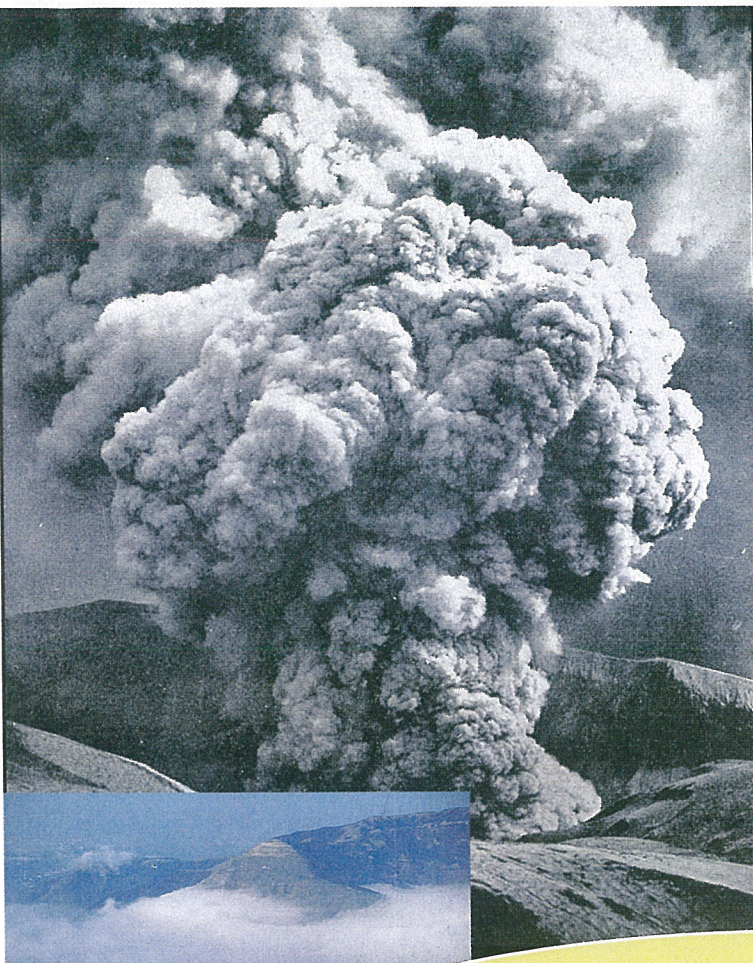
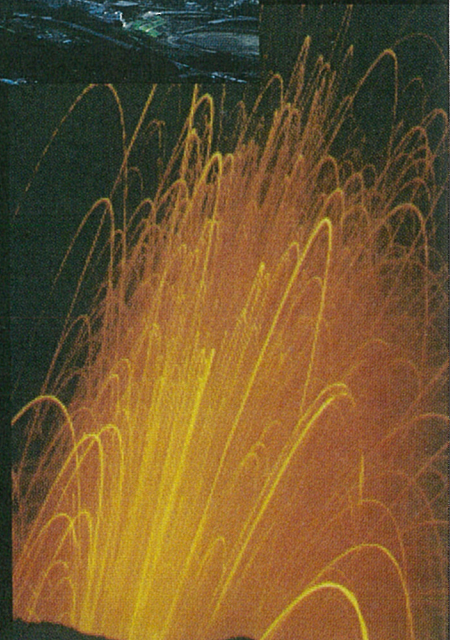
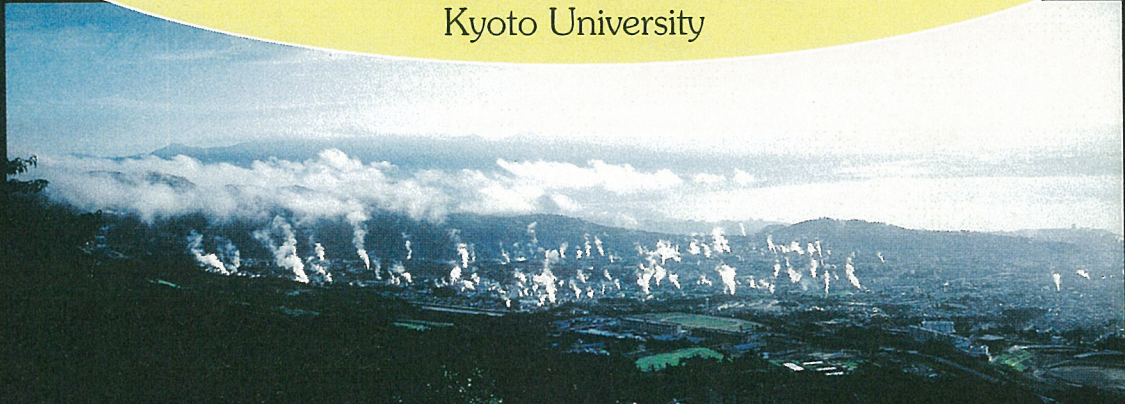




京都大学大学院理学研究科
附属地球熱学研究施設

Institute for Geothermal Sciences
Graduate School of Science
Kyoto University



1999

施設一覧

facility

名 称	所 在 地	面 積	設立年度
地球熱学研究施設 (別府)	大分県別府市野口原	21,410	1924
火山研究センター (阿蘇)	熊本県阿蘇郡長陽村河陽	335,730	1928
本堂観測所	熊本県阿蘇郡阿蘇町黒川	30,546	1932
草千里観測室	熊本県阿蘇郡長陽村長野	297	1932
飯田観測所	大分県玖珠郡九重町湯坪	1,536	1934
内牧支所	熊本県阿蘇郡阿蘇町内牧	491	1942
砂千里観測室	熊本県阿蘇郡白水村樽木	200	1959
真木観測所	熊本県菊池郡大津町真木	10,000	1964
高岳観測室	熊本県阿蘇郡高森町色見	100	1966
杵島岳観測室	熊本県阿蘇郡阿蘇町黒川	284	1966
牧野観測室	熊本県阿蘇郡産山村山鹿	45	1979
立門観測室	熊本県菊池市原網立	52	1979
中原観測室	熊本県阿蘇郡南小国町中原	644	1980
灰床観測室	熊本県阿蘇郡西原村河原	49	1981
南外輪観測室	熊本県阿蘇郡久木野村久石	211	1982
火口南観測室	熊本県阿蘇郡白水村樽木	124	1983
南郷谷観測室	熊本県阿蘇郡白水村吉田	146	1983
鶴見岳観測室	大分県別府市鶴見岳	90	1984
色見観測室	熊本県阿蘇郡高森町上色見	100	1992
小堀牧観測室	熊本県阿蘇郡一宮町宮地	100	1992
朝地観測室	大分県大野郡朝地町栗林	80	1993
万年山観測室	大分県玖珠郡九重町菅原	80	1993
長者原観測室	大分県直入郡久住町長者原	50	1998
赤川観測室	大分県玖珠郡九重町赤川	50	1998

主要設備機器

instrumentation in use

(別府)

ICP質量分析装置, ICP発光分光分析装置, 表面電離型質量分析装置, 波長分散型電子プローブマイクロアナライザー, エネルギー分散型電子プローブマイクロアナライザ, 波長分散型蛍光X線分析装置, エネルギー分散型蛍光X線分析装置, 粉末X線回折装置, 液体シンチレーションシステム, イオンクロマトグラフ, ガスクロマトグラフ, 自動滴定装置, 全自動微小地震観測システム, ピストンシリンダー型高圧発生装置, 外熱式ダイヤモンドアンビル, フーリエ変換型近赤外分光光度計, 赤外顕微鏡

(阿蘇)

阿蘇・九重火山連続地震観測システム, 地殻変動観測坑道, 孔中温度観測システム, ビデオ映像監視システム, プロトン磁力計, フラックスゲート磁力計, 地磁気絶対測定システム, 傾斜計, 可搬型地震計 (広帯域・短周期) およびデータロガー, 人工震源車, 重力計, 超伝導重力計, 地磁気地電流法測定装置 (広帯域型, ULF, ELF, VLF型) 光波測距儀, 水準測量システム (自動読み)

