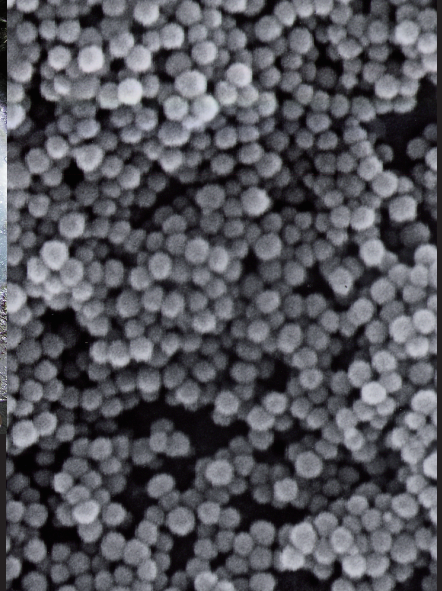


京都大学大学院理学研究科  
附属地球熱学研究施設  
INSTITUTE FOR GEOTHERMAL SCIENCES  
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE  
KYOTO UNIVERSITY



2023

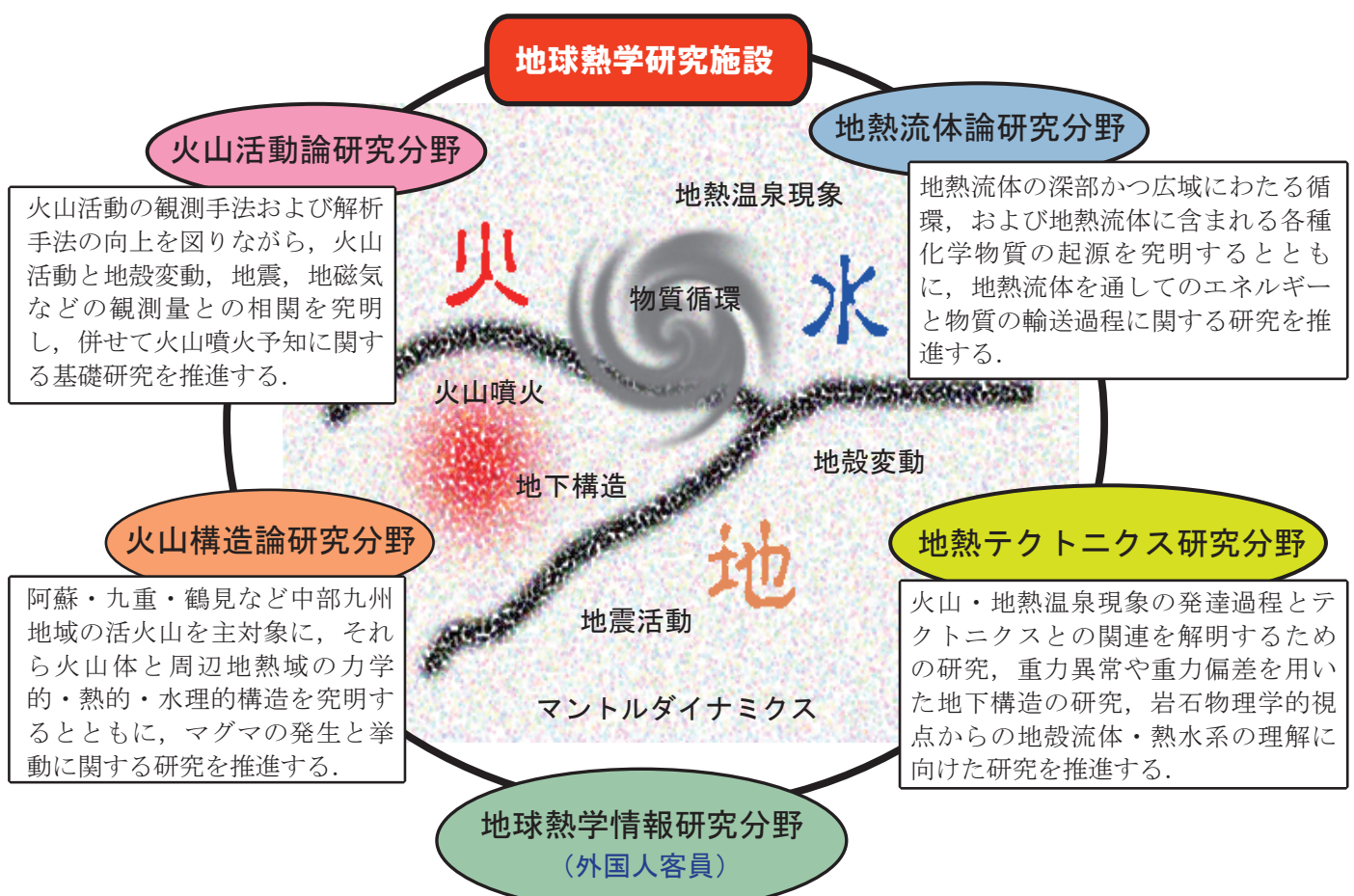
# 地球熱学研究施設のめざすもの

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

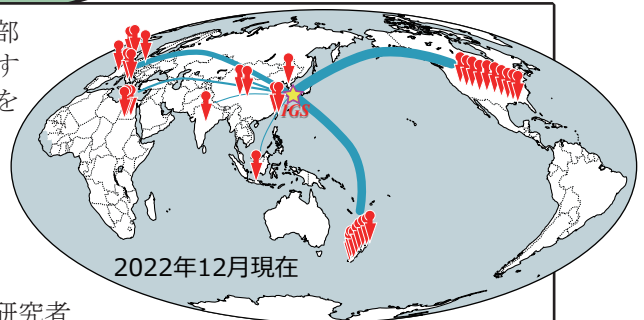
火山・地熱温泉現象の発達過程とテクトニクスとの関連を解明するための研究、重力異常や重力偏差を用いた地下構造の研究、岩石物理学的視点からの地殻流体・熱水系の理解に向けた研究を推進する。

### 地球熱学情報研究分野 (外国人客員)

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。

2021年12月までに、地図に示す地域からのべ37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



