

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20310104

研究課題名（和文） リアルタイム火山爆発強度指標の決定に関する研究

研究課題名（英文） Study on real-time volcanic explosivity index

研究代表者

井口 正人（IGUCHI MASATO）

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：60144391

研究成果の概要（和文）：桜島、諏訪之瀬島、スメル火山の爆発的噴火について火山観測に基づき即時的に決定可能な火山爆発強度指標を提案した。火山爆発強度は独立した2つの指標である噴出物総量と爆発の瞬発力から決められる。爆発の瞬発力は爆発発生後に地震波のモーメント、空気振動振幅、ひずみステップ量から即時的に決めることができる。地盤変動の初期変動パターンからは最終変動量と総噴出物量を予測することが可能である。

研究成果の概要（英文）：Volcanic Explosivity Index determined immediately after the explosive eruptions are proposed based on volcano observation at Sakurajima, Suwanosejima and Semeru volcanoes. Total amount of ejecta and initial velocity of eruption are available to Volcanic Explosivity Index and they are independent of each other. Initial velocity of eruption can be determined by moment of explosion earthquake, amplitude of air-shock and amount of strain-step. Total amount of ground deformation and total volume of eject can be estimated from temporal change of ground deformation of a few seconds from the beginning of explosion.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2009年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2010年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
年度			
年度			
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：火山噴火

1. 研究開始当初の背景

火山災害予測のためには、地震のマグニチュードのような指標が火山噴火にも必要である。これまで火山爆発の規模を表現するためにVEI (Volcanic Explosivity Index; Newhall and Self, 1982) がしばしば、用いられてきた。これは、火山噴火に伴う噴出物の総量から決められるものであり、頻度は小さいが大規模な噴火であれば、有効な指標である。と

ころが、地震のマグニチュードが地震発生後まもなく決められるのに対し、VEIは、総噴出物量から決められることから、噴火が終了しないと決められない指標であり、噴火後の災害評価を行う上では必要な指標ではあるが、準リアルタイムに規模を評価し、火山災害の防止を図るためには遅速過ぎてあまり役に立たない。また、VEIは頻繁に発生する、より小規模な噴火では、噴火後であっても適当な指

標とは必ずしもいえない。すなわち、噴出物の総量は必ずしも大きくないが、強い空気振動を伴い、噴石を遠方まで飛散させる爆発的噴火や、強い空気振動は伴わないが、数時間にわたって火山灰を連続的に放出する噴火には適用することは適当でない可能性がある。これは、地震のマグニチュードのように噴火様式によってはスケーリング則が必ずしも成り立っていないためである。

常時得られ、リアルタイム性に優れている地球物理学的観測から得られるデータは指標を決定することができる可能性がある。

2. 研究の目的

これまでの研究から火山爆発の規模のリアルタイム指標になりうるパラメータは、(1)爆発地震のシングルフォースまたはモーメントの大きさ、(2)爆発に伴う地盤変動を引き起こす圧力源の強度、(3)爆発に伴う空気振動のスペクトルや強度である。(4)火山ガス放出量（気体噴出物量）および火山灰放出量（固体噴出物量）はこれまでのVEIに相当する量である。

本研究では、爆発が頻繁に発生する桜島、諏訪之瀬島、インドネシアのスメル火山を対象に統計的な議論にも十分耐えうるだけの爆発事例を蓄積したうえで、VEIやシングルフォースの強度のように1つのパラメータだけで爆発規模を評価するのではなくて、上記4種類のパラメータの相互関係と独立性を調べた上で、リアルタイム爆発規模指標を提案する。

3. 研究の方法

桜島、諏訪之瀬島、スメル火山の3つの火山における爆発的噴火を地球物理学的手法により観測し、爆発地震のモーメント、空気振動振幅、地盤変動量、噴出物量の4つのパラメータを抽出し、その頻度分布を調べた。次に、この4つのパラメータについてその相互関係を調べ、独立性と依存性を検討した。そのうえで、爆発強度となりうるパラメータを決定した。最終的にリアルタイムパラメータとするための手法を提示した。

