

京都大学大学院理学研究科  
附属地球熱学研究施設

INSTITUTE FOR GEOTHERMAL SCIENCES  
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE  
KYOTO UNIVERSITY

2018

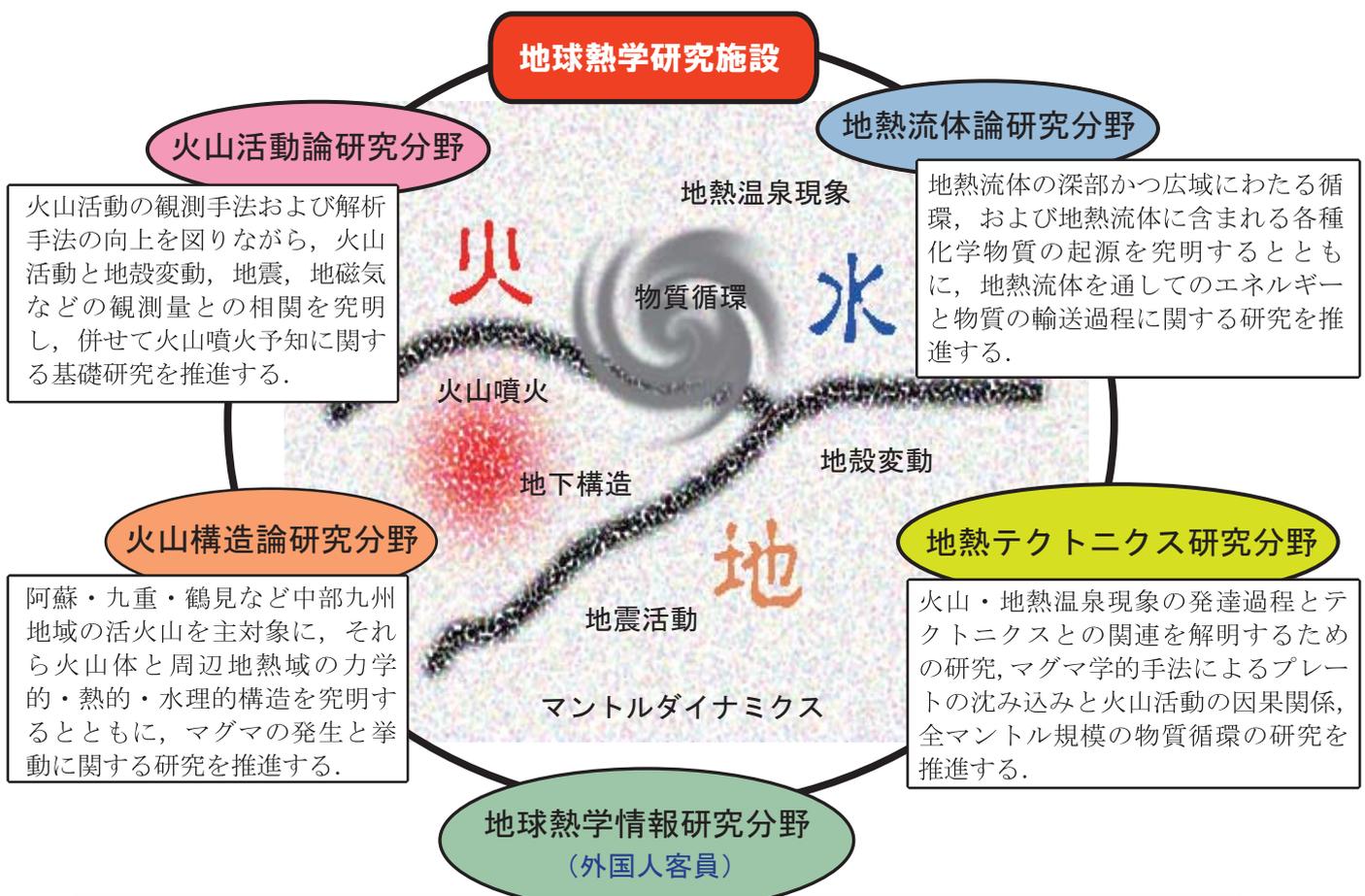
# 地球熱学研究施設のめざすもの

地球は、内部の熱エネルギーを地殻変動、地震活動、火山活動、地熱温泉活動などの表層現象に変換する巨大な熱機関である。これまでは、これらの表層現象の時間スケールや発現様式の違い、あるいは実生活との関連を重視するあまり、それぞれを独立した現象として取り扱うことが一般的であった。しかし、地球の進化を、予言性をも含めて包括的に理解するためには、これまでの細分化された研究対象と研究手法を融合し、熱機関としての地球を総合的に研究することが必要不可欠である。

