

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350493

研究課題名(和文) 低頻度大規模噴火のシナリオに関する研究

研究課題名(英文) RESEARCH ON SCENARIOS OF LESS-FREQUENT LARGE-SCALE VOLCANIC ERUPTIONS

研究代表者

中田 節也 (NAKADA, SETSUYA)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：60128056

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：低頻度・大規模噴火の推移に関する特徴を明らかにするため、カルデラ噴火を含む過去の噴火の世界のデータベースを検討し、規模の大きな噴火では特別のマグマ供給の仕組みがあるわけではないことが明らかとなった。本研究では、低頻度・大規模噴火の例として富士山の噴火シナリオを試作し、噴火の多様性を網羅する統合的な噴火シナリオを提案した。

研究成果の概要(英文)：To understand the eruption scenario of low-frequent and large-scale eruption, the database of eruptions in the world including caldera-eruptions was examined. There does not support the existence of a special magma supplying system for large eruptions. An eruption event tree for Mount Fuji was prepared as an example of large eruption, and the integrated event tree covering the eruption diversity were proposed.

研究分野：火山地質学

キーワード：噴火シナリオ 噴火事象系統樹 噴火頻度と規模 低頻度大規模噴火 ケルート火山

1. 研究開始当初の背景

カルデラ噴火のような低頻度大規模噴火の直前に大量のマグマが一気に地殻浅所に蓄積される最近の研究があり、我々がここ数十年は実施している地球物理・地球化学観測による火山監視によっても、カルデラ噴火のような規模の噴火の予測が可能であることが暗示される。

さらに、これまでのカルデラ噴火の地質学的な情報からは、突然カルデラ噴火が起こる訳ではなく、地質学的前兆現象が報告されている。先行現象からの噴火推移に規則性があるかどうかを明らかにし、その時間スケールを言及することによって、低頻度大規模噴火に至るいくつかの道筋をより定量的に描くことができると考えられる。

2. 研究の目的

人類はこれまでにカルデラ噴火を近代的な手法で観測した例はなく、どれぐらいのリードタイムでどのような前兆が起こるのかは不明である。一方、Tatsumi and Suzuki (2014) は、大規模噴火を起こすマグマの供給系が異なる可能性を示した。本研究では、火山弧から個々の火山のレベルまでのドメインでの噴火の規則性を再検討し、噴火シナリオ(すなわち噴火事象系統樹、あるいは噴火イベントツリー)の観点から、大規模噴火がより規模の小さな噴火とはどのように異なるのか、あるいは共通しているのかを検討し、低頻度大規模噴火の噴火シナリオをまとめることを目的とした。

3. 研究の方法

文献調査により、カルデラ噴火地域を含む様々な地域スケールでの噴火規模と頻度の関係の図を作成し、噴火の規模により規則性が異なるかどうかを検討し、マグマの蓄積が規模の噴火や火山で異なると考えなければいけないかどうかを考察した。また本研究実施中に、インドネシの東ジャワにあるケルト火山において2014年2月13日にプリニー式イベントを含む大噴火が発生した。後述のように、この噴火の規模の噴火は日本においてはここ100年間ほど起こっていない。そのため、この噴火の特徴や物理観測結果からみられる前兆現象について検討し、より規模の大きな噴火の先行過程の判断とする。

4. 研究成果

(1) 巨大噴火の履歴：VEI 7以上の大規模噴火の前兆現象については古記録で外国の例が知られている。VEI 6は1991年のフィリピン・ピナツボ火山噴火の例があり、ここでは噴火開始後に地震観測などが実施された。Nagaoka (1998) や 小林 (2006; 2012) の

