

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24370015

研究課題名(和文)超深海‘海溝微生物生態系’を明かす

研究課題名(英文)Exploration for the hadal biosphere

研究代表者

布浦 拓郎 (NUNOURA, Takuro)

独立行政法人海洋研究開発機構・海洋生命理工学研究開発センター・グループリーダー

研究者番号：60359164

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、マリアナ海溝、伊豆小笠原海溝、日本海溝における水塊中及び堆積物中の微生物分布及び物質循環に関わる微生物機能について解析を進め、海溝内の微生物生態系を支えるシステムに関する考察を行った。これまでに、マリアナ海溝中の超深海水塊に、上層の中深層から深層までとは異なる微生物生態系と、それを支える物質循環が存在することを明らかにし、この生態系が海溝環境における斜面崩壊等による堆積物からの有機物供給によることを議論した(Nunoura et al. PNAS 2015)。その他、同様のシステムが日本海溝や小笠原海溝においても成立していることを示すデータを得ており、取りまとめを進めている。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have analyzed microbial ecosystems in halal water and sediments from the Mariana Trench, Izu-Ogasawara Trench and Japan Trench, and discussed about the geological and oceanographical backgrounds that support the halal biosphere. In the Mariana Trench project, we have revealed that the microbial ecosystem in the halal water was distinct from those in the upper abyssal and bathyal waters. Moreover, we hypothesized that the trench ecosystem was supported by the intrinsic geochemical cycle especially for the suspension of organic compounds from slope sediment (Nunoura et al. PNAS 2015). We also obtained data that presented the presence of halal water biosphere in the other trenches such as Izu-Ogasawara and Japan Trenches.

研究分野：微生物生態学

キーワード：超深海 海溝 硝化 物質循環

1. 研究開始当初の背景

(1) 水深 6000m を超える超深海・海溝における生命研究は、'大深度' '超高压' 等イメージ主導の探索に留まっており、見出された海溝中の生態系が、海溝という物理環境、そして海溝に特異的な物質循環に依存しているのか、あるいは、海溝近傍も含めた生物地理、物質循環の延長線上にあるのか、という検討すら充分になされていない状況であった。

(2) 研究代表者らは、2007-2008 年にかけて小笠原海溝やマリアナ海溝で採取した試料を用いた解析を開始しており、超深海・海溝には、深層水塊あるいは海溝周辺の海底とは異なる独自の微生物生態系の存在が示唆されていた。

2. 研究の目的

(1) 超深海・海溝に周辺海域や上層水塊中と異なる独自の生態系(超深海・海溝生命圏)が確実に存在するの否かを明らかにする。また、存在するならば、それは普遍的な現象であるの否かを検証する。

(2) 超深海・海溝生態系を支える物理学的、化学的仕組みを生命現象の側面から検証する。

(3) 海溝中に生息する(海溝生命圏を構成する)微生物と周辺海域・上層水塊中の微生物の間には、遺伝的交流は存在するの否か、環境ゲノム研究により考察する。

3. 研究の方法

(1) 超深海・海溝生命圏の存在を確かなものとするため、マリアナ海溝水塊・堆積物の微生物生態研究について、さらに詳細な解析を推進する。更に、超深海・海溝生命圏の普遍性を検証するため、また、海溝内の物質循環と海溝生態系の関連を解明するため、それぞれ地質学的にセッティングの異なる小笠原海溝、日本海溝において採水、採泥を行う。また、海溝内における物質循環や微生物集団の遺伝子交流の可能性について、検討するため、日本海溝・小笠原海溝の会合点における調査を実施する。一連の調査航海において得た試料それぞれについて微生物群集構造解析を行い、海溝地形、物質循環と微生物生態系の関係について検討する。

(2) 海洋表層から海溝深部に至る微生物群集の垂直方向の交流の可能性、更には高压環境への適応を探るため、小笠原海溝及び日本海溝の水柱中で、海洋表層から海溝底に至るそれぞれの水塊について、メタゲノム解析を実施すると共に、海洋表層から海溝底に至るまで共通して棲息する複数の微生物系統群について 1 細胞ゲノム解析を行う。

