

平成23年 5月31日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19310116

研究課題名（和文）カルデラ噴火準備過程解明のための火山地域地下構造とマグマ活動の研究

研究課題名（英文）Research on structure of volcanic field and related magma activity for understanding preparing process of caldera eruptions

研究代表者

鍵山 恒臣（KAGIYAMA TSUNEOMI）

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：50126025

研究成果の概要（和文）：

カルデラを生成するような大規模噴火は、マグマが地表に達することなく地下に滞留しやすい場において準備される。マグマの上昇を阻害する要因の1つにマグマからの脱ガスが考えられ、電磁気構造調査を実施した結果、マグマが地下に滞留しやすい火山周辺において火山ガスが帯水層を介して周辺に拡散していることを示唆する事実を得ることができた。温泉水の同位体水文調査では、火山地域のみならず非火山地域の特定の地域の温泉水にマグマからの脱ガスを示唆するスラブ脱水起源の成分が検知された。

研究成果の概要（英文）：

This research proposed large volcanic eruptions such as forming caldera are prepared in 'Geothermal activity Dominant volcanoes', because magma stagnates beneath volcanoes and maintains geothermal activity. Magma degassing is one of the important factors to control magma stagnation, and found significant wide area of high conductive zone around GD volcanoes. Analysis of chemical components and isotopic data of hot springs detected dehydrated fluid from subducting oceanic plate, indicating magmatic contribution.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
19年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
20年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
21年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

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，カルデラ，地下構造，大規模噴火，地熱活動，電磁気構造

1. 研究開始当初の背景

カルデラ噴火は、数十から数百立方キロメートルのマグマを噴出し、我が国はおろか人

類の存在を左右するほどのインパクトを与えるイベントであるが、その噴火がどのような準備過程を経て噴火に至るかはほとんど

研究されていない。その理由の1つは、カルデラ噴火の発生頻度が数千年に1度程度の低頻度であるために繰り返しの検証が困難で、研究効率が悪いことがあげられる。また、我が国におけるカルデラ研究は、主として地質学的・岩石学的研究によって噴火履歴や火砕流の流動、噴火をもたらしたマグマの性状が明らかにされてきた。この分野で我が国の研究は世界をリードしてきたが、噴火の予測に関する分野では、重力探査によってカルデラの基盤構造が明らかにされ、カルデラが陥没によって生成されたか、噴出物の埋積によって生成されたかという論争に焦点が集まり、カルデラを生成する原因となる噴火現象がどのような準備過程によって発生したかを研究されることはほとんどなかった。

近年、本研究者らは火山噴火予知の側面から火山活動を研究し、多くの異常現象を伴った後に噴火が発生する事例ばかりではなく、異常現象が起きても噴火しない、あるいは微弱な噴火で終わってしまう、噴火未遂の事例が多いことに注目し、これらの火山では地熱活動が活発であることが特徴としてあげられることを見出した。また、長い休止期を経た後に発生する大規模噴火において、複数のマグマが関与している事例もあることが明らかとなった。こうした観点から、火山噴火にいたる過程の多様性を整理してカルデラ噴火の準備過程を明らかにする研究の道筋を構築することが必要と考えられるようになっていた。

2. 研究の目的

カルデラを生成するような大規模噴火は通常の噴火の数千倍の規模であるが数千年に1度程度のまれな現象である。このような低頻度大規模現象の準備過程をどのように研究していくべきかという指導原理を確立することが重要であり、本研究では、そのために下記の作業仮説をたて、その妥当性を明らかにすること、仮説に基づく研究の筋道を明確にするための先導的事例研究を行うことを目標とした。

具体的には、(1)「火山活動には、噴火卓越型火山活動と地熱活動卓越型火山活動に代表される多様性が存在する。マグマの上昇が容易ではない火山においては、マグマが繰り返し地下に滞留するイベントが起き、新たに深部から上昇してきたマグマが滞留しているマグマに衝突して大規模噴火が生じる。」という仮説をたて、この仮説がどの程度普遍性を持つかを検証する、(2)「マグマの上昇を阻害する要因の1つは、マグマからの脱ガスである。」という仮説を裏付ける事実を明らかにする。(3)マグマからの脱ガスの程度を推定する手法を開発する。(4)マグマの上昇、脱ガスに対するテクトニックな影