南九州のカルデラ噴火に伴う噴出物の研究によると、カルデラを作る大規模火砕流のクライマックス噴火の前に噴出量が数 km³以上の規模のプリニー式噴火が先行する。タイムスケールは不明である。また、高温の規模の大きい溶岩流噴火が先行する場合も報告されている。岩石学的にはこれらの先行する溶岩の化学組成は後のクライマックス噴火の軽石と似ているが、厳密には異なる(例えば、関口・他, 2014)。高田・古川(2014)はピナツボ1991年噴火(VEI 6)、インドネシアのタンボラ1815年噴火(VEI 7)、及び、インドネシアのクラカタウ1883年噴火(VEI 6)の文献調査を行い、いずれも数カ月以上前から地震活動や広範囲の熱水活動があったことを示している。高田・古川は、タンボラの1815年噴火とVEI 6の噴火を起こしたインドネシアのリンジャニ火山について、噴出様式の時代変化を地質学的に調べ、クライマックス噴火に向かって数万年から数千年のスケールで、噴出率が低下し噴火の爆発度が増加していたこと、及び、マグマ組成がより分化していたことを示した。

(2) 富士山の噴火シナリオ試作：富士山では、約300年前に低頻度大規模噴火(VEI 5)を起こした。約300年間噴火を休止していながらも、依然として巨大噴火の発生の可能性のある富士山について、文献調査を実施し、富士山の予想される先行現象を含めた噴火のイベントツリーを試作した(図1)。ここでは、富士山の噴火履歴に基づき、噴火場所で異なる噴火様式や規模の噴火が起こると考えられるので、マグマの上昇場所を基準に分岐を想定した。噴火頻度は宮地(2009)のデータから作成した。

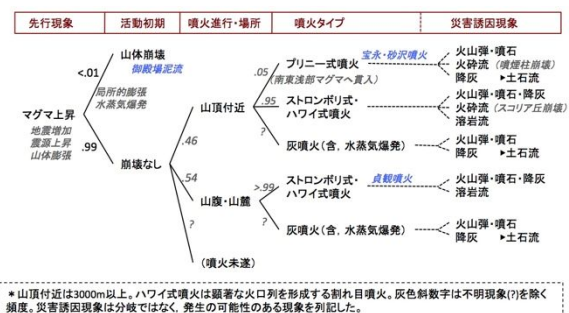


図1 富士山で試作した噴火事象系統樹。現地調査により噴火履歴が詳細にもとまりつつあるので発生頻度については今後見直す必要がある。

(3) 噴火規模と頻度の関係：大規模噴火の頻度の関係をスミソニアンデータベースを使って検討を行った。ここでは噴火の規模を火山爆発指数(VEI)とした。噴火マグニチュード(M)もあるが諸外国ではデータが十分でない。一方、スミソニアン(VEI)に関するデータは世界中にある程度充実しており、

数え落としについても適切な処理をすることによって最小限に防ぐことができる(中田, 2015)。数え落としがあると真値と異なる相関が得られマグマ供給について間違った考え方をする可能性がある。数え落としを除去し噴火頻度と規模の関係によると、噴火の規模と頻度の間には、地球、火山帯、火山地域や火山毎のレベルにおいて類似のべき乗則があることが明らかとなった(図2)。世界や島弧ごとにおける大規模噴火の頻度はそれ以下の噴火の頻度・規模の関係の延長にあり、大規模噴火の特別のメカニズムがあるわけではなく、通常の噴火の発生メカニズムの飛び抜けて大きいものが大規模噴火であると考えるのが正しいと思われる。ただし、南九州のカルデラ地域においてはより緩い勾配のべき乗則が得られる。世界や火山弧毎の大規模噴火と頻度の間には中～小規模と同様の勾配の相関が見られるため、南九州のデータ(Nagaoka, 1998 など)には、VEI 4~5 噴火に数え落としがあるためと考えられる(中田, 2015)。

