

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月15日現在

機関番号：82102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21740322

研究課題名（和文） 火山噴火データベースの構築及びそのデータを再現する火道流数値モデルの開発

研究課題名（英文） A database construction of volcanic eruption parameters combined with a numerical modeling of conduit flow dynamics

研究代表者

小園 誠史 (KOZONO TOMOFUMI)

独立行政法人防災科学技術研究所・観測・予測研究領域・地震・火山防災研究ユニット
・任期付研究員

研究者番号：40506747

研究成果の概要（和文）：火山噴火現象に関する多項目にわたる観測データを網羅したデータベースの構築と、地下の火道内における噴火中のマグマ上昇過程に関する数値モデルの開発を相補的に行い、観測データを再現しうるマグマ上昇過程を数値モデルによって系統的に調べた。その結果、噴火の推移予測において重要な、溶岩ドームを形成する非爆発的噴火から巨大な噴煙を形成する爆発的噴火への遷移過程が生じるメカニズムを実証的に明らかにすることができた。

研究成果の概要（英文）：A database construction of volcanic eruption parameters from multiple field observations was combined with a numerical modeling of magma ascent in a volcanic conduit; we systematically investigated the magma ascent process which reproduces the field observations using the numerical model. As a result, we have clarified the generation mechanism of transitional process from an effusive (lava dome) eruption to an explosive (column-forming) eruption.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：火山現象・噴火タイプ・火道流・多項目観測・数値モデル・データベース

1. 研究開始当初の背景

地球上で観測される火山噴火現象のタイプには、溶岩ドームの形成や溶岩流の流出を伴うような非爆発的なものから、巨大な噴煙の形成を伴うような爆発的なものまで、非常に幅広い多様性がある。また、このような両極端の噴火タイプが、一連の噴火過程において観測されることもある。この多様なタイプの噴火が生じるメカニズムはまだ十分には理解されておらず、このメカニズムを明らか

にすることは、いったん噴火が開始したあと大爆発が起こる可能性や噴火の終息の可能性など、噴火の推移を予測するうえで、また防災面においても極めて重要である。

一般に珪長質のマグマは、地下深部において水などの揮発成分を含んでおり、そのマグマが火道内を上昇して減圧すると、マグマに溶け込んでいた揮発成分が気相（ガス）として析出する。その結果マグマが膨張し、高速で火口から噴出することによって爆発的噴

火が生じる。しかし、上昇過程においてマグマからのガスの分離（以下、脱ガスと呼ぶ）が効果的に起こると、マグマの膨張は抑制されて低速で火口から噴出し、非爆発的噴火が生じる。従って、脱ガスを伴う火道内のマグマ上昇過程は、多様な噴火タイプをもたらす重要なプロセスである。

この脱ガス過程を伴う火道内のマグマ上昇の流れを、一次元流として流体力学的に数値モデル化した一次元火道流モデルに関する研究が、これまで数多く行われてきた。このモデルにおいては、地質学的・岩石学的・地球化学的・地球物理学的な多項目観測から推定されるマグマの性質（マグマ含水量や粘性など）や地質条件（火道の長さや径など）をパラメータとして与えることで、巨視的な噴火タイプに対応する火道流の解や、さらに観測によって推定される火道内のマグマ発泡度や過剰圧などの流れの状態量を計算結果として得ることができる。従って火道流モデルは、多様な噴火タイプが生じるメカニズムを観測事実と比較しながら実証的に明らかにしていくうえで非常に有用であり、研究代表者もこれまでこの火道流モデルの数値解析に取り組んできた（Kozono and Koyacguhi, 2009a, b）。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて、本研究では、(1)「火山噴火現象の観測データに関する総合的なデータベースの構築」と(2)「そのデータを再現する火道流数値モデルの開発と解析」によって、噴火の観測事実と火道流の解析結果との比較を系統的に行い、噴火タイプの多様性が生じるメカニズムを実証的に解明することを目的とした。上述の2課題について、以下で具体的な目的を説明する。

