

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

フィリピン海プレート北縁における地殻構造と火山深部構造の解明

(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：

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

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

建議に記載されている「海底観測を含む地震，地殻変動，地球電磁気等観測を行い，火山流体の移動と地震活動の関連を明らかにする」ため，マグマ移動に伴う火山性地震や群発地震の活動度の高いフィリピン海プレート北縁の伊豆大島，伊豆東部，富士山等の地域の構造を，地震探査，電磁気探査，重力探査から推定する．これらの地域では，これまでの研究で浅部構造がある程度解明されているので，火山噴火に直接かかわるマグマ溜りの存在が指摘されている深さ約 10km 以深の地殻構造に焦点を当てて，火山の深部構造の解明を行う．地震波速度構造，比抵抗構造から，地下の火山流体の分布を明らかにし，この地域における地震活動と火山活動の関連を明らかにする．

伊豆大島では，海陸合同の人工地震探査を実施し，深さ 4km 付近の浅部と深さ 10km 付近の深部でのマグマ分布の検出を試みる．海中発破及びエアガンによる多数の制御震源と稠密な陸上と海底の地震観測を組み合わせ，深さ 10km 付近からの反射波の地域分布に注目し，マグマ分布の推定を目指す．また，伊豆大島で観測されている間欠的な山体膨張とそれに同期する地震活動の時間変化を，マグマ蓄積が及ぼす応力変化を定量的に推定し，地震活動の時間変化の原因を火山体の不均質構造，周辺の広域応力場の影響も考慮に入れて解明する．

伊豆半島東方沖群発地震活動では，これまでマグマ貫入深度が 5 km 付近と 8km 付近の 2 つのグループに分かれる可能性が指摘されているが，過去の観測データを再解析し，貫入深度が 2 つに分かれることを精度の高い震源分布や地殻変動データから再検証する．この 2 つのマグマ貫入深度の違いの原因を，その南東約 30km に存在する伊豆大島の火山深部構造やマグマ蓄積の様式と比較することにより，明らかにすることを目指す．

富士山では，東西方向の電磁気構造探査により深さ 25km 以深に低比抵抗領域が存在するモデルが提唱されているが，低比抵抗域の広がりや富士山直下で発生する低周波地震との関連については明らかにされていない．この課題により南北方向の電磁気構造探査を行い，この深部低比抵抗体の空間的

な広がりを求め、地震波速度構造の結果と比較し、富士山の地下構造と山体直下の深部低周波地震の発生の関連を明らかにする。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

平成21年度には、伊豆半島～伊豆大島～房総半島沖の領域の南西～北東方向に走行を持つ総延長約70kmの測線で、陸上観測点約250点、海底観測点約30点の観測点を設置し、9箇所海中発破を実施する人工地震探査を行うとともに、測線に沿ってエアガンによる制御震源を発振する大規模構造探査を実施する。これにより、伊豆大島直下及びその周辺の地震波速度構造の推定を行う。屈折法解析と同時に反射法解析も行い、これまでの解析では不明瞭であった深さ約10kmでの反射面(速度不連続面)付近の構造を精度良く推定する。1999年に実施した北西～南東に測線を設定した人工地震構造探査の結果とも併せて、深さ約10kmからの反射波の強度分布からマグマ蓄積場所を特定できるか否かの可能性を検証し、伊豆大島火山のマグマ蓄積に関する新たな知見を得ることを目指す。

上記構造探査で得られる速度構造の情報を用いて、浅部マグマ溜り(深さ約4km)と深部マグマ溜り(深さ約10km)を分離したマグマ蓄積時間変化の検出を試みる。これらのマグマ溜りは、それぞれ1986年噴火の際の割れ目噴火のマグマの起源と山頂噴火のマグマの起源に相当すると考えられ、相互のマグマ蓄積の関連を解明することは、地下のマグマ蓄積現象の本質を理解する上で極めて重要な情報である。更に、マグマ蓄積に伴う応力変化を定量的に解析し、火山体の不均質構造、周辺の広域応力場の影響も考慮に入れ、伊豆大島で見られる山体膨張に同期した地震活動の時間変化を説明するモデルを構築する。

