

# 表層型メタンハイドレートの研究開発 2021年度研究成果報告会



海底の割れ目に見られるメタンハイドレートの露頭（SS21-2航海）

開催日時

12/3 金 13:20～17:15

開催形式

オンライン（無料、要事前申込み）

主催

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

エネルギー・環境領域 エネルギープロセス研究部門・環境創生研究部門  
地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門・地質情報研究部門

プログラム及び参加登録

<https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/stmh2021.html>



# 表層型メタンハイドレートの研究開発 2021年度 研究成果報告会

- 主催 国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
エネルギー・環境領域 エネルギープロセス研究部門・環境創生研究部門  
地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門・地質情報研究部門
- 開催日時 2021年12月3日（金） 13:20～17:15（13:00頃からテスト配信開始予定）
- 開催方式 オンライン開催（Zoom Webinarを使用）
- 参加費 無料（要事前申込）  
Webで申し込んでください。  
<https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/stmh2021.html>



## プログラム

- |             |                                     |                         |        |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------|--------|
| 13:20～13:30 | 開催準備、事務連絡等                          |                         |        |
| 13:30～13:40 | ご挨拶                                 | 経済産業省 資源エネルギー庁 石油・天然ガス課 | 山田 哲也  |
| 13:40～13:50 | 表層型メタンハイドレートの研究開発ー2021年度の取組についてー    | 産業技術総合研究所 エネルギープロセス研究部門 | 天満 則夫  |
| 13:50～13:55 | 生産技術の研究開発の進捗について                    | 産業技術総合研究所 エネルギープロセス研究部門 | 天満 則夫  |
| 13:55～14:15 | 広範囲鉛直掘削法による回収技術開発                   | 三井海洋開発(株)事業開発部          | 望月 幸司  |
| 14:15～14:35 | 貯留層物性・MH分解挙動の検討                     | 国立大学法人鳥取大学 工学部          | 海老沼 孝郎 |
| 14:35～14:45 | 休憩(10分)                             |                         |        |
| 14:45～14:55 | 表層型メタンハイドレート開発に係る海洋調査・環境影響評価の進捗について | 産業技術総合研究所 環境創生研究部門      | 鈴木 昌弘  |
| 14:55～15:20 | 酒田沖海域の海底地形、地質構造、海底状況調査              | 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門    | 浅田 美穂  |
| 15:20～15:40 | メタンハイドレート胚胎域を含む日本海の海洋構造             | 産業技術総合研究所 環境創生研究部門      | 中野 知香  |
| 15:40～16:00 | メタンハイドレート胚胎域における微生物生態系とその機能         | 産業技術総合研究所 環境創生研究部門      | 青柳 智   |
| 16:00～16:20 | 酒田沖メタンハイドレート胚胎域の微生物によるメタン酸化ポテンシャル評価 | 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門    | 宮嶋 佑典  |
| 16:20～16:40 | 酒田沖メタンハイドレート胚胎域における生物地球化学的物質循環      | 産業技術総合研究所 環境創生研究部門      | 太田 雄貴  |
| 16:40～17:05 | 遺伝子解析手法による日本海生物群集の多様性・連結性評価に関する研究   | 産業技術総合研究所 地質情報研究部門      | 井口 亮   |
| 17:05-17:15 | 全体総括                                |                         |        |

※上記内容は11月15日現在の予定です。都合により講演名などが変更になる場合があります。

■ お問い合わせ 表層型メタンハイドレート 事務局 (M-smh.office-ml@aist.go.jp)

# カーボンニュートラルに向けた メタンハイドレート開発の位置づけ

2021年12月

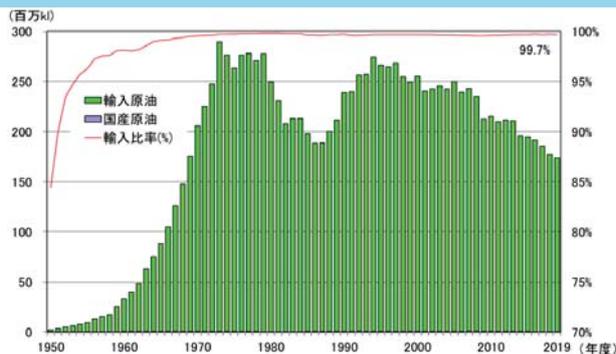
経済産業省

資源エネルギー庁

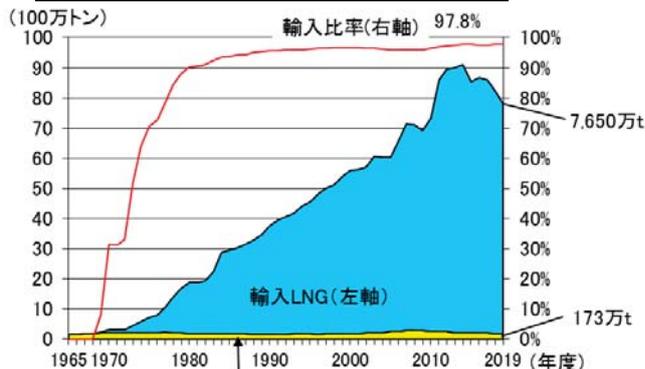
石油・天然ガス課

## 石油・天然ガス共通の課題

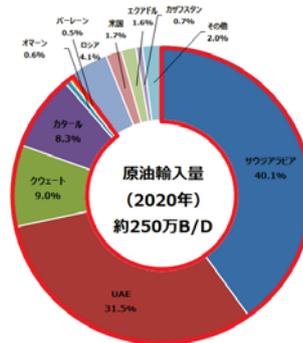
- 日本は、石油・天然ガスのほぼ全量を輸入に依存しており、中東情勢や新興国の需給構造変化の影響を大きく受けやすい状況であり、我が国が抱える構造的な課題に変化はない。



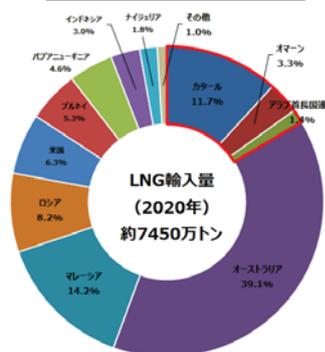
原油輸入量の推移 (輸入率：99.7%)



天然ガス輸入量の推移 (輸入率：97.8%)



中東依存度：90.3%



中東依存度：16.4%

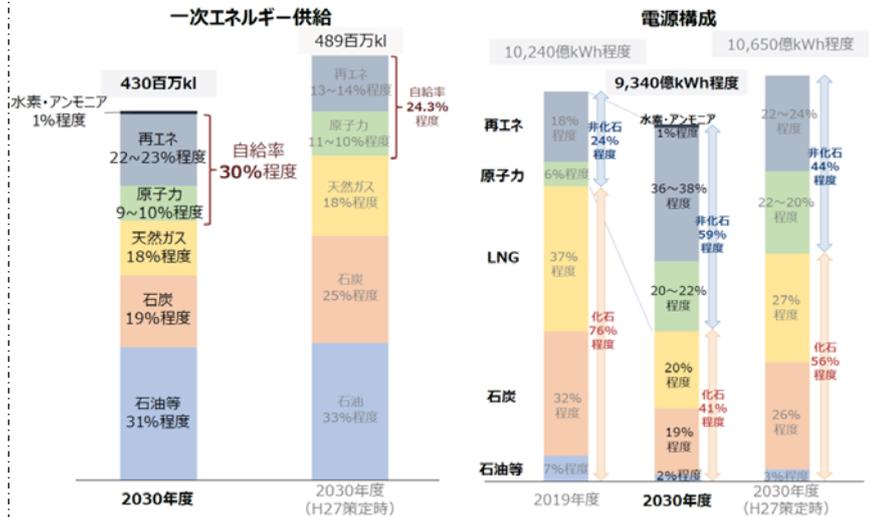
(出所) エネルギー白書 (2021)

# カーボンニュートラル時代における石油・天然ガスの重要性

- エネルギーは、国民生活や経済活動を支える基盤。いかなる状況にあっても、安定供給が確保が不可欠。
- 石油は災害時におけるエネルギーの「最後の砦」として、また天然ガスは、カーボンニュートラル社会への移行期に加え、カーボンニュートラル社会の実現後も引き続き重要なエネルギー源であり、カーボンリサイクルなどの脱炭素技術の開発とともに、石油・天然ガスの安定供給確保の重要性は変わらない。
- むしろ、いかなる情勢変化にも柔軟に対応する基盤として、石油・天然ガスの「自主開発比率」を可能な限り高めることはこれまで以上に重要となる。

## 第六次エネルギー基本計画（令和3年10月22日閣議決定）抜粋

- カーボンニュートラルへの道筋に様々な不確実性存在する状況においても、エネルギー・セキュリティの確保に関しては一切の妥協は許されず、必要なエネルギー・資源を安定的に確保し続けることが国家の責務である。昨今の中東情勢の変化や新興国の需要拡大、シーレーンの不安定化、戦略物資を巡る国際的な緊張の高まり等も踏まえると、石油・天然ガスや金属鉱物資源等の海外権益獲得や国内資源開発を通じた安定供給確保は、国民生活及び経済活動の観点から重要であり、引き続き確実に達成する必要がある。
- ～（略）石油・天然ガスの安定供給確保の重要性は全く変わるものではなく、むしろ、いかなる情勢変化にも柔軟に対応するための基盤として、自主開発比率を可能な限り高めることの重要性が一層増している。このため、石油・天然ガスの安定供給確保に向けて、引き続き資源外交の推進やJOGMECによるリスクマネーの供給等により、自主開発を推進し、石油・天然ガスの自主開発比率（2019年度は34.7%）を2030年に50%以上、2040年には60%以上に引き上げることを目指す。
- ～（略）日本においても、様々な立場の専門家からの意見を踏まえて、2050年の発電量の約50～60%を太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス等の再生可能エネルギー、水素・燃料アンモニア発電を10%程度、原子力・CO2回収前提の火力発電を30～40%程度とすることを、議論を深めていくための参考値としたが、いずれの電源についても様々な課題があることが明らかになっており、2050年に向けた道筋（シナリオ）を複数描くことの重要性は論を待たない。

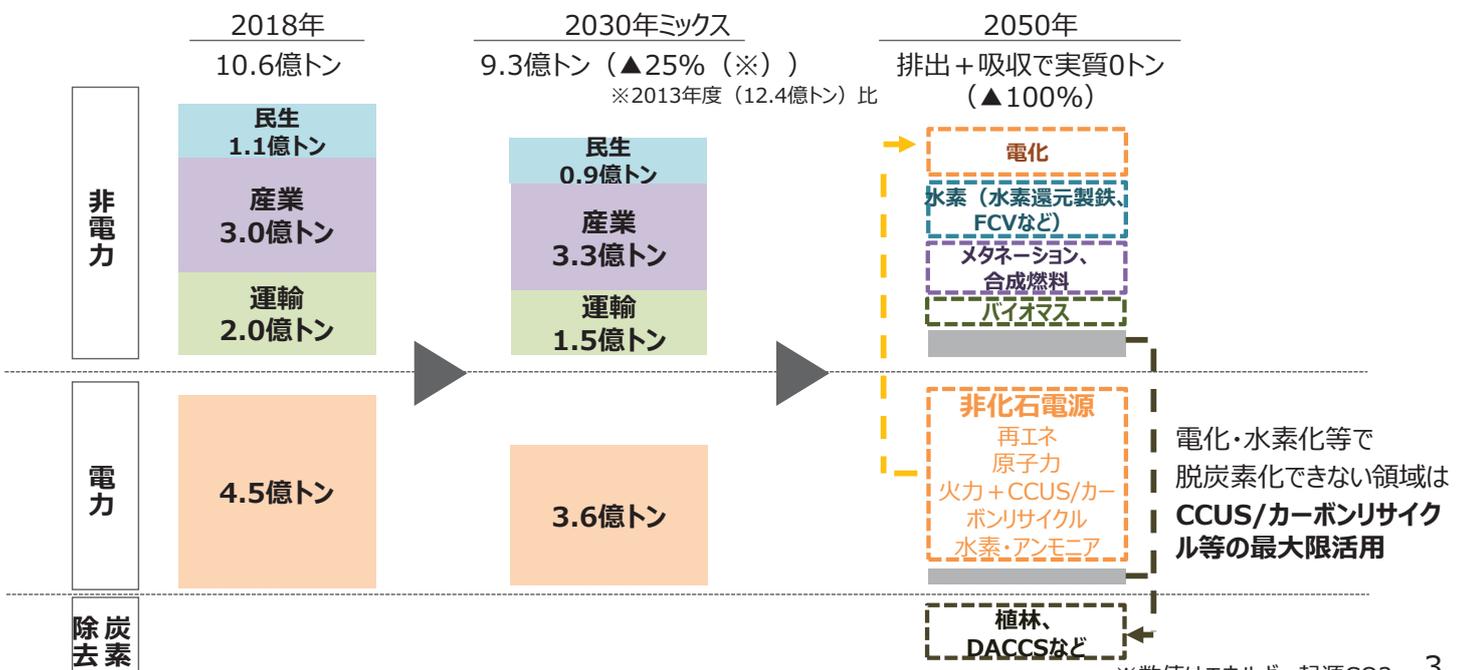


(出所) 2030年度におけるエネルギー需給の見通し (令和3年9月14日更新)

## (参考) カーボンニュートラルへの転換イメージ

令和2年11月17日  
基本政策分科会資料 (抜粋)

- 社会全体としてカーボンニュートラルを実現するには、電力部門では非化石電源の拡大、産業・民生・運輸（非電力）部門（燃料利用・熱利用）においては、脱炭素化された電力による電化、水素化、メタネーション、合成燃料等を通じた脱炭素化を進めることが必要。
- こうした取組を進める上では、国民負担を抑制するため既存設備を最大限活用するとともに、需要サイドにおけるエネルギー転換への受容性を高めるなど、段階的な取組が必要。



● これまで取り組んできた供給源多角化や上流開発へのリスクマネー供給、積極的な資源外交、国内資源開発の推進等に加えて、下記を進める。これら施策は、第6次エネルギー基本計画にも反映。

## 1. 石油・天然ガスの安定供給確保と水素、燃料アンモニアの導入及びCCS適地の確保のための体制構築

### ①石油・天然ガスの安定供給確保（自主開発の更なる推進）

- i. 自主開発目標の引き上げ
  - ・ 新しいエネルギー基本計画の検討状況等を踏まえ、具体的な数値の設定（2030年度50%、2040年度60%）
- ii. ブルー水素・ブルーアンモニアの原料としての利用も見据えた国内資源の探査・開発を継続実施

### ②我が国及びアジアのエネルギーレジリエンス向上

- i. アジア大での石油備蓄協力の拡大
- ii. 「新LNG戦略」の策定
  - ・ 仕向地柔軟化を通じた市場の流動化、アジアLNG市場の拡大等（目標）2030年度に「外・外取引」含むLNG取引量1億tを達成

### ③水素、燃料アンモニアの導入及びCCS適地の確保のための体制構築

- i. JOGMECを通じた水素・アンモニア及びCCS適地確保に関する事業への支援策検討、上流開発を伴わないCCS事業への支援策検討、
- ii. ブルー水素・ブルーアンモニアの原料確保に向けた資源国との関係維持・強化、メタハイを含む国内資源開発等の可能な限りの早期実施
- iii. 資源探査船「たんさ」を活用した国内外CCS適地探査の実施、「アジアCCUSネットワーク」の活用
- iv. 長期のCCSロードマップの策定、CCSの研究開発・実証の推進 等

## 2. 我が国及びアジアのCNに向けた化石燃料の脱炭素化

### ①日本企業の脱炭素化取組の支援

- i. JOGMECを通じたCCS等脱炭素支援事業に対する支援の実施（リスクマネーの供給、技術開発、実証、人材育成等）
- ii. 我が国企業が海外で創出したクレジットの「付加価値化」
  - a. JCMにおける更なるパートナー国の拡大
  - b. 民間主導のクレジット市場活用（ボランタリー・クレジット市場におけるCCSのクレジット対象化に向けた環境整備等）

### ②アジアの現実的なエネルギートランジション支援

- i. 各国の事情を踏まえた多様な「トランジション」の道筋（ロードマップ）の策定を支援
- ii. アジア版トランジション・ファイナンスの普及、個別プロジェクトへのファイナンス支援、制度整備、人材育成等

## 3. 包括的な資源外交と人材育成・確保

### ①包括的な資源外交

- i. 石油・天然ガスといった従来資源に加え、将来的な水素、アンモニア、CCS適地といった脱炭素燃料・技術の確保を見据え、資源国との協力案件を組成
- ii. 回志国間の緩やかなネットワークや多国間の枠組みを通じた協力案件の組成、国際的なルールメイキングの推進

### ②新時代における人材育成・確保

- i. 経済産業省と石油・天然ガス業界が連携し、他の関連団体からも構成される検討枠組みを創設、次世代の脱炭素化社会における新たな人材育成・獲得のための具体的方策を検討

4

# 石油・天然ガスの安定供給確保（自主開発の更なる推進）

- 石油・天然ガスの安定供給確保に向けて、国際情勢の変化に対する対応力を高める観点から、新しいエネルギー基本計画の検討状況等を踏まえ、下記方向で検討する。
  - ・ 現在の石油・天然ガスの自主開発比率目標（2030年40%）を、2030年度50%へと引上げ。また、2040年度目標を60%と新たに設定する。
  - ・ 国内資源開発については、国内石油・天然ガスの探査を着実に実施するとともに、民間企業等による探査に資源探査船「たんさ」を活用するなど、より効率的・効果的な探査・開発を実現し、市場競争力を高めることで、国内のみならず海外でも石油・天然ガスの探査を実施する。
  - ・ また、メタンハイドレートについては、「2023年度から2027年度の間に民間企業が主導する商業化に向けたプロジェクトが開始されることを目指す」という目標について、可能な限り早期に成果を得られるよう、技術開発等を引き続き実施する。

※自主開発比率：  
一 石油及び天然ガスの輸入量及び国内生産量の合計に占める、我が国企業の権益下にある石油・天然ガスの引取量及び国内生産量の割合。  
一 1973年度から2008年度まで石油のみを対象としてきたが、2009年度以降は石油と天然ガスを合算して算出。

<自主開発比率の実績と今後の推移（見通し）>

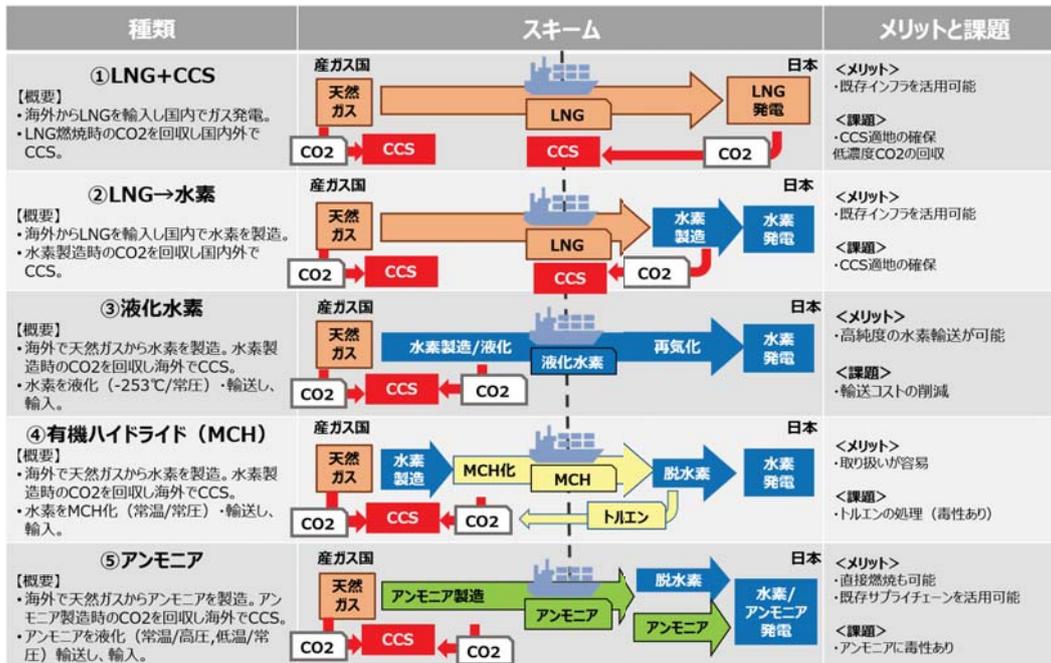


**2020年度 40.6%**  
→新型コロナウイルス感染拡大に伴う原油及び天然ガスの輸入量の減少。加えて、複数油ガス田における参画鉱区拡大や増産等により、我が国企業の石油・天然ガスの取引量の増加。

## 2050年CNに向けた水素、アンモニア及びCCS適地の導入・確保のための体制構築

- 2050年CN達成に向けては、水素やアンモニアの活用による火力燃料自体の脱炭素化と火力発電にCCS/CCUを活用したオフセットで対応する方向性。
- 上記施策を達成するためには、供給体制の構築が課題。供給体制としては、下記のような5つのスキームが考えられるが、それぞれのスキームには一長一短があり、特に全てのスキームで必須となるCCSは極めて重要な位置付け。
- 当面は化石燃料由来のブルー水素が大宗を占めることを踏まえた資源国との関係強化や国内資源も活用した水素やアンモニアの供給体制の構築に加えて、CCS適地の安定確保が将来的な課題。

＜今後想定される水素、アンモニアの供給網＞ (出典) 事業者からのヒアリングに基づき資源エネルギー庁にて作成



6

## 第6次エネルギー基本計画でのメタンハイドレートの位置づけ

- エネルギー安定供給とカーボンニュートラル時代を見据えた中、引き続き、メタンハイドレートを含む国内資源開発を推進することは重要。
- メタンハイドレートについては、「2023年度から2027年度の間民間企業が主導する商業化に向けたプロジェクトが開始されることを目指す」という目標の中で、可能な限り早期に成果が得られるよう技術開発等を推進。

### ○「エネルギー基本計画」(令和3年10月閣議決定) (抜粋)

- (9) エネルギー安定供給とカーボンニュートラル時代を見据えたエネルギー・鉱物資源確保の推進
- ⑦ 国内の海洋等におけるエネルギー・鉱物資源対策の促進

国内資源開発は、地政学リスクに左右されず安定的なエネルギー供給の確保が可能となることに加え、水素・アンモニアの原料としての利用も視野に、引き続きメタンハイドレートを含む国内資源開発を推進することが重要である。

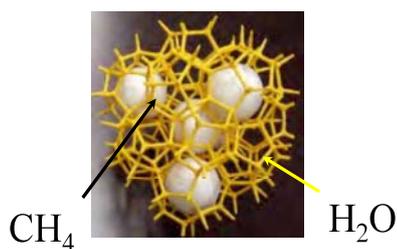
このため、メタンハイドレートについては、「海洋基本計画」(2018年5月閣議決定)に基づき策定された「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」(2019年2月 経済産業省策定)において定めた、「2023年度から2027年度の間民間企業が主導する商業化に向けたプロジェクトが開始されることを目指す」という目標の中で、可能な限り早期に成果が得られるよう技術開発等を推進する。

7

# 表層型メタンハイドレートの研究開発 「2021年度の取組について」

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
エネルギー・環境領域  
エネルギープロセス研究部門

天満 則夫



本研究は、経済産業省「国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレートの研究開発等事業（メタンハイドレートの研究開発）」の一環として実施した。関係各位に対し、謝意を表する次第である。

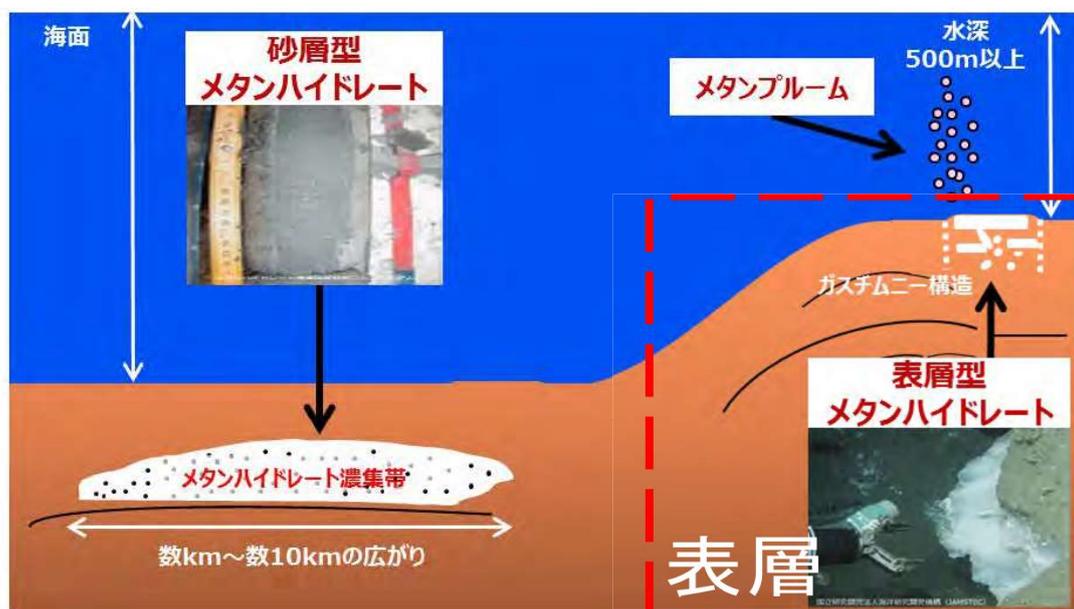
技術を社会へ-Integration for Innovation

国立研究開発法人 産業技術総合研究所



## メタンハイドレートとは

- メタンハイドレートは、非在来型の次世代天然ガス資源として期待されている
  - 砂層型メタンハイドレート：海底面下数百mの砂質層内に砂と混じり合った状態で存在
  - 表層型メタンハイドレート：海底面及び比較的浅い深度の泥層内に塊状で存在



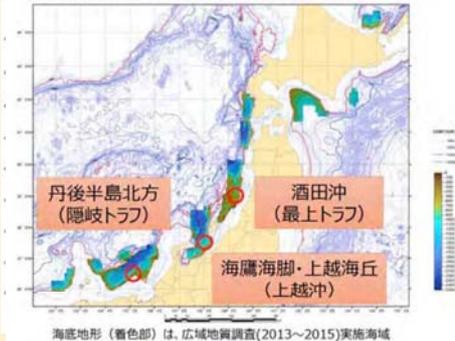
<メタンハイドレートの賦存形態>

## 生産技術の開発

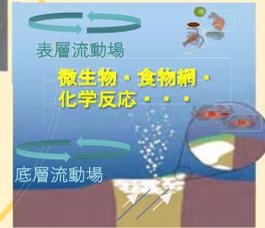
賦存状況を把握するための海洋調査や開発技術の検討に必要な海底環境条件の提供等

## 海洋産出試験の実施場所の特定に向けた海洋調査

海洋調査・海域環境調査の実施予定海域



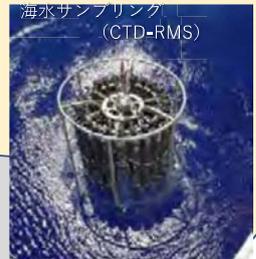
表層型MH回収・生産技術や生産システムの検討、生産技術に係る環境への影響等



## 表層型MHの研究開発

## 環境影響評価

試験候補地の特定に向けた調査、環境パラメータ調査、環境ベースライン観測及び環境モニタリング手法の高度化・最適化等



商業化を目指すために必要な技術開発の取組(経済性の検討等)

## 実施スケジュール(実行計画より)

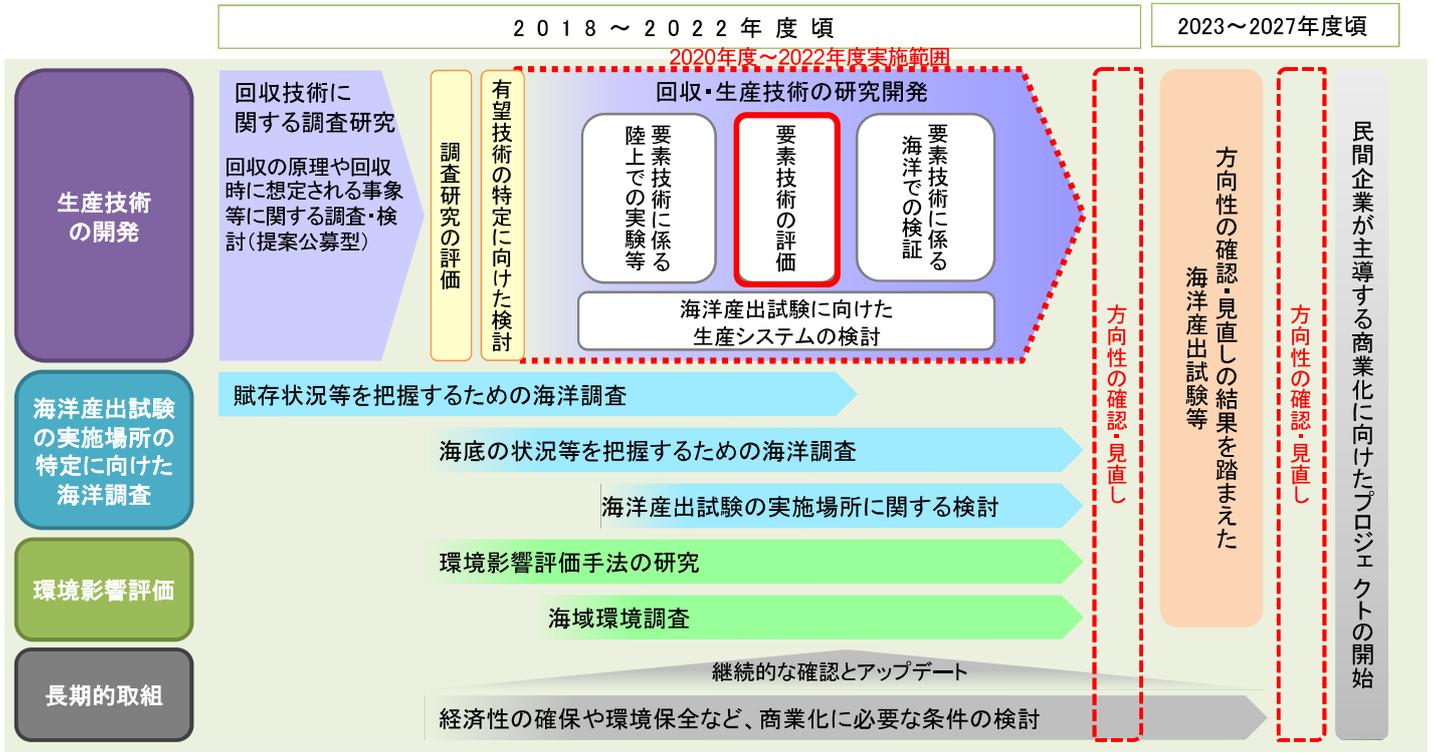
年度	2019	2020	2021	2022
生産技術の開発	調査研究の評価、技術の特定に向けた検討	■		
	回収・生産技術の研究開発(要素技術開発/生産システムの検討)		■	■
海洋調査	賦存状況等の把握	■	■	■
	・精密地下構造調査	■	■	■
	・熱流量調査		■	■
	海底の現場状況等の把握(地盤強度調査/海底現場状況調査)		■	■
海洋産出試験の実施場所に関する検討			■	■
環境影響評価	環境影響評価手法の検討	■	■	■
	・技術・社会動向調査	■	■	■
	・表層型メタンハイドレート賦存海域の特性解明		■	■
	海域環境調査		■	■
	・表層型メタンハイドレート賦存海域における環境パラメータ調査		■	■
・環境ベース観測及び環境モデリング手法の高度化・最適化		■	■	

・実験データに基づく観測手法の高度化  
・実験・解析用の現場試料・パラメータの取得

## 表層型メタンハイドレートの開発に向けた工程表

海洋エネルギー・鉱物資源開発計画（2019年2月 経済産業省策定）

- 2023年度～2027年度の間に民間企業が主導する商業化に向けたプロジェクトが開始されることを目指し、将来の商業生産を可能とするための技術開発を進める。



## 表層型メタンハイドレートの回収・生産技術の開発

- 令和3年度（2021年度）に産総研内に設置した「表層型メタンハイドレート回収・生産技術評価委員会」において、要素技術の評価を実施。

### 要素技術(採掘・分離・揚収)



### 【表層型メタンハイドレート回収・生産技術評価委員会】(◎は委員長)

- ◎ 増田 昌敬 東京大学 大学院工学系研究科システム創成学専攻 教授
- 内田 努 北海道大学大学院工学研究院 応用物理学部門凝縮系物理学分野 ナノバイオ工学研究室 准教授
- 小野崎 正樹 (一財) エネルギー総合工学研究所 研究顧問
- 中田 喜三郎 名城大学大学院 総合学術研究科 特任教授
- 橋本 博公 大阪府立大学 大学院工学研究科 航空宇宙海洋系専攻 教授
- 山路 法宏 (独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 総務部 戦略企画室長

【出典】 第38回開発実施検討会 資料5 [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/methane\\_hydrate/pdf/038\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methane_hydrate/pdf/038_05_00.pdf)

- 回収・生産技術の研究開発の最大化を図るために**必要不可欠な情報**(胚胎層の深度と連続性、地盤強度、環境影響等)を**海洋調査により取得**する。

## 海洋産出試験の実施場所の特定に向けた海洋調査

- 高分解能三次元地震探査(精密地下構造探査)、熱流量調査など、表層型メタンハイドレートの**賦存状況を把握するための海洋調査**を実施する。
- 回収・生産技術の研究開発に必要な**海底の状況**(地盤強度、底層流、塩分濃度、海底水温、圧力、海底下のメタンガスと硫化水素、メタンブルーム等)を**把握するための海洋調査**を実施する。
- これらの調査結果や海洋環境調査の結果を踏まえ、**海洋産出試験の実施場所に関する検討**を行う。



## 環境影響評価

- 技術・社会動向調査、表層型MH賦存海域の特性解明(物質循環、生態系等)、疑似現場実験などを行い、表層型メタンハイドレート開発に係る**環境影響評価手法の高度化**に取り組む。
- 上記の研究の進捗を踏まえ、**海洋調査と連携して海域環境調査**を実施する。



