

( 1 ) 実施機関名：

九州大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震火山相互作用下の内陸地震空間ポテンシャル評価

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 5 ) 総合的研究との関連 :

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果 ( または観測実績 ) の概要 :

本課題参加者が H26-30 年度に実施した、建議研究 (2201: 地震・火山相互作用下の内陸地震・火山噴火発生場解明およびモデル化の研究)、次世代火山研究推進事業、地震調査推進本部活断層重点調査、科研費による実績が、本研究計画の立案の基礎となっている。内陸地震に関連する成果としては、比抵抗構造と熊本地震の関連 [1]、熊本地震大すべり域と地震波速度構造 [2]、比抵抗構造 [3] との関係、地震による非弾性変形が局所的に大きな領域の近傍で熊本地震が発生した可能性 [4]、偏差応力場の推定と九州のシアゾーンとの関係 [5, 6]。地震前応力場が地震時すべりを規定していること、地震断層が応力場の最適面でない場所でも大きく滑っていること [7]、内陸でのスロー地震発生の可能性 [8]、不均質地殻構造に基づくひずみ集中域形成過程の再現 [9] などの成果を得た。主に火山に関連する成果については、レシーバー関数による阿蘇火山下の低速度領域と深部低周波地震と地殻変動源との対応からのマグマ溜り推定 [10]。火山直下の断層の比抵抗イメージングとガス流体が地震を引き起こすモデルの提案 [11]、マグマ上昇経路とその周辺の地震との関連 [12] などの成果を得た。また化学的観測による地殻流体の通路となり得る断層帯の間隙率の評価方法の確立 [13] した。地下水に溶存する窒素-ヘリウム-アルゴンの三成分比の時間変化から、地殻流体の上昇に関する情報を連続的に得る方法を開発し運用を開始した。

[1] Aizawa K. et al., (2017), Earth, Planets and Space, 69:4.

[2] Shito A. et al., (2017), Geophys. Res. Lett., 44, doi:10.1002/2017GL074593.

[3] 相澤広記, (2017), 地球惑星圏・電磁気学会.

[4] Matsumoto et al. (2016), Earth, Planets and Space, 68:207

[5] Matsumoto et al. (2015), Earth, Planets and Space, 67:172

[6] Matsumoto (2016), Geophys. Res. Lett., doi:10.1002/2016GL070129

[7] Matsumoto et al. (2018), Geophys. Res. Lett., doi:10.1002/2017GL075725

[8] Ohzono M. et al., (2015), Geophys. J. Int., 200, 144-148.

[9] 湊 ( 2015 ), 北大修論.

[10] Abe Y. et al., (2017), J. Geophys. Res., 122, doi:10.1002/2016JB013686.

[11] Aizawa K. et al., (2016), Geology, 44:127-130.

[12] Aizawa K. et al., (2014), J. Geophys. Res., 2014, doi:10.1002/2013JB010682.

[13] Kuo, T., Tsunomori F., (2014), J. Petrol. Sci. Eng., 122, 700-704.

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

本課題では、内陸地震の発生場所や規模の評価を、多項目観測や室内実験を通じて調べ、支配的な要素や、要素間の関係性を見出すことで、評価手法の確立に道筋をつける。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

熊本 阿蘇火山と、北海道の屈斜路 - 阿寒カルデラ周辺を観測重点地域として内陸地震空間ポテンシャル評価の研究を行う。地震発生は、対象地域に働く応力場、断層周辺の力学的応答、地震を発生させる断層面の形状、断層の強度、破壊の開始や停止に対する流体の効果、流体の上昇の効果、という要素に規定されていると考え、以下のような手法に基づきそれぞれの要素の評価を行う。

応力場：地震活動がある領域についてはモーメントテンソルを用いて推定する。地震の起こっていない領域については周辺の応力状態、変形状態から推定し、応力場モデルの構築を行う。機動地震観測により地震活動が活発な地域では水平深さ方向とも 5°程度の分解能で推定する。さらに構造情報を入れて、数値計算により不均質な応力場の再現を試みる。応力場が不均質であることが示唆されている天草周辺の非地震帯、警固断層周辺で臨時 GNSS 観測、地震観測を強化し、不均質な応力場が形成されるメカニズムを推定する。

断層周辺の力学的応答：地震学的、電磁気学的構造、測地学的運動から周辺の地域の弾性的・非弾性的応答を推定し、数値計算により断層に載荷される応力（応力再配分）を推定する。一方、地震による非弾性変形や GNSS 観測による地表変位速度データをもとにして、定常変形や大規模地震による応答を求める。

地震を発生させる断層面：主に観測重点地域を対象に地表の活断層の分布、稠密地震活動から見出される震源の面上配列、広帯域 MT 調査による厚みをもった破碎帯（低比抵抗帯）の形状から推定する。

