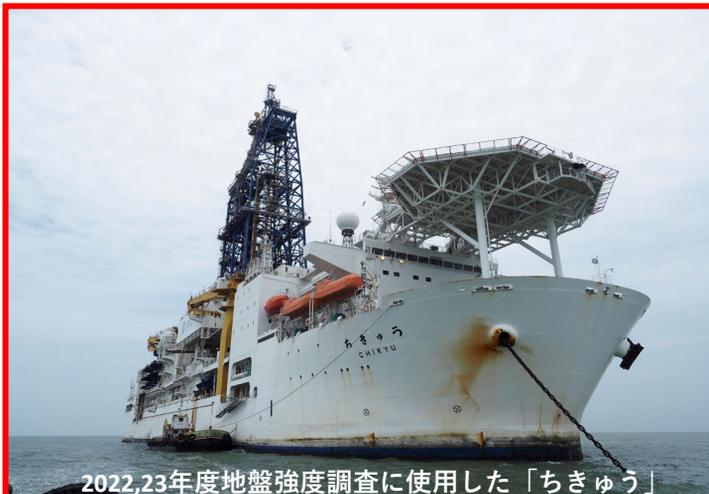
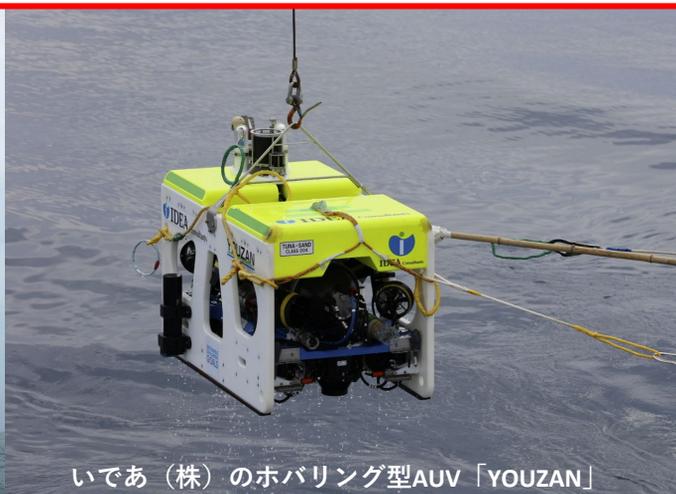


表層型メタンハイドレートの研究開発 2024年度研究成果報告会



2022,23年度地盤強度調査に使用した「ちぎゅう」



いであ（株）のホバリング型AUV「YOUZAN」



地盤強度調査における掘削コアのCT画像観察



「YOUZAN」で撮影した海底モザイク画像の例

開催日時

12/5 木 13:15~17:05

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/stmh2024.html>



表層型メタンハイドレートの研究開発 2024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12月5日(木) 13:15~17:05 (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/stmh2024.html>



プログラム

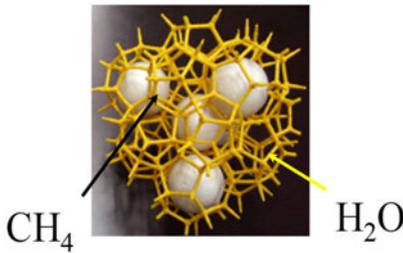
13:10~13:15	開催準備・事務連絡等	
13:15~13:20	ご挨拶	経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 資源開発課 永野 喜代彦
13:20~13:30	【全体概要】 表層型メタンハイドレートの研究開発 - 2024年度の取組 -	産業技術総合研究所 エネルギープロセス研究部門 天満 則夫
13:30~14:00	【生産技術の研究開発】 生産技術開発の概要と進捗	産業技術総合研究所 エネルギープロセス研究部門 天満 則夫
	ガスリフト方式による揚収制御技術の開発	大阪大学大学院 基礎工学研究科 杉山 和靖
14:00~15:30	【海洋調査】 海洋調査の概要と進捗	
	上越沖及び酒田沖MH胚胎域での地盤強度調査(1) 掘削コアの地質学的特徴	産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 佐藤 幹夫
	上越沖及び酒田沖MH胚胎域での地盤強度調査(2) 海底表層地盤の物理特性	産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 吉岡 秀佳
	上越沖及び酒田沖MH胚胎域での地盤強度調査(3) 室内土質試験とワイヤライン検層の対比	鳥取大学 工学部 中村 公一
		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
15:30~15:45	休憩	
15:45~17:05	【環境影響評価】 環境影響評価の概要と進捗	産業技術総合研究所 環境創生研究部門 塚崎 あゆみ
	上越沖及び酒田沖MH胚胎域での掘削影響調査(1) 音響探査、海底画像、表層堆積物から推定した再堆積層分布	産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 浅田 美穂
	上越沖及び酒田沖MH胚胎域での掘削影響調査(2) ホバリング型AUV「YOUZAN」を用いた海底画像撮影と生物への影響	いであ株式会社 環境創造研究所 加藤 正悟
	上越沖及び酒田沖MH胚胎域の特徴的な元素動態と底生生物群集	産業技術総合研究所 環境創生研究部門 太田 雄貴
17:05	閉会	

※上記内容は11月28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 「2024年度の実践について」

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

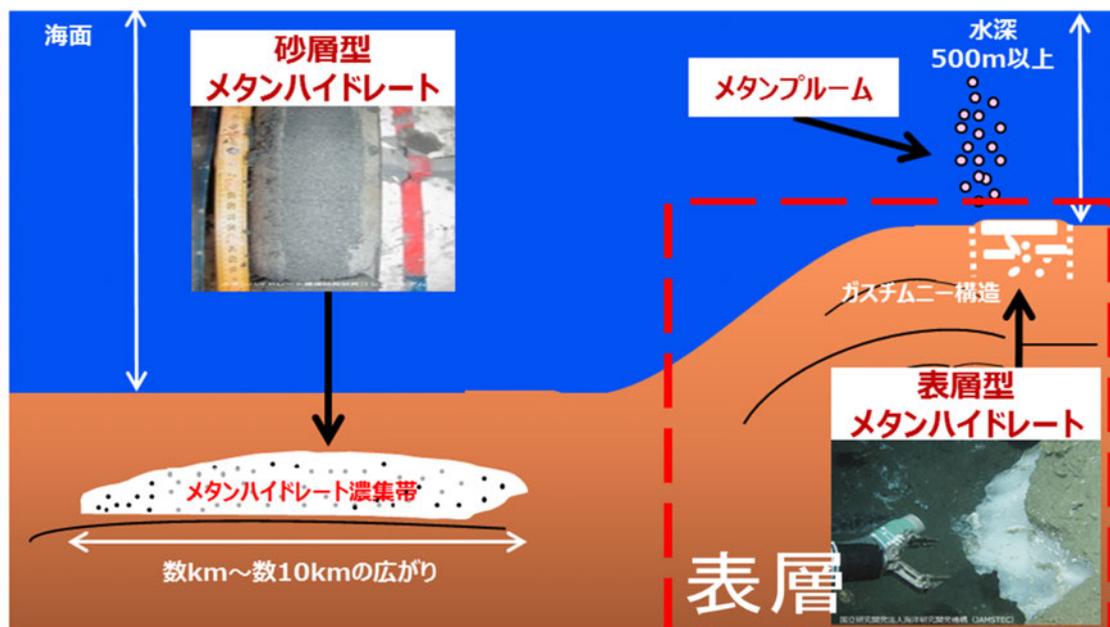
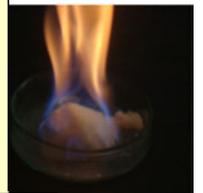
本研究は、経済産業省「国内石油天然ガス地質調査・メタンハイドレート研究開発等事業（メタンハイドレートの研究開発）」の一環として実施した。関係各位に対し、謝意を表する次第である。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

1

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



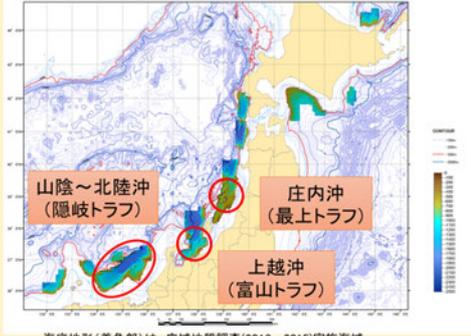
<メタンハイドレートの賦存形態>

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

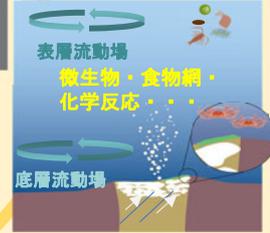
海洋調査・海域環境調査の実施予定海域



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



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)

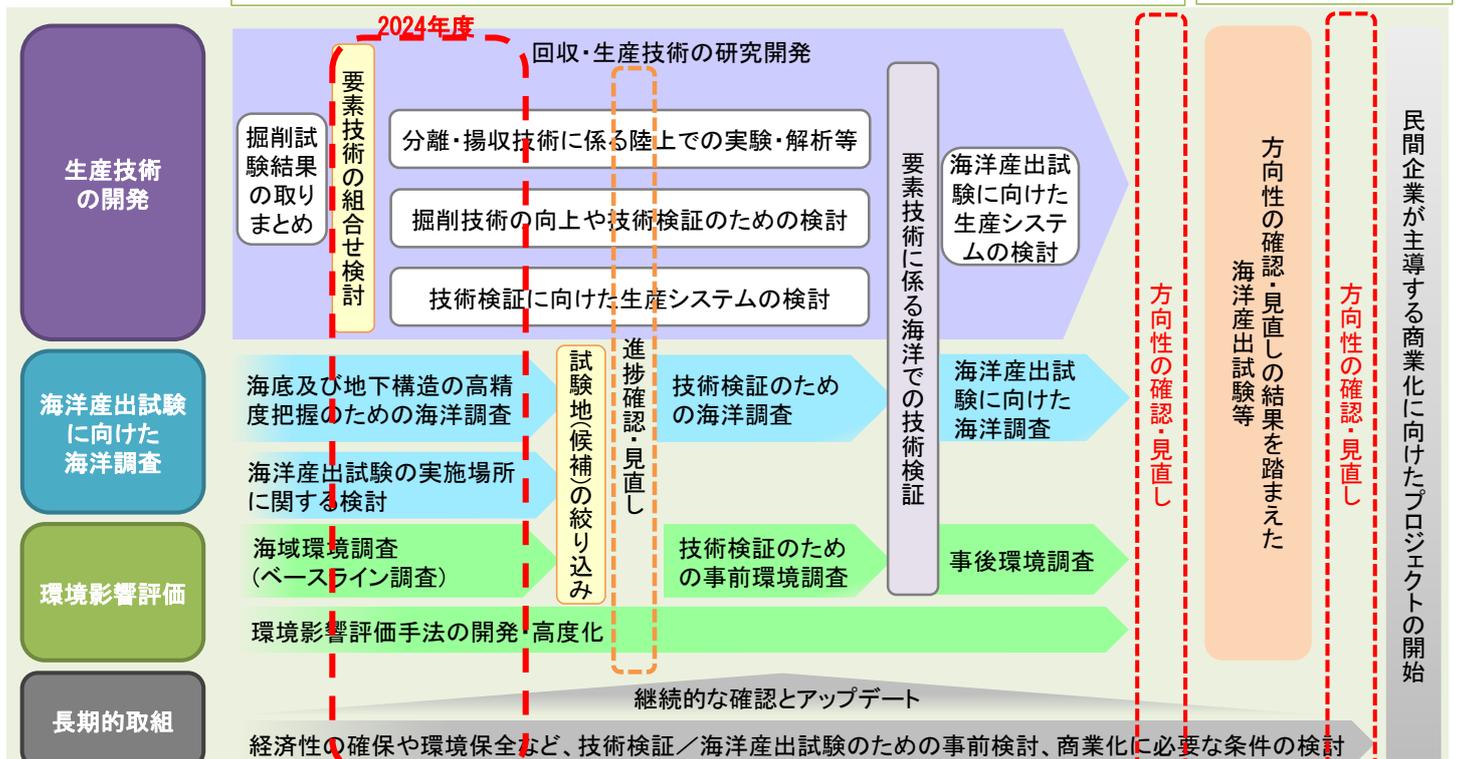
表層型メタンハイドレートの開発に向けた工程表

海洋基本計画(令和5年4月28日閣議決定)

- 2030年度まで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て、国は産業化のための取組として、民間企業が事業化する際に必要となる技術、知見、制度等を確立するための技術開発を行う。

2023～2027FY頃

2028～2030FY頃



- 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。

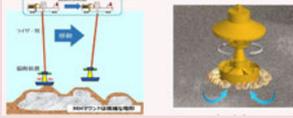
要素技術

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。



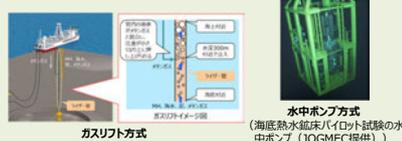
分離技術

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



膜構造の利用

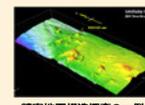


泥筒内の分解挙動の把握のための物性測定

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



精密地下構造探査の一例



海水サンプリング (GTD-RMS)



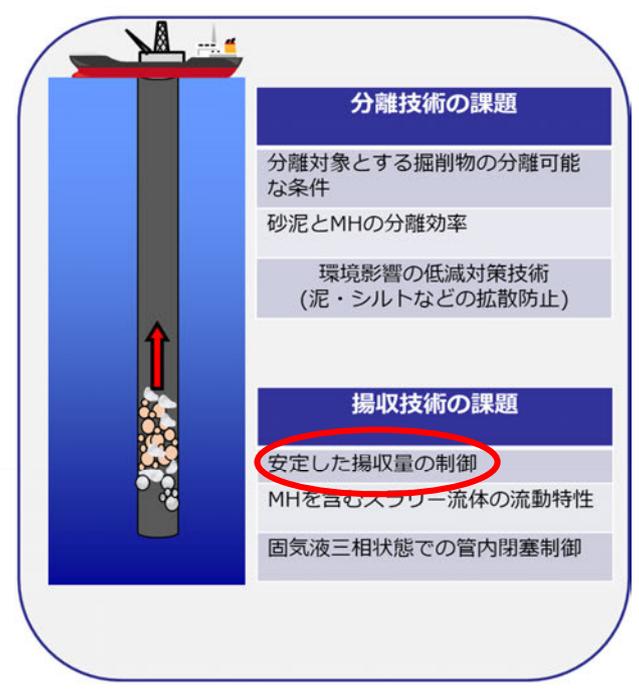
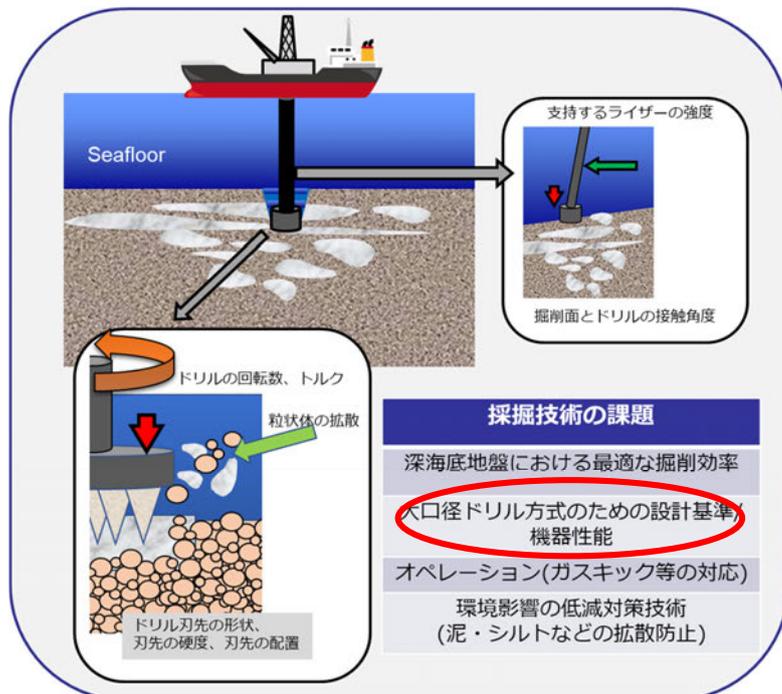
分子レベルの同位体分析

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

【目標】

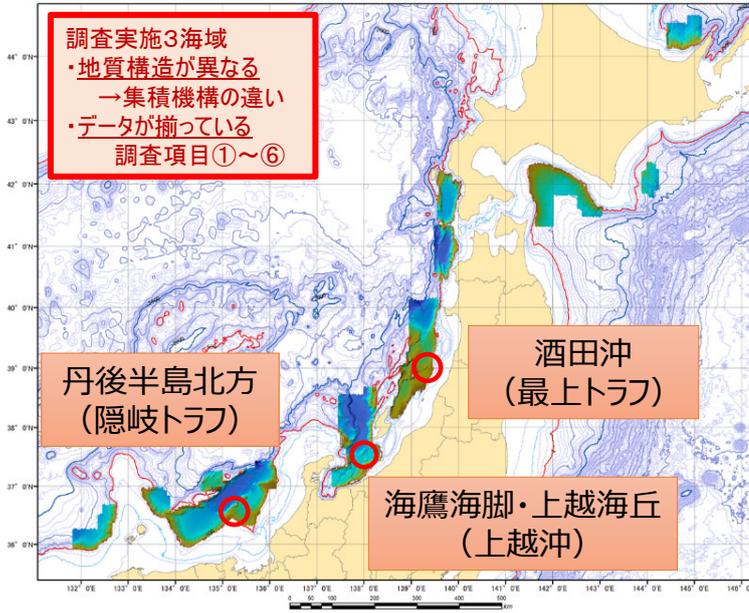
表層型メタンハイドレートの回収・生産に係る要素技術等の研究開発を行い、成果の評価や検証等を通じて、生産システムの具現化に向けた検討を行う。



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）	2013-2015, 2024	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（H/D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	2015, 2024	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, 2024	2020, 2023, 2024
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, 2024	2020, 2023, 2024
⑬海域環境調査（C）（海洋観測）	(実施中)	2021, 2022	2020, 2023

現地海底調査が困難なため
既存データ利用や別ルートでの試料入手を検討

青：昨年度までに実施済 赤：本年度（2024年度）実施

※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。

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) 掘削システム的设计

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

不均質な地層で起こりうる法面崩壊と埋没（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

理想的な施工

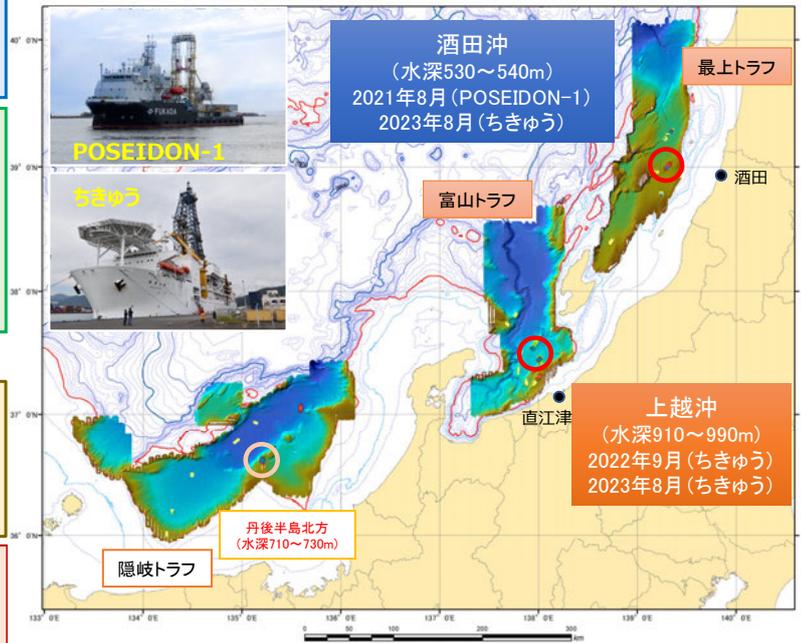
■ 地盤強度調査の目的

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）検査**：酒田沖はPS検層のみから**地盤強度情報**を取得

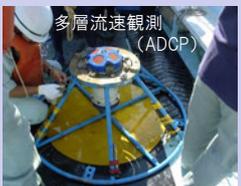
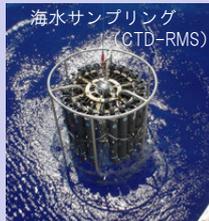
⑩ 地盤強度調査⇒ 酒田沖・上越沖での掘削調査



環境影響評価

「環境影響評価」について

【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

疑似現場試験

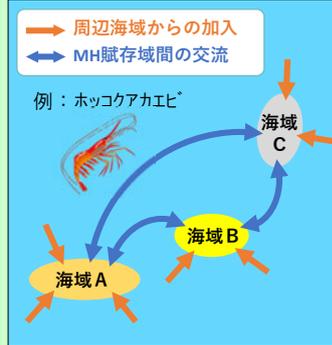


【環境影響評価手法の検討】

○表層型メタンハイドレート賦存海域の特性解明

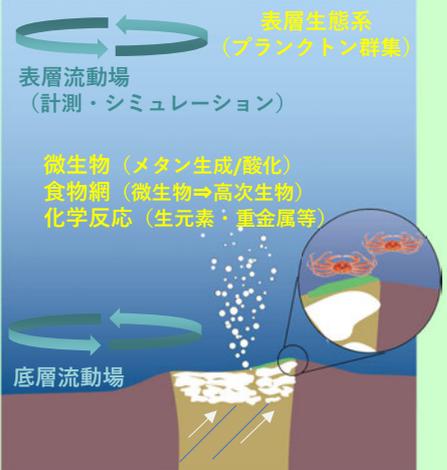
生物学的特性の把握

- 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



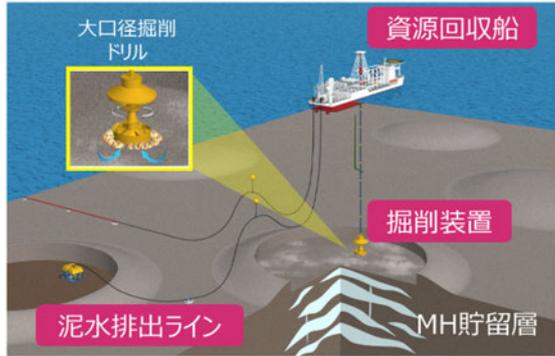
- 表層メタンハイドレート賦存海域における環境パラメータ調査
- 環境ベースライン観測及び環境モニタリング手法の高度化・最適化

掘削調査における環境影響評価手法の検討

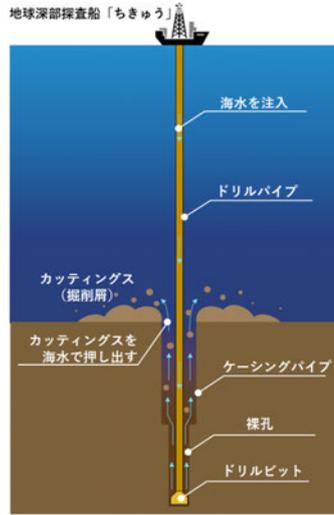
目的

「ちきゅう」による海底地盤強度調査のためのレーザー掘削を表層型MH開発/海洋産出試験に伴う海底攪乱とみなして、周辺環境への影響評価手法を検討

大口径ドリル方式によるMH掘削のイメージ



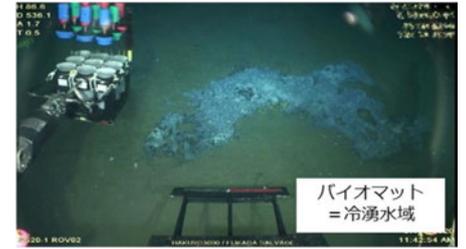
出典：表層型MHの研究開発2019年度 一般成果報告会の資料を一部改変



レーザー掘削の概要

JAMSTEC「ちきゅう」のサイトを参考に作図
※当該掘削調査ではケーシングパイプは使用しない

海域環境調査



冷湧水域の堆積物の化学・微生物学的な性状を評価

MHに関連する物質動態（炭素・硫黄・重金属）や微生物の役割を詳細に解明

上越沖及び酒田沖MH胚胎域にて、掘削影響調査を実施。

上越沖及び酒田沖MH胚胎域の特徴的な元素動態と底生生物群集

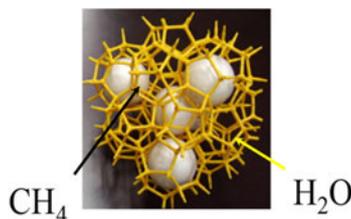
出典：表層型MHの研究開発 2022年度研究成果報告会：「環境影響評価の概要と進捗」より一部改変
https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/forum/forum2022/8_suzumura.pdf

表層型MHの研究開発 2024年度研究成果報告会

時間	講演タイトル	講演者
13:10~13:15	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 永野喜代彦
13:20~13:30	表層型メタンハイドレートの研究開発 -2024年度取組-	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
13:30~14:00	【生産技術の研究開発】 生産技術開発の概要と進捗 ガスリフト方式による揚収制御技術の開発	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 大阪大学大学院基礎工学研究科 杉山和靖
14:00~15:30	【海洋調査】 海洋調査の概要と進捗 上越沖及び酒田沖MH胚胎域での地盤強度調査（1）-掘削コアの地質学的特徴- 上越沖及び酒田沖MH胚胎域での地盤強度調査（2）-海底表層地盤の物理特性- 上越沖及び酒田沖MH胚胎域での地盤強度調査（3）-室内土質試験とワイヤライン検層-	産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 佐藤幹夫 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 吉岡秀佳 鳥取大学大学院工学研究科 中村公一 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
15:30~15:45	休憩	
15:45~17:05	【環境影響評価】 環境影響評価の概要と進捗 上越沖及び酒田沖MH胚胎域での掘削影響調査（1） -音響探査、海底画像、表層堆積物から推定した再堆積層分布- 上越沖及び酒田沖MH胚胎域での掘削影響調査（2） -ホバリング型AUV「YOUZAN」を用いた海底画像撮影と生物への影響 上越沖及び酒田沖MH胚胎域の特徴的な元素動態と底生生物群集	産業技術総合研究所 環境創生研究部門 塚崎あゆみ 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 浅田美穂 いであ株式会社 加藤正悟 産業技術総合研究所 環境創生研究部門 太田雄貴
17:05	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

表層型メタンハイドレートの研究開発

生産技術の研究開発の概要と進捗



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。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

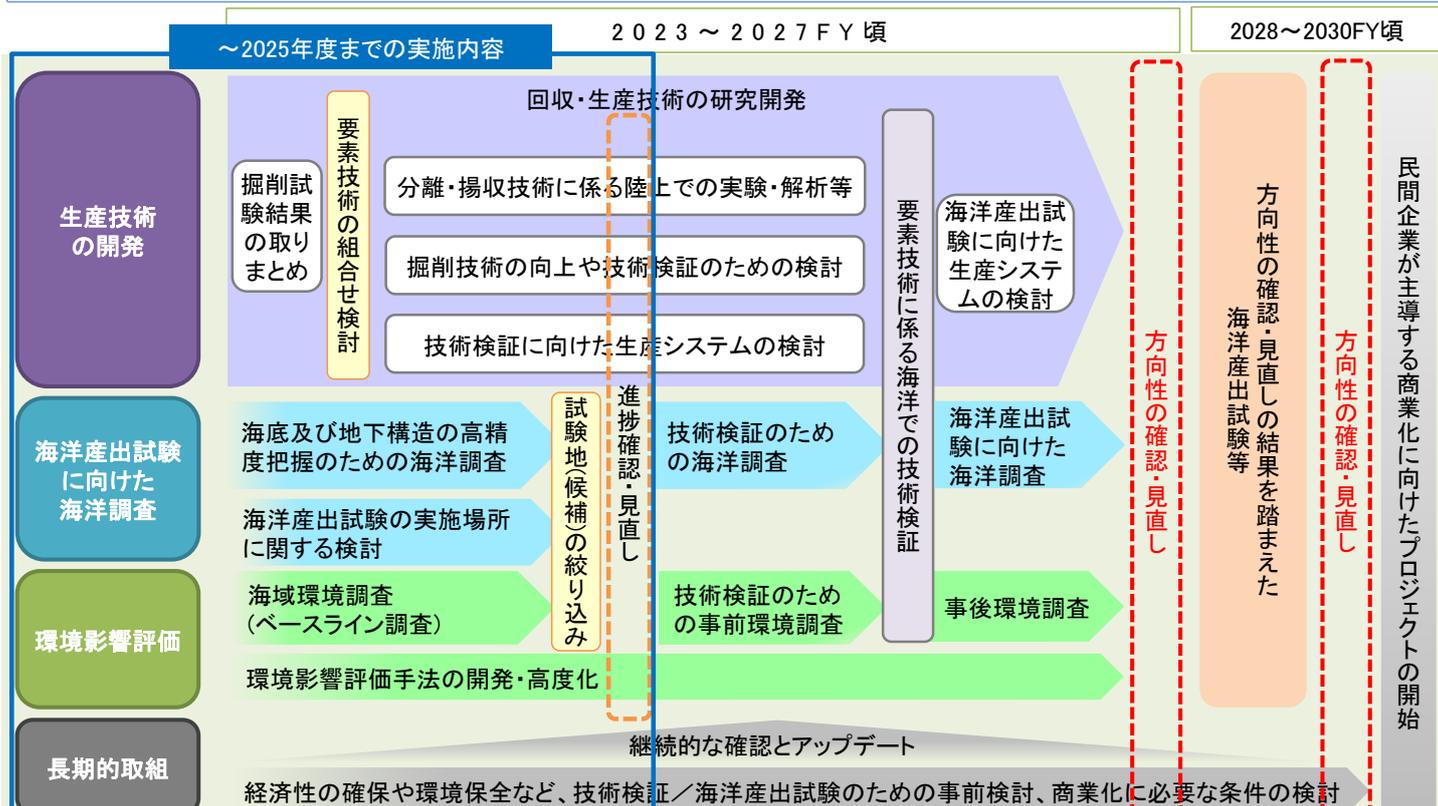
1

表層型メタンハイドレートの開発に向けた工程表



海洋基本計画（令和5年4月28日閣議決定）

- 2030年度まで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て、国は産業化のための取組として、民間企業が事業化する際に必要となる技術、知見、制度等を確立するための技術開発を行う。



（資料）「海洋エネルギー鉱物資源開発計画」（令和6年3月22日 経済産業省改定）を基に作成 <https://www.meti.go.jp/press/2023/03/20240322001/20240322001-1.pdf>

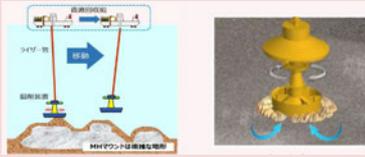
要素技術

陸上掘削試験の結果を踏まえ、海洋での技術検証に向けた検討や、大口径ドリル方式による回収物の様態を対象に要素技術(分離/揚収)の検討を進めるとともに、各要素技術の組合せを考慮した生産システムの検討を進める。

採掘技術

【大口径ドリルを用いた広範囲鉛直採掘方式】

表層型MHを対象とした採掘技術考えた場合に「安全で効率的に掘削していく技術の確立」を目指す。



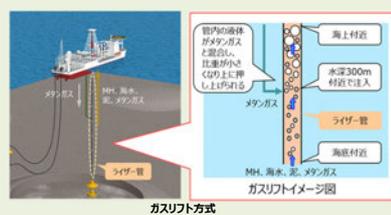
分離技術

表層型MHを対象とした分離技術考えた場合に「掘削されたMH、泥などを分離して、不要となった泥を安全かつ効率的に処理する技術の確立」を目指す。



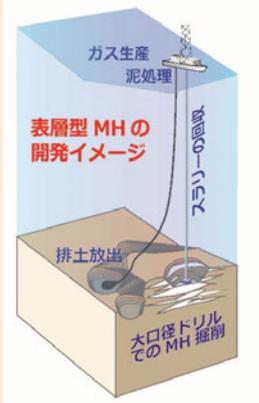
揚収技術

表層型MHを対象とした揚収技術考えた場合に「海底下から安定的に主にMH(orメタンガス)を海上まで持つてくる技術の確立」を目指す。



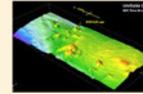
生産システムの検討

各要素技術の開発や生産システムの検討に必要な調査・研究の進捗を考慮しながら、検討を実施。



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



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)

生産技術-要素技術開発

【目標】

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。

採掘技術の課題

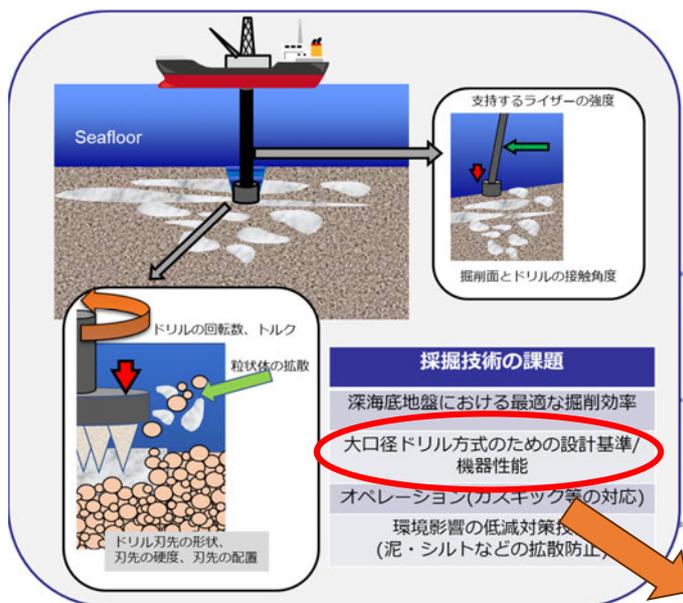
- 深海底地盤における最適な掘削効率
- 大口径ドリル方式のための設計基準、機器性能**
- オペレーション(ガスキック等の対応)
- 環境影響の低減対策技術(泥・シルトなどの拡散防止)

分離技術の課題

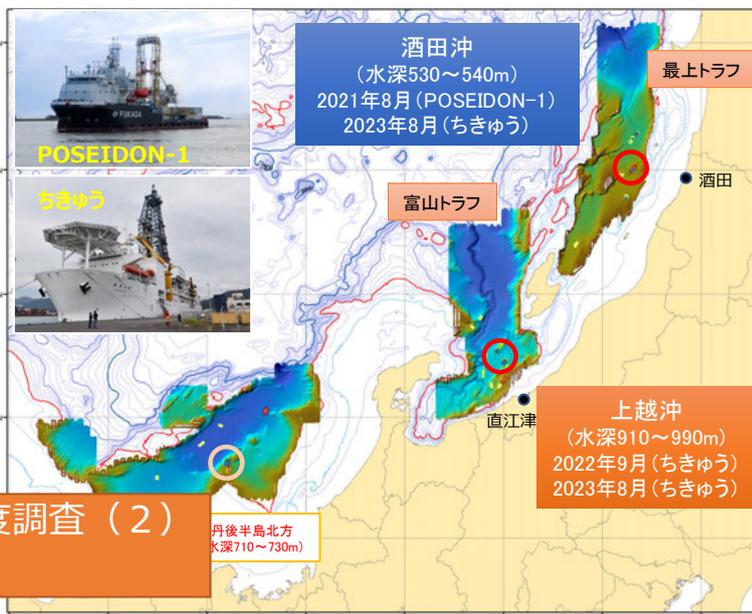
- 分離対象とする掘削物の分離可能な条件
- 砂泥とMHの分離効率
- 環境影響の低減対策技術(泥・シルトなどの拡散防止)

揚収技術の課題

- 安定した揚収量の制御**
- MHを含むスプレー流体の流動特性
- 固気液三相状態での管内閉塞制御



表層型メタンハイドレートの回収・生産に係る要素技術【採掘技術】では、大口径ドリル方式による機械的な掘削を検討しており、その掘削機器の設計のためには、MHが含まれる地層の強度等の情報が必要である。



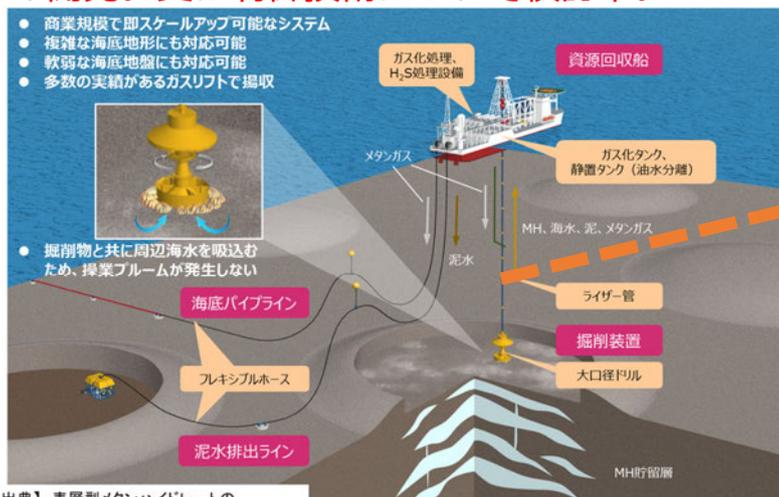
上越沖及び酒田沖MH胚胎域での地盤強度調査（２）
-海底表層地盤の物理特性-にて報告

酒田沖・上越沖での掘削調査

海底下から安定的に主にMH(orメタンガス)を海上まで持ってくる技術の確立が重要である。



安定した揚収量を検討するために数値シミュレータの開発。更に制御技術について検討中。



【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

分離技術の課題

- 分離対象とする掘削物の分離可能な条件
- 砂泥とMHの分離効率

揚収技術の課題

- 安定した揚収量の制御
- MHを含むスラリー流体の流動特性
- 固気液三相状態での管内閉塞制御

ガスリフト方式による揚収制御技術の開発

大阪大学 大学院基礎工学研究科

杉山 和靖, 木高 佳周, 安上 裕輝

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。

1

表層型MHの揚収過程を数値シミュレーションにより予測したい

揚収方法

ガスリフト方式

1. 揚収管途中にガスを注入
2. 密度低下により上昇流が生じる
3. 海底から揚収物を持ち上げる

メリット

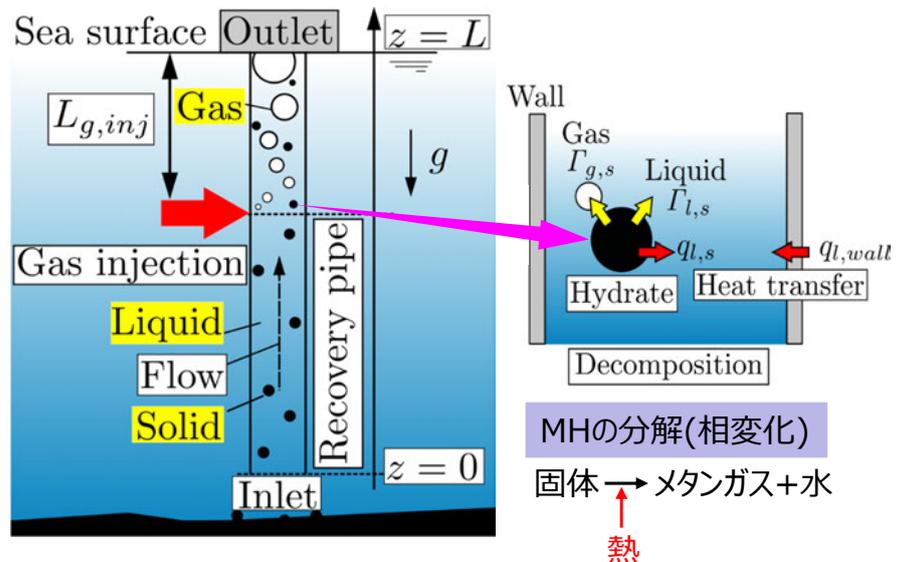
- ・単純構造
- ・多数の実績がある

自己ガスリフト効果¹⁾

MH自体が産出するガス
によって得られるガスリフト効果
→効率化が見込める

1) 濱口涼吉, PhD thesis, (2006).

ガスリフトシステムの概略図



数値シミュレーションの役割

- ・ 深さ ~ 1000m. 巨大システムの実験の代替
- ・ 設計開発の合理化
- ・ 原理原則に基づく議論. 揚収に関する機構解明



予測の信頼性はどうか？
揚収過程にシンプルな規則性があるか？
数値計算側から、何か提案できないか？

2

目的

揚収技術の開発. その制御方法の検討

手段

一次元 multi-fluid modelを用いた
固気液三相流動 + 熱物質輸送 の数値予測

課題

- 数値計算技術の整備
(予測精度向上, 機能拡張, 演算高速化)
- 揚収プロセスにおける安全性 ↑, 経済性 ↑
(条件探索: 揚収管長さ, 揚収管径の変化,
ガス吹き込み流量, ガス吹き込み位置. . .)

一次元 multi-fluid modelの支配方程式と数値実行に必要なモデル式

普遍的な原理原則と, 条件依存の経験則

(i = g, l, s)

運動量保存

$$\alpha_i \rho_i \frac{\partial u_i}{\partial t} + \alpha_i \rho_i u_i \frac{\partial u_i}{\partial z} + \alpha_i \frac{\partial p}{\partial z} + F_{w,i} + F_{g,i} + F_{i,j} = 0,$$

壁面摩擦
重力
相間摩擦

質量保存

$$\frac{\partial(\alpha_i \rho_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_i \rho_i u_i)}{\partial z} - \Gamma_i = 0,$$

質量変化

温度輸送

$$\rho_l C_{p,l} \left(\frac{\partial T_l}{\partial t} + u_l \frac{\partial T_l}{\partial z} \right) - \sum_{j=wall,s} q_{l,j} = 0,$$

熱伝達 (管壁, MH)

流動様式に応じたモデル式

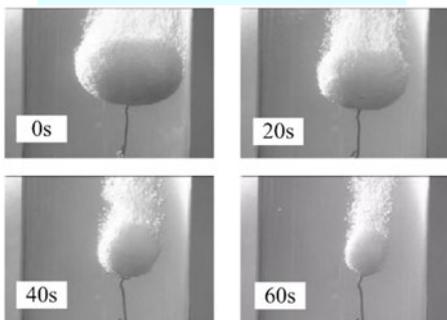
Bubble flow Slug flow Churn flow Annular flow

😊 😊 😊 😞

気泡流 スラッグ流 チャーン流 環状流

1) Hamaguchi (2006)

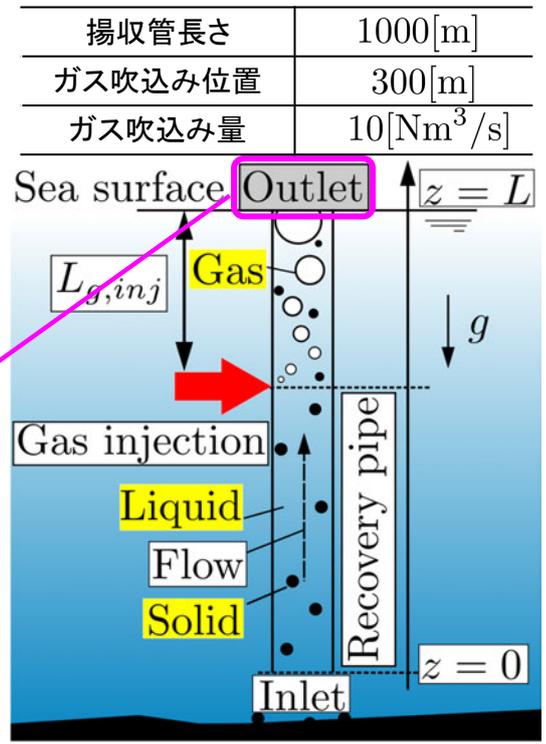
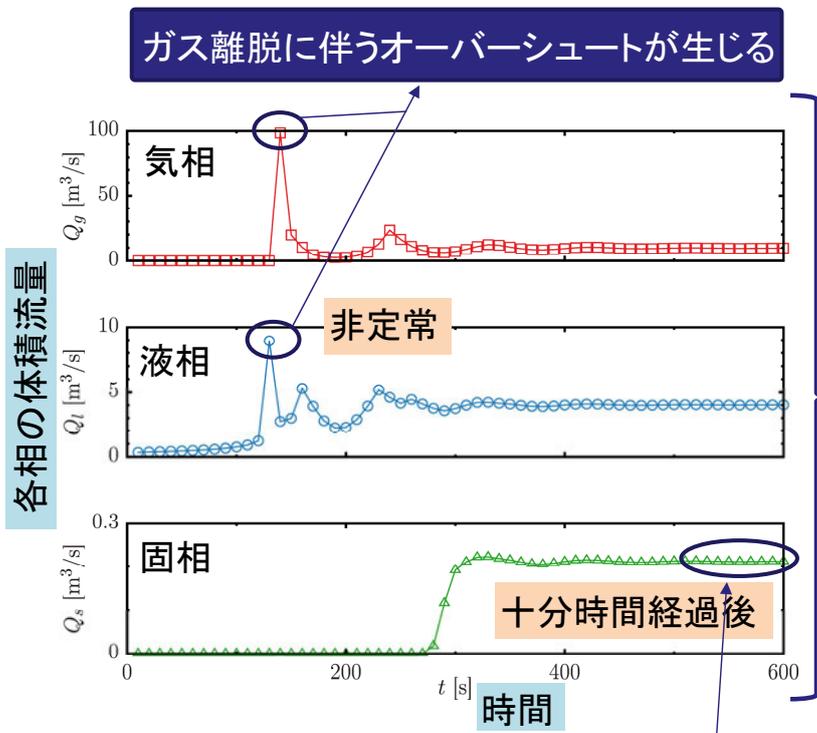
ガスハイドレート分解実験¹⁾



自己ガスリフト効果の影響は？

多くのモデルは数インチ径管を対象.
→ メートルオーダー径の揚収管への適用性は？

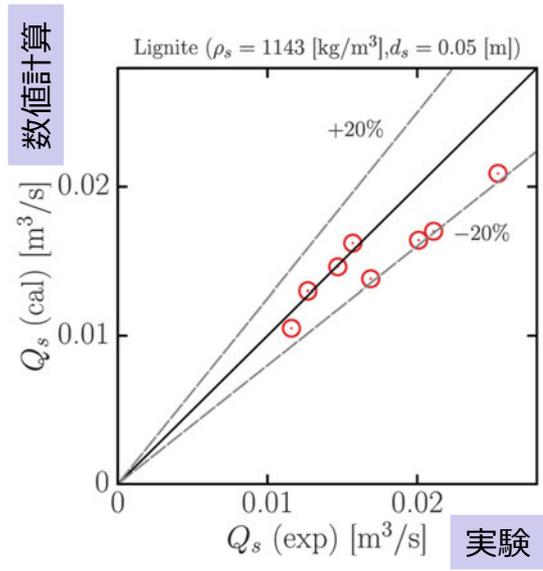
計算例（各相揚収量の時間変化）



十分に時間が経過したあとのMH揚収量を増やしたい

検証： 固気液三相流の大規模実験との比較

固相流量（数値計算 vs. 実験）



	管の長さ[m]	ガス吹込み量(L/s)	固相体積分率(%)
Exp.1	451.0	584	6.0
Exp.2	451.0	713	7.5
Exp.3	451.0	412	4.8
Exp.4	449.8	691	8.6
Exp.5	449.3	527	7.8
Exp.6	449.4	505	5.4
Exp.7	449.3	497	4.7
Exp.8	449.4	388	4.7

既存の実験結果を再現

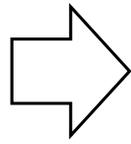
最適な運転条件, 設定条件の探査 (MH相変化を無視)

パラメータ:

ガス吹込み量 $Q_{g,inj}$

揚収管直径 D

ガス吹込み深さ $L_{g,inj}$

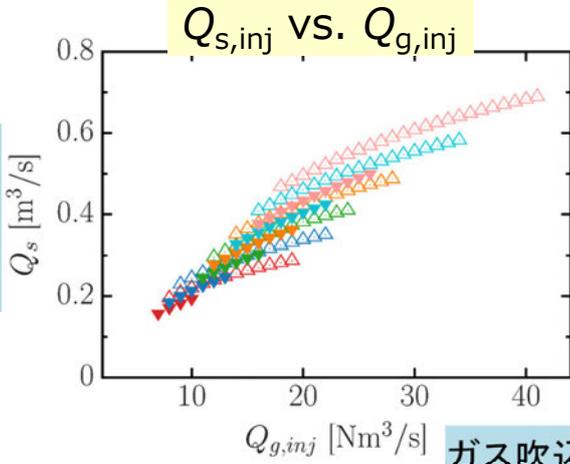


MH揚収量 Q_s

はどうなる?