環境ベースライン調査・曝露実験・影響予測シミュレーション・分析等

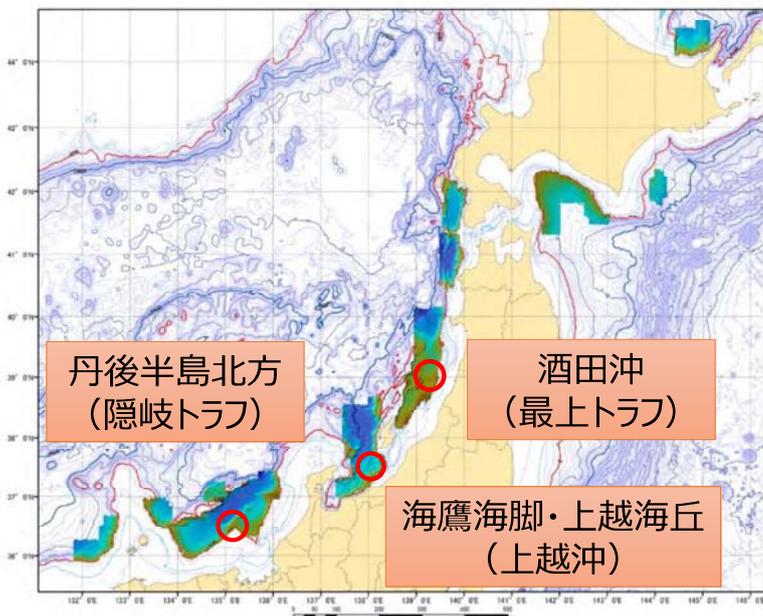
【出典】第36回開発実施検討会資料6 : [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/methane\\_hydrate/pdf/036\\_06\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methane_hydrate/pdf/036_06_00.pdf)

<第37回メタンハイドレート開発実施検討会(2020,12,8) 資料5を改訂>

## 今後の海洋調査・海域環境調査に関する考え方

- 将来の表層型メタンハイドレートに係る海洋産出試験を見据え、電磁探査、掘削調査、潜航調査等の詳細データが揃っている3海域をモデル調査海域として、必要な海洋調査を実施していく。

### 海洋調査・海域環境調査の実施予定海域



海底地形(着色部)は、広域地質調査(2013~2015)実施海域

### 調査項目

- 物理探査
  - ⑦ 高分解能三次元地震探査
- 海底機器観測
  - ⑧ 熱流量調査
  - ⑨ 底層流等のモニタリング
  - ⑫ 海底環境調査
- 掘削調査
  - ⑩ 地盤強度調査
  - ⑫ 海底環境調査
- 海域環境調査
  - ⑪ 海底画像マッピング
  - ⑫ 海底環境調査
  - ⑬ 海洋観測

番号(丸数字)は次ページの表に対応

※あくまで現時点での計画であり、今後実施時期や調査項目について関係者等と調整させていただく予定です。

# 海洋調査・海域環境調査の実績と今後の実施計画

凡例	資源量把握に向けた調査 (2013~2015)	賦存状況等を把握するための 海洋調査 (2017~)	海底の状況等を把握するための 海洋調査 (2020~)	海域環境調査 (2020~)
----	----------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-------------------

調査項目	丹後半島北方 (隠岐トラフ)	海鷹海脚・上越海丘 (上越中)	酒田沖 (最上トラフ)
①広域地質調査 (ガスチムニー構造の探索)	実施済	実施済	実施済
②詳細地質調査 (特異点周辺の詳細地形・地質構造探索)	実施済	実施済	実施済
③海洋電磁探査 (比抵抗分布の把握)	実施済	実施済	実施済
④掘削同時検層 (坑井の物性測定)	実施済	実施済	実施済
⑤掘削地質サンプル採取 (H <sub>2</sub> OとH <sub>2</sub> とH <sub>2</sub> SとCH <sub>4</sub> とCO <sub>2</sub> と)	実施済	実施済	実施済
⑥ROV潜航調査 (簡易環境把握調査)	実施済	実施済	実施済
⑦高分解能三次元地震探査 (精密地下構造探査)	2021	実施済	2019
⑧熱流量調査 (賦存領域下限深度の把握)	計画中	2022-	2020-2021
⑨海底機器観測 (底層流等のモニタリング) <+環境>	計画中	2022-	2020-2021
⑩地盤強度調査 (コーン貫入試験) <+環境>	計画中	2022	2021
⑪海域環境調査 (A) (海底画像マッピング) <+海底状況>	2022	2021	2020
⑫海域環境調査 (B) (海底環境調査) <+海底状況>	2022	2021	2020
⑬海域環境調査 (C) (海洋観測)	2022	2021	2020

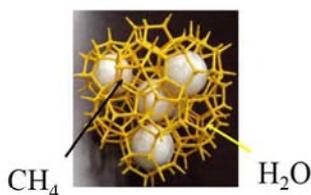
※あくまで現時点での計画であり、今後実施時期や調査項目について関係者等と調整させていただく予定です。

## 表層型MHの研究開発 2021年度研究成果報告会

時間	講演タイトル	講演者
13:20~13:30	開催準備・事務連絡等	
13:30~13:40	ご挨拶	経済産業省 資源エネルギー庁 石油・天然ガス課 山田 哲也
13:40~13:50	表層型メタンハイドレートの研究開発 -2021年度の取組について-	産業技術総合研究所 エネルギープロセス研究部門 天満 則夫
13:50~13:55	セッション1 生産技術の研究開発の進捗について	産業技術総合研究所 エネルギープロセス研究部門 天満 則夫
13:55~14:15	セッション1 「広範囲鉛直掘削法による回収技術開発」の進捗について	三井海洋開発 事業開発部 望月 幸司
13:55~14:15	セッション1 貯留層物性・MH分解挙動の検討	鳥取大学 工学部 海老沼 孝郎
14:35~14:45	休憩(10分)	
14:45~14:55	セッション2 表層型メタンハイドレート開発に係る海洋調査・環境影響評価の進捗について	産業技術総合研究所 環境創生研究部門 鈴木 昌弘
14:55~15:20	セッション2 酒田沖海域の海底地形、地質構造、海底状況調査	産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 浅田 美穂
15:20~15:40	セッション2 メタンハイドレート胚胎域を含む日本海の海洋構造	産業技術総合研究所 環境創生研究部門 中野 知香
15:40~16:00	セッション2 メタンハイドレート胚胎域における微生物生態系とその機能	産業技術総合研究所 環境創生研究部門 青柳 智
16:00~16:20	セッション2 酒田沖メタンハイドレート胚胎域の微生物によるメタン酸化ポテンシャル評価	産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 宮嶋 佑典
16:20~16:40	セッション2 酒田沖メタンハイドレート胚胎域における生物地球化学的物質循環	産業技術総合研究所 環境創生研究部門 太田 雄貴
16:40~17:05	セッション2 遺伝子解析手法による日本海生物群集の多様性・連結性評価に関する研究	産業技術総合研究所 地質情報研究部門 井口 亮
17:05~17:15	全体総括	
17:15	閉会	

# 表層型メタンハイドレートの研究開発

## 生産技術の研究開発の進捗について



国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
 エネルギー・環境領域  
 エネルギープロセス研究部門  
 天満則夫

本研究は、経済産業省「国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレートの研究開発等事業（メタンハイドレートの研究開発）」の一環として実施した。関係各位に対し、謝意を表する次第である。

### 生産技術の開発

**【目標】**

- 表層型メタンハイドレートの回収技術に関する調査研究成果の取りまとめ、評価を行い、有望な回収・生産技術を特定する。
- 表層型メタンハイドレートの回収・生産に係る要素技術等の研究開発を行い、成果の評価や検証等を通じて、生産システムの具現化に向けた検討を行う。

＜実施スケジュール＞

年度	2019	2020	2021	2022
調査研究の評価、技術の特定に向けた検討	→			
回収・生産技術の研究開発				
・要素技術開発				→
・生産システムの検討				→

年度	2019	2020	2021	2022
調査研究の評価、技術の特定に向けた検討	回収技術に関する調査研究(6提案)			
回収・生産技術の研究開発 (要素技術/共通基盤技術の開発・生産システムの検討)	調査研究の評価 有望技術の特定			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 要素技術の評価を実施し、更なる絞り込みを行った。</li> <li>➢ 要素技術との組合せや、生産システムの検討に必要な技術開発として、共通基盤技術を進めている。</li> </ul>		

表層型メタンハイドレートの回収技術に係る要素技術評価

- 表層型メタンハイドレートの生産技術を「要素技術」（採掘技術・分離技術・揚収技術）について評価を踏まえ、各分野ごとの技術開発及び生産システムとして最も優れた組み合わせの検討を実施。

**要素技術**

大口径ドリルを用いた広範囲鉛直採掘方式をベースとして、他の要素技術(分離/揚収)の組み合わせも考慮し、生産システムとして最も優れた組み合わせの検討を進める。

**採掘技術**

【大口径ドリルを用いた広範囲鉛直採掘方式】・三井海洋開発グループ

掘削性能に関する陸上試験の結果や技術課題の更なる検討は必要ではあるものの、掘削面に対する柔軟な対応が期待でき、操作性や環境負荷の面からも大口径ドリルの検討を今後は優先すべきである。

**分離技術**

MH、泥の比率が変動するため、現状では海底での分離は困難と考えられる。一方で、船上分離方式でも分離効率に関する更なる技術検討に加えて泥水処理に関する法的整理も進めていくべきである。

**揚収技術**

どちらの方式にも優位性と課題があるため、MH特有の問題を考慮しつつ、他の要素技術(掘削/分離)との組み合わせや全体システムも念頭において技術開発を進めるのが望ましい。

**共通基盤技術**

要素技術との組み合わせの検討や生産システムとしての検討を行う上で必要な技術開発を実施。

【膜構造物の利活用】  
・東京海洋大学グループ

【貯留層物性・メタンハイドレート分解挙動の検討】  
・鳥取大学グループ

要素技術の開発や生産システムの検討に必要な調査・研究を実施。  
【海洋調査・環境影響評価等】  
・産業技術総合研究所

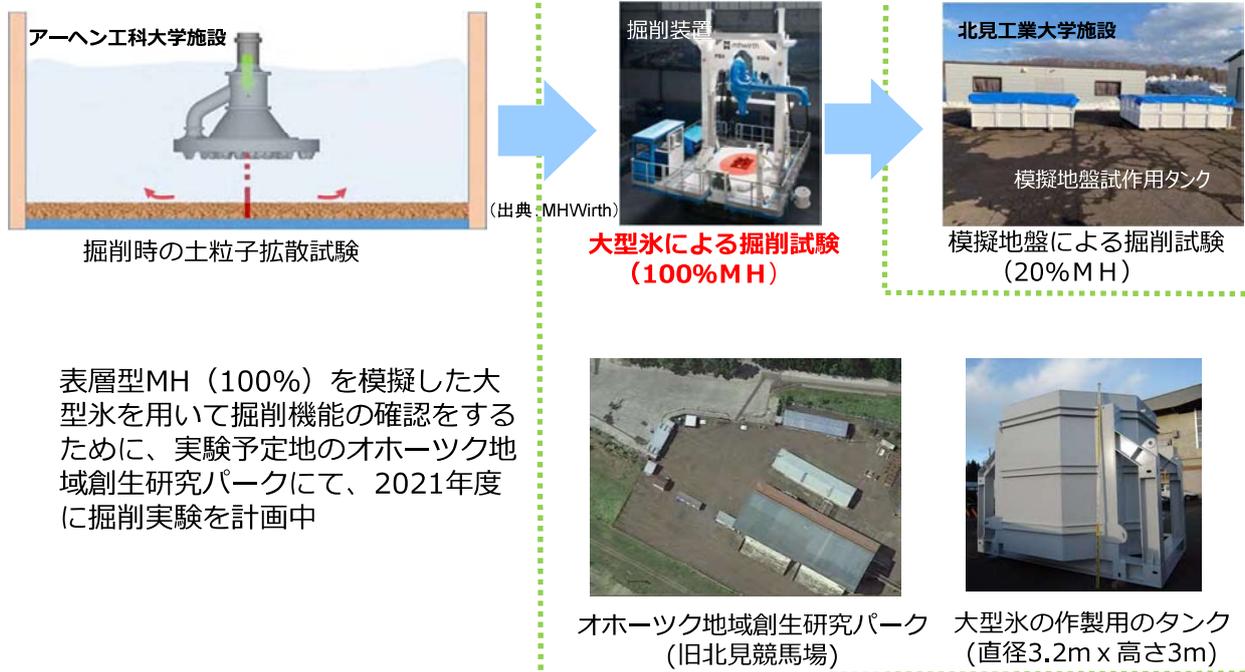
引き続き、研究開発ステージ毎に評価し、生産システムとして最も優れた組み合わせの検討を実施。

【出典】 第38回開発実施検討会 資料5 [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/methane\\_hydrate/pdf/038\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methane_hydrate/pdf/038_05_00.pdf)

◆【掘削】研究開発計画

目的：海洋等での技術的な検証が可能となるように、陸上で事前検証を行う

試験時期/場所 2020年度/ドイツ → 環境影響/掘削性能の確認及び実証(北海道)2021年度～

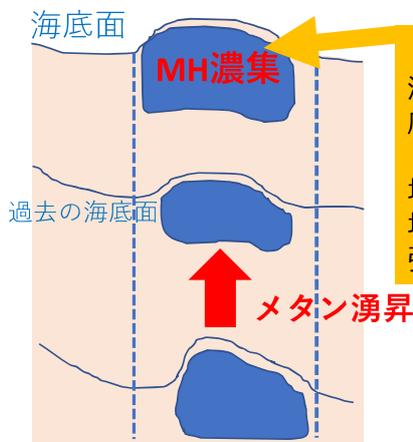


表層型MH (100%) を模擬した大型氷を用いて掘削機能の確認をするために、実験予定地のオホーツク地域創生研究パークにて、2021年度に掘削実験を計画中

膜構造物の利活用に関する技術開発 – 研究計画概要  
【東京海洋大学・新潟大学・九州大学・太陽工業(株)】

	2020年度	2022年度
<b>膜の設計方法の検討</b>		
1) 膜設計のための室内実験 担当：東京海洋大学 九州大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>●膜に捕集される際の粒状体の挙動や、膜材料の耐久性評価のための実験・データ取得・評価(東京海洋大学)</li> <li>実験装置の設計製作・データ取得等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験・データ取得・評価等</li> </ul>
2) 膜設計のための解析 担当：九州大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>●施工時の海中騒音の検討のために、音響に係る室内実験などによる検討や音響計測器で取得したデータの解析等(東京海洋大学・九州大学)</li> <li>室内実験や既存データの解析等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験・データ取得・評価等</li> </ul>
3) 大型水槽実験 担当：太陽工業	<ul style="list-style-type: none"> <li>●膜設計に必要なデータ取得・解析</li> <li>実験・データ取得・解析等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験・データ取得・解析等</li> </ul>
<b>膜の施工方法の検討</b>		
1) 大型水槽実験 担当：太陽工業	<ul style="list-style-type: none"> <li>●膜構造物の施工に必要なデータ取得・解析</li> <li>実験・データ取得・解析等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験・データ取得・解析等</li> </ul>
2) 汚濁防止膜に作用する力および支持地盤の安定解析 担当：新潟大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>●膜の施工に必要な支持地盤条件の検討や、大型水槽実験の解析や考察等の解析・評価</li> <li>データ取得・解析・評価等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ取得・解析・評価等</li> </ul>
(c)東亜建設工業施設	(c)東亜建設工業施設	(c)東亜建設工業施設
施工実験水槽	汚濁防止膜模型	小型造波水路

海底面下浅層に分布する表層型メタンハイドレートの特徴を踏まえて、メタンハイドレートの分解条件、海底地盤の変形・強度特性を含む地質及び土質的な特徴等、要素技術開発及び生産システム検討において必要となる共通基盤的な貯留層物性とメタンハイドレート分解挙動を検討。



表層型MHが存在するガスチムニー構造の模式図

松本他(2019)、日本海の表層型メタンハイドレート：基本概念の確立と新たな課題、表層型メタンハイドレート・フォーラム（講演要旨）、明治大学グローバルフロント（東京・駿河台）を参考に作成。

### ガスチムニー構造に存在する表層型MHの特徴

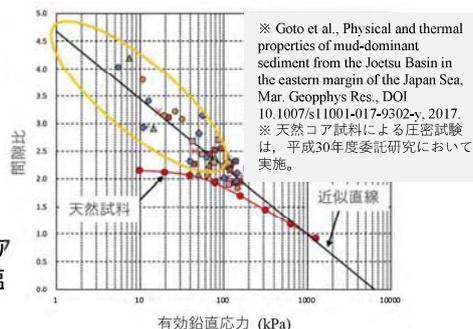
湧昇したメタンは、MHに加えて、微生物の働きにより海水の硫酸イオンと反応して、硫化水素とメタン由来の炭酸塩鉱物を生成。



堆積物中のMHの分解条件には、硫化水素を含むガスと間隙水の組成、堆積物の粒度等の物性が影響。また、炭酸塩鉱物は、海底地盤の圧密・強度特性に大きく影響する可能性（膠結作用等）。



本委託研究で分析中のコア試料に含まれていた炭酸塩鉱物。周囲の泥質堆積物は、14wt%のCaCO<sub>3</sub>を含む。



圧密・強度特性の検討例  
有効鉛直応力と間隙比の関係

※ Goto et al., Physical and thermal properties of mud-dominant sediment from the Joetsu Basin in the eastern margin of the Japan Sea. Mar. Geophys Res., DOI 10.1007/s11001-017-9302-y, 2017.  
※ 天然コア試料による圧密試験は、平成30年度委託研究において実施。

# 「広範囲鉛直掘削法による回収技術開発」の進捗について

－ 2021年度表層型MH研究成果報告会 －

2021年 12月 3日

三井海洋開発株式会社、日本大学、  
北見工業大学、北海学園大学、  
清水建設株式会社、大阪大学



【三井海洋開発(株)、日本大学、北見工業大学、北海学園大学、清水建設(株)、大阪大学】 「広範囲鉛直掘削法による回収技術開発」の進捗について

1

## 目次

1. 全体概要、回収技術の特徴
2. 実施体制
3. 表層型MHを回収する原理
4. 要素技術開発の進捗

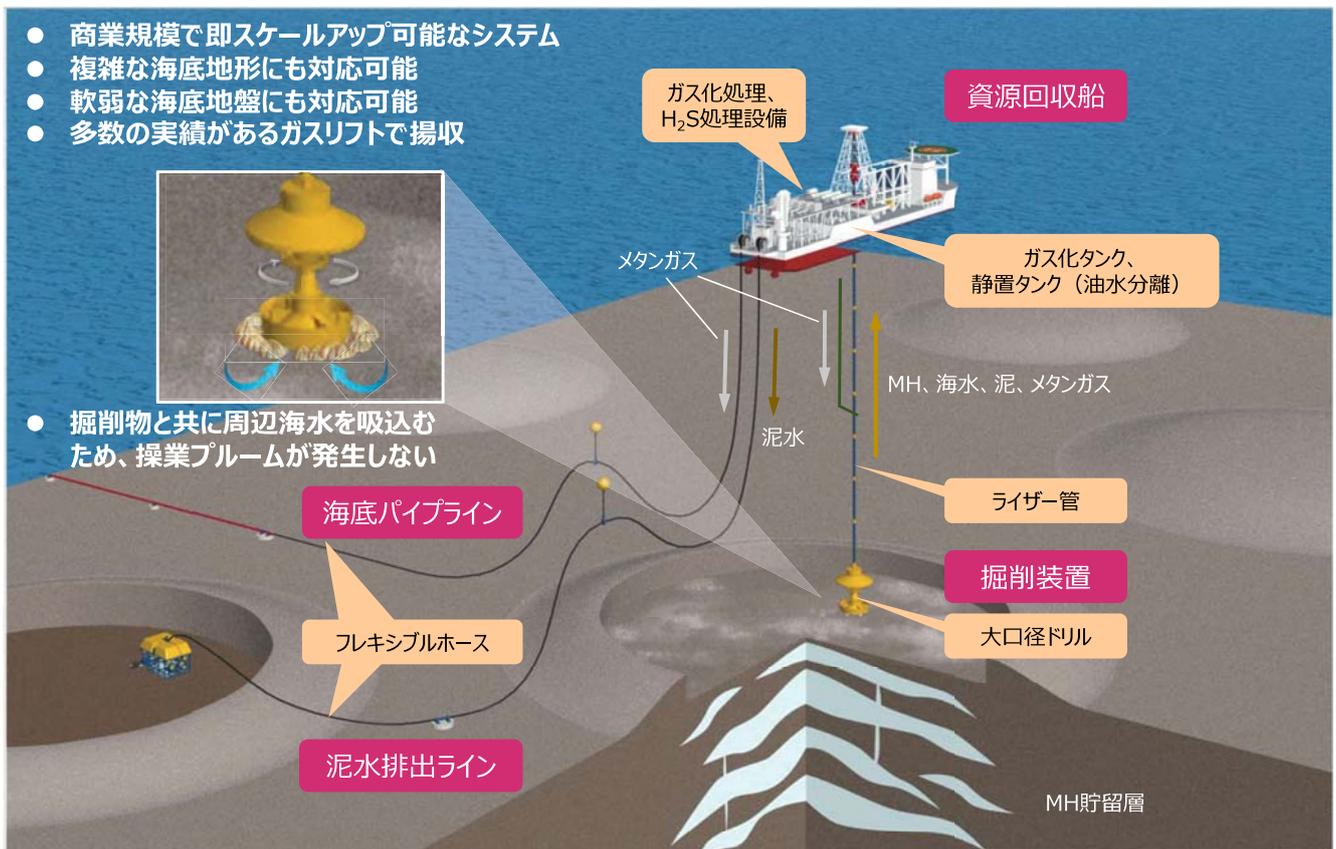
【三井海洋開発(株)、日本大学、北見工業大学、北海学園大学、清水建設(株)、大阪大学】 「広範囲鉛直掘削法による回収技術開発」の進捗について

2

# 1. 全体概要、回収技術の特徴

## 1. 提案する表層型MH回収システムの全体概要

- 商業規模で即スケールアップ可能なシステム
- 複雑な海底地形にも対応可能
- 軟弱な海底地盤にも対応可能
- 多数の実績があるガスリフトで揚収



- 掘削物と共に周辺海水を吸込むため、操業ブルームが発生しない

広範囲鉛直掘削法

# 1. 本調査研究で提案している回収技術の特徴①

- ◆ 既に商業生産（ナミビア沖で25年以上の海底ダイヤモンド採掘）で実績のある海底掘削の技術、手法を使用
- ◆ 三井海洋開発が保有するガスハイドレートに関する知見を装置の設計に活用

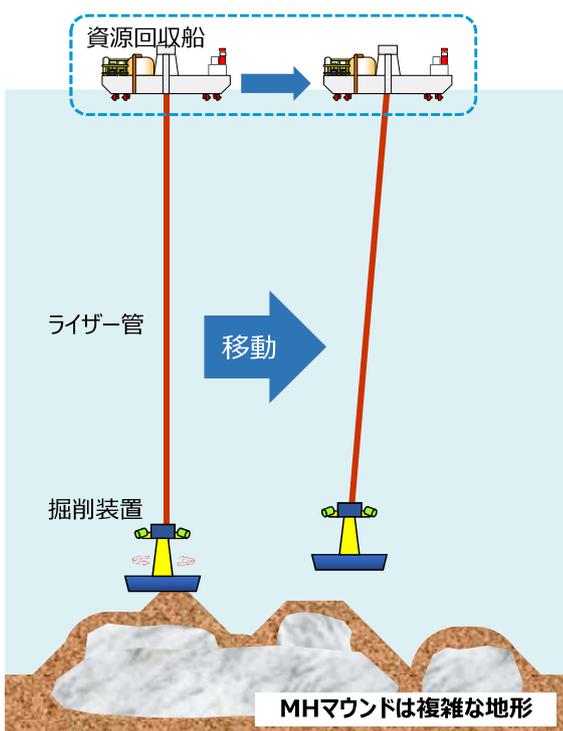


海底ダイヤモンド採掘例

(出典：MHWirth HP)

# 1. 本調査研究で提案している回収技術の特徴②

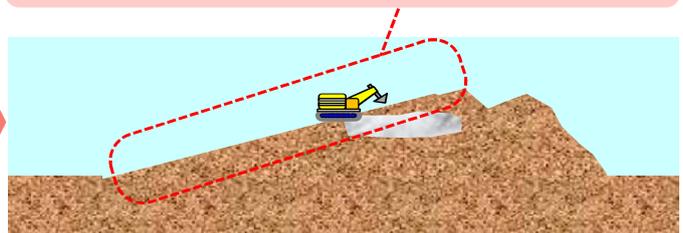
## 広範囲鉛直掘削法の特徴



船上から吊り降ろした大口径ドリルで海底面を真上から掘削する方式であるため、

- 複雑な海底地形にも対応可能
- 軟弱な海底地盤にも対応可能
- フットプリントが小さい

・海底自走式の場合、事前に海底地形の平坦化、海底地盤の強化等のアクセス路の整備が必要となる



## 2. 実施体制

## 2. 実施体制

### 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

#### 代表機関 三井海洋開発株式会社

事業全体管理、成果のとりまとめ

・分担課題名：採掘技術、揚収技術、分離技術の研究開発

#### 参画機関① 学校法人 日本大学 生産工学部

・模擬MH地盤作成方法検討、評価、とりまとめ

#### 参画機関② 国立大学法人 北見工業大学 工学部

・模擬MHの大型氷の作成方法検討および現地試作、模擬MH地盤の物性・強度評価

#### 参画機関③ 学校法人 北海学園大学 工学部

・模擬MH地盤の配合試験、作成方法の検討

#### 参画機関④ 清水建設株式会社

・模擬MH地盤作成方法検討、現地試作の全体統括

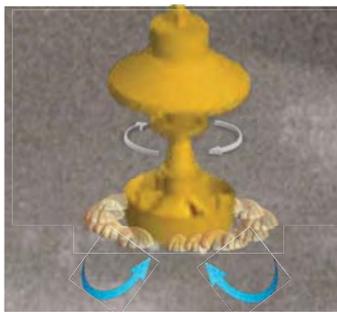
#### 参画機関⑤ 国立大学法人 大阪大学 大学院基礎工学研究科

・ガスリフト法による揚収制御技術の検討

### 3. 表層型MHを回収する原理

### 3. 表層型MHを回収する原理①

#### 掘削方法



大口径ドリルにより、メタンハイドレートを掘削する手法で、海底ダイヤモンド掘削で実績のある技術をベースにして、掘削装置の基本設計を完了

- 大口径ドリルは、直径約7.2mのディスク形状をしている
- ドリル底面に形状が異なる複数の掘削刃を設け、効率的に掘削する
- ドリル底面には、スラリー吸入口を設け、掘削物と共に周辺海水を吸い込むため、操業ブルーム（高濁度水）の発生を抑制する



掘削装置



大口径ドリル



掘削刃例

(出典：MHWirth-ダイヤモンド掘削機器の一例)

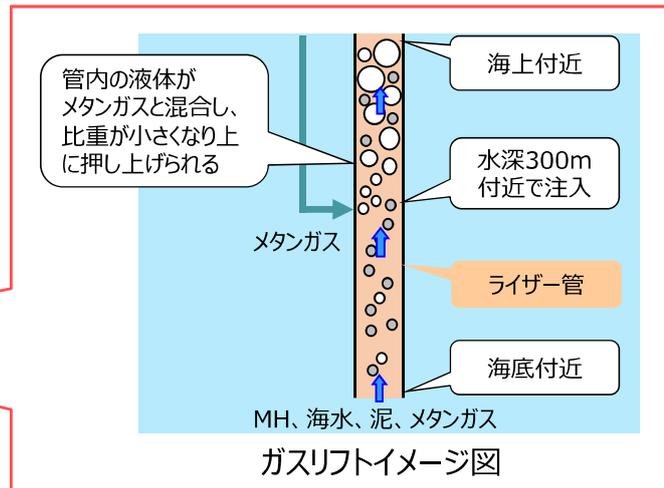
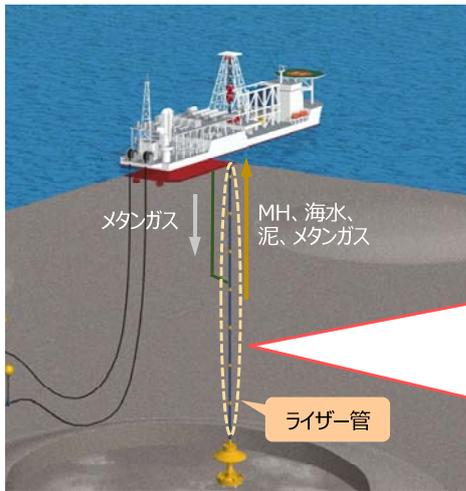
### 3. 表層型MHを回収する原理②

#### 揚収方法

- 採用するガスリフト方式は、ガスを利用して揚収管内の液体の比重を小さくし、メタンハイドレートを含むスラリーを資源回収船まで揚げる手法で、水深200mにある海底ダイヤモンドの掘削事業において、商業利用されている揚収技術である
- 揚収力発生部で固形物による閉塞、磨耗は発生しない
- 海中に動的な機器を配置しないため、故障時の対応も容易になる



ガスリフトにより揚収された岩石  
(出典：MHWirth)



【三井海洋開発(株)、日本大学、北見工業大学、北海学園大学、清水建設(株)、大阪大学】 「広範囲鉛直掘削法による回収技術開発」の進捗について

11

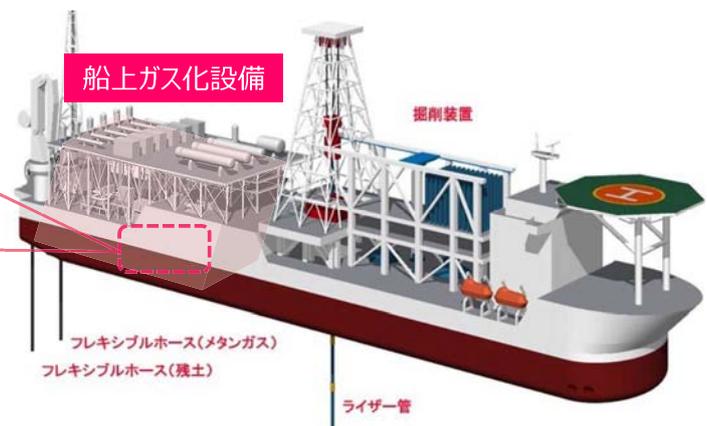
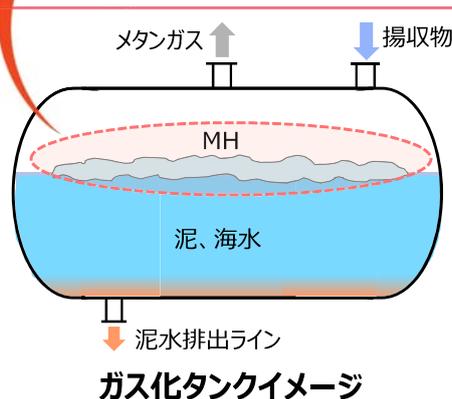
### 3. 表層型MHを回収する原理③

#### 分離方法 (船上分離方式)



温水加熱によるMHのガス化  
(MH分解実験の様子)

- 船上分離方式は、メタンハイドレートと土砂を洋上(船上)で分離する手法である
- 海底から揚収した海水と泥を、表層海水や大気と混合/接触させずに海底に戻す閉鎖系で資源回収を行う(生物コンタミを防ぐことで、表層及び海底に生息する生物への影響を低減する)
- 揚収した海水の一部を循環利用して温水を製造し、密閉タンク内に温水を噴霧してMHをガス化する



資源回収船イメージ (概念設計完了)

【三井海洋開発(株)、日本大学、北見工業大学、北海学園大学、清水建設(株)、大阪大学】 「広範囲鉛直掘削法による回収技術開発」の進捗について

12

# 4. 要素技術開発の進捗

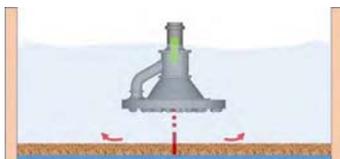
## 4. 採掘関連要素技術開発①

### ①計画（概要）-環境影響/掘削性能の確認及び実証

試験時期/場所

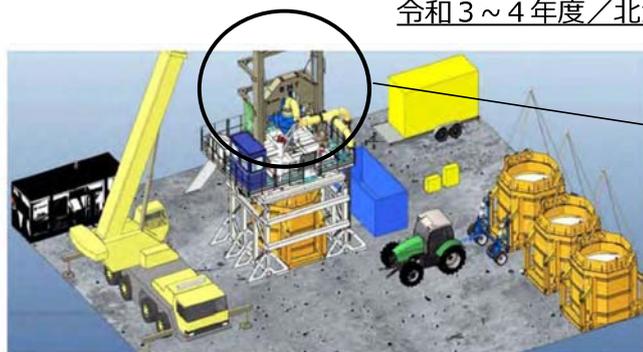
令和2年度/ドイツ

令和3～4年度/北海道



アーヘン工科大学施設

TEST A)  
掘削時の土粒子拡散試験



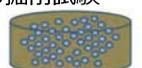
大型氷掘削試験配置図

TEST B)  
大型氷による掘削試験  
(100%MH模擬)



掘削装置 PBA936

TEST C)  
模擬地盤による掘削試験  
(20%MH模擬)



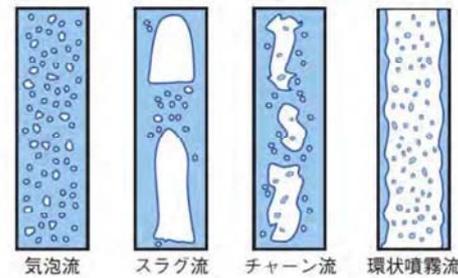
	令和2年度	令和3年度	令和4年度
TEST A) 掘削時の土粒子拡散試験	製作 → ドイツ実験	結果まとめ	
TEST B) 大型氷 (100%MH) 掘削試験	大型氷、装置製作 → 北見実験		結果まとめ
TEST C) 模擬地盤 (20%MH) 掘削試験	土の検討、装置製作		北見実験 → 結果まとめ

## 4.揚収/分離関連要素技術開発

### 揚収関連要素技術開発の進捗（大阪大学） （ガスリフト方式）

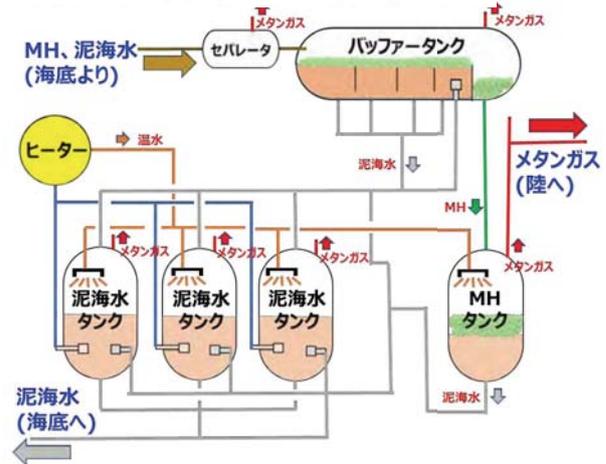
- 揚収管内の固気液三相流での制御を検討するために、ガスリフト方式に関する揚収シミュレータの開発・改良を実施中。
- 揚収シミュレーションの精度向上のために、流動様式や、混相流での既存データの整理等を実施中。

### パラメータ調査例



### 分離関連要素技術開発の進捗 （船上分離方式）

- 船上での揚収物の効率的な分離制御が出来るように、船上ガス化分離システムのコンセプトを見直し、機器仕様や配置の検討実施。
- 複数タンク採用による分離効率を検討している。