(1)理論と観測の比較による研究を進めるにあたっては、理論モデルとの比較において有用なデータベースを系統的に整理しておくことが重要である。火山噴火現象に関しては、地質学的・岩石学的・地球化学的・地球物理学的観測などによる多岐にわたる観測データが蓄積されている。火山噴火のデータベースについては、これまですでに噴火記録や噴出体積、一部の化学組成をデータベース化した例はいくつか報告されているが、噴火のダイナミクスに影響を与え得るその他のマグマの性質や地質条件に関するパラメータを網羅したデータベース構築は行われていない。そこで本研究では、それらのパラメータを系統的に整理したデータベースの構築を行っていく。

(2)火道流数値モデルの解析に関しては、これまで研究代表者が開発・解析していたモデ

ルでは、マグマ上昇中の脱ガスや結晶化などのいくつかの物理過程に関して比較的単純なモデル化や、また定常流という仮定が施されていた。一方で、火道内上昇中におけるマグマのより複雑な挙動や性質が最近の理論的・物質科学的研究によって明らかになりつつあり、これらの効果が噴火タイプに影響を与え得ることが指摘されている。そこで本研究では、これまで単純化している部分を改良したより複雑な火道流モデルの開発と解析に取り組む。これによって、より多岐にわたる観測データとの比較も可能となる。

3. 研究の方法

本研究では、噴火タイプの多様性の成因をより実証的に明らかにするために、前節で示した2課題を平行して相補的に以下のような方法で実施した。

(1)火山噴火パラメータのデータベースは、「LAMP」のシステムを使用してその構築と開発を行った。LAMPとは、OSにLinux、WebサーバにApache、データベースにMySQL、プログラミングにPHPを用いたシステムのことで、データベース連動型のWebアプリケーションの開発に適している。このシステムでは、噴火事例や観測項目の増加によって逐次行われていくデータベースの蓄積・更新と、理論モデルとの比較などに活用できるようにするためのWebアプリケーションの改良作業を、それぞれ独立して効率的に進めることができる。データベースの構築は、観測データが充実している世界中の噴火事例に関して、主に文献値に基づいて行っていた。

(2)火道流数値モデルの開発と解析では、爆発的噴火への準備過程として重要な溶岩ドーム噴火中において、気泡と結晶を含むマグマが気・液・固相の混相流体として円筒の火道内を上昇する過程を数値モデル化した。具体的には、マグマ上昇中における発泡と、それに競合する縦方向（火口方向）および横方向（火道壁方向）への脱ガス、さらにマグマ粘性変化に大きな影響を与える結晶化過程をすべて考慮した一次元火道流モデルを開発した（図1a）。

本研究の火道流モデルの解析では、特に定常火道流におけるマグマ溜まり圧力（ p ）とマグマ噴出率（ q ）の関係（以下、定常 p - q カーブと呼ぶ）に着目した（図1b）。一般的な円筒内流れの場合、このカーブは正の傾き（ $dp/dq > 0$ ）をもつが、火道流においては脱ガスや結晶化の効果によって負性抵抗が生じ、定常 p - q カーブの傾きが負になる

（ $dp/dq < 0$ ）場合がある。このような負性抵抗領域は不安定な系であり、図1bのように深部からマグマ溜まりへのマグマ供給率が

低噴出率側の $dp/dq > 0$ の領域から $dp/dq < 0$ の領域へ増加した場合、火道流は不安定になって高噴出率側の $dp/dq > 0$ の領域における火道流に急激に遷移する。これを、溶岩ドーム噴火からの爆発的噴火への遷移過程として捉えることができる。そこで本研究では、定常火道流の計算によってこの定常 p - q カーブを系統的に求め、さらにその負性抵抗領域において火道流が遷移していく過程を時間発展モデルによって調べた。これによって、溶岩ドーム噴火から爆発的噴火への遷移過程を支配するメカニズムを明らかにしていった。

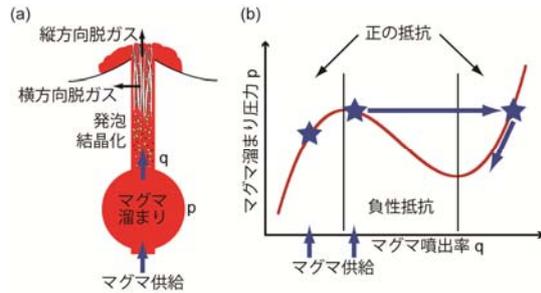


図 1: (a) 本研究で開発した火道流モデル, (b) 定常火道流におけるマグマ溜まり圧力とマグマ噴出率の関係(定常 p - q カーブ)の模式図.