計算条件	
揚収管長さ	1000[m]
ガス吹込み位置	200, 300[m]
揚収管径	1.0 - 1.5[m]
MH粒子径	0.1[m]

MH揚収量



D [m]	$L_{g,inj}$ [m]
△ 1.0	300
△ 1.1	300
△ 1.2	300
△ 1.3	300
△ 1.4	300
△ 1.5	300
▽ 1.1	200
▽ 1.1	200
▽ 1.2	200
▽ 1.3	200
▽ 1.4	200
▽ 1.5	200

MH揚収量増加の要因

- $Q_{g,inj} \uparrow$ (吹込み量大)
- $D \uparrow$ (管太 → 摩擦抵抗↓)
- $L_{g,inj} \uparrow$ (吹込み深さ深)

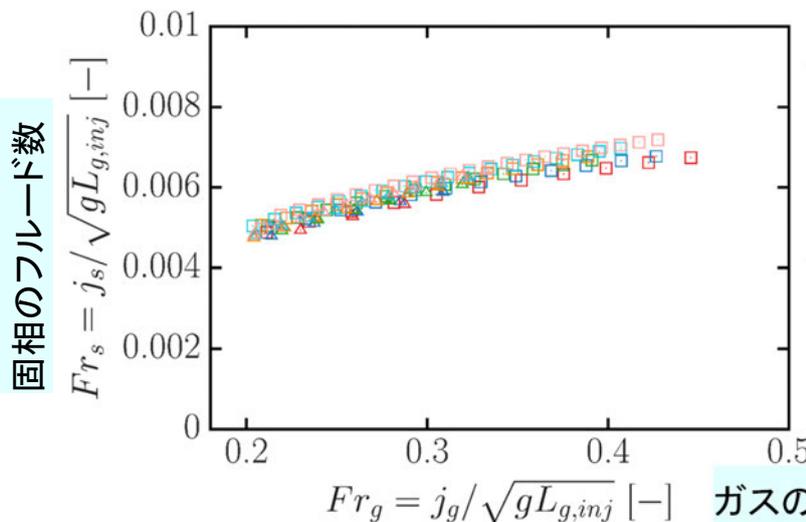
7

固相の揚収量の整理 (MH相変化を無視)

固相とガスのフルード数

$$Fr_s = j_s / \sqrt{gL_{g,inj}} [-] \quad \left(j_s = Q_s / A \text{ [m/s]} \right)$$

$$Fr_g = j_g / \sqrt{gL_{g,inj}} [-] \quad \left(j_g = Q_{g,inj} / A \text{ [m/s]} \right)$$

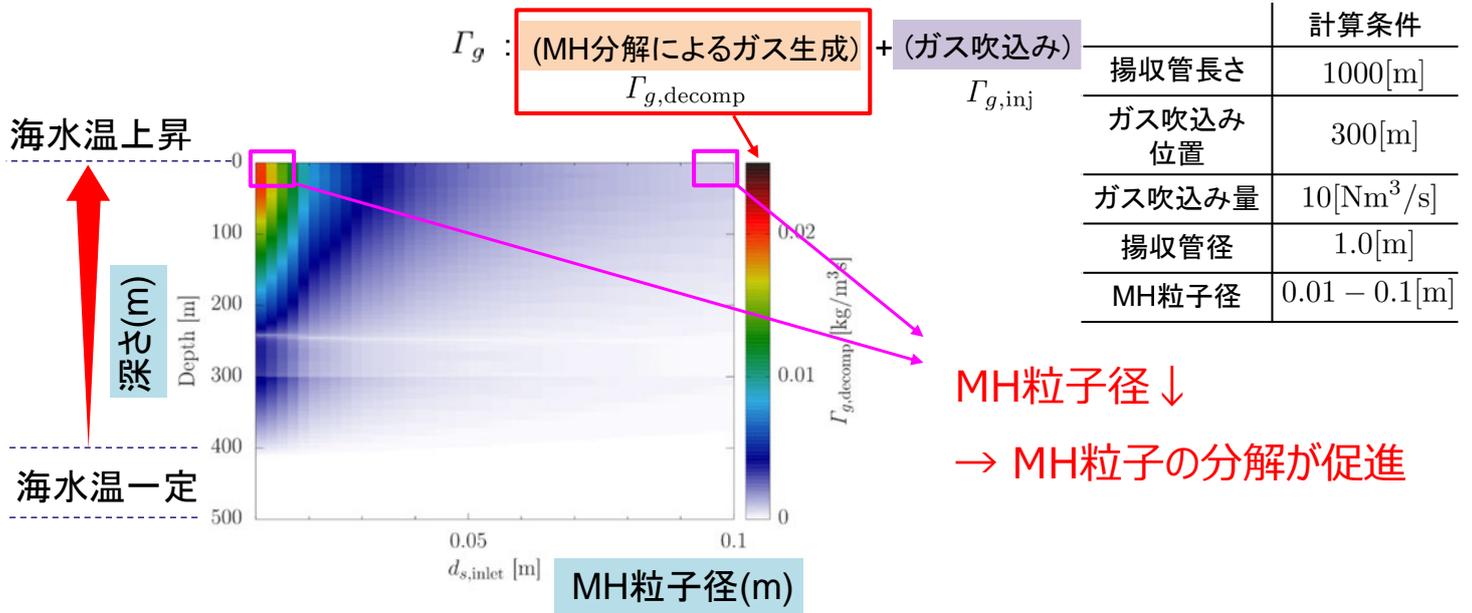


D [m]	$L_{g,inj}$ [m]
□ 1.0	300
□ 1.1	300
□ 1.2	300
□ 1.3	300
□ 1.4	300
□ 1.5	300
△ 1.0	200
△ 1.1	200
△ 1.2	200
△ 1.3	200
△ 1.4	200
△ 1.5	200

様々な条件のプロットが概ね一直線上 → 揚収量簡易予測を可能に

8

相変化による気相の質量変化量 (MH粒子径の影響)

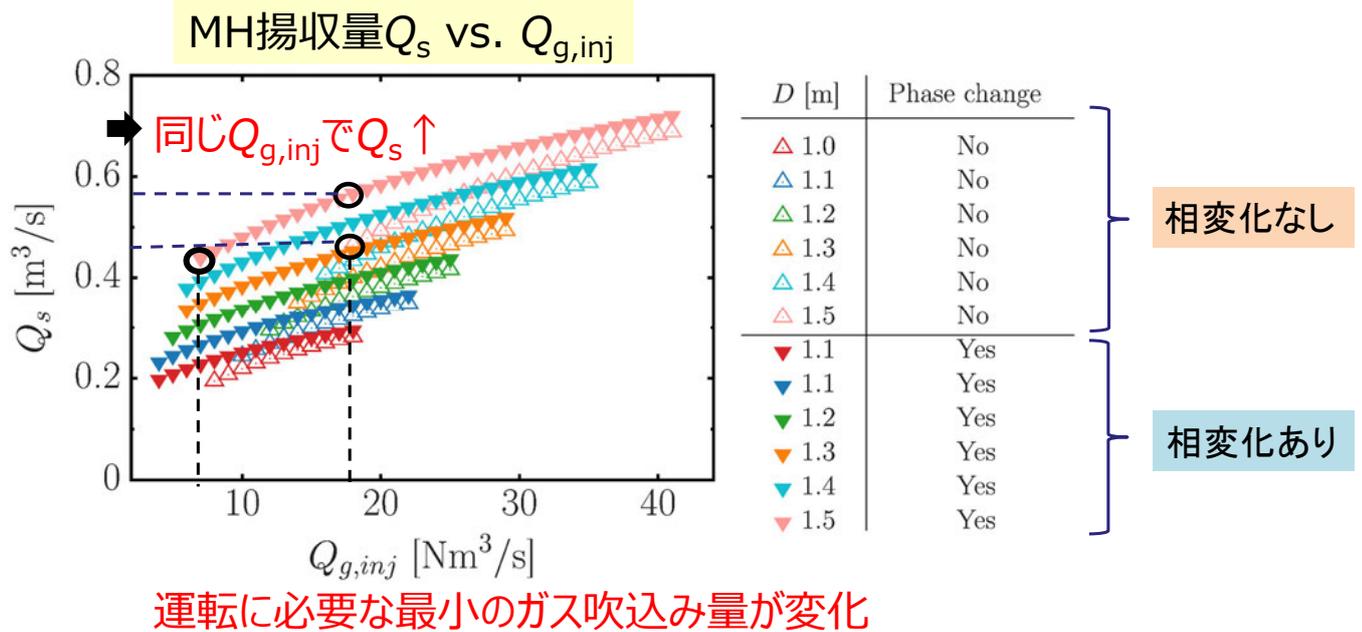


9

自己ガスリフト効果

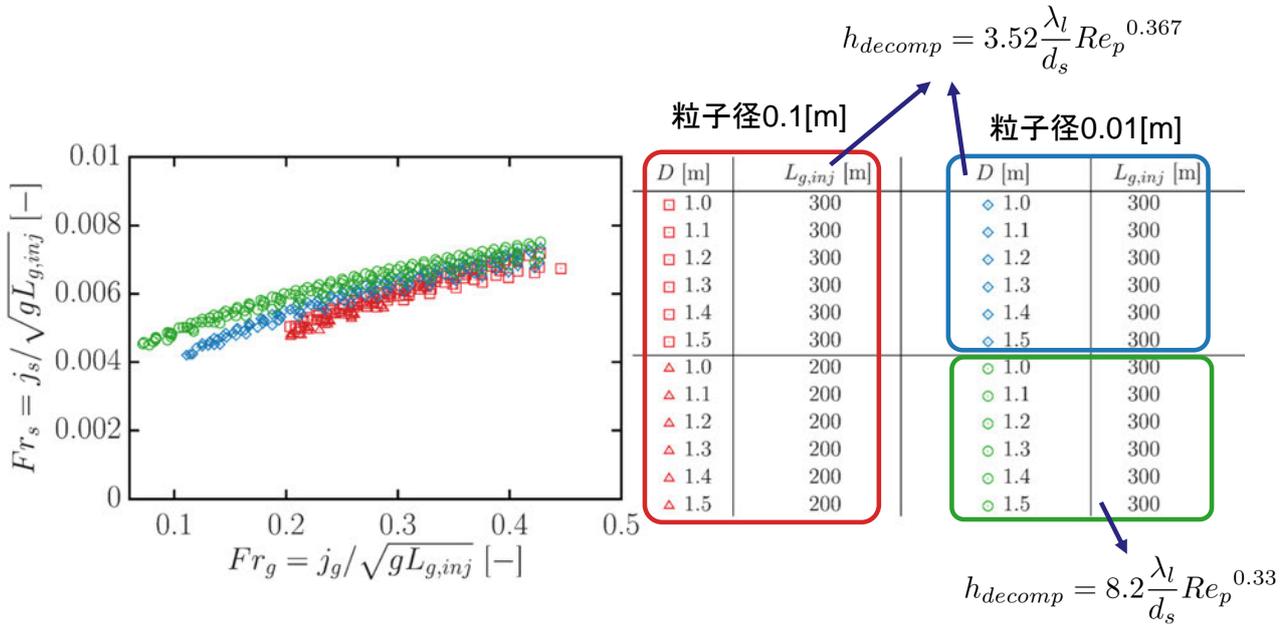
揚収管長さ: 1000[m], MH直径: 0.01[m], ガス吹込み位置: 300[m]

パラメータ 管直径 D : 1.0~1.5[m], ガス吹込み量 $Q_{g,inj}$: 1.0~40[Nm³/s]



10

自己ガスリフト効果 → 固相とガスのフルード数の関係は？

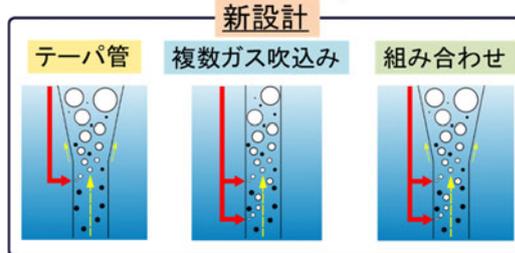


異なる曲線に分布. 統一的に整理できなくなる
MH粒子径小 → 自己ガスリフト効果 顕在化

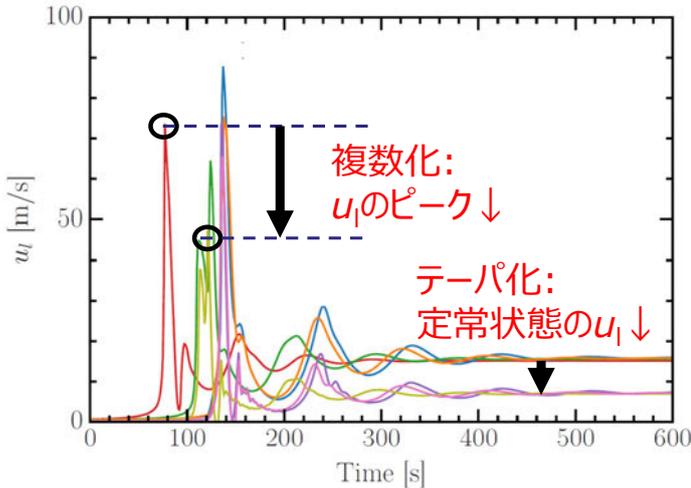
回収システムにおける新設計の検討：テーパ，複数吹込みの効果は？

リスク要因

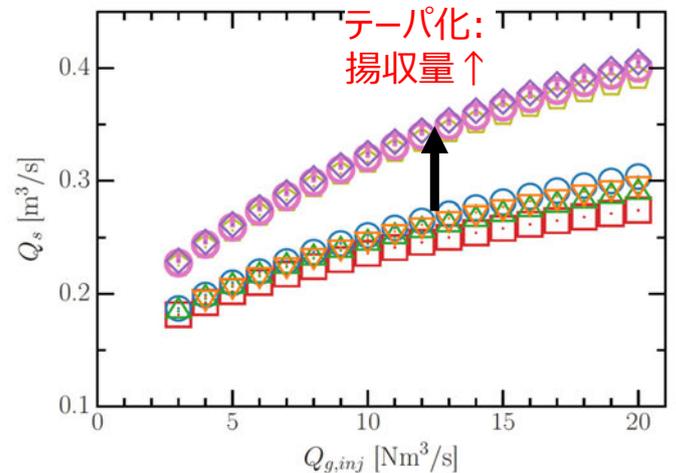
出口部：
オーバーシュートを伴う
高速液噴出



出口液流速 u_l の時間変化 ($Q_{g,inj} = 10 \text{ Nm}^3/\text{s}$)



MH揚収量 Q_s vs. $Q_{g,inj}$



Form	Injection point	Form	Injection point
-	Straight 200	-	Tapered 300
-	Straight 300	-	Tapered 300 + 200
-	Straight 300 + 200	-	Tapered 300 + 250
-	Straight 300 + 250		

Form	Injection point	Form	Injection point
□	Straight 200	◇	Tapered 300
○	Straight 300	◇	Tapered 300 + 200
△	Straight 300 + 200	◇	Tapered 300 + 250
▽	Straight 300 + 250		

設計条件によって, 安全性 ↑ & 経済性 ↑

まとめ

MH揚収量 vs. ガス吹込み量

- ・フルード数で整理
- ・MH粒子径小 → 自己ガスリフト効果 顕在化

拡大管と吹込み複数化

- ・高速液噴出 緩和
- ・MH揚収量 ↑

現在・今後の課題

MH再ハイドレート化による管閉塞の制御

相変化の予測精度向上に向けて検討

- ・ガスリフトは圧力低下を伴うシステム。
温度：揚収時に上昇、吹込みガスの減圧膨張時に低下
再ハイドレート化の検討には、非平衡・空間の広がりを想定。
- ・物性パラメータの決定に実験との共働必要

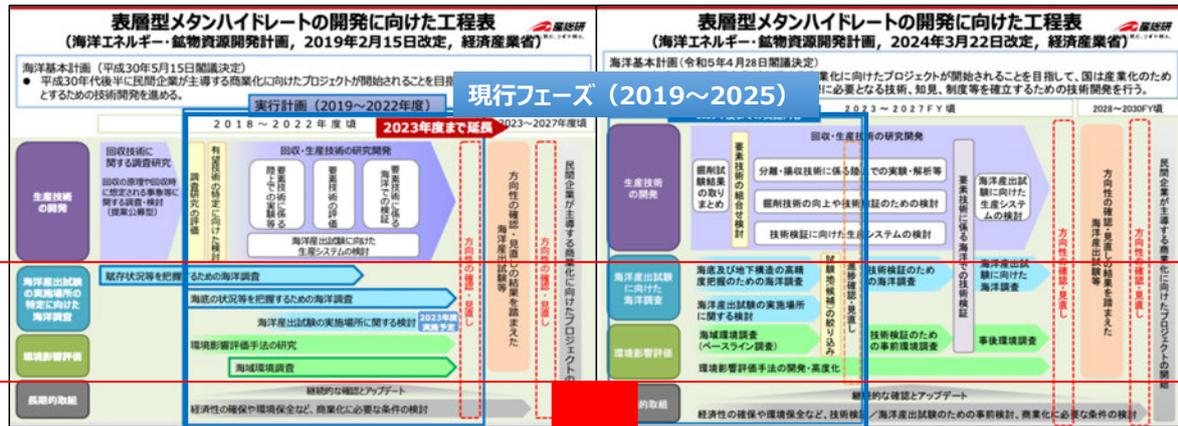
海洋調査の概要と進捗

国立研究開発法人産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門
佐藤 幹夫

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、謝意を表します。

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15日及び2024年3月22日改定，経済産業省）

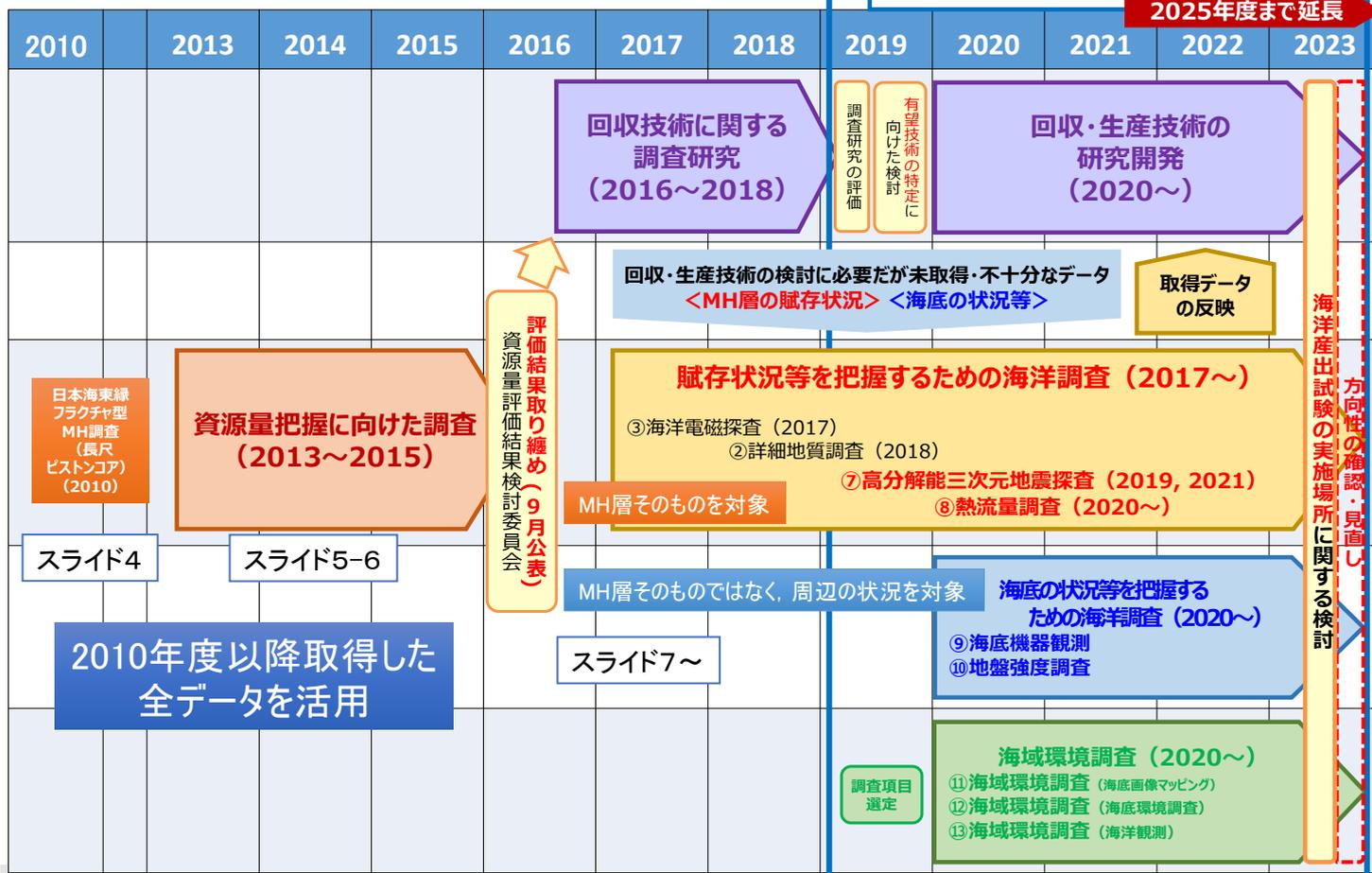


現行フェーズ（2019～2025）



実行計画 (2019~2022年度)

2025年度まで延長



国立研究開発法人 産業技術総合研究所

3

日本海東縁フラクチャ型メタンハイドレート地質調査

本調査の意義と日本周辺メタンハイドレートの特徴

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム(MH21)は、2010年6月16日から25日まで、メタンハイドレートの存在が確認・予測される日本海東縁でメタンハイドレートの賦存状況を推測するための科学調査を実施しました。

東京大学及び産業技術総合研究所により実施された本調査は、フランスの調査船Marion Dufresne (マリオン・デュフレヌ)号を用いて、多数のメタンハイドレート試料を採取しました。

今後は、日本海東縁のメタンハイドレートの詳細な賦存状況を確認するため、試料を使った様々な分析を進める予定です。関係各位の皆様には、調査実施に際し多大なるご協力を頂きましたこと厚くお礼申し上げます。

使用調査船(フランス船籍)
マリオン・デュフレヌ号
R/V Marion Dufresne



調査項目

- 試料採取
- Calypso (長尺ピストンコア、~60m)
- Gravity Corer (熱流量測定等、~25m)
- CASQ (Calypso Square: ボックスコア、12m)
- 海底地形調査 (マルチビーム測深儀)
- 海底表層探査 (3.5kHz サブボトムプロファイラ)

船上分析

- ハイドレート採取・冷凍保存
- 堆積学的記載
- MultiSensor Track (試料分析)
 - 密度、P波速度、帯磁率
- カララインカメラ
- サブサンプリング (含水率、粒度分析、微生物、地化学)
- 物性測定 (温度、熱伝導率、力学)
- 間隙水化学分析 (スクリーナー=10台以上)



本調査で採取された泥層中に薄層として存在するハイドレート



本調査で採取された泥層中に塊状に存在するハイドレート

上越沖のメタンハイドレートと日本海東縁

2003年、佐渡沖南西に海底面近傍MHが見つかったことから、東京大学・松本良教授が中心となって上越沖及び佐渡沖の海底面近傍MHについて学術研究が進められました。海底面近傍MHは、経済的・効率的な採取方法(生産方法)の確立が難しく、資源としての評価は未知数ですが、MH調査が「なぜ、そこにあるのか?」という学術的な関心を集めていました。

2001年度から開始された我が国のプロジェクト「メタンハイドレート開発促進事業」のフェーズ2(2009~2015年度)では、我が国周辺海域でのMH賦存状況を把握するために、資源開発以前の段階にある表層型MHなどの特性についても科学的な研究を進めようと考えています。

今回の調査では、海底面近傍MH(表層型MH)と泥層内MH(フラクチャ型MH)が対象となりました。上越沖では、海底面近傍MHが確認されているほか、砂質層孔隙充填型MHが富集して存在する可能性が示唆されています(右図参照)。また、日本海東縁一帯は、同じような地質環境にあるため、上越沖と同じようなMHが日本海東縁に存在する可能性があります。そこで、本調査では、調査範囲を広げ、以前に堆積物内にMHの存在が示唆された奥尻海域でも調査を行いました。



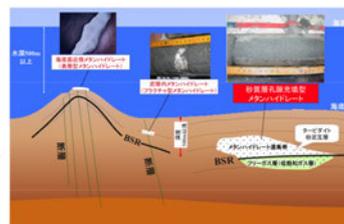
BSR (海底類似反射面)メタンハイドレートが存在する海域の地震探査データに現れる特徴的な反射面。

日本周辺のメタンハイドレートの存在状態

日本周辺海域に存在するメタンハイドレート(MH)は、大きく3種類の存在状態が確認されています(右図参照)。

- 海底面近傍MH(表層型MH)
- 泥層内MH(フラクチャ型MH)
- 砂質層孔隙充填型MH

現在、我が国をはじめとする多くの国が開発対象として想定しているのが「砂質層孔隙充填型MH」です。このタイプのMH層は、大規模な鉱床(MH濃集帯)を形成しうることに加え、石油・天然ガスと概ね同じ産状を示すため、経済的・効率的な開発につながるであろうと考えられています。我が国は、東部南海トラフ(静岡県沖~和歌山県沖)にある砂質層孔隙充填型MHを中心として開発研究を進めています。



本調査は、経済産業省の「メタンハイドレート開発促進事業」の中で(独)産業技術総合研究所の委託事業として実施されているものです。

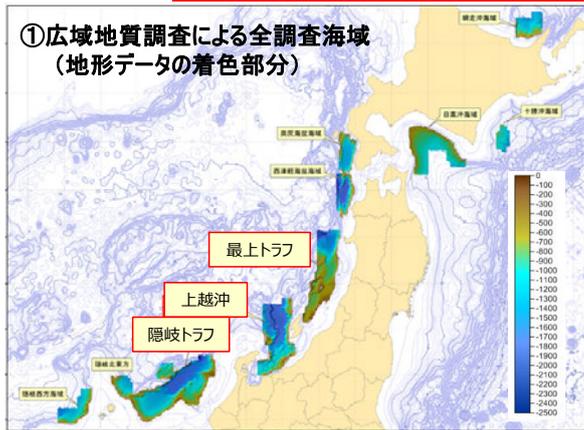
- 委託研究「日本海東縁フラクチャ型メタンハイドレート地質調査試料採取・分析」に係る委託先の公募について http://unit.aist.go.jp/collab-proci/wholesg/itaku/itaku_201003_1.html
- 公募結果「日本海東縁フラクチャ型メタンハイドレート地質調査試料採取・分析」に係る委託先の公募について http://unit.aist.go.jp/collab-proci/wholesg/itaku/itaku_kekka_201004_1.html

本調査に関するお問い合わせ

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム(MH21) 推進グループ
(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 石油開発技術本部 R&D推進部 メタンハイドレート研究チーム内
お問い合わせ先: MH21ホームページ内の「ご意見・ご質問」からお願いいたします
<http://www.mb21japan.gr.jp/>

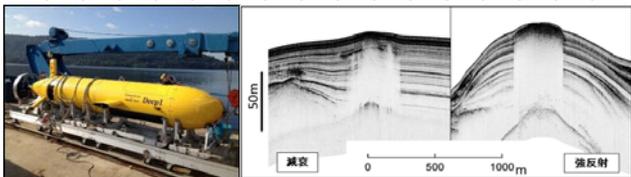
平成25年4月の海洋基本計画を受け、平成25年度～27年度において経産省の委託により日本海を中心に資源量把握に向けた広域的な海洋調査を実施した。

①広域地質調査による全調査海域 (地形データの着色部分)



＜実施した調査種目＞

- ①広域地質調査 (船底音響機器探査) ... 特異点(ガスチムニー構造)探索
- ②詳細地質調査 (AUV音響探査) ... 特異点周辺の超音波構造探査
- ③精密地震探査 (3D地震探査) ... エアガン構造探査
- ④海洋電磁探査 (CSEM探査) ... 比抵抗分布の曳航式探査
- ⑤掘削同時検層 (LWD: Logging While Drilling) ... 坑井の物性測定
- ⑥掘削地質サンプル採取 (コアリング+CPT) ... ハイドレート等堆積物採取
- ⑦環境調査 (ROV潜航調査+長期モニタリング) ... 環境ベースライン調査

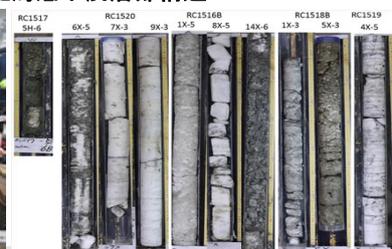


②詳細地質調査で使用したAUVと海底下浅層部構造

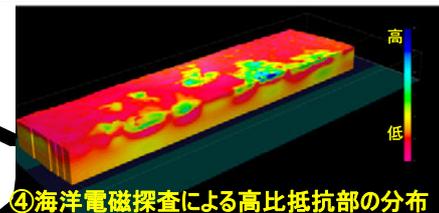
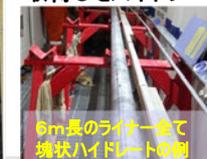
③精密地震探査による3D地下構造



⑤掘削同時検層のLWDツール



⑥掘削地質サンプル採取で取得したハイドレート試料



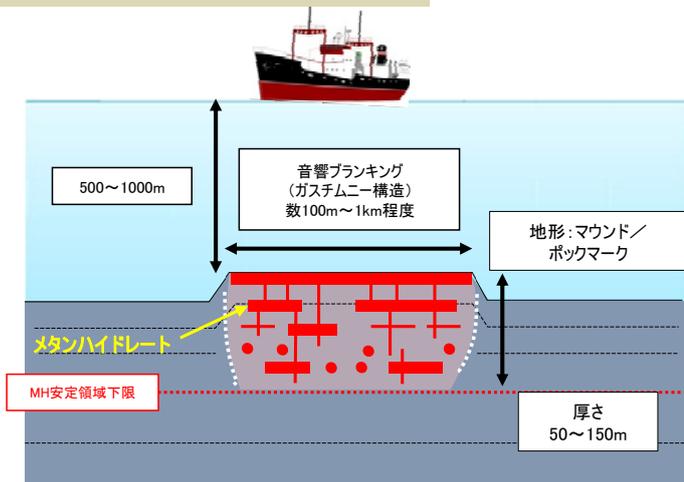
④海洋電磁探査による高比抵抗部の分布



⑦環境調査によるROV潜航調査で発見した塊状メタンハイドレートの壁

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

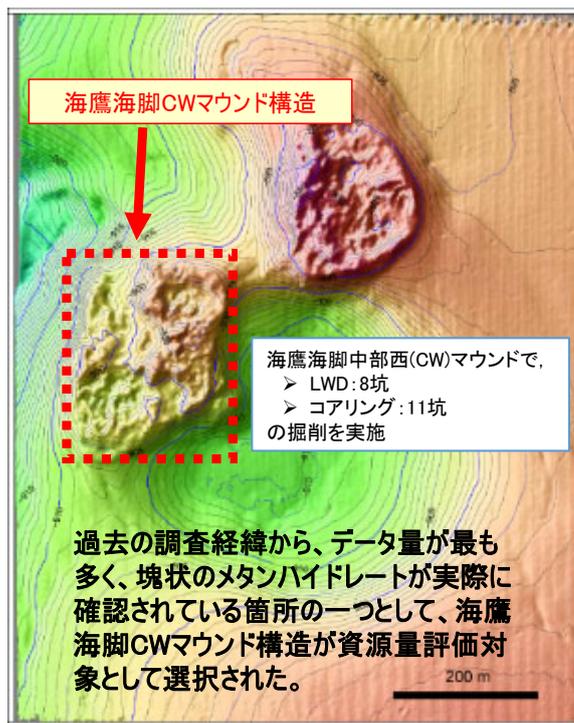
ガスチムニー構造の特徴



- ・ガスチムニー構造は音響探査のシャドーのため、内部構造は分からなかった。
- ・掘削調査などを通して、メタンハイドレートが、塊状、板状、脈状、粒状など様々な形態で存在し、その分布は連続的でないことが分かった。
- ・調査海域全体の資源量評価を断念し、一部に集中した。

主な成果内容

- ・国の要請に基づき、主に日本海で表層型メタンハイドレート調査を広域(63,700km²)で実施。
- ・音響ブランキングを示す特異点(ガスチムニー構造)を合計1,742箇所を確認。
- ・ガスチムニー構造内のメタンハイドレートの分布は不連続で一貫性がないことを確認。
- ・上越沖、海鷹海脚CWマウンド構造で、ガス換算6億m³(0.02TCF)のハイドレートと推定。



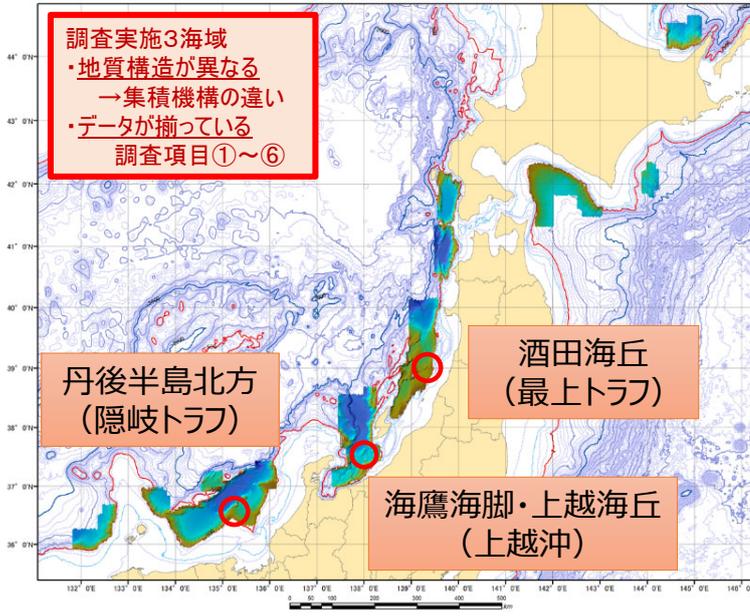
過去の調査経緯から、データ量が最も多く、塊状のメタンハイドレートが実際に確認されている箇所の一つとして、海鷹海脚CWマウンド構造が資源量評価対象として選択された。

資源化へ向けた
研究開発継続

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～)
			丹後半島北方 (隠岐トラフ)	海鷹海脚・上越海丘 (上越沖)	
		MH層を対象	MH層ではなく周辺を対象		
調査項目					
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（2014）
②詳細地質調査（MH胚胎域周辺の詳細地形・地質構造探査）	実施済（2014）				2013-2015, 2024, 2014, 2025
③海洋電磁探査（比抵抗分布の把握）	実施済（2015）				実施済（2017）
④掘削同時検層、ワイヤライン検層（坑井の物性測定）	実施済（2015）				2014, 2015, 2022-2023, 2014, 2023
⑤掘削地質サンプル採取（H ₂ OとH ₂ の分離採取）	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	2015, 2024-2025	2019
⑧熱流量調査（賦存領域下限深度の把握）			-	2010, 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, 2025
⑩地盤強度調査（検層・室内土質試験）		MH層ではなく周辺を対象	-	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, 2024, 2025	2020, 2023, 2024, 2025
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, 2024, 2025	2020, 2023, 2024, 2025
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（2024年度）実施 紫：来年度の実施検討中

※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。

海洋調査（賦存状況等の把握）

- 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。

精密地下構造の把握→賦存状況

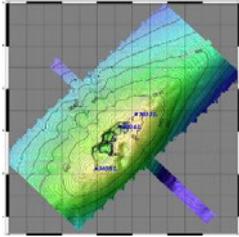
地下温度構造の把握 →賦存領域下限深度

⑦精密地下構造調査

高分解能三次元探査(2019年酒田沖)の結果

酒田沖
2020年度報告済

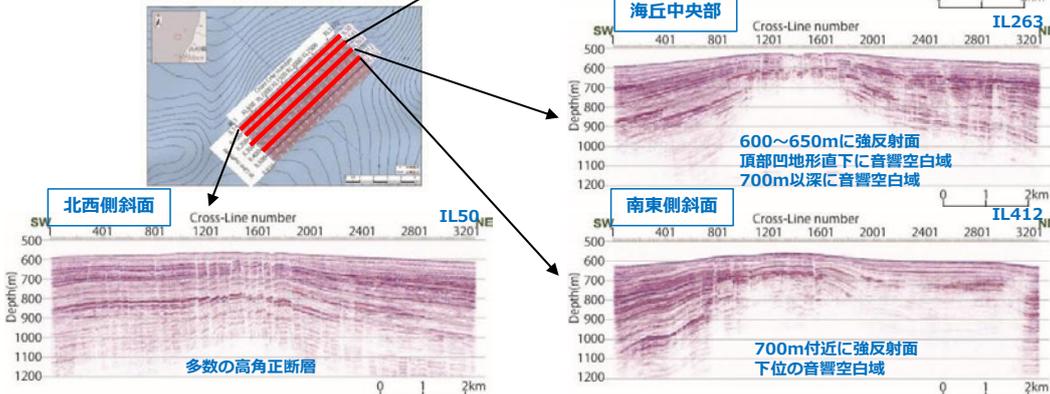
⑧熱流量調査



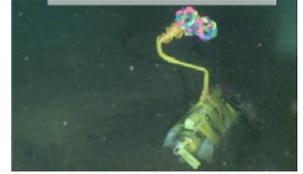
調査海域の海底地形

- ・北東-南西方向の海丘
- ・頂部水深：約530m
- ・頂部に凹地形：MHが賦存
- ・LWD 3点（2014年実施）

マイグレーション深度断面



海中温度計の設置



海底に設置した海底水温計



熱物性計測のための堆積物採取

酒田沖（2020～2021年度）
上越沖（2022～2023年度）
のデータを解析作業中
（2022年度に一部報告）

丹後半島北方海域（2021年度実施）の結果は昨年度（2023年度）報告済
上越沖海域は、2024年度実施分は現在処理中、2025年度も調査計画中

賦存状況等の把握

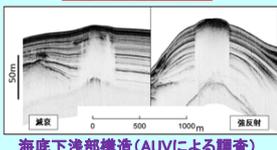
<表層型MHの研究開発 2023年度研究成果報告会資料を更新>

物理探査データ取得・解析の実施状況

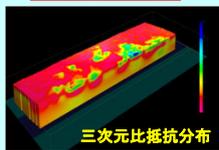
- 凡例
- データ取得・処理（海洋調査）
2018年度まで
 - データ取得・処理（海洋調査）
2019～2025年度
 - データ解析（陸上）
2017, 2019～2025年度

	丹後半島北方 (隠岐トフ)	海鷹海脚・上越海丘 (上越中)	酒田沖 (最上トフ)
<精密地下構造の把握> （斜体下線は高精度把握のための調査）			
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, 2024	2014, 2025
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, ワイヤライン検層（坑井の物性測定）	2015	2014-2015 2022-2023	2014, 2023
⑦高分解能三次元地震探査（精密地下構造探査）	2021 2023年度報告済	2015, 2024-2025	2019 2020年度報告済
⑦' 地震探査データ詳細解析（BSR・断層等の抽出・解析）	2022	2019	2020 2022年度報告済
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）	2022年度一部報告済	検討中	2010, 2022-2023 2020-2021

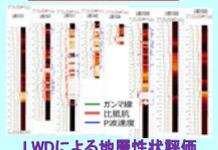
②詳細地質調査



③海洋電磁探査



④掘削同時検層



⑦高分解能三次元地震探査



⑧熱流量調査



海洋調査（海底の状況等の把握）

- 海底地盤強度調査を、2021年度に酒田沖、2022年度に上越沖、2023年度に両海域で実施。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

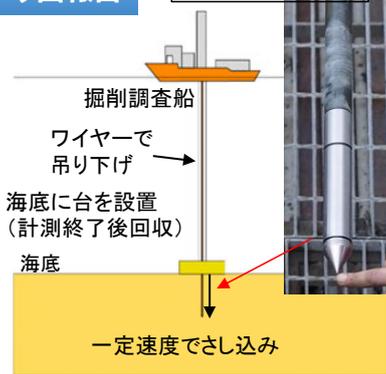
酒田沖（2021, 2023年度）
上越沖（2022, 2023年度）



POSEIDON-1(酒田沖) ちきゅう(上越沖, 酒田沖)
掘削調査船

今回報告

原位置CPTの例



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)



セジメントトラップ

沈降粒子を採取

CTD 濁度計 溶存酸素計

流向流速計

シーページメータ

海中温度計

水温計

無人潜水機(ROV)で設置・回収

海底

海底面から数十mまでの高さの流向と流速を計測

海底面から湧出する流体の流速を計

海底下温度を計測

水温を計測

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

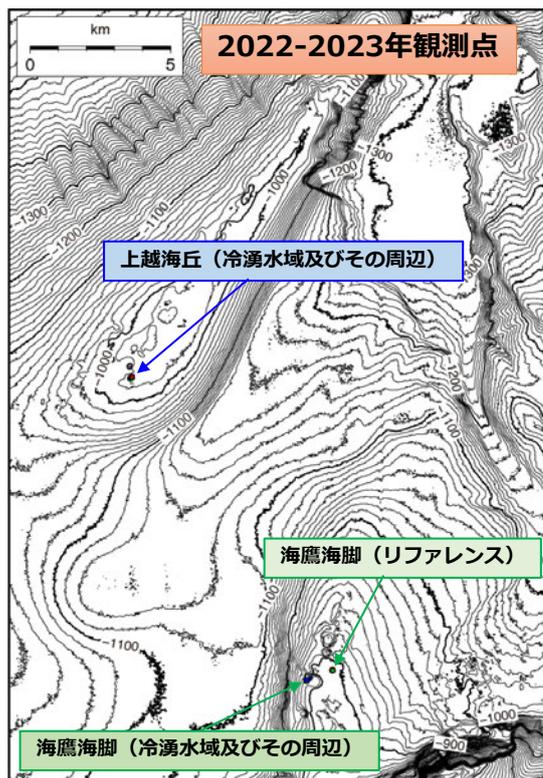
海底面から湧出する流体の流速を計

海底下温度を計測

水温を計測

海底機器観測（海底の状況等を把握するための海洋調査）

- 海底の現場状況を把握するための調査として、2022年から2023年にかけて上越沖（上越海丘及び海鷹海脚）で、海底に機器を設置して長期モニタリング観測を実施し、これらのデータの解析を進めている。



長期モニタリング観測機器の海底設置状況（写真）

⑨海底現場状況調査



ADCP、CTD、
濁度計、溶存酸素計



セジメントトラップ



シーページメータ、
オスモサンプラー

⑧熱流量調査

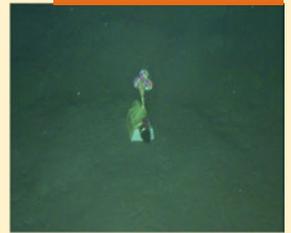
2022年度一部報告済



海中温度計
(バクテリアマット内)



海中温度計
(バクテリアマット近傍)

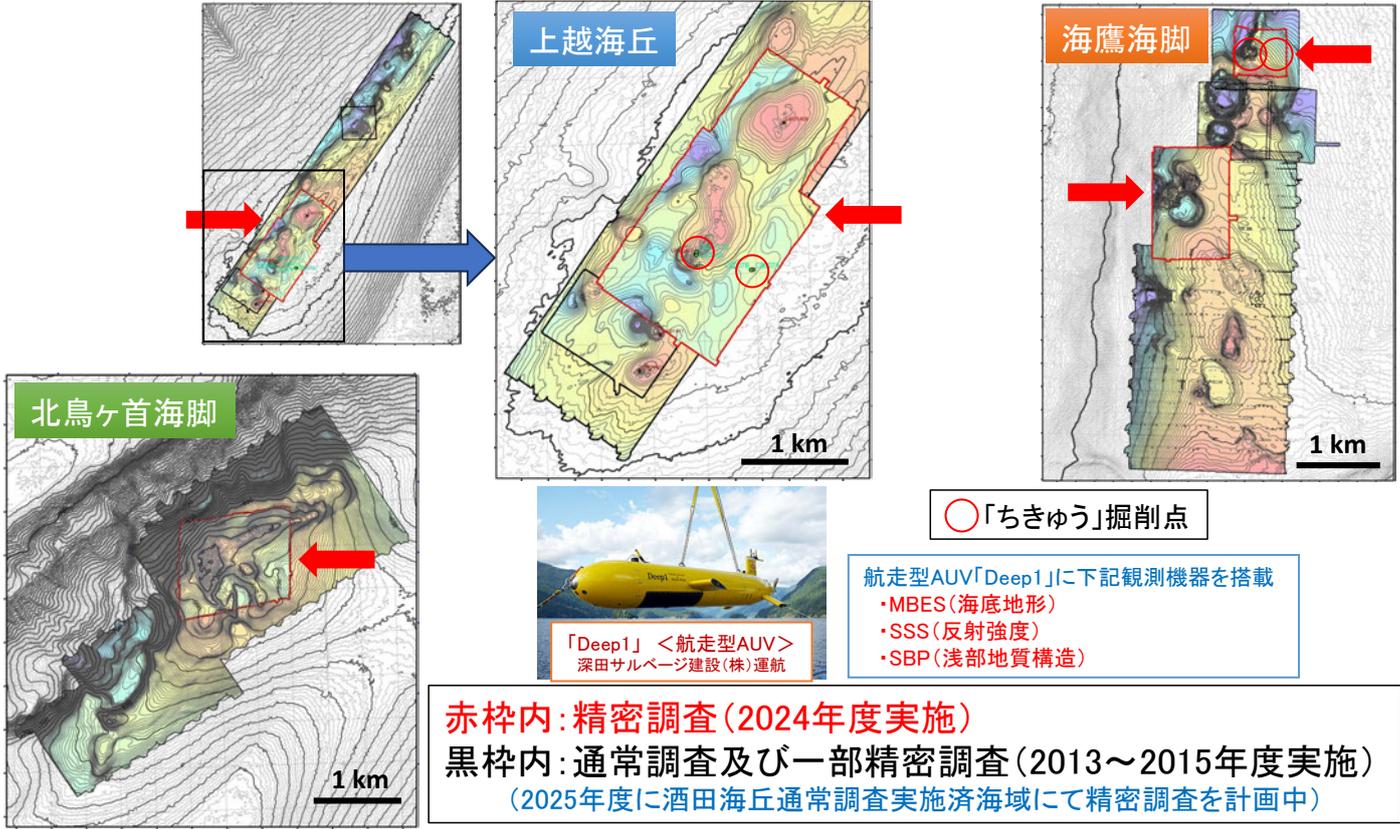


水温計測システム

酒田沖では、2020～2021年度に海底機器観測を実施
(データ解析作業中)