## 出版物

Annual Report 「京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設活動報告」（1997～）

## 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)	11月	研究および業務の開始。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（2023年4月現在）

教授3, 准教授2(公募中1), 助教2, 技術専門員2, 技術専門職員1,  
技術職員1, 研究員4, 非常勤職員5

施設運営協議会（2023年度）

一号委員 5, 二号委員 5, 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利活用している。

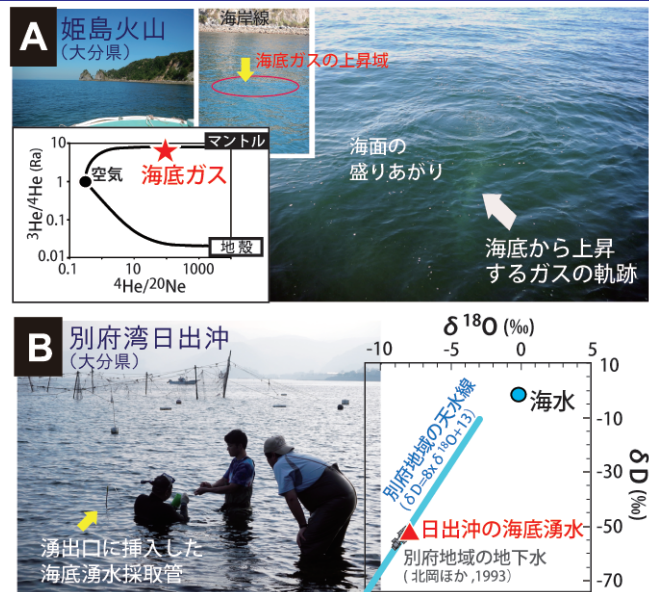


「京都大学の窓」としての隔地施設の役割を意識して，平成16年より研究施設の一般公開を実施しており，毎年100名を超える来訪者を迎えている。さらにSSHなど高校生の高度理科教育への支援や教員研修などを積極的に行い，アウトリーチ活動に着々と成果をあげている。また，各教職員は両拠点が位置する大分県，別府や阿蘇の自治体がかかえる課題である温泉資源保護，適切な地熱開発，火山噴火予知などの委員として重要な役割を果たしていることも特筆される。

