

表層型メタンハイドレートの研究開発 2023年度研究成果報告会



表層型MHの模擬地盤・大型氷掘削試験に使用した掘削装置（三井海洋開発(株)、HMH提供）

開催日時 **2/29 ㊟ 13:15～17:10**

開催形式 **会場・オンライン(zoom ウェビナー)**
(無料、要事前申込み)

会場 **TKPガーデンシティPREMIUM秋葉原**

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・会場案内及び参加登録

<https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/stmh2023.html>



表層型メタンハイドレートの研究開発 2023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 2024年2月29日(木) 13:15~17:10 (13:00頃からテスト配信開始予定)
- 開催方式 ハイブリッド開催 (会場およびオンライン Zoomウェビナー)
- 会場 TKPガーデンシティPREMIUM秋葉原
- 参加費 無料 (要事前申込)
<https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/stmh2023.html>



プログラム

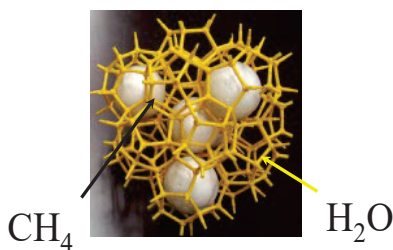
- 13:05~13:15 開催準備・事務連絡等
- 13:15~13:20 ご挨拶 経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 資源開発課 井上加代子
- 13:20~13:35 表層型メタンハイドレートの研究開発 -2023年度 of 取組-
産業技術総合研究所 エネルギープロセス研究部門 天満 則夫
- 13:35~14:30 **【生産技術の研究開発】**
広範囲鉛直掘削法による回収技術開発 -掘削性能試験結果-
三井海洋開発株式会社 事業開発部 岩本 駿介
揚収時のメタンハイドレート再生成による閉塞の解消に向けた流動剤開発
産業技術総合研究所 エネルギープロセス研究部門 室町 実大
質疑応答
- 14:30~15:20 **【海洋調査】**
表層型メタンハイドレート賦存域の精密地下構造探査
-丹後半島北方海域での高分解能3次元地震探査-
産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 児玉 匡史
資源開発に向けた表層型メタンハイドレート賦存域の地盤強度調査
-酒田沖・上越沖での掘削調査-
産業技術総合研究所 エネルギープロセス研究部門 鈴木 清史
地圏資源環境研究部門 佐藤 幹夫
質疑応答
- 15:20~15:40 休憩
- 15:40~17:10 **【環境影響評価】**
表層型メタンハイドレート開発における環境影響評価手法及び関連する法的事項
日本エヌ・ユー・エス株式会社 伊藤 博和
大型水槽を用いた疑似現場実験による生物試験
公益財団法人 海洋生物環境研究所 実証試験場 林 正裕
表層型メタンハイドレート賦存海域における深海性ヨコエビの捕獲、飼育および生物影響
評価実験
公益財団法人 海洋生物環境研究所 中央研究所 石田 洋
表層型メタンハイドレート開発に係る環境影響予測モデル
株式会社サイエンスアンドテクノロジー 林 正能
質疑応答
- 17:10 閉会

※上記内容は1月29日現在の予定です。また、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)

表層型メタンハイドレートの研究開発 「2023年度の実績について」

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

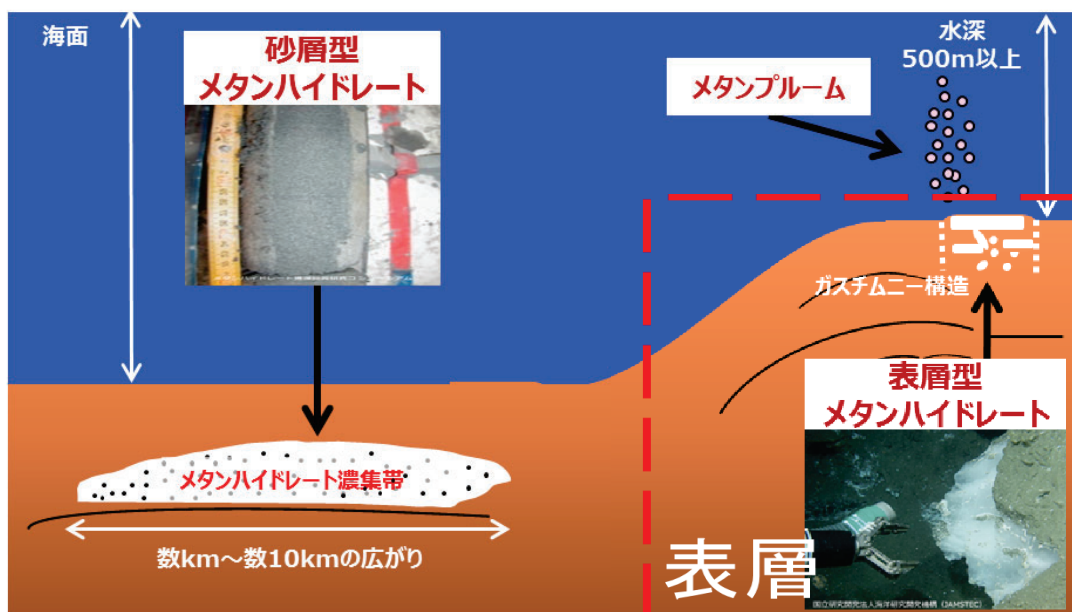


天満 則夫

本研究は、経済産業省「国内石油天然ガス地質調査・メタンハイドレート研究開発等事業（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。

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



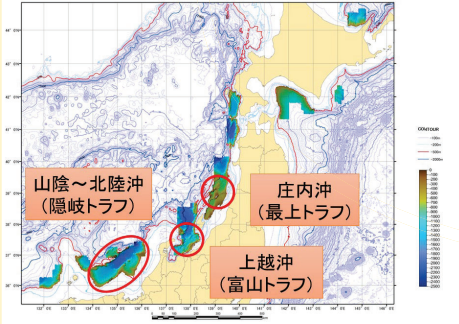
<メタンハイドレートの賦存形態>

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

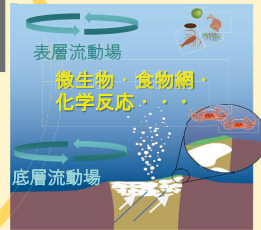
海洋調査・海域環境調査の実施予定海域



海底地形(着色部)は、広域地質調査(2013～2015)実施海域



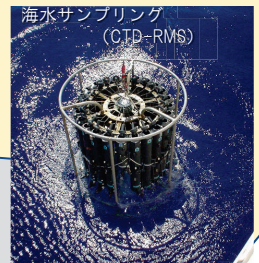
表層型MH回収・生産技術や生産システムの検討、生産技術に係る環境への影響等



環境影響評価

表層型MHの研究開発

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)

<第42回メタンハイドレート開発実施検討会(2023.11.06)資料6>

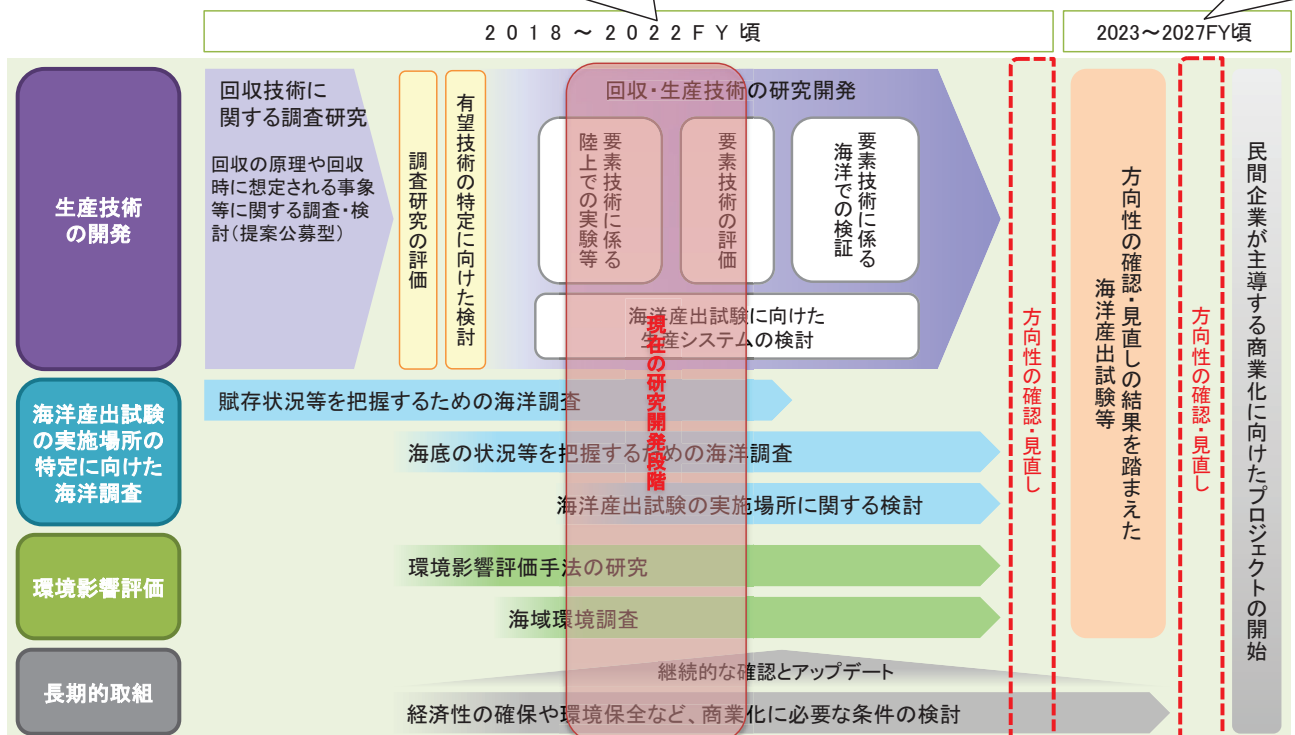
表層型メタンハイドレートの開発に向けた工程表(海洋エネルギー・鉱物資源開発企画：平成31年2月)

「海洋基本計画」(平成30年5月閣議決定)・「エネルギー基本計画」(平成30年7月閣議決定)

○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。

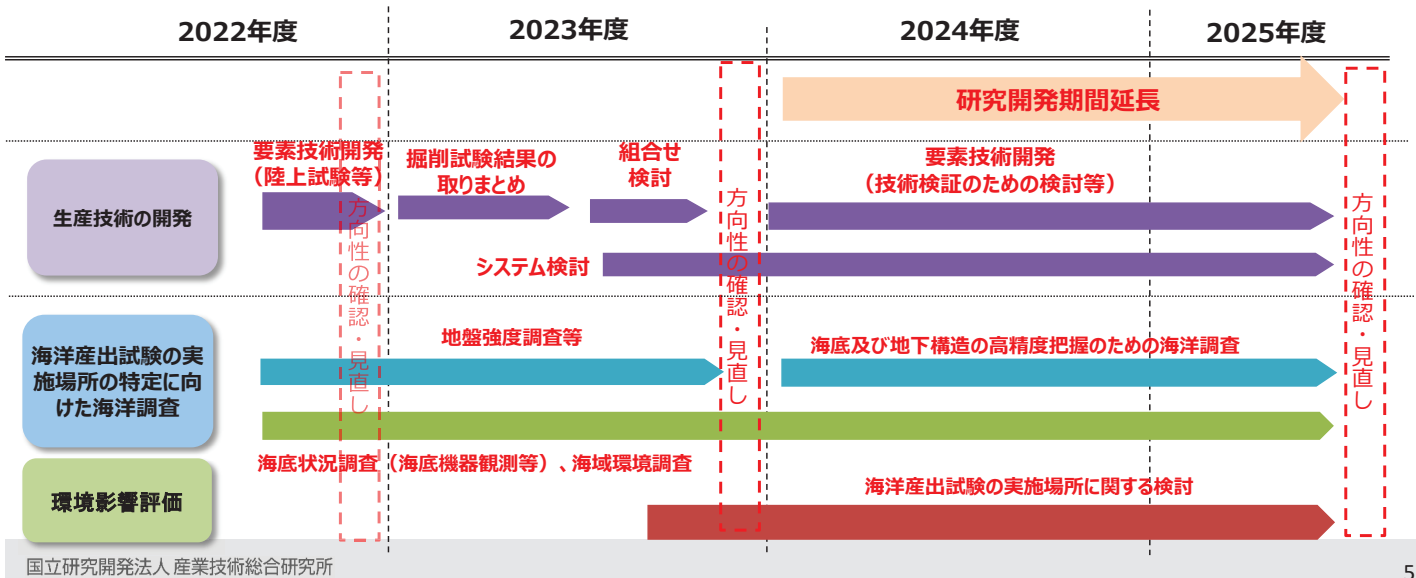
進捗状況を踏まえた本検討会での審議を経て、「2023FY」まで延長

第4期海洋基本計画において、「2030FY」まで延長



実施スケジュールの見直しについて

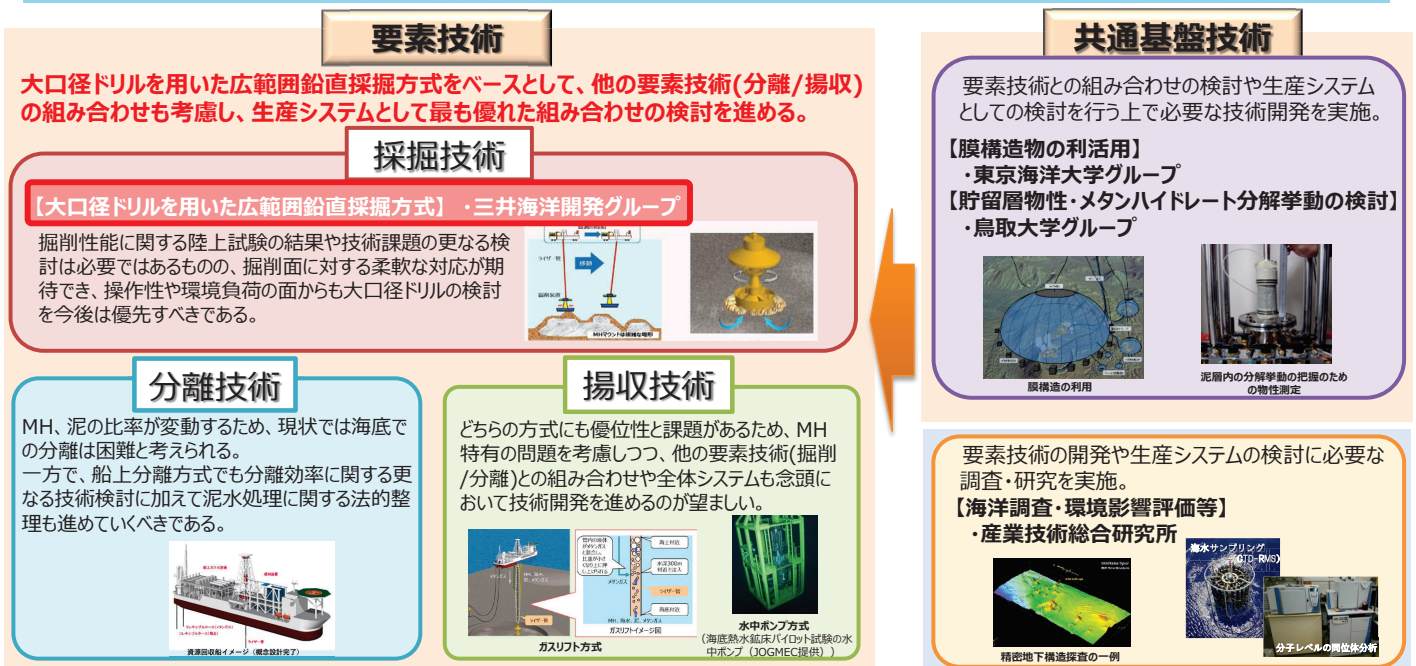
- **生産技術開発**について、**陸上試験結果の取りまとめを2023年度中に実施予定**であり、これら掘削技術に関する知見を基に、今後、分離・揚収など**各要素技術の研究開発を進めるとともに、これらの組み合わせも考慮した生産システムの検討を実施**する必要がある。
- また、**海洋調査・環境影響評価**についても、**試験候補地の絞り込みに必要なデータ取得が十分では無かったことから、今後、検討に必要なデータを取得するとともに、生産技術の進捗も踏まえ、海洋産出試験の実施場所に関する検討を実施**する必要がある。
- そのため、**本研究開発期間を2年間延長し、2025年度末まで**としたい。



生産技術の開発

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に係る「要素技術」（採掘技術・分離技術・揚収技術）の評価を踏まえ、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。



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

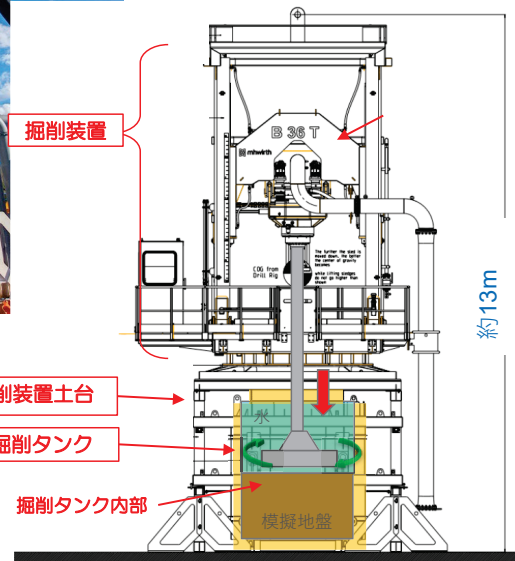
- ✓ 海底下数10mにおける軟泥地盤を想定した模擬地盤にて掘削機能を確認する陸上試験を10月20日に実施。
- ✓ また、**大型氷を用いた掘削性能試験**を2023年2月に実施。



掘削装置外観



掘削試験設備全景



掘削試験に用いる掘削ドリルは、
商業化時における掘削ドリル(Φ7.2m)の
約1/2.7スケール(Φ2.65m)とした

MHWirth

掘削装置 正面図

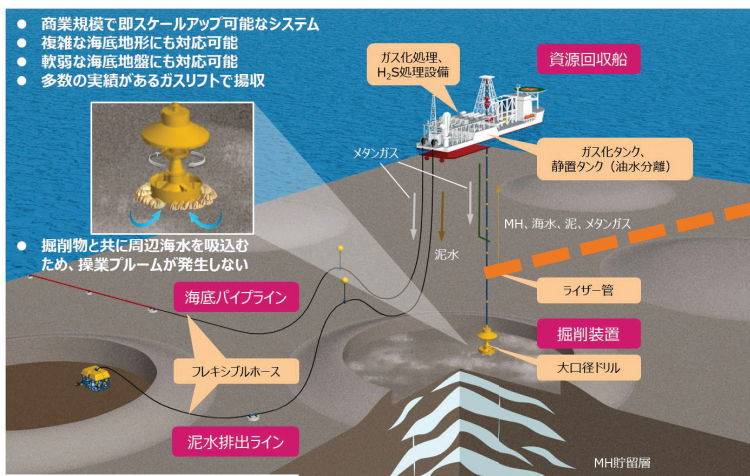
【出典】 表層型MHの研究開発 2022年度研究成果報告会 「広範囲鉛直掘削法による回収技術開発の進捗」一部改変

揚収技術

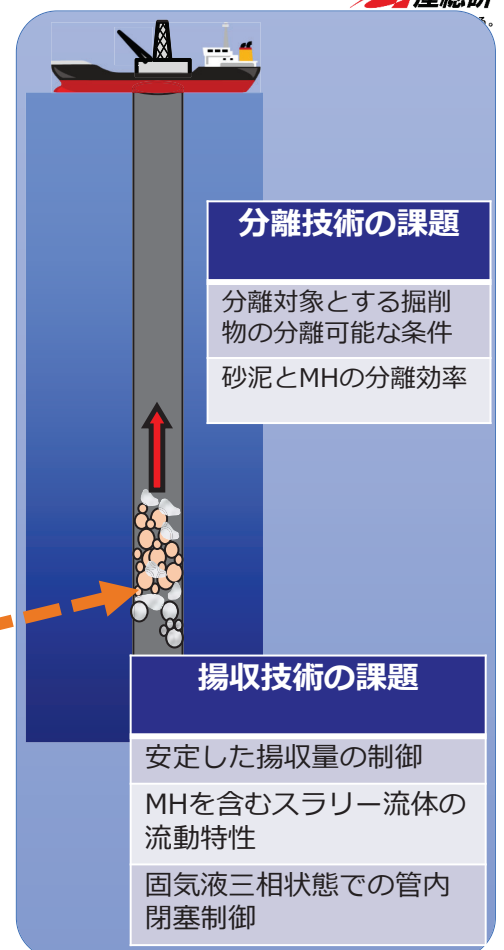
管内での流動障害対策技術の開発が必要



揚収時のMH再生成による閉塞の解消に向けた流動剤開発



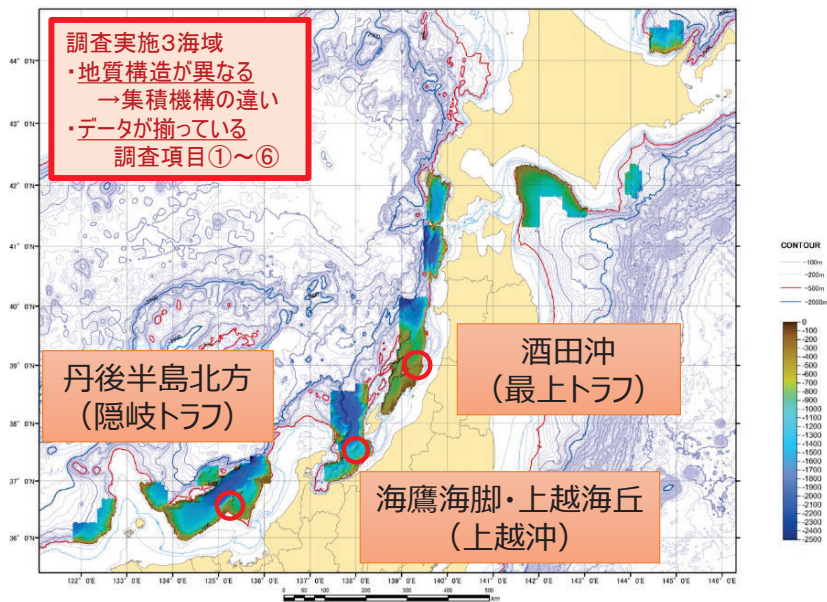
【出典】 表層型メタンハイドレートの研究開発2019年度 一般成果報告会 より 広範囲鉛直掘削法



海洋調査・海域環境調査の実施海域と調査項目

- 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。

海洋調査・海域環境調査の実施海域



海底地形（着色部）は、広域地質調査(2013～2015)実施海域

調査項目（使用船舶別）

- 物理探査<物理探査船>
 - ⑦高分解能三次元地震探査
 - 海底機器観測<ROV>
 - 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<掘削調査船>
 - ⑩地盤強度調査
 - ⑫海底環境調査
 - 海域環境調査<ROV/AUV>
 - ⑪海底画像マッピング
 - ⑫海底環境調査・掘削影響調査
 - 海域環境調査<海洋観測船>
 - ⑬海洋観測
- 番号（丸数字）は次ページの表に対応

※実施時期や調査項目については、地元関係者等と調整した上で実施しています。

海洋調査・海域環境調査の進捗状況

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 (上越沖)	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（2013-2015）	実施済（2013）	実施済（2014）	
②詳細地質調査（特異点周辺の詳細地形・地質構造探査）	実施済（2014）	実施済（2013-2015）	実施済（2014）	
③海洋電磁探査（比抵抗分布の把握）	実施済（2015）	実施済（2014）	実施済（2017）	
④掘削同時検層（坑井の物性測定）	実施済（2015）	実施済（2014, 2015）	実施済（2014）	
⑤掘削地質サンプル採取（ハイドレート及び堆積物採取）	実施済（2015）	実施済（2014, 2015）	2021, 2023	
⑥ROV潜航調査（簡易環境把握調査）	実施済（2015）	実施済（2013-2015）	実施済（2014）	
⑦高分解能三次元地震探査（精密地下構造探査）	2021	実施済（2015）	2019	
⑧熱流量調査（賦存領域下限深度の把握）	-	2022-2023	2020-2021	
⑨海底機器観測（底層流等のモニタリング） <+環境>	-	2022-2023	2020-2021	
⑩地盤強度調査（検層・室内土質試験） <+環境>	-	2022, 2023	2021, 2023	
⑪海域環境調査（A）（海底画像マッピング） <+海底状況>	-	2021, 2022, 2023	2020, 2023	
⑫海域環境調査（B）（海底環境調査+掘削影響調査）	(実施中)	2021, 2022, 2023	2020, 2023	
⑬海域環境調査（C）（海洋観測）	(実施中)	2021, 2022	2020, 2023	

青：昨年度までに実施済 赤：本年度（2023年度）実施 紫：来年度以降の実施検討中

※実施時期や調査項目については、地元関係者等と調整した上で実施しています。

凡例	データ取得（海洋調査） 2018年度まで	データ取得（海洋調査） 2019～2023年度	データ解析（陸上） 2017, 2019～2023年度
		丹後半島北方 (隠岐トラフ)	海鷲海脚・上越海丘 (上越沖) 酒田沖 (最上トラフ)
<精密地下構造の把握>			
②詳細地質調査（特異点周辺の詳細地形・地質構造探査）		2014	2013 2014
③海洋電磁探査（比抵抗分布の把握）		2015	2014 2017
④掘削同時検層（坑井の物	丹後半島北方での高分解能3次元地震探査		14-2015 2014
⑦高分解能三次元地震探査（精密地下構造探査）		2021	2015 2019
⑦'地震探査データ詳細解析（BSR・断層等の抽出・解析）		2022	2019 2020
統合処理・解析（三次元地震探査, 海洋電磁探査, 掘削同時検層）		2022	2017,2020 2020
<地下温度構造の把握>			
⑧熱流量調査（賦存領域下限深度の把握）	昨年度一部報告済	検討中	2010, 2022-2023 2020-2021 昨年度報告済

②詳細地質調査

海底下浅部構造(AUVによる調査)

③海洋電磁探査

三次元比抵抗分布

④掘削同時検層

LWDによる地層性状評価

⑦高分解能三次元地震探査

三次元地下構造

⑧熱流量調査

海底熱流量測定装置(SAHF)

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

<表層型MHの研究開発 2020年度一般成果報告会資料を更新>

地盤強度調査（海底の状況等を把握するための海洋調査）

- 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）を取得するために**海洋調査や海域環境調査**を実施。地盤強度調査はその一環。

大口径ドリルの設計
(出典：MHWirth)

掘削システムの設計

大口径ドリル等による
機械的な掘削を検討

↓

掘削機器の設計のために
MHが含まれる地層の
強度等の情報が必要

理想的な施工

不均質な地層で起こりうる
法面崩壊と埋設（掘進障害）

MHを安定に回収するため
には、掘削坑の壁面や法面
の安定性についての検討が必要

↓

不均質な地層の地盤強度
についての情報が必要

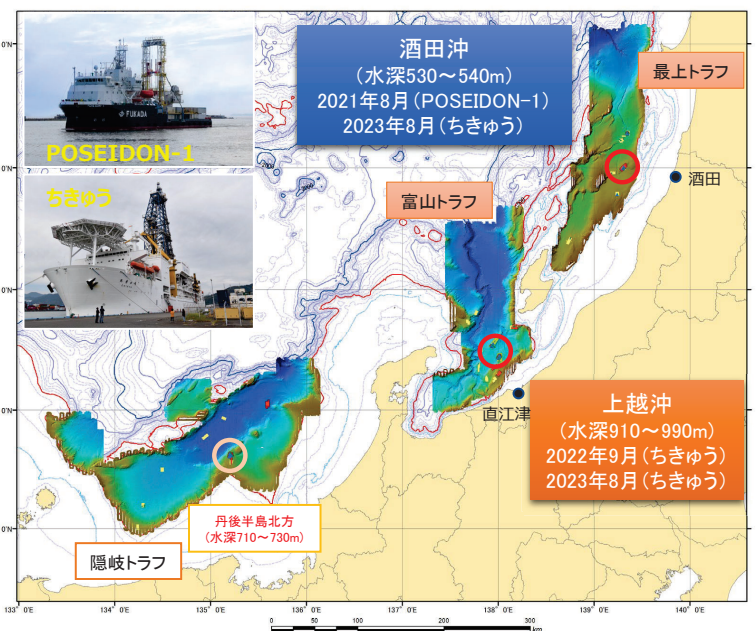
■ 地盤強度調査の目的

表層型MH胚胎地域における、海底面からBGHS（MH安定領域下限深度）付近までの**表層型MH貯留層を構成する地層（堆積層）の地盤強度の把握**

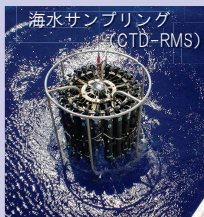
■ 調査項目

- ・ **現位置試験（CPT：コーン貫入試験）**：酒田沖のみ
- ・ **室内土質試験（地質試料採取）**
- ・ **ワイヤライン（WL）検層**：酒田沖はPS検層のみから**地盤強度情報を取得**

⑩地盤強度調査→ 酒田沖・上越沖での掘削調査



【海域環境調査】



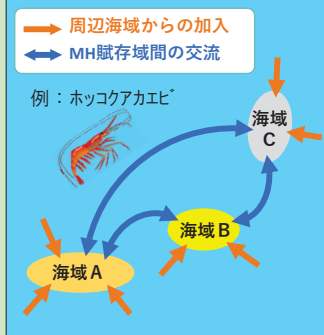
実験・解析用の試料・パラメータの取得
実験データに基づく観測手法の高度化

【環境影響評価手法の検討】

○表層型メタンハイドレート賦存海域の特性解明

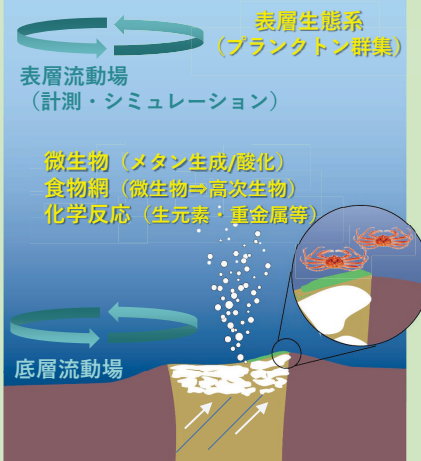
生物学的特性の把握

- 特異性/多様性/コネクティビティ等

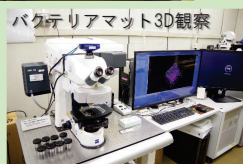


物質循環 (物理/化学/生態学) 特性の把握

- 海底の攪乱状況、高濁度水/生産水の挙動予測
- 重要な物質循環プロセス・パラメータの抽出



疑似現場試験



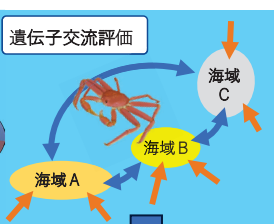
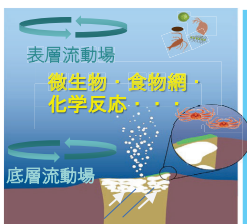
- 表層メタンハイドレート賦存海域における環境パラメータ調査
- 環境ベースライン観測及び環境モニタリング手法の高度化・最適化

【出典】第34回メタンハイドレート開発実施検討会資料 https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methane_hydrate/pdf/034_06_00.pdf
国立研究開発法人 産業技術総合研究所

