

## 応力場の時間変化に基づく御嶽火山のモニタリング

名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター（センター長：古本 宗充）の寺川 寿子（てらかわ としこ）講師らは、2014年御嶽山噴火に関連する火山性地震（注1）のメカニズム解（注2）を分析することにより、御嶽火山直下の応力場が火山活動の活発化に伴って時間変化する様子を捉えることに成功しました。

2014年9月27日午前11時52分、御嶽山は7年ぶり、有史以来4度目の水蒸気噴火を起こしました。本研究は、火山噴火と深く関わる火山直下の応力場に着目し、応力場の時間変化を利用して、御嶽火山の状態を把握することを目的としたものです。

火山直下の局所的な応力場（以下、局所応力場）は、一般にプレート運動によって形成される広域応力場と火山活動によって形成される応力場との重ね合わせで表現できます。プレート運動による応力蓄積はゆっくりと進むため、数週間から数年といった中短期的時間スケールでは、広域応力場の時間変化は無視できるほど小さいと考えられます。従って、もし局所応力場が中短期的時間スケールで時間変化すれば、それは火山活動によって引き起こされる応力場の時間変化であることを意味します。

本研究では、名古屋大学を含む諸機関の定常地震観測で得られた地震波形データから、御嶽山直下で発生した火山性地震のメカニズム解（2014年8月～2015年3月）を推定し、これらのデータを用いて局所応力場の時間変化を広域応力場からの“ずれ”として定量的に検出することを試みました。解析の結果、2014年噴火の直前約2週間に局所応力場の有意なずれが検出され、火山活動の活発化によって引き起こされた顕著な応力変化があったことがわかりました。この応力変化は東西伸長の正断層型（注3）の地震の活発化として観測され、御嶽火山が東西方向に膨張を引き起こしたことを反映したものと考えられます。一方、噴火に伴い局所応力場のずれは急激に小さくなり、噴火前とは逆の東西圧縮の逆断層型（注3）の地震が多くなりました。これらは、噴火後に山体が収縮する過程を示していると考えられます。

この研究成果は、平成28年2月19日付のオンライン雑誌「Nature Communications」に掲載されました。

### 【ポイント】

- 御嶽山直下で発生する火山性地震のメカニズム解は、2014年の噴火を境に火山の膨張から収縮を示すタイプへと変化しました。
- 火山活動の活発化に伴い、山頂直下の局所応力場が時間変化する様子を捉えました。

## 【研究背景】

御嶽山は東日本火山帯の西端に位置し、日本国内では富士山に次いで高い 3000 m 級の活火山です。御嶽山は 1979 年に有史初の噴火（水蒸気噴火）を引き起こし、それまで「死火山」と考えられていた常識を覆しました。2014 年の噴火は、1991 年及び 2007 年の小噴火に続く 4 度目の有史噴火で、火山学的にはそれほど大きくない中規模噴火でしたが、秋の行楽シーズン中の晴天に恵まれた土曜日正午近くに発生したこともあり、多くの尊い命が失われてしまいました。火山の観測を通じて噴火予測に貢献する手法の確立が望まれています。火山活動にはしばしば地震活動が伴うことから、これまで地震観測を通じて火山の状態を把握する試みがなされてきました。しかし、火山性地震の種類/活動度の推移の傾向から大まかな噴火過程の予測は行われているものの、不確定性が大きいのが現状です。本研究では、地震のメカニズム解から御嶽山直下の局所応力場の時間変化を定量的に評価するという試みで、火山活動と応力場の関係を明らかにし、火山噴火の予測に役立てることを目指しています。

