

( 1 ) 実施機関名：

東北大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震波トモグラフィーと高サンプリング GPS 観測に基づくマグマ上昇・蓄積過程の研究

( 3 ) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 2 ) 地震・火山噴火に至る準備過程

( 2-2 ) 火山噴火準備過程

ア．マグマ上昇・蓄積過程

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 1 ) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

イ．上部マントルとマグマの発生場

3. 新たな観測技術の開発

( 2 ) 宇宙技術等の利用の高度化

ア．宇宙測地技術

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

噴火準備過程の場となるマグマ供給系の分布・形態とその時間変化の解明を目指して、以下の多面的な観測・研究を実施する。1) 日本列島における火山地域を対象に、自然地震や人工地震などの各種の地震観測データを統合し、反射波や変換波をも用いた高精度のトモグラフィー解析を行い、上部マントルから地表に至るマグマ供給系の分布と形態をより詳細に明らかにする。2) 岩手火山地域において高サンプリング稠密 GPS 観測を実施し、伊豆大島などの活動的な火山との比較により、噴火間隔が長い火山におけるマグマ蓄積期における山体変動の特徴と多くの火山における共通の特性を明らかにする(東京大学地震研究所との共同研究)。3) 火山活動が活発化している桜島において準リアルタイム高サンプリング GPS 観測を実施して、噴火直前におけるマグマ蓄積過程の時間発展を明らかにする(京都大学防災研究所との共同研究)。

( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度においては、1) 高精度トモグラフィーを実施するための統合データベースを作成する。微小地震観測網、火山観測網、人工地震観測網、Hi-net など多岐にわたるデータ源から必要な情報を収集する。これを用いて暫定的な速度構造モデルを求める。2) 岩手火山地域において高サンプリング稠密 GPS 観測網を構築する。そのために必要な、商用電源や電話線が使用できない条件下でも長期間安定に稼働する観測システムを作り上げる。3) 火山活動が活発化している桜島において、マグマ供給系の直上にあたる山体北東部に高サンプリング GPS 観測点を設置する。あわせて、そのデータを準リアルタイムでモニターするためのデータ伝送システムをも構築する。

平成 22 年度～25 年度においては，1 ) 火山地域における地震観測統合データベースを用いて高精度トモグラフィー解析を実施し，上部マントルから地表に至るマグマ供給系の形態を詳細に可視化する．2 ) 岩手火山地域における GPS 観測の結果と伊豆大島での結果を比較することにより，マグマ蓄積期における山体変動の個別火山における特徴と共通な特性を明らかにする．3 ) 桜島における高サンプリング GPS 観測にもとづいて，噴火直前の浅部におけるマグマ蓄積過程の時間発展を解明する．

#### ( 7 ) 平成 23 年度成果の概要：

##### 1．高精度トモグラフィーによる島弧火山マグマ供給系の研究

###### 1-1．東北日本弧マグマ供給系の研究

沈み込み帯におけるマグマ上昇機構，島弧火山マグマ供給系の解明を目的として，東北日本弧全域を対象とする Regional Tomography と，中央部の栗駒火山を中心とする 2008 年岩手・宮城内陸地震震源域の Local Tomography を実施した．

前者では，沖合に発生した地震の震源を海底面反射波 ( sP 変換波 ) を用いて震源を高精度に再決定して用いることで解析領域を日本海側に拡大し，マントルウエッジのより深部まで信頼性の高い速度構造を得ることに成功した．その結果，火山フロント下の下部地殻とモホ面直下のマントルでは，低速度域が各火山近傍に局在していることが明確になるとともに，日本海沿岸の火山列の下ではマントルウエッジの深さ 100 km 付近に低速度域が帯状に分布していることが新たに明らかになった ( 図 1 ) ．

