

## 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25年 5月31日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21403003

研究課題名（和文）

台湾北部の火山地熱系の構造に関する研究－琉球火山弧南北両端部における比較

研究課題名（英文） Research on structure of volcano-geothermal system in Northern Taiwan -Comparative study on both sides of Ryukyu Volcanic Arc

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）：

台湾北部に位置する大屯火山群は、長期間マグマ噴火を行わず地熱活動が活発な火山である。電気伝導度構造調査、温泉水の分析を行った結果、大屯火山群・七星山の深部から火山性の流体が上昇し、周囲に広がっていることを示唆する構造が明らかとなった。この広がりを九州の火山と比較すると、七星山の深部から供給されている火山性流体の量が別府温泉地域の量に匹敵すると推定された。この結果は、台湾の大屯火山群が、別府と同じく、「地熱活動卓越型」の火山活動を行っていることを示している。

研究成果の概要（英文）：

Tatun volcanic group (TGV), located in northern Taiwan has few magmatic eruption and has intense geothermal activity. MT survey and chemical analysis of hot spring water around TVG indicates that extreme high conductive areas were found around Chih sing shan Volcano. This result suggests that magmatic gas is mainly supplied beneath Chih sing shan Volcano and expanded around TVG. The area size of high conductive zone is estimated more than 4 square kilometers, suggesting degassing in TVG might be comparable with that in Beppu geothermal area, which is typical geothermal activity dominant volcano.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2010年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2011年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：数物系科学 A

科研費の分科・細目：自然災害科学

キーワード：国際研究者交流，台湾，火山噴火，地熱活動，地下構造，琉球弧

## 1. 研究開始当初の背景

火山噴火の予測は、近年の噴火予知研究によって大部分の火山で事前になんらかの異常現象を捉えるまでになっている。特に桜島や伊豆大島など頻繁に噴火する火山では噴火前のマグマの移動や噴火現象そのものの

理解も進んでいる。しかし、多くの火山では異常現象が捉えられても噴火しない場合や、噴火しても事前に想定された噴火よりも小規模の噴火で終わる例が少なくない（噴火未遂）。こうした事例は国内のみにとどまらず、国外でも米国のロングバレーカルデラ、イエ

ローストンカルデラ、イタリアのカンピフレグレなどにおいても異常現象が噴火につながるかどうか問題となっている。このように、噴火未遂は、噴火予測の精度を著しく低下させる最大の要因となっており、その原因を明らかにすることが強く望まれているが、現状は噴火未遂を示す事例が積み上げられているだけで、研究の道筋を示す指導原理は明らかではない。台湾においても首都台北近郊に位置する大屯火山地域の噴火災害の減災に関するワークショップが平成 19 年度に開催され、本研究者も招待講演を行ったが、優勢な地熱活動を有しながら過去 1 万年以上にわたり噴火実績のない火山地域の噴火予測をどのように行っていくか、筋道が明確になっていないという印象を受けた。

本研究者らは、平成 17 年度以降、国内の研究者らとカルデラ生成噴火などに代表される低頻度大規模噴火がどのような経過を経て噴火に至るかを検討してきた。この検討過程の中で、鍵山(2008)、Kagiyama and Morita(2008)は、噴火未遂事象を火山活動の多様性の 1 つとして捉えるべきであることを提唱するにいたった。具体的には、「火山活動には 2 つの端的なケースがある。1 つはマグマが地表まで容易に上昇できるケースで、異常現象が噴火活動に直接つながる(噴火活動卓越型)。もう 1 つは、マグマの上昇がなんらかの理由で阻害されるケースで、地下に滞留したマグマの熱エネルギーは地熱活動として放出される(地熱活動卓越型)。火山噴火の多様性は、2 つの端的な型の中間的なケースとして捉えることが可能である」とする考えである。この考えに立てば、異常現象の発生から噴火にいたるまでの多様な事例を系統的に整理して理解することが可能になる。

