

南海トラフでの持続的なメタンと水素ガスの生成

～海洋プレートの沈み込みによる世界最大級の微生物メタン生成～

ポイント

- ・海洋プレートの沈み込みに伴う熱分解起源のメタンと水素ガスの生成を解明。
- ・地震発生帯でのメタンと水素ガスの生成、放出による多様なメタン活動。
- ・長大な沈み込み帯のメタン、水素ガス資源。今後の資源探査の進展に期待。

概要

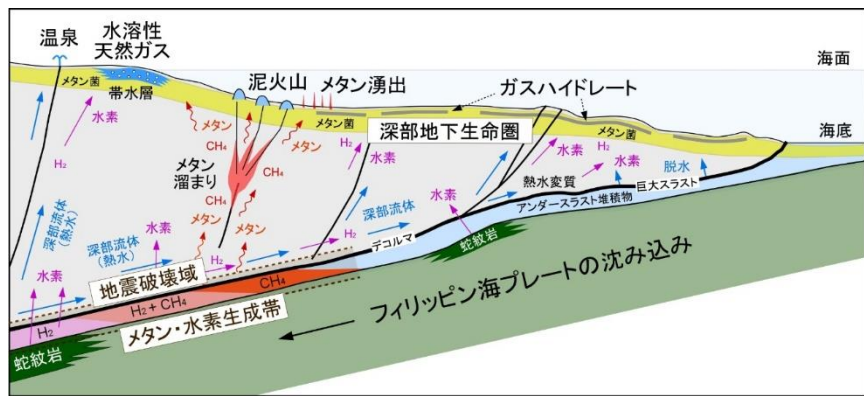
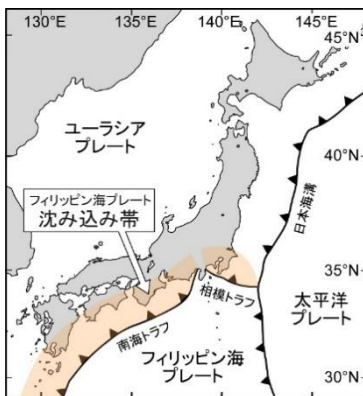
北海道大学の鈴木德行名誉教授、北海道大学大学院理学院修士課程修了の小池恒太郎氏、岡山大学の亀田 純教授と海洋研究開発機構の木村 学アドバイザー（東京大学名誉教授）らの研究グループは、南海トラフにおいてフィリピン海プレートと共に沈み込んでいる堆積物（アンダースラスト堆積物^{*1}）中で、堆積有機物の熱分解によりメタンのみならず、水素ガスも主要な天然ガスとして持続的に生成していることを初めて解明しました。

南海トラフや相模トラフの周辺には主に微生物メタンを含む世界最大級のガスハイドレートや世界最大の生産量を誇る水溶性天然ガス田が分布しています。同地域において、なぜこのように活発な微生物メタンの生成が行われているのかこれまで不明でした。水素ガスは地下深部での水素資化性メタン生成菌^{*2}による微生物メタンの生成に不可欠です。

紀伊半島沖の熊野灘付近では、熱分解起源のメタンと水素ガスの生成は過去約 220 万年間にわたって継続しており、これまでに南海トラフ 1 km あたり約 5,900 億 m³/km（日本の年間消費量の約 5 倍）のメタンを生成し、水素ガスの生成量はそれ以上であることが推定されました。フィリピン海プレートの沈み込み帯は、相模トラフから南海トラフ、南西諸島海溝を経て与那国島付近まで約 2000km あります。本研究は長大な沈み込み帯においてこれまでに莫大な量のメタンと水素ガスが生成されたことを示唆しています。フィリピン海プレートは継続して沈み込んでおり、メタン・水素生成は現在も持続的に進行しています。メタン・水素生成帯は同プレートの地震破壊域と重複しており、地震発生に伴ってメタンや水素ガスが放出され天然ガス資源の形成に寄与していることが予想されます。