栗駒火山周辺の Local Tomography では，多数の余震を高密度観測網で記録したデータを用いることで，地殻内の詳細な P 波速度，S 波速度，ポアソン比分布を得た．栗駒火山直下では地表から下部地殻へ低速度・高ポアソン比の領域が伸びており，本震と 3 個の大きな余震は速度やポアソン比が急変する異常域周辺部に位置している．異常域は，マグマやマグマ起源の流体の分布を示すものであり，2008 年岩手・宮城内陸地震はその影響で発生したと考えられる．

###### 1-2．九州孤マグマ供給系の研究

九州弧におけるマグマの生成・上昇機構を理解するために，最上部マントルから地殻までの 3 次元速度構造解析を継続した．今年度は，観測網を九州本土内の観測点に加えて背弧側の離島観測点にまで拡張するとともに，sP 変換波を読み取り，その走時データをも利用するようにした．このことにより，マントルウエッジの構造について，背弧側の広い範囲 ( 海溝から約 300 km ) においてより深部 ( 約 120km ) まで高い精度で 3 次元 P 波，S 波速度構造ならびにポアソン比分布を求めることができた ( 図 2 ) ．その結果，鶴見，九重，阿蘇，雲仙火山を含む北部・中部九州地域では，最上部マントルにおいて，マグマの生成・上昇を示唆する沈み込むプレートと平行な低速度域が存在するとともに，マントルウエッジと下部地殻の広い範囲に低速度域が分布することが明らかになった．これに対して，霧島，桜島，喜界火山を含む南部九州地域では，P 波，S 波ともに下部地殻には低速度域が広く分布しているものの，マントルウエッジ内では，沈み込むプレートに平行な P 波低速度域が認められるのに対して S 波については広範囲の低速度域は認められない．以上のように，九州の南部と北部ではマントルウエッジの速度構造に違いがあることが明らかになった．また，背弧拡大に関連すると思われる低速度域は認められていない．

##### 2．岩手火山における GPS および傾斜・歪連続観測

岩手火山では，今年度も GPS 連続観測を継続して実施した．老朽化した観測装置の更新を行い，リアルタイムモニタリングが可能なようにシステムを整備しつつある．さらに，平行して実施している傾斜・歪連続観測を含めて，長期間にわたり蓄積されたデータについて再評価し，長期広域の変動と火山性変動の分離を試みている．その手始めとして，2009 年 10 月～2010 年 3 月に観測された短期変動の再解析を実施した．この変動現象は昨年度に解析を行ったものであるが，簡便的に地表面での計算値と観測値を比較したため，系統的な誤差が含まれている可能性がある．そこで，モデル計算ではセンサーの埋設深度での変動量を推定して観測値と比較することでより正確な変動源推定を行った．その結果，2009 年 10 月～2010 年 3 月の変動は，西岩手火山浅部でほぼ東西走向のダイクが開口したことで生じたと推定された ( 図 3 ) ．この変動源は，1998 年の活動域直下に位置しており，1998 年と同

様にマグマの貫入があったものと推定される。両者の大きな違いは、2009年には地震活動が観測されていない点である。このことは、1998年の前にも、2009年と同様に地震をとまわずにマグマの貫入を繰り返すことで、浅部にマグマを蓄積していた可能性があることを示唆する。1998年活動に先行する変動の検証は、今後に残された課題である。

### 3. 桜島火山における GPS 連続観測

桜島火山の3観測点(北岳,権現,鹿馬野)において、京都大学と共同でGPS連続観測を継続している。設置から2年半が経過し、火山ガスによる腐食などのために障害が出始めているが、その都度対応し、連続観測を維持している。2009年以降、北岳観測点では、火山活動の消長(例えば、火山灰放出量の変化)に対応した南北方向の変動が認められる(図4)。蓄積されたデータに基づき、今後、マグマ供給・蓄積過程のより詳細な解明を目指す。

### (8) 平成23年度の成果に関連の深いもので、平成23年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Cheng, B., D. Zhao, and G. Zhang, 2011, Seismic tomography and anisotropy in the source area of the 2008 Iwate-Miyagi earthquake (M 7.2), *Phys. Earth Planet. Inter.*, 184, 172-185.