【三井海洋開発(株)、日本大学、北見工業大学、北海学園大学、清水建設(株)、大阪大学】 「広範囲鉛直掘削法による回収技術開発」の進捗について

15

ありがとうございました

【三井海洋開発(株)、日本大学、北見工業大学、北海学園大学、清水建設(株)、大阪大学】 「広範囲鉛直掘削法による回収技術開発」の進捗について

16

## 貯留層物性・メタンハイドレート分解挙動の検討

鳥取大学工学部 海老沼孝郎, 中村公一, 大野和也

### 謝辞

本研究は、経済産業省「国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレートの研究開発等事業（メタンハイドレートの研究開発）」のなかの「表層型メタンハイドレートの研究開発・基盤技術開発」として、産業技術総合研究所の再委託により、同所が冷蔵保管するコア試料（経済産業省「メタンハイドレート開発促進事業」で再委託先の明治大学が2015年に採取）を使用して実施しました。コア試料を採取された皆様、また研究の機会を与えて頂いた関係の皆様深く感謝致します。



### 【目的】

- 海底面下浅層の粘性土に分布する表層型メタンハイドレート（以下、MH）の特徴を踏まえて、MHの分解条件、海底地盤の変形・強度特性等、要素技術開発及び生産システム検討において必要となる共通基盤的な貯留層物性とMH分解挙動の解明が目的。
- 採掘、分離及び揚収の各工程において、MHが分解する温度・圧力条件を正確に把握することが重要。MHの分解条件は、包接されているガスの組成、共存する海水または間隙水の塩分及び堆積物の状態（スラリー、団塊等）と物性に依存。本課題では、表層型MHが分布する実海域で採取された試料及び市販の模擬試料を用いて、MHの分解条件に係るこれら因子を評価。
- 表層型MHは、湧昇するメタンと海水の硫酸イオンにより形成される炭酸塩鉱物とともに胚胎。炭酸塩鉱物は、土粒子に対する膠結作用、あるいは粗粒のノジュールとなり、海底地盤の変形・強度特性に影響を与える可能性。
- このため、実海域の不攪乱試料を用いたせん断強度試験、圧密試験等が必要。ただし、使用可能な試料本数の制約から、模擬の供試体作製も必要。本課題では、表層型MH賦存域の堆積層の特性を再現する模擬供試体の作成手法も検討。

### 【令和2年度の主な実施内容】

- 本研究課題では、新たに表層型メタンハイドレート分布海域で採取されるコア試料の使用を想定したが、令和2年度は、新型コロナウイルス感染症拡大による制約のため、表層型MH資源量調査（平成25～27年度）の平成27年度掘削調査において採取されたコア試料（産業技術総合研究所にて冷蔵保管）を借用して実施。

# 研究の背景・目的 海底表層における炭酸塩鉱物と硫化水素の生成

- 海底で生成され、ガスチムニー構造内を湧昇したメタンは、微生物（硫酸還元菌と嫌氣的メタン酸化古細菌）による嫌氣的メタン酸化反応により、海水に含まれる硫酸 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) と反応して、硫化水素 ( $\text{HS}^-$ ) と重炭酸 ( $\text{HCO}_3^-$ ) を生成。



$\text{HCO}_3^-$  と海水中の  $\text{Ca}^{2+}$  は、メタン由来炭酸塩を形成（生物由来炭酸塩とは異なる生成過程）。

- MHの分解条件は、間隙水の塩分、堆積物の特性（細孔径、表面物性）に加えて硫化水素の影響も受ける。
- メタン由来炭酸塩は、堆積物粒子の膠結、ノジュール化などにより、海底地盤のせん断特性・圧密特性へ影響を与える可能性。

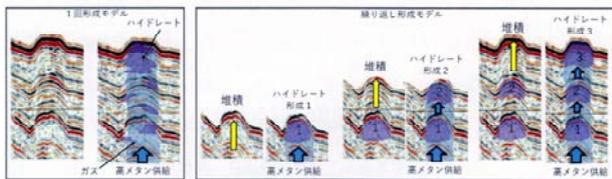


図3 塊状ハイドレートの集積は一回のイベントではなく、堆積+ガス貫入+ハイドレート形成が複数回繰り返して形成された。

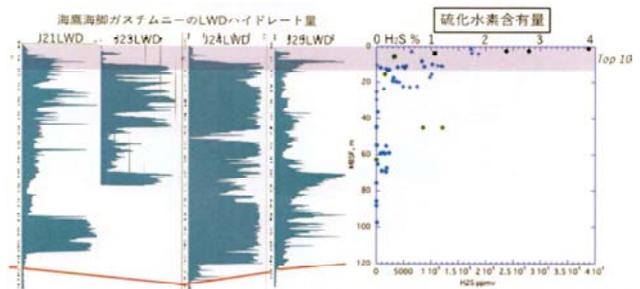
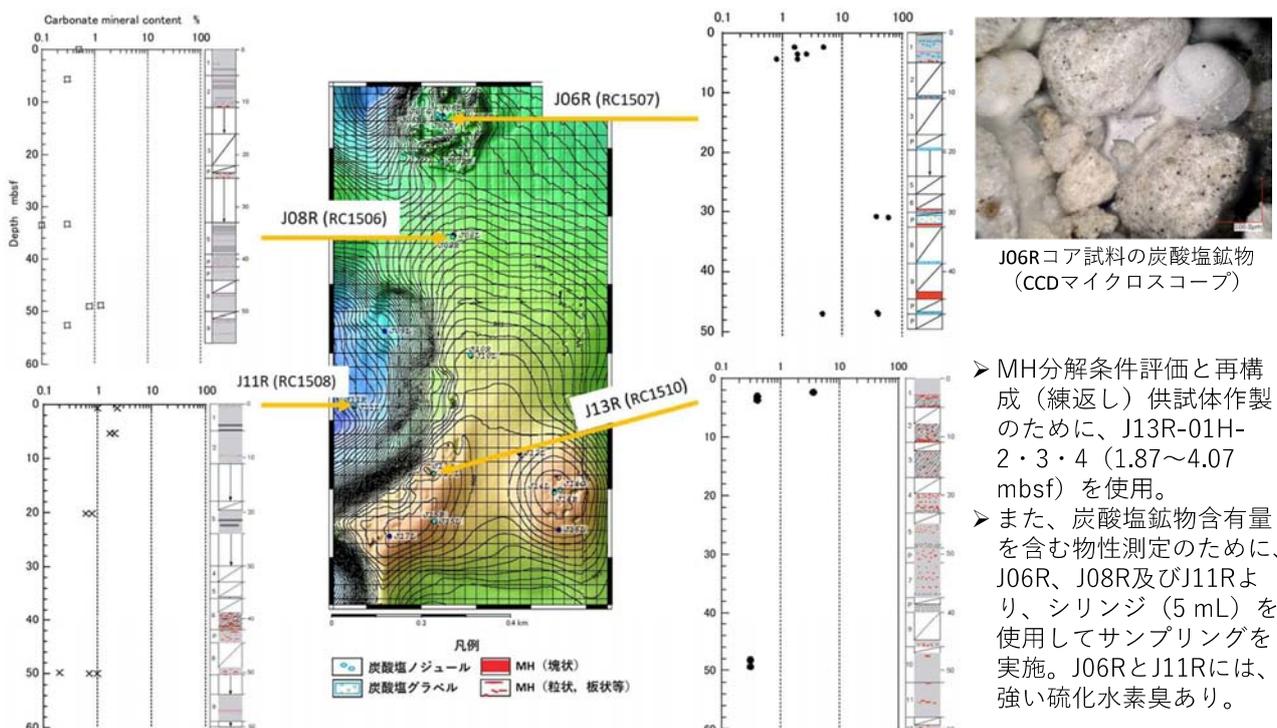


図4 LWD 速度検層から見積もったガスチムニー中のハイドレート量（体積分率）とハイドレート中の硫化水素含有量

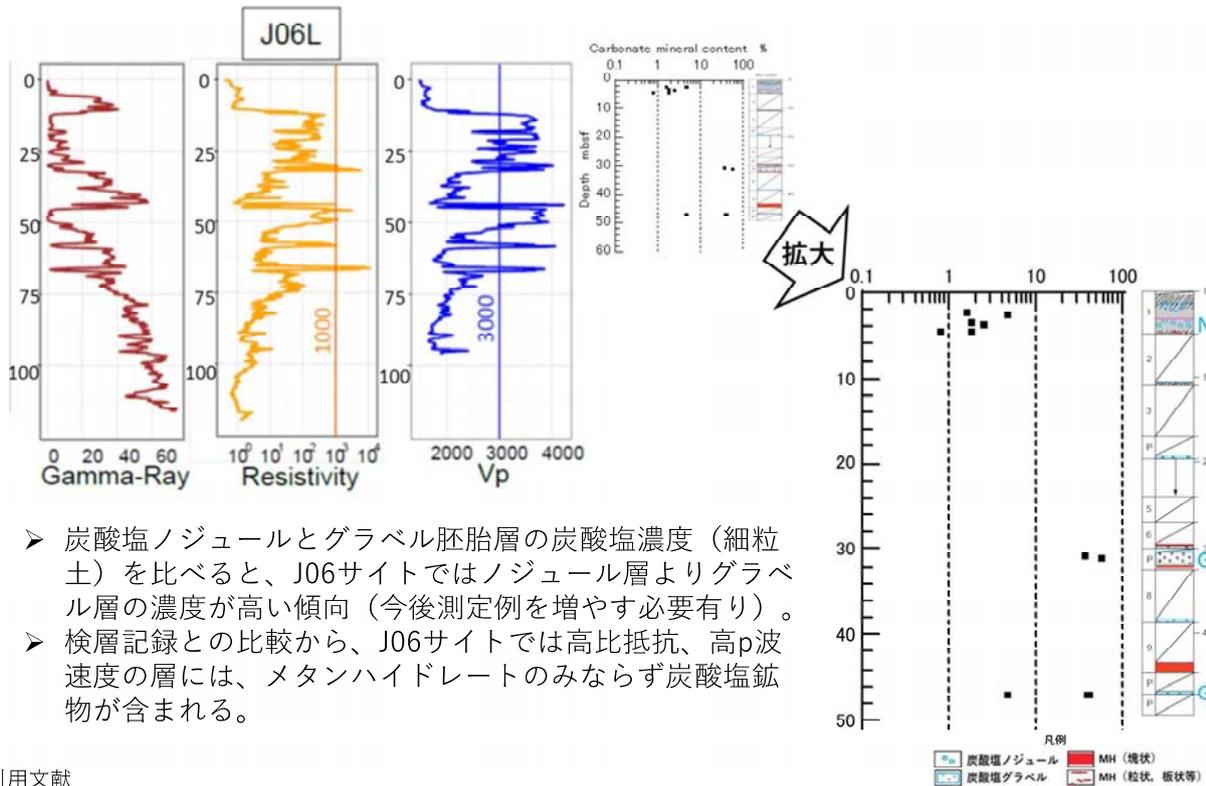
松本良 他 (2019)、日本海の表層型メタンハイドレート：基本概念の確立と新たな課題、表層型メタンハイドレート・フォーラム（講演要旨）、明治大学グローバルフロント（東京駿河台）より引用。

## 炭酸塩濃度測定結果（海鷹海脚北東部）



- MH分解条件評価と再構成（練返し）供試体作製のために、J13R-01H-2・3・4（1.87～4.07 mbsf）を使用。
- また、炭酸塩鉱物含有量を含む物性測定のために、J06R、J08R及びJ11Rより、シリンジ（5 mL）を使用してサンプリングを実施。J06RとJ11Rには、強い硫化水素臭あり。

## 検層記録との比較 (J06地点)

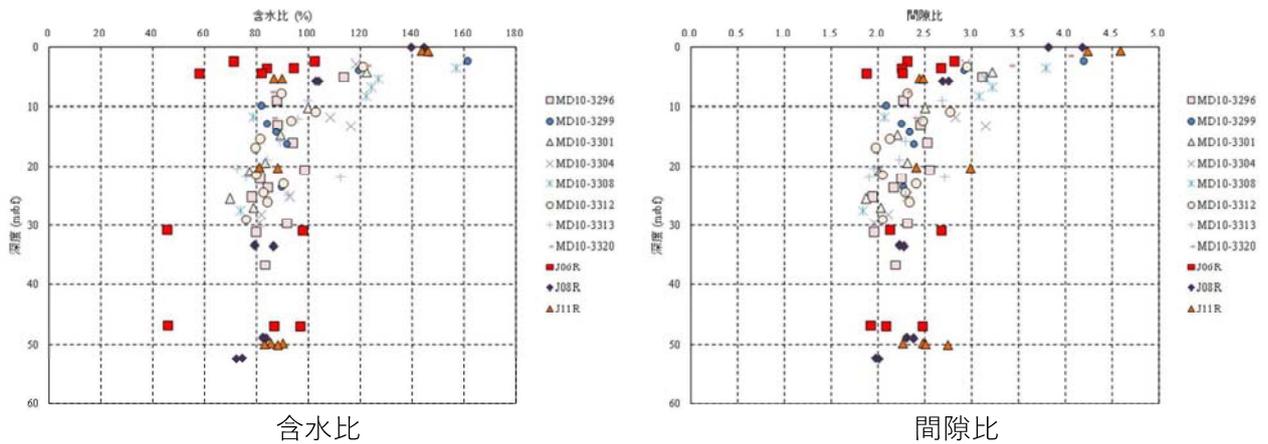


- ▶ 炭酸塩ノジュールとグラベル胚胎層の炭酸塩濃度（細粒土）を比べると、J06サイトではノジュール層よりグラベル層の濃度が高い傾向（今後測定例を増やす必要有り）。
- ▶ 検層記録との比較から、J06サイトでは高比抵抗、高p波速度の層には、メタンハイドレートのみならず炭酸塩鉱物が含まれる。

引用文献

LWD検層記録：R. Matsumoto, M. Tanahashi, Y. Kakuwa, G. Snyder, S. Ohkawa, H. Tomaru, and S. Morita, Recovery of Thick Deposits of Massive Gas Hydrates from Gas Chimney Structures, Eastern Margin of Japan Sea: Japan Sea Shallow Gas Hydrate Project, 1-6, Fire in the Ice, NETL, 17 (1), 2017. 柱状図：角和善隆, 松本良, 浅層掘削コアリングによる「ガスメ-構造」内のメタンハイドレートの賦存状況と集積度, 表層メタンハイドレート・フォーラム (講演要旨), 明治大学, 2016.6.28.

## コア試料の物性 (含水比と間隙比の深度分布)

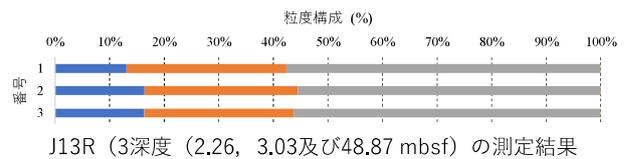
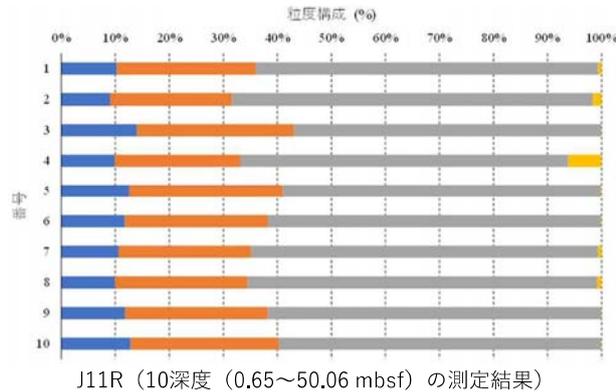
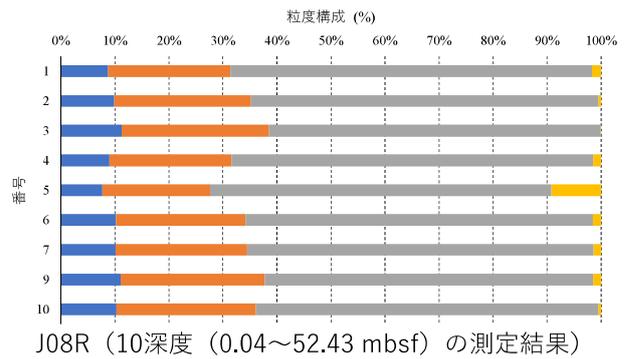
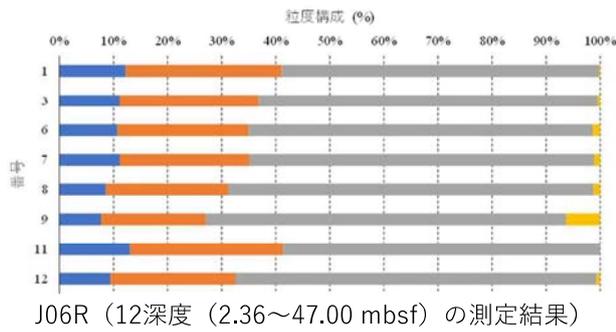


J06R, J08R及びJ11Rコア試料の実測結果とともに、上越沖海域における報告例を合わせて示す。測定試料は、シリンジ (5mL) を用いてサンプリング。間隙比の算出には、J13Rコア試料の土粒子密度を使用。

引用文献：S. Goto, M. Yamano, S. Morita, T. Kanamatsu, A. Hachikubo, S. Kataoka, M. Tanahashi, and R. Matsumoto, Physical and thermal properties of mud-dominant sediment from the Joetsu Basin in the eastern margin of the Japan Sea, Mar. Geophys. 2017, Res., DOI 10.1007/s11001-017-9302-y.

# コア試料の物性（粒度構成と土粒子密度）

■ < 0.002mm   ■ < 0.005mm   ■ 0.005 - 0.075mm   ■ 0.075mm <

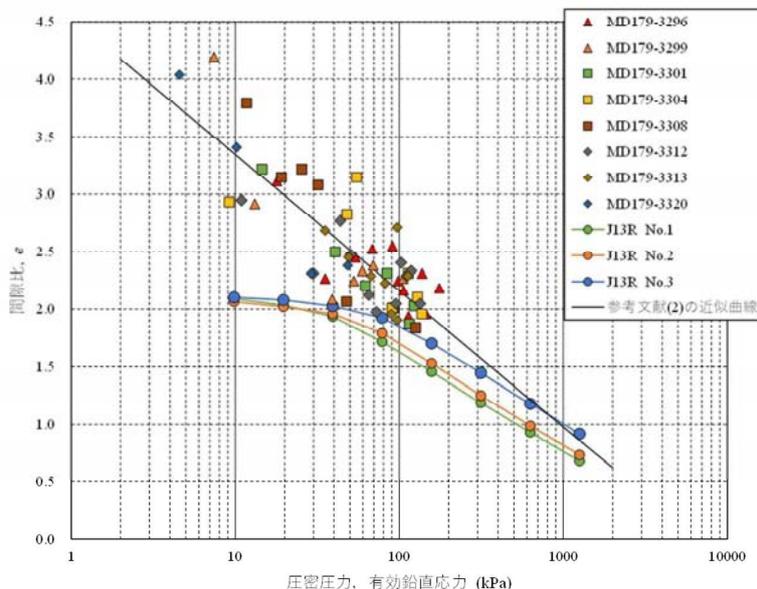


## 土粒子密度

練返し試料の段階载荷による圧密試験を実施したJ13Rコアの土粒子密度は、2.668 (No.1) , 2.669 (No.2) 及び2.740 g/cm<sup>3</sup> (No.3) .

他のコア試料については、シリンジ (5mL) によるサンプリングのため、土粒子密度は実測せず。

# J13Rコアの圧密試験結果（練返し試料の段階载荷）



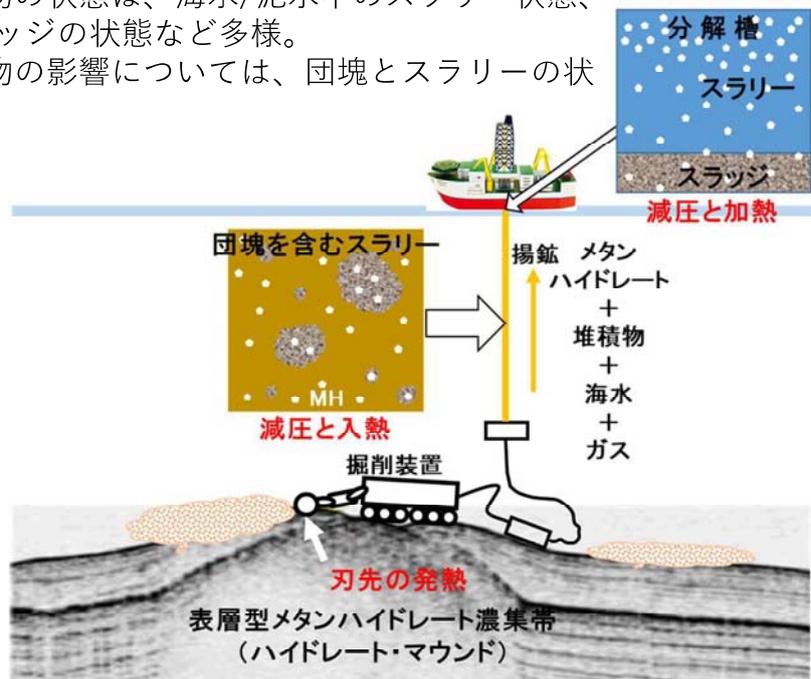
圧密試験により得られたe-log p曲線

引用文献から算出した有効鉛直応力と間隙比の関係を合わせてプロットした（深度30mの有効鉛直応力は約140kPa）。圧密試験結果の圧縮性は、引用文献より算出した結果（直線）より小さい。また、引用文献の間隙比は4.0から2.0に分布しており、原位置の間隙比と同等な再構成供試体を作成するのは困難。従って、深度50m以浅の地盤の力学特性を検討するには、不攪乱供試体を用いるか、模擬供試体の作成が必要。

引用文献：S. Goto, M. Yamano, S. Morita, T. Kanamatsu, A. Hachikubo, S. Kataoka, M. Tanahashi, and R. Matsumoto, Physical and thermal properties of mud-dominant sediment from the Joetsu Basin in the eastern margin of the Japan Sea, Mar. Geophys. 2017, Res., DOI 10.1007/s11001-017-9302-y.

# 表層型メタンハイドレート (MH) 分解条件の検討

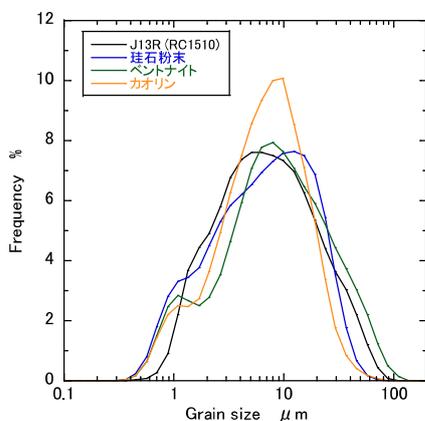
- MHの分解は、メタンガスを生産する分解槽のみならず、掘削による摩擦・発熱、揚鉤に伴う減圧と入熱などによっても発生。
- これら分解時のMHと堆積物の状態は、海水/泥水中のスラリー状態、堆積物との団塊状態、スラッジの状態など多様。
- MH分解条件に対する堆積物の影響については、団塊とスラリーの状態に大別して検討。



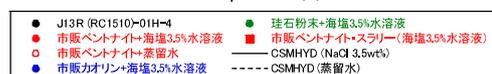
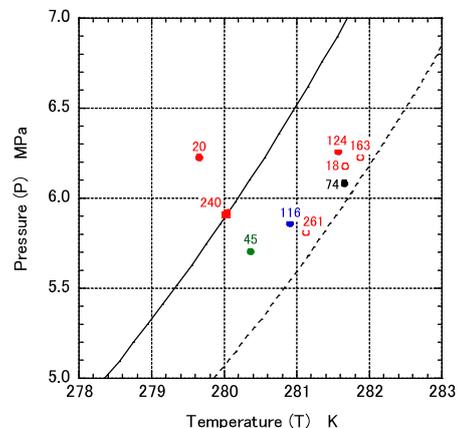
表層型MHの生産において想定されるMHの分解 (詳細は生産方法により異なる)

## 表層型メタンハイドレート (MH) 分解条件

- スラリー及び団塊の状態を想定して、MH分解条件に対する堆積物の影響を評価。
- マグネット駆動攪拌機付き圧力容器内 (容積150cm<sup>3</sup>) をプログラム温度制御可能な恒温槽内に設置。固相濃度/含水比を調整したスラリーまたは団塊の堆積物試料にMHを生成させた後に、温度変化率一定で昇温させることにより、MH分解条件を決定。
- 実験試料として、J13R (RC1510) コア試料の他に、市販の珪石粉末、カオリン、MHの生成平衡条件に影響を与えることが明らかとなっているベントナイトを使用。



実験試料の粒径分布 (J13Rコア以外は市販試料)



MH分解条件の測定結果と解離圧曲線の比較 (数値は含水比)

- 海水かつ団塊状堆積物の状態では分解温度の高温側への遷移が見られるが、蒸留水の場合には認められない。今後、さらにデータを取得して検討予定。

## 貯留層特性・MH分解特性の検討 まとめ

- 令和2年度は、新型コロナウイルス感染症拡大のため、当初想定した新たに採取されるコア試料に代えて、平成27年度掘削調査において、上越沖海鷹海脚北東部で採取され産業技術総合研究所にて冷蔵保管されたコア試料を借用（J06R、J08R、J11R及びJ13R）。
- カルシメータにより細粒堆積物に含まれる炭酸塩鉱物含有量を測定したところ、06Rコア試料の含有量が他のサイトに比べて顕著に大きい。他のサイトの含有量は、同程度であり、いずれも小さい。
- 十分な試料量が得られたJ13Rコア試料に関して、遠心分離した間隙水の塩分は、表層部と海底面下約48mのいずれの深度においても、標準的な海水より濃い。また、細粒堆積物の鉱物組成を粉末法X線回折で分析したところ、両深度のコア試料とも、MH分解条件に影響するスメクタイトを含む。
- 表層型MH回収におけるMH分解状況を想定して、分解条件に対する間隙水と細粒堆積物の影響を検討。高压容器を用いてスラリーまたは団塊状試料にMHを生成させた後に、MHの分解条件を実測したところ、海水かつ団塊状態の堆積物の場合には、海水のMH解離圧曲線より高温側へ遷移。ただし、蒸留水の場合には、この高温側への遷移は認められず。
- 地盤の圧密特性や力学特性に影響を与える土の物理特性を把握するため、異なる深度において含水比、間隙比、粒度分布、液性限界、塑性限界、塑性指数、活性度、圧密特性等を測定。粒度特性は、深度に関わらず、細粒分含有率がほぼ100%、粘土含有率（ $5\mu\text{m}$ 以下）が約40%（粒度特性の変化は小さい）。
- 塑性指数は5mbsf以浅、約50mbsfともに55前後。これは同様な細粒分含有率の沿岸域の海成粘土と比較するとほぼ同様な値。活性度が大きいことが特徴であり、スメクタイトの影響と推察。
- 圧密特性に関して、5mbsf以浅と約50mbsfの異なる深度の練返し試料を用いて、段階載荷圧密試験を実施。圧密特性は、深度に関わらずほぼ同じ。
- 今回調査したJ13R（RC1510）コア試料の物性と圧密特性は、炭酸塩鉱物含有量が少なく、MH胚胎地点の例と解釈するより、基準地点（reference site）の特徴を反映している可能性。今後、炭酸塩鉱物含有量が多い典型的なMH胚胎地点の不攪乱試料を用いた検討などが必要。

# 表層型メタンハイドレートの研究開発 2021年度 研究成果報告会

## 表層型メタンハイドレート開発に係る 海洋調査・環境影響評価の進捗について

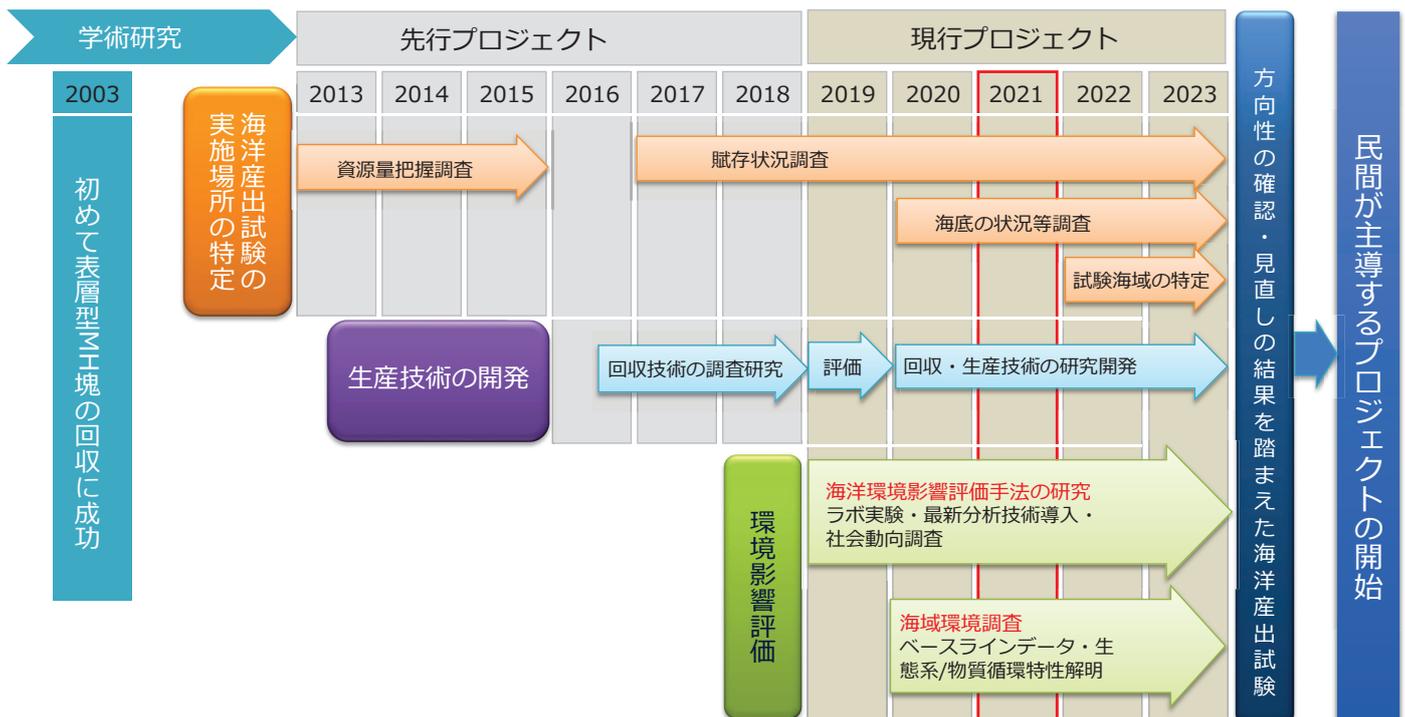
産総研 環境創生研究部門 環境生理生態研究グループ

鈴木 昌弘

2021年12月3日

本研究は経済産業省のメタンハイドレート開発促進事業の一部として実施しました

### 表層型メタンハイドレート (MH) 開発研究の経緯



# 表層型MH海洋産出試験に向けて

## 海洋産出試験の実施場所の特定



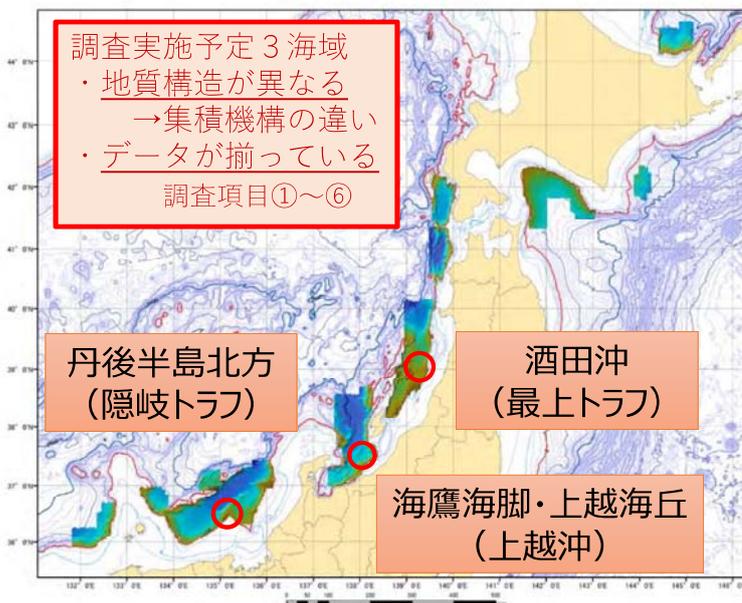
## 環境影響評価



## 調査海域と調査内容

- 将来の表層型メタンハイドレートに係る海洋産出試験を見据え、電磁探査、掘削調査、潜航調査等の詳細データが揃っている3海域をモデル調査海域として、必要な海洋調査を実施していく。

### 海洋調査・海域環境調査の実施予定海域



海底地形 (着色部) は、広域地質調査(2013～2015)実施海域

### 調査内容

- 物理探査
  - ⑦高分解能三次元地震探査
- 海底機器観測
  - ⑧熱流量調査
  - ⑨底層流等のモニタリング
  - ⑫海底環境調査
- 掘削調査
  - ⑩地盤強度調査
  - ⑫海底環境調査
- 海域環境調査
  - ⑪海底画像マッピング
  - ⑫海底環境調査
  - ⑬海洋観測