4. 研究成果

爆発に伴う地盤変動を引き起こした圧力源の収縮体積変化量と火山灰放出重量には正の相関があり、おおよそ収縮体積量 (V , 単位 m^3) と放出火山灰重量 (M , 単位 ton) の関係は次のように近似できる (図1)。

$$\begin{aligned} M &= bV \\ b &= 5.0 \end{aligned} \quad (1)$$

次に、収縮体積変化量と空気振動の振幅の関係を検討した。両者の関係を図2に示す。両者の間には相関は認められない。収縮体積

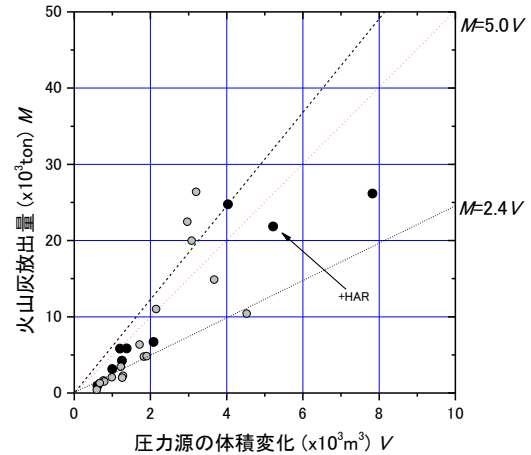


図1 爆発に伴う地盤変動を引き起こした圧力源の収縮体積変化量と火山灰放出重量の関係。2010年12月の爆発ごとに示す。

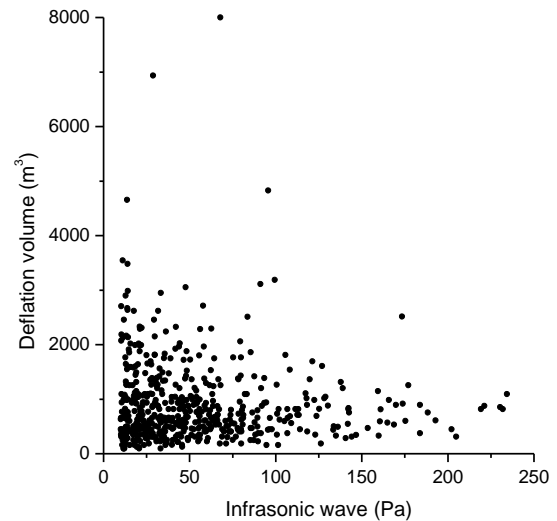


図2 爆発に伴う地盤変動を引き起こした圧力源の収縮体積変化量と空気振動の振幅の関係

量の上限をみると空気振動振幅の小さい方が収縮体積量は大きくなっているが、空気振動振幅が大きいものは収縮体積量が小さく、空気振動振幅が200Paを超えると収縮体積変化量は1100 m^3 以下と小さくなっている。

桜島の昭和火口における爆発に伴う爆発地震のモーメント量と空気振動の振幅の関係を図3に示す。空気振動振幅が小さくてもモーメント量の大きいものもあるが、おおよそ正の相関があることが分かる。

空気振動振幅とひずみステップ量との関係を図4に示す。ひずみ量は有村観測坑道における伸縮計の火口方向の成分である。空気振動の振幅が大きいほど、ひずみステップ量も大きくなる傾向にあるが、その相関はあまり

