

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540457

研究課題名(和文)地震計アレイ観測による新燃岳の火山性微動時空間変動の研究

研究課題名(英文)Spatio-temporal characteristics of volcanic tremor at Shinmoe dake by seismic observation

研究代表者

松本 聡 (Matsumoto, Satoshi)

九州大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40221593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：2011年1月から火山活動を継続している霧島・新燃岳で、噴火の直前から噴火にかけての火山性微動の時空間的推移を詳細に解析した。2箇所の地震計アレイデータと周辺の地震観測網から、微動の大部分は新燃岳火口や地殻変動から推定されている圧力源の方向に近い場所からの発生を見出した。さらに、微動の発生メカニズムとして水平に近い開口型割れ目が火口直下と北部に存在することを示した。本研究では複数アレイ観測データの解析により火山性微動の詳細な時空間変化を検出し、広範囲に分布した周辺の観測点のデータと合わせることでマグマの存在位置や状態の変化を知ることができることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We investigated characteristics of the volcanic tremor occurred at Shinmoedake volcano, Japan. Detailed analysis for the seismograms obtained by two seismic arrays and stations deployed near the volcano provided the source locations and focal mechanism of the tremor. We observed changes in the seismic ray direction during a volcanic tremor sequence and inferred two major sources of the tremor from the slowness vectors of the approaching waves. One was located in a shallow region beneath the crater. The other was found in a direction N30W from the array, pointing to a location above a pressure source. The time evolution of the tremor suggests that instability occurs at the edge of the conduit. The fine volcanic tremor structure suggests an interaction between conduits located in both deep and shallow depths. Source models were also estimated from observed radiation pattern of the tremor at the seismic network. The sources were modeled by almost horizontal tensile cracks.

研究分野：地震学

キーワード：火山性微動 地震計アレイ 新燃岳

1. 研究開始当初の背景

火山性微動は噴火や火山活動に関連したマグマの挙動を示す指標である。世界の多くの火山でこれらの微動は観測され、マグマだまりと火口を結ぶ火動システムにおいて発生していると考えられている。この微動は通常の地震に比べて非常に長い継続時間をもち、比較的にクロマティックな振動によって形成されているという共通の特徴がある。この微動の時間空間的な変動を理解することは、火山噴火メカニズムを理解する上で極めて重要である。しかしながら、微動の時空間変動、特に一つの微動系列(数分程度)の詳細なソースの位置や発生特性などはほとんど明らかになっていない。

2. 研究の目的

2011年1月から活発な噴火活動を継続している霧島・新燃岳は爆発的噴火のほかに火山性微動活動が観測されている。地震計アレイ観測によって得られたデータから火山性微動は火口方向だけでなく深部マグマだまりの方向からも発生している可能性が見出された。本研究では現在再び活動が活発化すると考えられているこの火山において、噴火の直前から噴火にかけての微動の時空間的推移を得ることによって、火道内部のマグマの挙動について明らかにし、噴火に至る物理プロセスを描くための足掛かりとすることを目的とする。具体的には以下の項目について進める。

- (1) 2か所の地震計アレイを設置し、現在のアレイの口径を大きくし、空間分解能を向上させることで微動源の発生位置を特定する。
- (2) 噴火直前の過程および、終息の過程に発生すると考えられる微動の時間的変動を明らかにする。
- (3) 微動の波のタイプ(P、S、表面波)および周期を詳しく調べることで発生メカニズムを求める。
- (4) 時空間的な変動からマグマだまりと火口を結ぶ火道を通じたマグマ輸送過程をモデル化する。
- (5) さらに、時間的な変動をモニタリングするための方法開発に取り組む

3. 研究の方法

研究は、(1) 処理方法の改善による分解能の向上、(2) 複数アレイによる微動源特定、(3) データ処理装置の導入とアレイ観測データ蓄積、(4) 微動発生源のモデル化を行うことによってすすめる。微動特性を把握するために、新燃岳火口から南西約3kmに設置している地震計アレイを再配置し、新たに北側へ地震計アレイを展開する。この2か所のアレイによって微動発生位置を特定する。このアレイのセンサーを3成分地震計にすることによって、波のタイプの特定を行う。さらに、連続収録を行うためにデータ回収、処理を行うとともに、現在用いている方向推定

