

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01871

研究課題名(和文) 高感度メタン同位体分子温度指標分析による微生物起源メタンの生成・集積過程の解析

研究課題名(英文) study on the formation and accumulation process of microbial methane by highly sensitive methane clumped isotope analysis

研究代表者

井尻 暁 (IJIRI, Akira)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(高知コア研究所)・主任研究員

研究者番号：70374212

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：メタンのクランプトアイソトープ分析のための高精度分析システムを確立し、南関東天然ガス田で採取したメタンのクランプトアイソトープ分析を行い、メタンが低温で生成した微生物起源メタンであること、これまで海底下で見つかったメタンと同様に水素の少ない環境下でゆっくりと生成し同位体平衡に達していることを明らかにした。また熊野海盆海底泥火山の掘削調査により得られたメタンのクランプトアイソトープの分析結果などを元に泥火山のメタンの90%以上が微生物によって生成されたものであり、付加体から供給される流体によってメタン生成が促進されていることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、従来の熱分解起源メタンを主成分とする天然ガス資源に対して、微生物起源メタンを主成分とするガス田やメタンハイドレートが注目されている。本研究によって明らかとなった、断層を通じた深部流体の供給によるメタン生成の促進は、我が国の沿岸域をはじめとする海洋プレートの沈み込み帯において初めて示されたメタン生成モデルである。本研究による統合的な分析手法と科学的知見は、今後の海底炭化水素鉱床の探鉱や評価技術の発展に大きく貢献することが期待される。

研究成果の概要(英文)：We established a high-precision analytical system for the clumped isotope analysis of methane, and performed clumped isotope analysis of methane sampled from the Minami Kanto Natural Gas Field, and found that methane is a microbial-origin methane produced at low temperatures, and that it produces slowly and reaches isotope equilibrium, similar to biogenic methane previously found in subseafloor. Based on the analysis of clumped isotope of methane obtained from the Kumano Basin mud volcano, it was found that more than 90% of the methane in the mud volcano was produced by microorganisms and that the methane production is promoted by the fluid supply.

研究分野：地球化学

キーワード：微生物起源メタン クランプトアイソトープ 地下生命圏

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在の産業社会を支えるエネルギーの主役である石油・天然ガスなどの炭化水素の多くは、堆積物の深部埋没に伴う有機物の熱分解を起源とすると考えられている。一方、近年、日本近海および沿岸域で確認されている、メタンハイドレートを含む天然ガスの中には、微生物によって二酸化炭素と水素から生成される微生物起源メタンが少なからず含まれることが明らかになってきている。資源として利用可能な量の微生物起源メタンが、どこでどれくらい生成されているのか、またどのように集積しているのかを知ることは、炭化水素資源探査の上でも海底下の微生物活動を介した炭素循環の解明のためにも重要である。

従来、メタンの生成過程を推定する方法として、メタンの炭素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ )とメタンの水素安定同位体比( $\delta\text{D}$ )のプロットが使われてきた。しかし、このプロットではメタンが、二酸化炭素と水素から水素資化型メタン生成によって生成したのか、酢酸の解裂により生成する酢酸解裂型メタン生成によって生成したのかという生成経路が判別できるのみである(図1)。メタンは生成した場所から流体とともに断層や破砕帯などを通じて移流・拡散していくため、実際に海底下のどこでメタン生成菌が活動しているのかを知るすべはなかった。しかし、近年、メタンの生成温度を知るための画期的な方法が発表され、その手法がメタンの生成した場所(深度)を見積もるための大きな武器になる可能性が示された(Stolper et al., 2014, *Science*)。これは、クランプアイソトープと呼ばれる、重い同位体同士である $^{13}\text{C}$ とDの $^{13}\text{C}$ -D結合をもつ特定のメタン分子( $^{13}\text{CH}_3\text{D}$ )の存在量が、メタンの生成温度に依存することを利用し、 $\Delta^{13}\text{CH}_3\text{D}$ から見積もられた温度と周囲の地温勾配から、メタンの生成深度を見積もる手法である。