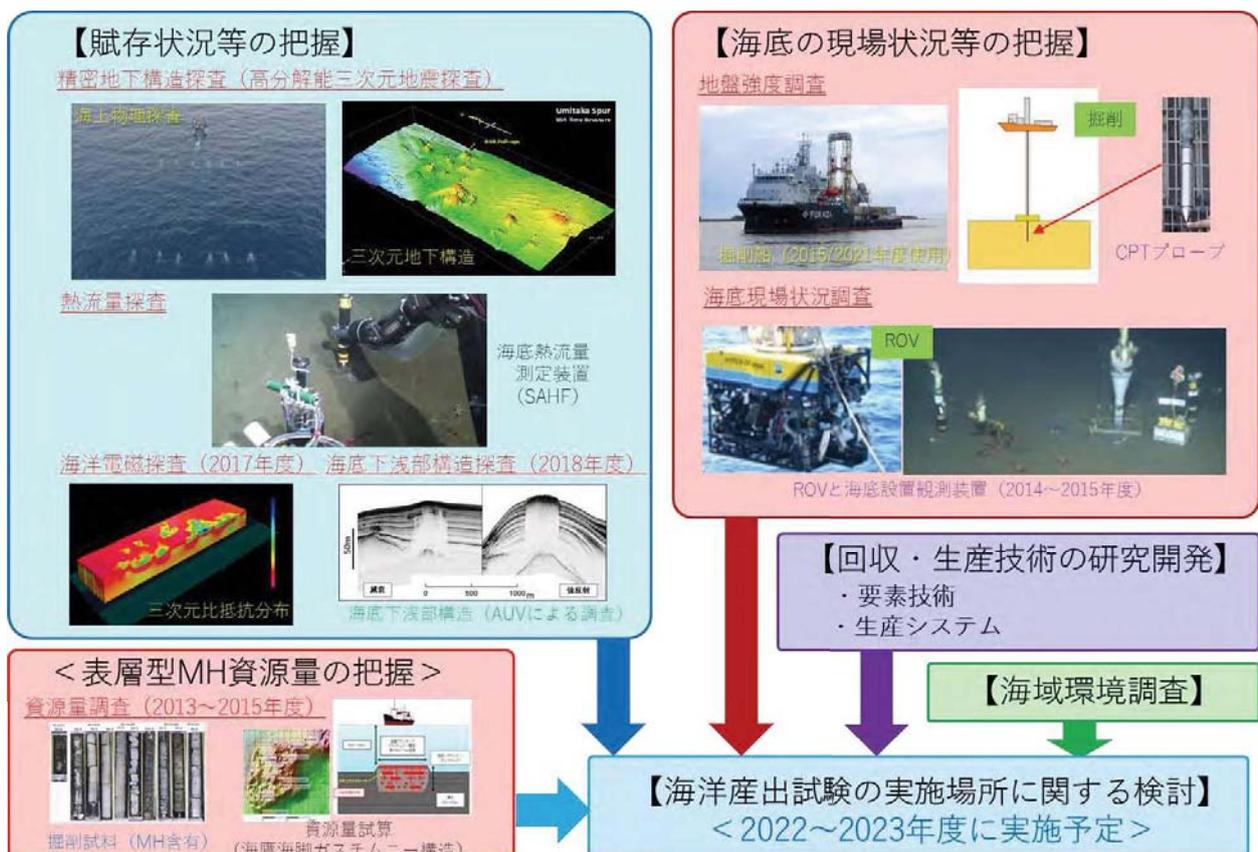
番号 (丸数字) は次ページの表に対応  
 <第38回メタンハイドレート開発実施検討会 (2021.11.17) 資料5を一部改訂>

## 海洋調査・海域環境調査の実績と今後の実施計画

凡例	資源量把握に向けた調査 (2013~2015)	賦存状況等を把握するための 海洋調査 (2017~)	海底の状況等を把握するための 海洋調査 (2020~)	海域環境調査 (2020~)
調査項目				
①広域地質調査 (ガストムニ構造の探索)			実施済	実施済
②詳細地質調査 (特異点周辺の詳細地形・地質構造探索)			実施済	実施済
③海洋電磁探査 (比抵抗分布の把握)			実施済	実施済
④掘削同時検層 (坑井の物性測定)			実施済	実施済
⑤掘削地質サンプル採取 (M/Dトイ及び堆積物採取)			実施済	実施済
⑥ROV潜航調査 (簡易環境把握調査)			実施済	実施済
⑦高分解能三次元地震探査 (精密地下構造探査)			2021	実施済
⑧熱流量調査 (賦存領域下限深度の把握)			計画中	2022-
⑨海底機器観測 (底層流等のモニタリング) <+環境>			計画中	2022-
⑩地盤強度調査 (コーン貫入試験) <+環境>			計画中	2022
⑪海域環境調査 (A) (海底画像マッピング) <+海底状況>			2022	2021
⑫海域環境調査 (B) (海底環境調査) <+海底状況>			2022	2021
⑬海域環境調査 (C) (海洋観測)			2022	2021

※あくまで現時点での計画であり、今後実施時期や調査項目について関係者等と調整させていただく予定です。 <第38回メタンハイドレート開発実施検討会 (2021.11.17) 資料5>

## 海洋産出試験の実施場所の特定に向けた海洋調査



## 海洋の各種産業利用の特徴

### 海底環境を直接攪乱

海底下CCS技術

海底下CCS 圧入 不透水層 CO<sub>2</sub>

表層型MH 大口径ドリル掘削

大口径掘削ドリル 資源回収船 掘削装置 泥水排出ライン MH貯留層

三井E&S造船㈱、清水建設㈱、日本大学

表層型MH  
CRC・マンガンジュール  
熱水鉱床

CCS  
砂層型MH

### 他の産業との近接・競合

丹後半島北方 (隠岐トラフ) 酒田沖 (最上トラフ) 海鷹海脚・上越海丘 (上越沖)

表層型MH  
CRC

CRC・マンガンジュール  
熱水鉱床  
砂層型MH

### 希少な化学合成生態系

メタンシーブ  
バクテリアマット  
カニの蛸集

熱水鉱床  
表層型MH

CCS  
砂層型MH  
CRC・マンガンジュール

## 表層型MH開発の環境影響シナリオ

### 海底環境を直接攪乱

大口径ドリル掘削・海上分離方式

大口径掘削ドリル 資源回収船 掘削装置 泥水排出ライン MH貯留層

三井E&S造船㈱、清水建設㈱、日本大学

### 試験前

MH生態系

### 試験中

生産水ブルーム  
高濁度ブルーム 騒音 排出泥

- ・ 高濁度、生産水、排出泥の曝露

### 環境影響評価

- ◆ 表層型MH海域の環境特性の解明
  - ・ 生物特異性・連結性
  - ・ 物質循環・食物連鎖
  - ・ 海洋物理環境

### 連携

- ◆ 生産技術の開発
- ◆ 産出試験実施海域の選定

### 長期的懸念事項

深掘り跡 (窪地) 排出泥マウンド

- ・ メタンフラックスの著しい増大
- ・ マウンドに埋没し生息場所が消失
- ・ 深掘り跡での貧酸素水塊の発生

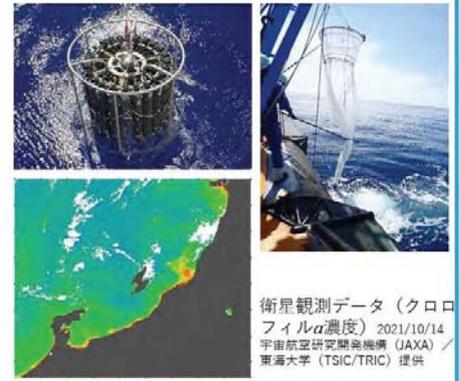
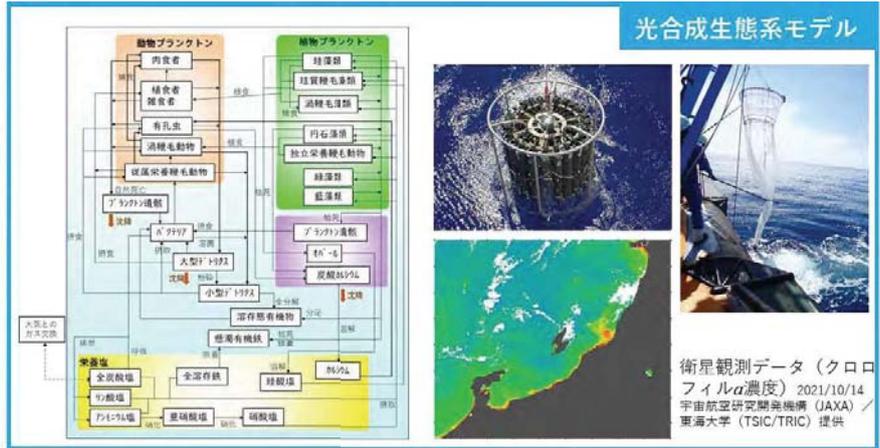
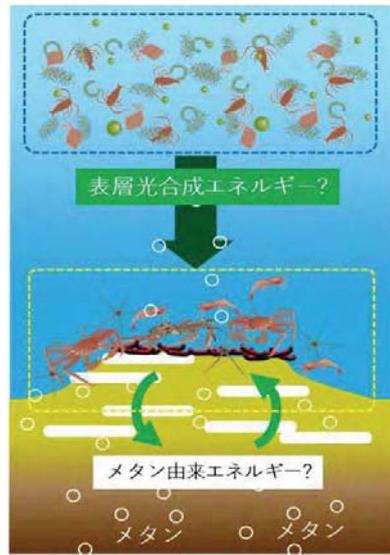
### 緩和的開発目標

生物の再加入 深掘り跡 (窪地) 排出泥マウンド ハイドラートの再形成

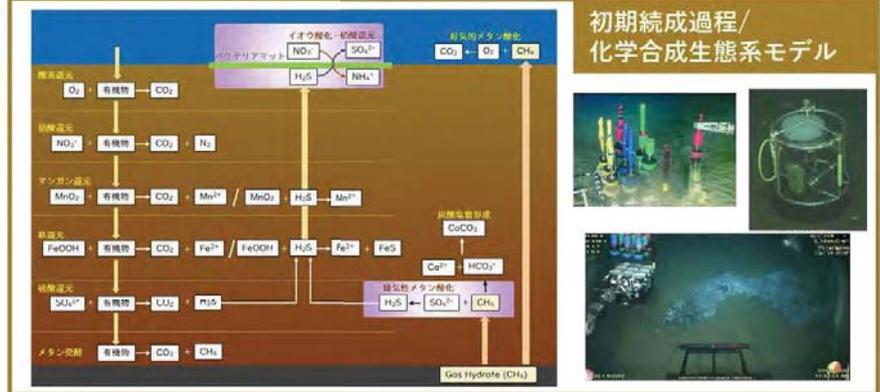
- ・ 地形の多様化 (傾斜地・岩石露頭) による生息場所の拡大
- ・ ハイドラート生態系の再生

# 生態系モデルと現場観測による相補的アプローチ

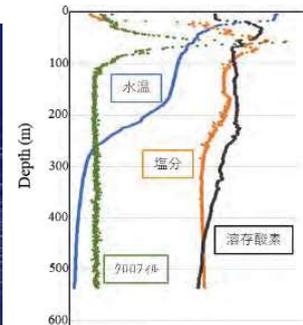
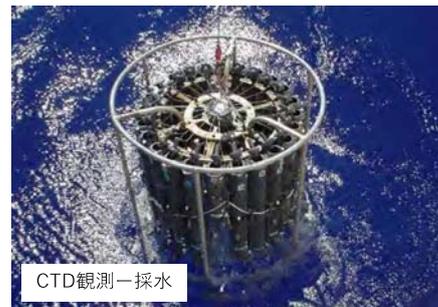
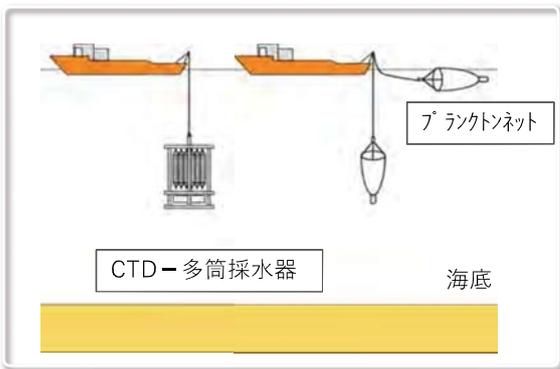
メタンハイドレート胚胎域における生態系物質循環過程の概要



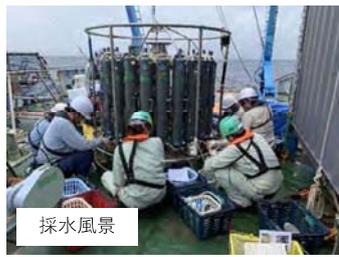
衛星観測データ (クロロフィルa濃度) 2021/10/14  
宇宙航空研究開発機構 (JAXA) / 東海大学 (TSIC/TRIC) 提供



# 海洋環境調査



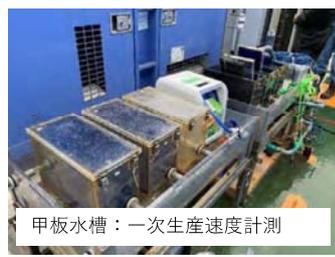
海水柱鉛直構造



採水風景



海水のろ過システム



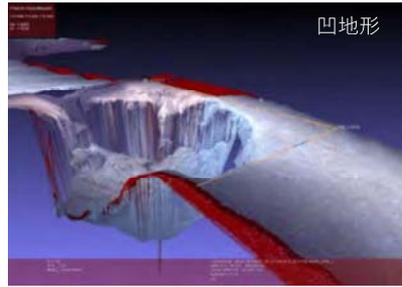
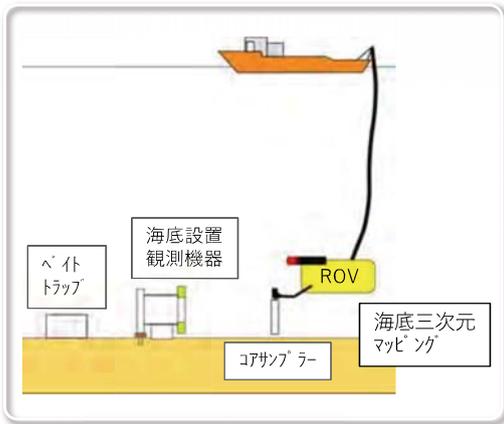
甲板水槽：一次生産速度計測



プランクトンネット

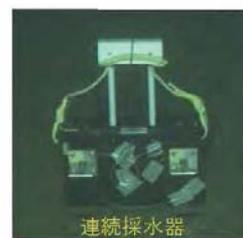
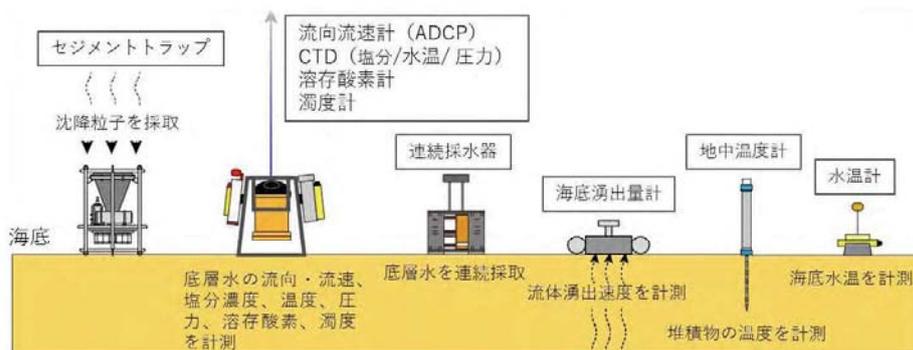
- 海水柱の現場物理・化学データを取得
  - 採取した海水の化学・生化学データを取得
  - プランクトンネットによる生物採取を実施
  - 船上で一次生産速度計測を実施
- 現場海域の海洋環境ベースライン (水質、生物群集動態)

# 海底環境調査



- 冷湧水域の堆積物の化学・微生物学的な性状を評価  
→ MH生成メカニズムやMHに関連する物質動態 (炭素・硫黄・重金属) や微生物の役割を解明

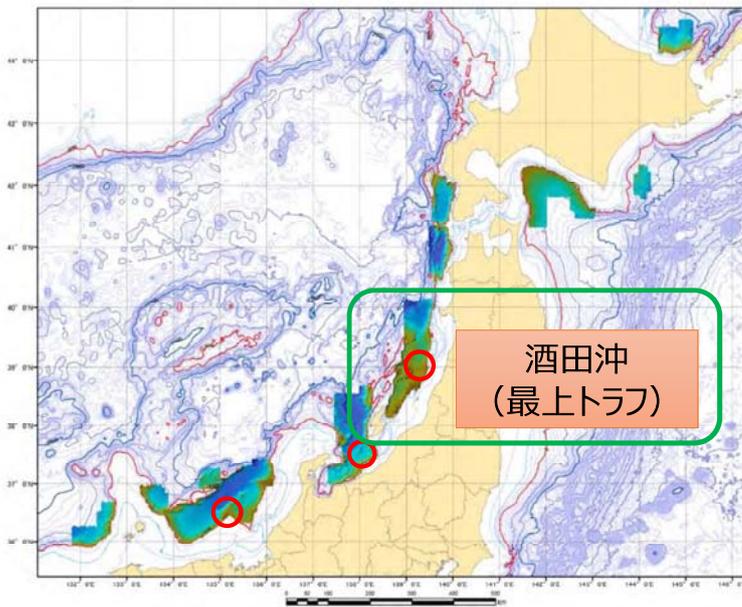
# 海底環境長期モニタリング



- 海底環境を長期モニタリング (2021年6月に回収予定)  
→ 海底環境の季節変化や長期変動を明らかにする

# 本日の研究発表

## 2020年酒田沖調査



海底地形（着色部）は、広域地質調査(2013~2015)実施海域

## 調査内容

- 物理探査
  - 高分解能三次元地震探査
- 海底機器観測
  - 熱流量調査
  - 底層流等のモニタリング
  - 海底環境調査
- 掘削調査
  - 地盤強度調査
  - 海底環境調査
- 海域環境調査
  - 海底画像マッピング
  - 海底環境調査
  - 海洋観測

<第38回メタンハイドレート開発実施検討会（2021.11.17）資料5を一部改訂>

# 講演タイトル

### 「酒田沖海域の海底地形、地質構造、海底状況調査」

酒田沖にメタンハイドレートは？  
色々な目で見る海底環境

地圏資源環境研究部門 浅田 美穂



### 「メタンハイドレート胚胎域を含む日本海の海洋構造」

表層型メタンハイドレートの存在する日本海とは？

環境創生研究部門 中野 知香



### 「メタンハイドレート胚胎域における微生物生態系とその機能」

海洋の物質循環を駆動する微生物群集

環境創生研究部門 青柳 智



### 「酒田沖メタンハイドレート胚胎域の微生物によるメタン酸化ポテンシャル評価」

メタン放出を抑える微生物プロセス

地圏資源環境研究部門 宮嶋 佑典



### 「酒田沖メタンハイドレート胚胎域における生物地球化学的物質循環」

日本海とメタンハイドレート、特異な環境が生み出す物質循環

環境創生研究部門 太田 雄貴



### 「遺伝子解析手法による日本海生物群集の多様性・連結性評価に関する研究」

最新の手法による日本海の生物多様性・連結性評価

地質情報研究部門 井口 亮

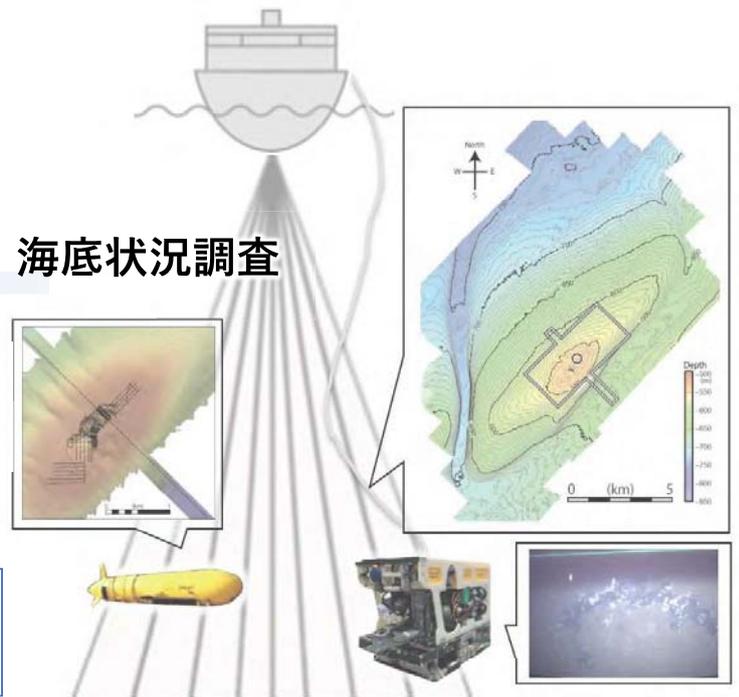


表層型メタンハイドレートの研究開発  
2021年度研究成果報告会

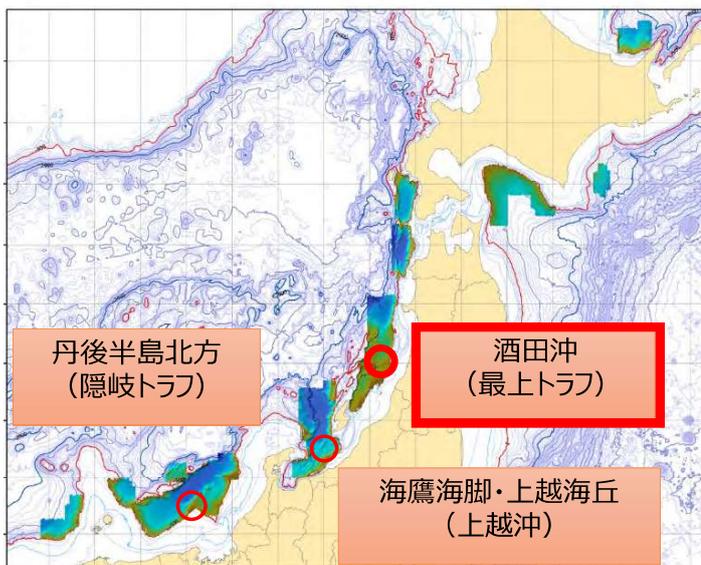
## 酒田沖海域の海底地形、地質構造、海底状況調査

浅田 美穂  
産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門

本研究は経済産業省の  
メタンハイドレート開発促進事業  
の一部として実施しました



## 表層型メタンハイドレート (MH) 探査航海の実施



➤ 海底地形 (着色部) は、広域地質調査(2013~2015)実施海域  
第38回メタンハイドレート開発実施検討会 (2021.11.17) 資料

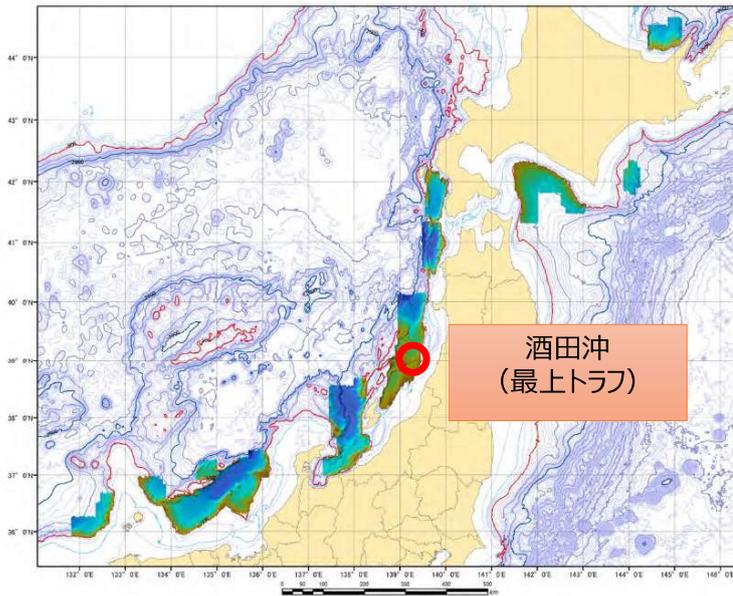
表層型MH探査航海 (2013~2015年)  
「日本海東縁~北海道周辺海域」実施

- ➔ 複数の賦存有望海域を発見
- ➔ モデル調査海域 (3海域) で詳細調査

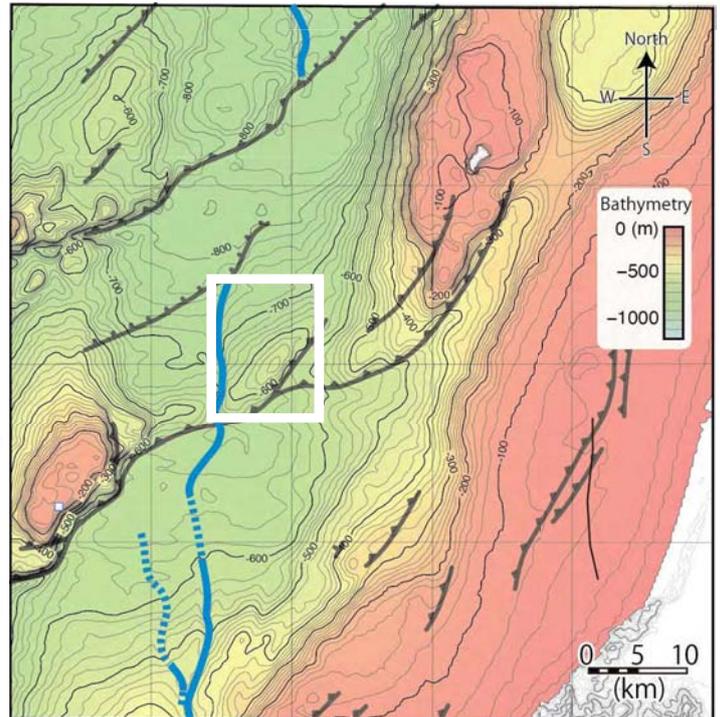
### 「酒田海丘(仮称)」海底状況調査

- ✓ 船舶を用いる音響調査 (2014, 2020年)
- ✓ AUV (自律型海中探査ロボット) を用いる音響調査 (2014年)
- ✓ ROV (遠隔操作型海中探査ロボット) を用いる各種調査：
  - 海底観察・簡易海底モニタリング (2014, 2015年)
  - 高分解能3D画像マッピング(2020年)
  - 堆積物コア・生物採取(2020, 2021年)  
粒度分析、化学組成分析、生物種認定など

# 表層型メタンハイドレート (MH) 探査のための航海—酒田海丘 (仮称)



海底地形 (着色部) は、広域地質調査(2013~2015)実施海域  
第38回メタンハイドレート開発実施検討会 (2021.11.17) 資料



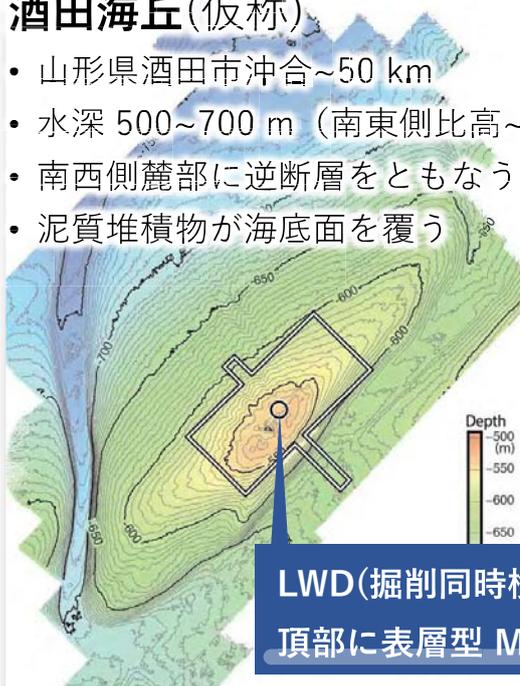
## 酒田海丘 (仮称) の特徴：紡錘形の高丘



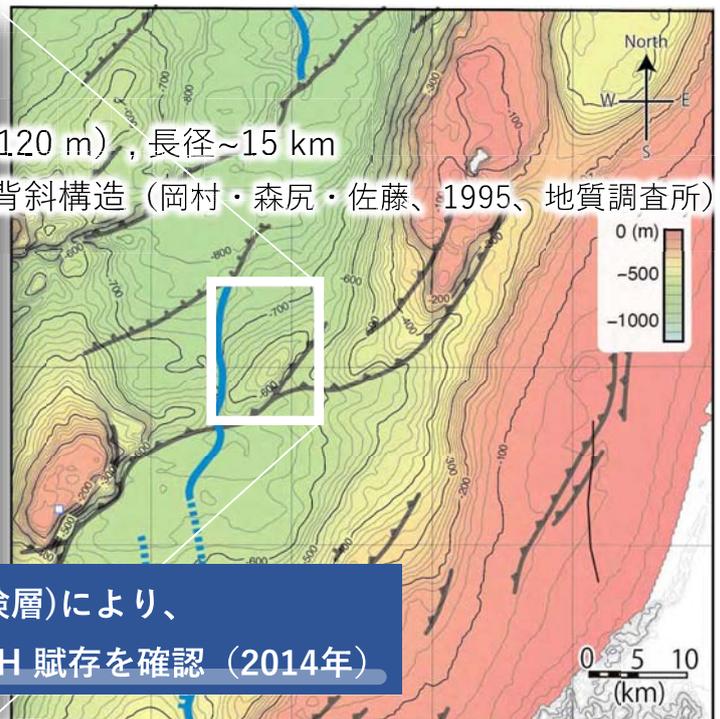
第一開洋丸  
(海洋エンジニアリング株式会社)

### 酒田海丘(仮称)

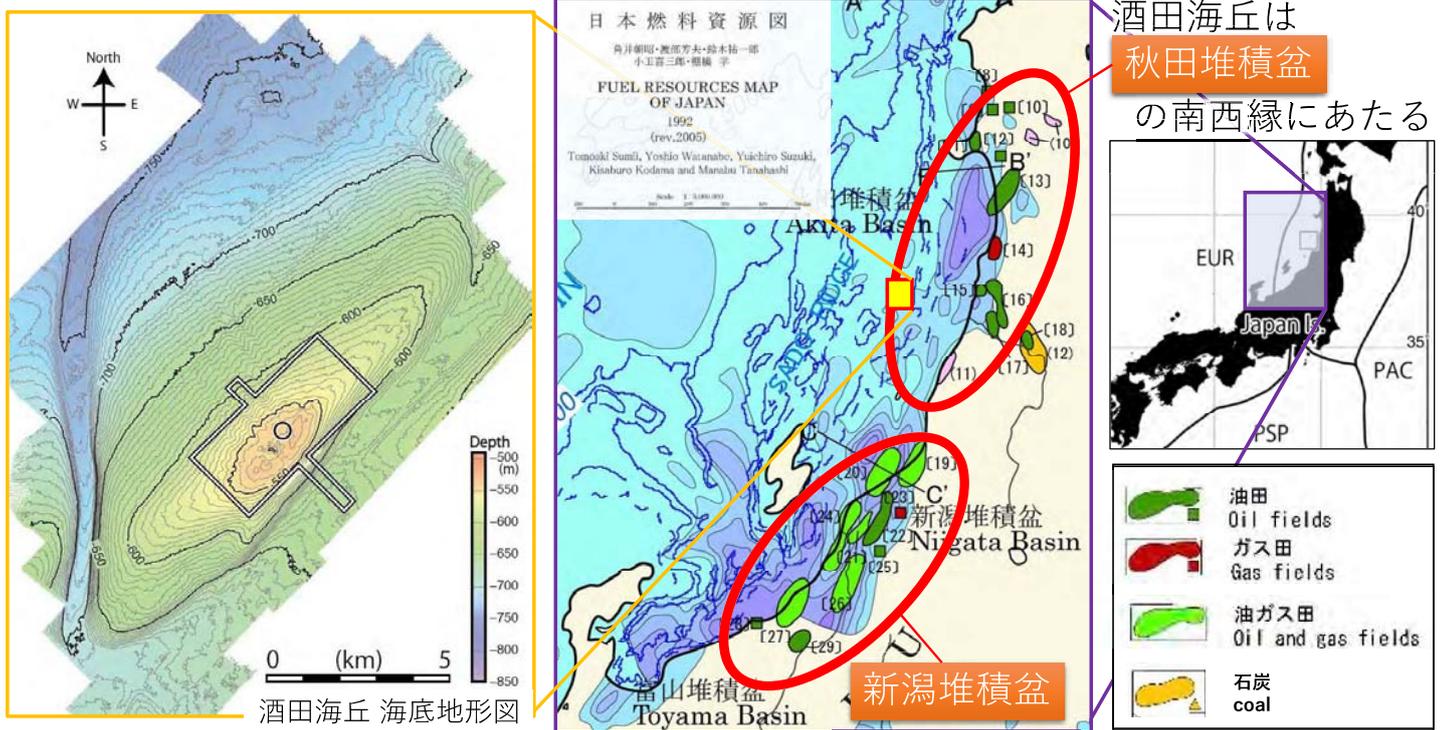
- 山形県酒田市沖合~50 km
- 水深 500~700 m (南東側比高~120 m), 長径~15 km
- 南西側麓部に逆断層をともなう背斜構造 (岡村・森尻・佐藤、1995、地質調査所)
- 泥質堆積物が海底面を覆う



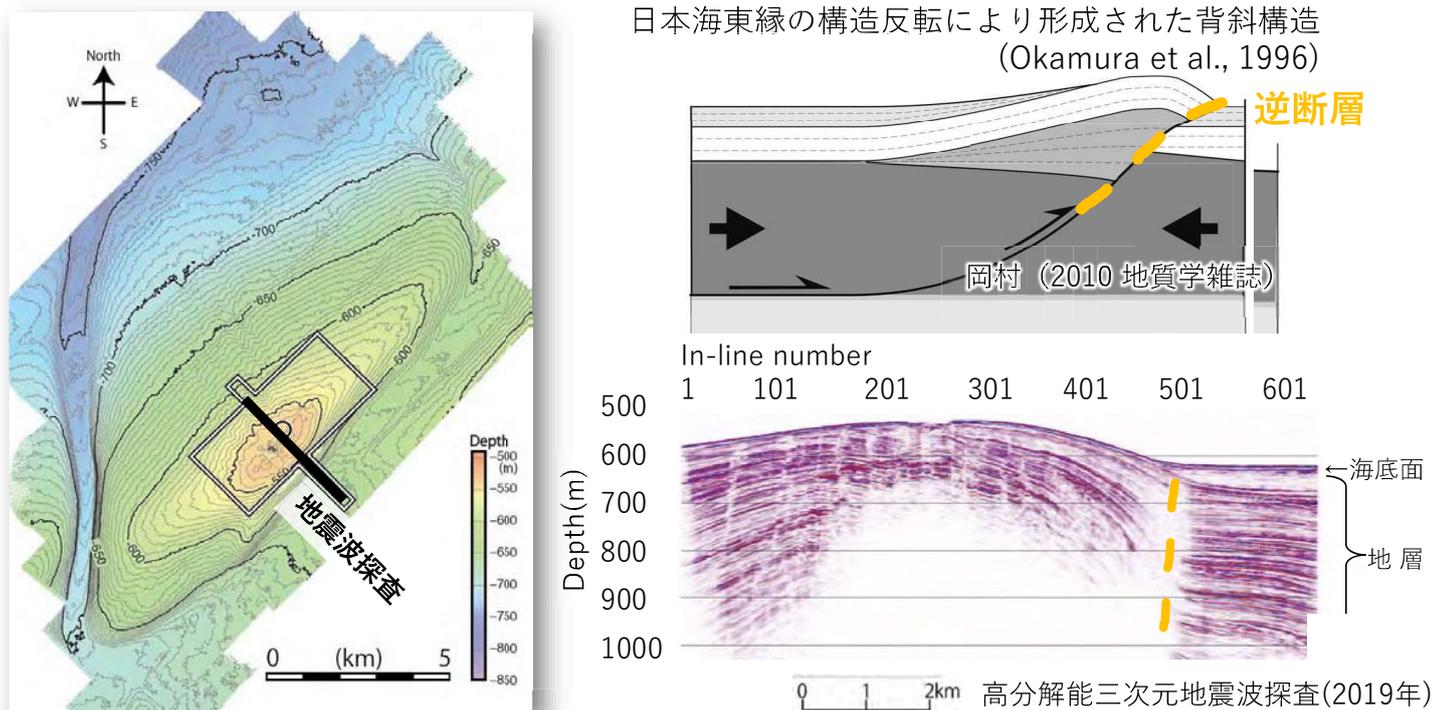
LWD(掘削同時検層)により、  
頂部に表層型 MH 賦存を確認 (2014年)