## 【研究の内容】

御嶽山周辺域の定常地震観測（図 1a）で得られた地震波形データを分析し、2014 年 8 月～2015 年 3 月に御嶽山直下で発生した火山性地震（図 1b-c）を捉え、このうち 94 個の火山性地震のメカニズム解を推定しました。地震のメカニズム解は、一般的には、P 波初動の押し引き分布から推定されます。しかし、御嶽山直下の地震は規模が小さいため ( $M < 1$ )、P 波初動の押し引き分布に加えて P 波と S 波の振幅比をデータとして用いることで、安定的にメカニズム解を推定しました。地震のメカニズム解のタイプは噴火前後で顕著に変化し（図 2a）、噴火前は東西伸長の正断層型（図 2b）、噴火後は東西圧縮の逆断層型（図 2c）が支配的であることがわかりました。このように噴火前後で火山性地震のメカニズム解がほぼ正反対に変化したことは、山頂直下の局所応力場が大きく変化したことを示しています。

一方、広域応力場は、御嶽山周辺域で発生する平常時の地震のメカニズム解（2012 年 5 月～2014 年 7 月）から、応力インバージョン法（注 4）を用いて推定しました。山頂付近の広域応力場は、北西—南東方向に最大圧縮軸を持つ横ずれ断層（注 3）型で特徴づけられることがわかりました。

次に、火山性地震のメカニズム解と広域応力場の関係を分析し、局所応力場の時間変化を検出することを試みました。具体的には、「地震は既存弱面を利用して、断層面上に働く力の方向にすべる」という考えに基づき、メカニズム解の節面を断層面として固定し、観測されたすべりベクトルと広域応力場から期待される理論的なすべりベクトルとの角度差をミスフィット角と定義し、局所応力場の広域応力場からのずれを測る指標としました。もし、火山性地震が広域応力場に支配されて発生すれば、ミスフィット角は広域応力場及びメカニズム解の推定誤差の範囲内（65 度以内）に収まることが期待されます。しかし、ミスフィット角が閾値を超えて大きくなると、火山活動の活発化により局所応力場が広域応力場からずれていることを意味します。

図 3 は、本研究で得られたミスフィット角の時間変化（地震 10 個毎の移動平均）を示したものです。噴火前の約 2 週間はミスフィット角が閾値を大きく超える傾向にあ

りましたが、噴火後急速に減少したことがわかりました。メカニズム解のタイプ（図 2b）を考慮すると、噴火前には火山活動の活発化により東西引張の応力変動が引き起こされていたことが示唆されます。広域応力場のパターンや他の研究で得られた知見も考慮すると、御嶽火山が地殻内に発達した構造を利用して東西方向に膨張を引き起こしたと考えられます。一方、噴火後は火山活動による応力変動が小さくなり、基本的に広域応力場に支配されて地殻が収縮したと考えられます（図 2c）。また、2014 年 11 月、2015 年 1 月末から 2 月中旬にかけて、ミスフィット角の一時的な高まりがあったこともわかりました。このことは、2014 年 9 月 27 日の噴火の後も山体内部において何らかの膨張・減圧過程が繰り返し起きていた可能性があることを示しています。