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。

表層型メタンハイドレート開発における環境影響評価手法及び関連する法的事項



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

表層型メタンハイドレート賦存海域における深海性ヨコエビの捕獲、飼育および生物影響評価実験

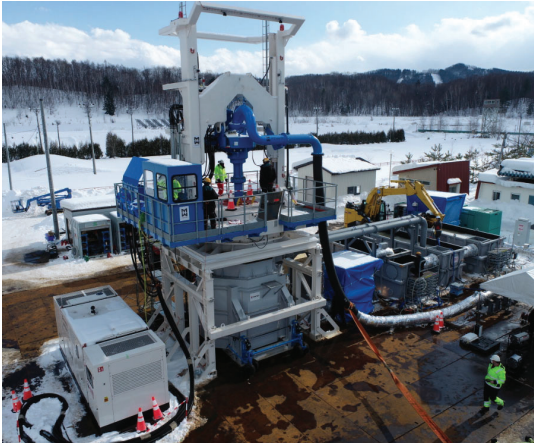
大型水槽を用いた疑似現場実験による生物試験

表層型メタンハイドレート開発に係る環境影響予測モデルの開発

時間	講演タイトル	講演者
13:05~13:15	開催準備・事務連絡等	
13:15~13:20	ご挨拶	経済産業省 資源エネルギー庁 資源開発課 井上 加代子
13:20~13:35	表層型メタンハイドレートの研究開発 -2023年度を取組-	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
13:35~14:30	【生産技術の研究開発】 広範囲鉛直掘削法による回収技術開発-掘削性能試験結果-	三井海洋開発(株)事業開発部 岩本駿介
進行:鈴木(清)	揚収時のMH再生成による閉塞の解消に向けた流動剤開発	産業技術総合研究所 エネルギープロセス研究部門 室町実大
14:30~15:20	【海洋調査】 表層型メタンハイドレート賦存域の精密地下構造探査-丹後半島北方での高分解能3次元地震探査-	産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 児玉匡史
進行:佐藤	資源開発に向けた表層型メタンハイドレート賦存域の地盤強度調査-酒田沖・上越沖での掘削調査-	産業技術総合研究所 エネルギープロセス研究部門 鈴木清史 地圏資源環境研究部門 佐藤幹夫
15:20~15:40	休憩	
15:40~17:10	【環境影響評価】 表層型メタンハイドレート開発における環境影響評価手法及び関連する法的事項	日本エヌ・ユー・エス(株) 伊藤博和
進行:鈴木(淳)	大型水槽を用いた疑似現場実験による生物試験	(公財)海洋生物環境研究所実証試験場 林 正裕
	表層型メタンハイドレート賦存海域における深海性ヨコエビの捕獲、飼育および生物影響評価実験	(公財)海洋生物環境研究所中央研究所 石田 洋
	表層型メタンハイドレート開発に係る環境影響予測モデルの開発	(株)サイエンスアンドテクノロジー 林 正能
17:10	閉会	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

表層型MHの研究開発 2023年度研究成果報告会

広範囲鉛直掘削法による回収技術開発 －掘削性能試験結果－



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

令和6年2月29日

本研究は、経済産業省「国内石油天然ガス地質調査・メタンハイドレート研究開発等事業（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。

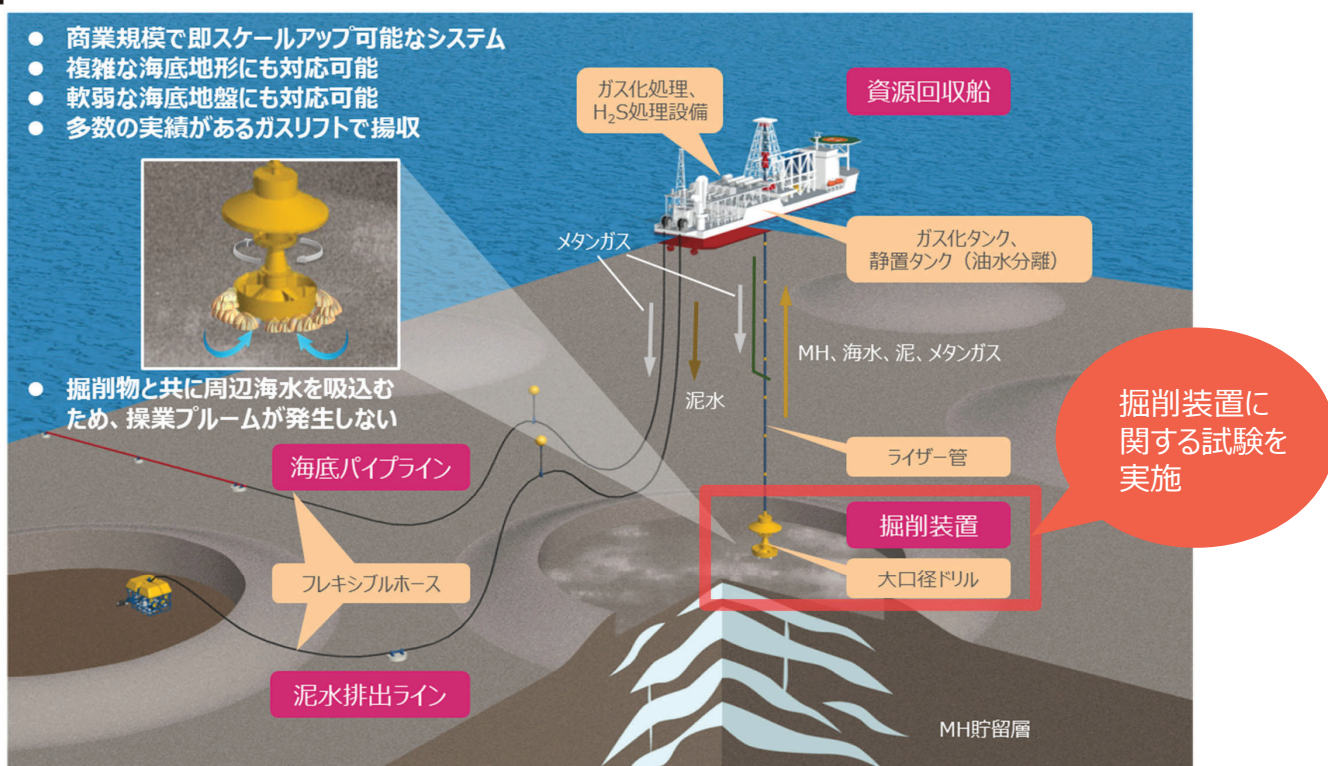
発表の流れ

1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
2. 試験設備概要
3. 模擬地盤掘削試験
4. 大型氷掘削試験
5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討
(現時点までのご報告)

1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
2. 試験設備概要
3. 模擬地盤掘削試験
4. 大型氷掘削試験
5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討
(現時点までのご報告)

3

1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
— 商業時の施設全体像と本講演の対象設備 —



広範囲鉛直掘削法

4

掘削試験で確認すべき事項（試験の位置づけ）

表層型MHを対象とした掘削技術を考えるために、表層型MHの開発対象域に適用可能な掘削能力を有する技術であるかどうかを確認する

2022年
10月

模擬地盤掘削試験による実証試験（デモンストレーション）

小さな粒状MHを含む軟泥地盤を想定した模擬地盤において、掘削ドリルが粒状MHを模擬した個体を上手くとらえて回収できることを確認

2023年
1月～2月

大型氷掘削試験による実験データの取得

100%MHの地盤を想定した大型氷にて、有望な掘削刃3種類を用いて掘削を行い、掘削能力を定量的に示すためのデータを取得（例：ドリル回転数、ドリル設置圧、掘進速度等）

2023年
3月～

実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討

取得した実験データを基に、商業段階における実機サイズの掘削能力推定、表層型MH用掘削装置の設計方針の検討を実施

5

1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
2. 試験設備概要
3. 模擬地盤掘削試験
4. 大型氷掘削試験
5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討
（現時点までのご報告）

2. 試験設備概要：試験場所

北見工業大学 オホーツク地域創生研究パーク (北海道 北見市)

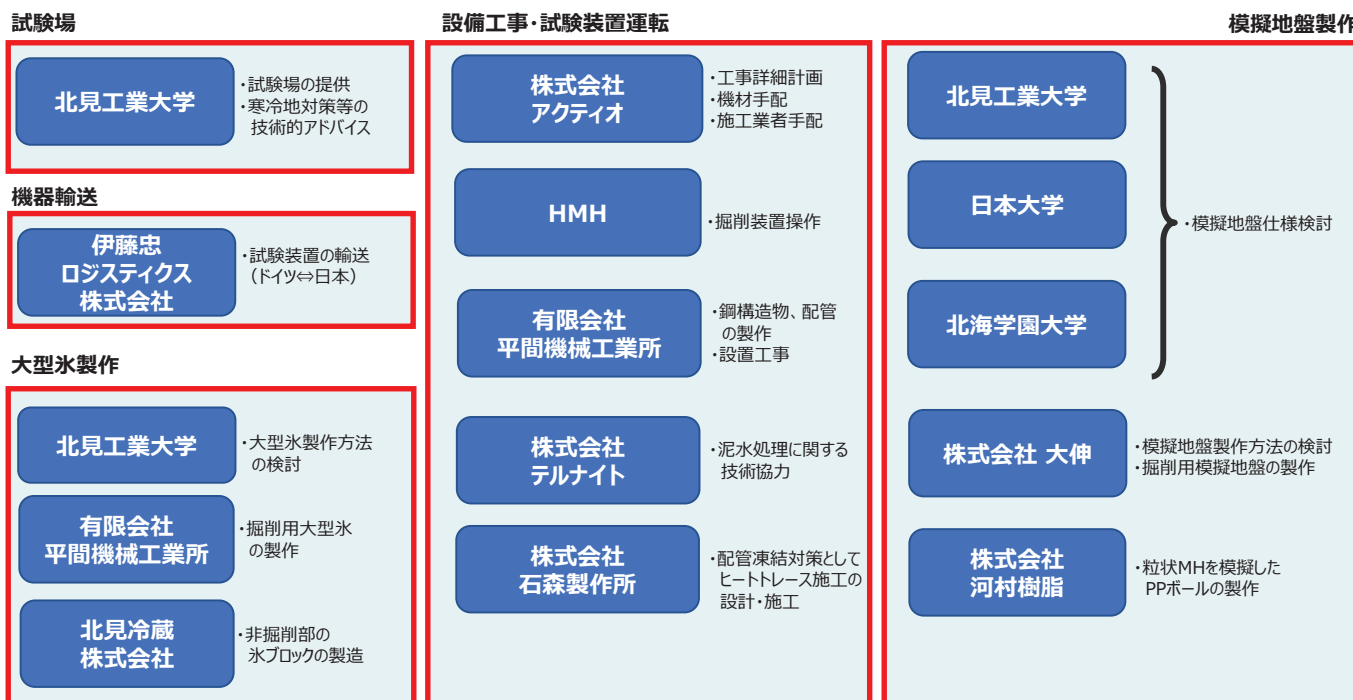


(写真：北見工業大学 提供)

大型実験設備の設置が可能
冬季には外気温を利用した大型氷の製作が可能

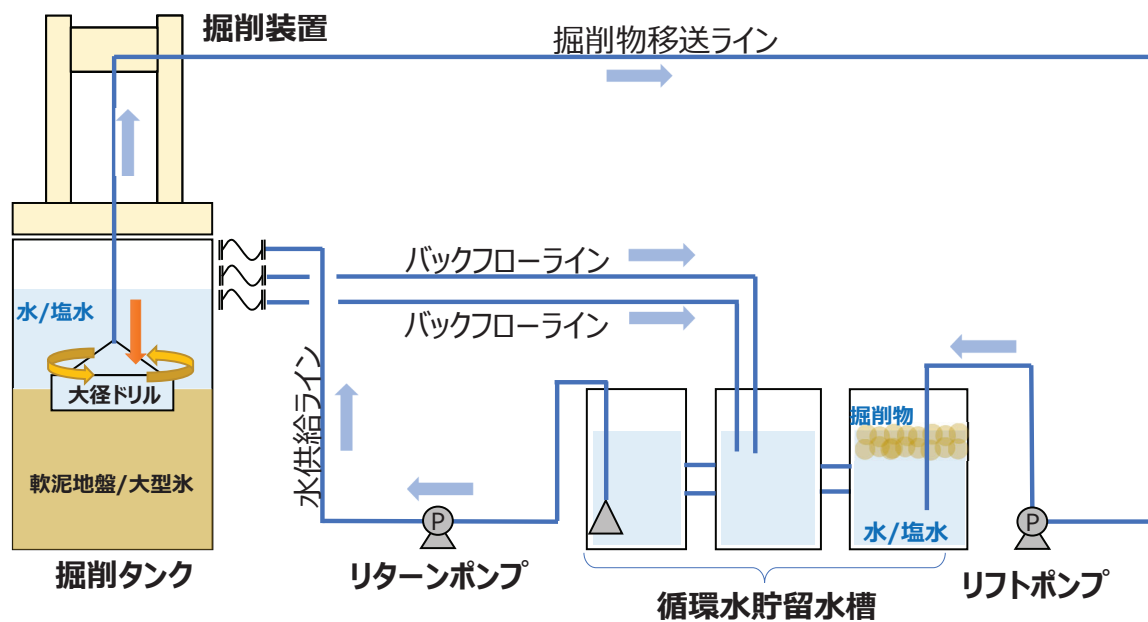
2. 試験設備概要：掘削試験の実施体制

※本プロジェクトは国立研究開発法人 産業技術総合研究所殿の委託により実施しております



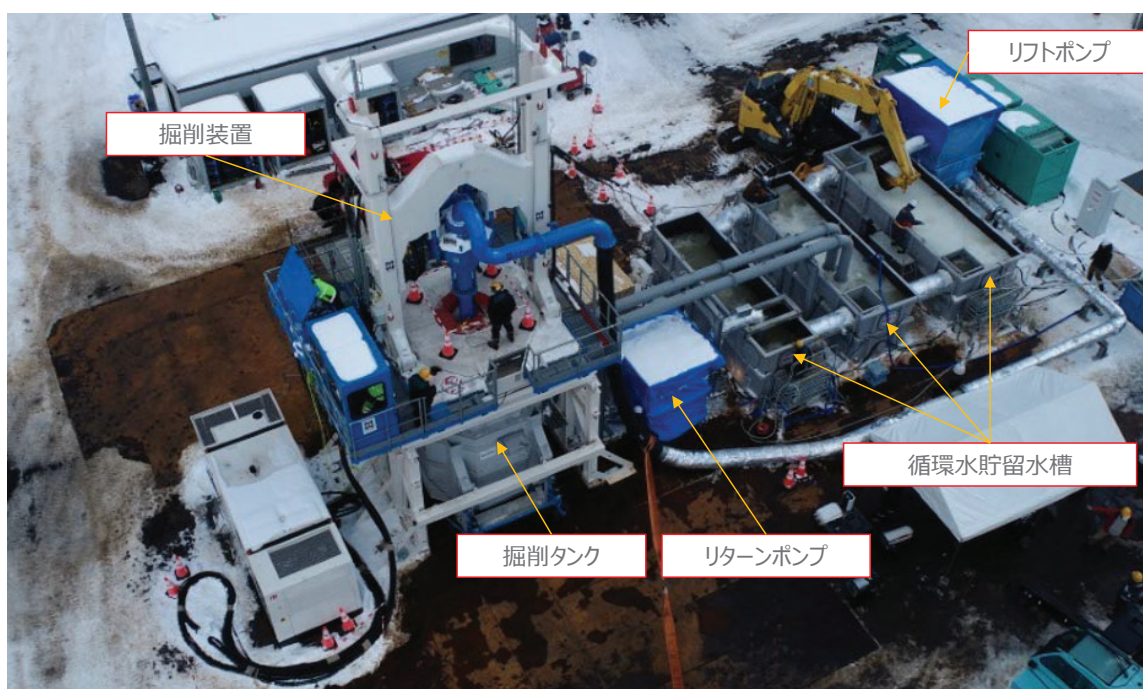
2. 試験設備概要：試験の全体装置図

掘削タンク内に、海底地盤を模擬した人工地盤を作成し、掘削を実施



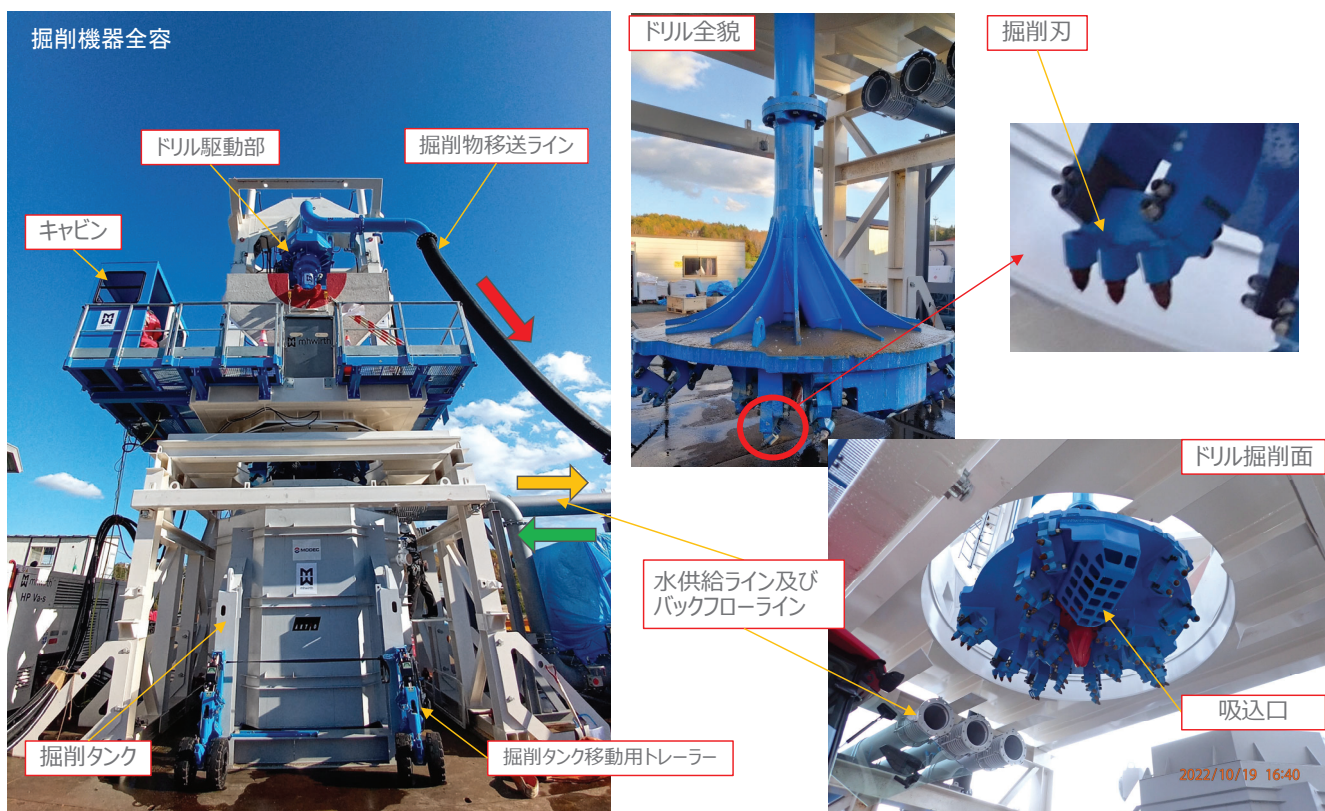
9

2. 試験設備概要：掘削装置全容（機器配置）



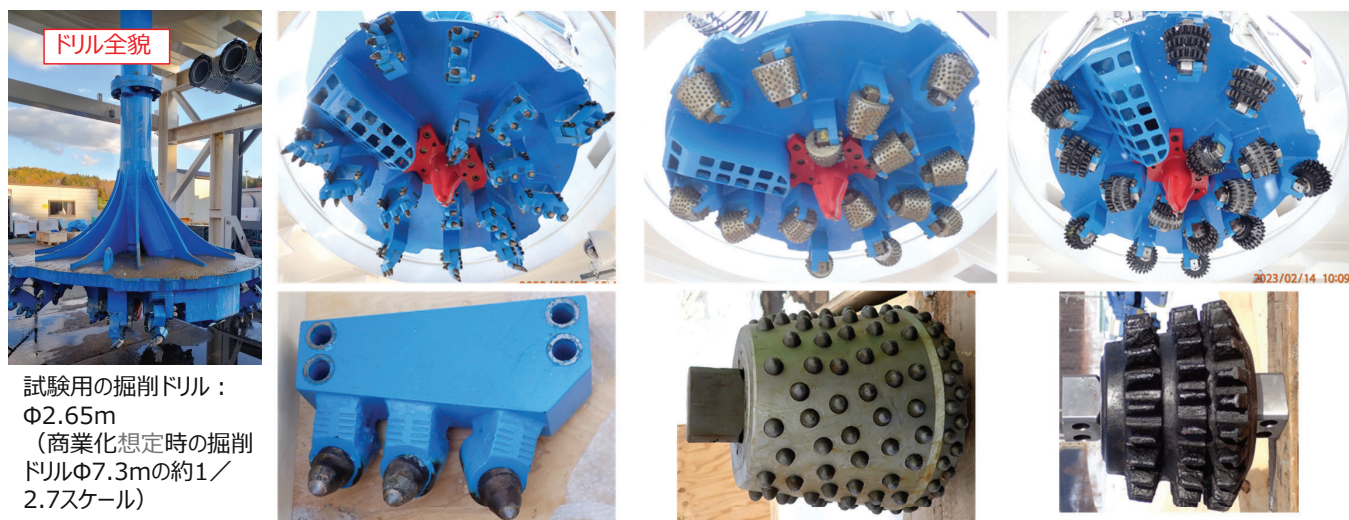
(写真：北見工業大学 提供)

2. 試験設備概要：掘削装置全容（掘削装置、掘削タンク）



2. 試験設備概要：試験に用いた掘削刃

3種類の掘削刃の違いによる掘削性能の差異の把握を目指した



試験用の掘削ドリル：
Φ2.65m
(商業化想定時の掘削
ドリルΦ7.3mの約1/
2.7スケール)

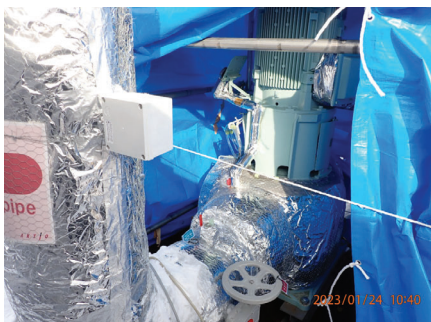
ラウンドシャンクスクレーパ
& リッパ

ボタンカッタ

ツースカッタ

2. 試験設備概要：凍結対策（大型氷掘削試験のみ）

配管を常時加温



人力で氷を除去



塩水に変更



水槽内を攪拌



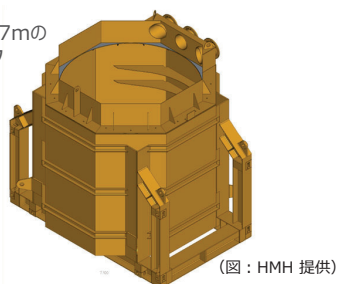
13

1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
2. 試験設備概要
3. **模擬地盤掘削試験**
4. 大型氷掘削試験
5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討
(現時点までのご報告)

3. 模擬地盤掘削試験：概要①

項目	
目的	<ul style="list-style-type: none"> 軟泥中に散在する粒状型MHを掘削ドリルが上手くとらえて回収できることを確認 <p>性能データ取得ではなく、機能確認試験として実施</p>
時期	<ul style="list-style-type: none"> 試験実施日：2022年10月20日 <p>現場工事等 準備/片付け期間 2022年9月20日～11月8日</p>
場所	<ul style="list-style-type: none"> オホーツク地域創生研究パーク (北海道北見市北見市若松306)
掘削対象	<ul style="list-style-type: none"> 20%MHを想定した、粒状MHを含んだ海底下数十mにおける軟泥地盤を想定した地盤 ⇒同地盤と同じ強度をもった地盤を模擬すべく、粒状MHを想定したPPボールを混合した流動化処理土を掘削タンク内に作成

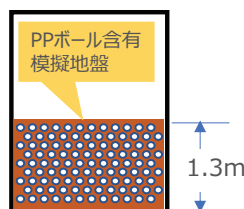
対辺3.2m,高3.7mの八角柱形状タンク



掘削タンク外景

(図：HMH 提供)

80vol%:流動化処理土
20vol%:Φ10mmPPボール



掘削タンク断面

1.3m




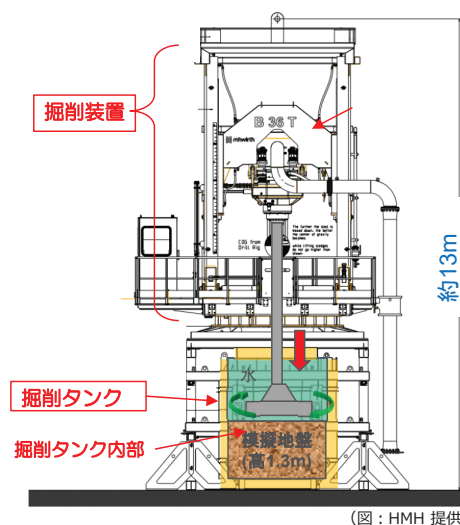
Φ10mm PPボール

15

3. 模擬地盤掘削試験：概要②

試験条件・計測項目

ドリル径	Φ2.65m
掘削刃種類	ラウンドシャンクビット&リップ 
ドリル回転数	約6.0 rpm
管内流速	約2.5~3.0m/s (事前水循環試験結果に基づき設定)
ドリル掘進速度	低速：0.1m/h⇒2.2m/h 高速：5m/h
計測項目	管内流速、ドリル回転数、ドリル設置圧、ドリル掘進速度、ドリル掘削トルク etc.



掘削深さが約1mに到達した時点で終了

3. 模擬地盤掘削試験：掘削試験結果



掘削後の24m³水槽

掘削ドリルで、粒状MH(PPボール)を回収できることを確認した

ドリル回転形状に沿ってきれいに模擬地盤が掘削されている



掘削ドリルで上手く掘削できた 17

1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
2. 試験設備概要
3. 模擬地盤掘削試験
4. 大型氷掘削試験
5. 実験データのまとめ、最適な掘削装置の検討
(現時点までのご報告)

4. 大型氷掘削試験：概要

項目	
目的	掘削能力を定量的に示すためのデータを取得
時期	<ul style="list-style-type: none"> 大型氷製作：2022年12月5日～2023年2月6日 掘削試験実施日：2023年1月31日～2月13日
場所	オホーツク地域創生研究パーク（模擬地盤掘削試験と同じ）
掘削対象	<ul style="list-style-type: none"> 100%MHを想定した地盤 ⇒模擬地盤掘削試験時と同形状の掘削タンク内に高さ1.3mの大型氷を製作（計4個）



これまでの研究結果に基づき、外気温を利用して、市販氷・水から天然MHと同程度の強度を持つ大型氷を製作

19

4. 大型氷掘削試験：試験条件・計測項目






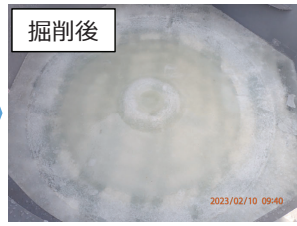

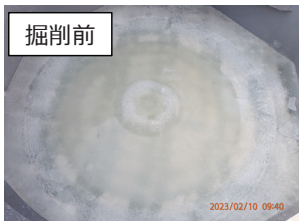
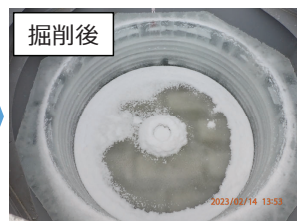
3種類の掘削刃を用いて、模擬MHとなる大型氷を掘削し、実験データを取得する

掘削刃種類	ラウンドシャンクスレーパ&リッパ			ツースカッタ			ボタンカッタ
	ソフトな地盤に対応			ソフトな地盤、ハードな地盤に対応			ハードな地盤に対応
	0MPa			地盤強度（一軸圧縮強さ）			400MPa
RUN	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st
ドリル回転数	7.1±0.2rpm	10.0±0.2rpm	13.7±0.4rpm	14.4±0.2rpm	11.7±0.0rpm	16.0±0.0rpm	14.2±0.2rpm
ドリル掘進速度	1.25~6.50m/h	5.50~7.50m/h	7.00~15.00m/h	4.00~13.00m/h	10.00m/h	10.00m/h	4.00m/h, 8.00m/h
揚収管内流速	2.50±0.39 m/s			2.50±0.06 m/s			2.50±0.08m/s
計測値	設定したドリル掘進速度（ROP）にて掘削 ドリル掘削トルク、ドリル設置圧、ドリル回転数 ドリル掘削位置、ドリル掘進速度 など、各データを取得			実機サイズにおける掘削能力の推定、最適な掘削カッターの検証を実施			

20

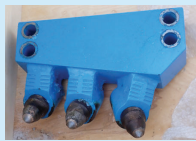


4. 大型氷掘削試験：掘削試験前後の掘削タンク内の様子

模擬MHである大型氷の掘削ができたことを確認した。

<p>ラウンドシャックスレーバ & リッパ</p> 	<p>掘削前</p> 	<p>掘削後</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 円筒状の掘削面 掘削可能範囲限界まで掘削実施
<p>ボタンカッタ</p> 	<p>掘削前</p> 	<p>掘削後</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削ドリルの掘進速度を上げたところ、途中で負荷が運転の上限値を超えた為、掘削中断
<p>ツースカッタ</p> 	<p>掘削前</p> 	<p>掘削後</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 円筒状の掘削面 掘削可能範囲限界まで掘削実施

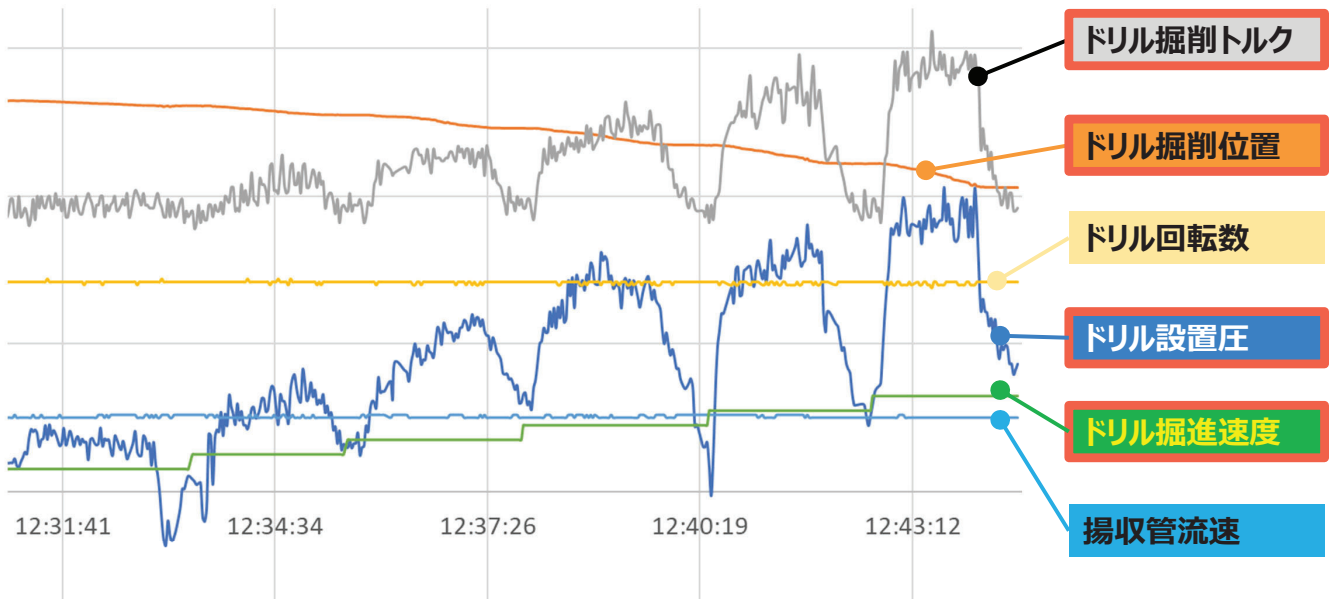
4. 大型氷掘削試験：掘削物の比較

掘削刃により掘削物の形状に違いあり

<p>ラウンドシャックスレーバ & リッパ</p> 		<p>数cmサイズの氷塊</p>
<p>ボタンカッタ</p> 		<p>シャーベット状の氷</p>
<p>ツースカッタ</p> 		<p>約1cmサイズの氷塊</p>

