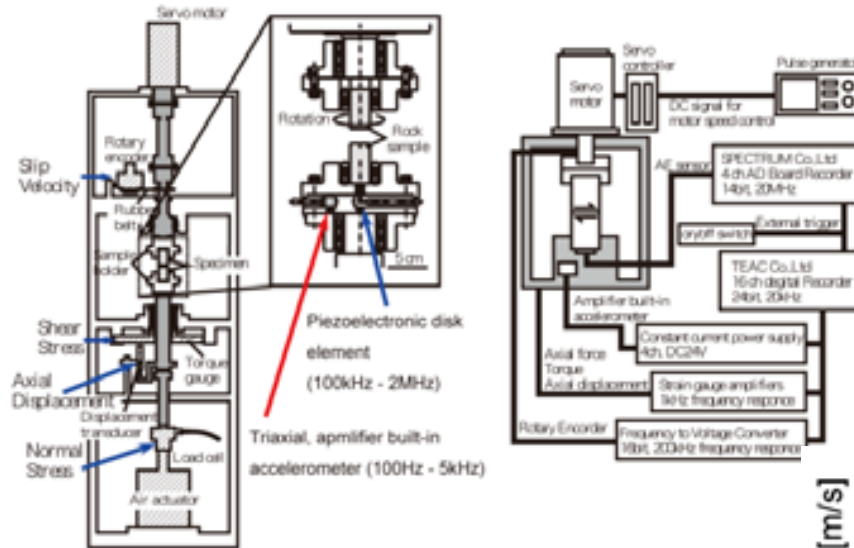


Eruption Forecasting for Miyakejima volcano by BPT model

(a) Probability of eruption from 2001 / (b) Probability of eruption from today(2009)

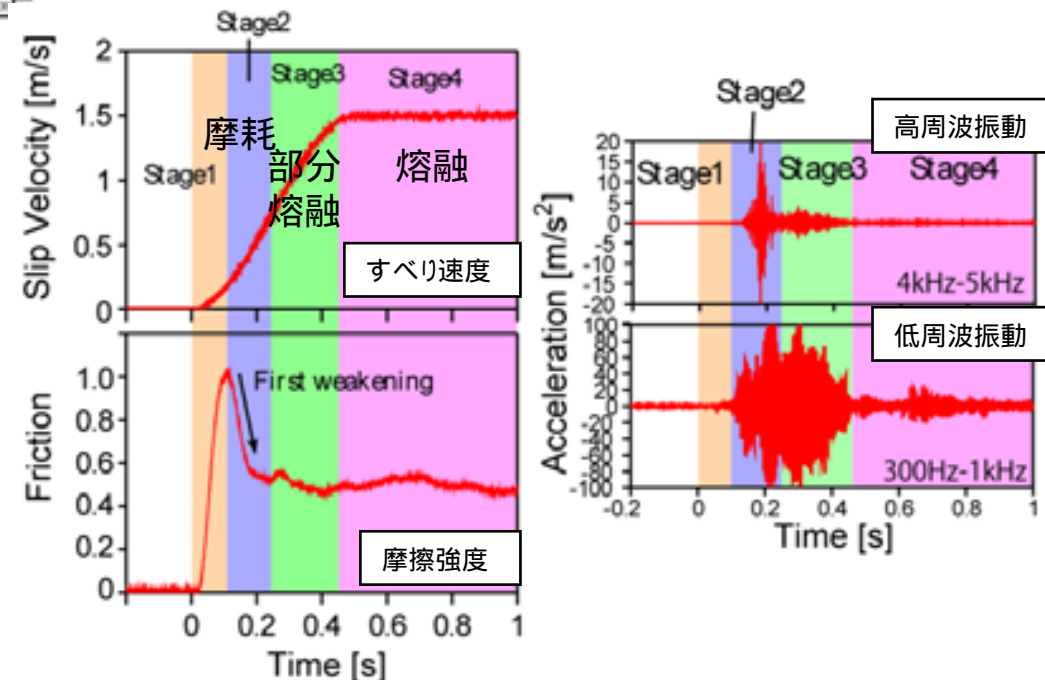
(Garcia et al., submitted)

高速剪断摩擦試験機を用いた断層摩擦の研究



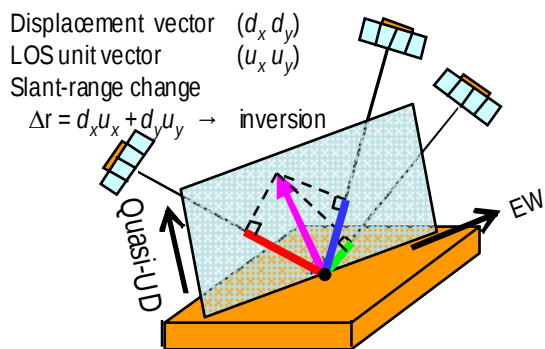
高速剪断摩擦試験機を用い、高速すべり実験中にすべり面より発生する振動の性質を加速度センサーおよびAEセンサーを用いて調べた。