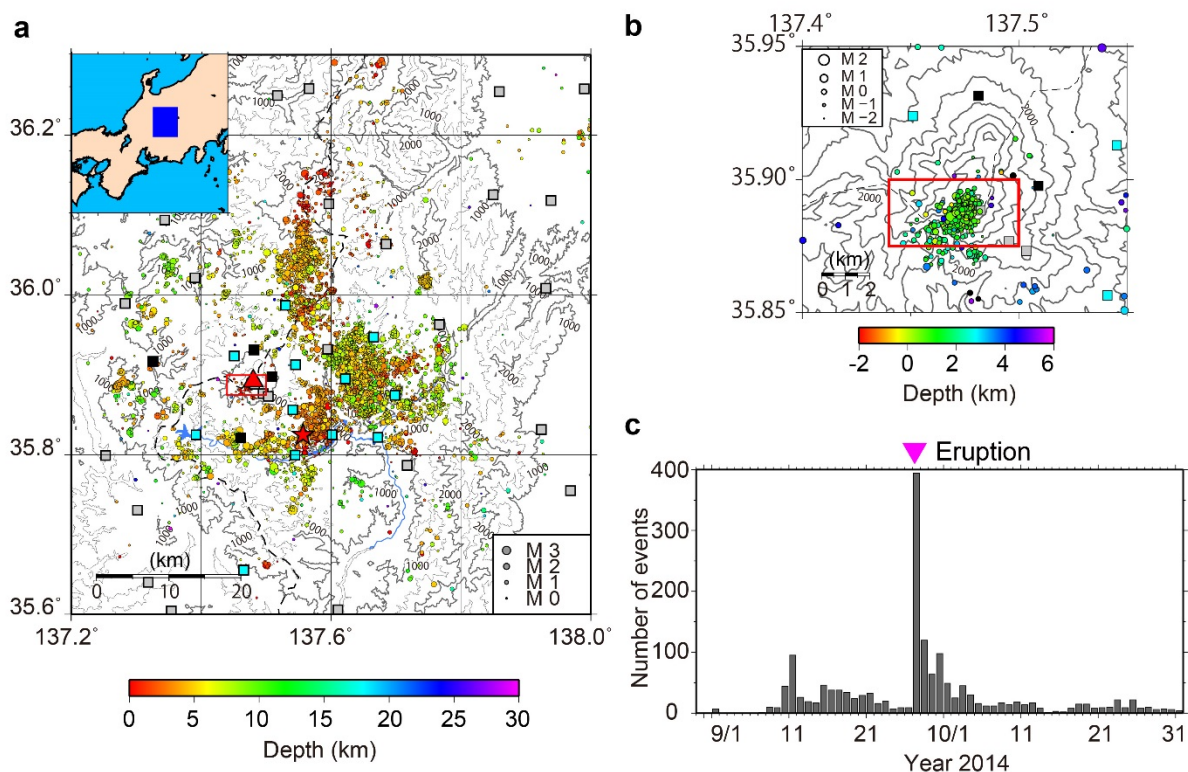


図 1. 御嶽山周辺域の地震活動

- (a) 地震の震源分布と観測点分布。赤い△は御嶽山山頂、○は震源（色は震源深さ）、□は観測点（水色：名古屋大学、灰色：気象庁・防災科学技術研究所、黒色：岐阜県・長野県）を表す。赤い☆は、1984 年長野県西部地震の震源を表す。
- (b) 山頂直下の震源分布。
- (c) 山頂領域での日別地震数。名古屋大学の連続地震波形データの分析によるデータを示す。