法を高度化させて、位置特定を客観的に行えるツールを開発する。また、モニタリングのために行うべき処理を検討し、開発に取り組む。

4. 研究成果

・地震計アレイによる火山性微動の詳細位置決定

霧島火山においては2011年1-3月にかけて微動がもっとも活発に発生した。本研究によってさらに地震計アレイを設置し、計2箇所を観測を行った。しかしながら、その後微動の活発化が起らなかった。このため、複数アレイによる高分解能微動位置決定は、1月から設置されている九州大学による地震計アレイに加え、名古屋大学と共同研究するこ

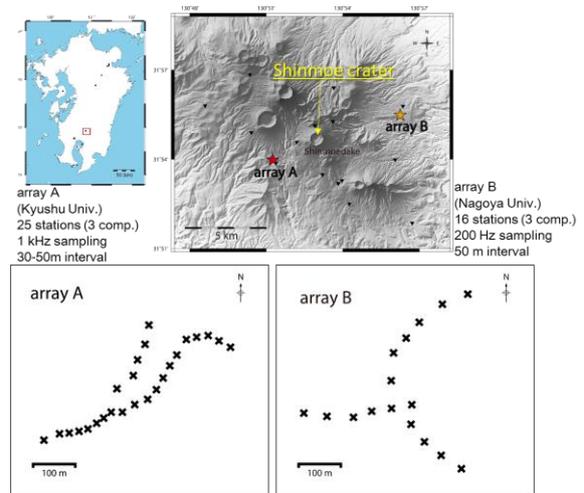


図1. 新燃岳近傍に設置された地震計アレイ位置図(上)および形状。下図中のxは地震計位置を示す。右上図の▼は周辺に展開されている地震観測点(東大、九大、防災科研、気象庁による)。

とにより、名古屋大学アレイのデータを同時に解析することで研究を進めた。図1に2つの地震計アレイ位置とその形状を示す。2つのアレイによって同時に記録されている2011年2月2日20:40からの信号を詳細に解析した。アレイごとに直下の構造不均質の

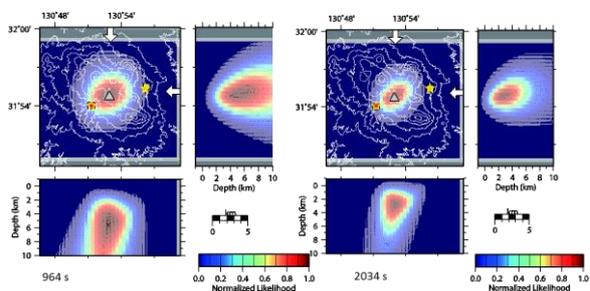


図2. 火山性微動源の推定位置図。赤色が尤度の高い部分を示す。2つの図は異なる時間における火口を微動源と推定されたものを示している。図は平面図および東西、南北断面図を示す。図中の△は火口位置、★はアレイ位置を示す。平面図中の白線は地形の等高線を示している。

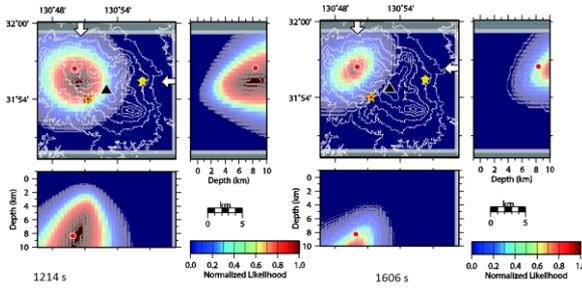


図3. 火山性微動源の推定位置図。図2と同じものを示す。ただし、微動源が火口北西側に得られている時間帯の推定結果を示している。図中の●は地殻変動観測により推定されたマグマによると考えられる圧力源位置。