- 波動は、主に、ガウジ生成とともに強度低下を起こしているステージで発生し、摩擦熔融が起こりはじめると、ほとんど発生しなくなった。
- 高周波と低周波では、発生区間が異なり、異なった振動メカニズムにより生成されているものと考えられる。



SAR干渉解析による地殻変動把握技術の 高度化およびその活用に関する研究

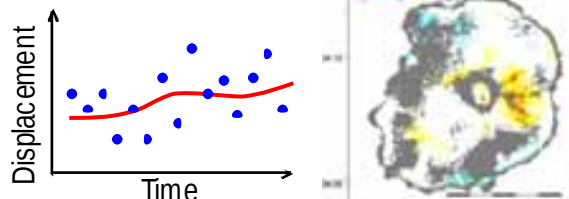
他衛星・モードによるデータの結合



共通面の設定により, 統一的に解析

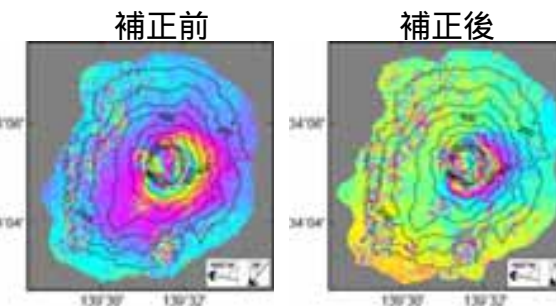
時系列解析的手法

平滑化拘束条件 DEM誤差の推定



非地殻変動成分の分離

他の観測(数値気象データ)の利用

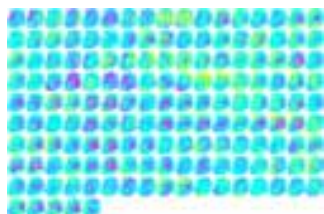


数値気象モデルから大気誤差を推定

3つの手法を統合した解析

三宅島における適用例

6パスで得られた干渉画像



