

領域略称名：地殻流体
領域番号：2108

平成23年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る研究経過等の報告書

「地殻流体：その実態と沈み込み変動への役割」

(領域設定期間)
平成21年度～平成25年度

平成23年6月

領域代表者 東京工業大学・大学院理工学研究科・教授・高橋栄一

2. 目次

ページ

3. 研究領域の目的及び概要

1

4. 研究の進展状況

2

5. 研究を推進する上での問題点と今後の対応策

3

(1) 計画の問題点と対応策

(2) 東日本大震災による被害

(3) 国際シンポジウム**Geofluid-1** 中止

(4) 今後の対応策

6. 主な研究成果

総括班 X00 「融合研究：**Geofluid Map** 作成に向けて」

(融合研究-1) 鳴子火山周辺の地震波・電磁気同時観測 4

(融合研究-2) **PROM**：地殻流体を含む岩石の標準モデル 5

(融合研究-3) **Geofluid Map** 6

計画研究A01-1 「地震波で診る地殻流体」 7-8

計画研究A01-2 「地殻流体の電磁イメージング」 9-10

計画研究A02-1 「地殻流体の起源と化学」 11-12

計画研究A02-2 「地殻流体の形態と物性」 13-14

計画研究A03-1 「地殻流体の発生と移動のダイナミクス」 15-16

7. 研究成果の公表の状況

(1) 主な論文等一覧について 17-23

(2) ホームページ・ニュースレターについて 23

(3) 公開発表について 23-25

(4) 「国民との科学・技術対話」について 25

8. 研究組織と各研究項目の連携状況

(1) 研究組織 26

(2) 各研究項目の連携状況 27

9. 研究費の使用状況について

28

・研究費の効果的使用

・設備の有効活用

10. 今後の研究領域の推進方策

29

11. 総括班評価者による評価の状況

30

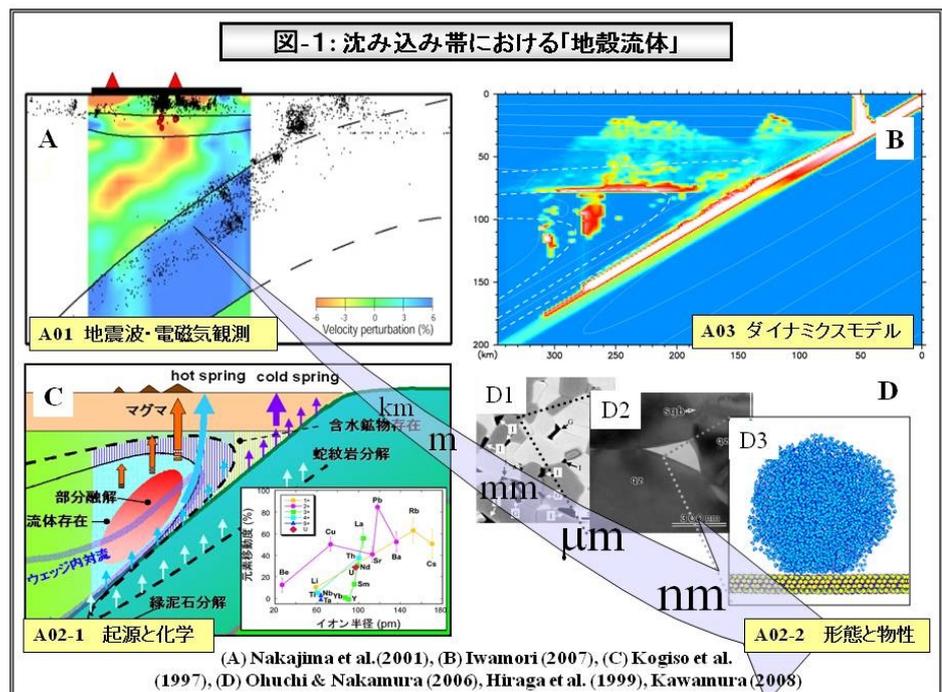
3. 研究領域の目的及び概要

研究領域名： 「地殻流体：その実態と沈み込み変動への役割」平成21－25年度
 領域代表者： 東京工業大学大学院理工学研究科・教授・高橋栄一
 補助金交付額： H21年度： 247,000千円、H22年度： 231,700千円、H23年度： 193,100千円
 (H24年度： 146,000千円、H25年度： 137,600千円) 予定

複数のプレートがせめぎ合う場所に位置する日本列島は、沈み込み変動を研究する上で、地球上でもっとも恵まれたフィールドといえる。マグマ発生や火山爆発に沈み込むプレート由来のH₂Oが重要な役割を担っていることはよく知られていたが、プレート境界地震や内陸地震の発生メカニズムにも流体相が深くかかわっていることが最近明らかになってきた。新学術領域研究「地殻流体：その実態と沈み込み変動への役割」(H21～25)は沈み込み帯の各場所に存在する流体相の実態とそれが沈み込み変動に果たす役割を、学際的な研究手法を用い、水溶液の分子構造から日本列島の水循環までのマルチスケールで解明することを目指している。

我々は地殻および最上部マントルに存する流体を総称して「地殻流体」と呼ぶことにする。地殻流体にはH₂Oを中心とするさまざまな組成のC-H-O流体、シリケートメルトなどが含まれる。地震・火山・地殻変動など顕著で巨大スケールの沈み込み変動に対する従来の研究を、「鉱物粒界に存在するミクロな流体相の役割」という新たな視点から再構成するところに本プロジェクトの狙いがある。東北日本の東西断面の地震波トモグラフィ(図1 A)が示すように、日本列島は沈み込むプレートに含まれる含水鉱物の脱水分解反応により供給される(H₂Oを主成分とする)流体によりいわば蒸し焼きの状態にある(図1 C)。地震波トモグラフィによって得られる低速度異常構造(図1 A)はH₂Oの効果で融点が低下し、マントルが部分融解した部分と解釈されている。沈み込むプレートの脱水により発生した流体の移動およびマグマ生成を予測する数値シミュレーション結果(図1 B)は地震波トモグラフィの特徴をよく説明する。

日本列島のある場所でいかなる理由で、いかなる規模の地震が、どのように起こるかを理解するためには、地下構造、応力分布、断層分布に加えて、地殻流体がどこにどれだけ蓄えられ、摩擦強度がどれだけ低下しているかなどの情報が不可欠である。地殻流体の分布を把握するためには、高温高压実験に基づく含水鉱物の安定領域や流体組成が出发点となる。さらに、地震学や電磁気(MT)観測の結果を翻訳するためには、流体を含む岩石の弾性波速度、減衰率、電気伝導度、透水率などのマクロとミクロを結ぶ物性の理解が必要となる。岩石破壊強度の推定には、いかなる構造で流体が存在するか(界面の濡れ方および連結度)、存在する流体の化学組成と分子構造、などの情報が必要になる(図1 D)。



4. 研究の進展状況

総括班「地殻流体」その実態と沈み込み変動への役割： 高橋栄一(東工大)ほか14名

手法を異にする3研究項目5計画研究班の統括・交流を図り、分野横断研究の飛躍的推進を支援するため、総括班は研究集会の開催、学会特別セッション、融合研究セミナー、ホームページ・ニュースレター、外国人研究者の招聘、アウトリーチなどの活動を行ってきた。全国の大学から参加を募った学生・大学院生を加え地殻流体研究会並びにサマースクールを毎年開催している(写真下:2010年9月修善寺)。サマースクールの内容を元にした地殻流体関連分野に対する最新の研究のレビューを『岩石鉱物科学』の特集号として編集(第39巻6号・40巻2号)するなど研究コミュニティ育成に努めている。



計画研究A01-1「地震波で診る地殻流体」：松澤暢(東北大)ほか8名

沈み込み帯における広域トモグラフィの結果を解釈するために、鳴子地域に高密度の臨時地震観測網を展開して観測を継続している。予察的な結果として火山の下では深部から浅部まで低速度域が連なっているという構造がすでに得られている。さらに日本列島各地において流体に起因すると考えられる地震波速度異常や散乱構造の推定に成功し、またプレート境界型地震発生において流体が重要な役割を果たしていることを示すなど、重要な成果が得られている。

計画研究A01-2「地殻流体の電磁イメージング」：小川康雄(東工大)ほか10名

電磁気MT観測から沈み込み帯の地下に分布する流体の分布を解明するため、鳴子火山を中心とする広帯域MT観測(グリッド間隔3 km)、東北日本全体をカバーする長周期MT観測(グリッド間隔20 km)の2種類の観測を進めている。プレート沈み込み帯の3次元比抵抗構造を世界に先駆けて解明することを目標にしている。地殻流体を含む岩石の電気抵抗測定を並行して行い、地下にある電気抵抗の低い層には海水の数倍の濃度を持つ塩水が含まれている必要性が示された。

計画研究A02-1「地殻流体の起源と化学」：小木曾哲(京大)ほか10名

沈み込み帯における流体の発生・存在条件と化学的特徴を解明するための高圧実験と変成岩解析を進めている。高圧実験では、マントルウェッジ内の条件で、流体-メルト間の微量元素分配係数のその場決定、含水カンラン岩の融解相平衡関係の決定、蛇紋岩形成速度の推定、などを行った。変成岩解析からは、変成流体の化学組成と発生深度との正の相関、地殻深部でのメルト発生と流体放出による破壊現象を解読した。

計画研究A02-2「地殻流体の形態と物性」：中村美千彦(東北大)ほか10名

岩石中に含まれる流体の形態と流体を含む岩石の物性について、分子シミュレーション、高温高圧実験、電子顕微鏡観察、スペクトル解析、アナログ実験の手法を用いて総合的に研究を進め、地殻流体を含む岩石の標準モデルPROMの完成を目指している。流体を含む岩石の粘性構成則の確立、粒間流体の溶解析出過程による化学輸送過程の解明、分子動力学計算とX線その場観察による雲母表面にある水の分子構造を解明するなど、多くの成果をすでにあげた。

計画研究A03-1「地殻流体の発生と移動のダイナミクス」：岩森光(東工大)ほか9名

Geofluid発生源の特定と移動過程解明を目標に、新規導入の質量分析計とレーザー装置を用いて温泉水・火山岩・鉱床の化学組成・同位体比を分析した。スラブ由来流体成分の検出を行うと同時に、全国規模のマッピングを行い、流体量と組成が、テクトニクスの違いを反映して島弧ごとに異なることを明らかにした。さらに、地殻流体の組成再現モデル、化学反応を伴う多相流の基礎方程式の導出、および流体反応を考慮したマントル対流の数値モデルを構築し、観測との対比を開始した。

5. 研究を推進する上での問題点と今後の対応策

(1) 計画の問題点と対応策

本研究領域は、地震発生・火山活動等に重要な役割を果たすと考えられる地殻流体の起源・実態・役割を解明するために、観測・実験・数値計算・化学分析等を有機的に結び付けることによって、沈み込み帯における**Geofluid Map**の作成ならびに**Geofluid Dynamics**の創生を目指そうとするものである。世界最高水準にある、我が国の地震波観測や電磁気観測、高圧物性、レオロジー及び高圧相平衡実験、地球化学分析、分子シミュレーション、地殻流体の挙動に関する数値計算等の研究者が一致団結して研究チームを構成した。研究出発時に指摘された「観測」と「他研究項目」の連携を強化するため、計画研究A01の分担者に高温高圧実験の研究者を加えたほか、総括班のイニシアティブのもと、A01(観測)、A02(実験)、A03(ダイナミクス)の研究者を束ねた融合研究セミナーやワークショップを頻繁に開催して分野間の連携強化に努めた。その結果、本報告書に示すように、鳴子火山周辺において調密な地震観測、電磁気MT観測を同時に行い、さらに観測結果を分野融合研究チームが翻訳し、世界で初めて地震波、電磁気、温度構造および岩石学的制約を満たす地殻流体分布図**Geofluid Map**を作成するなど、学際融合研究による多くの成果を挙げる事ができた。

(2) 東日本大震災による被害

計画研究A01-1では研究代表者と主要メンバーが、また計画研究A02-2では研究代表者が、それぞれ東北大学に在籍する。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によりこれらの計画研究は甚大な被害をこうむった。計画研究A01-1では大学の建物被害に加えて、東北地方に張り巡らせた地震観測網が寸断され、その迅速な復旧に全精力を注いだ。本報告書提出時点(6月30日)までに東北大学における主要な研究設備は(設備更新を申請している装置を除き)ほぼ地震前の状態に復帰した。幸い本研究で導入した装置はいずれも無事である。

(3) 国際シンポジウム**Geofluid-1** 中止

地殻流体に関連する分野で活躍する国内外の研究者を東京工業大学に集め、地殻流体研究の最前線について議論を行なう目的で国際シンポジウムの開催を企画した。6カ国から11名の外国人研究者を招聘し、31件の口頭発表と56件のポスター発表を予定していた。しかし開催6日前の3月11日に東日本大震災が発生し、会議の中止を余儀なくされた。(1)講演要旨集は完成していたため、参加予定者全員に郵送した。(2)シンポジウム参加者全員のメーリングリストを作成し、2011年4月末までの約1カ月間を参加者間のメール討議の時間に充てた。(3)講演要旨の配布とメール討議により、国際シンポジウム**Geofluid-1**は2011年5月1日に成立した。

(4) 今後の対応策

2011年3月に予定していた国際シンポジウムが中止されたが、本領域メンバーがコンビーナーとなって国際地球物理学連合**IUGG**(2011年6月28日-7月7日メルボルン)および米国地球物理学連合**AGU**2011年秋季大会(2011年12月5-9日米国サンフランシスコ)でそれぞれ特別セッションを開催する等、本研究領域の研究成果をもとに世界の研究者と活発な交流が実施される。また、2012年3月19-20日には東工大を会場に国際シンポジウム**Geofluid-2**の開催を計画している。福島原子力発電所事故の収束に目途が立たない中、主な招聘外国人研究者からはシンポジウム開催に向けた励ましのメッセージが届いている。

東北地方太平洋沖地震の解析によって、巨大地震発生に H_2O などの流体が極めて重要な役割を果たす可能性が示唆された(P. 29)。巨大地震発生により改めて浮き彫りになった、世界で最も活動的な沈み込み変動帯に位置する我が国の立地条件を生かし、地震・火山・地殻変動など沈み込み変動に果たす地殻流体の役割を解明するため、世界の研究者と協力しつつ、急速に研究を進展させる覚悟である。

総括班X00「融合研究 Geofluid Map作成に向けて」

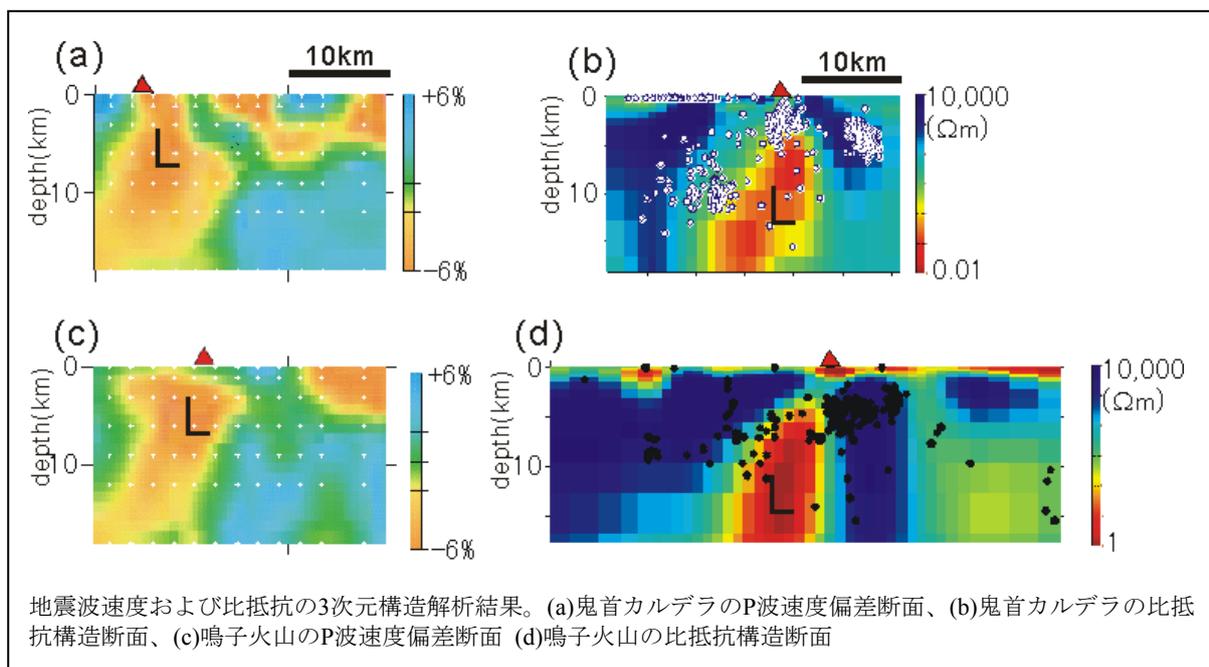
(融合研究-1) 鳴子火山周辺の地震波・電磁気同時観測

東北日本は、1970年代半ばから微小地震観測網が設置され、また稍深発地震の活動が活発なこともあって、地震学的には世界で最も良く解明されている沈み込み帯である。これまで、マントルウェッジ内に低速度・高 V_p/V_s の領域が発見され、スラブの脱水により形成された蛇紋岩やメルトであると解釈されている(Nakajima et al., 2001, *JGR*)。またマントルから供給されたメルトは地殻内に流体を供給し、それが地殻の変形や内陸の発生に重要な働きをしていることが示唆されている(Hasegawa et al., 2005, *Tectonophys.*; Wannamaker et al., 2008, *Nature*)。本研究では、鳴子火山周辺を研究の模式地として捉えて、地震観測および電磁気観測を同時に実施することによって、地震波速度構造と比抵抗構造をともに3kmの解像度で解明し、マントルから地殻上部に至る地殻流体の3次元的な分布や化学組成を定量的に解明することを目指している。

観測方法： 地震観測は平成21年度より鳴子周辺に50観測点を展開している。電磁気観測は、これまで地殻を対象とした広帯域MT観測を鬼首カルデラおよび鳴子火山周辺で合計62点展開し、マントルを対象とした長周期MT観測を31観測点で展開している。

解析結果： 地震波トモグラフィの予察的な結果および、広帯域MTによる電磁気探査結果を示す。ともに3次元解析によるが、代表的な断面として、鬼首カルデラおよび鳴子火山の東西断面図を示す。いずれも活火山の直下の上部地殻に鉛直状の低速度(2~4%)、低比抵抗(数ohmm)領域が存在し、それが地殻深部に繋がっている。しかし地震波速度異常と比抵抗異常の詳細な分布は異なっており、流体の組成や分布形態の違いを反映しているものと考えられる。今後、さらにデータを蓄積するとともに、これらのデータを**PROM**モデルによって解釈し、地殻および上部マントルにおける**Geofluid Map**を作製する。

地殻流体=濃厚塩水仮説： 図(b), (d)に見られる数 Ω_m 以下の高電気伝導層は、芳野・藤田・下宿らの電気比抵抗測定(P. 10)、佐久間・河村らの分子シミュレーション(P. 14)によれば岩石やグラファイトやシリケートメルトでは説明できず、**海水の数倍の濃度を持つ塩水が岩石粒界に連結して存在する状態であることが判った**(Yoshino & Noritake, 2011, *EPSL*; Fujita et al., 2011, *Tectonophys.*)。『**地殻流体が濃厚塩水であるという結論**』は、風早らの有馬型塩水の日本列島各地での分布(P. 15)からも支持され、平島らの変成岩中の流体包有物分析(P. 11)とも矛盾しない、**本融合研究の重要な研究成果**である。

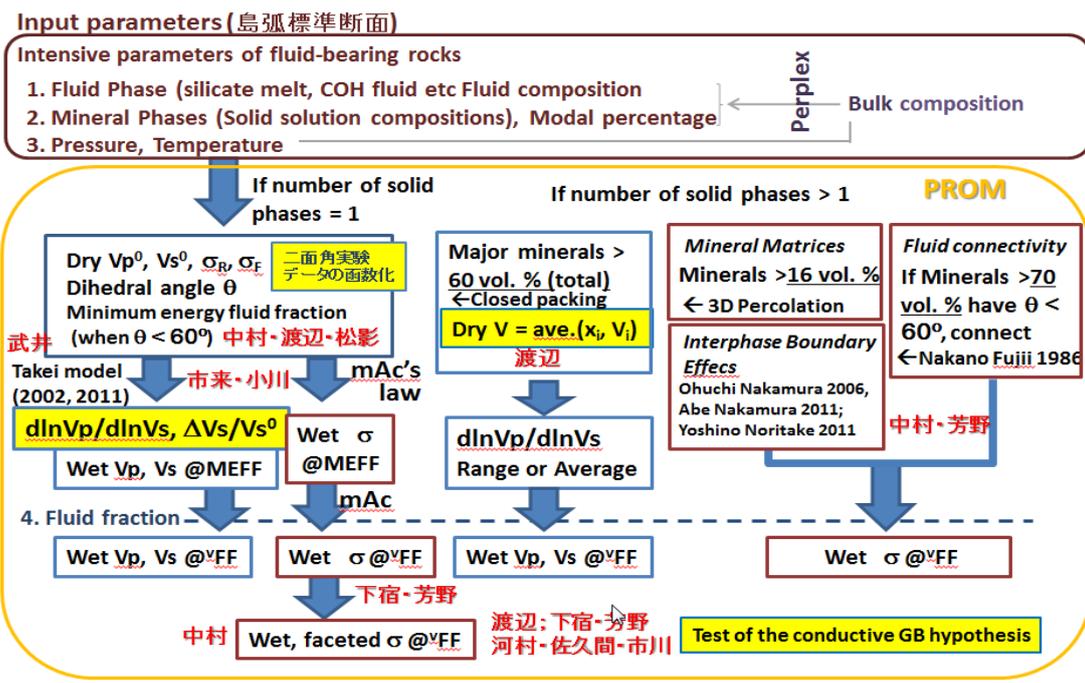
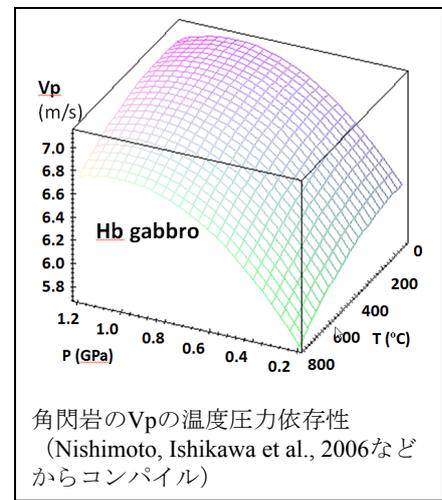