### 2. 研究の目的

本研究は、海底下の微生物によるメタンの生成環境、生成速度、集積過程を定量的に把握し、資源探査や二酸化炭素の海底下貯留・再資源化の研究促進に貢献することを最終的な目標とする。そのために、メタンの生成温度の指標となる特殊な同位体分子(一つのメタン分子中に重い同位体 $^{13}\text{C}$ とD両方を含むメタン分子: $^{13}\text{CH}_3\text{D}$ )に着目し、様々な海域から得られた微生物起源メタンの $^{13}\text{CH}_3\text{D}$ 定量が可能な高感度分析システムを確立する。確立した手法を用いて、培養実験試料や、海底堆積物試料の分析を行い、陸上と海底下の微生物起源メタンの $^{13}\text{CH}_3\text{D}$ の違い(陸上は温度非平衡、海底下は温度平衡)をひきおこす要因を明らかにすることで、海底下の微生物によるメタン生成環境(水素濃度・メタン生成速度)についての制約情報を得ることを目的とする。

### 3. 研究の方法

現在、レーザー同位体分光法メタンの $\Delta^{13}\text{CH}_3\text{D}$ を測定するには、100%のメタンが5mL(25°C、1気圧)(200  $\mu\text{mol}$  相当)必要となる。現行の同位体分光システムは、試料を導入してレーザーを照射するセルの容量は0.5Lである。このセルを0.1Lのセルに交換し(メーカー(Aerodyne社)に依頼)、1/5の試料量での測定を可能にすることを試みた。しかし、レーザーが故障してしまい平成31年1月まで装置を使うことができなかった。このため分析システムの高感度化のための基礎実験が全く行えなかった。装置が使えなかった間は、クランプアイソトープ分析のための試料採取および、それまでの分析結果の解析を行った。令和元年度は修理が完了したレーザー分光装置を用いて高感度化のための基礎実験を行った。しかし、試料導入量を減らすと測定精度が非常に悪くなることがわかったために、方針を変更し、試料導入量を逆に増やすことで高精度化を図った。また、高精度、高確度の分析のために、標準試料の作成方法を検討し、メタンを白金触媒と一緒にステンレス容器に入れ200°C以上のオープンで加熱することで試料測定ごとに分析可能な標準ガスを作成した。確立した分析手法を用いて国内の天然ガス田(南関東天然ガス田)のメタンクランプアイソトープ分析を行い、微生物起源ガスとして適当な値を得ることが出来た。

### 4. 研究成果

#### (1) 熊野海盆海底泥火山におけるメタンの生成場を特定

熊野海盆海底泥火山の掘削調査により得られたメタンのクランプアイソトープの分析結果(マサチューセッツ工科大学に分析を依頼)などを元に泥火山のメタンの90%以上が微生物によって生成されたものであり、付加体から供給される流体によってメタン生成が促進されていることを明らかにした(Ijiri et al., 2018, *Science Advances*)。

地球深部探査船「ちきゅう」によって紀伊半島の南東に位置する熊野海盆の海底泥火山の頂上から200mの深さまで掘削し、泥火山内部の柱状堆積物試料(以下「コア試料」という。)を採取した。コア試料に含まれる天然ガス(メタン)の成因や生成された場所について、最先端の同位体地球化学・微生物学的手法による分析データと物理探査データを組み併せた統合的な解析の結果、泥火山の山頂から570mの深さまでメタンハイドレートが存在し、約32億 $\text{m}^3$ のメタンが存在することが明らかになった。これは、これまでに報告されていた海底泥火山一つあたりに含まれるメタン量の約10倍に相当する。さらに、その90%以上のメタンが、海底下400~700mの堆積物に生息する微生物により生成されたことが明らかになった。その環境には、さらに深部(海底下1km以深)で温度の高い付加体から、粘土鉱物の脱水によって排出

された低塩分の水が分岐断層を通じて供給され、地下微生物のメタン生成を促進していると考えられる。

本研究成果は、海洋プレート沈み込み帯における流体の成因と移動プロセスが海底下の微生物による天然ガス生産に深く関与していること、さらに海底下の微生物活動がこれまで認識されてきた以上に地球の炭素循環に大きく寄与している可能性を示している。今後、地球ダイナミクスと生命圏との関わりや、海底下における炭化水素資源の生成メカニズム等を理解する上で非常に重要な発見となる。