地球熱学研究施設では、地球上で最大規模の火山・地熱温泉活動域のひとつである中部九州地域を巨大な実験装置とみなして、野外観測・調査や物質科学的・理論的解析を行い、熱現象の総合解析を推進する。さらに、これらの結果を全地球的規模で展開する同様の研究結果と合わせて、地殻表層からマントル・核にいたる熱構造と熱現象の解析を進め、総合科学としての「地球熱学」の構築を目指している。

## 組織・研究領域

専門分野の異なる研究者が弾力的に協力できるよう、大部門制（地球熱学研究部門）を採っている。現在は、以下の5つの研究分野が置かれている。



**火山活動論研究分野**  
火山活動の観測手法および解析手法の向上を図りながら、火山活動と地殻変動、地震、地磁気などの観測量との相関を究明し、併せて火山噴火予知に関する基礎研究を推進する。

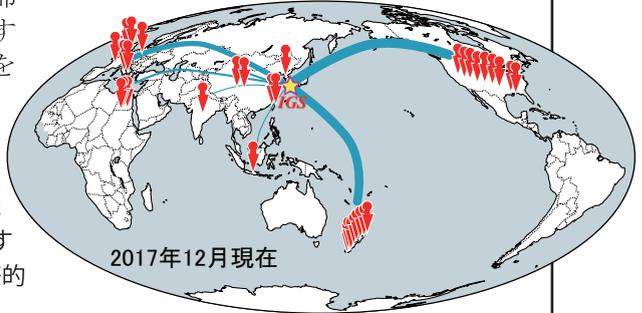
**地熱流体論研究分野**  
地熱流体の深部かつ広域にわたる循環、および地熱流体に含まれる各種化学物質の起源を究明するとともに、地熱流体を通してのエネルギーと物質の輸送過程に関する研究を推進する。

**火山構造論研究分野**  
阿蘇・九重・鶴見など中部九州地域の活火山を主対象に、それら火山体と周辺地熱域の力学的・熱的・水理的構造を究明するとともに、マグマの発生と挙動に関する研究を推進する。

**地熱テクトニクス研究分野**  
火山・地熱温泉現象の発達過程とテクトニクスとの関連を解明するための研究、マグマ学的手法によるプレートの沈み込みと火山活動の因果関係、全マントル規模の物質循環の研究を推進する。

世界各地における火山・地熱温泉活動および地球内部の熱的特性など地球熱学に関する情報を交換・蓄積するとともに、新手法の開拓を目指した国際共同研究を推進する。

1987年、地球物理学研究施設(別府)に外国人客員部門として設置され、1997年の地球熱学研究施設への改組後も地球熱学情報研究分野として継続し、国際的な地球熱学研究の発展に大きく貢献してきた。2017年12月までに、地図に示す地域からのべ36名の研究者を別府・阿蘇に迎え、現在も国際的研究の重要なパートナーとして共同研究を継続している。



## 沿革



初代所長  
志田順博士

1923年(T12)	12月	大分県および別府町の援助により別府本館建物が竣工
1924年(T13)	1月	研究および業務の開始
1926年(T15)	10月	開所式を挙げる。名称は地球物理学教室附属地球物理学研究所 フランスのAlfred LACROIX, およびアメリカのA. L. DAYの両博士が 初代所長志田順博士に阿蘇火山に研究所を設立するよう勧奨
1927年(S2)		国費および熊本県の援助によって火山研究施設本館（阿蘇）の起工
1928年(S3)	3月	火山研究施設本館完成とともに研究を開始。地震計を設置
1932年(S7)		第2回極年(polar year)。火山研究施設に地磁気観測が付加
1937年(S12)		本学官制の一部改正に伴い地球物理学研究所（別府）と 火山研究施設（阿蘇）が統合。火山温泉研究所と改称
1959年(S34)	3月	文部省令により両研究所が分離，理学部附属地球物理学研究施設と 同附属火山研究施設が設置され設備と定員が拡充された
1987年(S62)	4月	地球物理学研究施設（別府）に熱水環境部門および地熱形態研究部門 （外国人客員研究部門）の2部門（10年時限）を増設
1997年(H9)	4月	両研究施設を統合し，理学部附属地球熱学研究施設を設置。本部を 別府に置き，阿蘇の施設は地球熱学研究施設火山研究センターと称する
1998年(H10)	4月	大学院理学研究科附属地球熱学研究施設および同施設火山研究センターと 改称