4. 研究成果

(1) 試料採取及び調査航海について
本研究では、下記の研究期間内の調査航海で得た試料の他、平成 23 年度以前に採取した上述のマリアナ海溝試料や日本海溝から採

取した試料を用いて研究を推進した。
平成 24 年度：日本海溝茨城県沖 1 力所にて採水、採泥を実施した。
平成 25 年度：マリアナ海溝の海溝軸を横断する測線にて採泥を行った他、海溝軸にて採水を行った。
平成 26 年度：小笠原海溝北端(日本海溝との会合点近傍)にて、採水、採泥を実施した。
(2) マリアナ海溝における超深海・海溝生命圏の発見

マリアナ海溝チャレンジャー海淵中央部において、海洋表層から超深海・海溝底直上(水深 0-10257m)まで 50~1000m おきに採水し、無機化学解析、微生物・ウイルス数計数、分子生態解析を展開した。栄養塩濃度や微生物・ウイルス数には、深海層と超深海に違いは見られないが、微生物群集構造解析は、超深海独自の生態系が存在することを示唆する。中深層から深海層にかけて、炭素固定能を有す化学合成系統群が優占するのに対し、超深海水塊には、従属栄養系統群が優占することを示したのである。更に、有機物分解により生じるアンモニア、アンモニア酸化で生じた亜硝酸をそれぞれエネルギー源とするアンモニア酸化菌、亜硝酸酸化菌とも、深海層と超深海層では、高濃度/フラックスのアンモニア、亜硝酸を好む優占するグループが優占する(図 1)。これらの観察結果は、超深海・海溝内水塊に、上層の深海層とは異なる有機物の供給源が存在し、その有機物に強く依存した生態系が成立していることを示す。

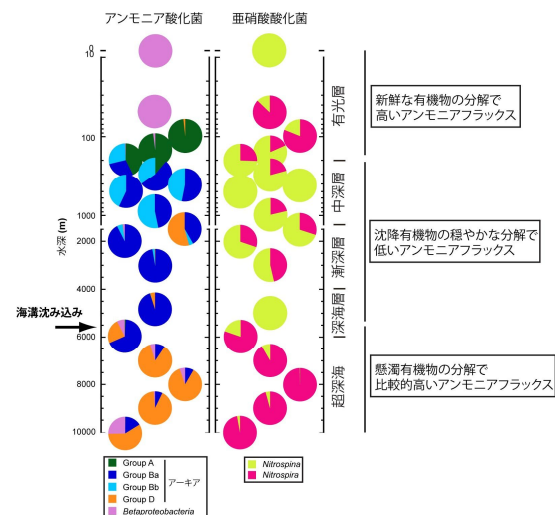


図 1. マリアナ海溝域における海洋表層から超深海・海溝底までの硝化菌群の棲み分け

深海への有機物供給には、海洋表層での一次生産(炭素固定)に由来する沈降有機物、深海の潮流により他海域から運ばれる沈降有機物、堆積物から懸濁される有機物が考えられる。マリアナ海溝は他の海溝からは独立している為、超深海独自の潮流による有機物供給は存在しない。また、海洋表層からの沈降有機物に単純に依存するならば、海溝の沈み込み深度である水深 6000m 付近を境界とする生命圏の存在を説明出来ない。従っ

て、他の状況証拠とも併せ に示される海溝地形故に生じる地震等に起因する海溝斜面の崩壊と、それに伴う堆積物からの有機物放出が海溝内水塊中の微生物生態系を支えていると結論づけた。

(3) 日本海溝における超深海・海溝生命圏の検証

平成 23 年の東日本大震災の数ヶ月後に、震災の海洋環境への影響を評価するため、日本海溝を横切る測線にて採水を行った。その試料を用い、一次生産が盛んな海域における超深海・海溝生命圏の検証と、地震に伴う懸濁流の深海・超深海水塊中微生物生態系への影響評価を実施した。その結果、海洋表層から海溝底直上までの水塊に生息する微生物群集構造の概観からは、貧栄養海域に位置するマリアナ海溝と比べると、超深海・海溝生命圏の独立性は明瞭には見られない。しかし、アンモニア酸化菌群では、超深海・海溝環境では、高いアンモニアフラックスを好む系統群が優占する棲み分けが観察され(図 2) 富栄養海域でも、超深海では上層に比べて有機物分解が卓越し、超深海・海溝生命圏が成立することが明らかになった。また、本研究では、海溝内だけでなく、海溝軸の東側から検出された深層水塊においても、堆積物由来と推測される濁りに伴う微生物相の変化が見られ、それらの微生物相は、超深海で観察される微生物相とのある程度の類似を示した。この現象も、超深海・海溝生命圏が堆積物から放出される有機物に依存していることを支持するものである。

