

火山・地熱活動に関する研究

－ H20年度の成果およびH21年度の計画について －

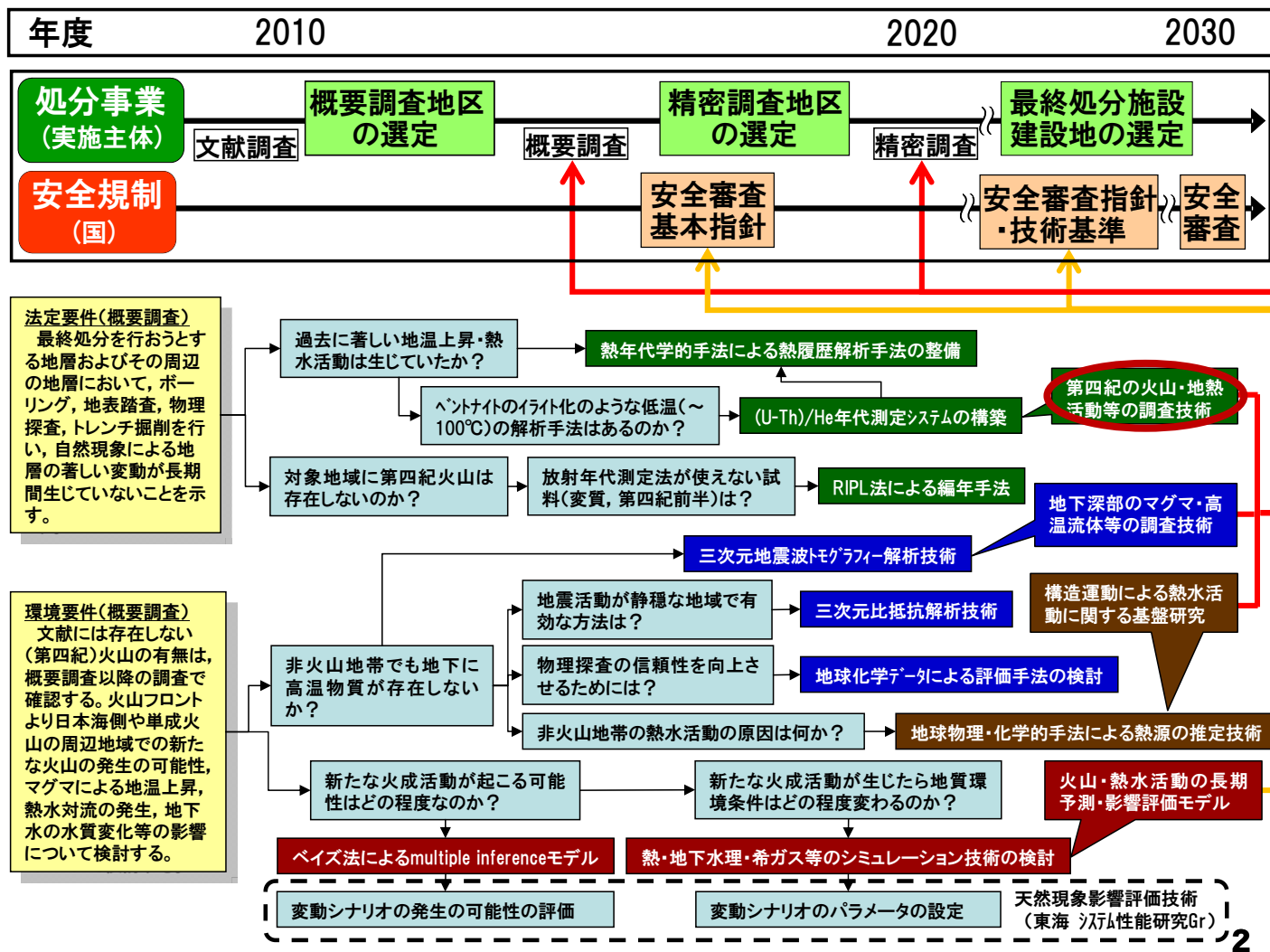
独立行政法人 日本原子力研究開発機構

地層処分研究開発部門

地質環境の長期安定性研究検討委員会

第6回(2009年3月9日)

1



1) 第四紀の火山・地熱活動等の調査技術

目 標

肉眼では識別できないテフラ降灰層準の認定によって第四紀の火山噴出物を同定するための技術のほか、熱年代学的手法により古地温の変遷や熱水対流系の有無等を推定する調査技術を整備する。

これまでの主な成果

- ① 多量屈折率地質解析法(RIPL法)による鮮新統~第四系の編年の検討
 - ・更新世の火山を対象にRIPL法による火山活動史の編年およびFT法, K-Ar法, TL法によるクロスチェックを実施。
 - ・RIPL法がテフラを用いた第四紀の編年に有効な手法であることを示した。
- ② (U-Th)/He年代測定システムの構築
 - ・(U-Th)/He年代測定システムの構築を行い, ジルコンについて年代測定手法を整備。
 - ・年代標準試料および地質試料中のジルコンの年代測定を実施。

1) 第四紀の火山・地熱活動等の調査技術

平成20年度実施内容

② (U-Th)/He年代測定システムの構築

目的・概要

H18より, 京都大学および防災科学技術研究所との共同研究により, (U-Th)/He年代測定システムの導入を進めてきた。H20は, ジルコンの国際年代標準試料の年代測定を通じて, ジルコンの年代測定を確立するとともに, 他の地質試料を対象とした年代測定を実施し, 適用性の確認を行う。

実施項目

- ・国際年代標準試料(フィッシュキャニオンタフ)の測定によるシステムの評価
- ・地質試料(シュードタキライト)を対象としたジルコン(U-Th)/He年代の測定

② (U-Th)/He年代測定システムの構築

(U-Th)/He年代測定システムの特徴

- 低温領域の熱履歴把握が可能
(アパタイト: ~70°C, ジルコン: ~180°C)
- 高精度の分析が可能
(低濃度の分析が可能, バックグラウンドが低い)
- 風化に強い(ジルコンなど風化に強い鉱物が対象)
- U-PbやFT系と試料が共通(前処理方法がほぼ確立)
- 単結晶年代が測定可能(混入物を除去できる)
- 我が国で未導入

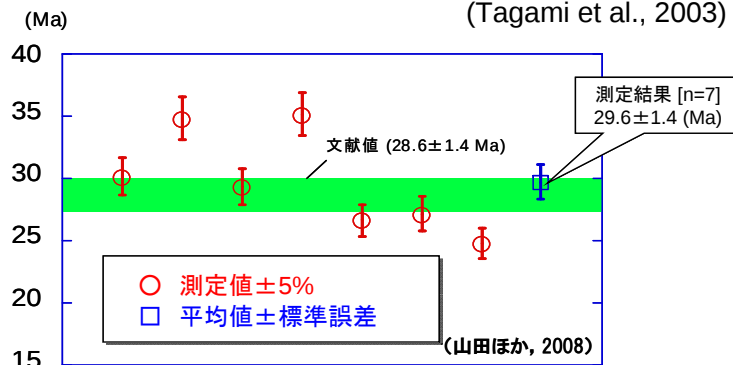


(U-Th)/He年代測定システム(ヘリウム定量)