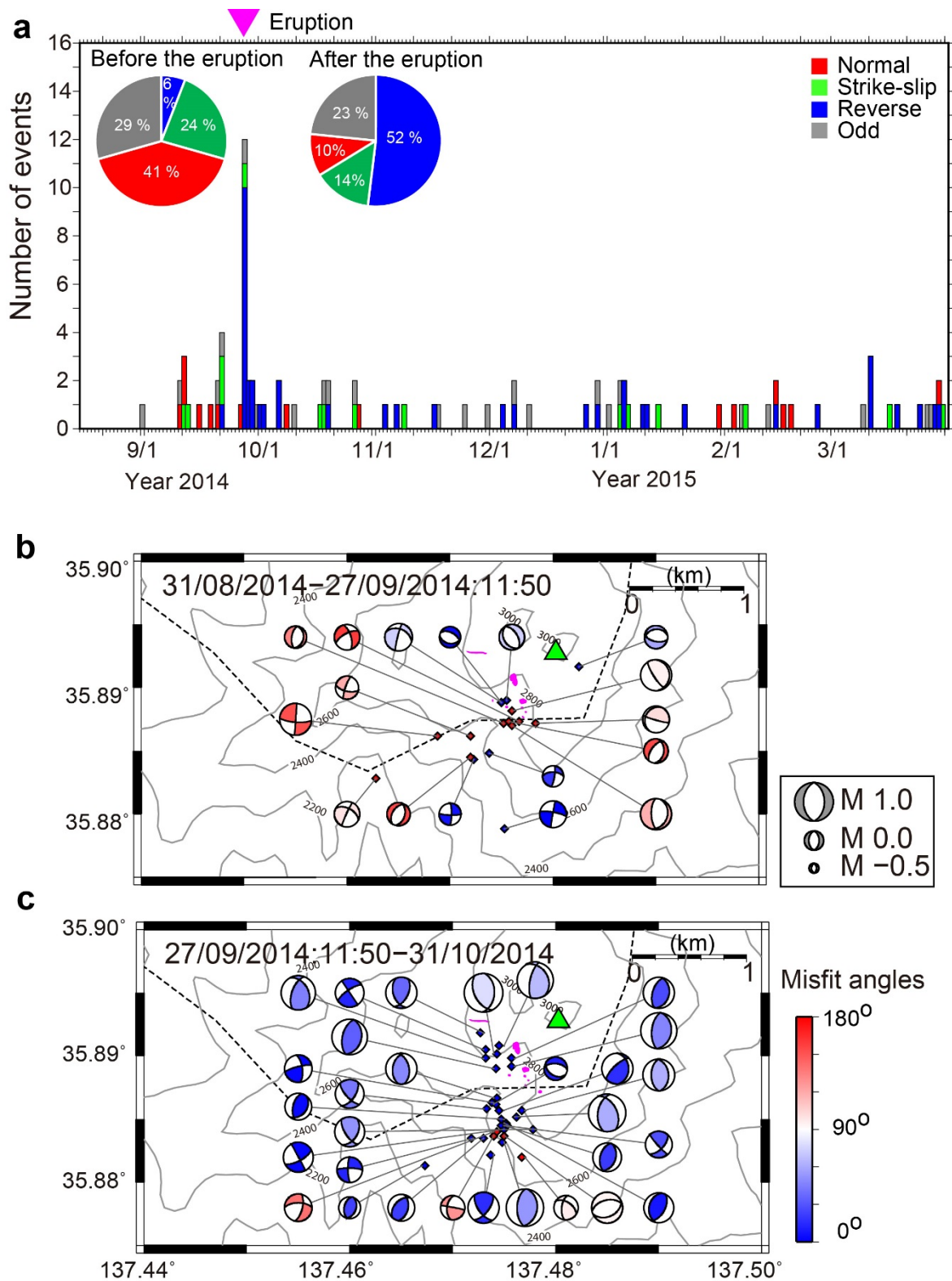


図 2. 地震のメカニズム解の時間変化

- (a) 地震のメカニズム解の分類。断層運動のタイプを 4 つのグループ（正断層・横ずれ断層・逆断層・混合型）に分類したもの。
- (b) 噴火前の地震のメカニズム解（2014 年 8 月 31 日 - 2014 年 9 月 27 日 11:50）。□は震源を表す。メカニズム解は下半球投影の震源球で表現する。震源球の色は、ミスフィット角を示す。ミスフィット角が 90 度以上の地震の震源を赤い□で、90 度未満のものを青い□で表