Huang, Z., D. Zhao, and L. Wang, 2011, Seismic heterogeneity and anisotropy of the Honshu arc from the Japan Trench to the Japan Sea, *Geophys. J. Int.*, 184, 1428-1444.

Zhao, D., Z. Huang, N. Umino, A. Hasegawa, T. Yoshida, 2011, Seismic imaging of the Amur-Okhotsk plate boundary zone in the Japan Sea, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 188, 82-95.

Zhao, D., W. Wei, Y. Nishizono, and H. Inakura, 2011, Low-frequency earthquakes and tomography in western Japan Asia: Insight into fluid and magmatic activity, *J. Asian Earth Sci.*, 42, 1381-1393.

Zhao, D., S. Yu, and E. Ohtani, 2011, East Asia: Seismotectonics, magmatism and mantle dynamics, *J. Asian Earth Sci.*, 40, 689-709.

### (9) 平成24年度実施計画の概要 :

1. 火山地域における高精度トモグラフィーを実施し、最上部マントルから上部地殻までを含む火山深部の3次元速度構造を求め、マントルウェッジから地表に至るマグマの分布形態・供給系路を明らかにする。

2. 岩手火山においてGPS連続観測を継続して実施する。一部の老朽化した機器を安価で堅牢な観測システムに更新し、リアルタイムモニタリングが可能なシステムにする。また、傾斜・歪連続観測を含めたこれまでの長期間観測で蓄積されたデータを用い、長期広域の変動と火山性変動を分離し、火山性変動の再評価を行う。特に、1998年2月以前の先行現象の有無について注目しながら検討を行う。

3. 京都大学防災研究所と共同で、桜島のマグマ供給系直上の3点(北岳,権現,鹿馬野)におけるGPS連続観測を継続する。データ伝送系が整備されたことから、仙台において桜島の変動を準リアルタイムでモニタリングできるようにし、他種のデータとの対比を行い、マグマの蓄積にともなう山体変形を明らかにする。

### (10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

趙 大鵬・植木貞人・太田雄策・岡田知巳・中島淳一・西村太志・他

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震研究所 火山噴火予知研究センター 森田裕一

京都大学防災研究所 火山活動研究センター 井口正人

### (11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話 : 022-225-1950

e-mail : zisin-yoti@aob.gp.tohoku.ac.jp

( 12 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 植木 貞人

所属 : 東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話 : 022-225-1950

FAX : 022-264-3292

e-mail : ueki@aob.gp.tohoku.ac.jp

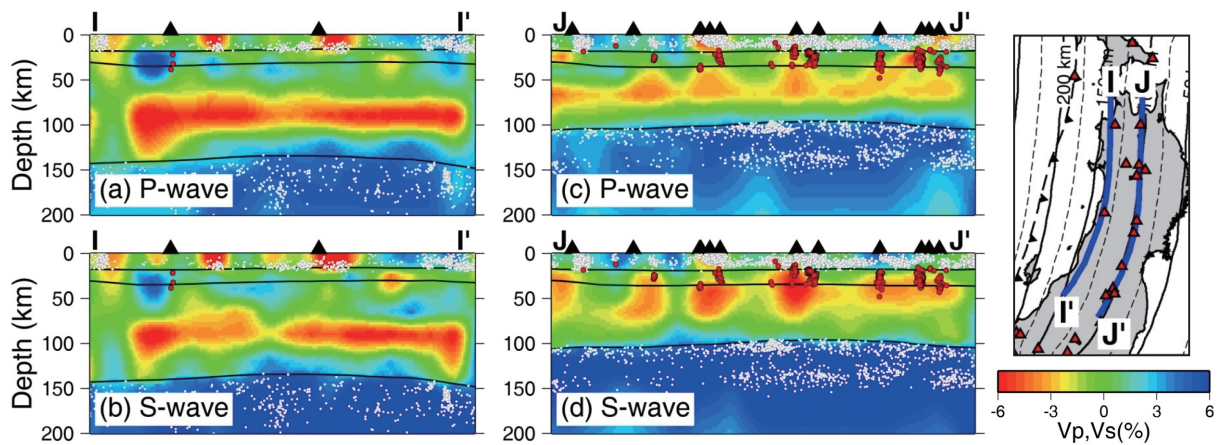


図 1 . 日本海沿岸火山列ならびに火山フロントにそった速度分布 .