## 構成員

教職員（2017年12月現在）

教授 4, 准教授 2, 助教 4, 技術専門員 1, 技術専門職員 1,  
技術職員 2, 研究員<機関研究員> 3, 非常勤職員 6

施設運営協議会（2017年度）

一号委員 6, 二号委員 7, 三号委員 1  
(専任 教授・准教授) (地球惑星科学専攻 教授) (副研究科長)

## 教育・地域社会貢献

平成16年の国立大学法人化や平成15年に採択された理学研究科地球惑星科学専攻21世紀COEプログラムなどを契機に，地球熱学研究施設の教育貢献の要求度が高まり，現地教育を中心に据えた野外実習プログラムや観測・実験マニュアルの整備を進めた。それにより，京都キャンパスから多くの学生・教員が研究施設を訪れるようになり，国際的な人材育成を視野に入れた全学規模の現地滞在型実習へも展開している。また，これらを補う教育ツールとしてテレビ会議システムが導入され，機能を充実させて研究施設関連のゼミにも活用している。

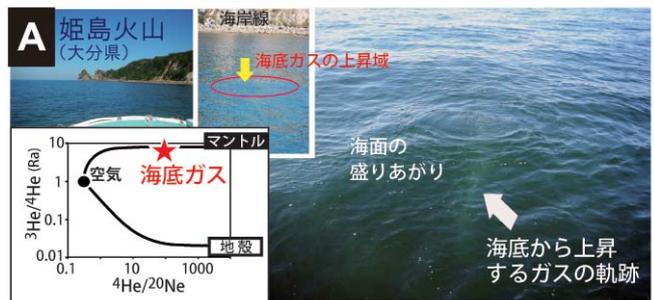


「京都大学の窓」としての隔地施設の役割を意識して，平成16年より研究施設の一般公開を実施しており，毎年100名を超える来訪者を迎えている。さらにSSHなど高校生の高度理科教育への支援や教員研修などを積極的に行い，アウトリーチ活動に着々と成果をあげている。また，本研究施設の教員は，別府・阿蘇の両拠点が位置する大分県，熊本県の自治体がかかえる温泉資源保護や地熱開発の課題，火山防災などに関わる各種委員会の委員として重要な役割を果たしていることも特筆される。

## 沿岸域への地下水・地圏ガスの流出 - 生態系や地球環境への影響解明へ向けて -

沿岸域は海洋の中で限られた海域であるが単位面積当たりの一次生産量は最大規模であり、地球上で生物活動の活発な場所のひとつとされている。その背景には海底湧水 (SGD) や CO<sub>2</sub> シープが存在すると考えられており、その探査が世界各地で活発に行われている。

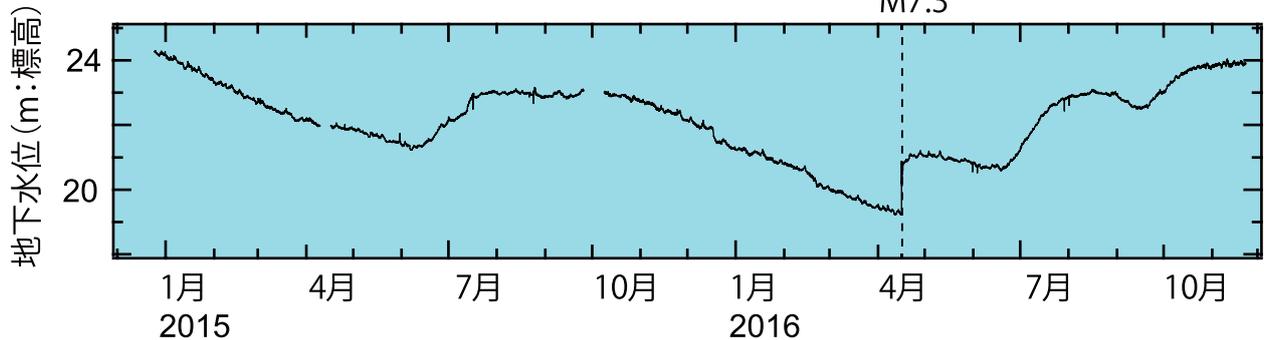
当研究分野では、温泉科学の観点から同様な調査研究を行っており、地球内部起源のガスを含む CO<sub>2</sub> シープ [大沢・三島, 2017; 右図の A] や 純粋な天水起源の海底湧水 [右図の B] を発見した。また、サーモグラフィ・カメラを搭載したドローンを使った海底湧水の探索 [山田ほか, 2016] をかわきりに、沿岸海底に流出する温泉水や火山ガスをえい航観測的な調査によって検出する方法の構築を行っている。