本研究者らは、この指導原理に基づいて平成 19 年度～21 年度に基盤研究(B)「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」を実施した。この研究は、九州地方の火山において、マグマの熱エネルギーが地熱活動によって放出される率と噴火活動によって放出される率との比を推定すること、マグマ中の火山ガスがどのように周辺に散逸しているか、個々の火山の火山ガス放出系の構造を明らかにすることをめざした。

台湾と九州は琉球火山弧の南北両端に位置しており、ともに沖縄トラフの近傍に位置している。台湾北部の大屯火山地域には地溝帯が走り、多数の火山も噴出し、優勢な地熱活動も継続している。しかしながら、これらの火山の噴火はもっと新しいものでも 1 万 3 千年前とされており、わが国の活火山の定義によれば、活火山は存在しない。このような火山活動は本研究者らが提唱する火山活動

の多様性のどこに位置づけられるかは大変興味がある。近年、台湾では微小地震観測網と GPS 観測網が急速に整備され、台湾北部の火山地域についてもその詳細が明らかにされつつある。こうした経緯から、同地域の火山活動について、火山地下の構造および熱水の放出系を調査し、九州と比較することで、より普遍的な火山活動モデルが構築できると考えるにいたった。

## 2. 研究の目的

台湾北部の大屯火山地域は優勢な地熱活動を有しながら過去 1 万年以上にわたってマグマ噴火を行っていない。なぜこのような特異な活動形態が維持されているのかを、九州の火山と比較しつつ検討する。本研究者らの最近の成果では、火山活動は、地表からのマグマ噴出が容易な形態から困難な形態まで多様であり、その多様性は、マグマの上昇を阻害する何らかの要因が地下に存在するためと考えられる。本研究は、台湾の大屯火山地域の地下構造と火山ガスの散逸状況を調査してその要因を明らかにすることを目的としている。台湾と九州は琉球火山弧の両端部に位置しており、相互に比較研究することは、火山活動を普遍的に理解し、多様な火山活動とそこから派生する多様な火山災害を体系的に理解することにつながる。

## 3. 研究の方法

台湾北部の大屯火山地域を研究対象として、同地域の火山が優勢な地熱活動を持ちながらマグマ噴火をほとんどしない理由を明らかにするために、地熱活動として発散するマグマのエネルギーと噴火によって発散するエネルギーとの量比を明らかにし、その結果を本研究者らが現在研究している九州地方の結果と比較して、琉球火山弧南北両端部のテクトニックな環境が火山活動の形態にどのように影響しているかを検討する。そのために、火山体表層の電気伝導度分布調査を行って大屯火山群における熱水の放出域や熱水変質の分布を明らかにし、明らかとなった熱水活動の中心部を横断する測線で AMT 電気伝導度構造調査を行い、電気伝導度の構造断面を明らかにする。また、同時に温泉・湧水の化学分析を行い、マグマ起源物質がどのように周辺に拡散しているかを明らかにする。これらの調査に加えて、同地域の地震活動や地殻変動に関する研究成果を収集し、観測結果と比較検討する。

## 4. 研究成果

### (1) 火山体表層の電気伝導度分布調査

VLF-MT 法により大屯火山群南西部の硫黄谷から七星山を経て北東山麓の金山に至る南西-北東 18km の領域で実施した。調

査の結果、以下のことが明らかになった。

- ①大屯地溝帯の北側を区切る金山断層の外側では3mS/m以下の低電気伝導度、地溝帯内で10mS/m以上の高電気伝導度を示す。
- ②地溝帯内は相対的に高電気伝導度であるが、特に七星山南西部の硫黄谷周辺から七星山周辺（小油坑、馬槽温泉、冷水坑）を経て大油坑周辺に至る主要な火山の列において30mS/m以上の高電気伝導度を示す。ただし、七星山の山体部そのものは溶岩などの噴出物に覆われているため低電気伝導度となっている。
- ③地溝帯内の主要な火山列の南東側は、10mS/m以下と相対的に低い電気伝導度を示している。
- ④こうした結果は、大屯火山群の中でも特に七星山の深部から火山性の流体が上昇し、構造に支配されつつ南西側の硫黄谷・北投温泉、および北東側の大油坑に広がっているように見える。鍵山・他(2009)は、別府温泉近郊の伽藍岳周辺で表層電気伝導度調査を行っている。七星山周辺の30mS/m以上の高電気伝導度領域の面積は4平方km程度であり、別府温泉の高電気伝導度領域の面積とほぼ同じである。このことは、七星山の深部から供給されている火山性流体の量もそれに匹敵するのではないかと考えられる。

