

南海トラフの深海底堆積物で生きる メタン生成微生物の特徴を解明 ーメタンハイドレート成因解明の手掛かりにー

片山 泰樹¹⁾・吉岡 秀佳¹⁾・金子 雅紀¹⁾・坂田 将¹⁾・高橋 浩²⁾

本稿は 2022 年 2 月 2 日に行ったプレス発表 (https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20220202/pr20220202.html) を一部修正したものです。

ポイント

- ・メタンハイドレート¹⁾含有海底堆積物から多様なメタン生成菌²⁾を培養
- ・メタン生成における堆積物中の温度の重要性を培養実験により証明
- ・メタンハイドレートの成因の解明と、その資源量の評価に貢献

概要

国立研究開発法人産業技術総合研究所(以下「産総研」という)地質調査総合センター片山泰樹主任研究員、吉岡秀佳研究グループ長、金子雅紀主任研究員、坂田 将招聘研究員、高橋 浩主任研究員は、独立行政法人石油天然ガ

ス・金属鉱物資源機構、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構と共同で、メタンハイドレート(以下「MH」という)を埋蔵する東部南海トラフの海底堆積物から、多様な生きたメタン生成菌を培養することに成功し(写真 1)、これらの菌の性質を明らかにした。同時に、堆積物表層から MH 濃集帯までのメタン生成ポテンシャルの深度プロファイルを明らかにし、メタン生成菌の生育温度がメタン生成ポテンシャルの重要な要素であることを実験的に証明した。南海トラフに埋蔵されている MH は微生物活動によって生成されたメタンに由来すると考えられていることから、本研究による発見により深海底で起こり得る微生物によるメタン生成プロセスの条件の一端が明らかになったことで MH 形成過程の解明に近づいた。なお、この成果は 2022 年 2 月 2 日(英国時間)、*The ISME Journal* 誌に掲載された。

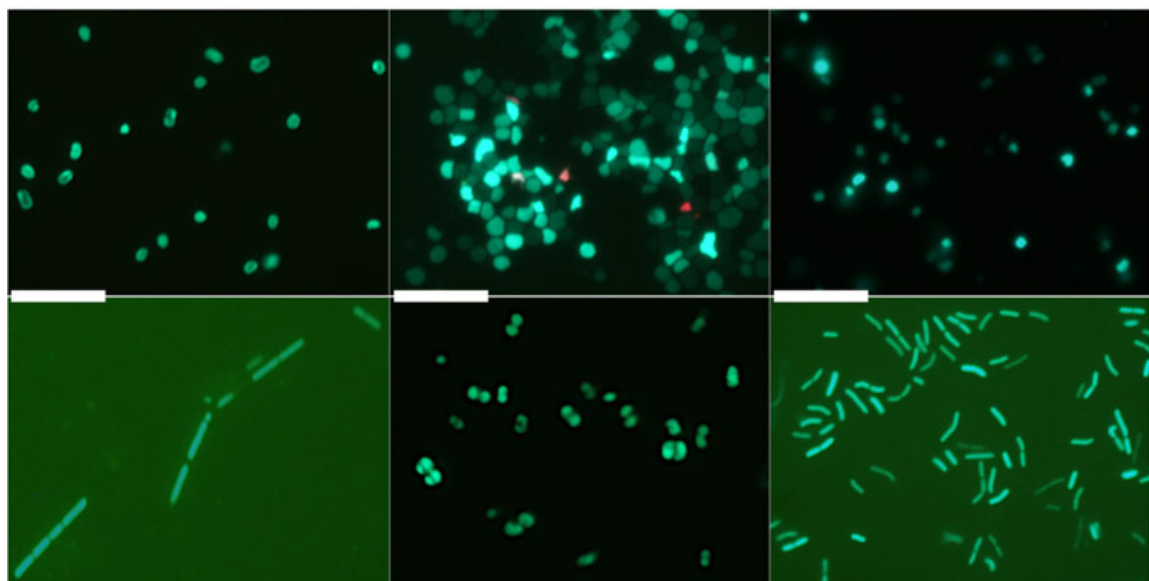


写真 1 南海トラフ海底堆積物中で生きる多様なメタン生成菌の蛍光顕微鏡写真(左上から時計回りに、1H1Hc7 株, MSS35 株, 17PMc2 株, Mba6 株, 25XMc2 株, Mtav32 株)
最長 5 年をかけて培養した。メタン生成菌は細胞に紫外線を当てることで蛍光色を発する。白いスケールバーの長さは 10 μm。