PROMとは:

Geofluid Mapの作成においては、地震波速度・電気比抵抗という、地球物理学的な一次観測量を、地殻流体の実態（量や形態・化学組成）へと“翻訳するための辞書”を作成する必要がある。本新学術領域における多角的な物質科学的研究の多くが、この統一した目標に向かって実施されてきた。岩石の種類や化学組成が、相平衡・化学平衡で基本的に規定されるのと同様に、岩石中における流体の存在形態についても、界面エネルギーを極小とする“組織平衡”状態を想定することができ、それを基準として観測データを解釈すると見通しが良い。総括班では、この組織平衡状態と、そのときに流体を含む岩石が示す物性とのパッケージを「標準岩石モデル (Preliminary Reference Rock Model: PROM)」として、個々の研究をより強力に結合させるための手段と位置付けている。PROMの構築にあたっては、A02-2形態と物性班を中心とし、A01-2電磁イメージング班・A03-1ダイナミクス班が加わって、計画研究の枠を超えた連携が行われている。

主な成果:

1. 計画研究をまたいだ計4回の研究集会での議論を通じて、標準岩石モデルの基本構造が確立した(下図)。
2. 既に物性データの蓄積がある上部地殻の花崗岩・下部地殻の角閃岩などについてコンパイルと函数化が進み、Geofluid Map試作版の作成に応用された(右図)。
3. 翻訳エンジンの基本性能が向上した(非弾性効果の解明, Takei et al., JGR submitted)。
4. 中・下部地殻の低電気比抵抗を担う異相粒界効果が解明された(Abe & Nakamura, Geofluid symposium 2011)
5. 高温高压のH₂O-NaCl流体に適用可能な新たなポテンシャルモデルFFA-POLを開発し、MT観測から導かれた高電気伝導層が濃厚塩水を粒界に含む岩石で説明し得るか検証した(Sakuma & Kawamura, 2011)。



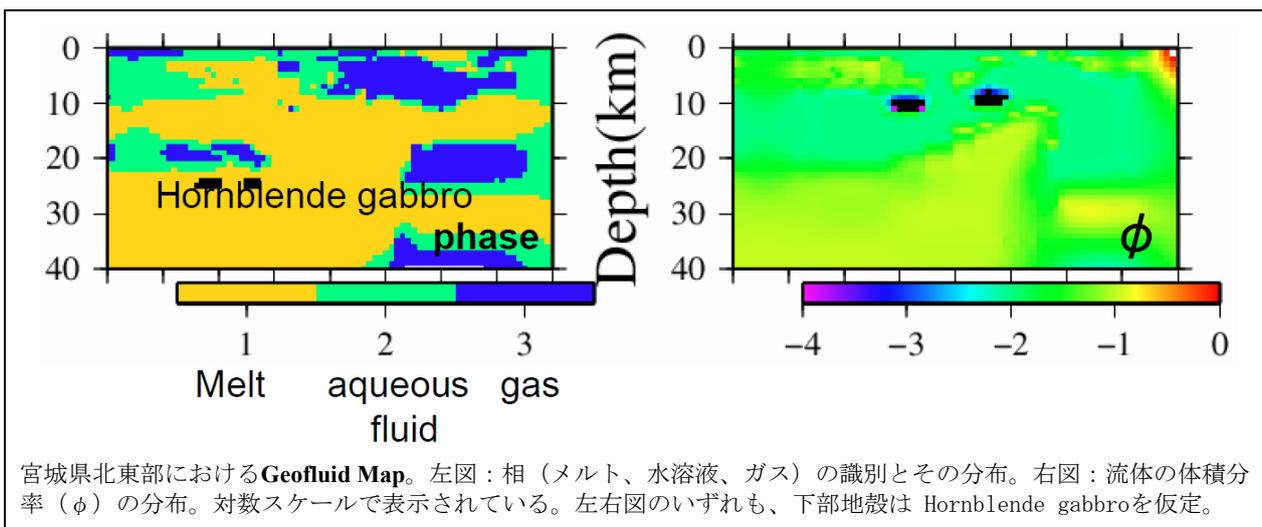
(融合研究－3) Geofluid Map作成

－総括班：融合研究－

本領域研究の重要目標の一つである「Geofluid Map (地球内部の流体分布図)」を描くアルゴリズムを構築し、宮城県北東部における地震波と電磁気観測データを定量的に説明するGeofluid Mapを初めて作成した。具体的には、地震波速度と電気比抵抗の観測値を同時に翻訳し、液体相の種類（水溶液、メルト）と体積分率の空間分布を推定した。この翻訳を適切に行うためには、誤差を含む観測値の特性（地震波・電磁気観測：融合研究－1）、および温度・圧力・相・化学組成の関数としての物性の理解（翻訳の辞書としてのPROM：融合研究－2）が重要であり、さらにそれらを定量的に統合するための数値モデルが必要である。

各計画班から数名ずつの研究者が集結し（岩森、渡辺、中村（美）、市来、中島を中心とし、小川、芳野、小木曾、高橋、松影、川本、大森、佐久間、武井、河村、中村（仁）らが参加）、複数回の融合研究会を通してフォワードモデル（流体パラメーター → 地震波速度・電気比抵抗）を作成した。逆解析はunderdetermined conditionにあるため、フォワードモデルを用いて流体パラメーターと地震波速度・電気比抵抗の関係性を吟味し、逆解析に際しては温度構造および岩質は先験的情報として与えることが適切であることを明らかにした。その上で東北地方下のデータを解析し、Geofluid Mapを得た。

融合研究－1 による鳴子地域でのデータ取得・解析は現在進行中であり、予察の結果が得られた段階である。そこで、既にデータが得られており、かつ鳴子に近い宮城県北東部前弧域において、Nakajima and Hasegawa (2003) および Mitsuhashi et al. (2001)から同一断面のデータセットを抽出し、逆解析を行ってGeofluid Mapを描くことに成功した（岩森・他、地球惑星連合大会2011；下図）。図に示される地殻内部および最上部マントルのほぼ全域で流体に飽和しており、前弧域であるにも関わらず、中部から下部地殻では最大10%に達する花崗岩質メルトの存在が示唆される。仮定された温度構造は、下部地殻では600℃を超え、 H_2O に飽和していれば実際に溶融が起こりうるという点で整合的である。しかし、今回用いたデータセットは、電磁気学的構造が2次元モデルに基づいており、誤差や不確定性が大きいと考えられる。また、現状では、融合研究－2 の標準岩石モデル（PROM）が、実際の多様な岩質、温度、組成、圧力条件に十分には対応しておらず、実際に広域的な溶融が起こっているかどうかは更に検証が必要である。今後、融合研究－2 によるPROMのさらなる進展を取り入れ、融合研究－1 による稠密3次元構造に応用することで、世界で初めて確度の高いGeofluid Mapが得られると期待される。

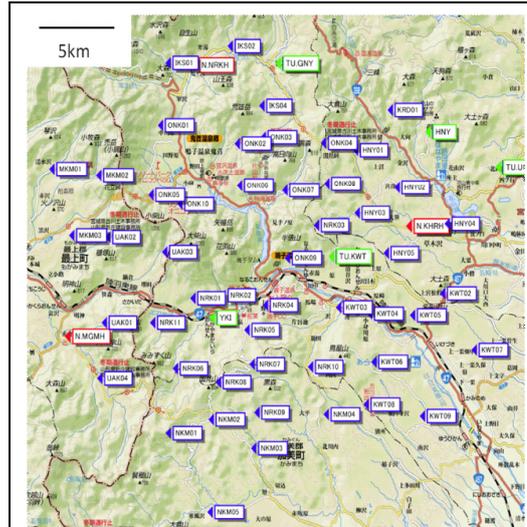


(1) 宮城県鳴子周辺での Geofluid Map の作成

当初計画通り、本研究経費と東北大学の経費をあわせて50セットの地震計とロガーを調達し、鳴子周辺に設置して観測を開始した(右図)。得られたデータを周辺の観測点のデータと統合処理して、予備的な解析を実施した。得られた結果については、P.4に示す。

(2) 島弧スケールのGeofluid Map の作成

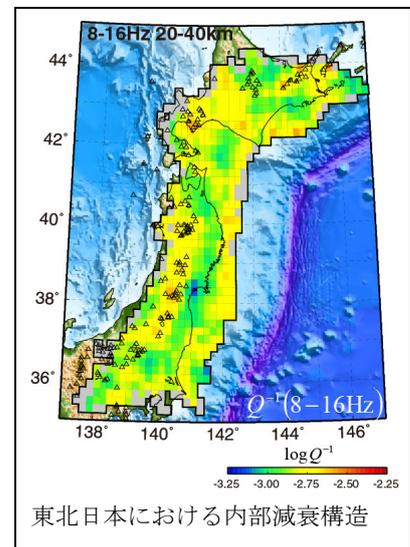
日本列島の様々な地域での詳細な地震波速度・減衰トモグラフィーや散乱構造の推定を行った。これらの結果と広域のトモグラフィーおよび鳴子周辺で行われる総合的な解析結果とを照らし合わせて、平成24年度までに島弧スケールのGeofluid Map作成を行う。



鳴子周辺に設置した地震観測点の配置図

(2-1) 千島弧-東北日本弧-伊豆小笠原弧の構造推定：東北

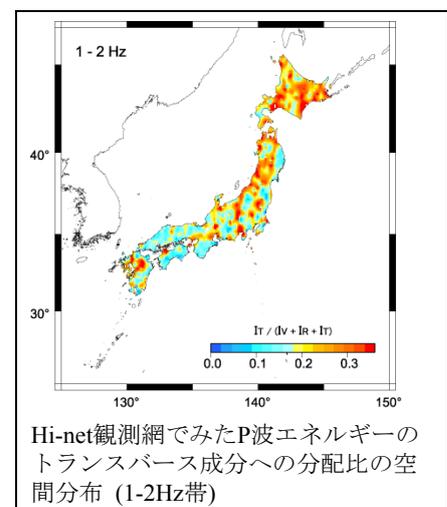
日本における速度ゆらぎの空間分布を推定して、第四紀火山下や日高西部の微小地震活動が活発な領域で速度ゆらぎが大きいことを明らかにし (Takahashi et al., 2009, *GJI*)、さらに同地域の内部減衰構造を推定して、第四紀火山下や本州弧と千島弧の衝突帯で減衰が強いことを明らかにした(右図)。さらに稍深発地震の波形を用いて地震波減衰構造を推定して、前弧側のマントルウェッジは減衰が小さく、背弧側では減衰が非常に大きいことを明らかにするとともに、火山フロント下に沿った最上部マントルには、高減衰域が連続的に分布していることも示した。これらの地震波の速度ゆらぎや内部減衰構造を用い、独立成分分析による媒質の特徴抽出を行った。本州弧と千島弧の衝突帯や第四紀火山下は共通して低速度異常・高減衰という特徴を示すが、統計的に独立な成分で比較するとそれぞれ異なる特徴を持つことが判った。今回の結果は、低速度や高減衰の原因を客観的に分離して流体の影響のみを抽出できる可能性を示している。また、北部伊豆小笠原弧の速度ゆらぎの三次元構造を推定し、古い島弧が存在すると考えられている領域付近や第四紀火山下で速度ゆらぎが大きいことを解明した (Takahashi et al., 2011, *JGR*)。



東北日本における内部減衰構造

(2-2) プレート形状モデルの推定：中部地方～関東地方におけるトモグラフィの結果から、フィリピン海プレートの形状を詳細に検討し、新しいプレート形状モデルを提唱した。このモデルでは、フィリピン海プレートは伊豆の北部延長でも連続して存在し、中部日本では深さ140km程度までプレートが沈み込んでおり、日本列島の水循環を考える上で極めて重要な成果である (Nakajima et al., 2009, *JGR*)。

(2-3) 日本列島下の短波長不均質の分布：地殻内の短波長不均質性が地震波動伝播・散乱に及ぼす影響を定量化するためHi-netデータを用いてP波トランスバース成分励起量の空間マッピングを行った。得られた励起量の分布(右図)は地震波速度トモグラフィから得られた構造と良く似ており、波形解析と速度トモグラフィを組み合わせることにより、相互に補強しあってGeofluid Map作成に貢献できると考えられる。

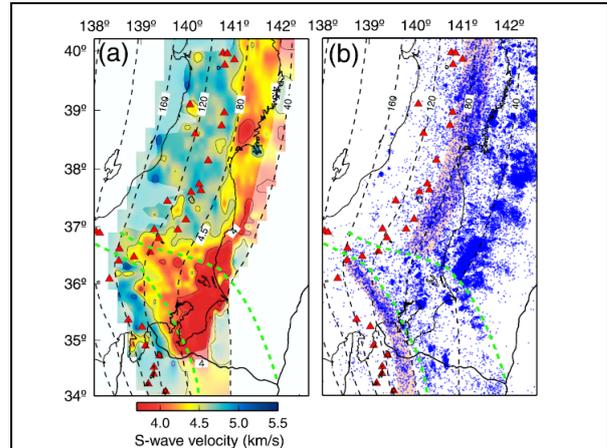


Hi-net観測網でみたP波エネルギーのトランスバース成分への分配比の空間分布 (1-2Hz帯)

(3) 地殻流体が地震・火山活動および地殻変動に及ぼす影響の解明

断層スケールから島弧スケールまでの様々な不均質構造と地震・火山活動や地殻変動とを比較し、地殻流体が地震・火山活動および地殻変動に及ぼす影響について検討を行った。これらの研究は今後、A02から得られる、流体が岩石の変形や破壊、摩擦に与える影響の実験結果も考慮して、定量化する予定である。なお、東北地方太平洋沖地震によって得られた主な成果はP.29にまとめてある。

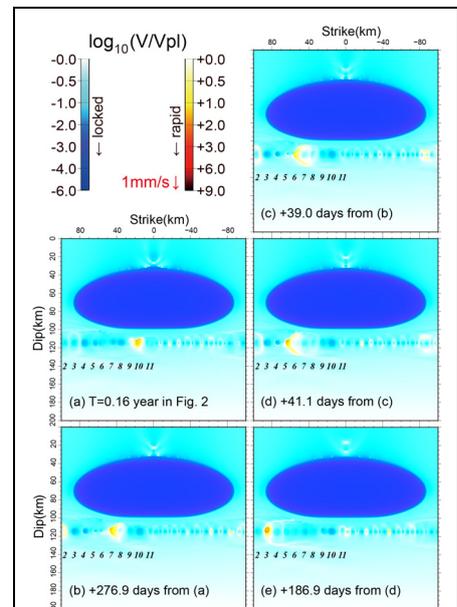
(3-1) スラブ内地震と流体：1993年に北海道で発生したスラブ内地震（釧路沖地震：M7.8）の余震域では地震波速度が遅くなっていることを明らかにした（Nakajima et al., 2009, *Gondwana Res.*）。また、太平洋スラブ内では、東北地方で深さ80km程度、関東で深さ120-140km程度まで海洋性地殻の地震波速度が低く、その低速度域下端付近で地震活動が活発となっていることを明らかにした（右図）。このことは、関東地方下では太平洋スラブの直上にフィリピン海スラブが存在するために温度が低く、海洋性地殻内の岩水鉱物の相転移が遅れ、スラブ内の地震がこの相転移に支配されていることを示唆している（Nakajima et al., 2009, *GRL*）。さらに、関東地方下のフィリピン海スラブの東端部のマントルが蛇紋岩化していることを明らかにし、過去にM7クラスの地震が、この蛇紋岩化域の西縁で発生していたことを示した（Nakajima et al., 2010, *JGR*）。以上の結果は、スラブ内地震の発生に流体が関与していることを強く示唆している。



(a)太平洋スラブの海洋性地殻内のS波速度。黒破線は太平洋スラブの等深度線、緑破線は太平洋スラブ上面とフィリピン海スラブ下面の接触域を示す。(b) 海洋性地殻内で発生している地震の分布。ピンクの帯は地震活動が活発な領域を表す。

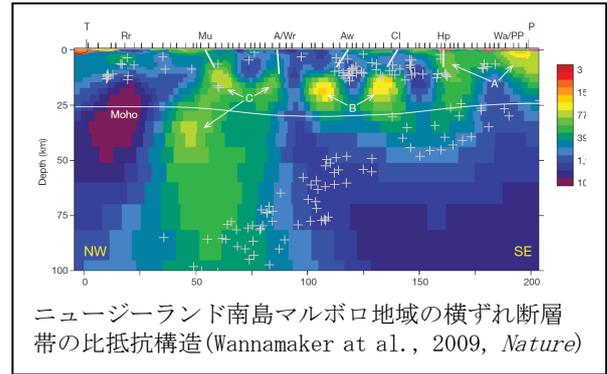
(3-2) 内陸地震と流体：岩手・宮城内陸地震震源域周辺の応力場を解析することにより、間隙水圧の分布を推定したところ、栗駒山の北部の地震波低速度域近傍で間隙水圧が高く、またそこでは応力場が本震後に大きく変化していたことを明らかにした。さらに、西南日本の深部低周波地震・微動の発生域の直上にあたる中央構造線付近では、地震発生層の下限が例外的に浅くなっていることを明らかにした。これは間隙水圧の上昇によって条件付き安定領域が拡大したためと解釈できる。

(3-3) プレート境界型地震と流体：西南日本の深部低周波地震・微動について数値シミュレーションを行い、有効法線応力が通常の1/10とする条件下で、深部低周波地震・微動の移動現象を説明できることを示した（右図）。このことは深部低周波地震・微動発生域で間隙水圧が極めて高いことを意味する（Ariyoshi et al., 2009, *Gondwana Res.*）。さらに、海溝型巨大地震の発生時期が近づいてくると深部低周波イベントの移動現象の発生間隔・移動速度が短く・速くなることも明らかにした（Ariyoshi et al., 2011, *EPS*）。また、複数の断層セグメントが隣接し、それらが連動して地震が発生する場合、セグメント間に流体が豊富に存在すると、連動破壊の時間差が短くなるため、滑り量はセグメント固有の値とならず、断層サイズに比例した値になりやすいことを示した（Ariyoshi et al., 2009, *J. Geodynamics*）。



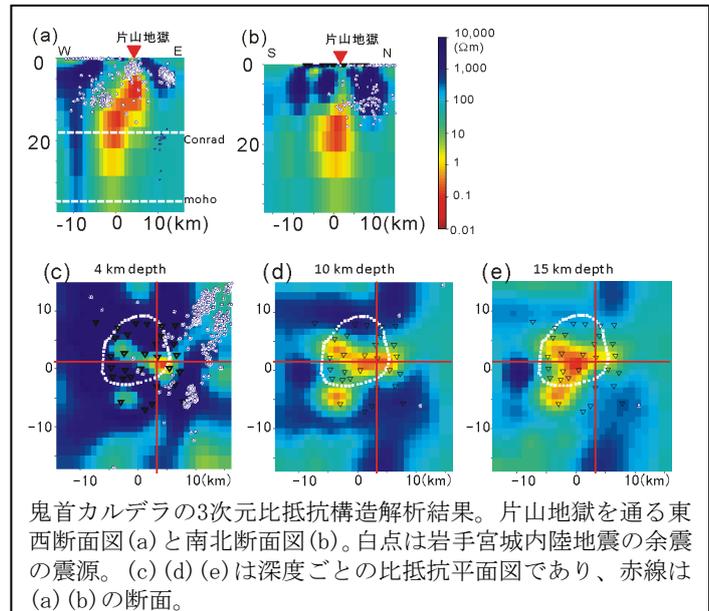
西南日本プレート境界でのすべり速度の時空間変化シミュレーション結果。巨大地震のアスペリティ（大きな青楕円）の下で低周波イベントが伝播していく様子が見える。

沈み込み帯における流体相の3次元的な分布 (Geofluid Map) を、電磁気観測から解明するために、東北日本弧中央部の宮城県鳴子地域周辺で電磁気 (MT : magneto-telluric) 観測を高密度に行い、地殻・上部マントルの3次元比抵抗構造の解明を進めた。また、比抵抗構造から流体の量と連結度を推定する為に、含水岩石の高温高压実験を行った。



(1) 背景とこれまでの成果

研究計画A01-2では、電磁気観測によって地殻内の低比抵抗異常を解析することによって、地殻内流体が、内陸活断層深部での地殻変形や、地震発生にとって重要な役割をしていることを明らかにした (Wannamaker et al., 2009, Nature; Yoshimura et al., 2009; Ichihara et al., 2011)。上図はニュージーランド南島の横ずれ断層帯で、活断層 (地表からの太い白線) の深部延長に低比抵抗体 (黄色) が存在していることが分かる。また、火山体においても、比抵抗構造とその変動から、流体の存在やその火山活動との関連を明らかにした (Ingham et al., 2009; Kanda et al., 2010; Asamori et al., 2010; Aizawa et al., 2011)。一方、これまでの電磁イメージング研究では、観測点を測線上に配置し、2次元断面解析をすることが通例であった (Asamori et al., 2010)。またマントルの詳細な構造解析も行われていなかった。本研究では広帯域MTおよび長周期MTを用いて地殻から上部マントルに至る3次元的な比抵抗構造解析を目指している。また、比抵抗構造の定量的な解釈に向け、本研究では地殻下部の温度圧力条件での含水岩石の比抵抗測定も行っている。



(2) 地殻流体の電磁探査

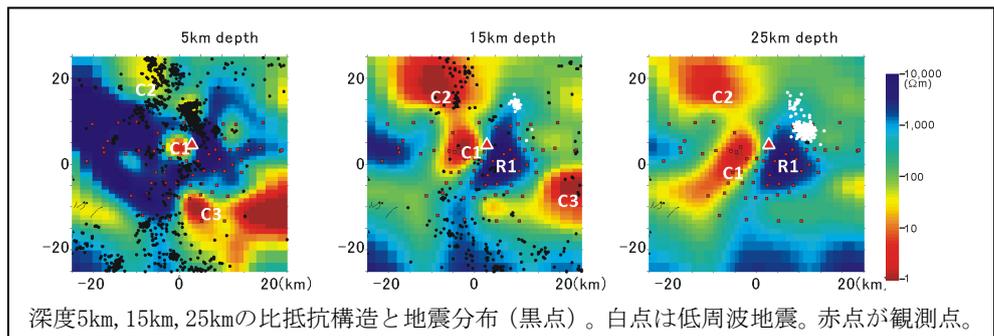
(2-1) 鬼首カルデラの3次元地殻比抵抗構造

解析: 鬼首カルデラにおいて、広帯域MT観測を30点で行い、下部地殻から地殻浅部に

至る地殻流体の3次元分布を空間分解能3kmで明らかにした (Fukino et al., 準備中)。地殻下部では低比抵抗異常が北北東—南南西の走向を示すが、上部では広域的な東西圧縮の応力場を反映して東西走向の岩脈状の低比抵抗異常となる。上部地殻の低比抵抗脈の最浅部は、地熱地域に対応する。カルデラ周辺の地震活動や地震断層は、低比抵抗異常を避けるように3次元的に分布し、流体に富む地殻が変形しやすく地震が発生しないと解釈される。