詳細地形地質調査（上越沖海域）

- **海底及び海底下構造の高精度把握**と、海底環境調査のための**基礎データ(海底地形, 底質等)**取得
 - 通常調査(高度50m, 測線間隔110m)から**精密調査(高度25m, 測線間隔10m)**へ
 - 高分解能三次元地震探査(HR3D+OBN+DT)との総合解釈(SBP等)



海洋調査・海域環境調査 航海一覧

調査年度	丹後半島北方			上越沖(上越海丘, 海鷹海脚, 北鳥ヶ首海脚)			酒田沖(酒田海丘)		
	調査項目	航海名	使用船舶	調査項目	航海名	使用船舶	調査項目	航海名	使用船舶
2019 (1)							HR3D	TS19/KY19	つしま/かいゆう
2020 (3)							SeaXerocks	1K20	第一開洋丸
							海洋観測/海底環境調査	SS20-1	新世丸
							海底観測機器設置	SS20-2	新世丸
2021 (9)	HR3D	KA21	かいり	SeaXerocks	1K21-1	第一開洋丸			
				海洋観測	1K21-2	第一開洋丸			
				海底環境調査	SS21-1	新世丸	海底観測機器回収	SS21-1	新世丸
							海底地盤強度調査	PS21	POSEIDON-1
				海底現況調査	KR21-15C	かいいい			
				海底現査	1K21-3	第一開洋丸			
2022 (8)				SeaXerocks	1K22-1	第一開洋丸			
				海洋観測	1K22-2	第一開洋丸			
				海底観測機器設置	SS22-1	新世丸			
				海底現査	1K22-3	第一開洋丸			
				膜利活用海洋実験	1K22-4	第一開洋丸			
				掘削影響事前調査	SS22-2	新世丸			
2023 (8)				海底地盤強度調査	CK22-03C	ちきゅう			
				掘削影響事後調査	SN22	新日丸			
				掘削影響事後調査	8K23	第八海工丸			
				海底観測機器回収	SS23-1	新世丸			
				掘削影響事後調査	SS23-2	新世丸			
				海洋観測	1K23-1	第一開洋丸			
2024 (6)				海底現査	1K23-2	第一開洋丸			
				海底地盤強度調査	CK23-02C	ちきゅう	海底地盤強度調査	CK23-02C	ちきゅう
							掘削影響事前事後調査	1K23-3	第一開洋丸
				膜利活用海洋実験	1K23-4	第一開洋丸			
				HR3D+OBN+DT	TB24/KA24	つばさ/かいり			
				掘削影響事後調査	SS24-1	新世丸	掘削影響事後調査	SS24-1	新世丸
			生物影響評価	SS24-2	新世丸				
			詳細地形地質調査	SR24	新竜丸/Deep1				
			海底現査	1K24-1	第一開洋丸				
			膜利活用海洋実験	1K24-2	第一開洋丸				

上越沖及び酒田沖MH胚胎域での 地盤強度調査（掘削調査）と掘削影響調査

■ 海洋調査の概要と進捗

（後半）地盤強度調査（掘削調査）概要

産総研 佐藤 幹夫

■ 上越沖及び酒田沖MH胚胎域での地盤強度調査

(1) 掘削コアの地質学的特徴

産総研 吉岡 秀佳

(2) 海底表層地盤の物理特性

鳥取大 中村 公一

(3) 室内土質試験とワイヤライン検層の対比

産総研 鈴木 清史

■ 上越沖及び酒田沖MH胚胎域での掘削影響調査

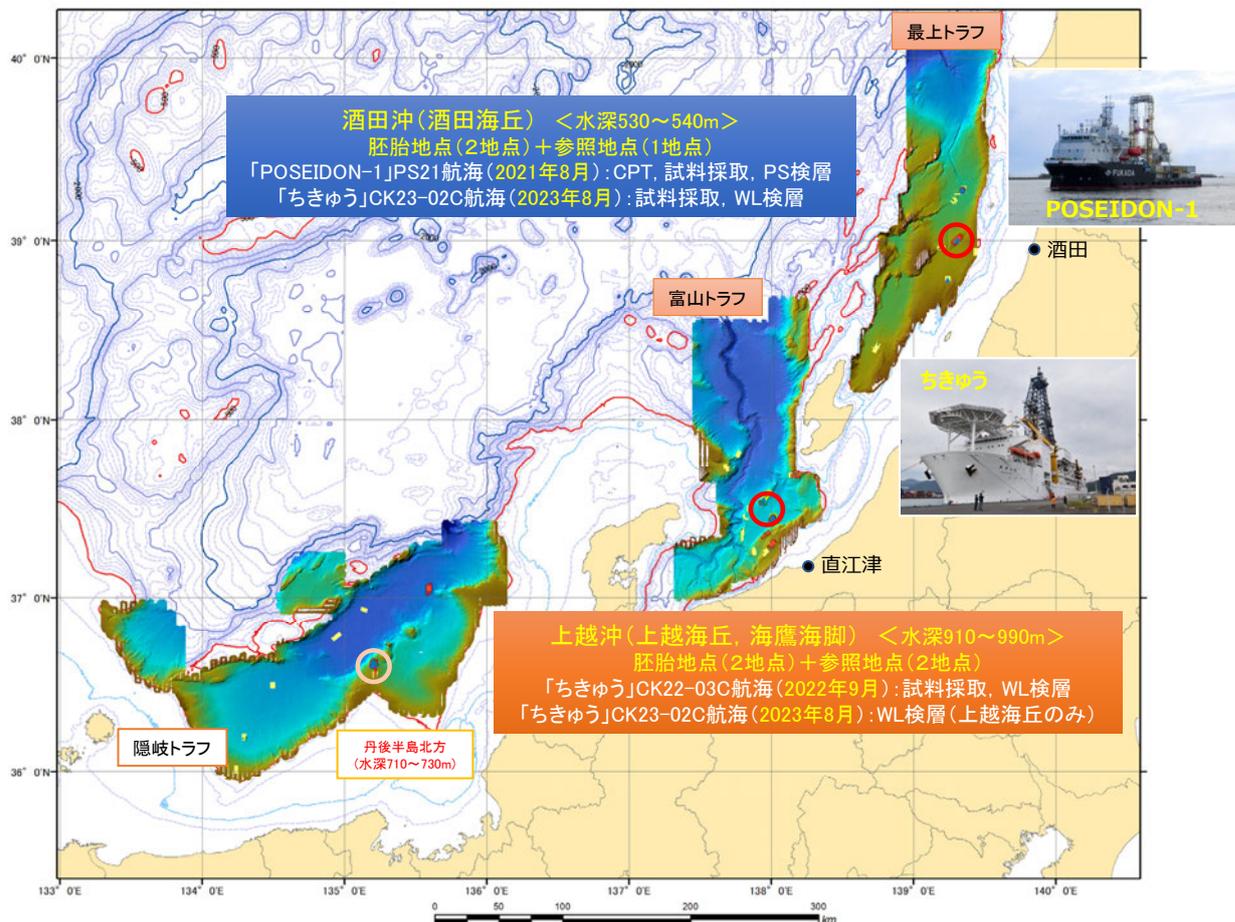
(1) 音響探査, 海底画像, 表層堆積物から推定した再堆積層分布

産総研 浅田 美穂

(2) ホバリング型AUV「YOUZAN」を用いた海底画像撮影と生物への影響

いであ(株) 加藤 正悟

地盤強度調査（掘削調査）及び掘削影響調査 実施海域



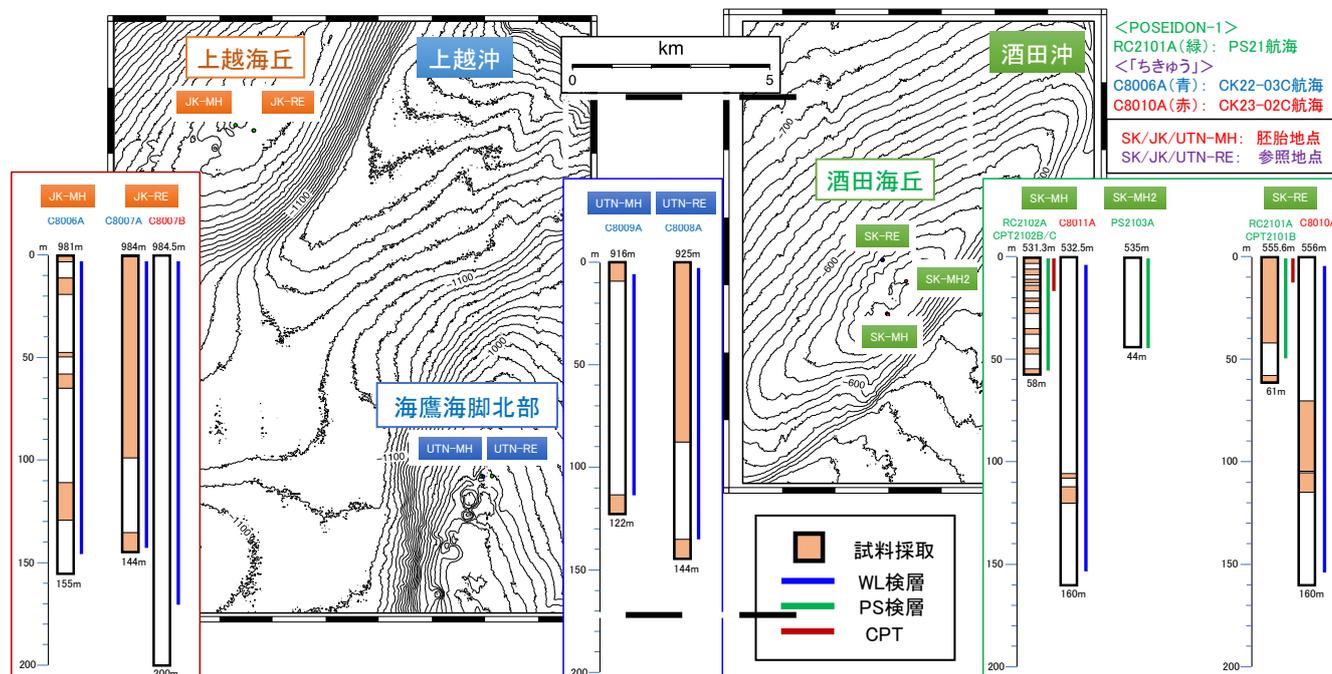
地盤強度調査の実施概況 (1) 掘削点一覧

- 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)

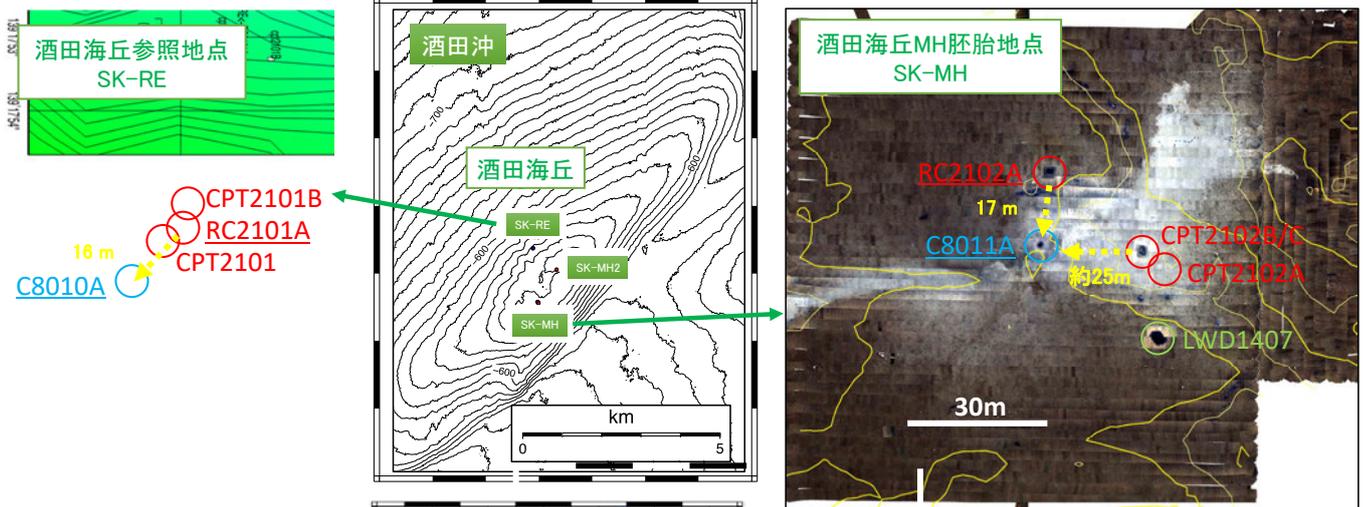
海域	Site	Cruise	Hole	Water Depth	T.D.	Coring	Logging	CPT
酒田海丘	SK-MH	PS21	RC2102A/CPT2102	531.3 m	58 m	~58 m	55.7 m (PS)	16.8m
		CK23-02C	C8011A, (C8011B, C)	532.5 m	160 m	106~120 m	152.6 m (full)	-
	SK-MH2	PS21	PS2103A	535 m	44 m	-	43.8 m (PS)	-
	SK-RE	PS21	RC2101A/CPT2101	555.6 m	61 m	~61 m	49.5 m (PS)	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)	-
		CK22-03C	C8007A	984 m	144 m	144 m	142.5 m (full)	-
	JK-RE	CK23-02C	C8007B	984.5 m	200 m	-	170 m (full)	-
海鷹海脚北部	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)



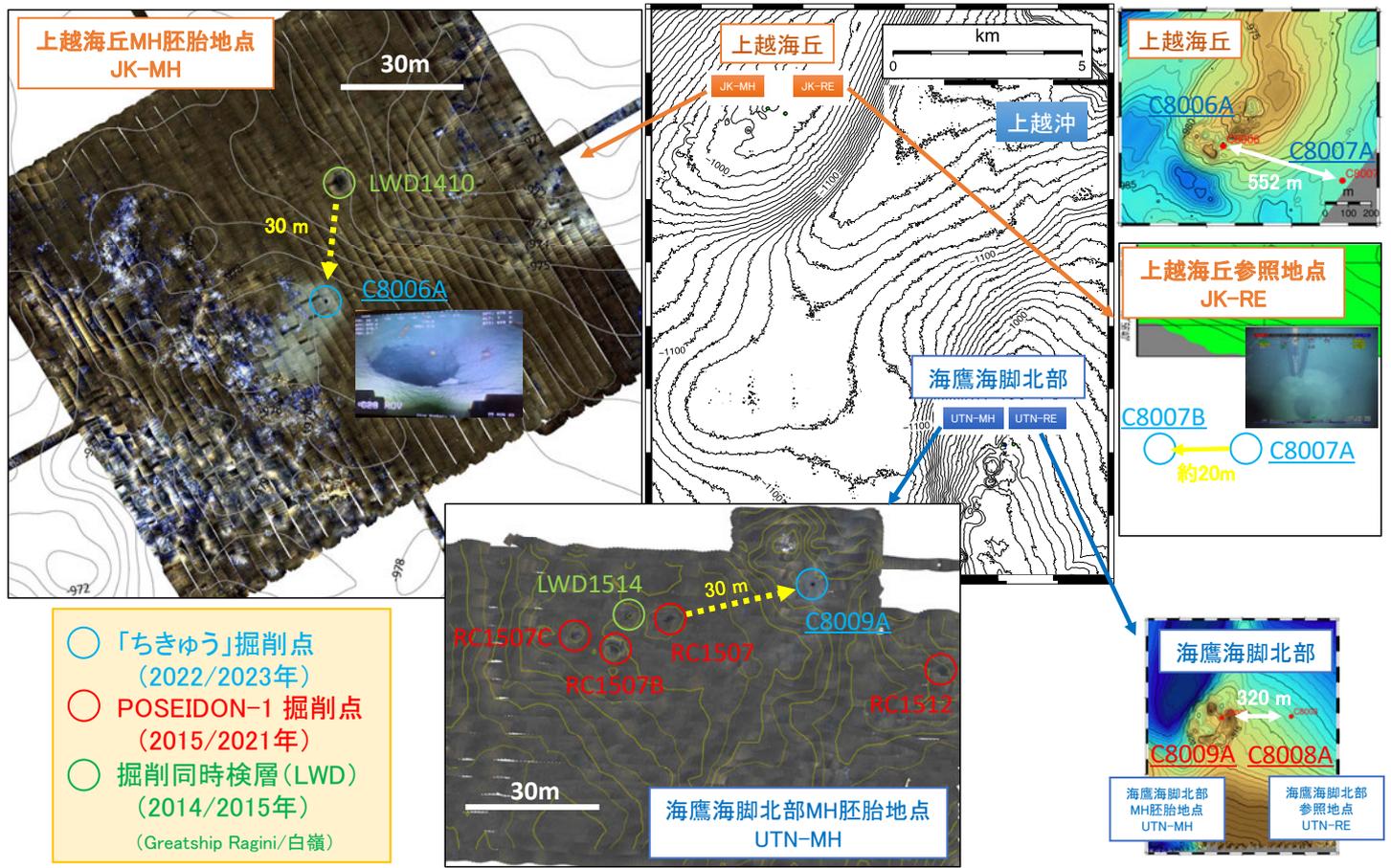
地盤強度調査の実施概況 (3) 掘削点の位置関係 (酒田沖)



- 「ちきゅう」掘削点 (2022/2023年)
- POSEIDON-1 掘削点 (2015/2021年)
- 掘削同時検層(LWD) (2014/2015年) (Greatship Ragini/白嶺)

- 掘削地点及びコア採取区間の決定
- 既存掘削点を起点に新規掘削点を決定
 - ✓ 掘削事前事後調査との位置合わせ (音響測位の誤差を回避)
 - ✓ 15~30mの距離(地下での干渉回避)
 - ROVIによる海底観察により、掘削地点確定
 - ✓ 海底地形や底質を考慮
 - ✓ 微修正(5m程度)
 - 既存LWDからコア採取/掘飛ばし区間決定
 - ✓ MHや炭酸塩岩の区間を回避
 - ✓ 上記がない区間でコア採取→土質試験

地盤強度調査の実施概況 (4) 掘削点の位置関係 (上越沖)



- 「ちきゅう」掘削点 (2022/2023年)
- POSEIDON-1 掘削点 (2015/2021年)
- 掘削同時検層(LWD) (2014/2015年) (Greatship Ragini/白嶺)

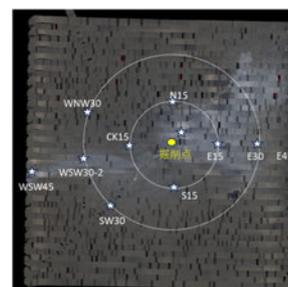
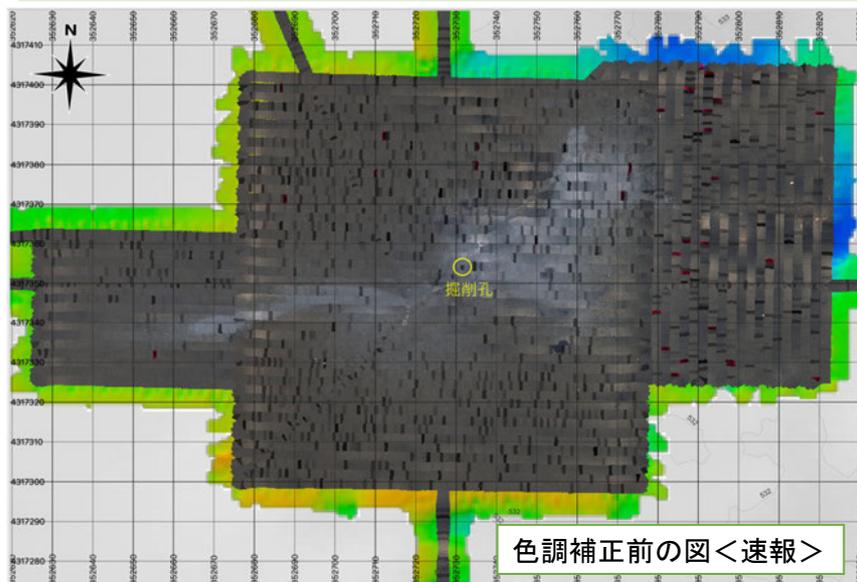
酒田沖（酒田海丘）	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024	FY2025
掘削調査（コア採取，WL検層） （地盤強度調査）	PS21 Poseidon-1		CK23-02C ちきゅう		
詳細地形地質調査（音響探査） 航走型AUV「Deep1」				SK-RE	2年後 （船舶未定）
掘削影響調査（海底画像撮影） ホバリング型AUV「YOUZAN」			直前 直後 1K23-3 第一開洋丸	1年後 SS24-1 新世丸	2年後 （船舶未定）
掘削影響調査（試料採取，海底観察） ROV「はくよう3000」/「KAIYO3000」					
掘削影響調査（音響探査） ROV「KAIYO3000」				SK-MH	

上越沖（上越海丘，海鷹海脚北部）	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024	FY2025
掘削調査（コア採取，WL検層） （地盤強度調査）		CK22-03C ちきゅう	CK23-02C ちきゅう		
詳細地形地質調査（音響探査） 航走型AUV「Deep1」		UTN-RE		2年後，1年後 SR24 新竜丸	
掘削影響調査（海底画像撮影） ホバリング型AUV「YOUZAN」		7ヶ月後	8K23 第八海工丸	2年後 SS24-1 新世丸	
掘削影響調査（試料採取，海底観察） ROV「はくよう3000」/「はくよう」		直前 SS22 新世丸	1ヶ月後 SN22 新日丸		
掘削影響調査（音響探査） ROV「KAIYO3000」			10ヶ月後 SS23-2 新世丸		
			JK-RE2		
			JK-MH		

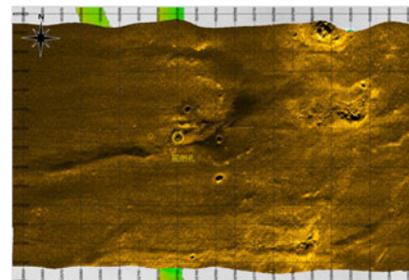
<第42回メタンハイドレート開発実施検討会（2023.11.6）資料5に加筆>

AUV/ROVを用いた掘削による影響評価検討

上越海丘：掘削直前直後（2022年8月，10月），7～9ヶ月後（2023年4月，6月），2年後（2024年7-8月）
酒田海丘：掘削直前直後（2023年8月），1年後（2024年8月）



酒田海丘
掘削直後調査
の例
<速報>



AUV、ROVを用いた掘削による影響評価検討

左：AUVによる海底モザイク画像。掘削屑の広がり（白い帯）が確認できる。

位置合わせが必須

右上：ROVによる掘削孔周辺のコアサンプリング地点。AUV取得画像をもとにサンプリング地点を決定。

右下：ROVによるサイドスキャンソナー取得データ。地形・反射強度のデータをAUVの画像データと組み合わせることで掘削屑の分布や再堆積プロセスの評価に貢献

その後の解析結果を今回報告（浅田，加藤様@いであ（株））

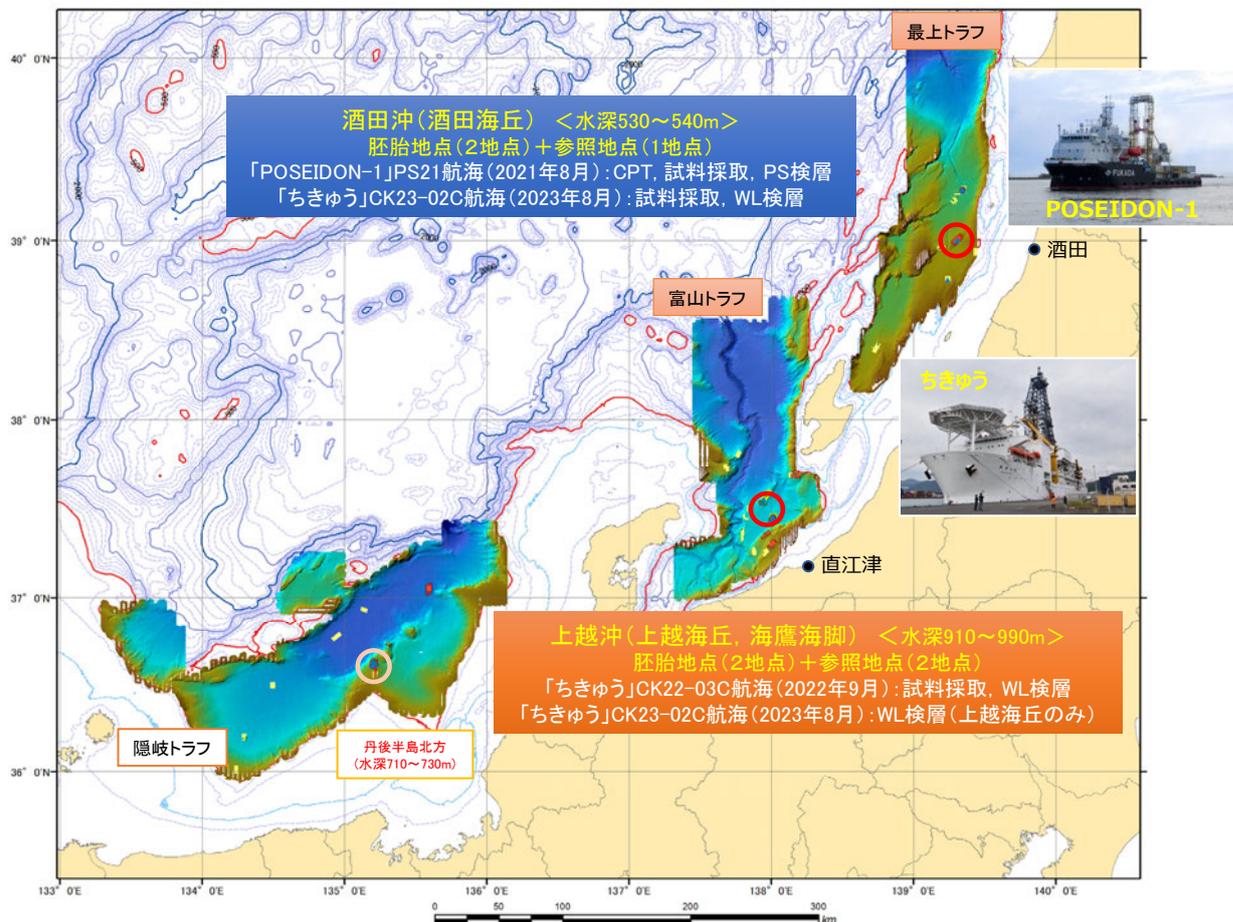
上越沖及び酒田沖MH胚胎域での地盤強度調査(1) 掘削コアの地質学的特徴

国立研究開発法人産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門
吉岡 秀佳

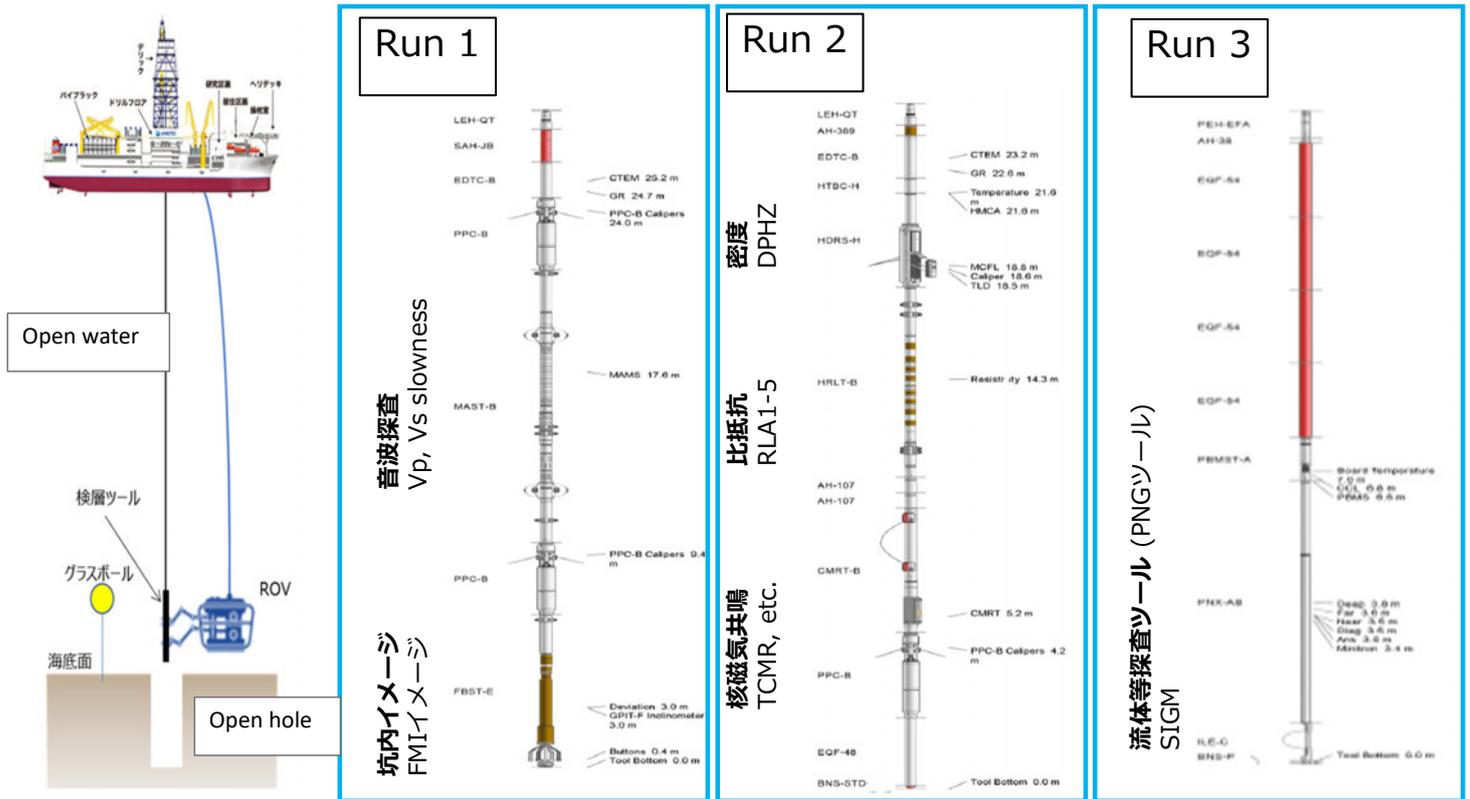
鈴木清史，宮嶋佑典，太田雄貴，佐藤幹夫

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、謝意を表します。

地盤強度調査（掘削調査）及び掘削影響調査 実施海域

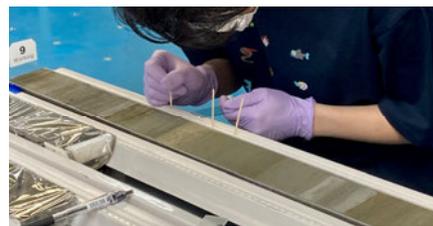
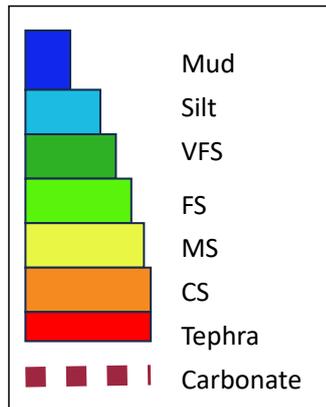


- 地質試料 (コア) 採取後の掘削坑を用いWL検層を実施、地層情報を取得
Open water /Open holeで実施



岩相と検層データの比較

■ 半割コアで記載した岩相



半割コアの観察



コアのCT画像

+ ガス/メタンハイドレート(MH)

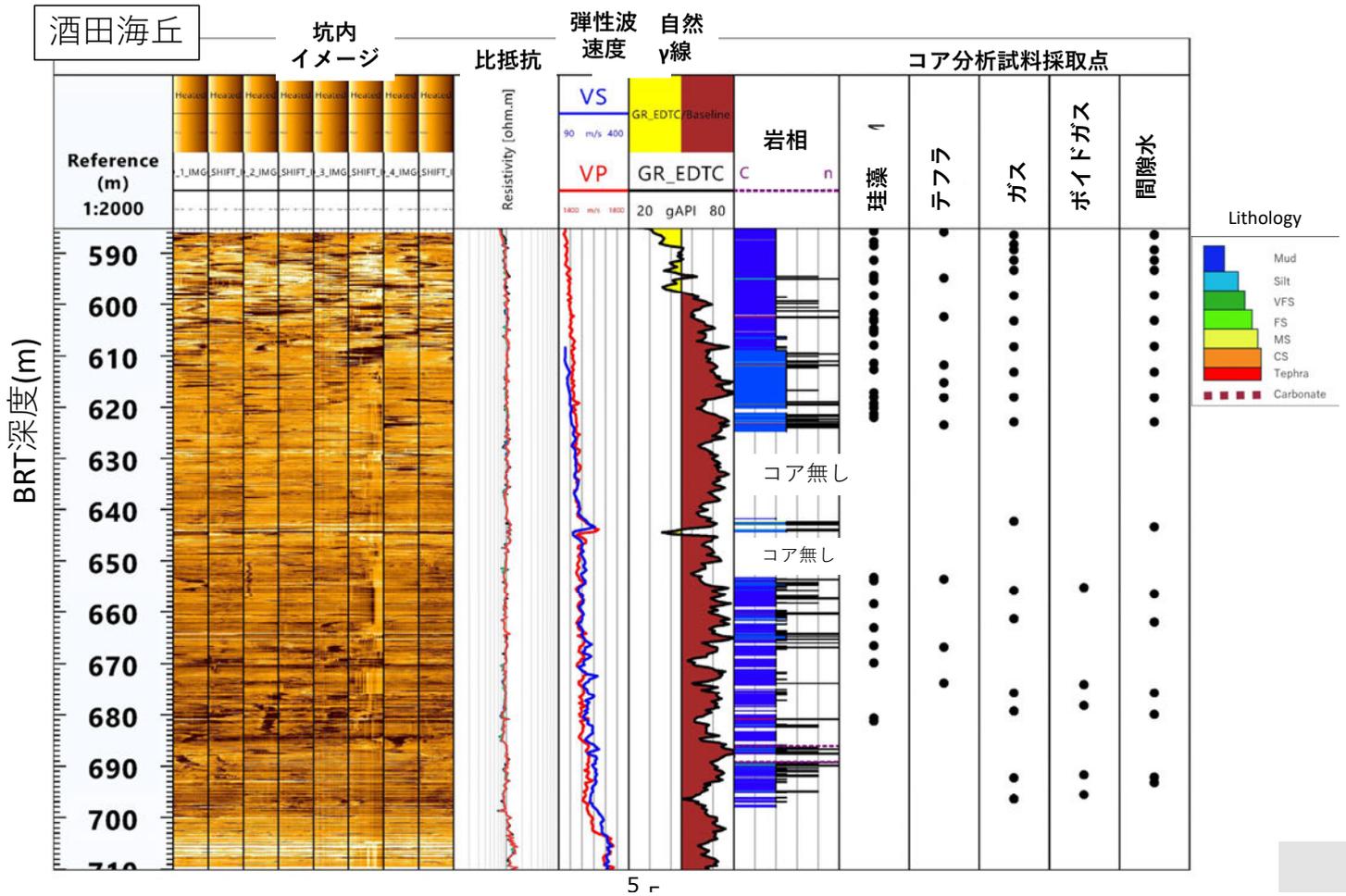
■ 検層データとMH・ガス・岩相の関係

	methane hydrate	gas	sand/tephra in mud	Chlorinity (salinity)
FMIイメージ	high	high	high	
比抵抗	high	high	high	
弾性波 Vp	high	low		
弾性波 Vp/Vs		low		
自然ガンマ			low	
SIGM				propotional

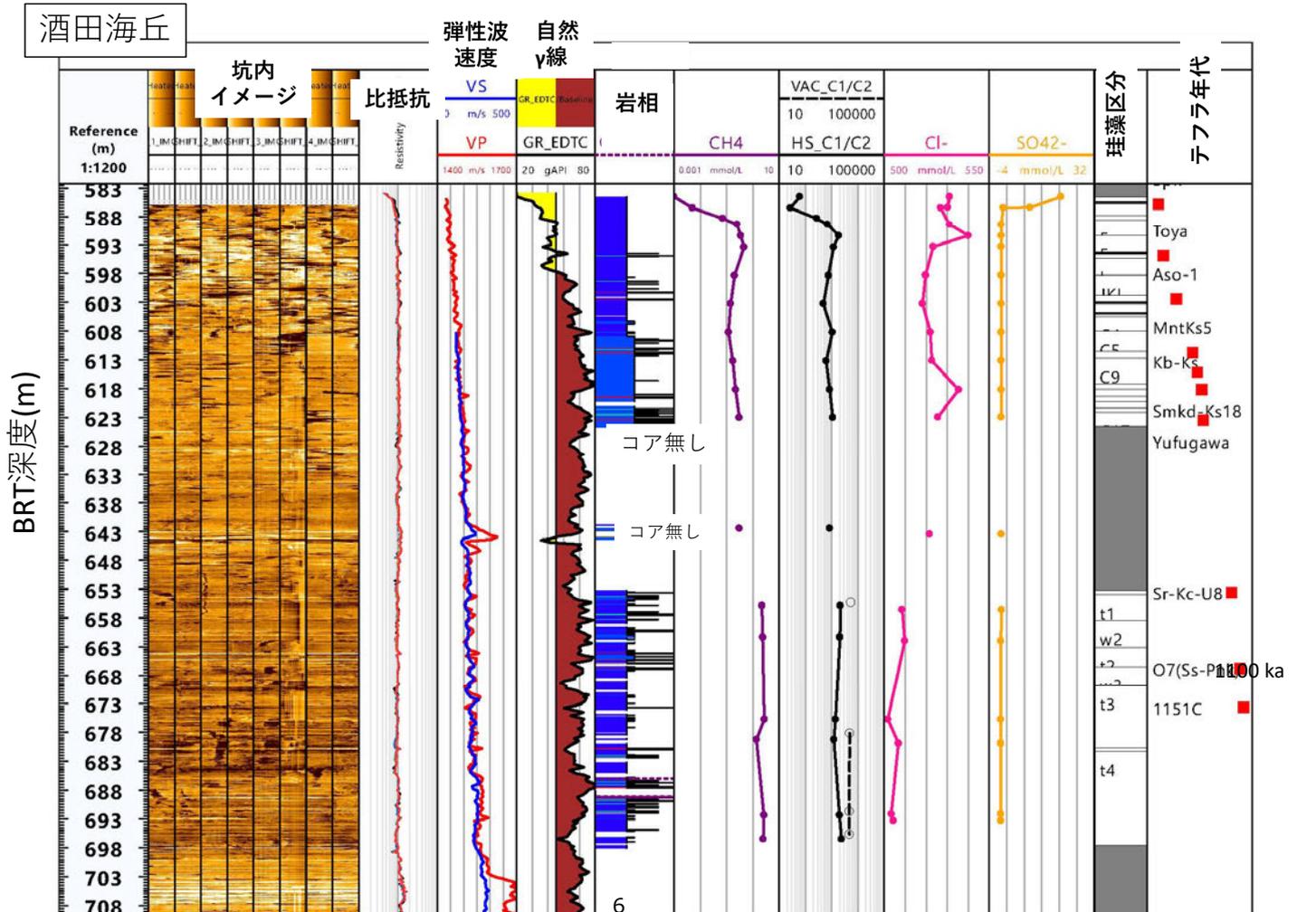
■ ガス・間隙水の分析項目

- メタン濃度
- メタン/エタン
- メタン炭素同位体比
- 水素濃度
- Cl濃度 (クロリニティ)
- アルカリ度
- 硫酸イオン濃度

検層結果とコア分析の結果 (酒田沖海域)

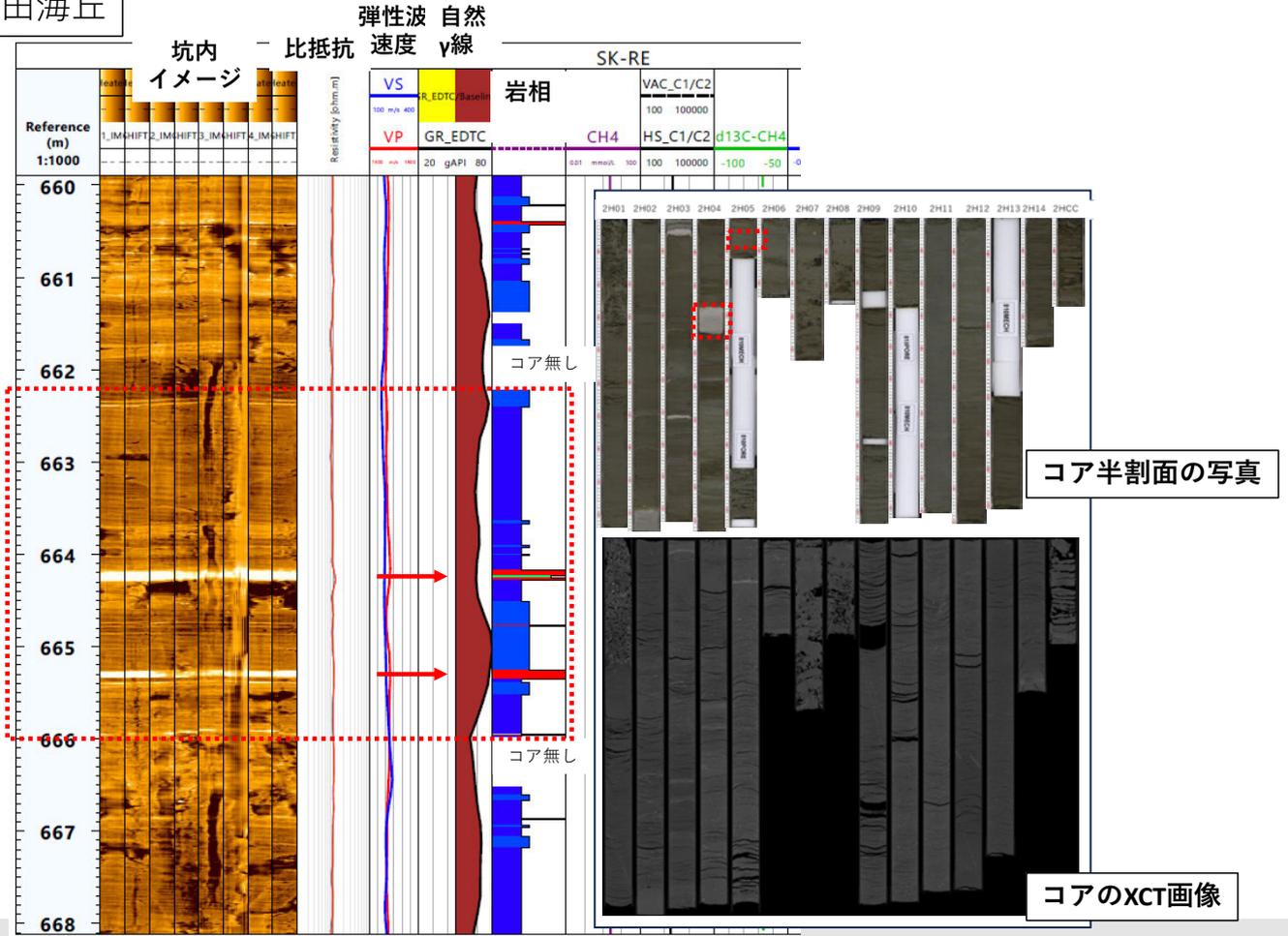


検層結果とコア分析の結果 (酒田沖海域)