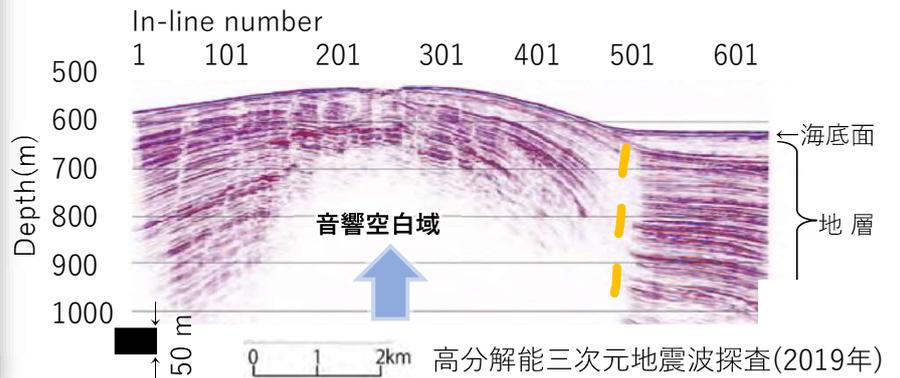
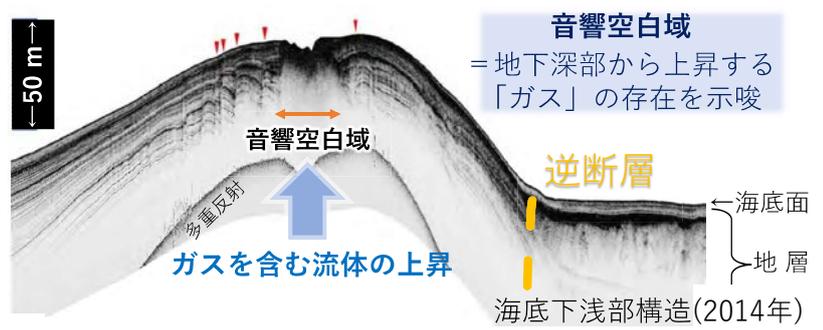
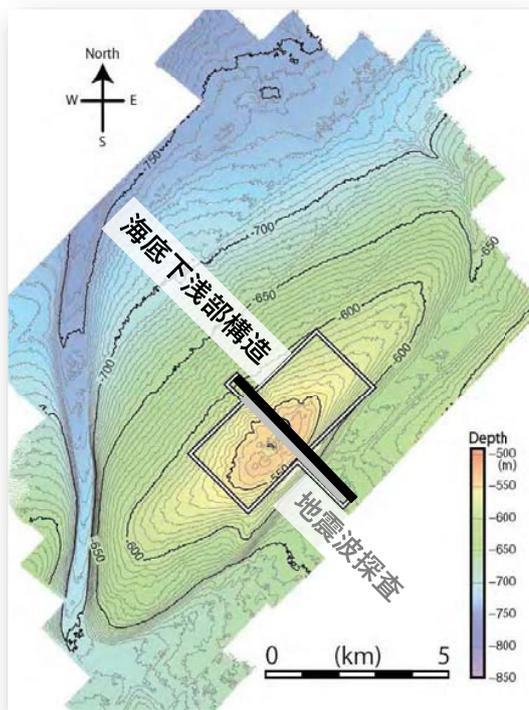


## 酒田海丘周辺の堆積盆分布

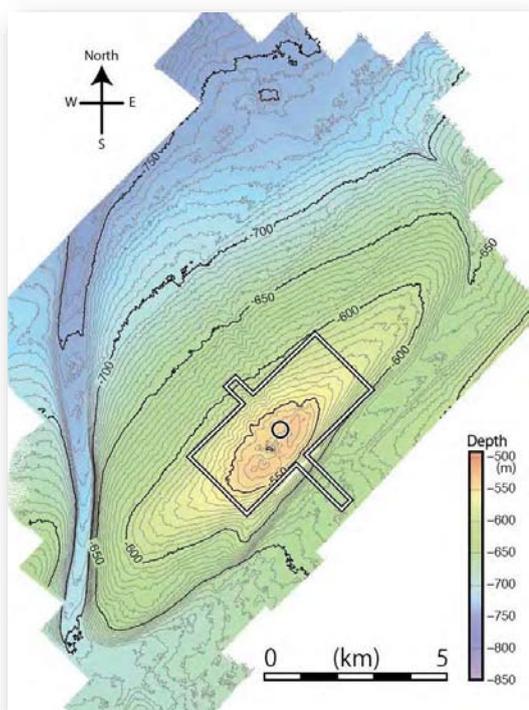


## 酒田海丘の特徴：背斜構造・麓部の逆断層・音響空白域





## 表層型MH賦存状況を確認する



### 海域調査の目的

- 表層型MH賦存状況の確認
  - ✓ メタンフラックス評価
  - ✓ 親生物元素、微量金属元素、微生物群集の分布・動態 ほか
- 採掘可能性のある海底の採掘前環境把握
  - ✓ 生態系構造
  - ✓ 生態系の回復予測に資する特異性・多様性
  - ✓ 種多様性と海域間連結性 ほか
- 表層型MHが賦存する海底面における地質学的特徴の抽出と、賦存条件理解 ほか

総合調査による  
酒田海丘の表層型MH賦存状況把握

## 表層型MH賦存状況を確認する

### 調査手法

- 船舶とAUV(自律型海中探査ロボット)を用いる  
音響マッピング
- ROV (遠隔操作型海中探査ロボット)を用いる  
高分解能3次元画像マッピング、海底観察(底質・生物)、  
試料採取・分析

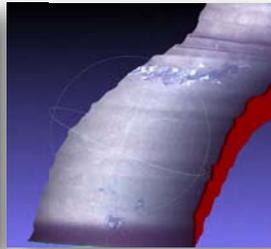
広域音響観測—海底面の状態—各種詳細な分析結果  
を繋ぐ定量的データの取得



クモヒトデ



堆積物採取風景



高分解能3次元画像



## 海底面の音響マッピング—調査船・AUV

- 海底地形・底質、海底環境調査

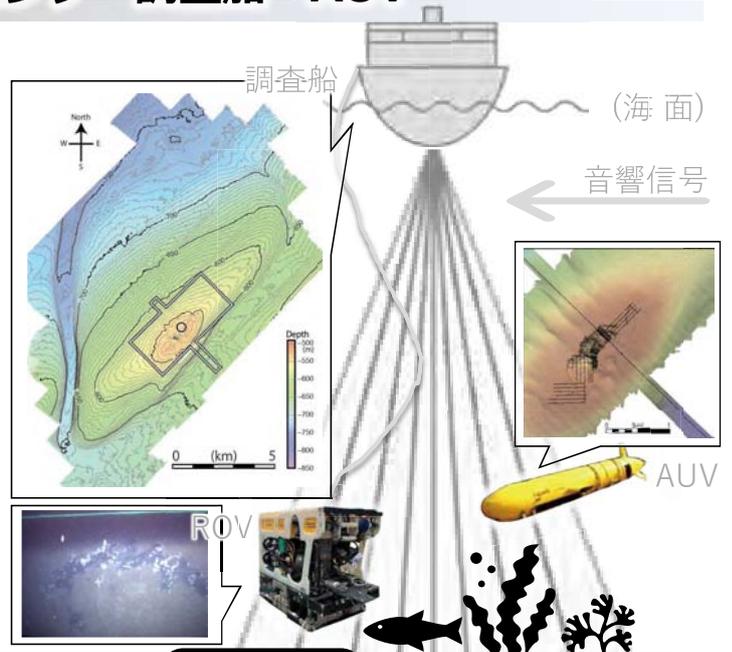
### 測 深 (地形図を作る)

⚓ 音波が往復に要する時間を計測し、距離に換算する。

### 後方散乱強度 (底質を知る)

⚓ 音波の跳ね返りの強さを計測し、海底面付近の相対的硬さを知る。

### → 海底面近傍の地質学的特徴付け



(音響的特徴を有する生物分布)



(熱水や鉱物の分布)



Hard rock

(藻場等の性質、分布、海底地盤の状態など)



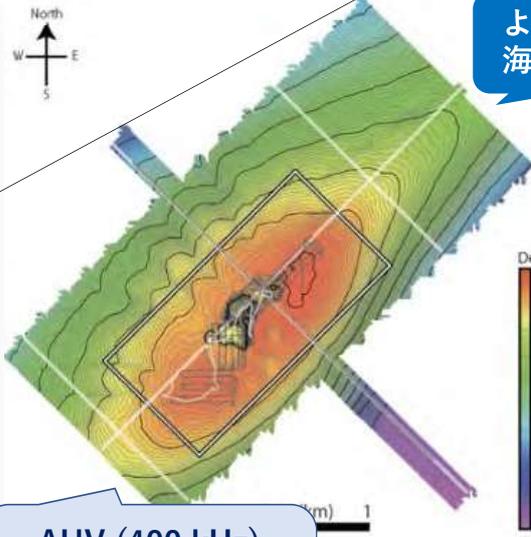
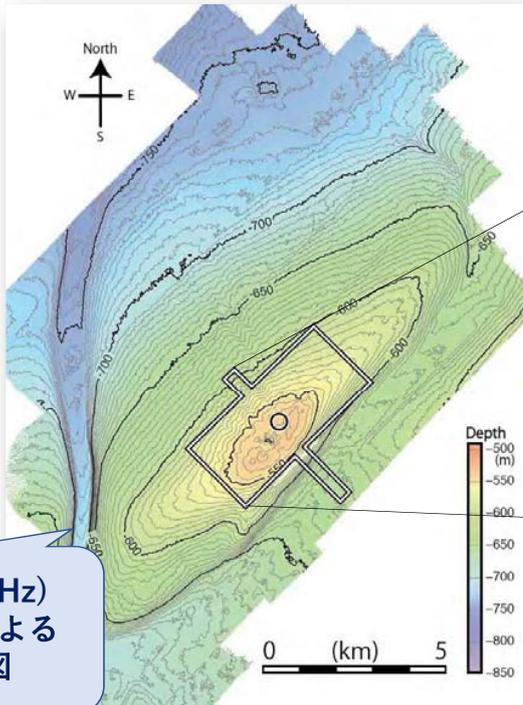
## 酒田海丘における音響調査—調査船・AUV



第一開洋丸  
(海洋エンジニアリング株式会社)

より広域の  
海底地形図

調査船 (12 kHz)  
取得データによる  
海底地形図



より精密な  
海底地形図

AUV (400 kHz)  
取得データによる  
海底地形図

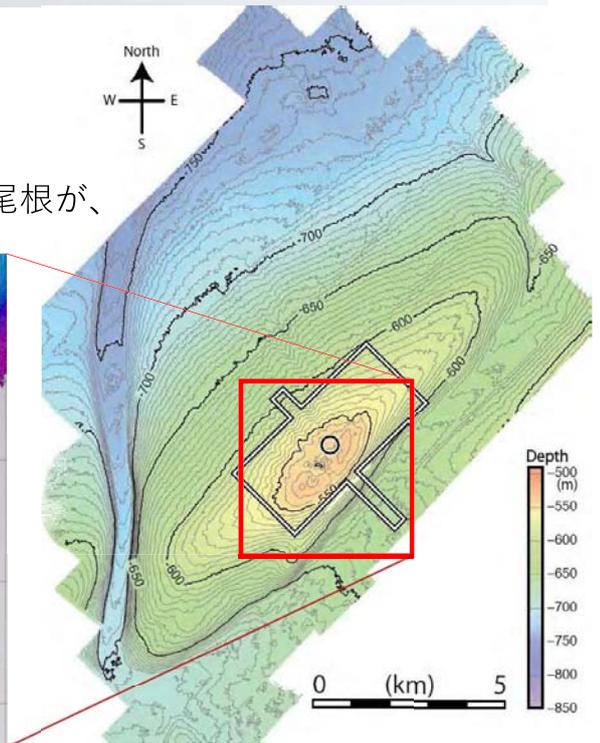
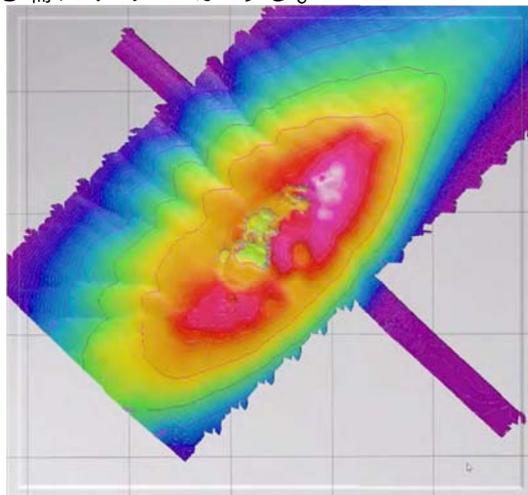
AUV Deep-1  
(深田サルベージ建設株式会社)



## 酒田海丘頂部付近の地質学的特徴

### ・ 海底地形・底質、海底環境調査

- ・ 海丘全体が大きな背斜構造をなす
- ・ 南東側麓部で逆断層に接する。
- ・ 頂部に陥没地形が、陥没地形の内部に小丘・小尾根が、陥没地形の南北端にテラスがある。



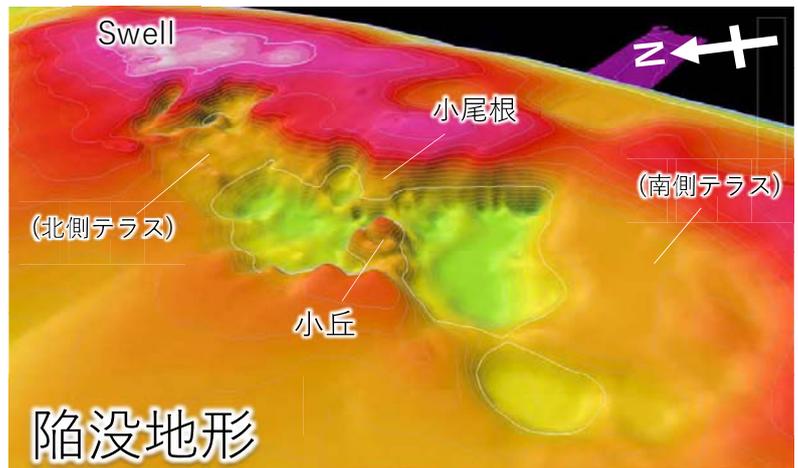
## 酒田海丘頂部付近の地質学的特徴

### • 海底地形・底質、海底環境調査

- 海丘全体が大きな背斜構造をなす
- 南東側麓部で逆断層に接する。
- 頂部に陥没地形が、陥没地形の内部に小丘・小尾根が、陥没地形の南北端にテラスがある。

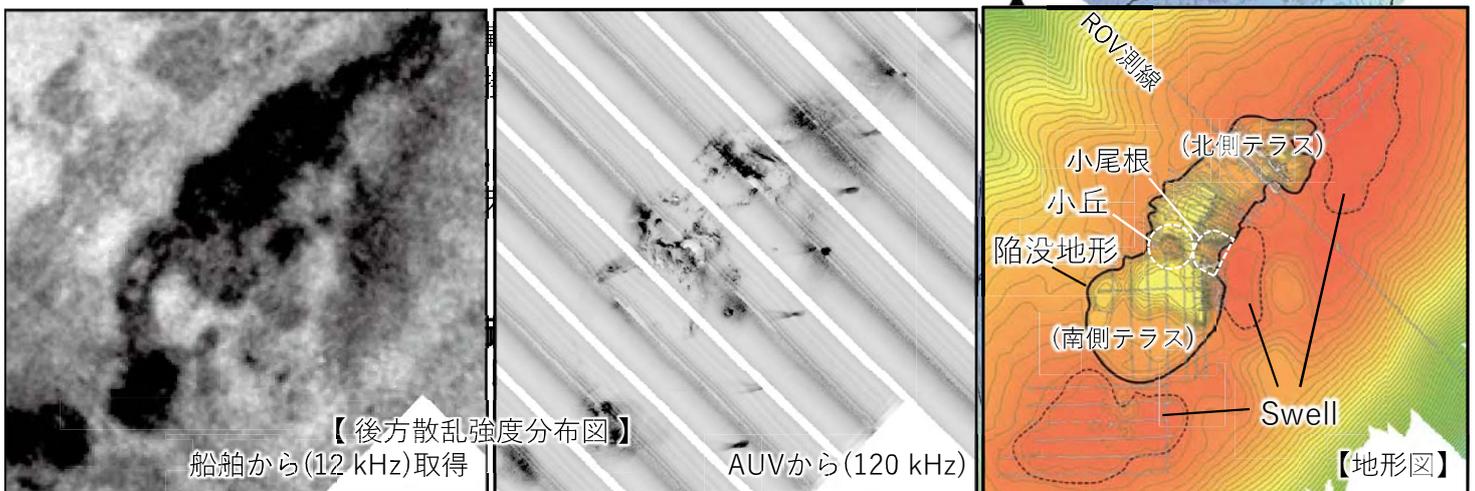
LWDにより、  
陥没地形内外の海底下に  
**メタンハイドレート存在が示唆**  
されるが (Tanahashi et al., 2017)  
観察した限りでは  
海底面に**露出して**いない

ただし、



## 酒田海丘頂部付近の地質学的特徴

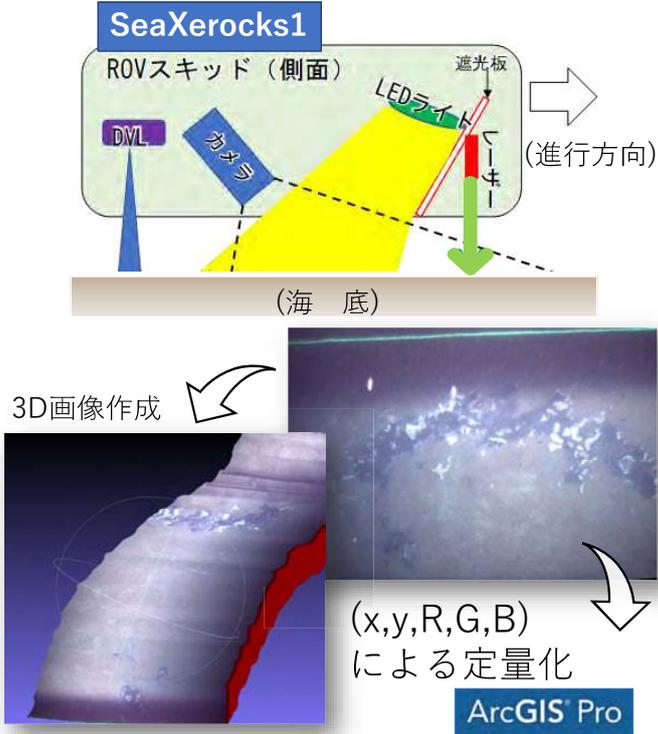
### • 海底地形・底質、海底環境調査



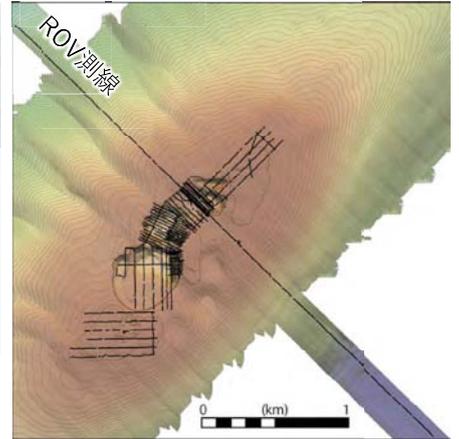
ただし、

「音響的に特徴のある物質」が、海底面下（堆積物の下に）広くある。

# 海底面の高分解能3D画像マッピングーROV

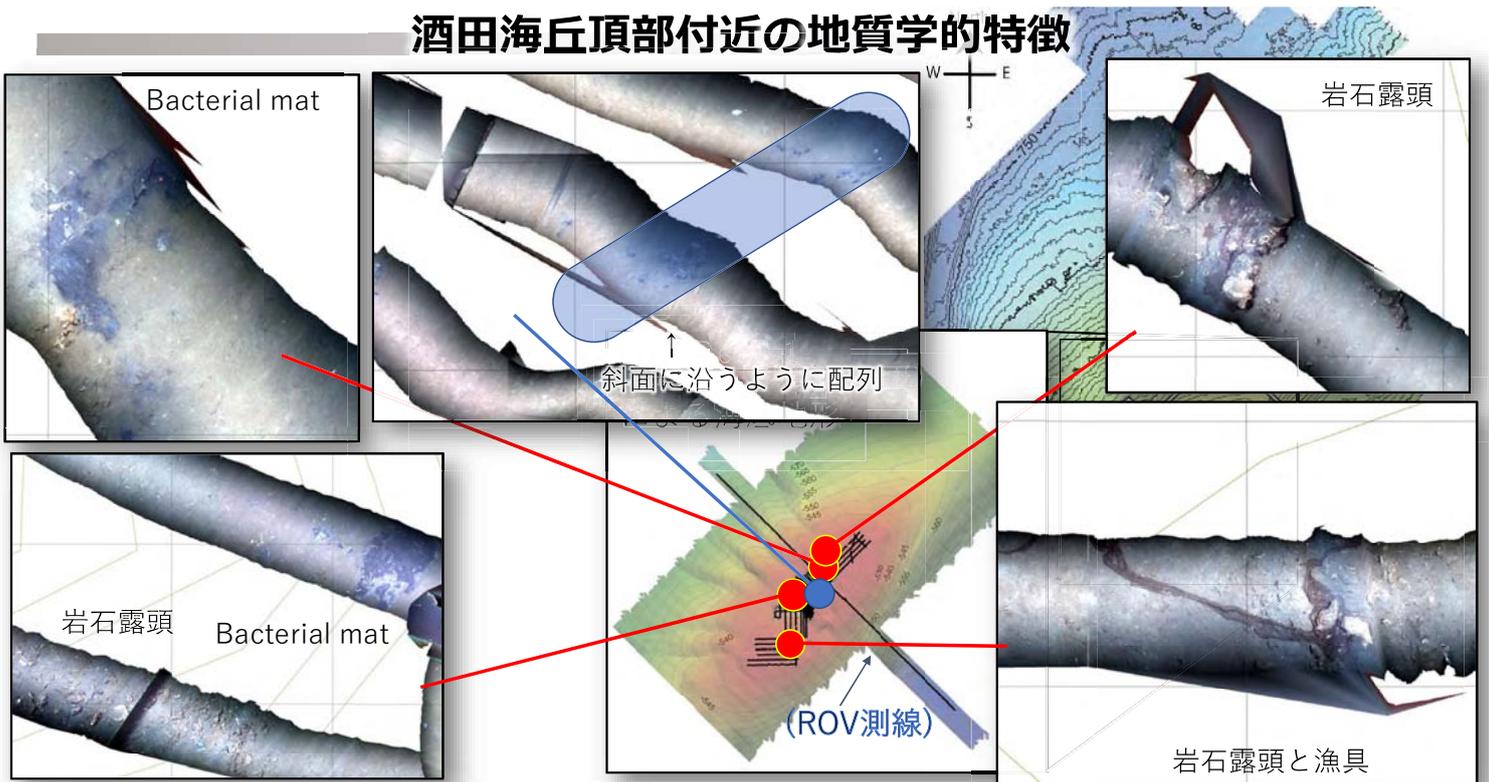


ROV かいよう3000 と **SeaXerocks1**  
 (海洋エンジニアリング株式会社)

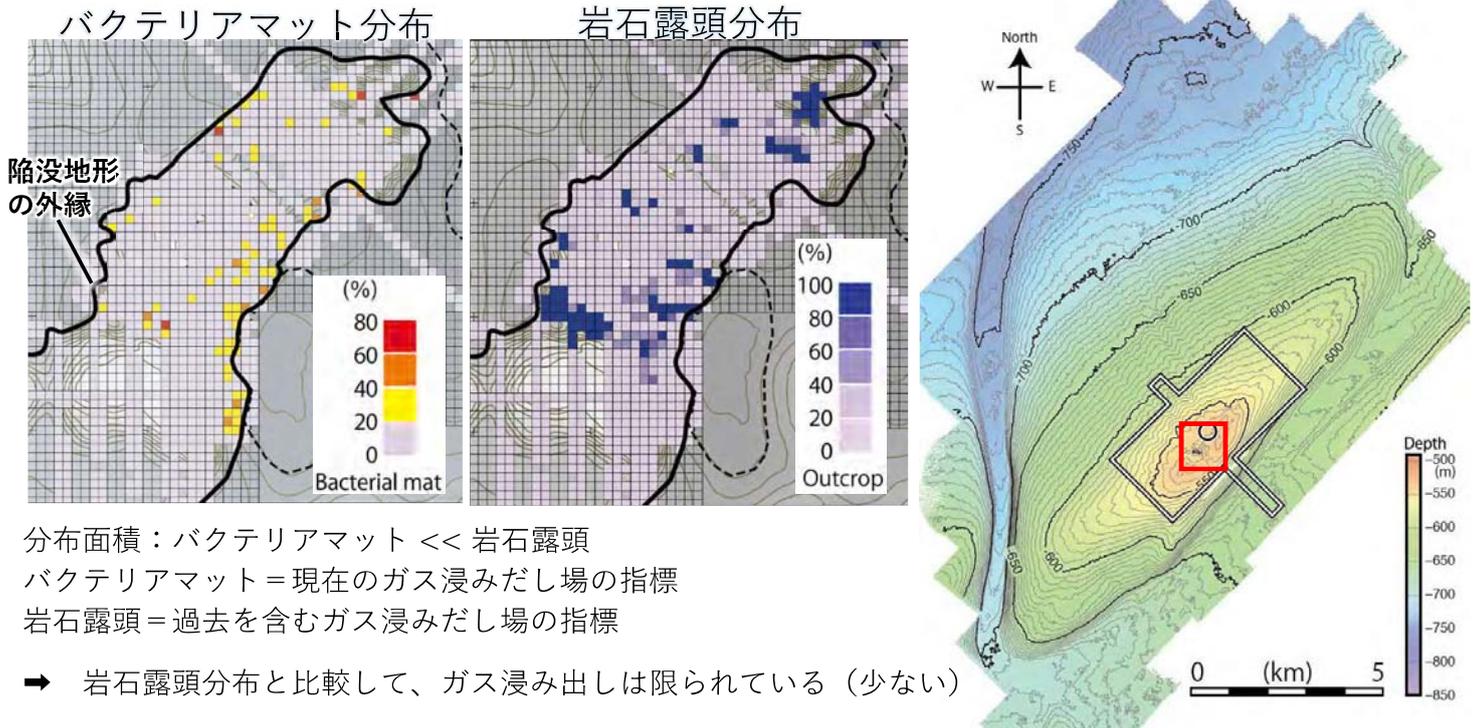


- 航行速度：0.25ノット～
- 観測高度：4～6 m、観測の幅は高度と同程度
- オペレーション：～7時間/日
- 画像解像度：  
 数十cm (進行方向) × 2 mm (直交方向)

## 酒田海丘頂部付近の地質学的特徴

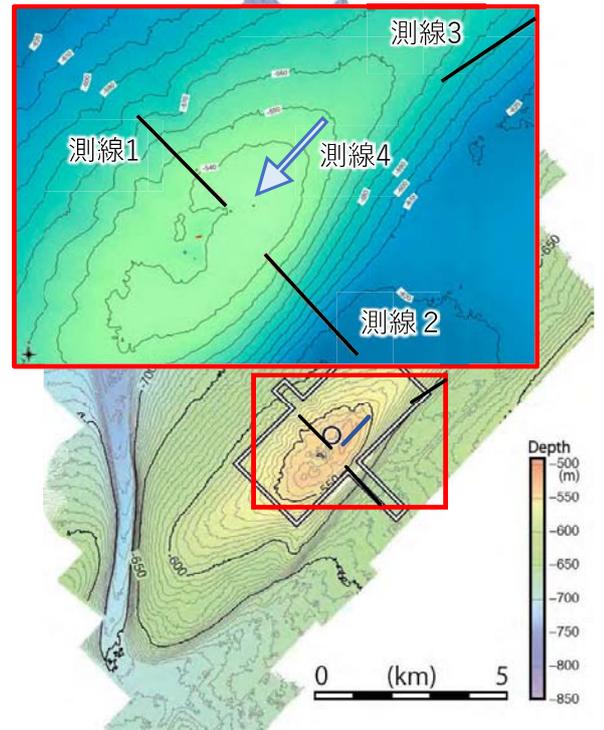


## バクテリアマット・岩石露頭分布の定量評価

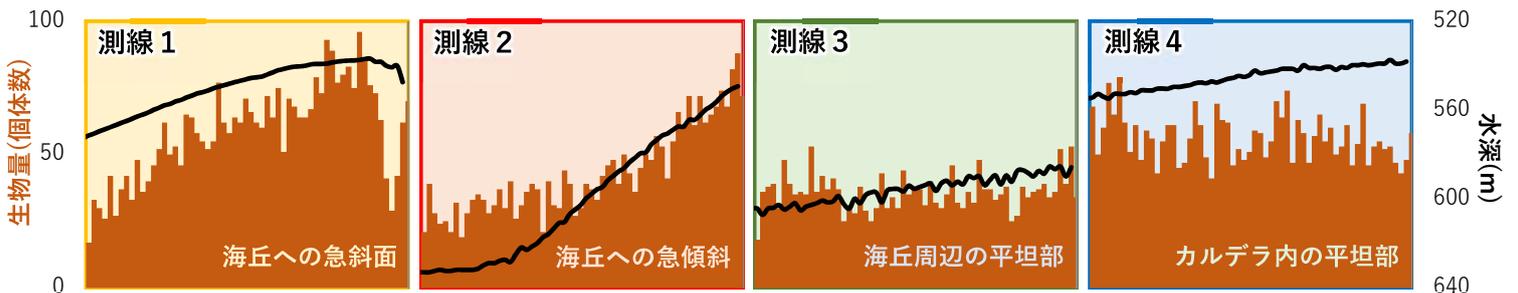
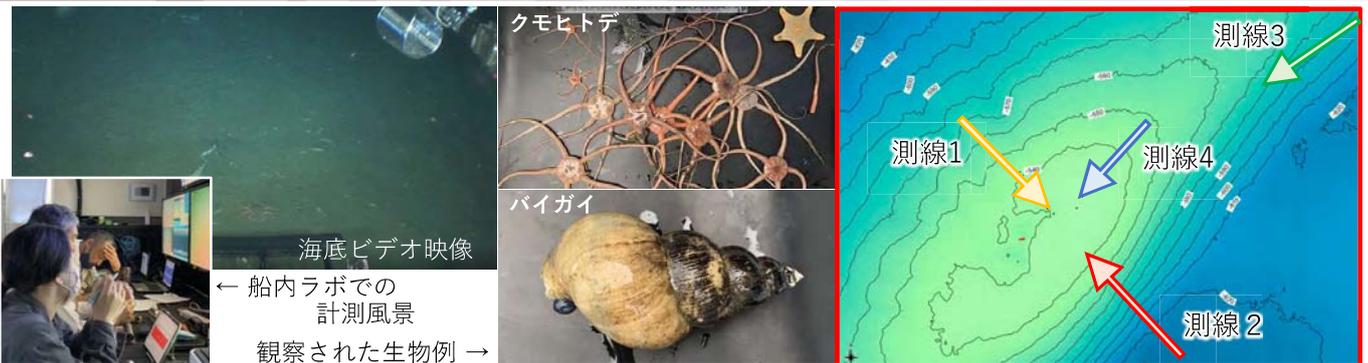


## 生物ライン観測 – ROVビデオ撮影画像による生物のモニタリング

- 海底地形・底質、海底環境調査  
 細かい堆積物に海底面が広く覆われ、  
 岩石露頭やバクテリアマットが散見される

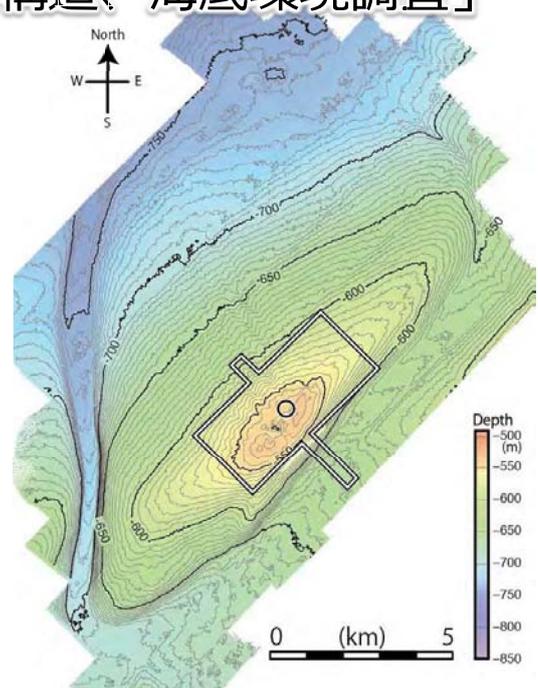
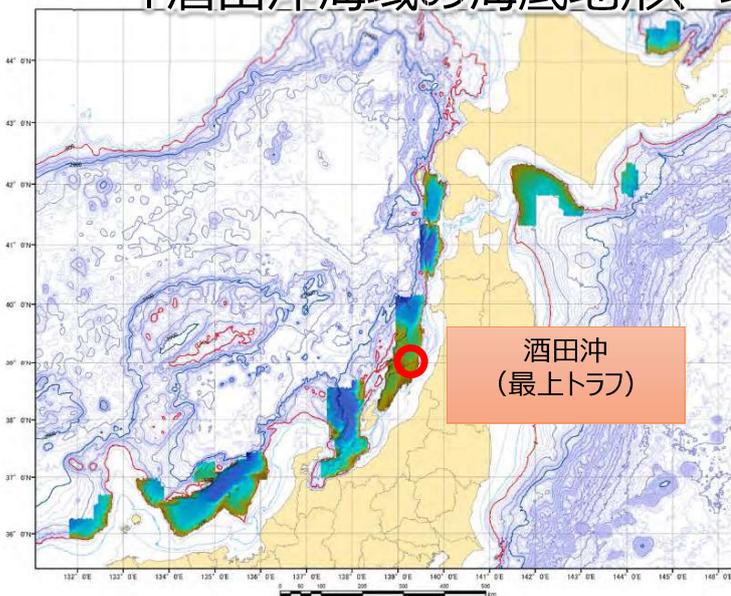