4. 大型氷掘削試験：掘削試験による取得データ(生データ)例

掘削能力を評価するうえで必要なデータを取得できた

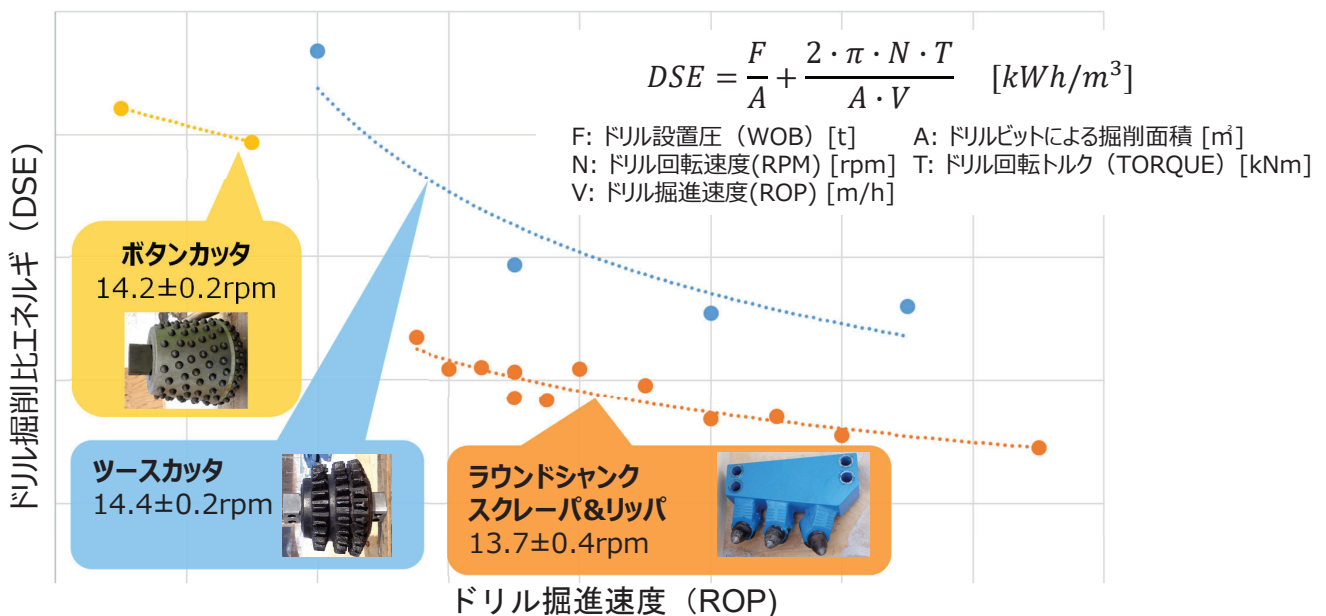


<取得データ例> ラウンドシャンクスクレーパ&リップによる掘削



4. 大型氷掘削試験：各掘削刃のドリル掘削比エネルギー(DSE)の比較

ボタンカットに比べて、ツースカットとラウンドシャンクスクレーパ&リップのドリル掘削比エネルギー (DSE) が小さい結果となった。



100%MH地盤掘削では、ツースカットやラウンドシャンクスクレーパ&リップが適していることが分かった。

4. 大型氷掘削試験：ドリル掘進速度の影響

ドリル掘進速度の増加とともに、掘削タンク内に残った掘削物の量が増加した。

掘削タンク (ドリル掘進速度)	1 st Drilling Tank (ROP=1.25 to 6.5m/h)	2 nd Drilling Tank (ROP=5.5 to 7.5m/h)	3 rd Drilling Tank (ROP=10 to 15m/h)
ドリルビット上面に残った掘削装置によって回収されなかった氷塊	 (写真：HMH 提供)	 (写真：HMH 提供)	 (写真：HMH 提供)

【今後の開発課題】

本試験に用いた掘削ドリルは、シンプルな構造の試作機であった。
商業段階を踏まえた回収率を高めるための更なる改良が必要である。

25

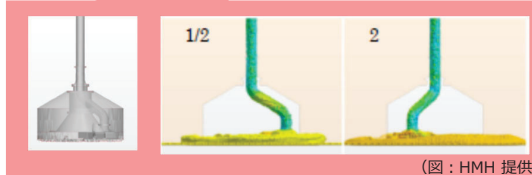
1. 表層型MH回収・生産技術に係る採掘技術の進捗・計画
2. 試験設備概要
3. 模擬地盤掘削試験
4. 大型氷掘削試験
5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討
(現時点までのご報告)

26

5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討 (現時点までのご報告) : 掘削能力の推定

- ラウンドシャンクスクレーパ&リップ、及び、ツースカッタは、実機レベルで想定されるドリル掘進速度に対応可能な掘削刃であることが分かった。
- 商業段階における実機サイズの掘削能力を推定したところ、**現在想定している掘削量を達成**できることが分かった。

実機スケール掘削条件	【参考】R4年度報告：土粒子拡散対策のCFD検証	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
ドリルビット径	Φ7.12m	Φ7.12m			Φ10.3m		
想定最大ドリル回転速度	2.65rpm	5.2rpm			3.0rpm		
想定ドリル掘進速度	3.0m/h	6.0m/h	8.0m/h	12.0m/h	3.0m/h	4.0m/h	6.0m/h
1日当たりの掘削時間	100% (24時間)	100% (24時間)	75% (18時間)	50% (12時間)	100% (24時間)	75% (18時間)	50% (12時間)
地盤掘削量	3,000m ³ /day (Φ4μm Silty Clay 100%地盤)	6,000m ³ /day (表層MH100%地盤)			6,000m ³ /day (表層MH100%地盤)		



(図：HMH 提供)

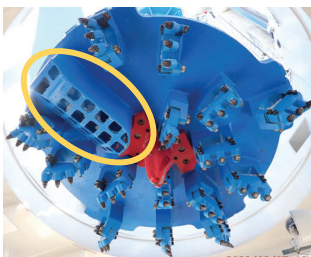
掘削試験結果により、土粒子拡散対策CFD検証で設定した掘削量に対して、2倍の掘削性能を持つことが分かった。

27

5. 実験データのまとめ、掘削装置の設計方針の検討 (現時点までのご報告) : 今後の改善点

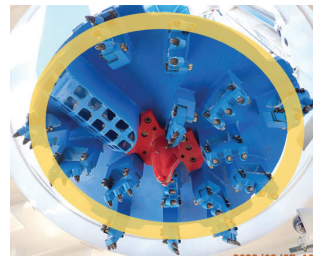
本掘削試験で、実機で想定される掘進速度が明らかになった。
掘進速度が大きくなることによる掘削物の回収性能の向上が必須である。

① 吸込口形状の改良



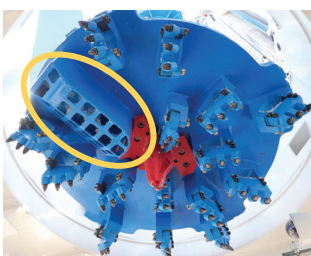
内容
・ 吸込みやすい形に変更

③ 掘削ドリル形状の改良



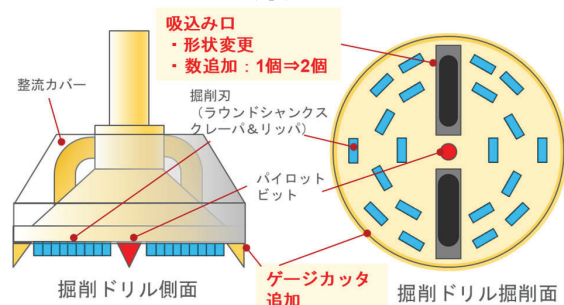
方法
・ 外周部に掘削物が出て行きにくい構造物を追加

② 吸込口数の増加



内容
・ 2個、3個に変更

改良案イメージ



28

ありがとうございました

2023/02/06

ロッキングセルを用いた メタンハイドレート流動剤の開発

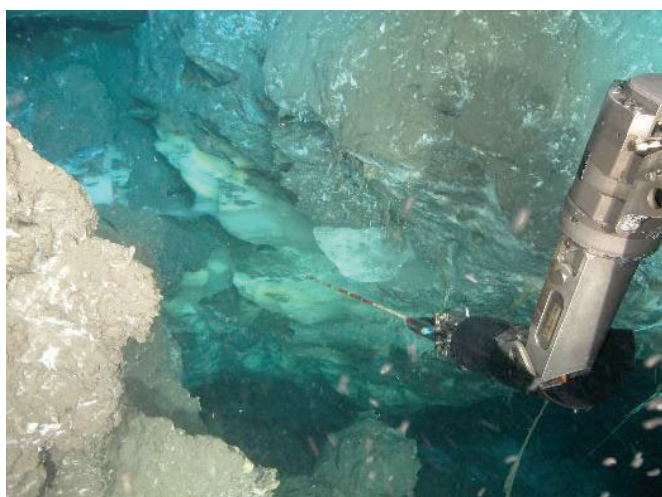
室町実大*, 村岡道弘, 竹谷敏, 鈴木清史, 天満則夫

エネルギープロセス研究部門
産業技術総合研究所

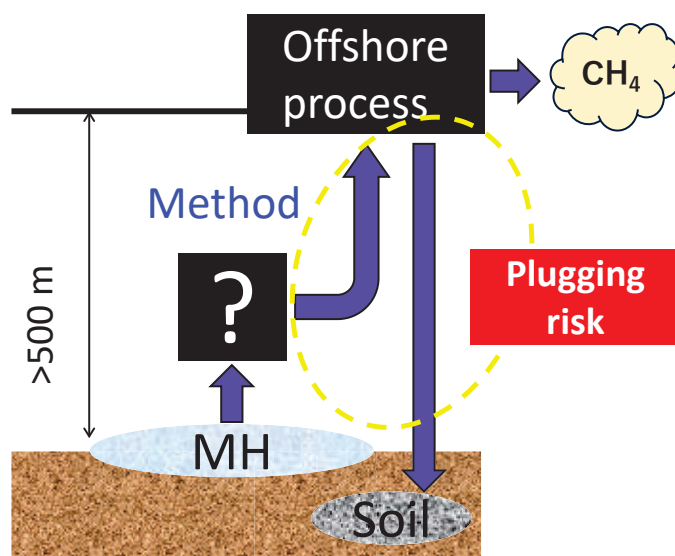
1

海底メタンハイドレート

非在来型天然ガス
2種類のMH: 表層型および砂層型
表層型MHからのガス生産プロセスを開発中



表層型 [1]

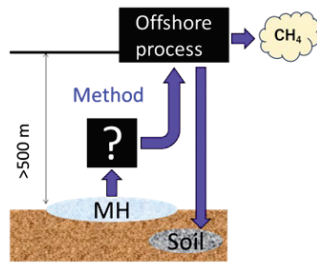


ガス生産手法のコンセプト

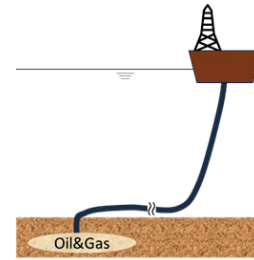
[1] <https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/>;
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methane_hydrate/pdf/039_05_00.pdf

新たな流動障害対策技術を開発する必要がある

Subsea MH



Oil & gas pipeline



Pressure	5–13 MPa	~20 MPa [1]
Temperature	>274 K	>283 K [1]
Flow distance	1–2 km	>70 km [1]
System	Open	Closed
Components	Water, methane	Oil, natural gas
Contaminants	Sediment, sand	Water, wax, scale

[1] D. Sloan, C. Koh, A.K. Sum, A.L. Ballard, J. Creek, M. Eaton (Eds.), Natural Gas Hydrates in Flow Assurance, Gulf Professional Publishing, Boston (2011)

3

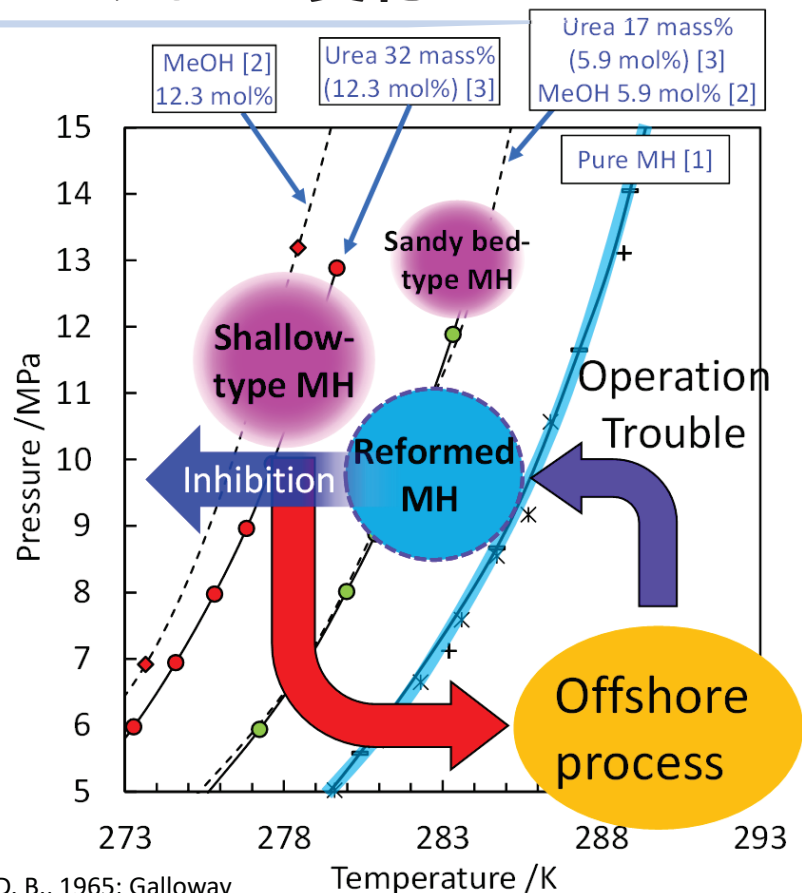
ガス生産プロセスにおけるP-T変化

陸上プロセス:

- MHは分解
- 堆積物を分離

運転エラーによる
MH再生成のリスク

尿素: 環境適合型THI [3]
MeOHに比肩する
阻害効果



[1] Adisasmito S., et al., 1991; Jhaveri, J. Robinson D. B., 1965; Galloway T.J., et al., 1970; Yasuda K., Ohmura R., 2008. [2] Haghighi H., 2009. [3] Muromachi S., et al., 2015&2023.

4

流動剤によるMH流動化技術の開発

多連式ロッキングセル装置：

- 一挙に5個のパラメータ
- THI/KHI/界面活性剤
- クレイ/シルト/サンド

界面活性剤とKHIを加えた尿素ベースの流動剤
土質成分であるMCクレイを混在

5

Procedures & Materials

1. セル内でMHを生成
2. 流動剤1 gを各セルに注入
3. 定常化（約 15 分～2時間）
4. MHがなくなるまで
2と3を繰り返す

Material	Supplier	Purity
Methane	Tokyo Gas Chemical	>99.9999 mol%
Water	Deionized water filtrated by activated carbon and sterilized by UV lamp	>18.2 MΩ
Urea	Junsei Chemical	≥0.99 mass%
SDS	FUJIFILM Wako Pure Chemical	≥0.99 mass%
PVP	Junsei Chemical	—

Case-1: SDS

迅速な分解
MHが移動

Case-2: PVP

遅い分解
MHの移動なし

Case-3: SDS+PVP

迅速な分解
MHの移動なし

No. of injection injected amount Elapsed time after last injection	Case-1: SDS					No. of injection injected amount Elapsed time after last injection	Case-2: PVP					No. of injection injected amount Elapsed time after last injection	Case-3: SDS+PVP				
	No.1 Urea: 30 % SDS: 0ppm	No.2 Urea: 30 % SDS: 57ppm	No.3 Urea: 30 % SDS: 486ppm	No.4 Urea: 30 % SDS: 1084ppm	No.5 Urea: 30 % SDS: 5200ppm		No.1 Urea: 30 % PVP: 0 %	No.2 Urea: 30 % PVP: 1 %	No.3 Urea: 30 % PVP: 2 %	No.4 Urea: 30 % PVP: 5 %	No.5 Urea: 30 % PVP: 9 %		No.1 Urea: 30% SDS: 1016ppm PVP: 0%	No.2 Urea: 30% SDS: 1016ppm PVP: 1%	No.3 Urea: 30% SDS: 1016ppm PVP: 2%	No.4 Urea: 30% SDS: 1016ppm PVP: 3%	No.5 Urea: 30% SDS: 1016ppm PVP: 10%
Before MH formation	[Images]					Before MH formation	[Images]					Before MH formation	[Images]				
0 ^h 0g 0m	[Images]					0 ^h 0g 0m	[Images]					0 ^h 1g 38m	[Images]				
1 ^h 1g 26m	[Images]					1 ^h 1g 38m	[Images]					1 ^h 1g 38m	[Images]				
2 ^h 2g 34m	[Images]					2 ^h 2g 37m	[Images]					2 ^h 2g 40m	[Images]				
3 ^h 3g 35m	[Images]					3 ^h 2g 2h29m	[Images]					3 ^h 3g 50m	[Images]				
4 ^h 4g 31m	[Images]					4 ^h 4g 50m	[Images]					4 ^h 4g 1h37m	[Images]				
5 ^h 5g 1h30m	[Images]					5 ^h 5g 40m	[Images]					5 ^h 5g 1h22m	[Images]				
6 ^h 6g 45m	[Images]					6 ^h 6g 36m	[Images]					6 ^h 6g 54m	[Images]				
7 ^h 7g 36m	[Images]					7 ^h 7g 42m	[Images]					7 ^h 7g 2h51m	[Images]				
8 ^h 8g 4h02m	[Images]					8 ^h 8g 1h01m	[Images]						[Images]				

7

まとめ

多連式ロッキングセルにより流動剤の配合を検討

界面活性剤: SDS

- MHの分解を促進
- 500 ppm 以上でMHの再生成、移動を引き起こす

KHI: PVP

- 10 mass%ではMHの分解を遅延
- 泡やハイドロゲルを生成

混合効果: SDS + PVP

- MHの移動を抑制しつつMHの分解を促進する配合が存在
- 流動剤成分には適当な組み合わせと配合がある

Acknowledgment

本研究は、経済産業省のメタンハイドレート
研究開発事業の一部として実施した。

8

表層型メタンハイドレート賦存域の 精密地下構造探査 —丹後半島北方海域での高分解能3次元地震探査—

児玉匡史*・横田俊之*・山口和雄*・棚橋学*・浅田美穂*

本研究は、経済産業省のメタンハイドレート研究開発事業の一部として実施いたしました。
関係各位に対し、謝意を表します。

*産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門

目次

1. はじめに
2. データ取得
3. データ処理
4. データ解析
5. おわりに

調査目的

表層型メタンハイドレート(MH)の海洋産出試験の
実施場所の特定のために、海底下のMHの賦存状況、
地下構造に関する基礎情報が必要



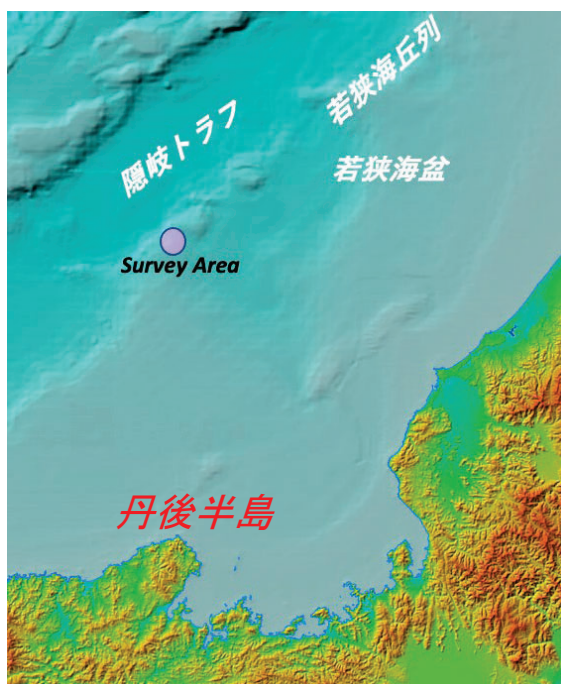
海底面下約200m～300mまでの精密地下構造把握を目的として、
丹後半島北方海域で高分解能3次元反射法地震探査(HR3D)を
実施

HR3D実施中の様子



調査エリア

丹後半島北方海域



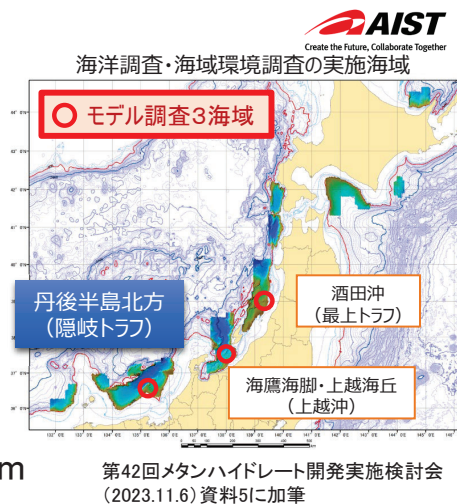
地質図Navi(地理院地図)に加筆

離岸距離
約 90 km
調査海域水深
約 700 ～1,400 m

酒田沖、上越沖と並ぶ
海洋産出試験の実施に向けた
モデル調査海域の一つ

過去の調査

- 海洋電磁探査(CSEM)
- 掘削同時検層(LWD)
- 掘削コア試料採取
- ROVを用いた潜航調査
- AUVを用いた音響探査(地形・地質)

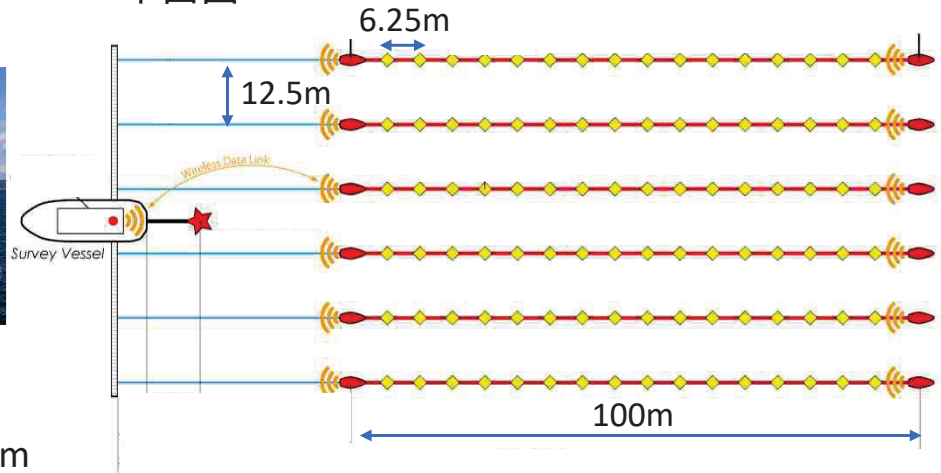


2. データ取得 調査手法



調査船「かいり」
総トン数 1,951トン
船体 63m × 14m × 6.6m

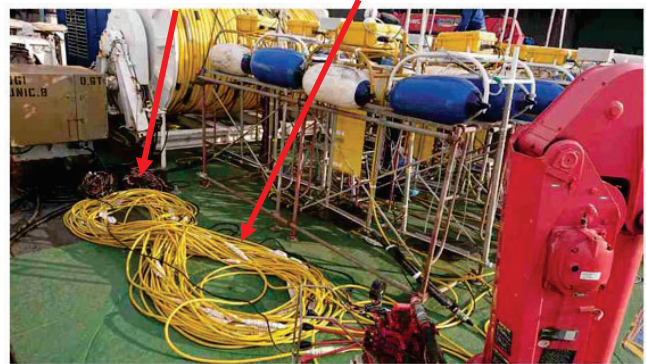
平面図



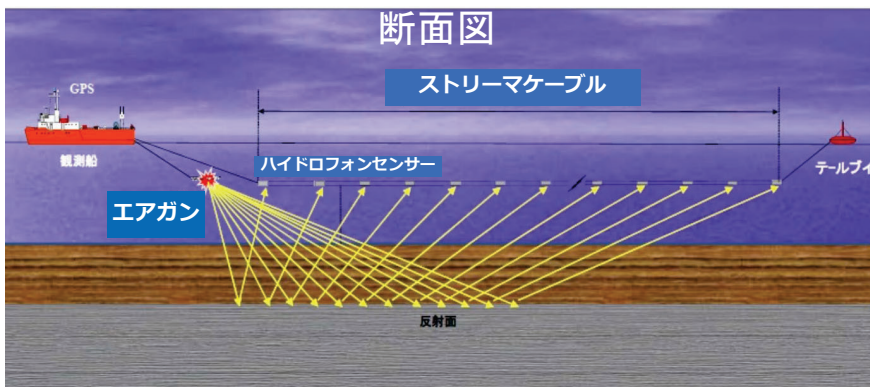
★GIガン(150cu.in.) 震源フロート



ストリーマケーブル ◆ハイドロフォンセンサー



2. データ取得 観測パラメータ(HR3D)



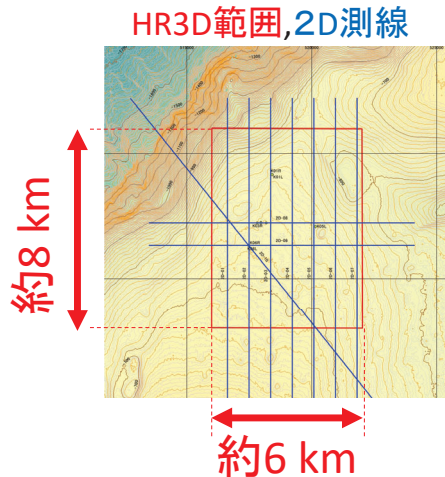
Recording	
レコード長 [s]	3
サンプリング間隔 [ms]	0.25
チャンネル数	96 (16x6)
Low cut filter [Hz]	12
High cut filter	out

震源	
ガン種類	GI-Gun
発震間隔 [m]	6.25
チャンバーサイズ [cu.in.]	150 (45+105)
ガン圧力 [psi]	2000
ガン深度 [m]	2

受振	
受振器	ストリーマケーブル
受振間隔 [m]	6.25
ケーブル間隔 [m]	12.5
最も近いチャンネルまでの距離[m]	45.4
ケーブル長 [m]	100
ケーブル深度 [m]	1.5

