

機関番号：82706

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2009～2013

課題番号：21109006

研究課題名(和文)地殻流体の発生と移動のダイナミクス

研究課題名(英文)Generation and migration dynamics of geofluids

研究代表者

岩森 光(IWAMORI, Hikaru)

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・プログラムディレクター

研究者番号：80221795

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 245,700,000円、(間接経費) 73,710,000円

研究成果の概要(和文)：地殻流体の発生、分布、移動について、以下のことが明らかとなった。(1)日本列島全域を覆う深部流体の地球化学マッピングを行い、非火山性地域においても、深部高温起源と考えられる有馬型塩水が広く分布し、地殻流体の普遍的事実の一つであること。(2)火山岩重金属同位体システムティクスに基づく日本列島全域のスラブ流体分布と量が制約され、テクトニックセッティングとの強い関連性があること。(3)鉱床鉱物のPb-Nd-He同位体比測定に成功し、重金属そのものが、沈み込むスラブに起源をもつ可能性があること。また、U-Th放射非平衡を含む微量元素輸送モデルを構築し、スラブ由来流体の移動経路と様式を制約した。

研究成果の概要(英文)：The following points have been clarified concerning generation, distribution and migration of geofluids. (1) Geochemical mapping of the geofluids over the Japan arcs show that the Arima-type brine is dominant as a geofluid. (2) Isotopic compositions of heavy elements in the arc volcanic rocks put constraints on the distribution and amount of slab-derived fluid over the Japan arcs, being strongly related to the tectonic settings. (3) Pb-Nd-He isotopic compositions of the ore deposits have been successfully analyzed, showing its potential origin from the slab-derived fluid. In addition, trace element transportation in subduction zones, including U-Th secular disequilibria, has been numerically modeled, demonstrating the migration paths and modes of slab fluids.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学・岩石・鉱物・鉱床

キーワード：地殻流体 沈み込み帯 スラブ流体 火山岩 有馬型塩水 鉱脈鉱床 同位体 数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

2000年以降世界の地球科学で「地殻流体」に対する関心が急速に高まり、専門誌 (Geofluids) が刊行され国際会議が毎年開催されるようになった。諸外国の研究者は、堆積盆、地熱帯、鉱床脈など地球表層付近に於ける「地殻流体」と岩石の相互作用を、「資源」「エネルギー」「環境」の立場から活発に研究している。一方、複数のプレートがせめぎ合う『地球上で最も激しい変動帯』に位置する日本列島は、沈み込む太平洋プレートとフィリピン海プレートに由来する熱水フラックスを受けて『蒸し焼き状態』にあり、「地震発生」および「マグマ火山活動」などの変動現象に「地殻流体」が深く関わっていることが様々な証拠から明らかにされつつある。しかし、これらの証拠は、対象となる場所やスケールに関して断片的であり、また異なる手法から得られる情報が地殻流体に直接関わるパラメータに翻訳されてはならず、有機的に結びついていない。このため、どこからどのようなメカニズムで流体が供給され(起源)、いかなる組成・相・流量のフラックスがどこに分布し(実態)、地殻流体がどのように変動現象と関わっているのか(役割)、その全体像は未解明である。これらの根源的な成因と役割を解明するには、諸外国の研究のように深さ 10km 未満の流体だけを扱うのではなく、沈み込むプレート・マントルウエッジ・地殻を一つの系とみなし、地殻流体の『根』から研究を行う必要がある。さらに、水溶液 - マグマ - 超臨界流体 - 固体の振る舞いを、ミクロな構造・素過程からマクロな発生・移動にいたる幅広いレンジで研究せねばならない。我々は、これらの重要点を早くから認識し、日本列島を地殻流体研究のための世界最高のフィールドと捉え、鉱物組織から変動帯全体のダイナミクスに至るまでを最高水準で研究してきた。しかし、それらを統合して上記の問いに答え、『変動現象の黒幕としての地殻流体の正体を暴く』には至っていない。何が地殻流体のソース物質であり(流体の源)、どのようなメカニズムにより流体が生成され(流体の発生)、いかなる組成・流量のフラックスがどこに分布し(流体の実態と移動)、どの位の資源成分、エネルギーを運搬して、どのように地学現象と関わっているのか(流体の役割)、その全体像は未解明である。