(2-2) 鳴子火山周辺の

3次元地殻比抵抗構造解析: 鳴子火山周辺30観測点で広帯域MTデータを取得し、既存データと併合して3次元解析を行った。

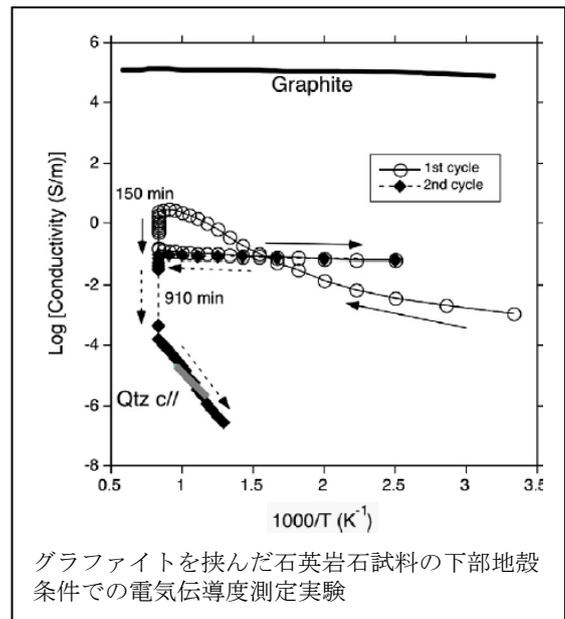


深度25kmでは火山フロントより北西側に低比抵抗(C1, C2)が広がる。上部地殻では、火山が存在しない南東部にも顕著な低比抵抗異常(C3)が存在する。上部地殻の地震の震源はこれら低比抵抗領域を避けるように分布する。また下部地殻に発生する火山性低周波地震(深度25kmの図の白点)は、むしろ高比抵抗異常(R1)の周辺で発生していることが分かった。

(2-3) マントルの3次元比抵抗構造解析のための長周期MT観測：マントルの3次元比抵抗構造解析のための長周期MT測定装置を導入し、20kmグリッドにて鳴子火山周辺32点で実施した。引き続き観測を継続している。

(3) 下部地殻の温度圧力条件における流体を含む岩石の電気伝導度測定

(3-1) 測定システムの検討：圧媒体に固体を使用するため、流体が系外へ逃げ出さないようにする工夫が必要であり、かつ高抵抗のセルが必要である。まず、ダイヤモンドのカプセルの有効性を検討し、高温測定中の絶縁抵抗が悪いことが分かった。これに対して、ケイ酸塩鉱物の単結晶カプセルが絶縁性、反応性が低い点で優れていることが分かった。



グラファイトを挟んだ石英岩石試料の下部地殻条件での電気伝導度測定実験

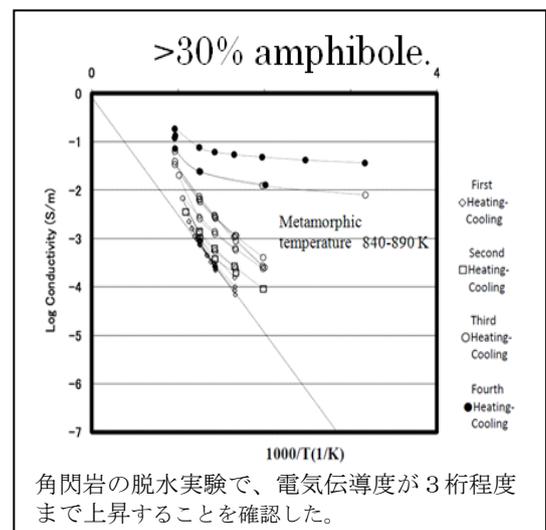
(3-2) 下部地殻の低比抵抗異常の候補に関する実験的検討：

(3-2-1) グラファイトフィルムの安定性の検討：石英結晶の間にグラファイトの薄膜を挟み下部地殻条件にすると、比抵抗は増加することが分かった。界面エネルギーが高いためにフィルム状の形状を持続せず、地殻下部の低比抵抗がグラファイトでは説明できないことが分かった(右図:Yoshino and Noritake, 2011)。

(3-2-2) 地殻の主要な含水鉱物の電気比抵抗測定：比抵抗の絶対値は観測で得られている低比抵抗の値に比べ、2~3桁高く地殻下部の低比抵抗を説明できないことが分かった(Guo et al., submitted to PEPI)。

(3-2-3) 高温高压化での石英の溶解度による電気伝導度の上昇の検討：まず、高温高压下では超臨界状態の水への鉱物の溶解度が高くなるので、水を含む岩石の電気比抵抗へのそれらの溶質の与える影響を、地殻の代表的な鉱物である石英と水の系で行った。水の量が増えるに従って、バルク比抵抗が減少する傾向があるが観測されている低比抵抗を説明することはできない。今後は、塩水などの電荷キャリアを多く含む水溶液の飽和した岩石の電気比抵抗測定を行う。

(3-3) 角閃岩の脱水実験：下部地殻条件で角閃岩の脱水実験を行い、電気伝導度が3桁程度まで上昇することを示した(右図)。この温度圧力範囲ではわずか0.4~0.36vol%の脱水が起きているにすぎないので、高塩濃度の流体が存在している必要があることが分かった。これは重要な実験成果である。



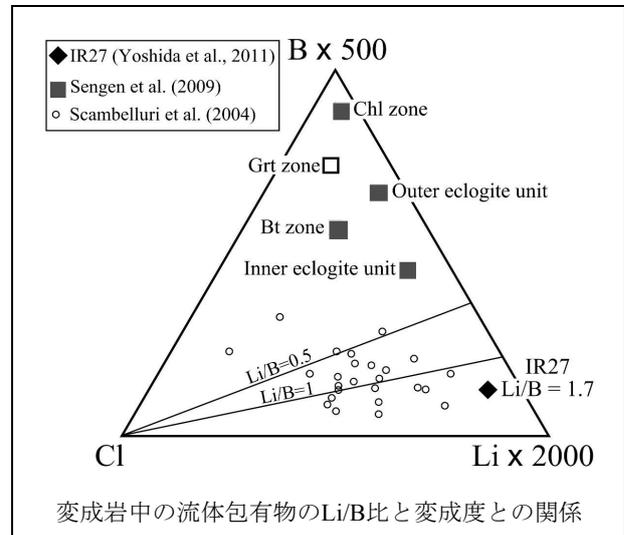
角閃岩の脱水実験で、電気伝導度が3桁程度まで上昇することを確認した。

(1) 沈み込むスラブにおける流体の発生と化学的特徴の研究

沈み込み帯全体の流体の分布を知るには、沈み込むスラブのどこからどのような流体が供給されるのかを解明する必要がある。そこで、沈み込むスラブ由来の流体の発生深度と化学的特徴について、以下の研究を行った。

(1-1) スラブの沈み込みに伴う変成作用を被った

と考えられている高压変成岩中には、流体包有物が多く含まれている。それらの流体包有物の顕微ラマン分光分析、およびクラッシュリーチング法とICP-MS装置による微量元素組成分析を行った。その結果、流体包有物を含む変成岩の原岩および変成度と、流体のLi/B比との間に明確な相関があることが明らかになった。この研究により、流体包有物のLi/B比を流体発生深度の指標として利用することが可能となり、流体の発生深度と化学的特徴との関係を天然の流体包有物から読み解く道が開かれた (Yoshida et al., 2011, *JMPS*)。



- (1-2) 高压型変成帯である三波川変成帯の含水エクロジヤイトから、部分融解を示す組織を発見し、該当の試料について、鉱物化学組成分析およびジルコンのU-Pb年代測定を行った。その結果、70km程度の深さで、エクロジヤイト化の直後にフェンジヤイトが分解して部分融解が起こったことが明らかになった。フェンジヤイトの分解反応は温度に大きく依存するため、スラブ内の温度構造を精度良く推定することがスラブ由来流体の発生深度を知る上で重要であることがわかった。
- (1-3) 沈み込むスラブ内部での地震発生が蛇紋石・緑泥石等の含水鉱物の脱水によるものとの仮定のもとで脱水誘発地震温度計を提案した。それにより、東北日本の沈み込み帯の温度構造が推定可能であることを示した (Kogiso et al. 2009, *Gondwana Res.*; Omori et al. 2009, *Gondwana Res.*)。

(2) マントルウェッジ内での流体の役割の解明

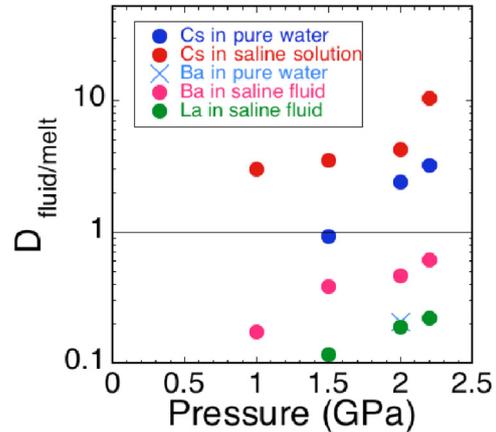
地震波・電磁気観測データをもとに沈み込み帯の広域Geofluid Mapを作成するには、スラブからマントルウェッジに供給された流体が引き起こす様々なプロセス（カンラン岩の蛇紋岩化・部分融解、カンラン岩メルトからの流体放出、など）の具体像を理解することが欠かせない。そのために、マントルウェッジ内で流体が関与するプロセスについて以下の研究を行った。

- (2-1) マントルウェッジで蛇紋岩が形成されるプロセスを反応速度論的に理解するために、カンラン石-輝石-H₂O系で高温高压実験を行い、蛇紋石の形成速度を調べた。その結果、沈み込んだスラブの条件 (1~3GPa・500~600°C) では、500時間を越えても蛇紋石の形成は確認されなかった。このことは、蛇紋石の形成がかなり限られた条件下のみで起こること、スラブ由来流体が蛇紋岩化を引き起こさないままマントルウェッジを移動し得ることを示唆している。
- (2-2) 地震波観測によって求められる弾性データとマントル中の蛇紋岩分布との対応関係を明らかにするために必要な物性値である蛇紋石の非弾性的性質を決定するために、マルチアンビル装置と放射光X線を用いて蛇紋石の非弾性的性質を高温高压その場観察で明らかにするための装置開発に着手した。

(2-3) 含水カンラン岩の部分融解実験を5～7 GPaの圧力範囲で行い、流体存在下での融解相平衡関係を決定した。その結果、圧力および含水量の増加とともに、融け残り固体物質のSiO₂量とMg/(Mg+Fe)比が上昇することが明らかになった。これは、カンラン岩の全岩組成から、カンラン岩の含水融解時における含水量・深度を読み取ることが出来ることを示している。

(2-4) マルチアンビル装置による高温高压実験と放射光蛍光X線分析を組み合わせ、H₂O流体とケイ酸塩メルトを1.5GPa・1000～1200℃の高温高压状態で共存させた状態で両者の微量元素濃度をその場分析し、メルトからH₂O流体が分離する際の微量元素の分配係数を決定した。H₂O流体—ケイ酸塩メルト間の微量元素分配係数を1000℃以上の高温でその場決定したのは世界初である。実験の結果、塩分を含まないH₂O流体にはアルカリ元素が選択的に分配され、アルカリ土類元素・希土類元素はケイ酸塩メルトに濃集すること、流体中の塩濃度および圧力の上昇とともに、アルカリ土類元素・希土類元素がH₂O流体中により多く分配される傾向があることが明らかになった。

Distribution coefficient Fluid/Melt as a function of pressure and salinity



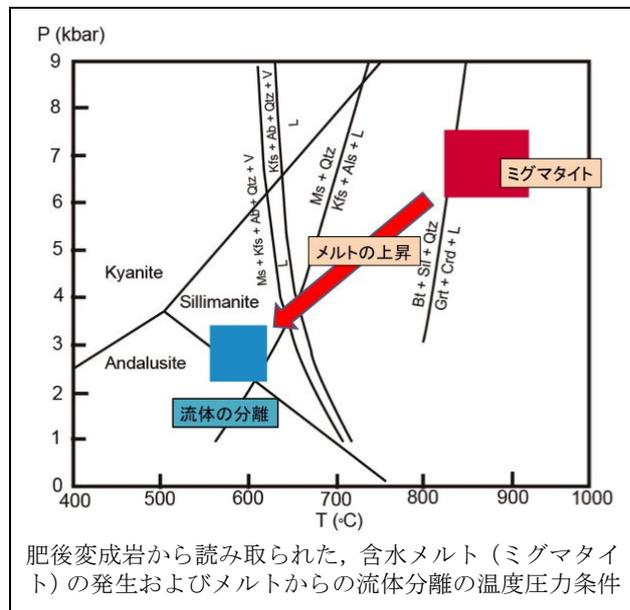
実験によって決定されたH₂O流体／メルト間の微量元素分配係数と圧力・塩濃度との関係

(3) 深部地殻条件下の流体関与プロセスの解読

地殻内部で流体が地震・火山活動に果たす役割を理解するには、地殻に存在する流体が引き起こしたプロセスを天然の岩石から読み取ることが有効である。そこで、中～下部地殻で形成された変成岩について、以下の研究を行った。

(3-1) 中～下部地殻条件で変成した肥後変成岩の地質調査と変成相解析を行った。その結果、下部地殻相当の圧力で生成された含水メルトが中部地殻まで上昇したこと、上昇したメルトの上部で、メルトからの流体放出にともなう塑性変形や脆性破壊が起こったことが明らかになった。この結果は、地殻内部の破壊現象にメルトからの流体の分離と移動が大きく関与したこと、そしてそのプロセスを変成帯の岩石から読み取り可能であることを示す。

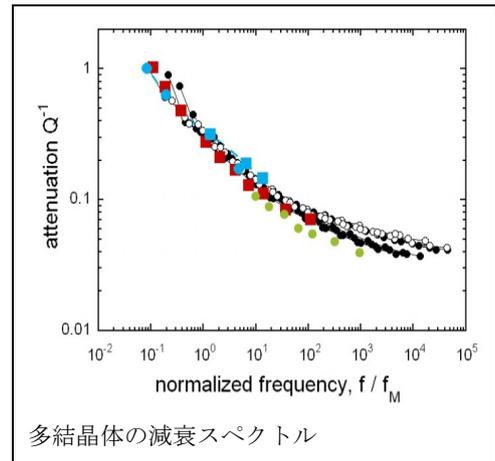
(3-2) 肥後変成岩にみられる断層破碎帯付近に存在する変成岩脈の岩石を解析した結果、ブドウ石脈が存在することがわかった。これは、断層破碎帯内でCO₂の脱ガスが起こったことによって形成されたと考えられ、流体中での気相の発生が断層の破碎と密接に関連していることを示唆している。



肥後変成岩から読み取られた、含水メルト（ミグマタイト）の発生およびメルトからの流体分離の温度圧力条件

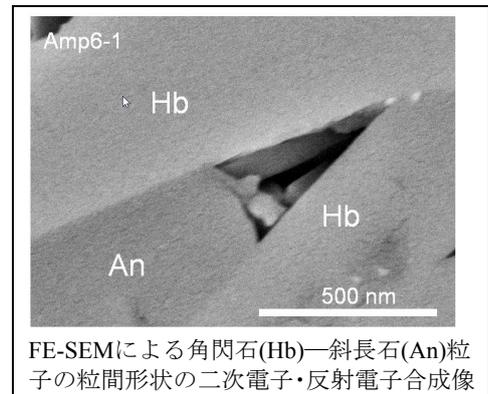
(1) マントルにおける地震波の減衰と異方性の解明

A01-1が観測した弾性波速度から流体の存在量や形態を見積もるには、**非弾性**の効果を評価する必要がある（観測データの翻訳エンジンの精密化）。本研究では、地震波帯域を含む広帯域で試料の弾性・非弾性を精密に測定できる強制振動型の実験装置を開発し、岩石アナログ物質のヤング率Eと減衰 Q^{-1} を、周波数、温度、粒径の関数として詳細かつ系統的に調べた。その結果、多結晶体の減衰スペクトルは、マックスウエル周波数で規格化された無次元周波数のみの関数として表されることが分かった（右図）。この**相似則**を用いると、オリビン多結晶体のデータも本実験と同一のマスターカーブに載ることが分かり、多結晶体の非弾性特性の持つ普遍性が従来よりも広い規格化周波数範囲で、より詳細に明らかになった。この結果は、非弾性のメカニズムが、従来想定されていたような粒界粘性に律速される粒界すべりではなく、拡散に律速される粒界すべりであることを強く示唆し、マスターカーブを外挿することにより、**マントルでの地震波減衰**を見積もることができるようになった（Takei, *JGR*, submitted）。結晶水を大量に含む**蛇紋石**は、マントルで最も重要な含水鉱物であり、その弾性波速度を決定することはマントルでの蛇紋石の分布をイメージングする上で欠かせない。Watanabe (2011, *GSL, Sp. Pub.*)は、蛇紋石化したマイロナイト質マントルカンラン岩の縦波・横波速度とその異方性を180MPaの封圧下で測定し、鉱物の格子配向性と比較してその原因を明らかにした。



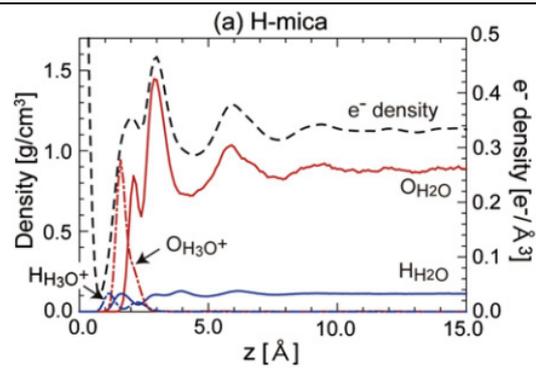
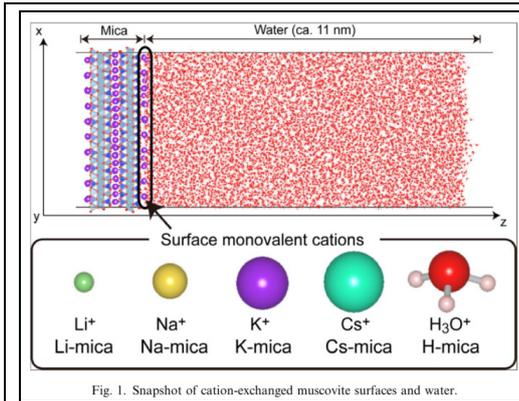
(2) 中・下部地殻の低電気比抵抗原因の解明

A01-2の観測によれば、地殻はほぼ全域で低電気比抵抗であるにもかかわらず、従来得られていた鉱物一相系の二面角のデータからは流体は連結しない、というパラドックスが存在した。Abe & Nakamura (Geofluids Symp., 2011)は、**地殻**を構成する代表的な岩石である角閃岩の粒間流体の形状を高温高压下での**組織平衡実験**によって調べ、角閃石と斜長石の成す二面角が60°よりも有意に小さいことを見出し（右図）、地殻流体は粒子スケールで連結できることを示した。これら二種の鉱物は、それぞれ結晶面の発達する異方性の強い鉱物と二面角の大きな鉱物との組み合わせという特徴を持つ地殻構成する岩石を代表するため、本結果は他の多くの地殻構成岩石についても当てはまると予想される。この結果は、A01-2 Yoshino & Noritake (2010, *EPSL*)により、粒間における石墨の存在が否定されたこととも併せて、中・下部地殻の低比抵抗が、岩石粒間の地殻流体のネットワークによって達成されることを強く示唆する。



(3) 上部地殻低電気比抵抗要因の推定

上部地殻岩石のアナログ物質として岩塩を用いた封圧・昇温条件での**電気インピーダンス測定実験**から、開いた結晶粒界に面状のバルク水（薄膜水）が存在する可能性を示した（Watanabe, 2010, *GSL, Sp. Pub.*）。同時に、Sakuma & Kawamura (2011, *GCA*) は**分子動力学法**により地殻に普遍的に存在する白雲母と水との界面における水分子および一価陽イオンの分布と運動を、X線反射プロファイル・電子密度プロファイルを実験値と比較することで、雲母と電解質溶液との界面の詳細な構造と動的性質（自己拡散係数・粘性・滞留時間・回転時間）を明らかにした。その結果、界面から1nm以上離れた部分では、粒界水はバルク水と分け隔てない挙動を示し、雲母の粒界水が特別な電気比抵抗を示すことは予想されないことが

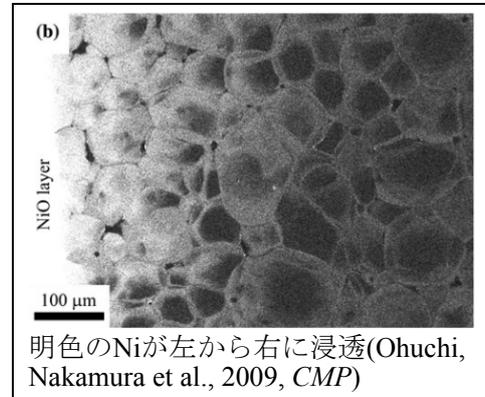


雲母—流体界面のナノ構造（左）と物性（右）

分かった（上図）。この結果はWatanabeの研究とともに、上部地殻の低電気比抵抗が、wetな鉱物界面では説明できず、連結したバルク水の存在を必要とすることを意味する。