2. データ取得

重合数マップ

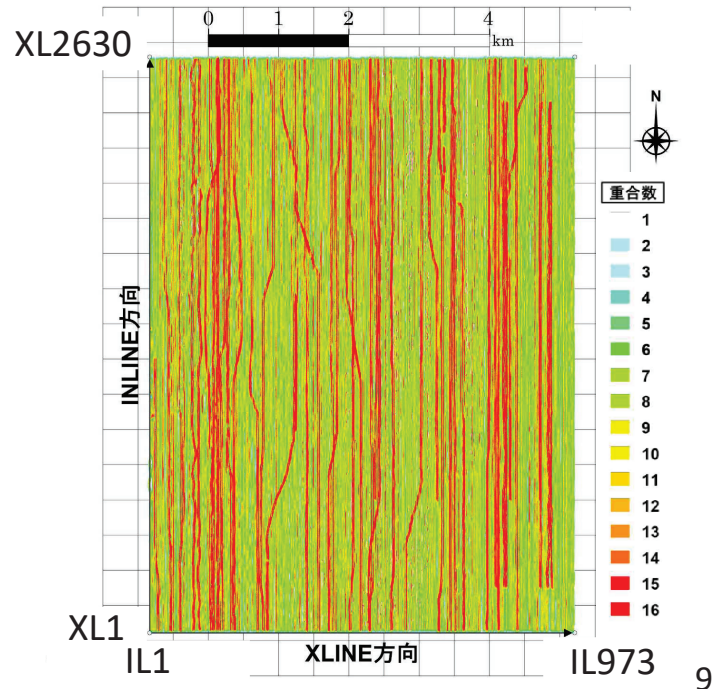


解析グリッド Bin size = 3.125(南北) × 6.25(東西) m²
データ品質を確保するため、各Binでの
重合数(共通反射点の数)は8以上

	測線本数(実績/計画)
HR3D	161/161
Infill	41/--
2D	10/10 ※速度解析のため

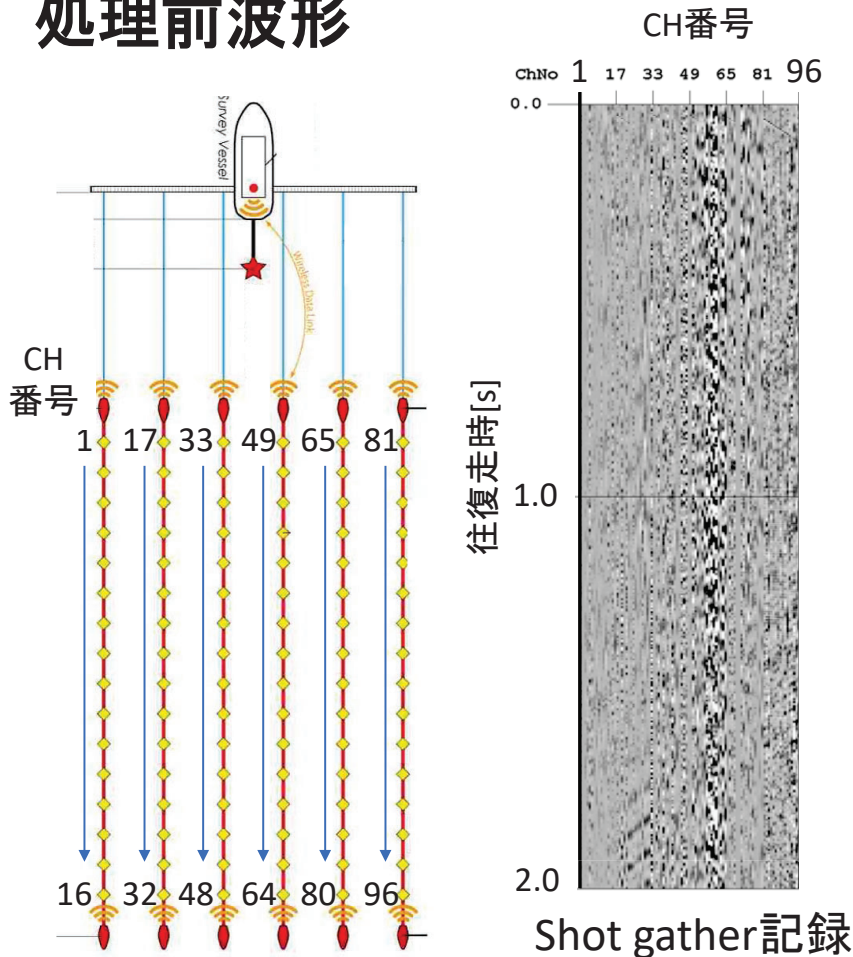
Infill

重合数が不足している観測区間の再測定



3. データ処理

処理前波形

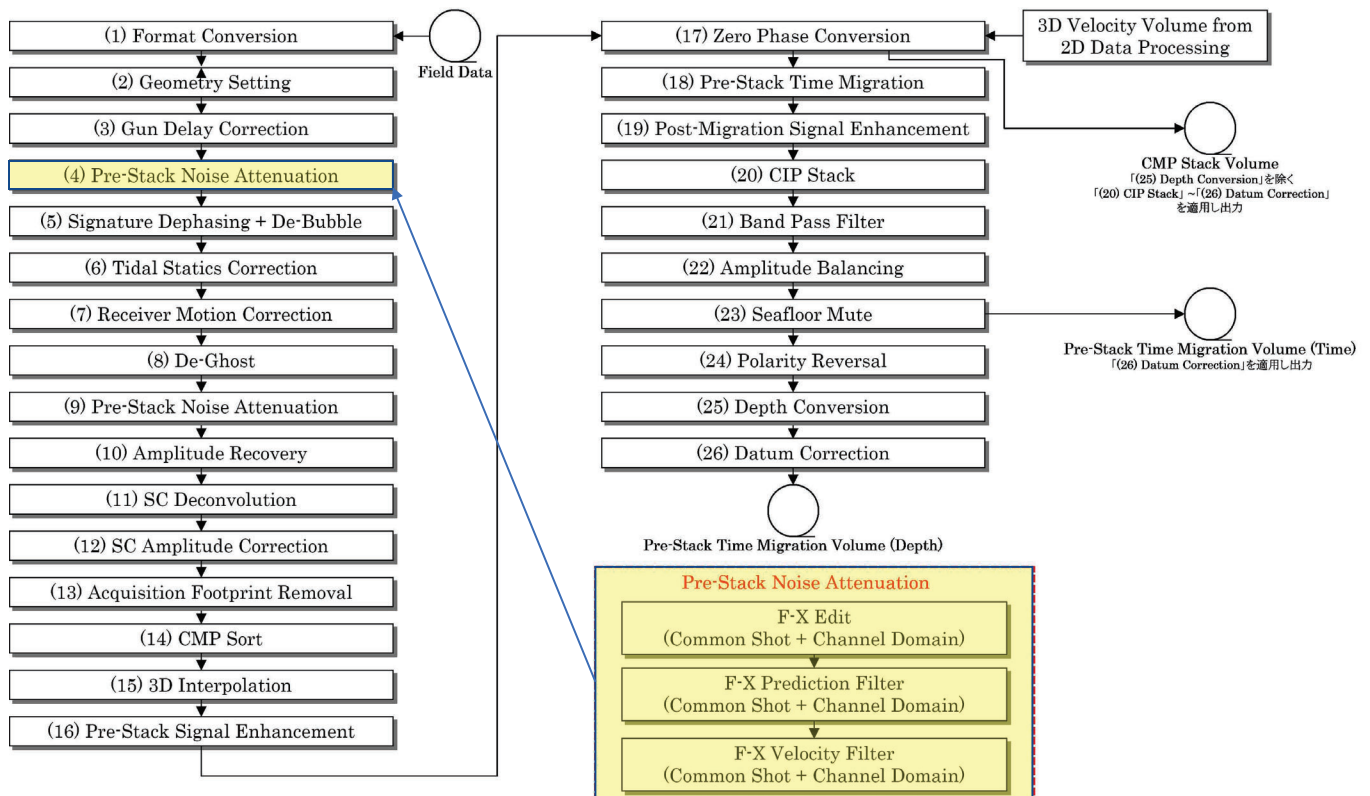


船舶の航行や波浪等に起因する低周波ノイズに反射波が被覆されている



データ処理によるS/N比の改善

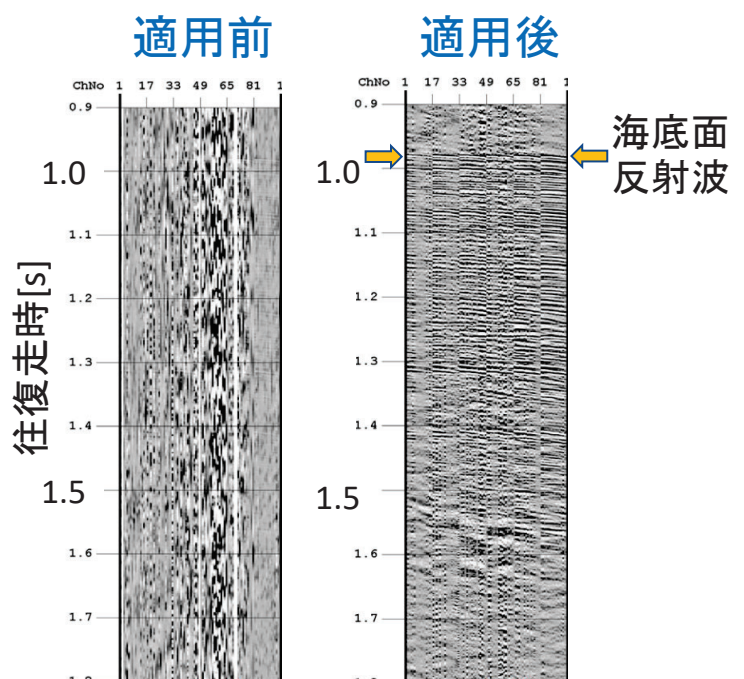
データ処理フロー



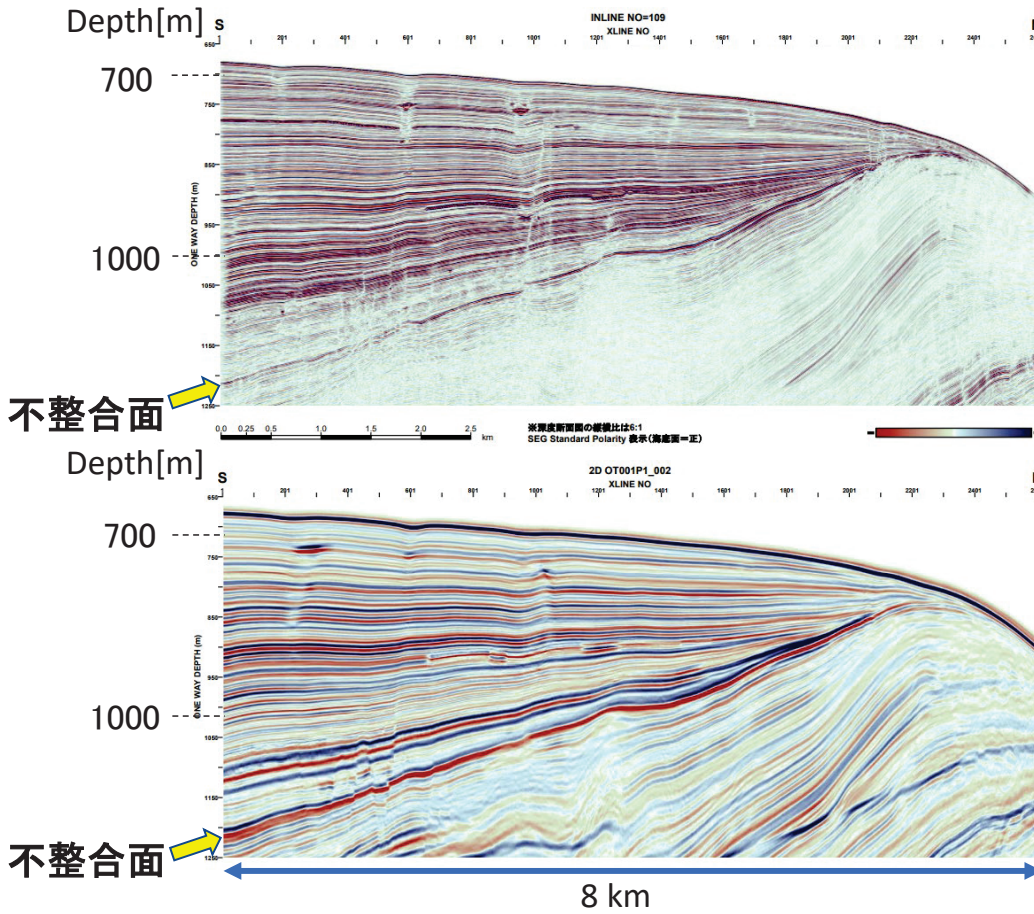
複合型ノイズ抑制処理

複合型ノイズ抑制処理

- F-Xエディット(発振領域)
波浪などによる強振幅成分の抑制
- F-X予測フィルター(発振、共通チャンネル領域)
波浪などによるランダム成分の抑制
- F-X速度フィルター(発振領域)
ケーブルを伝播する線形ノイズなどの抑制



2D震探処理結果との比較



HR3D

海底面下浅部(約200~300m)の高解像イメージによる微細構造の抽出

Ex.

海底面下の断層分布

2D

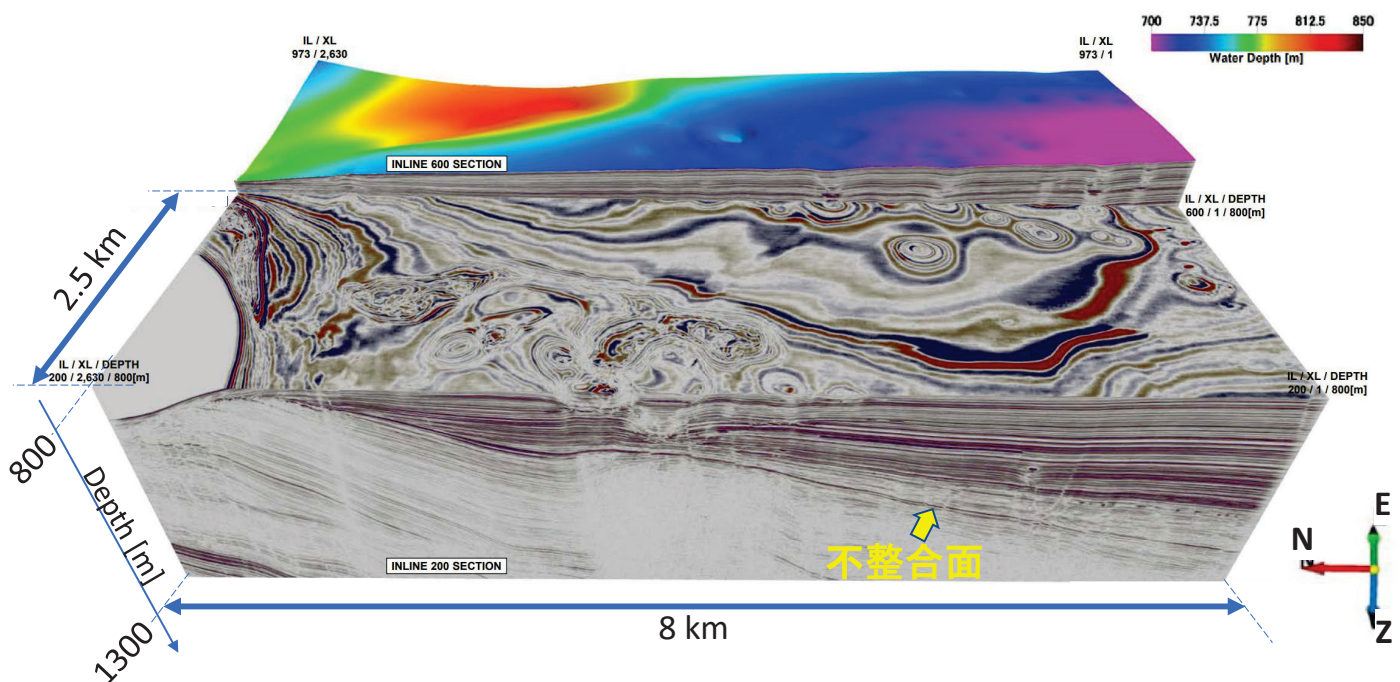
速度解析が目的より深部までイメージング可能

← オパールA/CT境界

縦横比 6:1

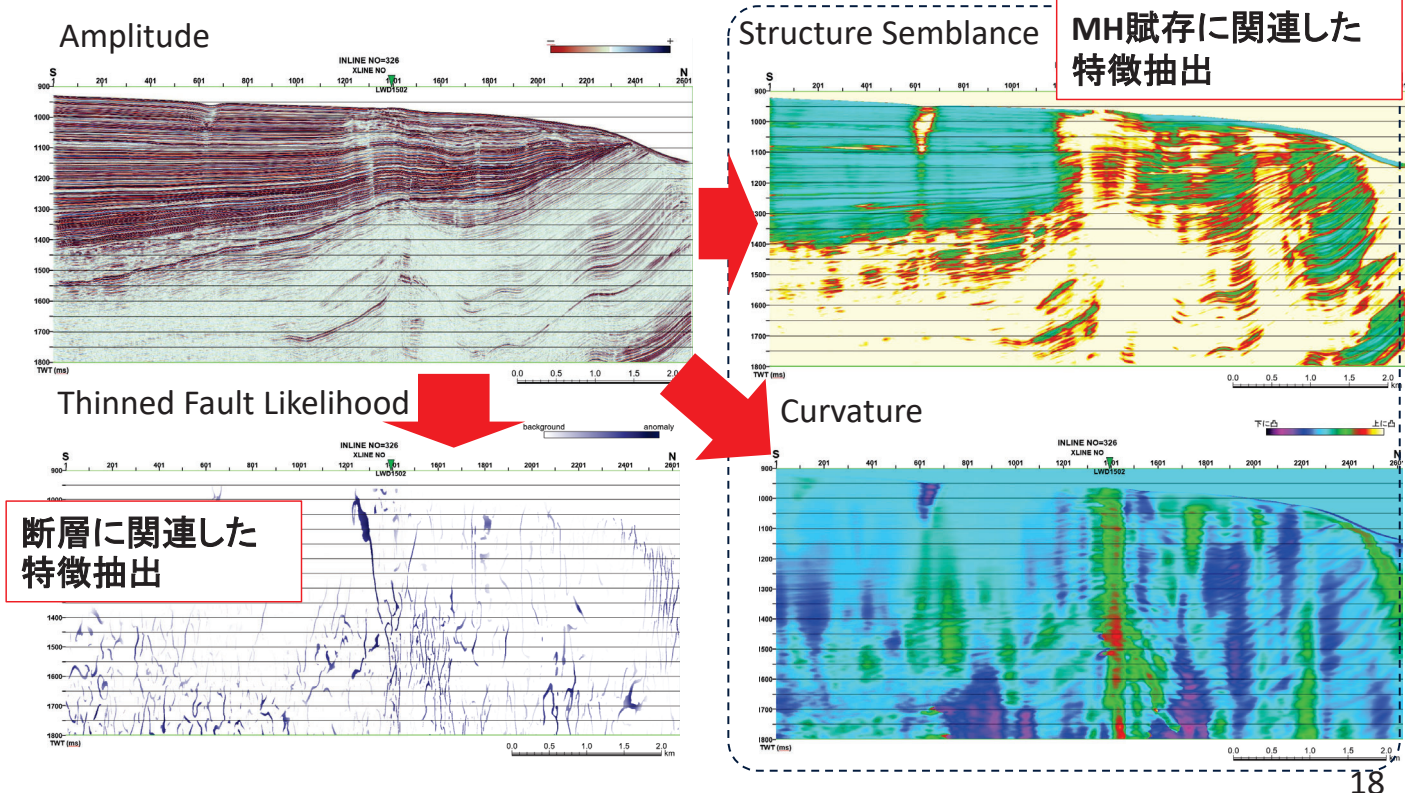
3次元深度イメージ

海底面下浅部の堆積構造、断層、強振幅イベントなど特徴的反射面の空間分布形態の抽出



アトリビュート解析による特徴抽出

アトリビュート: 地震波形に対して、数学的変換を通じて得られる数値



MH賦存に関連した特徴抽出

Structure Semblance

トレース間の波形類似度を計算し、震探記録における非平面的な領域を評価 (成層構造とそれ以外を区別)

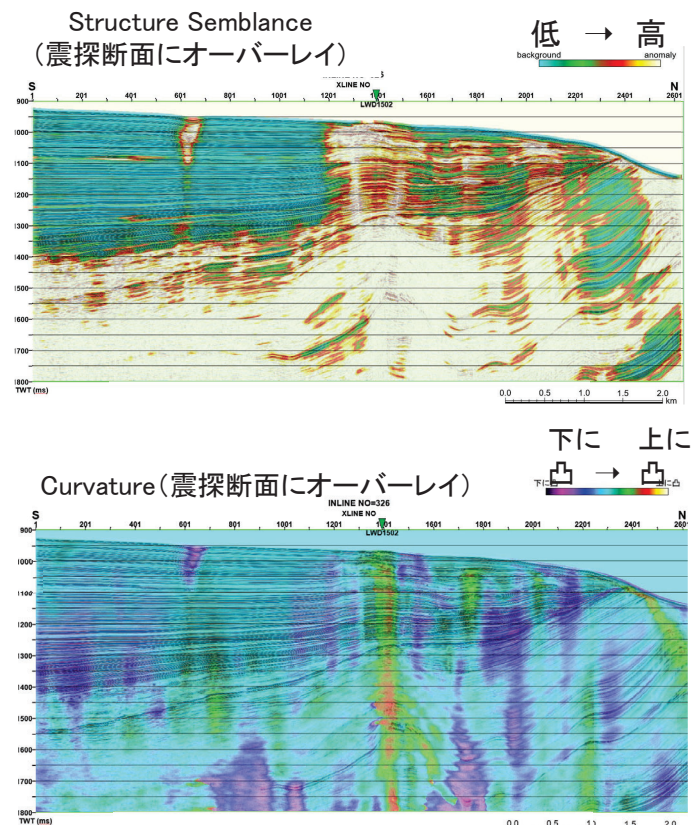
断層・断裂などを可視化

※不整合面以深の精度は低いことに注意

Curvature

震探ボリュームの反射面の曲率を計算し、褶曲・変形を評価

埋没したポックマーク、マウンドなどを可視化

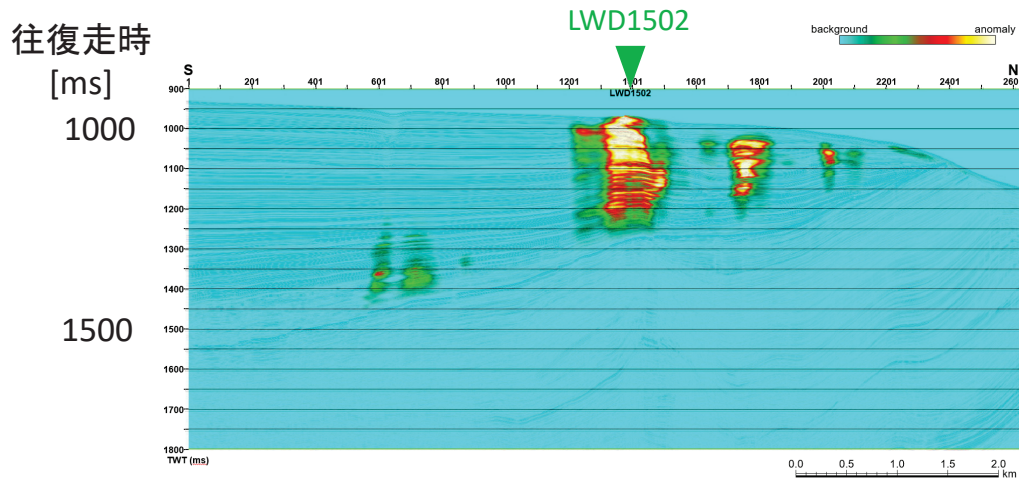


MH賦存に関連した特徴抽出

Structure Semblance × Curvature

非平面的かつ上に凸の特徴を抽出

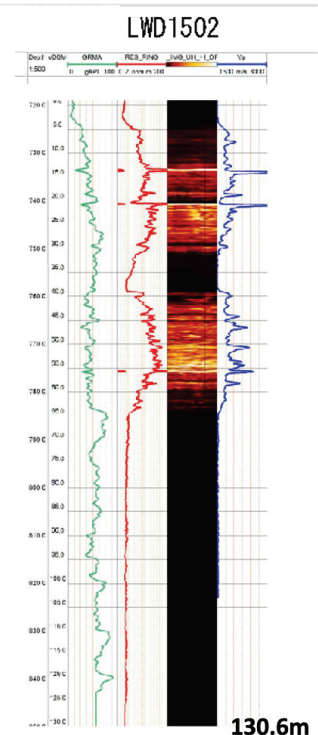
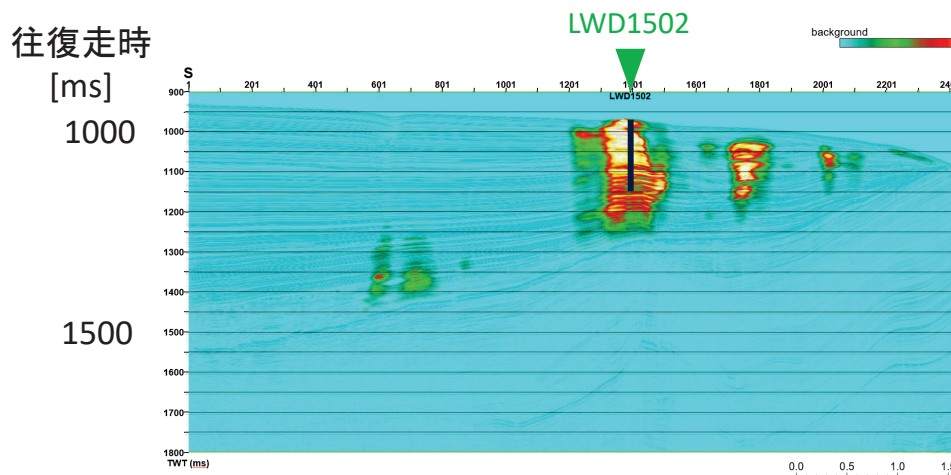
それぞれ流体の上方移動経路と関連するガスチムニーおよびMH発達と関連する埋没したマウンドを捉えていると考えられる



※不整合面以深はミュート

MH賦存に関連した特徴抽出

- Gamma Ray (0-100 API)
- Resistivity (0.2-2000 Ohm-m)
- Vp (1500-3000 m/s)



LWD1502の検層データでは、MH層の胚胎を示唆する特徴(比抵抗値高、音波速度の増加、 γ 線低、NMR孔隙率低など)が認められた

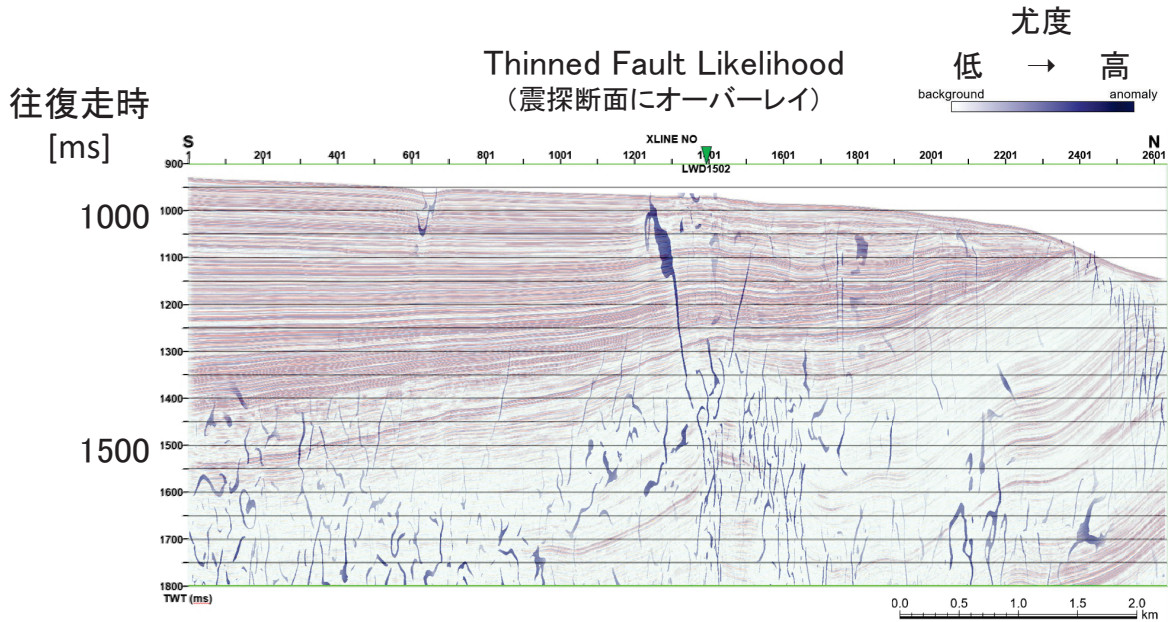
断層・断裂に関連する特徴抽出

Fault Likelihood

震探記録の空間不連続性を定量的に評価し、断層・断裂の尤度を算出

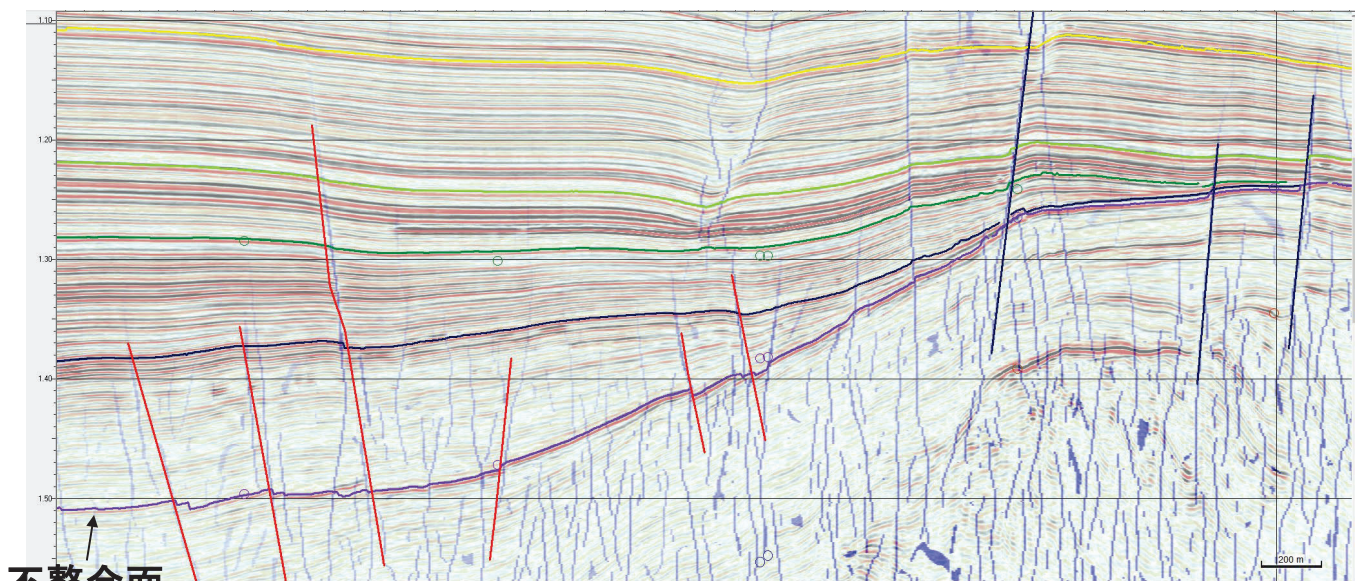
Thinned Fault Likelihood

Fault Likelihoodの局所最大値を抽出し、細線化



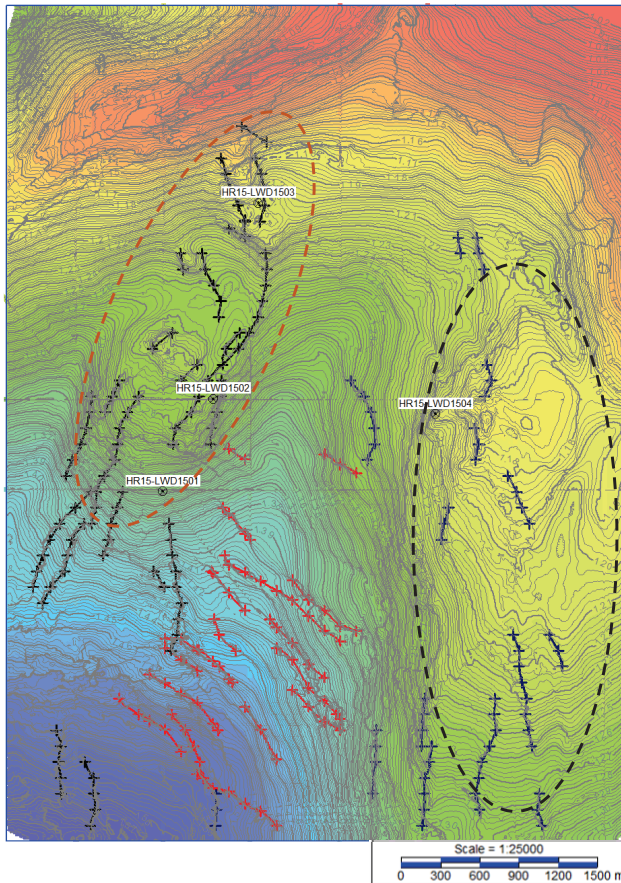
断層解釈への適用

層準解釈を行った震探記録にThinned Fault Likelihoodをオーバーレイし、断層解釈をサポート



断層をよく抽出できる

不整合面上の断層分布



断層分布

黒・・・西側構造の伸びる方向に沿った
走向の断層

青・・・東側構造の伸びる方向に沿った
走向の断層

赤・・・それ以外の断層

往復
走時
[s]

西側構造 

西側の北北東—南南西に伸びる
構造的高まり

東側構造 

東側の南北に伸びる構造的高まり

両構造の上位層中ではLWDによりMHの
存在を示唆する特徴が認められている

構造的高まりの形成に伴い断層が発達し、
断層を通して流体(ガス・水)が移動し、
MHの生成につながった可能性を示唆

24

5. おわりに

- 丹後半島北方沖に設定した調査域において、
高分解能3次元反射法地震探査(HR3D)を実施した。
- HR3Dでは海底面付近から海底面下約200~300mまでの
精密地下構造推定を行ったが、MHに起因するBSRは
広域には連続していない。
- アトリビュート解析により、表層型MH賦存に関連する構造、
断層の分布や走向を三次元的に抽出した。
- HR3Dデータと既存の調査データとを統合解析
→賦存量推定を行っている。

25

謝辞

本研究は、経済産業省のメタンハイドレート研究開発事業の一部として実施いたしました。

反射法地震探査データ取得および解析の一部は株式会社地球科学総合研究所が担当しました。

表層型メタンハイドレートの研究開発
2023年度 研究成果報告会 (2024/2/29)

「資源開発に向けた表層型メタンハイドレート賦存域の
地盤強度調査」 – 酒田沖・上越沖での掘削調査 –



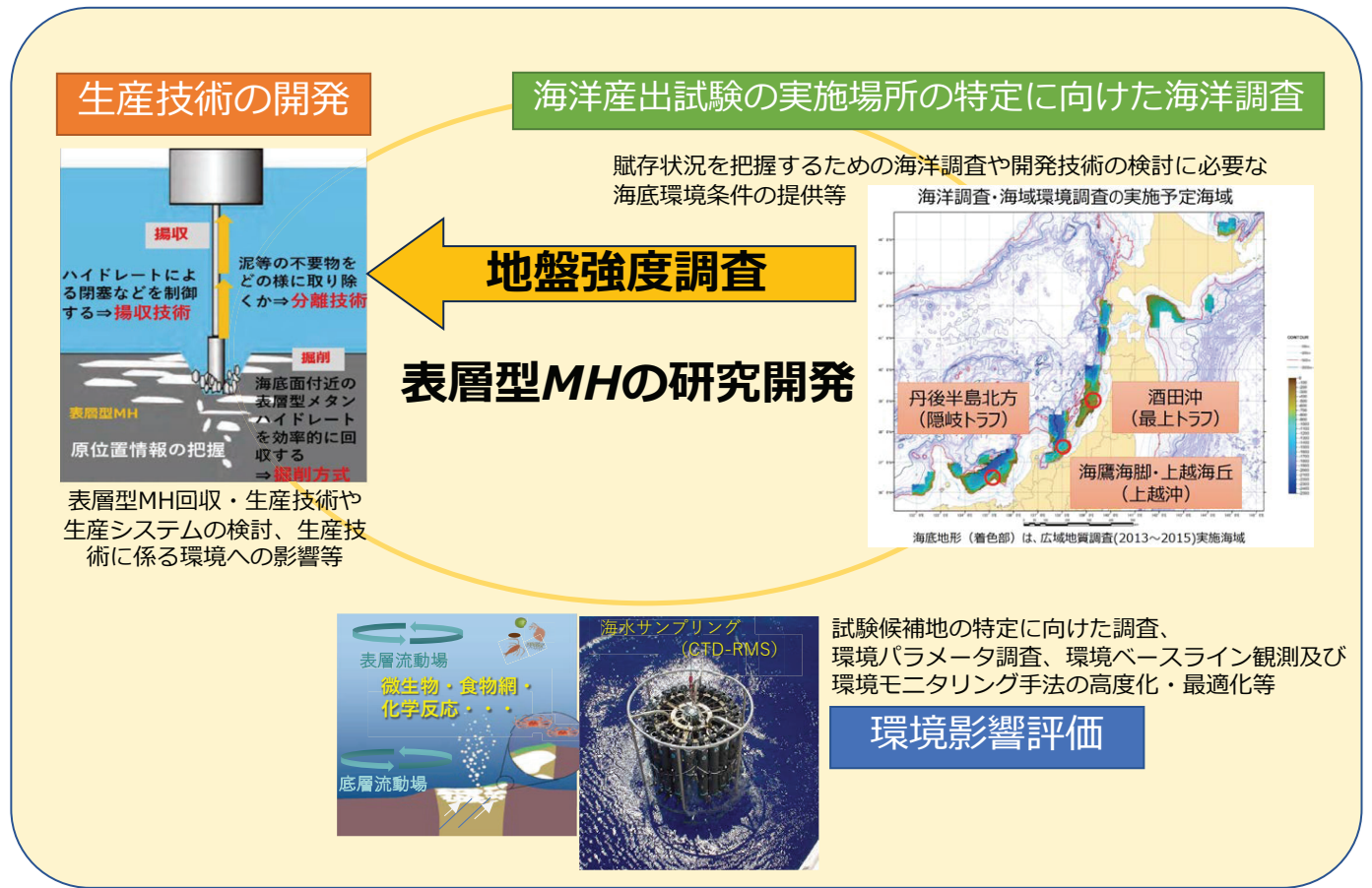
本研究は、経済産業省のメタンハイドレート研究開発事業の一部として実施いたしました。
関係各位に対し、謝意を表します。

産業技術総合研究所
エネルギープロセス研究部門
地圏資源環境研究部門

鈴木 清史
佐藤 幹夫

＜本日の内容＞

- 表層型メタンハイドレートの開発に向けた取組
- 地盤強度調査の概要と目的
- 地盤強度調査の実施概況
 - 掘削点一覧
 - 掘削・試料採取概要
 - 船上計測・解析・試験
 - CPTとPS検層の比較
 - 室内土質試験とワイヤライン (WL) 検層
- ワイヤライン検層実施種目
- ワイヤライン検層結果
 - 上越海丘 (2022-2023)
 - 海鷹海脚 (2022)
 - 酒田海丘 (2023)
- ワイヤライン検層結果の解析と解釈
 - 酒田海丘リファレンスサイト
 - 酒田海丘メタンハイドレートサイト
- 地盤強度調査の現在のまとめ



地盤強度調査の概要と目的

- 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) を取得するために**海洋調査や海域環境調査**を実施。

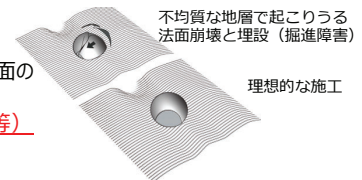
1) 掘削機器開発(大口径ドリル)