(Beppu)

ICP mass spectrometer, ICP emission spectrometer, Thermal ionization mass spectrometer, Wavelength dispersive electron microprobe, Energy dispersive electron microprobe analyzer, Wavelength dispersion type X-ray fluorescence analyzer, Energy dispersion type X-ray fluorescence analyzer, Powder X-ray diffractometer, Liquid scintillation system, Ion chromatography, Gas chromatography, Automatic titration system, Full-automated micro-earthquake monitoring system, Piston cylinder type high pressure apparatus, Externally heated diamond anvil cell, FT-NIR spectrometer, IR microscope

(Aso)

Continuous seismic monitoring system for Aso and Kuju Volcanoes, Observation tunnel for ground deformation, Borehole temperature monitoring system for Aso, Video monitoring system of Aso and Kuju Volcanoes, Proton and fluxgate magnetometers, Geomagnetic absolute measurement system, Tiltmeters, Portable seismometers (broadband, short-period) and data-loggers, Car-mounted seismic source, Gravimeters, Super-Conducting Gravimeter, Magneto-Telluric measurement system (broad-band type, ULF, ELF, VLF-band), Electronic distance measurement system, Leveling survey system (automatic reading)

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	開所式を挙行. 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(S 2)	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(S 3) 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(S 7)	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



地球物理学研究所（別府）の開所式（大正15年10月28日）



初代所長 志田順博士



開所当時の火山研究センター

地球熱学研究施設のめざすもの

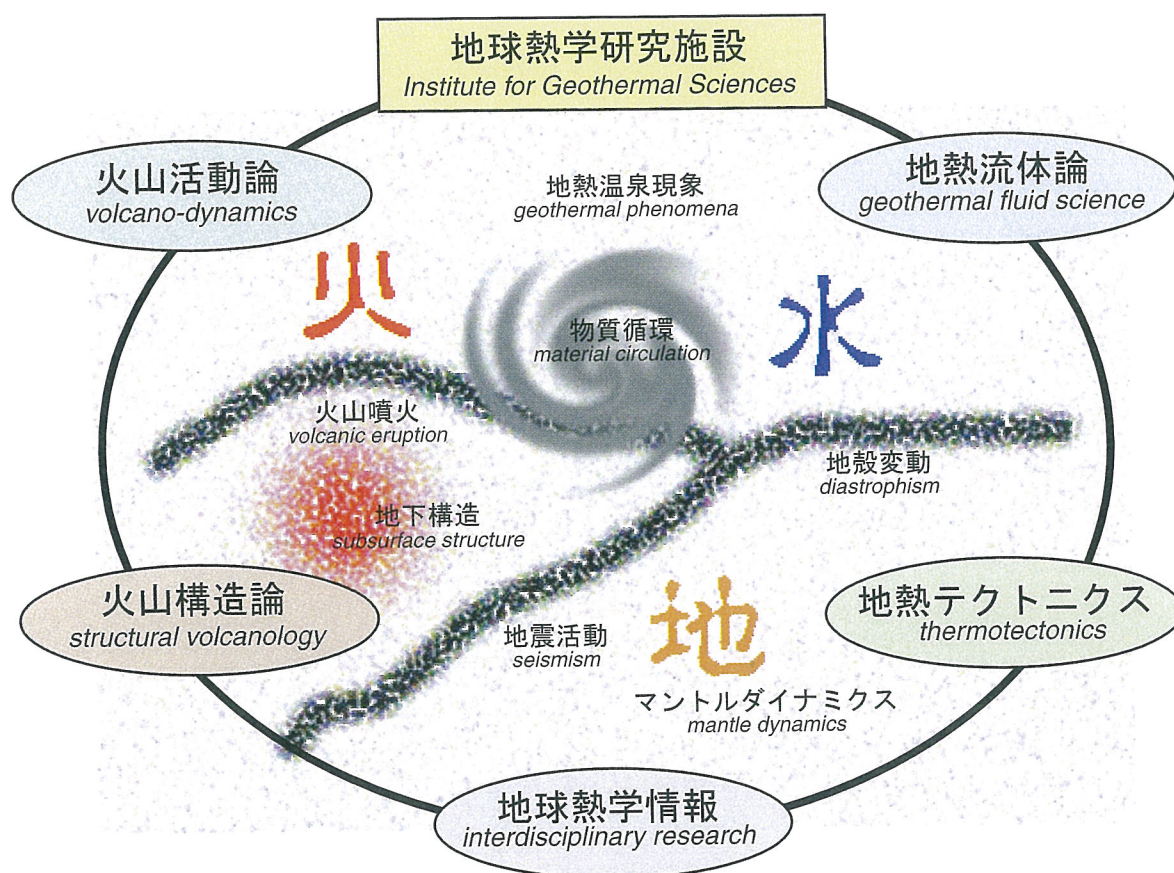
scope of the institute

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。

The Earth can be viewed as an active heat engine working to convert its internal thermal energy into surface phenomena such as diastrophism, seismicity, volcanism and hot spring activity. Because of differences in time-scale, superficial features, or practical aspects it has been normal to deal with these phenomena independently. To work towards a comprehensive understanding of the Earth's evolution and its predictability, we believe that it is indispensable to consider the Earth as a single heat engine by the use of synergistic research techniques.

We regard central Kyushu, one of the largest volcanic and geothermal fields in the world, as a natural experimental facility. The Institute for Geothermal Sciences is promoting a comprehensive approach to geothermal science through fieldwork, laboratory experiments and theoretical modelling. By analyzing the thermal structure and the dynamics of the Earth over scales ranging from the crustal surface to the mantle and the core, we aim to construct the science of geothermics in synergistic manner.



組織・研究領域 *research sections*

地球熱学研究施設は、野外観測や室内実験などを中心に、造構運動・火山活動・地熱温泉活動など地球の熱的活動に関する総合的な地球科学研究を推進するとともに、地殻表層からマントルにいたる熱構造と熱現象に関する地球熱学の学問体系の構築を目指す。この基本理念に立脚し、専門分野の異なる研究者が弾力的に協力できるように、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。

●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。

●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。

●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。

●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。

We are conducting comprehensive research into volcanism, geothermics and tectonics mainly by fieldwork, laboratory experiments, and theory. The fundamental scope of our research covers the thermal structure and the dynamics of the Earth's interior. A variety of research workers can flexibly cooperate within this interdisciplinary Geothermal Science research system. We have the following five sections.

●Research section for geothermal fluids

This section investigates the origin of chemical substances in geothermal fluids as well as their local and global circulation processes and the transport processes of energy and materials through geothermal fluids.

●Research section for geothermal tectonics

This section investigates the relationship between volcanic or geothermal processes and tectonics, subduction-zone magmatism and material circulation processes through the whole mantle by the use of magmatological approaches.

●Research section for volcanic structure

This section investigates the dynamic, thermal and hydrological structure of geothermal fields and active volcanoes in central Kyushu such as Aso, Kuju and Tsurumi, and the processes of generation, movement and eruption of magmas.

●Research section for volcano-dynamics

This section investigates the dynamic aspects of volcanoes by developing techniques of monitoring volcanic activity and of data analysis. It also contributes to research into the prediction of volcanic eruptions.

●Geothermal intelligence section (from abroad)

This section exchanges and accumulates interdisciplinary information relevant to geothermal sciences. It also promotes international cooperative work aimed at the development of new techniques in geothermal sciences.