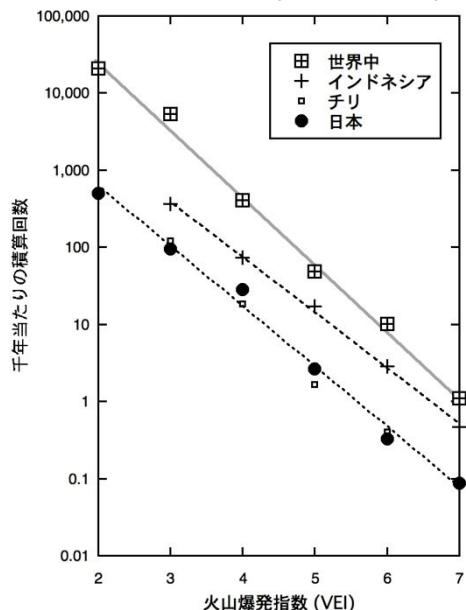


図2 世界や火山弧における噴火のVEIと頻度の関係。頻度は1000年あたりの噴火回数に規格化した積算値を示す(中田, 2015)。

また、日本弧とインドネシア火山弧、チリ火山弧と比較すると、日本では最近大きい噴火が起こっていないことが明瞭になる(図3)。すなわち、中噴火まではインドネシアやチリと似た頻度で発生しているのに対して、VEI 4以上の大噴火にあつては20世紀初頭から日本では発生していない。また、VEI 5の巨大噴火にあつては富士山や樽前山の噴火以降、約300年間発生していない。特に、日本において、ここ数百年間火山活動が低調になる適当な理由が考えられないので、統計的には、近い将来VEI 4以上の規模の大きな噴火が発生するものと考えられる。ここ数十年実施さ

れている噴火予知研究は、このような静穏な時期の火山活動を対象にしており、日本に原子力発電所などの恒久的施設が導入されたのもこの期間であり、規模の大きな噴火に対する対策が十分に考慮されなかった原因になったと思われる。

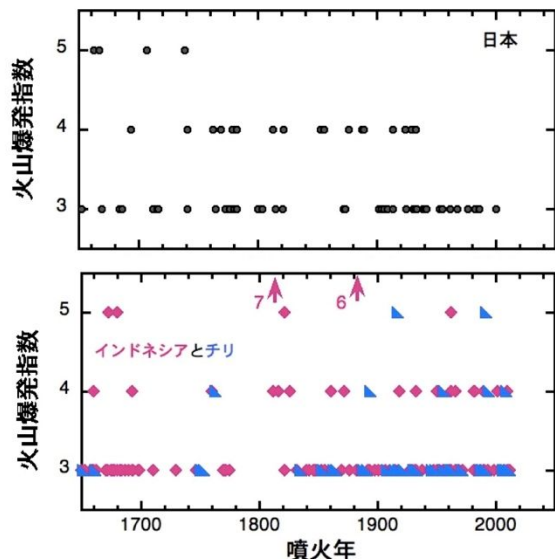


図3 日本列島における最近400年間のVEI 3~6噴火の発生状況。インドネシア、チリ火山弧との比較。

(4)ケルト火山の噴火:本研究中に、2014年2月にインドネシア東ジャワのケルト火山で発生した。この噴火はVEI 4であり、日本ではここ100年間経験していない大きな規模のものである。ケルト火山では20~30年に一度VEI 4ないし5の噴火を繰り返している。直近の噴火は2007~8年の比較的小規模のもの(噴出溶岩量 $3.5 \times 10^7 \text{ m}^3$)で、水蒸気噴火に引き続いて溶岩ドーム成長が山頂火口で半年以上続いた。火山性の地震がこの火山周辺で発生したため噴火の11日前に噴火レベルを1から2にあげた。さらに地震が頻発し3日前にはレベル3。さらに、噴火開始の90分前には、インドネシアの噴火警戒レベルとしては最高のレベル4に引き上げた。この火山では地殻変動観測がなされていない。