今回の発見により、フィリピン海プレートの沈み込み帯における世界最大級の微生物メタン活動に関する理解が大きく深まることが期待されます。熱分解起源メタンは同地域での活発なメタン湧出や泥火山^{*3}の形成に寄与し、深部にメタン溜まりを形成している可能性があります。また、水素ガスが地下深部に貯留されている可能性もあります。フィリピン海プレートの沈み込み帯での持続的なメタン・水素生成が明らかになり、同地域での今後の資源探査の進展が期待されます。

本研究成果は、2024 年 2 月 21 日（水）公開の国際学術誌 *Communications Earth & Environment* 誌にオンライン公開されました。



(左) フィリピン海プレートの沈み込み帯

(右) 南海トラフ沈み込み帯での持続可能なメタン・水素生成と活発なメタン活動

【背景】

メタン (CH₄) は化石燃料である天然ガスの主成分で、そのほとんどが地下深部の熱によって有機物が分解して生成した熱分解起源のもので、一方、地下深部のメタンには微生物が生成した微生物起源のものもあり、新たな天然ガスとして注目されています。特に日本には莫大な量の微生物メタンが埋蔵されており、南海トラフの周辺には、微生物メタンを含む世界最大級の海洋ガスハイドレートが広域的に形成され、メタンの埋蔵量は 1.1 兆 m³ (日本の年間消費量の約 10 倍) と見積もられています。

また、南海トラフや相模トラフ付近の陸域、静岡県、宮崎県の太平洋沿岸や千葉県、茨城県、埼玉県、東京都、神奈川県にまたがる南関東一帯の地下帯水層には莫大な量のメタンが溶解しており、世界最大の水溶性天然ガスの生産が行われています。これには熱分解起源のメタンも含まれていますが、宮崎市周辺や南関東一帯の水溶性天然ガスは微生物メタンを主成分としており、その埋蔵量は 7000 億 m³ 以上と見積もられています。それ以外にも同地域の海底では泥火山形成やメタン湧出が顕著で世界に類を見ない活発なメタン活動が行われています。

しかし、南海トラフや相模トラフ付近において、なぜこのように活発なメタン活動が行われているのか、特に莫大な量の微生物メタンがなぜ埋蔵されているのかこれまで不明でした。

本地域の微生物メタンは主に水素資化性メタン生成菌によって分子状の水素ガス (H₂) と二酸化炭素 (CO₂) から化学合成されていることが分かっています。二酸化炭素は多様な物質から生成されるので堆積層中に十分存在しています。有機物の微生物分解に伴ってある程度の水素ガスが生成するので、有機物が多いほどより多くの微生物メタンが生成します。しかし、南海トラフ付近の堆積物の有機物量は 0.5% ほどで大変微量です。地層水にも水素原子が含まれていますが、通常の条件下では水が分解して水素ガスを生成することはありません。

そこで、本研究では南海トラフ沈み込み帯の地下深部で多量の水素ガスが生成しており、そのような水素ガスが深部地下生命圏にもたらされ、メタン生成菌による微生物メタンの生成に寄与しているのではないかと考えました。

南海トラフ周辺地域では巨大な地震や津波の発生が想定されており、同地域は地震防災対策の重点地域です。そのため、南海トラフ地震発生帯掘削計画等の国際的な海洋掘削計画によって南海トラフ沈み込み帯に関する多くの基礎データが蓄積されてきました。本研究では、これらの最新データを用いて地下深部で生じている堆積有機物の熱分解によるメタンや水素ガスの生成を具体的に検討しました。また、水素ガス貯蔵への関心が高まるに比例して、高温高压下での水素ガスの挙動に関する知識も増えていきます。このような最近の知見に基づいて、地下深部での水素ガスの移動や微生物メタン生成について考察しました。