2. 研究の目的

地殻流体の実態と変動現象への役割を解明するには、地殻流体をもたらす「場」としての沈み込み帯全体での流体循環の理解が不可欠である。本計画研究では、化学反応を伴う対流の数値計算モデルおよび温泉、火山、鉱床の地球化学的キャラクタリゼーションに基づき、領域融合研究により描かれる

Geofluid Map (地殻流体分布図) に、地殻流体の発生と移動速度・経路を考慮したダイナミックな解釈を与え、変動現象との関連性を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

地殻流体の分布と性質を、

- (1) スラブから直接由来した可能性のある深部由来流体、および
- (2) スラブ由来流体の寄与が定量的に検出されつつある日本列島の火山岩、
- (3) 深部由来流体の化石としての鉱床、
によって詳細にキャラクタリゼーションし、地殻流体の発生源、組成、分布を制約する。(1)については、日本列島全域を覆う温泉水・深部地下水の地球化学マッピングを行い、特に有馬型温泉水の性質と分布を調査・研究する。(2)については、初生的玄武岩の化学組成及び Sr-Nd-Pb 同位体システムティクスを日本列島全域で捉え、スラブ由来流体の火山岩への寄与とその空間変化及びテクトニクス(沈み込むスラブの年齢、速度、形状・角度等のパラメータで表現可能)との関連性を研究する。(3)については、大規模鉱脈型鉱床である豊羽鉱山の鉱床鉱物の地球化学的キャラクタリゼーションとともに、周辺の母岩及び火山岩との関係性を詳細に研究する。
- (4) これらの地球化学的キャラクタリゼーションに必要な、質量分析計、レーザーアブレーション装置を用いた分析技術開発を合わせて行う。
また、地球化学的に捉えられる地殻流体の分布と性質を、発生源から地表までの輸送過程と結び、動的なイメージを制約するため、
- (5) 固液 2 相流のモデリングを行う。沈み込み帯スケールのスラブの沈み込み、マントル対流と温度・圧力・流れ場構造、脱水反応を含む相平衡、生成流体と固体との反応、含水鉱物やメルトの生成を包括する数値モデルと、それらに微量元素分配を組み込むことにより、動的過程と地表での地球化学観測を結ぶ。同時に、
- (6) 火山岩について U-Th 放射非平衡の測定を行い、地殻流体輸送の時間スケールを制約する。

4. 研究成果

- (1) 温泉水：まず、全国各地の地下水の主要化学組成および軽元素同位体分析を行い、日本列島において深部に由来する成分を検出することを目指した。その結果、天水とは異なる深部由来の指標として、Cl 濃度が 200mg/L 以上の塩水であり、かつ Li/Cl 重量比 > 0.001 であることを提案した(風早ほか、2014)。この指標は、有馬型温泉水等の Li/Cl 比が海水の 100 倍以上の値を持つこと、及び油田鹹水や古海水等の Li/Cl 比とも 0.001 で