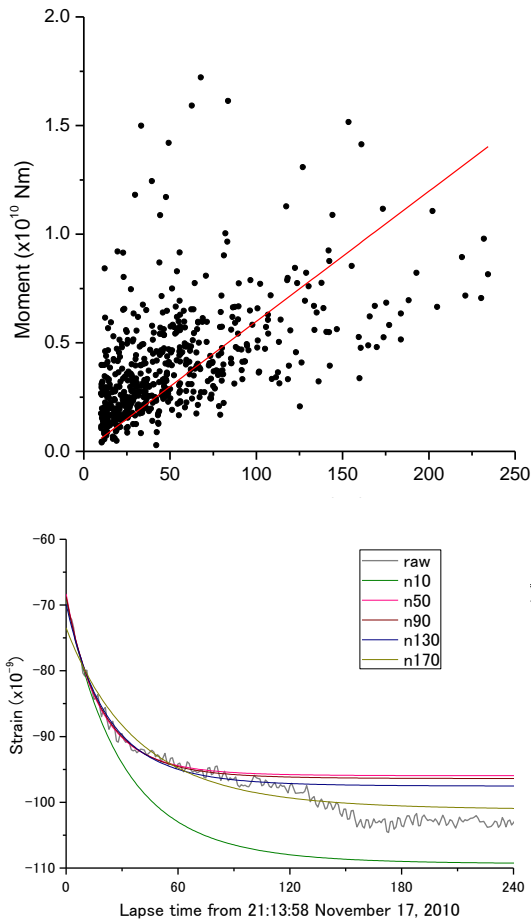


図5 ひずみの時間変化とひずみ変化の予測。N10は爆発開始から10秒間のデータを用いて予測したひずみ変化。

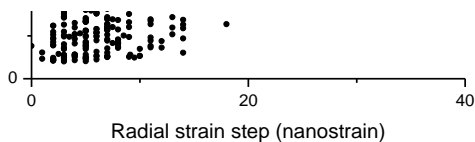


図4 昭和火口の爆発に伴う空気振動の振幅と地盤変動の初期にあらわれるひずみステップの関係。

良くない。昭和火口におけるほとんどの爆発の空気振動振幅は200Pa以下で、南岳の爆発と比べると小さい。南岳の爆発でも空気振動振幅200Pa以下では両者の間の相関は明瞭ではなく、その相関性が指摘できるのは200Paを超えてからである(Ishihara, 1990)。昭和火口の噴火では、強い空気振動を伴う爆発ではひずみステップ量は大きいことは指摘できる。

以上の解析結果から爆発に伴う観測量を2つのパラメータ群に分けられることが分かる。1つはこれまで使用されてきた爆発強度指標による噴出物量に基づく定義である。本

研究では火山灰量もしくは地盤変動の総量で代用できる量であり、両者の間には正の相関が認められる。

もう1つのパラメータ群は、爆発地震のモーメント、空気振動振幅、ひずみステップ量であり、爆発の初期圧力変化に依存する量である。ところが、図2に示すように火山灰放出量と空気振動の振幅の間に相関は認められない。したがって、噴出物総量に基づくパラメータ群と爆発の初期圧力に依存するパラメータ群の間には関係がないことになる。したがって、爆発強度はこの2つの指標で表す必要がある。本研究で目的とするリアルタイム爆発指標の提唱のためには、爆発の初期圧力に依存するパラメータは爆発直後に得られるので、そのまま使用することができるが、噴出物量の総量によるパラメータは噴火終了後、あるいは地盤変動停止後にしか得ることができない。

そこで、地盤変動の初期パターンから最終的な変動量を推定することを試みた。Nishimura(1998)は爆発直前に火山体に蓄積されたマグマが開放される時の圧力変化を理想気体と非圧縮性流体の2つの極端なモデルによって定式化している。地盤変動を引き起こす圧力源の形状や深さが変化しないとすれば、ひずみ変化は圧力変化をそのまま表すことになる。そこで、ひずみの時間変化から最終変動量を予測した。収縮ひずみ開始からのデータ数を変えて、Nishimura(1998)の理想気体モデルを適用した場合の、ひずみ変化を図5に示す。この例では10サンプル(10秒)のデータからでも予測される最終ひずみは実ひずみ変化量の122%であり、22%の誤差で最終ひずみを予測できた。30サンプルを用いた場合は、最終ひずみの90%のひずみを予測し、誤差は10%となった。データ量が増えれば、予測精度は向上する。収縮ひずみ開始から約180秒後に収縮はほぼ停止しており、収縮時間の1/6のデータを用いて、10%の誤差の予測ができたことになる。

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10件)

- ① Yokoo, A. and Iguchi, M., 2010, Swelling of Crater Bottom as a Part of Eruption Processes at Suwanosejima Volcano, Japan: Using an Alternative Signal of Infrasound Wave Recorded on Eruption Movie, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 196, 287-294, 査読有.
- ② 井口正人・横尾亮彦・為栗健, 2010, 桜島昭和火口噴火の規模について, 京都大学防災研究所年報, 第53号B, 233-240,

査読無.