平成22年度には、平成21年度に実施した人工地震構造探査の解析を更に進め、1999年に実施した構造探査実験も併合して解析し、伊豆大島近傍の地震波速度構造をより精度良く推定することを試みる。更に、絶対重力計による高精度重力測定を伊豆大島火山観測所、鎧端観測点で実施すると共に、これらの点を基準とした相対重力測定を伊豆大島のカルデラ内を中心とした地域で実施する。また、伊豆大島で超長周期MT観測を行い、これまで実施してきたAMT観測、MT観測のデータと併合処理し、伊豆大島の地下数kmまでの比抵抗構造を明らかにする。比抵抗構造と地震波速度構造を比較し、伊豆大島の地下の火山流体の分布の検出を試みる。

平成23年度には、フィリピン海北縁に位置する富士山周辺において、絶対重力と相対重力の測定を行う。また、これまで蓄積された伊豆大島、伊豆半島、富士山周辺の地震記録を解析して地下構造の推定を行い、人工地震探査の結果と比較する。これまでの地震活動、地殻変動、構造探査の結果を統合し、伊豆大島、伊豆半島の火山性流体の存在を検証し、マグマ供給系を明らかにする。また、これらのマグマ供給系の構造と、この地域の地震活動を火山性流体の存在とこの地域の広域応力場の関連を考慮に入れて考察する。

平成24年度には、伊豆大島における絶対重力と相対重力を再測し、平成22年度の測定と比較して重力の時間変化を調査する。有意な重力変化があった場合には地殻変動等の観測データと比較し、その原因の地球物理学的な意義を明らかにする。富士山周辺において、これまで実施してきた北西～南東方向の電磁気構造探査と直交する北東～南西方向の電磁気構造探査を実施し、富士山直下の3次元電磁気構造探査を行い、富士山のマグマ供給系を明らかにする。また、これまで蓄積されてきた自然地震の観測データを用いて、伊豆半島から富士山周辺にかけての地震活動と、火山性深部低周波地震、マグマ貫入に起因する地殻変動を関連について明らかにする。

平成25年度には、富士山周辺で絶対重力及び相対重力の測定を行い、平成23年度の測定結果の比較し、重力の時間変化を調査する。有意な重力変化があった場合には地殻変動等の観測データと比較し、その原因の地球物理学的な意義を明らかにする。伊豆大島では超長周期MT観測を行い、平成22年に実施した同様の観測と比較し、伊豆大島の地下数kmまでの比抵抗構造の時間変化の検出を試みる。これまでの各種構造探査の結果を統合し、この地域の火山性流体の存在が、地震活動とマグマ蓄積活動に与える影響を明らかにし、この地域の地震活動と火山活動の関連を明らかにする。

(7) 平成 23 年度成果の概要 :

今年度は、伊豆大島の地震波速度構造の解析と、伊豆大島周辺で発生する地震活動の解析を行った。伊豆大島では約 3 年周期でマグマの貫入によると考えられる山体の膨張があり、それに同期した地震活動が見られる。マグマ貫入により短期間に歪の蓄積の大きな火山周辺では、多くの構造性地震が発生する。この地震活動の発生機構を解明することは、火山噴火予知研究だけでなく地震の発生予測研究にも役立つと考え、そのような視点から伊豆大島周辺の構造性地震の解析を行った。

(1) 伊豆大島周辺の地震波速度構造

昨年度に引き続き、2009 年に実施した伊豆大島及び周辺海域の構造探査実験の解析を以下の手順で手順解析した (1) 前処理として、エアガン発振信号から海底地震計の正確な位置及び直達波と海底反射波の走時差から海中発破の発振時、発振位置を正確に推定した (2) 海底地震計で得られたエアガン発振信号の初動を読み取り値から、海底下浅部の速度を伊豆大島の西側と東側で独立に推定した。 (3) 伊豆大島島内の陸上の浅部構造は先行研究、海底の浅部構造は前段階で得たものを用いて、伊豆大島近傍の深さ約 12 km までの地震波速度構造を推定した (図 1)。

