

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2017

課題番号：26303020

研究課題名(和文) インドネシア・バリ島のカルデラ活動と地熱資源ポテンシャル評価

研究課題名(英文) Activity of caldera formation and evaluation of potential of geothermal resources in Bali Island, Indonesia

研究代表者

田口 幸洋 (Taguchi, Sachihiro)

福岡大学・理学部・教授

研究者番号：00108771

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：インドネシアバリ島のブヤン-ブラタンカルデラ付近では、南方ほど若い火山活動があるとされていたが、今回の火山層序の調査では、カルデラ内でも完新世に3回以上の噴火活動があったことが明らかになった。

カルデラ外壁南方の斜面上に分布する温泉群は、このカルデラからの側方流動によるとされていた。しかしながら、温泉や付随ガスの地化学特徴は、この付近に上昇流があることを強く示唆している。カルデラ内では完新世の火山活動があり、地熱開発には不向きな火山性流体が存在する可能性があるが、カルデラから離れた山体斜面上の上昇流地域は、新規の地熱開発の有望地域として評価することができた。

研究成果の概要(英文)：In and out of the Buyan-Bratan caldera, southern part has been reported to be younger in volcanic activities. However, our research revealed that there are at least 3 times of eruptions in the caldera during Holocene.

Hot springs on the southern slope of the caldera were interpreted that those were formed by the mixing of waters derived from the caldera. Obtained geochemical characteristics of hot springs and associated gases suggest that independent upflow zone is existing below the hot springs. Holocene volcanic activities revealed by this research suggest that there is a possibility of existence of volcanic fluids in the caldera area, but our results suggest that the hot spring area is evaluated to be worth to make an exploration of geothermal resources.

研究分野：地熱地質

キーワード：インドネシア バリ島 ブヤン-ブラタンjカルデラ 火山層序 放射年代測定 地熱 地化学 資源評価

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 石油資源に富むインドネシアは、120万kWの設備容量を持つ世界3位の地熱発電大国である(Bertani, 2010)。しかし、経済の発展に伴い電力の供給を増やす必要があり、2025年には地熱発電で1200万kWの電力供給を目標としている。地熱資源量は約2700万kWその開発はわずか5%弱である。インドネシアの地熱系は、日本と同じく安山岩質マグマの活動に伴う断裂型で、日本で蓄積された知識や経験を持つ地熱に関連する各分野の専門の立場から、インドネシアの地熱ポテンシャル評価を行い、その手法をインドネシアの地熱開発に拡大適用する基礎作りにも貢献したい。

(2) 研究代表者の田口幸洋および研究分担者の渡邊公一郎、糸井龍一は、本研究の申請以前より今回の海外研究協力者であるガジヤマダ大学(ジョグジャカルタ市)のAgung Harijoko 博士やI Wayan Warmada 博士と、インドネシア国内の地熱資源、鉱物資源を対象に意見交換や、共同研究を行ってきた。また、研究分担者の渡邊公一郎は、かつてインドネシアの鉱物資源ポテンシャルのデータベース構築で、今回の海外研究協力者とバリ島の調査も行っている。このように、現地の研究協力者との交流がかねてからあり、現地調査等については最大の協力が得られ、調査はスムーズに行えるといえる。

## 2. 研究の目的

バリ島北部の地熱系に関する研究報告は、1980年代に講演要旨として報告された1報のみで、それを基にブヤン プラタンカルデラ内で掘削が行われ、2005年にその結果が報告された。しかしながら、カルデラ外にある温泉群を含む地熱系の実体についてはほとんど知られていない。そこで、この研究ではフィールドワークを最重要項目と位置づけ、地熱徴候や火山地質を正確に記載し、地熱資源の評価へと発展させる。そのためには、まず同地域の地熱徴候地の分布、規模を明らかにする。次いで、地熱徴候のうちの温泉や周辺の地表水について化学組成や同位体比組成を求める。さらに、これらの地熱徴候の分布が規制される割れ目系を土壤ガス探査にもとづいて解明する。一方、バリ島北部のブヤン-プラタンとバツールカルデラの形成については、これまでも研究されているが、小林はこれと異なる見解を予察的に得ているので、この研究で得られる成果をもとにバリ島における火山層序を再構築する。さらに、Ar/Ar法や放射性炭素( $^{14}\text{C}$ )法による放射年代を得て、火山形成史を定量的に明らかにする。地熱および火山に関するこれらの結果を統合して、地熱系のモデルを構築し、数値解析を行い、地熱資源ポテンシャルを正確に評価する。このように日本とインドネシアの相互交流を基礎として、地熱資源ポテンシ

