

( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

日向灘の地震活動と南九州の火山活動の相互作用および応力伝播・物質移動過程のモデル化

( 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

( 1 ) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

エ．地震活動と火山活動の相互作用

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

( 2 ) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

( 2-1 ) 地震発生予測システム

ア．地殻活動予測シミュレーションとデータ同化

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

九州地域にはフィリピン海プレートが沈み込み、日向灘において 20～30 年間隔で大地震が繰り返し発生している。また、隣接する南九州には、桜島などの爆発的火山がある。いずれもプレートの沈み込みに起因する地震・火山活動であり、両者の間の相互作用は大きいと考えられる。特に地震発生に伴う応力擾乱が、火山に及ぼす影響の評価は、短期から長期にわたる火山噴火活動予測において極めて重要である。加えて、1914 年桜島噴火の際に発生した大地震のように、火山噴火に伴う大地震発生の予測も重要な課題である。

上記の観点から、日向灘の地震活動と南九州の火山活動に関連する応力伝播・物質移動過程のモデル化を目指す。この目標に向けて、京都大学防災研究所および関係大学・機関により設置された南九州地方の地震・火山・地殻変動観測網を最大限活用して、地震活動および地殻変動の時間的推移を捉える。並行して、九州南部において、沈み込むフィリピン海プレートおよび陸側モホ面の形状およびマントルウェッジの地震波速度構造を明らかにし、マントルウェッジ内の流体分布とプレート間の固着域の推定を試みる。九州中南部において、広域電気比抵抗モデルを構築するとともに、詳細な火山体深部構造の推定を行う。さらに、これらの探查結果に基づいて数値構造モデルを作成し、シミュレーションを行い、日向灘からの応力伝播過程や火山体下深部からの物質移動過程を解明する。

( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

【地震・地殻変動観測】

京大常設地震・地殻変動観測網に Hinet, GEONET 等のデータを統合し、南九州の地震活動、地殻変動の時間的な推移を捉える。PS/SBInSAR 解析を実施し、九州太平洋岸から火山フロントに至る地殻変動の空間パターンを把握する。

このため、既存観測網を用いた地震・地殻変動連続観測および GPS 連続観測を実施するとともに、地震、GPS 連続観測点の新設も試みる。

〔平成 21 年度〕

- ・九州地方南部に地震・GPS 観測点を新設し、高密度地震および地殻変動観測を開始する。
- ・ALOS/PALSAR 画像を収集し、これまでの九州南部の干渉画像を作成し、地殻変動を検出する。

〔平成 22 年度〕

- ・九州南部の高密度地震・地殻変動観測を継続する。
- ・引き続き ALOS/PALSAR 画像を収集し、干渉処理を行い、地殻変動を検出する。また、予察的な PS/SBI n SAR 解析を試みる。

〔平成 23 年度〕

- ・九州南部の高密度地震・地殻変動観測を継続する。
- ・引き続き ALOS/PALSAR 画像を収集し、PS/SBI n SAR 解析を行い、地殻変動の時間変化を検出する。

〔平成 24 年度〕

- ・九州南部の高密度地震・地殻変動観測を継続する。
- ・引き続き ALOS/PALSAR 画像を収集し、PS/SBI n SAR 解析を行い、地殻変動の時間変化を検出する。GPS 観測結果との結合を図る。

〔平成 25 年度〕

- ・九州南部の高密度地震・地殻変動観測を継続する。
- ・引き続き ALOS/PALSAR 画像を収集し、PS/SBI n SAR 解析を行い、地殻変動の時間変化を検出する。GPS 観測結果と結合し、5 年間の時空間で高分解能の地殻変動を推定する。

#### 【地震波速度構造探査】

フィリピン海プレートの沈み込む方向に海岸部から火山フロント付近までの複数の測線において高密度で地震観測点を展開する。これら臨時観測点のデータに加えて、測線近傍の既存観測点のデータも活用して、レシーバ関数解析等を行う。プレート境界面やモホ面などの地震波速度不連続面の 3 次元構造を明らかにし、プレート境界付近やマントルウェッジ内の流体分布を推定する。