響を明らかにする。に大別できる。

3. 研究の方法

上記目的(1)のために、多くの火山について噴火履歴と地熱活動状況、噴火に至る経緯などの資料を収集し、異常現象から噴火に容易に移行する火山、異常現象から噴火に容易に移行しない火山などの分類を行い、その特性が上記仮説と整合的であるかを検討した。上記(2)の目的については、地熱活動卓越型の活動を行っている火山周辺において電気伝導度構造分布を調査し、地熱活動の規模と高電気伝導度域の広がりとの関係から帯水層を介して火山体周辺に散逸することを示唆する結果が得られるか検討した。上記(3)の目的については、掘削コア試料を様々な既知の電気伝導度を持つ空隙水で満たした状態でバルクの電気伝導度を測定し、野外において観測される電気伝導度を、空隙水の電気伝導度と岩石の電気伝導度に分離する手法を開発した。上記(4)の目的については、高電気伝導度域の分布図を作成してテクトニクスとの関係を検討した。また、火山周辺および非火山地域の温泉水について同位体水文学的分析を行い、これらの温泉水にマグマから脱ガスした揮発性成分が含まれるかどうかを検討した。

4. 研究成果

上記(1)については、カルデラを生成するような大規模噴火の準備過程と通常の火山噴火の準備過程にどのような違いがあるかを多くの火山について検討した結果、上記の仮説、火山活動には、「噴火卓越型火山活動」と「地熱活動卓越型火山活動」に代表される多様性が存在し、マグマの上昇が容易ではない火山においては、マグマが繰り返し地下に滞留するイベントが起き、新たに深部から上昇してきたマグマが滞留しているマグマに衝突して大規模噴火が生じるという仮説に合致することが示された。(成果論文 13, 14, 19, 20 など)

上記(2)については、霧島、雲仙、阿蘇、伽藍岳火山等において電磁気構造調査を実施し、地熱活動卓越火山において火山ガスが帯水層を介して周辺に拡散していく状況を示唆する電気伝導度分布を捉えることに成功した。(成果論文 10, 11, 12, 18, 学会発表 7, 8, 12 など)

上記(3)については、観測される電気伝導度から帯水層を経て周辺に散逸される揮発性成分量を推定する手法を開発し、その手法を雲仙火山に適用して雲仙火山から効率的に脱ガスが起きていることを定量的に示すことに成功した。(成果論文 4, 17, 学会発表 2, 3, 4 など)

上記(4)については、阿蘇、霧島および両

火山に挟まれる中部九州の非火山地域において表層電気伝導度分布を調査した結果、火山および断層に沿う地域に高電気伝導度域が見られることが明らかとなった。また、温泉水・湧水の同位体水文調査を行った結果、スラブ脱水起源の流体がマグマに含まれて上昇している領域（火山地域の温泉）とスラブ脱水起源の流体のみが上昇している領域（非火山地域のある特定領域の温泉）、スラブ脱水起源の流体をほとんど含まない領域（非火山地域の温泉）に分けられることが明らかとなった。また、人吉盆地の温泉にはマントル起源の流体が含まれていることも明らかとなった。（成果論文1, 2, 7, 8, 15など）

これらの成果を検討した結果、カルデラ噴火の準備過程を研究する指導原理を提案することができた（成果論文3）。特に、今後、マグマから散逸される揮発性成分の量を本研究の事例に準拠して多くの火山で測定すること、噴火未遂に関連した揮発性成分の放出過程を明らかにしていくことが有益と思われる。