断層の強度：周辺の地震活動から見積られる間隙流体圧、応力場と断層面との関係、低比抵抗 - 低速度域、断層直上の温泉ガス分析から推定される空隙率、等を用い推定する。流体供給源の位置と化学観測からの流体経路を参考にして、断層の強度低下の可能性を検討する。

流体分布と、流体が地震の開始や停止に及ぼす影響：比抵抗構造、速度構造、減衰構造の 3 者を推定することにより地下の流体の蓄積場所と、水かガスかマグマかの判別、温度、粘性係数、さらには流体を蓄える亀裂の大きさを推定する。観測重点地域は 5～10 km 程度の解像度で応力場モデルと組み合わせ、歴史地震の発生した場所の地震ポテンシャルを検討する。さらに、断層端と流体分布の位置関係から、破壊が流体によって停止する可能性を検討する。流体周辺域とその他の地域に分け、初期破壊過程と最終的な地震の規模との関連を統計的に評価する。

流体移動の効果：火山周辺ではマグマの蓄積や粘性緩和によって周辺の応力場が変化し、地震発生につながることを考えられる。屈斜路 - 阿寒カルデラにおいては GNSS 観測などから歪の不均質場を明らかにするとともに、地震活動や火山活動との関連性について検討する。マグマが冷却結晶化する過程で析出した水を含む揮発性成分や、断層地下にもともと蓄積されている流体も移動することにより地震を誘発する可能性がある。熊本 - 阿蘇地域の温泉を対象に H<sub>2</sub>, 4He, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, 36Ar, 40Ar, CO<sub>2</sub>, 222Rn のモニタリング連続観測を行い、玄武岩質マグマ起源流体、安山岩質岩マグマ起源流体、大気の混合比を求め、その時間変化と地震活動との相関を検討する。さらに水の酸素水素同位体比チンチン澄澄 3He/4He/20Ne 比ケ 曠う ゼ昇塵 222Rn のサンプリングも定期的に行い、流体の起源を推定し流体供給路を推定する。また、起源の異なる流体が相互に混入することがあるかどうかを調べる。これによって、火山活動との相互作用や地震活動の活動様式について知見を得る。また、断層等でガスサンプリングを実施する。また、流体の起源についての別のアプローチとして、野外の露頭調査からは深成岩体（過去のマグマ溜り）周辺の含水鉱物の分布や、分析による化学組成、さらには冷却結晶化の室内実験において結晶化の進行と発生するガスの挙動を調べ、流体の振る舞いや、流体が深成岩体周辺に 100 万年単位で蓄積される可能性を検討する。

以上の手法により、過去に大きな地震が起きた地域をモデルケースとして、各要素を推定し、支配的な要素や、要素間の関係性を調べる。これにより内陸地震の空間ポテンシャル評価手法の開発を試みる。

平成 31 年度は以下の観測調査を行い、既存データと併せて解析を進める。

地震観測：熊本地震震源域、その南部延長部、天草非地震帯および阿蘇を含む領域で稠密地震観測を実施し、地震後応力場推定の精度を向上させるとともに、地震活動様式を詳細に把握することでこれらの時空間変化をとらえるためのデータ取得を開始する。また、既存データの処理解析を進め、布田川 日奈久断層帯の断層面形状、地震後応力場推定を進める。

測地観測：GNSS による熊本地震の余効変動観測を継続する。屈斜路 - 阿寒カルデラ周辺において連続 GNSS 観測のデータを収集、解析する。

化学観測：熊本 - 阿蘇地域の温泉（3 地点）を対象に H<sub>2</sub>, 4He, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, 36Ar, 40Ar, CO<sub>2</sub>, 222Rn の

モニタリング連続観測を開始する。

電磁気観測：鶴見岳周辺で10点規模の広帯域MT観測を実施する。

室内実験：アナログ物質を用いて冷却速度が、気泡形成の振る舞いに及ぼす影響を調べるための実験装置のデザインを行う。

重力観測：北海道屈斜路カルデラ・阿寒カルデラ周辺において、これまでの重力観測のデータを整理する。

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

相澤広記・松本 聡・松島 健・清水 洋・寅丸敦志(九州大学)

大園真子・高橋浩晃・橋本武志(北海道大学)

角森史昭(東京大学)

中尾 茂(鹿児島大学)

他機関との共同研究の有無：有

滋賀県立大：小泉尚嗣(化学調査分析)

名古屋大学：市原寛(MT観測)

京都大学理学研究科：柴田智郎(化学調査分析)

道総研地質研：岡大輔(重力観測)

産総研：名和一成(重力観測)、森川徳敏(化学調査分析)

(10) 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：九州大学地震火山観測研究センター

電話：092-802-4347

e-mail：aizawa@sevo.kyushu-u.ac.jp

URL：http://www.sevo.kyushu-u.ac.jp/

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：相澤広記

所属：九州大学地震火山観測研究センター