4. 研究成果

(1) データベース構築においては、まず Kozono and Koyaguchi (2010) の火道流モデル解析によって溶岩ドーム噴火中の火道流を支配する重要なパラメータとして明らかにされたマグマ粘性、脱ガス浸透率、マグマ噴出率、火道半径を対象として、データベース化を行った。またマグマ粘性は、ガラス・石基組成、含水量、結晶量、マグマ温度から推定することもできるため、これらのパラメータについてもデータベース構築を行った。これらのうち、脱ガス浸透率のデータベースに基づいて、課題(2)の火道流数値モデルの定式化において必要となる脱ガス浸透率とマグマ発泡度との関係式を精度よく導出することができた。また、結晶量のデータベースに基づき、斑晶量が 0.5 以下の低斑晶量マグマによる溶岩ドーム噴火が普遍的に存在していることを示した(図 2)。この結果によって、後述する火道流モデルの解析結果に強い制約を与えることができた。

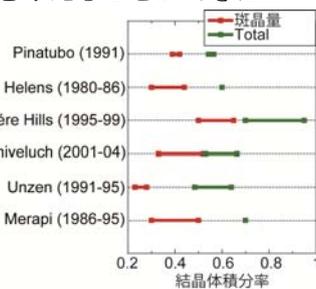


図 2: 溶岩ドーム噴火事例における結晶量.

本研究ではさらに、マグマ中の揮発成分である H_2O の水素同位体比や CO_2 のデータに関するデータベース構築を行った。特に水素同位体比は、課題(2)の火道流モデルの解析によって、マグマ上昇中における火道壁方向への脱ガスの程度を反映する重要なパラメータであることがわかったため、多くの噴火事例についてそのデータベースを構築した。

また、本研究課題期間中の 2011 年 1 月に始まった霧島山新燃岳噴火において、防災科研の火山基盤観測網 V-net によって得られた傾斜変動データや、それに基づき高精度で推定された噴火推移中のマグマ噴出率についても、データベースを構築した。このデータを他の噴火事例のデータとデータベース内で比較することによって、新燃岳噴火における噴火タイプや噴火の遷移過程の特徴を定量的に評価することができた。

(2) 火道流数値モデルの解析において、本研究ではパラメータに依存して変化する定常 p - q カーブの振る舞いを系統的に調べ、分類化した。その結果、カーブに負性抵抗が生じるメカニズムとして、噴出率増加とともに結晶化の遅れによって粘性抵抗が減少する効果(フィードバック 1)と、噴出率増加とともに脱ガスが非効率的になって発泡度が増加し、マグマの荷重による抵抗が減少する効果(フィードバック 2)があることがわかった。また、高斑晶量マグマの場合にはフィードバック 1 の効果が支配的であるのに対し、低斑晶量マグマではフィードバック 2 の効果が大きくなり、その結果定常 p - q カーブの振る舞いがより複雑になることがわかった。

図 3a では、定常火道流モデルの数値解析から得られた、低斑晶量マグマの場合の定常 p - q カーブの一例を示している。正の傾きをもつ低噴出率・高噴出率領域の間に負性抵抗領域が生じており、結果として S 字型の曲線となっている。また、火道流の時間発展モデルの解析から得られた、深部からのマグマ供給率が徐々に増加して負性抵抗領域に達した場合の火道流の遷移過程も示してある。この遷移過程では、火道内のマグマ発泡度が深部から急激に増加しており(図 3b)、これは溶岩ドームから爆発的噴火への遷移過程に対応している。またこの遷移過程では火道内のマグマ過剰圧が浅部で急増し(図 3c)、横方向脱ガスの割合が急減する(図 3d) 特徴があることがわかった。過剰圧の変動は傾斜計などによる地球物理学的観測から、横方向脱ガスの割合は火山ガス計測などによる地球化学的観測から推定することができる。従って、課題(1)で構築したデータベースとの比較によって、噴火の遷移過程が生じるメカニズムを実証的に評価することが可能となった。