国際年代標準試料
Fish Canyon Tuff
(アメリカコロラド州の
凝灰岩)
年代値: 27.8 ± 0.7 Ma

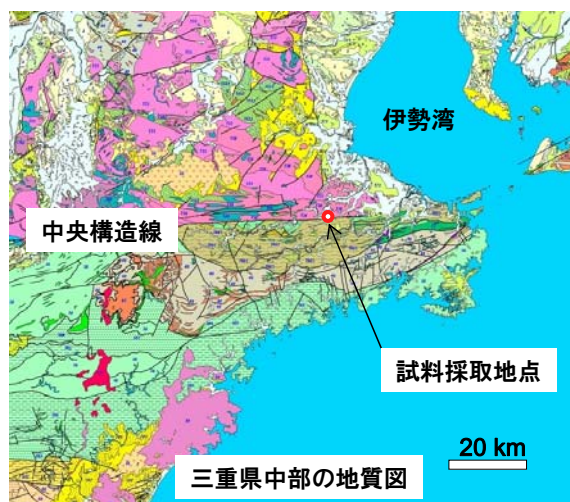
ジルコンの(U-Th)/He
年代
 28.6 ± 1.4 Ma
(Tagami et al., 2003)



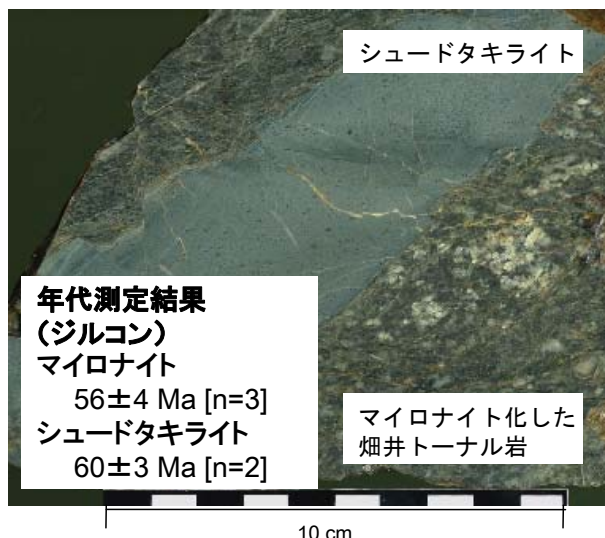
ジルコンの年代測定は可能となったが、今後、アパタイトの年代測定を実現するため、感度法によるヘリウムの定量にかわって同位体希釈法の導入を検討中。

② (U-Th)/He年代測定システムの構築

三重県多気地域領家花崗岩中のシュードタキライトの(U-Th)/He年代測定例



産業技術総合研究所地質調査総合センター (編) (2007) 20万分の1日本シームレス地質図データベース 2007年5月12日版. 産業技術総合研究所研究情報公開データベースDB084, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.



Yamada et al.,
2008 [AGU]

今回の測定結果およびジルコンのフィッシュトラック年代(マイロナイト: 70Ma; シュードタキライト: 60Ma, Takagi et al., in submission) とその閉鎖温度を考慮すると

シュードタキライト生成前の岩体の温度はジルコンのFT消滅温度(330°C)からジルコン(U-Th)/He年代の閉鎖温度(180°C)の間と推定できる。

1)第四紀の火山・地熱活動等の調査技術

平成21年度実施計画(案)

① 多量屈折率地質解析法(RIPL法)による鮮新統～第四系の編年の検討

- ・石英, 斜長石に含まれるメルトインクルージョンの化学組成に基づき, 鮮新世～第四紀前半の保存状況の悪いテフラ(例えば, 瀬戸層群中のテフラ)の同定を試みる(採取直営, 分析外注)。

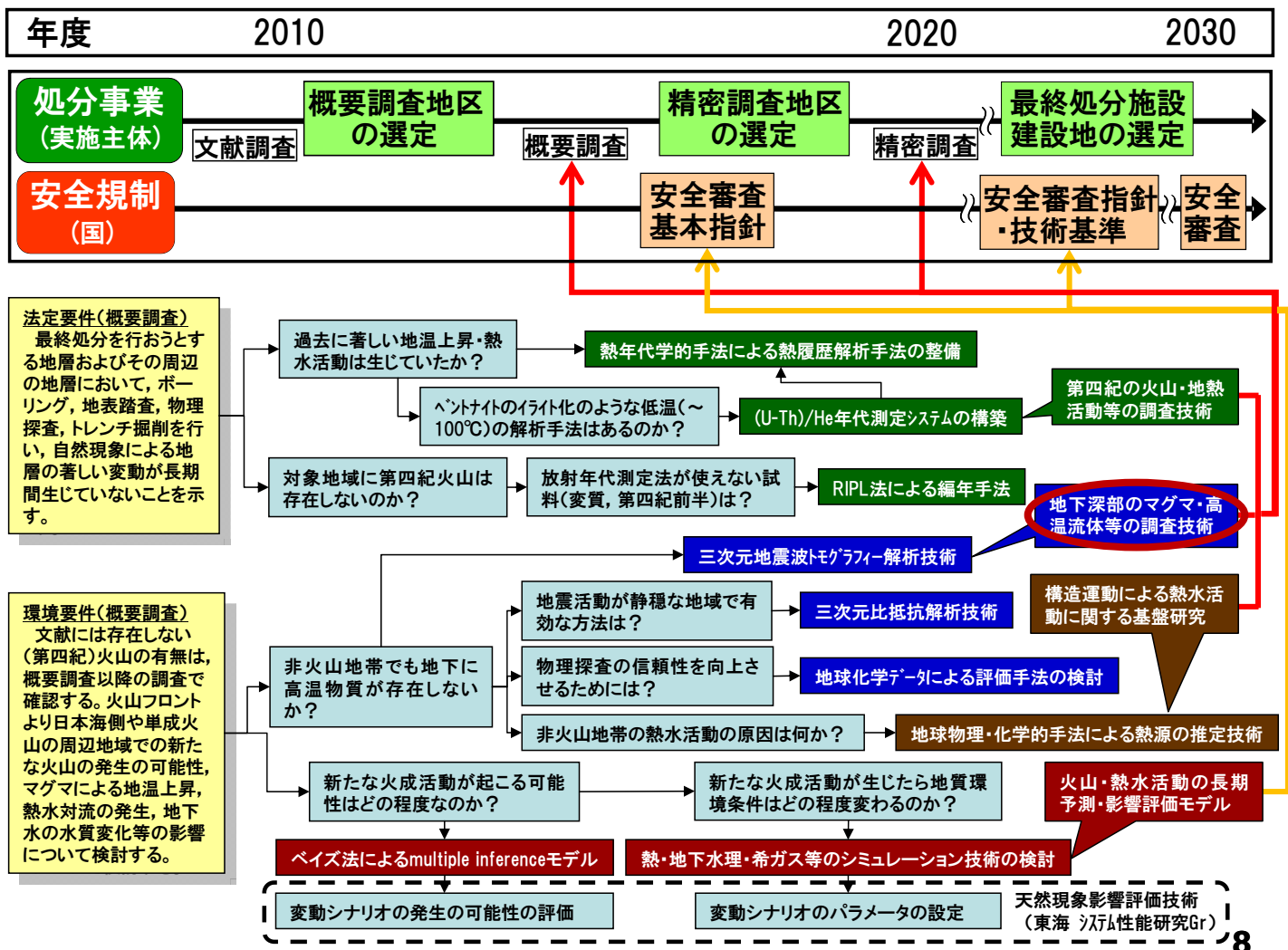
② (U-Th)/He年代測定システムの構築

- ・四重極型質量分析計(QMS)を用いた(U-Th)/He年代測定システムの構築(システムの改良)。
- ・誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)を用いたウラン・トリウム定量法の検討および標準試料による定量法の評価を実施。
- ・アパタイトの(U-Th)/He年代測定法の実用化に着手。