(4) 粒間流体—鉱物間の化学輸送過程の実験・理論による解明

粒間流体と岩石の構成鉱物との間の化学輸送は、粒界移動に伴う溶解析出反応によって、従来考えられていた格子拡散よりも数桁効果的に行われることを、マンツルの主要鉱物であるカンラン水と超臨界水との高温高压下反応実験によって明らかにした（右図）。またTakei, Hier-Majumder (2009, *EPSL*)は、Nakamuraらによる流体浸透実験結果を用い、溶解析出反応による流体の浸透速度を理論的に定式化した。本計画研究内のこれらの成果によって、粒間流体の溶解析出過程による化学輸送の素過程が理論・実験両面から確立された。一方、Choi, Kawamura, Ichikawa et al. (2009, *J. Numer. Anal. Meth. Geomech.*) は、上部地殻の泥質岩



の主要構成鉱物であるカオリナイトの結晶構造、および流体との界面構造を分子動力学法によって構築し、これに均質化法を用いて物性を巨視化することによって、従来は実験のみによって得ることが可能だったマクロな輸送物性（粒間流体の浸透率・拡散係数）を、計算機実験によって再現することに成功した。これらの成果はGeofluid dynamics創生に結びつく成果である。

(5) レオロジー研究の進展

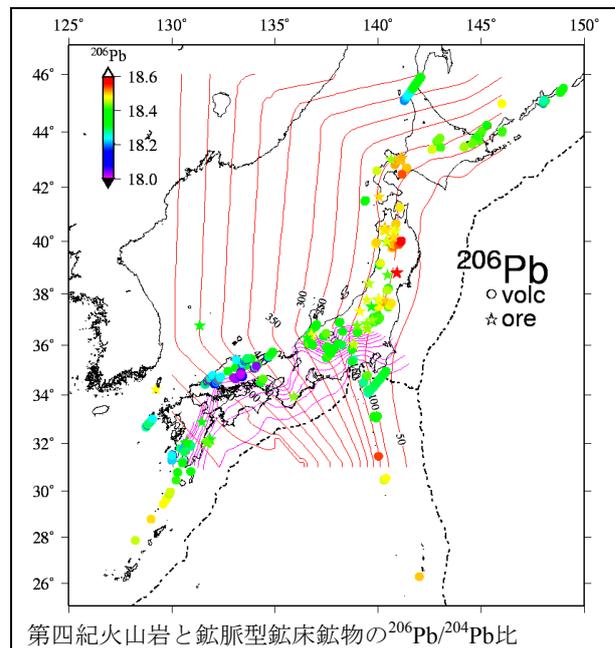
Takei & Holtzman (2009a,b,c, *JGR*) は粒間流体の微細構造に基づいて岩石粘性構成則を確立し、Hiraga et al. (2010, *EPSL*) は、金属やセラミクスで知られている超塑性が、ケイ酸塩であるマンツル鉱物にも存在することを初めて報告した。同時にマンツル多相岩の結晶粒成長速度に関するOhuchi&Nakamura (2007, 2008, *PEPI*)の実験をさらに発展させた包括的な粒成長モデルに基づいて、断層変形が停止する条件（歪硬化現象）を定量的に説明した（Hiraga et al., 2010, *Nature*）。さらにShimizu (2011, *Tech Open Access Publ.*) は、動的再結晶における結晶粒径の定常モデルを確立した。

(6) オリジナル実験装置の開発

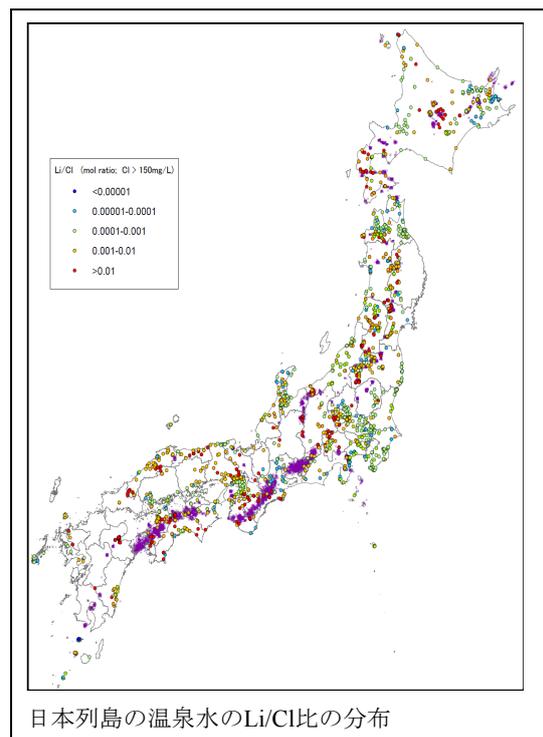
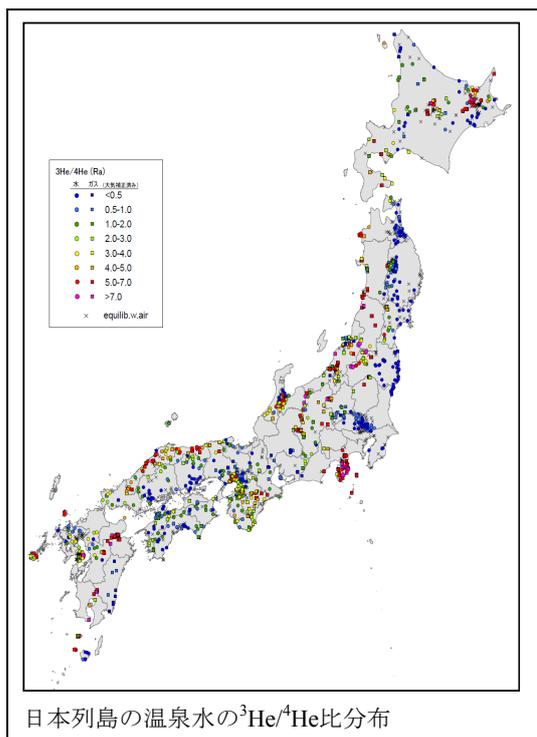
間隙流体圧を封圧と独立に制御できる三軸変形試験システム（東京大学）や、弾性波速度・電気比抵抗を高圧・高温下で同時に“その場”測定を行える高温高压物性測定装置（富山大学）、地殻流体の物性を高温高压下においてその場測定できる、角度分散ブリルアン散乱測定装置、および水熱ダイヤモンドアンビルを装備したラマン分光測定装置（岡山大学）の製作と立ち上げも順調に推移し、研究期間後半に向けて成果を出す準備が整った。

(1) 地殻流体の地球化学キャラクターゼーションおよび発生源の解明

日本列島に分布する第四紀火山および鉍脈鉍床を対象として調査、試料採取を行い、既存装置および新規導入の質量分析計とレーザーアブレーション装置を用いて化学・同位体分析を進めた。火山岩については、これまでにほぼ日本全体をカバーするデータが得られ、6つの島弧（千島、東北、中部、伊豆、西南日本、琉球）ごとに組成の特徴があること（右図）、スラブ由来流体の量と組成が、沈み込み条件（沈み込み角度、速度、海洋地殻物質の組成等）に対応して異なること、マントルにも広域的な変化が存在し、ユーラシア大陸下からエンリッチしたマントルが東向きに流れ込んでいる可能性があることが分かった（Nakamura and Iwamori, 2009; Nakamura et al., 2010, 地球化学会）。鉍脈鉍床については、これまでに中部日本に分布する6鉍床/32鉍石試料の元素およびPb同位体比分析を行った。各鉍山における共存鉍物が同位体平衡にある一方、広域的には火山岩と類似の変化を呈するが（上図）、よりスラブ由来成分に富む流体から沈殿したことが分かった（藤永・他, 2011, 地球惑星連合大会）。すなわち、鉍床流体は、マグマ生成に関わったスラブ由来流体と同源であるが、マントル岩石の影響を殆ど受けずに上昇し、地殻内に固定された可能性がある。



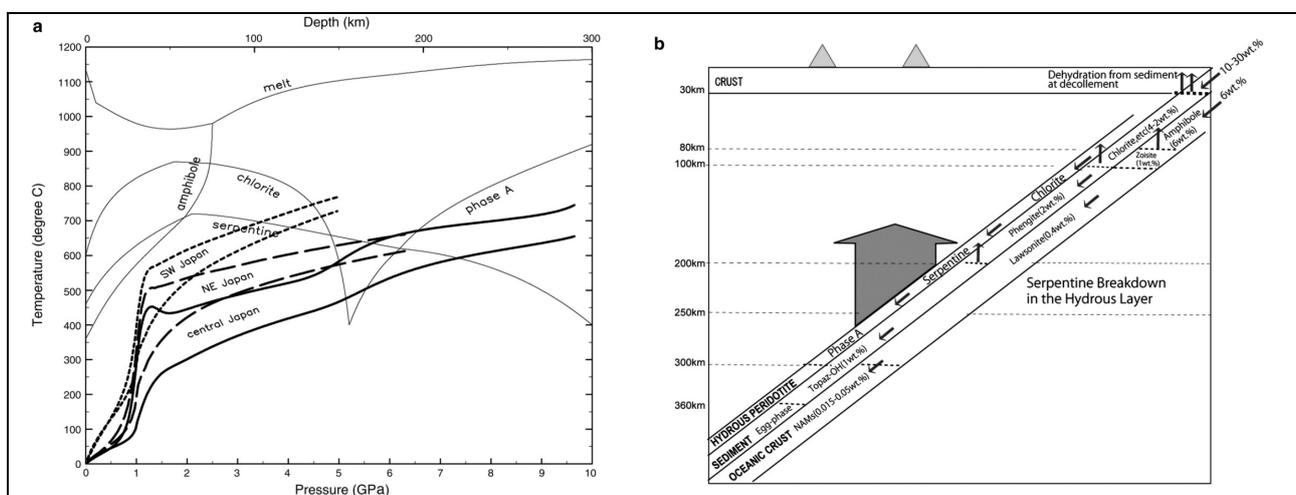
温泉・深層地下水については、およそ50温泉の100試料について調査・分析を行い、既存データと合わせ、初めて日本列島全体をカバーする化学組成（主要溶存イオン）と同位体（主に軽元素同位体）のマッピングを行った（下図）。



一般に、非火山性地域では低い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が観測されるが、紀伊半島から有馬温泉にかけての地域では、火山性地域と同程度の高い値が観測される。また、中央構造線沿いにも、比較的高い値が観測されることが分かった。現在、これらの分布と、地質構造、地震活動等（特に、右図に紫でしめされる低周波波動）との関連性の検討を進めている。さらにスラブ由来流体との関連性を探るため、有馬型熱水の微量元素濃度、鉛およびSr同位体比分析を行い、発生源・成因を検討中である。

(2) 地殻流体の反応と移動のモデル化

地球化学キャラクタリゼーションと対比しうる地殻流体の組成予測モデルを構築した（下図）。これらのモデルは、沈み込み帯全体の温度構造、スラブの脱水反応と元素移動を考慮しつつ、スラブ由来流体および火山岩の組成を予測する（Nakamura and Iwamori, 2009; Kimura et al., 2009; Kimura et al., 2010）。どの変数を未知数とし、どの元素/同位体を対象とするかに応じていくつかの異なるモデルが構築され、観察される多様な地殻流体の化学的特徴の再現と解釈が可能である。今後、観測とモデルの比較検討を進める。



日本列島下の温度構造と主要なマンテル含水鉱物安定領域（左）及びそれらを考慮したスラブ脱水反応の模式図（右）。脱水および溶融の元素分配からスラブ由来流体とマグマの組成が予測可能である（Nakamura and Iwamori, 2009）。

沈み込んだ流体の上昇速度を制約するため、新規導入の質量分析計により、東北日本弧では初めてとなる第四紀火山岩のU-Th放射非平衡測定を行った。島弧横断方向の4火山・9試料について、火山フロント側ではUの過剰が、背弧側ではThの過剰が認められ、いずれもU-Th分別から数万年以内の比較的短い時間で上昇したこと、および流体発生源でのU/Thの分別の極性が島弧横断方向に変化していることが分かった（Yokoyama et al., in prep.）。現在、試料数を増やすと同時に、分析精度向上のため、国際規制物資である同位体標準物質の入手を試みている。一方、上昇しきれずに地球深部に運び込まれた地殻流体成分が存在する証拠を海洋玄武岩中に広く発見し、その放射性同位体比に基づき、流体成分の循環時間（3-9億年）を推定した（Iwamori et al., 2010）。

さらに、地殻流体の移動およびそれが広域的なマンテル対流におよぼす影響について、理論的・実験的研究を進めた。まず、多相の流体が存在する状態での流れと変形の構成関係を確立し、流れと変形のシミュレータを開発した（Aichi and Tokunaga, 2011）。また、アナログ物質を使った室内水槽実験による固液2相系の構造、特に低液体量での浸透率の測定や、液体と固体の力学的相互作用について、実験・計測手法の開発および数値計算モデルの構築を行った。特に、地殻流体が、化学反応を通して岩石の粘性を低下させることに注目した。モデル計算の結果、沈み込む流体が蛇紋岩を形成⇒スラブとマンテルウエッジの力学的カップリング弱体化⇒スラブ沿いの温度低下⇒蛇紋岩の形成促進という正のフィードバックが起こり、「水和侵食」が起こることが分かった（Horiuchi and Iwamori, in prep.）。

7. 研究究成果の公表の状況

(1) 主な論文等一覧

2009年 (101件)

1. *Ariyoshi, T. Matsuzawa(7名中5番), A. Hasegawa(7名中7番), Influence of interaction between small asperities on various types of slow earthquakes in a 3-D simulation for a subduction plate boundary, **Gondwana Res.**, 166, 534-544, 2009.
2. *Ariyoshi, K., T. Matsuzawa(6名中2番), A. Hasegawa(6名中6番), Character of slip and stress due to interaction between fault segments along the dip direction of a subduction zone, **Journal of Geodynamics**, 48, 55-67, 2009.
3. *Goltz, C., T. Matsuzawa(6名中6番), Rescaled earthquake recurrence time statistics: application to microrepeaters, **Gophys. J. Int.**, 176, 256-264, 2009.
4. *Hasegawa, A., J. Nakajima(7名中2番), T. Okada(7名中4番), T. Matsuzawa(7名中6番), Plate subduction, and generation of earthquakes and magmas in Japan as inferred from seismic observations: An overview, **Gondwana Res.**, 16, 370-400, 2009.
5. *Nakajima, J., F. Hirose, and A. Hasegawa, Seismotectonics beneath the Tokyo metropolitan area: Effect of slab-slab contact and overlap on seismicity, **J. Geophys. Res.**, 114, B08309, doi:10.1029/2008JB006101., 2009.
6. *Nakajima, J., A. Hasegawa(6名中3番), T. Okada(6名中5番), T. Matsuzawa(6名中6番), Tomographic imaging of hydrated crust and mantle in the subducting Pacific slab beneath Hokkaido, Japan: Evidence for dehydration embrittlement as a cause of intraslab earthquakes, **Gondwana Res.**, 16, 470-481, 2009.
7. *Nakajima, J., Y. Tsuji, and A. Hasegawa, Seismic evidence for thermally-controlled dehydration reaction in subducting oceanic crust, **Geophys. Res. Lett.**, 36, L03303, doi:10.1029/2008GL036865, 2009.
8. *Omuralieva, A., J. Nakajima, and A. Hasegawa, Three-dimensional seismic velocity structure of the crust beneath the central Tien Shan, Kyrgyzstan: Implications for large- and small-scale mountain building, **Tectonophysics**, doi:10.1016/j.tecto.2008.10.010, 2009.
9. *Sano, Y., J. Nakajima(5名中5番), Tracing extinct spreading center in SW Japan by helium-3 emanation, **Chem. Geol.**, 266, 50-56, 2009.
10. *Takagi, H., M. Yamamoto(5名中4番), Long-term variation of the shallow tremor sources at Aso Volcano from 1999 to 2003, **J. Volcanol. Geotherm. Res.**, 184(3-4), 333-346, 2009.
11. *Takahashi, T., K. Obara(4名中4番), Tomographic inversion of the peak delay times to reveal random velocity fluctuations in the lithosphere: method and application to northeastern Japan, **Geophys. J. Int.**, 178, 1437-1455, 2009.
12. *Uchida, N., J. Nakajima, A. Hasegawa, and T. Matsuzawa, What controls interplate coupling?: Evidence for abrupt change in coupling across a border between two overlying plates in the NE Japan subduction zone, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 283, 111-121, 2009.
13. *Uchida, N., S. Yui, S. Miura, T. Matsuzawa, A. Hasegawa, (他2名), Quasi-static slip on the plate boundary associated with the 2003 M8.0 Tokachi-oki and 2004 M7.1 off-Kushiro earthquakes, Japan, **Gondwana Res.**, 16, 527-533, 2009.
14. *Umeda, K., J. Nakajima(4名中4番), Helium isotope variations along the Niigata-Kobe Tectonic Zone, central Japan, **The Lithosphere; Geochemistry, Geology and Geophysics**, 141-170, 2009.
15. *Yamamoto, S., J. Nakajima, A. Hasegawa, and S. Maruyama, Izu-Bonin arc subduction under the Honshu island, Japan: Evidence from geological and seismological aspect, **Gondwana Res.**, 16, 572-580, 2009.
16. *Aizawa, K., Y. Ogawa, (他6名), Structural controls on the 1998 volcanic unrest at Iwate Volcano: relationship between shallow electric resistive body and possible magmatic fluid ascent route, **J. Volcanol. Geotherm. Res.**, 187, 131-139, 2009.
17. *Aizawa, K., Y. Ogawa, and T. Ishido, Groundwater flow and hydrothermal systems within volcanic edifices: Delineation by electric self-potential and magnetotellurics, **J. Geophys. Res.**, 114, B01208, doi:10.1029/2008JB005910, 2009.
18. *Honkura, Y., Y. Ogawa, M. Matsushima, (他3名), A model for observed circular polarized electric fields coincident with the passage of large seismic waves, **J. Geophys. Res.**, 114, B10103, doi:10.1029/2008JB006117, 2009.
19. *Ichiki, M., K. Baba, H. Toh and K. Fuji-ta, An overview of electrical conductivity structures of the crust and upper mantle beneath the northwestern Pacific, the Japanese Islands, and continental East Asia, **Gondwana Res.**, 16, 545-562, 2009.
20. *Ingham, M.R., Y. Ogawa(9名中9番), A magnetotelluric study of Mount Ruapehu volcano, New Zealand, **Geophys. J. Int.**, 179, 887-904, 2009.
21. *Katsura, T., T. Yoshino(13名中7番), P-V-T relations of wadsleyite determined by in situ X-ray diffraction in a large-volume high-pressure apparatus, **Geophys. Res. Lett.**, L11307, 2009.
22. *Katsura, T., T. Yoshino, (他2名), Electrical conductivity of the major upper mantle minerals, a review, **Russian Geology and Geophysics**, 50, 1139-1145, 2009.
23. *Manthilake, G., T. Matsuzaki, T. Yoshino, (他3名), Electrical conductivity of wadsleyite as a function of temperature and water content. **Phys. Earth Planet. Inter.**, 174, 10-18, 2009.
24. *Okubo A., W. Kanda, (他6名), Apparent Magnetization intensity map on Sakurajima volcano, Kyushu, Japan, inferred from low-altitude, high-density helicopter-borne aeromagnetic surveys, **Tectonophysics**, 478, 34-42, 2009.
25. *Shimizu, H., T. Koyama, (他2名), Three-dimensional geomagnetic response functions for global and semi-global scale induction problems, **Geophys. J. Int.**, 178, 123-144, 2009.
26. *Utada, H., T. Koyama, (他2名), A joint interpretation of electromagnetic and seismic tomography models suggests the mantle transition zone below Europe is dry, **Earth Planet Sci. Lett.**, 281, 249-257, 2009.
27. *Wannamaker, P.E., Y. Ogawa(9名中6番), The fluid and deformation regime of an advancing subduction system; Marlborough, New Zealand, **Nature**, 460, 733-U90, 2009.
28. *Yamaguchi, S., Uyeshima, M. (他9名), Modification of the Network-MT method and its first application in imaging the deep conductivity structure beneath the Kii Peninsula, southwestern Japan, **Earth Planets Space**, 61, 957-971, 2009.
29. *Yamazaki, D., T. Yoshino, (他3名), Texture of (Mg,Fe)SiO₃ perovskite and ferro-periclase aggregate: implications for rheology of the lower mantle, **Phys. Earth Planet. Inter.**, 174, 138-144, 2009.
30. *Yoshimura, R., M. Uyeshima(26名中3番), H. Toh(26名中4番), Y. Ogawa(26名中9番), Y. Honkura(26名中22番), Magnetotelluric Transect of the Niigata-Kobe Tectonic Zone, Central Japan: A Clear Correlation between Strain Accumulation and Resistivity Structure, **Geophys. Res. Lett.**, 36, L20311, doi.org/10.1029/2009GL040016, 2009.
31. *Yoshino, T., (他2名), Well-wetted olivine grain boundaries in partial molten peridotites in the asthenosphere, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 283, 167-173, 2009.
32. *Yoshino, T., (他3名), The effect of water on the electrical conductivity of olivine aggregates and its implications for the electrical structure in the upper mantle, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 288, 291-300, 2009.
33. *Yoshino, T., and T. Katsura, Reply to Comments on "Electrical conductivity of wadsleyite as a function of temperature and water content" by Manthilake et al., **Phys. Earth Planet. Inter.**, 174, 22-23, 2009.
34. *Yoshino, T., and T. Katsura, Effect of iron content on electrical conductivity of ringwoodite, with implications for electrical structure in the mantle transition zone, **Phys. Earth Planet. Inter.**, 174, 3-9, 2009.
35. Akashi, A., *Y. Nishihara, E. Takahashi, (他3名), The orthoenstatite / clinoenstatite phase transformation in MgSiO₃ at high-pressure and high-temperature determined by in-situ X-ray diffraction: Implications for nature of the X-discontinuity, **J. Geophys. Res.**, 114, B04206, doi:10.1029/2008JB005894, 2009.
36. *Aoki, K., S. Omori(10名中6番), Metamorphic P-T-time history of the Sanbagawa belt in central Shikoku, Japan and implications for retrograde