影響を取り除いた後、微動の卓越周波数である2 HzにおいてMUSICスペクトラム解析を行った。得られた地震波の到来方向と推定誤差から、震動源の位置の空間尤度分布を推定し、これらを2つのアレイで結合することによって微動源の位置特定に成功した。主な微動の発生位置は火口直下および火口北西であることが明らかになった(図2、3)。

火口北西に位置する微動源は新燃岳噴火前後に観測された地殻変動から求められた、圧力源の位置とほぼ一致し、マグマが地下数キロと火口直下において存在し、びどうをはっせいさせていることを示唆している。さらに、これらは高々1時間程度の一連の微動の中で起こっている微動位置変化で、マグマの移動もしくは火道における短時間の圧力変動が上端、下端で発生していると考えられるモデルを支持している。

・微動の波動特性および発生メカニズム

微動源はP、S波および表面波を励起していることがアレイ解析によって明らかになった。特に、火口直下の微動源からは顕著なS波および表面波が発生している。このアレイでの波動分解は3成分地震計を設置していることから可能であるが、数秒程度の信号解析からは十分な分解が出来ない可能性がある。

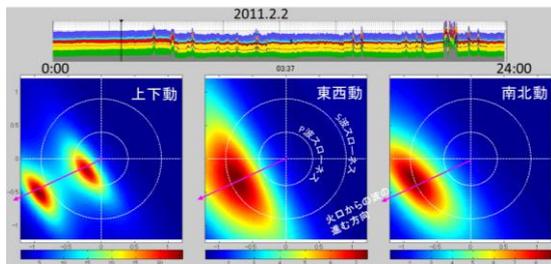


図4. 2011年2月2日3時37分の火山性微動(アレイa)の伝播する方向。左から上下、東西、南北動地震計による解析結果。カラースケールの赤い部分の信号が強い。縦軸は南北、横軸は東西伝播方向を示す。ピンクの矢印が火口方向から伝播する波の方位を示す。上図は周囲の観測点における2月2日24時間の微動振幅値を示す。色の違いは観測点の違いである。

そこで、分解能向上のために微動が比較的正常状態(インパルス的な微動のない)を持った時間帯で2分間のデータを重合してMUSICスペクトラム解析を行った。その結果を図4に示す。上下動地震計の解析結果には明瞭な2つの信号のピークが見られる。これらは水平動では見ることが出来ない。この2つの信号はスローネスから考えるとP波および表面波である。2つの信号は同じ火口方向から到来している。この結果はP波および表面波が同時に発生していることを示しており、微動がこのように成分分解された初めての例である。

前述のように、微動源位置が明らかになったことから、その発生メカニズムの推定を行った。周辺の地震観測網(図1)の3成分地震波形の振幅を詳細に解析した。爆発地震で得られた地震記象の表面波部分を参考にして、各観測点の振幅増幅特性を求めた。その特性を補正した、振幅空間分布は等方的でなく、単純な球状震源では説明できないことが明らかになった。従来、このような観測点を用いた振幅解析では等方輻射を仮定していることが多いが、ここでは微動源位置がわかっていることから、補正を行い、振幅分布から

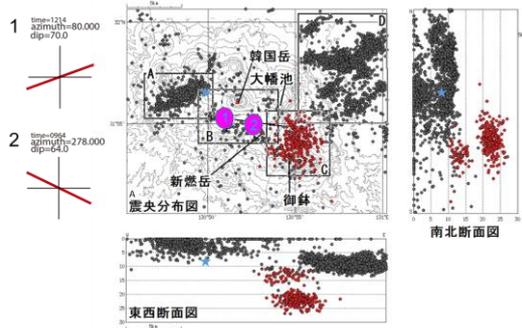
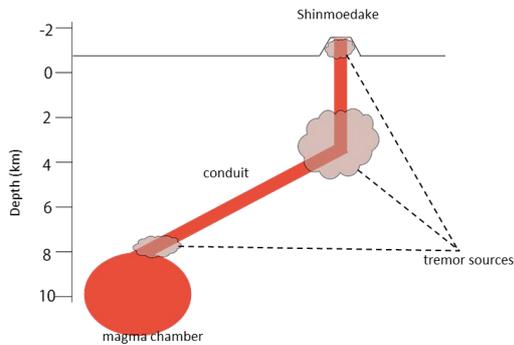