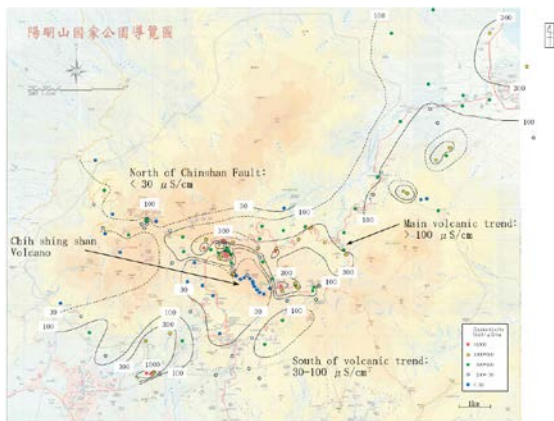


図1 大屯火山群周辺の表層電気伝導度分布（単位  $\mu S/cm$ ）

#### (2) AMTによる電気伝導度構造調査

上記の調査で七星山を中心として高電気伝導度域が広がっていることが明らかとなったので、七星山を北西-南東に横切る測線上でAMT調査を行い、七星山地下の電気伝導度構造を調査した。調査の結果、図2に示すように、七星山周辺の地下500mほどに低比抵抗層が広がり、七星山の地下深部に低比抵抗域が続いていることが明らかとなった。この結果は、(1)の表層電気伝導度調査の結果から本研究者が推定した、七星山の地下から火山ガスが供給され、帯水層を介して周辺部

に広がっているという描画が正しいことを示している。

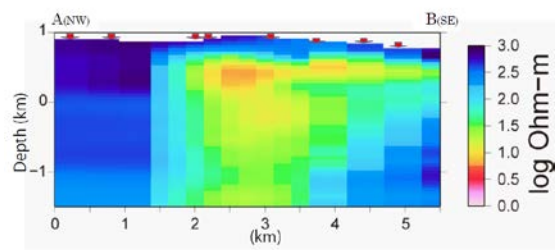


図2 大屯火山群・七星山を北西-南東に横切る比抵抗断面。

#### (3) 温泉水の同位体・化学分析

台湾・大屯火山群の代表的な温泉から温泉水を採取し、化学・同位体分析を行った。水の安定同位体組成 ( $\delta D$ ・ $\delta^{18}O$ ) から、温泉水は、水の蒸発の効果を受けたものがあるものの、概ね天水起源であることが示されたが、北投地熱谷の温泉水には安山岩質マグマからの火山ガスの寄与が認められた。酸性の温泉には、 $SO_4$ の硫黄同位体比 ( $\delta^{34}S$ )、塩化物イオン濃度、 $Cl/SO_4$ 比がともに高いものと、逆に $\delta^{34}S$ 、塩化物イオン濃度、 $Cl/SO_4$ 比がともに低いものの少なくとも2種類の温泉水が存在し、前者はマグマ性熱水流体に由来し、後者はそれから2次的に生じたacidic- $SO_4$ 型水質の蒸気加熱型熱水からもたらされていることが示された。既存の化学分析値を用いた大屯火山群の全酸性温泉の $Cl/SO_4$ 比の地理的分布から、マグマ性熱水流体に由来するacidic- $Cl-SO_4$ 型熱水の流出が北投温泉、七星山周辺から東側のエリアならびに紗帽山の東方にあることが示唆された。この見解は、(1)および(2)の結果から推定される大屯火山群のマグマ供給系の描画と一致している。