## 水位変化と地殻活動

地下水位は気圧、潮汐、地震などによって変化する。その変化を詳しく調べると、時空間的な地殻活動に関連した水理特性を理解することができる (例えば、Bredehoeft, 1966; Roeloffs, 1988)。地震後の水位変化は、主に地震によってもたらされた地殻歪によって引き起こされることが知られている。そこで、別府にある本施設内にある井戸で水位観測を行い、地殻活動との関係を研究している。

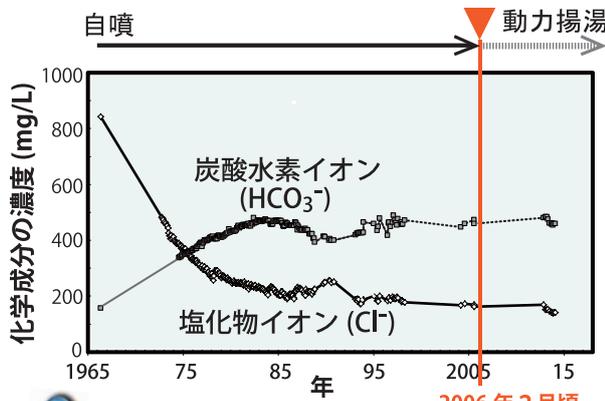
### 熊本地震 M7.3



掘削深度が 300m の井戸における 2014 年 12 月から 2016 年 11 月までの地下水位の連続観測データ。2016 年 4 月 16 日に発生した熊本地震発生後、地下水位が上昇している。

## 地域貢献・地域密着型の温泉科学

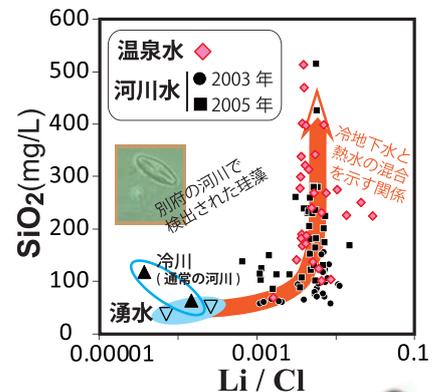
当研究分野が長年かけてきたテーマであり、地熱開発や温泉資源保護に関する種々の取り組みへの当分野の研究成



別府温泉にある沸騰泉の化学成分のモニタリング

果の利活用の範囲は広く、その社会貢献度は計り知れない。

また、最近では、別府温泉地域を巨大な実験室にみたとて、温泉水が生物圏に与える影響に関する分野横断的な調査研究も進めている。



別府の河川水中のシリカ (SiO<sub>2</sub>) が温泉排水に由来することを示す地球化学的証拠

その他、地熱流体にかぎらず地球固体圏 (地圏) に存在する様々な流体について、岩石学や地球内部電磁気学等と連携しながら研究を進め、ユニークな研究成果を公表している [例えば, Komori et al, 2013; Yoshida et al., 2015]。

## \* 原位置地球化学観測 \*

当該分野の物質科学的研究では、伝統的に、フィールドより実験室に持ち帰った試料の分析から解析に用いる化学パラメータを入手するが、近年は、地球物理観測のように、現地でデータを収集できるコンパクトな地球化学観測装置が比較的安価に手に入るようになってきている（土壤拡散 CO<sub>2</sub> フラックスメータ、土壤ラドン (Rn) モニターなど）。