区分可能なこと等から設定された。次に、この指標を用いた日本列島における深部由来流体の分布を示す。中部日本や九州などはデータ密度が低い、深部由来流体は第四紀火山地域及び構造線・断層の近傍に分布しており、深部低周波(DLF)地震の分布と一致するようである(風早 他 2014)。東北日本弧ではほとんどが第四紀火山近傍に分布し、高い地殻熱流量値の分布と一致する。一方、西南日本弧では地殻熱流量値の分布とは関係なく、前弧側にも多く分布する。また、地震の震源深度分布が浅い地域(D90 が小さい値の分布)と整合的分布を示すこともわかった。これらのことから、深部由来流体は、東北日本弧では主にマグマに由来し、西南日本弧では、少なくとも2種類(マグマ由来のものと、有馬型に代表されるような直接スラブから上昇するもの)が存在すると考えられる。マグマに由来する水は、弱酸性のNaCl-HCO₃(CO₂)-SO₄型が多いため、地殻深部でマグマ固化時に放出された熱水と考えられる。また、浅発微小地震の分布と一致することから、地震発生と熱水上昇には何らかの関係があると考えられる。東北日本弧と西南日本弧での深部由来流体の上昇域の違いは、沈み込み帯における水循環システムに原因があると思われる。一方、火山岩で制約されてきたスラブ起源流体の検出の為に、特定の元素(原子量大きい・流体に移動しやすい・放射性)の抽出が不可欠である。温泉水に対して抽出可能なレベルにする手法を開発中であり、その第一試行として、有馬温泉水中の重元素抽出方法を考案し、分析を試みた。その結果、フィリピン海プレート由来のスラブ起源流体と同じ重元素同位体比が確認された。これは、フィリピン海プレートから、直接、スラブ起源流体が上昇していることを示す(Nakamura et al., 2014)。日本列島全域に適用できれば、火山のない前弧域で流体をマッピングできる可能性があり、沈み込み帯全体における水収支を考えることに繋がる。本研究の成果は、他の班により得られる Geofluid map 等と比較検討され、日本列島における地殻流体像を物質科学的側面から補強することができると考えられる。

(2) 火山岩：微量元素組成、Sr-Nd-Pb システムマティクス、及び溶融モデリングに基づく日本列島全域のスラブ流体分布と量が制約され、テクトニックセッティングとの強い関連性が判明した(Nakamura & Iwamori, 2013; Kimura & Nakajima, 2014)。特に、中部日本は、二重の沈み込みによりマントルが冷却されており、かつ(定説ではスラブ溶融を伴う高温場で産すると考えられている)アダカイトを産する。主成分・微量元素・同位体を用いた解析とモデリングから、これらは、二重のスラブからの多量の流体付加 + 低温場でのガーネットを含む深部少量溶融が合わさって生成

されたことが分かった。中部日本では合計1%オーダーの流体がフィリピン海プレートと太平洋プレートの両方からもたらされ、これが特異な火成活動を生む原因であることが分かった。

(3) 鉍脈鉍床：従来の定説によると、日本列島の熱水性鉍床(鉍脈鉍床、スカルン鉍床)は、マグマから発生した熱水溶液(マグマ水)もしくはマグマを熱源として循環した天水が、周囲の岩石と反応しながら熱水溶液となり、それらから資源となる硫化鉍物などが沈殿・濃集して生成したものと考えられている。こうした定説は、熱水溶液の溶媒である“水”の、水素や酸素などの軽元素の安定同位体の研究から生まれたものであり、溶質である鉍床そのものを構成する金属元素の同位体などを用いて、熱水溶液の起源を探究した研究例は相対的に非常に少ない。熱水性鉍床の生成に、スラブ由来の深部流体が“直接的に”関わっている可能性があると考えている(Fujinaga et al., 2012)。また、熱水性鉍床は日本全域に広く分布しているため、日本列島に供給される地殻流体の空間分布を広く捉える恰好の試料となりうる。さらに、様々な年代(第四紀~白亜紀以前)に形成されたものであるため、その時空間分布から地殻流体の進化をも明らかにできると期待され、まさに「地殻流体の化石」であるといえる。そこで、第四紀(2.9~0.5Ma)に形成された非常に若い鉍床であり、かつては世界一のIn鉍床として知られた北海道の豊羽鉍床に焦点を絞り、スラブ起源流体が鉍床生成にどのように寄与しているのかを探るために、硫化鉍物試料(方鉛鉍、閃亜鉛鉍、黄銅鉍、黄鉄鉍など)26試料と、関係火成岩や胚胎母岩などの周囲の岩石15試料について、PbおよびNd同位体比組成分析を行った。その結果、豊羽鉍石のPb同位体比組成は、熱源マグマと考えられている無意根火山岩と胚胎母岩との混合線上にはプロットされず、PAC-fluid(太平洋プレート起源流体)の組成に向かってシフトする傾向を示す。このことから、熱水性鉍床の生成にスラブ起源流体が寄与していることが示唆される。また、Pb同位体組成とNd同位体組成のプロットを見ると、豊羽鉍石と無意根火山岩はいずれもDMM(depleted MORB mantle)とPAC-fluidを結ぶ混合曲線上にプロットされるが、鉍石の組成は火山岩よりも明らかにPAC-fluidよりの組成を示す。次に、このPb-Nd同位体比組成に基づき、豊羽鉍床の鉍化熱水に付加するスラブ起源流体の割合について計算を行った。この計算の結果、豊羽鉍床に付加したスラブ起源流体の割合は重量比で0.56 wt%であり、無意根火山岩(0.37 wt%)と比べると有意に高い値である、PAC-fluidのPb濃度はDMMの約840倍であることから、豊羽鉍床のPbのおよそ80%がスラブ起源流体に由来すると考えられる。最後に、スラブ起源流体