2014年2月13日の噴火は最初に火口を埋めていた溶岩ドームを吹き飛ばすブルカノ式噴火で開始した。これに伴って火口の北東に指向性の火砕サージが発生し、火口から約5 kmに達し、途中にある木々はなぎ倒された。その後噴煙柱が上空約20 kmまで到達し、噴火は2.5~3時間継続した。その間、噴煙柱が崩壊して、火砕流が連続的に発生し、火口壁の西側の低地だけでなく、北側や南側の尾根をも越えて流下した。総噴出量は溶岩換算で $0.18 \sim 0.3 \text{ km}^3$ に達する。Nakamichi et al. (2007)は噴火に先行した地震のエネルギーの増加は2007~8年噴火とは明らかに急激であったと報告しており、今回の噴火の噴出率

($2\sim 3\times 10^4$ m³/s) が後者に比べて大きかったことと調和的である。仮に火口径を 50 m とすると 2014 年噴火のマグマ上昇速度は 10 m/s となり、2007~8 年噴火の 0.0015 m/s (Siebert et al., 2011) よりはるかに大きい。(5) 統合的な噴火シナリオ提案：様々な活火山の過去における噴火シナリオを検討した。特に、噴火の途中に、水蒸気噴火やブルカノ式噴火の有無が、イベントツリーの枝を増やす結果となり、噴火推移の基本的な共通性をわかりにくくしている。ここでは、水蒸気噴火やブルカノ式噴火の発生の有無をサブルーチンの考え、基本的にはマグマの噴出率による分岐分類を行った(図 4)。これは既に、桜島火山において、マグマ噴出率が噴火の規模を規定しているとするモデルと共通している(例えば、中田, 2016)。噴火様式は、マグマの噴出率が基本的にコントロールしていること。火口周辺の環境によってマグマと地下水などの接触状況や脱ガス効率に依存して、水蒸気噴火やブルカノ式噴火を引き起こすという考え方である。ケルートの 2014 年噴火のように、すでに溶岩ドームで火口がふさいでいる場合は、ブルカノ式噴火で噴火が開始し、マグマの噴出率が大きいためにプリニー式噴火に移行する。また、ケルトでは 2007~2008 年噴火では、水蒸気爆発に引き続き溶岩ドーム噴火に終わったが、基本的にはマグマの噴出率が小さかったことが原因である。水蒸気噴火やブルカノ式噴火に伴って火砕サージがしばしば発生することが認められるが、条件によっては、それぞれの噴火で火砕サージが伴うことがあるとサブルーチンの考えれば、イベントツリーの主幹を変更する必要がない。噴煙柱崩壊やドーム崩壊による火砕流発生も同様である。すなわち、噴煙柱が立っている時の噴出率の低下か火口拡大、溶岩ドームや溶岩流の急斜面での重力崩落によってそれぞれ火砕流が発生する。このように条件を整えば起こる付随的な現象を、噴出率の違いで起こる基本的イベントツリーに考慮することによって、多くの噴火シナリオが説明されると考えられる。一方、図 1 の富士山のように、マグマの上昇場所を別の次元として表現することも可能であろう。

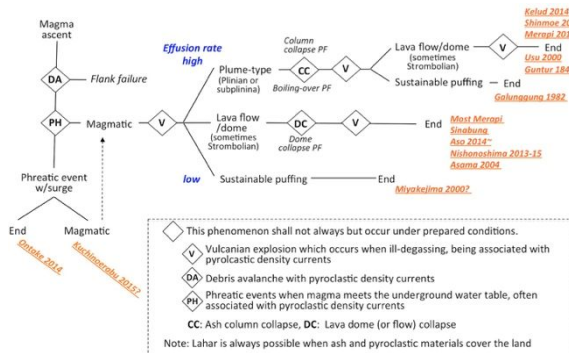


図 4 噴火の多様性を理解するための総合的噴火のイベントツリー。規模の大きな噴火はマグマ供給率が高い場合が起こる。

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 29 件)