(a) 日本海沿岸火山列下 (I-I' 断面) の P 波速度偏差, (b) S 波速度偏差, (c) 火山フロント下 (J-J' 断面) の P 波速度偏差, (d) S 波速度偏差の分布 .

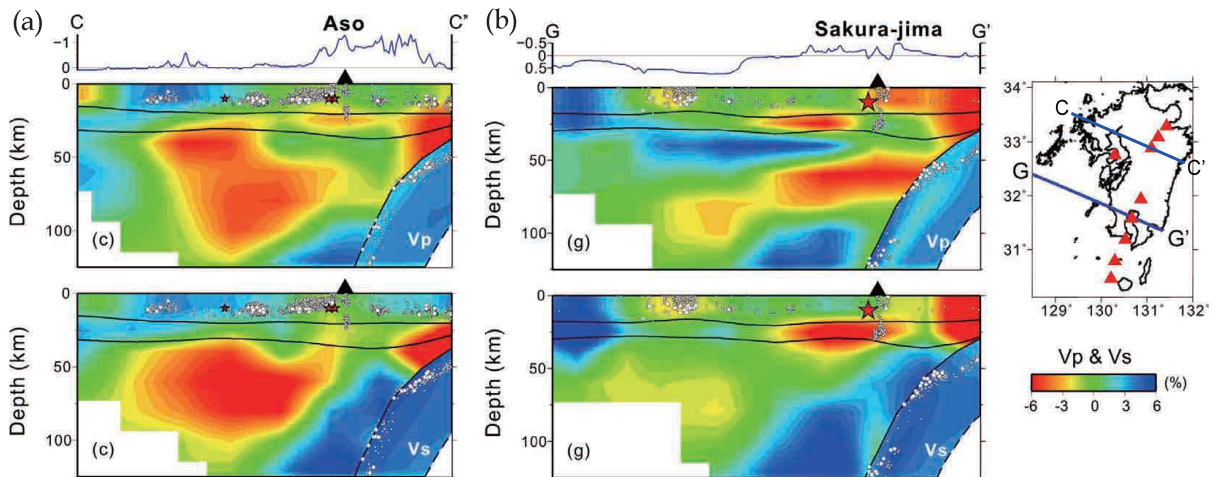


図 2 . 北部九州ならびに南部九州の火山地域深部速度構造 .

(a) 阿蘇火山を通る C-C' 断面, (b) 桜島火山を通る G-G' 断面の速度分布 . 上図は P 波速度偏差, 下図は S 波速度偏差を示す . 北部九州と南部九州では, 最上部マントルの速度分布に違いが認められる .