の寄与を加味した豊羽鉛床の生成モデルとして、スラブ起源流体のみによる Pb 供給モデル、スラブ起源流体とマグマ水の混合による Pb 供給モデルを想定し、検討を行った。その結果、2つのモデルから計算されるいずれの Pb 供給量も、これまでの豊羽鉛床の Pb 生産量(53万トン)を十分に説明できるという結果となった。以上のことから、豊羽鉛床のような大鉛床の生成にはスラブ起源流体の寄与が極めて重要であると言える。

(4) 手法の開発：深部流体の地球表層への寄与を把握するための新たな指標として、ホウ素同位体比に注目している。ホウ素には質量数 10 と 11 の二つの安定同位体が存在し、天然では -10% から +40% 程度の変動が報告されている。ホウ素は岩石 流体反応において流体側に大きく分配される元素であるが、同時に、重い ^{11}B が選択的に流体側に分配され同位体分別を起こす。これは、岩石(+/-数%程度の範囲)に比べ、海水が非常に重いホウ素同位体に富んでいること(+35%)と整合的である。しかしながら、表面電離イオン化法を用いた質量分析上の問題(繰り返し測定精度の低さや必要試料量の多さ等)から、その適用が限られていた。そこで、微量な試料量で迅速な同位体分析を行うことが可能な誘導結合プラズマ質量分析を推進し、試料導入ライン内側への試料中のホウ素の吸着による大きなメモリー効果や、質量スペクトル上での $^{40}\text{Ar}^{4+}$ の ^{10}B との干渉などの問題点を克服しながら、温泉水・地下水と岩石試料に応用するための手法開発を行った。具体的には、ホウ素と化学的挙動の似たケイ素やアルミニウムの干渉について、試料ライン洗浄溶液の最適化や補正方法の検討などを繰り返し、分離法・測定法の最適化を行うとともに、大気中に存在するホウ素の対象試料への混入についても、実験室内からホウ素を出さない仕組みや効率的に大気中のホウ素を除去するシステムを確立した。その結果、約 50ng のホウ素量でさまざまな温泉水・地下水や岩石試料の $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ 比を +/-0.2% ~ +/-0.4% の繰り返し再現性で分析できる仕組みを確立することに成功した。温泉水・地下水のうち深部由来流体と考えられる Li/Cl 比が高い試料について、 $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ 比を測定したところ、日本列島の前弧から背弧に向かって小さくなる傾向があることがわかった。一方、従来から、島弧火山岩にも同様の傾向があることがわかっている。これらを整合的に解釈するには、双方にスラブ起源流体の寄与があると考えるのが妥当であろう。沈み込むスラブから深部流体が脱水するとき、上記の岩石 流体反応により流体側は重いホウ素同位体に富む。相対的に残ったスラブ側の同位体比は軽くなる。さらに沈み込みの進行と共に同様の過程が起これるとすると、次第に残ったスラブはとても軽い値をとるようになり、結果として吐き出された流体