査読あり

- Oikawa, T., Yoshimoto, M., Nakada, S., Maeno, F., Komori, J., Shimano, T., Takeshita, Y., Ishizuka, Y., and Ishimine, Y., Reconstruction of the 2014 eruption sequence of Ontake Volcano from recorded images and interviews. *Earth, Planets and Space*, **68**:79 doi: 10.1186/s40623-016-0458-5, 2016.
- Maeno, F., Nakada, S., Oikawa, T., Yoshimoto, M., Komori, J., Ishizuka, Y., Takeshita, Y., Shimano, T., Kaneko, T., and Nagai, M., Reconstruction of a phreatic eruption on 27 September 2014 at Ontake volcano, central Japan, based on proximal pyroclastic density current and fallout deposits. *Earth, Planets and Space*, **68**:82 doi: 10.1186/s40623-016-0449-6, 2016.
- Kaneko, T., Maeno, F., and Nakada, S., 2014 Mount Ontake eruption: characteristics of the phreatic eruption as inferred from aerial observations. *Earth, Planets and Space*, **68**:72 doi: 10.1186/s40623-016-0452-y, 2016.
- Nakada, S., Yamamoto, T., and Maeno, F. Miocene-Holocene volcanism. In Moreno, T. et al (eds), “*The Geology of Japan*”. Geological Society of London, 273-308, 2016.
- 中田節也, 噴火シナリオと確率論的予測. 火山, 61, 199-209, 2016.
- Nakada, S., Zaennudin, A., Maeno, F., Yoshimoto, M., and Hokanishi, N., Credibility of volcanic ash thicknesses reported by the media and local residents following the 2014 eruption of Kelud volcano, Indonesia. *Jour. Disaster Research*, **11**, 1, 53-59, doi: 10.20965/jdr.2016.p0053, 2016.
- Tanaka, H.L., Iguchi, M., and Nakada, S., Numerical simulations of volcanic ash plume dispels from Kelud volcano in Indonesia on February 13, 2014. *Jour. Disaster Research*, **11**, 1, 31-42, doi: 10.20965/jdr.2016.p0031, 2016.
- Maeno, F., Nakada, S., and Kaneko, T., Morphological evolution of a new volcanic islet sustained by compound lava flows. *Geology*, **44**, 4, doi:10.1130/G37461.1, 259-262, 2016.
- Yamamoto, T. and Nakada, S., Extreme Volcanic Risks 2: Mount Fuji. In Papale, P. et al. (eds), “*Volcanic Hazards, Risks, and Disasters*.” Elsevier Inc. 355-376,