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26件）

1. Ohsawa, S., Sakai, T., Yamada, M., Mishima, T., Yoshikawa, S. and Kagiyama, T., Dissolved inorganic carbon extremely rich in mantle component of hot spring waters from the Hitoyoshi Basin located in a non-volcanic region of Central Kyushu, Japan, *J. Hot Spring Sci.*, 査読有, **60**, 410-417, 2011.
2. 酒井拓哉・大沢信二・山田 誠・三島壮智・吉川 慎・鍵山恒臣・大上和敏, 九州中央部の非火山地域に湧出する温泉の炭酸成分の起源, *温泉科学*, 査読有, **60**, 418-433, 2011.
3. 鍵山恒臣, カルデラ生成噴火の準備過程解明に向けた研究の展望, *地質学雑誌*, 査読有, **116**, 463-472, 2010.
4. Komori, S., Kagiyama, T., Hoshizumi, H., Takakura, S. and Mimura, M., Vertical mapping of hydrothermal fluids and alteration from bulk conductivity: Simple interpretation on the USDP-1 site, Unzen Volcano, SW Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 査読有, **198**, 339-347, 2010.
5. Ohsawa, S., Saito, T., Yoshikawa, S., Mawatari, H., Yamada, M., Amita, K., Takamatsu, N., Sudo, Y., Kagiyama, T., Color change of lake water at the active crater lake of Aso volcano, Yudamari, Japan: is it in response to change in water quality induced by volcanic activity?, *Limnology*, 査読有, **11**, 207-215, 2010.
6. Kanda, W., A heating process of Kuchi-erabu-jima volcano, Japan, as inferred from geomagnetic field variations and electrical structure, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 査読有, **189**, 158-171, 2010.
7. 鍵山恒臣・吉川 慎・宇津木 充・井上寛之, 由布岳・由布院盆地周辺の表層電気伝導度分布, 大分県温泉調査研究会報告, 査読有, **61**, 3-6, 2010.
8. 宇津木 充・鍵山恒臣・小森省吾, MT法を用いた鶴見・伽藍火山周辺における地下比抵抗構造調査, 大分県温泉調査研究会報告, 査読無, **61**, 29-34, 2010.
9. Takemura, K., Pyroclastic flows from Aso Caldera, central Kyushu, Japan-Review on their eruptive ages, *Annual Rep. Inst. Geotherm. Sci. Kyoto Univ.*, 査読無, **FY2009**, 6-10, 2010.
10. 宇津木 充・鍵山恒臣・小森省吾・井上寛之・橋本武志・小山崇夫・小川康雄・神田 径・山崎友也・長町信吾・石田憲久, 広帯域 MT 観測から推定される阿蘇カルデラの比抵抗構造, 第4回阿蘇火山の集中総合観測報告書, 査読無, 31-42, 2009.
11. 鍵山恒臣・宇津木 充・吉川 慎・井上寛之, 鶴見岳・伽藍岳の噴気活動と表層の電気伝導度分布に関する調査, 大分県温泉調査研究会報告, 査読無, **60**, 3-6, 2009.
12. 宇津木 充・鍵山恒臣・井上寛之・小豆畑逸郎・鈴木 淳, 伽藍岳及びその周辺域における比抵抗構造調査, 大分県温泉調査研究会報告, 査読無, **60**, 43-48, 2009.
13. 鍵山恒臣・森田裕一, カルデラ生成噴火の準備過程の理解に向けて, *月刊地球*, 査読無, **号外 60**, 5-7, 2008.
14. 鍵山恒臣, カルデラ生成噴火の準備過程—解明のための作業仮説の提案, *月刊地球*, 査読無, **号外 60**, 10-20, 2008.
15. 山田 誠・大沢信二・風早康平・安原正也・高橋 浩・他3名, 同位体水文学的手法による火山地下水流同系へのマグマ起源CO₂の混入過程の研究—阿蘇火山を例にして—, *月刊地球*, 査読無, **号外 60**, 114-120, 2008.
16. 青木陽介, 浅間山西部におけるマグマの貫入と火山活動, *月刊地球*, 査読無, **号外 60**, 38-44, 2008.