1) 産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門

2) 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

キーワード：メタン、メタン生成菌、メタンハイドレート、南海トラフ

開発の社会的背景

メタンを主成分とする天然ガスは、燃焼させた時に酸性雨の原因となる硫黄酸化物が発生せず、大気汚染の原因とされる窒素酸化物や地球温暖化につながる二酸化炭素の排出量が石油や石炭と比較して少ないため、よりクリーンな化石燃料として需要が高まっている。現在、わが国は天然ガスの95%以上を海外からの液化天然ガス(LNG)の輸入でまかっていることから、日本近海の海底下で見ついているMHは、国内の天然ガス資源として期待が寄せられている。これらの多くは、海底下に生息する微生物の活動によって生成したと考えられている。しかし、MHが存在する深海底の堆積物の中で、どのような種類・性質のメタンを生成する微生物(通称、メタン生成菌)が活動しているのかはほとんど明らかにされていなかった。海底下における微生物がどのようにメタンを生成し、MHの形成に至るのかという一連の過程を理解することで、より正確な資源量評価や探鉱が可能になる。

研究の経緯

産総研は、MH21-S 研究開発コンソーシアム(MH21-S)に参画し、MHの商業生産を実現するための研究開発を担っている。このコンソーシアムは、これまでにモデル海域とした東部南海トラフを対象に調査を行い、大規模な開発可能性を示す砂層型MH³の濃集帯を発見している。当

該域のMHの分布や貯留層の性状を明らかにし、MH形成や資源量評価に関わる基盤データを得るため、掘削調査を進めてきた。産総研は東部南海トラフ第二渥美海丘(第1図)の水深約千メートルから掘削・採取された海底堆積物コア試料を用いて微生物学的研究を進めた。

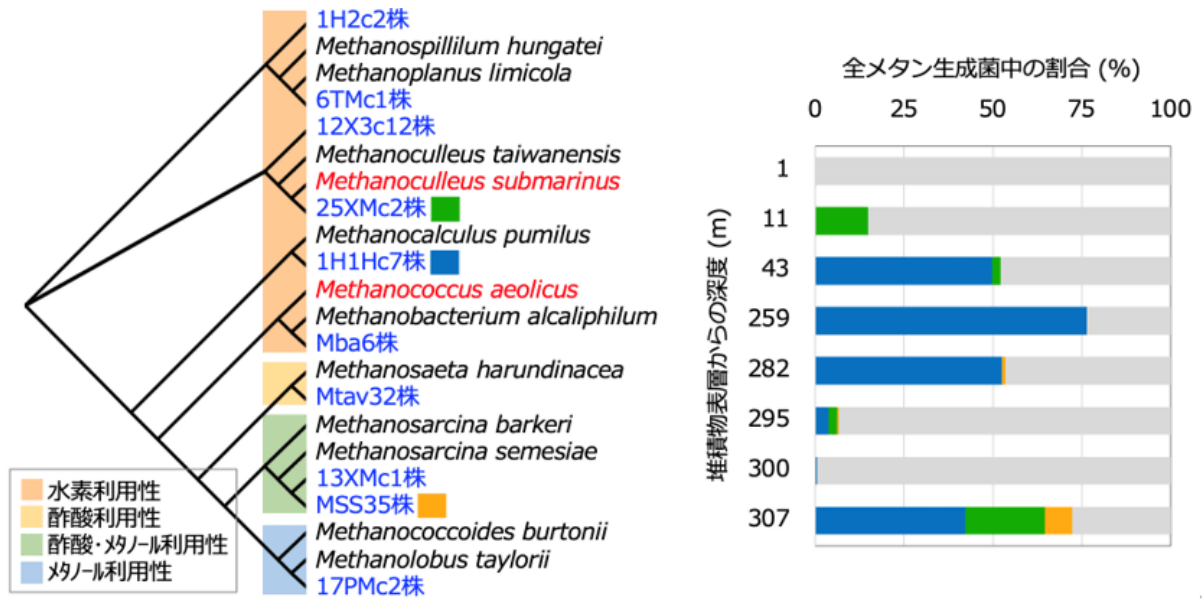
なお、本研究は、経済産業省の委託により実施しているメタンハイドレート研究開発事業において得られた成果に基づいている。また、本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(JP15H05332, JP17K15183, JP18H05295, JP19H04261)の支援を受けて実施した。