【研究手法】

四国地方の高知県には白亜紀から古第三紀にかけて形成された古い付加体^{*4} (三波川帯、秩父帯、四万十帯) が分布しています。これらの泥質頁岩や泥質変成岩は 100~600°C にわたる地温を経験しており、海洋堆積物が地下に埋没する過程で生じる様々な物質変化が記録されています。これらの試料中に残留している微量なガス成分 (水素、窒素、メタン、エタン、二酸化炭素等) をパルス放電ヘリウムイオン化検出器 (PDHID) 搭載のガスクロマトグラフによって分析し、堆積有機物の熱分解に伴って生成する各種ガスの生成温度や地質時間との関係 (反応速度論的な特徴) を明らかにしました。

一方、現在の南海トラフや相模トラフではフィリッピン海プレートと共に海洋堆積物が広域的に沈み込んでいます。紀伊半島沖の熊野灘周辺は南海トラフ地震発生帯掘削計画等の国際共同研究によって研究調査が詳しく行われており、海底下の温度構造、地質構造、プレートの沈み込み速度、深部流体の活

動などが明らかにされてきました。これら最新の地質・地球物理学的条件を用いて付加体とアンダースラスト堆積物の移動速度や増温速度をそれぞれ推定しました。そして、古い地質時代の付加体や文献から得られたガス生成の地球化学的な特徴を考慮して、南海トラフの付加体やアンダースラスト堆積物中で生じている有機物の熱分解に伴うメタン・水素ガス生成の温度・深度・速度を推定しました。

【研究成果】

以上の検討によって、南海トラフ沈み込み帯では熱分解起源のメタンと水素ガスの生成はそれぞれ約190~280°Cの温度帯と220°C以上の温度帯で行われていることが推定されました（図1）。これは海底下約8km以深でメタンや水素ガスが生成していることを示しています。また、アンダースラスト堆積物はメタン・水素生成帯に十分到達しており、約220万年以前からメタンや水素ガスの生成が継続して行われていたことが予想されます。

一方、付加体がメタン生成帯に達したのは200万年ほど前で、未だ水素生成帯に十分に到達していません。現在、熊野灘付近のアンダースラスト堆積物中では南海トラフ幅1kmあたり約27万m³/年・kmの速度でメタンが生成しており、過去220万年間の総生成量は5,900億m³/kmに達することが推定されます。岩石残留ガス分析の結果から水素ガスの生成速度はメタン以上だと予想されます。また、内部付加体でのメタン生成速度はアンダースラスト堆積物の10%ほどで、これまでの総生成量もはるかに少ないことが予想されます。アンダースラスト堆積物中でのメタン・水素生成速度が大きいのは十分に高温に達し、より高速でガス生成帯を移動しているためです。

南海トラフではプレート境界深部の地震破壊域が詳しく調査されています。アンダースラスト堆積物のメタン・水素生成帯の温度と深度から、これらの深部ガス生成帯と地震破壊域が重複していることが予想されました。これは地震発生にともなってメタンや水素が放出されていることを示唆しています。加えて、メタンや水素などのガス生成圧が地震発生に影響している可能性もあります。

南海トラフ沈み込み帯では、海洋プレートの脱水によって生じた流体が活発に移動していることが知られているため、本研究ではメタンや水素の高温高圧下での熱水への溶解度についても検討しました。高温高圧下では水素の水への溶解度がメタンよりも大きく、また、水素は最も小さい分子で移動性が高いため、南海トラフ沈み込み帯に広く分散し、メタンは浮力によって主に上方へ移動する可能性が高いことを指摘しました。南海トラフ周辺では微生物メタンを主に含んでいるガスハイドレートや水溶性ガス田が広範囲に分布しています（図2）。

一方、熱分解起源メタンの分布域は深部メタン生成帯の上部付近におおよそ位置しています。このようなメタンの産状はメタンと水素ガスの地下深部における移動性の違いを反映しているのかもしれませんが、しかし、高温高圧下での水素ガスの挙動には不明な点が多く、地下深部での水素ガスの挙動を解明することは今後の課題です。

【今後への期待】

沈み込み帯の深部では、堆積有機物の熱分解による水素ガス生成のほかにも、岩石と水の相互作用による水素ガス生成（地震による岩石破壊に伴う水素ガス生成や蛇紋岩化や熱水変質作用による水素ガス生成）が進行していることが予想されます。プレート活動が盛んな日本の地下深部では非生物的水素ガス生成が盛んに行われており、日本は深部水素大国です。