今回の測線と直交する方向で実施した 1999 年の伊豆大島構造探査の結果とは、深さ約 5 km までほぼ一致した構造が得られた。更に、今回の構造探査では、図中の P 波速度 6.8km/s 層の上端の深さとその速度の絶対値が初めて明らかになった。この層は火山体である伊豆大島直下では浅く、周辺部では深い。火山体では、深さ 2 ~ 4 km 程度、P 波速度 5.5 ~ 6.0km/s のいわゆる火山の基盤層が、火口周辺で盛り上がっている構造は、これまでも良く知られていた。その下層の上部地殻と下部地殻の境界面と思われる P 波速度 6.8km/s の層まで、火口下で盛り上がっている構造であることを実証した例はほとんどない。火山の根が下部地殻までであることを、構造探査から定量的に実証した意義は小さくない。

更に、今回の構造探査の結果は、伊豆大島火山の火山活動と構造の関係についての貴重な情報を提供している。火山活動が静穏である伊豆大島では、これまで 2 ~ 3 年の周期でマグマの貫入によると考えられる山体の膨張とそれに同期する地震活動の上昇が観測されている。また、山体膨張の前に山体の収縮も観測されている。このマグマ貫入が持つ意味を考えるうえで、今回得られた速度構造は重要な意義を持つ。これまで観測された山体膨張、収縮の圧力源の位置を速度構造断面にプロットすると、図 2 の 印に示される。圧力源の推定誤差を考えると、マグマの出入りによる膨張及び収縮が発生しているのは、P 波速度 5.5 ~ 6.0km/s の層内に限られていることが明らかになった。つまり、マグマが深部から浮力により上昇し、浮力中立となるこの層に留まることを示している。1986 年噴火の割れ目噴火の際に、震源が北西、南東方向に直線状に広がったが、その震源の深さは、4 ~ 10 km であり、この層内にダイクが貫入して北西 南東方向に広がったと考えられる。

地震活動は、上記のマグマ貫入による応力変化と温度場が反映していると思われる。即ち、基本的には、地震はマグマ貫入の起こる P 波速度 5.5 ~ 6.0km/s の層内に発生するが、マグマ貫入域近傍では高温であるため脆性破壊が起こらない。マグマ貫入域から少し離れた伊豆大島沿岸西方・北方沖のこの層内で地震は発生している (図中青丸)。一般に浅部では媒質の性質から地震活動度が低く、地震波発生しないが、マグマ貫入場所直上のカルデラ内はマグマ貫入による歪が極めて大きいので、例外的にカルデラ内で発生する (図中赤丸)。沿岸部の地震はパースト的に発生するのに対して、カルデラ内の地震は比較的定常的に発生し、マグマ貫入による歪量に比例して活動度がゆっくり変化する。沿岸部の地震とカルデラ内地震の活動パターンの違いもこれにより説明できると思われる。

以上のように、伊豆大島の火山活動では、今回明らかになった P 波速度 5.5 ~ 6.0km/s の層が噴火活動に大きく関与している。マグマは浮力により、深部からこの層まで上昇することは、現在のような噴火活動の静穏期であっても見られる。噴火の様式を決めるのは、大量のマグマがこの層に到達してからの動きによると考えられる。1989 年の伊豆大島噴火では山頂噴火から、山腹割れ目噴火に移行した。2000 年三宅島噴火でも、山腹噴火から、島外への大規模なダイク貫入が起こった。また、東伊豆の群発地震は、マグマの貫入によることが判っている。これらフィリピン海北縁の火山活動は、マグマの動きが浮力中立というメカニズムで、構造に強く影響を受けているという点で共通である。今

回の構造探査の結果を踏まえ、この地域の火山に共通してみられるマグマ貫入から噴火に至るまでの過程を解明する研究を進め、割れ目噴火、山頂噴火という噴火様式を決めるメカニズムの解明を目指したい。