地質環境の長期安定性研究検討委員会

第6回(2009年3月9日)

7



2)地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術

目 標

既存の地球物理学的手法や地球化学的手法の適用性確認を通じて体系的な調査技術を構築する。

これまでの主な成果

① 比抵抗構造解析技術の検討

- ・地震活動が静穏な地域の深部構造を把握するための調査技術として、比抵抗解析技術開発に着手。
- ・観測データのS/N比向上を目指した加重スタッキング法の開発(特許出願中)、インバージョン解析結果の不確実性評価手法を提示。

② 地球化学データに基づく評価手法の検討

- ・地下深部のマグマ等の調査技術として、温泉ガス、地下水溶存ガスの主成分、同位体組成を用いた地球化学的手法の有効性を確認。
- ・地震波トモグラフィ、MT法、希ガス同位体測定等の要素技術を組合わせた地下深部のマグマ等の調査手法の例を提示。

2) 地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術

平成20年度実施内容

① 比抵抗構造解析技術の検討

沿岸域における比抵抗解析手法の検討

目的・概要

これまで、鳴子火山、飯豊山地等の内陸部において、地磁気・地電流法(MT法)による二次元比抵抗解析技術の適用性を確認してきた。一方、沿岸域などでは、比抵抗の低い海水の存在によって、解析結果に影響を及ぼす可能性が指摘されている。このため、H2Oでは沿岸域を事例に、MT法の適用性を検討する。

実施項目

- ・三瓶山周辺における地磁気・地電流観測の実施
- ・三次元比抵抗解析コードを用いた深部比抵抗構造の推定

前回いただいたコメントへの対応状況

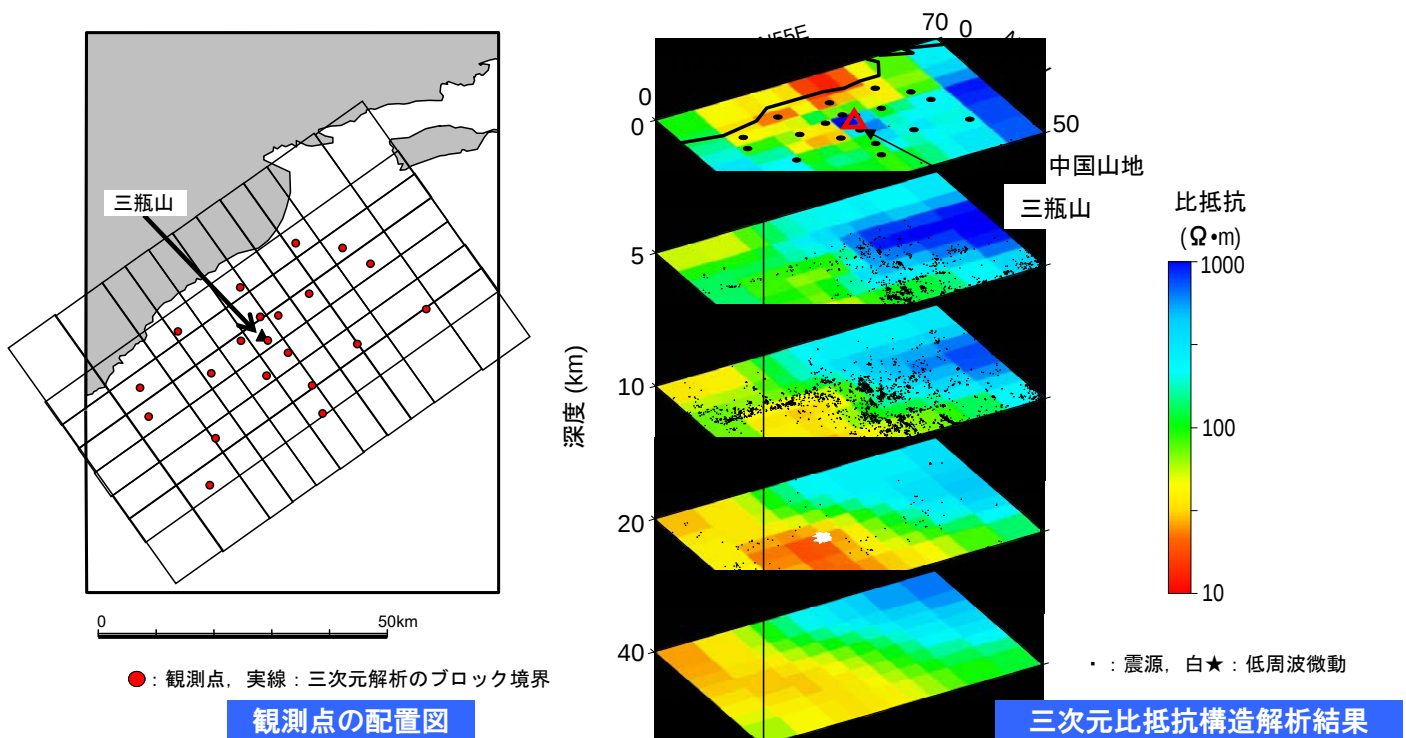
2007年能登半島地震の際に合同観測グループで行われたMTの結果との関係(二次元解析結果の妥当性)については、専門的な議論を詰めておいていただきたい。

⇒ ●能登半島の二次元(合同観測グループ)と三次元(JAEA)解析結果の違いについては、京都大学防災研究所・吉村令慧助教との間で、三次元解析の有効性について意見交換を進めているところ。

●JAEAでは、能登半島に引き続き、明瞭なターゲット(マグマ溜り)が存在すると考えられる、山陰の沿岸域に位置する火山である三瓶山周辺において電磁気観測を行い、二次元および三次元解析結果を比較・検討中。

