

# 北極海の生物資源収集と海洋フィールドワークによる技術者教育

Exploring bioresources in the Arctic, and education for engineers in ocean fieldworks

小西 正朗  
KONISHI Masaaki

北見工業大学では、20年以上前からガスハイドレート研究を中心に多くの海洋調査を実施してきた。まず、その概要と探査技術および北極海の微生物資源の探査に至った経緯を紹介する。2018年に実施した韓国極地研究所の砕氷船「ARAON号」(ARA09C)による東シベリア海調査で採取した北極海由来の酵母に関する系統分類研究を紹介し、南極や氷河から分離された酵母との類似性を議論する。最後にフィールドワーク研究を教育プログラムの一環として取り込み、工学部の学生教育に活用している取り組みについて紹介する。

Kitami Institute of Technology (KIT) achieved large number of research cruise in recent two decades, whose major goals to explore and study natural gas hydrate. The association to Arctic research are also described here. In 2018, our team joined to a research cruise ARA09C using ice-breaker type research vessel "ARAON" to explore fungal bio resources at Eastern Siberian Sea in the Arctic. The isolates were taxonomically characterized as psychrophyles corresponding to isolates from Antarctica and glacier. Finally, it is introduced research of KIT by foreign research vessels, in the Arctic. The fieldwork studies act also on as an educational program for young engineers in KIT.

キーワード：生物資源, 海洋実習, 微生物, 酵母, 北極, ガスハイドレート

## 1 北見工業大学の海洋調査研究

### 1.1 北見工業大学のガスハイドレート研究

ガスハイドレート (GH) とは、メタンやエタン等の炭化水素や二酸化炭素等のガスが水で構成される結晶の内部に取り込まれた固体結晶であり、特にメタンを主成分とするGHをメタンハイドレート (MH) と呼ぶ。GHは水とガスが共存する低温、高圧力の環境で生成することが知られている。非在来型天然ガス資源として注目されるMHは海底下や永久凍土に埋蔵されていることが知られており、資源が乏しい我が国の周辺海域にも未利用資源として分布している。海洋性のは水深300 m以深の海底下に存在する。海底下数十から数百mに分布する深層型と海底下数mの浅い地層に分布する表層型が知られている。北見工業大学 (北見工大) の環境・エネルギー研究推進センターには物理化学、分析化学、地盤工学、海洋音響学、計算科学、微生物学等を専門とする多数の教員が所属し、GHの結晶構造や生成機構、ガスの由来、表層型MHの分布や生成環境、GH分布域の微生物多様性等を対象に挑戦的な研究を進めている。

### (1) フィールド調査

北見工大におけるGH探査を主たる目的とするフィールド調査は2001年に未利用エネルギー研究センター (センター長、庄子仁名誉教授、現：環境・エネルギー研究推進センター) を設置し、GH研究を開始したことに端を発している (北見工業大学環境・エネルギー研究推進センターホームページ, <https://www-ner.office.kitami-it.ac.jp/>)。独自にロシア科学アカデミー極東支所V.I.イリチェフ太平洋海洋学研究所、ロシア科学アカデミーP.P.シルチョフ海洋学研究所、韓国極地研究所、ロシア科学アカデミーシベリア支所陸水学研究所、ベルギーアントワープ大学レナード海洋地質学研究所などの海外研究者らと共同研究を実施し、2002年からバイカル湖、2003年からサハリン沖等でのGH探査を開始している。バイカル湖での調査は2019年、サハリン沖調査は2015年まで毎年実施された。2011年からは網走沖を中心に北海道周辺海域の調査を実施している。2014年からは一部を学生の実習 (詳細は後述) とし、北海道大学水産学部の練習船「おしよる丸」による調査も開始している。これらの調査の中で、海外の関連研究者

との人的ネットワークを醸成するとともに、探査・研究方法を確立したことは、後述の北極海調査への発展に重要な役割を果たした。

## (2) 探査技術

地殻内からガスが湧出している特定の場所に偏在し、水圏に存在するGHは生成条件に相当する水深500 m以深で分布すると考えられることから、候補地の絞り込みが必要になる。採取するためには、詳細な海底地形を含めた予備調査が必要になる。GHは陸域と繋がる海底斜面に存在することが多いため、既知の海底地形図から大まかな候補海域を選定する。また、表層型GHはメタン湧出域で見つかることが知られているので、魚群探査装置やマルチビームソナー等の音響探査装置で湧出しているガスの気泡を検出する。湧出している気泡は音響探査装置で炎のように見えることからフレアといわれる（ブルームとも呼ばれる）。同時に詳細な海底地形図を作成し、サンプリング地点を絞り込む。採取には、コアラと呼ばれる筒状のサンプリング装置やマニピュレータ付き水中ロボット（ROV）が使用できる。北見工大では地盤工学が専門の山下聡教授が中心となり、重力式コアラや水圧を利用したハイドロコアラを独自に作製、運用している。潮流や風等を考慮しながら、サンプリング地点を狙ってコアラを投入するが、潮流等の影響によりコアラが流されることも多く、的確に投入することは難しい。