地球熱学研究施設では、このような最新の観測機器を整備し、地熱や火山の分野の研究に利用するとともに、学生の野外実習にも活用している。

また、沿岸海域や湖で使用できる可搬型地球化学観測装置を当所技術職員の協力のもとに独自に開発中である。

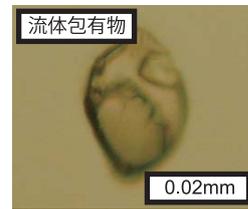
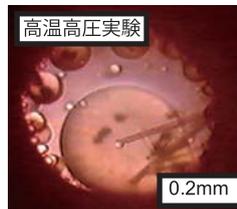
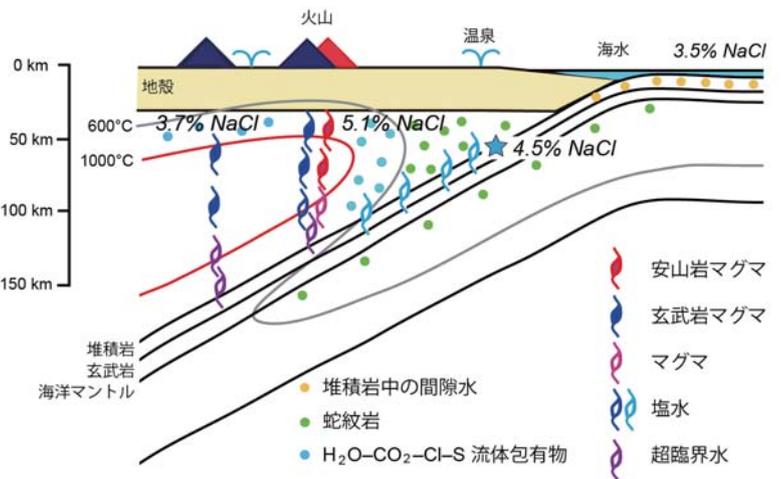


## 研究の紹介

## 地熱テクトニクス研究分野

### 沈み込み帯での塩水の移動とマグマ発生

高温高圧力条件下でのマグマと水の状態を観察し、沈み込み帯での水流体の移動とマグマの発生に関する新しい仮説を提案している。海洋プレートからくる流体は堆積岩成分をたっぷり溶かし込んだ超臨界流体で、マントルウェッジ内で安山岩マグマと水流体に分離する。水流体はマントルを部分融解させ、玄武岩マグマを生成する。スラブ由来の超臨界流体の水流体とマグマへの分離が、沈み込み帯のマグマの化学的特徴の多様性を生む。最近、その水流体は塩水だとわかり始めた。マントルの岩石や沈み込むプレートに含まれる流体包有物の観察から、沈み込み帯流体は海水に似た塩濃度を持つ塩水だとわかったからだ。そうだとすると、海水の循環によって温泉や火山の活動が起きることを示す。