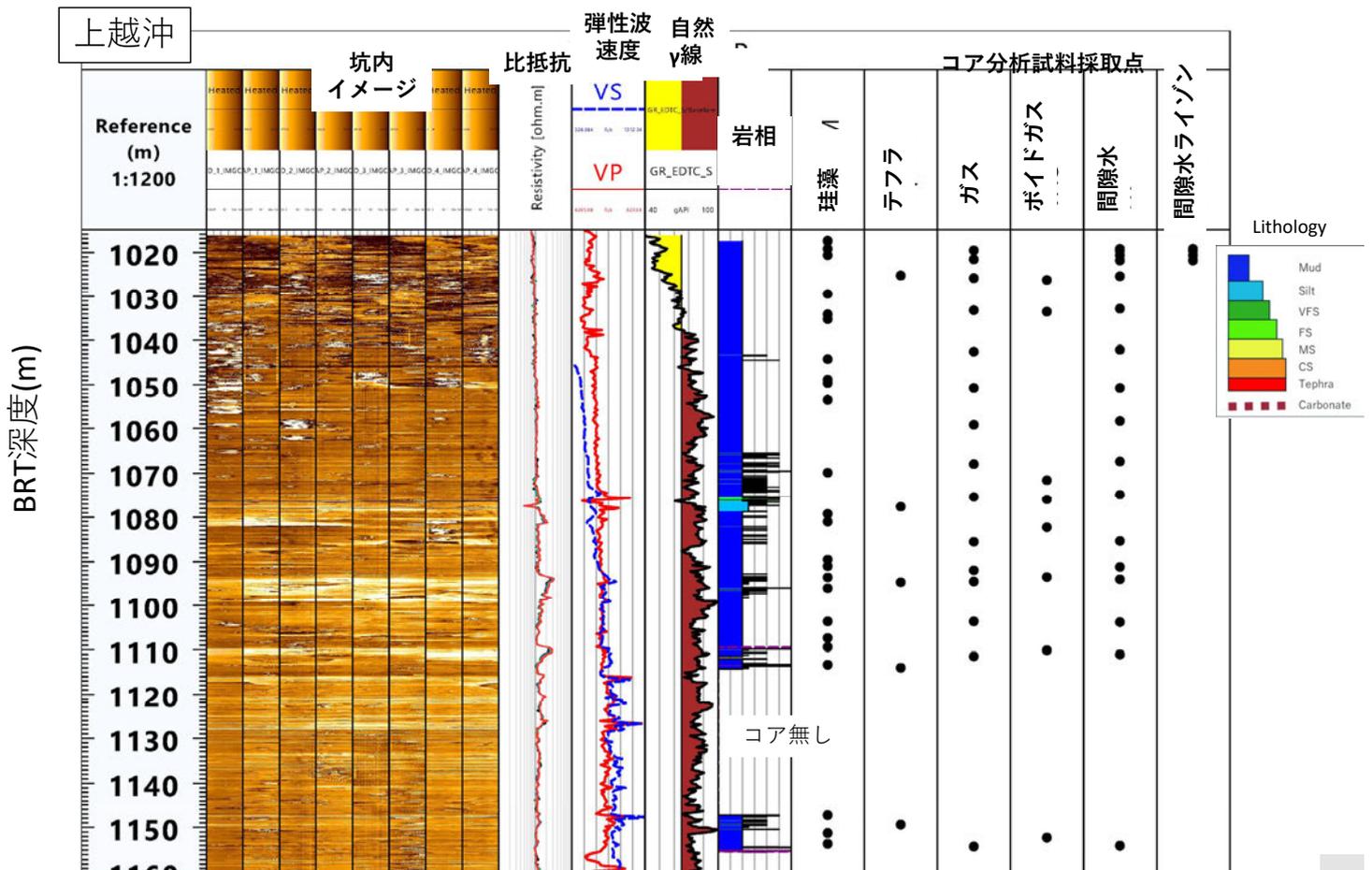
検層結果とコア分析の結果（酒田沖海域）

酒田海丘

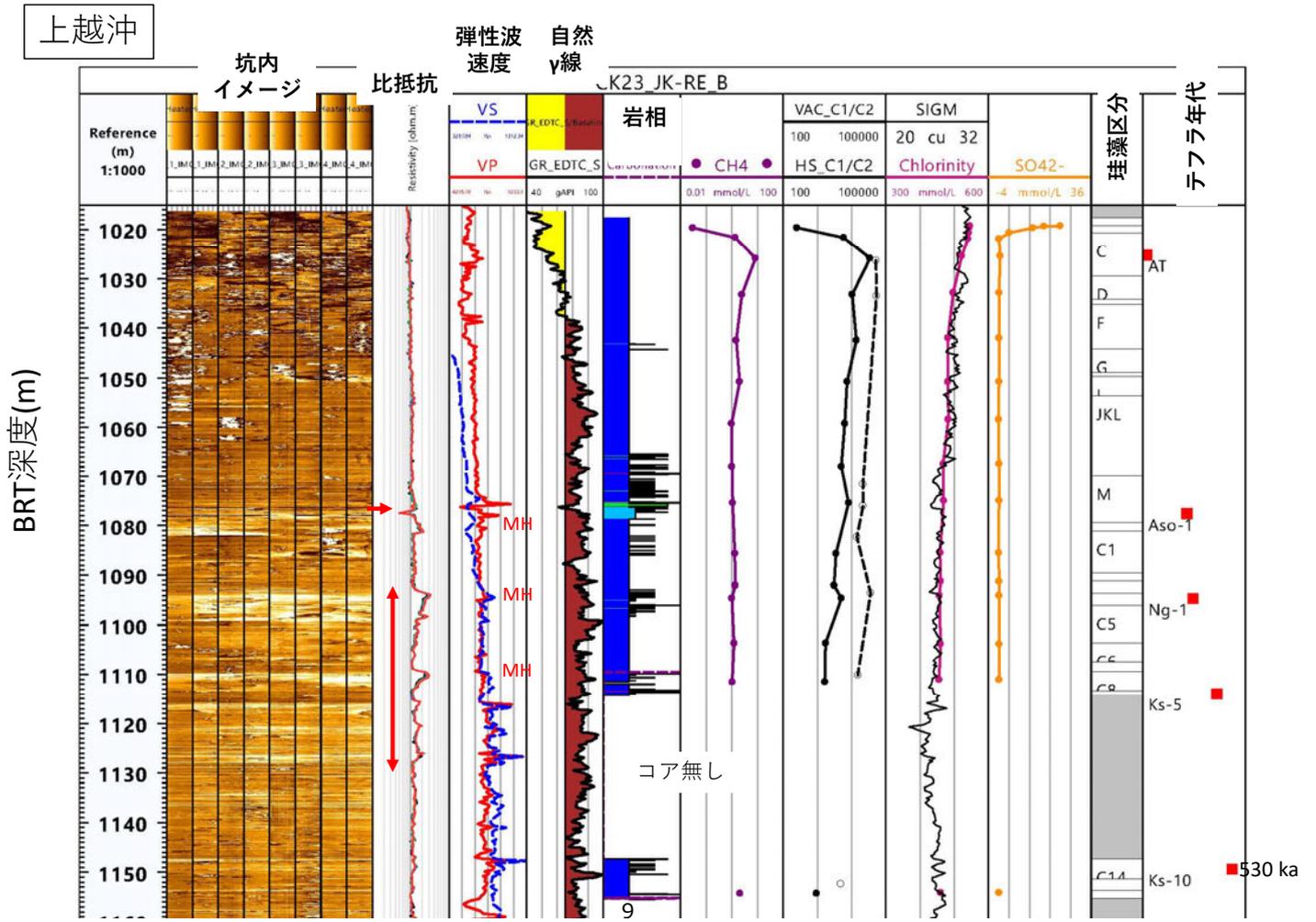


検層結果とコア分析の結果（上越沖海域）

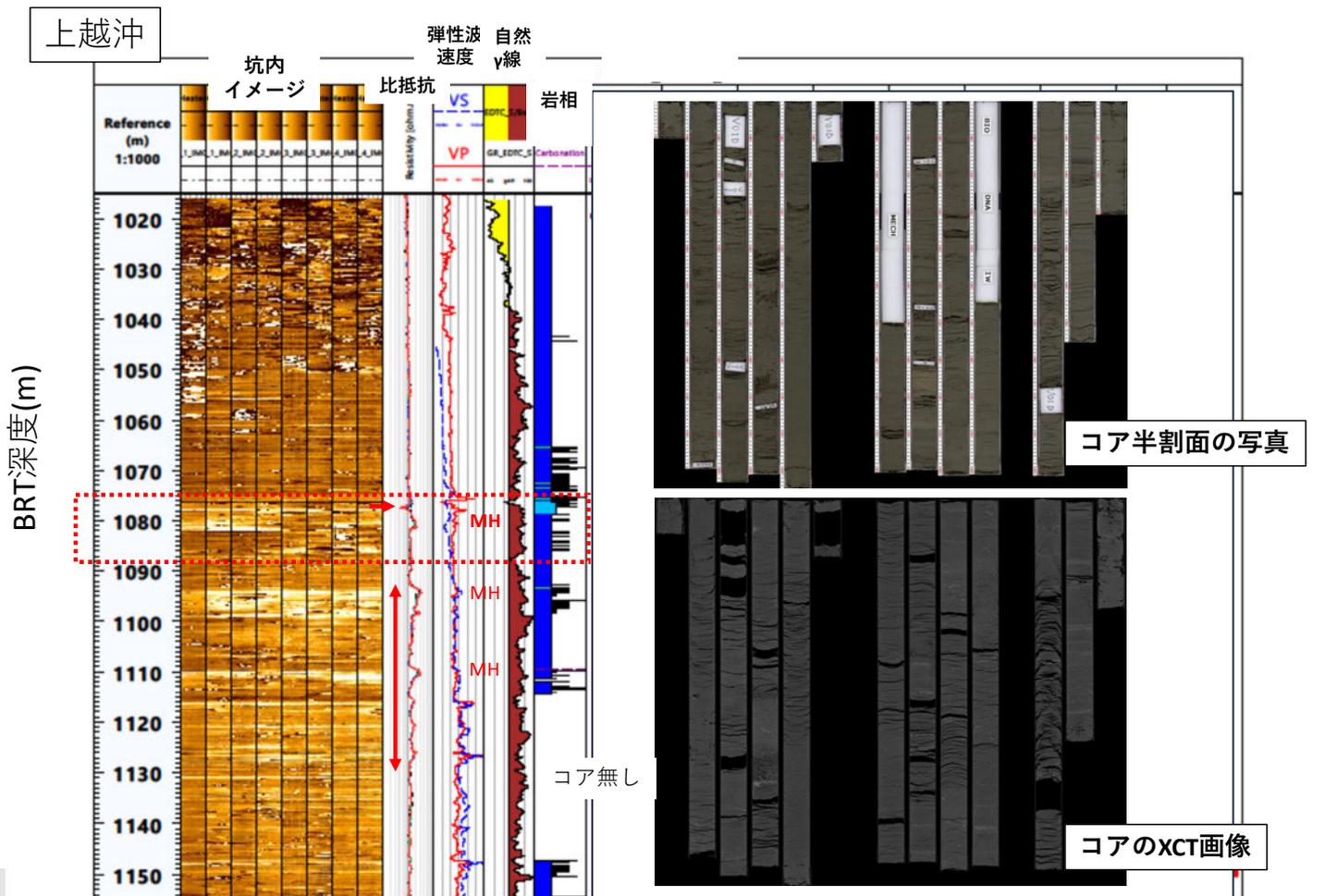
上越沖

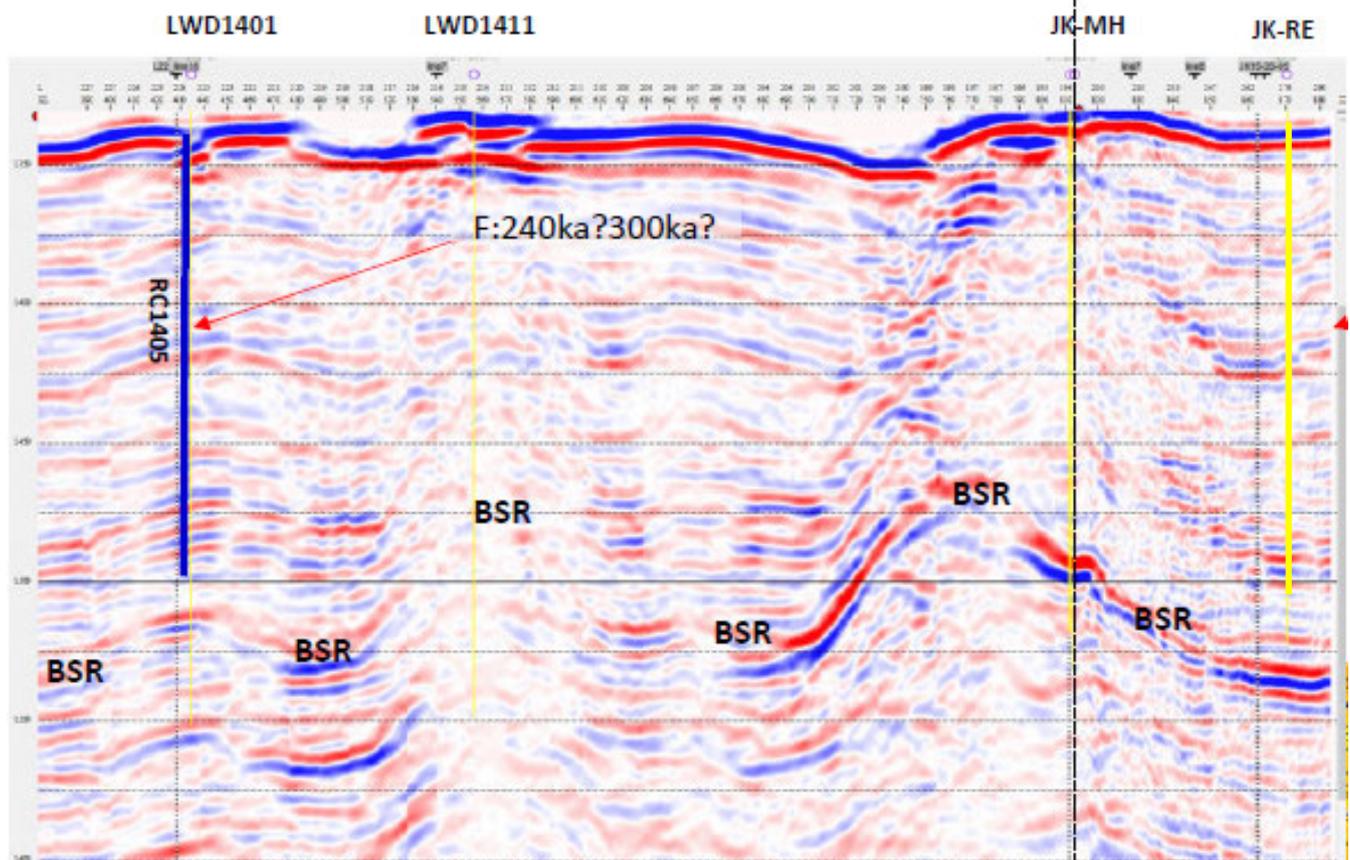
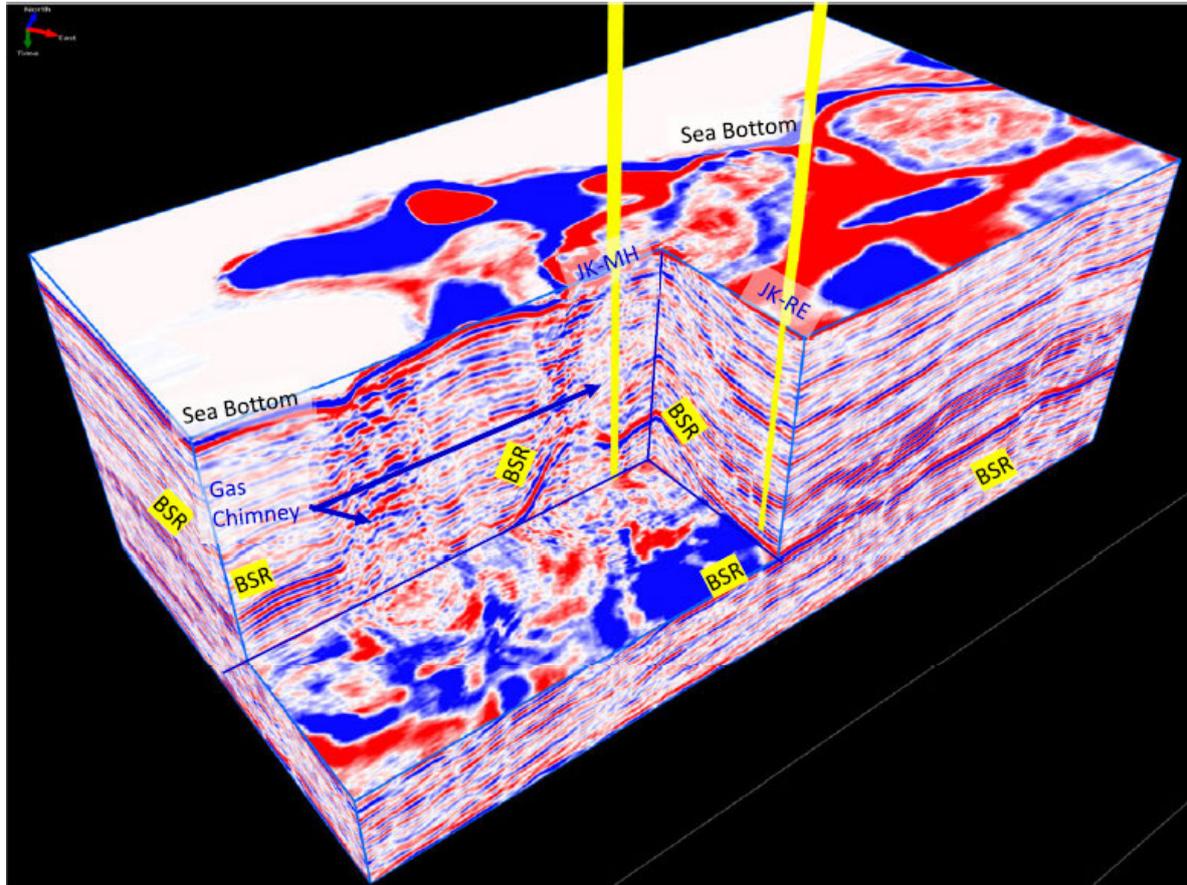


検層結果とコア分析の結果（上越沖海域）

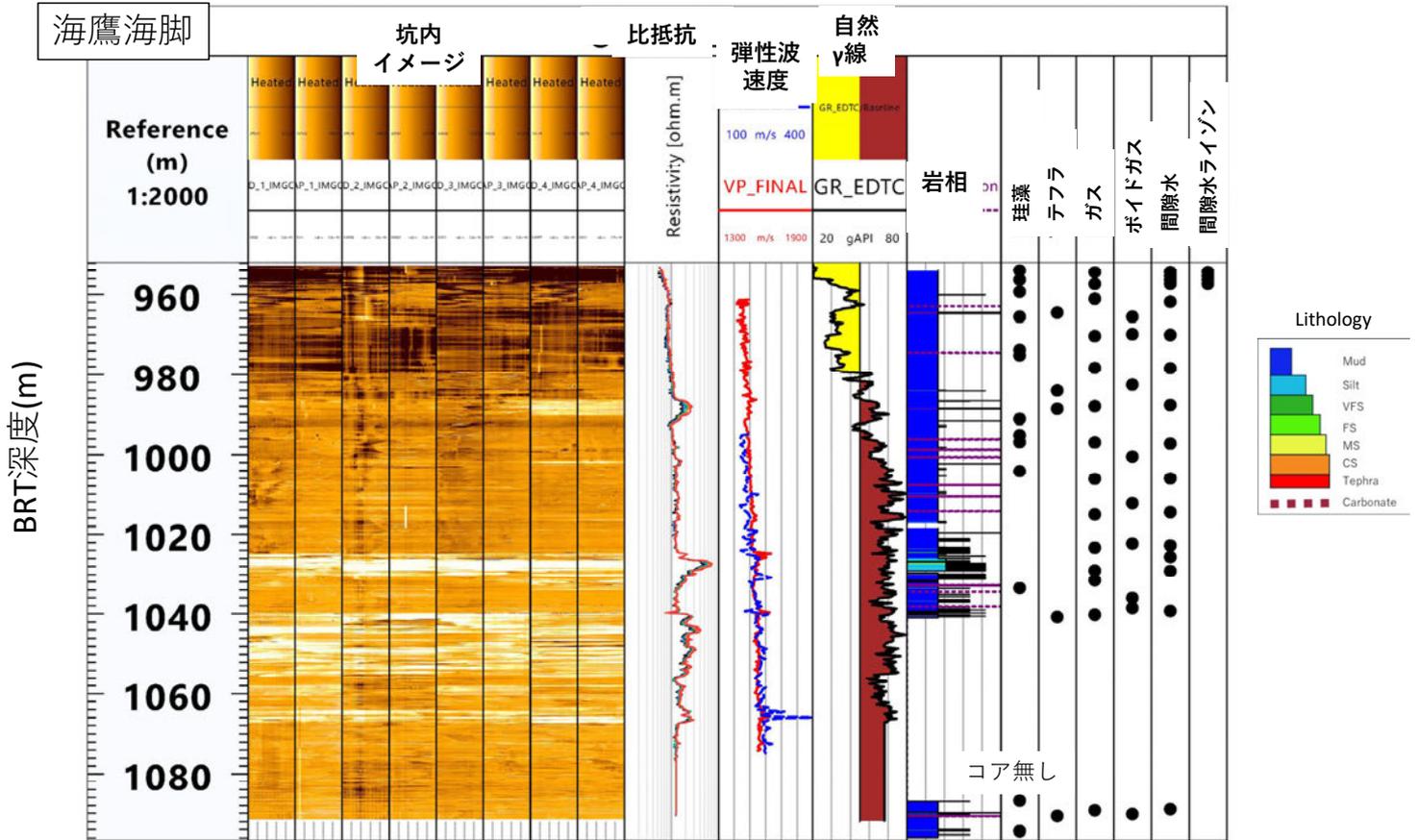


検層結果とコア分析の結果（上越沖海域）

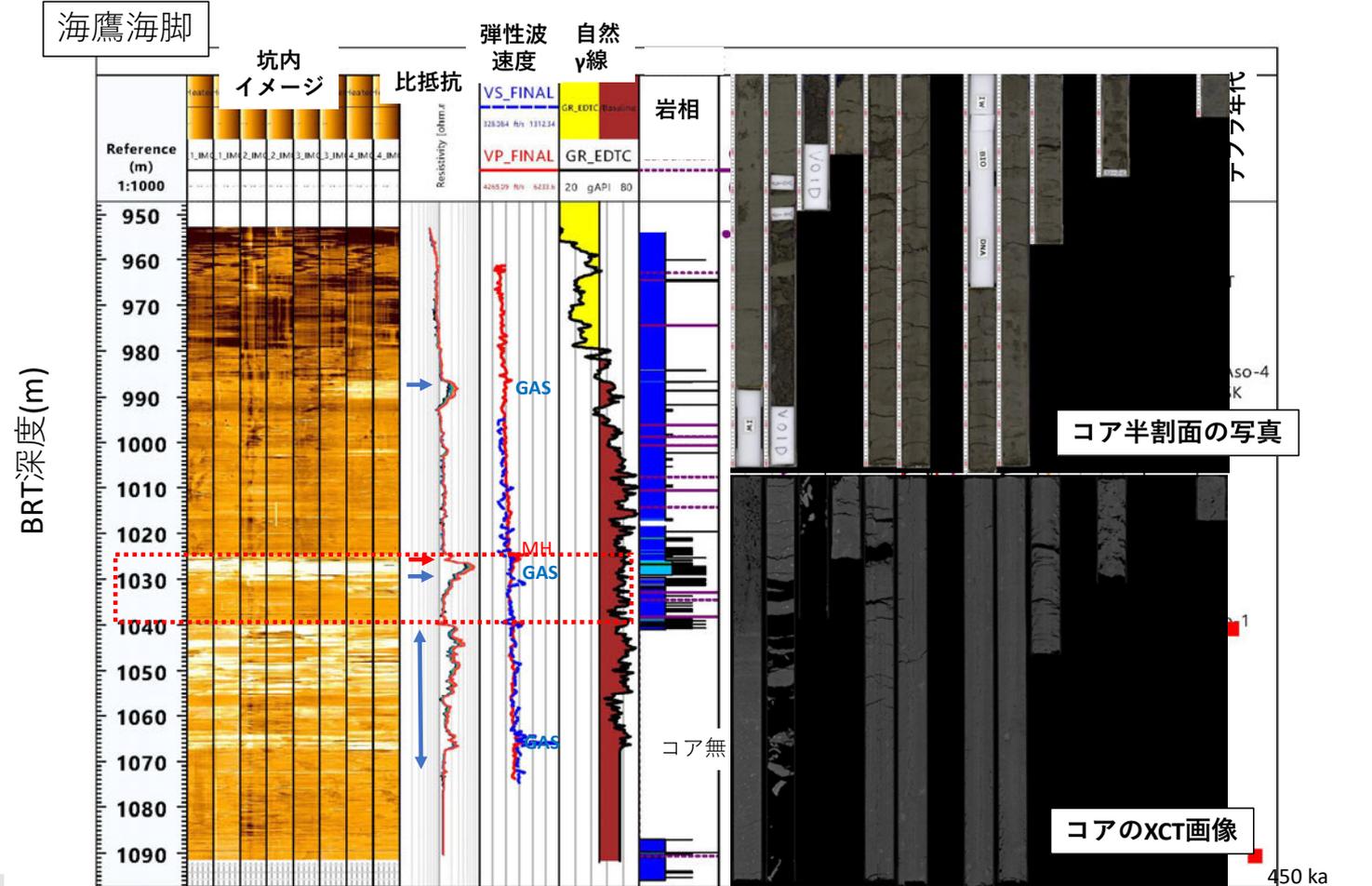




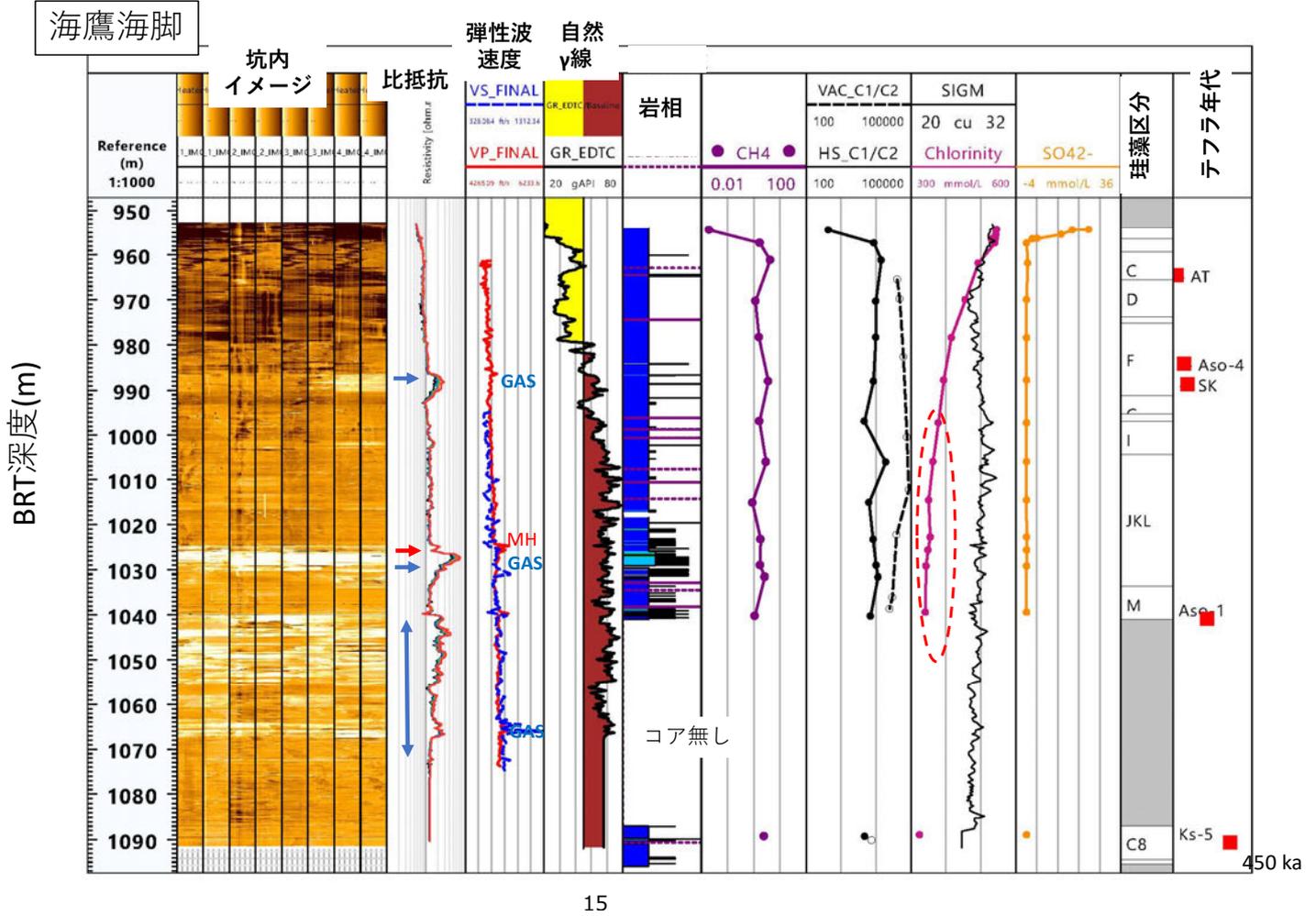
検層結果とコア分析の結果 (海鷹海脚海域)



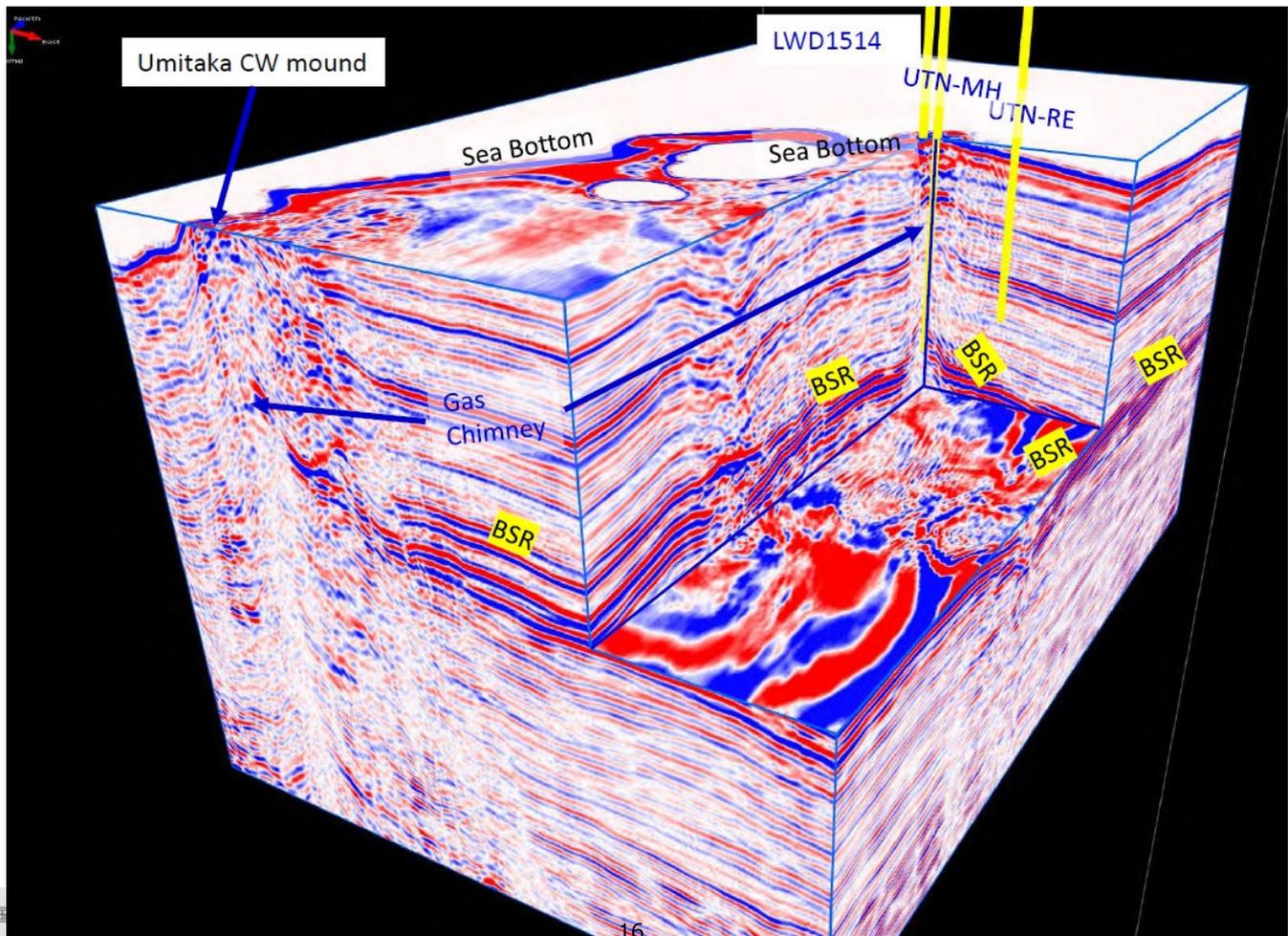
検層結果とコア分析の結果 (海鷹海脚海域)

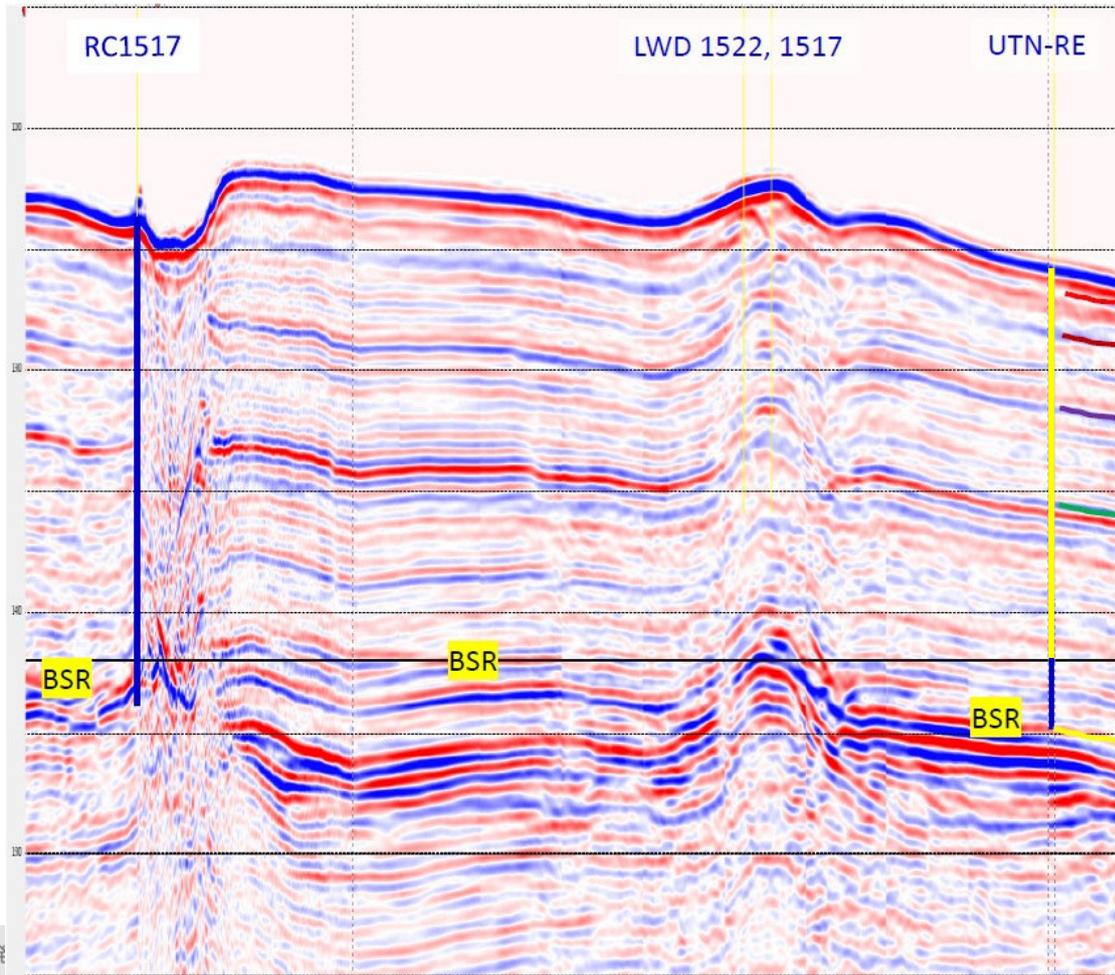


検層結果とコア分析の結果 (海鷹海脚海域)



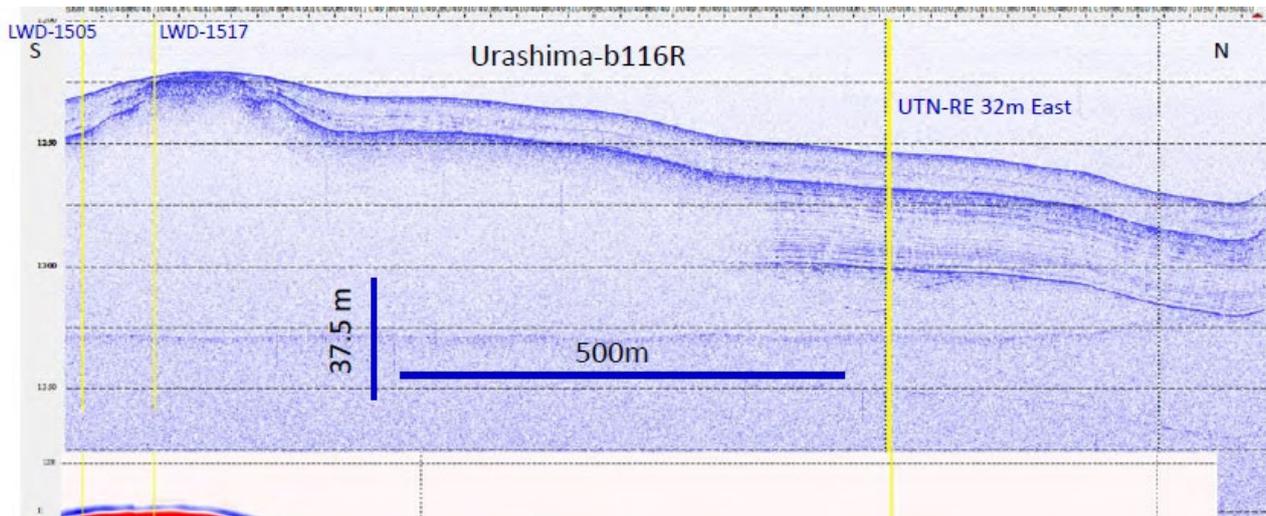
高分解能3次元地震探査 (海鷹海脚海域) 2015年実施



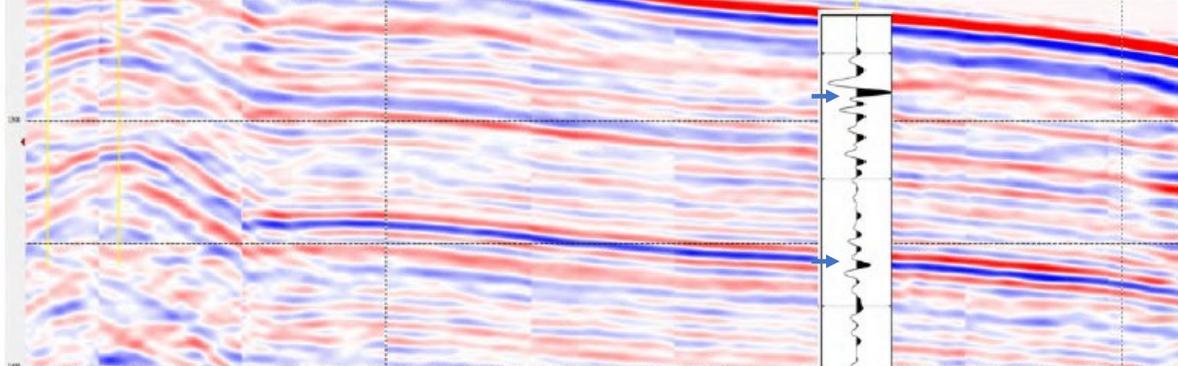


合成地震記録（海鷹海脚海域）

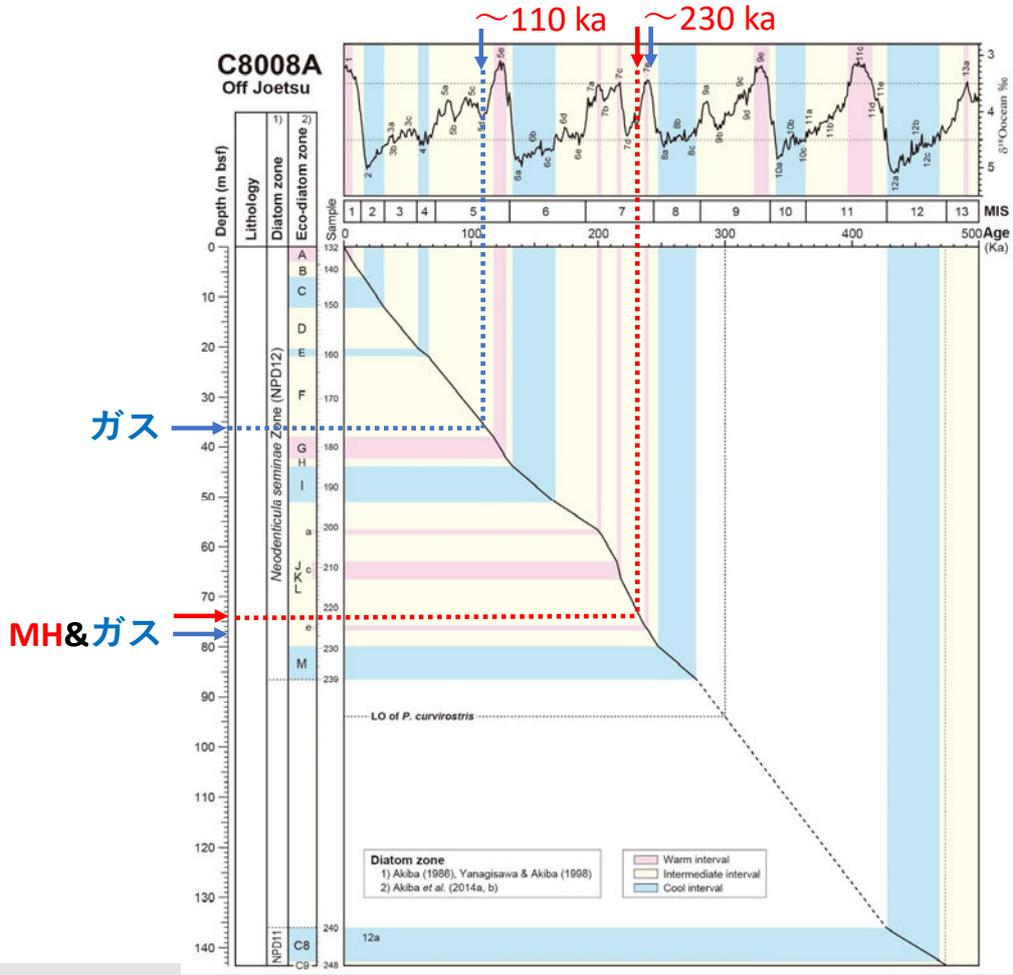
Deep Iによる海底調査(SBP)2014年実施



検層の記録から計算された合成地震記録



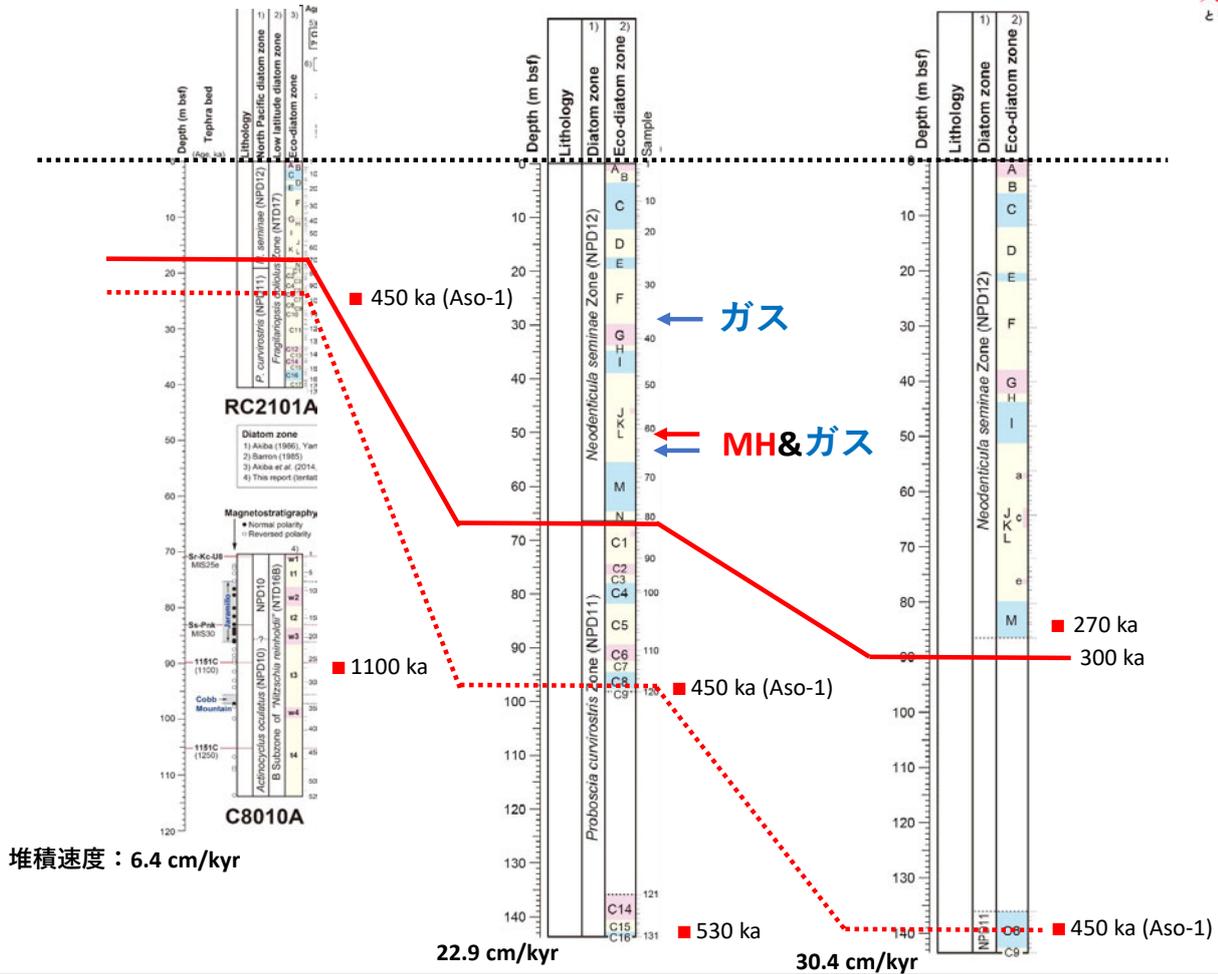
上越海丘海域の強反射面の年代、MIS



酒田沖

上越海丘

海鷹海脚



- ▶ リファレンスサイトのワイヤライン検層とコア試料の分析結果を対比
 - ✓ 検層パラメーターの変化が、岩相の変化、ガス、メタンハイドレートの分布と対応していた。
 - ✓ ガス成分の変化は、現場での微生物起源メタンの供給を示唆
 - ✓ 間隙水のChlorinityの変化は、深部からの低塩分濃度の地下水との混合を示唆していると考えられるが、海鷹海脚では、SIGMと一致しなかった。
 - ✓ 上越沖では、層理面に沿って連続的に続いているガス層やMH層があり、地質学的環境の変化を示唆している。
- 他地域との比較は、今後の課題

上越沖及び酒田沖MH胚胎域での地盤強度調査(2)