〔平成 21 年度〕数点で予備観測を行うとともに測線候補地の検討を行う。

〔平成 22 年度〕観測点の展開を行う。データ蓄積を開始する。

〔平成 23 年度〕観測点の拡充を行う。レシーバ関数解析を行い、測線下の速度不連続面のラフなイメージを作成する。

〔平成 24 年度〕観測を継続する。レシーバ関数解析を行い、測線下の速度不連続面のイメージを改善する。

〔平成 25 年度〕沈み込むフィリピン海プレートと陸側モホ面の形状およびマントルウェッジの地震波速度構造を明らかにし、マントルウェッジ内の流体分布とプレート間の固着域の推定を試みる。

#### 【比抵抗構造探査】

九州地域で実施された種々の電磁気探査結果を包括的に再解析し、広域的な 3 次元比抵抗モデルの構築を行う。大局的な構造から、特定火山にクローズアップし、補充的に広帯域・長周期 MT 観測を実施し、その詳細な深部構造の推定につなげ、モデルの高度化を行う。

このため、平成 23 年度までの 3 年間で、九州の電磁気探査データを収集・コンパイルし、広域モデルを構築する。

〔平成 21 年度〕

・九州において、過去に実施された広帯域 MT 観測・ネットワーク MT 観測・長周期 MT 観測データの収集・整理を行う。

・広域比抵抗モデルを構築する初段として、ネットワーク MT 観測データを用いた 3 次元比抵抗モデル推定に着手する。

・電磁気データの面的カバーリングの過不足を検討し、不足している地域において、補充観測のための下見を行う。

〔平成 22 年度〕

- ・前年度で得られる広域 3 次元比抵抗モデルから、地域を絞りモデルの高度化を計る (九州南部)。

・データ不足域において補充長周期 MT 観測を実施する。

[平成 23 年度]

・前年度までの使用データ (NMT) に、広帯域 MT・長周期 MT データを統合し、比抵抗モデルの更なる高精度化を試みる。

・地表における火山活動域とスラブにいたる深部構造の関連性を比抵抗という観点で検討する。

【三次元構造モデルの構築と応力伝播・物質移動過程のモデリング】

上記の構造データおよび地震・地殻変動データを活用し、三次元構造モデルを構築し、粘弾性媒質あるいは粘性流体を仮定して計算を実行し、地震発生および火山噴火に至る応力伝播・物質移動過程のモデリングを行う。

このため、既存データの収集し、これに基づく暫定モデルを作成する。

[平成 21 年度]

・モデル構築に必要な構造研究の文献・資料を収集し、予察的数値モデルを作成する。

[平成 22 年度]

・引き続き文献・資料を収集するとともに、数値モデルの精密化を図る。また、GPS/SAR データをインバージョンし、プレート間カップリング等の推定を試みる。

[平成 23 年度]

・引き続き文献・資料を収集し、モデルの精密化を図るとともに、地殻変動データからカップリング等の推定を行う。

[平成 24 年度]

・文献・資料を収集と地震波および比抵抗構造探査結果をコンパイルし、モデルの精密化を図るとともに、地殻変動データからカップリング等の推定を行う。

[平成 25 年度]

・4年間の構造探査等研究成果を統合したモデルにより、地殻変動データからカップリング等の推定を行う。

#### (7) 平成 23 年度成果の概要：

本研究は、地震・火山の研究グループが結集し、共同観測・研究を通じて日向灘の地震活動と南九州の火山活動を総体的に理解することを目的としている。2011 年度は、2010 年度に引き続き各種観測を継続し、データを取得している。

【地震・地殻変動観測】

日向灘の地震活動と南九州の火山活動の相互作用および地震発生に伴う応力擾乱が火山に及ぼす影響の評価を行うために、昨年度設置した臨時観測点 17 点と定常観測点を統合して、南九州一帯において地震観測を継続している。