『別府－島原地溝』と地球熱学

Geothermal sciences within the "Beppu-Shimabara Graben"

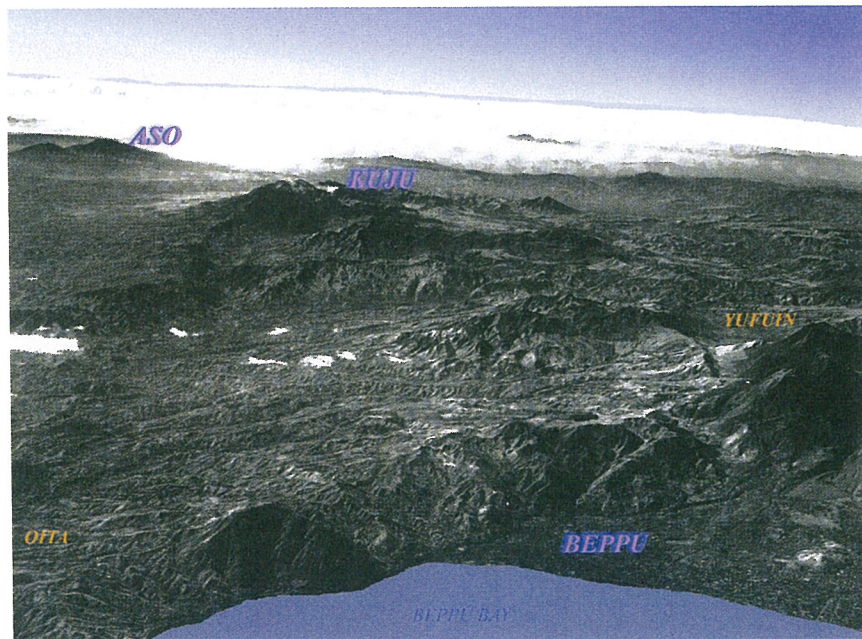
中部九州には、重力異常などから判断して東西方向に延長約200km・幅20～30kmにわたる地溝状構造が追跡される。この、九州を南北に分断する大構造は『別府－島原地溝』と呼ばれている。その成因には諸説があると同時に、そもそもこれを単一の構造とみるのは誤りで豊肥火山地域とそれより西の地域ではその成因が異なるとする説もある。しかし、いずれにせよこの地域が地球内部のダイナミックな躍動が投影される場所のひとつであることは間違いない。別府湾から九重・阿蘇を経て島原半島に至る『別府－島原地溝』内には、鶴見岳、九重硫黄山・阿蘇山・雲仙岳などの活動的な火山が東西線上に配列し、それらと密接な関係にある地熱温泉活動が各所に展開する。地球熱学研究施設が位置する別府温泉と阿蘇火山は、そのような活発な火山・地熱活動の産物であり、日本を代表する火山・地熱温泉地域である。

地溝帯の東端に位置する別府温泉は、世界でも屈指の地熱温泉地域であり、標高1,000mを超える鶴見火山群から海岸に至る東西約5km、南北約8kmの広い範囲にわたって地熱温泉活動が展開している。この別府地域で掘削された温泉井は約3,000口、流出する温泉水と蒸気の量は1日あたり約5万t、熱量は約350MWにも達し、いずれも日本一の規模である。高地部では蒸気や高温の熱水が噴出し、低地部では様々な泉質の温泉が湧出する。このように、ひとつの地域内で活発な地熱活動から多様な泉質の温泉まで

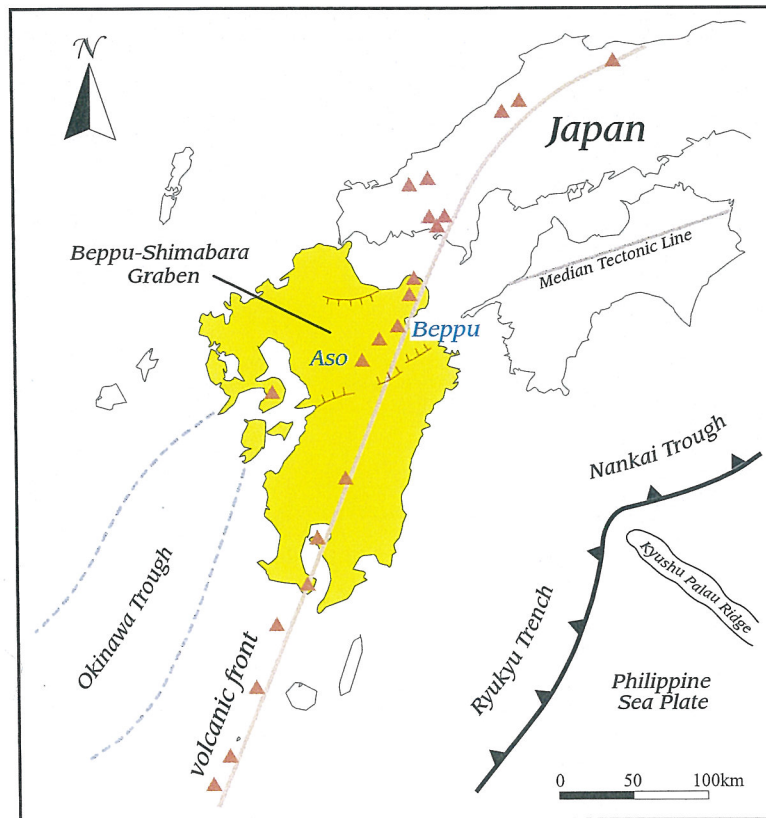
が一望のもとに観察され、しかも、それらの分布状態に規則性のあることが別府温泉の特徴である。

阿蘇火山は、別府－島原地溝のほぼ中央に位置し、東西約18km・南北約24kmの楕円形をした日本最大のカルデラと東西に並ぶ十数座の中央火口丘から成り立っている。阿蘇カルデラは、約30万年前から始まった4回の大噴火によって形成されたとされるが、その中でもおよそ9万年前に噴出したAso-4火砕流は、現在のカルデラ地形の形成に大きな影響を与えた。その後、カルデラの内部に流紋岩～玄武岩の幅広い岩質のマグマが噴出して中央火口丘が形成され、現在の姿となった。有史以後は、中央火口丘群の中岳のみが主にストロンボリ式の噴火活動を繰り返している。

以上のように、別府温泉や阿蘇火山は地球内部からの熱と物質の活発な放出口であることから、中央海嶺やホットスポット地域の火山や温泉と並び地球内部を垣間見ることが出来る貴重な場所であり、地球表層からマントルに至る熱構造と熱現象の究明を目的とした地球熱学研究を推し進めるために適した研究フィールドであるといえる。地球熱学研究施設では、別府地熱地域や阿蘇火山を含む中部九州地域を巨大な実験室とみなして、野外観測や室内実験などの研究手法を中心とした、地球の熱的活動に関する総合的な地球科学研究を推進する。



別府湾上空から中部九州を鳥瞰する
A bird's-eye view of central Kyushu from Beppu bay



西南日本のテクトニクス
概念図
Tectonic map of
southwestern Japan

The regional graben-like structure in central Kyushu, which extends from Beppu bay to the Shimabara peninsula via the Kuju and Aso volcanoes is sometimes called the "*Beppu-Shimabara graben*". It is about 200 km E-W long and 20-30 km N-S wide. Active volcanoes such as Tsurumi, Kuju, Aso, Unzen, and geothermal areas are found inside the graben. The origin of the *Beppu-Shimabara graben* is still an open question. Some investigators even refuse to consider it as a real "graben". Others emphasize the difference between the Hohi volcanic region and the western side of the "graben". In any case, subduction of the Philippine sea plate has certainly played an important role in tectonic, volcanic and geothermal activity in central Kyushu and is inevitably related to the structural origins of this region.

The Beppu hotspring is located at the eastern edge of The *Beppu-Shimabara graben* and is one of the largest geothermal fields in Japan. Fumarolic and hotspring activity spreads out up from the Tsurumi volcanic group down to the eastern coast of Beppu city, over a 5km (E-W) by 8km (N-S) range. The central part of the hotspring field formerly subsided and was covered with debris-avalanches from the mountains behind, with the northern and southern edges of the field being bounded by two fault systems striking along an almost E-W direction, respectively. The number of hot spring-wells drilled is ~3,000. Flow rate of the hotspring water including fumaroles and heat flow amounts to 50,000 tons/day and 350 MW, respectively.

The highland region spouts fumaroles and hydro-thermal water, whereas the lowland region bears hotspring water of diverse chemical composition. The range of phenomena and the regularity of their spatial alignment is a characteristic of the Beppu hotspring field.

