

# ゲノムが膜で包まれた常識外れのバクテリアを 国内水溶性天然ガス田から発見

片山 泰樹<sup>1)</sup>

本稿は2020年12月に、産業技術総合研究所、日本電子株式会社、科学技術振興機構が共同で行ったプレス発表を修正・加筆したものです。

## 1. はじめに

我々の身の回りには肉眼では捉えられない生物、すなわち、微生物(本稿では、真正細菌と古細菌に限定します)がたくさん存在しています。例えば、我々ヒトは腸内に約100兆個もの微生物を“飼って”います。乳酸菌に代表される善玉菌、大腸菌に代表される悪玉菌は、いわゆる腸内細菌としてよく知られた微生物種です。微生物全体で見ると、人の役に立つあるいは害を為すという物差しではかかることのできる菌はごくごく限られた種類にすぎません。大多数は性質が不明な未知微生物なのです。この事実は、腸内環境のみならず地球のありとあらゆる環境に当てはまります。ある種の微生物の性質を知るためには、その菌種のみを人工的に培養し増殖させる必要があります(これを純粋培養と言います)、大まかに言って全微生物の99%は未だ培養出来ていないと見積もられています。培養を介さずに環境から微生物の遺伝子を直接解析すると、既知の微生物種の遺伝子配列とは異なるもの、すなわち、未知の微生物種が実に多様に存在しています。しかも、その中には上位の分類階級において新しい、つまり、既知の培養株と非常に遠縁な系統群も多く含まれているのです。

腸内細菌の動きがヒトの健康に不可欠のように、どの環境においても微生物は欠かすことの出来ない存在です。未培養の微生物を培養し性質を知ることができれば、地球の営みを支える環境微生物の活動の理解につながり、ひいては、地球環境の保全や地球資源の安全で効率的な利用に貢献できます。また、培養によって獲得できた微生物そのものをバイオテクノロジー分野などに応用する可能性も広がります。

## 2. 天然ガス田における微生物研究を通じて未培養細菌の培養化に成功

地圏資源環境研究部門地圏微生物研究グループは、生物プロセス研究部門生物資源情報基盤研究グループとの分野

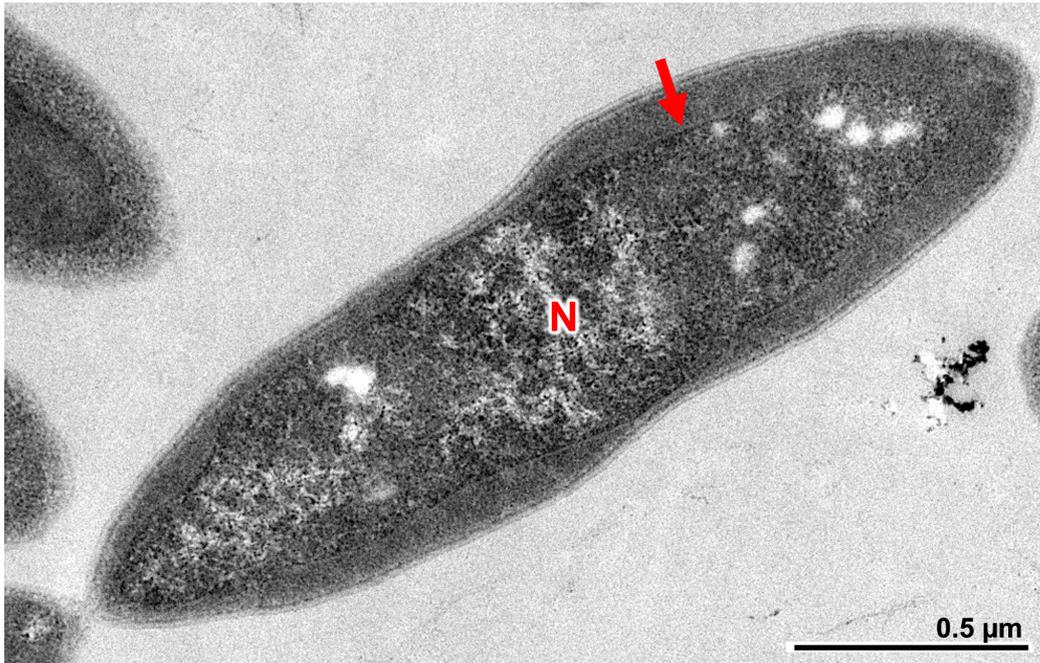
融合研究として、天然ガス田や油田などの地下環境を対象に、そこに生息する微生物活動の解明を目指しています。千葉県に分布する南関東ガス田には、地下の微生物の活動によって生成されたメタンが大量に賦存しており(Katayama *et al.*, 2015)、天然ガスとして生活を支えています。天然ガスの効率的な利用の面から重要な研究対象地ですが、いつ、どこで、どのようにして、どれくらい生成されたのか、多くの部分が未解明です。この研究の問題点の一つは、前述の通り、地下の微生物の多くが培養できておらず性質が不明なことです。今回、この分野融合研究を通して培ってきた培養技術や知識、経験、ノウハウを活用し、南関東ガス田からメタン生成に関与する微生物を分離、培養することに取り組みました。