17. 小森省吾・鍵山恒臣・宇津木 充・寺田 暁彦・井上寛之・スリグトモ ワヒュー・田中良和・星住英夫, 雲仙火山北東部における浅部比抵抗域と熱水の関係, 火山2集, 査読有, **53**, 131-136, 2008.
 18. Srigutomo, W., Kagiyama, T., Kanda, W., Munekane, H., Hashimoto, T., Tanaka, Y., Utada, H. and Utsugi, M., Resistivity structure of Unzen Volcano derived from Time Domain Electromagnetic (TDEM) survey, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 査読有, **175**, 231-240, 2008.
 19. Kagiyama, T. and Morita, Y., First steps in understanding caldera forming eruptions, *J. Disaster Res.*, 査読有, **3**, 270-275, 2008.
 20. 鍵山恒臣, 噴火卓越型火山活動と地熱活動卓越型火山活動—新しい視点で見る火山活動—(招待), 地熱学会誌, 査読有, **30**, 193-204, 2008.
 21. 鍵山恒臣・宇津木 充・吉川 慎・寺田 暁彦, 伽藍岳・塚原の地熱活動の周辺域への広がりに関する調査, 大分県温泉調査研究会報告, 査読無, **59**, 35-39, 2008.
 22. Kanda, W., Tanaka, Y., Utsugi, M., Takakura, S., Hashimoto, T., A preparation zone for volcanic explosions beneath Naka-dake crater, Aso volcano, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 査読有, **178**, 32-45, 2008.
 23. Terada, A., Hashimoto, T., Kagiyama, T. and Sasaki, H., Precise remote-monitoring technique of water volume and temperature of a crater lake in Aso volcano, Japan: Implication for a sensitive window of volcanic hydrothermal system, *Earth, Planets and Space*, 査読有, **60**, 2008.
 24. 鍵山恒臣, マグマからの脱ガスと電磁気観測—休止期の長い噴火を考える, Conductivity Anomaly 研究会 2007 年論文集, 査読無, 67-74, 2007.
- [学会発表] (計 18 件)
1. Utsugi, M. and Kagiyama, T., The resistivity structure of Aso caldera, Japan, obtained by wide band magneto-telluric survey, 2010, Western Pacific Geophysics Meeting V43B-083, Taipei, 2010 年 6 月 22-25 日.
 2. 小森省吾・鍵山恒臣・ジェリー フェアリー, マグマの脱ガスが火山の電気伝導度構造に与える影響の定量的関係 (2) 熱の影響について, 地球惑星科学連合 2010 年大会 SVC061-04, 千葉市, 2010 年 5 月 23-28 日
 3. 小森省吾・鍵山恒臣・星住英夫・高倉伸一・三村 衛, 火山体浅部における, バルク比抵抗に対する熱水流体と熱水変質の寄与の定量的検討: 雲仙火山北東部 USDP-1 サイトを例に, 地球惑星科学連合 2010 年大会 SEM031-P12, 千葉市, 2010 年 5 月 23-28 日
 4. 小森省吾・鍵山恒臣, 火山体浅部における比低坑構造と熱水の比低坑の定量的関係, 日本火山学会秋季大会 B32, 小田原市, 2009 年 10 月 10-12 日.
 5. 鍵山恒臣, 九州における火山活動の多様性, 地球惑星科学連合 2009 年大会 V227-001, 千葉市, 2009 年 5 月 16-21 日
 6. 小山崇夫, 宗包浩志, 鍵山恒臣, 歌田久司 九州中部比抵抗構造の再解析 (2), 地球惑星科学連合 2009 年大会 V227-P004, 千葉市, 2009 年 5 月 16-21 日
 7. 宇内克成, 鍵山恒臣, 宇津木充, 神田 径, 小森省吾, 寺田暁彦, 吉川 慎, 霧島火山群・硫黄山周辺における熱的活動の縮退に対応した比抵抗構造の変化, 地球惑星科学連合 2009 年大会 V161-P004, 千葉市, 2009 年 5 月 16-21 日
 8. 神田 径, 宇津木充, 田中良和, 岡田靖章, 井上寛之, 小森省吾, 鍵山恒臣, 九重硫黄山周辺の浅部比抵抗構造, 地球惑星科学連合 2009 年大会 V161-P005, 千葉市, 2009 年 5 月 16-21 日
 9. 鍵山恒臣, カルデラ生成噴火の準備過程解明のための作業仮説の提案, 地球惑星科学連合 2008 年大会 V231-P001, 千葉市, 2008 年 5 月 25 日.
 10. 小山崇夫・宗包浩志・鍵山恒臣・歌田久司, 九州中部比抵抗構造の再解析, 地球惑星科学連合 2008 年大会 V231-P002, 千葉市, 2008 年 5 月 25 日.
 11. 藤井頌子・石川尚人・齋藤武士・杉本健・竹村恵二, 古地磁気方位と古地球磁場強度による鶴見岳山頂溶岩の年代推定の試み, 地球惑星科学連合 2008 年大会, 千葉市, 2008 年 5 月 28 日.
 12. 宇内克成・鍵山恒臣・吉川 慎・寺田暁彦, 霧島火山群・硫黄山における熱的活動の低下, 日本火山学会秋季大会, 島原市, 2007 年 11 月 18 日.
- [その他]
ホームページ等
<http://www.vgs.kyoto-u.ac.jp/staff/kagiyama/caldera/calderaindex.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鍵山 恒臣 (KAGIYAMA TSUNEOMI)
京都大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：50126025

(2) 研究分担者

竹村 恵二 (TAKEMURA KEIJI)
京都大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：00201608

大沢 信二 (OHSAWA SHINJI)
京都大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：30243009

神田 径 (KANDA WATARU)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号：00301755

小山 崇夫 (KOYAMA TAKAO)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号：00359192

青木 陽介 (AOKI YOSUKE)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号：90376624

(3) 連携研究者

()

研究者番号：