Aso Volcano is located in the central part of the *Beppu-Shimabara graben* and consists of an elliptical caldera measuring 18 km (E-W) by 24 km (N-S), and of central cones with more than 10 volcanoes aligned in the E-W direction. The Aso caldera has experienced four great eruptions since 0.3 Ma (million of years before the present). The Aso-4 pyroclastic flow, the last of the major eruptions, which took place around 0.07-0.09 Ma was mainly responsible for the present shape of the caldera. The caldera rim is approximately 1,000 m in elevation, though the western edge of the caldera has collapsed with fault movement and subsequent erosion. At the outer flanks of the caldera, the Aso pyroclastic flow deposits cover the Pre-Aso volcanic rocks over a wide region. Central cones with a variety of rock properties ranging from rhyolite to basalt were formed at the center of the caldera after Aso-4. The youngest one, Mt. Nakadake (1,506 m), is a composite volcano of basaltic andesite and basalt. The crater of Mt. Nakadake is composed of seven craterlets, which are aligned in a N-S direction. Only the northernmost craterlet has been active during the past 60 years, and has erupted every few years. The mode of eruption has frequently been of a strombolian type.

研究成果 *research*

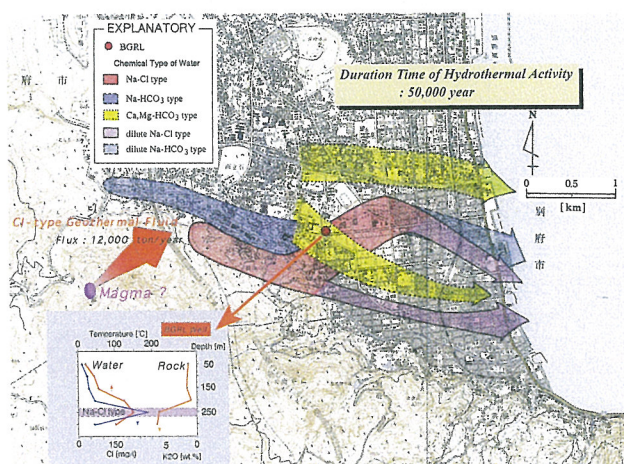
地熱流体論研究分野 Research section for geothermal fluids

別府温泉の年齢：温泉水の側方流動の継続年数

Age of Beppu hotsprings: lifetime of hotspring water outflows

Na-Cl型の温泉水の側方流動層には、多量のカリウム (K) が沈積している。このKの沈殿に要する時間、即ち温泉水の側方流動の継続時間は約5万年と算出された。また、これらより、別府温泉における深部起源塩素の放出量は1年に12,000トンと見積もられた。

Lateral flows of Na-Cl type hotspring water in Beppu a relatively high potassium content. We estimate that the duration time necessary for potassium deposition in a flow layer to be ~50kyr, which represents a minimum life-time of the flow. The discharge rate of depth-originated chlorine can be estimated as 12,000 tons per year.



別府地域の温泉水の分布から推定した流動経路
Flow pattern of hotspring water in the Beppu area

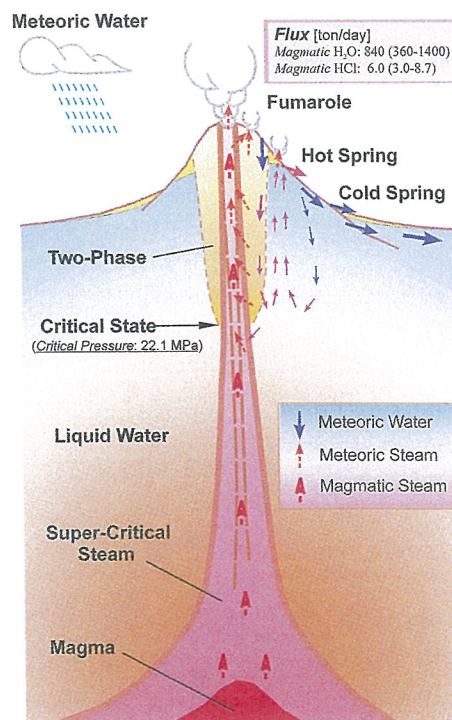
九重硫黄山における地熱流体の深部循環過程

Subsurface circulation processes of geothermal fluids in Kuju-Iwoyama Volcano

九重硫黄山では、マグマに発するH₂OやHClなどの揮発性物質が放出されている。天水の一部は、蒸気化しながら深部に浸透し、臨界温度以上の高温領域でマグマ性蒸気と混合する。混合した蒸気は噴気として地表に戻る。その循環は数年以内の速い過程である。この蒸気系に接して天水の液体循環系が形成されていて、それから温泉の流出がある。液体系では、マグマ性水は確認されておらず、100年以上の遅い循環である。マグマからの熱と物質移動は、その周囲に、深さ2km以上にわたる蒸気系をメインとする天水の深い循環を駆動させている。

In the Kuju-Iwoyama Volcano, magmatic volatiles such as H₂O and HCl are regularly discharged by mixing with meteoric steam in super-critical zones of water. The circulation of meteoric water in the steam system is very rapid within several years of mean residence time. The liquid water, which is adjacent to the steam system forming hot springs, circulates slowly over 100 years time scales and contains no magmatic water.

九重硫黄山の水循環モデル
A schematic cross-section of Kuju-Iwoyama showing the deep circulation of meteoric water

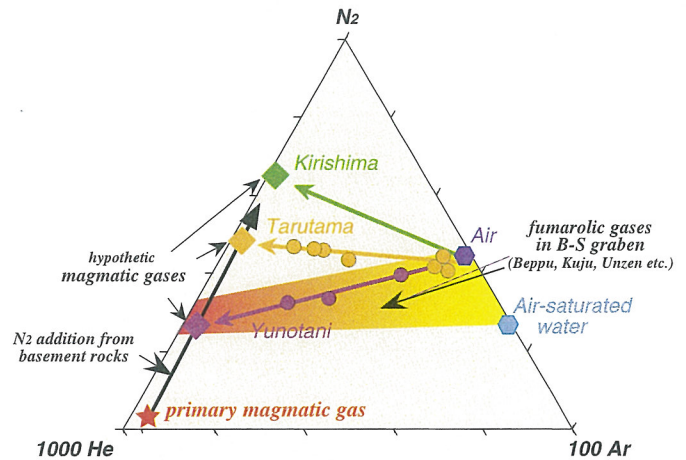
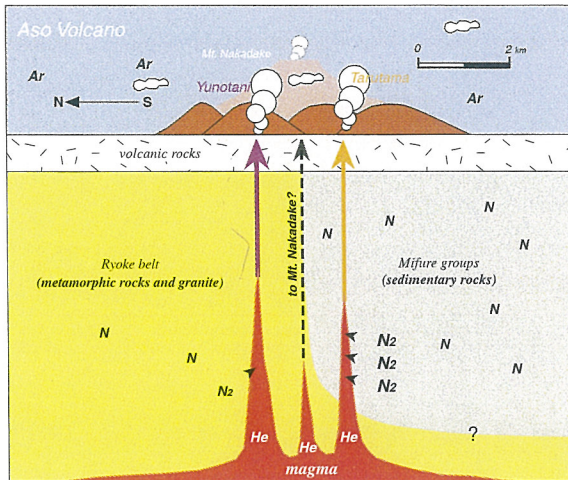


Schematic Kuju-Iwoyama Volcano

阿蘇火山のマグマ性ガス中の窒素の起源

Origin of nitrogen (N_2) in magmatic gases of Aso Volcano

阿蘇火山から放出されるマグマ性ガスの不活性ガス組成 (N_2 -He-Ar) は、北部と南部で顕著な違いが見られる (後者の方がNに富む)。この結果は、マグマ中の窒素は基盤の堆積岩や変成岩から取り込まれたものであり、これまで考えられてきた沈み込む海洋性堆積物にあるのではない可能性を示している。