泥火山は、地下深部で形成された泥質流体（水やガスを多く含む泥質堆積物）が表層に吹き上がってできた円錐形の高まりで、世界各地の大陸縁辺域に分布している。それらの泥火山の活動は、地下深部で生成された物質を、大気や海洋といった表層環境に供給する役割を担っている。特に、陸上および浅海の泥火山から放出されるメタンは、大気中のメタンの重要な放出源の一つとなっている。メタンは、大気中において強力な温室効果ガスの一つである一方で、地下に存在する天然ガス・エネルギー資源としても重要である。地下に存在するメタンは、地下浅部において微生物によって生成される「微生物起源メタン」と、80°Cを超える高温下で有機物が分解されることにより生成される「熱分解起源メタン」がある。これまでの研究では、陸上泥火山から放出されるメタンの炭素・水素安定同位体比や、メタンとその他の炭化水素ガス（エタン、プロパン）との濃度比のデータなどから、泥火山におけるメタンの約80%が熱分解起源メタンであると考えられていた。また、泥火山の表層環境では、微生物が深部から供給される有機物などを使ってメタン生成しているという結果も報告されている。

現在、地下深部からの流体・エネルギーの供給により支えられている微生物生態系が存在するかどうかは、科学掘削により明らかにするべき命題の一つとなっている。一般的に海底下の環境は、深くなるにつれ温度が高くなっていく。生命を構成する核酸やタンパク質などの生体高分子は、温度が増すにつれ急激に損傷率が高くなることから、地下で生命（微生物）が生体高分子の損傷を修復しながら存続していくためには、細胞内の酵素を機能させるための水やエネルギー基質の持続的な供給が不可欠であると考えられている。これに対して泥火山では、微生物生態系を支えるために必要な水やエネルギー基質が地下深部から継続的に供給されている可能性がある。しかし、これまで泥火山では、海底下数メートルまでの表層の堆積物が調査されていたが、それより深部の微生物活動や炭素循環については知見がなかった。

そこで本研究では、2009年と2012年に地球深部探査船「ちきゅう」により、紀伊半島沖南海トラフ熊野海盆に位置する第5泥火山の山頂から海底下200mまでの科学掘削を行い、採取されたコア試料を用いて、泥火山深部における流体移動や生成プロセス、地下微生物活動等に関する詳細な調査を行った。

第5泥火山から掘削により得られたコア試料を分析した結果、メタンハイドレートの存在が確認された。「ちきゅう」に搭載されたハイブリッド保圧コアシステムを用いて現場の圧力を保持したままメタンハイドレートを採取し、コア試料に含まれるメタン濃度を測定した結果、その濃度は現場での溶解度を超える高い濃度（>100 mM）であり、堆積物中のメタンの大部分はメタンハイドレートとして存在していることがわかった。第5泥火山の水深と、掘削中に海底下120mまで測定された地温勾配（0.029°C/m）のデータから、メタンハイドレートは山頂から570mの深さまで安定して存在し、そのメタンの総量は32億m<sup>3</sup>と見積もられた。これは、これまでに報告されている海底泥火山一つあたりのメタン量よりも10倍以上多い量である。

また、コア試料から抽出した天然ガスの化学組成とメタン・二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の炭素・水素同位体組成を分析した結果、メタンの90%以上は微生物により生産されたものであり、主にCO<sub>2</sub>と水素（H<sub>2</sub>）からメタンが生成されたものであることが明らかになった（図1A-C）。加えて、他の南海トラフ域で見つかっている微生物起源ガスと比較して、メタン・CO<sub>2</sub>ともに、その炭素同位体比が<sup>13</sup>Cに富んだ重い値を示した。これは、地質学的時間をかけて微生物によるメタン生成が進み、CO<sub>2</sub>が大量に消費された結果、同位体分別効果によりCO<sub>2</sub>が<sup>13</sup>Cに富み、そこから生成するメタンも<sup>13</sup>Cに富むようになったためであると考えられる。