## 沿岸域への地下水・ガスの流出 - 生態系や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。

当研究室では、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、赤外サーモ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 [大沢ほか, 2022]。



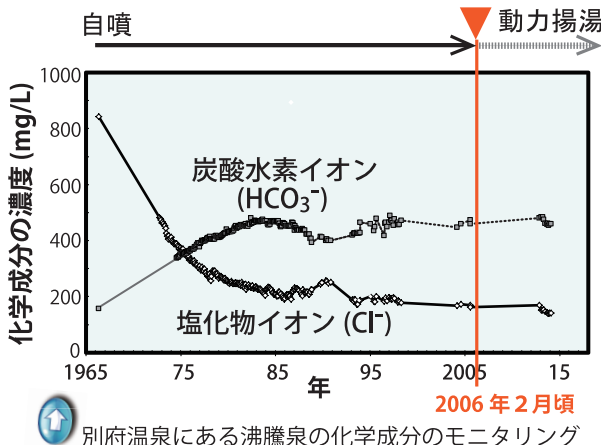
## \* 原位置地球化学観測

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、現地データを集め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 (土壌拡散 CO<sub>2</sub> フラックスメータ、土壌ラドン (Rn) モニターなど)。

そこで、このようなオンサイト用地球化学観測装置を積極的に導入し、カルデラ壁からの深部起源 CO<sub>2</sub> や活断層に沿った地熱水由来の Rn といった地圏ガスの大気圏への放出現象の観察などの研究に利用するとともに、学生の卒業研究や教養課程の学生実習にも活用している。

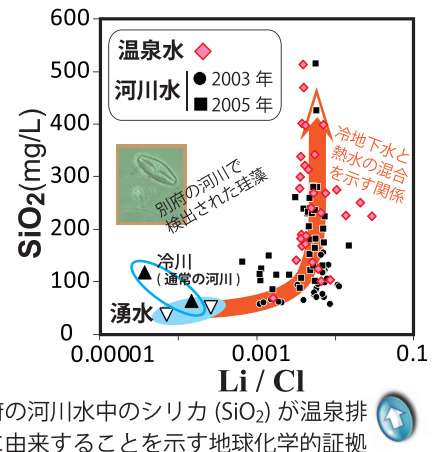
## 地域貢献・地域密着型の温泉科学

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



果の利活用の範囲は広く、その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を進めている。



その他、地熱流体にかぎらず地球固体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]。

地熱テクトニクス分野では、地形や地下構造など、広い意味での構造が、過去のどのようなプロセスによって形成されたかということ、すなわちテクトニクスを議論し、テクトニクスと地熱活動との関係を明らかにすることを目指している。

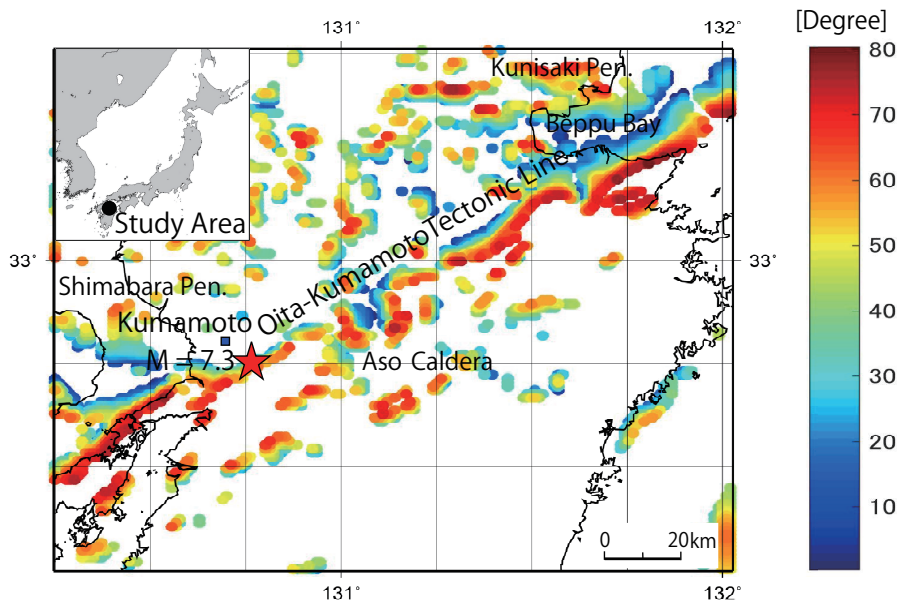
重力異常や重力偏差テンソルを用いた地下構造の推定や特徴的な構造の抽出、数値シミュレーションによる地下構造の復元をとおしてテクトニクスの再考や構築に取り組んでいる。また、様々なスケールの断層(岩石亀裂)の岩石物理モデルを確立することにより、地殻流体の挙動の理解、ひいては熱水系の理解につなげる研究に取り組んでいる。