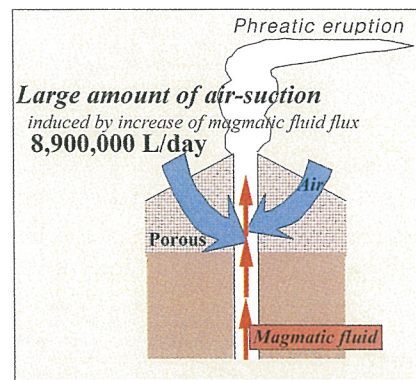
垂玉、湯の谷温泉噴気ガス中に含まれるヘリウム、窒素、アルゴン比の比較
Relative He, N_2 , and Ar contents in gases discharged from Tarutama and Yūnotani hot springs

九重火山の噴火と希ガス組成変化

The 1995 eruption of Kuju Volcano and its effect on rare gas abundance ratios

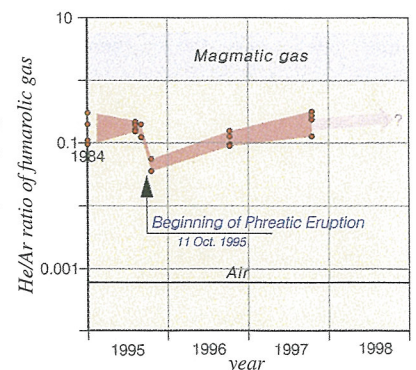
噴気ガスのHe/Ar比が水蒸気爆発により急激に減少した。これは、マグマ性流体放出量の突然の増加により、その流路に 8.9×10^6 l/dayもの多量の空気が吸い込まれたためである。水蒸気爆発後、He/Ar比は徐々に以前のレベルに遷移した。

The He/Ar ratio showed a sharp decrease at the time of the phreatic explosion. This drop suggests air-suction rates of 8.9×10^6 l/day as a result of sudden increase in the discharge rate of magmatic fluid. Following the explosion, the ratio gradually recovered to the initial level.



九重硫黄山での火山ガス採取の様相
Gas sampling at Kuju-Iwoyama, Kuju Volcano

九重火山 (硫黄山)
1995年水蒸気爆発前後における噴気中の希ガス組成変化
Content change of rare gases during the phreatic eruption of the Kuju Volcano (Iwoyama) in 1995



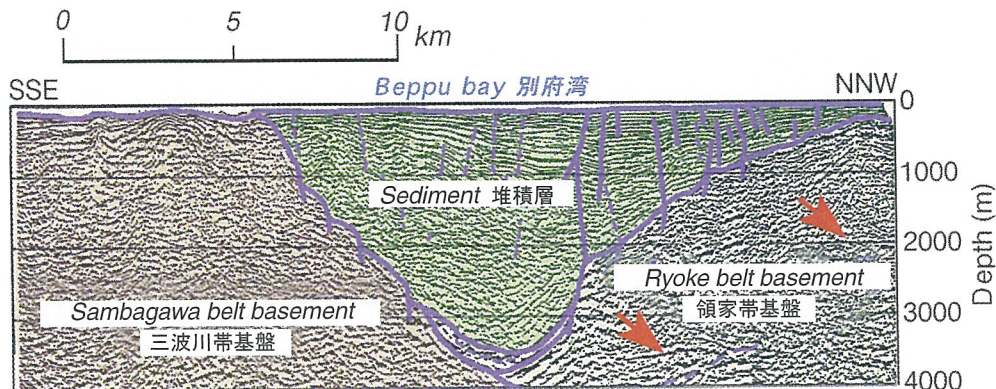
地熱テクトニクス研究分野 Research section for geothermal tectonics

別府湾の地下構造

Submarine structure of Beppu bay

別府湾の地下には、舟底状の深い地溝・地溝堆積物内に高度に発達した断裂や褶曲などが確認された他、領家帯基盤岩の下に三波川帯基盤が位置するという注目すべき結果が得られた。

Our work shows that a steep graben-like structure is present beneath Beppu bay. Sediments on the graben are highly fractured and folded. Another interesting discovery is that the Sambagawa belt basement lies under the Ryoke belt basement.



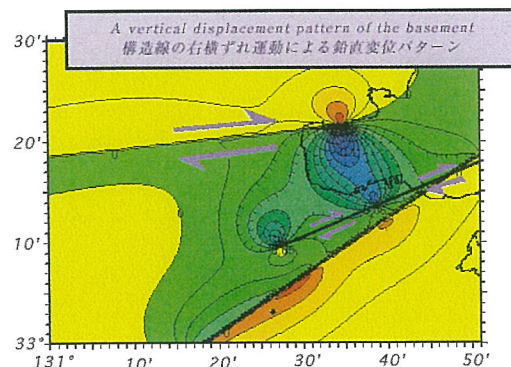
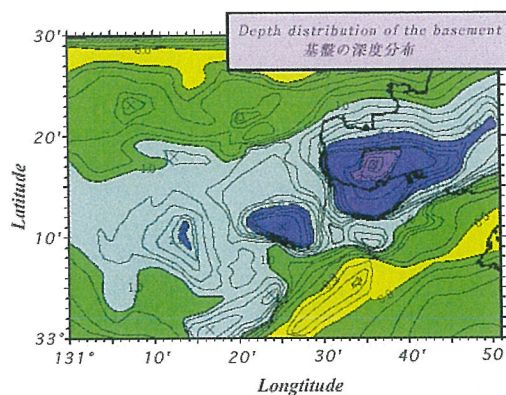
別府湾におけるマルチ・チャンネル反射法地震探査の例
An example of seismic exploration in Beppu bay using the multi-channel reflection method

中部九州の第四紀テクトニクス

Quaternary tectonics of central Kyushu

中部九州東部に見られる負の大きな重力異常域（別府湾と庄内）は、約1Ma以降に起こった2つの構造線（中央構造線と久留米-日出線）の右横ずれ運動にともなった地盤の沈降により形成されたことが示された。

The ground depression associated with the right-lateral movements of the tectonic lines (the Median Tectonic Line and Kurume-Hita Line) after 1Ma is a promising causative mechanism of the large negative anomalies in gravity (Beppu bay and Syonai).



基盤の深度分布と構造線の右横ずれ運動による鉛直変位パターン・シミュレーション

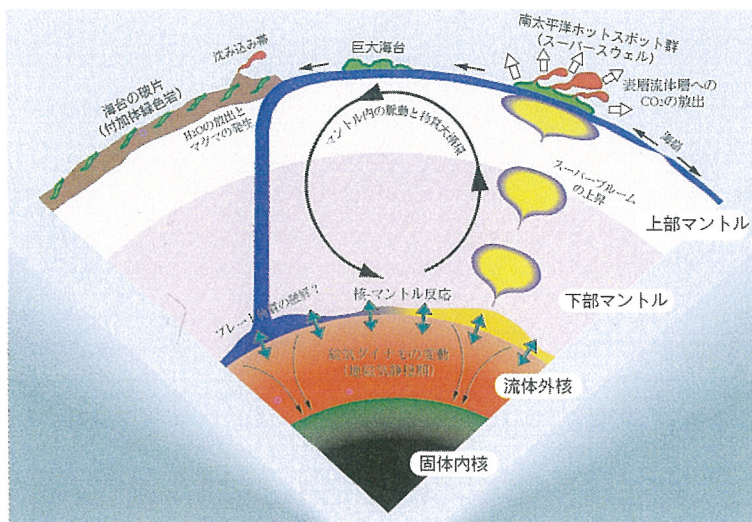
Mapping of the basement depth together with an example of the simulation of vertical displacement of the crust caused by right-lateral movement of two tectonic lines

全マントル規模の物質循環とマグマ活動

Whole mantle-scale material circulation and magmatic activity

マグマの発生は、地球内部における物質・熱移動によって引き起こされている。プレート物質の全マントル規模での循環に着目して、沈み込み帯・ホットスポットにおけるマグマ活動の包括的な解析を行なっている。

Magma is generated by material and heat transfer in the earth. Magmatic activity in subduction zones and hotspots is comprehensively analyzed focusing on the use of materials of plate origin as tracers through the whole mantle.