も徐々にホウ素同位体的に軽くなる。つまり、スラブの脱水反応の進行とともに B 同位体分別が生じると解釈できる。

また、鉛脈鉛床の局所鉛同位体分析を高精度・高空間分解能で行う分析手法を確立した。フェムト秒レーザーを利用して試料を掘削し、その飛び出した微粒子を一度液中に捕集する、液中レーザー掘削法(LAL法)を確立し、直径約 100 ミクロン、深さ約 25 ミクロンの空間分解能から、+/-0.01%より高精度で各層準から鉛同位体比を測定することが可能となった。これによって、東京大学の加藤・藤永らにより採取された熱水性の硫化鉛鉛脈鉛床のうち、層構造が発達した細倉鉛山の試料について、硫化鉛の層準ごとの僅かな鉛同位体比変化を検出し、そのトレンドから鉛床の鉛のもととなった端成分を推定することに成功した。鉛試料(約 5cm x 10cm x 1cm)には全部で 4 つの硫化鉛の沈殿ステージが観察から認められ、そのステージごとに徐々に鉛同位体比は堆積物の持つ同位体比に近づく傾向があることを明らかにした。

(5) 数値モデリング：沈み込み帯スケールのスラブの沈み込み、マントル対流と温度・圧力・流れ場構造、脱水反応を含む相平衡、生成流体と固体との反応、含水鉛物やメルトの生成を包括する数値モデルと、それらに微量元素分配を組み込むことに成功した。その結果、流体発生・移動、固相との反応と粘性構造変化、温度・固相流れ場の変化の非線形相互作用を初めて解き、火山弧の位置や幅、地殻熱流量、地震波速度構造を観測制約条件として、現実の流れ場・地殻流体分布の制約を行った。また、微量元素分配、輸送を組み込み、火山岩組成や深部流体組成との対比を行うことが可能となった。特徴的な組成(例えば、火山岩中の Pb スパイク)の説明と、沈み込み帯スケールの流体力学的モデルを初めて両立した(Ikemoto and Iwamori, 2014)。また、地殻内部の流体挙動を考えるにあたっては、多相流体の存在と媒体の変形の両者を念頭に置く必要があることがしばしばある。このような問題に対処するためには、多相流体存在下の多孔質弾性挙動に関する適切な理解をするとともに、それを表現できる構成関係が不可欠となる。既存研究においては、熱力学的に矛盾のない形で、多相流体存在下の多孔質弾性挙動を表現する構成関係が示されてはいるが、残念ながら、その挙動を表現するための物性を実験的に求めることが不可能であり、実際の問題に適用できるものとはなっていなかった。我々は、いわゆる「思考実験」を通して理論的な厳密性を保ちながら、実用性を備えたものとしての構成関係を導出することに成功した。その評価のために、室内実験と新たに導出した構成関係に基づく数値シミュレーションとの比較を行った。その結果、新たに導出した構成関係は、実験結果を極めてよく再現することが明ら