# 生物ライン観測 - ROVビデオ撮影画像による生物のモニタリング



海底地形に応じて生物量・多様性が変化。特に陥没地形内に豊かな生物相が確認された

## 表層型メタンハイドレート (MH) 探査のための航海—酒田海丘 「酒田沖海域の海底地形、地質構造、海底環境調査」



海底地形 (着色部) は、広域地質調査(2013~2015)実施海域  
第38回メタンハイドレート開発実施検討会 (2021.11.17) 資料

# 表層型メタンハイドレート（MH）探査のための航海—酒田海丘

## 「酒田沖海域の海底地形、地質構造、海底環境調査」

総合調査による  
酒田海丘の表層型MH賦存状況把握

広域音響観測—海底面の状態—各種詳細な分析結果  
を繋ぐ定量的データの取得

- LWDにより海丘頂部にMH賦存が確認されている。
- 地震波探査および音響探査により、ガスを含む流体の供給が示唆される。
- 海丘の地形は長径約15km、水深500～700mで、頂部(約530m)に陥没地形がある。
- 海底面に表層型MHの露出や気泡の湧出は観察されなかった。
- 流体湧出を示唆するバクテリアマットは陥没地形内部に多く分布し、  
岩石露頭はより広域に分布する。
- MDACsかMHが海底下浅部に広域に分布する可能性がある。
- 海丘頂部にむけて生物量が増加し、特に陥没地形内部に豊かな生物相を確認した。

→ 表層型MH回収・生産手法検討および環境影響評価に利用

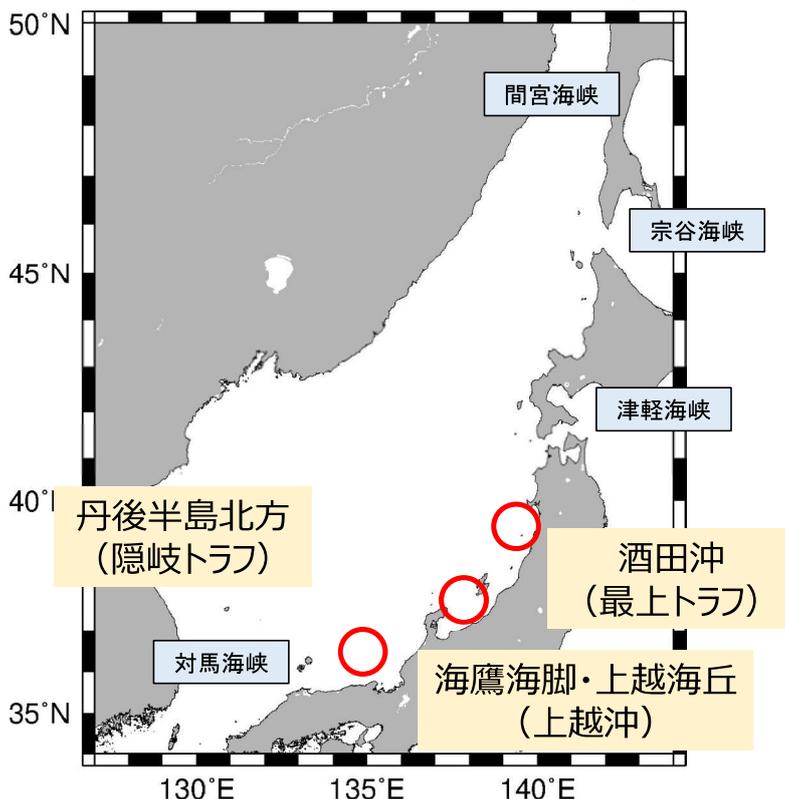
# 表層型メタンハイドレートの研究開発 2021年度 研究成果報告会

## メタンハイドレート胚胎域を含む 日本海の海洋構造

環境創生研究部門 環境生理生態研究グループ  
中野 知香

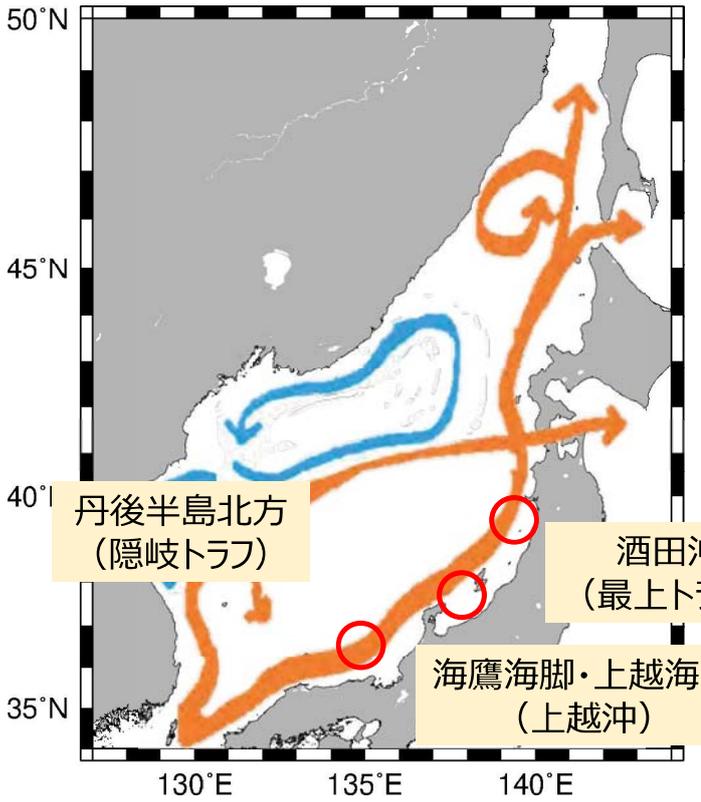
本研究は経済産業省のメタンハイドレート開発促進事業の一部として実施しました。

## 日本海とは



- 北太平洋に位置する縁海
- 様々な海に接続
  - 北: オホーツク海 (間宮海峡・宗谷海峡)
  - 南: 東シナ海 (対馬海峡)
  - 東: 太平洋 (津軽海峡)
- 海峡部の水深は約200 mで外洋との海水交換は海洋表層に限られている
- 深層は大気や他海域の影響を受けにくい

# 日本海の海流



主に二つの海流が存在する

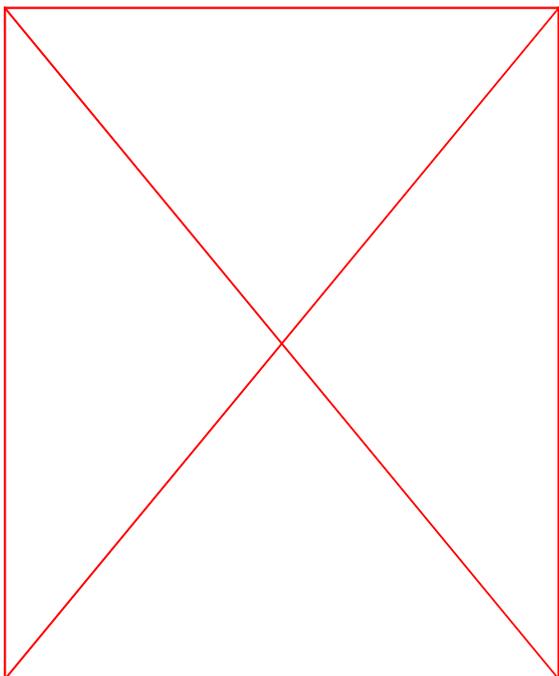
- 南からの暖水の流入  
(対馬海流)
- 北側の冷水の循環  
(リマン海流)

調査海域は、  
対馬暖流の影響を受けやすい場所  
に位置している

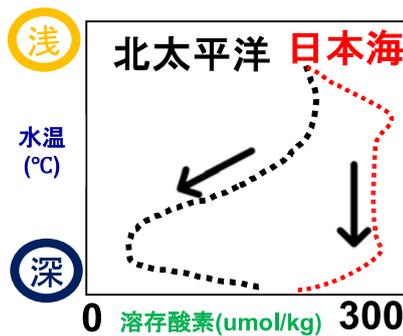
Senju(2020)を参考に描画

# 日本海の水塊の特徴

## 日本海の水塊構造



著作権の都合上お見せすることができません



他の海域では、  
深くなるにつれて  
低水温  
低溶存酸素  
になっている

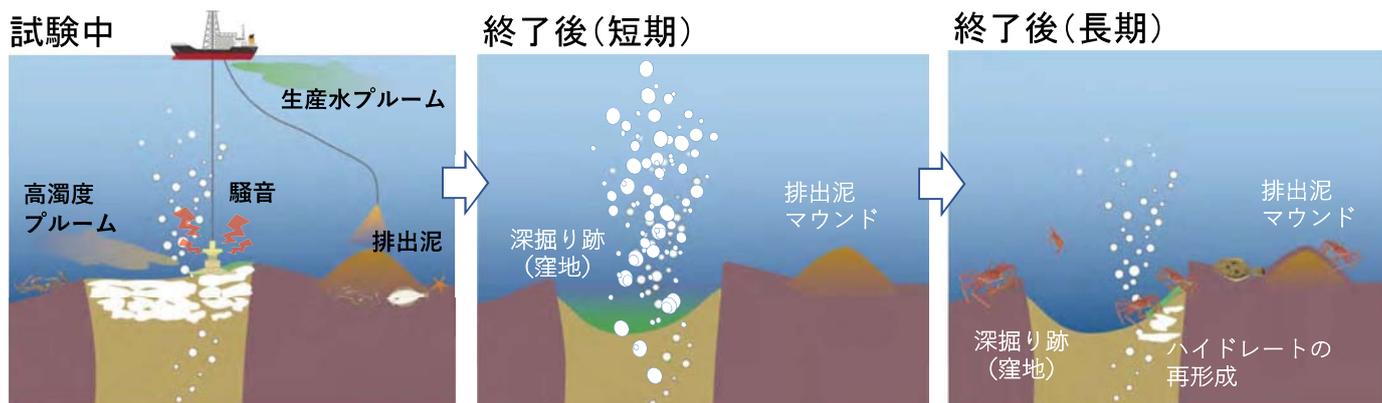
(International WOCE Office  
[http://sam.ucsd.edu/whp\\_atlas/pacific/p02/prop\\_plots/prop\\_plots.htm](http://sam.ucsd.edu/whp_atlas/pacific/p02/prop_plots/prop_plots.htm)を参考に描写)

日本海の深層には性質の一樣な水塊が分布

### 日本海固有水

- 水温 0~1度
- 塩分 約34.1
- 密度 約27.4  $\sigma_\theta$
- 溶存酸素 約200  $\mu\text{mol/kg}$

# 海域環境調査の目的



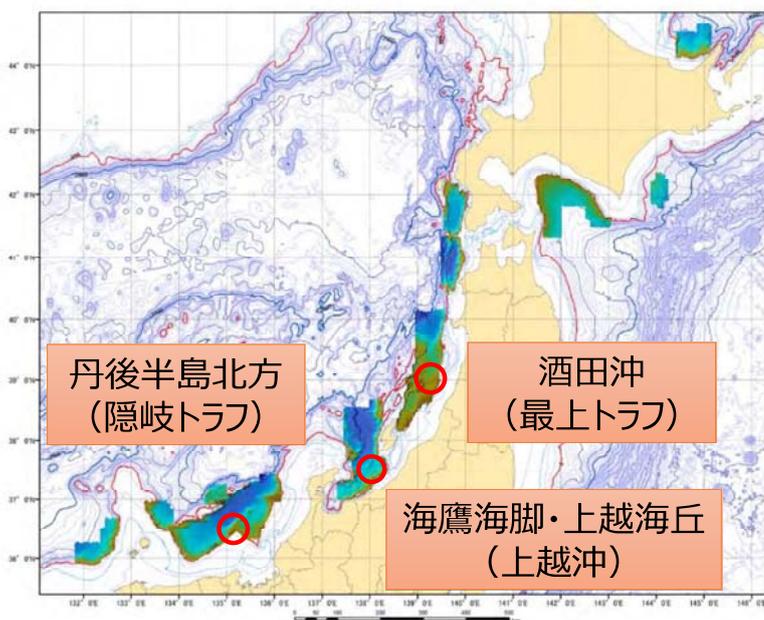
## 目的

メタンハイドレートの海洋産出試験に係る

環境影響評価手法の構築と環境ベースラインデータの取得

# 海域環境調査の内容と実施状況

海洋調査・海域環境調査の実施予定海域



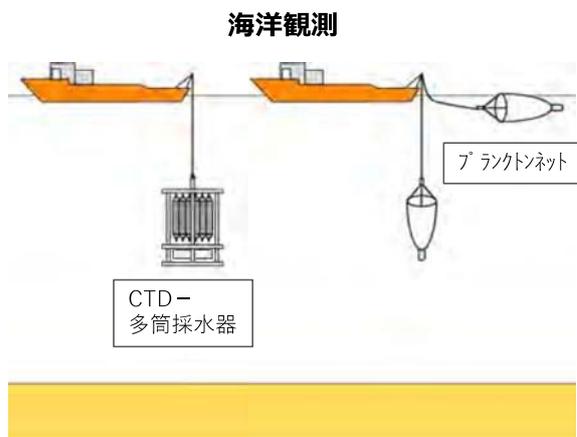
海底地形(着色部)は、広域地質調査(2013~2015)実施海域

実施済・実施中  
酒田沖(最上トラフ)  
上越沖  
(海鷹海脚・上越海丘)

計画中  
丹後半島北方  
(隠岐トラフ)



# 海域環境調査の内容と実施状況



## 生物

- プランクトン
- 基礎生産量
- クロロフィル濃度

## 化学

- 栄養塩
- 懸濁粒子組成
- 溶存酸素

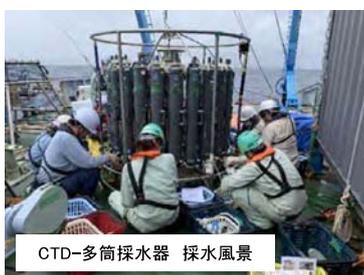
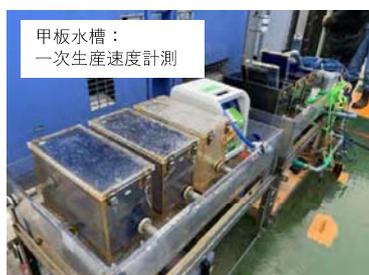
## 物理

- 水温
- 塩分

- 海水柱の物理場計測 ⇒ 生産水プルーム動態予測
- 採水: 化学・生化学分析 ⇒ 環境ベースラインデータ(水質)
- プランクトンネット・一次生産速度計測 ⇒ 環境ベースラインデータ(生物群集動態解析)

# 調査項目の詳細

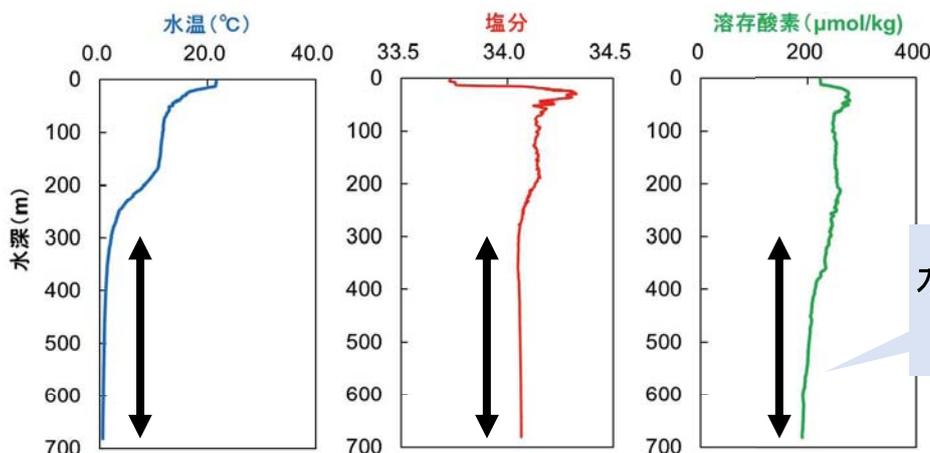
項目	目的	
一次生産	海洋生態系の基礎となるプランクトンの光合成速度を見積もる	
プランクトンネット	採取したプランクトン試料の種同定、元素・安定同位体分析、遺伝子解析などを行う	
CTD-多筒採水器 観測 及び、採水	栄養塩	一次生産を支える栄養塩量を明らかにする
	溶存酸素	酸素量を明らかにする
	全菌数 (ピコプランクトン数)	ネットを通過する微小なプランクトンの生物量を見積もる
	クロロフィル濃度	光合成するプランクトン量を見積もる
	水温・塩分	海洋構造を明らかにする



# 結果(水温・塩分・溶存酸素)

酒田沖では

約水深300mから、水温・塩分・溶存酸素が一様であった

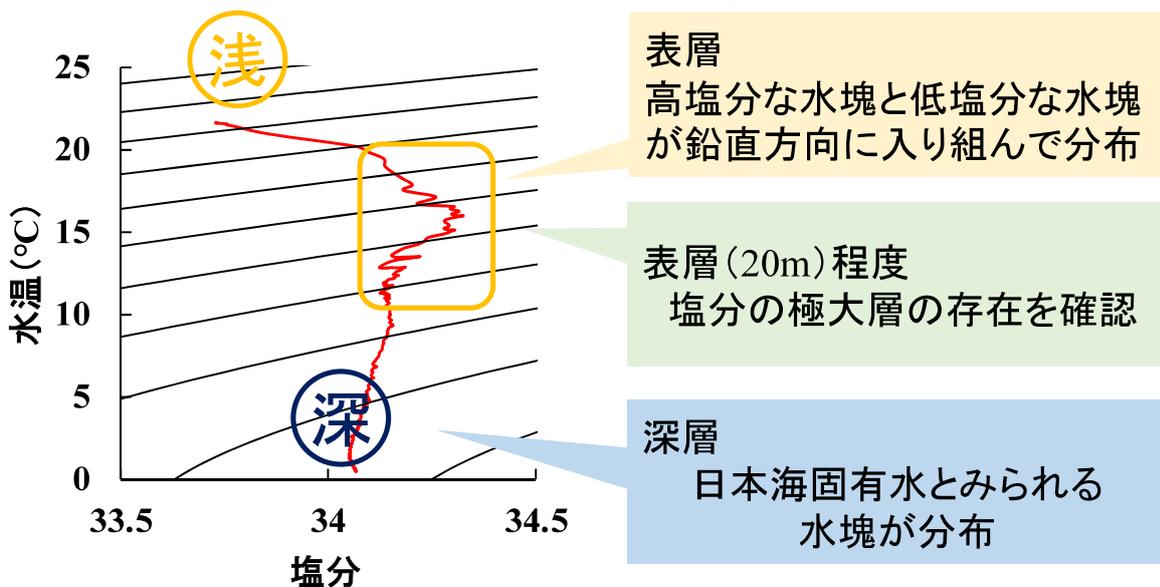


水温・塩分・溶存酸素から、日本海固有水と判断

- 沿岸に近い地点であるものの、深層には日本海固有水が分布しており日本海特有の海洋構造であることが分かった。

観測測点 SS20-1 CTD01

# 水温・塩分の分布(T-S図)

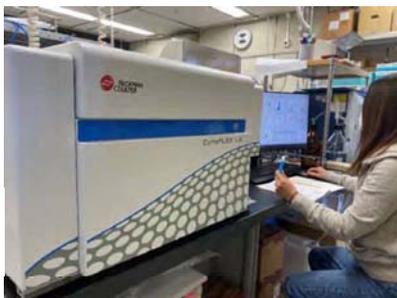


- 過去の知見との比較から、表層の塩分極大層は対馬暖流系の高温・高塩な水塊由来であると判断できた。
- 塩分のゆらぎは、沿岸の低塩分な水と対馬暖流系の水塊の混合に起因すると推測された。

観測測点 SS20-1 CTD01

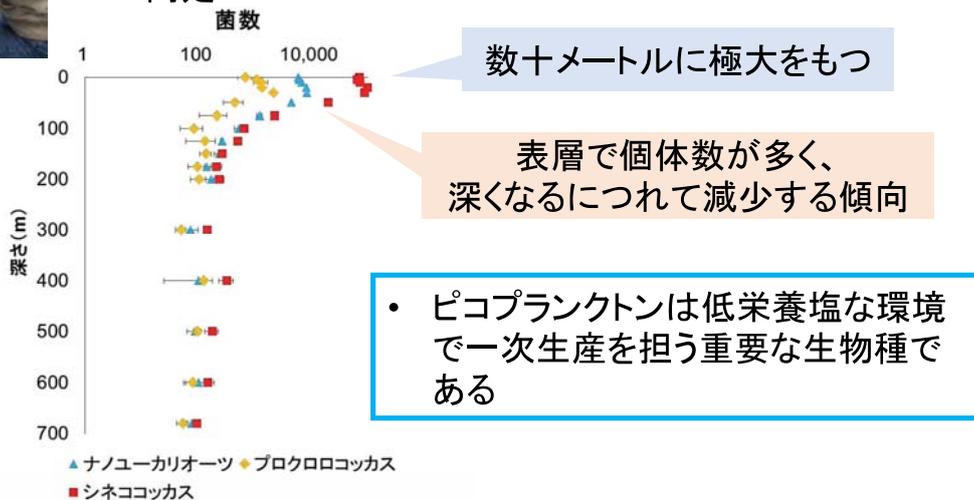
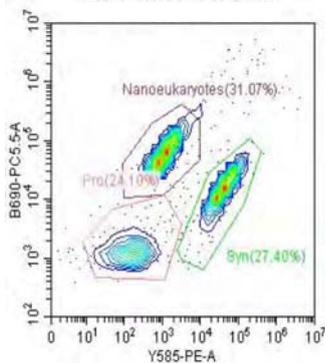
# 結果(ピコプランクトン数)

フローサイトメーター



- ・ フローサイトメーターを用いて水試料に含まれる粒子の自家蛍光を計測
- ・ 自家蛍光の特徴から「シネコッカス」、「プロクロロコッカス」、「ナニューカリオーツ」の3種を同定

自家蛍光測定結果の例



# 結果(栄養塩)

オートアナライザー



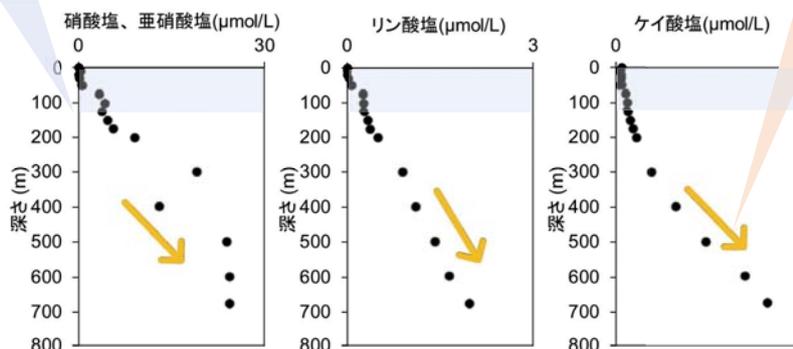
- ・ オートアナライザーを用いて水試料中の栄養塩(硝酸塩、亜硝酸塩、リン酸塩など)を計測

サンプル



ごく表層では枯渇

水深とともに高濃度化



表層型メタンハイドレート開発における課題:  
底層の高栄養塩濃度海水が万が一表層海水中に拡散した場合、水質や光合成生態系に影響を及ぼす可能性がある。

# まとめ

- 環境影響評価手法の構築に必要な環境ベースラインデータを収集
- 調査海域は沿岸寄りであるものの、水温・塩分・溶存酸素は日本海の基本特徴を示した
- 栄養塩の分布とピコプランクトンの分布はよく対応していた
- 他海域の観測を推進するとともに、長期的な環境ベースラインデータの収集も継続してゆく