全マントル規模で間欠的に発生するスーパープルームは、地球システムの中で最大のフラックスであり、46億年にわたる地球と生命の進化において決定的な役割を果たしてきた可能性がある

Intermittent upwelling of superplumes, the greatest fluxes known within the geosystem, are likely to have played a key role in the evolution of the Earth and its biosphere over a timespan of 4.6 billion years

始生代の沈み込み帯での大陸地殻形成

Formation of continental crust in subduction zones in the Archean

大陸地殻の大部分は始生代に大規模に形成され、その後の地球の組成進化やダイナミクスに決定的な影響を与えた。当時地球は温度が高く、沈み込み帯では大量のマグマが形成され、その活動により大陸地殻が形成されたと考えられている。そこで重要なのは、

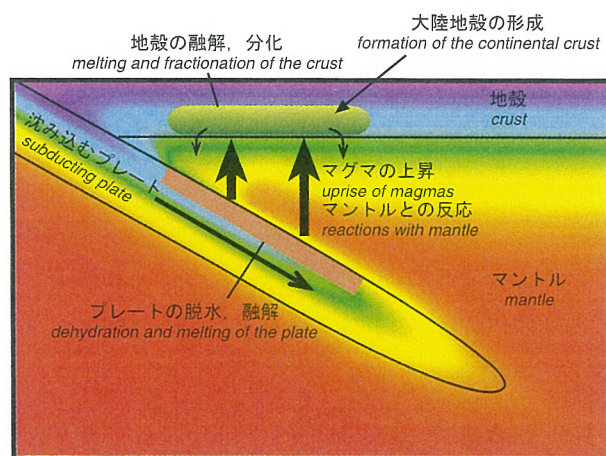
(1) 沈み込むプレート物質の融解、脱水反応

(2) マントルとの反応

(3) 地殻の融解、分化による化学進化

というプロセスであり、それらを、対流、温度構造等の当時のマントル・ダイナミクスの推定やマグマの組成解析などを通じて解明をすすめている。

between mantle and the materials supplied from the subducting plate, and (3) chemical evolution of the crust by melting and fractionation. These processes have been investigated based on an estimation of mantle dynamics (convection temperature structure, etc.) in the Archean and chemical compositions of arc magmas.



沈み込み帯の鉛直断面での温度構造と大陸地殻形成プロセス
Thermal structures in a vertical cross section of subduction zones and the formation process of continental crust

Most of the continental crust was formed in the Archean, a period of major influence on the chemical evolution and dynamics of the Earth. In the Archean, temperatures within the Earth were higher and active magmatism could have occurred in subduction zones; the continental crust was probably formed by such magmatic activity. The important processes for the formation of the continental crust are (1) melting and dehydration of the subducting plate, (2) reaction

火山活動論研究分野 Research section for volcano-dynamics

地殻変動から見た阿蘇火山の特質

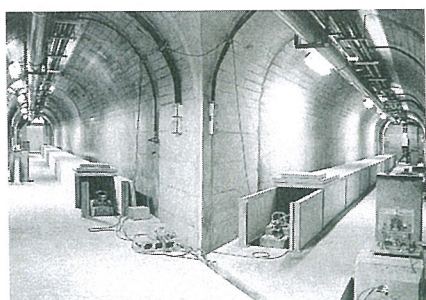
Ground deformation studies at Aso Volcano

マグマや地熱流体の供給や移動に伴う地殻の動きをとらえることを目的として、阿蘇火山の活動火口から南西に約1km離れた本堂観測点に地下30mの観測坑道が設けられた。ここでは、水管傾斜計とインバール棒伸縮計によって地殻の歪みと傾斜が連続観測されており、1989年から1991年にかけての活動期には山体の膨張を示す変化がとらえられている。1995年からはこの坑道に超伝導重力計が設置され、 10^{-9} ガル（地表の重力加速度は約980ガル）の分解能で重力変化を計測している。これに加え、光波測距儀による辺長測量・GPS測量・水準測量も繰り返し行われている。

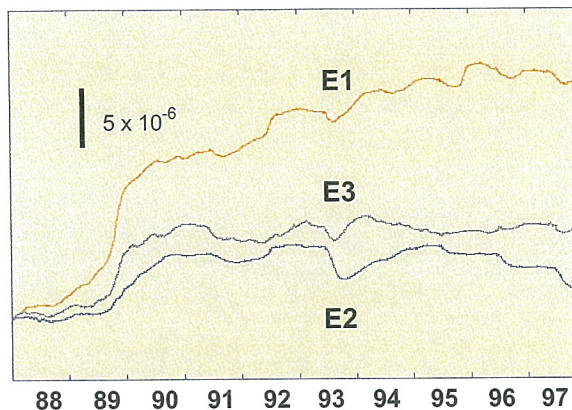
阿蘇火山は、断続的ではあるがほぼ定常的に噴気活動、土砂噴出や爆発などのかたちで熱エネルギーの放出を継続しているにもかかわらず、他の活火山に比べて観測される地殻変動の量が小さいのが特徴である。このことは、阿蘇火山からの物質・熱放出システムが常時開放的であることを示唆している。

Aso volcanological laboratory has an observation tunnel for the precise measurement of ground deformations associated with the activity of Aso Volcano. The 30m-deep tunnel is located at Hondo observatory, 1km southwest from the active crater. Water-tube tiltmeters and invar-rod extensometers are working in the tunnel to monitor the ground deformation of Aso. Remarkable dilatation was detected during the eruption episode from 1989 to 1991. We also have a Super-Conducting Gravimeter (SCG) in the tunnel, which measures the gravity variation with a precision of 10^{-9} gals (gravity on the earth's surface is about 980 gal). Besides the tunnel observation, we repeatedly perform Electronic Distance Measurement (EDM), GPS measurement and leveling survey with the aim of detecting crustal movements associated with the transfer of magma or geothermal fluid.

The amount of ground deformation of Aso is small relative to other active volcanoes, in spite of the continuous discharge of thermal energy by fumaroles, mud ejections and explosions. It suggests free transfer of heat and material within the Aso Volcano.



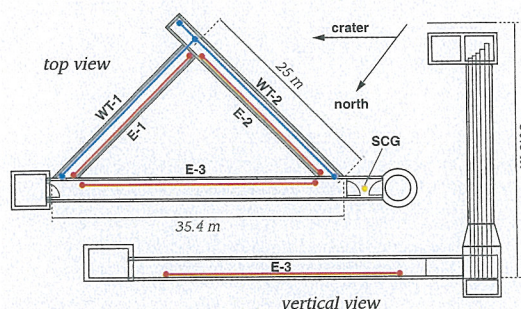
観測坑道内で計測を続ける水管傾斜計とインバール棒伸縮計
Water-tube tiltmeters and invar-rod extensometers watching the activity of Aso Volcano



観測坑道に設置された伸縮計で計測された辺長変化 (88-97)
Strain changes measured with invar-rod extensometers in the observation tunnel (1988-1997)



地下30mの観測坑道に設置された超伝導重力計
Superconducting gravimeter installed at the bottom of the observation tunnel

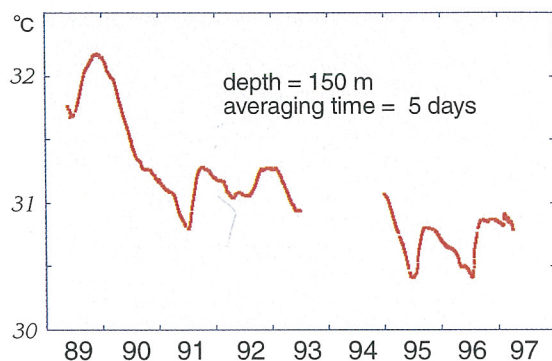


本堂観測坑道における観測機器の配置
Layout of instruments in the observation tunnel

阿蘇中岳の湯溜まり、噴気および地温変化

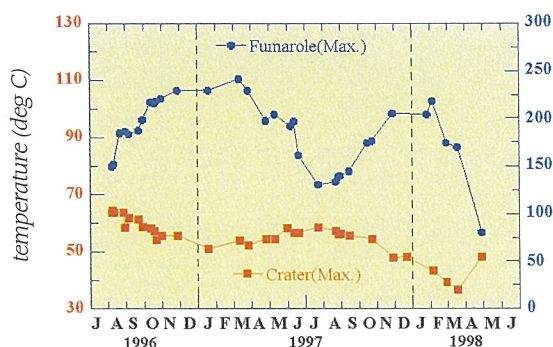
Temperature variability at Aso Volcano

阿蘇中岳第1火口の西方約200mに設けたボーリング孔では地中温度の観測を行っている。150m深の温度変化を見ると、89年から90年にかけての活動期に温度が高く、それ以降は徐々に温度が低下していることがわかる。96年からは、湯溜まりと噴気地帯の最高温度を赤外放射温度計で測定しているが、これまでの結果から両者は逆相関の変動を示していることが明らかになっている。



ボーリング孔中の地温変化（深度150m）
Variation of ground temperature in a borehole of depth 150 m
using quartz thermometers (1989-1997)

Variations in ground temperature have been observed in a borehole drilled some 200m west from the 1st crater of Aso. The temperature change at a depth of 150 m shows a peak during the active period of 1989-90 and a gradual decline afterward. Repeated measurements have also been made with an Infrared Radiation Thermometer (IRT) since 1996. Temperature changes of the crater lake and of the fumarolic area were revealed to be in anti-phase.