アル評価を目的とした、火山や鉱物資源までも含めた総合的な評価体制を確立する。

## 3. 研究の方法

地形図や衛星写真を用いて火山地形を観察して、地形区分を行い、現地ではテフラ層序を中心に地質調査を行う。さらに $^{14}\text{C}$ 年代とAr/Ar年代を測定して噴火年代を明らかにする。

温泉水、地下水、河川水、湖沼水を採水し、その化学分析を行い、水の同位体比を求める。また、温泉水や他の地表徴候から放出されるガスを採取し、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の測定を行う。変質岩が分布する場合には、それを採取し、線回折分析を行い、変質鉱物の同定を行う。

これらの結果を総合し、ブヤン プラタンカルデラおよび周辺の地熱系モデルを作成し、地熱ポテンシャルの評価を行う。

## 4. 研究成果

ブヤン-プラタンカルデラでは、これまで完新世の噴火が明らかでなかったが、玄武岩質のスコリア噴火が4回ほど起こっていたことが判明した。また、バツールカルデラのペネロカン噴火(約5.5ka)と東隣のロンボク島のサマラス火山のAD1257噴火によるテフラが有効な時間指標層になることも確認した。

カルデラ内に常温のガスの放出がある変質帯を見出した。変質帯は珪化岩であり、かつて高温の火山ガス奮起活動があることが明らかとなった。また、カルデラ壁外側の南山体斜面上に分布する温泉の化学組成は、カルデラに近い側から $\text{SO}_4\text{-HCO}_3$ 混合型、 $\text{HCO}_3$ 型、 $\text{Cl-HCO}_3$ 混合型が規則的に配列していることが明らかとなった。これらに伴う温泉ガスの $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は、活火山に伴うマントル起源のものと同程度のもので、よりカルデラに近い側で見出された。

これらを総合し、ブヤン-プラタンカルデラおよびその南に分布する温泉分布地帯を含む地熱系モデルを構築した。従来、カルデラ南方に分布する温泉群は、カルデラ中心部から供給される深部熱水と、カルデラの地表ないしは地下浅所で形成される蒸気加熱水の混合と解されていた。われわれの調査でえられた結果は、このような側方流動によるものでなく、直接深部から供給されるものであることを明らかにした。特に温泉群の中でも、最も北側、カルデラ側に位置する温泉地域はその上昇流の中心があり、この地域は、今後の地熱開発の対象地域として評価できることを明らかとした。

## 5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計3件)

奥野 充・Agung Harijoko・I Wayan Warmada・渡邊公一郎・中村俊夫・田口幸洋・小林哲夫(2017)ブヤン-プラタンカルデラ(インドネシア・バリ島北部)、

後カルデラ火山の完新世噴火史，号外地球，68号，24-29，査読なし。

小林哲夫・奥野 充・I Wayan Warmada (2017) ロンボク島，サマラス火山のAD1257 カルデラ形成噴火とその前兆的な噴火，号外地球，68号，30-37，査読なし。

Okuno, M., Harijoko, A., Warmada, I W., Watanabe, K., Nakamura, T., Taguchi, S. and Kobayashi, T. (2018) Geomorphological classification of post-caldera volcanoes in the Buyan-Bratan caldera, North Bali, Indonesia., *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **103**, (2017) 012014.

doi:10.1088/1755-1315/103/1/012014，査読あり。

〔学会発表〕(計 11 件)

小林哲夫・奥野 充・I Wayan Warmada 2017 ロンボク島，サマラス火山の1257年カルデラ形成噴火とその前兆的な噴火 国際火山噴火史情報研究会，福岡市