2007 年 2 月から 2011 年 2 月までの日向灘沿岸に沿った地域の南行軌道から撮像された ALOS/PALSAR 画像 21 シーンを解析し、干渉画像を得た。軌道間距離の短い 26 ペアの干渉画像をスタッキングして、平均的な視線距離変化速度分布を得た (図 1)。日向灘に平行に南北方向約 100km で 5cm/yr 程度の勾配が認められる。これは GPS 連続観測結果と調和的である。

くじゅう連山と阿蘇山を含む領域において、火山性変動や広域のテクトニックな変動の検出可能性を検討するために、InSAR 時系列解析をおこなった。用いたデータは、2007 年 1 月から 2010 年 12 月までの 4 年間に撮像された計 16 枚の ALOS/PALSAR 画像である。図 2 は、4 年間の平均速度で、青～赤が -3 ~ 3 cm/year に対応している。くじゅうの星生山と、2km ほど西北西に離れている黒岩山付近で、2cm/year またはそれ以上のレンジ伸長が得られた (図 3)。

今回は、これらの局所的な変動を正確に検出するためのパラメタ設定にはしなかったため、変動量が過小である可能性がある (アンラップ誤差があるとそうなる)。広域的には、結果画像の西側が赤みがかかっており、東側が青みがかっている。これは、センスとしては GPS 連続観測から期待されるものと逆である。

阿蘇山においては、火山体規模で 1cm/year 以下の沈降が起こっていることが過去の GPS 観測や水準測量から期待されるが、この暫定結果においては、そのような沈降を示す明瞭なシグナルは得られていない。

桜島火山を含む南九州地域の ALOS/PALSAR 画像の収集を継続し InSAR 解析を行った。2007 年～2010 年の期間における干渉解析数を増やし、得られた画像についてスタッキングと 2.5 次元解析を行った結果、特に東西方向の地盤変動検出について以前より信頼性が向上した。準上下方向の地盤変動からは、桜島北部で地盤隆起、桜島東部から南部では地盤沈降が検出され、同期間に行われた水準測量結果ともよい一致が見られた。

霧島火山群の新燃岳は 2011 年 1 月 19 日、マグマ水蒸気爆発によると思われる小規模な噴火が発生し、1 月 26 日には本格的なマグマ噴火が始まり、多量の火山灰や軽石を放出した(サブプリニー式噴火)。1 月 27 日には爆発的噴火が発生、さらに 28 日には火口内に溶岩が出現し、31 日にかけて連続的な溶岩を流出する間欠的なブルカノ式噴火に移行した。

新燃岳火口から北西約 18km の宮崎観測所伊佐観測室では、1 月 26 日午後から 27 日にかけての 3 回の顕著な噴火活動に対応して、階段状の歪変動が観測された(図 4)。これは霧島山の地下で圧力が急激に低下したことを示し、引き続き B 型地震が多発した 31 日までの溶岩噴出期は、ほぼ一定して地下で圧力が減少したと考えられ、この期間にもこれに対応した歪変動が観測された。

その後、爆発的な噴火が繰り返されていたが 2011 年 2 月 9 日から断続的となり、噴火の頻度は低下し、2011 年 9 月 8 日以降発生していない。

#### 【地震波速度構造探査】

九州中南部地域下におけるマグマの生成に関するモデルを構築するためには、フィリピン海プレートからの脱水やマントルウェッジ内の流体の挙動を解明する必要がある。本研究では、定常観測点および臨時観測点のデータを用いて、レシーバ関数解析や地震波走時トモグラフィなどにより、プレート境界面やモホ面などの地震波速度不連続面を含む詳細な 3 次元速度構造を推定することを目的とする。

臨時観測では、昨年度、宮崎市南部から霧島火山へ延びる測線を設定し、間隔が 5km 程度になるように 7 点の観測点を設置し、2010 年 11 月下旬から観測を開始した。今年度は、これらの観測点での観測を継続し、波形データを蓄積した。レシーバ関数解析にも着手し、イメージングに向けて、レシーバ関数波形を蓄積中である。さらに、鹿児島県北西部に新規に 4 点の観測点を設置し、2011 年 12 月から観測を開始した。霧島火山周辺で新燃岳モニタリング用に行われている臨時観測点と Hi-net の定常観測点を含めて、宮崎市から阿久根市まで九州南部を横断する稠密リニアアレイを構築した(図 5)。