掘削機器の設計のために**MHが含まれる地層の強度等の情報**が必要

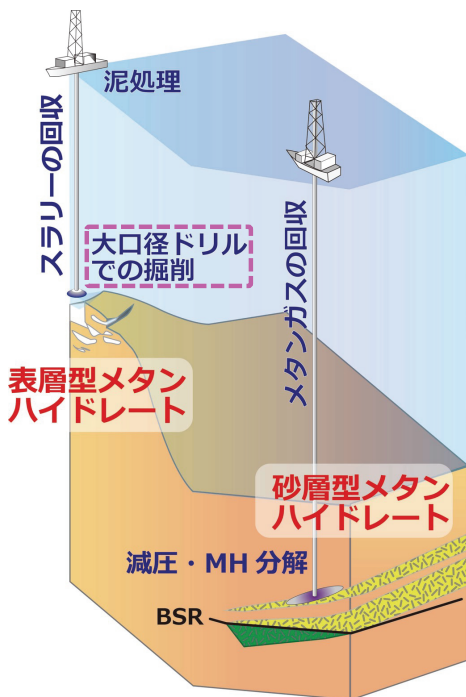
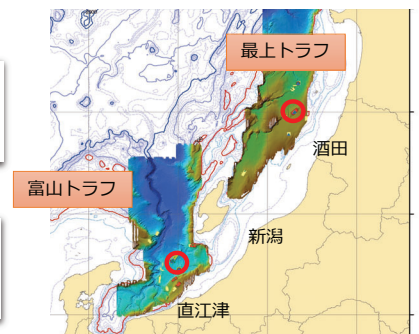
2) 将来のMH安定回収のための施工管理

MHを安定に回収するためには、掘削坑の壁面や法面の安定性についての検討が必要不可欠
→MH貯留層の不均質な地層の情報 (地盤強度等)



■ 海底地盤強度調査の実施海域

酒田沖 (酒田海丘) 上越沖 (上越海丘, 海鷹海脚)



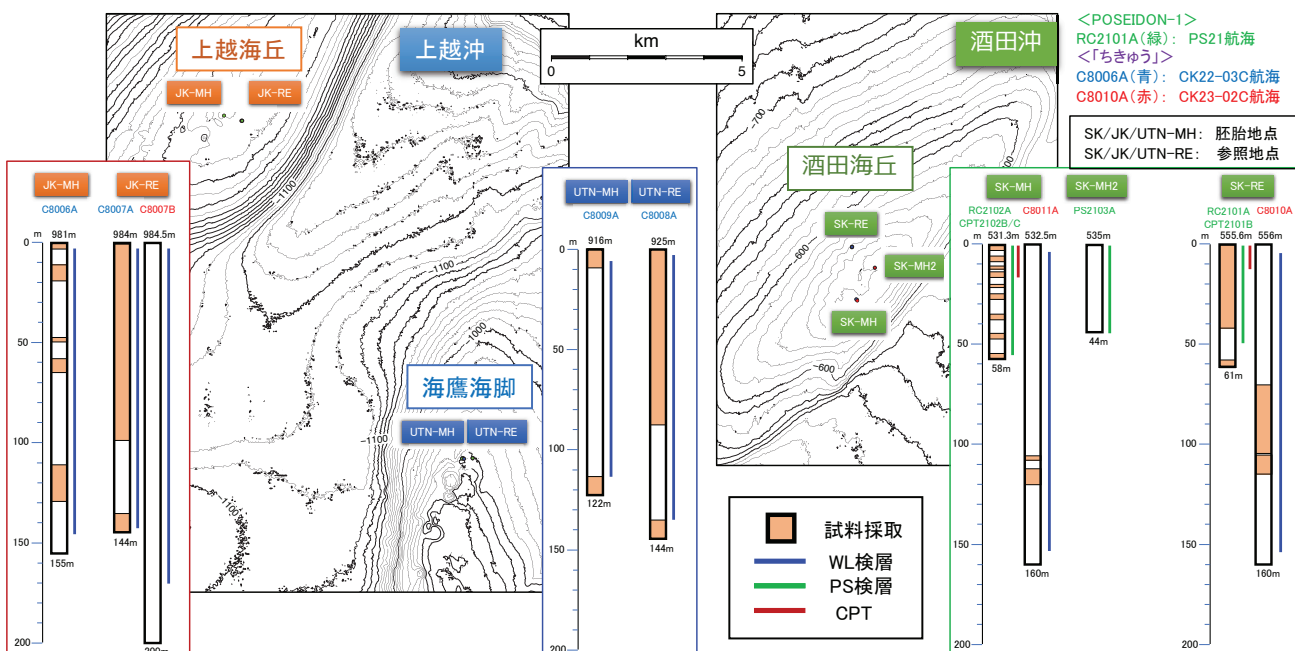
地盤強度調査の実施概況（1）掘削点一覧

- 2021年：酒田沖：原位置コーン貫入試験（CPT）、PS検層、試料採取（室内土質試験用）
- 2022年：上越沖：ワイヤライン（WL）検層、試料採取（室内土質試験用）
- 2023年：酒田沖及び上越沖：ワイヤライン（WL）検層、試料採取（室内土質試験用）
- その他：掘削影響事前・事後調査（2022年上越沖（上越海丘）及び2023年の酒田沖）

海域	Site	Cruise	Hole	Water Depth	T.D.	Coring	Logging	CPT
酒田海丘	SK-MH	PS21	RC2102A/CPT2102	531.3 m	58 m	~58 m	55.7 m (PS)	16.8m
		CK23-02C	C8011A, (C8011B, C)	532.5 m	160 m	106~120 m	152.6 m (full)	-
	SK-MH2	PS21	PS2103A	535 m	44 m	-	43.8 m (PS)	-
	SK-RE	PS21	RC2101A/CPT2101	555.6 m	61 m	~61 m	49.5 m (PS)	12m
CK23-02C		C8010A	556.0 m	160 m	70~114 m	153.5m (Run1,2)	-	
上越海丘	JK-MH	CK22-03C	C8006A	981 m	155 m	155 m	145.5 m (full)	-
	JK-RE	CK22-03C	C8007A	984 m	144 m	144 m	142.5 m (full)	-
		CK23-02C	C8007B	984.5 m	200 m	-	170 m (full)	-
海鷹海脚	UTN-MH	CK22-03C	C8009A	916 m	122 m	122 m	113.5 m (full)	-
	UTN-RE	CK22-03C	C8008A	925 m	144 m	144 m	135.5 m (full)	-

地盤強度調査の実施概況（2）掘削・試料採取概要

- 2021年：酒田沖：原位置コーン貫入試験（CPT）、PS検層、試料採取（室内土質試験用）
- 2022年：上越沖：ワイヤライン（WL）検層、試料採取（室内土質試験用）
- 2023年：酒田沖及び上越沖：ワイヤライン（WL）検層、試料採取（室内土質試験用）
- その他：掘削影響事前・事後調査（2022年上越沖（上越海丘）及び2023年の酒田沖）



地盤強度調査の実施概況（3）船上計測・解析・試験

- 2021年：酒田沖：原位置コーン貫入試験（CPT）、PS検層、試料採取（室内土質試験用）
- 2022年：上越沖：ワイヤライン（WL）検層、試料採取（室内土質試験用）
- 2023年：酒田沖及び上越沖：ワイヤライン（WL）検層、試料採取（室内土質試験用）
- その他：掘削影響事前・事後調査（2022年上越沖（上越海丘）及び2023年の酒田沖）

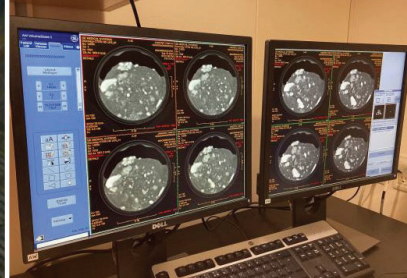
CPTツール先端



PS検層ツール



コアのCT画像（断面）



ベーン剪断試験



コア処理



室内土質試験



地盤強度調査の実施概況（4）CPTとPS検層の比較

- 2021年：酒田沖：原位置コーン貫入試験（CPT）、PS検層、試料採取（室内土質試験用）
- 2022年：上越沖：ワイヤライン（WL）検層、試料採取（室内土質試験用）
- 2023年：酒田沖及び上越沖：ワイヤライン（WL）検層、試料採取（室内土質試験用）
- その他：掘削影響事前・事後調査（2022年上越沖（上越海丘）及び2023年の酒田沖）

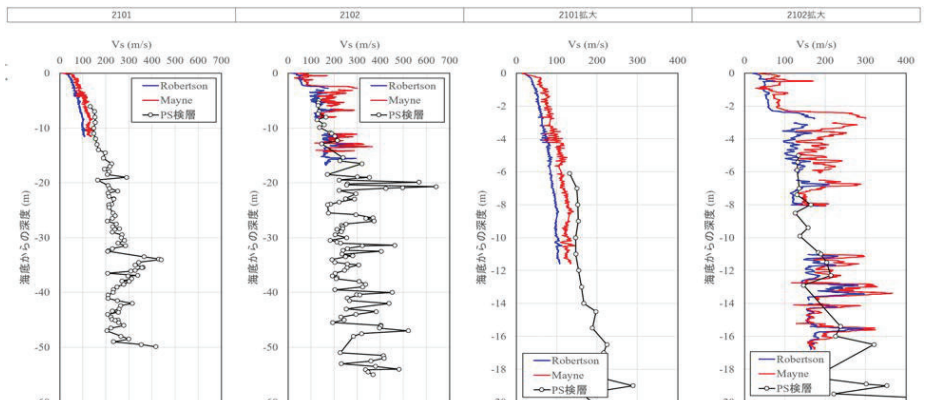
CPTツール先端



PS検層ツール



CPT結果とPS検層解析の比較



初年度の酒田沖では、海底面にSeabedフレームを設置、船上からCPTツールを用いて原位置での貫入試験を実施した。

【結果】MH層と見られる貫入抵抗が高い層に度々阻害され、計測が度々妨げられた。一方、CPTの結果とPS検層の結果は良い整合を示したため、次年度から原位置の測定ではなくワイヤライン検層に注力することにした。

地盤強度調査の実施概況（5）室内土質試験とWL検層

- 2021年：酒田沖：原位置コーン貫入試験（CPT）、PS検層、試料採取（室内土質試験用）
- 2022年：上越沖：ワイヤライン（WL）検層、試料採取（室内土質試験用）
- 2023年：酒田沖及び上越沖：ワイヤライン（WL）検層、試料採取（室内土質試験用）
- その他：掘削影響事前・事後調査（2022年上越沖（上越海丘）及び2023年の酒田沖）

地盤強度の評価手法

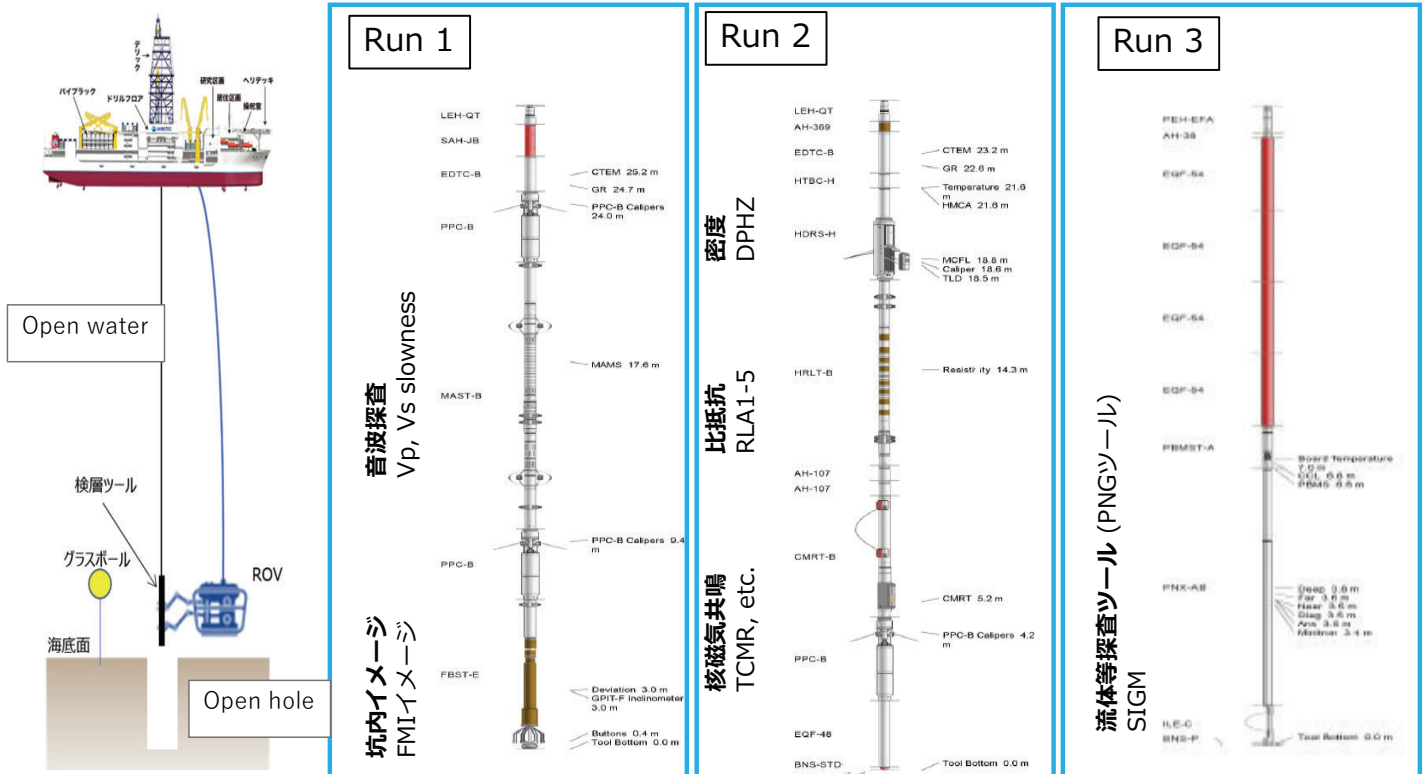
- ・ CPT（直接）：現場計測が困難 → WL検層で代替
- ・ 土質試験（船上，下船後）：試料採取区間のみ（不連続データ）
- ・ ワイヤライン（WL）検層：連続データが取得可能
（ただし直接強度が計測できるわけではない）

- ◆ ワイヤライン検層で取得した連続データを基礎データとして用いる
→ 計算等により地盤強度に関する情報を推定・取得
- ◆ 室内土質試験結果との照合によりWL検層からの推定値を検証

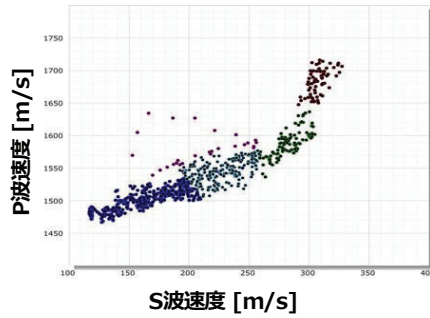
次のスライドから、ワイヤライン検層の実施種目と結果を示す

海底地盤強度調査のワイヤライン（WL）検層実施種目

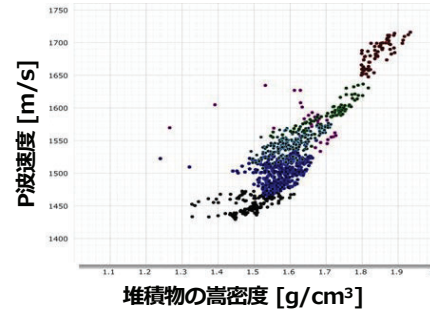
- ・ 地質試料（コア）採取後の掘削坑を用いWL検層を実施、地層情報を取得
Open water /Open holeで実施



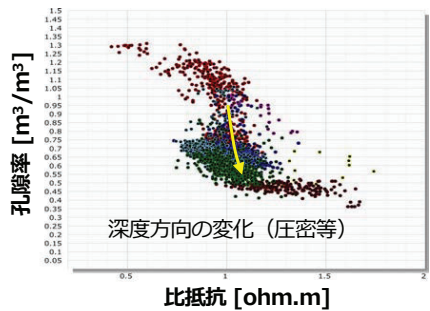
検層で得られたデータからMH貯留層を解析



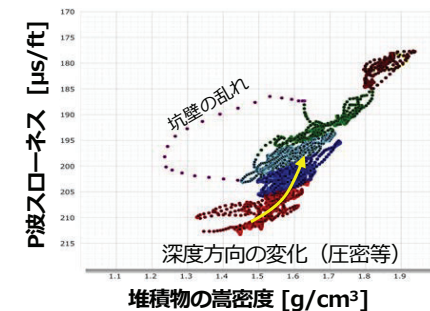
P-S波速度の相関で屈曲が見られる。約700mBRT付近から相関が変化する



取得できなかったS波速度のデータがあるためP波速度と嵩密度でそれぞれの領域を確認



深度方向の変化（圧密等）
堆積物の比抵抗は1[ohm,m]付近で安定



深度方向の変化（圧密等）
P波スローネスと嵩密度で領域を分けし解析

これらの結果・傾向を、室内土質試験結果と比較し、堆積物物性の情報を整理

地盤強度調査の現在のまとめ

- 2021-2023年度に酒田沖及び上越沖において海底地盤強度調査を行った。
- 2021年度に実施した酒田海丘でのCPTとPS検層結果の相関が良かったことから、以降の調査をワイヤライン検層と室内土質試験を主としたものに変更した。
- 海底地盤強度調査として、最終的に8坑からのコア試料の取得、3坑でのPS検層、7坑でのフルセットでのワイヤライン検層を実施

※ワイヤライン検層では3地点（酒田海丘、上越海丘、海鷹海脚）で、MHサイトとリファレンスサイトのセットでデータを取得、解析実施中。

- リファレンスサイトでの検層結果から検層各項目の相関を把握し、室内土質試験結果との比較を実施中
- リファレンスサイトの結果を参考にMHサイトの地下構造を解析中
 1. メタンハイドレートの分布と胚胎状態
 2. 炭酸塩の存在する深度の検討
 3. ガス含み堆積物の存在する領域の検討

表層型メタンハイドレートの研究開発 2023年度 研究成果報告会
2023 Shallow Methane Hydrate Forum

表層型メタンハイドレート開発における 環境影響評価手法及び関連する法的事項

2024年2月29日

日本エヌ・ユー・エス株式会社

伊藤博和

Copyright© JAPAN NUS Co., LTD. All rights reserved.

本日の内容

1. 本研究の全体像の概要紹介
2. 法的事項について紹介
(鉱業法およびその関連法と環境の関連性について)

1. 本研究の全体像の概要紹介

目的

- 表層型メタンハイドレート開発のために必要な環境影響評価手法の検討を行う。開発事業を実施する際に配慮・検討が必要となる海洋環境に関する情報整理と開発有望海域における漁業活動の実態調査等を行い、表層型メタンハイドレート開発の推進に資することを目的とする。

主な研究内容

- 開発事業を実施する際に配慮・検討が必要となる海洋環境に関する情報整理
- 開発有望海域における漁業活動の実態調査等の実施
- 海洋環境への影響及び保護・保全についての法的事項・懸念点の整理 ⇒後ほど紹介

1. 本研究の全体像の概要紹介（環境面）

海洋環境に関する情報整理

環境ベースラインの把握（主に社会環境について）

- 漁場、航路、リクリエーションの場、等
- パイプライン、海底ケーブル等

評価対象種の選定方法の検討

- 水産有用種、餌生物
- 現地確認種
- その他

漁業活動の実態調査等

操業状況の把握方法の検討

地域社会にとって重要と考えられている魚介類等の把握

- 地方自治体の水産関係機関へのヒアリングの実施
- 地域の現状について把握

地域有識者へのヒアリング等

2. 法的事項について紹介 (鉱業法およびその関連法と環境の 関連性について)

鉱業法関連法における海洋環境保全の位置付け

表層型メタンハイドレートの開発は以下の法律で管理・監督される

- ✓ 鉱業法(昭和25年法律第289号)
- ✓ 鉱山保安法(昭和24年法律第70号)

鉱業法の目的(第1条)

- 鉱物資源の合理的な開発、また公共の福祉の増進に寄与する

人・生活環境への影響

鉱山保安法の目的(第1条)

- 鉱害を防止し、鉱物資源の合理的開発を図る

海洋環境保全?

海洋生物への影響?

➤ 鉱業法、鉱山保安法に海洋環境保全の観点は明示されていない

- ✓ 第1条の「合理的な」開発に解釈の余地はあるが、十分ではない(交告, 2009)
- ✓ 鉱山保安法の鉱害防止措置の義務付けによって環境保護につながったとしても、必ずしも生態系保全の観点から行われた結果とはいえない(中田, 2017)
- ✓ ただし、運用の実態としては(海洋)環境保全への配慮・取り組みに係る官・民の努力がはらわれている

鉱業法関連法下での環境影響評価実施の可能性

- 表層型メタンハイドレート開発事業は、環境影響評価法の対象事業ではない
- そのため、まずは鉱業法関連法で実施される一連の手続きの中で、環境影響評価の実施が適応可能かどうかについて、環境影響評価法が求める手続き等の必要な要件を抽出し、現状を把握する

環境影響評価法の目的

土地の形状の変更、工作物の新設等の事業の実施に当たりあらかじめ環境影響評価を行うことが環境の保全上極めて重要

環境影響評価について国等の責務を明らかにする

手続その他所要の事項を定め、

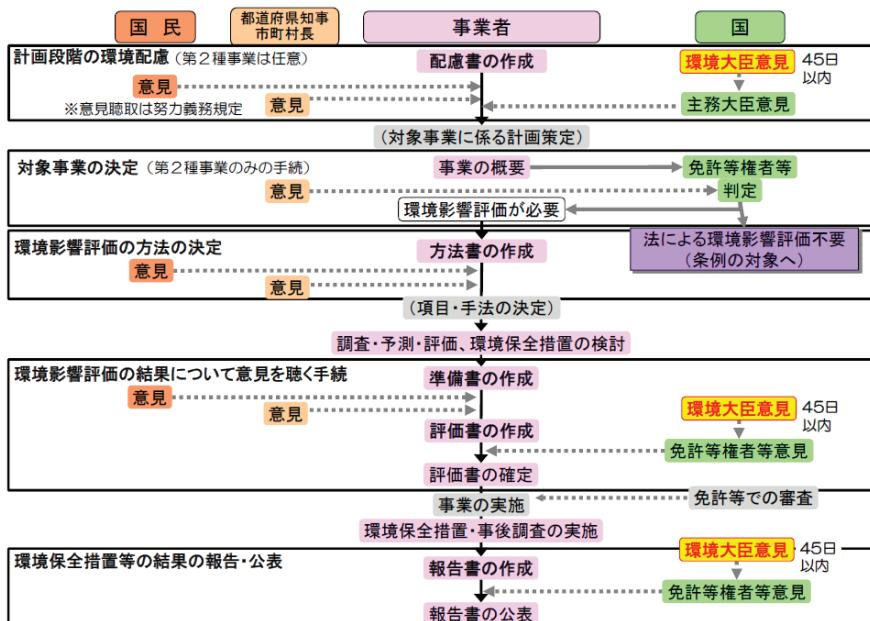
事業の内容に関する決定に反映させるための措置をとる

その事業に係る環境の保全について適正な配慮がなされることを確保し、もって現在及び将来の国民の健康で文化的な生活の確保に資することを目的とする。

求められる必要な要件

- 環境影響評価の実施は環境保全上、極めて重要
- 責任の所在の明瞭化
- 手続き、所要事項の決定
- 事業内容に評価結果を反映できる制度

環境影響評価制度の手続きの流れ



求められる必要な要件

- 評価報告書作成までに複数回の意見徴収
- 利害関係者として、環境大臣、地方自治体長および一般国民まで含まれる
- 計画から評価報告書まで全データの透明性の担保

出典元: 環境省環境影響評価情報支援ネットワーク
http://assess.env.go.jp/files/0_db/contents/0508_03/mat_1_2-1.pdf

所要事項の決定(例えば検討項目について)

- 環境影響評価法において事業種ごとに示されている「参考項目」は、主に陸域・沿岸海域を対象とした評価項目であるため、ここでは海域を対象として示されている海洋汚染防止法における一般水底土砂の投入処分申請の際に求められる検討項目(下表)を参考として示す

区分	検討項目・内容(事前評価項目)
水環境	濁り、溶存酸素量、有機物の量、栄養塩類の量、有害物質等による海水の汚れ
海底環境	粒径組成、有機物の量、有害物質による底質の汚れ、海底地形
海洋生物	基礎生産量、魚類等遊泳動物の生息状況、海藻及び藻類の生育状況、底生生物の生息状況
生態系	「干潟、藻場、サンゴ群落その他の脆弱な生態系の状態」、「重要な生物種の産卵場または生育場その他の海洋生物の生育・生息にとって重要な海域の状態」、「熱水生態系その他の特殊な生態系の状態」
人と海洋との関わり	「海水浴場その他の海洋レクリエーションの場としての利用状況」、「海中公園その他の自然環境の保全を目的として設定された区域の利用状況」、「漁場の利用状況」、「沿岸における主要な航路の利用状況」、「海底ケーブルの敷設、海底資源の探査または掘削その他の海底の利用状況」

求められる必要な要件 検討項目・内容まで詳細に定められている。

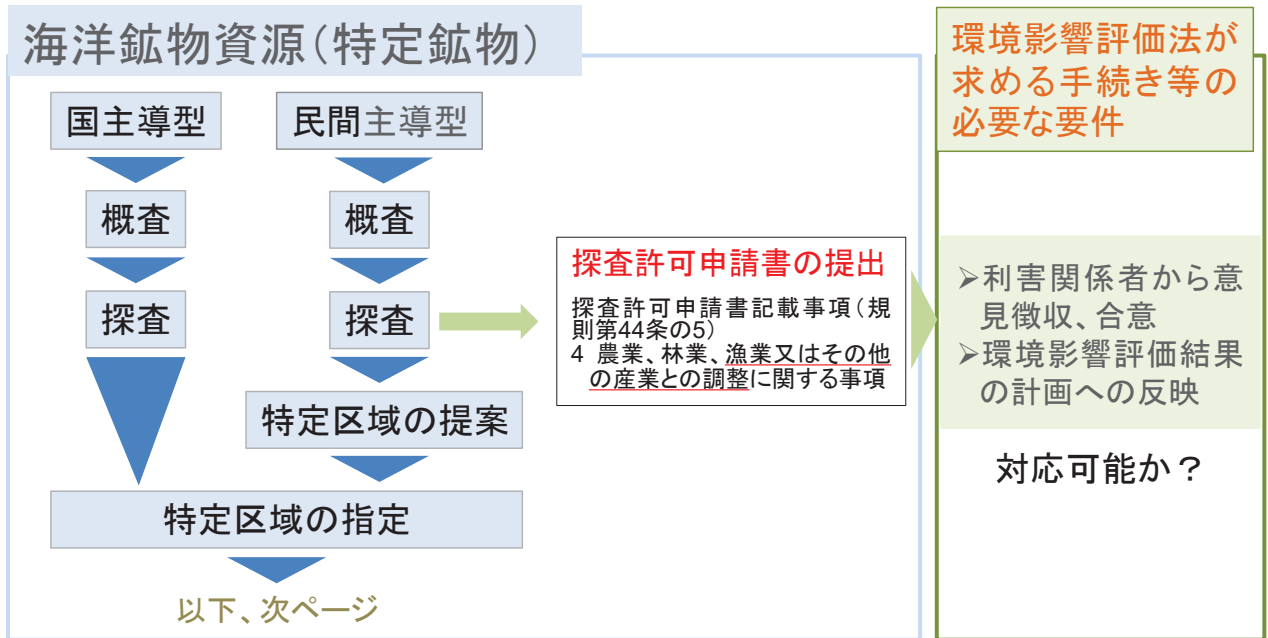
環境影響評価を制度として運用する際の必要な要件

➤ 環境影響評価法が求める手続き等の必要な要件は以下の通り

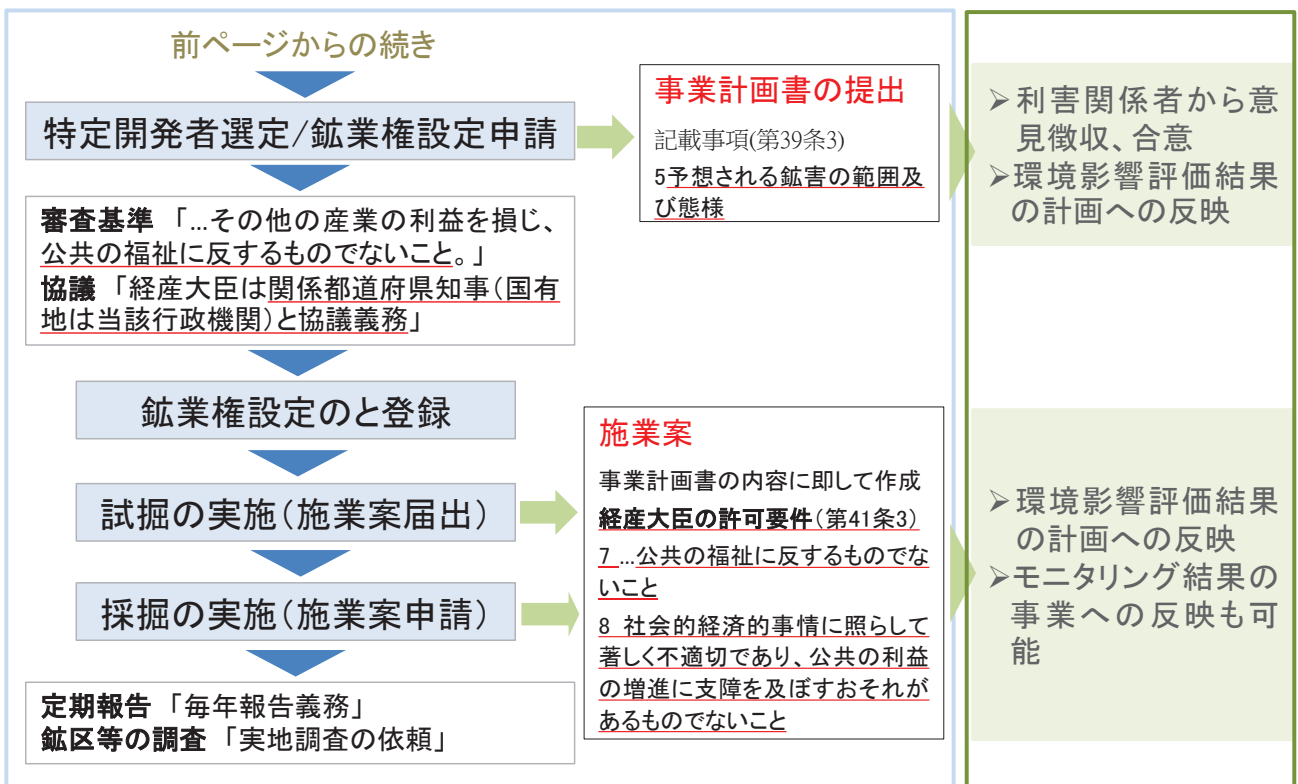
- ✓ 環境影響評価の実施は環境保全上、極めて重要(生態系保全の観点から環境影響評価を実施することが明記されているか)
- ✓ 責任の所在の明瞭化
- ✓ 事業内容に評価結果を反映できる制度
- ✓ 評価報告書作成までに複数回の意見徴収
- ✓ 利害関係者として、環境大臣、地方自治体長および一般国民まで含まれる
- ✓ 計画から評価報告書まで全データの透明性の担保
- ✓ 検討項目・内容まで詳細に定められている

鉱業法関連法の手続きの流れの概要(1)

- 鉱業法関連法の手続きの流れ(左側)と環境影響評価法が求める手続き等の必要な要件(右側)の現状を把握すると以下ようになる



鉱業法関連法の手続きの流れの概要(2)



環境影響評価法の主な要件と鉱業法関連法の状況整理

- 現状の鉱業法関連法の手続きにおいて、環境影響評価結果を事業に反映させることは可能であり、環境保全対策は可能
- 鉱業法関連法では、そもそも指定されていない広範囲の意見徴収や情報公開については今後の検討課題

環境影響評価法	鉱業法関連法	
	現状	運用面での可能性
環境影響評価の重要性の明記	生態系保全の観点からの実施かどうか不透明	△×
責任の所在	責任の所在が明らか	○
事業段階ごとに検討・事業計画に反映	事業段階(探査許可申請、事業計画提出、施業案届出、申請)に検討	○
利害関係者として一般国民の参加が可能	地方自治体・直接的な関係者のみ	△
公聴会等の実施義務	都道府県知事との協議、土地所有者・漁業関係者・海運業者の同意	企業ノウハウ等の関係上、全情報を不特定多数に公開することは困難
データ・議論内容の透明性の担保	関係者限り	
検討項目・内容まで詳細に定められている	排出基準値等のみ	△×

鉱業と環境影響評価の関連性(海外の事例)

▶ 海洋油ガス田開発における環境影響評価の法的位置づけ

- 環境影響評価実施の規定が存在し、海洋油ガス田開発へ適用されている
 - 多くの国では事業を所管する省庁が審査に責任をもつ(下表)

審査実施機関	環境省関連機関	海洋の石油・天然ガス事業を所管する省庁による審査等
一般的な環境影響評価制度により実施	-	マレーシア、インドネシア、アメリカ
石油・天然ガス開発事業を対象とした制度により実施	ブラジル	オーストラリア、英国、ノルウェー、南アフリカ

出典: エンジニアリング協会(2015)平成26年度大水深海底鉱山保安対策調査(大水深海底環境影響検討調査)報告書

その他の法的事項について

- 領海外～EEZの範囲に鉱区が設定された場合の利害関係者の範囲(現状は都道府県知事、漁業・海運業者等)
- 環境影響評価の審査体制は？
- 揚鉱海水の位置づけ、閉山処理のあり方等、大水深海域での開発への対応(開発手法を考慮しつつ検討)
- その他
- 表層型メタンハイドレートとは開発手法等が異なる石油・天然ガス、海底熱水鉱床、コバルトリッチクラスト、マンガン団塊及びレアアース泥等の状況を考慮しつつ、引き続き、法的事項・懸念点の整理が必要 ⇒ 鉱業法関連法は前記したすべての鉱物資源開発に対応させる必要がある

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

ご静聴、ありがとうございました。

表層型メタンハイドレートの研究開発
2023年度 研究成果報告会

大型水槽を用いた擬似現場 実験による生物試験



公益財団法人海洋生物環境研究所

林 正裕

 **AIST** 国立研究開発法人産業技術総合研究所

依藤 実樹子・井口 亮・鈴木 淳・鈴木 昌弘

2024.02.29



公益財団法人
海洋生物環境研究所

© 2023 Marine Ecology Research Institute.