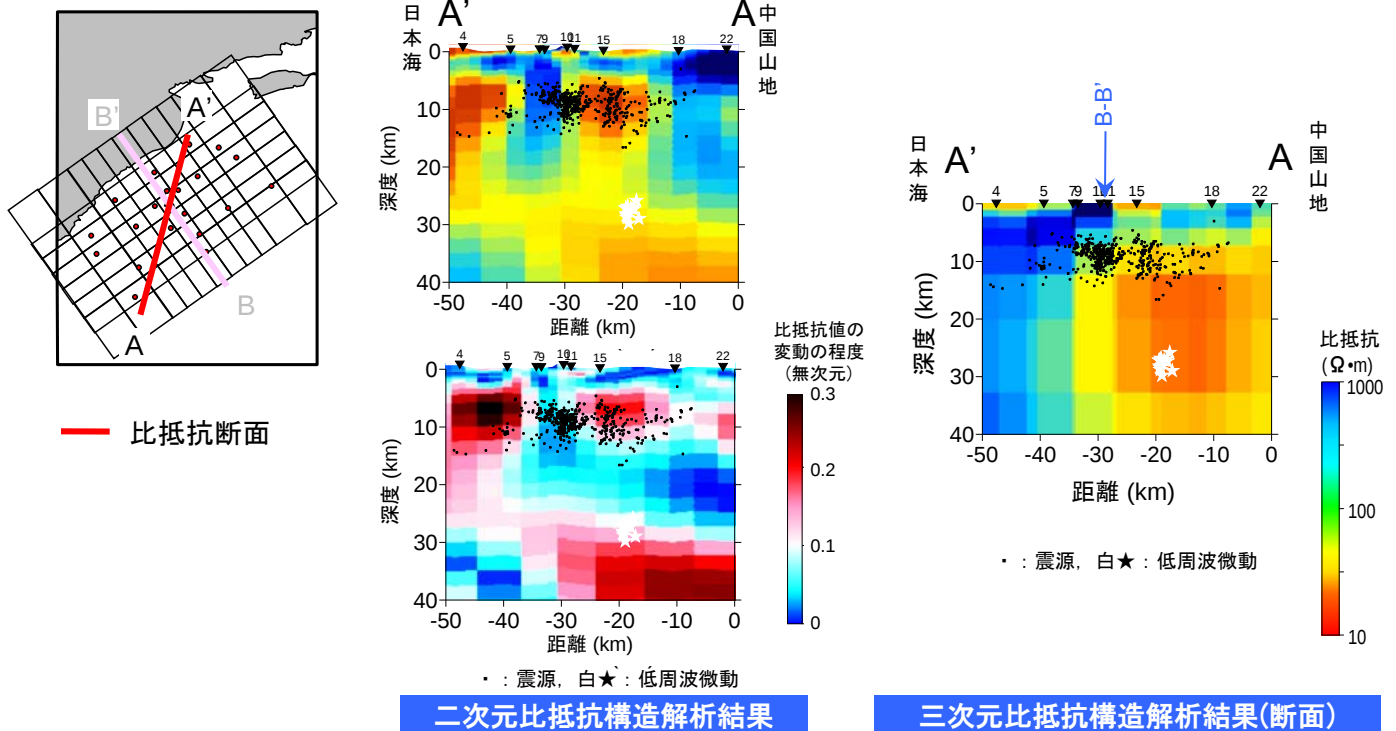
Yoshimura, et al. (2008): Magnetotelluric observations around the focal region of the 2007 Noto Hanto Earthquake (M_j 6.9), Central Japan. Earth Planets Space, Vol. 60 (No. 2), pp. 117-122, 2008

三瓶山周辺の三次元MT比抵抗構造解析



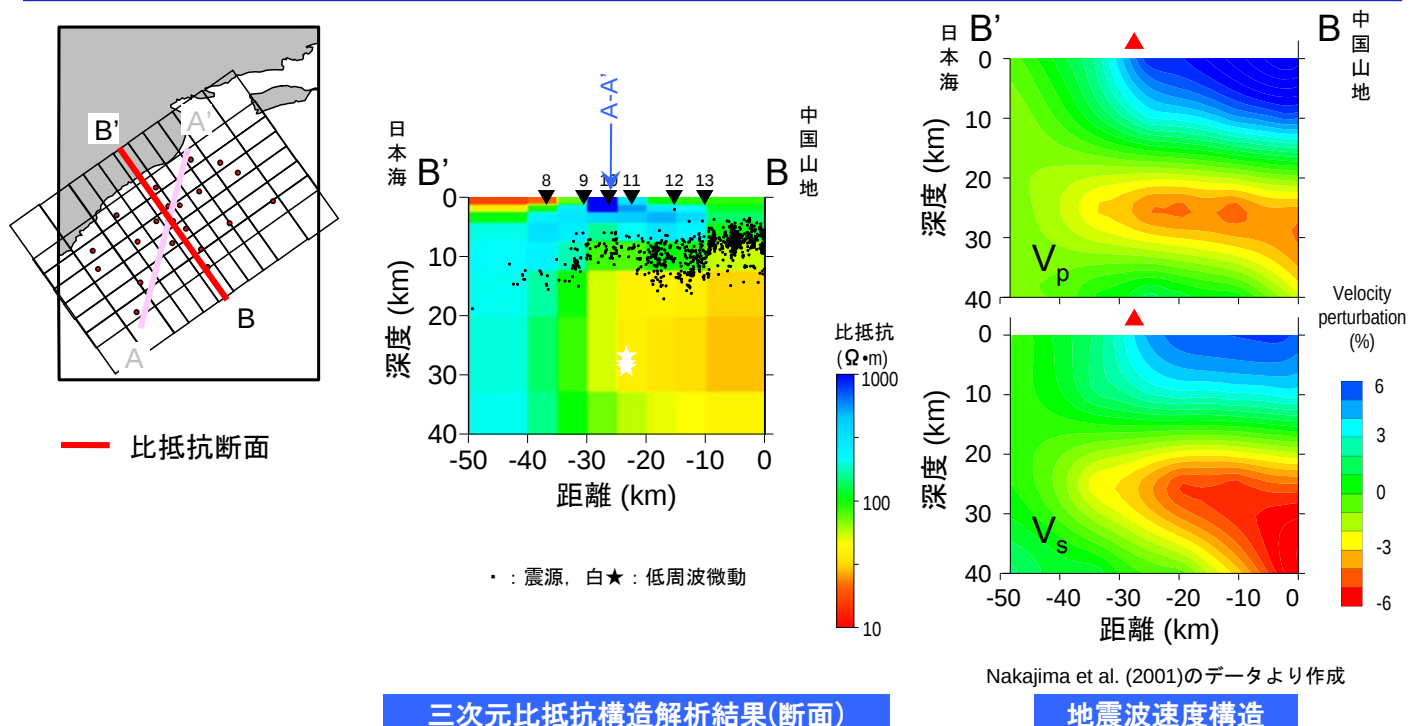
三瓶山周辺を対象とし、21点の観測点で調査を実施した。三次元比抵抗構造解析の結果から、三瓶山の南側の地下20km付近に低比抵抗体の存在が認められた。