応力場の変化による岩石物性の変化が地熱活動に及ぼす影響等の理解は、当分野の重要な研究課題である。様々な時間・空間スケールでの応力場変化とそれに伴う地熱活動変化との関係を実験、観測、数値シミュレーション、理論的研究をとおして解明していきたいと考えている。

## 構造形状の推定

地形や地下構造は形成時の応力場やプロセスを反映するため、これらの形状を知ることがテクトニクスを考える上で重要である。図1は、中部九州地域の重力異常から推定された大分 - 熊本構造線等、断層や地層境界面の傾斜角分布である[cf. Kusumoto (2016), EPS]. 大分 - 熊本構造線は全体的に高角であると推定されており、横ずれあるいは正断層タイプの構造線であることが示唆される。形成時はせん断応力場あるいは伸張場であったと推察される。

図 1: 構造境界の傾斜角分布図。重力異常から重力偏差テンソルを計算し、その最大固有ベクトルから傾斜を推定した。



## 断層内の流体流動

地殻流体は地下の熱水系形成に重要な役割を担い、主に断層がその主要な流路となる。図2は、岩石亀裂をデジタル化し、応力状態の違いが岩石内部のミクロな流れとマクロな岩石物性値(比抵抗・弾性波速度)に与える影響を数値計算した結果である[cf. Sawayama et al. (2021), RMRE]. 様々な応力状態での流れ場と地上観測可能な物性値の関係を明らかにすることで、地下の流体流動挙動モニタリングに地球物理学的観測が役立てられるようになると期待される。

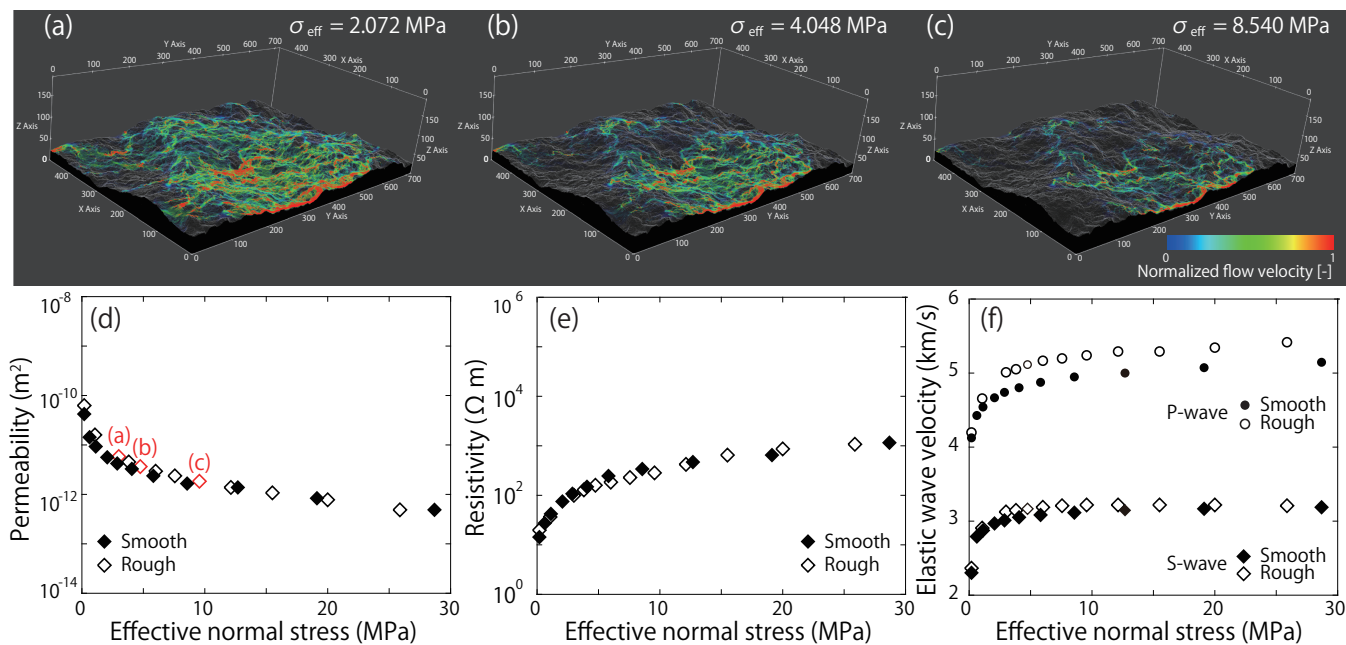
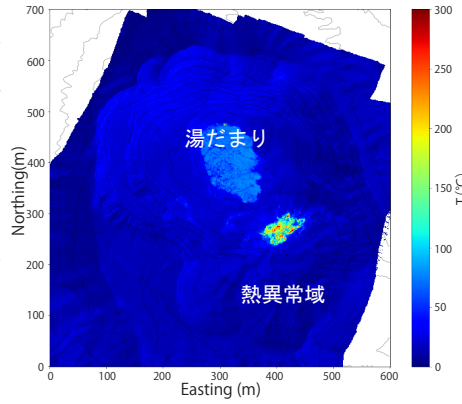