かとなり、多相流体が存在する状態における多孔質材料の弾性変形と多相流体挙動を表現するための方法が確立したといえる。

(6) U-Th 放射非平衡による流体移動の時間制約：火山岩に観測される U-Th 放射非平衡は、マグマの発生に寄与した物質の起源（ウェッジマントル・スラブ由来流体など）や、マグマ発生のメカニズムをひもとくうえで重要なトレーサーであり、原理的には起源物質がマントルウェッジ内を通過して地表に達する時間に関する情報を得ることができる。そこで、まず、高精度の U-Th 放射非平衡データが得られていなかった東北日本の火山岩に注目し、5つの火山（岩手、秋田駒ヶ岳、焼山、八幡平、寒風）から採取された18試料の U-Th 放射非平衡を測定した。その結果、ほとんどの試料は U-Th 放射非平衡をもち、前弧の岩手火山では U に富む非平衡が確認された。非平衡の度合いは島弧横断方向に変化し、最も背弧側の寒風では Th に富む非平衡が確認された。これはスラブ面深度の増加に伴ってスラブから放出される流体の化学組成が段階的に変化することを意味する。東北日本を含む、西太平洋周辺の沈み込み帯の U-Th 放射非平衡は、ほとんどが U に富む放射非平衡を持ち、また、単一の島弧に属する試料は、U-Th 図を描いた場合、右上がりのトレンドを示す。一方、マントルダイナミクス、鉱物の相平衡、および流体・メルトへの微量元素分配を組み込んだ数値計算を行うことで、島弧初生メルトがもつ U-Th 非平衡を再現しようとする、初生メルトは U に富む非平衡を示し、浅い傾きと急な傾きをもつ2つのトレンドを形成することが明らかとなった。これは従来考えられてきた、スラブ由来流体の U/Th 比は無量大であるとモデルを否定するものであり、初生メルトの輸送時間は従来モデルよりはるかに短い可能性を示唆している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 170 件)

Uno M., H. Iwamori, H. Nakamura, T. Yokoyama, T. Ishikawa, and M. Tanimizu, Elemental transport upon hydration of basic schists during regional metamorphism: geochemical evidence from the Sanbagawa metamorphic belt, Japan. *Geochem. J.*, 48, 29-49, 2014, 査読有
Suda K., Y. Ueno, M. Yoshizaki, H. Nakamura, K. Kurokawa, E., Nishiyama, K. Yoshino, Y. Hongoh, K. Kawachi, S. Omori, K. Yamada, N., Yoshida, S. Maruyama, Origin of methane in serpentinite-hosted hydrothermal systems: The CH₄-H₂-H₂O hydrogen isotope systematics of the Hakuba Happo hot spring, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 386, 112-125, 2014, 査読有

風早康平, 高橋正明, 安原正也, 西尾嘉朗, 稲村明彦, 森川徳敏, 佐藤 努, 高橋 浩, 大沢信二, 尾山洋一, 大和田道子, 塚本 齊, 堀口桂香, 戸崎裕貴, 切田 司, 西南日本におけるスラブ起源深部流体の分布と特徴, *日本水文科学会誌*, 44, 3-16, 2014, 査読有
Kimura J.-I. and Nakajima J., Behaviour of subducted water and its role on the arc magma genesis in the NE Japan arc: A combined geophysical and geochemical approach, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2014, DOI: 10.1016/j.gca.2014.04.019, 査読有

Ikemoto, A., H. Iwamori, Numerical modeling of trace element transportation in subduction zones: implications for geofluid processes, *Earth Planet and Space*, 66, 26, 2014, doi:10.1186/1880-5981-66-26 査読有

Iwamori, H., Nakakuki, T., Fluid processes in subduction zones and water transport to the deep mantle, In: *Physics and Chemistry of the Deep Earth* ed. S. Karato, Elsevier, Amsterdam, 446-468, 2013, DOI: 10.1002/9781118529492.ch13, 査読有
Nakamura, H., Iwamori, H., Generation of adakites in a cold subduction zone due to double subducting plates, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 165, 1107-1134, 2013, 査読有

Ueki, K., Iwamori, H., Thermodynamic model for partial melting of peridotite by system energy minimization, *Geochim. Geophys. Geosyst. G3.*, 14, 342-366, 2013, doi:10.1029/2012GC004143, 査読有
Asaoka, S., Y. Takahashi, Y. Araki, M. Tanimizu, Comparison of antimony and arsenic behavior in an Ichinokawa river water-sediment system, *Chem. Geol.*, 334, 1-8, 2012, 査読有

Iwamori, H., Nakamura, H., East-west mantle geochemical hemispheres constrained from Independent Component Analysis of basalt isotopic compositions, *Geochem. J.*, 46, e39-e46, 2012, 査読有