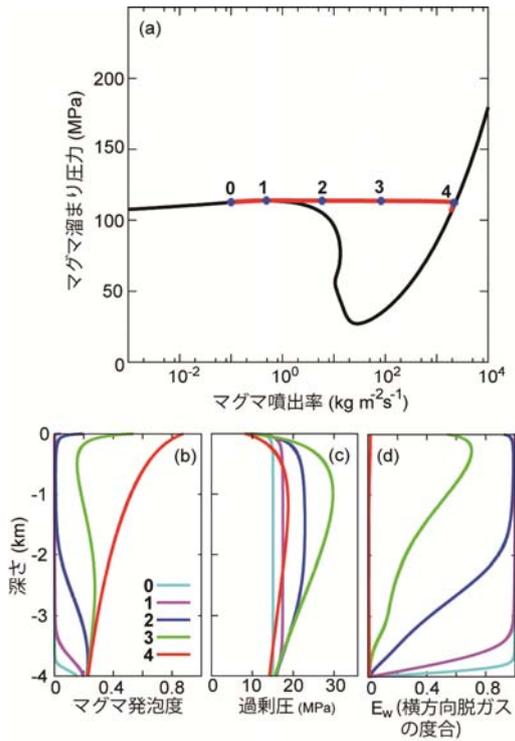


図 3 : (a) 定常 p-q カーブの計算例 (黒) と、火道流の時間発展変動における p と q の変化 (赤). (b, c, d) 時間発展変動中の、火道内におけるマグマ発泡度、過剰圧、横方向脱ガスの度合を表す無次元数 E_w の変化.

以上の解析の結果、定常 p-q カーブに基づいて、急激な変動を伴う溶岩ドームから爆発的噴火への遷移過程を捉えられることがわかった。そこで本研究では、分類化された定常 p-q カーブを用いて、溶岩ドームから爆発的噴火への遷移が生じ得る条件を系統的に明らかにした (図 4)。図 4 では、この遷移過程が生じる深部からの臨界マグマ供給率と横方向 (つまり火道壁) 脱ガス浸透率の関係を示しており、結晶成長率への依存性も調べている。高斑晶量マグマの場合、臨界供給率は横方向脱ガス浸透率に依存せずほぼ一定であり、結晶成長率に僅かに依存する (図 4a)。これは、負性抵抗がフィードバック 1 によって生じることを反映している。一方低斑晶量マグマの場合、負性抵抗がフィードバック 2 によって生じる効果のため、臨界供給率は横方向脱ガス浸透率に強く依存し、浸透率減少とともに急激に減少する (図 4b)。このことから、低斑晶量マグマの場合、安定な溶岩ドーム噴火が継続するには、効果的な横方向への脱ガスが必要であることがわかった。また、仮に深部からのマグマ供給率が非常に低い場合でも、火道壁の浸透率が僅かに減少することによって、爆発的噴火への急激な遷移が生じ得ることが明らかになった。低斑晶量マグマによる溶岩ドーム噴火は普遍的に存在

することが課題 (1) のデータベース構築で示されたことから (図 1)、この低斑晶量マグマで特有に生じる噴火の遷移過程の把握が、実際の噴火推移の予測においても重要であることがわかった。

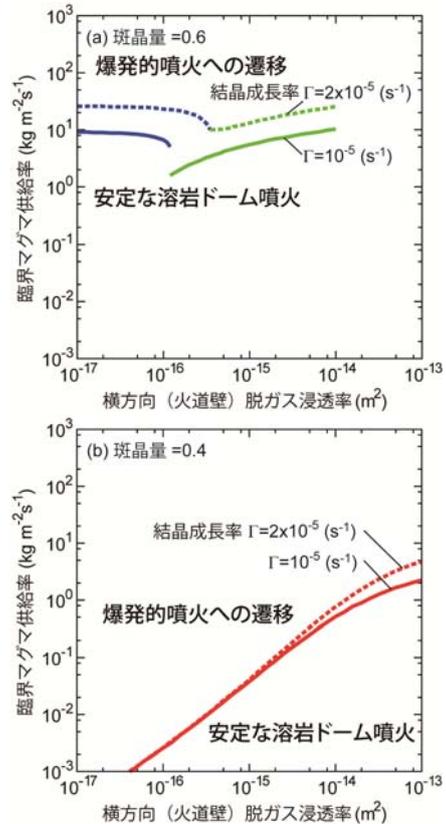


図 4 : 溶岩ドームから爆発的噴火への遷移が生じ得る臨界マグマ供給率と、横方向脱ガス浸透率の関係. (a) 高斑晶量マグマ, (b) 低斑晶量マグマの場合.