二次元解析結果と三次元解析結果の比較



二次元解析の結果では、地下10km付近と30km以深に低比抵抗体の分布が見られる。三次元比抵抗構造解析(断面)では地下20km付近に低比抵抗体が認められる。

三次元比抵抗構造解析結果と地震波速度構造の比較



三次元比抵抗構造解析(断面)でみられる低比抵抗体の分布は、地震波速度の低速度異常域とおおむね一致する結果が得られた。

2)地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術

平成20年度実施内容

② 地球化学データに基づく評価手法の検討

伏在断層および未成熟な断層周辺のヘリウム同位体比

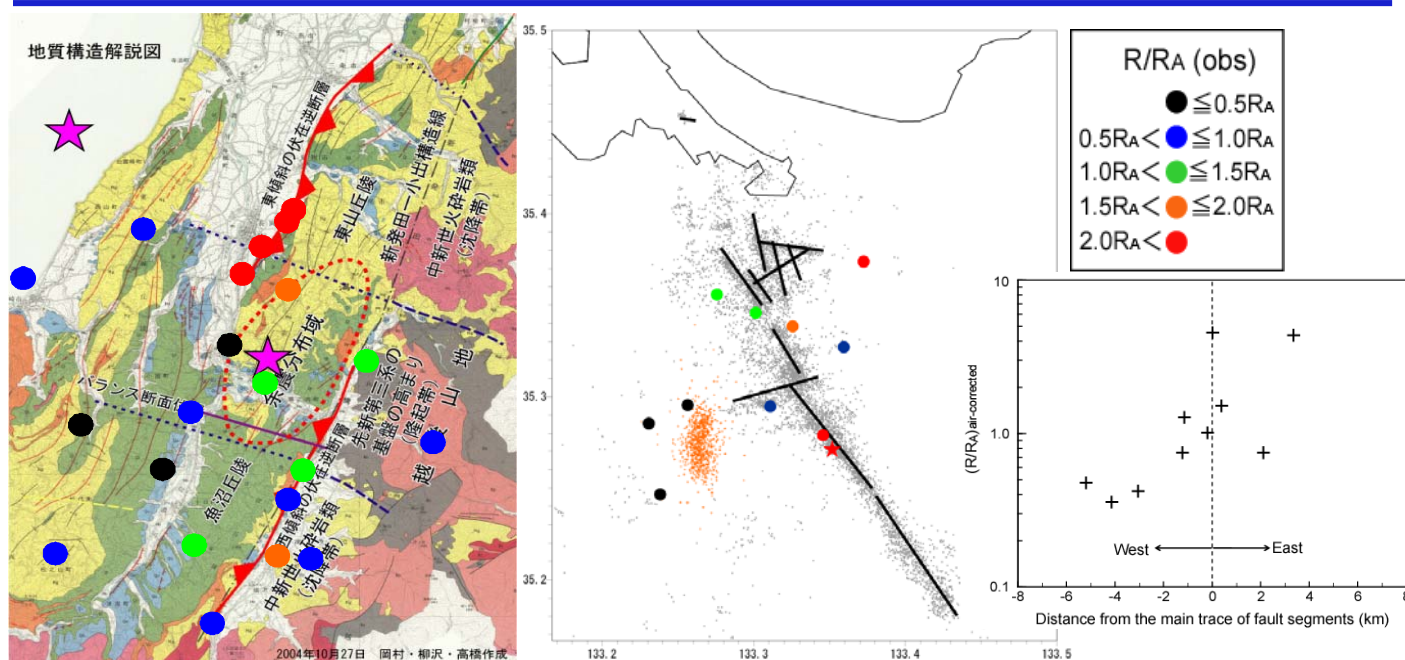
目的・概要

断層運動を含む地殻変動が活発な地域では、地下深部からマントル起源の流体の上昇によって高いヘリウム同位体比が認められることが報告されている(Kennedy et al.,1997; Güleç et al., 2002)。希ガス同位体が伏在断層や変動地形が不明瞭な断層等のいわゆる未知の活断層の調査技術となる可能性を検討するため、2000年鳥取県西部地震および2004年新潟県中越地震震源域のヘリウム同位体比の特徴を明らかにする。

実施項目

- ・温泉ガスや地下水の溶存ガスの採取
- ・主成分ガス組成, 水素・酸素, ヘリウム, ネオン同位体測定

② 地球化学データに基づく評価手法の検討 —伏在断層, 未成熟な断層の事例—



中越地震震源域のヘリウム同位体比

(Umeda et al., 2008 [G³])

鳥取県西部地震震源域のヘリウム同位体比

2000年鳥取県西部地震, 2004新潟中越地震の震源域では、伏在断層や未成熟な断層等、いわゆる未知の活断層が存在すると考えられる地域に高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が認められる。

2)地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術

平成21年度実施計画(案)

① 比抵抗構造解析技術の検討

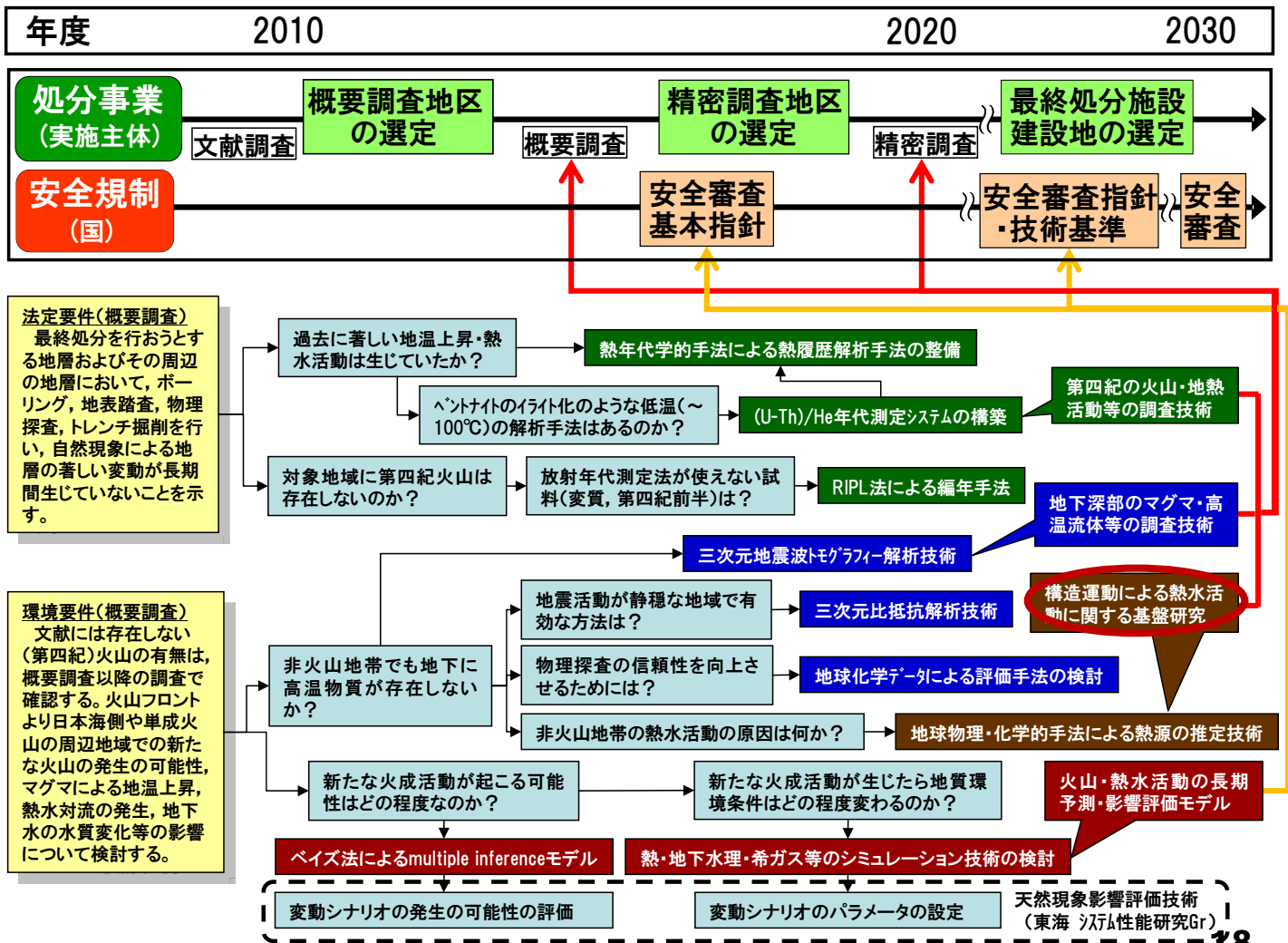
- ・沿岸域の活火山等を事例に、地磁気・地電流の観測を実施し、既存の三次元インバージョン解析コードの適用性を検討。
- ・個々の観測データに内在する不確かさを評価するための手法を提示するとともに、人工ノイズ(特に直流の鉄道)がMT法に及ぼす影響範囲を定量的に示す。