発表内容

1. 背景

2. 適切な試験生物の選定・飼育

3. キタクシノハクモヒトデの影響評価試験

4. まとめ



公益財団法人
海洋生物環境研究所

© 2023 Marine Ecology Research Institute.

No. 2

1. 背景

2. 適切な試験生物の選定・飼育

3. キタクシノハクモヒトデの影響評価試験

4. まとめ



背景

目的

表層型メタンハイドレート開発に起因する潜在的な生物への影響を定量的に評価し、可能な場合は項目ごとに閾値等を設定すること。

主な実施内容

- ① 適切な試験生物の選定・飼育
- ② 生物影響を評価するための最適な試験条件や装置の検討
- ③ 影響評価試験（ばく露試験）
懸念されるストレス要因：
溶存メタン、溶存硫化水素、高濁度（掘削・残渣）、
低塩分（生産水が真水）、低酸素など



1. 背景

2. 適切な試験生物の選定・飼育

3. キタクシノハクモヒトデの影響評価試験

4. まとめ



適切な試験生物の選定条件・方法

選定条件

- ① メタンハイドレート賦存海域の**生態系主要構成種**や**水産有用種**
- ② 生体入手が可能な種
- ③ 陸上での飼育が3ヶ月以上可能な種

選定方法

- 文献調査
- 賦存海域を主漁場としている漁協等への聞き取り調査
- 海域環境調査における採取生物の情報



適切な試験生物の選定結果

● **キタクシノハクモヒトデ** ・ **深海ヨコエビ類**

- ➡ 賦存海域の海底に多く生息。
魚類などの**重要な餌生物**。



● **ホッコクアカエビ** (甘えび) ・ **ベニズワイガニ** ・ **深海バイ類** (エッチュウバイ ・ カガバイ ・ ツバイ)

- ➡ 日本海の賦存海域での**水産有用種**。



発表内容

1. 背景

2. 適切な試験生物の選定 ・ 飼育

3. キタクシノハクモヒトデの影響評価試験

4. まとめ



ばく露試験方法（閉鎖系試験）

● 試験項目：溶存メタン、溶存硫化水素、低塩分、低酸素

● 試験容器：
容量約1Lに1個体収容

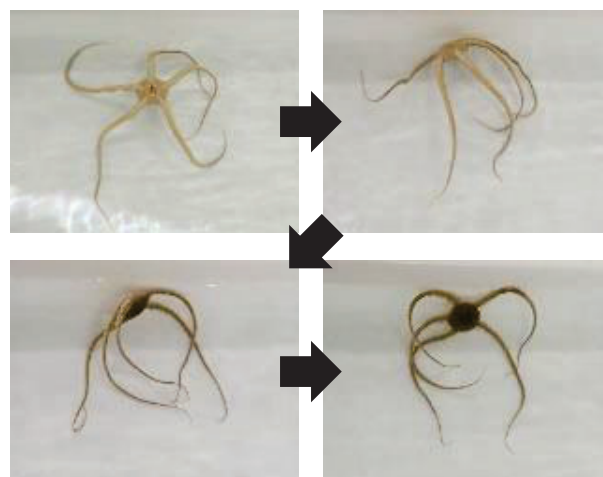
● 試験水温：6℃

● 試験期間：24時間

● 評価項目：

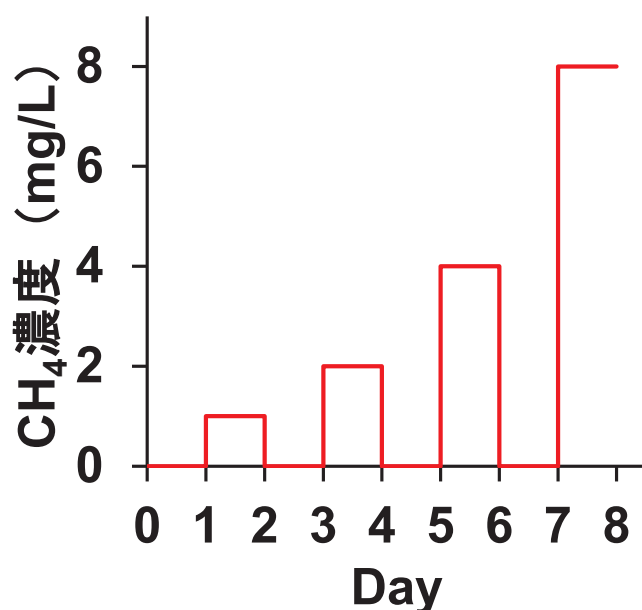
① 致死影響：生残率

② 行動影響：起き上がり行動、
自切（生育環境の悪化などのストレスを受けると腕を切り離す）



ばく露試験（溶存メタン影響）

間欠型ばく露方式



● 対照区は0mg/Lの試験水を毎日入れ換える。

● 試行回数：6回（N=6）



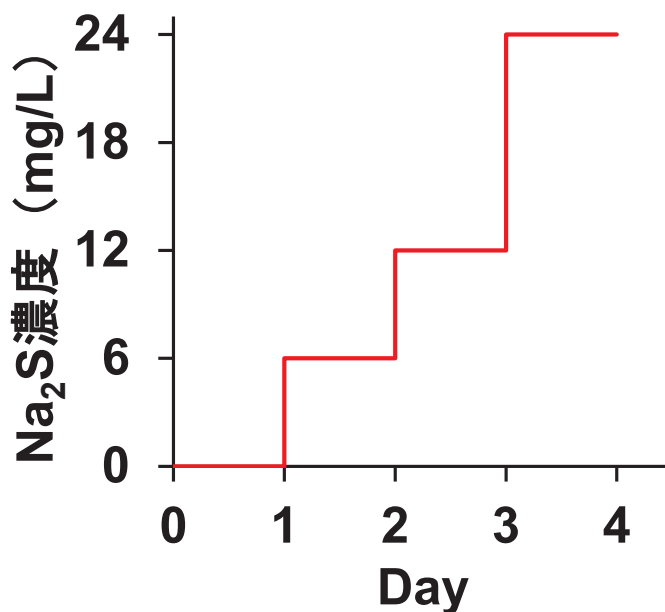
ばく露試験（溶存メタン影響）の結果

観察日	試験区 CH ₄ 濃度 (mg/L)	生残率 (%)		自切発生率 (%)		起き上がり行動 実施率 (%)	
		対照区	試験区	対照区	試験区	対照区	試験区
Day1	0						
Day2	1						
Day3	0						
Day4	2						
Day5	0						
Day6	4						
Day7	0						
Day8	8						



ばく露試験（溶存硫化水素影響）

ステップワイズばく露方式



- 対照区は0mg/Lの試験水を毎日入れ換える。

- 試行回数：6回 (N=6)

- Na₂S溶液のS総量測定

↓ 算出

Free H₂S



ばく露試験（溶存硫化水素影響）の結果

観察日	試験区 Na ₂ S 濃度 (mg/L)	生残率 (%)		自切発生率 (%)		起き上がり 行動実施率 (%)	
		対照区	試験区	対照区	試験区	対照区	試験区
Day1	0						
Day2	6						
Day3	12						
Day4	24						

※ Day3~4 (Na₂S濃度24mg/L) の平均Free H₂Sは**3.03mg/L**



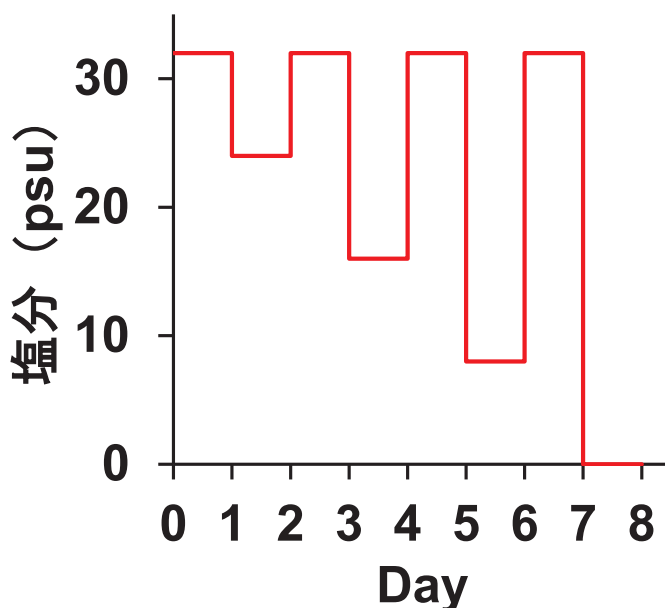
甲殻類3種の96時間半数致死濃度※の**約60-90倍**

※姜・松田 (1993)



ばく露試験（低塩分影響）

間欠型ばく露方式



- 対照区は32psuの試験水を毎日入れ換える。
- 試行回数：6回 (N=6)



ばく露試験（低塩分影響）の結果

観察日	試験区 塩分 (psu)	生残率 (%)		自切発生率 (%)		起き上がり行動 実施率 (%)	
		対照区	試験区	対照区	試験区	対照区	試験区
Day1	32						
Day2	24						
Day3	32						
Day4	16						
Day5	32						

※ Day4で全個体が死亡したため、その時点で試験終了
Day3~4の塩分は16psu
 予備試験では、塩分**21psu**で**生残率100%**



ばく露試験（低酸素影響）

溶存酸素飽和度：100（対照区）、60、20%の3段階

対照区

60%区

20%区



- 3試験区を同時に実施
- 試行回数：3回（N=3）



ばく露試験（低酸素影響）の結果

試験区	生残率 (%)	自切発生率 (%)	起き上がり行動実施率 (%)
対照区			
60%区			
20%区			

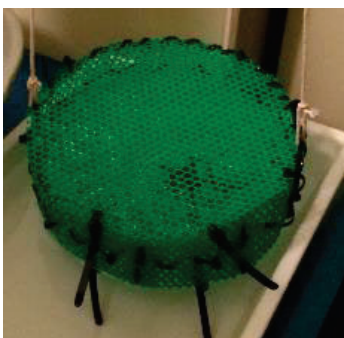
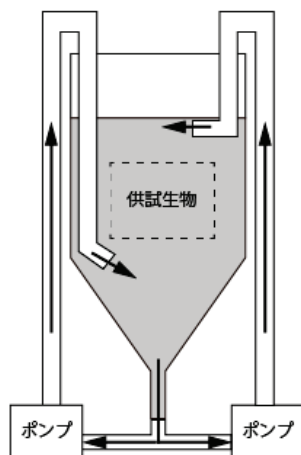
※ 20%区の試験開始時の溶存酸素濃度は約**2.4mg/L**

- 水産用水基準では、生物の生残に影響を及ぼさない溶存酸素濃度は**6mg/L以上**
- 24時間半数致死濃度はマダイで**2.0mg/L**、ヒラメで**1.6mg/L**※

※環境省（2014）

ばく露試験方法（高濁度試験）

● 試験装置



收容籠は上下に分かれており、各1個体收容

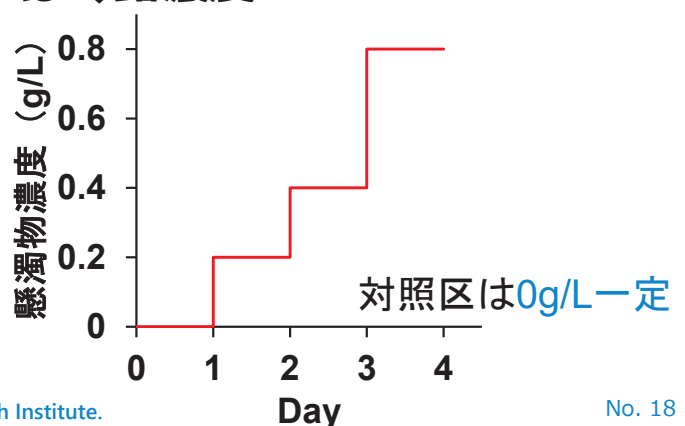
● 試験水温：6℃

● 評価項目

- ① 致死影響：生残率
- ② 行動影響：起き上がり行動
自切

● 懸濁物：カオリン（濁度試験の一般的な標準物質）

● ばく露濃度



高濁度ばく露試験の結果

観察日	試験区懸濁物濃度 (g/L)	生残率 (%)		自切発生率 (%)		起き上がり行動実施率 (%)	
		対照区	試験区	対照区	試験区	対照区	試験区
Day1	0.0						
Day2	0.2						
Day3	0.4						
Day4	0.8						

※ Day3~4 (懸濁物濃度0.8g/L) の平均濁度は**575NTU**

- 水産用水基準では、海域において人為的に加えられる懸濁物濃度は**2mg/L**以下
- ヒラメの24時間半数致死濃度は**9.9g/L**※



キタクシノハクモヒトデの急性致死影響

ストレス要因	致死影響 (24時間) の閾値	判定
溶存メタン	溶存メタン濃度 >16 mg/L (飽和)	高耐性
溶存硫化水素	硫化水素濃度 >3 mg/L	高耐性
高濁度	>575 NTU	?
低塩分	塩分 16-21 psu	比較的脆弱
低酸素	溶存酸素飽和度 <20%	高耐性



1. 背景

2. 適切な試験生物の選定・飼育

3. キタクシノハクモヒトデの影響評価試験

4. まとめ



まとめ

- **適切な試験生物**として、**キタクシノハクモヒトデ**、**ホッコクアカエビ**、**ベニズワイガニ**、**深海バイ類**、**深海ヨコエビ類**を選定し、飼育を順次開始。
- **キタクシノハクモヒトデの影響評価試験**
既往知見※と比較し、特に**溶存硫化水素**、**低酸素**に対して**高い耐性**がある。
→影響発現機序の推定について、産総研で**網羅的遺伝子発現解析**および**骨格観察・元素分析**を実施中。
- 今後、他の試験生物についても、ばく露試験を順次実施する予定。**複合影響試験**についても検討。

※丸茂・横田（2012a）、丸茂・横田（2012b）



ご清聴頂き、有難うございました。

謝辞

本研究は**経済産業省**の**メタンハイドレート研究開発事業**の一部として実施しました。関係各位に謝意を表します。



表層型メタンハイドレート賦存海域 における深海性ヨコエビの捕獲、 飼育および生物影響評価実験

公益財団法人海洋生物環境研究所
石田 洋、瀬尾絵理子、山本めぐみ
株式会社日本海洋生物研究所
向井稜

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
鈴木昌弘・塚崎あゆみ

国立研究開発法人産業技術総合研究所
地質調査総合センター 地質情報研究部門 海洋環境地質研究グループ
鈴木 淳・井口 亮・西島美由紀・池内絵里・喜瀬浩輝



背景

■ 目的

表層型メタンハイドレート開発に起因する潜在的な生物への影響を定量的に評価し、可能な場合は項目ごとに閾値等を設定すること。

■ ヨコエビ選択理由

- 遺伝子解析による、生物の多様性、連結性などの評価、ヨコエビもその対象生物。
- 深海性のヨコエビは、海洋物質循環や水産資源との関わりにおいて重要。
- 活力を維持した生存個体群を採取できる可能性。



- 生体試料捕獲
- 同定
 - 分子系統学的解析
 - 形態分析
- 飼育
 - 脱皮と成長
 - 繁殖
- 影響実験
 - 水温
 - 硫化水素
 - 低塩分
 - 低酸素



生体試料捕獲

■ 新世丸（深田サルベージ）



■ ROV Hakuyou 3000



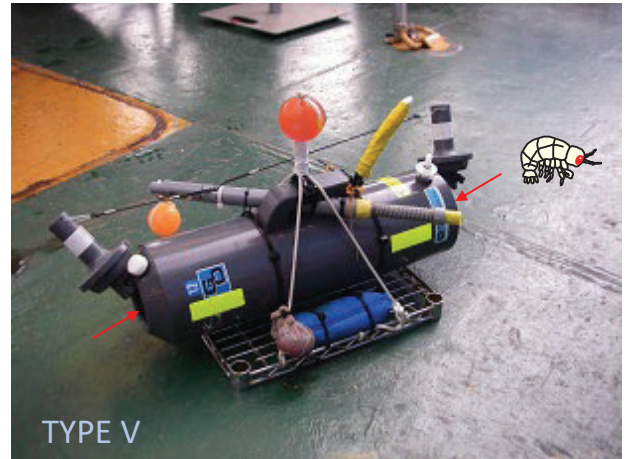
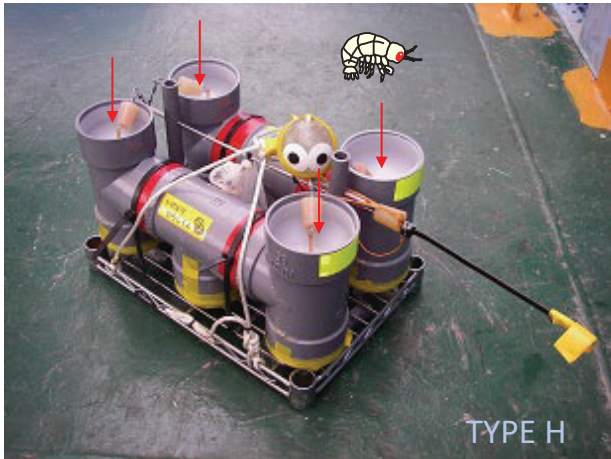
■ 海洋調査 上越沖、水深約1000m（水温1°C未満）

- SS21-2 2021/6/22 – 2021/7/14
- SS22-2 2022/8/19 – 2022/9/1



生体試料捕獲

■ ベイトトラップ フタができる = 採取生物と現地の海水を保持



■ 採集

設置期間	ベイトトラップ	個体数	水温 (回収時)	試料 ID
2021/7/4-7/8	TYPE H	70inds	6.2°C	2021TYPE_H
2021/7/9-7/13	TYPE V	300inds	6.6°C	2021TYPE_V
2022/8/20-8/25	TYPE H	300inds	3.7°C	2022TYPE_H
2022/8/23-8/30	TYPE V	200inds	10.7°C	2022TYPE_V



同定



同定

分子系統学的解析 ミトコンドリアCOI解析



端脚類系統樹

形態分析

2021TYPE_V
2022TYPE_H
2022TYPE_V } 類似

Ishida et al., 2023



公益財団法人
海洋生物環境研究所

© 2023 Marine Ecology Research Institute.

No. 7

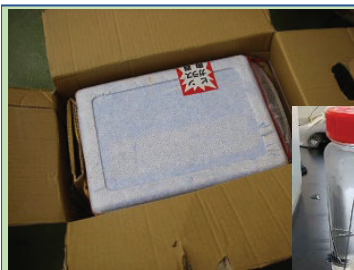
飼育



海から



陸へ



エサ: マアジ

- 10-20日間隔
- 海水交換
- DO, pH, 水温



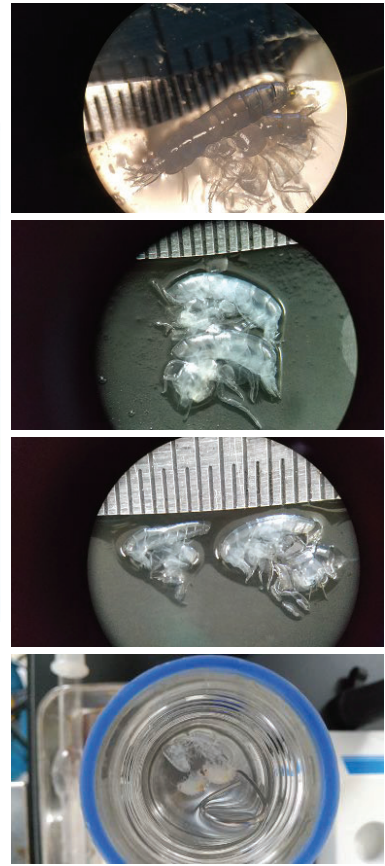
公益財団法人
海洋生物環境研究所

© 2023 Marine Ecology Research Institute.

No. 8

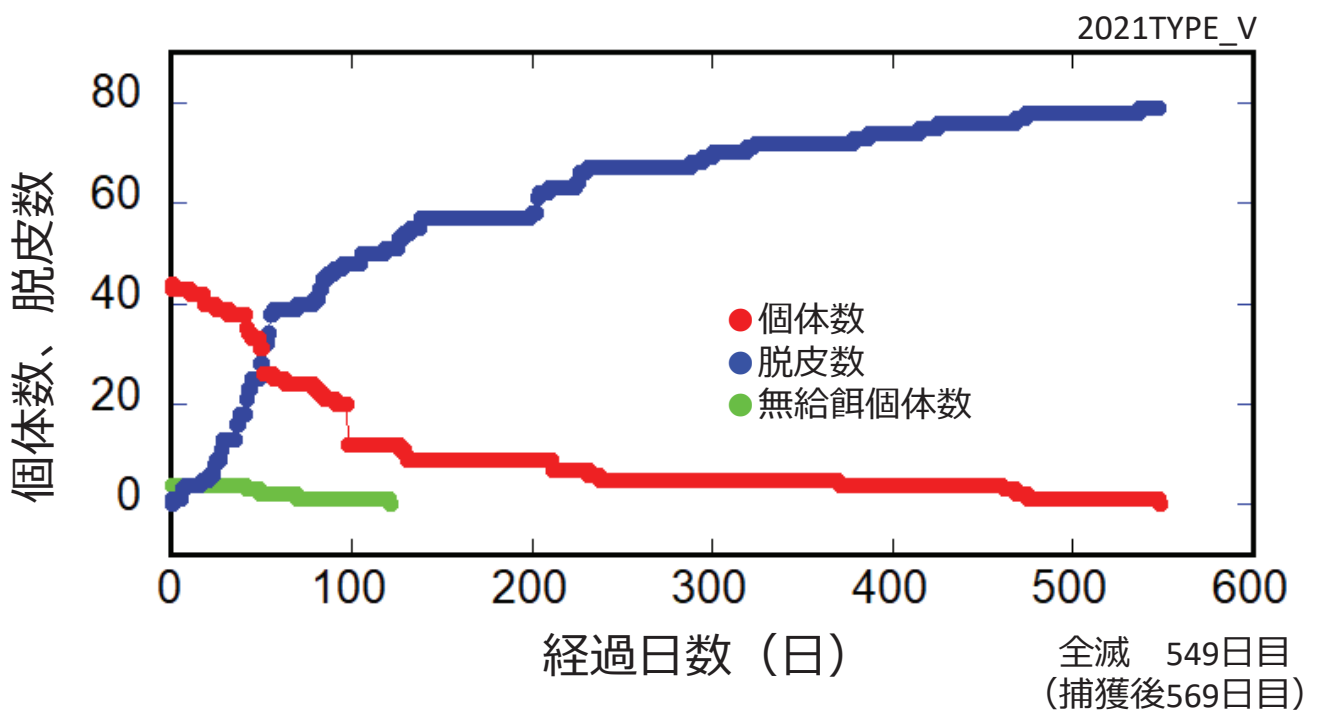
飼育

■脱皮



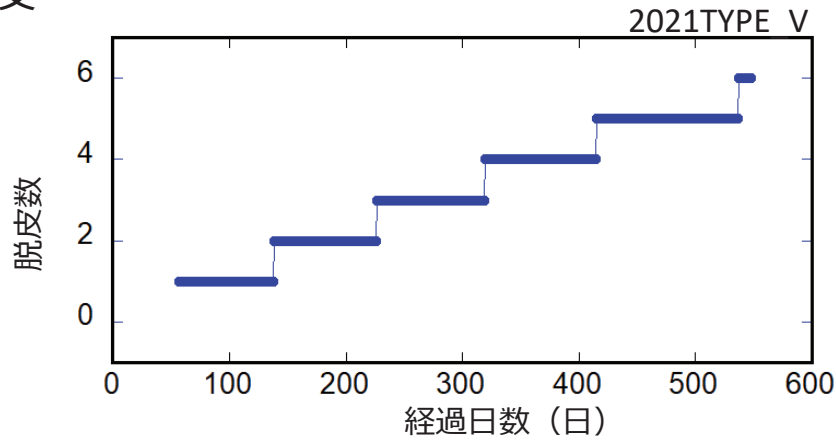
飼育

■個体数と脱皮数

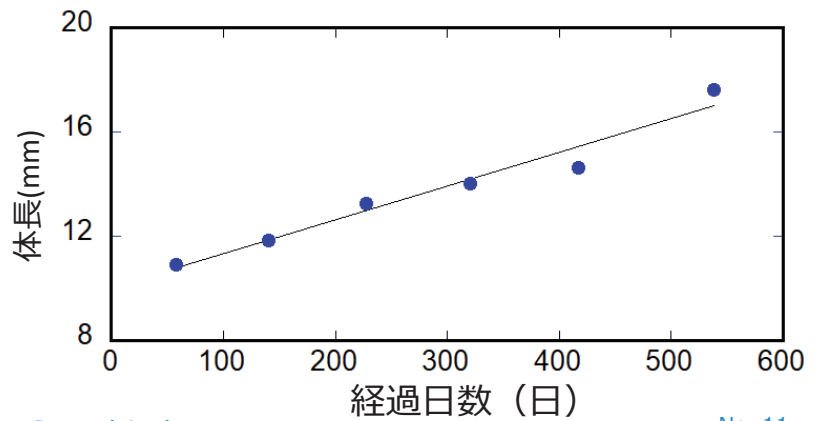


飼育

■脱皮



■成長



飼育

■繁殖

SS22-2 2022TYPE H

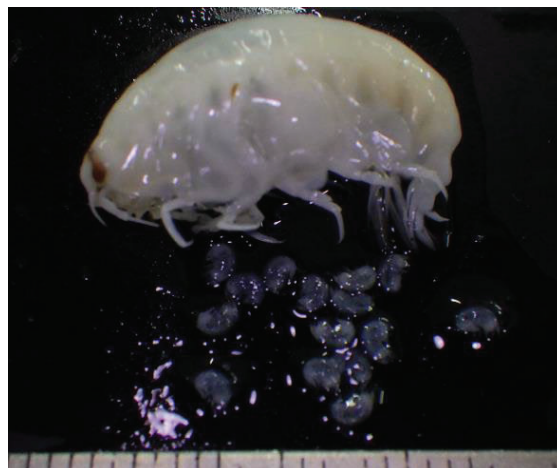


17.1-27.7mm

仔の発生



4.08 ± 0.41 mm 4-28 inds.



飼育

■繁殖

SS22-2 2022TYPE H



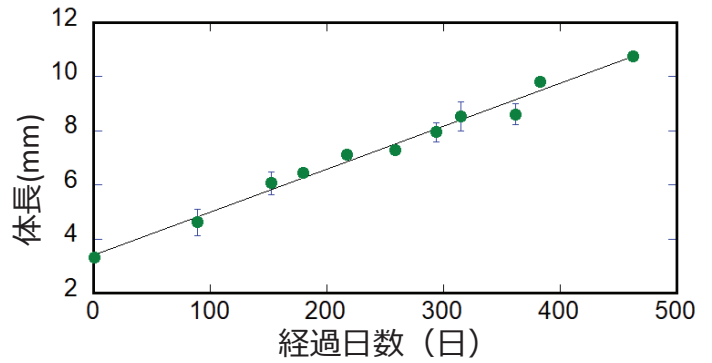
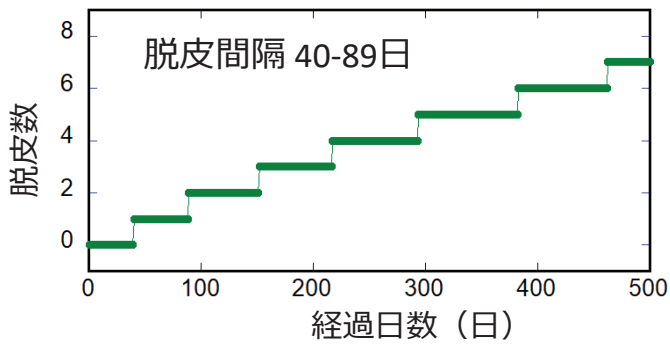
17.1-27.7mm

仔の発生



4.08±0.41mm 4-28 inds.

■脱皮と成長 仔6個体、個別飼育



公益財団法人
海洋生物環境研究所

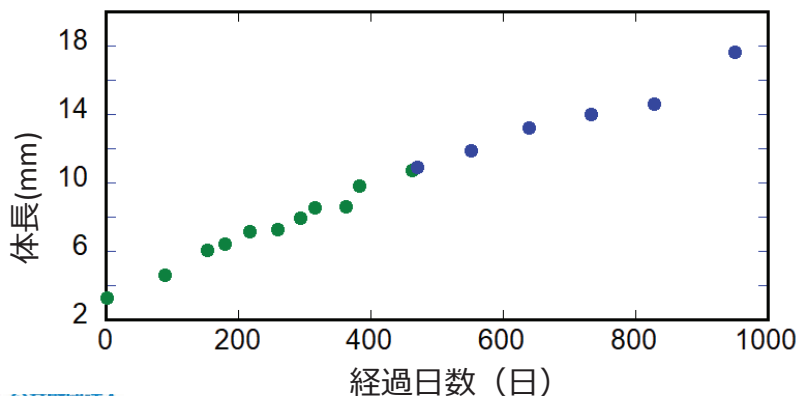
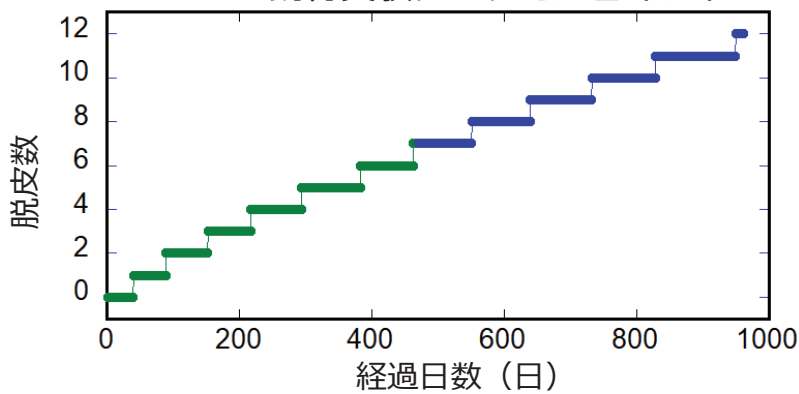
© 2023 Marine Ecology Research Institute.