### 別府湾



### 巨大な天然の実験室 「別府」

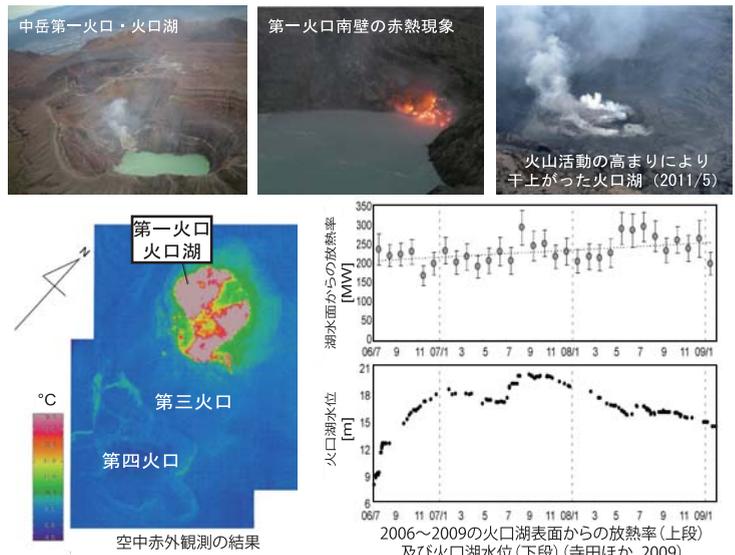


### 鶴見火山



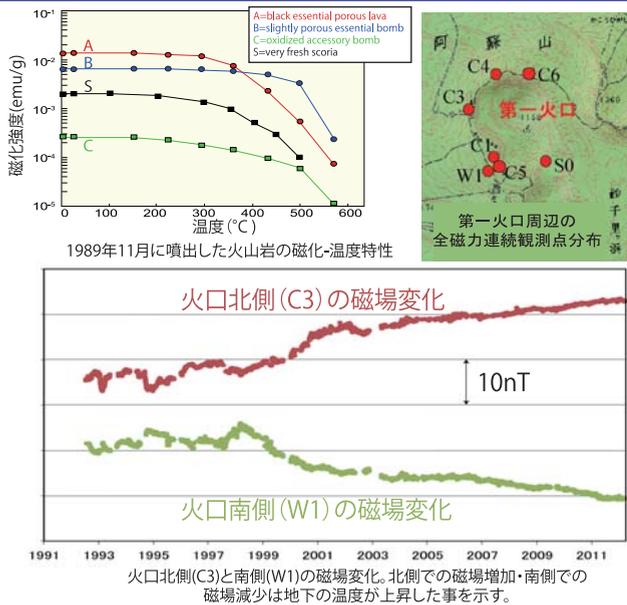
火口湖からの放熱率推定

阿蘇火山・中岳第一火口には、火山活動の静穏期に火口湖が形成されている。その水温は60~70℃に達しこのような高温の火口湖が維持されている例は世界的に見ても稀である。火口湖の水温、水量は火山活動に伴い大きく変化する為、こうした情報は第一火口の熱活動を表現する重要な観測量である。我々は火口周辺の降水量測定、自動撮影カメラによる湖水位観測、赤外カメラによる温度測定、ヘリコプターを用いた空中赤外観測を行った(寺田ほか, 2009)。これらの観測から湖水面からの放熱率、蒸発量の正確な見積もりが可能となり、その結果蒸発で失われる湖水量は降雨による流入量をはるかに上回り、火口湖の大部分は湖底から噴出する熱水で維持されている事が明らかになった。



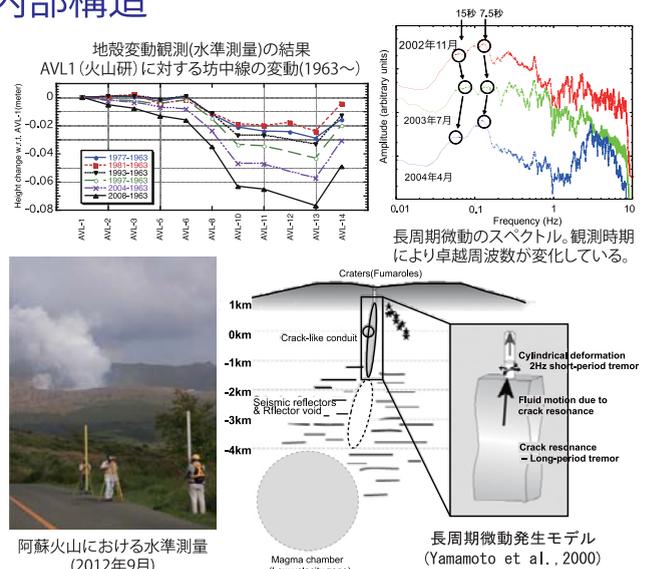
地磁気変化を用いた火口直下の温度モニタリング

一般に火山岩は強い磁化を持つため火山周辺には磁気異常が形成されている。また、岩石磁化は温度依存性を持ち、温度が高くなると磁化が弱まる性質を持つ事から、地下で温度変化が生じた場合、周辺の岩石の磁化強度が変化し磁気異常分布に変化が生じる。こうした事から、火口周辺で地磁気を観測しその時間変化を捉える事で、地下の温度状態の推移を推定する事が出来る。当施設では火口周辺にプロトン磁力計を用いた観測点アレイを展開し地磁気全磁力の連続観測を行っている。この観測の結果、火口周辺の全磁力値は中岳の火山活動に応じ時間変化している事が明らかになった。その解析から、磁場変化源が第一火口やや西寄りの地下200~300mに求まり、この位置に温度変化域の重心が位置する事が明らかになった。