以上の成果の国内外における位置づけとして、本研究の課題 (1) で構築されたデータベースは、噴火記録などを形式的に広範囲で網羅するこれまでの国内外における火山関連のデータベースとは異なり、火道流モデルの解析などで明らかにされる噴火のダイナミクスに直結したパラメータに特化しているという特徴がある。さらに、防災科研において MySQL に準拠して開発を進めている「火山統合データベース」などの、他のデータベースへの組み込みにも適したシステムで構築を行っている。また課題 (2) では、国内外における既存の火道流モデルの研究では行われていなかった火道流の定常 p-q カーブの系統的な分類化に取り組んだ。その結果、低斑晶量マグマから高斑晶量マグマまでの幅広いマグマ条件に対して、溶岩ドームから爆発的噴火への遷移が生じるメカニズムや条件を系統的に見落とすことなく明らかにすることができた。さらに本研究は、上述の 2 課題を相補的に進めることで、直接観察が

難しいマグマ上昇過程のメカニズムをより実証的に明らかにしたという重要な特徴をもつ。

今後の展望として、データベース構築ではより多項目にわたる観測データを対象とし、火道流数値モデルの解析では既存のモデルを発展させて火道形状の変形や多次元の流れなどのより複雑な効果を考慮したモデルの開発と解析に取り組み、これらを引き続き相補的に進めていくことで、噴火タイプの多様性の成因をより実証的に解明していく。また、火道流以外の溶岩流や火山噴煙などに関する理論・数値モデルの解析との比較が可能なデータベースの構築を進めることで、地表における火山現象の多様性が生じるメカニズムについても実証的に明らかにすることをめざす。

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5件)

- ① T. Kozono, T. Koyaguchi, Effects of gas escape and crystallization on the complexity of conduit flow dynamics during lava dome eruptions, Journal of Geophysical Research, 査読有, 投稿中 (受理, 掲載決定)
- ② 小屋口剛博, 鈴木雄治郎, 小園誠史, 火山噴火のダイナミクス, ながれ, 査読無, 30巻, 2011, 317-324, http://www.nagare.or.jp/download/no_auth.html?d=30-4tokushu6.pdf&dir=24
- ③ T. Koyaguchi, Y. J. Suzuki, T. Kozono, Effects of the crater on eruption column dynamics, Journal of Geophysical Research, 査読有, 115巻, 2010, B07205, DOI:10.1029/2009JB007146
- ④ T. Kozono, T. Koyaguchi, A simple formula for calculating porosity of magma in volcanic conduits during dome-forming eruptions, Earth, Planets and Space, 査読有, 62巻, 2010, 483-488, <http://www.terrapub.co.jp/journals/EPS/pdf/free/2010/62050483.pdf>
- ⑤ 小園誠史, 田中宏幸, 小屋口剛博, ミューオグラフィーによる巨大物体の密度分布可視化およびその火山噴火における火道内気液二相流解析への応用, 混相流, 査読無, 24巻, 2010, 45-56, <http://ci.nii.ac.jp/naid/10026131063>

[学会発表] (計16件)