No. 13

飼育

■脱皮と成長

2つの飼育実験データをジョイント



仔



成長

約1000日
脱皮12回

成熟

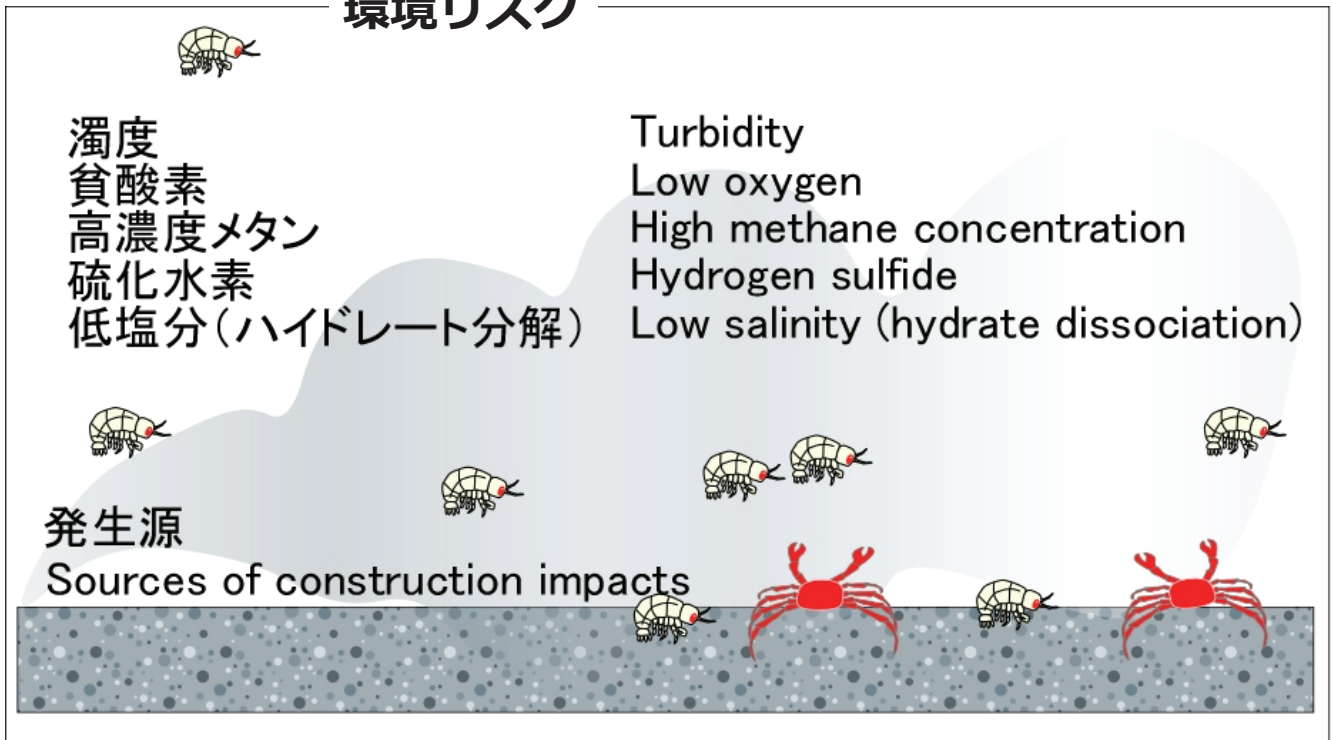


公益財団法人
海洋生物環境研究所

© 2023 Marine Ecology Research Institute.

No. 14

環境リスク



影響実験

■水温

■硫化水素 (H₂S)

■低塩分

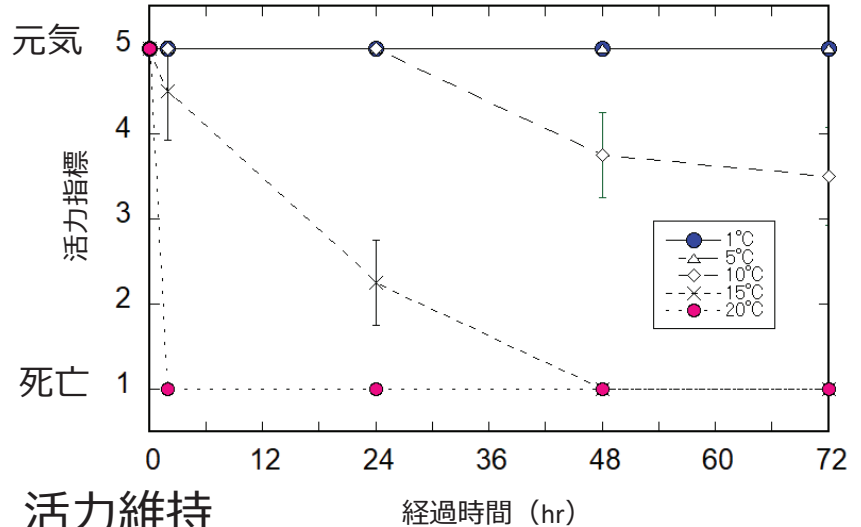
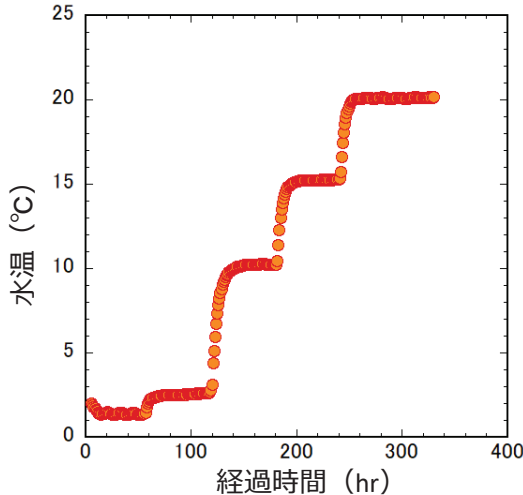
■低酸素



水温

■実験（生体取り扱い）の注意事項として水温耐性を確認

- 水温を1°Cから段階的5°C~20°Cまで5°Cずつ上昇させる。
- 1個体ずつチャック付ビニール袋に收容し各水温4個体準備。
- 各水温で72時間ばく露し、活力、生死判定を行う。



5°C 活力維持
10°C 活力低下
15°C 48時間で死滅



硫化水素

- メタンハイドレート胚胎域では、嫌氣的メタン酸化に伴い大量の硫化水素が生成。
- 分子状の硫化水素は、水生生物に対して強い毒性を示す。
- 海水pHが8未満では、硫化水素は分子状の割合が高い。
- 当該海底では、pHは8を下回る。
- メタンハイドレート開発による海底攪乱が硫化水素による影響を及ぼす可能性が考えられる。



硫化水素

■方法

- 試薬 : $\text{Na}_2\text{S} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- 100mg を超純水に溶解して原液を調製。
- ばく露試験の原海水は、pH7.0-7.3になるよう塩酸で調製。
- ばく露試験海水は、約1000mlの原海水に、S総量として設定濃度となるように、添加して準備。
- 0℃に設定した冷蔵庫に静置。
- それぞれの濃度のばく露試験海水に12個体を収容し、96時間まで実施。
- ばく露試験海水は、24時間経過時に入れ替え、その際、活力・生死判定。
- 毎24時間開始時と終了時に水質 (pH, DO, 水温) を測定。
- S総量は、バックテストで測定。
- 硫化水素濃度 (H_2S)は、水温、pHおよびpKから計算。

$$\text{H}_2\text{S} = \frac{1}{1 + 10^{\text{pH}-\text{pK}}} \times \text{Na}_2\text{S} (\text{S}^{2-}) \quad (\text{APHA, AWWA, WEF, 1999})$$
$$\text{pK} = -0.017 \times \text{Water temperature } (^\circ\text{C}) + 7.0436$$

@salinity 30PSU



硫化水素

試験区 (S総量設定値(mg/L))	1回目	2回目	3回目
対照	○	○	○
0.1	○		
0.25	○		
0.5	○	○	○
1	○	○	○
1.5	○		○
2	○	○	○
2.5	○		
4	○	○	○



硫化水素

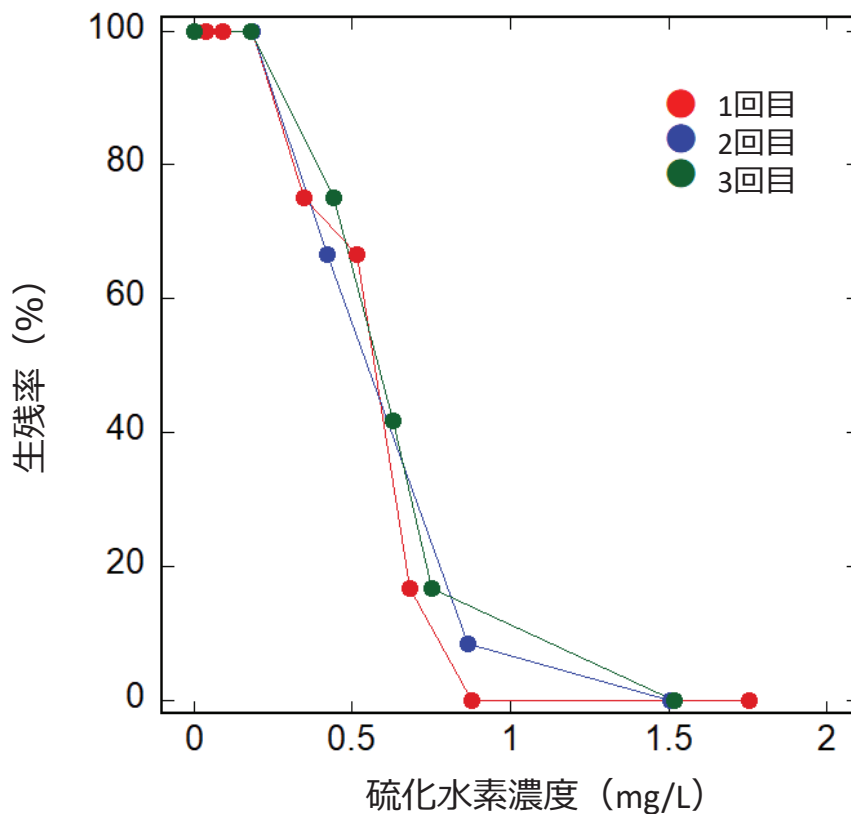
試験区	1回目				大きさ (mm)	
	pH	DO (%)	Total S (mg/L)	H ₂ S (mg/L)		
対照	7.15 (0.13)	86.4 (1.1)	0	0	9.5 (1.0)	
0.1	7.07 (0.05)	88.3 (3.3)	0.08(0.04)	<i>0.12</i>	0.04 (0.02)	9.5 (2.2)
0.25	7.09 (0.03)	89.7 (1.9)	0.19 (0.07)	<i>0.26</i>	0.09 (0.04)	9.3 (1.2)
0.5	7.11 (0.00)	89.6 (1.2)	0.42 (0.13)	<i>0.53</i>	0.19 (0.06)	8.6 (1.3)
1	7.17 (0.06)	88.6 (5.0)	0.83 (0.26)	<i>1.07</i>	0.35 (0.11)	9.8 (1.9)
1.5	7.24 (0.07)	89.1 (3.5)	1.37 (0.30)	<i>1.64</i>	0.52 (0.12)	9.5 (1.2)
2	7.26 (0.04)	89.7 (2.8)	1.88 (0.54)	<i>2.34</i>	0.68 (0.20)	9.2 (1.2)
2.5	7.22 (0.06)	87.3 (3.7)	2.26 (0.51)	<i>2.68</i>	0.88 (0.22)	10.5 (1.6)
4	7.14 (0.02)	85.2 (5.1)	3.85 (0.44)	<i>4.20</i>	1.65 (0.20)	9.8 (0.8)

数値は平均値、(): 標準偏差、斜体: 毎24時間開始時の平均値



硫化水素

■ 96時間における生残率



低塩分

■低塩分水の生成

メタンハイドレート分解、ガス生成（減圧、水温上昇）の場合

■方法

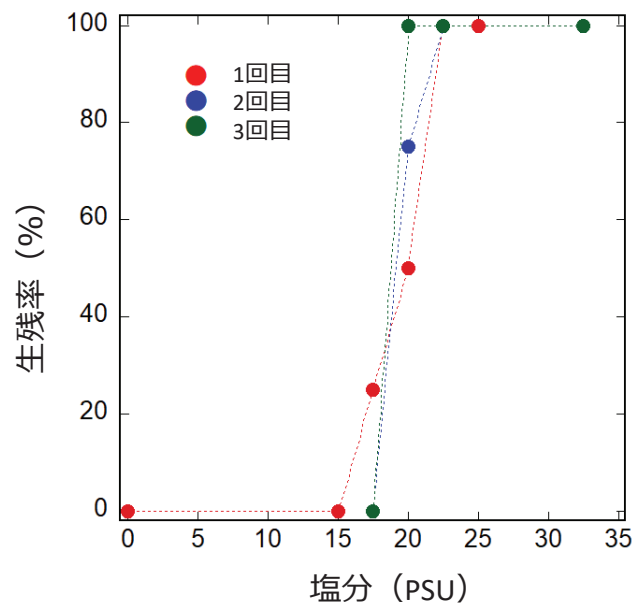
- 原海水（32.5PSU）を対照区とし、原海水を市販の天然水で希釈して、25, 22.5, 20, 17.5, 15, 10 PSUおよび天然水のみを試験区を設定。
- 1個体ずつチャック付きビニール袋にいれて各試験区4個体で実施。
- 0℃に設定した冷蔵庫に静置。96時間継続、3回実施。
- 24時間経過毎に、各試験区の活力・生死判定と水質測定(pH,DO,水温)。



低塩分

試験区 塩分濃度(PSU)	1回目	2回目	3回目	大きさ (mm)
対照	○	○	○	8.2 (1.5)
25	○			7.1 (1.1)
22.5	○	○	○	7.7 (0.8)
20	○	○	○	7.3 (1.1)
17.5	○	○	○	8.1 (1.1)
15	○			8.1 (1.0)
0	○			8.5 (1.2)

平均値
(): 標準偏差



低酸素

■貧酸素化

現場の酸素飽和度は約60%

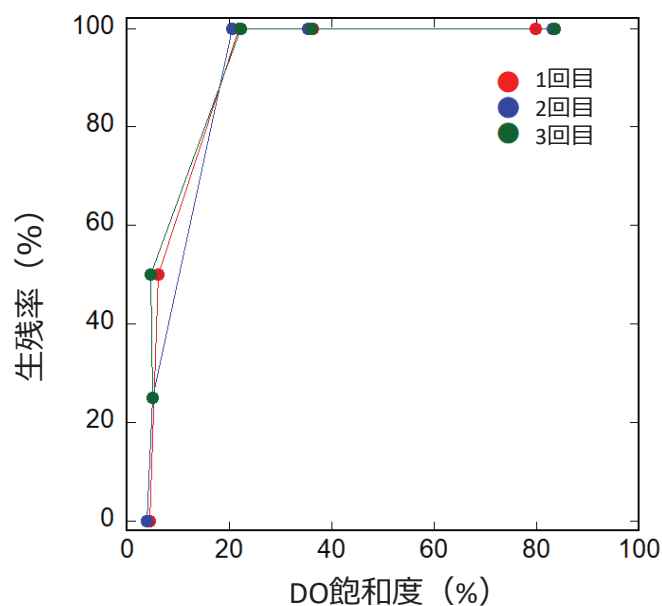
- 原海水を対照区 (DO 80%) とし 50, 25, 10, <10%を設定。
- 酸素瓶に4個体収容。
- 96時間ばく露。
- 24時間毎にDO測定、入れ替え (<10%は入れ換え無し)、活力・生死判定。



低酸素

試験区 DO飽和度	1回目			
	全データ	毎24時間初期値	毎24時間経過時	大きさ (mm)
10%>	4.5 (4.4)	7.6	1.4	9.5 (1.2)
10%	6.2 (1.8)	7.3 (1.3)	5.1 (1.5)	9.8 (0.7)
25%	21.9 (4.8)	26.6 (1.4)	17.7 (2.2)	8.3 (0.9)
50%	36.3 (9.9)	45.3 (2.0)	27.3 (3.2)	9.2 (1.4)
対照	79.9 (9.0)	87.3 (3.2)	72.5 (5.6)	9.1 (2.6)

数値は平均値 (%)、(): 標準偏差



まとめ

- メタンハイドレート賦存海域（水深1,000m）から、ベイトトラップ法によりヨコエビの生体試料採集に成功。
- 遺伝子分析により、採取したヨコエビの種類を同定。
- 500日以上の飼育に成功し、仔の発生、成熟個体までの成長、成長速度に関する知見を得た
 - ⇒ 陸上施設での影響評価試験手法を確立
- 硫化水素、低塩分、貧酸素に対する影響実験の試行。
- 既往知見と比較して、硫化水素、低酸素に対し高い耐性を確認。

今後の予定

- より詳細な影響試験の実施（無影響濃度・複合影響など）。
- 水産有用種を対象とした採取法・試験法の検討。
- 海域攪乱試験等に即した生物影響手法の検討。



謝辞

本研究は、経済産業省のメタンハイドレート研究開発事業の一部として実施しました。

関係者の皆様に、心より感謝申し上げます。



表層型メタンハイドレートの研究開発 2023年度 研究成果報告会

ー表層型メタンハイドレート賦存海域における 環境影響予測モデルー

令和6年2月29日

(株)サイエンスアンドテクノロジー 林 正能

本日の発表

- 環境影響予測モデル開発研究の背景
- 海域環境特性の把握
- 想定されるメタン湧出域生態系への環境影響シナリオ
- 開発中のメタン湧出域生態系モデル
- 試算結果
- メタン湧出域生態系モデルの現況再現に向けて

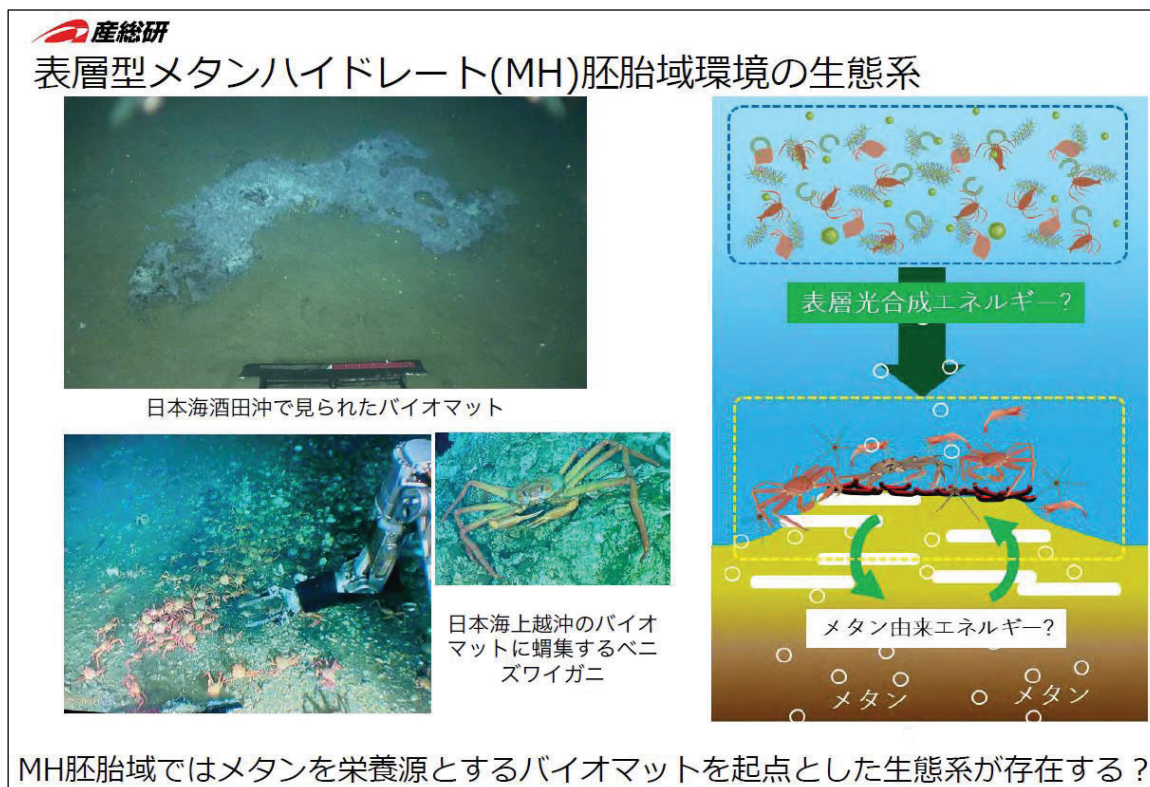
■表層型メタンハイドレートの開発における将来の環境影響評価を見据えて、海域環境（主に生態系）の変化を予測する手法（数値モデル）の開発を目指す



引用) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所：表層型メタンハイドレートの研究開発 2022年度 研究成果報告会 資料1「2022年度の取り組みについて」p.3

海域環境特性の把握 特徴的な生物

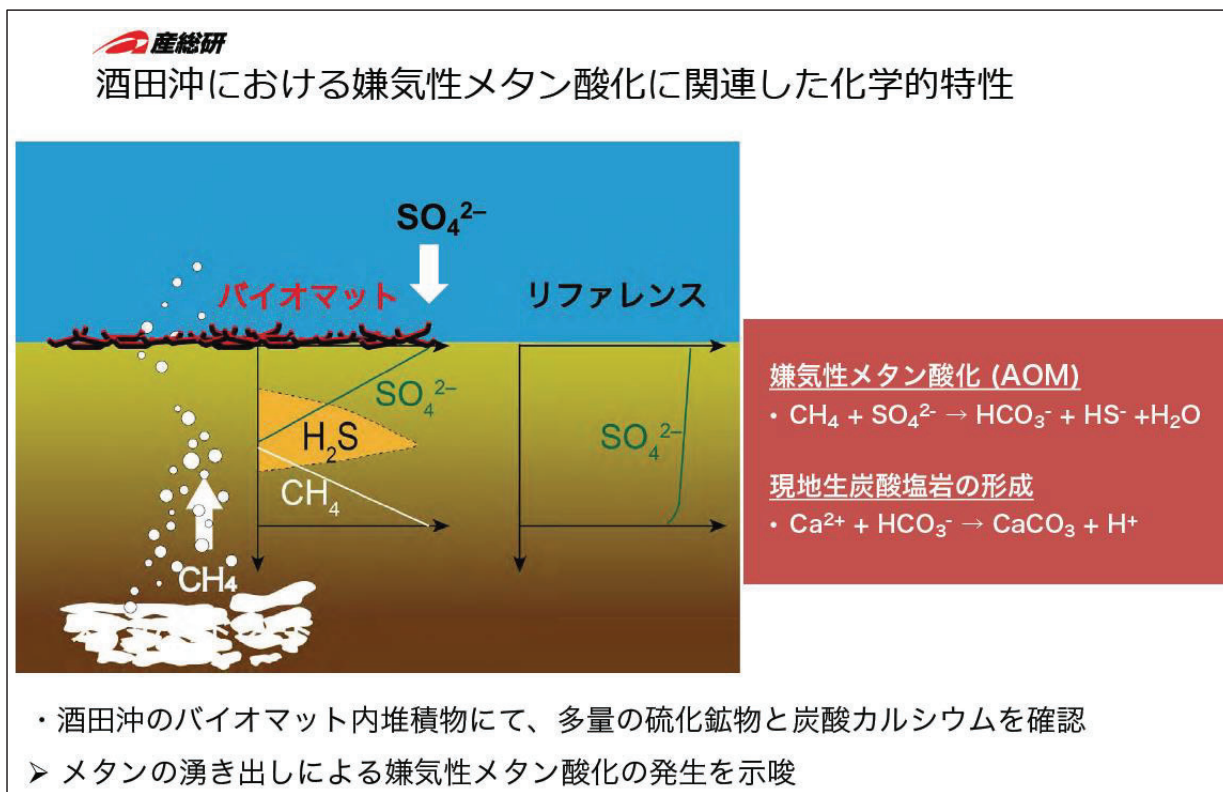
■表層型メタンハイドレート胚胎域においてはバクテリアマット（イオウ酸化菌：化学合成生態系の一次生産者）および蛸集するベントスが確認されている ⇒生物のエネルギー源は？



引用) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所：表層型メタンハイドレートの研究開発 2021年度 一般成果報告会 資料10「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」

海域環境特性の把握 バクテリアマット内の化学特性：嫌気性メタン酸化

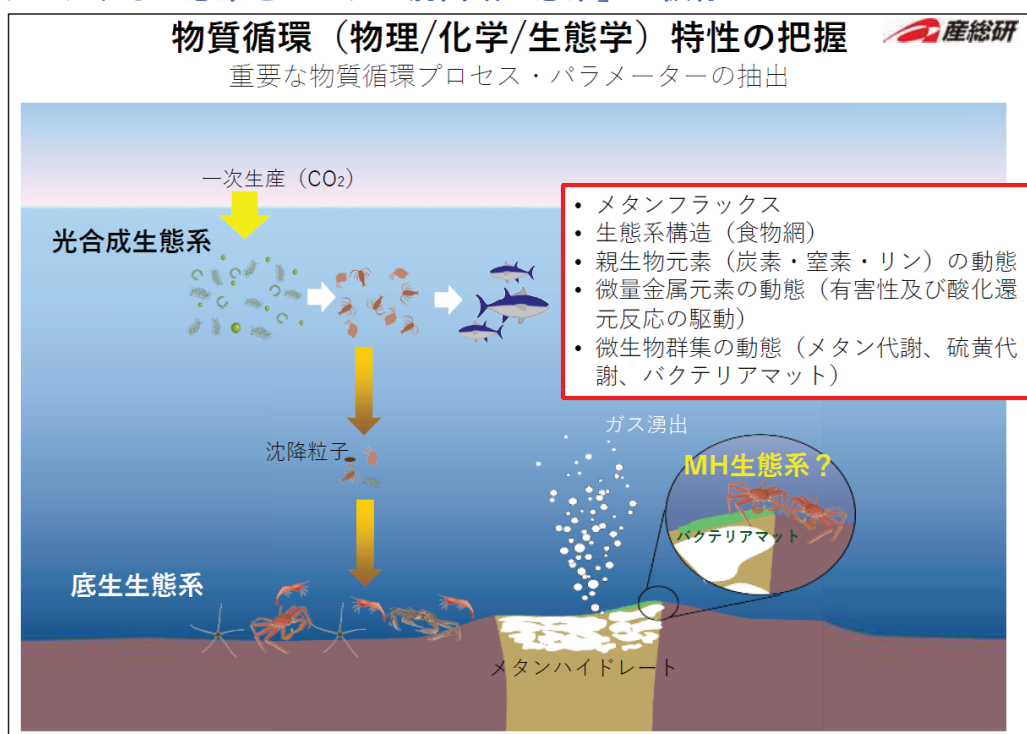
■バクテリアマット下の堆積層内では、嫌気性条件下でメタン酸化（硫酸還元）及び炭酸カルシウム形成が生じることが示唆されている ⇒バクテリアマットのエネルギー源は硫化水素(HS⁻)？



引用) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所：表層型メタンハイドレートの研究開発 2021年度 一般成果報告会 資料10「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」

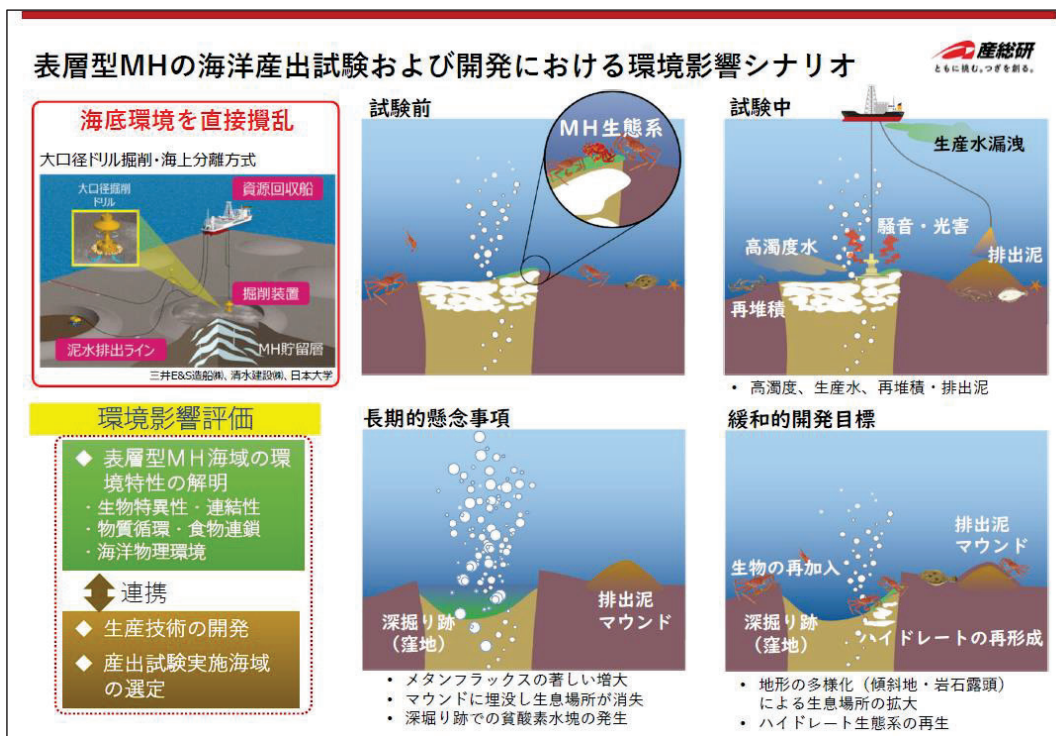
海域環境特性の把握 生態系構造：3つの生態系がリンク

■海域環境調査により当該海域は、植物プランクトンを中心とした「光合成生態系」、沈降粒子を餌とする底生生物を中心とした「底生生態系」、メタン由来をエネルギー源とするバクテリアマットを中心とした「メタンハイドレート (MH) 生態系」がリンクしている可能性が示唆 ⇒3つがリンクする生態系を「メタン湧出域生態系」と仮称



引用) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所：表層型メタンハイドレートの研究開発 2019年度 一般成果報告会 「環境影響評価」

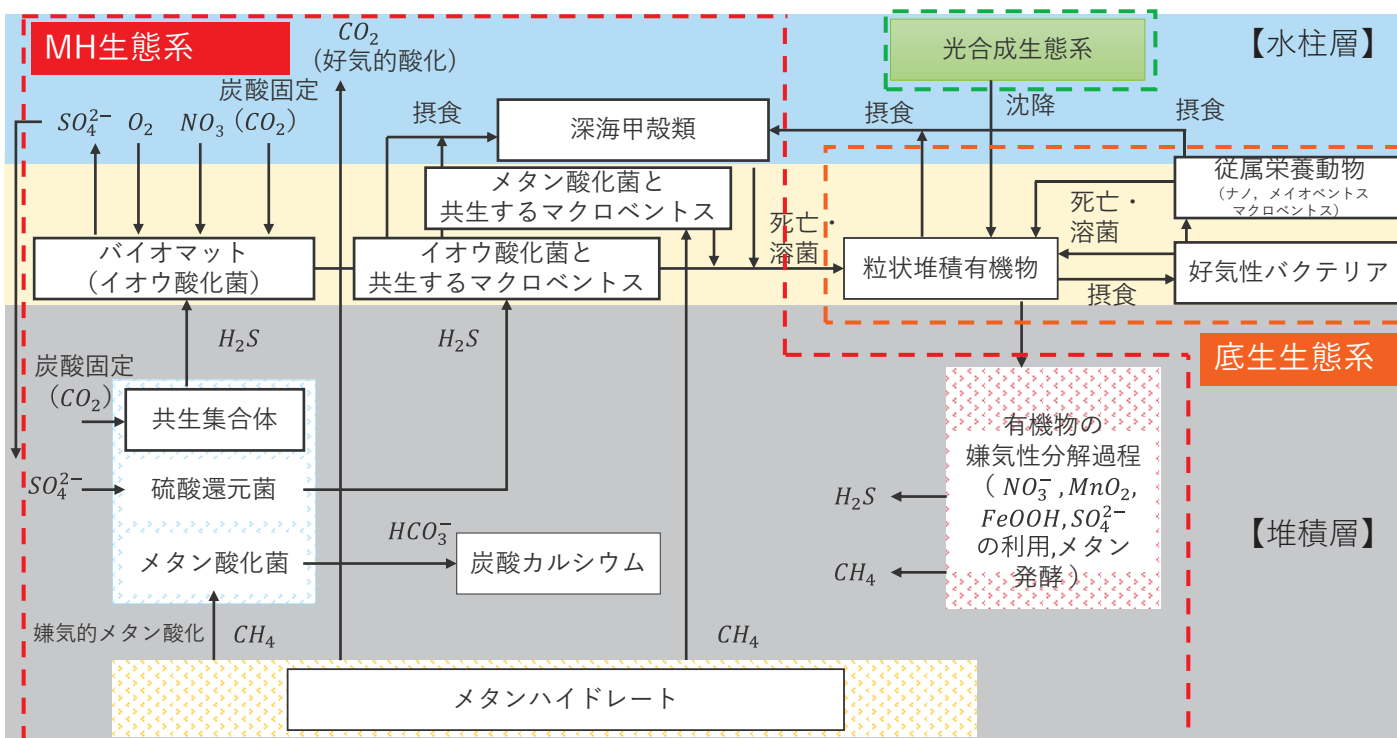
■回収・生産技術が海底環境を直接擾乱。メタンフラックス変化、生産水漏洩、排出泥マウンド形成、高濁度プルーム発生などにより、メタン湧出域生態系が影響を受ける可能性が想定



引用) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所: 表層型メタンハイドレートの研究開発 2022年度 研究成果報告会 資料8「環境影響評価の概要と進捗」