さらに、放射性炭素（<sup>14</sup>C）で標識された<sup>14</sup>CO<sub>2</sub>を添加して堆積物を培養した結果、CO<sub>2</sub>還元型のメタン生成活性が確認された。この結果は、泥火山から噴出される堆積物の中にH<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>からメタンを生成する微生物（メタン菌）が存在することを示している。さらに、メタンの生成温度を見積もることができる安定同位体分子指標（クランプトアイソトープ）の分析結果は、微生物によるメタン生成が16~30°C付近の地層（海底下300~900m）で起きていたことを示した（図1D）。また、熊野海盆における海底下構造探査により、高間隙水圧（ガス含む）帯が海底下700m付近の分岐断層に沿って分布し、泥火山はこの高間隙水圧帯から噴出していると考えられる。メタンのクランプト同位体によって見積もられたメタン生成帯は、この高間隙水圧帯の深度と一致しており、メタンは泥火山噴出堆積物の起源となる地層（リザーバー）中で生成していると考えられる。一方で、泥火山の噴出堆積物に含まれる間隙水を化学分析した結果、60~150°C（推定海底下3~13km）で起こる粘土鉱物の脱水反応に由来する低塩分の水（海水の約1/4の塩分）が、付加体から断層を通じて供給されていることが明らかとなった。さらに、泥火山堆積物から、中温（40°C）を至適生育温度とし、非常に低い塩分を好む水素資化性（CO<sub>2</sub>還元型）のメタン生成菌が単離・培養された。この生育条件は、メタンのクランプト同位体で見積もられた生成温度や、間隙水の化学分析から明らかとなった低塩分の環境と一致する。これらの結果は、付加体から断層を通じて供給される低塩分の水によって、微生物によるメタン

生成が促進されている可能性を示唆している。CO<sub>2</sub>還元型のメタン生成には、エネルギー源となるH<sub>2</sub>が必要であるが、泥火山堆積物中の水素ガス濃度は最高で数10 μMと一般的な海底堆積物中のH<sub>2</sub>濃度(数nM)より一万倍以上も高いことがわかった。このH<sub>2</sub>の起源については不明であるが、深部起源の水と共に、付加体の断層を通じて供給されていると考えられる。

第5泥火山のメタンの特徴として、重い炭素(<sup>13</sup>C)に富んでいることが挙げられる。一般的に、<sup>13</sup>Cに富んだ重いメタンは熱分解起源メタンと考えられていたが、本泥火山のメタンの約90%は微生物起源メタンであることが明らかになった。本研究の成果は、世界各地の海洋底に存在する泥火山にメタンハイドレートとして存在するメタンや、泥火山から大気・海洋へ放出される温室効果ガスとしてのメタンに関して、地下微生物の活動が従来考えられていたよりも大きい可能性を示唆する。