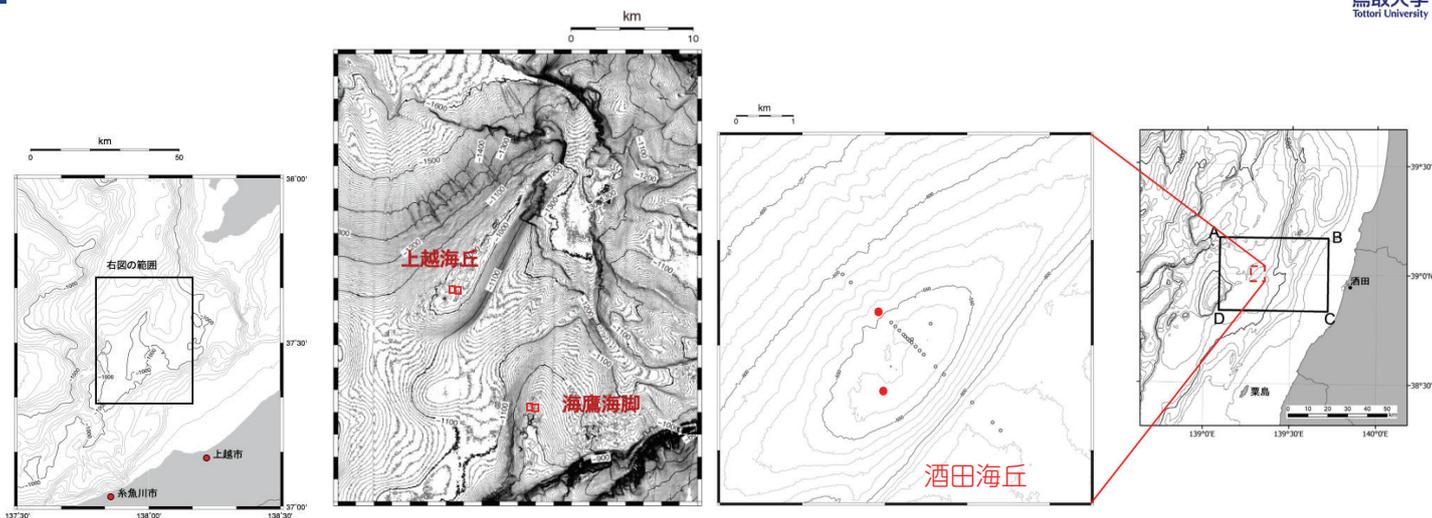
海底表層地盤の物理特性

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。

鳥取大学工学部 中村公一

表層型MHの研究開発 2024年度研究成果報告会 p1

検討内容



鳥取大学 酒田海丘の海底面から約55mbsf

川崎地質(株) 酒田海丘, 上越海丘, 海鷹海脚の海底面から約140mbsf



2海域の物理特性・圧密特性について整理する。

物理特性：土粒子密度，粒度分布，液性限界・塑性限界・塑性指数，鉱物組成，自然含水比，間隙比

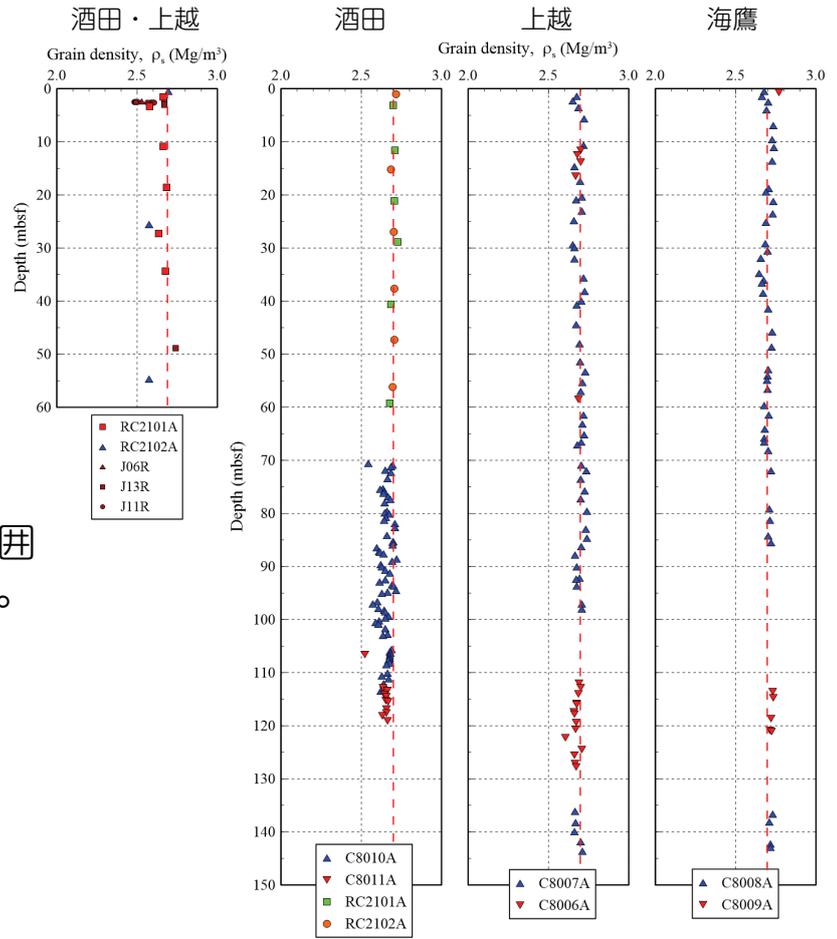
圧密特性： $e - \log p$ 関係，圧密降伏応力

表層型MHの研究開発 2024年度研究成果報告会 p2

物理特性（土粒子密度）

土粒子密度の平均値
2.7Mg/m³

一般的な無機質土であれば、
2.6Mg/m³~2.8Mg/m³のごく狭い範囲
の値となることが報告されている。



物理特性（粒度分布）

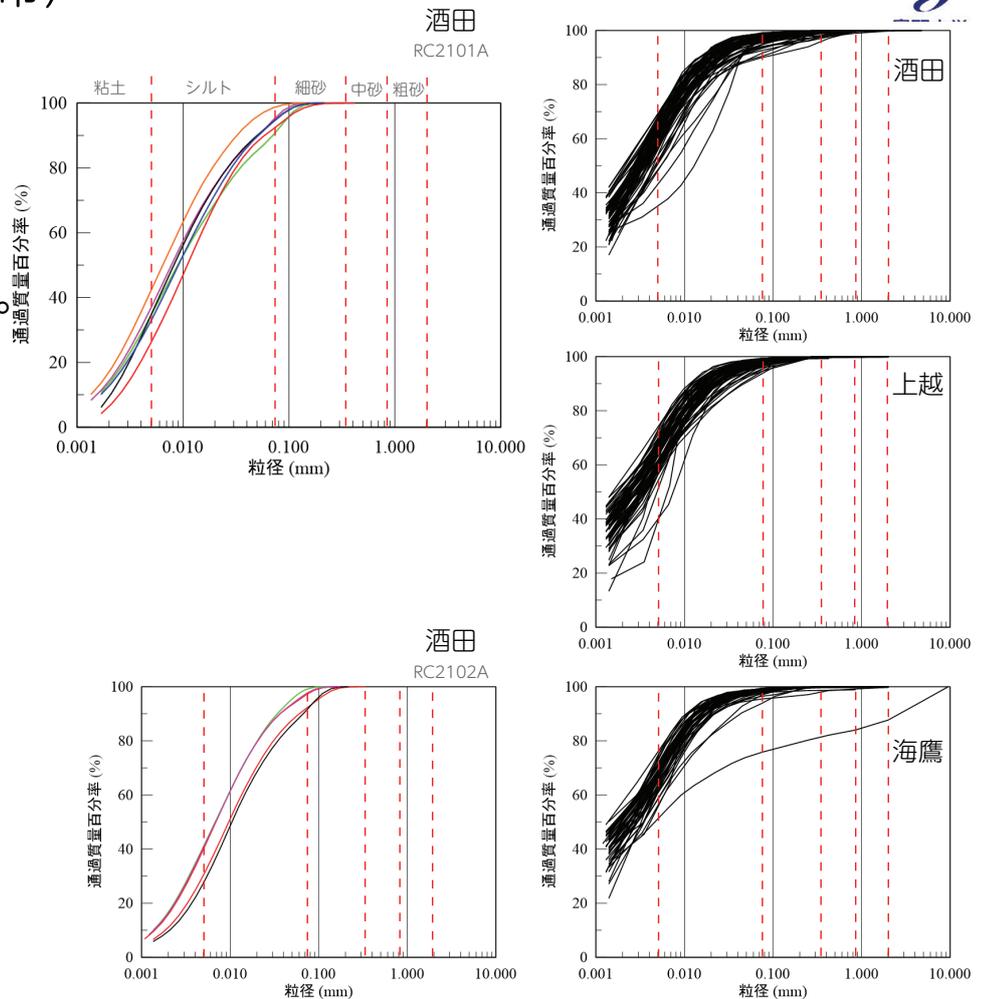
細粒分含有率は約90%
(粘土 + シルト)

粘土分含有率は、
地点・深度により異なる。

土質材料の大分類
細粒分含有率 ≥ 50%

→ 細粒土 Fm

観察により
→ 粘性土 Cs



物理特性（液性限界・塑性限界）

液性限界

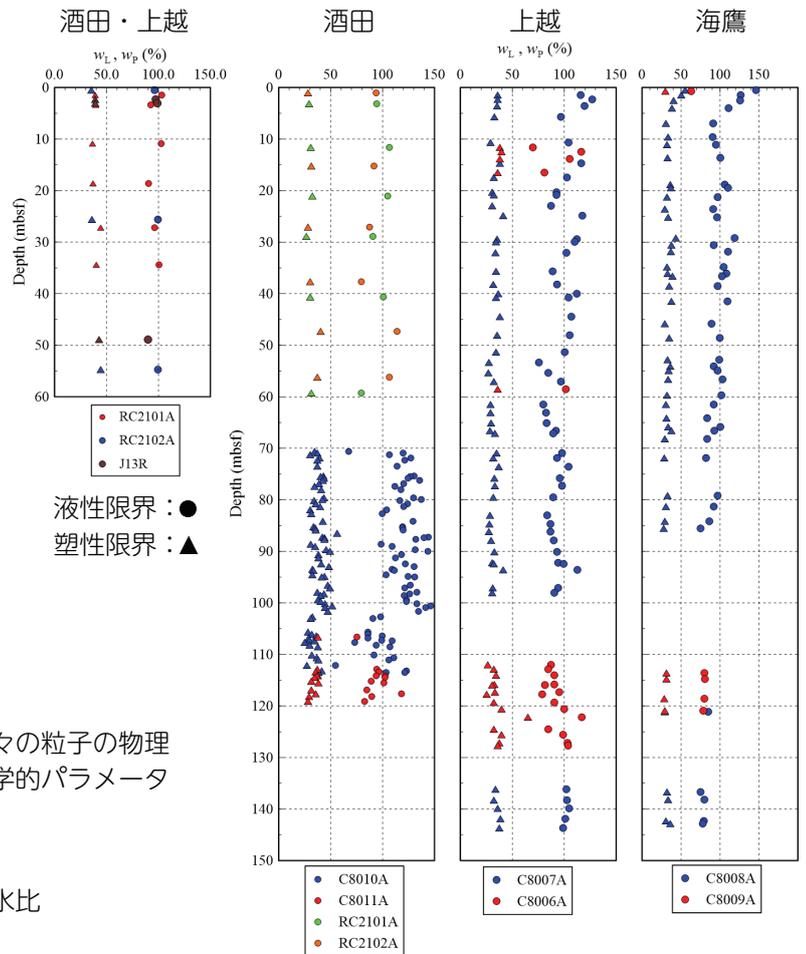
3海域とも $w_L = 100$ 前後。

下記の点が異なる。

酒田：70~100mbsfは約120

上越：ばらつきが大きい

海鷹：80mbsf以深は小さくなる傾向



塑性限界の平均値

酒田：36.9

上越：33.8

海鷹：33.9

細粒土は粒径の小さい土粒子の集まりであるため、個々の粒子の物理界面効果などが大きい。このため、粒度組成よりも工学的パラメータとして重要。

液性限界：土が塑性状態から液状に移るときの含水比

塑性限界：土が塑性状態から半固体状に移るときの含水比

物理特性（塑性図）

土質材料の小分類

ほぼ全て CH

深度が大きくなると、液性限界・塑性指数ともに小さくなる傾向。

$$I_p = w_L - w_P$$

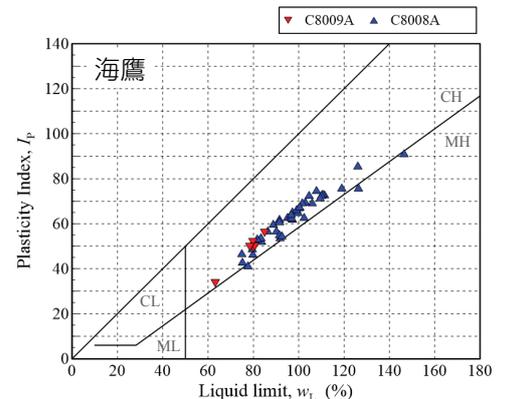
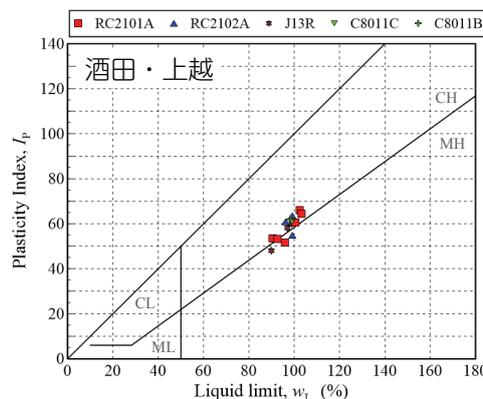
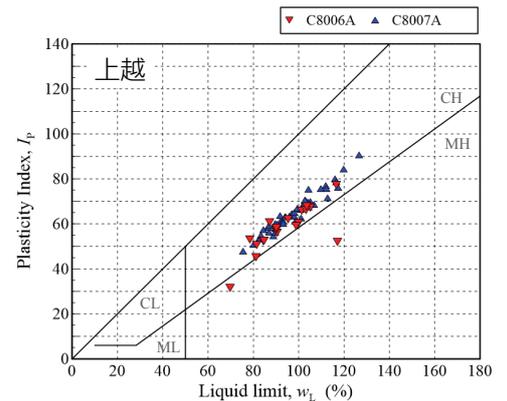
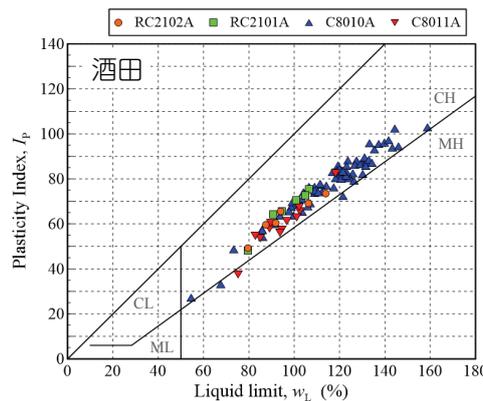
塑性指数 = 液性限界 - 塑性限界

ML : シルト (低液性限界)

MH : シルト (高液性限界)

CL : 粘土 (低液性限界)

CH : 粘土 (高液性限界)



鉱物組成 (XRD分析)

粘土の状態や性質を表す指標のひとつに、活性度がある。
活性とは、他の物質を吸着したり、化学的に結合する傾向の強さ。

- ・活性度は、塑性指数を粒径 $2\mu\text{m}$ 未滿の含有率で除して求められる。

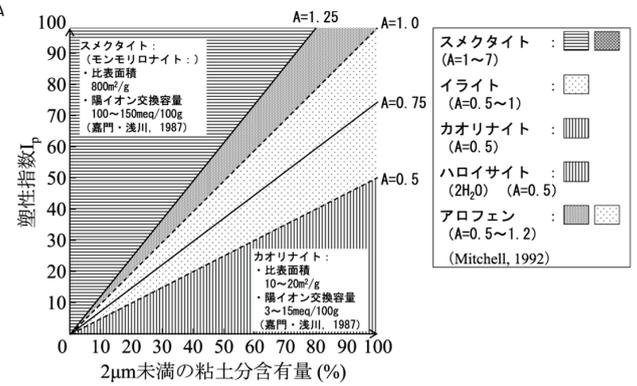
国内の港湾地域の粘性土の活性度の検討例では、大部分が1~2程度。
検討結果の右表より、活性度が大きいことがわかる。

試料名		活性度
RC2101A	Core2	4.2
	Core4	3.3
	Core12	3.6
	Core20	5.1
	Core29	3.8
	Core37	8.4
RC2102A	Core1	3.6
	Core13	5.4
	Core22	5.4
C8011B		3.5
C8011C		3.5

→ 粘土鉱物の含有が考えられることから、XRD分析を実施

エチレングリコール処理 (EG処理)

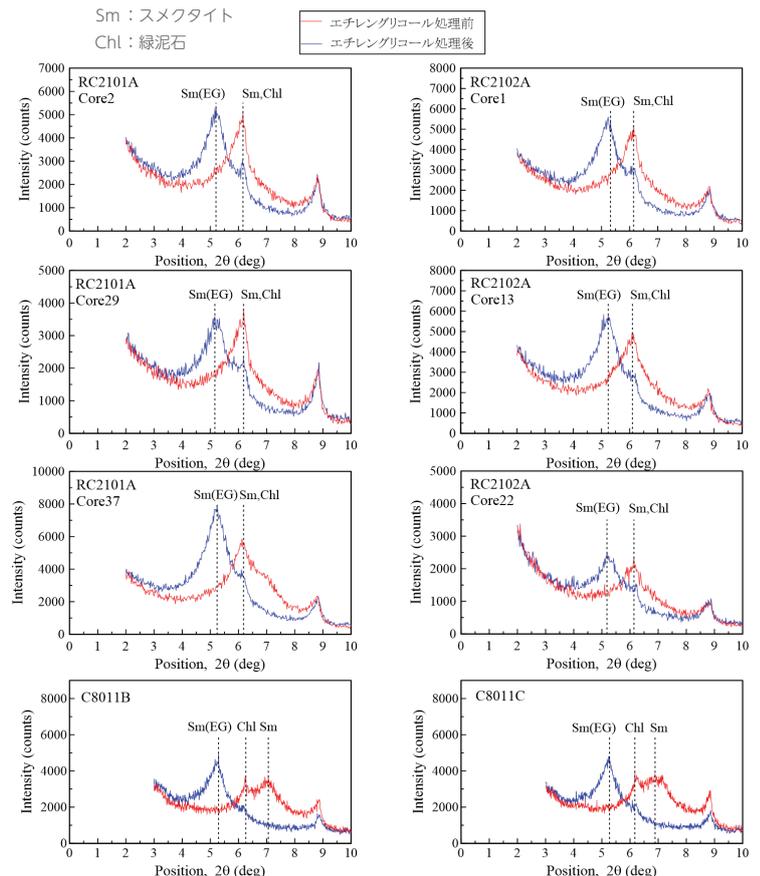
回折パターンピークが重なる緑泥石とスメクタイトを判別する方法であり、スメクタイトの膨潤作用 (シート状結晶の層間距離の拡大) を利用して、両鉱物のピークを分離する。



鉱物組成 (XRD分析)

酒田沖深度約55mbsfの試料には、
スメクタイトが含まれている。

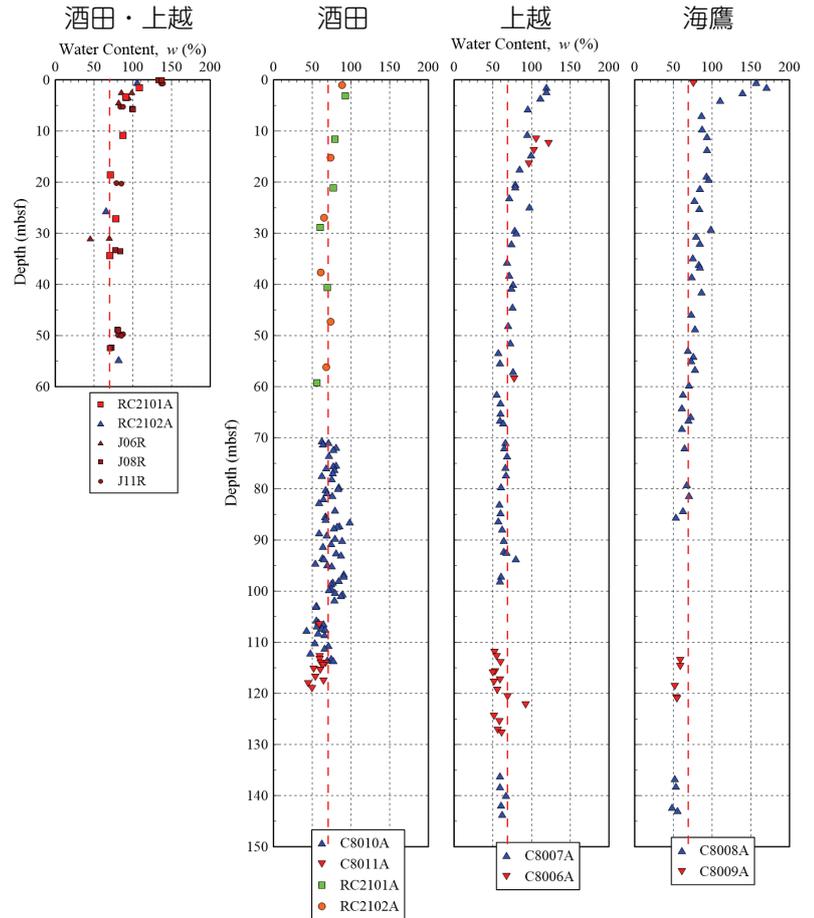
他試料もほぼ全てCHに分類される
ため、スメクタイトが含まれている
と考えられる。



自然含水比

自然含水比は、海底面から深度約15mbsfまで減少し、以深はほぼ一定（約70%）。

自然含水比の変化は、深度増加に伴う鉛直有効応力増加に対応していない。



間隙比

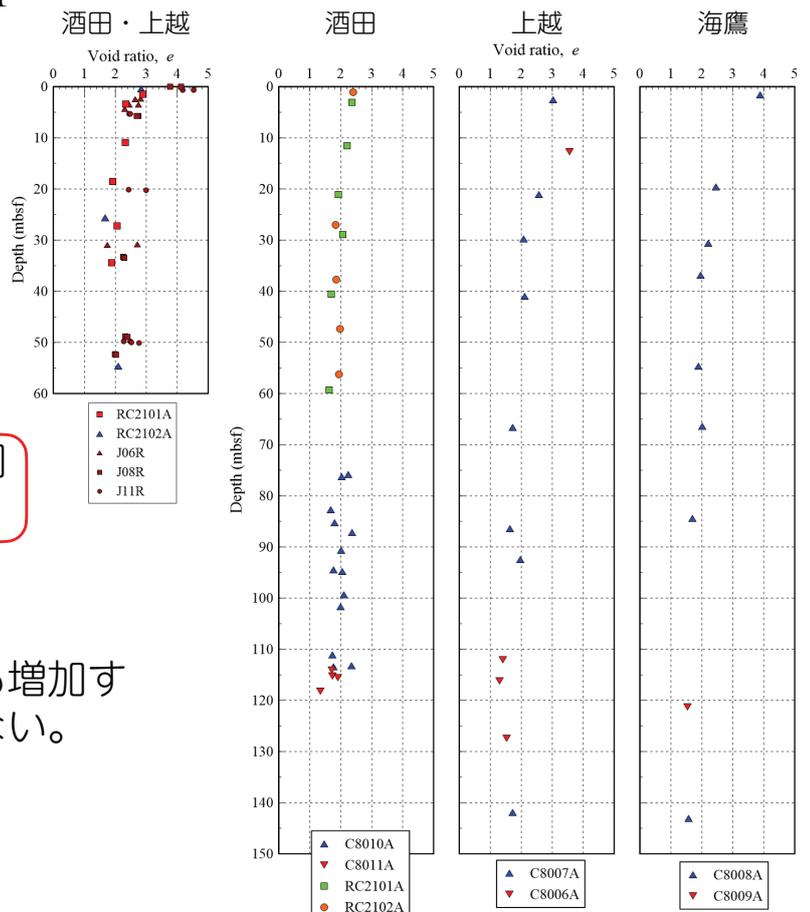
間隙比は、海底面から深度約15mbsfまで減少し、以深はほぼ一定（約2.0）。

一次圧密終了後に時間とともに発現する強度は、以下2つにわけることができる。

- ・二次圧密による含水比低下に起因する強度増加
- ・含水比低下に起因しない強度増加（セメンテーション）

上記2つをまとめて年代効果ともよばれる。

深度増加とともに地盤内有効応力も増加するが、顕著な間隙比変化がみられない。



圧密特性（段階载荷圧密試験）

採取深度が大きくなっても、試験開始時の間隙比は2.0前後

圧縮指数 C_c

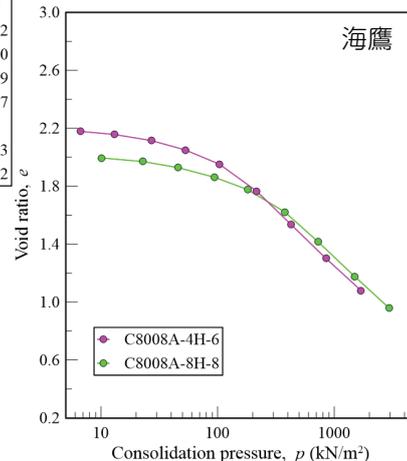
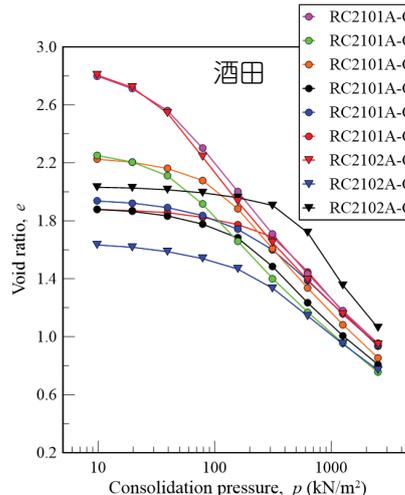
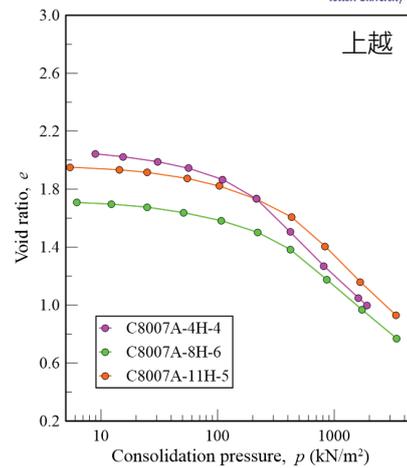
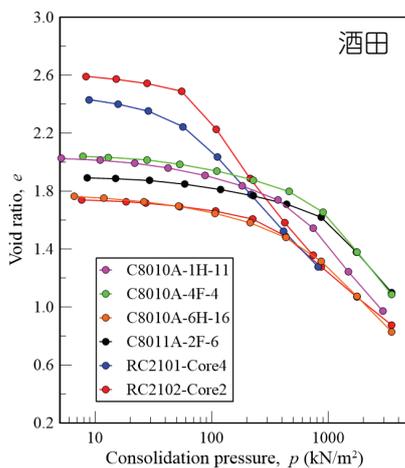
酒田 約 1.15

酒田 約 0.93

上越 約 0.70

海鷹 約 0.73

C_c は年代効果の影響により変化することが知られており、堆積年代の古い試料では大きく、未圧密に近い状態の試料では小さくなる傾向にあると言われている。



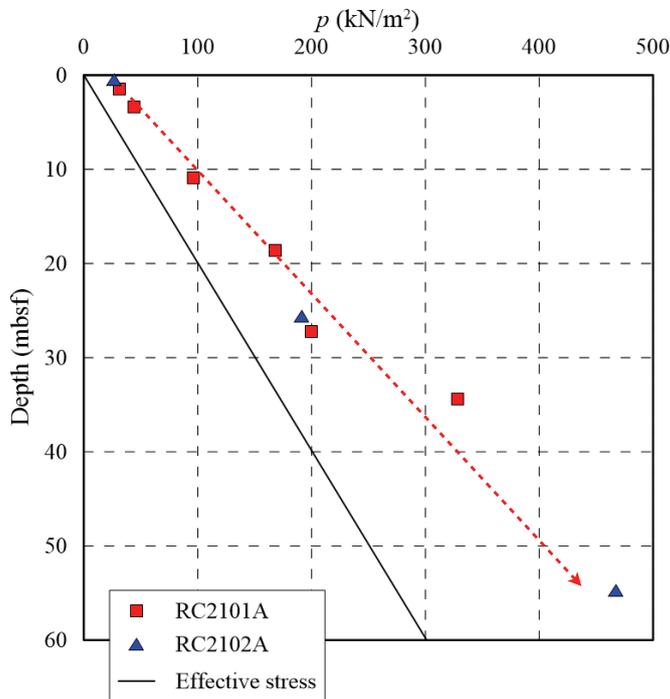
圧密特性（圧密降伏応力）

図より、深度増加とともに圧密降伏応力が増加している。

深度増加とともに地盤内有効応力は増加するが、顕著な間隙比変化がみられず圧密降伏応力が増加している。

→ セメンテーションによる強度増加が主な要因と考えられる。

海底地盤への土粒子の沈降・堆積およびその後の自重圧密による強度発現過程に関する既往の検討では、主にセメンテーションによる強度発現により、深度が大きくなると間隙比変化が小さくなることが数値計算により指摘されている。本検討結果は、既往検討が指摘する間隙比変化を約150mbsfまでみられることを実験的に明らかにした。



2海域の物理特性・圧密特性のまとめ

土質材料の分類は、2海域とも約140mbsfまで、ほぼ全て下記に分類される。

土質材料の大分類 – 細粒土 Fm – 粘性土 Cs

土質材料の中分類 – 粘土 C

土質材料の小分類 – 粘土（高液性限界）CH

活性度が大きい理由は、XRD分析によりスメクタイトが含有するためと考えられる。

深度と自然含水比・間隙比の関係は、海底面から約15mbsfまで減少し、自然含水比は約70%、間隙比は約2.0であった。また、深度増加とともに圧密降伏応力の増加が確認された。



深度増加とともに地盤内有効応力は増加するが、顕著な間隙比変化がみられず圧密降伏応力が増加するのは、セメンテーションによる強度増加が主な要因と考えられる。

表層型メタンハイドレートの研究開発 2024年度 研究成果報告会 (2024/12/5)

上越沖及び酒田沖MH胚胎域での地盤強度調査(3) 室内土質試験とワイヤライン検層の対比



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

室内土質試験の実施状況

ワイヤライン検層との対比

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 (1)

- 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。

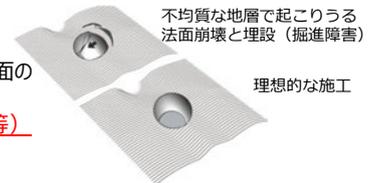
1) 掘削機器開発(大口径ドリル)



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)**



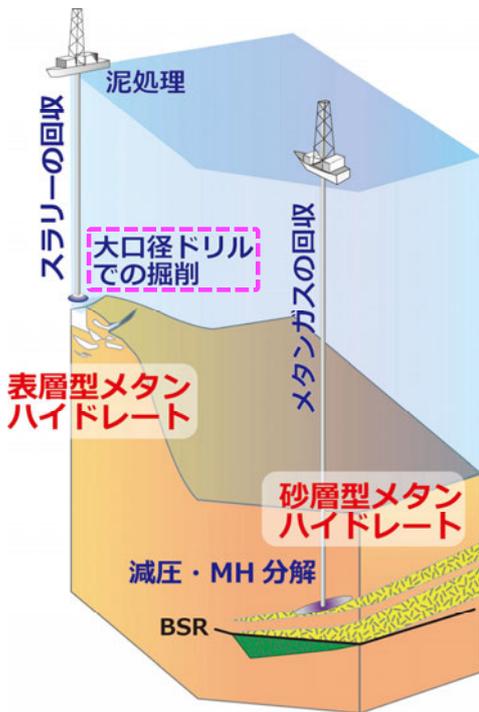
■ 海底地盤強度調査の実施海域

酒田沖 (酒田海丘) 上越沖 (上越海丘, 海鷹海脚)



酒田沖 (水深530~540m)
2021年8月: POSEIDON-1
2023年8月: ちきゅう

上越沖 (水深910~990m)
2022年9月: ちきゅう
2023年8月: ちきゅう



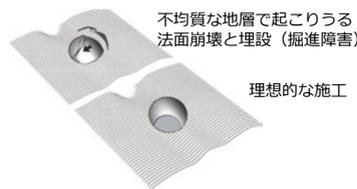
地盤強度調査の概要と目的（1）_1

- 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)	-
		CK22-03C	C8007A	984 m	144 m	144 m	142.5 m (full)	-
	JK-RE	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)	-

地盤強度調査の概要と目的（2）

1) 掘削機器開発 2) 将来のMH安定回収のための施工管理



1)掘削機器の開発
→MHの強度
→MHを含む堆積物の強度など

2)掘削機器の運用に関わる情報
→ MHを含む堆積物の法面安定性など

2)掘削機器の運用 ○切削クズの拡散等 堆積物組成等の情報

3) 表層型MHの生産・回収システムの設計に必要な堆積物情報

切削したMHと周辺の堆積物をスラリーで揚収する

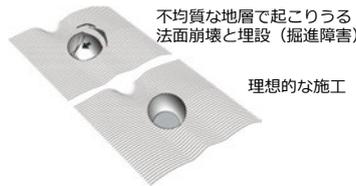
→切削されたMHの粒度組成

→スラリーとなる堆積物の粒径組成・粒子比重

回収された堆積物の泥処理を行う →堆積物の液性限界、塑性限界など

室内土質試験の実施状況（1）

1) 掘削機器開発 2) 将来のMH安定回収のための施工管理



1) 掘削機器の開発

- MHの強度
- MHを含む堆積物の強度など

2) 掘削機器の運用に関わる情報

- MHを含む堆積物の法面安定性など

室内土質試験の実施(圧密)

酒田海丘：定ひずみ：MHサイト 3層準、リファレンスサイト 4層準

上越海丘：定ひずみ：リファレンスサイト 3層準

海鷹海脚：定ひずみ：リファレンスサイト 2層準

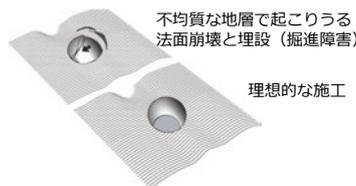
酒田海丘： K_0 圧密：MHサイト 4層準、リファレンスサイト 8層準

上越海丘： K_0 圧密：リファレンスサイト 6層準

海鷹海脚： K_0 圧密：リファレンスサイト 4層準

室内土質試験の実施状況（2）

1) 掘削機器開発 2) 将来のMH安定回収のための施工管理



1) 掘削機器の開発

- MHの強度
- MHを含む堆積物の強度など

2) 掘削機器の運用に関わる情報

- MHを含む堆積物の法面安定性など

船上における簡易土質試験の実施

酒田海丘：MHサイト 7層準、リファレンスサイト 56層準

上越海丘：MHサイト 15層準、リファレンスサイト 42層準

海鷹海脚：MHサイト 5層準、リファレンスサイト 34層準

室内土質試験の実施

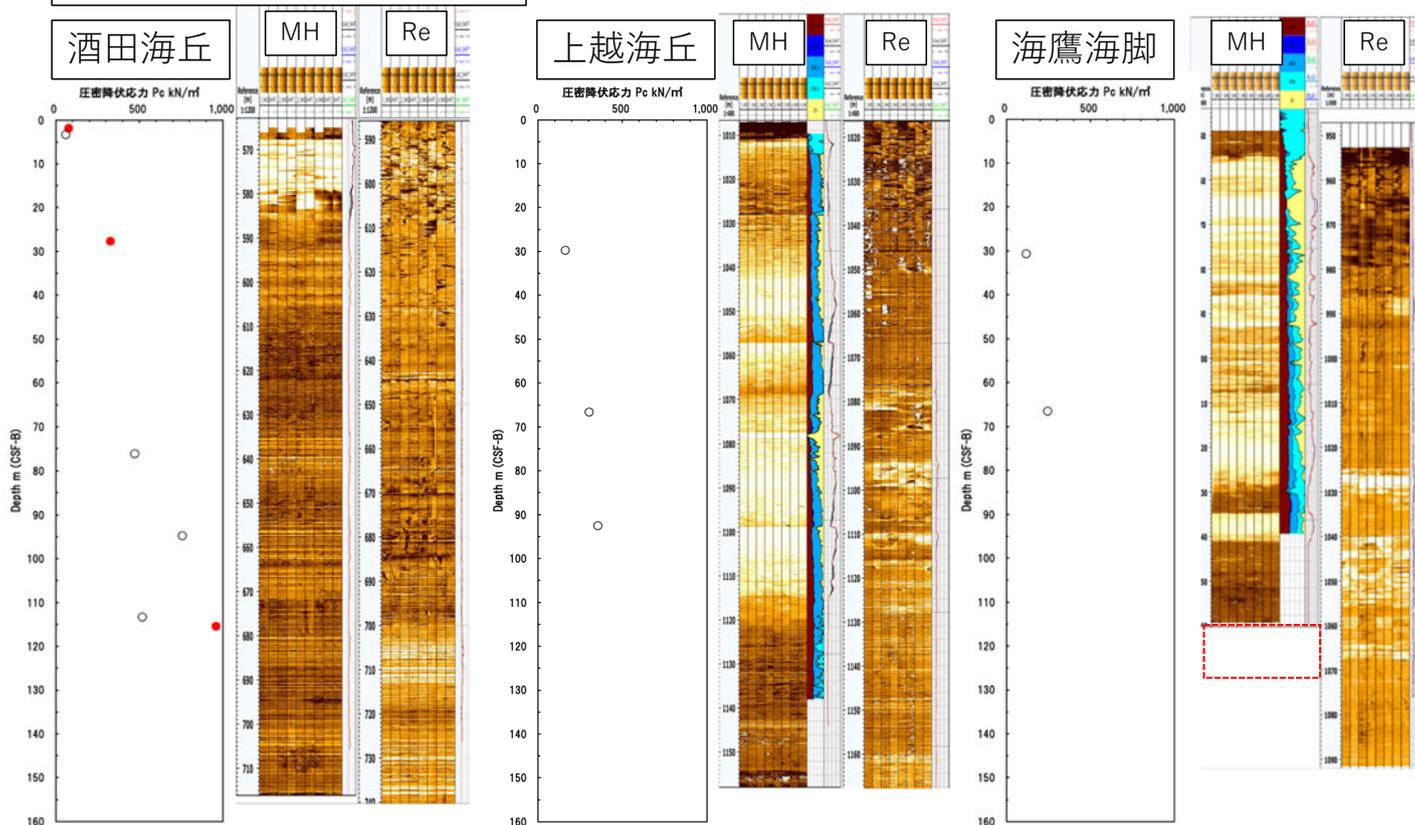
酒田海丘：CUB：MHサイト 7層準、リファレンスサイト 13層準

上越海丘：CUB：MHサイト 4層準、リファレンスサイト 5層準

海鷹海脚：CUB：MHサイト 1層準、リファレンスサイト 6層準

室内土質試験実施状況：結果（圧密）

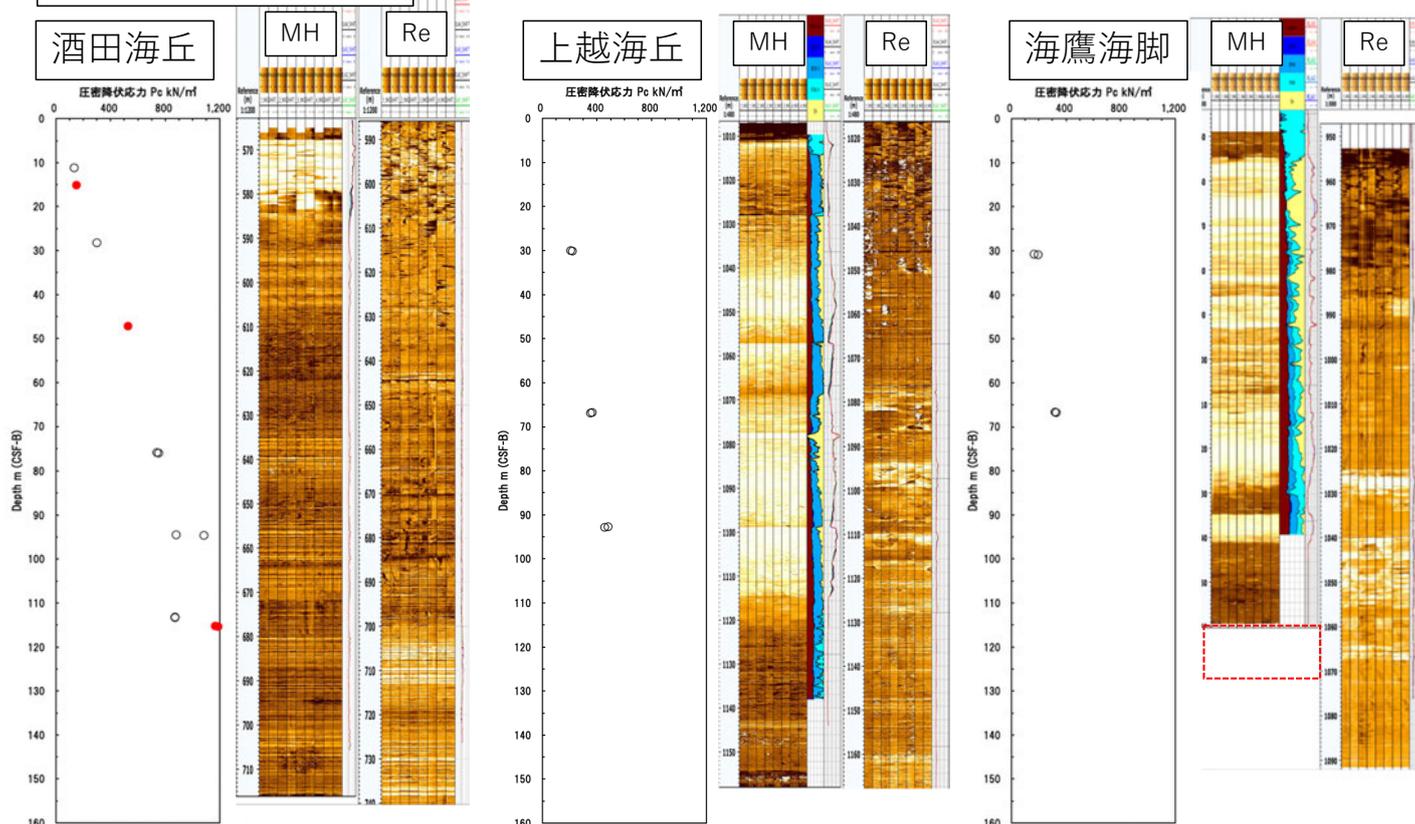
圧密試験結果（定ひずみ）



※1 構造を見やすくするため、MHサイトとReサイトのFMIイメージの輝度のレンジは異なる
 ※2 泥層主体の地層から通常コアラーで試料採取を行っている

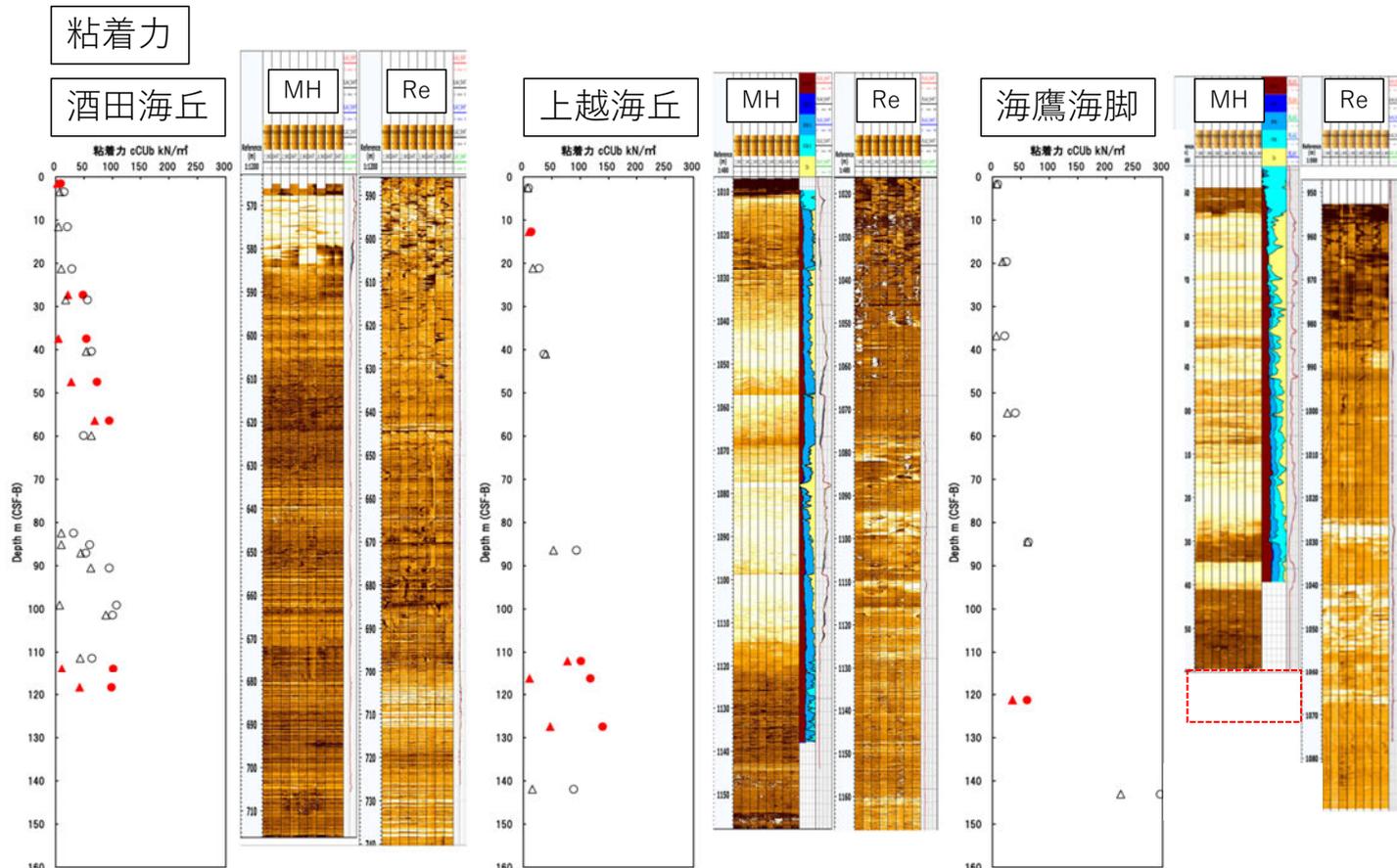
室内土質試験実施状況：結果（圧密）

圧密試験結果（ K_0 ）



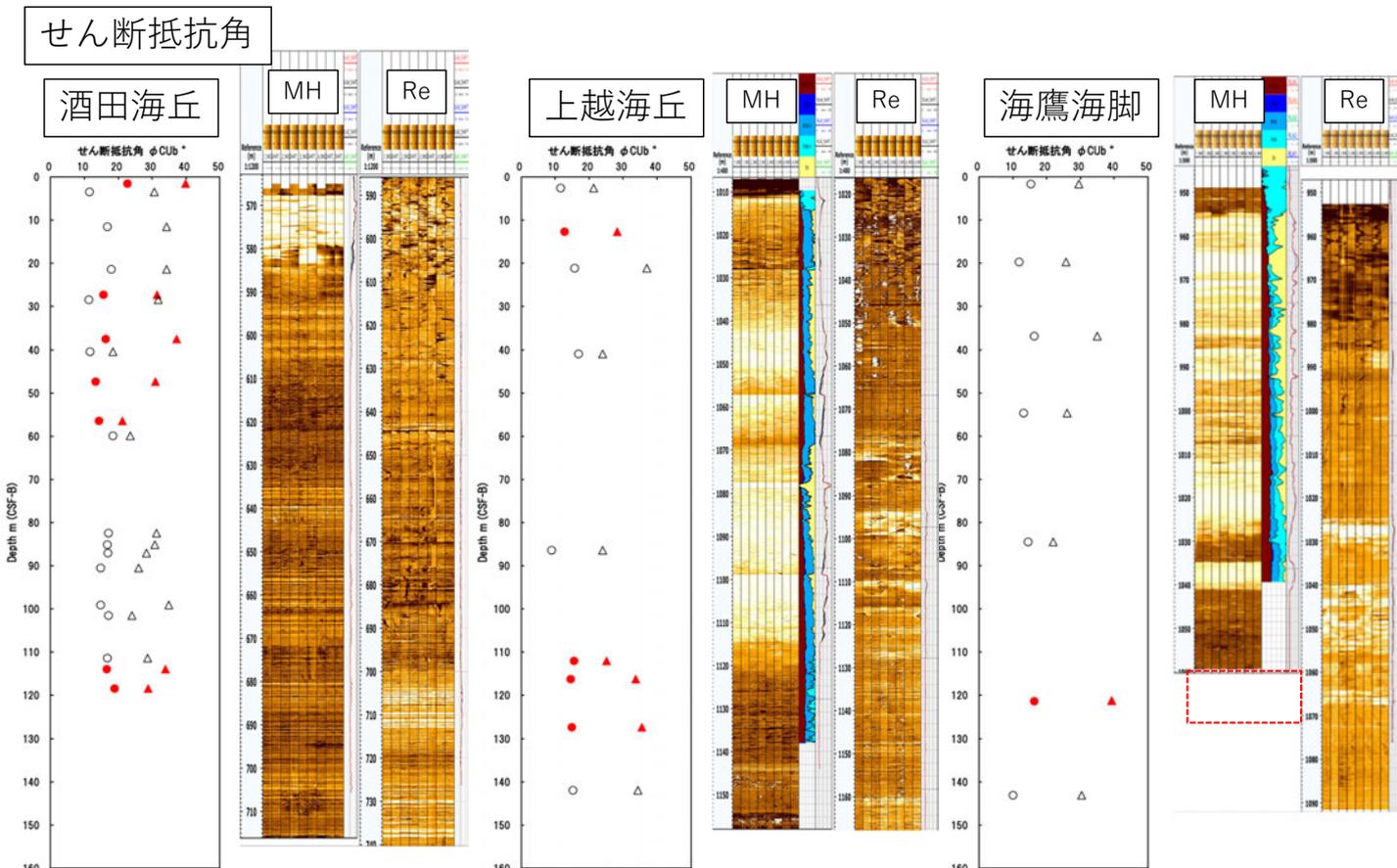
※1 構造を見やすくするため、MHサイトとReサイトのFMIイメージの輝度のレンジは異なる
 ※2 泥層主体の地層から通常コアラーで試料採取を行っている