南九州下に沈み込むフィリピン海スラブのように傾斜角と深さが大きい不連続面を正しくイメージングする手法(Abe et al., 2011a)を定常観測点のデータに適用して、南九州の複数の断面におけるレシーバ関数イメージを求めた。その結果、深さ 90km 以深では、稍深発地震沿う部分において海洋モホ面に対応するイメージがみられなくなることがわかった。これは、海洋地殻がもはや低速度でないことを意味し、海洋地殻に含まれていた「水」はこの深さまでにほぼ脱水してしまうこと示唆する結果である。

#### 【比抵抗構造探査】

九州地域で 1993～1998 年の期間に実施された Network-MT 法観測によるデータをもとに 3 次元比抵抗モデルを推定した。3 次元比抵抗構造解析では、沈み込むプレートと火山フロントに沿って存在する火山との関係を連続的に捉えるため、Network-MT 法データ用に改良された WSINV3DMT コード[Uyeshima et al., 2008]を用いた。

本解析で得られた比抵抗構造モデルの特徴は、先に実施していた 2 次元比抵抗構造解析で得られた結果と調和的であり、「(1) 火山帯の下部に低抵抗な領域が存在し、その低抵抗は背弧側深部から連なる。(2) 沈み込む PSP は、高抵抗である。」であった。前者の低抵抗な領域は、沈み込んだプレートから放出された流体、および、マントルへの流体の付加によって引き起こされた部分溶融(メルト)に起因すると考えられる。沈み込み帯における火山フロントへの magma source の供給源に関しては、本研究の結果からは、背弧側から火山フロントへの水循環 マグマ供給モデルを支持するものであった。

( 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 ) :  
Abe Y., T. Ohkura, K. Hirahara, T. Shibutani, Common-conversion-point stacking of receiver functions for  
estimating the geometry of dipping interface, Geophys. J. Int., 185, 1305-1311, 2011a.

Abe Y., T. Ohkura, K. Hirahara, T. Shibutani, Water transportation through the Philippine Sea slab subducting  
beneath the central Kyushu region, Japan, as derived from receiver function analyses, Geophys. Res.  
Lett., 38, L23305, doi:10.1029/2011GL049688, 2011b.

澁谷拓郎・寺石眞弘・小松信太郎・山崎健一・大倉敬宏・吉川 慎・安部祐希, 南九州下に沈み込む  
フィリピン海プレートのイメージング, 京都大学防災研究所研究発表講演会, A29, 2012.

( 9 ) 平成 24 年度実施計画の概要 :

未解析の ALOS/PALSAR 画像の解析を継続し, 経年的な地殻変動の空間分布を得る .

これまでに展開した測線での臨時観測を継続し, レシーバ関数解析のための波形データを蓄積する。  
蓄積されたデータを用いて, レシーバ関数解析を行い, 速度不連続面のイメージを作成し, スラブ形  
状や周辺の数値構造について議論する。

( 10 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

橋本学, 澁谷拓郎, 大谷文夫, 福島洋, 寺石眞弘 ( 防災研究所地震予知研究センター )

大志万直人, 吉村令慧 ( 防災研究所地震防災研究部門 )

井口正人, 山本圭吾, 神田径, 為栗健 ( 防災研究所火山活動研究センター )

大倉敬宏, 宇津木充, 井上寛之 ( 京都大学大学院理学研究科火山研究センター )

平原和朗 ( 京都大学大学院理学研究科 ) 以上, 16 名

他機関との共同研究の有無 : 無

( 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 :

電話 :

e-mail :

URL :