Taguchi, S., Okamura, K., Arita, E., Itoi, R., Agung Harijoko, I Wayan Warmada, Watanabe, K. 2017 REASSESSMENT OF GEOTHERMAL SYSTEM ON THE SOUTHERN SLOPE OF THE BUYAN-BRATAN CALDERA, BALI, INDONESIA 6th ITB International Geothermal Workshop 2017, インドネシア，バンドン

Okuno, M., Agung Harijoko, I Wayan Warmada, Watanabe, K., Nakamura, T., Taguchi, S., Kobayashi, T. 2017 ERUPTIVE HISTORY OF POST-CALDERA VOLCANOES OF BUYAN-BRATAN CALDERA, NORTH BALI, INDONESIA 6th ITB International Geothermal Workshop 2017, インドネシア，バンドン

奥野 充・アグン ハリジョコ・アイ ワヤン ワルマダ・渡辺公一郎・中村俊夫・田口幸洋・小林哲夫 2017 インドネシア・バリ島，ブヤン-プラタン火山の後カルデラ火山の完新世噴火史 国際火山噴火史情報研究会，福岡市

Okuno M, Harijoko A, Warmada I W, Nakamura T, Taguchi S and Kobayashi T 2017 AMS Radiocarbon dating of Holocene tephra from post-caldera volcanoes of Buyan-Bratan caldera, North Bali, Indonesia. 14th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, Ottawa: University of Ottawa

小林哲夫・アグン ハリジョコ・アイ ワヤン ワルマダ・渡辺公一郎・永田知研・中村俊夫・田口幸洋・奥野 充，2016 バリ島北部，バツールカルデラのペネロカン噴火の推移，International Meeting on Eruptive History and Informatics，

2016 熊本大学

奥野 充・アグン ハリジョコ・アイ ワヤン ワルマダ・渡辺公一郎・永田知研・中村俊夫・田口幸洋・小林哲夫，2016. バリ島北部，ブヤン・プラタンカルデラの後カルデラ火山の噴火史，

International Meeting on Eruptive History and Informatics. 熊本大学 田口幸洋・岡村幸紀・糸井龍一・渡辺公一郎・Agung Harijoko・I Wayan Warmada 2016 バリ島，ブヤン-プラタンカルデラおよび周辺の地熱徴候の特徴 国際火山噴火史情報研究会，福岡市

田口幸洋・岡村幸紀・糸井龍一・渡辺公一郎・Agung Harijoko・I Wayan Warmada 2016 バリ島，ブヤン - プラタンカルデラおよび周辺の新しい有望地熱地域 地熱学会，福島市

Koki Okamura, Sachihito Taguchi, Ryuichi Itoi, Agung Harijoko, I Wayan Warmada and Koichiro Watanabe 2015 Characteristics of Geothermal Manifestations in/around the Buyan-Bratan caldera, central Bali, Indonesia. 37<sup>th</sup> New Zealand Geothermal Workshop, Taupo, New Zealand

田口幸洋・岡村幸紀・糸井龍一・渡辺公一郎・Agung Harijoko, I Wayan Warmada 2015 インドネシア共和国バリ島の地熱徴候の特徴 日本地熱学会，別府

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 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 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

田口 幸洋 (TAGUCHI, Sachihoro)

福岡大学・理学部・教授

研究者番号：0010871

(2)研究分担者

渡邊 公一郎 (WATANABE, Koichiro)

九州大学大学院・工学研究院・教授

研究者番号：10182916

糸井 龍一 (ITOI, Ryuichi)

九州大学大学院・工学研究院・学術研究員

研究者番号：50108768

奥野 充 (OKUNO, Mitsuru)

福岡大学・理学部・教授

研究者番号：50309887

(3)連携研究者

( )

研究者番号：

(4)研究協力者

小林哲夫 (KOBAYASHI, Tetsuo)

鹿児島大学・名誉教授

Agung Harijoko (Agung Harijoko)

ガジャマダ大学・工学部・准教授

I Wayan Warmada (I Wayan Warmada)

ガジャマダ大学・工学部・准教授