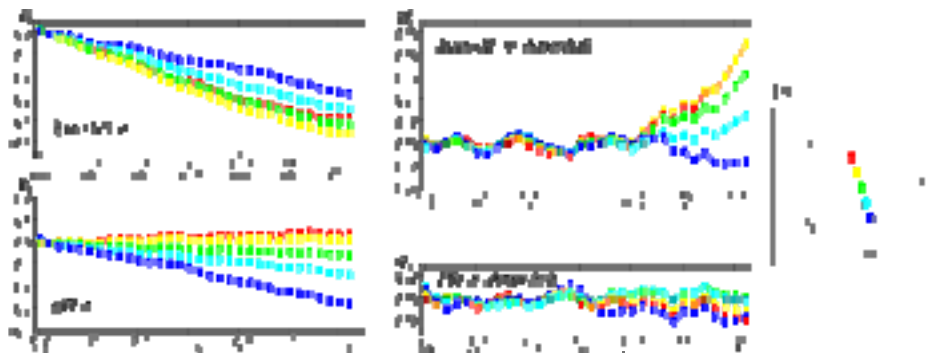
準上下成分



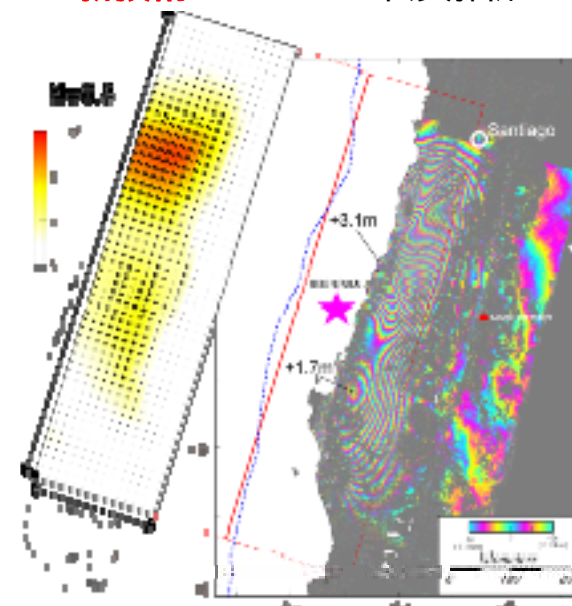
東西成分



火口底沈降
の減速を明
らかにした



新技術: ScanSAR干渉解析

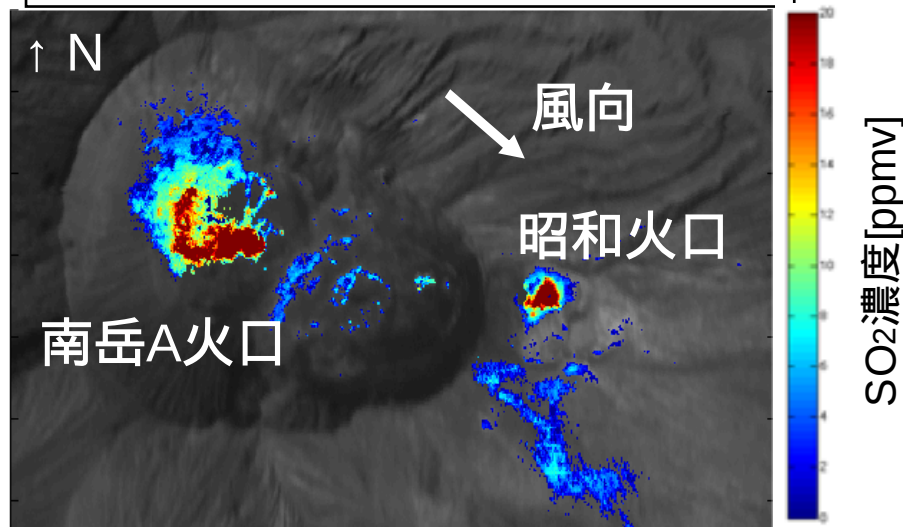


ScanSAR干渉解析によりチリ地震に伴う地殻変動を明らかにした

火山活動把握のためのリモートセンシング技術活用

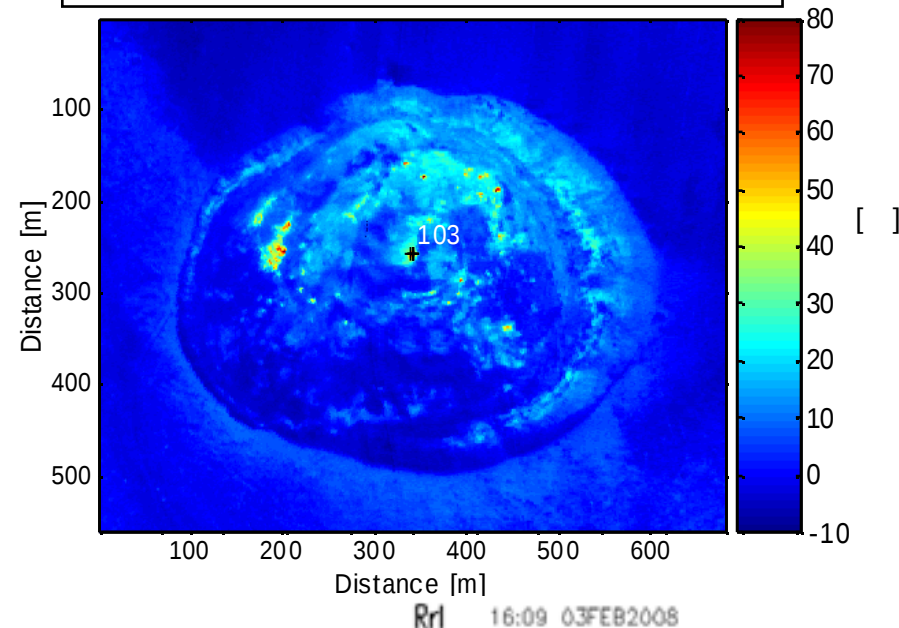
SO₂濃度分布推定手法を開発

ARTSの赤外多波長画像より、SO₂ガスの吸収バンドと非吸収バンドを用い推定に成功。



浅間山の火口内温度観測を実施

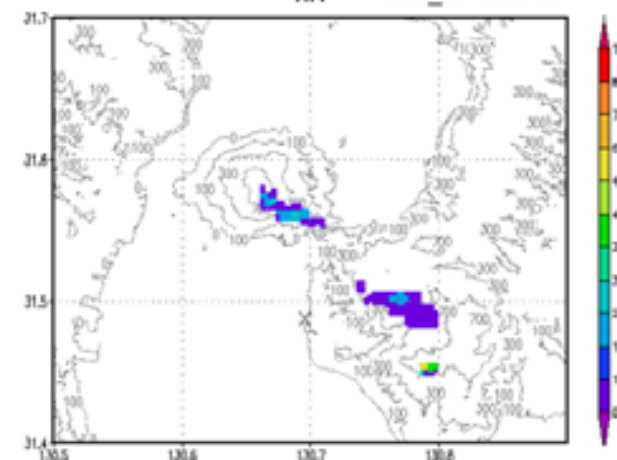
ARTSにより、2010年3月14日に観測を実施。火口内の熱的活動は拡大していないことを確認。