フィリピン海プレートは、相模トラフから南海トラフ、南西諸島海溝を経て与那国島、台湾に至る約2,000kmにわたって沈み込んでいます。このような長大な沈み込み帯において熱分解起源のメタンや多様な水素ガスが持続的に生成し、微生物メタンの生成や活発なメタン活動を促していることが予想

されます。しかし、未だ調査研究がほとんど行われていません。また、東北日本や北海道に対して沈み込んでいるもう一つの海洋プレート、太平洋プレートにおける熱分解起源のメタンや水素ガスの挙動についても調査研究が必要です。

北海道日高沖で実施された経済産業省の基礎試錐「日高トラフ」(2019年)では、微生物起源天然ガスの産出テストが行われ、微生物メタンの一次エネルギー資源としての可能性にさらに関心が高まっているところです。また、沈み込み帯で生成している水素ガスが地下深部に貯留されている可能性もあります。日本は海洋プレートの沈み込みによる地震・津波災害や火山災害の脅威にさらされていますが、一方で、本研究は、温泉や地熱のみならず、メタンや水素ガスなどの一次エネルギー資源の恩恵も受けていることを示しています。現在、エネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)の三次元物理探査船「たんさ」によって南海トラフ周辺海域の深部物理探査が行われており、今後の進展が期待されます。

【謝辞】

東海ガス株式会社(本社:静岡県)には、水溶性天然ガスの産出状況に関してご教示いただきました。また、本研究では、室戸ユネスコ世界ジオパークにて採取した試料を使用していますが、これは同パークが、2011年に世界ジオパークネットワークへの加盟が認定される以前に採取したものであることを申し添えます。これらの試料を用いて研究成果を発表することに関し、高知県及び室戸市よりご支援を賜りました。加えて、本研究の遂行には日本学術振興会の科研費(JP21K03712)を使用しました。

本研究にご協力いただいた皆様に、改めて感謝申し上げます。

論文情報

論文名	Thermogenic methane and hydrogen generation in subducted sediments of the Nankai Trough (南海トラフに沈み込む堆積物中での熱分解起源のメタン、水素の生成)
著者名	鈴木德行 ¹ 、小池恒太郎 ² 、亀田 純 ^{1(研究当時)} 、4、木村 学 ³ (¹ 北海道大学大学院理学研究院、 ² 北海道大学大学院理学院、 ³ 国立研究開発法人海洋研究開発機構、 ⁴ 岡山大学)
雑誌名	<i>Communications Earth & Environment</i> (Springer Nature 社の電子版学術誌)
DOI	10.1038/s43247-024-01252-7
公表日	2024年2月21日(水)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学 名誉教授 鈴木德行(すずきのりゆき)
TEL 011-706-3288 (※不在の場合は011-706-2734)
FAX 011-706-3288 メール suzu@sci.hokudai.ac.jp
URL <https://researchmap.jp/read0183677>

配信元

北海道大学社会共創部広報課(〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)
TEL 011-706-2610 FAX 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