図 2: 応力状態の違いによる断層内の流体流動の変化 (a,b,c) と浸透率 (d)・比抵抗 (e)・弾性波速度 (f) の変化。カラーカウンターは最大流速で規格化した流れ場を示し、岩石亀裂の表面形状の上にイメージングしている。

火口湖からの放熱率推定

阿蘇火山の噴火活動は20年ほどの周期で繰り返され、活動静穏期は中岳第一火口内に湯だまりが形成される。60~70℃の強酸性のお湯が火口底全域を覆うその姿は、多くの観光客を惹きつける。これまでの観測研究により、湯だまりが維持される原因の大部分は火口底下から噴出する熱水によることがわかっている。活動静穏期から活動期・噴火期への移行時期には第一火口全体の熱活動が活発化し、湯だまりが消失する。熱活動の全容を明らかにするためには、湯だまりだけでなく、火口底からの噴気活動や、火口内壁に分布する地表熱異常域についての観測も欠かせない。近年では、ドローンを使用してこれらの熱活動を追跡することができるようになり、熱活動度の定量化が大きく進んだ。



中岳第一火口の地表温度分布図 (2022年3月)



干上がった火口底 (2021年6月)

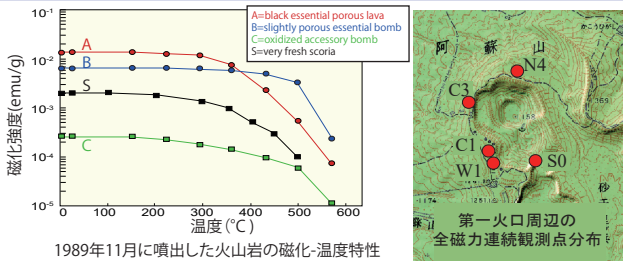


火口中央から噴煙が立ち上る (2020年6月)

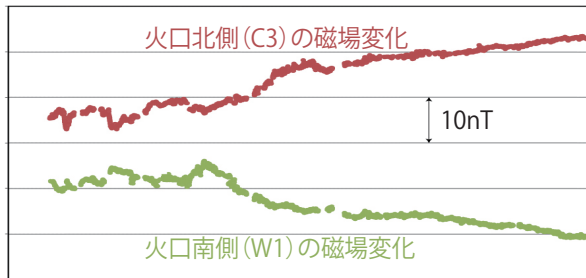
地磁気変化を用いた

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た時間変化を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。