- doi:10.1016/B978-0-12-396453-3.00014, 2015.
10. Shibata, T., Yoshimoto, M., Fujii, T., and Nakada, S. Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of Quaternary magmas from the Pre-Komitake volcano. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **110**, 65-70 doi:10.2465/jmps.141022e, 2015.
 11. 中田節也, 火山爆発指数(VEI)から見た噴火の規則性. *火山*, **60**, 2, 143-150, 2015.
 12. Brenna, M., S. Nakada, D. Miura, K. Toshida, H. Ito, N. Hokanishi, and S. Nakai, A trachyte-syenite core within a basaltic nest: filtering of primitive injections by a multi-stage magma plumbing system (Oki-Dozen, south-west Japan). *Contrib. Mineral. Petrol.*, **170**, 22, doi:10.1007/s00410-015-1181-0, 2015.
 13. Miyabuchi, Y., Maeno, F. and Nakada, S., The October 16, 2013 rainfall-induced landslides and associated lahars at Izu Oshima Volcano, Japan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **302**, 242-256, doi:10.1016/j.jvolgeores.2015.07.012, 2015.
 14. Nakamura, T., Nakada, S., Iwata, K., Ono, T., and Hamasaki, F., Safety assessment of nuclear power plant under volcanic phenomena - Background and technical basis of the revision of JEAG4625. *Journal of Nuclear Science and Technology*, doi: 10.1080/00223131.2015.1113147, 2015.
 15. Maeno, F., M. Nagai, S. Nakada, R.E. Burden, S. Engwell, Y. Suzuki, and T. Kaneko, Contrasting tephra dispersion and deposition from three subplinian explosions in 2011 at Shinmoedake volcano, Kushu, Japan. *Bull. Volcanol.*, **76**, doi:10.1007/s00445-014-0823-9, 2014.
 16. 中村隆夫・中田節也・岩田吉左・小野勤・濱崎史生, 火山現象に対する原子力発電所の安全確保について. JEAG4625改訂版の背景とその技術的根拠. *日本原子力学会和文論文誌*, **13**, 3, 75-86, 2014.
 17. 中田節也, 火山体掘削の科学的成果と今後の課題. *地学雑誌*, **122**, 2, 258-272, 2013.
 18. Nakada, S., Nagai, M., Kaneno, T., Suzuki, Y., and Maeno, F., The outline of the 2011 eruption at Shinmoe-dake (Kirishima), Japan. *Earth Planets Space*, **65**, 475-488, 2013.
 19. Suzuki, Y., Nagai, M., Maeno, F., Yasuda, A., Hokanishi, N., Shimano, T., Ichihara, M., Kaneko, T., and Nakada, S., Precursory activity and evolution of the 2011 eruption of Shinmoe-dake in Kirishima volcano—insights from ash samples. *Earth Planets Space*, **65**, 591-607, 2013.
 20. Maeno, F., Nakada, S., Nagai, M., and Kozono, T., Ballistic ejecta and eruption condition of the vulcanian explosion of Shinmoedake volcano, Kyushu, Japan on 1 February, 2011. *Earth Planets Space*, **65**, 609-621, 2013.
 21. Suzuki, Y., Yasuda, A., Hokanishi, N., Kaneko, T., Nakada, S., and Fujii, T., Syneruptive deep magma transfer and shallow magma remobilization during the 2011 eruption of Shinmoe-dake, Japan—Constraints from melt inclusions and phase equilibria experiments. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **257**, 257-204, 2013.
(査読なし)
 22. 中田節也, 火山による災害特性と防災技術 .1. 講座を始めにあたって. *地盤工学会誌*, **64**, 4, 53—54, 2016.
 23. 中田節也, 火山による災害特性と防災技術. 2. 日本の火山活動の概要と主な火山災害. *地盤工学会誌*, **64**, 4, 55-61, 2016.
 24. 外西奈津美・安田 敦・中田節也, ガラスビード法による蛍光 X 線分析装置(XRF)を用いた珪酸塩岩石の主・微量成分分析. *地震研究所彙報*, **90**, 1-14, 2015.
 25. 及川輝樹・山岡耕春・吉本充宏・中田節也・竹下欣宏・前野 深・石塚吉浩・小森次郎・嶋野岳人・中野 俊, 御嶽山 2014 年噴火. *火山*, **60**, 3, 411-415, 2015.
 26. 中田節也, 大噴火の溶岩流・火砕流はどれほど広がるか. *岩波科学*, **84**, 1, 48-52, 2014.
 27. 奥野 充・中田節也・前野 深・小林哲夫, 特集「火山噴火史解明のための露頭データベース構築の検討」. *火山*, **59**, 4, 227-228, 2014.
 28. Nakada, S., Ukawa, M., Newhall, CG., MucNutt, SR., Wright, TL., Ichihara, M., Geshi, N., Preface of Shinmoe-dake eruption in 2011. *Earth Planets and Space*, **65**, 473, 2013.
 29. Nakada, S., Characteristics of recent geohazards and roles of geoparks. *Rend. Online, Societa Geologica Italiana*, **28**, 117-120, 2013.
- [学会発表](計 15 件)
1. 中田節也・吉本充宏・前野深・他, インドネシアのシナブン火山で継続する溶岩ドーム/流噴火. 2015 年日本火山学会秋季大会(富山県富山市), 2015 年 9 月 30 日, B3-05.
 2. 前野深・中田節也・金子隆之, 西之島溶岩流の形態的進化とその支配パラメータ. 2015 年日本火山学会秋季大会(富山県富山市), 2015 年 9 月 30 日, B3-04.
 3. 前野・中田節也・吉本充宏・他, 溶岩ドームの破壊で始まったケルト火山 2014 年のプリニー式噴火. 2015 年地球惑星科学連合(千葉県千葉市), 2015 年 5 月 24 日, SVC48-08.
 4. 中田節也・吉本充宏・前野 深・他, Recent two distinct eruptions in Indonesia. AGU (サンフランシスコ, 米国), 2014 年 12 月 17