Aichi, M. and Tokunaga, T., Thermodynamically consistent anisotropic constitutive relations for a poroelastic material saturated by two immiscible fluids, *Intern. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 48, 580-584, 2011, 査読有
Kato, Y., Fujinaga, K., Nakamura, K., Takaya, Y., Kitamura, K., Ohta, J., Toda, R., Nakashima, T. and Iwamori, H.: Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements, *Nature Geoscience*, 4, 535-539, 2011, 査読有

Kuritani, T., Ohtani, E., Kimura, J.-I., Intensive hydration of the mantle transition zone beneath China caused by ancient slab stagnation, *Nature Geoscience*, 4, 713-716, 2011, doi: 10.1038/NGEO1250, 査読有

Ohwada, M., K. Kazahaya, J. Itoh, N. Morikawa, M. Takahashi, H. A. Takahashi, A. Inamura, M. Yasuhara, H. Tsukamoto, Passive degassing of magmatic volatiles from Iwate volcano, NE Japan, based on three-dimensional measurement of helium isotopes in groundwater, *J. Geophys. Res.* 117, B2, 2011, doi:10.1029/2011JB008532, 査読有

Tokunaga, T., Shimada, J., Kimura, Y., Inoue, D., Mogi, K. and Asai, K., A multiple-isotope ^{37}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, 査読有

Iwamori, H., F. Albarede, H. Nakamura, Global structure of mantle isotopic heterogeneity and its implications for mantle differentiation and convection, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 299, 339-351, 2010, doi:10.1016/j.epsl.2010.09.014, 査読有

Mitchell E., K. Kazahaya 8名中8番目, Nitrogen sources and recycling at subduction zones: Insights from the Izu-Bonin-Mariana arc, *Geochim. Geophys. Geosyst.* G3. G3, Q02X11, 11, 2010, doi:10.1029/2009GC002783, 査読有

Nishio, Y., Okamura, K., Tanimizu, M., Ishikawa, T. and Sano, Y.: 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, 査読有

Richard, G.C., and Iwamori, H., Stagnant slab, wet plumes and Cenozoic volcanism in East Asia, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 183, 280-287, 2010, 査読有

[学会発表](計 340 件)

Kato, Y., Deep-sea mud in the Pacific ocean as a new mineral resource for rare-earth elements, International Conference on Rare Earth Materials, 2013.4.26-28, Wroclaw Research Centre EIT+, Poland (Invited)

Iwamori, H., Fluid Processes in Subduction Zones and Global Water Circulation, Goldschmidt Conference, 2011.8.18, Prague congress centre, Czech Republic (Keynote)

[図書](計 14 件)

加藤泰浩, PHP 新書, 太平洋のレアアース泥が日本を救う, 2012, 253p

[その他]

ホームページ等

<http://www.geofluids.titech.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩森 光 (IWAMORI, Hikaru)

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・プログラムディレクター
研究者番号: 80221795

(2) 研究分担者

風早 康平 (KAZAHAYA, Kohei)

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・グループ長
研究者番号: 50356763

谷水 雅治 (TANIMIZU, Masaharu)

独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・技術研究主幹
研究者番号: 20373459

加藤 泰浩 (KATO, Yasuhiro)

東京大学・工(系)研究科(研究院)・教授
研究者番号: 40221882

横山 哲也 (YOKOYAMA, Tetsuya)

東京工業大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 00467028

徳永 朋祥 (TOKUNAGA, Tomochika)

東京大学・新領域創成科学研究科・教授
研究者番号: 70237072

栗田 敬 (KURITA, Kei)

東京大学・地震研究所・教授
研究者番号: 00111451

(3) 連携研究者

木村 純一 (KIMURA, Jun-ichi)

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・チームリーダー
研究者番号: 30241730

中村 仁美 (NAKAMURA, Hitomi)

東京工業大学・理工学研究科・特任助教
研究者番号: 60572659

藤永 公一郎 (FUJINAGA, Koichiro)

東京大学・工学研究科・特任研究員
研究者番号: 90409673