# メタンハイドレート胚胎域における 微生物生態系とその機能

## 青柳 智

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
 環境創生研究部門 環境生理生態研究グループ

本研究は経済産業省のメタンハイドレート 開発促進事業の一部として実施しました  
 調査船の乗組員の皆様、船上の研究・サポートに携わった皆様に感謝を申し上げます

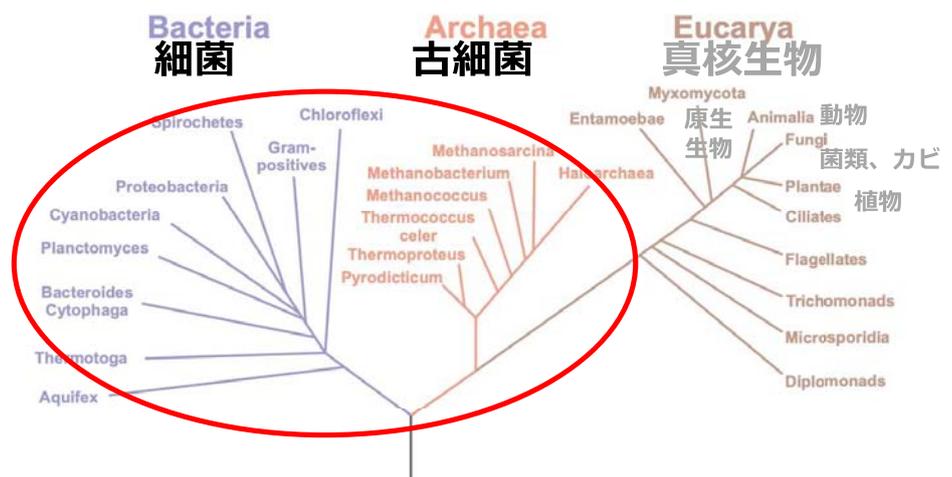
## 環境影響評価・微生物



### 現在の海洋を知る

：どのような微生物が生息し  
 どのような役割を担っているか

ここでのターゲット  
**原核生物**

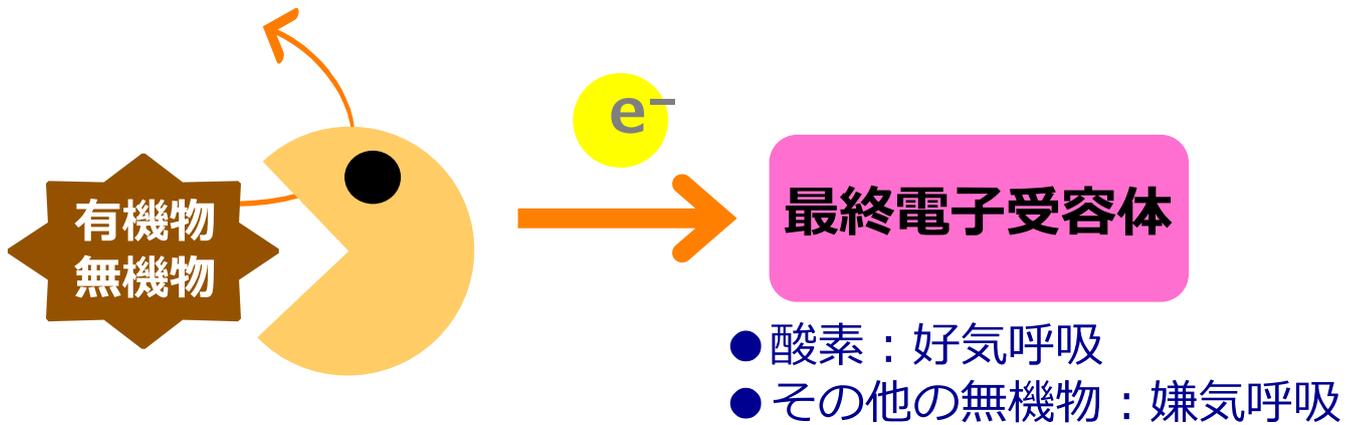




# 微生物の活動（呼吸）：物質変換

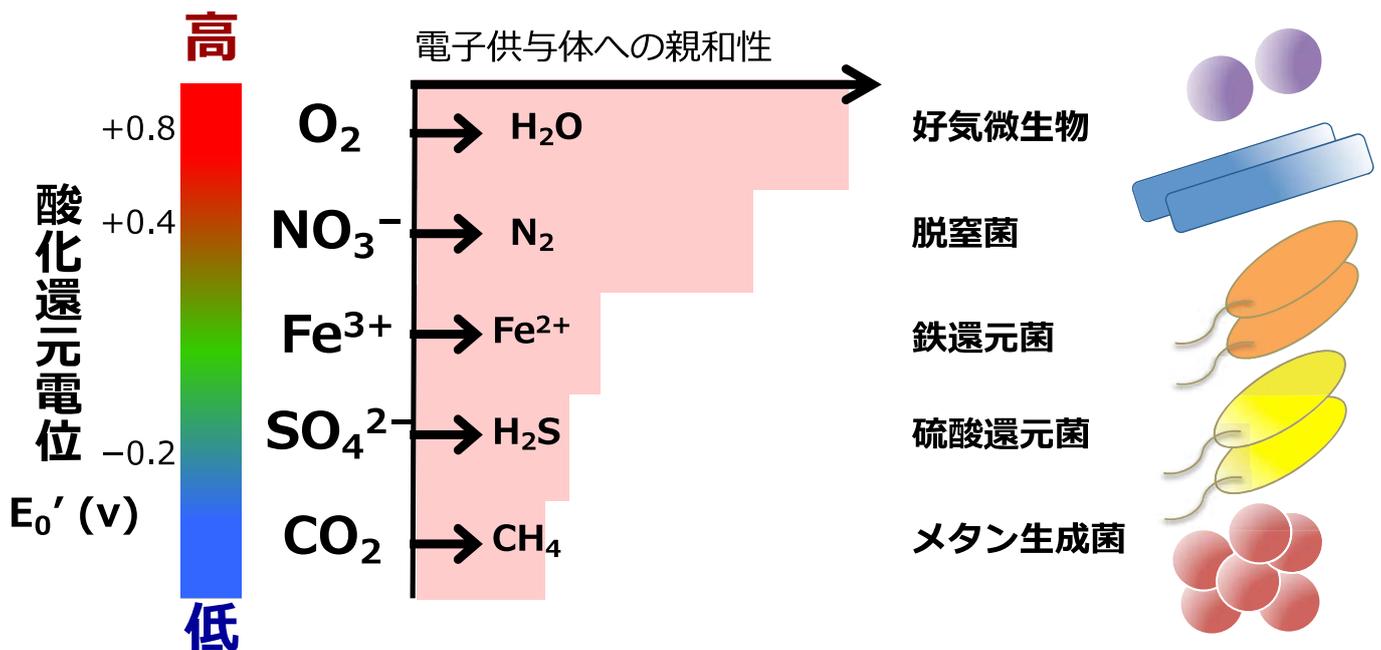
酸化

還元



微生物は有機物等の酸化で生じる電子を最終電子受容体に渡すことでエネルギーを獲得し生命活動を営む

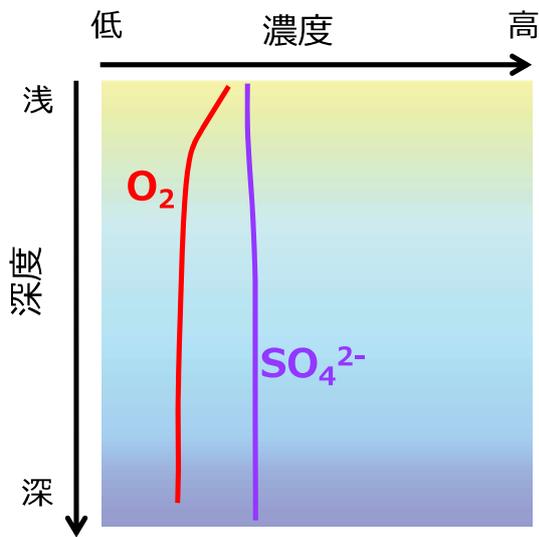
## 酸化還元電位と微生物



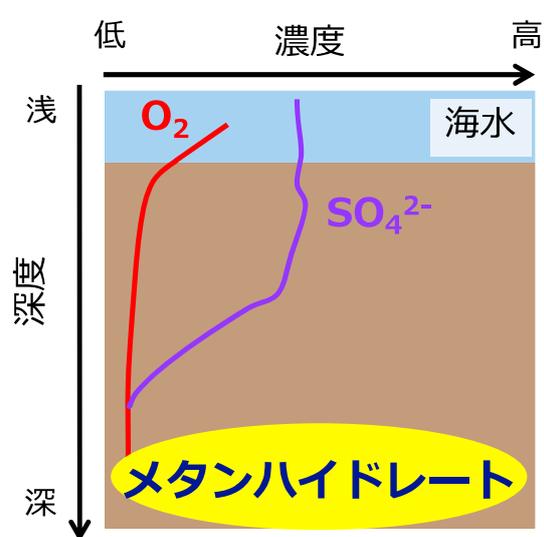
最終電子受容体は酸化還元電位の順位に従い、連続的に利用される

# メタハイ胚胎域の主要な電子受容体

## 海水



## 堆積物



海水：表層、底層どちらも好氣的な環境

堆積物：大部分が嫌氣的な環境、湧出メタンに基づく微生物生態系が形成

# 近年登場した次世代シーケンサー

- 16S rRNA 遺伝子増副産物のシーケンス  
→ 200 種類のサンプルを一度に解読  
各サンプルで 5万配列、  
合計で1千万配列を系統的に同定

従来法よりも高速・大規模に遺伝子の塩基配列を解読

- 複雑な微生物群集を網羅的に解析
- 極少数の微生物も個々に検出

# 採取試料からの微生物データ解析量

酒田沖・微生物解析試料

**海水：6地点**

**堆積物：3地点**

試料タイプ

**水柱：3地点（数m～100m間隔）**  
19試料からDNAを57抽出

**堆積物鉛直：3地点（2cm間隔）**  
25試料からDNAを75抽出  
25試料からRNAを75抽出

**堆積物直上水：**  
3地点、3試料からDNAを9抽出

16S rRNA遺伝子を標的にしたシーケンサー解析

**海水：66ライブラリから**  
合計で約450万配列を解析  
(平均：約7万配列)

**堆積物：150ライブラリから**  
合計で約1,400万配列を解析  
(平均：約9万配列)

## まとめ・展望

引き続きメタハイ胚胎域の微生物データ収集を進め

**化学分析データとの融合解析により  
メタハイ胚胎域の微生物生態系の機能解明を進めてゆく**

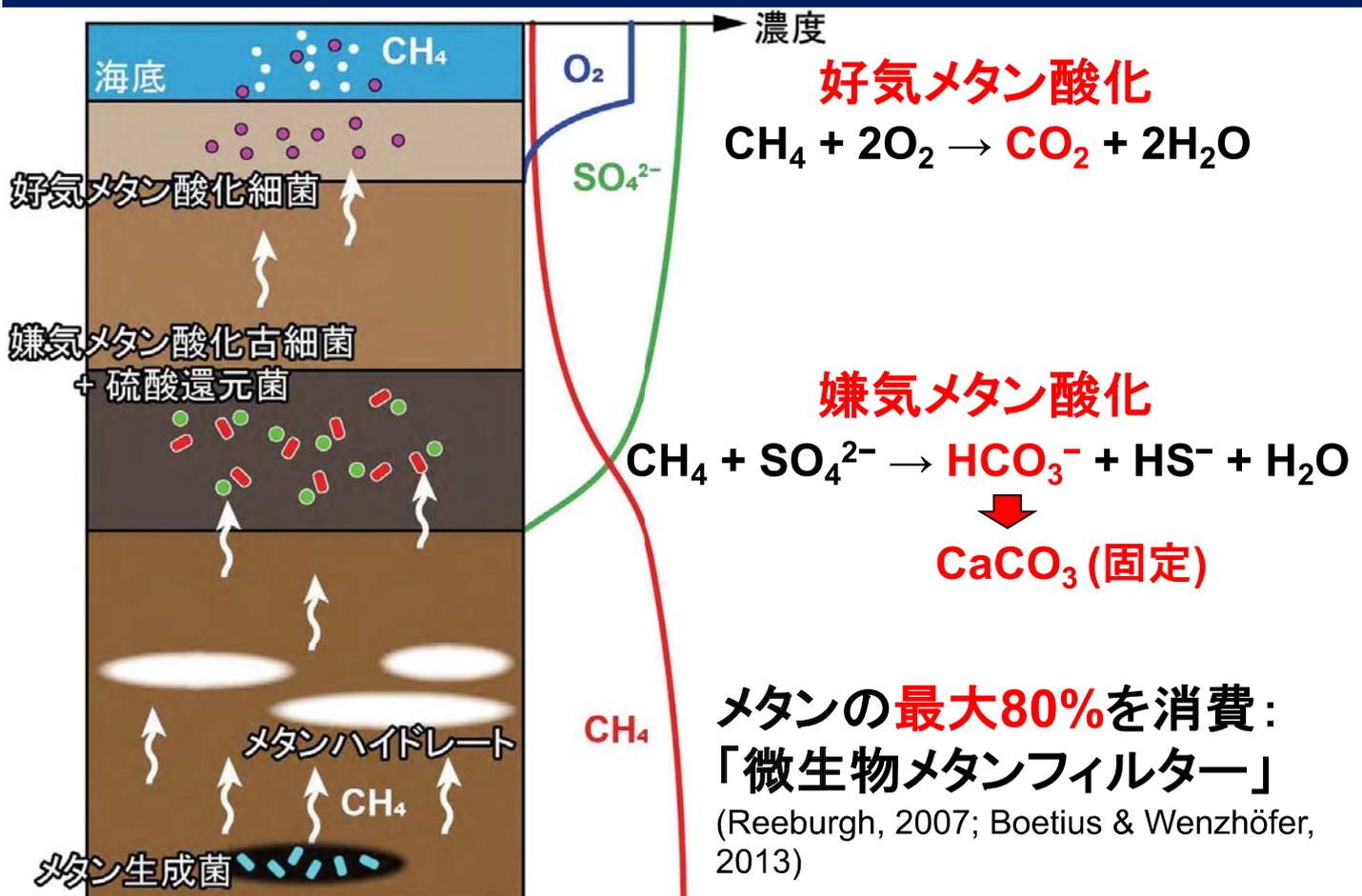
# 酒田沖メタンハイドレート胚胎域の 微生物によるメタン酸化ポテンシャル評価

産業技術総合研究所  
地圏資源環境研究部門  
宮嶋佑典



## 微生物によるメタン酸化

2

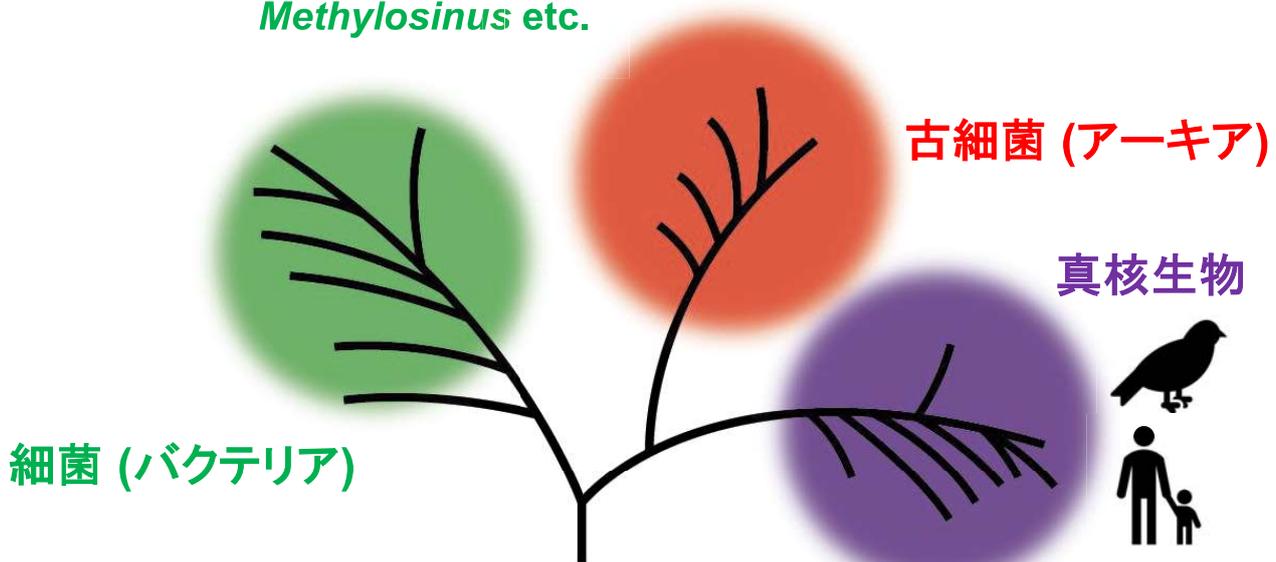


## 好気メタン酸化細菌

*Methylococcus,*  
*Methylosinus* etc.

## 嫌気メタン酸化古細菌

ANME-1, 2, 3



# メタン酸化微生物の重要性と課題

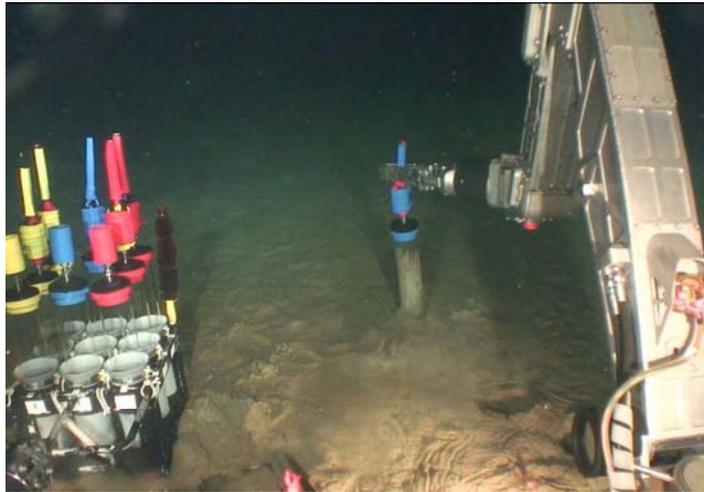


自然・人為起源メタン放出の環境影響評価に重要

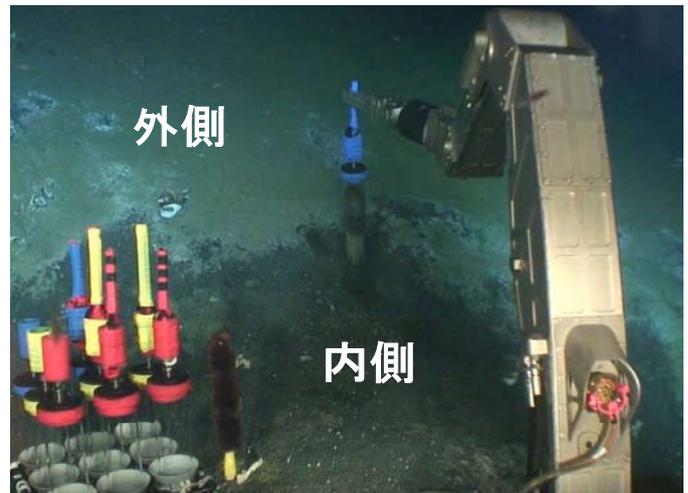
## 課題

- ✓ どの微生物が、どこに分布？
- ✓ メタンを酸化する速度？  
(好気・嫌気どちらが大きく寄与?)

リファレンス

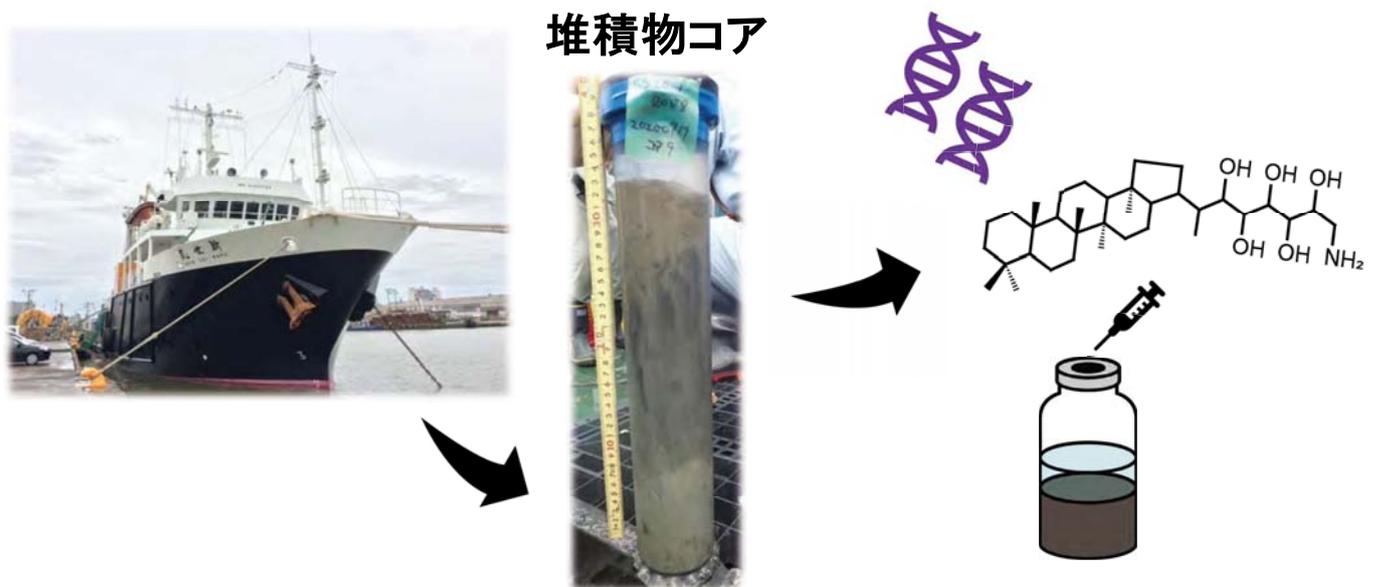


バイオマット外・内

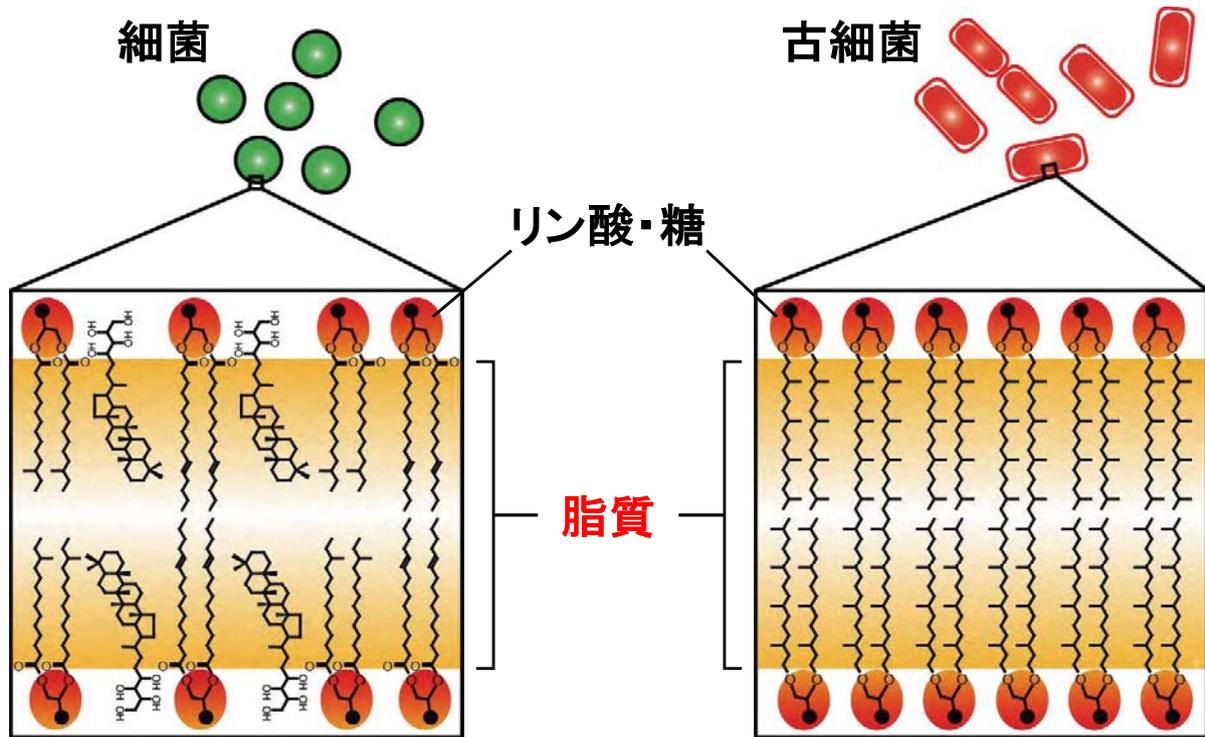


- ✓ バイオマット内で高いメタン濃度が検出
- ✓ 硫酸イオンの減少: 嫌気メタン酸化の証拠

## メタン酸化ポテンシャルの評価手法



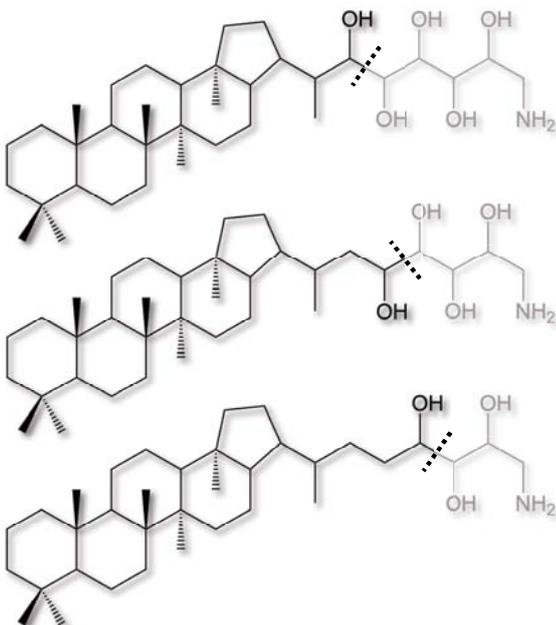
1. 遺伝子解析 (種類、分布) → 青柳さん発表
2. 脂質バイオマーカー分析 (分布、存在量)
3.  $^{13}\text{C}$ トレーサー培養 (活性、メタン酸化速度)



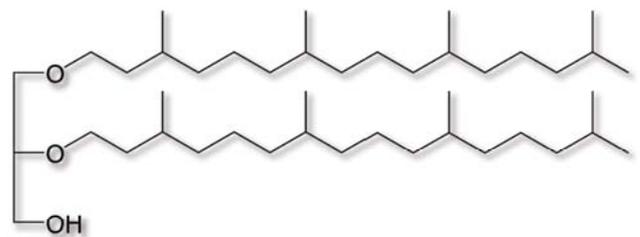
- ✓ 生物の細胞膜脂質が堆積物に保存されたもの
- ✓ 遺伝子より保存性良い

## バイオマツ内で検出されたバイオマーカー

アミノホパンポリオール分解産物  
(細菌に由来)

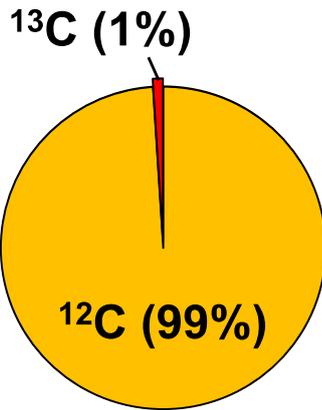


アーキオール  
(古細菌に由来)

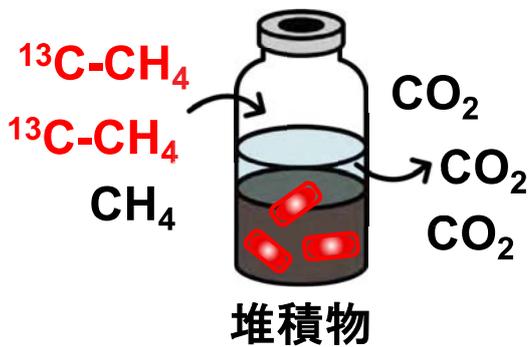
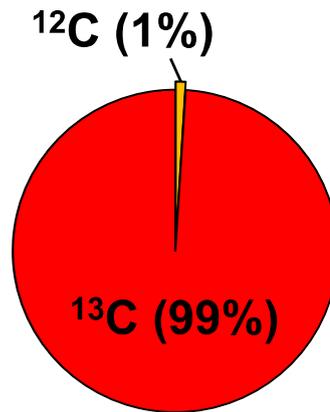


どれがメタン酸化微生物に由来するか特定できない

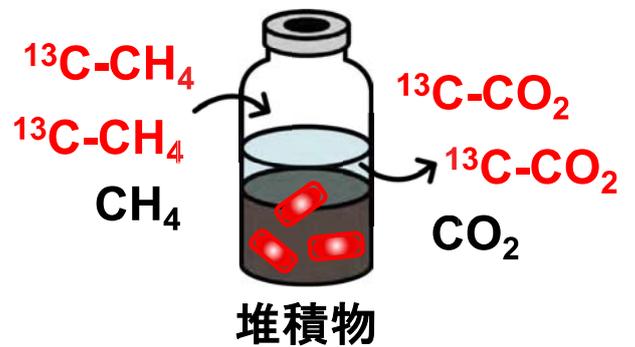
天然



$^{13}\text{C}$ トレーサー

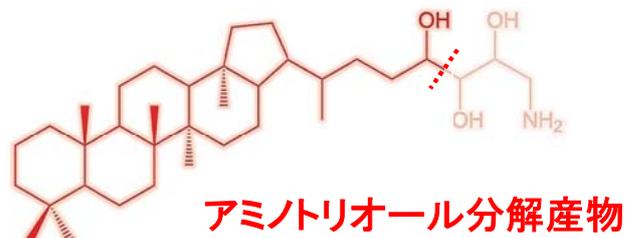
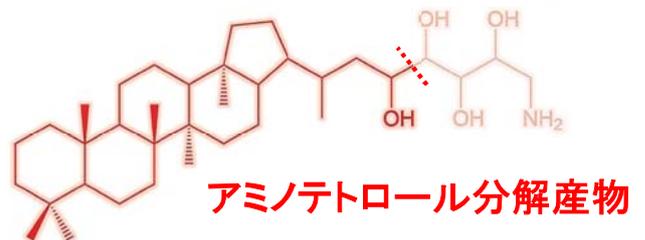
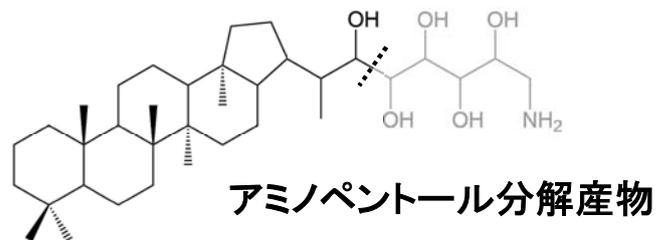
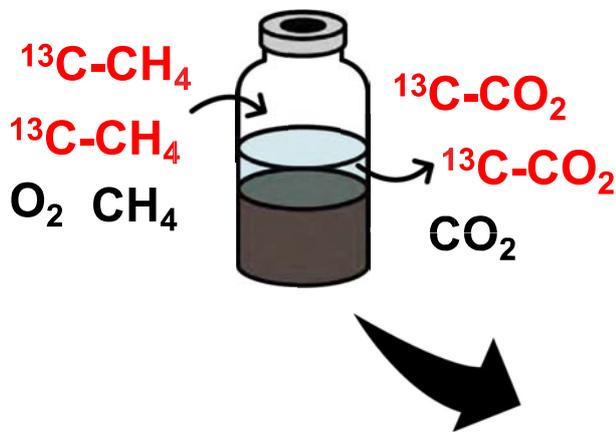


時間  $T$   
(4°C)



## 脂質のラベル化

バイオマット内 (0-10 cm) 105日後



好気メタン酸化細菌に由来する脂質を特定

- ✓ **メタン酸化微生物はメタン放出の環境影響評価に重要**
- ✓ **酒田沖堆積物の好気・嫌気メタン酸化微生物の分布とメタン酸化速度を解明**
- ✓ **MH賦存域でのメタン消費プロセスのモデル化に貢献**

本研究は経済産業省のメタンハイドレート開発促進事業の一部として実施しました

# 酒田沖メタンハイドレート胚胎域における 生物地球化学的物質循環

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域  
環境創生研究部門 環境生理生態研究グループ 研究員

おおた ゆうき  
太田 雄貴

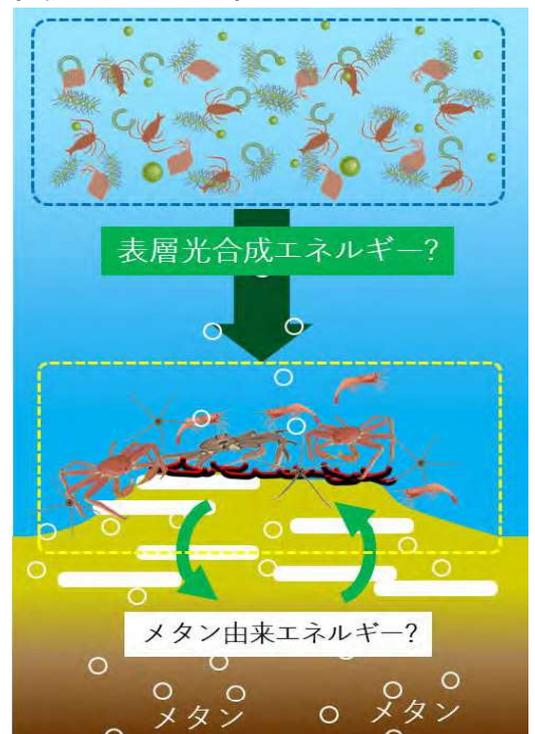
## 表層型メタンハイドレート(MH)胚胎域環境の生態系



日本海酒田沖で見られたバイオマット



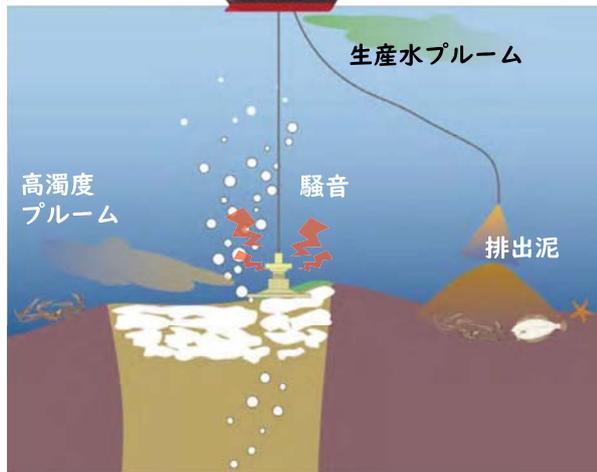
日本海上越沖のバイオ  
マットに蝸集するベニ  
ズワイガニ



MH胚胎域ではメタンを栄養源とするバイオマットを起点とした生態系が存在する？

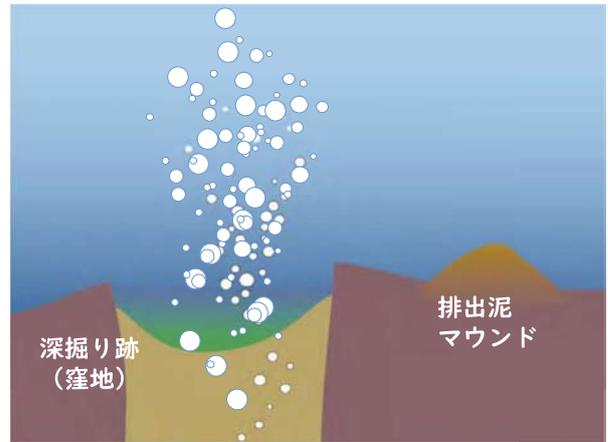
## 表層型メタンハイドレート開発で予想される懸念事項

試験中



- 高濁度、生産水、排出泥の曝露による重金属の放出

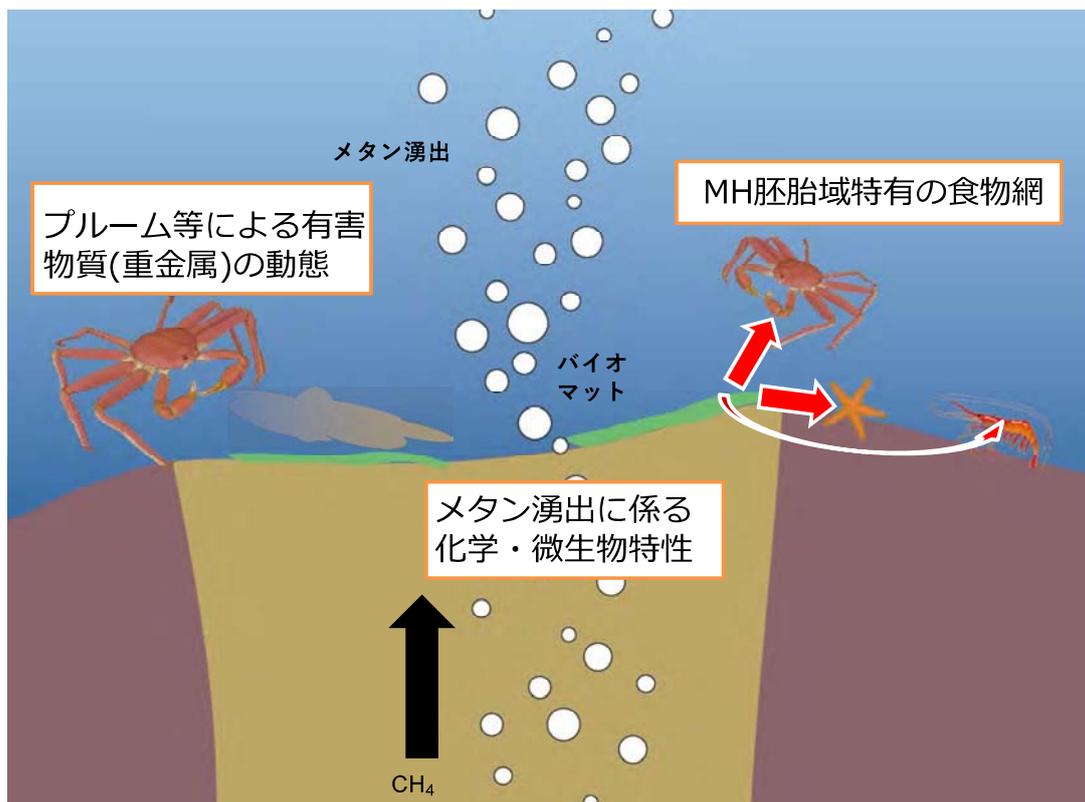
長期的懸念事項



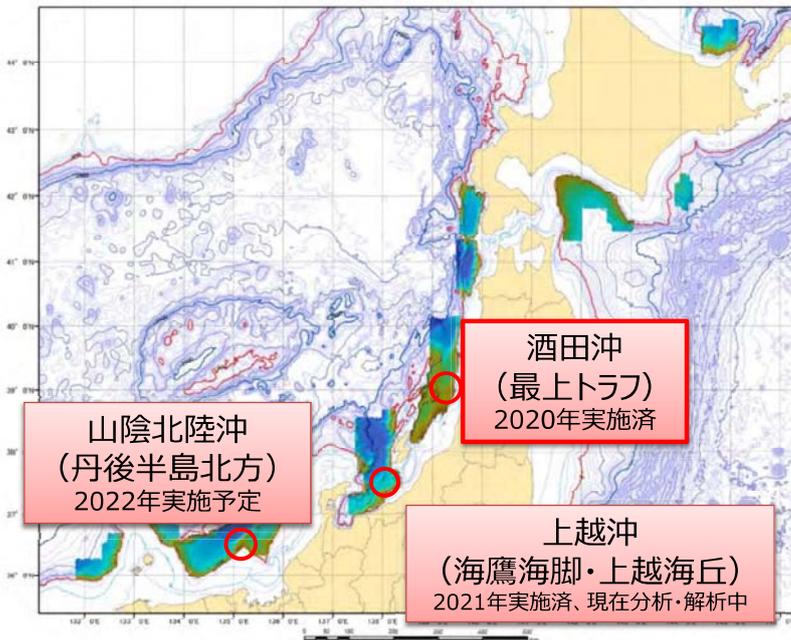
- メタンフラックスの著しい増大
- マウンドに埋没し生息場所が消失
- 深掘り跡での貧酸素水塊の発生

堆積物や生態系に濃縮しやすい元素 (重金属含む)はどのようなものか？

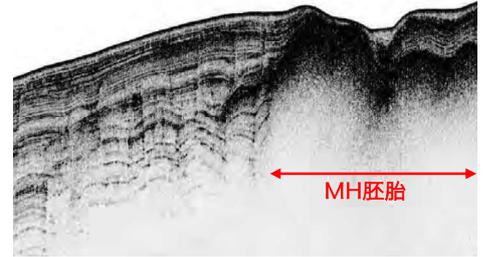
## 研究課題



# 酒田沖における表層型メタンハイドレート胚胎域



第38回メタンハイドレート開発実施検討会 (2021.11.17) 資料5を改訂

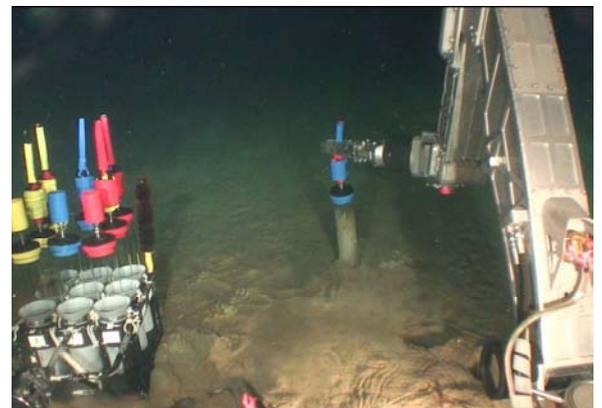
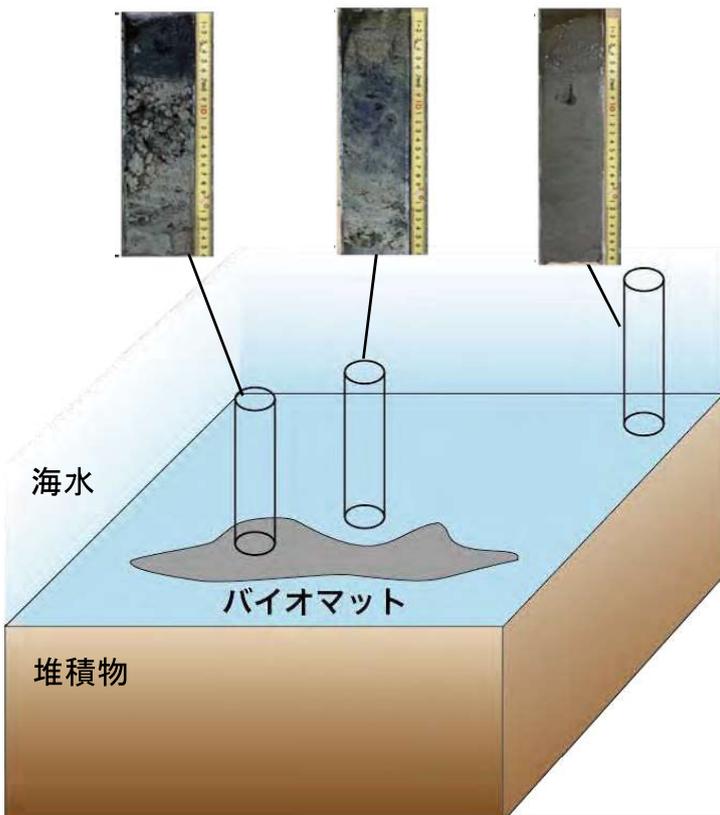