( 12 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 橋本学

所属 : 京都大学防災研究所

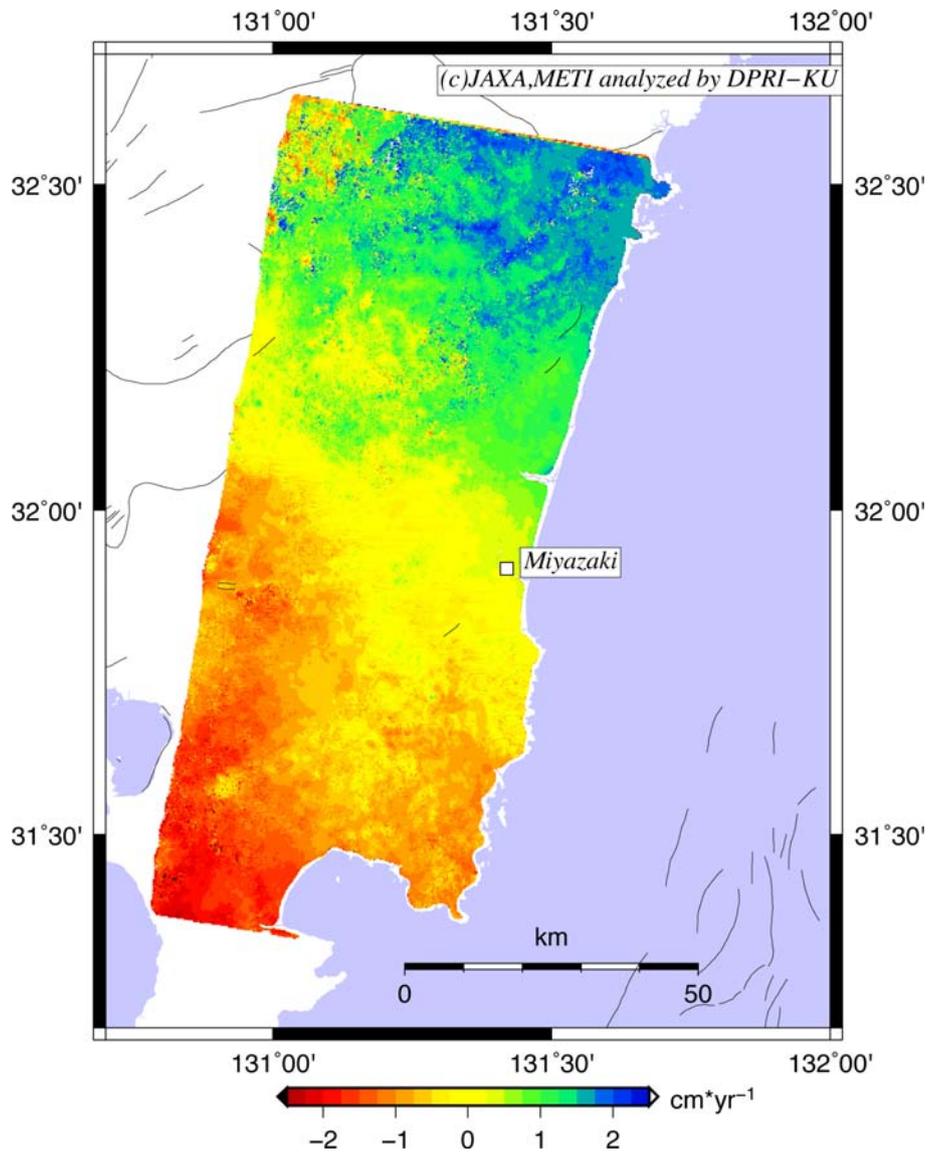


図1．日向灘沿岸のALOS/PALSAR画像26ペアの干渉画像のスタッキング処理で得られた平均視線距離変化速度分布

南行軌道で撮像された2007年1月から2011年2月までの21画像から軌道間距離が短い26ペアを選んで、干渉解析+スタッキング処理を行った。北から南に向かって距離変化率が減少する傾向が認められる。