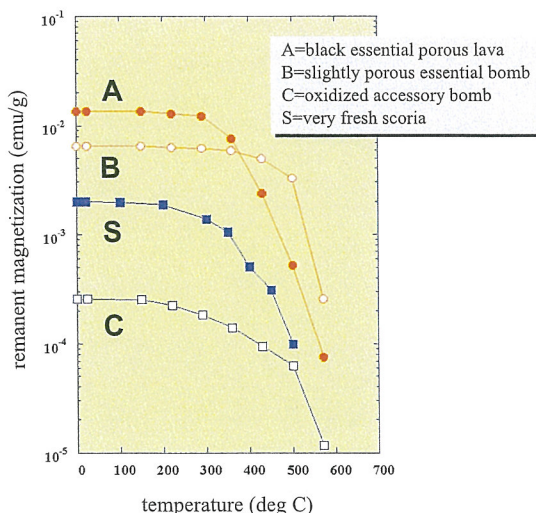
赤外放射温度計で測定した湯溜まりと噴気地帯の最高温度（1996-1998）
Temperature (max.) changes of the crater lake and of the fumarolic area of Aso measured with IRT

地磁気変化でとらえる火口直下の温度変化

Thermal state below the active crater of Aso deduced from geomagnetic changes

一般に、火山岩は強い磁化を有するため火山体は磁気異常を生じている。火山岩の磁化は温度の上昇とともに減少するので、この性質を利用して、火口周辺での地磁気変化から地下の温度変化を知ることができる。例えば、噴火孔が開口し熱が放散されると周辺の岩石は磁化獲得の傾向を示し、火口底に湯溜まりが生じて閉塞状態になると熱の放散が妨げられて磁化消失の傾向を示す。注目すべきことに、こうした地磁気の変化は表面活動の推移に対して迅速に反応している。このことは、中岳火口の地下浅部では地熱流体の移動による効率的な熱輸送が行われていることを示している。

Magnetization of volcanic rocks tends to decrease as their temperature gets higher. Hence we can infer the thermal state of a shallow subsurface region by geomagnetic observation around a crater. In a typical case, magnetization beneath an Aso crater increases as a vent opens with the heat being discharged. In contrast, it tends to decrease after the vent is plugged as a result of the appearance of a crater lake. The geomagnetic response to the changes of surface activity is rapid and implies the efficient heat transfer by geothermal fluids.



1989年11月に噴出した火山岩の磁化-温度特性
Thermal remanent magnetization curves for several kinds of bombs ejected from the active crater in November 1989 (after Tanaka, 1993)

火山構造論研究分野 Research section for volcanic structure

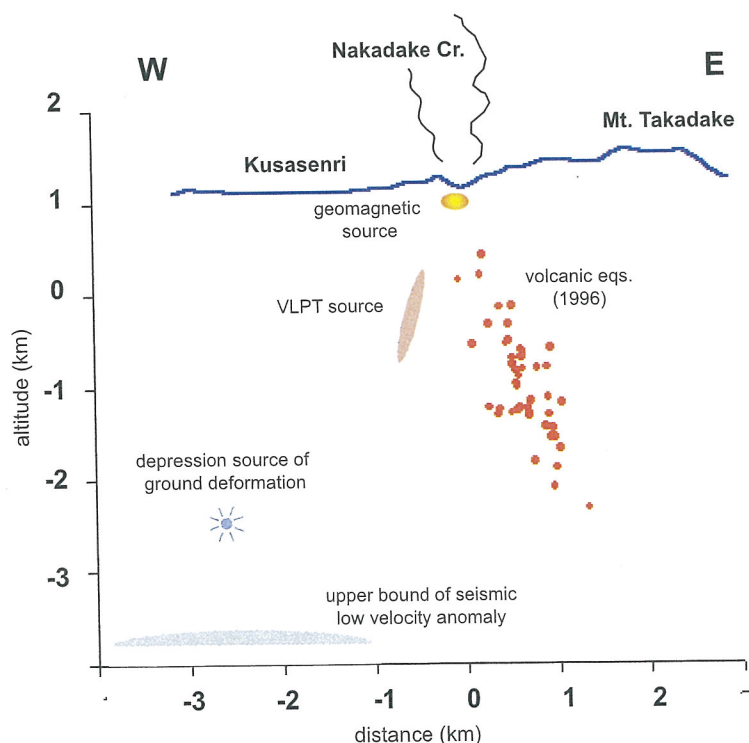
地球物理学的諸観測から推定される阿蘇火山の内部構造 Structure of Aso Volcano inferred from geophysical observations

地球物理学的手法による阿蘇火山の構造に関する研究には施設発足以来の歴史がある。長年にわたる地震、微動、地殻変動、地磁気等の定常観測を通じて阿蘇火山の地下で発生する諸現象の連関とその実体が明らかになりつつある。

火山性地震の震源域は中岳火口の東側に位置するのに対し、近年長周期地震計によってその存在が確認された15秒の基本周期を有する超長周期微動の振動源は、活動火口のやや西側1.5km程度の深さに推定されている。このような超長周期の振動の発生には地下の流体が関与している可能性が高いが、発生機構の詳細は未だ明らかにできていない。また、短周期の火山性微動は、この超長周期振動源の上端付近で発生しており、両者はその発生機構において何らかの関わりがあるものと推測される。

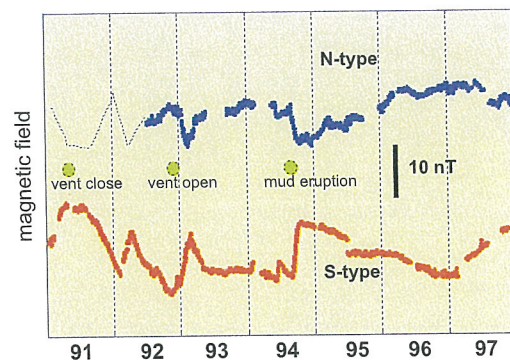
火口近傍の地磁気変化からは、地下数百m以浅で熱消帯磁が繰り返されていることが推測できる。地磁気変化から推定される地下での熱の移動は熱伝導のみでは説明できないほど迅速であり、熱消帯磁域では流体の移動が効率的な熱伝達を実現しているものと考えられる。

また、50年以上にわたり登山道路沿いに展開されている水準路線に沿った地盤上下変動からは、中岳火口の南西約3-4km、深さ3-4km付近に等価的な収縮力源の存在が推定されている。



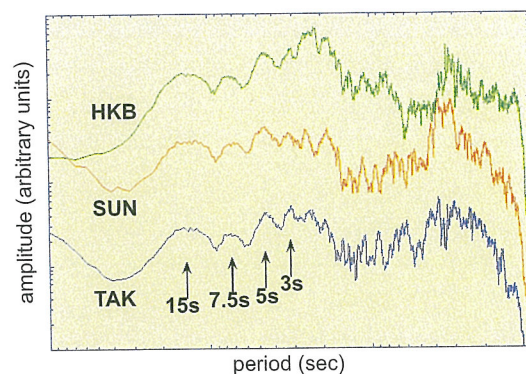
地球物理学的諸観測から推定される種々のソース（東西断面）
Source locations of various kinds inferred from geophysical observations (E-W cross-section)