(2) 伊豆大島周辺の構造性地震の発生機構に関する研究

これまでの研究で、伊豆大島では約3年間隔でカルデラ北部の地下約5kmの場所に間欠的にマグマが蓄積され、この時にカルデラ内と伊豆大島西部沿岸の数か所で地震活動が活発になることを明らかにしている。カルデラ内のマグマ蓄積場所の直上の深さ1~2kmに屈曲したほぼ鉛直の面上にM0-2程度の地震が、マグマの蓄積に追従するように徐々に活動度が上昇し、マグマ蓄積の終了とともに徐々に低下する。この活動のほかに、伊豆大島の海岸線から沖合にかけて、北方沖(岡田沖)、北西沖(元町沖)、南西沖(野増沖)などの数か所で、マグマ蓄積期にM0-3程度の地震が群発的に発生する(図3)。この活動はバースト的であり、ひとつの活動は1日から1週間程度続く。震源はほぼ鉛直の面上に分布し、同じ場所で繰り返し発生するとともに、震源の移動が見られることもある。また、発震機構解の節面は地震の分布面にほぼ一致することから、全体として1つの横ずれ断層面で地震が発生し、その地震によって隣で地震が発生するという様式の活動を行っていると考えられる。一つ一つの断層面に注目して、マグマ貫入の際に断層面に加わるクーロン応力の変化を計算した。

断層面は、これまでの震源分布から走行と位置を仮定し、伊豆大島内の20点のGPS観測による地殻変動から、マグマの貫入量の時間変化を推定し、これらをもとにそれぞれの断層面に働くクーロン応力変化を計算した。その結果、それぞれの断層面で、前回の活動からほぼ同程度のクーロン応力の増加があると新たな群発地震活動が開始する傾向があることが明らかになった(図4)。この時の応力増加値は、10-50KPaの範囲にあり、応力の絶対値としては極めて小さい。さらに、平成23年東北地方太平洋沖地震の発生時から数時間後に、これらの断層の2つで群発地震活動が発生した。本震時の静的応力変化によるこれらの断層に加わるクーロン応力の変化量も上記の範囲にあり、極めて小さな応力変化で群発地震活動が開始することを、全く異なった応力源による応力変化によっても支持される。

このように、伊豆大島周辺の火山構造性地震の発生サイクルの様子がおぼろげながら見えてきた。今後は摩擦構成則を考慮したモデルを導入し、現象解明の深化を行い、地震発生予測につながる研究を志向してゆく。

(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): 森田裕一・伊豆大島構造探査グループ、伊豆大島周辺の地震波速度構造、日本地球惑星科学連合2011年大会、SVC051-11。

(9) 平成24年度実施計画の概要:

平成24年度は、蓄積されてきた自然地震の観測データとこの課題で明らかにされた地下の構造を用いて、伊豆半島から富士山周辺にかけての地震活動とマグマ貫入に起因する地殻変動を関連について明らかにする。また、伊豆大島における絶対重力と相対重力を再測し、前回の測定と比較して重力の時間変化を調査する。有意な重力変化があった場合には地殻変動等の観測データと比較し、その原因の地球物理学的な意義を明らかにする。富士山周辺において、これまで実施してきた北西~南東方向の電磁気構造探査と直交する北東~南西方向の電磁気構造探査を実施し、富士山直下の3次元電磁気構造探査を行い、富士山のマグマ供給系を明らかにする。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

東京大学地震研究所 森田裕一(地震探査, 地殻変動観測), 篠原雅尚(地震探査), 上嶋誠(電磁気探査), 大久保修平(重力探査)

他機関との共同研究の有無: 有

北海道大学理学研究院, 秋田大学工学資源学部, 東北大学理学研究科, 東京工業大学地球流体化学

(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：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5704