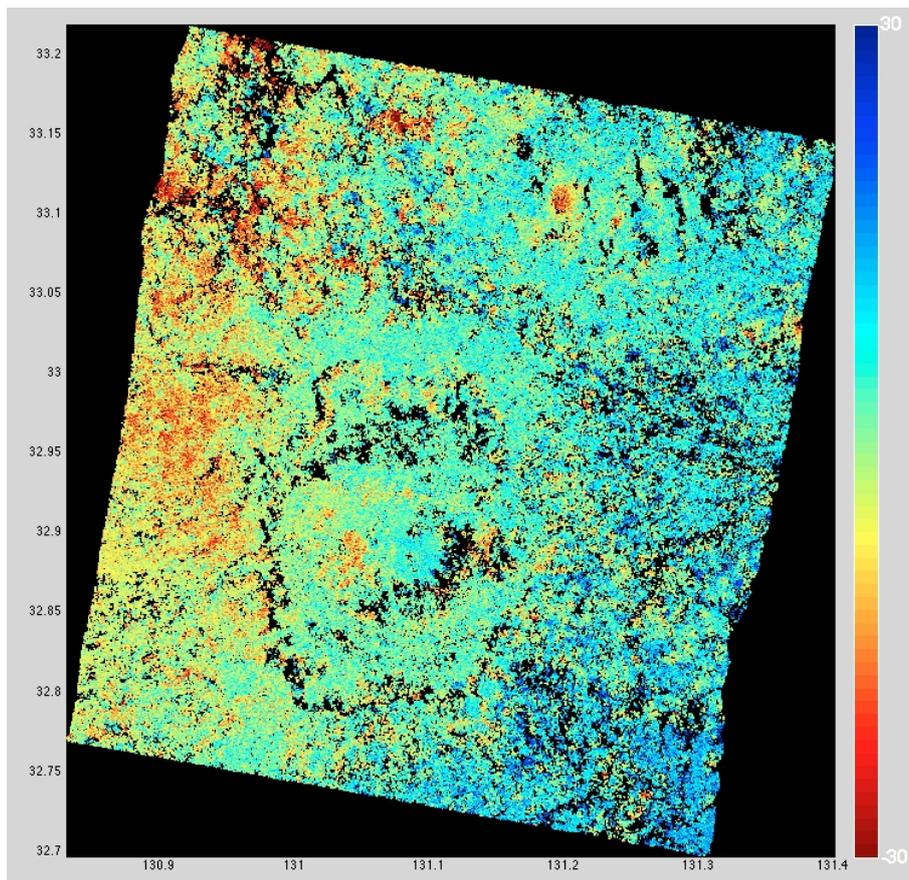


図 2 . くじゅう～阿蘇地域の ALOS/PALSAR 干渉画像から得られた平均視線距離変化  
 2007 年 1 月から 2010 年 12 月までの ALOS/PALSAR 画像 16 シーンを干渉解析し，さらに StaMPS ソフトウェア  
 により時系列解析を行った結果得られた平均視線距離変化．くじゅう付近に顕著な視線距離短縮が認められる．