地層水と堆積物試料から5年の歳月を費やして新しい門に分類される新種の細菌、RT761株を純粋培養することに成功しました(Katayama *et al.*, 2020)。門は細菌の分類階級の中で最上位にあたることから、同菌株の新規性は極めて高く、分類学上重要な成果と言えます。また、これまでRT761株やその近縁種は深海堆積物や温泉、油田、メタン発酵槽など酸素の無い環境から、遺伝子情報としてだけ、その存在が広く見つかっていました。特に、メタンハイドレートが分布する深海底の堆積物ではその環境を代表する未培養の細菌種として見つかっており、この細菌グループがメタンハイドレートや地下の天然ガス資源の成因に果たす役割の解明に高い関心が集まっていました(Nobu *et al.*, 2016)。

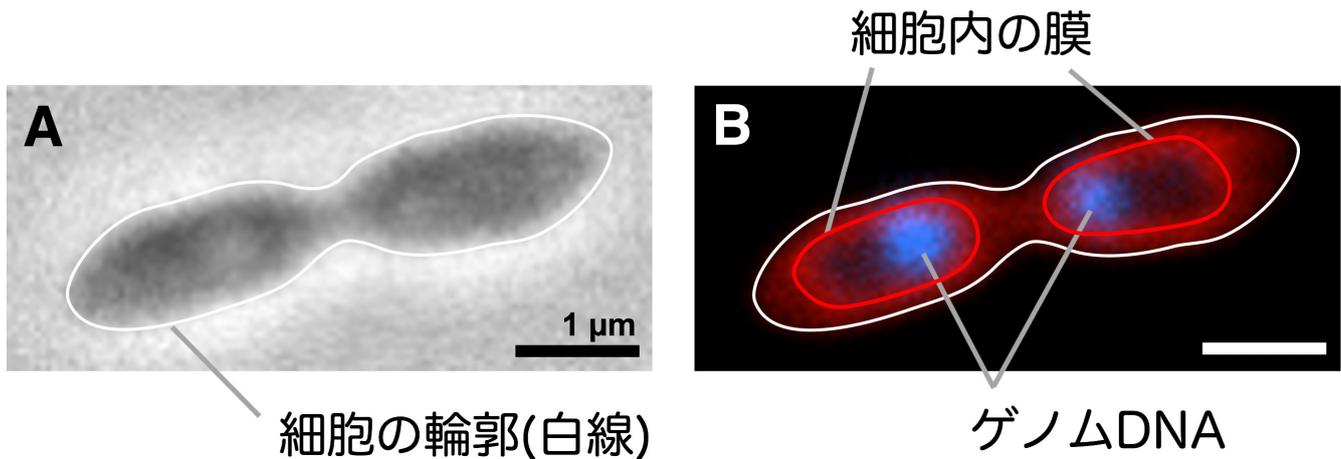
透過型電子顕微鏡を用いてRT761株の細胞内構造を観察したところ、グラム陰性菌と同じ細胞膜構造(外膜と細胞膜)に加え、細胞内にもう1つ別の膜がゲノムDNAを覆う形で存在していました(第1図)。蛍光顕微鏡イメージング技術により細胞分裂中(第2図A)のゲノムDNAの局在性を調べた結果、2つに分かれたゲノムDNA(第2図B, 青)は共に細胞内の膜(第2図B, 赤)によって覆われていることが明らかとなりました。真核生物の特徴とも言える「ゲノムDNAを包む細胞内膜」が原核生物である

1) 産総研 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門

キーワード：微生物、原核生物、生物起源メタン、天然ガス



第1図 RT761株の細胞の内部構造  
細胞内膜(矢印)がゲノムDNA(N)を包んでいる。



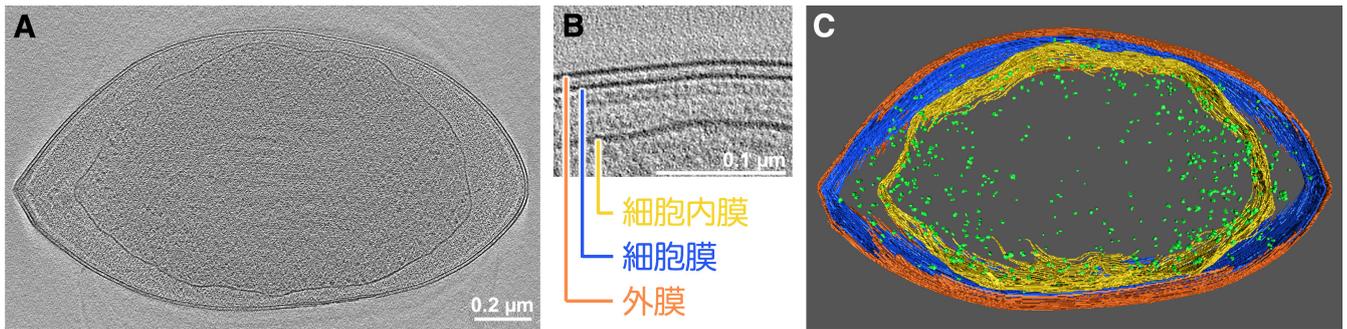
第2図 RT761株の細胞に局在するゲノムDNA  
(A) 分裂中の細胞。細胞膜の位置に相当する細胞の輪郭を白線で示した。(B) 脂質で構成される膜(赤; 輪郭を赤線で示す)とゲノムDNA(青)を染色した(A)の細胞。