室内土質試験実施状況：結果（せん断）



※1 構造を見やすくするため、MHサイトとReサイトのFMIイメージの輝度のレンジは異なる
 ※2 泥層主体の地層から通常コアラーで試料採取を行っている

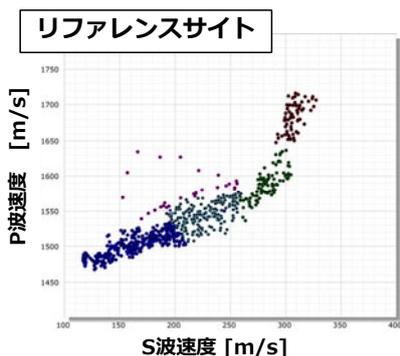
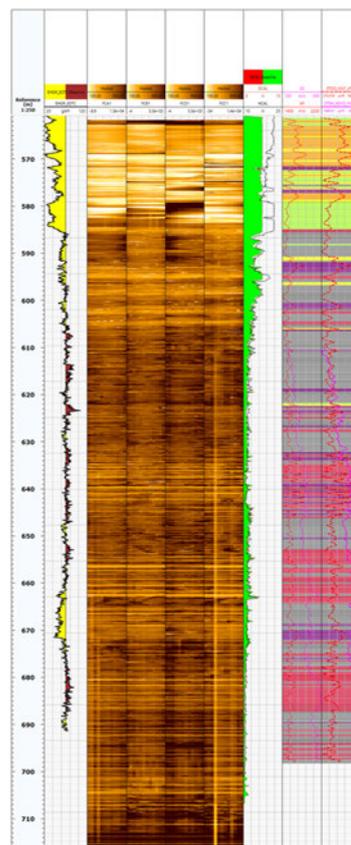
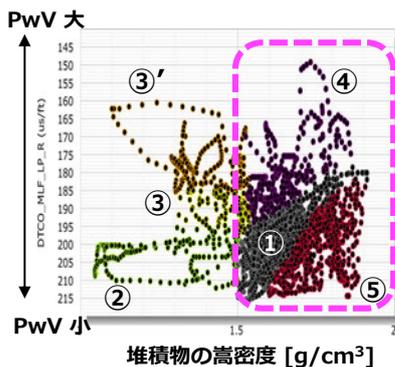
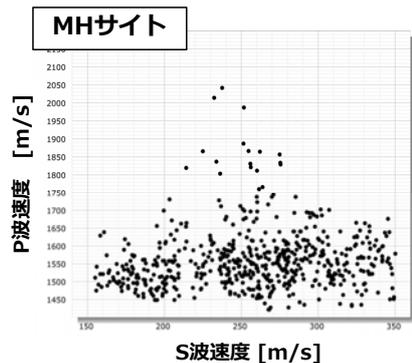
室内土質試験実施状況：結果（せん断）



※1 構造を見やすくするため、MHサイトとReサイトのFMIイメージの輝度のレンジは異なる
 ※2 泥層主体の地層から通常コアラーで試料採取を行っている

ワイヤライン検層との対比

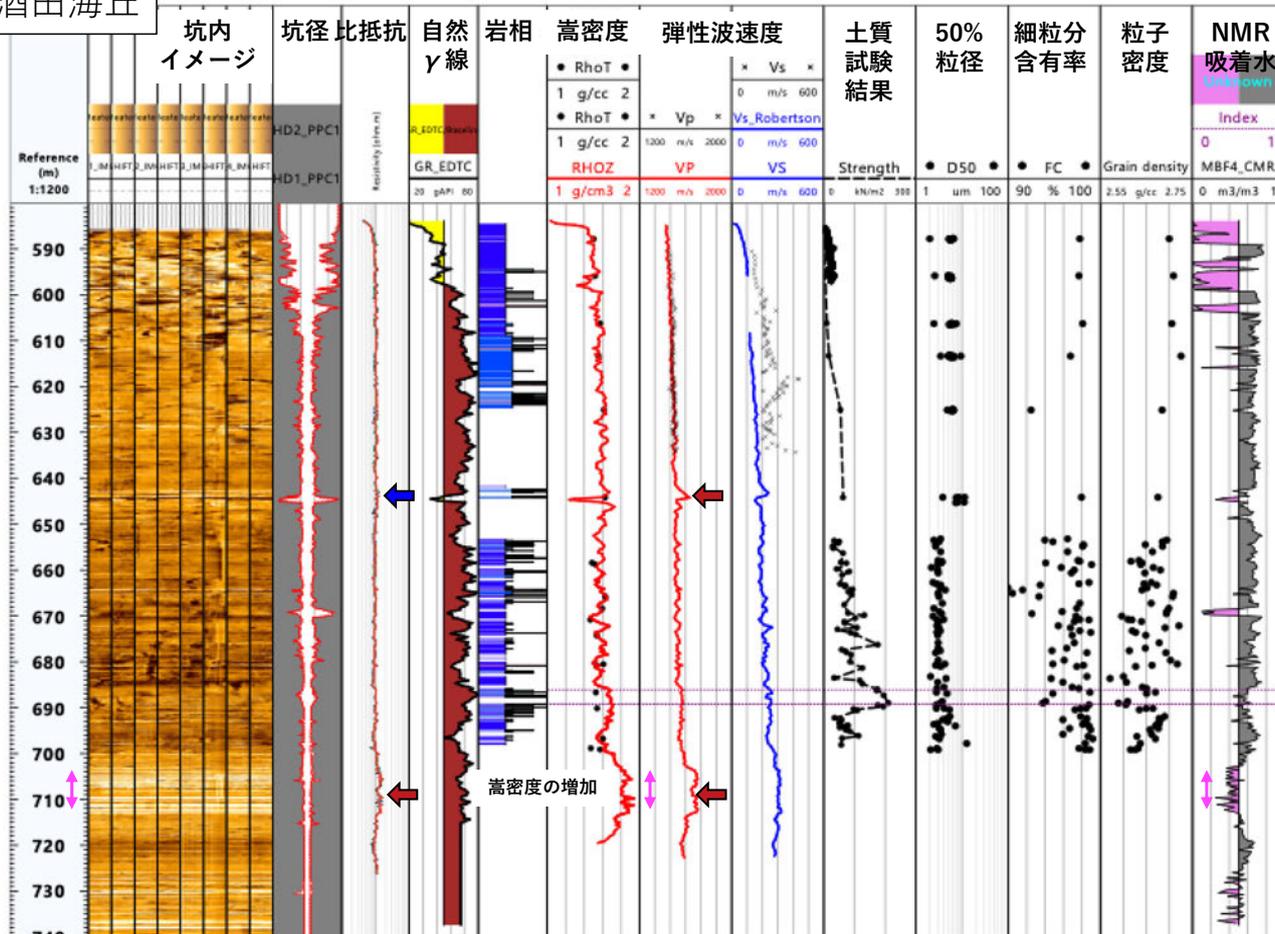
2023年度の成果報告会での報告（検層解析抜粋）



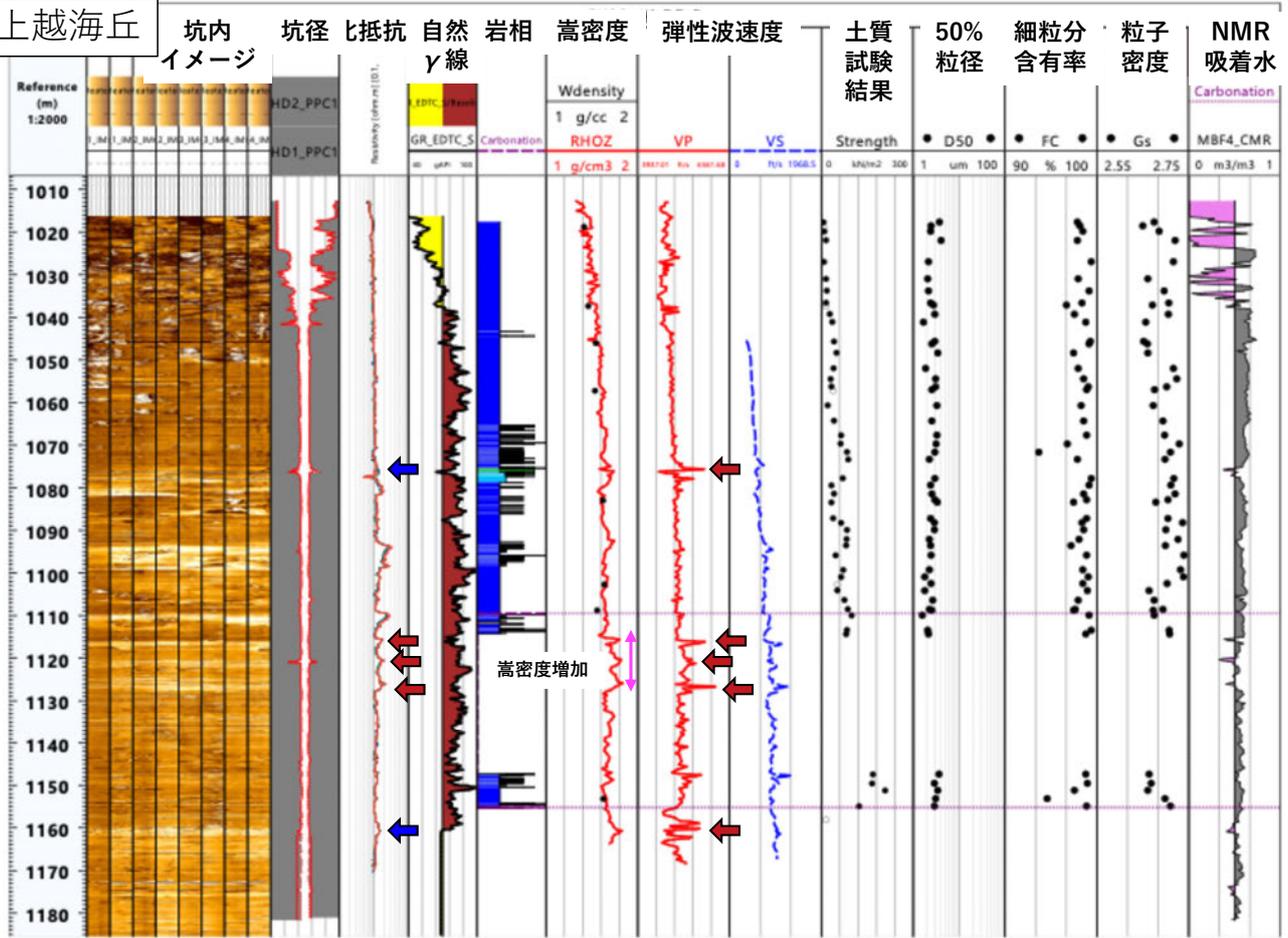
- Zonation: Zonation_MH_RHOZ_DTCCO
- Normal Sediments
 - High DENS_Low PwV
 - High DENS_Large PwV
 - Low DENS_Large PwV
- ① 通常の堆積物
 - ② P波速度変化せず or 低下 & 密度低下 → ガス含みMH層
 - ③ P波速度が微増し密度低下 → MH層
 - ③' P波速度が増加 & 密度低下 → MH層
 - ④ P波速度が増加 & 密度増加 → 炭酸塩等による膠着？
 - ⑤ P波速度は低下 & 密度増加 → ガス含みの泥質堆積物層

ワイヤライン検層との対比

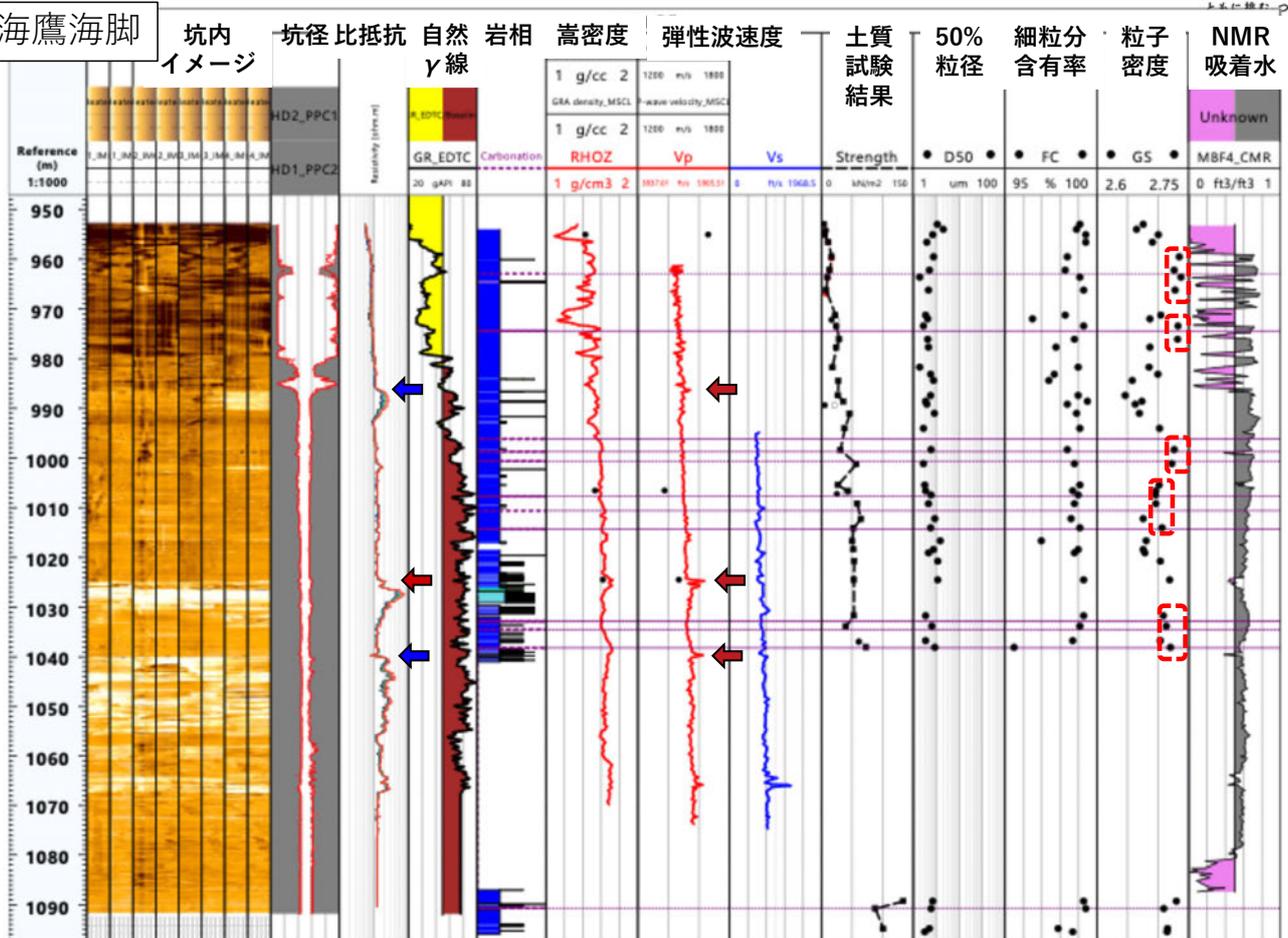
酒田海丘



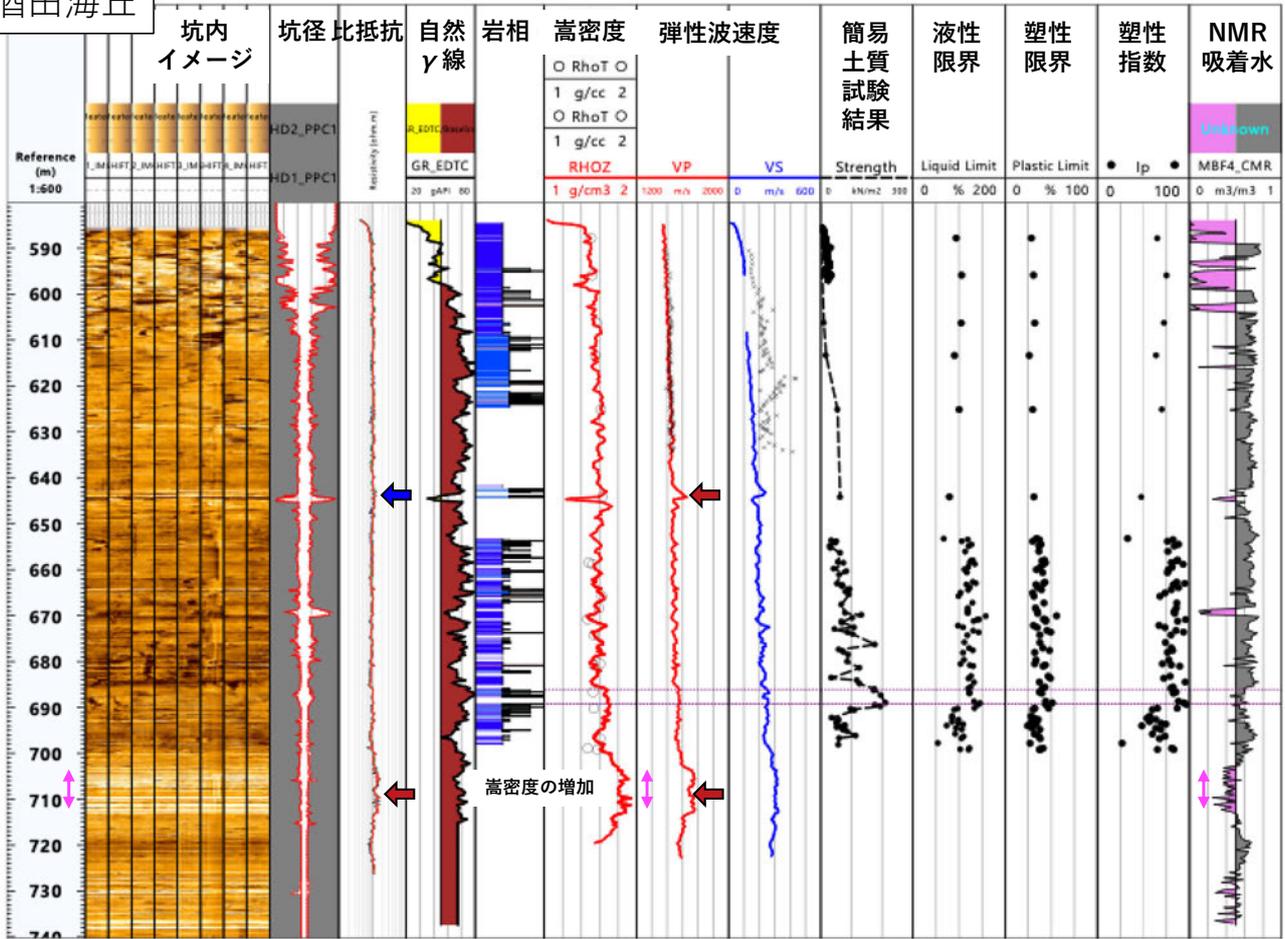
上越海丘



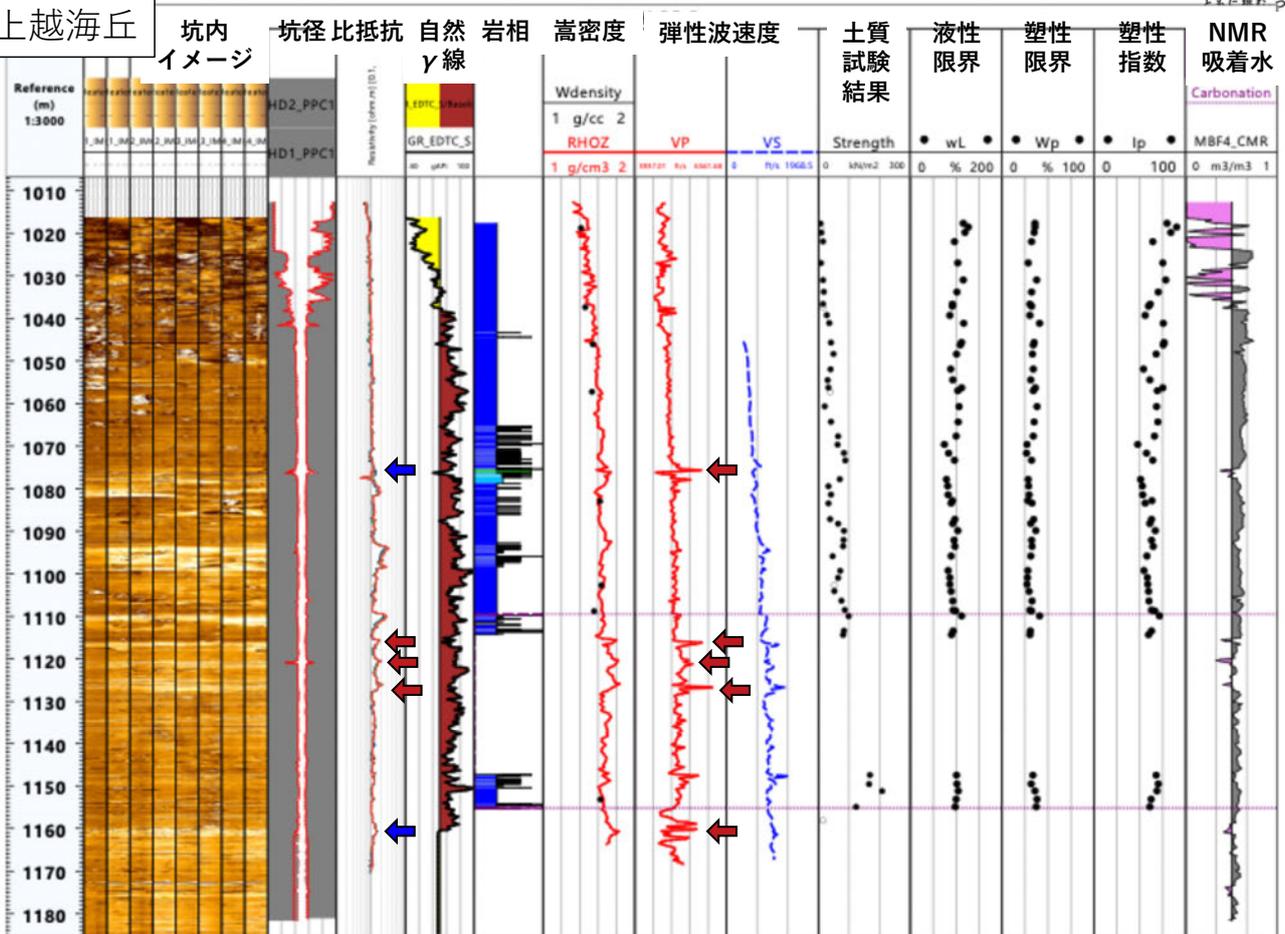
海鷹海脚



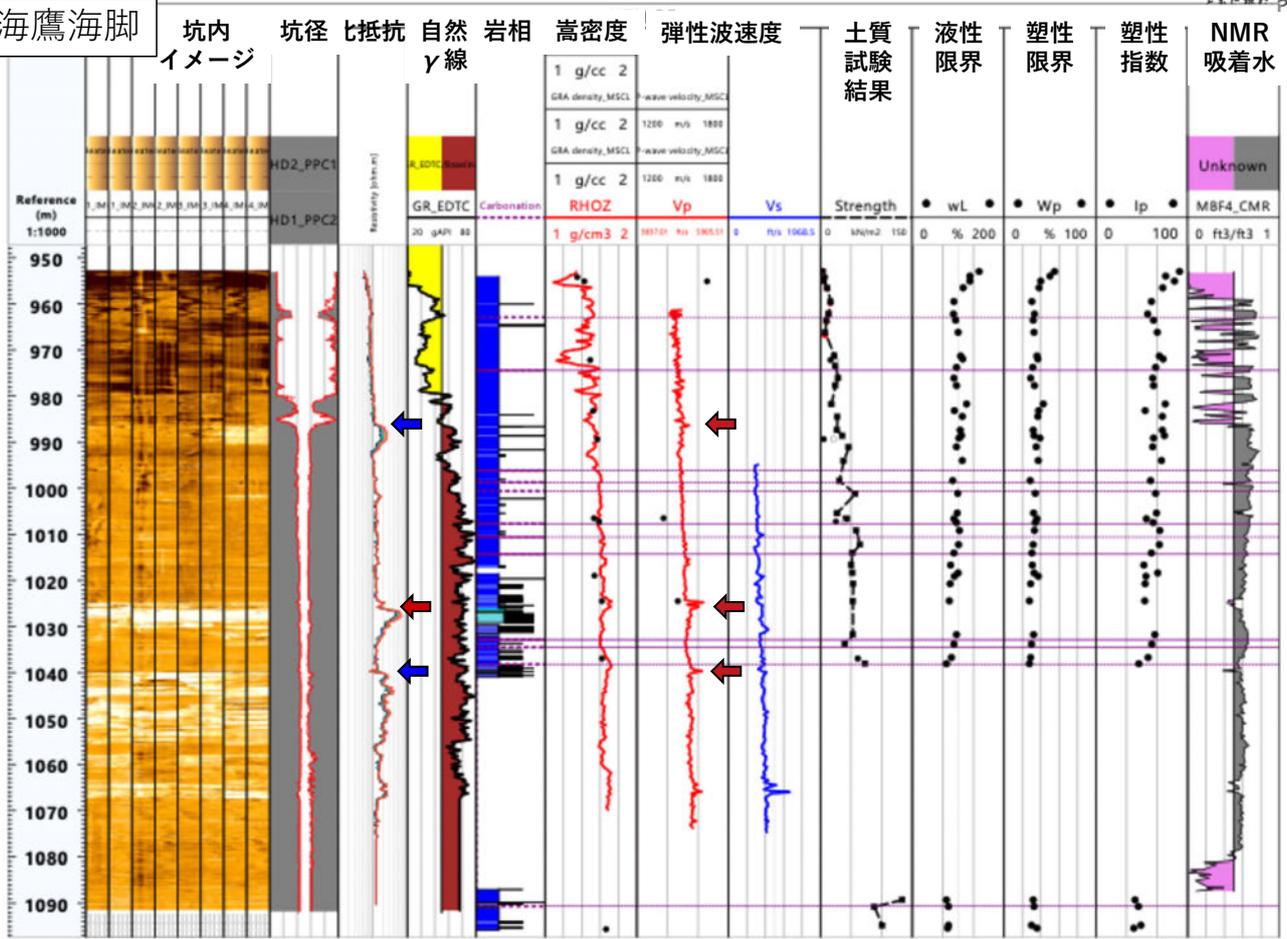
酒田海丘



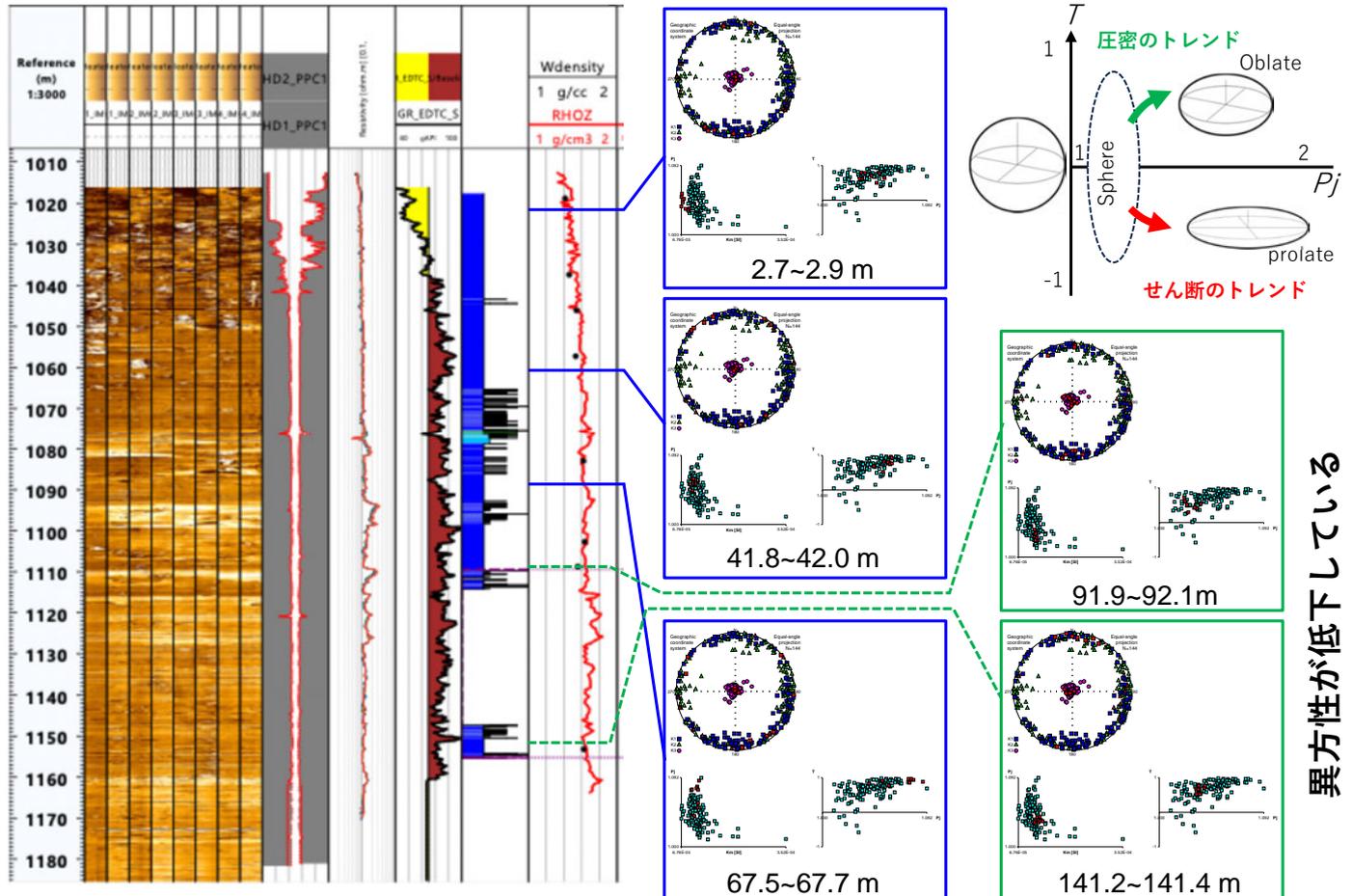
上越海丘

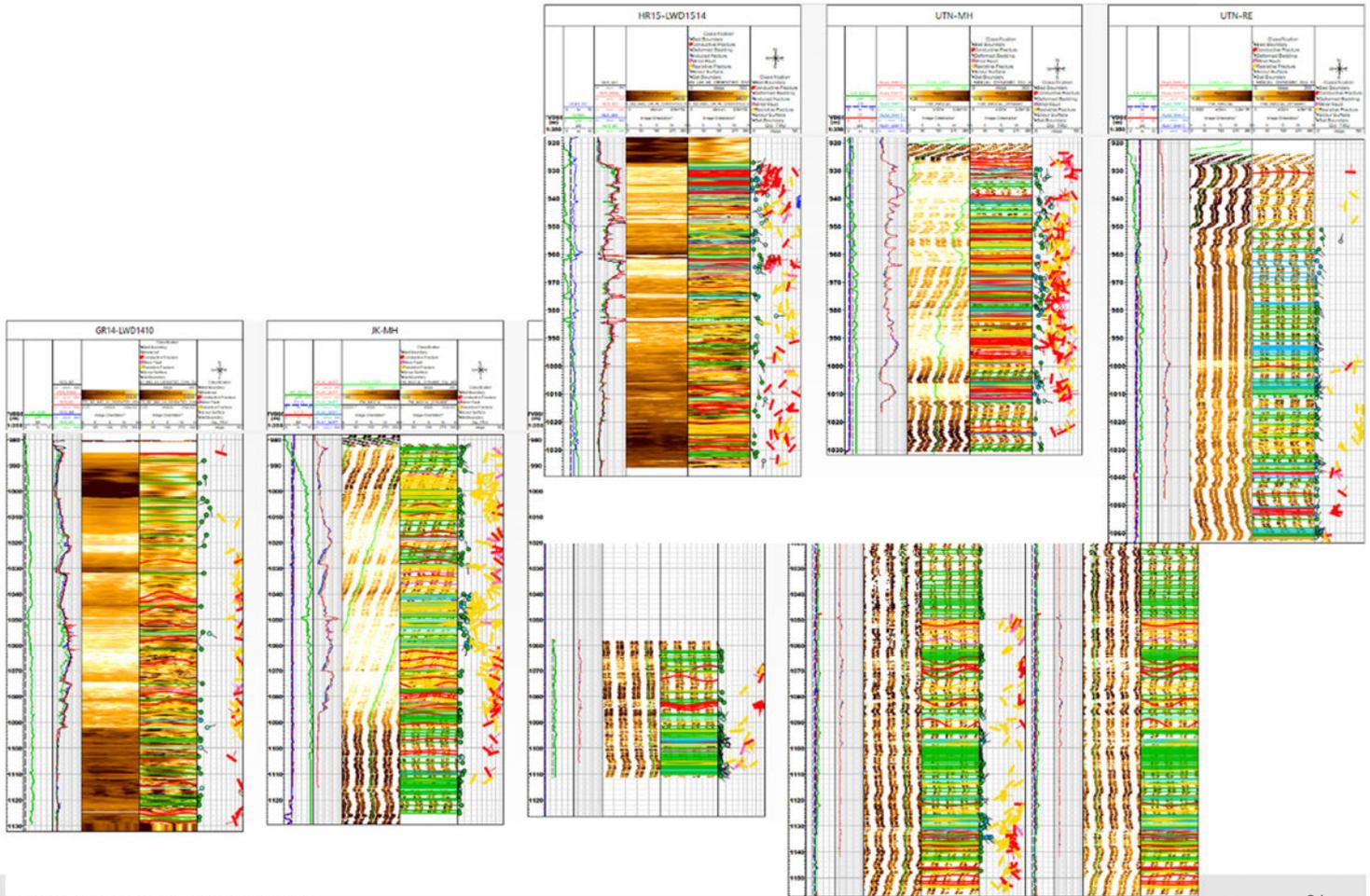


海鷹海脚



堆積物の磁化異方性からの情報





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検層を実施、以降の調査ではワイヤライン検層と室内土質試験を実施した。
- 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坑でワイヤライン検層を実施

地盤強度調査の現在のまとめ

- 2023年度にリファレンスサイトのワイヤライン検層を参考にMHサイトの地下構造を推定した
 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
- 本年度、ワイヤライン検層と室内土質試験結果対比を対比した
 - ✓ 圧密降伏応力、粘着力、せん断抵抗角について、MHサイトとリファレンスサイトにおける差異は少ない。
 - ※ コア試料は圧力コアラーではなく通常コアラーで取得している。
 - ✓ 検層の結果から、リファレンスサイトにおいても数層準のMH胚胎と考えられる層準を確認した。
 - ✓ 全サイトにおいて深度100m程度までは土被りの増加による嵩密度の変化は乏しいことを確認した。
 - ※ 酒田海丘Reサイト700-712mや上越海丘Reサイトの1113~1130mは嵩密度が高い→磁化異方性から、圧密の構造が弱化している。

地盤強度調査の現在のまとめ

- ✓ 酒田海丘のサイトで強度増加が確認されている685-693mの岩相がやや砂質であること、また、この層準付近において炭酸塩鉱物の含有を確認した。
 - ※ 酒田海丘や上越海丘のコア試料では粒子比重、粒径等に大きな変化はない
 - ※ 海鷹海脚のコア試料では炭酸塩鉱物がみられた深度において粒子比重が増加している（?）
- 海底表層付近において炭酸塩で固結した礫サイズの堆積物等がROV観測で確認されている。

生産開発の掘削の過程で、炭酸塩で固化した礫や層が破碎され、取り込まれる可能性がある。今後、揚収される掘削物の検討という観点から、礫化した炭酸塩の強度等についても検討をしていく予定。

環境影響評価の概要と進捗

産業技術総合研究所
環境創生研究部門
塚崎 あゆみ

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。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

1

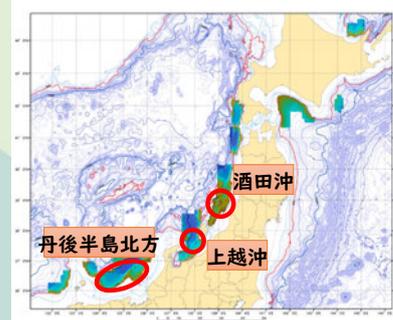
表層型メタンハイドレートの開発に向けた取組



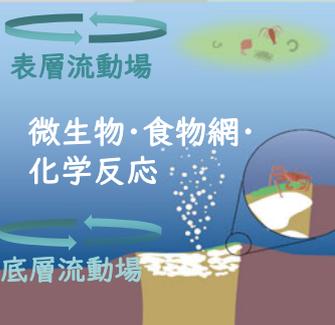
生産技術の開発



海洋産出試験実施場所の特定に向けた海洋調査



海底地形(着色部)は、広域地質調査(2013~2015)実施海域

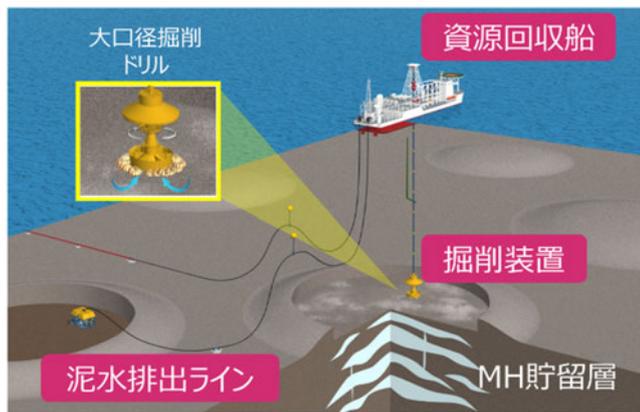


環境影響評価

生産技術に係る環境への影響
当該海域の環境特性の解明
環境ベースライン調査・モニタリング
環境計測手法の高度化・最適化

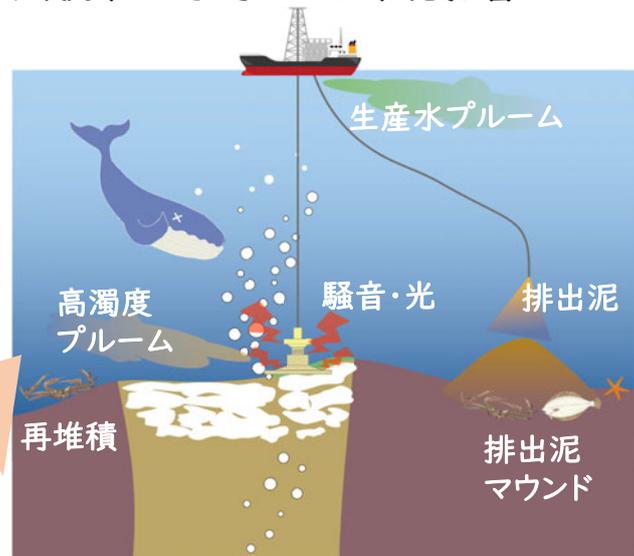
本研究開発事業の環境影響評価の特徴

海底環境を直接攪乱

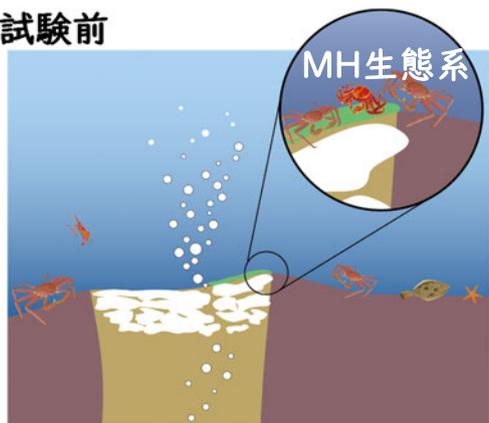


三井E&S造船(株)、清水建設(株)、日本大学

試験中に想定される環境影響



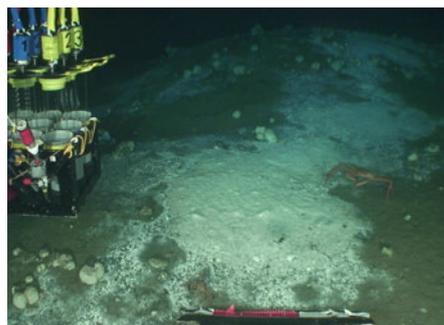
試験前



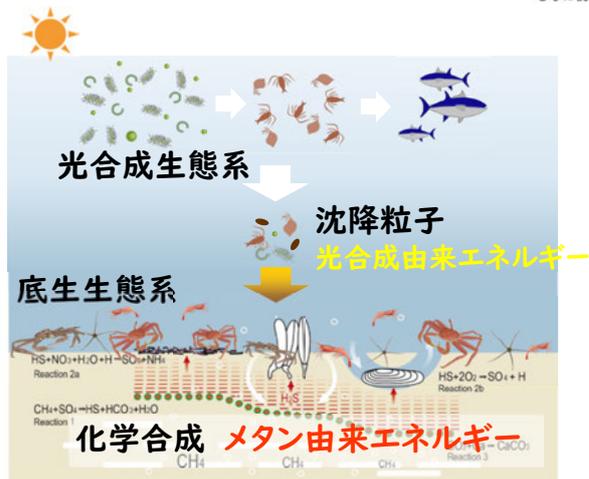
ROV採泥で発生した小規模の高濁度プルーム

本研究開発事業の環境影響評価の特徴

特異的な環境・化学合成生態系



パッチ状に発達した微生物マット



Suess (2014) に加筆

他の産業との近接・競合



メタンシープ

ベニズワイガニの蛸集



1. 表層型MH賦存海域の特性解明

環境影響評価に必要なプロセス・パラメータ抽出
⇒物理・化学・生物・生態学的特性

2. 調査手法・解析手法の検討

- ・既存のBAT (Best Available Techniques)
- ・新規に開発

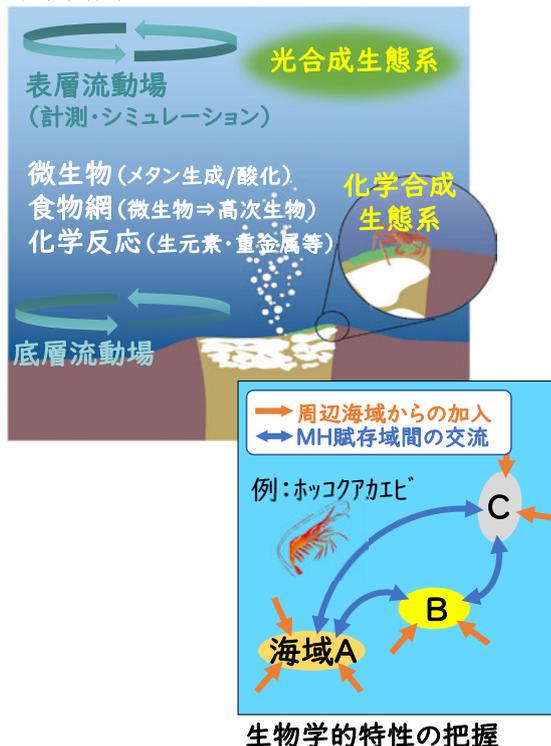
3. 環境ベースライン調査

- ・上記1と2を元に、適切な調査手法を構築・実施
- ・データ集積

4. 環境モニタリング (監視)

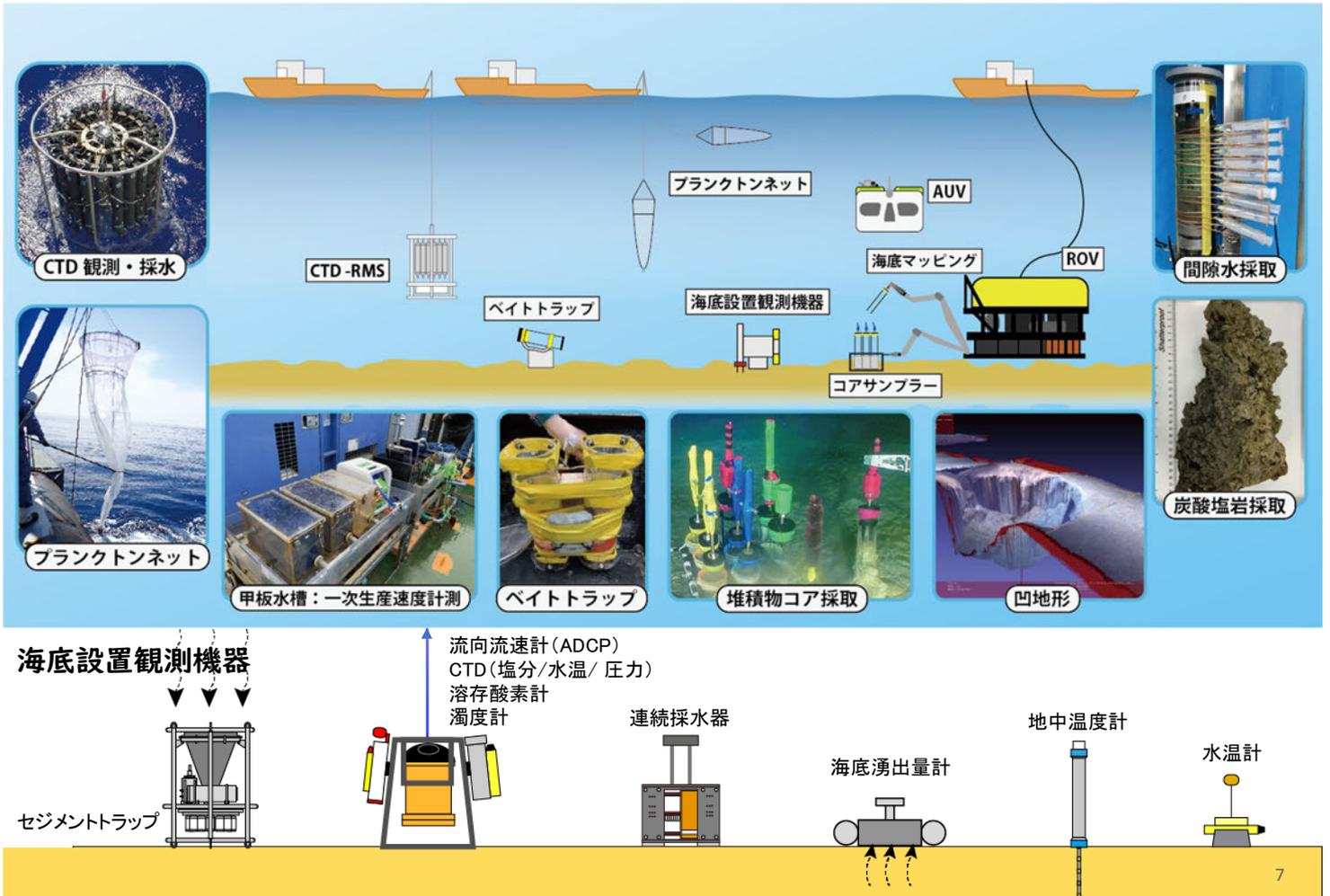
事中：懸念された影響が生じていないか？
＝予測される自然変動を超えていないか？
事後：長期的な影響評価と生態系等の回復をモニタリング