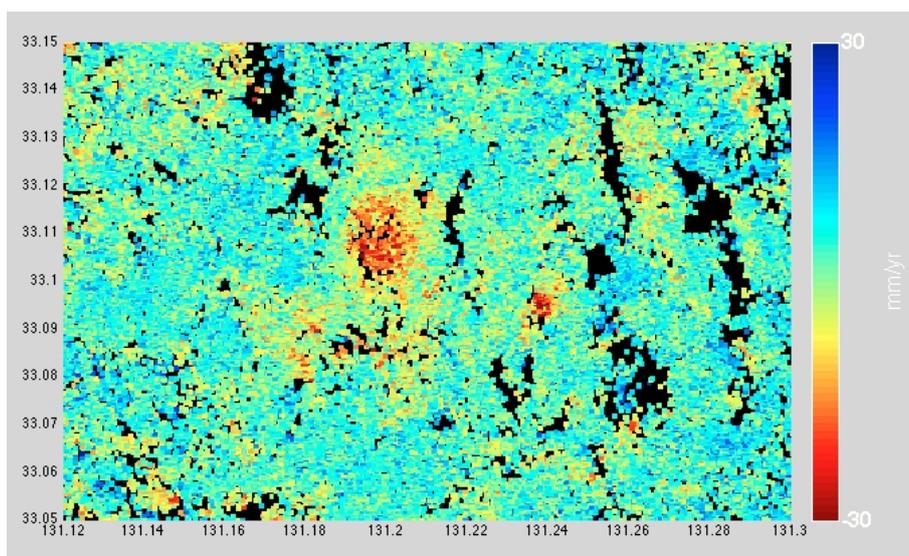


図 3 . 図 2 中のくじゅう付近の拡大図  
 くじゅう付近の 2 カ所で 3cm/year 程度の視線距離伸長が認められる．

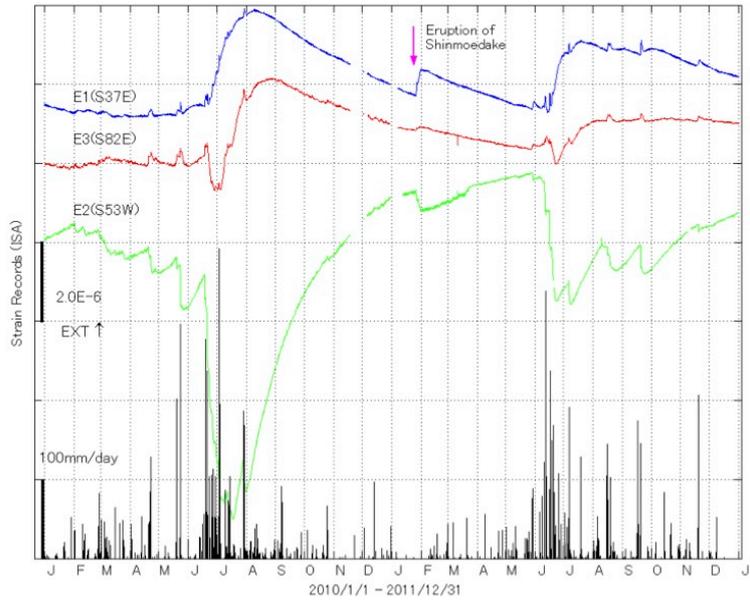


図 4 . 宮崎観測所伊佐観測室の歪変化 ( 2010 年 1 月 ~ 2011 年 12 月 )  
霧島山新燃岳から北西約 18km に位置する伊佐観測室での歪 3 成分の 2 年間の変化 .

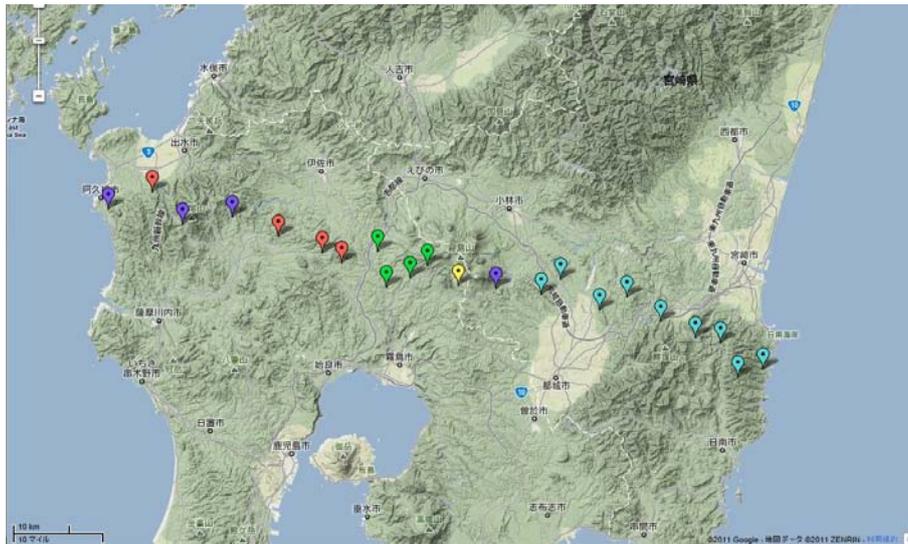


図 5 . 南九州におけるレシーバ関数解析のための観測点配置  
水色のシンボルは昨年度展開した 7 観測点。赤のシンボルは今年度展開した 4 観測点。黄色と緑のシンボルは新燃岳モニタリング用の臨時観測点 , 紫のシンボルは Hi-net の定常観測点。