- metamorphism during exhumation, **Lithos**, 113, 393-407, 2009.
37. *Ito, E., T. Katsura(14名中3番), D. Yamazaki(14名中4番), Determination of high-pressure phase equilibria of Fe₂O₃ using the Kawai-type apparatus equipped with sintered diamond anvils, **Am. Min.**, 94, 205-209, 2009.
 38. *Ito, E., T. Katsura(8名中2番), D. Yamazaki(8名中3番), A new 6-axis apparatus to squeeze the Kawai-cell of sintered diamond cubes, **Phys. Earth Planet. Inter.**, 174, 264-269, 2009.
 39. *Katsura, T., Yamazaki, D.(13名中6番), Thermal expansion of forsterite at high pressures determined by in situ X-ray diffraction: The adiabatic geotherm in the upper mantle, **Phys. Earth Planet. Inter.**, 174, 86-92, 2009.
 40. *Katsura T., D. Yamazaki(18名中10番), P-V-T relations of MgSiO₃ perovskite determined by in situ X-ray diffraction using a large-volume high-pressure apparatus, **Geophys. Res. Lett.**, 36, L01305, 2009.
 41. *Kogiso, T., S. Omori and S. Maruyama, Magma genesis beneath Northeast Japan arc: A new perspective on subduction zone magmatism, **Gondwana Res.**, 16, 446-457, 2009.
 42. *Lan, C. Y., K. Okamoto(11名中5番), Detrital zircon evidence for the antiquity of Taiwan, **Geosciences Journal**, 13, 233-243, 2009.
 43. *Masago, H., S. Omori, and S. Maruyama, Counter-clockwise prograde P-T path in collisional orogeny and water subduction at the Precambrian-Cambrian boundary: The ultrahigh-pressure pelitic schist in the Kokchetav massif, northern Kazakhstan, **Gondwana Res.**, 15, 137-150, 2009.
 44. *Matsui, M., T. Katsura(7名中3番), D. Yamazaki(7名中4番), The temperature-pressure-volume equation of state of platinum, **J. Appl. Phys.**, 105, 013505, 2009.
 45. *Naemura, K., T. Hirajima(4名中3番), An ultra-high-pressure metamorphic condition and isothermal decompression path obtained from a garnet-pyroxenite in the Horn? Bory granulite of the Bohemian Massif. **J. Min. Petrol. Sci.**, 104, 168-175, 2009.
 46. *Naemura, K., T. Hirajima and M. Svojtka, The pressure-temperature path and the origin of phlogopite of spinel-garnet peridotite in the Blansky les massif of the Moldanubian zone, Czech Republic, **Journal of Petrology**, 50, 1795-1827, 2009.
 47. *Omori, S., (他3名), Pressure-temperature conditions of ongoing regional metamorphism beneath the Japanese Islands, **Gondwana Res.**, 16, 458-469, 2009.
 48. Sakamaki, K., *E. Takahashi(7名中2番), Melting phase relation of FeHx up to 20 GPa: Implication for the temperature of the Earth's core, **Physics, Earth Planet. Inter.**, 174, 192-201, 2009.
 49. *Santosh, M., S. Maruyama and S. Omori, A fluid factory in the solid Earth, **Lithos**, 1, 29-33, 2009.
 50. *Shatskiy A., D. Yamazaki(10名中2番), T. Katsura(10名中10番), Boron-doped diamond heater and its application to large-volume, high-pressure, and high-temperature experiments, **Rev. Sci. Instrum.**, 80, 023907, 2009.
 51. *Tange, Y., E. Takahashi, (他3名), Phase relations in the system MgO-FeO-SiO₂ to 50 GPa and 2000C: an application of experimental techniques using multianvil apparatus with sintered diamond anvils, **J. Geophys. Res.**, 114, B02214, doi:10.1029/2008JB005891, 2009.
 52. *Usuki, T., K. Okamoto(9名中7番), Early Paleozoic medium-pressure metamorphism in central Vietnam: evidence from SHRIMP U-Pb zircon ages, **Geosciences Journal**, 13, 245-256, 2009.
 53. *Yamamoto, S., S. Omori(5名中4番), Granite subduction: Arc subduction, tectonic erosion and sediment subduction, **Gondwana Res.**, 15, 443-453, 2009.
 54. *Yui, T. F., K. Okamoto(6名中2番), Late Triassic-Late Cretaceous accretion/subduction in the Taiwan region along the eastern margin of South China -evidence from zircon SHRIMP dating, **International Geology Review**, 51, 304-328, 2009.
 55. *Brazhkin, V., M. Kanzaki, (他2名), Viscosity behavior spanning four orders of magnitude in As-S melts under high pressure, **Phys. Rev. Lett.**, 102, 115901, 2009.
 56. *Choi, J.H., A.H.M. Faisal Anwar, K. Kawamura, and Y. Ichikawa, Transport phenomena in kaolinite clay: Molecular simulation, homogenization analysis and similitude law, **International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics**, 33, 687-707, 2009.
 57. *Fujiwara, K. and Y. Takei, A new experimental method to estimate viscoelastic properties from ultrasonic wave transmission measurements, **Journal of Sound and Vibration**, 323, 609-625, 2009.
 58. *Morodome, S. and K. Kawamura, Swelling behavior of Na- and Ca-montmorillonite up to 150C by in situ X-ray diffraction experiments, **Clays and Clay minerals**, 57, 150-160, 2009.
 59. *Okumura, S., M. Nakamura, (他4名), Magma deformation may induce non-explosive volcanism via degassing through bubble networks, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 281, 267-274, 2009.
 60. *Sakuma, H. and K. Kawamura, Structure and dynamics of water on muscovite mica surfaces, **Geochim. Cosmochim. Acta**, 73, 4100-4110, 2009.
 61. *Takei, Y. and B.K. Holtzman, Viscous constitutive relations of solid-liquid composites in terms of grain boundary contiguity: 1. Grain boundary diffusion control model, **J. Geophys. Res.**, 114, B06205, doi:10.1029/2008JB005850, 2009.
 62. *Takei, Y. and B.K. Holtzman, Viscous constitutive relations of solid-liquid composites in terms of grain boundary contiguity: 2. Compositional model for small melt fractions, **J. Geophys. Res.**, 114, B06206, doi:10.1029/2008JB005851, 2009.
 63. *Takei, Y. and Holtzman, B. K., Viscous constitutive relations of solid-liquid composites in terms of grain boundary contiguity: 3. Causes and consequences of viscous anisotropy, **J. Geophys. Res.**, 114, B06207, doi:10.1029/2008JB005852, 2009.
 64. *Takei, Y. and S. Hier-Majumder, A generalized formulation of interfacial tension driven fluid migration with dissolution/precipitation, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 288, 138-148, 2009.
 65. *Xue, X., Zhai, S. and Kanzaki, M., Si-Al distribution in high-pressure CaAl₄Si₂O₁₁ phase: a ²⁹Si and ²⁷Al NMR study, **Am. Min.**, 94, 1739-1742, 2009.
 66. *Xue, X. and M. Kanzaki, Proton distributions and hydrogen bonding in crystalline and glassy hydrous silicates and related inorganic materials: Insights from high-resolution solid-state nuclear magnetic resonance spectroscopy, **J. Am. Ceram. Soc.**, 92 (12), 2803-2830, 2009.
 67. *Maruyama, S., T. Kogiso(9名中4番), H. Nakamura(9名中6番), T. Matsuzawa(9名中9番), The dynamics of Big Mantle Wedge, Magma Factory, and Metamorphic-Metasomatic Factory in subduction zones, **Gondwana Res.**, 16, 414-430, 2009.
 68. *Binh, N.T.T., T. Tokunaga, (他6名), Physical Properties of the Shallow Sediments in the Late Pleistocene Formations, the Ursa Basin, Gulf of Mexico, and their Implications for Generation and Preservation of Shallow Overpressures, **Mar. Petrol. Geol.**, 26, 474-486, 2009.
 69. *Godard, M., Y. Kato(13名中11番), Geochemistry of a long in-situ section of intrusive slow-spread oceanic lithosphere: Results from IODP Site U1309 (Atlantis Massif, 30°N Mid-Atlantic-Ridge), **Earth Planet. Sci. Lett.**, 279, 110-122, 2009.
 70. *Hayashi, T., T. Tokunaga, (他3名), Effects of human activities and urbanization on groundwater environments: An example from the aquifer system of Tokyo and the surrounding area, **Sci. Total Env.**, 407, 3165-3172, 2009.
 71. *Kamei A., J.-I. Kimura(4名中4番), A pseudo adakite derived from partial melting of tonalitic to granodioritic crust, Kyushu Island, southwest Japan arc, **Lithos**, 112, 615-625, 2009.
 72. *Kashiwabara, T., Y. Takahashi, and M. Tanimizu, A XAFS study on the mechanism of isotopic fractionation of molybdenum during its adsorption on ferromanganese oxides, **Geochem. J.**, 43, e31-e36, 2009.
 73. *Kato, Y., (他8名), Hematite formation by oxygenated groundwater more than 2.76 billion years ago, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 278, 40-49, 2009.
 74. *Kato, Y. and Y. Isozaki, Comment on "Evaluation of palaeo-oxygenation of the ocean bottom across the Permian-Triassic boundary" by Kakuwa (2008): Was the Late Permian deep-superocean really oxidic? **Global and Planetary Change**, 69, 79-81, 2009.
 75. *Kimura J.-I., (他5名), Arc Basalt Simulator (ABS) version 2, a simulation model for slab dehydration, fluid-mantle reaction, and fluid fluxed mantle

- melting for arc basalts: modeling scheme and application, **Geochim. Geophys. Res.**, 7, doi:10.1029/2008GC002217, 2009.
76. *Nakamura, H., and H. Iwamori, Contribution of slab-fluid in arc magmas beneath the Japan arcs, **Gondwana Res.**, 16, 431-445, 2009.
77. *Nakamura, H., and H. Iwamori, Contribution of slab-fluid in arc magmas beneath adjacent Japan arcs, **Geochim. Cosmochim. Acta**, 73, A930, 2009.
78. *Sendjaja Y. A., Kimura J.-I., and Sunardi E., Across-arc geochemical variation of Quaternary lavas in West Java, Indonesia: Mass-balance elucidation using Arc Basalt Simulator model, **Island Arc**, 18, 201-224, 2009.
79. *川田祐介・松澤暢(4名中4番), プレート境界地震に伴う余効すべりと岩石の粘弾性挙動, **地質学雑誌**, 115, 448-456, 2009.
80. *小菅正裕・岩淵智・村田和則, 稠密余震観測データを用いて推定した2004年新潟県中越地震震源域の応力場, **地震**2, 62, 27-46, 2009.
81. *松澤暢, プレート境界地震とアスベリティ・モデル, **地震**2, 61, S347-S355, 2009.
82. *中島淳一・長谷川昭, 地震波トモグラフィでみたスラブの沈み込みと島弧マグマ活動, **地震**2, 61, S177-S186, 2009.
83. *佐久間博・河村雄行, 白雲母表面-水界面における原子分布の解明, **粘土科学**, 48, 77-81, 2009.
84. *渡辺了, 地殻・マントル物質の地震波速度と電気伝導度: 沈み込み帯の水を探る, **地震**2, 61, S541-S562, 2009.
85. *鏡味芳宏, 渡辺了, 弾性波速度測定に基づく跡津川断層周辺浅部地殻物質の推定, **地震**2, 61, 99-111, 2009.
86. *野崎達生・高谷雄太郎・初谷和則・小室光世・中山健・加藤泰浩: 露頭観察可能な本邦の別子型鉅床-宮崎県横峰鉅床-, **資源地質**, 59, IV-VI, 2009.
87. *桂智男, 芳野極, (他2名), 上部マントル主要構成鉅物の電気伝導度, **岩石鉅物科学**, 38, 33-38, 2009.
88. *上嶋誠, MT法による電気伝導度構造研究の現状, **地震**2, 61, S225-S238, 2009.
(その他13編)
- 2010年 (150件)**
1. *Aochi, H. and A. Kato, Dynamic rupture of cross-cutting faults: Possible rupture process of the 2007 Mw6.6 Niigata-Ken Chuetsu-Oki earthquake, **J. Geophys. Res.**, 115, B05310, doi:10.1029/2009JB006556, 2010.
2. *Huang, Z., T. Matsuzawa(7名中5番), A. Hasegawa(7名中7番), P-wave tomography, anisotropy and seismotectonics in the eastern margin of Japan Sea, **Tectonophysics**, 489, 177-188, 2010.
3. *Kato, A., (他4名), Reactivations of boundary faults within a buried ancient rift system by ductile creeping of weak shear zones in the overpressured lower crust: The 2004 mid-Niigata Prefecture Earthquake, **Tectonophysics**, 486, 101-107, 2010.
4. *Kato, A., T. Miyatake and N. Hirata, Asperity and barriers of the 2004 Mid-Niigata prefecture earthquake revealed by highly dense seismic observations, **Bull. Seism. Soc. Am.**, 100, 1, 298-306, 2010.
5. *Kato, A., (他4名), Non-volcanic seismic swarms triggered by circulating fluids and pressure fluctuations above a solidified diorite intrusion, **Geophys. Res. Lett.**, 37, L15302, doi:10.1029/2010GL043887, 2010.
6. *Kita, S., T. Okada, A. Hasegawa, J. Nakajima and T. Matsuzawa, Existence of interplane earthquakes and neutral stress boundary between the upper and lower planes of the double seismic zone beneath Tohoku and Hokkaido, northeastern Japan, **Tectonophysics**, doi:10.1016/j.tecto.2010.10.010, 2010.
7. *Kita, S., T. Okada, A. Hasegawa, J. Nakajima and T. Matsuzawa, Anomalous deepening of a seismic belt in the upper-plane of the double seismic zone in the Pacific slab beneath the Hokkaido corner: Possible evidence for thermal shielding caused by subducted forearc crust materials, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 290, 415-426, 2010.
8. *Matsumoto, Y., M. Ishikawa, (他2名), Simultaneous measurements of compressional wave and shear wave velocities, Poisson's ratio, and Vp/Vs under deep crustal pressure and temperature conditions: Example of silicified pelitic schist from Ryoke Belt, Southwest Japan, **Island Arc**, 19, 30-39, 2010.
9. *Nakajima, J., and A. Hasegawa, Cause of M7 earthquakes beneath the Tokyo metropolitan area, Japan: Possible evidence for a vertical tear at the easternmost portion of the Philippine Sea slab, **J. Geophys. Res.**, 115, doi:10.1029/2009JB006863, 2010.
10. *Okada, T., N. Umino and A. Hasegawa, Deep structure of the Ou mountain range strain concentration zone and the focal area of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, NE Japan - Seismogenesis related with magma and crustal fluid, **Earth Planets Space**, 62, 3, 347-352, 2010.
11. *Reynard, B., J. Nakajima and H. Kawakatsu, Earthquakes and plastic deformation of anhydrous slab mantle in double Wadati-Benioff zones, **Geophys. Res. Lett.**, 37, L24309, doi:10.1029/2010GL045494, 2010.
12. *Tripathi, J. N., H. Sato and M. Yamamoto, Envelope broadening characteristics of crustal earthquakes in northeastern Honshu, Japan, **Geophys. J. Int.**, 182, 988-1000, 2010.
13. *Uchida, N., T. Okada(5名中3番), A. Hasegawa(5名中5番), Supraslab earthquake clusters above the subduction plate boundary offshore Sanriku, NE Japan: Seismogenesis in a graveyard of detached seamounts?, **J. Geophys. Res.**, 115, doi:10.1029/2009JB006797, 2010.
14. *Uchida, N., T. Matsuzawa, J. Nakajima, and A. Hasegawa, Subduction of a wedge-shaped Philippine Sea plate beneath Kanto, central Japan, estimated from converted waves and small repeating earthquakes, **J. Geophys. Res.**, 115, B07309, doi:10.1029/2009JB006962, 2010.
15. *Yamamoto, M., and H. Sato, Multiple scattering and mode conversion revealed by an active seismic experiment at Asama volcano, Japan, **J. Geophys. Res.**, 115, B07304, doi:10.1029/2009JB007109, 2010.
16. *Aizawa, K., W. Kanda(5名中3番), Y. Ogawa(5名中4番), Magnetotelluric Pulses Generated by Volcanic Lightning at Sakurajima Volcano, Japan, **Geophys. Res. Lett.**, 37, L17301, doi:10.1029/2010GL044208, 2010.
17. *Asamori, K., Y. Ogawa(4名中3番), Electrical Resistivity Structure and Helium Isotopes Around Naruko Volcano, Northeastern Japan and its Implication for the Distribution of Crustal Magma, **International Journal of Geophysics**, 738139, doi:10.1155/2010/738139, 2010.
18. *Ito, E., T. Yoshino(9名中3番), Pressure generation and investigation of the post-perovskite transformation in MgGeO3 by squeezing the Kawai-cell equipped with sintered diamond anvils, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 293, 84-89, 2010.
19. *Ito, E., T. Yoshino(9名中2番), High pressure generation and investigation of the spin transition of ferroperrichite (Mg0.83Fe0.17)O, **Journal of Physics: Conference Series**, 215, 012099, 2010.
20. *Kanda, W., (他6名), A heating process of Kuchi-erabu-jima volcano, Japan, as inferred from geomagnetic field variations and electrical structure, **J. Volcanol. Geotherm. Res.**, 189, 158-171, 2010.
21. *Katsura, T., T. Yoshino(5名中4番), Adiabatic temperature profile in the mantle, **Phys. Earth Planet. Inter.**, 183, 212-218, 2010.
22. *Nishi, M., A. Shimojuku(8名中5番), Survival of majoritic garnet in diamond by direct kimberlite ascent from deep mantle, **Geophys. Res. Lett.**, 37, L09305, doi:10.1029/2010GL042706, 2010.
23. *Ohta, K., M. Ichiki(6名中3番), Electrical conductivities of pyrolitic mantle and MORB materials up to the lower mantle conditions, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 289, 497-502, 2010.
24. *Okubo, A. and W. Kanda, Numerical simulation of piezomagnetic changes associated with hydrothermal pressurization, **Geophys. J. Int.**, 181, 1343-1361, 2010.
25. *Pulkkinen, A., M. Ichiki(4名中4番), Modeling geomagnetically induced currents in Hokkaido, Japan, **Advances in Space Research**, 46, 1087-1093, 2010.
26. *Shimizu H., T. Koyama, (他2名), Revised 1-D mantle electrical conductivity structure beneath the north Pacific, **Geophys. J. Int.**, 180, 1030-1048, 2010.
27. *Shimizu, H., T. Koyama(6名中4番), Three-dimensional imaging of electrical conductivity in the mantle transition zone beneath the North Pacific Ocean by a semi-global induction study, **Phys. Earth Planet. Inter.**, 183, 252-269, 2010.
28. *Shimojuku, A., (他4名), Effects of hydrogen and iron on the silicon diffusivity of wadsleyite, **Phys. Earth Planet. Inter.**, 183, 175-182, 2010.
29. *Toh, H., (他3名), Long-term seafloor electromagnetic observation in the Northwest Pacific may detect the vector geomagnetic secular variation,