#### (4) まとめ

以上の結果および台湾の研究者が行っている地震、地殻変動観測の結果から、大屯火山群では七星山の地下深部に滞留するマグマ本体は地表に達することはまれであり、マグマから散逸する揮発性成分が帯水層を介して周辺に広がっていると考えられる。その量は、表層電気伝導度調査によって見出された高電気伝導度域の広さから、別府の地熱地域に匹敵しており、400MW程度になると予想される。このことが、大屯火山群のマグマ噴火を抑制していると考えられる。

#### 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10件)

1. 大沢信二・李曉芬・梁碧清・小森省吾・陳中華・鍵山恒臣, 台湾・大屯火山群の酸性温泉の地球化学的特徴と起源, 温泉科学, **62**, 282-293, 2013. (査読有)
  2. Utsugi, M., Kagiya, T., Chen, C-H, Yoshimura, R., Kanda, W., Komori, S., Asano, T., Tokumoto, N., Yoshikawa, S. and Inoue, H., Conductivity structure beneath Chi-shing volcano in Tatun volcanic area, Taiwan, Annual Rep. Inst. Geotherm. Sci. Kyoto Univ., **FY2011**, 40-42, 2012. (査読無)
  3. Kagiya, T., Yoshikawa, S., Utsugi, M. and Asano, T., Conductivity distribution of the surface layer in the northern Aso Caldera, Annual Rep. Inst. Geotherm. Sci. Kyoto Univ., **FY2010**, 30-32, 2011. (査読無)
  4. Utsugi, M., Kagiya, T., Chen, C-H, Kanda, W., Yoshimura, R., Komori, S., Inoue, H. and Asano, T., Tentative results of AMT survey on Tatun volcanic area, Annual Rep. Inst. Geotherm. Sci. Kyoto Univ., **FY2010**, 49-50, 2011. (査読無)
  5. Komori, S., Kagiya, 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, Annual Rep. Inst. Geotherm. Sci. Kyoto Univ., **FY2010**, 35-36, 2011. (査読無)
  6. 鍵山恒臣・吉川 慎, 長湯温泉周辺の表層電気伝導度分布, 大分県温泉調査研究会報告, **62**, 9-12, 2011. (査読無)
  7. 宇津木 充・鍵山恒臣, MT法を用いた鶴見・伽藍火山周辺域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, **62**, 13-16, 2011. (査読無)
  8. Kagiya, T., Utsugi, M., Chen, C-H., Yoshikawa, S. and Miyabuchi, Y., Conductivity distribution of the surface layer around Tatun Volcanic group, Taiwan - For understanding preparing process of large-scale low-frequency eruptions -, Annual Rep. Inst. Geotherm. Sci. Kyoto Univ., **FY2009**, 49-51, 2010. (査読無)
  9. 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, **61**, 3-6, 2010. (査読無)
  10. 宇津木 充・鍵山恒臣・小森省吾, MT法を用いた鶴見・伽藍火山周辺域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, **61**, 29-34, 2010. (査読無)
- [学会発表] (計 15) 件)
1. 宇津木 充・鍵山恒臣・陳中華・神田径・吉村令慧・浅野剛・徳本直明・井上寛之・吉川慎, 台湾・大屯火山群における MT 観測, 地球惑星科学連合 2012 年大会 SVC49-P04(幕張メッセ千葉市 2012 年 05 月 20 日~2012 年 05 月 25 日)
  2. Kagiya, T., Utsugi, M., Chen, C-H., Yoshikawa, S. and Inoue, H., Conductivity distribution in the surface layer in Tatun and Kyushu volcanoes -Significance of research on geothermal activity dominant volcano, Taiwan-Japan Joint Workshop on Tatun - Kyushu Volcanic Activity (Taipei, 2012 年 3 月 19 日)(招待講演)
  3. Utsugi, M., Kagiya, T., Resistivity structure of Tatun and Aso volcano obtained by MT and AMT survey, Taiwan-Japan Joint Workshop on Tatun - Kyushu Volcanic Activity (Taipei, 2012 年 3 月 19 日)
  4. Ohsawa, S., A geochemical analysis using published hydro-chemical data of hot springs in Tatun Volcanic Region, Taiwan, Taiwan-Japan Joint Workshop on Tatun - Kyushu Volcanic Activity (Taipei, 2012 年 3 月 19 日)
  5. Komori, S., Kagiya, T. and Fairley, J., New approach to evaluating the mass flux of volcanic fluids using the electrical conductivity structure of volcano, Taiwan-Japan Joint Workshop on Tatun - Kyushu Volcanic Activity (Taipei, 2012 年 3 月 19 日)
  6. Komori, S., Kagiya, T. and Fairley, J., Approach to evaluating mass flux of volcanic fluids using the electrical conductivity structure of a volcano: Case study at Unzen Volcano, SW Japan, American Geophysical Union Fall Meeting 2011 (Moscone Convention Center, サンフランシスコ 2011 年 12 月 05 日~2011 年 12 月 09 日)
  7. 鍵山恒臣・宇津木 充・陳 中華, 台湾・大屯火山群における地熱活動卓越性, 地球惑星科学連合 2011 年大会 SVC049-07, 2011 年 5 月 22-27 日
  8. 鍵山恒臣・吉川 慎・宇津木 充・浅野剛, 阿蘇カルデラ北部における表層電気伝導度分布, 日本火山学会秋季大会 1-B01, 京都市, 2010 年 10 月 9-11 日
  9. 小森省吾・鍵山恒臣・宇津木 充・井上寛之・小豆畑逸郎, 広帯域 MT 観測によ