す。緑の△は御嶽山の山頂を、桃色の点状の領域は国土地理院の調査による 2014 年の噴火火口を表す。

(c) 噴火後の地震のメカニズム解 (2014 年 9 月 27 日 11:50 - 2014 年 10 月 31 日)。詳細は(b)と同様。

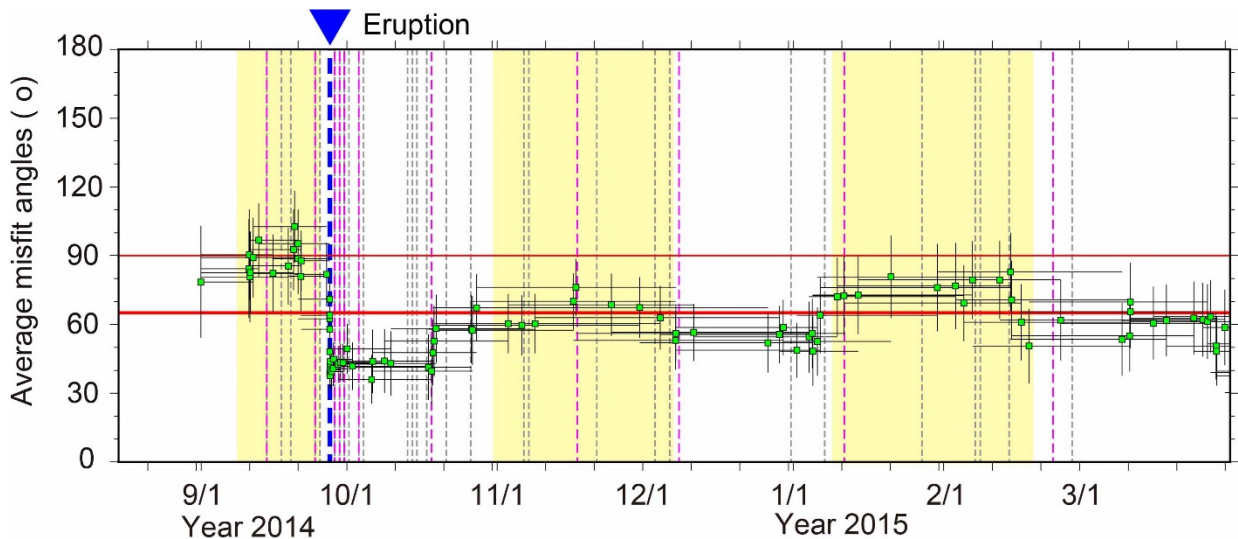


図 3. 火山性地震のメカニズム解のミスフィット角の時間変化

平均ミスフィット角 (■) は地震 10 個毎の移動平均として計算した、黒い横線は平均を取った期間を、黒い縦線は平均ミスフィット角の標準誤差を表す。太い赤線は、局所応力場の広域応力場からのずれを検出するための閾値 (65 度) で、これより大きなミスフィット角は局所応力場のずれが有意であることを示す。細い赤線は、局所応力場のずれが顕著であることを示す目安である。青い太点線は御嶽山の噴火、桃色及び灰色の点線は、気象庁の分析による BL 型及び BH 型地震が観測されたことを表す。

### 【成果の意義】

本研究では、火山性地震のメカニズム解と広域応力場の関係を分析することにより、火山直下の局所応力場の時間変化を広域応力場からのずれとして検出することを試みました。局所応力場のずれは火山活動が作り出す応力変動に他ならないため、局所応力場の時間変化を調べることは火山活動の監視に役立つ可能性がある、我々は考えています。

今後、本研究の結果を理論モデルや他種の観測データと比較することで、火山の噴火条件を (可能ならば定量的に) 理解し、噴火予測に貢献することを目指しています。

### 【用語説明】

(注 1) 火山性地震/火山構造性地震 :

プレート運動によって生じる応力が原因で発生する一般的な地震 (断層運動) と区別して、火山活動に関係して火山付近で発生する地震を火山性地震と呼ぶ。火山性地震の

中で、一般的な地震と同様に断層運動のメカニズムを持つものを火山構造性地震と呼ぶ。

(注 2) 地震のメカニズム解：

地震時の断層運動の様式を示す情報で、一般的に、断層面の向き（走向、傾斜角）と相対すべり運動の方向（すべり角）で特徴づけられる。相対すべりの方向は、断層の上側のブロック（上盤）の下側のブロック（下盤）に対するすべりベクトルの向きとして走向方向から反時計回りに測る。

(注 3) 正断層・逆断層・横ずれ断層：

断層運動のタイプは、断層を挟む 2 つのブロックの地表面に対する運動により、概ね 3 つのタイプに分けられる。上盤側がずり下がるタイプ、のし上がるタイプの断層運動を、それぞれ正断層、逆断層と呼ぶ。

2 つのブロックが水平方向にずれるタイプの断層運動を横ずれ断層と呼ぶ。

(注 4) 応力インバージョン法：

地震のメカニズム解などの応力場の情報を持つ観測データから、応力場を推定するデータ解析法のことをいう。

#### 【論文名】

“Monitoring eruption activity using temporal stress changes at Mount Ontake volcano”

T. Terakawa, A. Kato, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, K. Matsuhiro and T. Okuda

掲載誌：Nature Communications

DOI: 10.1038/ncomms10797

<http://www.nature.com/naturecommunications>