- Data Sci. J.**, 9, IGY100-IGY109, doi:10.2481/dsj.SS_IGY-004, 2010.
30. *Wang, D.J., T. Yoshino(5名中5番), Anisotropy of synthetic quartz electrical conductivity at high pressure and temperature, **J. Geophys. Res.**, 115, B09211, doi: 10.1029/2009JB006695, 2010.
 31. *Wu, X.P., T. Yoshino(8名中6番), Electrical conductivity measurements of periclase under high pressure and high temperature, **Physica B**, 405, 53-56, 2010.
 32. *Yamaguchi, S., Y. Ogawa, K. Fuji-ta, (他3名), Audio-frequency magnetotelluric imaging of the Hijima fault in the Yamasaki fault system, southwest Japan, **Earth Planets Space**, 62(4), 401-411, 2010.
 33. *Yamazaki, D., T. Yoshino(8名中3番), Preliminary reports on in situ X-ray observation of "post-perovskite" in CaRuO₃, **Journal of Physics: Conference Series**, 215, 012096, 2010.
 34. *Yamazaki, D., T. Matsuzaki, and T. Yoshino, Grain growth kinetics of majorite and stishovite in MORB: implications for the rheology of subducting slabs, **Phys. Earth Planet. Inter.**, 183, 183-189, 2010.
 35. *Yoshino, T., Laboratory electrical conductivity measurement of mantle minerals, **Survey in Geophysics**, 31, 163-206, 2010.
 36. *Yoshino, T., (他3名), Electrical conductivity of basaltic and carbonatite melt-bearing peridotites at high pressures: implications for melt distribution and melt fraction in the upper mantle, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 295, 593-602, 2010.
 37. *Yoshino, T., (他3名), Electrical conductivity of mantle peridotite at the uppermost lower mantle condition, **Journal of Physics: Conference Series**, 215, 012102, 2010.
 38. *Zhang, B., T. Yoshino(5名中5番), Electrical conductivity of enstatite up to 20 GPa and 1600 K, **Chinese Journal of Geophysics**, 53, 760-764, 2010.
 39. *Aoki, K., S. Omori(10名中6番), Reply to comment on "Metamorphic P-T-time history of the Sanbagawa belt in central Shikoku, Japan and implications for retrograde metamorphism during exhumation" by S.R. Wallis and S. Endo, **Lithos**, 116, 197-199, 2010.
 40. *Collerson KD, S. Omori(6名中4番), Majoritic garnet: A new approach to pressure estimation of shock events in meteorites and the encapsulation of sub-lithospheric inclusions in diamond, **Geochim. Cosmochim. Acta**, 74, 5939-5957, 2010.
 41. *Fujimoto, Y., T. Hirajima(5名中3番), M. Ishikawa(5名中4番), P-wave velocity and anisotropy of lawsonite and epidote blueschists: Constraints on wave transportation along subducting oceanic crust, **Phys. Earth Planet. Inter.**, 183, 219-228, 2010.
 42. *Hamada, M., T. Kawamoto(5名中5番), Simulating bubble number density of rhyolitic pumices from Plinian eruptions: constraints from fast decompression experiments, **Bull. Volcanol.**, 72, 735-746, 2010.
 43. *Ibuki, M., S. Ohi, A. Tsuchiyama and T. Hirajima, Analysis of Mn-bearing lawsonite occurring in meta-siliceous rocks in Hakoishi serpentinite mélange of Kurosegawa Belt, Central Kyushu, Japan, **J. Min. Petrol. Sci.**, 105, 340-345, 2010.
 44. *Kadariusman, A., S. Omori(7名中7番), World youngest blueschist belt from Leti Island in the non-volcanic Banda outer arc of Eastern Indonesia, **Gondwana Res.**, 18, 189-204, 2010.
 45. *Kamei, A., T. Hirajima(5名中4番), Two contrasting fabric patterns of olivine observed in garnet and spinel peridotite from a mantle-derived ultramafic mass enclosed in felsic granulite, the Moldanubian zone, Czech Republic., **Journal of Petrology**, 51, 101-123, 2010.
 46. *Maruyama, S., I. Katayama(7名中3番), S. Omori(7名中6番), A new perspective on metamorphism and metamorphic belts, **Gondwana Res.**, 18, 106-137, 2010.
 47. *Masago, H., Omori, S., and Maruyama S., Significance of retrograde hydration in collisional metamorphism: A case study of water infiltration in the Kokchetav ultrahigh-pressure metamorphic rocks, northern Kazakhstan, **Gondwana Res.**, 18, 205-212, 2010.
 48. *Matsukage, K.N., (他4名), Density and seismic velocities of chromitite body in oceanic mantle peridotite, **Am. Min.**, 25, 1422-1428, 2010.
 49. *Matsukage, K.N. and M. Oya, Petrological and chemical variability of peridotite xenoliths from the Cameroon volcanic line, West Africa: evidence for plume emplacement, **J. Min. Petrol. Sci.**, 105, 57-69.
 50. *Nakamura, D. and T. Hirajima, Significant cooling during exhumation of UHP eclogite from the Taohang area in the Sulu region, eastern China, and its significance, **Island Arc**, 19, 707-717, 2010.
 51. *Nakamura, D., T. Hirajima(5名中5番), Sr-sulphate and associated minerals found from kyanite-bearing eclogite in the Moldanubian Zone of the Bohemian Massif, Czech Republic, **J. Min. Petrol. Sci.**, 105, 251-261, 2010.
 52. *Noguchi, N. and Shinoda, K, Proton migration in portlandite inferred from activation energy of self-diffusion and potential energy curve of OH bond, **Phys. Chem. Min.**, 37, 361-370, 2010.
 53. *Ohi, S., (他2名), Stability field of the high-temperature orthorhombic phase in the enstatite-diopside system, **Am. Min.**, 95, 1267-1275, 2010.
 54. *Sajeev, K., S. Omori(5名中3番), P-T evolution of Glenelg eclogites, NW Scotland: Did they experience ultrahigh-pressure metamorphism?, **Lithos**, 114, 473-489, 2010.
 55. *Sawaki, Y., Omori, S. (11名中5番), ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr chemostratigraphy of Neoproterozoic Dalradian carbonates below the Port Askaig Glaciogenic Formation, Scotland, **Precambrian Research**, 179, 150-164, 2010.
 56. *Sawaki, Y., S. Omori(9名中5番), Imbricated ocean plate stratigraphy and U-Pb zircon ages from tuff beds in cherts in the Ballantrae Complex, SW Scotland, **Geological Society of America, Bulletin**, 122, 454-464, 2010.
 57. *Terabayashi, M., K. Okamoto, (他2名), Thematic section: Fluid-rock interaction in the bottom of the inland seismogenic zone, **Island Arc**, 19, 1-3, 2010.
 58. *Yoshikawa M., Kawamoto T., Shibata T. and Yamamoto J., Petrology and Sr-Nd isotopic geochemistry of ultramafic xenoliths from the French Massif Central, **Geological Society of London, Special Publications**, 337, 153-175, 2010.
 59. *Brazhkin, V.V., M. Kanzaki(7名中4番), Structural transformations and anomalous viscosity in the B2O3 melt under pressure, **Physical Review Letters**, 105, 115791, 2010.
 60. *Harafuji, K. and K. Kawamura, Point defects induced by physical sputtering in wurtzite-type GaN crystal, **Japanese Journal of Applied Physics**, 49, 011001-1 to -7, 2010.
 61. *Harafuji, K. and K. Kawamura, Chemical Sputtering of GaN Crystal with a Chlorine-Adsorbed Layer, **Japanese Journal of Applied Physics**, 49, 08JE03, 2010.
 62. *Hiraga, T., (他3名), Mantle superplasticity and its self-made demise, **Nature**, 468, 1091-1094, 2010.
 63. *Hiraga, T., (他3名), Grain growth systematics for forsterite ± enstatite aggregates: Effect of lithology on grain size in the upper mantle, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 291, 10-20, 2010.
 64. *Kanzaki, M., Crystal structure of a new high-pressure polymorph of topaz-OH, **Am. Min.**, 95, 1349-1352, 2010, 2010.
 65. *Koizumi, S., T. Hiraga, (他7名), Synthesis of highly dense and fine-grained aggregates of mantle composites by vacuum sintering of nano-sized mineral powders, **Phys. Chem. Min.**, 37, 505-518, 2010.
 66. *Nakano, M. and K. Kawamura, Estimating the corrosion of compacted bentonite by a conceptual model based on microbial growth dynamics, **Applied Clay Science**, 47 43-50, 2010.
 67. *Nakano, M. and K. Kawamura, Modeling estimation of Microbial Decomposition of Calcium Silicate Hydrate and Concrete Biodegradation, **Clay Science**, 14, 163-171, 2010.
 68. *Ohuchi, T., M. Nakamura and K. Michibayashi, Effect of grain growth on cation exchange between dunite and fluid: implications for chemical homogenization in the upper mantle, **Contrib. Mineral. Petrol.**, 160, 339-357, 2010.
 69. *Okumura, S., M. Nakamura, (他3名), Shear deformation experiments on vesicular rhyolite: Implications for brittle fracturing, degassing, and compaction of magmas in volcanic conduits, **Jour. Geophys. Res.**, 115, B06201, doi:10.1029/2009JB006904, 2010.
 70. *Takei, Y., Stress-induced anisotropy of partially molten rock analogue deformed under quasi-static loading test, **J. Geophys. Res.**, doi: 10.1029/2009JB006568
 71. *Watanabe, T., Advances in Interpretation of Geological Processes, in Spalla, M. I., Marotta, A. M. and Gosso, G. (eds), Geometry of intercrystalline brine in plastically deforming halite rocks: inference from

- electrical resistivity, **Geological Society, London, Special Publications**, 332, 69-78, 2010.
72. *Xue, X., M. Kanzaki and H. Fukui, Unique crystal chemistry of two polymorphs of topaz-OH: a multi-nuclear NMR and Raman study, **Am. Min.**, 95, 1276-1293, 2010.
73. *Yoshimura, S. and M. Nakamura, Chemically driven growth and resorption of bubbles in a multivolatile magmatic system, **Chem. Geol.**, 276, 18-28, 2010.
74. *Yoshimura, S. and M. Nakamura, Fracture healing in a magma: An experimental approach and implications for volcanic seismicity and degassing, **Jour. Geophys. Res.**, 115, B09209, doi:10.1029/2009JB000834, 2010.
75. *Iwamori, H., F. Albarede and H. Nakamura, Global structure of mantle isotopic heterogeneity and its implications for mantle differentiation and convection, **Earth Planet. Sci. Lett.**, doi:10.1016/j.epsl.2010.09.014, 2010.
76. *Kimura J.-I., (他7名), Origin of cross-chain geochemical variation in Quaternary lavas from northern Izu arc: A quantitative mass balance approach on source identification and mantle wedge processes, **Geochem. Geophys. Geosys.**, doi:10.1029/2010GC003050, 2010.
77. *Martynov, Yu.A., J.-I. Kimura(5名中3番), Geochemistry and petrogenesis of volcanic rocks in the Kuril island arc, **Petrology**, 18, 489-513, 2010.
78. *Martynov, A.Y., J.-I. Kimura, (他2名), Geochemistry of late Cenozoic lavas on Kunashir Island, Kurile Arc, **Island Arc**, 19, 86-104, 2010.
79. *Mitchell E., K. Kazahaya(8名中8番), Nitrogen sources and recycling at subduction zones: Insights from the Izu-Bonin-Mariana arc, **Geochem. Geophys. Geosys.**, Q02X11, doi:10.1029/2009GC002783, 2010.
80. *Nishio, Y., M. Tanimizu(5名中3番), Lithium and strontium isotopic systematics of waters around Ontake volcano, Japan: Implications for deep-seated fluids and earthquake swarms, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 297, 567-576, 2010.
81. *Nozaki, T., Kato, Y. and Suzuki, K.: Re-Os geochronology of the Imori Besshi-type massive sulfide deposit in the Sanbagawa metamorphic belt, Japan, **Geochim. Cosmochim. Acta**, 74, 4322-4331, 2010.
82. *Obanawa, H., T. Tokunaga(5名中2番), Land subsidence at the Kujukuri Plain in Chiba Prefecture, Japan: Evaluation and monitoring environmental impacts, **IAHS Publ.**, 339, 293-298, 2010.
83. *Qin, L., T. Yokoyama(5名中5番), Contributors to chromium isotope variation of meteorites, **Geochim. Cosmochim. Acta**, 74, 1122-1145, 2010.
84. *Reagan M., J.-I. Kimura(14名中13番), Fore-arc basalts and subduction initiation in the IBM system, **Geochem. Geophys. Geosys.**, doi:10.1029/2009GC002871, 2010.
85. *Richard, G.C. and Iwamori, H., Stagnant slab, wet plumes and Cenozoic volcanism in East Asia, **Phys. Earth Planet. Inter.**, 183, 280-287, 2010.
86. *Campion, R., K. Kazahaya(10名中6番), Measuring volcanic degassing of SO₂ in the lower troposphere with ASTER band ratios, **J. Volcanol. Geotherm. Res.**, 194, 42-54, 2010.
87. *Sendjaja Y.A. and J.-I. Kimura, Geochemical variation in Tertiary - Quaternary lavas of the west Java arc, Indonesia: Steady state subduction over the past 10 million years, **J. Min. Petrol. Sci.**, 105, doi: 10.2465/jmps.080930, 2010.
88. *Tanaka, K., M. Tanimizu(7名中4番), A specific Ce oxidation process during sorption of rare earth elements on biogenic Mn oxide produced by Acremonium sp. strain KR21-2, **Geochim. Cosmochim. Acta**, 74, 5463-5477, 2010.
89. *Tani K., J.-I. Kimura(6名中3番), Syncollisional rapid granitic magma formation in an arc-arc collision zone: Evidence from the Tanzawa plutonic complex, Japan, **Geology**, 38, 215-218, 2010.
90. *Yokoyama, T., (他2名), Osmium isotope anomalies in chondrites: Results for acid residues and related leachates, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 291, 48-59, 2010.
91. *Kobayashi, T., A. Namiki and I. Sumita, Excitation of airwaves caused by bubble bursting in a cylindrical conduit: Experiments and a model, **J. Geophys. Res.**, 115, B10201, doi:10.1029/2009JB006828, 2010.
92. *Nakakuki, T., (他2名), Dynamical mechanisms controlling formation and avalanche of a stagnant slab, **Phys. Earth Planet. Inter.**, 183, 309-320, 2010.
93. *Nishio, Y., M. Tanimizu(5名中3番), Lithium and strontium isotopic systematics of waters around Ontake volcano, Japan: Implications for deep-seated fluids and earthquake swarms, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 297, 565-574, 2010.
94. *長谷川昭・中島淳一・内田直希・弘瀬冬樹・北佐枝子・松澤暢, 日本列島下のスラブの三次元構造と地震活動, **地学雑誌**, 119, 2, 190-204, 2010.
95. *片山郁夫・平内健一・中島淳一, 日本列島下での沈み込みプロセスの多様性, **地学雑誌**, 119, 205-223, 2010.
96. *市川康明・橋 翔子・崔定海・A.P.S. Selvadurai, 飽和多孔質体における多成分混合溶液の拡散・浸透・圧密問題の新展開, **材料**, 59(3), 227-230, 2010.
97. *佐久間博, 岩石粒界に存在する超臨界流体の分子シミュレーション, **岩石鉱物科学**, 39, 199-207, 2010.
98. *清水以知子, 深部 H₂O 流体の連結性と界面の熱力学, **岩石鉱物科学**, 39, 208-219, 2010.
99. *中村 仁美, 地球化学的解析から見たスラブ起源流体: 天然の岩石化学組成と高圧実験からの制約, **岩石鉱物科学**, 39, 220-230, 2010.
100. *中村仁美・岩森光, スラブ起源流体と沈み込み帯でのマグマ生成, **地学雑誌**, 119, 1054-1062, 2010.
101. *藤浩明・地球電磁気・地球惑星圏学会学校教育WG編, **太陽惑星系科学**, 京都大学学術出版会, 全320頁(第11章「地球内部の電気伝導度」分担執筆), 2010.
102. *大沢信二, 風早康平(5名中5番), 宮崎平野の大深度温泉井から流出する温泉水の地化学特性と成因 - 温泉起源流体としての続成脱水流体 -, **温泉科学**, 59, 295-319, 2010.
103. *鈴木勝彦・加藤泰浩, Re-Os年代測定法による硫化物鉱床生成年代の直接決定とその応用, **資源地質**, 60, 25-36, 2010.
104. 高谷雄太郎・中村謙太郎・加藤泰浩, 玄武岩質帯水層内でのCO₂地化学トラッピング: CO₂-水-玄武岩反応実験からの示唆, **Journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan**, 126, 4-5, 131-137, 2010.
(その他46編)
- ### 2011年 (84件)
1. *Ariyoshi, K., T. Matsuzawa(6名中2番), A. Hasegawa(8名中8番), Migration process of very low-frequency events based on a chain-reaction model and its application to the detection of preseismic slip for megathrust earthquakes, **Earth Planets Space**, doi:10.5047/eps.2010.09.003
2. *Takahashi T., (他6名), Random inhomogeneities in the northern Izu-Bonin arc estimated by tomographic inversion of peak delay times of S-wave seismograms, **J. Geophys. Res.**, doi:10.1029/2010JB007691.
3. *Aizawa, K., W. Kanda, Y. Ogawa, (他4名), Temporal Changes in Electrical Resistivity at Sakurajima Volcano from Continuous Magnetotelluric Observations, **J. Volcanol. Geotherm. Res.**, 199, 165-175, 2011.
4. *Kaneko, T., T. Koyama, (他5名), Low-altitude remote sensing of volcanoes using an unmanned autonomous helicopter: an example of aeromagnetic observation at Izu-Oshima volcano, Japan, **International Journal of Remote Sensing**, in press.
5. *Rasson, J.L., H. Toh and D. Yang, The global geomagnetic observatory network, in **Geomagnetic Observations and Models, IAGA Special Sopron Book Series**, vol. 5, edited by Manda, M. and M. Korte, 1-25, Springer, Heidelberg, doi:10.1007/978-90-481-9858-0_1, 2011.
6. *Toh, H., (他4名), Tsunami signals from the 2006 and 2007 Kuril earthquakes detected at a seafloor geomagnetic observatory, **J. Geophys. Res.**, doi:10.1029/2010JB007873, in press.
7. *Yamazaki, D., T. Yoshino(13名中4番), Phase boundary between perovskite and post-perovskite structures in MnGeO₃ determined by in situ X-ray diffraction measurements using sintered diamond anvils, **Am. Min.**, 96, 89-92, 2011.
8. *Zhai, S., A. Shimojuku(8名中7番), Compressibility of strontium orthophosphate Sr₃(PO₄)₂ at high pressure, **Phys. Chem. Minerals**, in press.
9. *Kobayashi, T., T. Hirajima, (他2名), Metamorphic history of garnet-rich gneiss at Ktiš in the Lhenice shear zone, Moldanubian Zone of the southern Bohemian Massif, inferred from inclusions and compositional zoning of

- garnet, **Lithos**, 124, 46-65.
10. *Utsunomiya, A., K. Okamoto(5名中3番), Intra-oceanic island arc origin for Iratsu eclogites of the Sanbagawa belt, central Shikoku, southwest Japan, **Chem. Geol.** 280, 97-114, 2011.
 11. *Kanzaki, M., (他4名), Structures of two new high-pressure forms of AlPO₄ by X-ray diffraction and NMR spectroscopy, **Acta Crystallographica**, B67, 30-40, 2011.
 12. *Sakuma, H., Potential Energy Surface of 4-hexyl-4'-cyanobiphenyl (6CB) on Graphite Surface: A DFT study with van der Waals Corrections, **Molecular Simulation**, in press.
 13. *Sakuma, H. and K. Kawamura, Structure and dynamics of water on Li⁺, Na⁺, K⁺, Cs⁺, H₃O⁺-exchanged muscovite surfaces: A molecular dynamics study, **Geochim. Cosmochim. Acta**, 75, 63-81, 2011.
 14. *Watanabe, T., (他3名), Seismic velocity in antigorite-bearing serpentinite mylonites, **Eol. Soc. London, Special Pub.**, in press.
 15. *Morishita, T., (他4名), Insight into the uppermost mantle section of a maturing arc: The Eastern Mirdita ophiolite, Albania, **Lithos**, 124, 215-226.
 16. *Morishita, T., (他6名), Diversity of melt conduits in the Izu-Bonin-Mariana forearc mantle: Implications for the earliest stage of arc magmatism, **Geology**, 39, 411-414.
 17. *Kuriki, M., Y. Ogawa(4名中3番), Spectral peaks in electric field at resonance frequencies for seismically excited motion of ions in the Earth's magnetic field, **Earth Planets Space**, in press.
 18. *Ichihara, H., Y. Ogawa(12名中6番), A fault-zone conductor beneath a compressional inversion zone, northeastern Honshu, Japan, **Geophys. Res. Lett.**, 38, L09301, doi:10.1029/2011GL047382, 2011
 19. *Yoshino, T. and F. Noritake, Unstable graphite films on grain boundaries in crustal rocks, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 306, 186-192, 2011
 20. *Fuji-ta, K., M. Ichiki(5名中3番), Variations in electrical conductivity of rocks above metamorphic conditions, **Tectonophysics**, 504, 116-121, 2011.
 21. *Yoshimura, S. and M. Nakamura, Carbon dioxide transport in crustal magmatic systems, **Earth Planet. Sci. Lett.**, in press.
 22. *Shimizu, I., Erratum to "Theories and applicability of grain size piezometers: The role of dynamic recrystallization mechanisms", **J. Struct. Geol.**, 33, in press.
 23. *Hamada, M., E. Takahashi(4名中3番), Polybaric degassing of island arc low-K tholeiitic basalt magma recorded by OH concentrations in Ca-rich plagioclase, **Earth Planet. Sci. Lett.**, in press.
 24. *Ohba, T., K. Kazahaya(7名中5番), Chemical and isotopic composition of fumarolic gas at Iwate volcano, Japan, during and after seismic activity in 1998: Implications for the modification process of ascending volcanic gas, **Annals of Geophys.**, accepted.
 25. *Yamada, M., K. Kazahaya(8名中3番), Mixing of magmatic CO₂ into volcano groundwater flow at Aso volcano assessed combining carbon and water stable isotopes, **J. GEOCHEM. EXPLOR.**, 108, 81-87, 2011.
 26. *Asaoka, S., M. Tanimizu(4名中4番), Preconcentration method of antimony using modified thiol cotton fiber for isotopic analyses of antimony in natural samples, **Anal. Sci.**, 27, 25-28, 2011.
 27. *Tanimizu, M., (他3名), Determination of natural isotopic variation in antimony using inductively coupled plasma mass spectrometry for an uncertainty estimation of the standard atomic weight of antimony, **Geochem. J.**, 45, 27-31, 2011.
 28. *Hanyu T., J.-I. Kimura(10名中10番), Geochemical characteristics and origin of the HIMU reservoir: A possible mantle plume source in the lower mantle, **Geochem. Geophys. Geosys.**, 12, doi:10.1029/2010GC003252., 2011.
 29. *Stern R.J., J.-I. Kimura(10名中6番), Southern Louisiana salt dome xenoliths: First glimpse of Jurassic (~160 Ma) Gulf of Mexico crust, **Geology**, accepted.
 30. *Kawabata H., J.-I. Kimura(6名中4番), The Petrology and geochemistry of St. Helena alkali basalts: Evaluation of the oceanic crust-recycling model for HIMU OIB, **Journal of Petrology**, 52, doi:10.1093/petrology/egr003, 2011.
 31. *Raye, U., J.-I. Kimura(7名中4番), Composition of the Mantle Lithosphere beneath southern Laurentia: Evidence from Peridotite Xenoliths, Knippa, Texas, **Geosphere**, accepted.
 32. *Kimura J.-I., (他2名), Optimization of ablation protocol for 200 nm UV femtosecond laser in precise U-Pb age dating coupled to multi-collector ICP mass spectrometry, **Geochemical Journal**, accepted.
 33. *Tamura Y., J.-I. Kimura(12名中9番), Two primary basalt magma types from Northwest ROTA-1 volcano, Mariana arc, and its mantle diapir or mantle wedge plume, **Journal of Petrology**, accepted.
 34. *Hanyu T., Y. Tatsumi and J.-I. Kimura, Constraints on the origin of the HIMU reservoir from He-Ne-Ar isotope systematics, **Earth Planet. Sci. Lett.**, accepted.
 35. *Kato, Y., K. Fujinaga(9名中2番), H. Iwamori(9名中9番), Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements, **Nature Geoscience**, in press.
 36. *Kato, Y., K. Fujinaga and K. Suzuki, Marine Os isotopic fluctuations in the early Eocene greenhouse interval as recorded by metalliferous umbers from a Tertiary ophiolite in Japan, **Gondwana Res.**, doi:10.1016/j.jgr.2010.12.007, in press.
 37. *Okabayashi, S., T. Yokoyama, (他4名), T. Evaluation of Laser Ablation in Liquid (LAL) technique as a new sampling technique for elemental and isotopic analysis using ICP-mass spectrometry, **J. Anal. Atom. Spectrom.**, in press.
 38. *Yokoyama, T., (他2名), Assessment of nebular versus parent body processes on presolar components present in chondrites: Evidence from osmium isotopes, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 305, 115-123, 2011.
 39. *Kuritani, T., T. Yokoyama, (他3名), Geochemical evolution of historical lavas from Askja Volcano, Iceland: Implications for mechanisms and timescales of magmatic differentiation, **Geochim. Cosmochim. Acta**, 75, 570-587, 2011.
 40. *Chekol, T.A., T. Yokoyama(5名中3番), Timescales of magma differentiation from basalt to andesite beneath Hekla Volcano, Iceland: Constraints from U-series disequilibria in lavas from the last quarter-millennium flows, **Geochim. Cosmochim. Acta**, 75, 256-283, 2011.
 41. *Tokunaga, T., (他5名), A multiple-isotope ($\delta^{37}\text{Cl}$, ^{14}C , ^3H) approach to reveal the coastal hydrogeological system and its temporal changes in western Kyushu, Japan, **Hydrogeol. J.**, 19, 249-258, 2011.
 42. *Binh, N.T.T., T. Tokunaga, (他3名), Stress state in the Cuu Long and Nam Con Son basins, offshore Vietnam, **Mar. Petrol. Geol.**, 28, 973-979, 2011.
 43. *Aichi, M. and T. Tokunaga, Thermodynamically-consistent anisotropic constitutive relations for a poroelastic material saturated by two immiscible fluids, **Intern. J. Rock Mech. Min. Sci.**, 48, 580-584, 2011.
 44. *Shimizu, I., Steady-state grain size in dynamic recrystallization of minerals, in "Recrystallization", **InTech Open Access Publ.**, ISBN 979-953-307-346-9, in press.
 45. *Saiga, A., A. Kato, (他3名), Crustal anisotropy structure related to lateral and down - dip variations in interplate coupling beneath the Kii Peninsula, SW Japan, **Geophys. Res. Lett.**, 38, L09307, doi:10.1029/2011GL047405, 2011.
 46. *Ghosh, B. and T. Morishita, Andradite-uvarovite solid solution from hydrothermal altered podiform chromitite of Rutland ophiolite, Andaman, **Canadian Mineralogist**, 49, 573-580.
 47. *Morishita, T., (他4名), Insight into the uppermost mantle section of a maturing arc: The Eastern Mirdita ophiolite, Albania, **Lithos**, 124, 215-226, 2011.
 48. *Morishita, T., (他6名), Diversity of melt conduits in the Izu-Bonin-Mariana forearc mantle: Implications for the earliest stage of arc magmatism, **Geology**, 39, 411-414, 2011.
 49. *Yamamoto J., (他3名), Retentivity of CO₂ in fluid inclusions in mantle minerals, **European Journal of Mineralogy**, in press.
 50. *Sumita, I., Y. Ota, Experiments on buoyancy-driven crack around the brittle-ductile transition, **Earth Planet. Sci. Lett.**, 304, 337-346, 2011.
 51. *Kitamura, S., I. Sumita, Experiments on a turbulent plume: shape analyses, **J. Geophys. Res.**, 116, B03208, doi:10.1029/2010JB007633, 2011.
 52. *上原 真二, (他5名), 地下深部における新第三紀泥質軟岩中の亀裂の透水特性～室内試験による推定～, **Journal of MMIJ**, 127, 139-144, 2011.
 53. *高橋美紀, 上原真一, 高橋学, 花崗岩を起源とする断層ガウジの剪断強度及び水理特性, **Journal of MMIJ**, 127, 165-168, 2011.