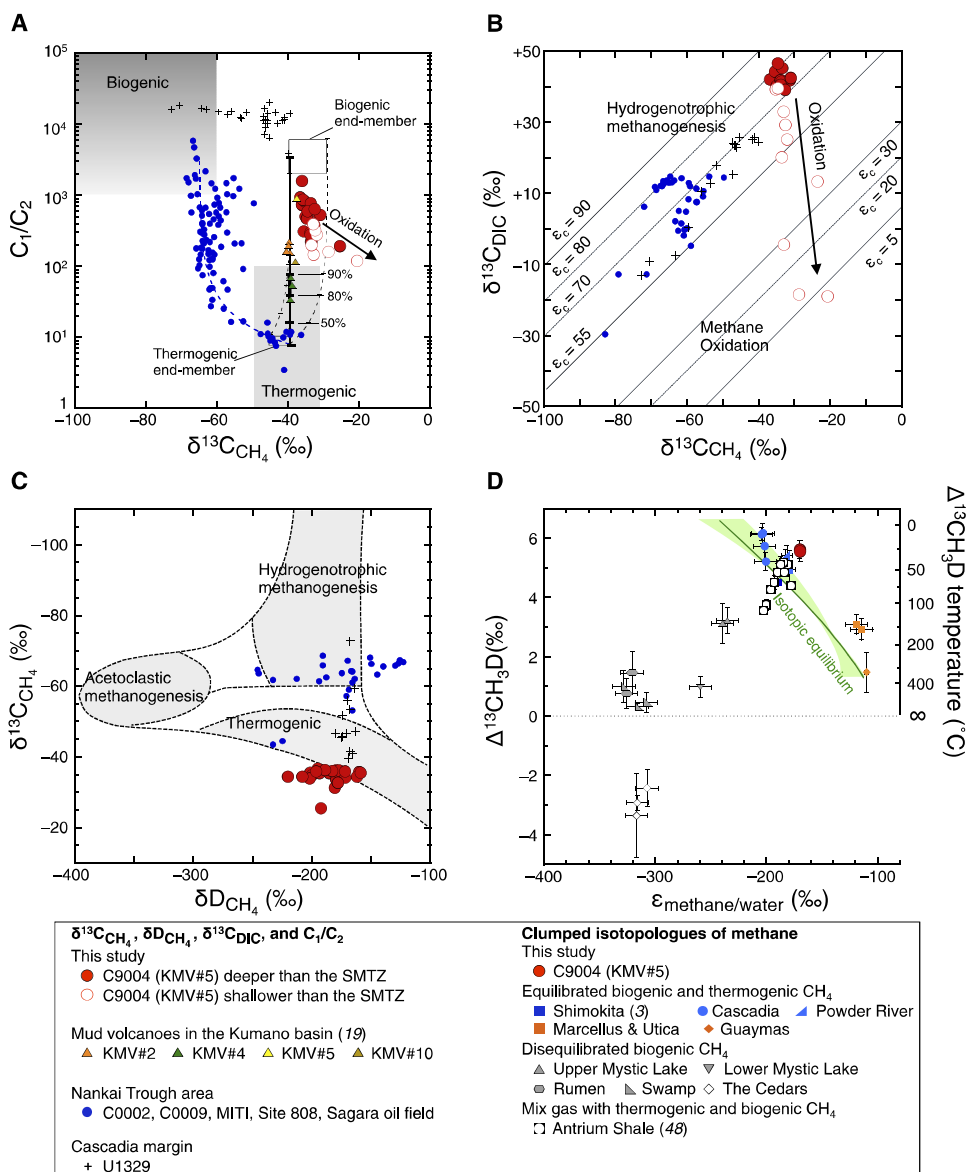


図1. (A)メタン炭素同位体比対メタン/エタン濃度比。(B)メタン炭素同位体比対溶存無機炭酸炭素同位体比。(C)メタン水素同位体比対メタン炭素同位体比。(D)メタン-水間の水素同位体分別対メタンクランプト同位体およびクランプト同位体から見積もった温度。泥火山のメタンは、南海トラフ域で見つかった通常の微生物起源メタンに比べて炭素同位体比が大きい(<sup>13</sup>Cに富んでいる)。これは大量に消費された結果<sup>13</sup>Cに富んだCO<sub>2</sub>からメタンが生成されたためと考えられる。メタンの水素同位体比と炭素同位体比からメタンは水素資化型メタン生成によって生成したことが示唆される。クランプト同位体から見積もられた温度は約30°Cを示す。

本研究により、海底泥火山堆積物中には、メタンハイドレートとして存在するメタンの量が従来の試算よりも一桁多いこと、微生物起源メタンの寄与がこれまで考えられていたよりもはるかに大きいことが明らかとなった。

泥火山はメタンの大気・海洋への重要な放出源の一つであり、大気中のメタンは強力な温室効果ガスであることを考えると、海底下に生息する微生物の活動は、地球規模の大気・海洋の炭素循環に重要な役割を果たしていると考えられる。

近年、従来の熱分解起源メタンを主成分とする天然ガス資源に対して、微生物起源メタンを

主成分とするガス田やメタンハイドレートが注目されている。本研究によって明らかとなった、断層を通じた深部流体の供給によるメタン生成の促進は、我が国の沿岸域をはじめとする海洋プレートの沈み込み帯において初めて示されたメタン生成モデルである。本研究による統合的な分析手法と科学的知見は、今後の海底炭化水素鉱床の探鉱や評価技術の発展に大きく貢献することが期待される。