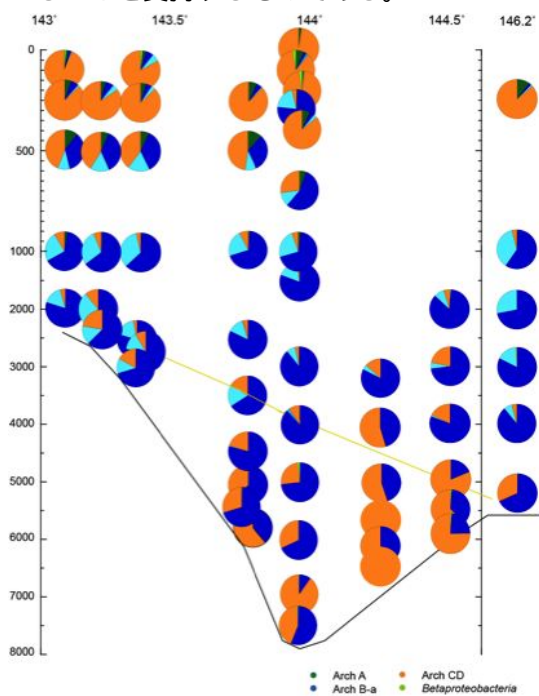


図 2 . 日本海溝域における海洋表層から超深海・海溝底までのアンモニア菌群の棲み分け。橙色で示した系統群は高いアンモニアフラックスを好む。

(4) 小笠原海溝における堆積物中の超深海・海溝生命圏の検証

Glud ら()がマリアナ海溝底において、海溝底堆積物には、周辺の深海平原に比べ、高い微生物量と微生物活性が存在し、海溝底堆積物中にも、海溝独自の生態系が成り立つことを示した。本研究では、その観察結果が、超深海・海溝環境に普遍的な現象であるのかを検証する為、小笠原海溝中央部と、その東側の深海平原からそれぞれ堆積物を採取し、その微生物量や群集構造を解析した。その結果、マリアナ海溝と同様に海溝底において同様の現象が観察された他、堆積物中の窒素循環にも、海溝底と近傍の深海平原では違いが存在することを明らかにした。

(5) 海溝環境を対象とした環境ゲノム解析

小笠原海溝、日本海溝、マリアナ海溝域より、海洋表層から海溝底に至るそれぞれ 5-7 深度の水塊より、1 細胞ゲノムライブラリーを構築した。そして、有光層を除く水塊で、最も普遍的に分布するアンモニア酸化アーキアに集中し、PCR による機能遺伝子(amoA アンモニアモノオキゲナーゼ遺伝子・ureA ウレアーゼ遺伝子)の検出及びシーケンス解析を行った。その結果、各海域、各水塊におけるアンモニア酸化アーキア 16S rRNA 遺伝子と amoA, ureA 配列の系統関係の照合にはじめて成功した。また、小笠原海溝域から構築したライブラリー中の各水塊に優占するアンモニア酸化アーキア群に対する 1 細胞ゲノムシーケンス解析を実施し、ゲノムサイズ及び窒素代謝の鍵となる遺伝子の分布を検証した。その結果、これまで限られたバクテリアの単離菌株のゲノム解析から提唱されてきた、深海環境にはゲノムサイズを大きくする必要のあるとの仮説は、少なくとも、このアーキアにはあてはまらないことが示された。また、各系統群がそれぞれの好むアンモニアフラックスに適した取り込み機構を有することも示唆された。

(6) その他

日本海溝調査に際し、深海水塊より単離された 2 種の耐冷バクテリアが溶原ファージを保有することを明らかにし、それぞれのファージに対するゲノム解析、性状解析を行い、論文として報告した。なお、深海からのファージ単離の報告は、本成果も含め 10 例にも満たない。