研究の内容

今回、東部南海トラフのコア堆積物試料について、ラジオトレーサー法⁴を用いて、海底表層からMH濃集帯までの範囲において、微生物がどの堆積物深度で、どの程度のメタンを生成し得るのかを調査した。約5年の培養実験を経て、計10株(7属8種)のメタン生成菌を得ることに成功した。これまでMHは、ガスの同位体比分析などからメタン生成菌が生成するメタンに由来すると考えられてきた。しかし、MHを埋蔵する海底堆積物から、実際に生きているメタン生成菌の証拠はほとんど得られていなかった。本発見により、系統的・代謝機能的にみて、従来考えられていたよりも多様なメタン生成菌がMH堆積物の中で生きて存在することが示された(第2図)。得られたメタン生成菌のうちのいくつかは、現場の深海底堆積物環境において優



第1図 南海トラフにおけるMHの推定分布
MH濃集帯の可能性を強く示唆する領域を赤、それ以外を青で示す。黒丸は本研究の調査地域の第二渥美海丘。



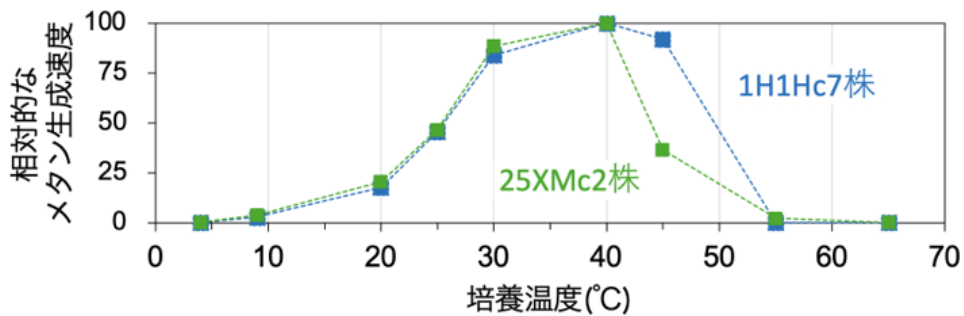
第2図 培養されたメタン生成菌の系統分布・基質(エサ)利用性・堆積物中の優占度

(左図) リボソーム RNA 遺伝子配列に基づく系統樹

MH 含有海底堆積物から培養された既知のメタン生成菌を赤字, 本研究にて培養されたメタン生成菌を青字, それ以外を黒字で示した. 系統樹上の色分けは, 各菌株の基質利用性を示す. これまで MH 含有堆積物から培養されたメタン生成菌は水素からメタンを生成する 2 種のみであったが, それらとは系統的に異なり, 水素以外に酢酸やメタノールを利用するメタン生成菌が生息することを新たに発見した.