## (3) 天然GHの採取

これまでの調査において、バイカル湖、サハリン沖、網走沖、十勝沖等で天然のGHの採取に成功している。特に網走沖、十勝沖、日高沖で天然GHの採取に成功しているのは、北見工大の研究グループのみである (<https://www.kitami-it.ac.jp/wp-content/uploads/2021/12/5.20211202PressRelease.pdf>)。2017年には網走沖でROV (KAIYO 3000) による調査を実施し、GHが存在する地点で多くのガスが発生しており、ROVで直接ガスを回収したところ、回収したガスのほとんどがメタンガスであることも確認できた。また、同地点では、バクテリアマットやそれらを餌とする多くの底生生物が確認でき

た（写真1）。表層型GHが見出されるガス湧出域は化学合成独立栄養生物を中心とする化学合成生態系が形成されており、生物資源の探索場所としても有望であると思われる。同時にこれらのバクテリアマットはカニ等の底生生物に利用されており、周辺で多くの底生生物が観測された。水産資源との関わりも示唆されるがその詳細はわかっていない。

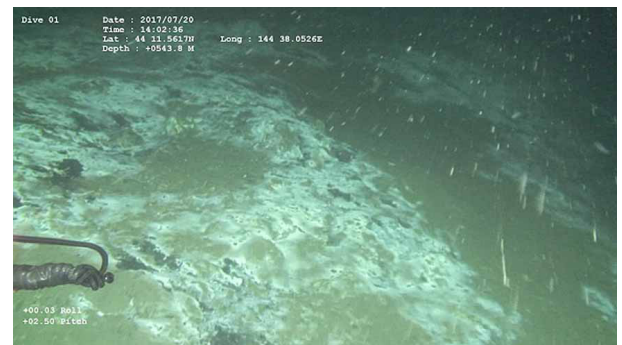


写真1 網走沖調査域で観察されたバクテリアマット  
2017年に実施したKaiyo3000による調査により網走沖サイトの表層GHの存在と周辺に発達しているバクテリアマットや高密度な底生生物の存在を確認した。

## 1.2 北極海探査

2014年度以降はこれらの調査研究の活動を教育へも活用することを目的とし、北見工業大学第2期中期計画の中で文部科学省から教育プロジェクトとして実施することが認められ、2016年からの第3期中期計画の中で海外調査実習の検討が行われた。上述の海外調査で繋がりがあった韓国極地研究所のY. K. Jin博士から北極海におけるGH調査へ参加の打診があり、海外実習の予備調査として参画することとなった。調査は韓国極地研が保有する砕氷調査船ARAON号により、東シベリア海（図1）にて、2018年8月29日から9月17日（ARA09C航海）に実施した<sup>1)</sup>。

## 2 北極海で採取した真菌

### 2.1 真菌（酵母）の分離

真菌とは、染色体が膜で覆われた核を持つ真核生物の内、単細胞で増殖可能な糸状菌（いわゆるカビ）や酵母（球形や楕円形の細胞）を意味する。北極圏とくに北極海的环境中からの分離例は少ないため、学術的興味から、酵母の分離を試み

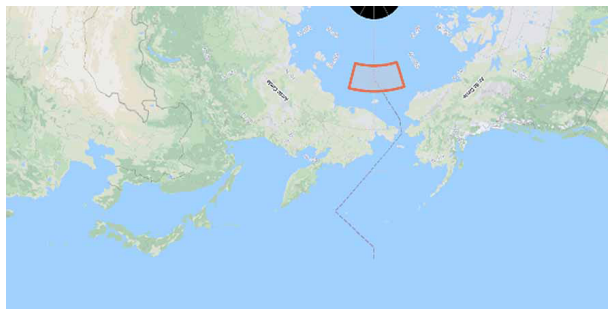


図1 ARA09Cで調査した海域  
(<https://kpdccopen.kopri.re.kr/search/2aa3e43b-e3b5-48bd-b149-80b2fd9b3604>より転載)