e-mail：morita@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：森田裕一

所属：東京大学地震研究所 地震火山噴火予知研究推進センター

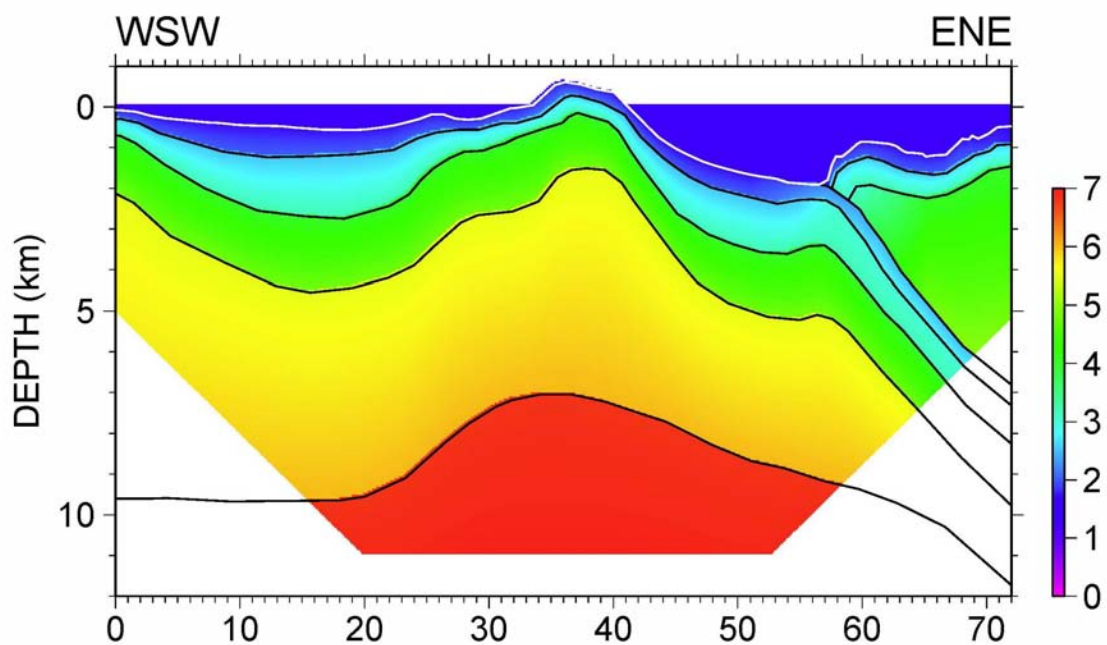


図1 . 2009年伊豆大島構造探査により得られた速度構造

エアガン解析で得られた浅部構造を用いて，海中発破からのデータも用いて深さ12kmまでの速度構造を推定した．

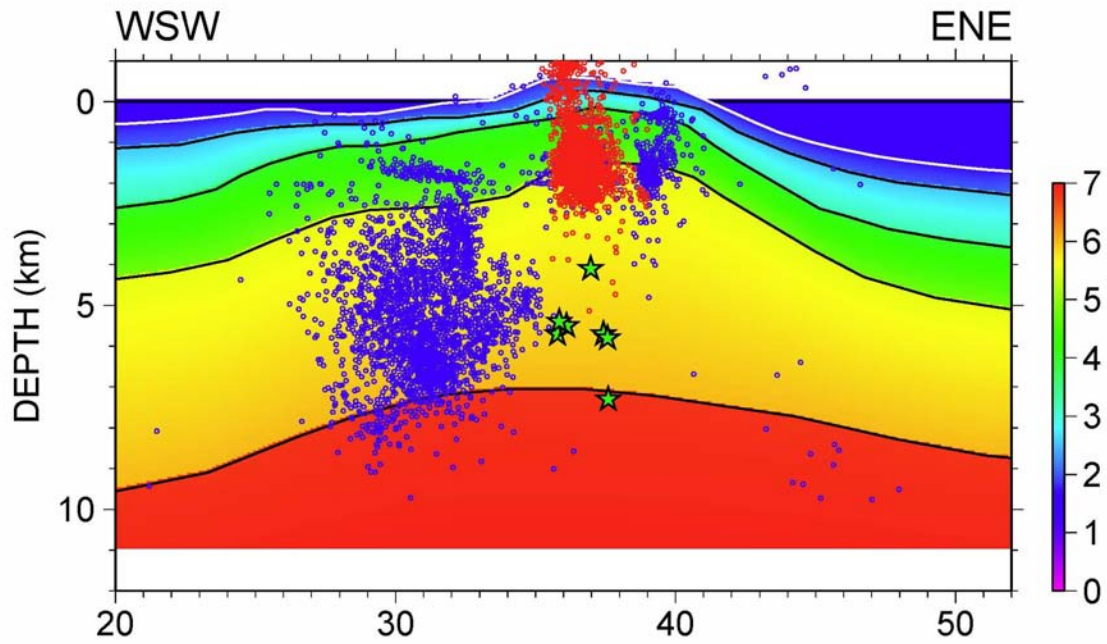


図2．伊豆大島における火山性地震の震源とマグマ貫入時及び後退時における圧力源の位置と速度構造の関係．カルデラ内震源は赤丸，周辺部の構造性地震の震源を青丸で示す．また，マグマ貫入時及び後退時における圧力源の位置を \star で示す．最近約10年間ではマグマは5.5-6.0km/s層にのみ貫入している．1986年の割れ目噴火時の震源分布から，この時のダイク貫入もこの層に限られていたと推定される．