### (2) 掘削航海、調査航海によるメタン試料の採取

平成 29 年度、地球深部探査船「ちきゅう」を用いた表層科学掘削プログラム (Chikyu Shallow Core Program: SCORE) による、襟裳岬沖掘削に参加し、メタン生成が速く進行していると考えられる海底堆積物およびガス試料の採取を行った。得られた試料中のメタン濃度は非常に高く、船上でのメタン/(エタン+プロパン)濃度比の分析結果からほぼ 100%が微生物起源メタンであることが示唆される。この試料はメタン生成速度が速い海底堆積物中のメタンとして、クランプトアイソトープが温度平衡に達しているかどうかを調べるのに最適な試料になると期待される。平成 30 年度、国際深海科学掘削計画 (IODP) 第 358 次航海に参加し、メタンのクランプトアイソトープ分析のための試料を採取した。この掘削航海では世界最深の海底下 3200m から試料を得ることが出来た。さらに、熊野海盆深部のガス試料も採取することができたため、クランプトアイソトープ分析によって海底泥火山のガスとの比較により微生物起源ガスの生成過程を調べるために最適な試料となると期待される。令和 2 年度 8 月に種子島沖にて実施した学術研究船「白鳳丸」による KH-19-5 調査航海において、種子島沖の第二、第三泥火山において自航式深海底サンプル採取システム(NSS)を用いた海底観察およびピストンコアラによる柱状堆積物試料の採取を行った。間隙水の化学分析の結果、第三泥火山は、泥が噴出した直後であり今も活発に活動していることが示唆された(令和元年度地質学会で発表)。

### (3) 南関東天然ガス田のメタンクランプトアイソトープ分析

南関東天然ガス田で採取された天然ガス試料からメタンを精製し、そのクランプトアイソトープおよび、炭素・水素同位体比を測定した。

南関東天然ガス田は、千葉県を中心とした南関東一帯に分布する日本最大の水溶性天然ガス田でありガスの主成分はメタンである。その成因については古くから研究されており、ガスの化学組成、炭素・水素同位体組成から微生物起源メタンが地層水に溶解していると考えられている。メタンのクランプトアイソトープの分析はこれが初めての研究例となる。

レーザー同位体分光装置で予察的に測定した炭素同位体比と水素同位体比は、 $-65.4\%$ 、 $-174.3\%$ であり、先行研究と同じくメタンが水素資化型のメタン生成によって生成したことが示唆される。またメタンのクランプトアイソトープから見積もられた生成温度は  $60^{\circ}\text{C}$  以下であった(未公表データにつき値はふせる)。メタンのクランプトアイソトープから見積もられた生成温度もまたメタンが低温で微生物によって生成された可能性を支持する。関東平野の地中温度の分布から  $60^{\circ}\text{C}$  以下の温度は地下 1500m 以浅に相当し、これはガス胚胎域の深度(2500m 以浅)の範囲内に入る。このことからメタンは、現在のガス胚胎域で生成されたと推定される。

特筆すべきは微生物起源メタンのクランプトアイソトープが低い温度を示したことである。陸上の湿地、牛の胃、培養されたメタン菌から得られる微生物起源メタンのクランプトアイソトープから見積もられた生成温度は、実際の生成温度とは大きくかけ離れた著しく高温(～400 )を示すことが報告されている(Wang et al., 2015, *Science*)。Wang et al. (2015) は、この原因として、陸上の湿地や牛の胃では、水素濃度が高くメタン生成速度が速いため、同位体非平衡により、 $\Delta^{13}\text{CH}_3\text{D}$  がメタンの生成温度を反映しないためだと結論づけている。一方、海底堆積物中のメタンのような「地質試料」では、水素濃度が低くメタンの生成速度が遅いため、時間をかけてメタンが生成し  $\Delta^{13}\text{CH}_3\text{D}$  が平衡になり、その生成温度を反映すると考えられている。今のところ陸上の湿地や牛の胃、培養試料のように「速い」生成速度で生成したメタンの非平衡  $\Delta^{13}\text{CH}_3\text{D}$  と、海底下堆積物中の微生物起源メタンのような「ゆっくりと」生成したメタンの平衡  $\Delta^{13}\text{CH}_3\text{D}$  の境界はわかっていない。南関東天然ガス田のメタンクランプトアイソトープは低い生成温度を示したことから、この微生物起源メタンはいわゆる「海底堆積物型」で、水素濃度が低く「ゆっくりと」生成したメタンの可能性が高い。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 5件）