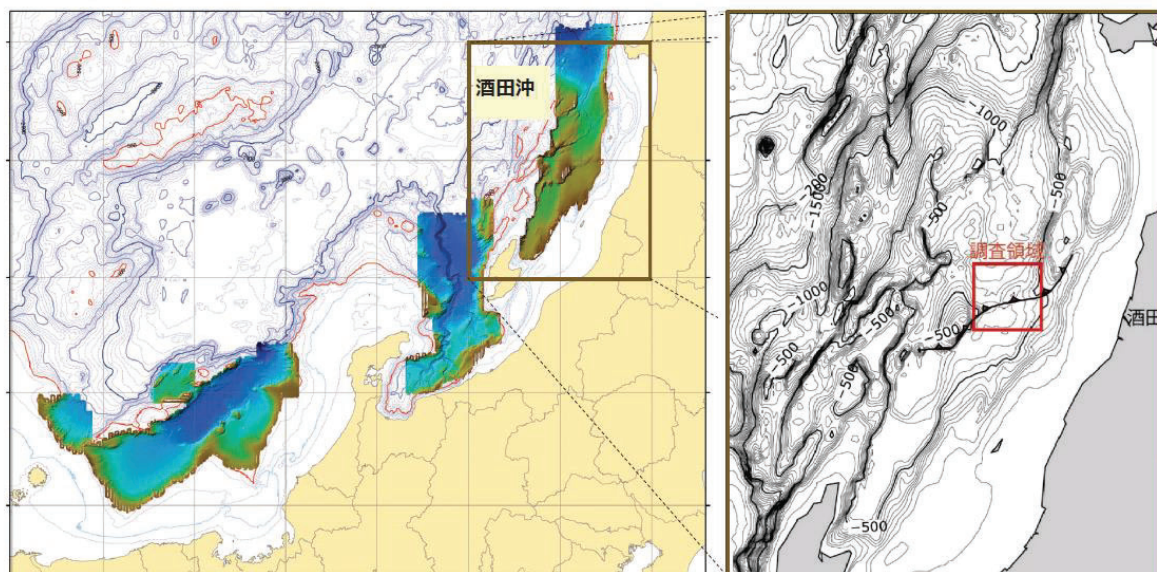
開発中のメタン湧出域生態系モデル 概略図

■イオウ酸化菌など代表的な生物群集の動態、生物要素間の物質(炭素、窒素、リン、マンガン、鉄、硫黄)の流れや、堆積物表層-水柱間の物質交換を考慮した数値モデルを設計



単位: $mg \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$

はじめに 調査海域 最上トラフ(山形県酒田沖)

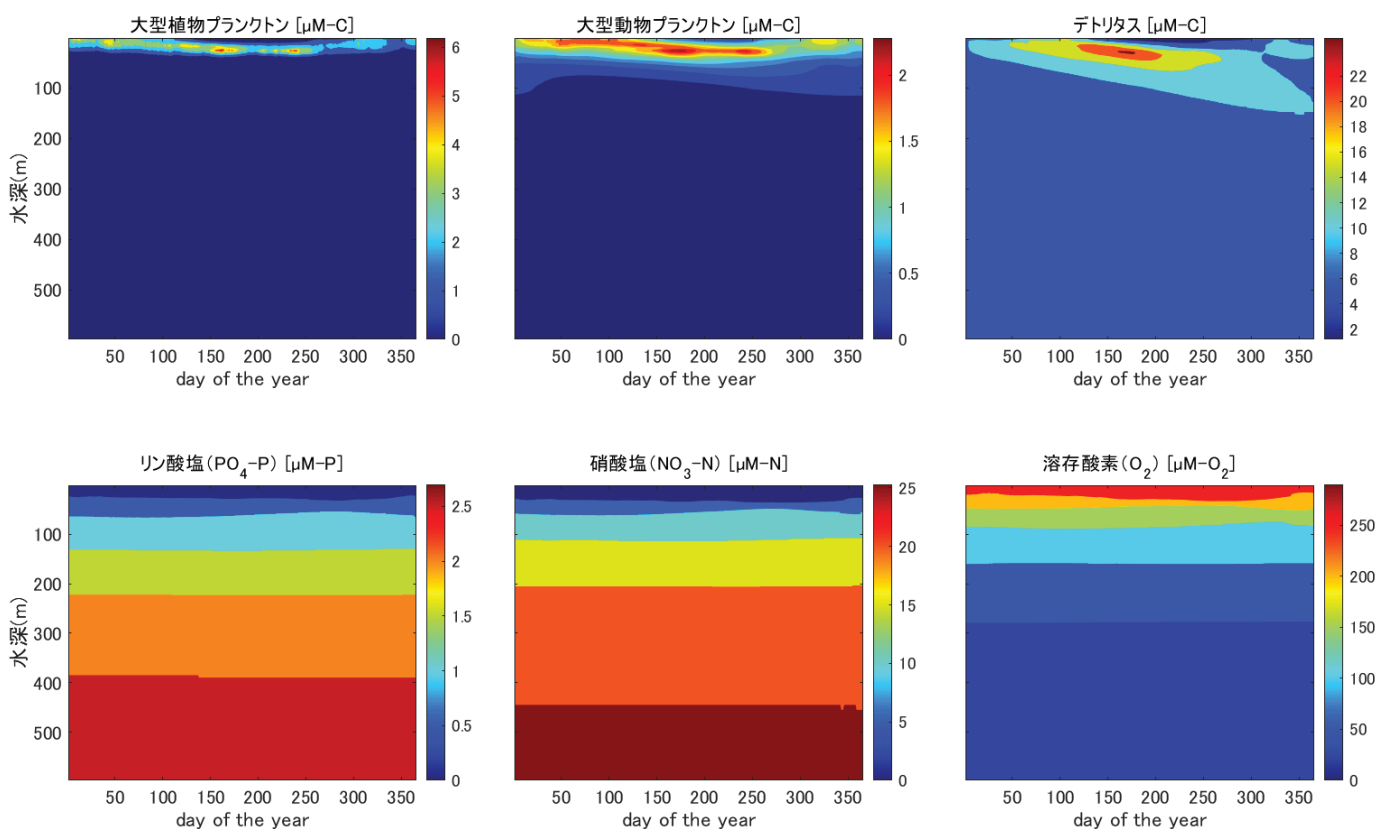


活構造は岡村ほか（1998）を参照

酒田沖のバクテリアマット内外（鉛直1次元）を対象として試算を実施

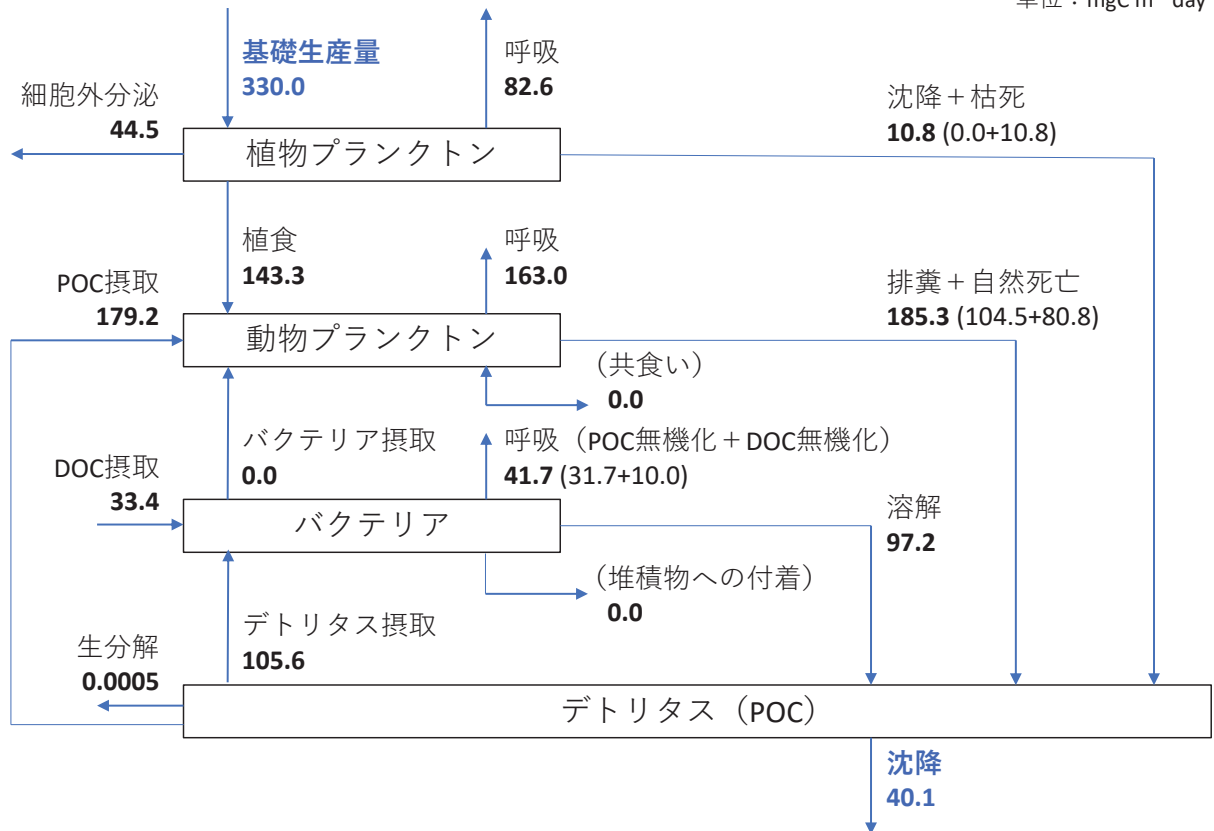
引用) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所：表層型メタンハイドレートの研究開発 2022年度 研究成果報告会 資料5「物理探査データの再解析及び統合処理 -山形県酒田沖 酒田海丘（仮称）海域-」

光合成生態系の時間応答確認 例：動植物プランクトン、デトリタス等



光合成生態系における炭素循環の応答確認 例：基礎生産量など

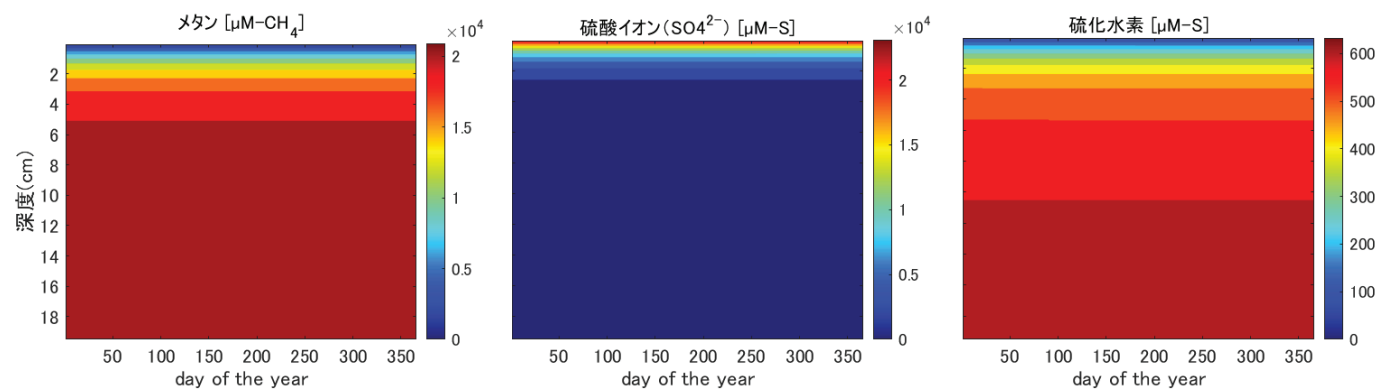
単位：mgC m⁻² day⁻¹



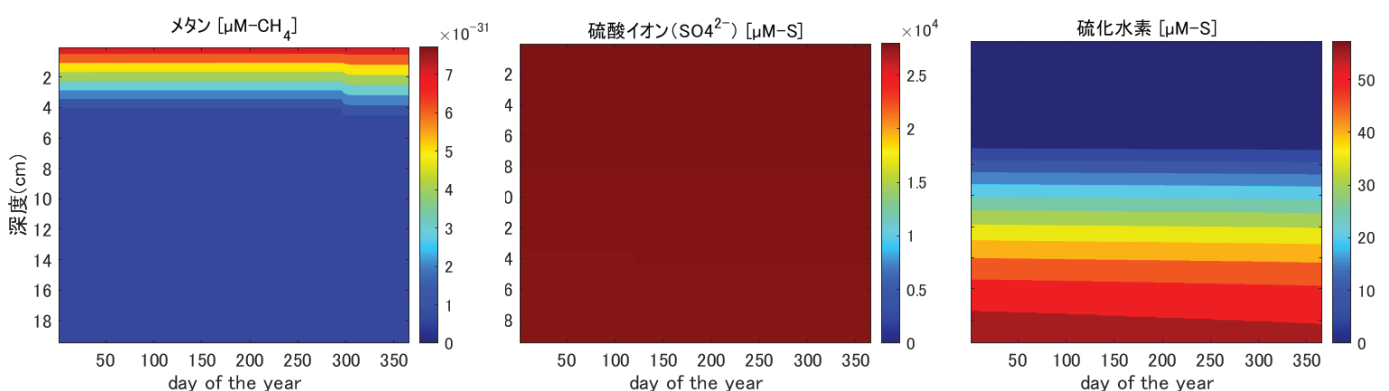
11

堆積層内の時間応答確認 例：メタン、硫酸イオン、硫化水素

【バクテリアマット内】



【バクテリアマット外】

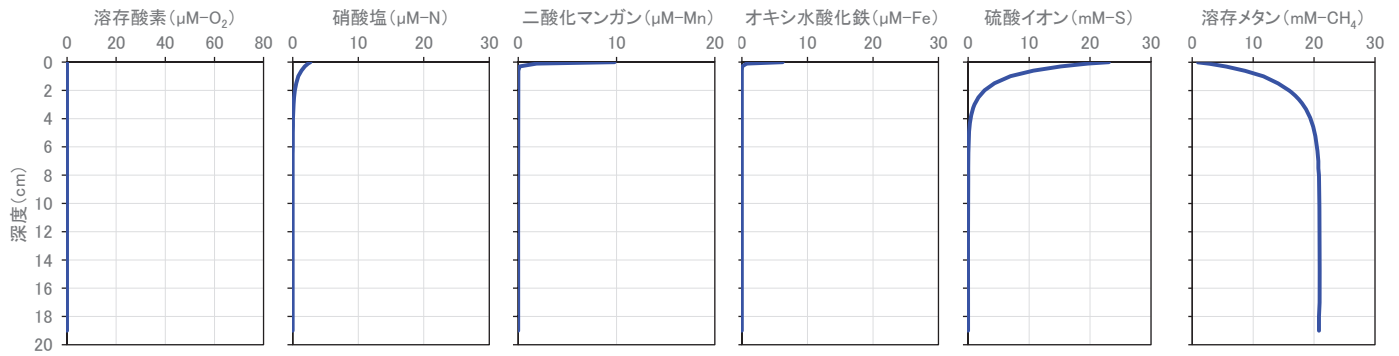


12

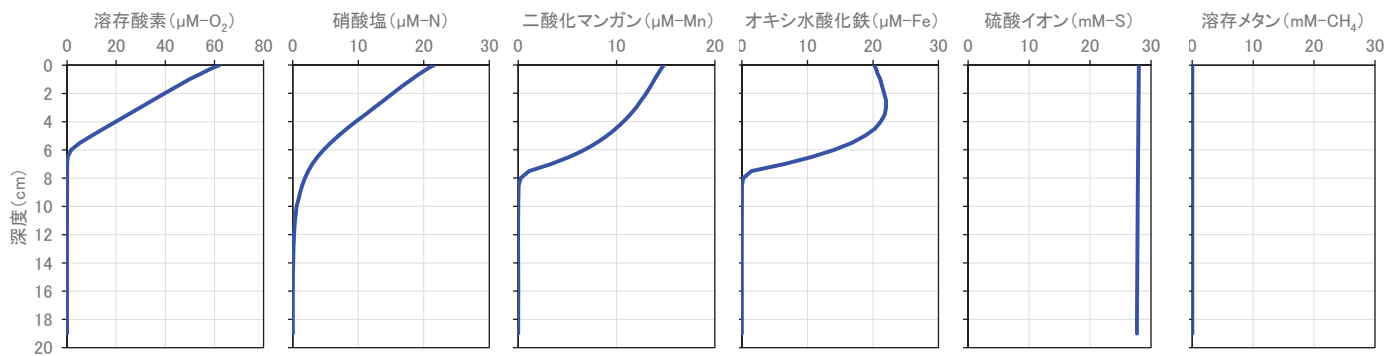
堆積層における化学過程の応答確認 有機物の分解過程

【バクテリアマット内】

$\mu\text{M} = \mu\text{mol L}^{-1}$
 $\text{mM} = \text{mmol L}^{-1}$



【バクテリアマット外】

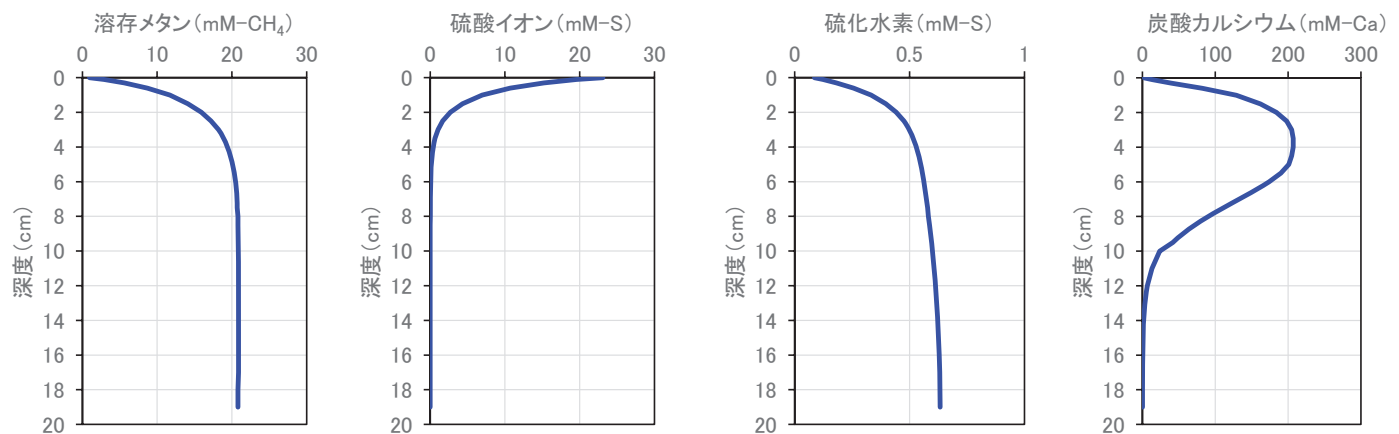


13

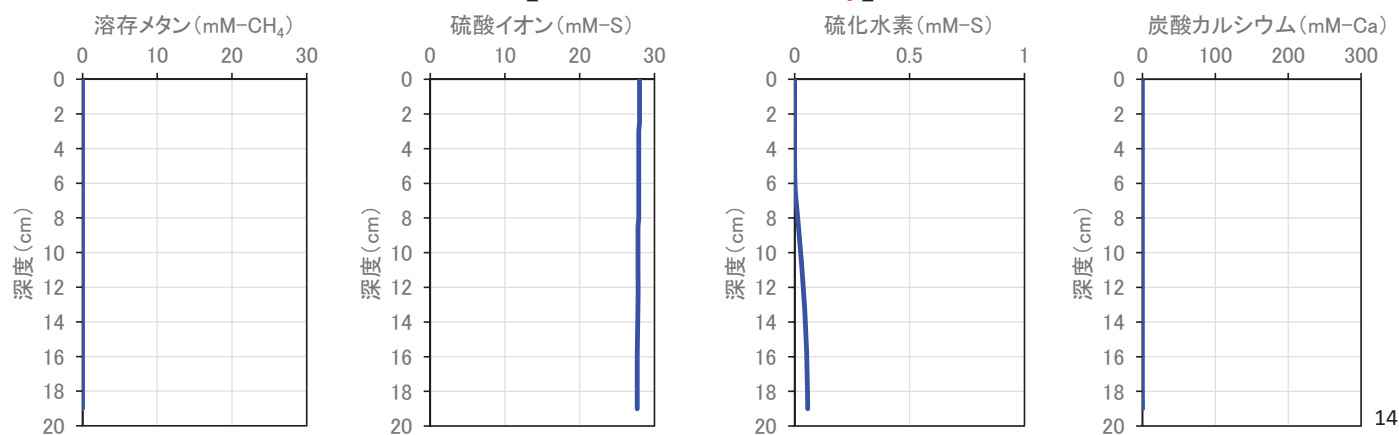
堆積層における生物化学過程の応答確認 嫌気性メタン酸化

【バクテリアマット内】

$\text{mM} = \text{mmol L}^{-1}$



【バクテリアマット外】

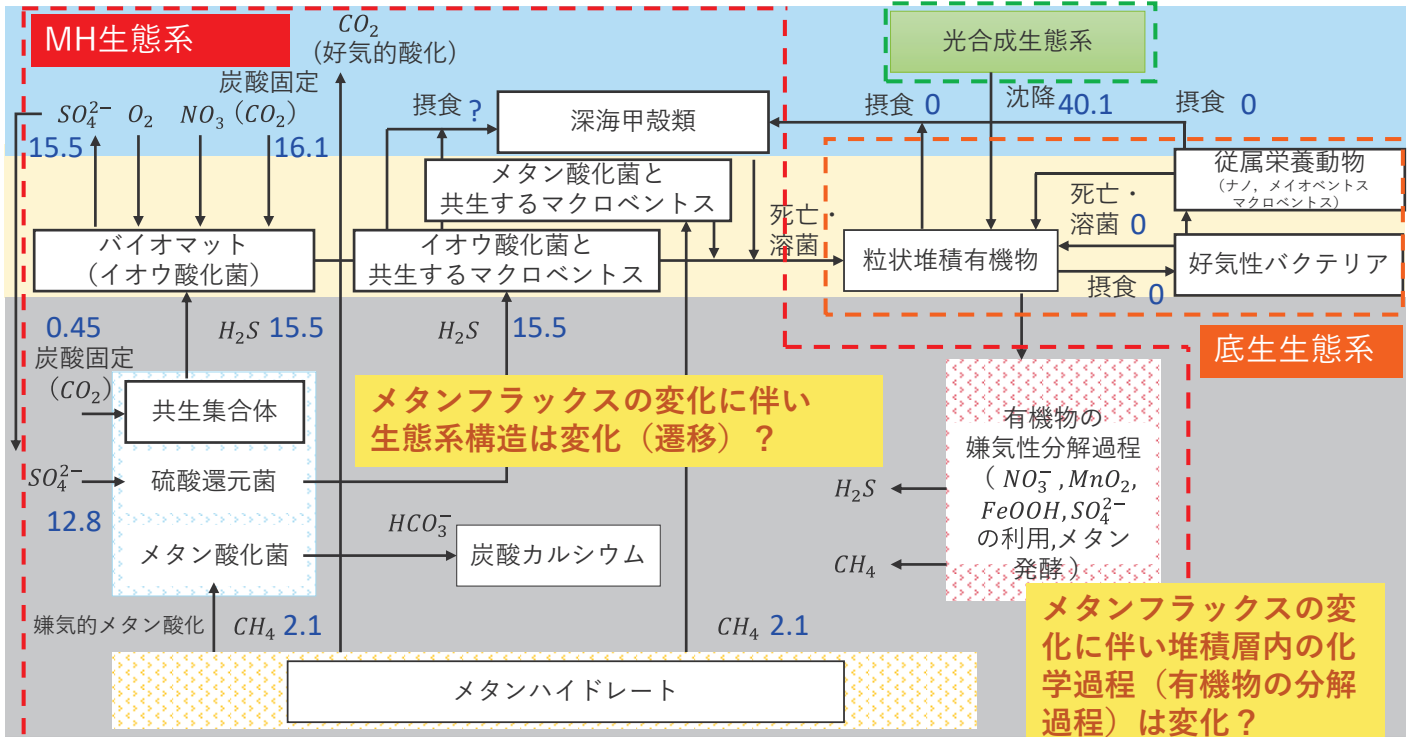


14

メタン湧出域生態系の物質循環の応答確認 メタン, イオウ, 炭素

■事業前のメタン湧出域生態系の物質循環を把握
 ⇒環境影響シナリオで想定される環境の変化を定量的に解析可能

生産水の漏洩により光合成生態系（基礎生産量など）は変化？



単位：mg·m⁻²·day⁻¹

15

メタン湧出域生態系モデルの現況再現に向けて 海域環境調査の利用

■環境影響シナリオで想定される環境の変化を定量的に解析するためには、メタン湧出域生態系モデルが現況再現可能であることの実証が必要

海洋調査（海底の状況等の把握）について

- 海底地盤強度調査を、2021年度に酒田沖、2022年度に上越沖で実施。取得したコーン貫入試験（CPT；酒田沖のみ）、地質試料採取（→室内土質試験）、ワイヤライン検層（酒田沖ではPS検層のみ）のデータを解析中。
- 海底現場状況調査のための長期観測を、酒田沖で2020～2021年度に、上越沖で2022～2023年度に実施。

⑩ 海底地盤強度調査

酒田沖（2021年度）
上越沖（2022年度）

POSEIDON-1（酒田沖） ちきゅう（上越沖）
掘削調査船

佐藤・鈴木報告

原位置CPTの例

掘削調査船
ワイヤーで吊り下げ
海底に台を設置（計測終了後回収）
海底
一定速度でさし込み

⑨ 海底現場状況調査

酒田沖（2020～2021年度）、上越沖（2022～2023年度）

ROV母船（新世丸） ROV（はくよう3000）

セシメントラップ

沈降粒子を採取

CTD 濁度計 溶存酸素計

CTD：塩分濃度、水温、圧力を計測
濁度計：濁水の濁りを計測
溶存酸素計：溶存酸素濃度を計測

流流速速計

海底面から数十cmまでの高さの流況と流速を計測

シーバージメータ

海中濁度計

海底面から湧出する気体の流速を計

水温計

水温を計測

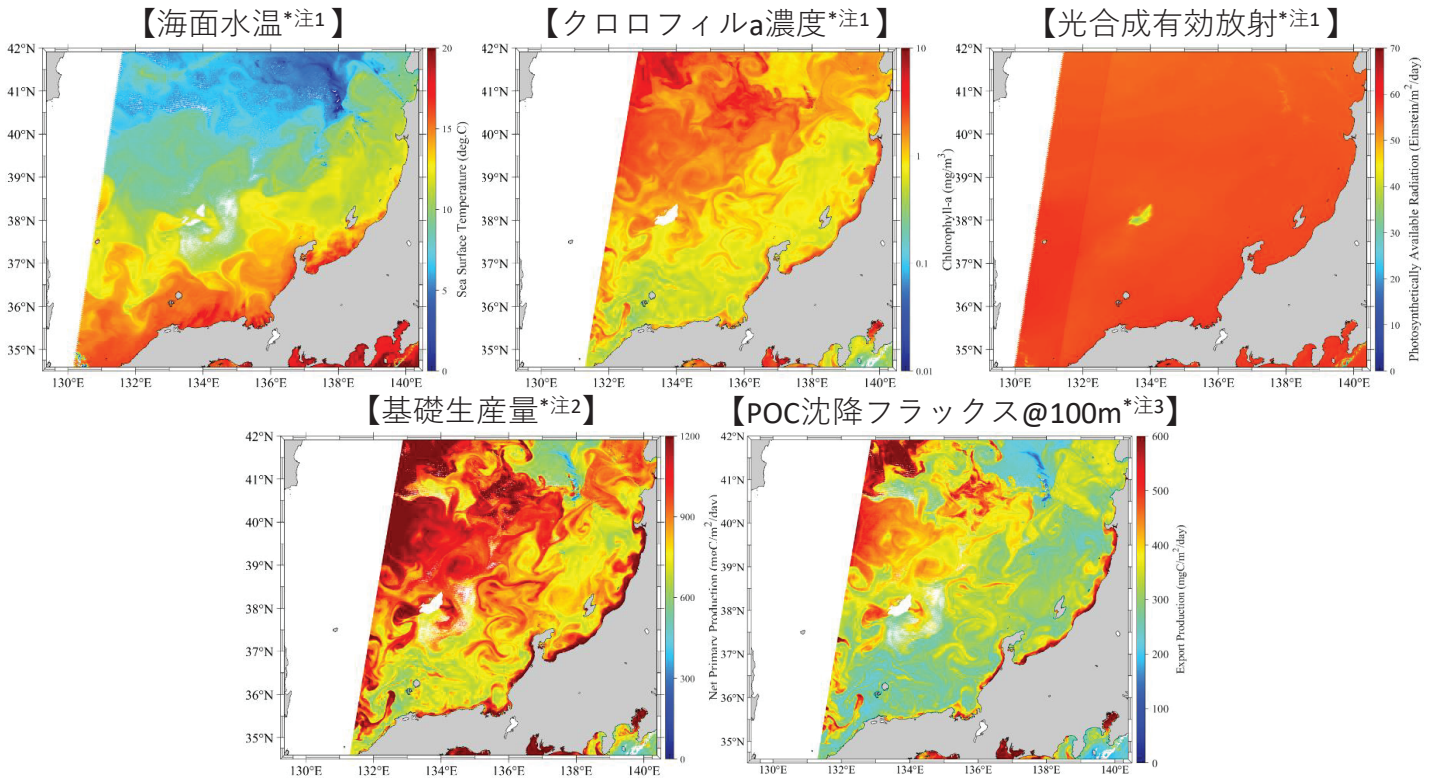
無人潜水機（ROV）で設置・回収

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 12 <第39回メタンハイドレート開発実施検討会（2022.6.3）資料5を更新>

引用) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所：表層型メタンハイドレートの研究開発 2022年度 研究成果報告会 資料4「海洋調査の概要と進捗」

メタン湧出域生態系モデルの現況再現に向けて 衛星データの利用

- 衛星データ（海面水温など）は長期間のアーカイブが日別単位で公開
 - ⇒公開データから基礎生産量やPOC沈降フラックスを算出
 - ⇒メタン湧出域生態系モデルの時間応答（季節変化）の現況再現検証に利用可能

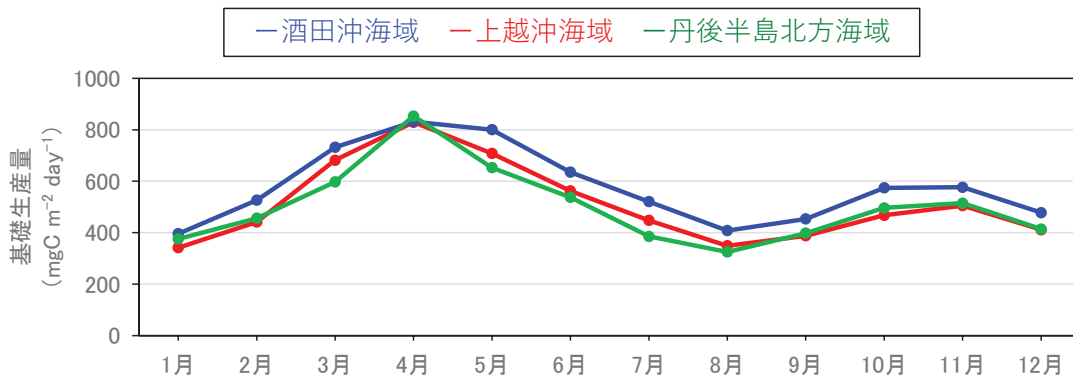
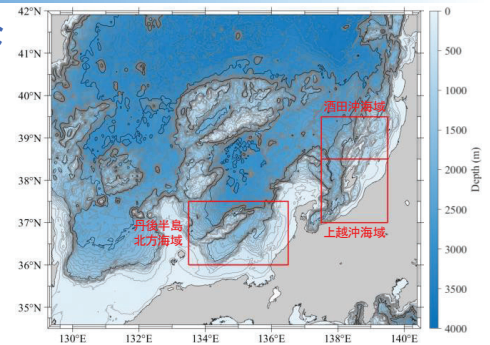


注1) 人工衛星GCOM-C/SGLIのDailyデータを基に作図（2018年4月29日：宇宙航空研究開発機構（JAXA）提供）
 注2) Kameda and Ishizaka（2005）の式を基に作図。注3) Jönsson et al.（2023）の式を基に作図。

17

メタン湧出域生態系モデルの現況再現に向けて 衛星データの解析例

- 酒田沖海域、上越沖海域、丹後半島北方海域における平年的な基礎生産量を算出
 - ⇒春季・秋季ブルームが確認。今後、数値モデルと比較検証（POC沈降フラックスについても同様に解析予定）
- 衛星データは環境ベースライン観測にも有用



人工衛星Aqua/MODISによる基礎生産量の季節変化
 21年間（2002～2023年）の月別平均

18

謝辞

■本研究発表の成果は、経済産業省のメタンハイドレート研究開発事業の一部として実施されました

ご清聴ありがとうございました