物質循環特性の把握



環境影響評価に関わる海洋調査の実績

	2020	2021	2022	2023	2024
海洋観測 (水柱)	酒田沖	上越沖	上越沖	酒田沖	
ROV調査	酒田沖	上越沖	上越沖	上越沖 酒田沖	上越沖 酒田沖
長期モニタリング	酒田沖		上越沖		
地盤強度評価 (掘削)		酒田沖	上越沖	酒田沖	
ホバリング型 AUV調査				上越沖 酒田沖	上越沖 酒田沖

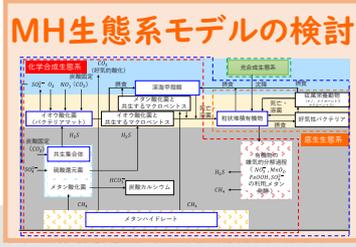


水柱～堆積物の化学的特性及び物質動態解明



実験・解析用の試料・パラメータの取得

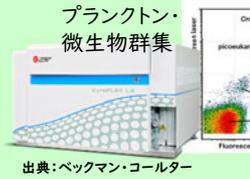
実験データに基づく観測手法の高度化



【環境影響評価手法の検討・高度化】

キーワード:メタン、栄養塩、有機物、炭酸系、酸素、硫黄、金属元素、陰イオン、年代測定、フラックス、群集構造、生物の連結性、同位体解析、流動場

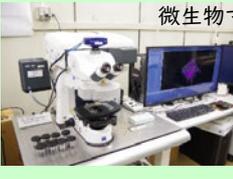
フローサイトメトリ



DNAシーケンサー



共焦点反射顕微鏡



安定同位体比分析



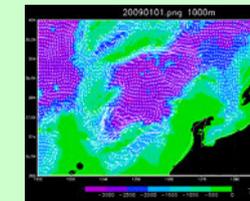
超高感度・広ダイナミックレンジ栄養塩計測



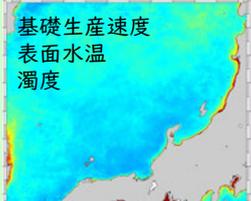
FlowCAM



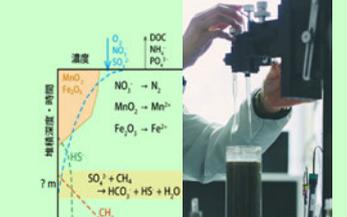
流動予測



衛星データ解析



堆積物マイクロプロファイリングシステム



研究成果：海底のメタン動態の評価

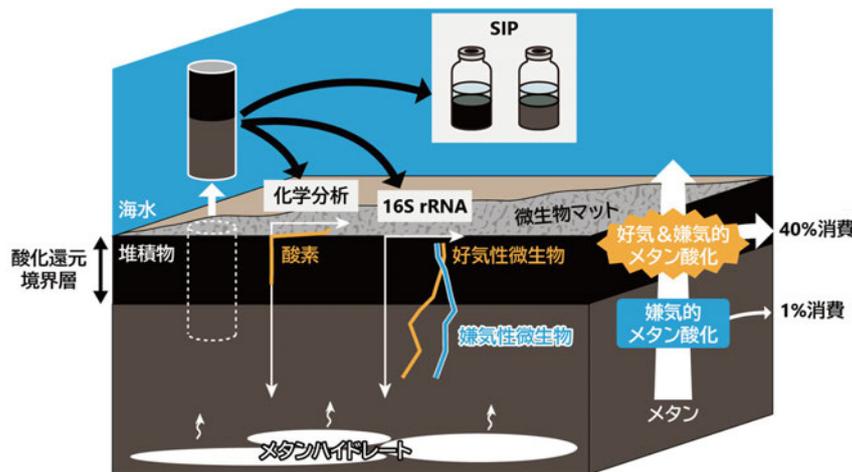
高感度安定同位体プローブ (SIP) 法・RNA分析



+ 化学分析、遺伝子・脂質バイオマーカー分析

- ✓ 堆積物中の微生物の鉛直分布と活性を解明
- ✓ 好気性・嫌気性微生物の共存領域を発見
- ✓ 微生物の現場活性・分布を考慮したメタン消費率が明らかに

Miyajima et al. (2024)



産総研プレスリリース (2024. 03)



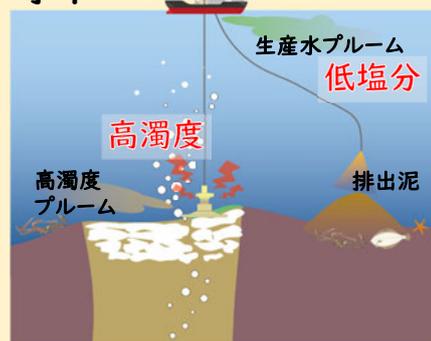
発表・掲載日：2024/03/11
メタンハイドレートが分布する海底のメタン動態を評価
～好気性・嫌気性微生物の共存がメタン消費のカギ～

https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20240311/pr20240311.html

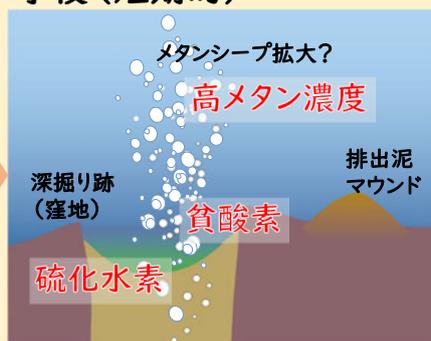
研究成果：生物への影響評価

懸念されるストレス要因

事中

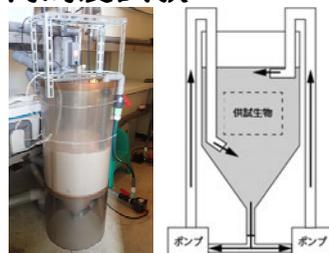


事後 (短期的)



各生物・各ストレス因子に最適化した実験系を構築

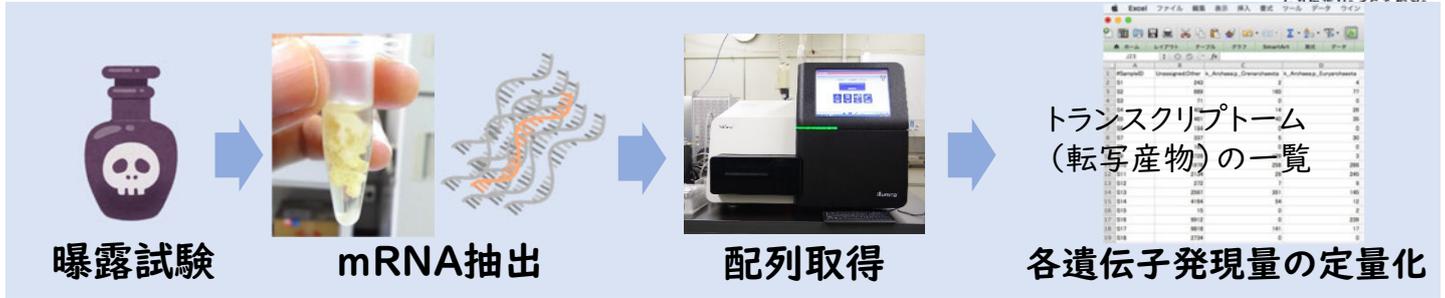
高濁度試験



硫化水素等曝露試験



- ✓ 生残率
- ✓ 異常行動発生率
- ✓ 急性致死影響濃度の閾値



致死影響や異常行動のみられなかった個体にも傷害応答反応が始まっている可能性を示唆

ホッコクアカエビ曝露試験

溶存酸素

- 飽和度 25% 下の生残率 75%、生残個体は 33% で遊泳鈍化
- RNA-seq 供試個体と曝露条件
- 対照区 (C): 100% (n=3)
- 実験区 (E): 25% (n=3)

遺伝子発現全体の比較

トランスクリプトームと遺伝子発現量を推定し、各個体で比較したヒートマップ

推定・フィルタ後のトランスクリプトーム数 18093

塩分

- 掘削による真水の影響の検証
- ~ 21.5 psu 下で生残率 0%
- RNA-seq 供試個体と曝露条件
- 対照区 (C): 32.0 psu (n=3)
- 実験区 (E): 21.5 psu (n=3)

遺伝子発現全体の比較

推定・フィルタ後のトランスクリプトーム数 18058

数時間程度で致死影響が出る

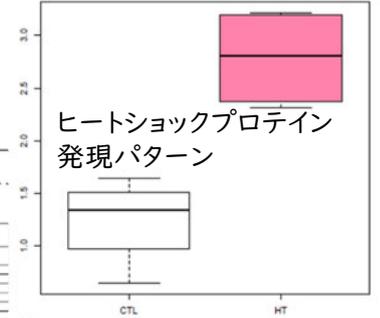
発現変動遺伝子の抽出と比較

遺伝子発現を調整済 p 値 (Benjamini-Hochberg FDR 法) 順に並べた発現変動遺伝子 (実験区内の発現変動が大きいものは除外)

調整済 p 値	対照	実験	遺伝子名	遺伝子名
4.8E-08	48.0	0.0	XP_047496261	lysosomal FcR1 cluster assembly factor NLRP5 homolog (Paraus chinensis)
4.8E-07	88.0	6.0	XP_047497361	lysosomal protein LAMP1 (Paraus chinensis)
5.8E-06	1.0	118.0	XP_047494980	lysosomal protein LAMP2 (Paraus chinensis)
5.8E-06	1.0	7.0	XP_047495040	lysosomal protein LAMP3 (Paraus chinensis)
5.8E-06	1.0	188.0	XP_047495110	lysosomal protein LAMP4 (Paraus chinensis)

電子伝達・酸化還元反応・触媒反応に関わる遺伝子の発現減
構造タンパク質合成に関わる遺伝子の発現増

ヨコエビ高温曝露試験



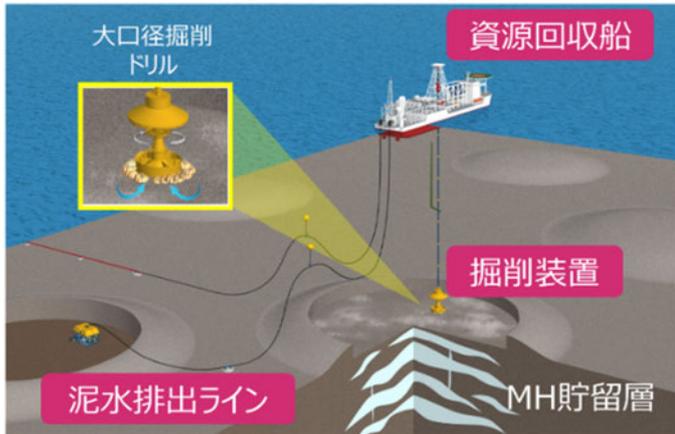
井口他 (2023)

依藤他 (2024)

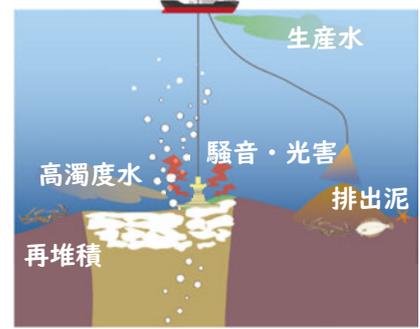
掘削調査を利用した環境影響評価手法の検討

想定される環境影響シナリオ

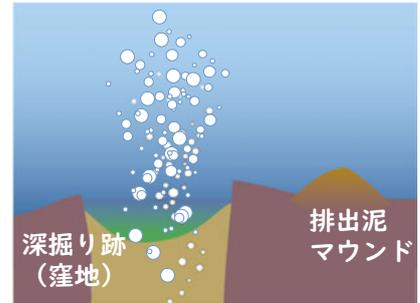
大口径ドリル方式によるMH掘削のイメージ



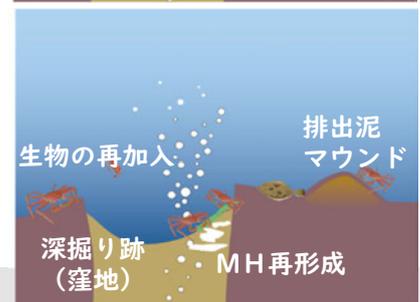
開発/試験中



開発/試験後短期



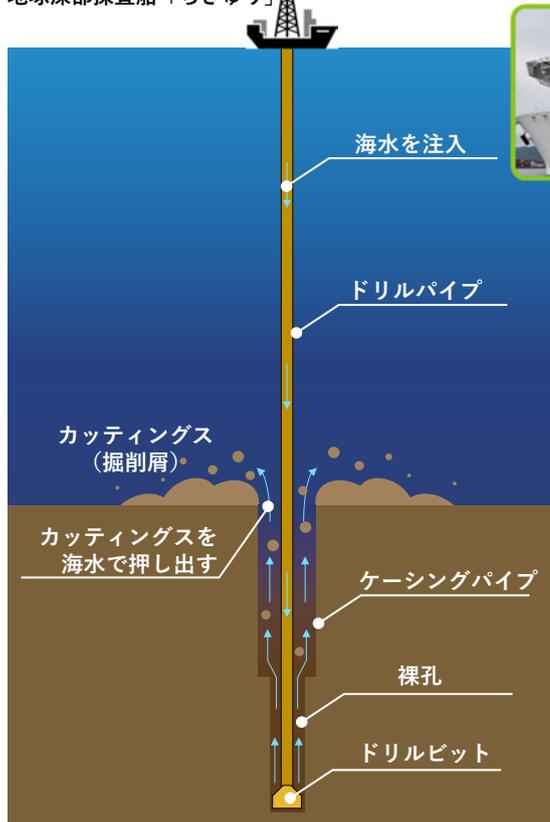
開発/試験後長期



海底地盤強度調査の掘削を
表層型MH開発/海洋産出試験に伴う
海底攪乱とみなして周辺環境への影響
評価手法を検討

掘削調査を利用した環境影響評価手法の検討

地球深部探査船「ちきゅう」



掘削屑
 性状: 堆積物・炭酸塩岩・MH等
 排出量: 5~7 m³/100 m (掘削長当たり)
 ※ ビット径などからの推定値 (~10 ton程度)

掘削影響評価

ライザーレス掘削の概要

JAMSTEC「ちきゅう」のサイトを参考に作図
 ※当該掘削調査ではケーシングパイプは使用しない

掘削調査 (地盤強度調査) と掘削影響調査

酒田沖 (酒田海丘)	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024	FY2025
掘削調査 (コア採取, WL検層) (地盤強度調査)	PS21 Poseidon-1		CK23-02C ちきゅう		
詳細地形地質調査 (音響探査) 航行型AUV「Deep1」					2年後 (船舶未定)
掘削影響調査 (海底画像撮影) ホバリング型AUV「YOUZAN」			直前 直後	1年後	2年後
掘削影響調査 (試料採取, 海底観察) ROV「はくよう3000」/「KAIYO3000」			1K23-3 第一開洋丸	SS24-1 新世丸	(船舶未定)
掘削影響調査 (音響探査) ROV「KAIYO3000」					

SK-MH

上越沖 (上越海丘, 海鷹海脚北部)	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024	FY2025
掘削調査 (コア採取, WL検層) (地盤強度調査)		CK22-03C ちきゅう	CK23-02C ちきゅう		
詳細地形地質調査 (音響探査) 航行型AUV「Deep1」				2年後, 1年後	
掘削影響調査 (海底画像撮影) ホバリング型AUV「YOUZAN」		UTN-RE	7ヶ月後	JK-RE2	
掘削影響調査 (試料採取, 海底観察) ROV「はくよう3000」/「はくよう」		直前	1ヶ月後	2年後	
掘削影響調査 (音響探査) ROV「KAIYO3000」		SS22 新世丸	SN22 新日丸	SS24-1 新世丸	
			10ヶ月後		

JK-MH

◆ 詳細海底地形と再堆積層分布(及び底質分布)の把握

- 海底画像 (AUV「YOUZAN」, ROV「SeaXerocks」)
- 音響探査 (ROV_SSS, AUV_MBES/SSS/SBP)
- 堆積物試料(コア): プッシュコア, 「ちきゅう」2mコア
- GISマッピング

共通基盤データ

◆ 堆積層及び直上海水の地球化学

- 採泥試料 (ROV): プッシュコア(+ちきゅうコア), エクマン採泥試料
- 採水試料 (ROV)
- センサー観測 (ROV, 海底設置機器)

◆ 掘削孔周辺海水の海洋物理

- 海底設置機器 (ADCP等)
- シミュレーション ← 詳細海底地形データ

◆ 掘削孔周辺海底の生物環境(マクロ, ミクロ)

- 海底画像 (AUV「YOUZAN」)
- 生物試料 (ROV)
- 遺伝子解析 (採水, マスポンプ)

◆ 総合解釈

- 上記全データ, 経年変化

環境影響評価

生産手法開発(機器設計)

・上越沖及び酒田沖MH胚胎域での掘削影響調査(1)

音響探査、海底画像、表層堆積物から推定した再堆積層分布

産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 浅田 美穂

・上越沖及び酒田沖MH胚胎域での掘削影響調査(2)

ホバリング型AUV「YOUZAN」を用いた海底画像撮影と生物への影響

いであ株式会社 加藤 正悟

・上越沖及び酒田沖MH胚胎域の特徴的な元素動態と底生生物群集

産業技術総合研究所 環境創生研究部門 太田 雄貴

表層型メタンハイドレートの研究開発 2024年度 研究成果報告会

上越沖及び酒田沖MH胚胎域での掘削影響調査(1) 音響探査、海底画像撮影、表層堆積物から推定した 再堆積層分布

地圏資源環境研究部門 浅田 美穂・佐藤 幹夫
環境創生研究部門 太田 雄貴

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、謝意を表します。

掘削調査（地盤強度調査）と掘削影響調査（2021～2025年度）

酒田沖(酒田海丘)	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024	FY2025
掘削調査(コア採取, WL検層) (地盤強度調査)	PS21 Poseidon-1		CK23-02C ちきゅう		
詳細地形地質調査(音響探査) 航走型AUV「Deep1」					2年後 (船舶未定)
掘削影響調査(海底画像撮影) ホバリング型AUV「YOUZAN」			直前 直後	1年後 SS24-1 新世丸	2年後 (船舶未定)
掘削影響調査(試料採取, 海底観察) ROV「はくよう3000」/「KAIYO3000」			1K23-3 第一開洋丸		
掘削影響調査(音響探査) ROV「KAIYO3000」					

SK-MH

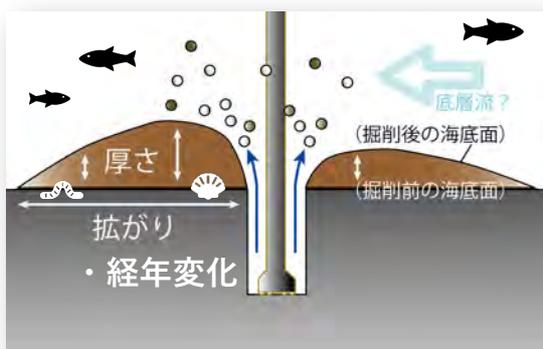
上越沖(上越海丘, 海鷹海脚北部)	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024	FY2025
掘削調査(コア採取, WL検層) (地盤強度調査)		CK22-03C ちきゅう	CK23-02C ちきゅう		
詳細地形地質調査(音響探査) 航走型AUV「Deep1」		UTN-RE		2年後, 1年後 SR24 新竜丸	
掘削影響調査(海底画像撮影) ホバリング型AUV「YOUZAN」			7ヶ月後 8K23 第八海工丸	2年後 SS24-1 新世丸	
掘削影響調査(試料採取, 海底観察) ROV「はくよう3000」/「はくよう」		直前 SS22 新世丸	1ヶ月後 SN22 新日丸		
掘削影響調査(音響探査) ROV「KAIYO3000」			10ヶ月後 SS23-2 新世丸		

JK-MH

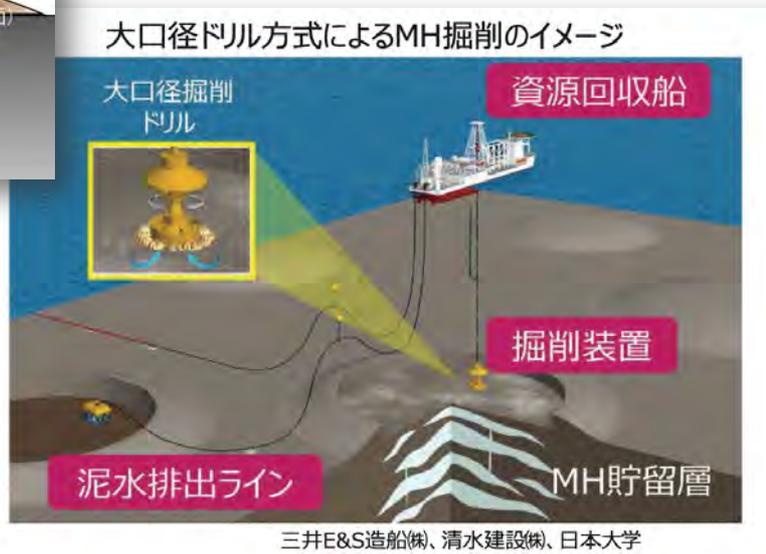


掘削影響調査：再堆積層分布の調査

掘削に伴う海底擾乱が周辺の海底環境へ影響する場合の評価手法を検討



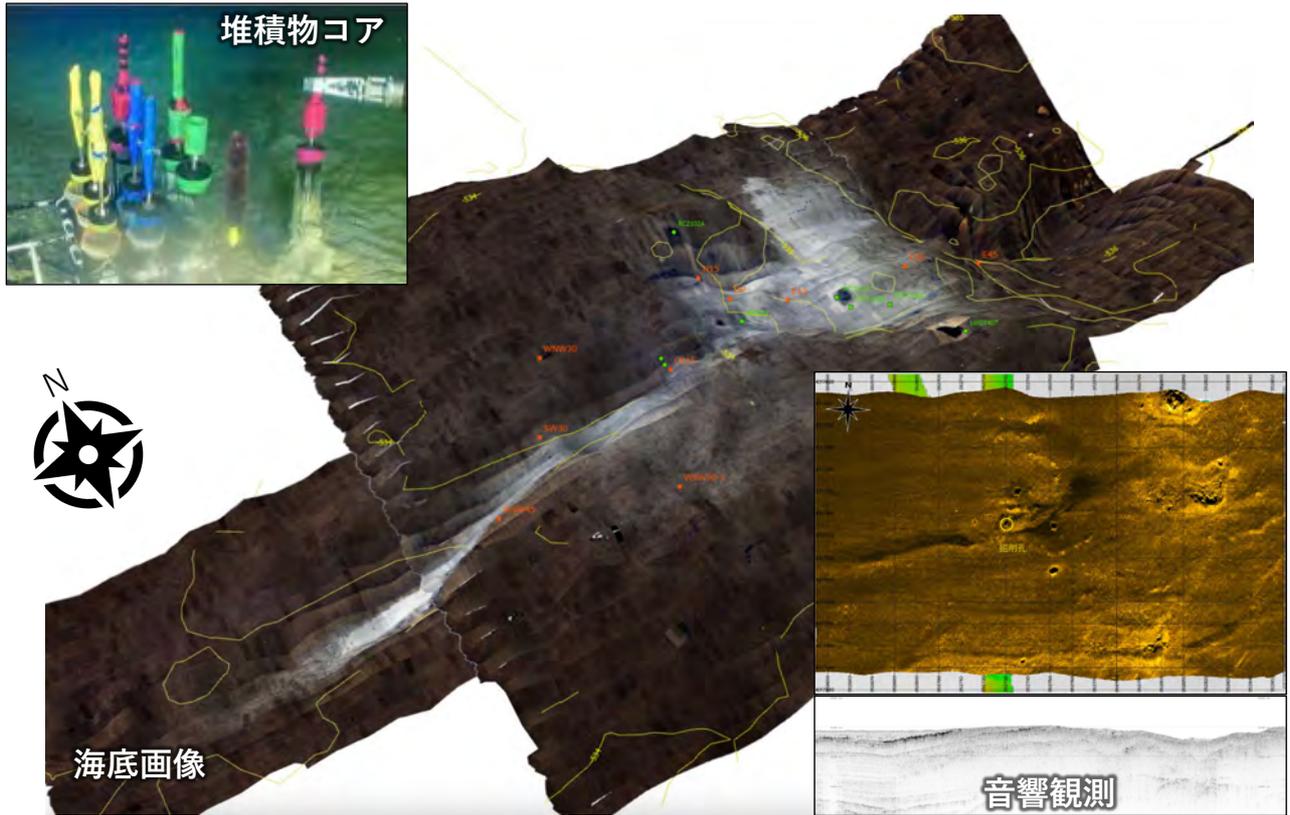
掘削による再堆積層発生概念図



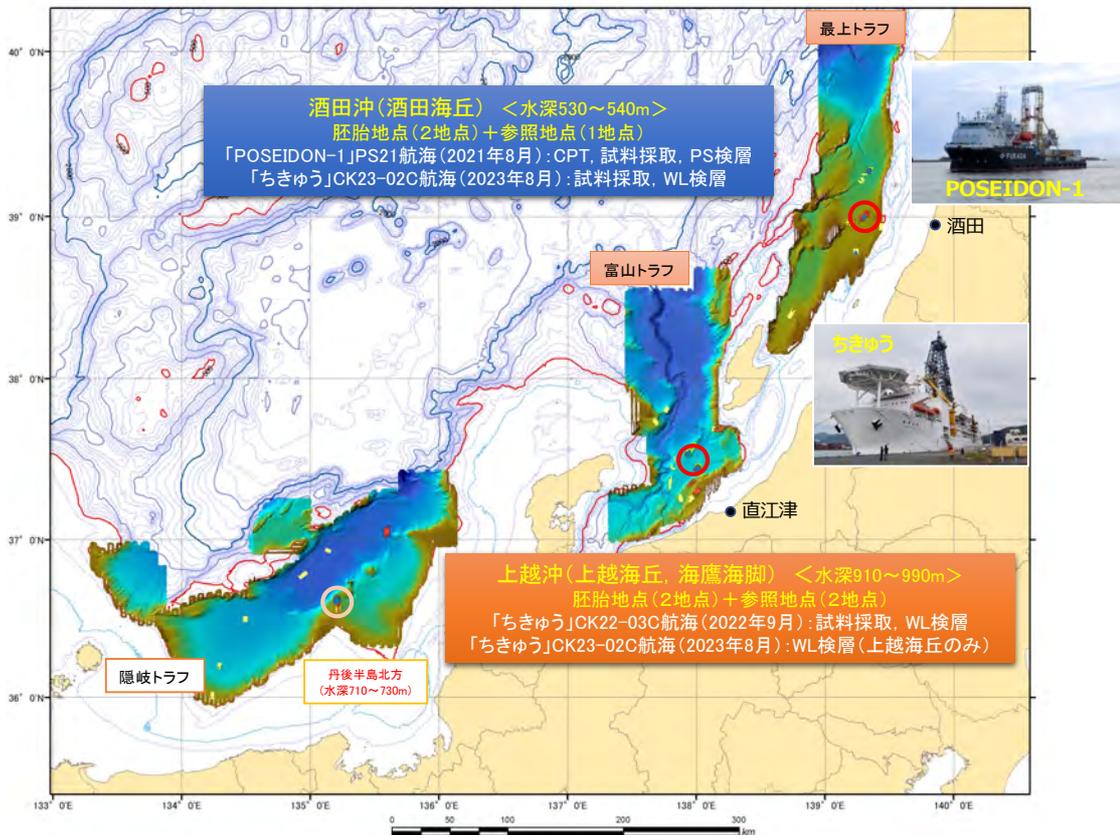
(表層型メタンハイドレートの研究開発 2023年度研究成果報告会資料)

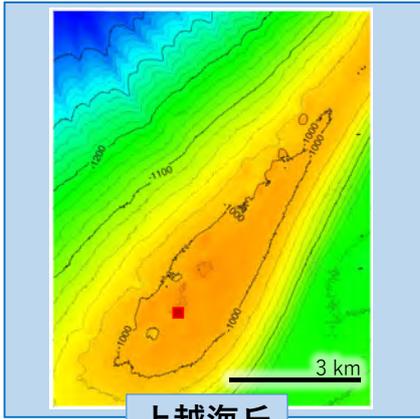
三井E&S造船(株)、清水建設(株)、日本大学

MH胚胎域 掘削後の再堆積層分布調査

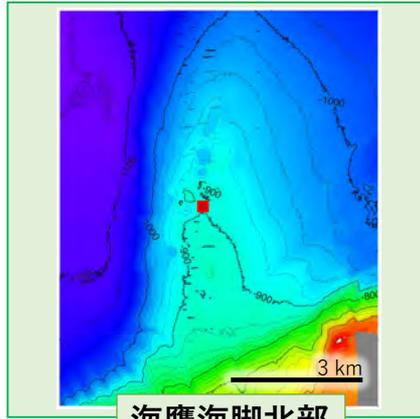


地盤強度調査（掘削調査）及び掘削影響調査 実施海域

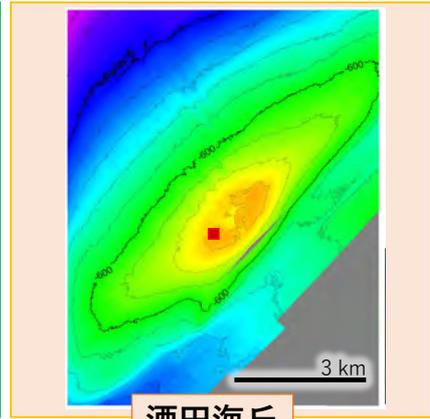




上越海丘



海鷹海脚北部

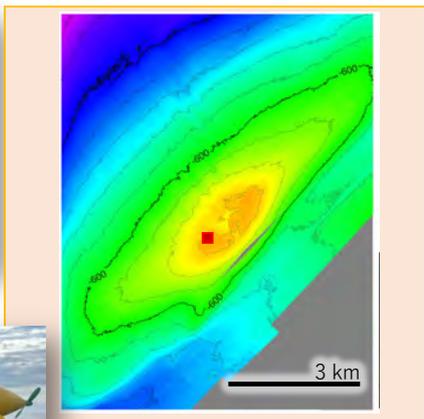


酒田海丘

	観察手法 データ種類	航走型AUV 音響調査	ROV 音響調査	ホバリング型AUV 海底画像	ROV 堆積物コア	ちきゅう 堆積物コア	調査時期			
							前	後	7M	1Y
酒田海丘	表層型MH胚胎域	2025計画中	○	○	○	○	●	●	●	
	参照地点	2025計画中	—	—	—	—				
上越海丘	表層型MH胚胎域	○	—	○	○	—			●	●
	参照地点	○	—	—	—	—				●
海鷹海脚 北部	表層型MH胚胎域	○	—	○	—	—			●	
	参照地点	○	—	—	—	—				●

酒田海丘

表層型MH胚胎域

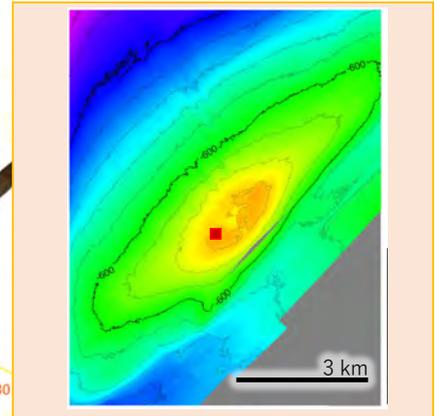


	観察手法 データ種類	航走型AUV 音響調査	ROV 音響調査	ホバリング型AUV 海底画像	ROV 堆積物コア	ちきゅう 堆積物コア	調査時期			
							前	後	7M	1Y
酒田海丘	表層型MH胚胎域	2025計画中	○	○	○	○	●	●	●	
	参照地点	2025計画中	—	—	—	—				
上越海丘	表層型MH胚胎域	○	—	○	○	—			●	●
	参照地点	○	—	—	—	—				●
海鷹海脚 北部	表層型MH胚胎域	○	—	○	—	—			●	
	参照地点	○	—	—	—	—				●

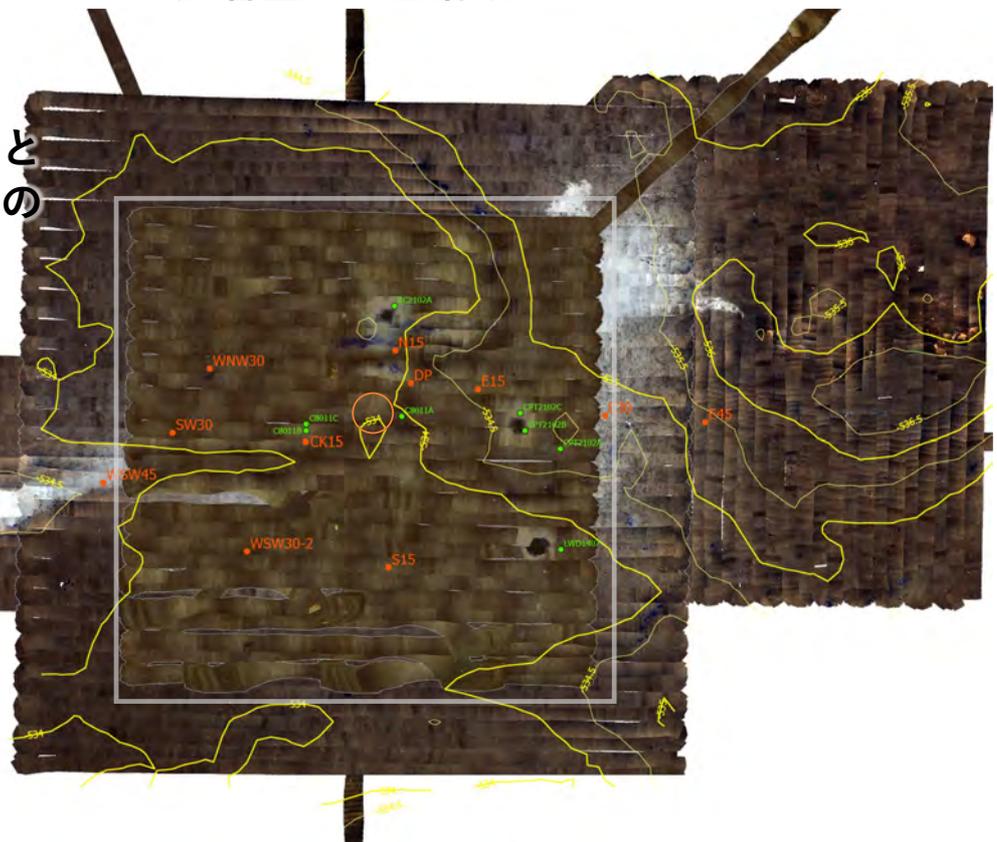
掘削直前



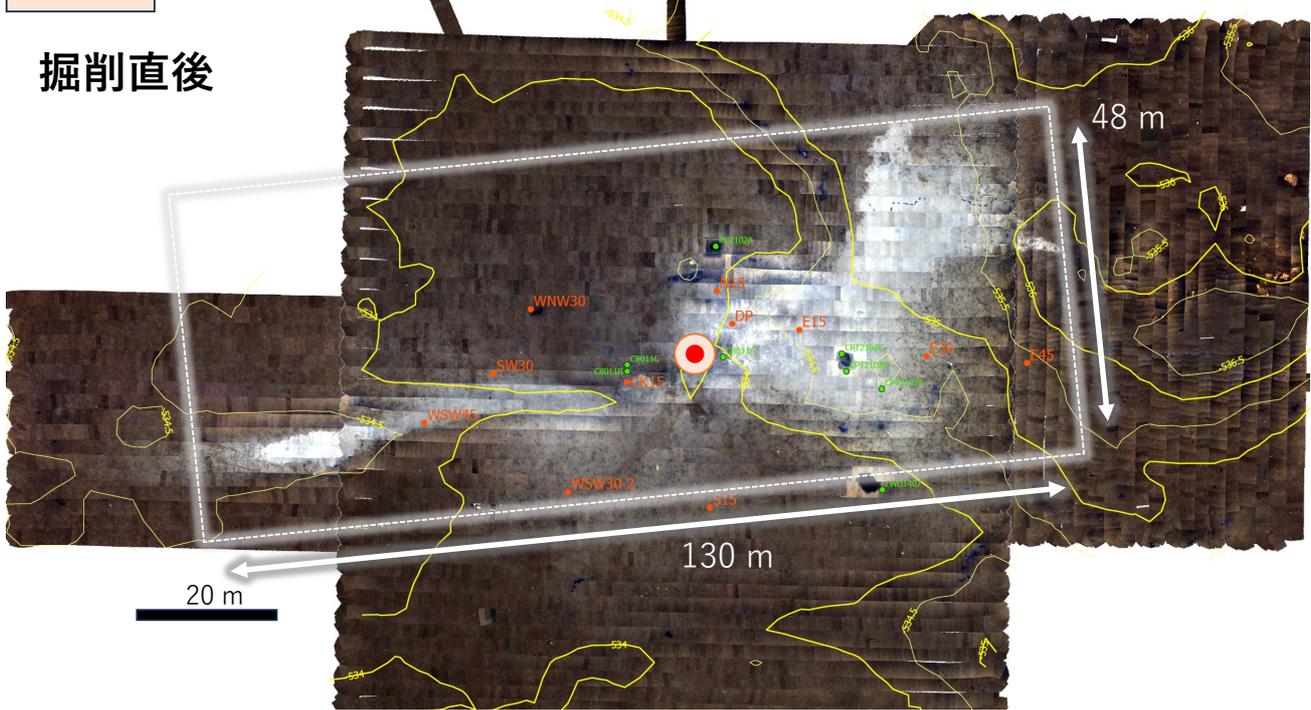
20 m



掘削直前(前面)と
掘削直後(背面)の
位置関係



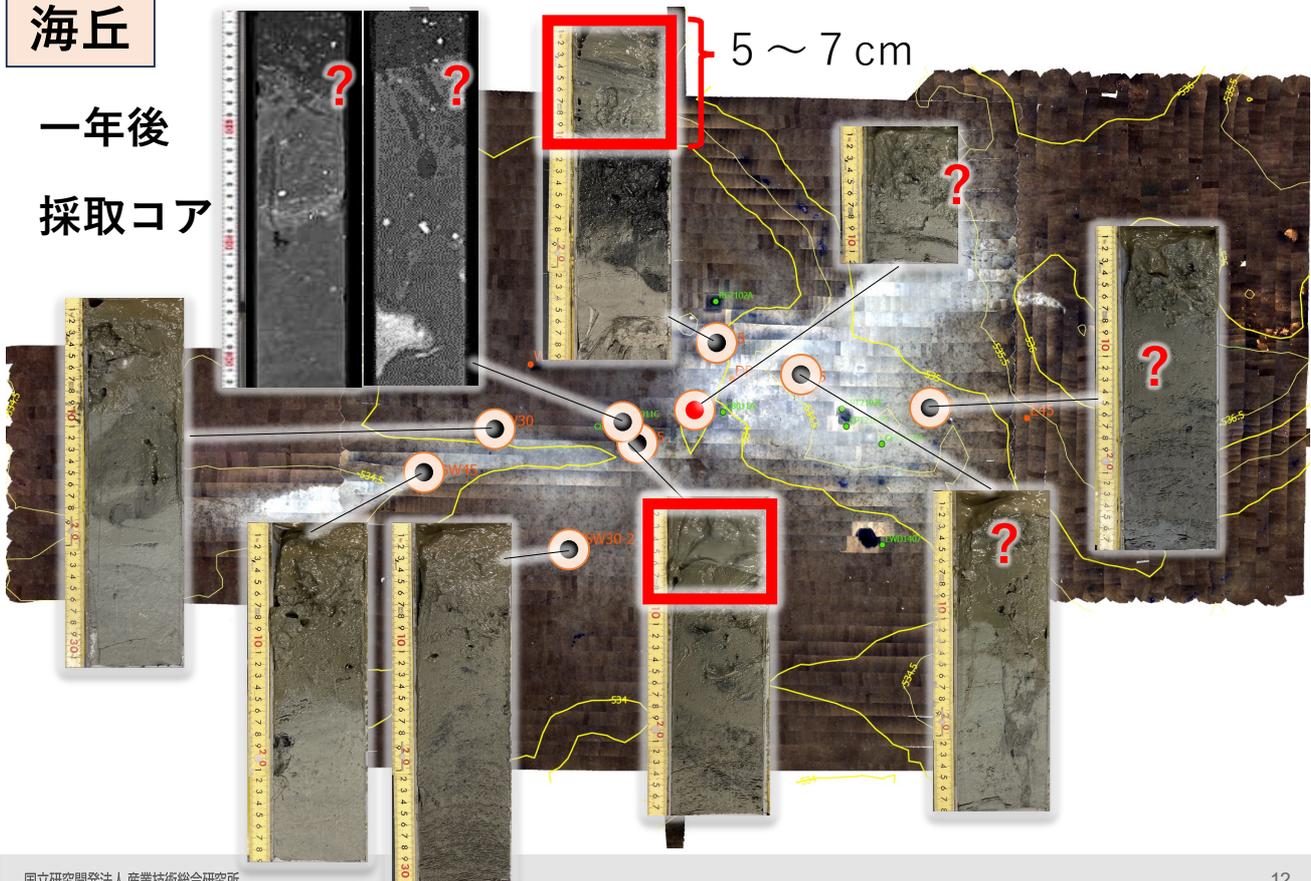
掘削直後

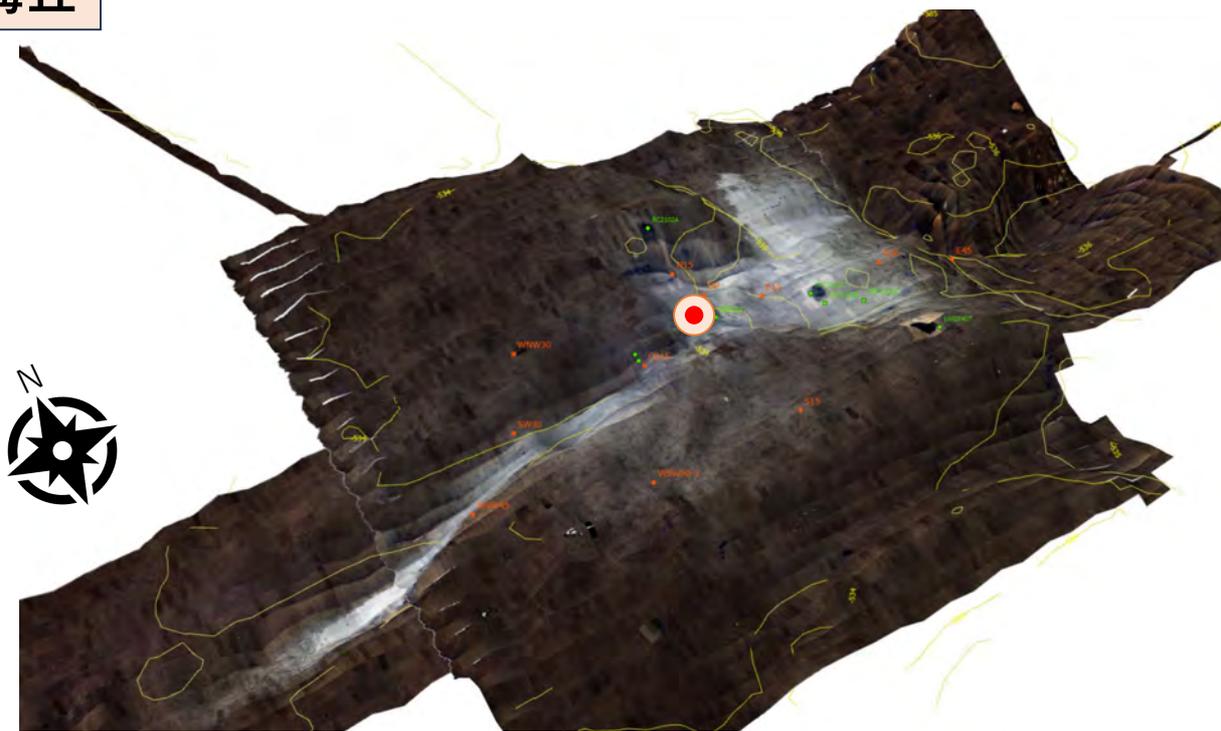


掘削孔から東西に広がる再堆積分布を確認

一年後

採取コア





再堆積分布域が掘削孔から地形に沿って広がる様子を確認

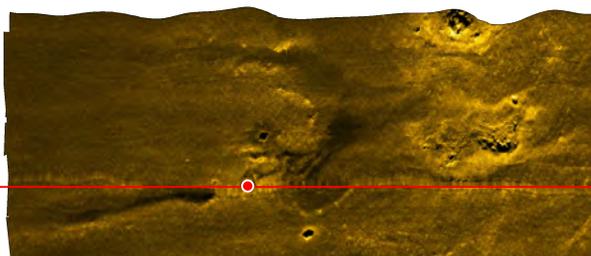
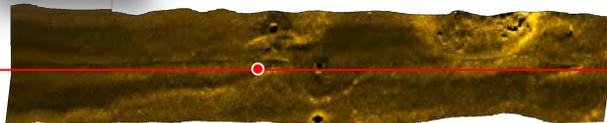
×10