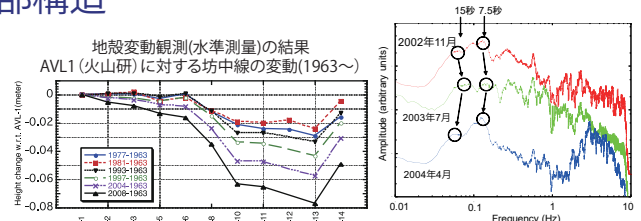
1989年11月に噴出した火山岩の磁化-温度特性



火口北側(C3)と南側(W1)の磁場変化。北側での磁場増加・南側での磁場減少は地下の温度が上昇した事を示す。

長周期微動から推察される阿蘇火山の内部構造

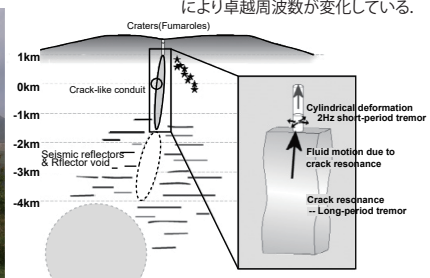
阿蘇火山では長周期微動(LPTs, Long-Period Tremors)と呼ばれる特徴的な微動が常時発生しており、そのメカニズムを解明するため、当施設では1997年に広帯域地震計を用いた高密度観測ネットワークを構築した。この観測網で得られたデータから、LPTsの振動源は地下の亀裂である事が明らかになった。この亀裂は火口列のやや西寄り、深さ1.5kmから僅かに傾いて深部に達すると推察されている。当施設で継続されてきた地殻変動、地震観測の結果、草千里ヶ浜火口の直下数kmにマグマだまりがあると推察されており、長周期微動はこのマグマだまりから放出される火山性流体がこの亀裂を通り地表に達する際の共鳴現象により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って変化している事が明らかになった。



長周期微動のスペクトル。観測時期により卓越周波数に変化している。



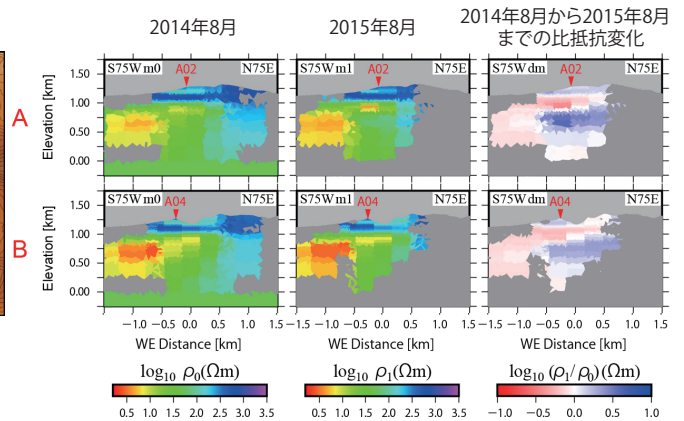
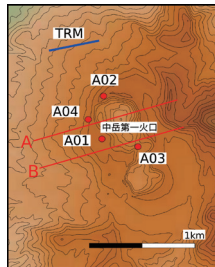
阿蘇火山における水準測量 (2012年9月)



長周期微動発生モデル [Yamamoto et al., 2000]