る雲仙普賢岳における2次元比低坑構造の推定, 日本火山学会秋季大会 P46, 京都市, 2010年10月9-11日.

10. 浅野 剛・鍵山恒臣・宇津木 充・吉川 慎・井上寛之・大沢信二, 由布岳・由布院盆地の表層電気伝導度分布と温泉分布, 日本火山学会秋季大会 P42, 京都市, 2010年10月9-11日
11. Kagiya, T., Utsugi, M., Chen, C-H., Yoshikawa, S. and Miyabuchi, Y., Conductivity distribution of the surface layer around Tatun Volcanic group, Taiwan -For understanding preparing process of large-scale low-frequency eruptions-, 2010 Western Pacific Geophysics Meeting V31C-02, Taipei, 2010年6月22-25日
12. Komori, S., Kagiya, T. and Fairley, J., Quantitative relation between electrical conductivity structure and magma degassing, 2010 Western Pacific Geophysics Meeting V43B-077, Taipei, 2010年6月22-25日
13. 鍵山恒臣・宇津木 充・陳 中華・宮縁 育夫, 台湾・大屯火山群周辺の表層電気伝導度分布, 地球惑星科学連合 2010年大会 SVC061-05, 2010年5月23-28日

#### [その他]

台湾・中央研究院地球科学研究所と京都大学理学研究科地球熱学研究施設などの研究機関が台北で研究会を開催し, 70名を超える研究者が参加した。



中央研究院地球科学研究所, 日本京都大学地球熱学研究施設, 大屯山火山観測站, 陽明山國家公園, 中央地質調查所與中央氣象局, 共同於2012年3月19-20日在陽明山國家公園菁山自然活動中心, 舉辦「台日大屯山與九州-火山活動研討會」, 邀請目前正在進行大屯山及九州火山活動研究的台日團隊, 及對西太平洋火環研究有興趣的學者, 共同參與此為期兩天的研討會。會中將互相討論最新的研究成果及發現, 做為將來繼續研究與合作的參考。第一天議程為台日研究團發表正在進行的研究成果, 歡迎各界有興趣的學者及學生報名參與討論。第二天為台日研究團野外考察。詳細議程再另行公佈。

會議地點:  
陽明山國家公園菁山自然中心  
臺北中正路陽明山菁山自然中心  
可至陽明山國家公園自然中心, 約20分鐘一車, 至菁山小橋下車, 再步行約5分鐘至菁山自然中心。  
報名與查詢:  
吳敏如老師

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

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  
宇津木 充 (UTSUGI MITSURU)  
京都大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号: 10372559

#### (3) 連携研究者

神田 徑 (KANDA WATARU)  
東京工業大学・火山流体研究センター・  
准教授  
研究者番号: 00301755

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者