音響調査による酒田沖海底下の地質構造イメージ

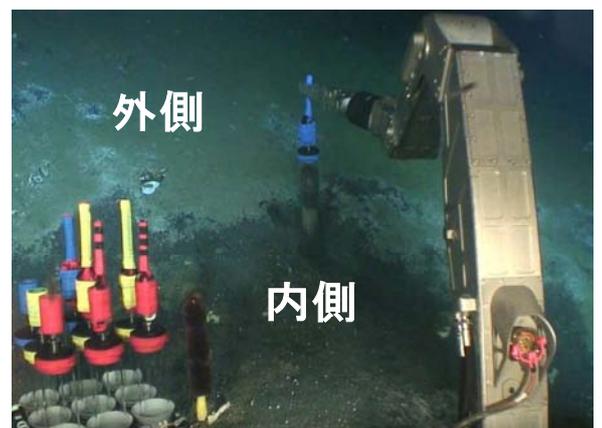


日本海酒田沖で見られたバイオマット

# 採泥地点の海底

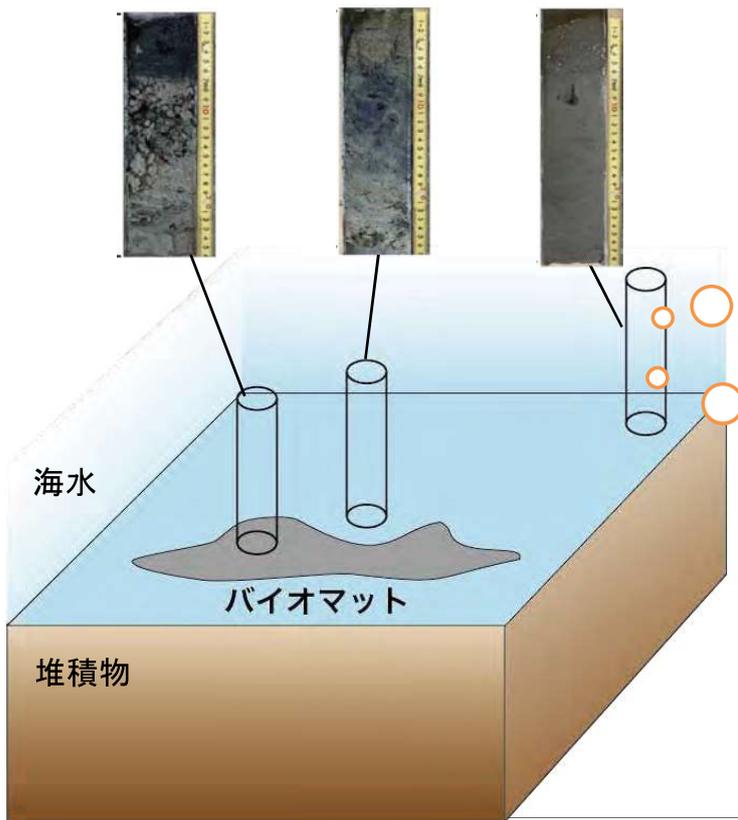


リファレンス



バイオマット外・内

## 堆積物コアから何が分かるのか？



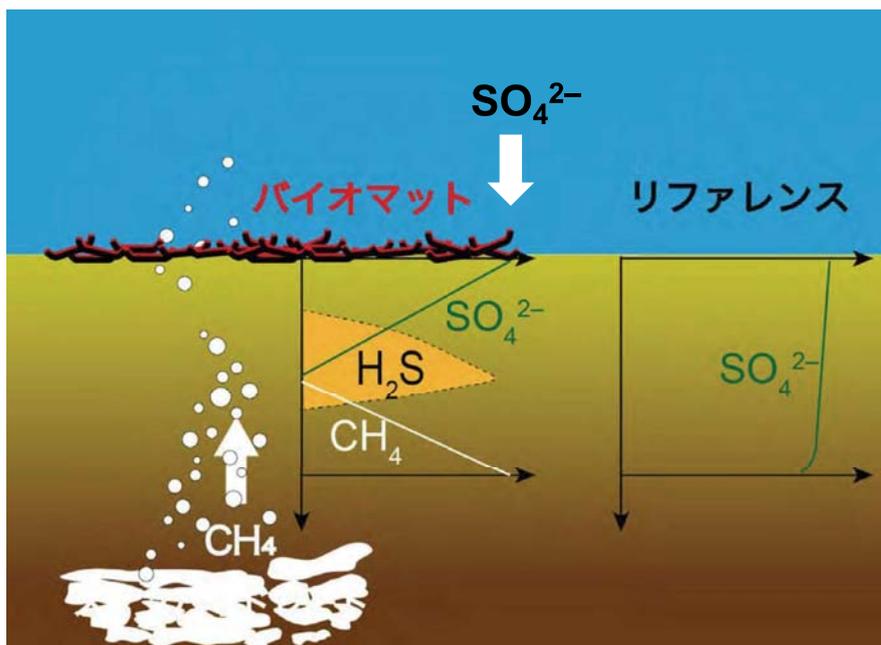
### 場所（環境）ごとの特徴

特徴の異なる場所(環境)でコアを採取  
→場所が違くと変化するパラメータを見つけ、  
それぞれの環境の特性を理解する。

### 深度ごとの特徴

堆積物深度ごとに似たような特徴を示す  
パラメータはあるのか？  
→パラメータ間の関係性から特徴的な生  
物地球化学的な反応を解明！

## 酒田沖における嫌気性メタン酸化に関連した化学的特性



### 嫌気性メタン酸化 (AOM)



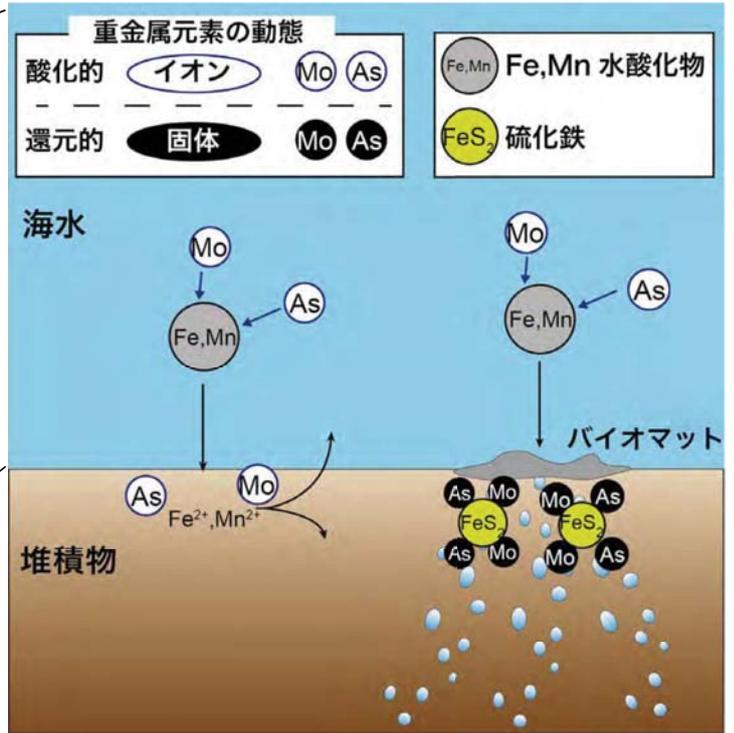
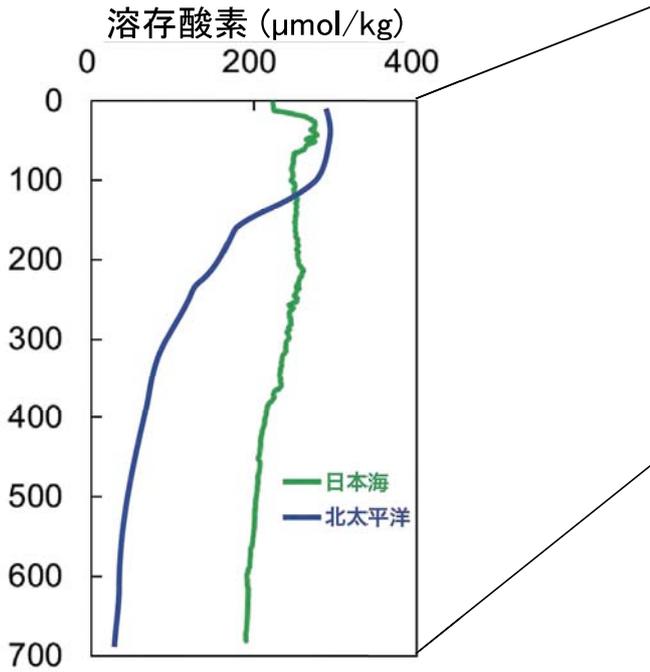
### 現地生炭酸塩岩の形成



・酒田沖のバイオマット内堆積物にて、多量の硫化鉱物と炭酸カルシウムを確認

➤ メタンの湧き出しによる嫌気性メタン酸化の発生を示唆

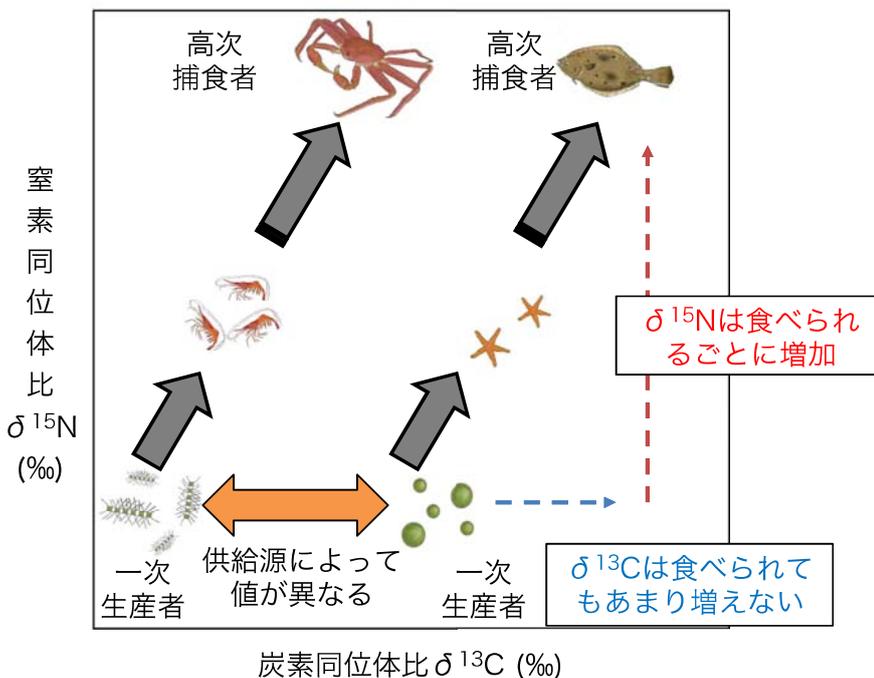
## 酒田沖堆積物の重金属組成に関連した環境システム



- 日本海は表層から底層まで好気的な海水が存在
- MoとAsは海水中のFe-Mn水酸化物によって優先的に堆積物へ運ばれ、硫化鉱物中に濃縮している？

酒田沖堆積物の重金属組成に関連した環境システムの概要図 (Ota et al., in submit)

## 今後の内容：安定同位体比を利用した食物網・物質循環の評価



- マット含有堆積物やバイオマツ周辺で採取された生物試料（ベニズワイガニ、イカなど）の安定同位体比分析からメタン湧出域特有の食物連鎖網を解明する。
- 地球化学分析による重金属等の生物濃縮の定量的評価を行う。

## まとめ

- 日本海東縁部酒田沖で観測されたバクテリアマット周辺の堆積物中では、硫黄や炭酸カルシウムの含有量がリファレンス地点に比べて大幅に高かった
  - 微生物による嫌気性メタン酸化の発生が示唆される。
  
- 酒田沖堆積物中では、硫化鉱物の中にMoとAsが濃縮していると思われる。
  - 日本海の酸化的な海水中でFe-Mn水酸化物粒子が駆動することで、海水から嫌気性メタン酸化による還元的な堆積物中にMoとAsが優先的に運ばれていることを示している可能性がある。

- 本研究は経済産業省のメタンハイドレート 開発促進事業の一部として実施した。調査船「新世丸」の乗組員の皆様、船上の研究・サポート活動に携わった皆様のご尽力に感謝申し上げます。

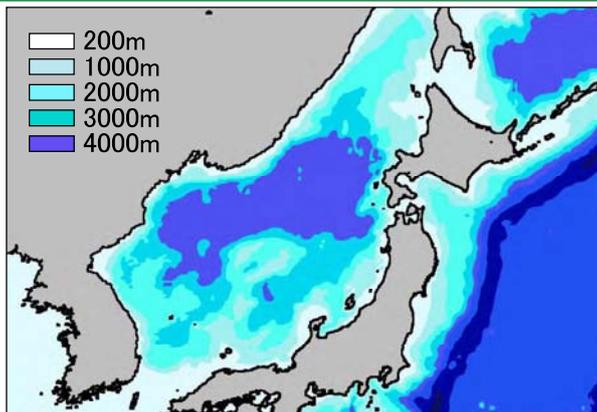
ご清聴いただき誠にありがとうございました。

# 遺伝子解析手法による日本海生物群集の 多様性・連結性評価に関する研究

井口 亮(Akira Iguchi)  
産業技術総合研究所・地質情報研究部門

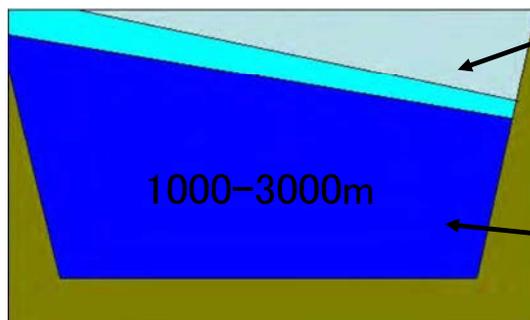
※本研究は経済産業省のメタンハイドレート 開発促進事業の一部として実施しました。

## 日本海の特徴的な海洋環境



浅く狭い海峡で  
囲まれた縁海

階層的な水塊構造



対馬暖流水

200-300m

日本海固有冷水  
低温(約1°C)  
低塩(34.1‰)

## 日本海の特徴的な生物群集

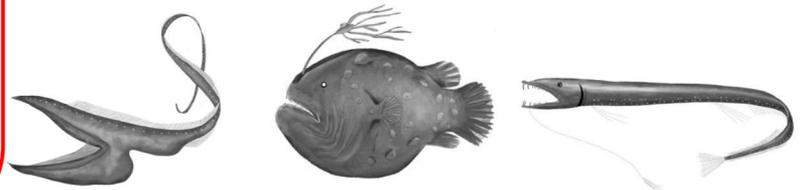
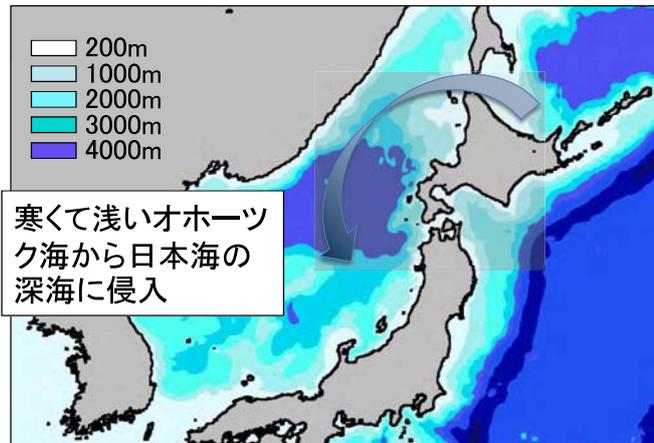


ベニズワイ



バイガイ

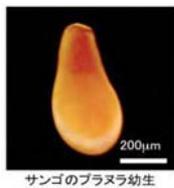
二次的深海生物



一次的深海生物

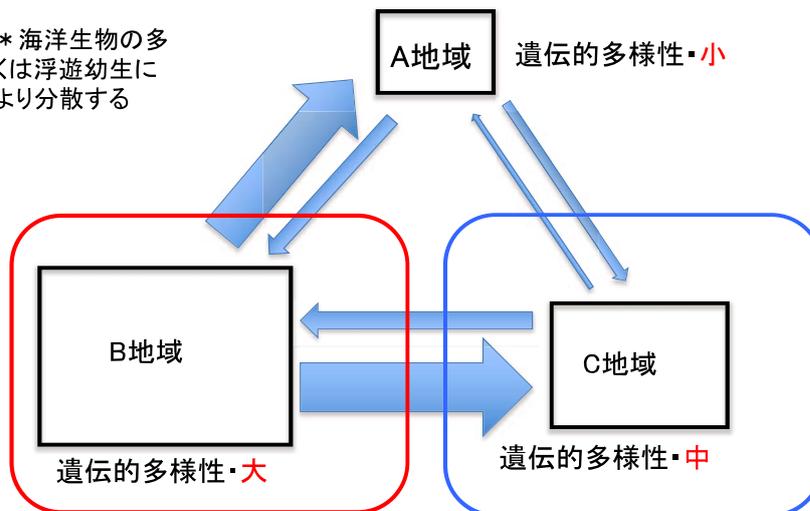
## 生物群集特性：連結性と多様性

枠の大きさは遺伝的多様性の大きさ  
矢印の太さは交流の大きさ



サングのプラナラ幼生

\* 海洋生物の多くは浮遊幼生により分散する

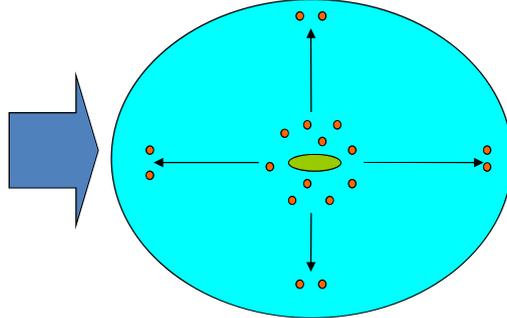


地域間の連結性を把握することで開発の影響が比較的少ない地点を選定できる

## 分散能力は生物種によって大きく異なる



浮遊幼生

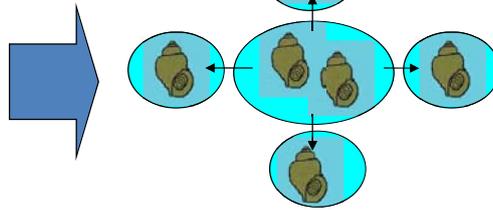


分散能力高い



富山県水産試験場提供

直達発生



分散能力低い

## 重要な水産資源である深海性腹足類



バイ籠

富山県水産試験場提供



富山県魚津市場



水揚げされたバイ類

### エゾバイ属 (*Buccinum*)



ツバイ



カガバイ

### エゾボラ属 (*Neptunea*)



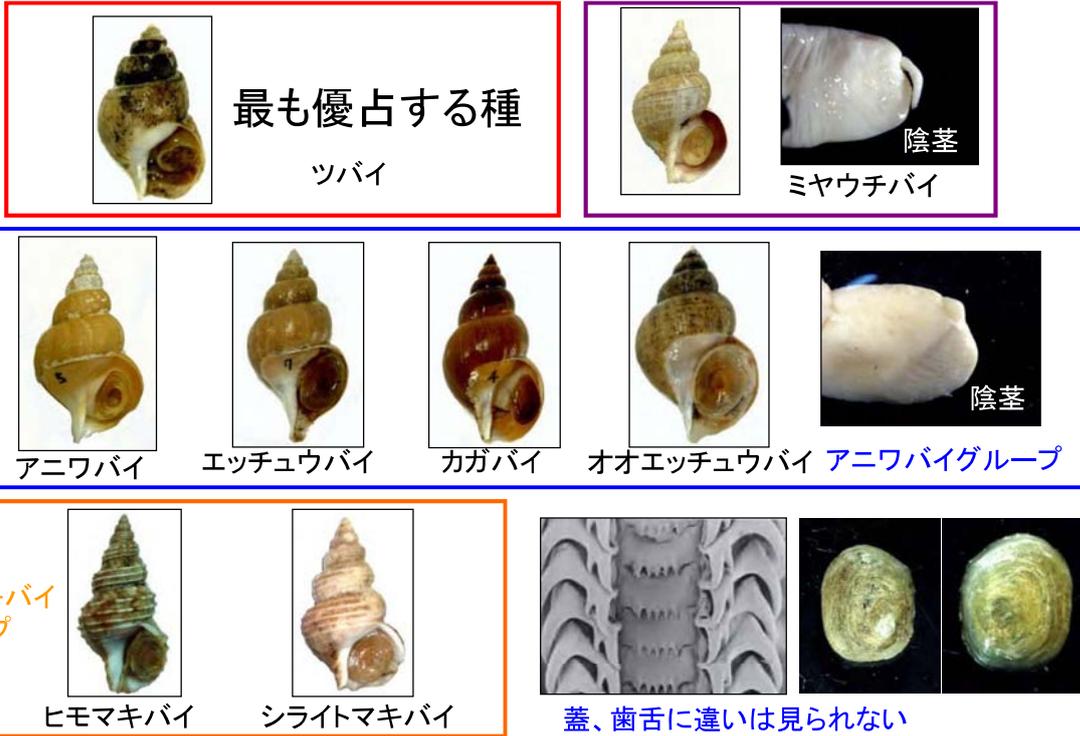
エゾボラ



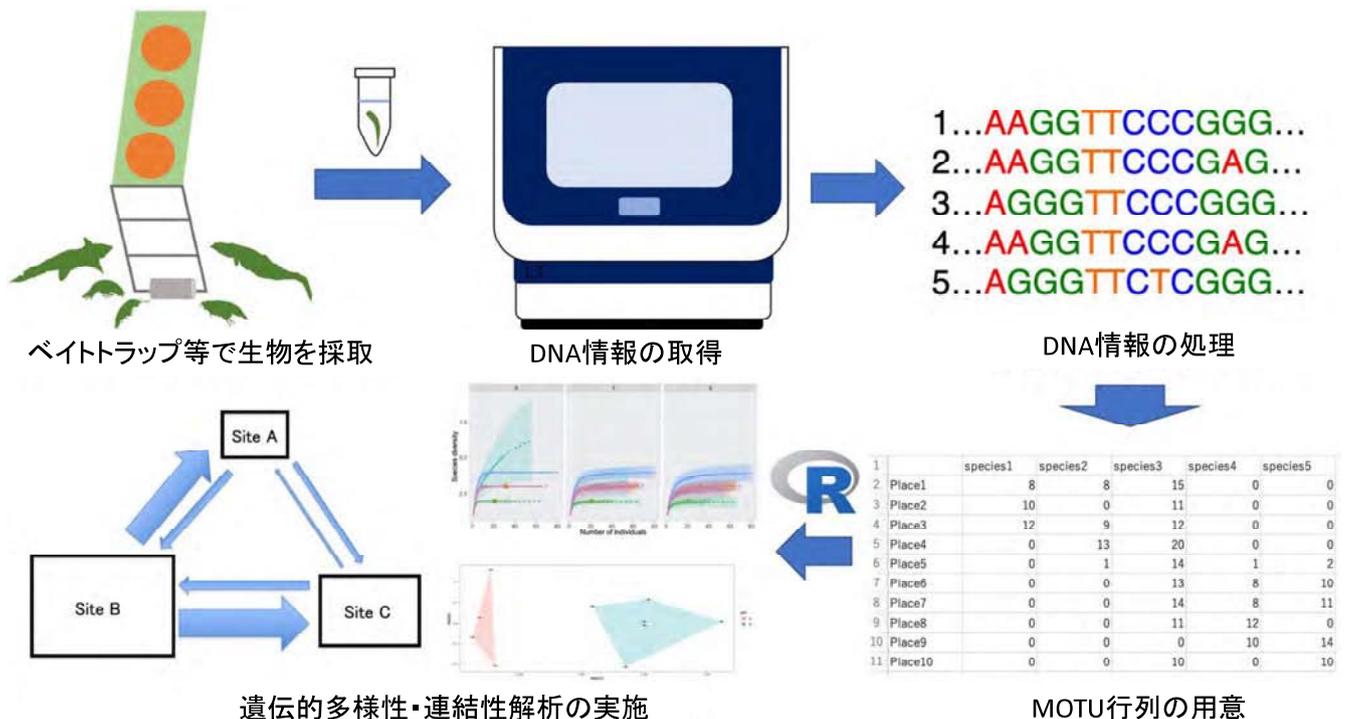
チヂミエゾボラ

生息水深: 200-1500m

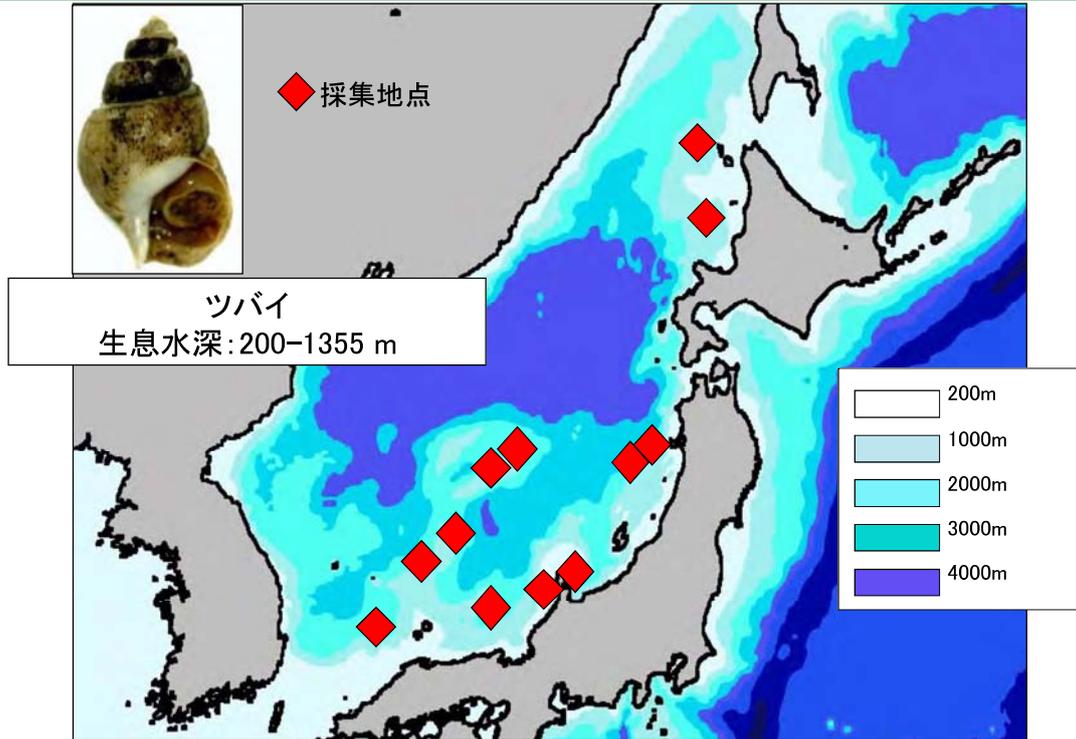
## 形態による種同定の難しさ



## 深海性生物を対象とした遺伝子解析の流れ



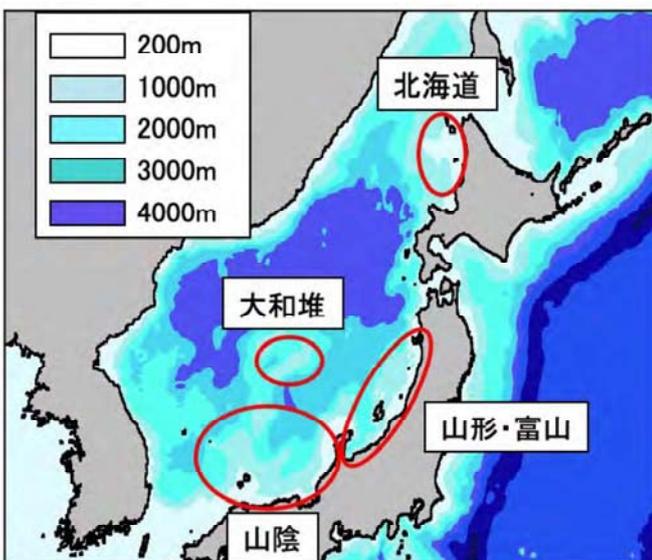
## 集団遺伝解析の実例



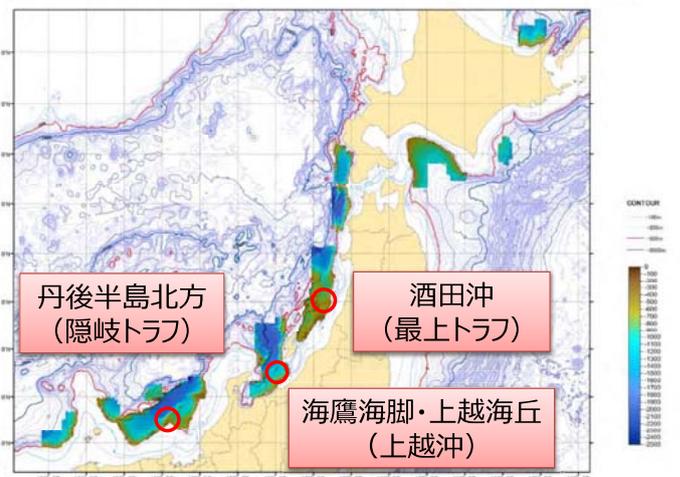
国立研究開発法人 産業技術総合研究所

産総研

## ツバイの地域集団と現在の調査海域との対応関係



海洋調査・海域環境調査の実施予定海域



海底地形 (着色部) は、広域地質調査(2013~2015)実施海域

庄内沖と上越沖内では分散能力の低いバイ類でも長期的には遺伝的交流が期待できる

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

産総研

## 山形県酒田沖でのベイトトラップの設置



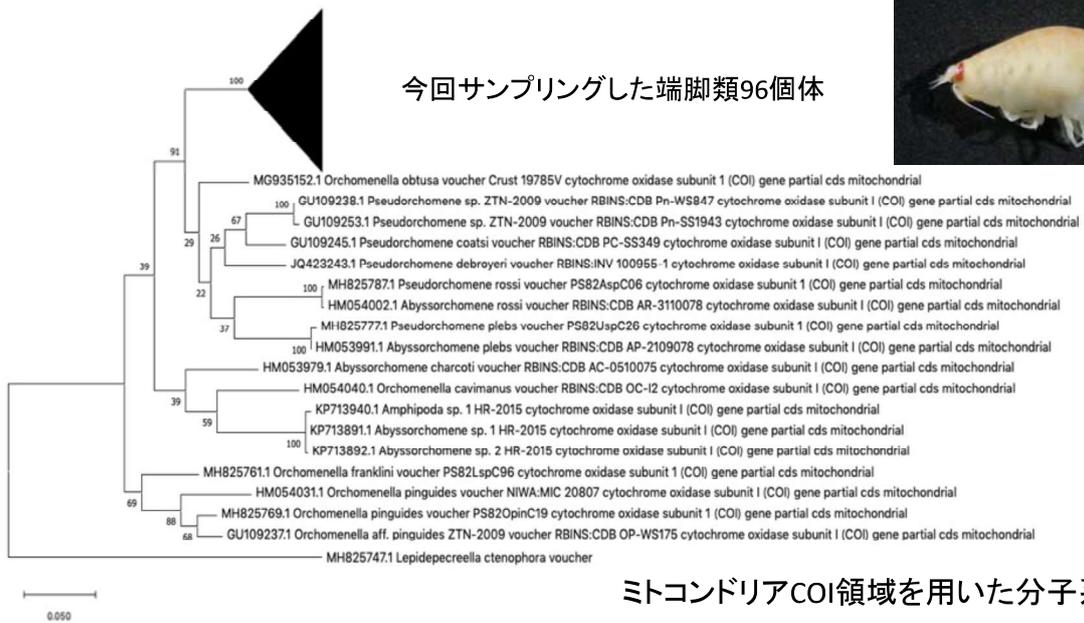
## 山形県酒田沖でのベイトトラップによる生物採取の様子



## バイトラップで採取された大量の端脚類



## 端脚類のメタバーコーディング解析の結果

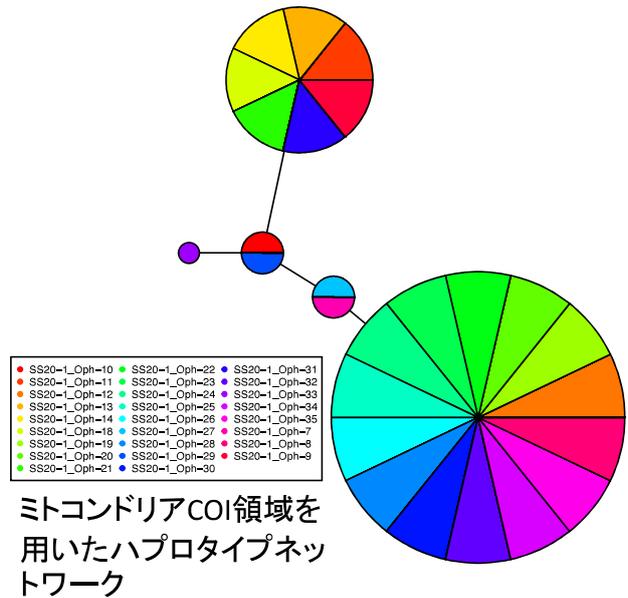


・今回使用した遺伝子マーカーでは変異性に乏しい

## クモヒトデの仲間を対象としたハプロタイプネットワークの結果



採取されたクモヒトデ類



・今回使用した遺伝子マーカーでは変異性に乏しい

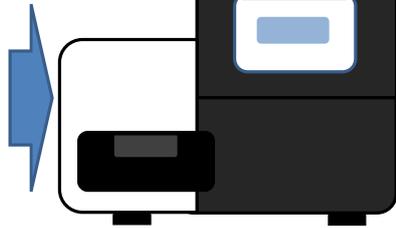
## 遺伝子解析の高度化:最新機器・解析の適用

	ミトコンドリアCOI解析	マイクロサテライトマーカー解析	一塩基多型解析 (SNPs)
装置	従来型分析装置	従来型分析装置	ハイスループットシーケンサー
対象	ミトコンドリア遺伝子領域  ハプロタイプネットワーク	核DNAのマイクロサテライト配列  DNA中のマイクロサテライト領域	核DNAの一塩基多型 
特徴	深海性生物での知見も比較的多い。コストが安くデータ取得も容易だが解像度が低い。	個体の起源集団の推定も可能。データ取得に時間がかかる。深海性生物への応用も少数ある。	マイクロサテライトマーカーより多くの情報(数百から数千遺伝子座)。深海性生物への応用も始まる。

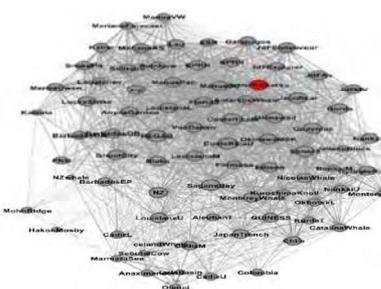
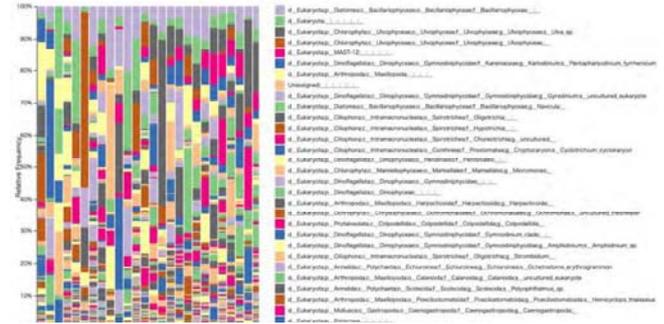
## 遺伝子解析の高度化: 集団から群集への拡張



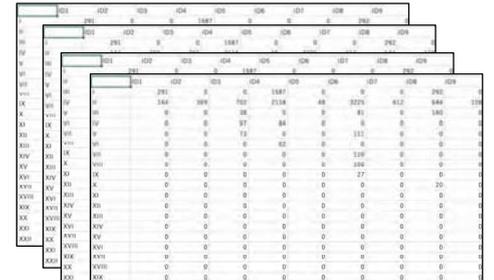
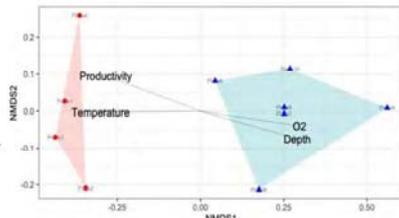
環境サンプルの  
採取



ハイスループットシーケンサーで網羅的な種多様性情報の取得



群集構造・連結性ネットワークの把握



生物組成行列の取得

## 本研究のまとめ

- ・遺伝子解析により日本海の深海生物の多様性・連結性評価を促進
- ・ハイスループットシーケンサーを活用したより高解像度の連結性解析の必要性
- ・ハイスループットシーケンサーで取得したDNAバーコーディングデータも活用した新規の連結性解析の開発

※※本研究は経済産業省のメタンハイドレート 開発促進事業の一部として実施しました。

- 
- 発行日 2021年12月3日(金)
  - 主催・発行 国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
エネルギー・環境領域 エネルギープロセス研究部門・環境創生研究部門  
地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門・地質情報研究部門
  - お問い合わせ 表層型メタンハイドレート事務局

[M-smh.office-ml@aist.go.jp](mailto:M-smh.office-ml@aist.go.jp)

---