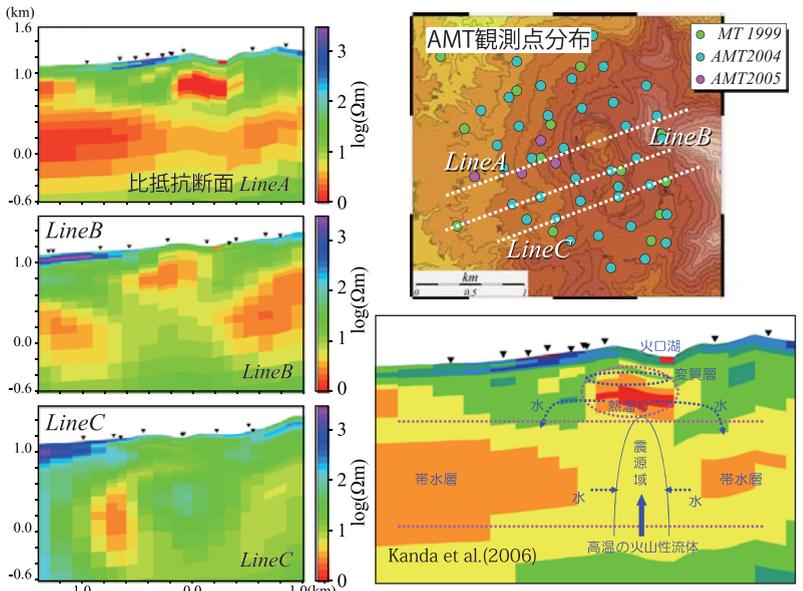
長周期微動から推察される阿蘇火山の内部構造

深部から浅部に至る阿蘇火山では長周期微動(LPTs, Long-Period Tremors)と呼ばれる特徴的な微動が常時発生しており、そのメカニズムを解明するため当施設では1997年に広帯域地震計を用いた高密度観測ネットワークを構築した。この観測網で得られたデータからLPTsの振動源は地下の亀裂(クラック)である事が明らかになった。この亀裂は火口列のやや西寄り、深さ1.5kmから僅かに傾いて深部に達すると推察されている。当施設で継続されてきた地殻変動、地震観測の結果、草千里ヶ浜火口の直下数kmにマグマだまりがあると推察されている。長周期微動はこのマグマだまりから放出される火山性流体がこの亀裂を通り地表に達する際のレゾナンスで発生すると考えられている(Yamamoto et al., 1999)。さらに最近の研究から、この長周期微動の振動周期は火山性流体の温度や成分の変化に伴い変化している事が明らかになった。



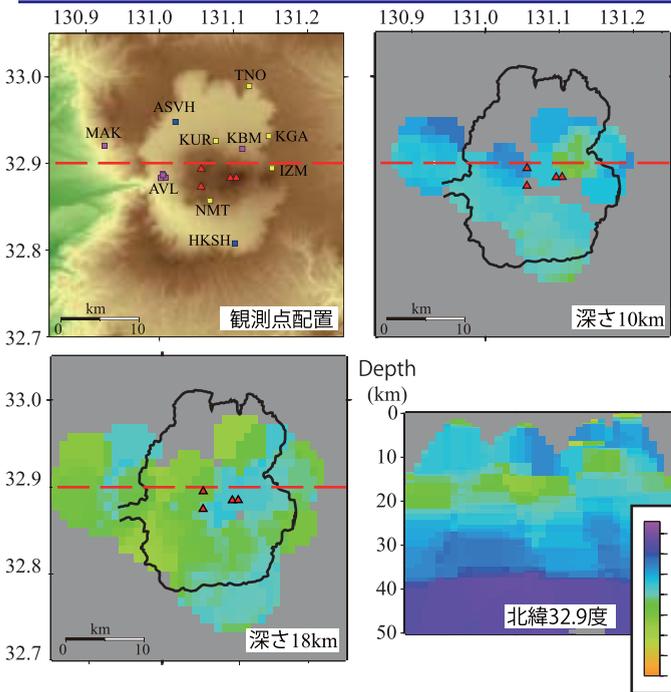
## 中岳火口直下の電気比抵抗分布

火山ガスの溶存成分を含む熱水は低い電気抵抗を持つ事が知られており、比抵抗構造から地下熱水系の存在域・規模に関する情報が得られる。我々は中岳火口周辺で高密度な電磁探査(AMT: Audio Frequency Magneto-Tellurics)観測を行い火口浅部の詳細な比抵抗分布を得た(Kanda et al.,2006)。その結果、第一火口の西寄り、深さ数百mに極めて低い比抵抗値(1~数Ωm)を示す領域が局在する事が明らかになった。この低比抵抗域の位置は長周期微動の解析から示唆される地下のクラックの上端部にあたり火口直下の熱水変質層がキャップロックとなりマグマだまりから供給される火山性流体の一部がこの領域に停留し熱だまりを形成しているとするモデルが提案されている。