- 日。
5. 金子隆之・前野深・中田節也, 御嶽山 2014 年噴火: ヘリコプターからの噴火状況の観察。2014 年日本火山学会秋季大会 (福岡県福岡市), 2014 年 11 月 4 日, UP-08.
 6. 前野深・中田節也・金子隆之, 御嶽山 2014 年噴火および 1979 年噴火の噴出物。2014 年日本火山学会秋季大会 (福岡県福岡市), 2014 年 11 月 4 日, UP-07.
 7. 中田節也・前野深・金子隆之, 御嶽山 2014 年 9 月 27 日噴火の推移と今後の展開。2014 年日本火山学会秋季大会 (福岡県福岡市), 2014 年 11 月 2 日, UP-01.
 8. 中田節也, 火山噴火の規則性とその意味。2014 年日本火山学会秋季大会 (福岡県福岡市), 2014 年 11 月 2 日, A1-27.
 9. 前野 深・中田節也・吉本充宏・他, Tephra dispersal process of plinian eruption in 2014 at Kelud volcano, Indonesia. Cities on Volcanoes 8 Conference (Yogyakarta, Indonesia). 2014 年 9 月 11 日。
 10. 中田節也・吉本充宏・Zaennuding, A.・他 Geological and petrological monitoring of the 2010-14 eruption at Sinabung Volcano, Northern Sumatra, Indonesia. Cities on Volcanoes 8 Conference (Yogyakarta, Indonesia), 2014 年 9 月 11 日。
 11. 中田節也・吉本充宏・鈴木由希・他, Geological and petrological monitoring of the 2010-14 eruption at Sinabung Volcano, Northern Sumatra, Indonesia. AOGS(北海道札幌市)。2014 年 8 月 1 日。
 12. 前野深・中田節也・金子隆之, 西之島 2013-2014 年噴火における火山島の形成過程。2014 年地球惑星科学連合 (千葉県千葉市), 2014 年 5 月 1 日, SVC54-08.
 13. 吉本充宏・中田節也・Zaennudin A.・他, インドネシア・シナブン火山の活動履歴と噴火シナリオ。2014 年地球惑星科学連合 (千葉県千葉市), 2014 年 5 月 1 日, SVC54-01.
 14. 中田節也・鍵山恒臣・中川光弘・他, 有珠山の噴火シナリオの作成。2013 年地球惑星科学連合 (千葉県千葉市), 2013 年 5 月 1 日, SVC48-11.
 15. 中田節也・吉本充宏・Zaennudin A.・他, インドネシア, シナブン火山の最近の噴火活動。2014 年地球惑星科学連合 (千葉県千葉市), 2014 年 5 月 1 日, SVC55-P34.

〔図書〕(計 4 件)

1. Moreno, T. et al. (eds.), "The Geology of Japan," The Geological Society, London, 522p, 分担執筆, 2016.
2. 佐竹健治・中田節也, 他「地殻災害の軽減と学術・教育」学術会議叢書 22, 日本学術協力財団, 272p, 分担執筆, 2016.

3. 日本火山学会編「Q&A 火山噴火. 127 の疑問」ブルーバックス, 講談社, 254p, 責任編集, 2015.
4. Papale, P., Eichelberger, J.C., Nakada, S., Loughlin, S., and Yepes, H. (eds.), "Volcanic hazards, risks, and disasters," Hazards and disasters series. Elsevier, 505p, 分担執筆, 2014.

〔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 2 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:
 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

中田 節也 (NAKADA SETSUYA)
 東京大学・地震研究所・教授
 研究者番号: 60128056