54. *市原寛・市來雅啓、地殻・上部マンツルの電気比抵抗構造：観測の原理・精度と物性データの現状, **岩石鉱物科学**, in press.
55. *浜田盛久・東宮昭彦, 島弧における初生マグマの含水量の推定：実験岩石学とメルト包有物からの制約, **岩石鉱物科学**, 40, in press.
56. *中村仁美, 岩森光, 沈み込み帯の物質循環とスラブ流体, **宇宙と地球の科学事典**, 朝倉書店, accepted. (著書)
57. *藤永公一郎・野崎達生・中山健・加藤泰造, 高知県安芸地域に分布する層準規制型Fe-Mn鉱床のレアアース資源ポテンシャル, **資源地質**, 61(1), 1-11, 2011.
58. Yoshida, K., Sengen, Y., Tsuchiya, S., Minagawa, K., Kobayashi, T., Mishima, T., Ohsawa, S., Hirajima, T., Fluid inclusions with high Li/B Ratio in a quartz vein from the Besshi area of the Sambagawa metamorphic belt: implications for deep geofluid evolution. **Journal of Mineralogical and Petrological Sciences**, in press. (その他26編)

(2) ホームページ・ニュースレターについて

本プロジェクトのホームページは <http://www.geofluids.titech.ac.jp/> で公開され、研究概要の紹介のほか、各種セミナー・シンポジウムの案内、公募研究、特別研究員公募などの情報を提供している。また論文として公表された研究成果は、2009年度、2010年度、2011年度ごとにまとめて公開されている。さらに、本プロジェクトでは各計画研究の間の研究交流を図り、計画研究の枠を超えた融合研究を推進する目的で、ニュースレターを四半期ごとにPDFで発行し、メーリングリストを通じてメンバー全員に配布している。ニュースレターは2号ずつ合冊製本し、1年に2回それぞれ500部印刷して地殻流体研究に関連する我が国の大学・研究機関および研究者個人に郵送している。

(3) 公開発表について

【地殻流体総括班が主催したシンポジウム・国際会議】 ★は開催予定のもの

- 地殻流体キックオフ会議 2009年9月23日～25日 東北大学川渡セミナーハウス、参加者80名(うち学生・院生20名)
- 地殻流体研究会 2010年3月25～26日 産総研・別棟大会議室、参加者100名(うち学生・院生20名)
- 2010年度日本地球惑星科学連合大会ユニオンセッション 2010年5月24-25日、幕張メッセ国際会議場、「地殻流体と沈み込み帯のダイナミクス」(コンビーナー：高橋栄一・川勝均・川本竜彦・岡本敦)、参加者400名(うち学生・院生200名)。
- 2010年度「地殻流体研究会」 2010年9月10日～13日 ラフォーレ修善寺、参加者103名(うち学生・大学院生45名)。
- 国際シンポジウムGeofluid-1 2011年3月17～19日 東工大・デジタル多目的ホール、参加予定者120名(うち招聘外国人11名、学生・院生60名)。**直前に発生した東日本大震災のためGeofluid-1は中止**し、参加者全員に講演要旨(冊子)を郵送することにより紙面成立とした。なお、2012年3月19～20日に同会場で国際シンポジウムGeofluid-2を開催する。
- 2011年度日本地球惑星科学連合大会レギュラーセッション 2011年5月25日 幕張メッセ国際会議場、「流体と沈み込み帯のダイナミクス」(コンビーナー：川本竜彦・松澤暢・岡本敦)、参加者200名(うち学生・院生100名)。
- ★国際地球物理学連合IUGG2011 特別セッション(予定、2011年7月4日・オーストラリア・メルボルン) ”Fluids in the crust and mantle: Geodynamic and seismological consequences - geophysical and geological constraints”. 共同コンビーナー：小川康雄。
- ★2011年度「地殻流体研究会」「サマースクール」(予定、2011年9月17日～19日 岩手県で開催)
- ★米国地球物理学連合AGU2011 特別セッション(予定、2011年12月5日-9日 サンフランシスコ・モスコーンセンター) ”Role of Fluids in subducting processes” コンビーナー：岩森光・Anne Pommier・高橋栄一。
- ★国際シンポジウムGeofluid-2 (予定、2012年3月19-20日 東工大・デジタル多目的ホール)

【ワークショップ・セミナーなど】

●地殻流体融合研究セミナー

各計画研究の枠を超えた融合研究を推進するため、総括班内部に設置した地殻流体融合研究センターが主催する地殻流体融合研究セミナーを2009年に2回、2010年に11回、2011年は6月までに4回開催した。融合研究セミナーには外国人研究者を含めて本領域メンバー以外から多数の講師を招聘した。

- 第1回 2009年9月8日「高温高压電気伝導度測定による地殻流体の挙動の解明に向けて」芳野 極 岡山大学 地球物質科学研究センター
- 第2回 2009年10月1日「マンツルウェッジに潜むスラブ由来水の化学的探索」山本 順司 京都大学 地球熱学研究施設
- 第3回 2010年5月27日「On 3D MT inversions」Weerachai Siripunvaraporn Mahidol University THAILAND
「Deep EM sounding of subduction zones at the Andes and Central America」Heinrich Brasse Free University of Berlin GERMANY
- 第4回 2010年6月1日「ヘリウム同位体比からみた地震前後の地殻流体挙動」堀口 桂香 大阪大学
- 第5回 2010年6月8日「のびる石」平賀 岳彦 東京大学地震

- 研究所
- 第6回 2010年6月14日「Linking deformation of serpentine, anisotropy and seismicity of subduction」Bruno Reynard ENS Lyon, CNRS, Lyon, France
- 第7回 2010年7月8日「Experimental Study of Crystal Nucleation in Magma」Julia Eva Hammer University of Hawaii
- 第8回 2010年7月20日「電磁気観測から推定される火山爆発発生場と最近の桜島の活動について」神田 径 東京工業大学 火山流体研究センター
- 第9回 2010年9月3日「Phase relations and solidi of carbonated peridotite and eclogite to 30 GPa: Comparison to hydrous systems and implication to mantle dynamics」Konstantin Litasov 東北大学 地学専攻

- 第10回 2010年10月1日「高温けい酸塩溶融体の構造 - 高温ラマン測定 -」 矢野 哲司 東京工業大学 物質科学専攻
 第11回 2010年10月12日「Continental crust formation in intra-oceanic arc. Continental crust growth through arc collision」 谷 健一郎 海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域
 第12回 2010年10月26日「火山岩のホウ素からみたスラブ由来流体の分布」三好 雅也 京都大学 大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

- 第13回 2011年2月24日「東北日本弧のマグマ含水量の水平変化」宮城 磯治 産総研 地調
 第14回 2011年5月6日「新富士火山の噴火様式と結晶組織・組成」佐藤 博明 神戸大学 名誉教授
 第15回 2011年5月27日「超臨界H₂O-NaCl流体の電気伝導率の予測：分子シミュレーションによるアプローチ」佐久間 博 東京工業大学 地球惑星科学専攻
 第16回 2011年6月30日「塩嶺累層の火山活動史」長井 雅史 独立行政法人防災科学技術研究所

●**松代群発地震ワークショップ** 2010年3月25-26日 産総研・別棟大会議室、参加者100名（うち学生・院生20名）。松代群発地震（1965年—1967年）は群発地震とともに多量の高濃度塩水を流出させた「水噴火」として世界的に見ても貴重な事象である。塚原弘昭（信州大学教授）をはじめ多数の関係研究者を招聘し、地殻流体に関する現在の研究に照らしてこの事象の再検討を行った。

●**地殻流体サマースクール** 2010年9月10日-13日 ラフォーレ修善寺、参加学生・大学院生45名。サマースクールは、久城育夫・東大名誉教授、長谷川昭・東北大名誉教授など教授3名による特別講義、若手教員4名による地殻流体の基礎講義、および学生・若手研究者を交えたテーブルディスカッション（右写真）の三部構成で行われた。研究会後のアンケート調査では、内容の多彩さに戸惑いつつも、ほとんどの学生が大きな充実感を得ていることが分かった。なお若手研究者育成の一環として、旅費の支給を希望する学生にあらかじめ小論文を提出させ、優秀者に旅費支援を行った。2011年9月17～19日、地殻流体サマースクール2を開催する予定である。



●**各計画研究主催のワークショップ**

- Geofluid Map研究会 2011年1月31日（月） 10：00～17：00 東北大学理学研究科付属地震噴火予知研究センター別棟第一会議室 A01-1班 勉強会 2010年 4月19日（月）14：00-17：00 東北大学地震・噴火予知研究観測センター 第一会議室「高温高压下弾性波速度測定による島弧の地殻構成岩石モデルの構築」 A01-2班 班会議（キックオフ会議） 2009年8月8日（土）10：00～15：30 於 東京大学地震研究所 京都大学防災研究所共同利用研究集会 研究集会名「地震・火山噴火予知のための地球電磁気学の新展開 - 3次元構造探査とモニタリング」（平成23年2月、京都大学宇治キャンパス、100名）代表 小川康雄
 A02-1班 班会議 2009年10月22日（木）13：30～18：00 京都大学女性研究者支援センター 12名
 A02-2班 班会議 2009年 9月4日（金）10：00～12：00 東京工業大学・地球惑星科学専攻・河村研究室
 A02-2班 班会議 2009年 9月16日（水）13：00～18：00 東京大学地震研究所・第三輪講室
 A02-2班 班会議 2010年 8月16日 9：30～17：00 東大地震研第1輪講室
 A02-2班会議 2010年 8月30日 14時～18時 岡山大学環境理工学棟4階会議室「地殻・スラブ構成鉱物のwetな結晶粒界の性質と局所構造」
 標準岩石モデル（PROM）ワークショップ 2010年11月20日（土） 10：00～16：00 東京工業大学 25名参加 日本地質学科第117回学術大会シンポジウム「島弧地殻で発生するメルト-流体の挙動 -地質学、高压実験、岩石からの制約-」世話人 岡本和明、渡辺了、寺林優（2010年9月19日 9：00～12：00 富山大学 70名）
 米国地球物理学連合（AGU）2010年秋季大会 “Mind the Grain Boundaries! New Advances in Investigating Grain Boundaries and Their Impact on Mantle Processes” (Presiding: S Demouchy, D L Kohlstedt and T Hiraga)
 A03-1班 班会議 2009年9月8日（火）14：00～19：00 東京工業大学石川台2号館318号室
 A03-1班 班会議 2011年 6月16日（木） 10：00～19：00 東京工業大学石川台2号館210号室

【招待講演リスト：48件】

- 中島淳一・長谷川昭, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2009年5月.
 中島淳一, 地日本地球惑星科学連合2010年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2010年5月.
 岡田知己, 地学団体研究会福島大会, 2010年8月.
 岡田知己, 日本地質学会第117年学術大会, 富山, 2010年9月.
 岡田知己・高木涼太・吉田圭佑, CA研究会(地震・火山噴火予知のための地球電磁気学の新展開 - 3次元構造探査とモニタリング), 2010年2月.
 加藤愛太郎, 日本地球惑星科学連合2011年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2011年5月.
 山本希, 日本火山学会研究奨励賞記念講演, 日本火山学会2010年度秋季大会、京都大学、2010年10月.
 芳野極, 地球惑星科学連合2010年大会、幕張メッセ国際会議場、2010年5月.
 Yoshino, T., American Geophysical Union Fall meeting 2010, San Francisco, USA 2010年12月.
 小川康雄, AOBセミナー、東北大学、2010年9月.
 小川康雄, 日本地球惑星科学連合2008年大会、幕張メッセ国際会議場、2010年5月.
 市來雅啓、藤田清士、上嶋誠、地球惑星科学連合2009年大会、幕張メッセ国際会議場、2009年5月.
 Hamada, M., Kawamoto, T., Takahashi, E., Fujii, T., 日本地球惑星科学連合2011年大会、幕張メッセ国際会議場、2011年5月.
 Naemura, K., Ikuta, D., Kagi, H., Odake, S., Ueda, T., Ohi, S., Kobayashi, T., Hirajima, T., Svojtka, M., AGU Fall meeting 2010, San Francisco, USA 2010年12月.
 岡本和明、土屋智彦、日本地質学会第117年学術大会、富山、2010年9月19日.
 Hirajima, T., Nakamura, D., Western Pacific Geophysical Meeting 2010, Taipei, Taiwan, 2010年6月.
 Yamazaki, D., 日本地球惑星科学連合2010年大会、2010年5月、幕張メッセ国際会議場、2010年5月.
 Yoshimura, S., Nakamura, M., American Geophysical Union Fall Meeting 2009, San Francisco, USA, 2009年12月.
 Kawamura, K., Mineralogical Society of America Short Course, Berkeley, USA, 2009年12月.

- Kawamura, K., Americal Geophysical Union Fall Meeting 2009, San Francisco, USA, 2009年12月.
- Ichikawa, Y., Polish Academy of Sciences, Institute of Fundamental Technological Research, Warsaw, Poland, 2010年3月.
- Kawakatsu, H., Takeo, A., Takei, Y., Kumar, P., Americal Geophysical Union Fall Meeting 2009, San Francisco, USA, 2009年12月.
- Okumura, S., Nakamura, M., Fujioka, T., Tsuehichiyama, A., Takeuchi, S., Nakano, T., Uesugi, K., Americal Geophysical Union Fall Meeting 2010, San Francisco, USA, 2010年12月.
- Takei, Y., Hiraga, T., Americal Geophysical Union Fall Meeting 2010, San Francisco, USA, 2010年12月.
- 渡辺 了, 日本地質学会第117年学術大会, 富山, 2010年9月.
- 武井 康子, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2010年5月.
- 河村 雄行, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2010年5月.
- 吉村 俊平, 中村 美千彦, 日本鉱物科学会, 島根, 2010年9月.
- 奥村 聡, 中村 美千彦, 土山 明, 中野 司, 竹内 晋吾, 上杉 健太郎, 日本鉱物科学会, 島根, 2010年9月.
- Nakamura, M., 日本地球惑星科学連合2011年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2011年5月.
- 河村雄行 日本コンピュータ化学会10周年記念シンポジウム, 東工大 デジタル多目的ホール, 2011年6月.
- Tanimizu, M. and Inoue, M., IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011, Kyoto, Japan, 2011年5月.
- 谷水雅治, 2010年度日本質量分析学会同位体比部会, 別府, 2010年11月.
- 中村仁美, ワークショップ「地球科学データ解析の新展開」, 東京工業大学, 2011年1月.
- 中村仁美, 「地殻流体」研究会・サマースクール, ラフォーレ修善寺, 2010年9月.
- 中村仁美・岩森光, 2010年度地球化学会年会, 立正大学熊谷校舎, 2010年9月.
- 風早康平ほか (1), 日本地球惑星科学連合2011年度連合大会, 幕張メッセ国際会議場, 2011年5月.
- 風早康平ほか (2), 日本地球惑星科学連合2011年度連合大会, 幕張メッセ国際会議場, 2011年5月.
- 徳永朋祥・三好悟・Binh, N. T. T., 石油技術協会2010年春季講演会シンポジウム, 福岡, 2010年6月.
- Wang, H. F., Gage, J. R., Fratte, D., MacLaughlin, M., Murdoch, L. C. and Tokunaga, T., Proc. 6th Asian Rock Mech. Symp. 2010.
- 加藤泰浩, 日本地球惑星科学連合2011年度連合大会, 幕張メッセ国際会議場, 2011年5月.
- Iwamori, H., WPGM, Taipei, Taiwan, 2010年6月.
- Iwamori, H., Tohoku University G-COE Symposium, Sendai, Japan., 2010年7月.
- Iwamori, H., and Ueki, K., Americal Geophysical Union Fall Meeting 2010, San Francisco, USA, 2010年12月.
- 岩森光・松山健志, 地震学会, 広島, 2010年10月.
- 岩森光, ワークショップ「地球科学データ解析の新展開」, 東京工業大学, 2011年1月.
- 岩森光 シンポジウム「圧縮センシングとその周辺」, 統計数理研究所, 2011年5月.
- 横山哲也, 2010年度日本質量分析学会同位体比部会, 別府, 2010年11月.

(4) 「国民との科学・技術対話」について

- 薩摩硫黄島防災訓練住民説明会 2009年10月13日 神田 径「最近の薩摩硫黄島の火山活動について」参加者は100人弱。鹿児島県の幹部職員等からは判りやすくて良かったとの感想があった。
- International Forum for Sustainable Asia and Pacific (2010年7月13日 横浜パシフィコ) の公開セッション”Coping strategies for groundwater under threat”におけるパネリスト。徳永朋祥 ”Temporal change of groundwater-related problems in urban geosphere A case example from Tokyo”。
- 富山大学地域連携推進機構産学連携部門第5回イブニング技術交流サロン(2010年12月3日 カナルパークホテル富山) 渡辺 了「地震と水の関係」、参加者数：学外から8名の参加。
- 東京工業大学公開講演会 (2011年5月18日, 東工大大田町イノベーションセンター) 岩森 光「地球内部の変動とダイナミクス」、参加者数95名(男性81名、女性14名、年齢層20代~70代、平均年齢50才代)、講座の分かりやすさ：1を最高とする5段階評価で平均値1.3。
- 東北大学大学院理学研究科出前講座 (2011年5月19日 フォレスト仙台) 松澤 暢ほか3名「3・11地震と放射性物質の拡散について」、来場者数：420名、アンケート回答者数221名、大変参考になった：111人(50%) まあまあ参考になった：67人(30%) など。
- 平成23年度大田区民大学・第14回東京工業大学連携講座 (2011年6月1日)
高橋栄一「地球深部からの水が地震・火山活動を起こす」、参加者約80名、アンケート回答数41名(男性26名、女性15名、平均年齢61歳)。講座の有益度：1を最高とする5段階評価で平均値1.5。講座の理解度：3を最高とする3段階評価で平均値2.5。
- 平成23年度大田区民大学・第14回東京工業大学連携講座 (2011年6月8日) 岩森 光「地球のダイナミクス」、参加者約80名、アンケート回答数43名(男性27名、女性16名、平均年齢62歳)。講座の有益度：1を最高とする5段階評価で平均値1.7。講座の理解度：3を最高とする3段階評価で平均値2.2。
- 2011 スーパーサイエンスハイスクール講師 (2011年6月10日 神奈川県立柏陽高校) 木村純一「マグマの発生と火山噴火」。
- ★東京工業大学公開講演会 (予定、2011年7月27日) 高橋栄一「地球深部の水と大地の変動」
- ★東京工業大学アウトリーチ講演会 (予定、2011年11月16日) 小川康雄「電磁波でみる地震・火山・そして南極」



8. 研究組織と各研究項目の連携状況

(1) 研究組織

総括班 X00「地殻流体」その実態と沈み込み変動への役割

(代表者)

高橋栄一: 東京工業大学大学院理工学研究科・教授
(事務局長)

横山哲也: 東京工業大学大学院理工学研究科・准教授
(融合研究センター長)

河村雄行: 岡山大学環境理工学部・教授
(分担者)

松澤 暢: 東北大学理学研究科・教授

小川康雄: 東京工業大学火山流体研究センター・教授

小木曾哲: 京都大学・人間・環境学研究科・准教授

中村美千彦: 東北大学理学研究科・准教授

岩森 光: 東京工業大学大学院理工学研究科・教授

栗田 敬: 東京大学地震研究所・教授

(連携研究者)

浜田盛久: 東京工業大学大学院理工学研究科・特任助教

佐久間博: 東京工業大学大学院理工学研究科・特任助教

中村仁美: 東京工業大学大学院理工学研究科・特任助教

(研究協力者/評価担当)

長谷川昭: 東北大学理学研究科・名誉教授

小原一成: 東京大学地震研究所・教授

巽 好幸: 独立行政法人海洋研究開発機構・固体地球・

統合研究フロンティア・プログラムディレクター

山崎大輔: 岡山大学地球物質科学研究センター・准教授

川本竜彦: 京都大学理学研究科・助教

(連携研究者)

大森聡一: 東京工業大学大学院理工学研究科・特任准教授

浜田盛久: 東京工業大学大学院理工学研究科・特任助教

大井修吾: 京都大学大学院人間・環境学研究科・研究員

ルスタム・オロズバイフ: 京都大学大学院理学研究科・非常勤研究員

計画研究A02-2 地殻流体の形態と物性

(代表者)