さらに、より深部には地震波トモグラフィーから推定される低速度領域が存在する。これがいわゆるマグマ溜りに相当するものかどうかは現時点では明らかではないが、今後、人工地震探査や電磁気探査等を通じて諸変動源の物理的実体を解明しようとしている。

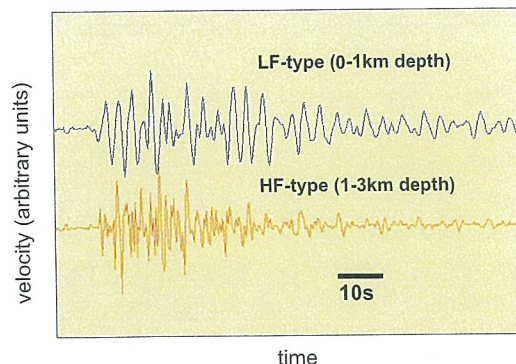


火口近傍の地磁気変化。南側での磁場減少は火口下の蓄熱を示す

Geomagnetic changes in the vicinity of the active crater of Aso. We can deduce the thermal state from compensative variations at the northern (upper) and southern (lower) stations



超長周期微動のスペクトル。基本周期は15秒
Spectra of Very Long-Period Tremor (VLPT). The fundamental period is 15 sec (after Kaneshima et al., 1996)

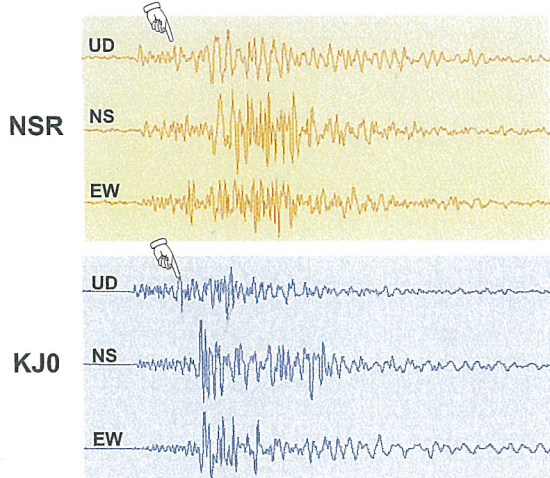


阿蘇火山で発生する地震記象の例
Examples of typical volcanic earthquakes observed at Aso Volcano

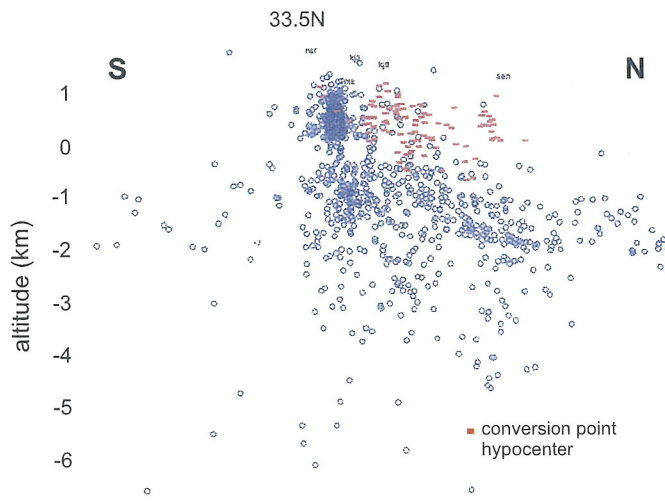
地震波後続相から推定される九重火山の構造

S-P conversion illuminates the subsurface of Kuju Volcano

九重火山とその周辺で得られた地震記録にはS波の到来の直前に明瞭な孤立相が到来するものがある。この孤立相は地下の速度境界面におけるS-P変換波であることを推定し、その変換点の分布を調べた。この変換点は九重火山とその周辺にひろがり、地表から約1km前後の深さに分布することが明らかにされた。



九重火山で観測される地震波後続相の例。後続相を矢印で示した
Examples of seismograms with a later phase.
The later phases are indicated with finger arrows



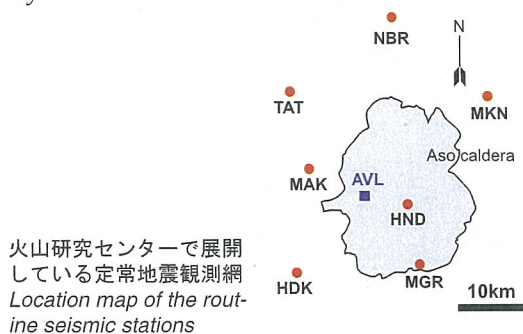
S-P変換点の空間分布（南北断面図）
Spatial distribution of S-P conversion points and hypocenters
(vertical view of N-S cross-section)

地震波トモグラフィーと阿蘇火山の構造

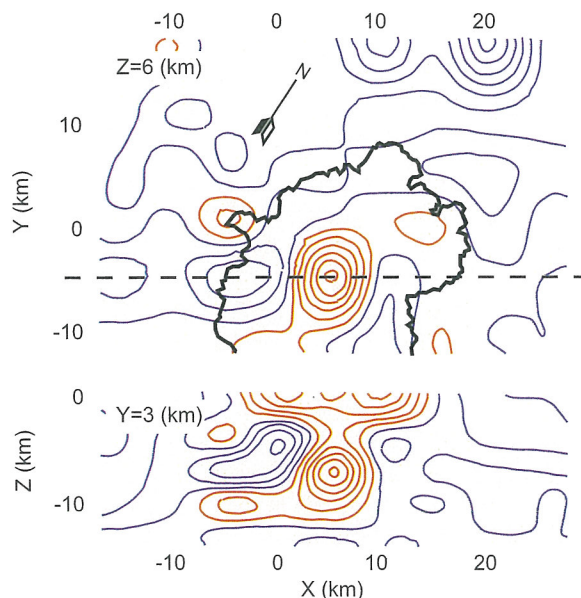
Low velocity anomaly beneath Aso Caldera discovered by seismic tomography

地球熱学研究施設で維持している地震波定常観測網により蓄積されたデータを用いて阿蘇火山の地震波トモグラフィーを行った。その結果、30%以上のS波低速度異常域が中岳火口の西南西約3km、深さ約6kmに見いだされた。低速度異常の実体を解明するのが今後の課題である。

We have performed a seismic tomography study on Aso Volcano using the data of AVL's seismic network. We found a distinct S wave low-velocity perturbation beneath the Aso caldera. Maximum velocity anomaly exceeds 30%, which suggests the presence of a fluid body.



火山研究センターで展開している定常地震観測網
Location map of the routine seismic stations



地震波トモグラフィーによって得られたS波速度異常の分布。赤が低速度、青が高速度を表す。
上：Z=6kmでの水平断面。下：Y=3kmでの鉛直断面
S wave velocity anomaly obtained from the seismic tomography analysis. Red and blue contours indicate low and high velocity perturbation, respectively



**京都大学大学院理学研究科
附属地球熱学研究施設**

〒874-0903

大分県別府市野口原

tel : 0977-22-0713

fax: 0977-22-0965

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

**Beppu Geothermal Research
Laboratory (BGRL)**

**Institute for Geothermal Sciences
Graduate School of Science**

Kyoto University

Noguchibaru, Beppu, Oita 874-0903, JAPAN

tel : +81-977-22-0713

fax: +81-977-22-0965



**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

熊本県阿蘇郡長陽村河陽

tel : 09676-7-0022

fax: 09676-7-2153

URL: <http://w3.vgs.kyoto-u.ac.jp/>

Aso Volcanological Laboratory (AVL)

**Institute for Geothermal Sciences
Graduate School of Science**

Kyoto University

Choyo, Aso, Kumamoto 869-1404, JAPAN

tel : +81-9676-7-0022

fax: +81-9676-7-2153