レーダを用いた噴煙の計測技術の検討

2008, 2009年の桜島の噴火事例について、国土交通省Xバンド降雨レーダのデータを収集。これらについて、火山噴出物の時間変化、空間分布の定量的(降水強度換算)評価を行うためのデータ解析、表示プログラムを開発。レーダーによる噴煙観測の可能性を確認。

噴火時のレーダ画像



GPS解析手法の高度化

< H21年度成果の概要 >

- 1日以内の準リアルタイムで、GEONETのRINEXファイルを自動的に収集・解析・アーカイブするプログラムを開発
 - GEONET全点自動解析を運用中
- JMAXスケールモデル(MSM)を自動的にダウンロードするプログラムを開発
 - H22年度に準リアルタイム解析に取り込む予定
- MSMを用いて、国内で観測したRINEXファイルの大気伝播遅延補正を行うプログラム(NICT・Hobiger博士作成)を導入
 - H22年度に準リアルタイム解析に取り込む予定

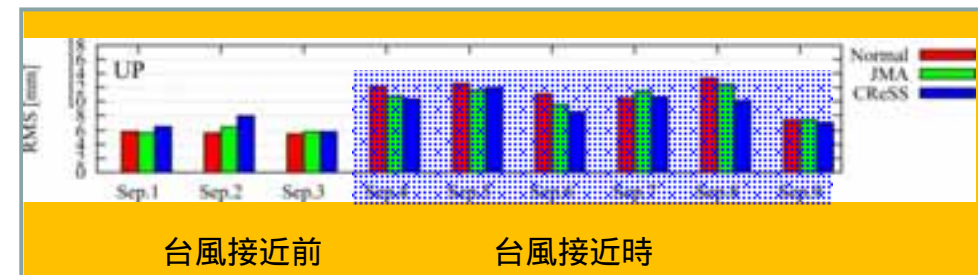
< H21年度成果の論文等 >

- 学会等口頭発表: 3件
- 論文発表: 1件(SCI誌, 共著)

< H21年度の主な研究成果 >

大気伝播遅延補正によるGPS測位精度向上

- 2007年9月台風接近時
- 関東地方のGEONET点の測位解精度



既存マッピング関数 → MSM: 15 % 向上
 MSM → CReSS稠密モデル: 10 % 向上

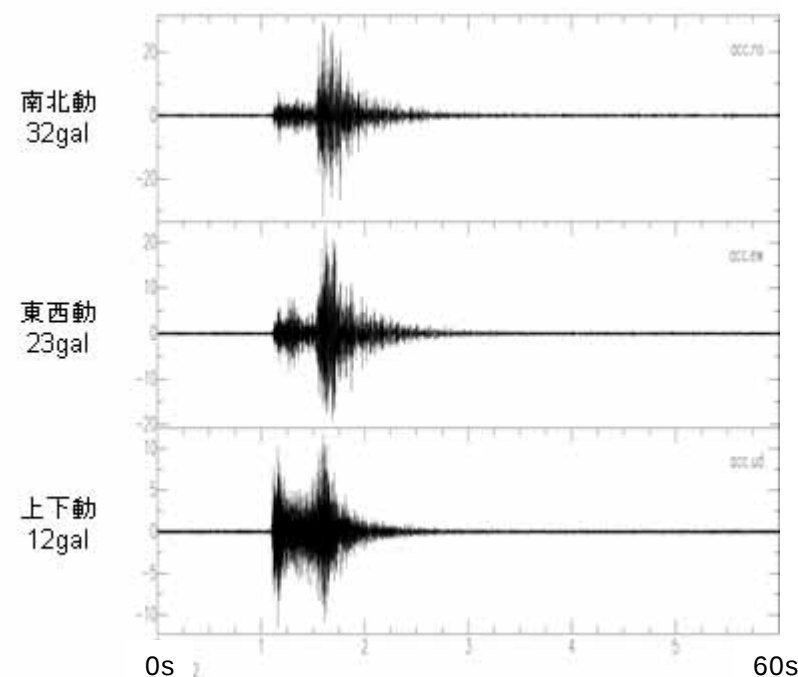
深層等高温用震計の開発

高温用加速度計(油田掘削用途)の高温下動作試験を行った

高温用加速度計



高温槽



200 環境下で、震度4相当の地震波形を記録。強震計としての基本動作の実証がなされた。