- ③ Yokoo, A., Tameguri, T. and Iguchi, M., 2009, Swelling of a lava plug associated with a Vulcanian eruption at Sakurajima volcano, Japan, as revealed by infrasound record: case study of the eruption on January 2, 2007, Bull. Volcanol., 71, 619-630, 2009 doi 10.1007/s00445-008-0247-5, 査読有.
- ④ 横尾亮彦・為栗 健, 2009, 地球物理観測による桜島昭和火口の噴火プロセスへの一考察, 京都大学防災研究所年報, 第52号B, 309-317, 査読無.
- ⑤ Watada S., 2009, Radiation of acoustic and gravity waves and propagation of boundary waves in the stratified fluid from a time-varying bottom boundary, J. Fluid Mech., 627, 361-377, 査読有.
- ⑥ Kuswandarto, H., Iguchi, M. and Hendrasto, M., 2008, Automatic and real-time processing of tilt records for prediction of explosions at Semeru volcano, East Java, Indonesia, Indonesian Journal of Physics, 19, No.3, 69-74, 査読有.

〔学会発表〕(計 39 件)

- ① Nishimura, T., Iguchi, M., Kawaguchi, R., Surono, Hendrasto, M. and Rosadi, U., Volcano Inflation prior to Gas Explosions at Semeru Volcano, Indonesia, Fall meeting of American Geophysical Union, 2010年12月17日, サンフランシスコ市, 米国.
- ② Shimano, T., Yokoo, A., Iguchi, M., Miki, D., Continuous Monitoring of Ash fall from Showa Crater by Time Series Sampling at Sakurajima Volcano, SW Japan, Fall meeting of American Geophysical Union, 2010年12月17日, サンフランシスコ市, 米国.
- ③ 嶋野岳人・井口正人・横尾亮彦, 活動的火山におけるマグマの時系列解析【依頼】, 日本鉱物科学会2010年年会・総会, 2010年9月25日, 松江市.
- ④ Yokoo, Akihiko, Iguchi, Masato, Tameguri, Takeshi, Yamamoto, Keigo, Prior Processes of Outburst of Explosive Eruption: A case study for Sakurajima Volcano, Japan, Cities on Volcanoes 6, 2010年6月1日, テネリフェ島, スペイン.
- ⑤ 西村太志・井口正人・太田雄策・喜多村陽・青山裕・鈴木敦生・及川純・中道治久・八木原寛・為栗健, 諏訪之瀬島火山

火口近傍における傾斜観測, 地球惑星科学連合大会, 2010年5月24日, 千葉市.

- ⑥ 綿田辰吾・他, 桜島火山の爆発的噴火後に見られる低周波音波の方位に依存した振幅・伝播時間異常, 日本地球惑星科学連合大会, 2010年5月24日, 千葉市.
- ⑦ Shingo Watada, et al., Azimuthal Traveltime and amplitude anomalies of tropospheric and thermospheric acoustic waves from the explosive eruption of the Sakurajima volcano in Japan, European Geosciences Union General Assembly, 2010年3月7日, ウィーン市, オーストリア.
- ⑧ 井口正人・横尾亮彦・為栗 健, 桜島昭和火口噴火の規模について, 平成 21 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2010年2月24日, 宇治市.
- ⑨ 嶋野岳人・井口正人・横尾亮彦, 自動火山灰採取システムによる桜島火山の岩石学的噴火活動モニタリング, 地球惑星科学連合大会, 2009年5月16日, 千葉市.

〔図書〕(計 1 件)

- ① T. Nishimura and M. Iguchi, Kyoto University Press, Volcanic Earthquakes and Tremor in Japan, 2011, 253

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井口 正人 (IGUCHI MASATO)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号: 60144391

(2) 研究分担者

為栗 健 (TAMEGURI TAKESHI)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号: 70335222
八木原 寛 (YAKIWARA HIROSHI)
鹿児島大学・理工学研究科・助教
研究者番号: 60295235
嶋野 岳人 (SHIMANO TAKETO)
富士常葉大学・環境防災研究科・准教授
研究者番号: 70396894
綿田 辰吾 (WATADA SHINGO)
東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：30301112
及川 純 (OIKAWA JUN)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号：40262084

(3) 連携研究者

横尾 亮彦 (YOKOO AKIHIKO)
京都大学・理学研究科・助教
研究者番号：70420403