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>井尻暁   | 4. 巻<br>126           |
| 2. 論文標題<br>泥火山における生物地球化学過程とその意義   | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>地質学雑誌   | 6. 最初と最後の頁<br>29～37   |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br><a href="https://doi.org/10.5575/geosoc.2019.0044">https://doi.org/10.5575/geosoc.2019.0044</a>  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-             |
| 1. 著者名<br>Ijiri Akira, Haraguchi Satoru, Jimenez-Espejo Francisco Jose, Komai Nobuharu, Suga Hisami, Kinoshita Masataka, Inagaki Fumio, Yamada Yasuhiro   | 4. 巻<br>108           |
| 2. 論文標題<br>Origin of low-chloride fluid in sediments from the eastern continental margin of India, results from the National Gas Hydrate Program Expedition 02  | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>Marine and Petroleum Geology  | 6. 最初と最後の頁<br>377～388 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br><a href="https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.06.014">https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.06.014</a>  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-             |
| 1. 著者名<br>Ijiri Akira, Inagaki Fumio, Kubo Yusuke, Adhikari Rishi R., Hattori Shohei, Hoshino Tatsuhiko, Imachi Hiroyuki, Kawagucci Shinsuke, Morono Yuki, Ohtomo Yoko, Ono Shuhei, Sakai Sanae, Takai Ken, Toki Tomohiro, Wang David T., Yoshinaga Marcos Y., Arnold Gail L., Ashi Juichiro, Case David H., Feseker Tomas et al. | 4. 巻<br>4             |
| 2. 論文標題<br>Deep-biosphere methane production stimulated by geofluids in the Nankai accretionary complex   | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>Science Advances  | 6. 最初と最後の頁<br>-       |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1126/sciadv.aao4631   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）   | 国際共著<br>該当する          |
| 1. 著者名<br>Ijiri Akira, Iijima Koichi, Tsunogai Urumu, Ashi Juichiro, Inagaki Fumio  | 4. 巻<br>8             |
| 2. 論文標題<br>Clay Mineral Suites in Submarine Mud Volcanoes in the Kumano Forearc Basin, Nankai Trough: Constraints on the Origin of Mud Volcano Sediments  | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>Geosciences   | 6. 最初と最後の頁<br>220～220 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.3390/geosciences8060220   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）   | 国際共著<br>-             |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Miyajima Yusuke, Ijiri Akira, Miyake Akira, Hasegawa Takashi  | 4. 巻<br>498           |
| 2. 論文標題<br>Origin of methane and heavier hydrocarbons entrapped within Miocene methane-seep carbonates from central Japan | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>Chemical Geology  | 6. 最初と最後の頁<br>83 ~ 95 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.chemgeo.2018.09.014   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-             |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Ijiri Akira, Okamura Kei, Ohta Junichiro, Nishio Yoshiro, Hamada Yohei, Iijima Koichi, Inagaki Fumio | 4. 巻<br>52              |
| 2. 論文標題<br>Uptake of porewater phosphate by REY-rich mud in the western North Pacific Ocean                    | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>GEOCHEMICAL JOURNAL  | 6. 最初と最後の頁<br>373 ~ 378 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2343/geochemj.2.0522  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-               |

|  |                    |
|--|--------------------|
| 1. 著者名<br>Ijiri Akira, Tomioka Naotaka, Wakaki Shigeyuki, Masuda Harue, Shozugawa Katsumi, Kim Sunghan, Khim Boo-Keun, Murayama Masafumi, Matsuo Motoyuki, Inagaki Fumio | 4. 巻<br>6          |
| 2. 論文標題<br>Low-Temperature Clay Mineral Dehydration Contributes to Porewater Dilution in Bering Sea Slope Subseafloor  | 5. 発行年<br>2018年    |
| 3. 雑誌名<br>Frontiers in Earth Science   | 6. 最初と最後の頁<br>1-13 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3389/feart.2018.00036   | 査読の有無<br>有         |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>該当する       |