図5. 火山性微動源の開口型クラック方向。左図の1、2は右図中の微動源●(火口北西、火口直下)における南から見たクラックの傾斜。右図は地震活動(1998年1月1日~2013年3月10日:気象庁一元化震源)を示す震源分布。黒丸は震源、赤丸は南東部の深い地震の震源を示す(気象庁による火山噴火予知連絡会資料(2012)に加筆)。

メカニズムを推定することが出来る。振幅分布の特徴としては、非等方性以外に、震源直情での振幅が大きくなっている特徴がある。また、微動の継続時間は数分から数時間にわたることから、自然地震で見られる断層運動では十分説明できない。これらから、震源も出るとして開口割れ目をモデルとして当てはめた。開口割れ目の方位と傾斜角をグリッドサーチによって求めた。微動源が火口にある場合、北西にある場合の2つについて解析を行った。その結果を図5に示す。この図で見られるとおり、微動源のクラックは水平に近い傾斜を持ち、火口北西の微動源は火口方向に向かつて浅くなる形状を示す。これは微動源が火道を示している可能性を示唆して



いる。

図 6. 新燃岳へのマグマ供給系模式図。マグマ溜り (magma chamber) は地殻変動から求められたものを概念的に示している。これから新燃岳に向けて火道 (conduit) がつながっていると考えられる。火山性微動はこの上端・下端でほぼ水平な開口型割れ目によって励起されていると考えられる。

以上のように、2つのアレイおよび周辺の地震観測点の記録を結合して解析することにより、火山性微動の位置・特性を把握することが出来ることが示された。図 6 に模式図を示す。その結果、新燃岳においては少なくとも 2 箇所の微動源で開口型割れ目が開閉もしくは振動することによって微動が発生することが明らかになった。これらは稼働の形やマグマの振る舞いの空間変化可能性を示唆するものである。

推定分解能やメカニズム推定は信号の品質に左右されることから、その観測には注意を要することが研究の中で明らかになった。また、本研究の中で開発された処理システムは、現在のところ準リアルタイムでの処理が可能である。今後の火山活動に本研究のシステムを導入して、地震学的モニタリングを映像、音波、温度、地殻変動などの信号と併合的に処理することが重要と考えられる。また、これらをさらに高度化・高速化することにより、火山活動のモニタリングに寄与することが出来ると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

Satoshi Matsumoto, Hiroshi Shimizu, TAKESHI MATSUSHIMA, Kenji Uehira, Yusuke Yamashita, Manami Nakamoto, Masahiro Miyazaki, Hiromi Chikura, Short-term spatial change in a volcanic tremor source during the 2011 Kirishima eruption, Earth, Planets and Space, 65, 323-329, 2013. 05.

[学会発表] (計 3 件)

中元真美, 松本聡, 山中佳子, 清水洋, 中道治久, 市原美恵, 及川純, 2011 年霧島火山の噴火に伴って発生した火山性微動の時空間的特徴, JPGU Meeting 2014, SVC50-10

5/2 11:30-45, 2014.

中元真美, 松本聡, 山中佳子, 清水洋, 中道治久, 地震計アレイによる霧島山新燃岳周辺で発生した火山性微動の発生源の時空間変化, JPGU Meeting 2013, SVC48-21, 5/20 9:30-45, 2013

市原 美恵, 松本 聡, 新燃岳 2011 年準プリニー式噴火前後の連続微動震源の相対位置変化, JPGU Meeting 2015, S-VC45 5/27 18:15-19:30

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 聡 (MATSUMOTO, Satoshi)
九州大学・大学院理学研究院・准教授
研究者番号: 40221593

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

清水洋 (SHIMIZU, Hiroshi)
九州大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号: 50178985
松島 健 (MATSUSHIMA, Takeshi)
九州大学・大学院理学研究院・准教授
研究者番号: 40222301