た。コアラやドレッジ（底引きによる採取）により採取した海底堆積物を滅菌人工海水で懸濁し、ARAON号のラボで寒天培地に塗布し、4℃で培養した。下船後ヨーロッパ経由で北見まで培地が輸送されてきたが、北見工大でサンプルを受け取ったのは、翌年の1月であった。輸送中に培地が凍結するなどのトラブルがあったものの、培地上に複数のコロニーが観察された。研究室で微生物の分離を繰り返し、22株のコロニーを単離することに成功した。酵母様真菌13株、バクテリア8株を分離することができ、温度に対する増殖特性を調べたところ、いずれも好冷菌（最適増殖温度が15℃以下）か耐冷菌（最適な増殖温度は25℃であるが、低温でもよく増殖）であった。酵母様真菌は分子系統分類により *Cryolevonia giraudoeae*, *Camptobasidium gelus*, 種不明の *Filobasidium* sp. に含まれる低温環境特有の酵母であることがわかった。*Cry. giraudoeae* は2020年に発表された論文により新属記載されたアルゼンチンの氷河や南極の海から見出された酵母であった<sup>2)3)</sup>。*Cam. gelus* はロシアの氷河や南極の氷から分離されている。地理的に大きく離れた南極や氷河から分離された酵母と同種の酵母が北極海からも分離されたことから、北極や氷河等の極端な寒冷環境で淘汰されることなく、進化してきたものと思われた。分離した株の資化性試験をした結果、一部の糖の資化性が記載株と異なることが明らかとなっており、北極や氷河で分離された株とは、性質が異なることもわかった。つまり、分類学上は同種と判定されるものの性質が異なることから北極由来株は独自に分離されたものと判定できた。今後、これらの希少性の高い微生物の生理学的特徴等を解析し、北極

圏の真菌の特徴を明らかにしていく予定である。

## 2.2 生物資源としての意義

我々が分離した酵母は近年新たに発見された種であり、発酵生産など酵母を直接応用することを目的とした研究は行われていない。しかしながら、北極のような極低温環境で生息している微生物は適応するための様々な戦略を備えている。例えば、凍結から細胞を守るために不凍タンパク質 (Antifreeze protein, AFP) や Ice binding protein と呼ばれるタンパク質を生産する例が知られている<sup>4)</sup>。このタンパク質は成長する氷核の結晶面特異的に結合し、氷核の成長を物理的に阻害して凍結を防ぐ。植物もAFPを生産することが知られており、食品添加物として利用されている ([https://www.kaneka.co.jp/business/nutrition/foo\\_014.html](https://www.kaneka.co.jp/business/nutrition/foo_014.html))。極寒冷環境から分離された酵母由来のAFPの構造や機能は植物のものとは異なることが知られており、これらのAFPの構造と機能に関する情報はAFPの構造-機能相関研究に寄与するため、高機能化に貢献できる。また、極低温環境で生理活性を維持する必要があるため、低温で活性の高い種々のタンパク

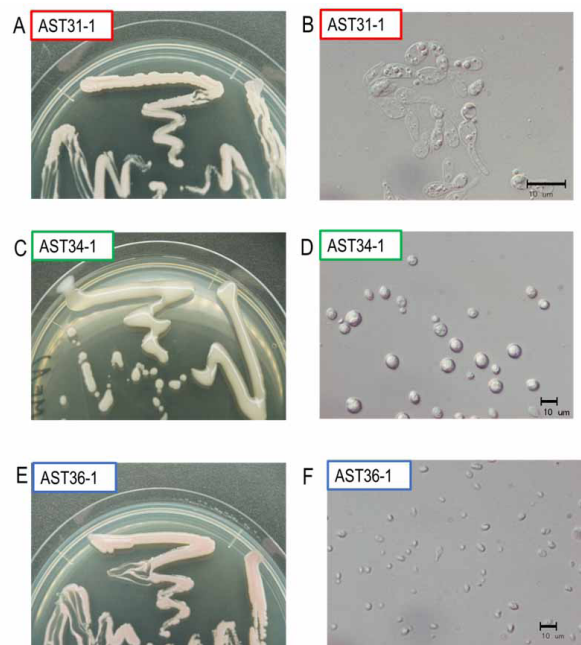


写真2 北極海から分離された酵母のコロニーと顕微鏡写真  
A) *Cryolevonia giraudoeae* AST31-1 のコロニー、  
B) *Cryolevonia giraudoeae* AST31-1 の顕微鏡写真、  
C) *Filobasidium* sp. のコロニー、D) *Filobasidium* sp. の  
顕微鏡写真、E) *Camptobasidium gelus* AST36-1 のコロ  
ニー、F) *Camptobasidium gelus* AST36-1 の顕微鏡写真