|   |                    |
|---|--------------------|
| 1. 著者名<br>Case David H., Ijiri Akira, Morono Yuki, Tavormina Patricia, Orphan Victoria J., Inagaki Fumio  | 4. 巻<br>8          |
| 2. 論文標題<br>Aerobic and Anaerobic Methanotrophic Communities Associated with Methane Hydrates Exposed on the Seafloor: A High-Pressure Sampling and Stable Isotope-Incubation Experiment | 5. 発行年<br>2017年    |
| 3. 雑誌名<br>Frontiers in Microbiology   | 6. 最初と最後の頁<br>1-18 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3389/fmicb.2017.02569  | 査読の有無<br>有         |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する       |

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>井尻 暁                         | 4. 巻<br>5         |
| 2. 論文標題<br>レーザー分光によるメタン同位体分子種測定        | 5. 発行年<br>2017年   |
| 3. 雑誌名<br>ぶんせき                         | 6. 最初と最後の頁<br>200 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし         | 査読の有無<br>無        |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著<br>-         |

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

|   |  |
|---|--|
| 1. 発表者名<br>Akira Ijiri, Satoru Haraguchi, Francisco J Jimenez-Espejo, Nobuharu Komai, Hisami Suga, Masataka Kinoshita, Fumio Inagaki, Yasuhiro Yamada |  |
| 2. 発表標題<br>Trap of deep sourced fluid at gas hydrate in sediments from the Krishna-Godavari Basin, eastern continental margin of India                |  |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2018年大会  |  |
| 4. 発表年<br>2018年   |  |

|  |  |
|--|--|
| 1. 発表者名<br>井尻 暁、飯島 耕一、角皆 潤、芦 寿一郎、稲垣 史生           |  |
| 2. 発表標題<br>熊野海盆海底泥火山噴出堆積物の粘土鉱物組成から推定される泥火山堆積物の起源 |  |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2018年大会                     |  |
| 4. 発表年<br>2018年                                  |  |

|   |  |
|---|--|
| 1. 発表者名<br>Ijiri A, Haraguchi S, Jimenez-Espejo F, Komai N, Suga H, Masataka M, Inagaki F & Yamada Y  |  |
| 2. 発表標題<br>Gas Hydrate Formation Associated with Migration of Deep Sourced Fluid in the Krishna-Godavari Basin, Eastern Continental Margin of India |  |
| 3. 学会等名<br>Goldschmidt 2018 (国際学会)  |  |
| 4. 発表年<br>2018年   |  |



|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Ijiri, A., Toki, T., Agena, K., Hoshino, T., Hagino, K., Hamada, Y., Machiyama, H., Ashi, J., Inagaki, F. |
| 2. 発表標題<br>Secondary Methanogenesis in Dormant Submarine Mud Volcano off Tanegashima Island, Japan                   |
| 3. 学会等名<br>Goldschmidt 2017 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>井尻暁, 濱田洋平, 土岐知弘, 安慶名昂, 星野辰彦, 萩野恭子, 町山栄章, 芦寿一郎, 稲垣史生 |
| 2. 発表標題<br>種子島沖海底泥火山群の間隙水の化学組成鉛直プロファイルから見積もられた泥火山の活動状況         |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合大会  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|                               |
|-------------------------------|
| 1. 発表者名<br>井尻暁                |
| 2. 発表標題<br>泥火山の微生物活動と生物地球化学過程 |
| 3. 学会等名<br>日本地質学会第124年学術大会    |
| 4. 発表年<br>2017年               |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                     | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)        | 備考 |
|-------|---|------------------------------|----|
| 研究分担者 | ジルベルト アレキシー<br>(Gilbert Alexis)<br>(20726955) | 東京工業大学・理学院・助教<br><br>(12608) |    |