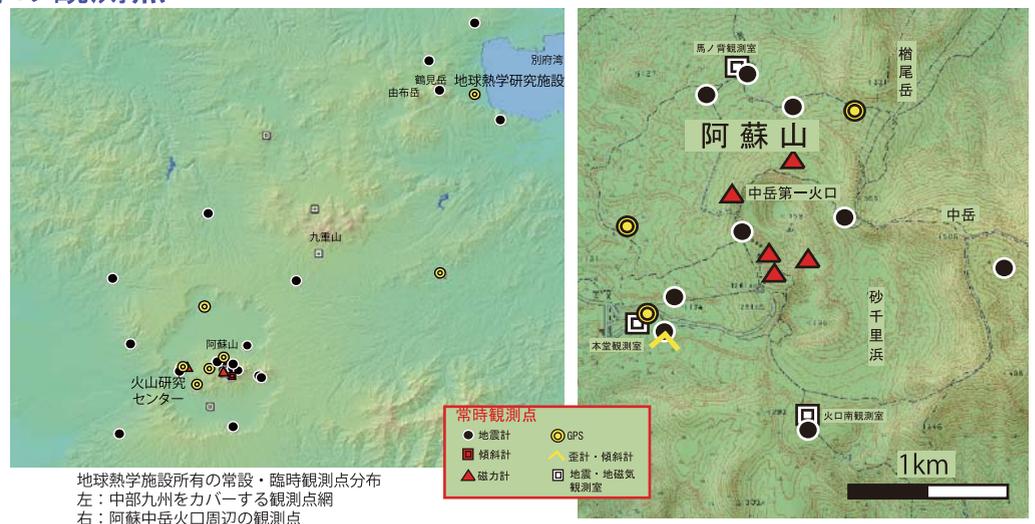
## 阿蘇カルデラの地殻深部構造

P波が地震波伝播速度の異なる媒質を通過するとその境界でS波が発生する。レシーバ関数は遠地震波形からそのようなS波を検出する手法であり、それをを用いて媒質境界の位置およびS波速度のコントラストを推定することができる。マグマや水などの流体を含む領域は、含まない領域より地震波の伝播速度が遅く、地震波速度構造にコントラストが生じる。その境界面の深さ・位置を推定することで流体の含まれる領域を特定することができる。我々は阿蘇カルデラにおいて稠密な地震観測を行ない、得られた遠地震波形からレシーバ関数を作成し、遺伝的アルゴリズムインバージョンを用いて地殻のS波速度構造を推定した。その結果、S波速度が2.4km/s程度の低速度層がカルデラ西部・北東部の深さ15-20kmの領域、および中央火口丘東部の深さ8-15kmの領域に存在することがわかった。この低速度層は最大で15%のマグマか30%の水を含むと考えられ、珪長質マグマを生成する部分熔融領域に対応する可能性がある。



## 地球熱学施設所有の観測点

地球熱学施設では、阿蘇火山・阿蘇カルデラの他に九重火山や別府市周辺の火山など九州の火山周辺に観測点を設置し、火山の地下構造推定や噴火メカニズム解明を目的とした観測・研究を行っている。この他にも、他の研究機関との共同研究やデータ共有などを通し、国内外の火山においても観測・研究を展開している。



# 施設一覧



京都大学大学院理学研究科  
附属地球熱学研究施設  
本部

〒874-0903  
大分県別府市野口原3088  
tel: 0977-22-0713  
fax: 0977-22-0965

URL: <http://www.vgs.kyoto-u.ac.jp/>

登録有形文化財(建造物)1997 面積 21,410m<sup>2</sup>



地球物理学研究所（別府）の開所式  
(大正15年10月28日)



京都大学大学院理学研究科  
附属地球熱学研究施設  
火山研究センター

〒869-2611  
熊本県阿蘇市一の宮町坂梨3028\*  
(旧坂梨小学校内)

tel: 0967-22-5000  
fax: 0967-22-5500

URL: <http://www.aso.vgs.kyoto-u.ac.jp/>

\*2016年の熊本地震によりセンター本館と敷地が被災したため、2017年より阿蘇市の旧坂梨小学校校舎を仮研究棟として研究・教育を継続している。

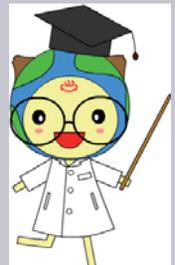


開所当時の火山研究センター



京都大学大学院理学研究科  
附属地球熱学研究施設  
京都分室

〒606-8502  
京都府京都市左京区北白川追分町 京都大学理学研究科1号館  
tel: 075-753-3938  
fax: 075-753-3938



ちねつちゃん