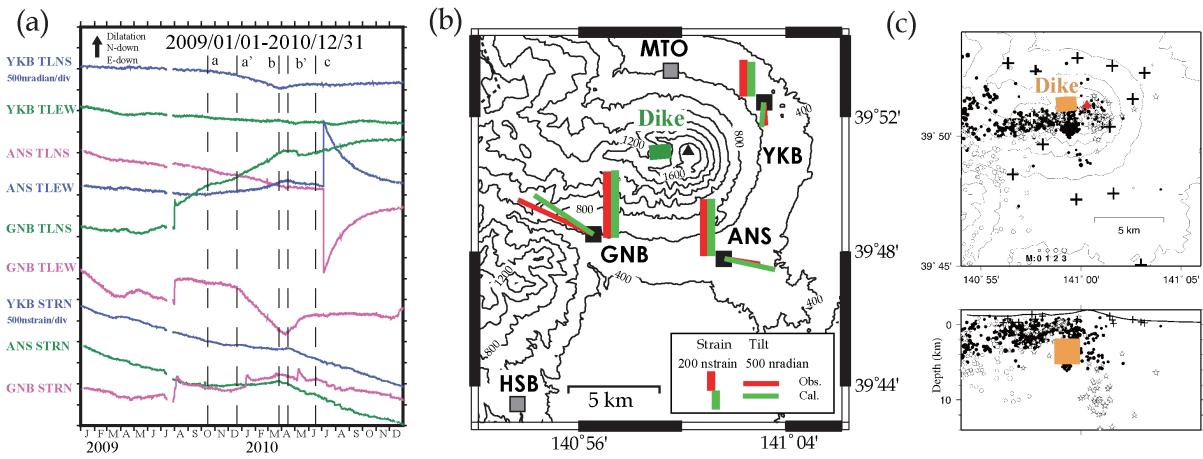


図3．岩手火山で観測された短期傾斜・ひずみ変動．

(a)2009年～2010年の傾斜・ひずみ記録，(b)前期(2009年10月～2010年3月)の傾斜・ひずみ変動観測値(赤印)とダイクモデルから求めた計算値(緑印)の空間分布，ならびに，(c)ダイクモデルと1998年活動の震源分布．ダイクは，1998年活動域の直下に位置し，マグマの貫入を示唆する．

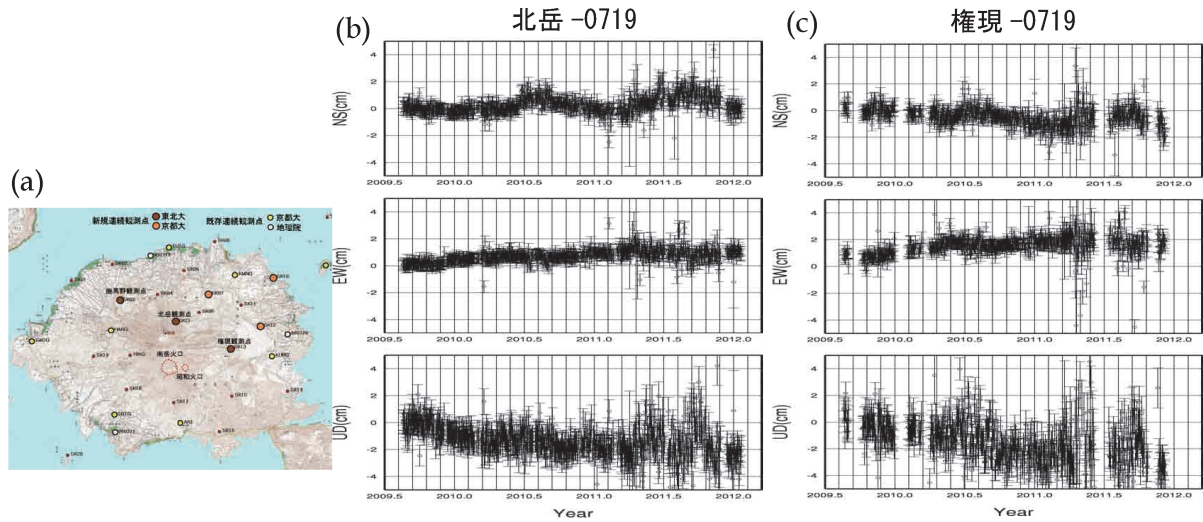


図4．桜島火山におけるGPS連続観測．

(a)観測点分布図，ならびに，(b)北岳観測点，(c)権現観測点における連続観測記録(2008年8月～2012年1月)．北岳観測点では，火山活動の推移に対応した南北方向の変動が見られる．