(右図) 培養されたメタン生成菌の堆積物中の優占度の深度分布

堆積物試料から直接遺伝子配列を解析すると, 左図の 25XMc2 株, 1H1Hc7 株, MSS35 株と同じ遺伝子配列が検出された. 中でも 1H1Hc7 株(青)と 25XMc2 株(緑)はさまざまな深度の堆積物から高い割合で検出され, 優占メタン生成菌であることが示唆された.



第3図 現場に優占して生息するメタン生成菌 1H1Hc7 株と 25XMc2 株のメタン生成速度の温度プロファイル

占して生息するメタン生成菌種であった.

この優占株の温度特性を調べたところ, 菌が得られた堆積物試料の原位置の温度帯 4°C ~ 15°C でメタンを生成することができた. 更に, 45°C 以上にてメタン生成速度の急激な減少が見られた(第3図). このメタン生成限界温度は, これまでに報告されていた南海トラフにおける微生物メタン生成ポテンシャルの深度プロファイルと整合しており, 海底下でのメタン生成プロセスのモデル化で中心的課題となる堆積物深度(温度)と微生物のメタン生成能力との関係を培養実験で明らかにした.

また, 従来, 海底堆積物において水素と二酸化炭素からメタンが生成する経路が注目されていたが, この経路に加え, 従来見過ごされていたメタノールからメタンが生成する経路も, 重要であることを示唆する結果が得られた. この経路は, 今後メタン生成ポテンシャルをより正確に評価するための新たな研究対象として位置づけられる.

今後の予定

今後はメタン生成菌株の培養実験の結果に基づいて, 海

底堆積物におけるメタン生成プロセスの正確なモデルを組み立て、メタンが海底環境でどのように集積してMHを形成するのかをシミュレーションモデルに基づき評価する。MHの形成条件を明らかにすることで、微生物起源の天然ガス資源の探鉱や資源量の評価に役立つ。

論文情報

掲載誌：The ISME Journal

論文タイトル：Cultivation and biogeochemical analyses reveal insights into methanogenesis in deep seafloor sediment at a biogenic gas hydrate site

著者：KATAYAMA Taiki, YOSHIOKA Hideyoshi, KANEKO Masanori, AMO Miki, FUJII Tetsuya, TAKAHASHI Hiroshi A., YOSHIDA Satoshi and SAKATA Susumu

用語の説明

*1 メタンハイドレート(Methane Hydrate)
高い圧力と低い温度の条件で、メタンと水からなる結晶。水分子の中

にメタンの分子が閉じこめられた構造をとる。結晶化する温度と圧力の条件を満たす深海底下や永久凍土などに存在する。

- *2 メタン生成菌
水素や酢酸、メタノールなどを栄養源にしてメタンを生成する、アーキア(古細菌)に分類される原核生物。酸素のない環境でしか生きることができない。
- *3 砂層型MH(メタンハイドレート)
環境でのメタンハイドレートの存在形態の1つ。砂層の砂粒と砂粒の間をメタンハイドレートが充填しているタイプを指す。この他、海底面付近にて塊状で存在するタイプを表層型と呼ぶ。
- *4 ラジオトレーサー法
メタン生成菌の栄養源に放射性炭素同位体を含ませ、放射性メタンの生成速度を測定することで、メタン生成菌の活動度を高感度に調べる方法。異なる深度の堆積物試料を用いて測定することで、深度によるメタン生成活性の違いを計測できる。今後はメタン生成菌株の培養実験の結果に基づいて、海底堆積物におけるメタン生成プロセスの正確なモデルを組み立て、メタンが海底環境でどのように集積してMHを形成するのかをシミュレーションモデルに基づき評価する。MHの形成条件を明らかにすることで、微生物起源の天然ガス資源の探鉱や資源量の評価に役立つ。

KATAYAMA Taiki, YOSHIOKA Hideyoshi, KANEKO Masanori, SAKATA Susumu and TAKAHASHI Hiroshi A. (2022) Characterization of methanogenic microorganisms living in deep seafloor sediments of the Nankai Trough -A clue to better understand the process of methane hydrate (MH) Formation-

(受付：2022年3月4日)