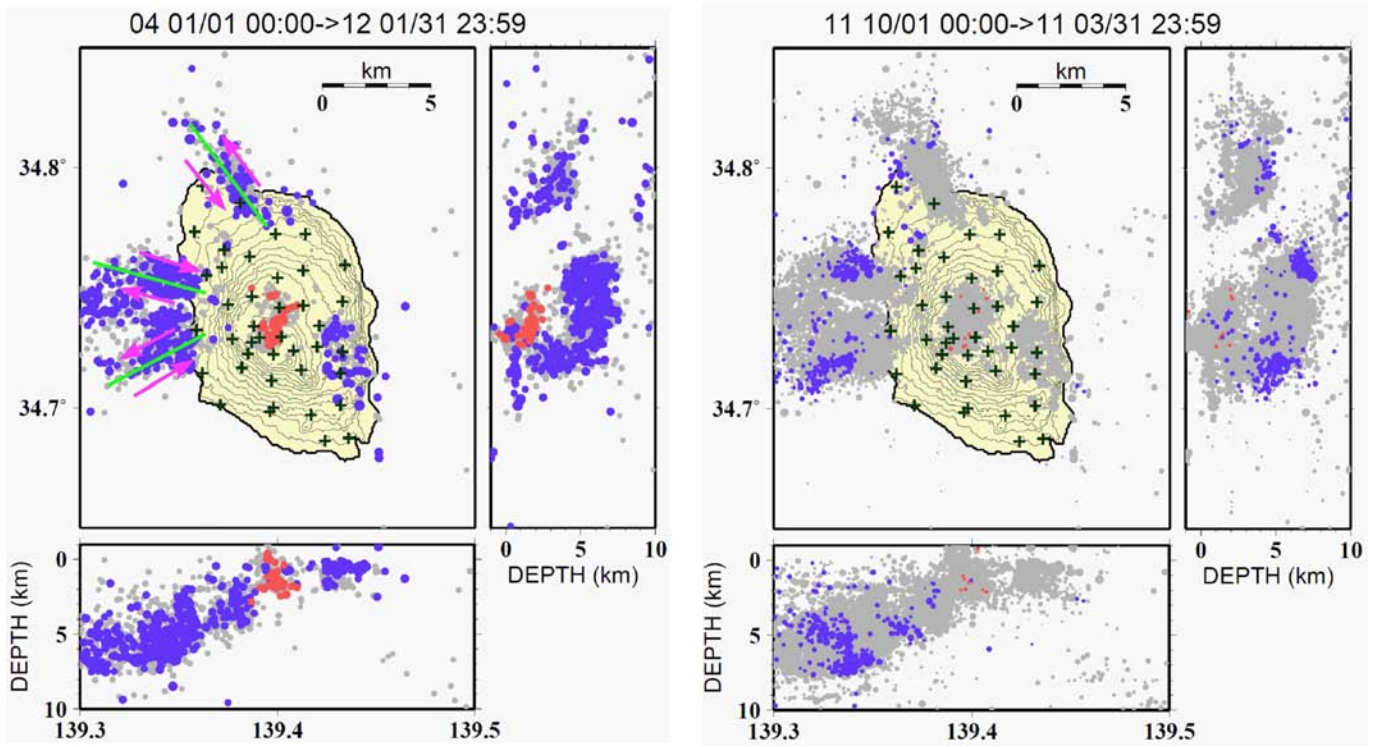


図3．伊豆大島周辺の震源分布

左図：マグマ貫入時に発生する群発地震活動．北方（岡田）沖，北西（元町）沖，南西（野増）沖の3か所で，震源がほぼ鉛直の面上に並ぶ．また発震機構解から広域応力場を反映した横ずれ断層と推定される．この面上に加わるクーロン応力の変化を推定した．右図：東北地方太平洋沖地震で誘発された地震の震源．マグマ貫入時と同じ場所で発生する．