RT761株の細胞で観察されたことは非常に驚くべき結果でした。

細胞内の膜構造をさらに詳細に観察するため、日本電子株式会社の電界放出形クライオ電子顕微鏡を用い、世界最高レベルの分解能で自然状態に近い細胞を観察し、立体的に可視化したところ、RT761株は独立した3つの膜を持つことが確認されました(第3図)。遺伝情報を分配するゲノムDNAの複製が細胞内の局所空間で行われている点や、DNA複製の場とは物理的に区切られた別の空間でも生命活動を駆動するタンパク質が合成されている可能

性など、生命活動の根本的なあり方が既知の細菌とは異なる可能性が示唆されました。細菌を含む原核生物の細胞構造・機能の組織化や細胞の進化を理解する上でも興味深い発見となりました。また、ユニークな細胞構造の他にも、RT761株は地下の有機物を分解してメタン生成菌に水素を供給する能力を持つことが判明しました。これはRT761株が代表する新しい門に分類される細菌が、地下の天然ガス資源を形成する過程で重要な役割を担っていることを示唆しています。

今回、RT761株を培養したことで初めて明らかになった



第3図 RT761 株の細胞の膜構造

(A) RT761 株の細胞内構造. (B) 膜構造の拡大写真. (C) (A) の細胞をさまざまな角度から撮影し復元した立体構造. 細胞内膜 (黄), 細胞膜 (青), 外膜 (橙), リボソーム様粒子 (緑). リボソーム様粒子は細胞内膜の内側と外側の両方に観察された.

ユニークな細胞構造に因んで、「層状」を意味するラテン語「laminatus」を含め、正式な学名 *Atribacterota* (アトリバクテロータ) 門を命名提案するとともに、*Atribacterota* 門を代表する標準細菌株 RT761 を新属新種 *Atribacter laminatus* (アトリバクター ラミナタス) として提案しました。

今後は、*Atribacterota* 門の細菌が深部地下環境で実際にどのような活動を行っているのか、メタン生成プロセスに果たす役割の解明を含めてその詳細を明らかにしたいと考えています。また、細菌の進化の早い段階で分岐した *Atribacterota* 門がユニークな細胞構造を持つに至った進化的な道筋の解明にも取り組む予定です。

### 3. おわりに

分類学のエキスパートでなくともウマとシマウマを見分けることはできますが、微生物の場合は技術と専門知識を要します。彼らは肉眼では見えない上に、ほとんどが似たような細胞の形態と構造を持っているからです。今回、地下環境において、天然ガス主成分メタンの生成に関与する微生物活動を明らかにする目的で研究を進めた結果、その生態系に重要な系統群に帰属する新種の細菌 RT761 株を世界で初めて培養し、性質を決定、それから命名することを通じて「見える化」しました。形態や構造が似たもの同士の微生物にあって RT761 株は異端児的存在であり、その特徴は原核生物の根源的な特徴を改めて見直し、その再定義を迫る可能性を示していました。多様な未培養の微生物が存在する地下環境は、このような新たな微生物“資源”の開拓の格好の場であることから、今後も未知微生物の見える化を通じて、学術的あるいは社会的に意義のある研究を進めたいと思います。

### 文 献

- Katayama, T., Yoshioka, H., Muramoto, Y., Usami, J., Fujiwara, K., Yoshida, S., Kamagata, Y. and Sakata, S. (2015) Physicochemical impacts associated with natural gas development on methanogenesis in deep sand aquifers. *The ISME Journal*, **9**, 436–446.
- Katayama, T., Nobu, MK., Kusada, H., Meng, XY., Hosogi, N., Uematsu, K., Yoshioka, H., Kamagata, Y. and Tamaki, H. (2020) Isolation of a member of the candidate phylum 'Atribacteria' reveals a unique cell membrane structure. *Nature Communications*, **11**, 6381.
- Nobu, MK., Dodsworth, JA., Murugapiran, SK., Rinke, C., Gies, EA., Webster, G., Schwientek, P., Kille, P., Parkes, RJ., Sass, H., Jørgensen, BB., Weightman, AJ., Liu, WT., Hallam, SJ., Tsiamis, G., Woyke, T. and Hedlund, BP. (2016) Phylogeny and physiology of candidate phylum 'Atribacteria' (OP9/JS1) inferred from cultivation-independent genomics. *The ISME Journal*, **10**, 273–286.

KATAYAMA Taiki (2021) Membrane-bounded nucleoid in a novel bacterium from a natural gas deposit in Japan.

(受付：2021年2月3日)