- ① 小園誠史, 小屋口剛博, 脱ガスと結晶化が溶岩ドームから爆発的噴火への遷移過程に与える影響, 日本地球惑星科学連合2012年大会, 2012年5月20日, 幕張メッセ・千葉
- ② T. Kozono, T. Koyaguchi, Effects of gas escape and crystallization on the complexity of conduit flow dynamics during lava dome eruptions, International Workshop on High Energy Geophysics, 2011年10月27日, Happo-en, Tokyo
- ③ 小園誠史, 瀧本浩史, 鶴川元雄, 藤田英輔, 實渕哲也, 小屋口剛博, 石峯康浩, 霧島山新燃岳における火山噴煙のPIV解析, 日本火山学会2010年秋季大会, 2011年10月2日, 旭川市大雪クリスタルホール
- ④ T. Kozono, T. Koyaguchi, Effects of lateral gas escape on transitions from lava dome eruptions to explosive eruptions, IUGG 2011, 2011年7月6日, Melbourne, Australia
- ⑤ 小園誠史, 小屋口剛博, 横方向脱ガスが溶岩ドーム噴火から爆発的噴火への遷移過程に与える効果, 日本地球惑星科学連合2011年大会, 2011年5月24日, 幕張メッセ・千葉
- ⑥ 小園誠史, 上田英樹, 小澤拓, 小屋口剛博, 藤田英輔, 鶴川元雄, 棚田俊收, 傾斜変動データに基づく2011年新燃岳噴火におけるマグマ噴出率の見積もり, 日本地球惑星科学連合2011年大会, 2011年5月23日, 幕張メッセ・千葉
- ⑦ T. Koyaguchi, T. Kozono, Effects of gas exsolution and microlite crystallization on the complexity of conduit flow dynamics during lava dome eruptions, AGU Fall meeting, 2010年12月16日, San Francisco, USA
- ⑧ T. Kozono, T. Koyaguchi, Coupled effects of vertical and lateral gas escapes on conduit flow dynamics and chemistry of volcanic gas during lava dome eruptions, AGU 2010 Fall Meeting, 2010年12月15日, San Francisco, USA
- ⑨ 藤田英輔, 小園誠史, 中村桃絵, 溶岩流シミュレーション管理システム(RCM)の運用: 桜島溶岩流ケーススタディ, 日本火山学会2010年秋季大会, 2010年10月11日, 京都大学
- ⑩ 小園誠史, 藤田英輔, 上田英樹, 火山噴火パラメータのデータベース構築, 日本火山学会2010年秋季大会, 2010年10月9日, 京都大学
- ⑪ T. Kozono, T. Koyaguchi, Effects of

Vertical and Lateral Gas Escapes on Volatile Compositions, Magma Porosity and Pressure in Volcanic Conduits during Dome-forming Eruptions, Cities on Volcanoes 6, 2010年5月31日, Tenerife

- ⑫ 上田英樹, 藤田英輔, 小園誠史, 實渕哲也, 小澤拓, 鶴川元雄, WOVodat に準拠した火山統合データベースの構築, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 25 日, 幕張メッセ・千葉
- ⑬ 小園誠史, 小屋口剛博, 縦方向・横方向の脱ガス過程が溶岩ドーム噴火における火道内の揮発成分組成・マグマ空隙率・圧力の分布に与える効果, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 24 日, 幕張メッセ・千葉
- ⑭ 小園誠史, 小屋口剛博, 縦方向脱ガスが溶岩ドーム噴火における火道中のマグマ空隙率分布に与える効果, 日本火山学会秋季大会, 2009 年 10 月 11 日, 神奈川県生命の星・地球博物館
- ⑮ 小園誠史, 小屋口剛博, 田中宏幸, 平秀昭, 薩摩硫黄島火山硫黄岳の火道浅部密度構造解析: 3. 火道流モデルに基づく解析, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 18 日, 幕張メッセ・千葉
- ⑯ 小園誠史, 小屋口剛博, マグマの流量と粘性が溶岩ドーム噴火における火道中のマグマ空隙率変化に与える効果, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 17 日, 幕張メッセ・千葉

[その他]

受賞

日本火山学会論文賞 (第 14 号), 受賞論文:
[雑誌論文] ③T. Kozono, T. Koyaguchi, A simple formula for calculating porosity of magma in volcanic conduits during dome-forming eruptions, Earth, Planets and Space, 62 巻, 2010, 483-488

ホームページ等

<http://vivaweb2.bosai.go.jp/member/kozono/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小園 誠史 (KOZONO TOMOFUMI)
独立行政法人防災科学技術研究所・
観測・予測研究領域・
地震・火山防災研究ユニット・
任期付研究員
研究者番号: 40506747