② 地球化学データに基づく評価手法の検討

- ・活断層および地質断層のほか、断層の性状(正断層, 逆断層, 横ずれ断層)や規模(成熟～未成熟, 活動開始年代), テクトニックな環境の違い等による希ガス同位体組成の特徴の取りまとめ。
- ・揮発性物質を用いた地球化学的手法による断層の分布・活動性等の評価手法の検討。

地質環境の長期安定性研究検討委員会

第6回(2009年3月9日) 17



3)構造運動による熱水活動に関する基盤研究

目 標

日本列島スケールでの当該現象の分布やその特徴に関する情報を収集しデータベース化する。また、非火山性の熱水活動のメカニズムを地質、地球物理、地球化学的データにより総合的な評価手法を検討する。

これまでの主な成果

- ・日本全国の坑井温度プロファイルデータベース、温泉地化学データベースを作成し、公開した(日本地震学会およびJAEAのHP)。
- ・2)で示した地球物理データおよび地球化学データを基に、紀伊半島、飯豊・朝日山地、能登半島等の非火山地帯の熱水活動のプロセスを検討した。
- ・紀伊半島の熱水活動の開始時期をK-Ar年代、Ar-Ar年代、FT年代、TL年代等によって明らかにした(概ね6Ma頃まで遡る<以前は数万年>)

3)構造運動による熱水活動に関する基盤研究

平成20年度実施内容

能登半島、新潟平野等の熱水活動のプロセスの検討

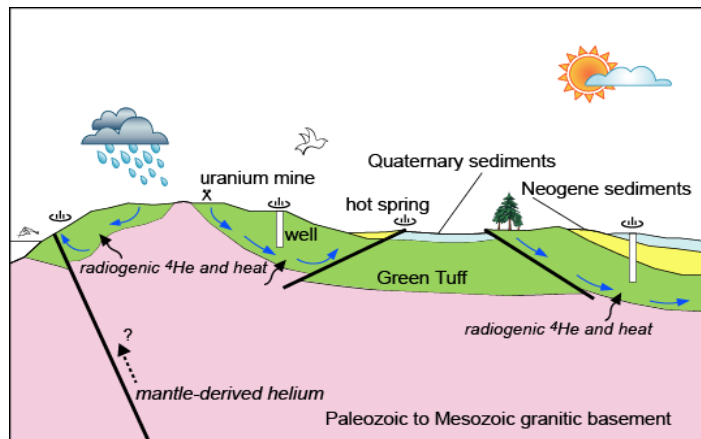
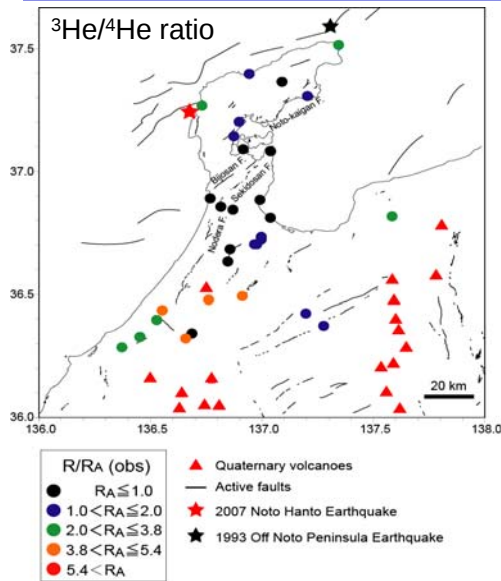
目的・概要

能登半島、新潟平野は、第四紀火山が存在しないにも係わらず、高温(例えば、和倉温泉:93℃)の温泉が存在することが知られている。これらの熱水活動のプロセスを把握するため、昨年度実施した比抵抗構造解析や温泉ガスの希ガス同位体データのほか、既存の物理探査の結果、岩石の物理、化学組成、地殻熱流量等のデータを考慮し、熱水活動のプロセスを検討した。

実施項目

- ・地震波速度構造、比抵抗構造、地殻熱流量等の地球物理データの収集
- ・温泉ガス(水)の主成分組成、ヘリウム同位体等の地球化学データの収集
- ・上記データに基づく概念モデルの構築

3) 構造運動による熱水活動に関する基盤研究 — 能登半島の熱水活動の事例 —



地球物理データによるとマグマ等の熱源は存在しない



花崗岩の放射壊変に伴う熱が温泉の熱源か？

○ $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は $1.0R_A$ 以下であり、地殻起源のHeの寄与が大きい。

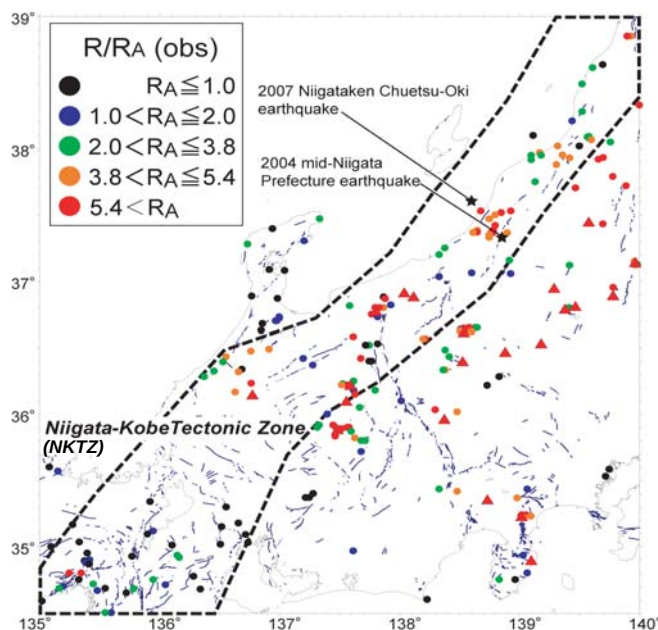
能登半島の熱水活動の概念モデル (Umeda et al., 2009 [JGR])

船津花崗岩(高U・Th・K花崗岩)
U: ~6ppm, Th~30ppm, K_2O : ~6.0%
→ → → 発熱量: $4.0 \mu\text{W}/\text{m}^3$

モデル計算 ▶ $Q = \frac{4.0}{\mu\text{W}/\text{m}^3} \times 20 \text{ km} + \frac{1.0}{\mu\text{W}/\text{m}^3} \times 15 \text{ km} + \frac{1.0}{\text{mW}/\text{m}^2} + \frac{30}{\text{mW}/\text{m}^2} = 120 \text{ mW}/\text{m}^2$

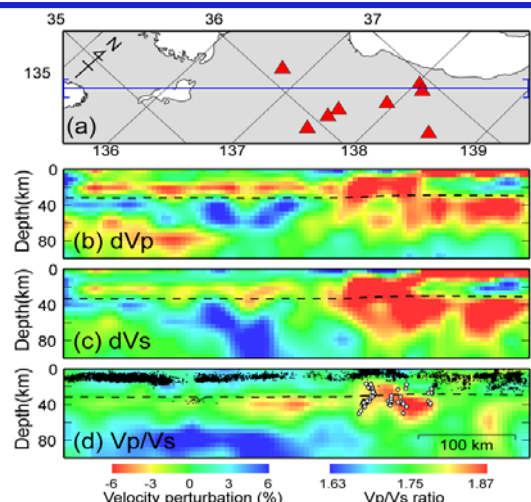
観測値 ▶ $Q = 51 \sim 186 \text{ mW}/\text{m}^2$ (average 95.0 mW/m^2)