中村美千彦: 東北大学理学研究科・准教授

(分担者)

渡辺 了: 富山大学工学教育部・准教授

武井康子: 東京大学地震研究所・准教授

平賀岳彦: 東京大学地震研究所・助教

清水以知子: 東京大学理学研究科・助教

河村雄行: 岡山大学環境理工学部・教授

市川康明: 岡山大学環境理工学部・教授

神崎正美: 岡山大学地球物質科学研究センター・教授

上原真一: 東邦大学理学部生命圏環境科学科・講師

(連携研究者)

中谷正生: 東京大学地震研究所・准教授

佐久間博: 東京工業大学大学院理工学研究科・特任助教

計画研究A01-1 地震波で診る地殻流体

(代表者)

松澤 暢: 東北大学理学研究科・教授

(分担者)

岡田知己: 東北大学理学研究科・准教授

中島淳一: 東北大学理学研究科・准教授

小菅正裕: 弘前大学理学研究科・准教授

山本 希: 東北大学理学研究科・助教

高橋 努: 独立行政法人海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス

領域・研究員

加藤愛太郎: 東京大学地震研究所・助教

石川正弘: 横浜国立大学環境情報研究院・准教授

(連携研究者)

有吉慶介: 独立行政法人海洋研究開発機構・地震津波・防災研

究プロジェクト・研究員

計画研究A03-1 地殻流体の発生と移動のダイナミクス

(代表者)

岩森 光: 東京工業大学大学院理工学研究科・教授

(分担者)

風早康平: 独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部

門・深部流体グループ長

谷水雅治: 独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所

・技術研究主任

加藤泰浩: 東京大学工学研究科・准教授

徳永朋祥: 東京大学新領域創成科学研究科・教授

栗田 敬: 東京大学地震研究所・教授

横山哲也: 東京工業大学大学院理工学研究科・准教授

(連携研究者)

木村純一: 独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部変動セ

ンター・グループリーダー

中村仁美: 東京工業大学大学院理工学研究科・特任助教

藤永公一郎: 東京大学工学研究科・研究員

計画研究A01-2 地殻流体の電磁イメージング

(代表者)

小川康雄: 東京工業大学火山流体研究センター・教授

(分担者)

芳野 極: 岡山大学地球物質科学研究センター・准教授

藤田清士: 大阪大学工学研究科・准教授

上嶋 誠: 東京大学地震研究所・准教授

神田 径: 東京工業大学火山流体研究センター・准教授

小山崇夫: 東京大学地震研究所・助教

藤 浩明: 京都大学理学研究科・准教授

松島政貴: 東京工業大学大学院理工学研究科・助教

市來雅啓: 東北大学理学研究科・助教

(連携研究者)

下宿 彰: 岡山大学地球物質科学研究センター・特別契約助教

本蔵義守: 東京工業大学火山流体研究センター・特任教授

計画研究A02-1 地殻流体の起源と化学

(代表者)

小木曾哲: 京都大学・人間・環境学研究科・准教授

(分担者)

平島崇男: 京都大学理学研究科・教授

岡本和明: 埼玉大学教育学部・准教授

松影香子: 愛媛大学地球内部ダイナミクス研究センター・グロ

ーバルCOE・准教授

高橋栄一: 東京工業大学大学院理工学研究科・教授

公募研究

三部賢治: 東京大学・地震研究所・助教 『高温高压下にお

ける地球内部の流体の電気伝導度測定』

市原 寛: 海洋研究開発機構・研究員 『海底電磁気観測によ

る沈み込み帯全域の流体分布の解明』

岡本 敦: 東北大学・環境科学研究科・助教 『沈み込み帯浅

部における流体移動と水-岩石相互作用に関する実験的研

究』

森下知晃: 金沢大学・理学部・准教授 『島弧深部における水

・元素分別「角閃石フィルター」の存在と性能検証』

山本順司: 京都大学・理学系・助教 『マントルウェッジを通

過するリサイクル炭素の検出』

廣野哲朗: 大阪大学・理学系・准教授 『地震性滑りによる高

温流体の発生とそれが滑り挙動に与える影響の解明』

片山郁夫: 広島大学・理学系・助教 『蛇紋岩の透水性異方性

に関する実験的研究』

隅田育郎: 金沢大学・自然システム学系・准教授 『地殻流体

の流れを視る: 基礎実験』

中久喜伴益: 広島大学・理学系・助教 『沈み込み帯における

マントルの流動と地球深部流体輸送の統合モデルの構築』

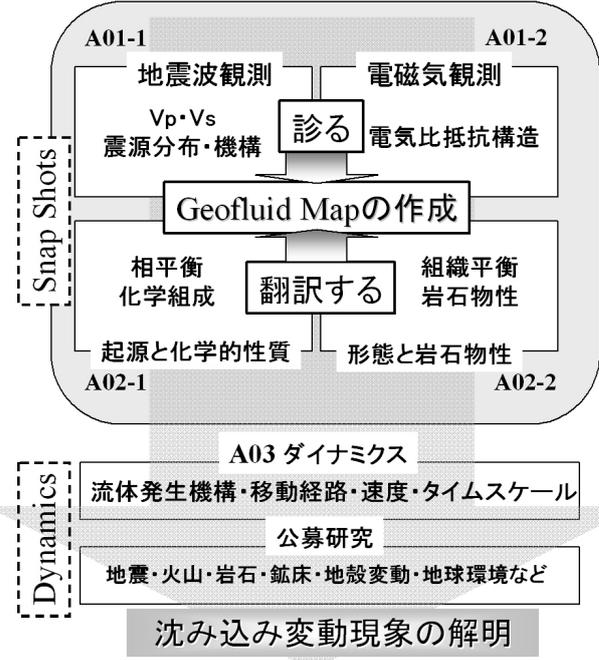
西尾嘉朗: 海洋研究開発機構・研究員 『湧水のリチウム同位

体を用いた島弧地殻深部流体の起源の解明』

(2) 研究項目間の連携の状況について

(地震波A01-1) と (電磁気A01-2) の共同観測

異なる手法で地殻流体の3次元分布を解明する目的で、地震波班 (A01-1) と電磁気班 (A01-2) が協力して鳴子火山周辺で調密な観測を実施している。A01-2の市来 (H21は東工大・特別研究員) はH22年4月より東北大学理学研究科助教に異動し、A01-1の松澤らとA01-2の小川らによる地震波・電磁気共同観測のかけ橋となり活躍している。さらに、A01-2の小川 (東工大) は、東北大学大学院において非常勤講師として平成22 (2010) 年度の「地殻物理学特論I」の講義を担当し、電磁探査手法の基礎から応用までを解説した。これにより、A01-1の地震観測・研究に参加している東北大学の院生が総合的な解析に挑戦する基礎を作ることができた。A02-2の中村は、本地域の地質および岩石学的情報から推定される、鳴子火山・鳴子カルデラの地下構造についての情報を提供し、観測データの解釈をサポートしている。



(観測A01) と (実験A02) の連携

電磁気観測により発見された地殻内の高電気抵抗層の起源を解明するため、A01-2の芳野・藤田らおよびA02-2の中村・渡辺・河村・佐久間らは、 H_2O -NaCl系流体とそれを粒界に含む岩石の微細構造と電気抵抗を高圧高温実験および分子シミュレーションの手法で解明している。地震波速度と、岩石中の地殻流体の含有量および形態の関係をより精密に明らかにするため、武井・渡辺らは理論的・実験的研究を行っている。このほか、観測と実験の項目をまたいだ連携研究が数多く実施されている。

(ダイナミクスA03) と (観測A01) ・ (実験A02) との連携

A03の岩森・栗田らはA01の中島・小川・市来、A02の小木曾・中村・渡辺・松影・高橋らと共同して、地震・電磁気共同観測結果、および流体を含む岩石の物性モデル (PROM) に基づき、本領域の目指す地殻流体分布図 (Geofluid Map) 作成のアルゴリズムを完成した。その結果、宮城県北東部の観測結果を用いて、Geofluid Map作成に初めて成功した。さらに、A03の岩森・風早・中村・横山・加藤・藤永らは日本列島の地下水・火山岩・鉱床鉱物を分析し、列島規模の流体組成分布図を作成した。この流体分布を、A01の中島・X00の長谷川らの地震トモグラフィ並びに低周波地震震源分布と比較することにより、日本列島内の地殻流体発生と循環経路を解明する共同研究を進めている。このほか、ダイナミクスと観測・実験の項目をまたいだ数多くの共同研究が実施されている。

公募研究と計画研究の連携

公募研究の市原はA01-2の小川らが進める東北日本陸域の電気比抵抗測定と補完する海域の電気比抵抗測定を進めており、陸域と海域の比抵抗測定結果は統合される予定である。また公募研究の森下が進めるマントル岩石の流体変成作用の研究は、A02-1の小木曾・平島らが進める変成岩中の流体包有物研究と統合し、最終的にA03の岩森が進める流体循環モデルに組み込まれる。公募研究の岡本が進める、圧力 ~ 0.2 GPaでの水-岩石反応による蛇紋岩化速度の測定実験は、A02-2の中村、A02-1の山崎により、さらにそれぞれ ~ 1 GPa, ~ 3 GPaまで高圧条件に延長されつつある。このほか、公募研究と計画研究をまたいだ連携研究が数多く実施されている。

9. 研究費の使用状況

(1) 研究費の効果的使用

研究費の使用状況は以下の表のとおり、計画的に執行されている。なお、東北日本大震災の影響で予定していた国際シンポジウムを1年延期したため、平成22年度経費を23年度に一部繰り越している。

研究費使用状況						
平成21年度	交付額	物品費	旅費	謝金	その他	総計
総括班	7,600,000	1,500,000	1,400,000	4,000,000	700,000	7,600,000
	6,100,000	1,663,168	1,494,930	2,660,556	281,346	6,100,000
A01-1	22,500,000	21,125,000	500,000	400,000	475,000	22,500,000
	22,500,000	22,248,255	249,540	0	2,205	22,500,000
A01-2	31,400,000	19,416,000	2,734,000	2,000,000	7,250,000	31,400,000
	31,400,000	22,417,225	1,535,606	0	7,447,169	31,400,000
A02-1	26,400,000	20,300,000	2,180,000	3,500,000	420,000	26,400,000
	24,600,000	19,072,426	1,818,825	1,735,896	1,972,853	24,600,000
A02-2	34,000,000	25,300,000	3,700,000	3,000,000	2,000,000	34,000,000
	34,000,000	30,401,087	2,504,640	870,767	223,506	34,000,000
A03	125,100,000	116,912,000	2,880,000	4,738,000	570,000	125,100,000
	119,000,000	114,114,239	2,204,854	2,672,817	8,090	119,000,000
平成22年度	交付額	物品費	旅費	謝金	その他	総計
総括班	10,900,000	200,000	2,000,000	8,500,000	200,000	10,900,000
	8,900,000	283,156	382,270	7,758,229	476,345	8,900,000
A01-1	20,400,000	16,815,000	1,485,000	100,000	2,000,000	20,400,000
	20,400,000	15,313,302	1,546,560	0	3,540,138	20,400,000
A01-2	26,300,000	1,300,000	5,000,000	13,000,000	7,000,000	26,300,000
	25,602,561	5,402,754	3,167,730	8,504,446	8,527,631	25,602,561
A02-1	25,500,000	10,600,000	3,400,000	10,400,000	1,100,000	25,500,000
	24,352,253	8,271,542	4,579,720	8,606,264	2,894,727	24,352,253
A02-2	78,000,000	62,500,000	4,500,000	10,500,000	500,000	78,000,000
	78,000,000	67,429,922	2,520,436	7,400,528	649,114	78,000,000
A03	46,600,000	29,580,000	3,830,000	12,670,000	520,000	46,600,000
	45,913,000	31,687,394	2,447,239	11,456,686	321,681	45,913,000

下段執行額、青字 単位（円）

(2) 設備の有効活用

本計画で各計画研究が購入した物品のうち、1件あたりの購入額が300万円を超すリストを下記に示す。本計画で購入した観測機器、分析機器はいずれも研究項目をまたいだ共同研究に広く活用されている。平成21年度に導入した表面電離型質量分析計(東工大)および平成22年度に導入したフェムト秒レーザーを用いて、東北日本各地の火山岩の微量元素および同位体の分析を実施し、沈み込み帯の横断方向の地殻流体循環の流量や流速を解明する地殻流体ダイナミクスの研究が進んでいる。

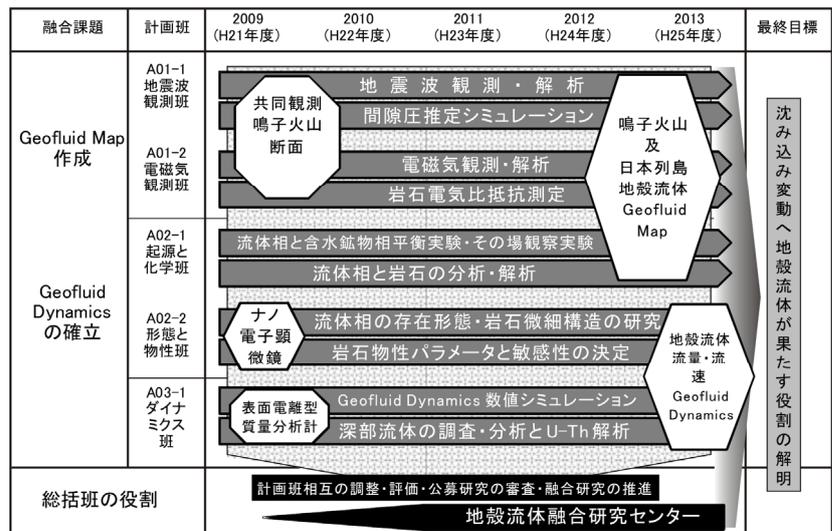
1件あたり300万円を超す高額物品のリスト

年度	品名	用途	数量	金額（円）	設置場所	
21年度	A01-1	低消費電力型地震計ユニット	鳴子周辺の地震観測用ロガー	32台	16,693,950	臨時観測点
		速度型3成分地震計（2Hz）	鳴子周辺の観測用地震計	32台	4,200,000	臨時観測点
A01-2	長周期地磁気地電流観測システム	長周期MT観測に使用 単価は2,241,167	6	13,447,000	東京工業大学	
A02-2	三次元造型機	浸透率評価用岩石粒間流体模型の作成	1式	3,675,000	東北大学	
	物性測定用高温高圧実験装置	高温高圧下粒界水物性測定実験	1台	7,192,500	富山大学	
	高速ダイヤモンドワイヤソー	岩石変形実験出発物質および天然断層岩等試料の切断	1台	3,764,565	東京大学	
A03	表面電離型質量分析計	地殻流体試料のウラン・トリウム放射非平衡の測定	1式	99,991,500	東京工業大学	
22年度	A01-1	広帯域地震計	火山周辺の超低周波地震観測用地震計	7台	9,121,350	臨時観測点
		低消費電力型地震計ユニット	火山周辺の超低周波地震観測用ロガー	7式	3,844,050	臨時観測点
A02-2	電界放出形走査電子顕微鏡	岩石粒界実験産物の超高倍率観察	1式	54,967,500	東北大学	
	岩石三軸圧縮・浸透率変形試験装置の高速・高精度レーザー変位計 高圧サーボシステム増設	岩石三軸圧縮・浸透率変形試験装置	1式	3,958,500	産業技術総合研究所	
A03	フェムト秒レーザー	地殻流体試料の局所分析と化学的キャラクタリゼーション	1台	25,000,000	(独) 海洋研究開発機構・高知コア研究所	

10. 今後の研究領域の推進方策

(1) Geofluid Map 作成から Geofluid Dynamics 創生へ

領域計画書提出時に立てた年次計画を右図に示す。当初計画した通り、鳴子火山周辺での地震波・電磁気共同観測は順調に進んでおり、その途中経過は本報告書P. 4に示した。観測によって得られた地下の地震波速度・電気比抵抗の3次元分布から流体の分布を解読するための辞書である「流体を含む岩石の標準物性モデル：PROM」についても、本報告書P. 5に示す通り分野融合研究として進んでいる。鳴子火山周辺での地震波・電磁気観測データと標準物性モデルPROMを用いて、世界で初めて



地下深部の流体分布を示す**Geofluid Map**を作成する（本報告書P. 6）。地震波・電磁気共同観測の領域が拡大するに合わせて、平成23年中にさらに広い地域の**Geofluid Map**を作成する予定である。また、本計画で導入した表面電離型質量分析計や電界放出型走査電子顕微鏡等を用いて実験試料や火山岩・変成岩の分析を進め、沈み込み帯深部で放出された流体が日本列島表層部に循環する流速・流路を明らかにし、計画最終年度までに地殻流体の実態と役割を解明し、**Geofluid Dynamics**という新たな学問分野を創生する。

(2) 地震発生における流体の役割解明へ

2011年3月11日に起きた東北地方太平洋沖地震は、地震発生における地殻流体の役割解明を目指す本領域にとっても極めて重大な意味をもつものである。この地震の解析によって、巨大地震発生にH₂Oなどの流体が極めて重要な役割を果たす可能性が示されつつある。例えば、この地震の滑りによってプレート境界付近の応力場が大きく変化しており、このことはこの付近では静岩圧の90%を越える高い間隙水圧となっていることを示している。また、この地震の余震である4月7日のスラブ内地震（M7.1）の震源域周辺で顕著な地震波低速度異常がイメージングされ、局所的に蛇紋岩化した海洋性マントルが、沈み込みによる温度・圧力の上昇によって脱水反応を起こし、断層面の強度を低下させて地震発生に至るとするモデルをサポートする結果が得られた。内陸でも、この地震の後に様々な地域で地震活動が活発化しており、僅かな応力変化で地震活動が活発化したことは、この付近では間隙水圧が高いために強度が低かったことを示唆している。今後、P. 8で示した研究成果や今回の巨大地震によって得られた成果に加えて新たな研究事例を積み上げ、地震発生における流体の役割を定量的に解明していく予定である。

(3) 地殻流体研究コミュニティの確立

本領域の発足以来、毎年の地球惑星科学連合大会において地殻流体を主題とする特別セッションを開催し、本領域の計画研究、公募研究の内容を地殻流体に関心ある研究者に紹介し、研究交流を図ってきた。特に2010年の地球惑星科学連合大会では固体地球科学分野を代表して地殻流体セッションがユニオンセッションとして開催され、のべ400人の聴衆が2日に渡り熱心に参加した。さらに、毎年9月に本領域メンバーが全国の大学から学生・院生を招待してサマースクールを開催し、関連分野の将来を担う若手研究者育成に努めている。2011年には本領域メンバーがコンビーナーとなり、国際地球物理学連合大会（メルボルン）、および米国地球物理学連合秋季大会（サンフランシスコ）でそれぞれ特別セッションを開催する。2012年以降もこれらの活動をさらに発展させ、地殻流体を研究する国内・国外の研究コミュニティを本領域が中心となって育て、発展させていく計画である。

11. 総括班評価者による評価の状況

新学術領域研究「地殻流体：その実態と沈み込み変動への役割」の中間評価に寄せて

東北大学 名誉教授
長谷川 昭

これまでのところ研究は順調に進展していると評価される。公表論文数が既に335編にもものぼることは、その一つの表れである。A01-1班は、当初計画通り、3kmの解像度の地震波速度トモグラフィを目指して、鳴子周辺に50点からなる稠密地震観測網を構築した。現在データ蓄積中であるが、既に予備的な結果が得られている。さらに、日本列島の様々な地域で詳細な地震波速度・減衰トモグラフィを行うなど、島弧スケールのGeofluid Mapの作成に向けて着々と準備を進めている。A01-2班は、稠密地震観測網と同一領域で、広帯域MT観測を30点で行い、3kmの解像度で3次元地殻比抵抗構造を明らかにした。さらに、長周期MT観測を32点で実施し、3次元マントル比抵抗構造を明らかにするための準備を進めるとともに、地殻流体を含む岩石の電気抵抗測定を行い、観測された低比抵抗領域の成因を明らかにしつつある。上記の、鳴子火山周辺での地震波・電磁気同時観測では、予備的な結果とはいえ、火山直下の上部地殻に鉛直状の地震波低速度・低比抵抗領域が存在し、それが地殻深部に繋がっている様子が明瞭にイメージされた。この速度異常と比抵抗異常の分布には、詳細にみると若干の違いもみられ、流体の組成や分布形態の違いを反映していると想像させる。A02-2班が中心となり他の班と協力して開発中のPROMモデルを用いたGeofluid Mapの作成に向けて、大いに期待できる結果である。A02-1班は、沈み込み帯における流体の発生・存在条件と化学的特徴を解明することを目指して、高圧実験と変成岩解析を精力的に進め、流体-メルト間の微量元素分配係数のその場決定、蛇紋岩形成速度の推定などを行うとともに、変成流体の化学組成から発生深度を、また地震の分布からスラブ内の温度分布を推定できる可能性を示すなど、多くの成果をあげている。A02-2班は、地殻流体を含む岩石の標準モデルPROMの完成を目指し、流体を含む岩石の粘性構成則の確立、粒間流体の化学輸送過程の解明、雲母表面にある水の分子構造の解明など、既に多くの成果をあげた。A03-1班は、Geofluid発生源の特定と移動過程解明を目指して、温泉水・火山岩・鉱床の化学組成・同位体比の分析を行い、スラブ由来流体成分の検出とマッピング、その流体量と組成のテクトニクスを反映した系統的变化を明らかにするなど、多くの成果をあげている。さらに、化学反応を伴う多相流の基礎方程式の導出、流体反応を取り入れたマントル対流の数値モデルの構築など、移動過程解明を目指して着々と準備が進んでいる。また本研究領域では、総括研究班を設けて、分野を横断した融合研究を積極的に推進してきた。上記の地震波・電磁気同時観測、PROMの構築に加え、宮城県北東部でのGeofluid Mapの作成に、その効果が表れている。後者では、前弧域にも拘わらず最大10%に達する花崗岩質メルトの存在を示唆するなど、結果は極めて興味深いものであり、今後の発展が楽しみである。東北地方太平洋沖地震の発生にみられるように、世界で最も活動的な沈み込み帯に位置する我が国だからこそ、地殻流体の沈み込み変動に果たす役割は是非とも解明して欲しい課題であり、本研究グループが、残された期間でどこまで解明できるか、大いに期待される場所である。