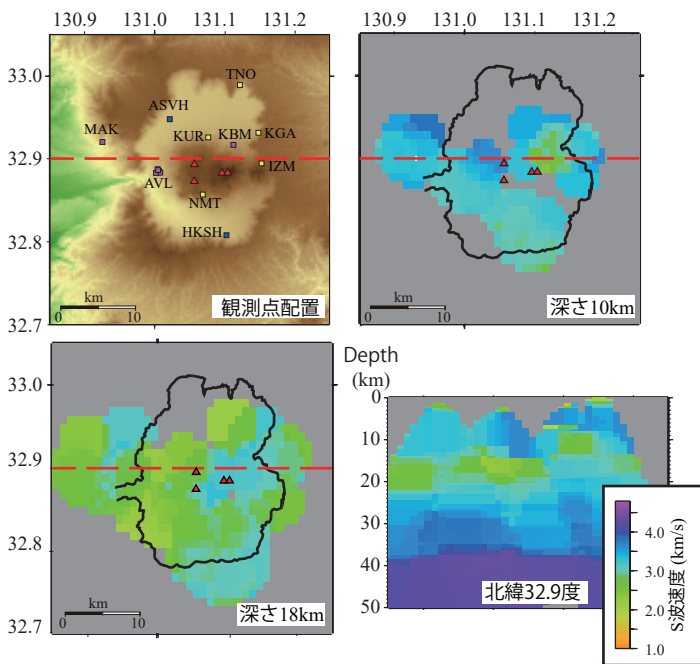
中岳火口直下の電気比抵抗分布

地下媒質の電気抵抗(比抵抗)は地下水の分布や、地下の温度状態に対して感度を持つ。また、その時間的な変化を捉えることで、火山活動の推移に伴った地下の熱的状態変化を知ることが出来る。こうした比抵抗の時間的な変化を捉える為に、我々は阿蘇中岳火口周辺で人工電流源を用いた電磁探査(ACTIVE)を繰り返し行って来た。これは大地に矩形電流を人工的に送信し、その過渡応答で生じる磁場を測定する観測方法で、アレイ観測により地下比抵抗の3次元構造を得ることが出来る。2014年11月に始まる噴火に際しては、噴火前の2014年8月と、ストロンボリ式噴火を経た2015年8月の期間で有意な比抵抗変化を検出した。この期間の比抵抗変化から、火口直下の溶存成分を多く含む帯水層が高抵抗化したことが明らかになり、その原因として、マグマの上昇により地下水の水頭面低下やガスの混入が起こったことが示唆される。



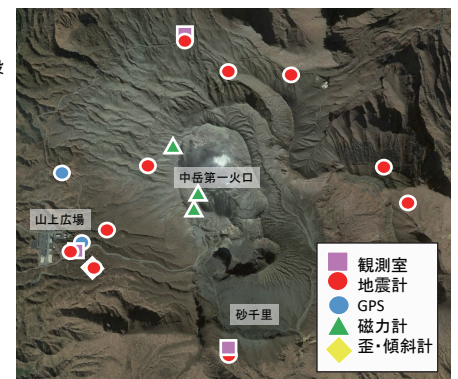
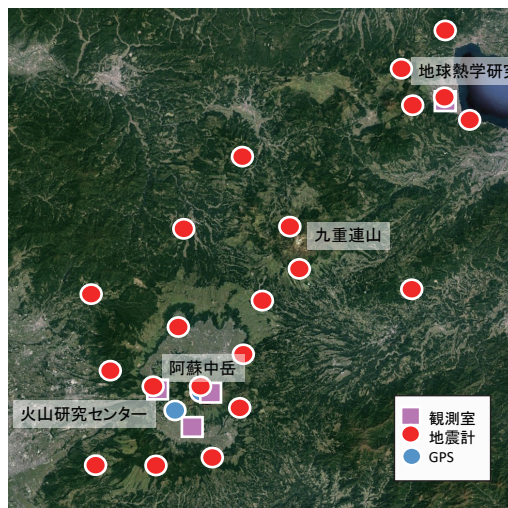
阿蘇カルデラの地殻深部構造

P波が地震波伝播速度の異なる媒質の境界を通過するとそこでS波が発生する。レシーバ関数を用いると、遠地地震波形からそのようなS波を検出することができ、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周囲より地震波の伝播速度が遅く、その領域の境界に地震波速度のコントラストが生じる。そのため、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15-23km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・阿蘇カルデラのほかにも、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。このほかにも、他の研究機関との共同研究やデータ共有などを通して、国内外の火山においても観測・研究活動を実施・展開している。



地球熱学施設所有の常設・臨時観測点分布  
左: 中部九州をカバーする観測点網  
右: 阿蘇中岳火口周辺の観測点  
(本図の作成にあたり google earth を使用)

# 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

〒869-1404  
熊本県阿蘇郡南阿蘇村河陽 5280  
tel: 0967-67-0022  
fax: 0967-67-2153

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

登録有形文化財(建造物)2012 面積 335,730m<sup>2</sup>

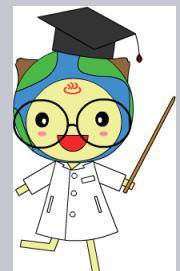


開所当時の火山研究センター



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