3) 構造運動による熱水活動に関する基盤研究 — 新潟-神戸歪集中帯の地下構造との対比の事例 —



NKTZ周辺の温泉ガス中のヘリウム同位体比

(Umeda et al., 2008 [The Lithosphere])



NKTZ下のマントル・地殻の地震波速度構造

NKTZの北部および中部では、ヘリウム同位体比が高く、下部地殻および上部マントルには地震波の低速度域が存在する。一方、低速度域が認められない南部では、ヘリウム同位体比も低い値を示す。

3)構造運動による熱水活動に関する基盤研究

平成20年度実施内容

熱年代学的アプローチによる紀伊半島の熱水活動の熱履歴解析

目的・概要

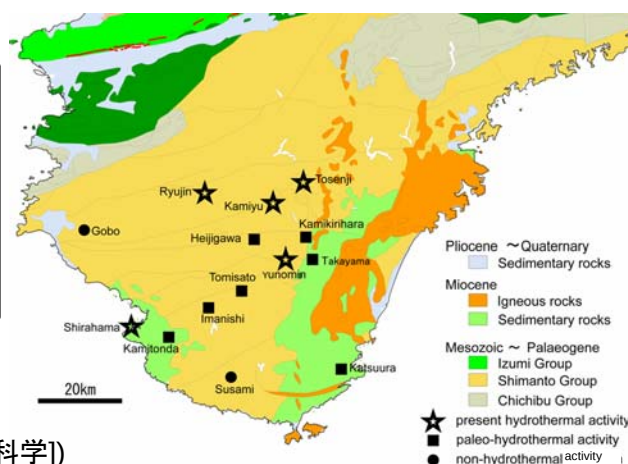
非火山性温泉である湯の峰温泉、上湯温泉等の周辺に形成されている変質岩を事例に、各種の放射年代測定、流体包有物のマイクロサーモメトリ等による熱履歴の解析を行ってきた。H20年度は、フィッション・トラック年代測定による熱履歴の解析と、流体包有物調査による流体の起源の検討を行う。

実施項目

- ・変質岩のフィッション・トラック年代測定による熱履歴の解析
- ・流体包有物調査による流体の起源の検討

熱年代学的アプローチによる紀伊半島の熱水活動の熱履歴解析

Type	Zircon FT (Ma) [av.]	Apatite FT (Ma) [av.]
Present hydrothermal activity	53.5~83.3 [68.0]	2.7~8.5 [5.9]
Paleo-hydrothermal activity	15.7~73.9 [55.4]	8.5~14.1 [11.1]
Non-hydrothermal activity	29.8~77.8 [53.8]	8.1~12.9 [11.3]



紀伊半島の温泉周辺の変質岩に含まれるジルコンおよびアパタイトのフィッション・トラック年代

(Umeda et al., 2007 [Rad. Meas.]; 花室ほか, 2008 [岩石鉱物科学])

- ジルコンの年代値は、すべての地域にばらつきが認められる。
→堆積後にジルコンの閉鎖温度(約250℃)まで達しておらず、原岩の年代値を示すと考えられる。
- 現在、熱水活動が生じていない地域のアパタイトの年代値は、概ね11Maに集中する。
→付加体の形成時の温度(約130℃)を反映している。
- 現在、熱水活動が生じている地域のアパタイトの年代値は、~6Maを示す。
→現在の熱水活動が生じた時期の年代を反映している。

紀伊半島で生じている非火山性の熱水活動は、アパタイトの閉鎖温度を超える流体を伴っているが、これらの現象の開始年代は、600万年前頃まで遡ると考えられる。

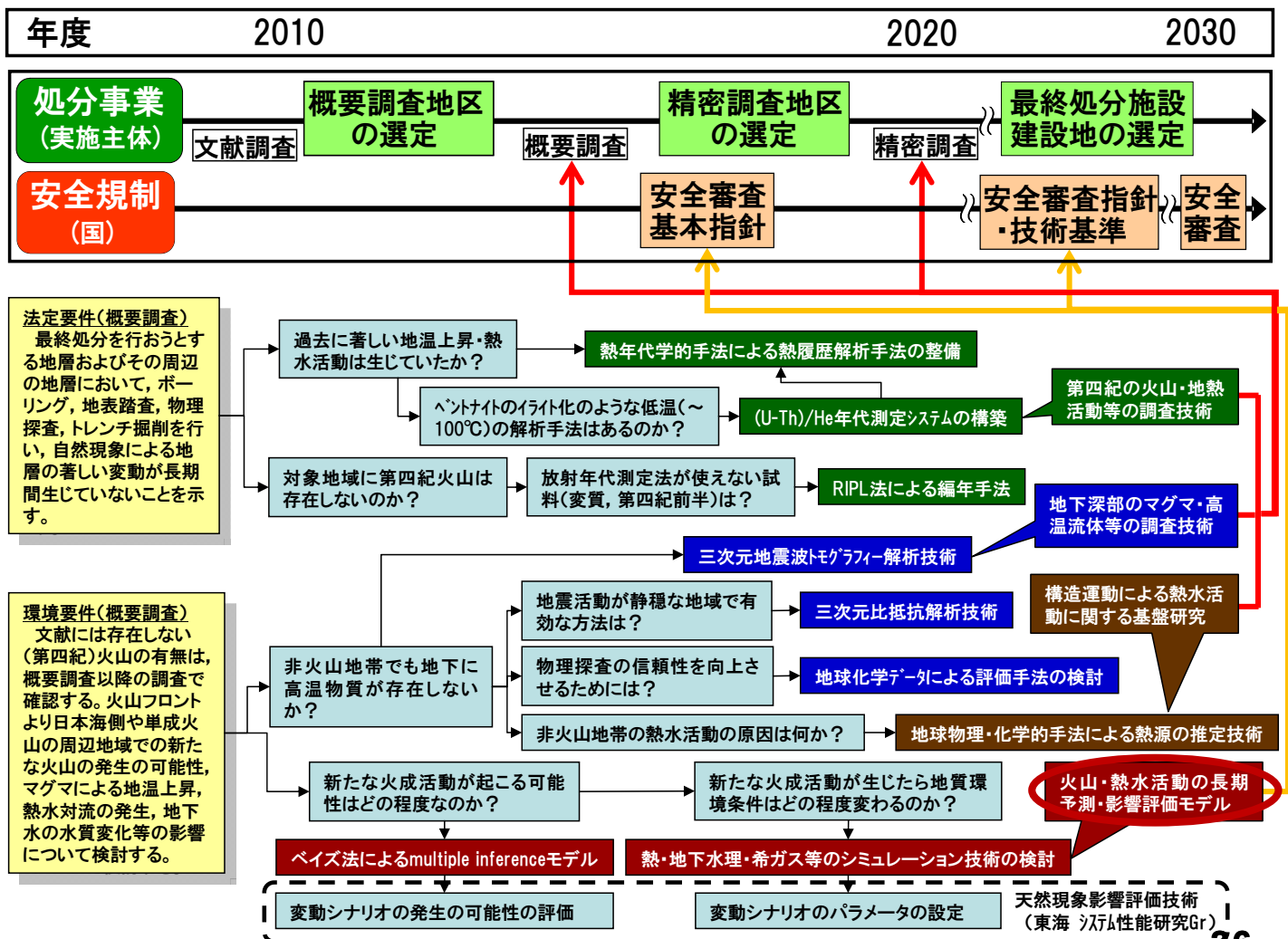
3)構造運動による熱水活動に関する基盤研究

平成21年度実施計画(案)