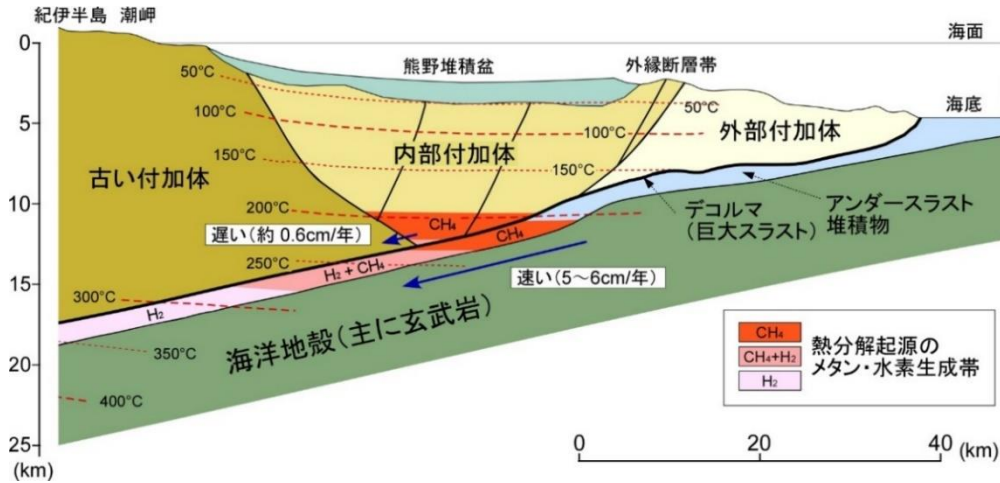


図1. 南海トラフ熊野灘地下深部での熱分解起源メタン・水素の持続可能な生成

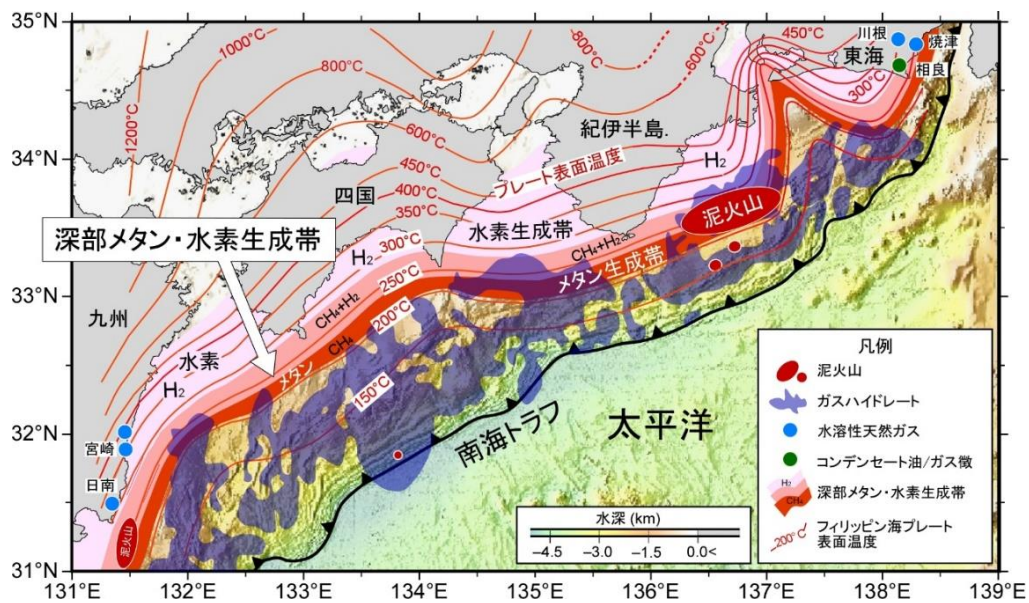


図2. 海底下の深部メタン・水素生成帯の広域的分布と活発なメタン活動

【用語解説】

- *1 アンダースラスト堆積物 … 沈み込んでいるフィリッピン海プレートの最上部滑り面はデコルマ、あるいは巨大スラスト（衝上断層）と呼ばれている。この巨大スラストの直下にある堆積物はアンダースラスト堆積物と呼ばれている（図1）。
- *2 水素資化性メタン生成菌 … 水素（ H_2 ）と二酸化炭素（ CO_2 ）を用いてメタン（ CH_4 ）を生成することができる地下生命圏の化学合成細菌。
- *3 泥火山 … 地下深部の泥水やガス（主にメタン）が地表や海底に噴出して形成された数 m から数十 m の地形的高まり。火山活動によって形成されたものではない。
- *4 付加体 … 海洋プレートが沈む込むときにプレート上の堆積物（深海堆積物や海山、海溝やトラフに集まった堆積物）がはぎ取られて大陸に押しつけられることがある。このようにして形成された地質体は付加体と呼ばれている（図1）。