上記一連の研究は、既に論文として報告したマリアナ海溝水塊及びファージに関する成果を除き、現在、論文執筆及び追加解析を進めている。

引用文献

Glud, Ronnie N ら、 High rates of microbial carbon turnover in sediments in the deepest oceanic trench on Earth, Nat Geosci No.6 2013 pp.284-288

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

Yoshida M, Yoshida-Takashima Y, Nunoura T, Takai K. Genomic characterization of a temperate phage of the psychrotolerant deep-sea bacterium *Aurantimonas* sp. *Extremophiles* 査読有 No.19, 2015, pp.49-58

doi: 10.1007/s00792-014-0702-5

Nunoura T, Takaki Y, Hirai M, Shigeru S, Makabe A, Koide O, Kikuchi T, Miyazaki J, Koba K, Yoshida N, Sunamura M, Takai K. Hadal biosphere: insight into the microbial ecosystem in the deepest ocean on Earth. *Proc Natl Acad Sci USA* 査読有 No.112, 2015, pp. E1230-E1236

doi: 10.1073/pnas.1421816112

Yoshida M, Yoshida-Takashima Y, Nunoura T, Takai K. Identification and genomic analysis of temperate *Pseudomonas* bacteriophage PstS-1 from the Japan Trench at a depth of 7,000 m. *Res Microbiol* 査読有 2015 doi:10.1016/j.resmic.2015.05.001

布浦 拓郎 超深海・海溝生命圏の発見、バイオサイエンスとバイオインダストリー 査読なし No. 73、2015 掲載確定

〔学会発表〕(計 9 件)

NUNOURA, Takuro 他 Genomic insights into the niche adaptation of marine Thaumarchaeota along the water column from sea surface to hadal ocean. Third Microbial Single Cell Genomics Workshop 2015 年 6 月 16 日 Boothbay Harbor (USA)

布浦 拓郎 他、1 細胞ゲノム解析から見る海洋性アンモニア酸化アーキアの環境適応 日本地球惑星科学連合 2015 年大会 2015 年 5 月 26 日、幕張メッセ (千葉県千葉市)

布浦 拓郎 他、1 細胞ゲノム解析から見る海洋性アンモニア酸化アーキアの環境適応 第 9 回日本ゲノム微生物学会年会 2015 年 3 月 8 日、神戸大学(兵庫県神戸市)

NUNOURA, Takuro 他 Single-cell genomics revealed niche separation of marine Thaumarchaeota along the water column on the Ogasawara Trench *Molecular Biology of Archaea* 2014 年 5 月 21 日、Paris (France)

布浦 拓郎 他、日本海溝横断調査から見た海溝生命圏の成り立ち 日本地球惑星科学連合 2014 年大会 2014 年 4 月 30 日パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

布浦 拓郎 他、深海堆積物表層における硝化菌・嫌氣的アンモニア酸化菌の分布 日本地球惑星科学連合 2014 年大会 2014 年 4 月 28 日パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

NUNOURA, Takuro 他 Niche separation of the nitrifying archaea and bacteria from sea surface to the trench bottom found in the Challenger Deep. ICoN3 3rd International Conference on Nitrification. 2013 年 9 月 3 日中央大学(東京都文京区)

NUNOURA, Takuro 他 Niche separation of marine Thaumarchaea; sea surface to the deepest oceans. 2nd International workshop "The Last Frontier of Life: Extremophiles" 2013 年 5 月 21 日、Cheju (Korea)

NUNOURA, Takuro 他 The trench biosphere: insights into microbial ecosystem in the deepest ocean. 28 回日本微生物生態学会大会 2012 年 9 月 20 日豊橋技術科学大学(愛知県豊橋市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

布浦 拓郎 (NUNOURA, Takuro)

独立行政法人海洋研究開発機構・海洋生命理工学研究開発センター・グループリーダー

研究者番号: 60359164

(2) 研究分担者

高木 善弘 (TAKAKI, Yoshihiro)

独立行政法人海洋研究開発機構・深海・地殻内生物圏研究分野・主任技術研究員

研究者番号: 10399561