- ・断層運動によって岩盤中の透水性の変化が生じ、新たに熱水系が発達する可能性が数値実験等で指摘されている。
- ・そのため、新潟-神戸歪集中帯、糸魚川-静岡構造線、中央構造線等を事例に活構造帯に生じる熱水活動のプロセスを検討するとともに、地殻変動が及ぼす熱的影響の範囲と程度を検討する。
- ・また、これまでの非火山地帯の熱水活動のプロセスの事例(紀伊半島、飯豊・朝日山地、能登半島等)を取りまとめ、知識ベースに反映する。

地質環境の長期安定性研究検討委員会

第6回(2009年3月9日) 25



4)火山・熱水活動の長期予測・影響評価モデル

目 標

新たな火山の形成の可能性を評価するため、空間統計学的手法を用いた確率モデル等の開発を行う。また、地下深部のマグマや高温流体等から放出される熱エネルギーを適切に評価するための解析手法のほか、熱源周辺の地下水理の変化を予測するためのシミュレーション技術を開発する。

これまでの主な成果

①ベイズ法によるmultiple inferenceモデル

・既存の火山の分布、活動開始年代から空間統計学的手法による確率分布モデルを構築し、地球物理データ(地震波速度構造、地殻熱流量)をベイズ法で結合したmultiple inferenceモデルを作成。

② 熱・地下水理等のシミュレーション技術の検討

・坑井温度プロファイルから流体による熱の輸送を考慮した地殻熱流量の計算プログラムを作成。

4)火山・熱水活動の長期予測・影響評価モデル

平成20年度実施内容

②熱・地下水理等のシミュレーション技術の検討

鬼首地熱地帯を事例とするmagma2002の適用性の検討

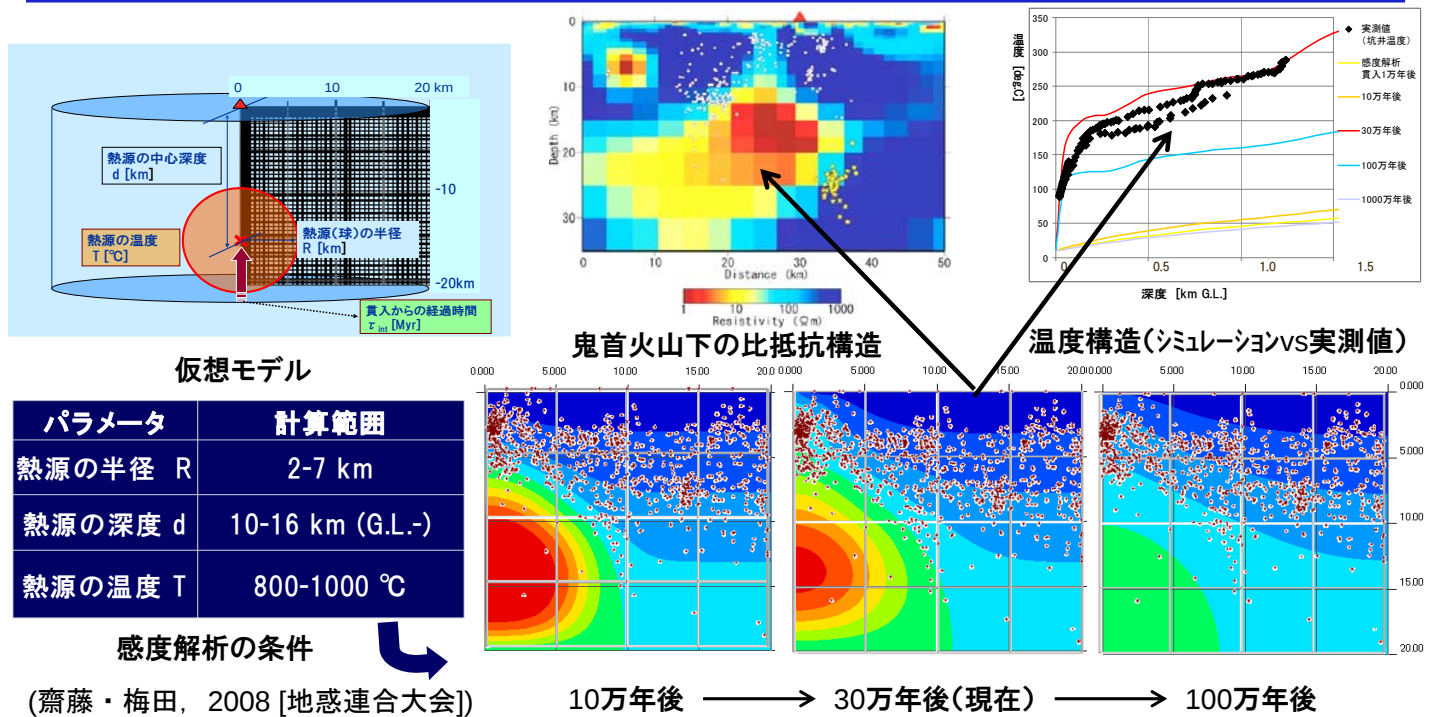
目的・概要

これまで、マグマ溜まりの温度圧力条件の取り扱いが可能な解析コード(magma2002)の開発を行うとともに、雲仙火山、鬼首火山を事例としたシミュレーションを実施してきた。H20では、熱水活動のシミュレーションの結果と地質・地球物理データの比較により、magma2002の適用性を確認する。

実施項目

- ・magma2002を用いたマグマ周辺の温度、地下水理の非定常シミュレーション
- ・地質(火山の活動年代)、坑井温度プロファイル、比抵抗構造等の地球物理データと感度解析結果の比較・検討

②熱・地下水理等のシミュレーション技術の検討 — 鬼首地熱地帯を事例とするmagma2002の適用性の検討 —



30万年前に活動を開始した鬼首火山を事例に、100ケースの感度解析を実施した結果、1000°Cの熱源を地下15kmに設定した場合の30万年後の温度構造が、観測される地球物理量を反映している。

4)火山活動等の長期予測モデルの開発

平成21年度実施計画(案)

① ベイズ法によるmultiple inferenceモデル

- 既存のモデルに希ガスの同位体比の地理的分布の特徴を考慮してベイズ法によるmultiple inferenceモデルを作成するため、これまでに測定したデータおよび既存のデータのコンパイルを行い、データベースを編集するとともに、日本列島のヘリウム同位体比分布図を作成する。

② 熱・地下水理等のシミュレーション技術の検討

- 希ガスの挙動を取り扱える三次元地熱シミュレータTOUGH2/EOSNの適用性

を検討するため、能登半島等の非火山性の地熱地帯を事例に、熱、流体、希ガスの挙動のシミュレーションを行い、実際の観測データとの比較・検討を行う。