質を生産している可能性がある。氷から分離された酵母も存在すること<sup>2)3)</sup>から、貧栄養な氷表面の環境でどのような生存戦略を備えているか調べることは、工業微生物のストレス耐性に関する研究に貢献できる。低温でも活性が高い酵素は工業用酵素として利用されており、低温環境の生物資源はそれらの開発にも寄与できる。ゆえに、北極圏の生物資源を調査することはバイオ産業活性化の観点からも重要である。日本の北極研究は南極と比べて歴史が浅く、国立極地研究所を中心に、主に気候変動関連研究で大型プロジェクトを実施している。1991年にスバル諸島に研究拠点として基地を開設しているが、北極圏の微生物に関する研究もまだ少なく、生物資源利用のための基盤は脆弱な状況である。このような状況を鑑みると、北極海の生物資源は希少性があり、低温適応や低温環境で活用できるタンパク質などの探索フィールドとして、大きな可能性を秘めている。(研)海洋研究開発機構により、北極調査に特化した砕氷研究船の建造が始まっている(<https://www.jamstec.go.jp/j/about/procurement/icebreaker/>)。今後、日本の研究者の北極へのアクセスの機会が増えることが期待される。

### 3 海洋実習を活用した技術者教育

北見工大では、フィールドでの調査研究の場を学生の教育の場として活用する試みを始めている。前述の通り、GH調査研究のフィールドを教育へ活用することを目的とした教育プロジェクトの支援を受けて、北極海における微生物調査が実施できた。2018年の東シベリア海の調査では、分野の異なる3名の大学院生が調査航海に参加した。参加した学生は海外のプロの研究者との1カ月以上にわたる共同生活の中でそれぞれの担当テーマについて、責任を持って、主体的に取り組んだ。英語でのコミュニケーションや海外の研究者の価値観に直接接することができ、参加した学生の飛躍的な成長が認められた。学内では、成果報告会を実施し、下級生等への波及効果を狙った活動も実施した。実習経験者から海洋調査会社等

への就職も増えている。北極圏のフィールドを恒常的な教育の場とすることは、コスト面等で課題も多いが、北極研究を活性化させる意味で興味深い取り組みである。また、2017年の改組に際し、実践実習型の必修科目「オホーツク地域と環境」を開講し、国内の海洋実習が組み込まれている。実践的な教育を組込んだカリキュラムにより、技術者としての基礎力の醸成を期待している。

### 4 おわりに

本稿では、極限環境への挑戦や横断的分野の連携、技術開発、教育の実例のひとつとして、北見工大が実施している特色のある海洋調査研究ならびにフィールド調査を活用した大学教育の概要について紹介した。本事業は環境・エネルギー研究推進センターに所属する多くの教員の協力により実施された。また、北極海調査にご協力いただいた韓国極地研究所のY. K. Jin博士らの協力いただいた。関係者各位に謝意を表します。

#### <引用文献>

- 1) Kim Y-G. *et al.*: Occurrence of active gas hydrate mounds in the southwestern slope of the Chukchi Plateau, Arctic Ocean. *Episodes* 2020; 43(2): 811-823, June 1, 2020
- 2) Virginia, D. G. V. *et al.*: Novel yeast taxa from the cold: description of *Cryolevonia giraudae* sp. nov. and *Camptobasidium gelus* sp. nov., *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 70: 3711-3717, May 15, 2020
- 3) Ana, P. *et al.*: *Cryolevonia* gen. nov. and *Cryolevonia schafbergensis* sp. nov., a cryophilic yeast from ancient permafrost and melted sea ice, *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 70: Feb 5, 2334-2338, 2020.
- 4) Jong, K. L. *et al.*: An extracellular ice-binding glycoprotein from an Arctic psychrophilic yeast, *Cryobiology* 60: 222-228, Jan 11, 2010.

小西 正朗 (こにし まさあき)

技術士(生物工学部門)

北見工業大学 工学部  
 応用化学系 教授  
 e-mail : konishim@mail.kitami-it.ac.jp