掘削前

掘削後

後方散乱強度分布



掘削孔周辺でのみ後方散乱強度分布パターンが変化
= 再堆積の分布域全体を描画しなかった

海底下浅部構造 ↓

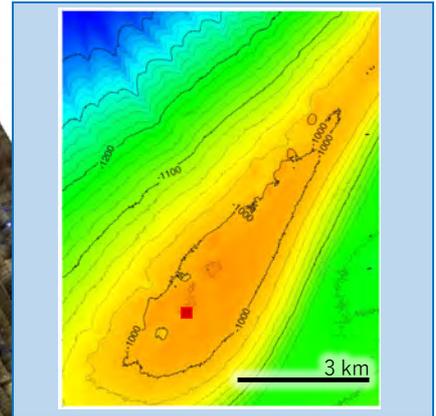
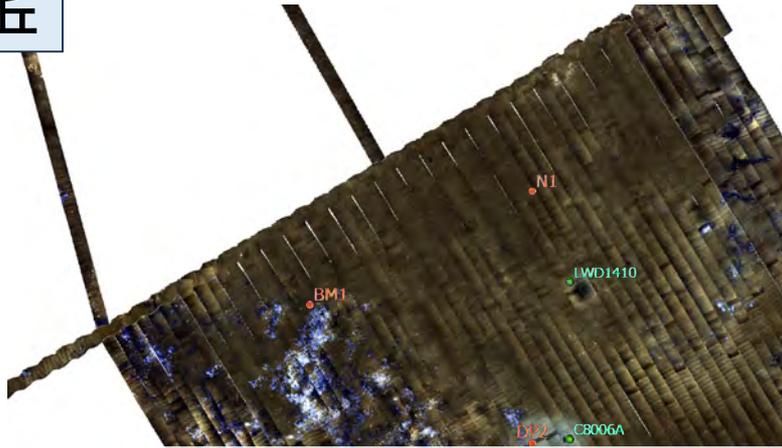


↓

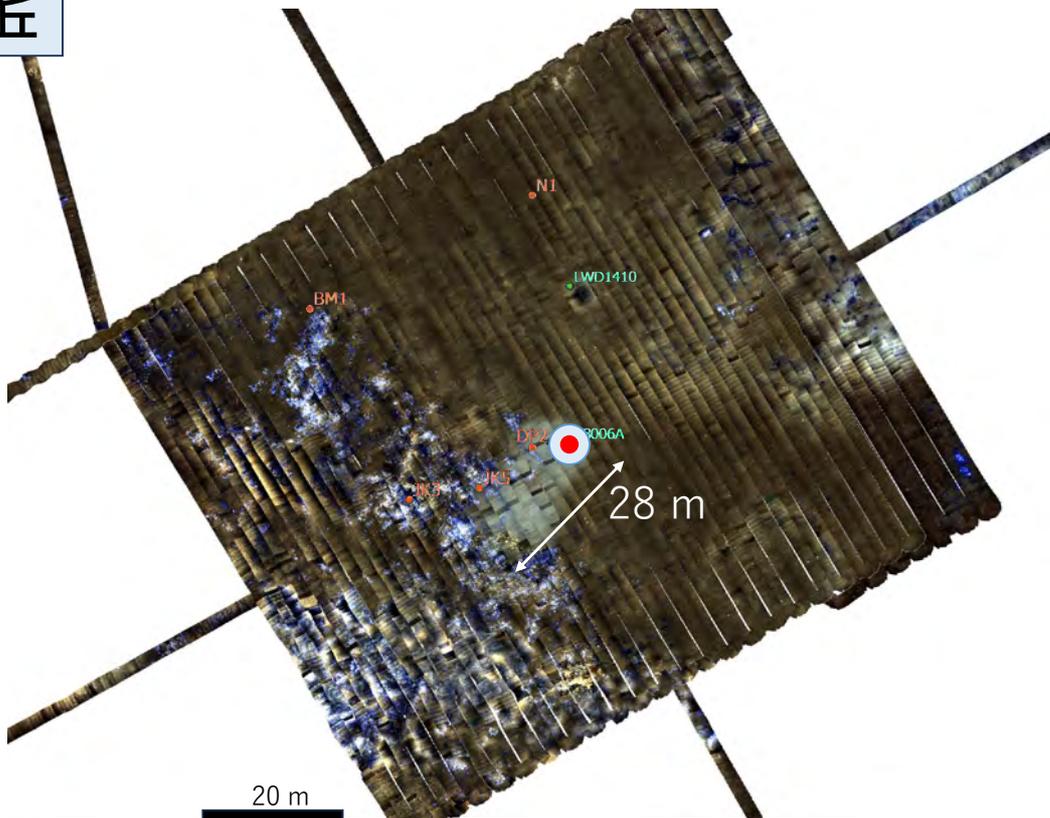


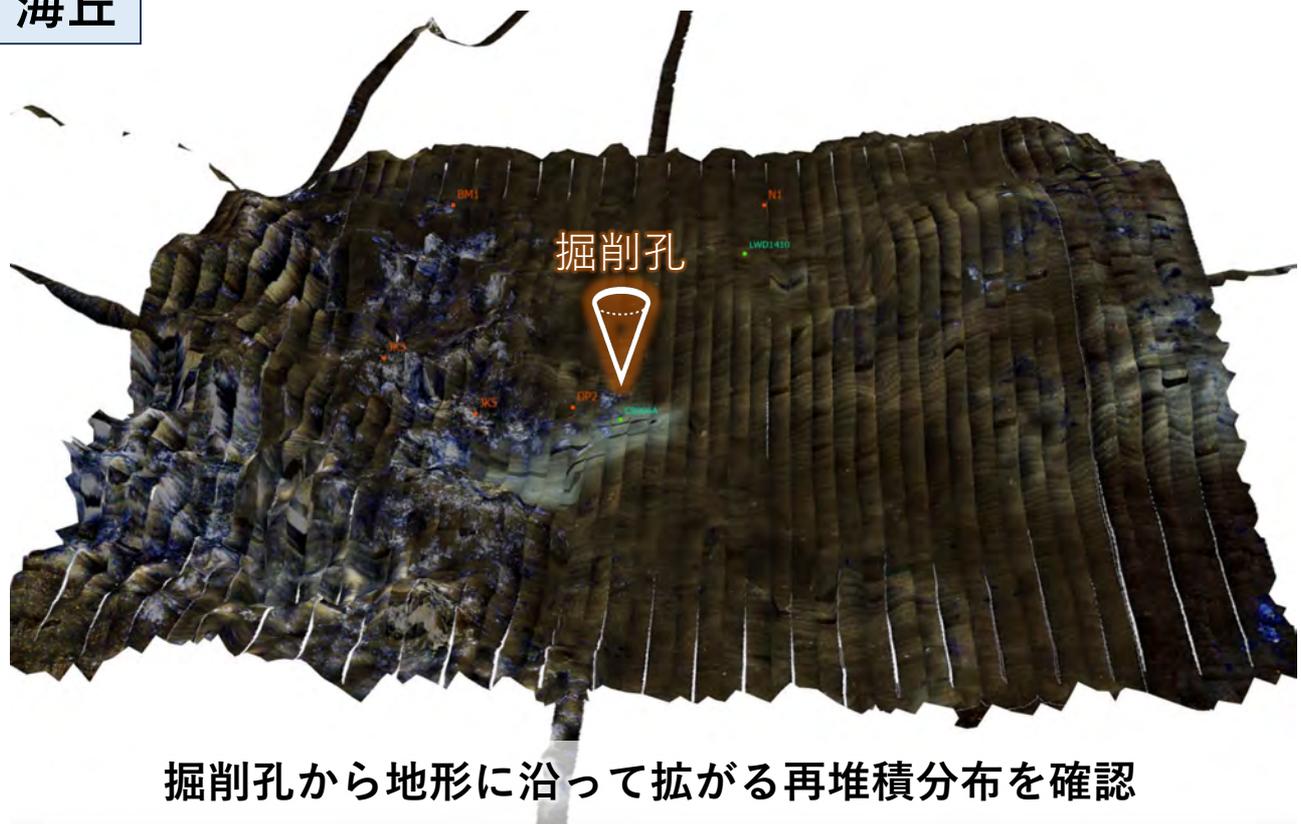
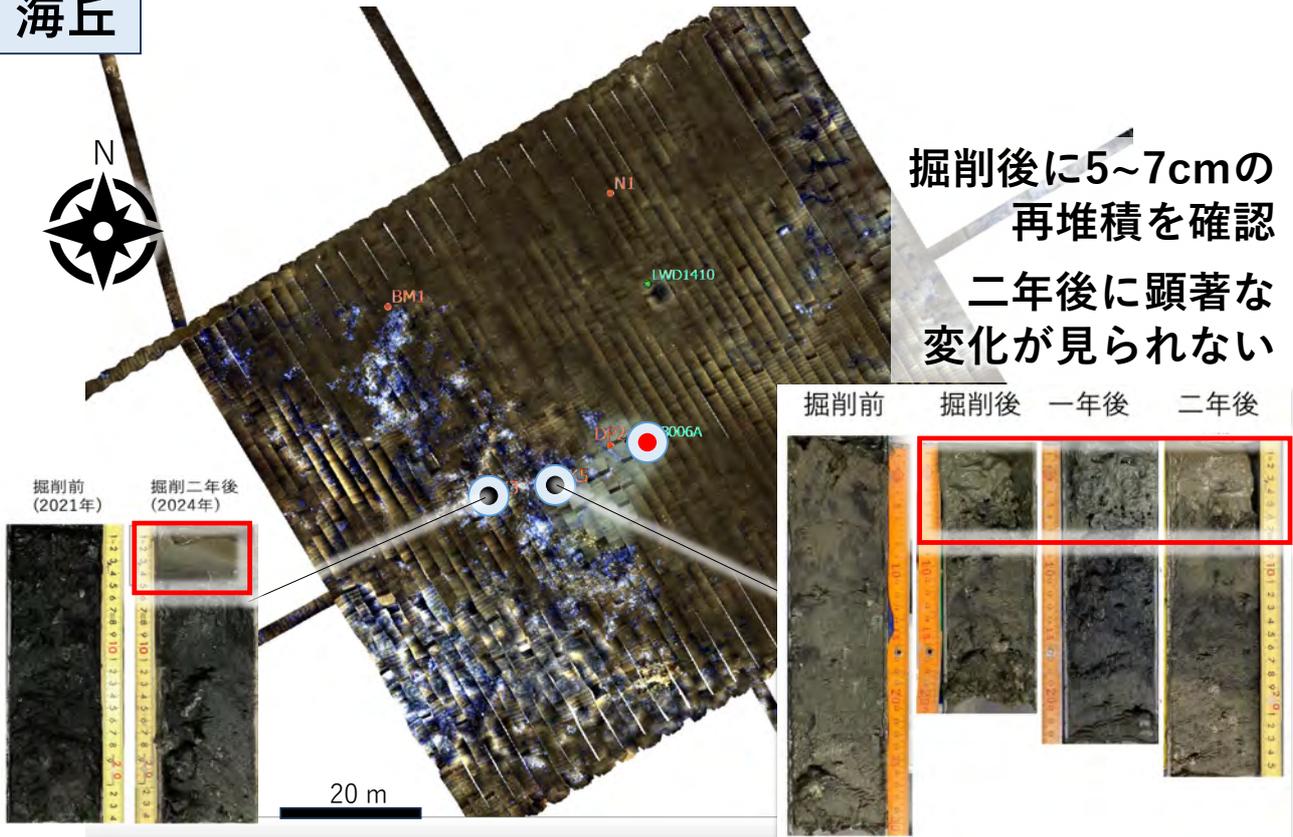
表層堆積物内部構造と厚さ変化検出できなかった
= 再堆積の厚さが検出分解能(約20 cm)以下だった

1K23-3取得データ



	観察手法 データ種類	航走型AUV 音響調査	ROV 音響調査	ホバリング型AUV 海底画像	ROV 堆積物コア	ちぎゅう 堆積物コア	調査時期			
							前	後	7M	1Y
酒田海丘	表層型MH胚胎域	2025計画中	○	○	○	○	●	●	●	
	参照地点	2025計画中	—	—	—	—				
上越海丘	表層型MH胚胎域	○	—	○	○	—			●	●
	参照地点	○	—	—	—	—				●
海鷹海脚 北部	表層型MH胚胎域	○	—	○	—	—		●		
	参照地点	○	—	—	—	—				●

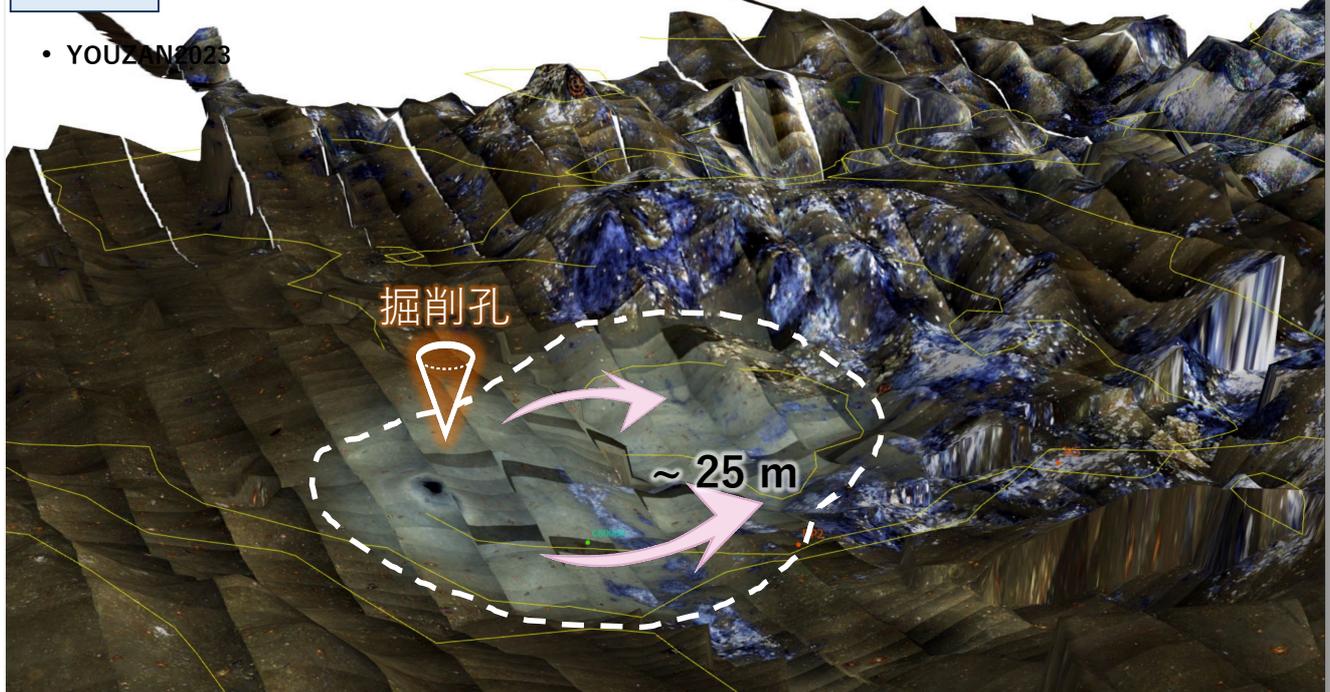




上越海丘

表層型MH胚胎域

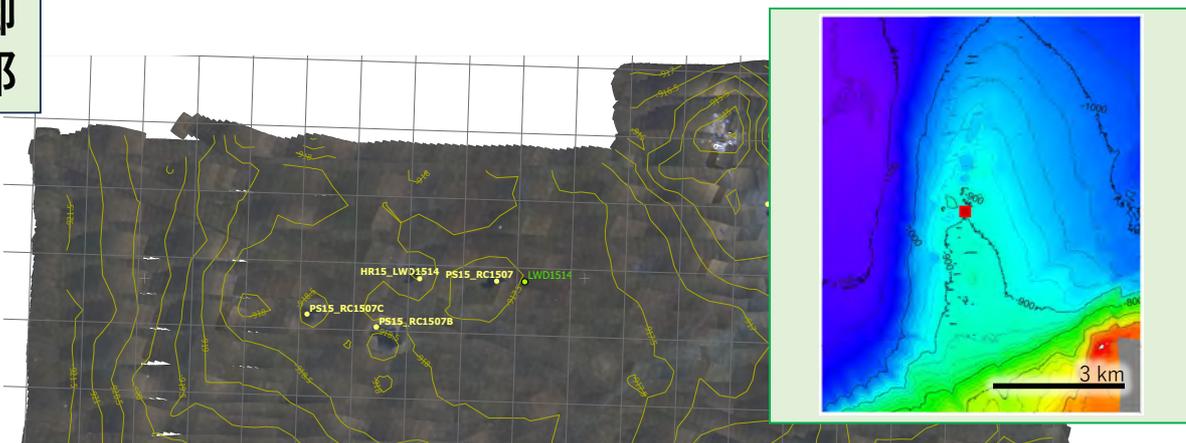
• YOUZAN2023



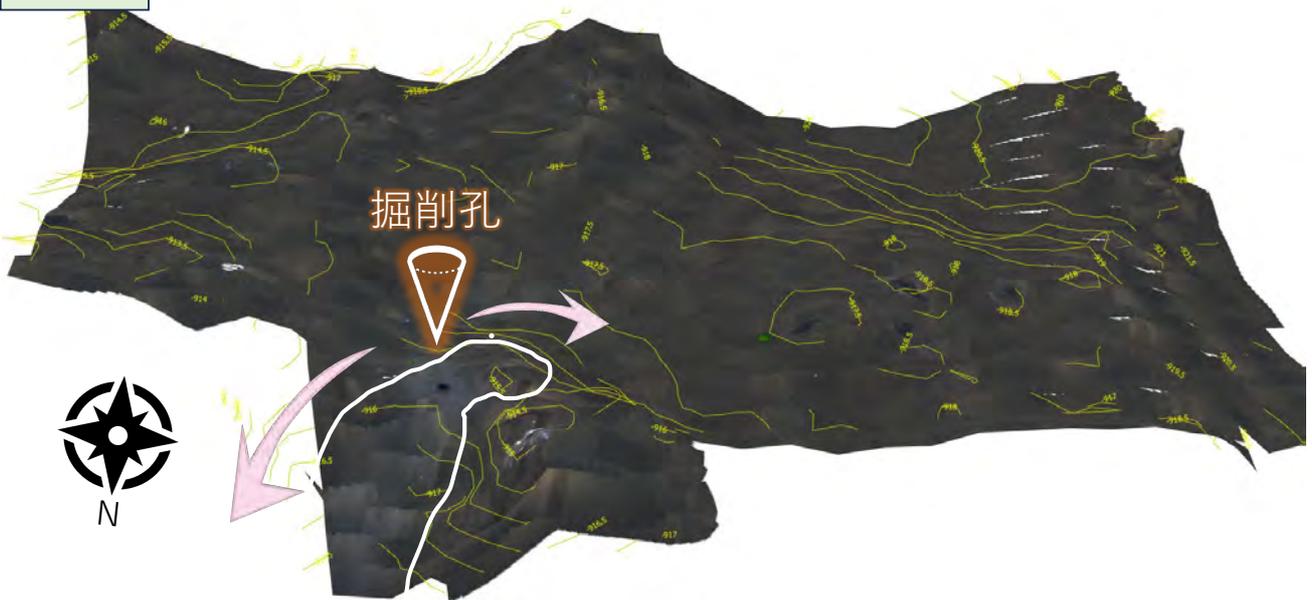
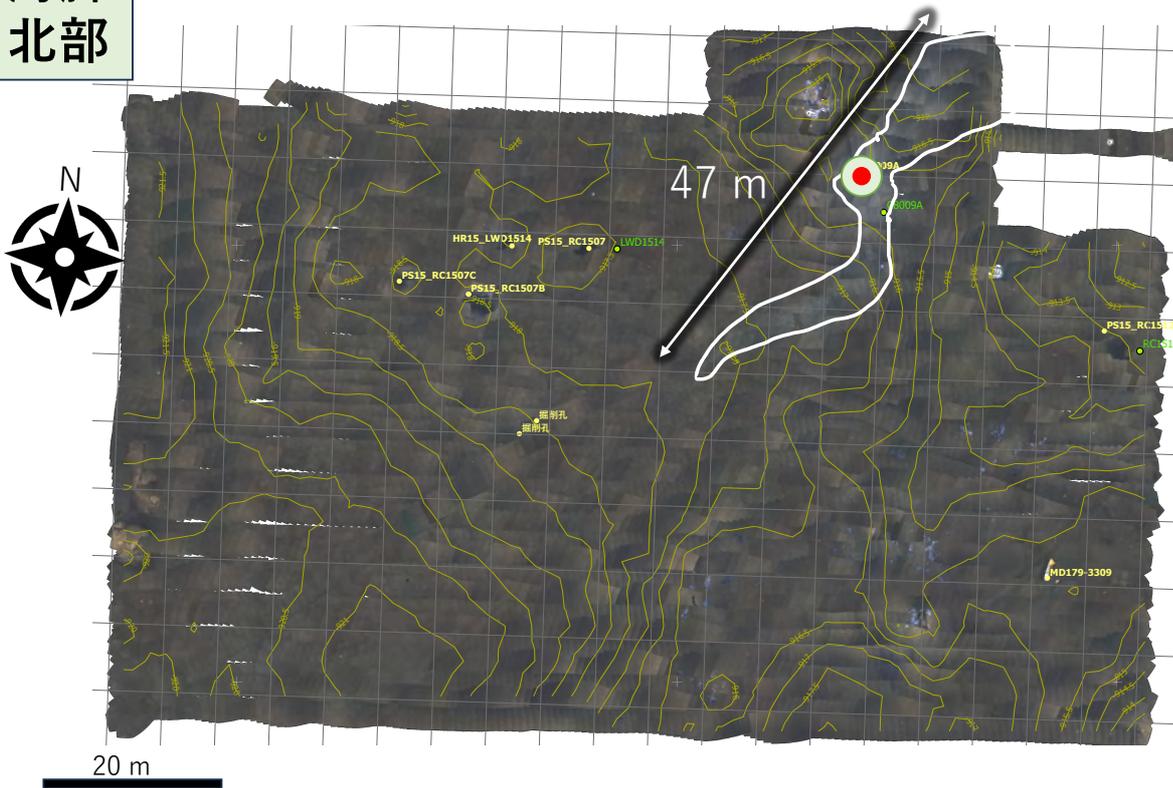
掘削孔から地形に沿って広がる再堆積分布を確認

海鷹海脚北部

表層型MH胚胎域

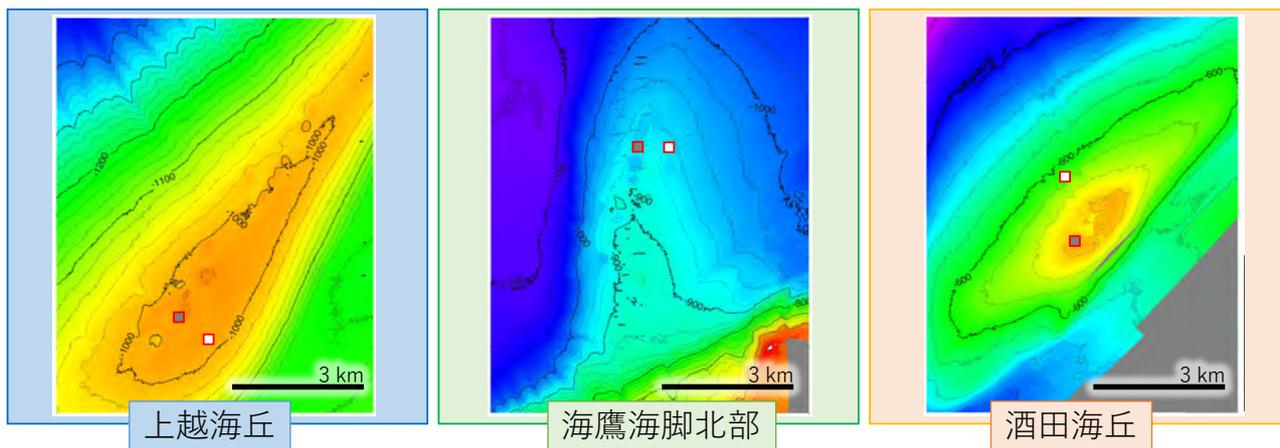


	観察手法 データ種類	航走型AUV 音響調査	ROV 音響調査	ホバリング型AUV 海底画像	ROV 堆積物コア	ちきゅう 堆積物コア	調査時期		
							前	後	7M 1Y 2Y
酒田海丘	表層型MH胚胎域	2025計画中	○	○	○	○	●	●	●
	参照地点	2025計画中	—	—	—	—			
上越海丘	表層型MH胚胎域	○	—	○	○	—		●	●
	参照地点	○	—	—	—	—			●
海鷹海脚北部	表層型MH胚胎域	○	—	○	—	—		●	
	参照地点	○	—	—	—	—			●



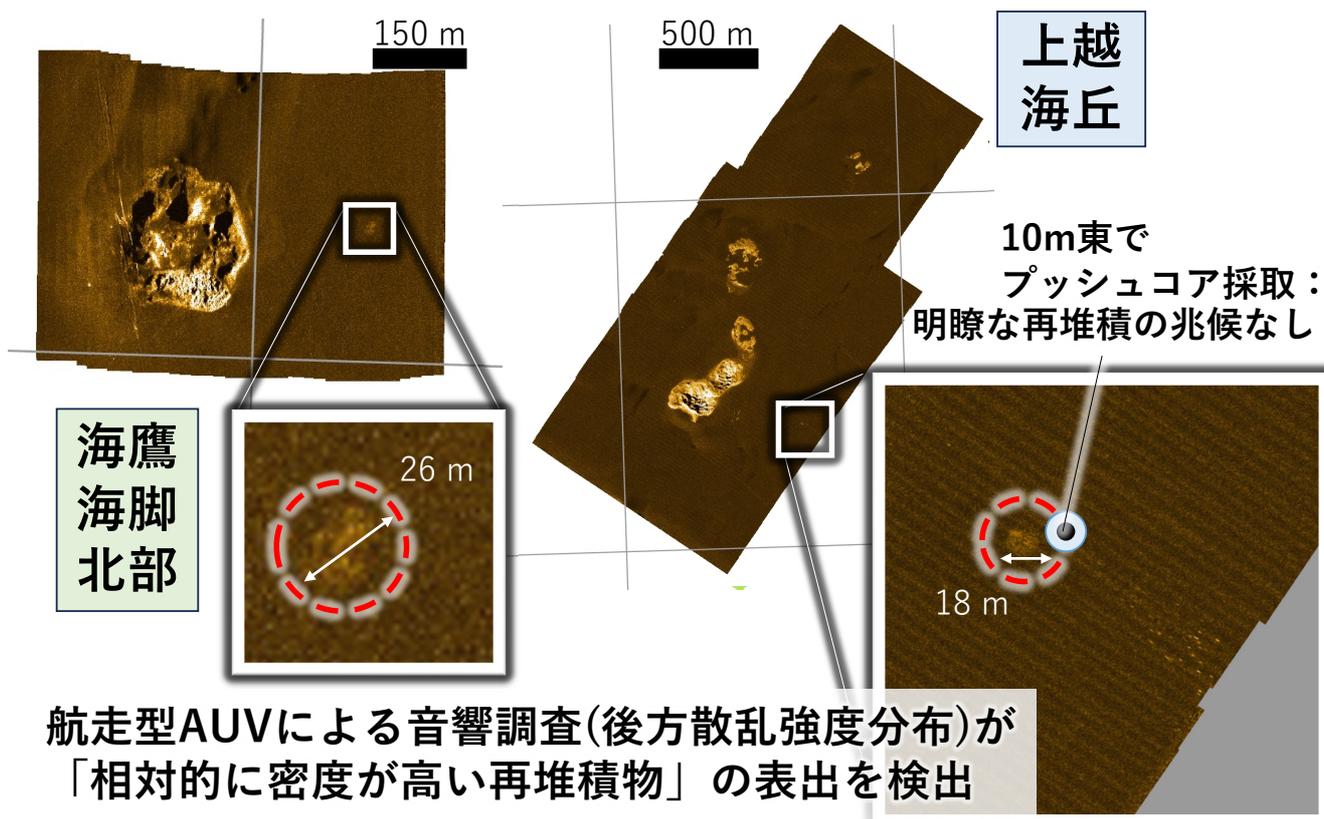
掘削孔から地形に沿って広がる再堆積分布を確認

参照地点



	観察手法 データ種類	航走型AUV 音響調査	ROV 音響調査	ホバリング型AUV 海底画像	ROV 堆積物コア	ちきゅう 堆積物コア	調査時期			
							前	後	7M	1Y
酒田海丘	表層型MH胚胎域	2025計画中	○	○	○	○	●	●	●	
	参照地点	2025計画中	—	—	—	—				
上越海丘	表層型MH胚胎域	○	—	○	○	—			●	●
	参照地点	○	—	—	—	—				●
海鷹海脚 北部	表層型MH胚胎域	○	—	○	—	—			●	
	参照地点	○	—	—	—	—				●

参照地点：海鷹海脚北部・上越海丘



掘削後の再堆積層分布 まとめ

- 再堆積層分布に地形依存があった
- 再堆積層の規模は、斜面では~80m広がり、平坦面で最大~10cm厚さであった
- 再堆積の挙動を把し、生物分布、シミュレーション、底層流、ドリルの設計、開発状況予測、泥排出スキームの議論等に進む
- 丁寧に検討、不足ない環境影響評価手法を確立する

観察手法 データ種類	航走型AUV 音響調査	ROV 音響調査	ホバリング型AUV 海底画像	ROV 堆積物コア	ちきゅう 堆積物コア	調査時期				再堆積状況			
						前	後	7M	1Y	2Y	領域の広さ	厚さ	
酒田海丘	表層型MH胚胎域	2025計画中	○	○	○	○	●	●	●	●	●	~ 130 m	6~10 cm
	参照地点	2025計画中	—	—	—	—						No data	No data
上越海丘	表層型MH胚胎域	○	—	○	○	—		●		●		~ 28 m	5~ 7 cm
	参照地点	○	—	—	—	—					●	~ 18 m	No data
海鷹海脚 北部	表層型MH胚胎域	○	—	○	—	—		●				~ 48 m	No data
	参照地点	○	—	—	—	—					●	~ 26 m	No data

表層型メタンハイドレートの研究開発
2024年度 研究成果報告会

上越沖及び酒田沖MH胚胎域での掘削影響調査（2）

ホバリング型AUV「YOUZAN」を用いた
海底画像撮影と生物への影響

いであ株式会社

加藤 正悟、高島 創太郎、長野 和則、高月 直樹

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
喜瀬 浩輝、井口 亮、手良村 知功、鈴木 淳

環境創生研究部門

鈴木 昌弘、塚崎 あゆみ、太田 雄貴

地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門
浅田 美穂、佐藤 幹夫

発表内容

1. 背景
2. AUV（YOUZAN）について
3. 上越沖調査結果について
4. 酒田沖調査結果について
5. まとめ

1. 背景

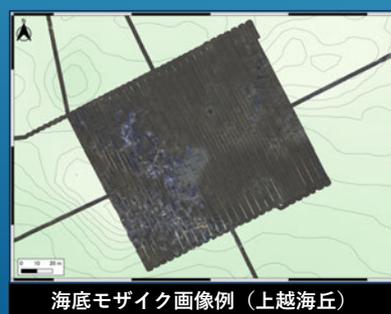
(1) 目的

表層型メタンハイドレート開発事業に起因する潜在的な海洋環境への影響を定量的に評価することを目指し、海底地盤強度調査で掘削した掘削孔近傍の海底環境の変化を自律型無人潜水機（AUV）を用いて把握する。

(2) 実施内容

ホバリング型AUV「YOUZAN」を用いて、海底地盤強度調査で掘削した掘削孔近傍の海底を調査する。

- 「YOUZAN」のビデオカメラ及びカメラを用いて海底面を撮影のうえ映像を取得し、フォトマッピングにより環境を面的に把握する。
- 得られた画像データについて画像アノテーションソフト（CVAT）やAI技術を活用して出現生物の解析を実施し、ハビタットマップの作成を行う。

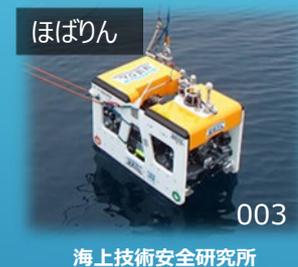


2. AUV (YOUZAN) について

(1) YOUZANのご紹介

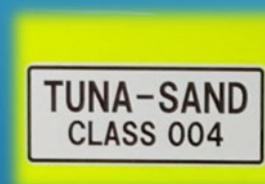
ホバリング型AUV「YOUZAN」の導入

東京大学生産技術研究所が開発した、ホバリング型AUV「TUNA-SAND」クラスの民間商用化第1号となるAUVである。東京大学生産技術研究所、九州工業大学社会ロボット具現化センター、海上技術安全研究所より、技術移転を受け、民間として初めて導入した。



民間へ技術移転

2019年6月
民間商用化第1号機
「YOUZAN」完成

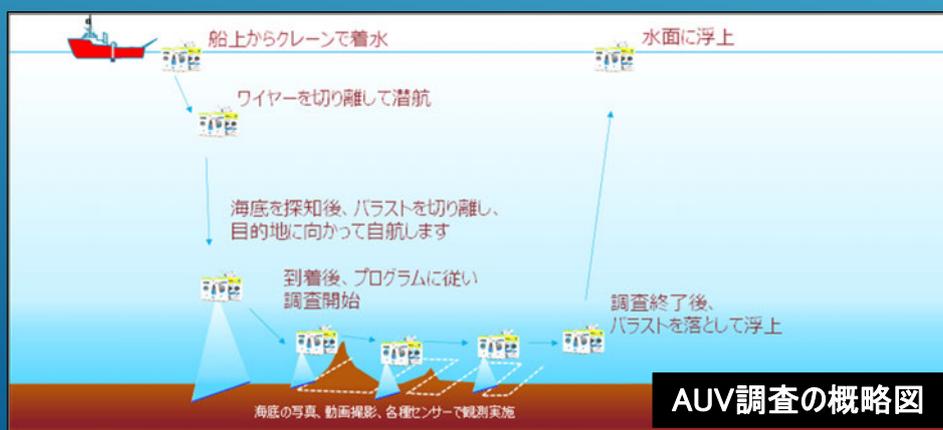


TUNA-SAND級ホバリング型AUV各機の良い部分を継承し、
AUVとROVのハイブリッド型として製作

2. AUV (YOUZAN) について

(2) YOUZANの諸元等

項目	仕様
寸法	長さ1.3m×高さ0.77m×幅0.7m
重量	275kg
最大潜航深度	2,000m
巡航速度	0.2~0.3m/s
最大航行速度	0.62m/s
最大潜航時間	8時間
スラスタ	水平4機、垂直2機
写真撮影	スチルカメラ2機、LEDフラッシュ4灯
動画撮影	4Kカメラ、常時点灯LED2灯 ROVモードカメラ
観測項目	プロファイリングソナー(海底地形) 濁度計 水温・塩分計 pHセンサー 障害物検知ソナー 地形観測用カメラ・レーザー



2. AUV (YOUZAN) について

(3) 調査状況および取得した映像等のご紹介



**表層型メタンハイドレート研究開発
海洋環境調査航海動画 (R5、R6年度)**

3. 上越沖調査について

(1) AUV潜航記録一覧

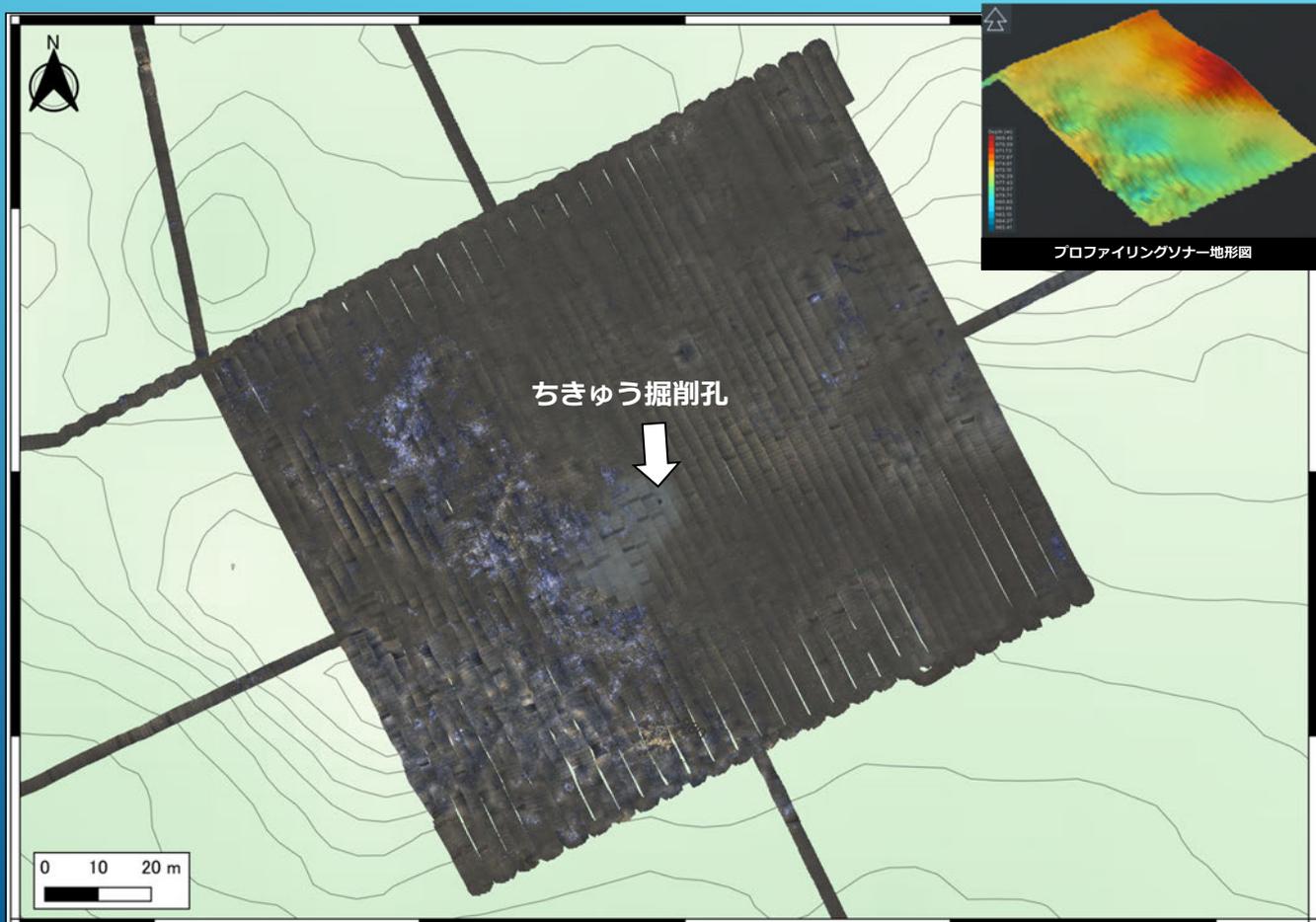


調査年	調査日	調査海域	航走時間※	航走距離※ (m)	写真撮影 枚数	備考
2023年	4月27日	上越海丘	6時間46分	4,908	6,102	掘削約7ヶ月後
	4月28日	上越海丘	6時間45分	4,856	6,031	
	4月29日	海鷹海脚	6時間36分	5,010	5,814	
2024年	7月31日	上越海丘	5時間38分	3,984	5,058	掘削約2年後
	8月2日	上越海丘	6時間18分	4,496	5,300	
	8月4日	上越海丘	3時間55分	2,809	3,527	
合計			35時間58分	26,063	31,832	

※航走時間および航走距離は、海底着底～離底までにおける値を示す。

3. 上越沖調査について

(2) -1. 上越海丘 海底モザイク画像 (R5調査時)



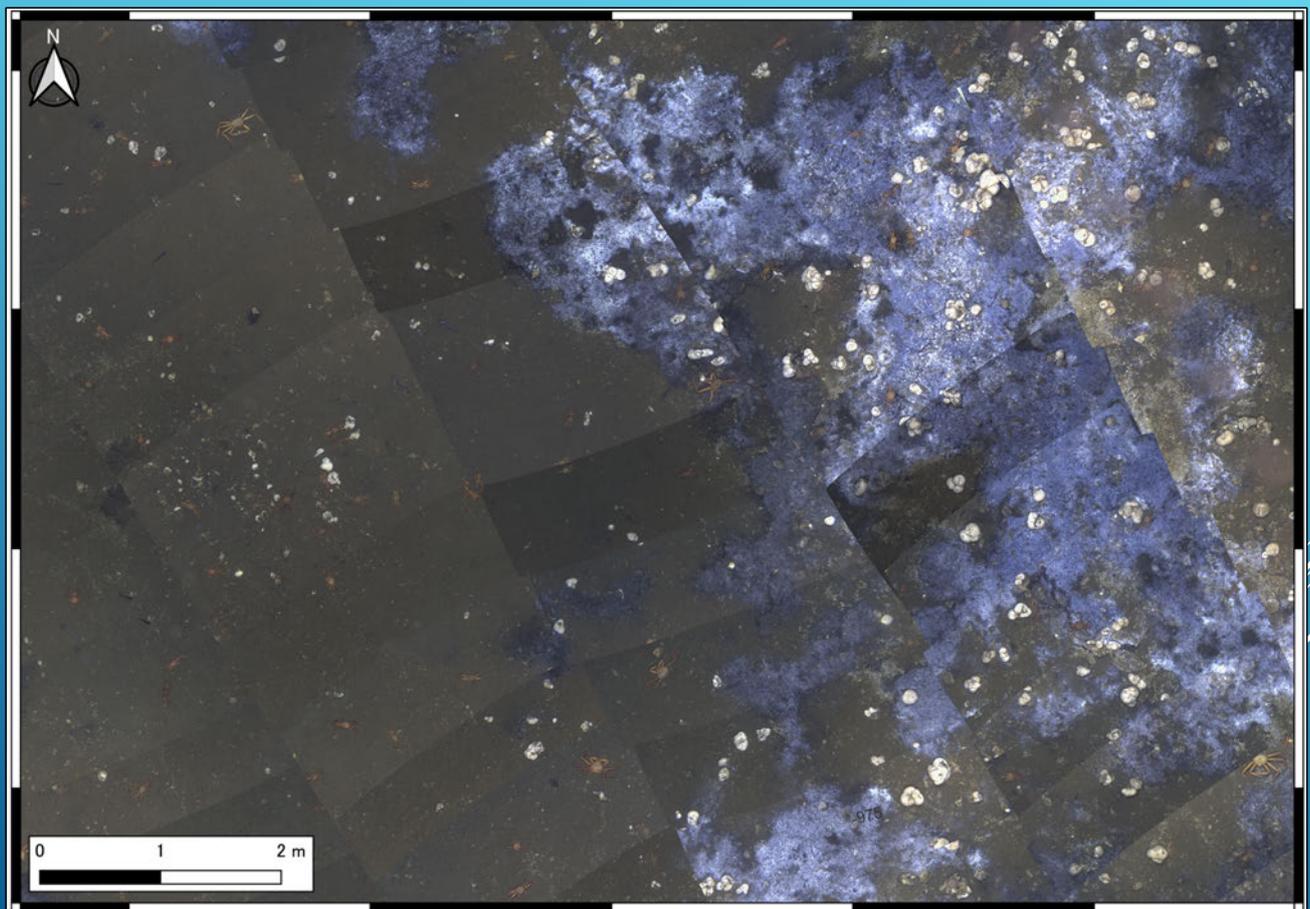
3. 上越沖調査について

(2) -2. 上越海丘 海底モザイク画像 (R5調査時：掘削孔周辺)



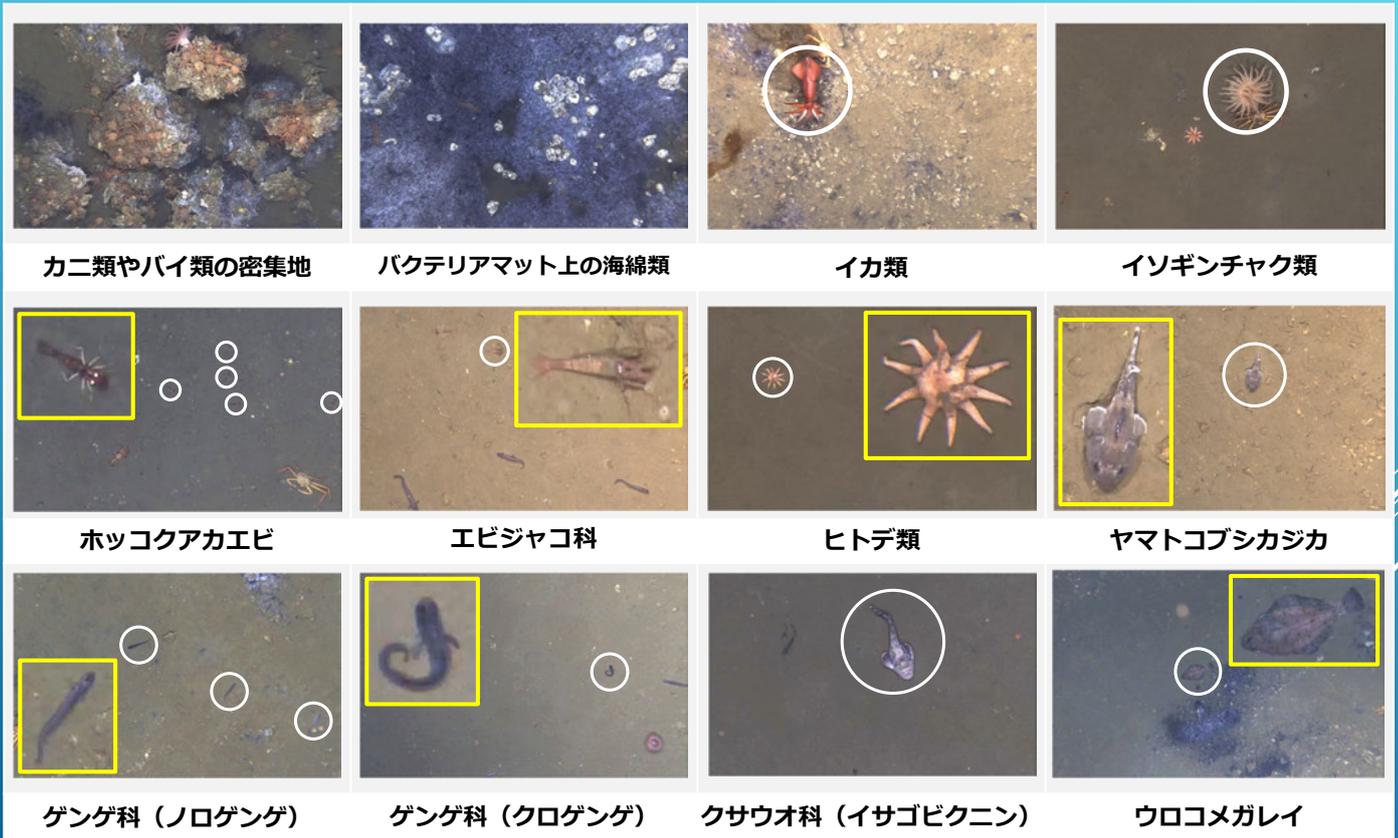
3. 上越沖調査について

(2) -3. 上越海丘 海底モザイク画像 (R5調査時：バクテリアマット)



3. 上越沖調査について

(3) 直下視スチルカメラ映像より確認された主な生物（上越沖）



※黄色枠内は拡大写真

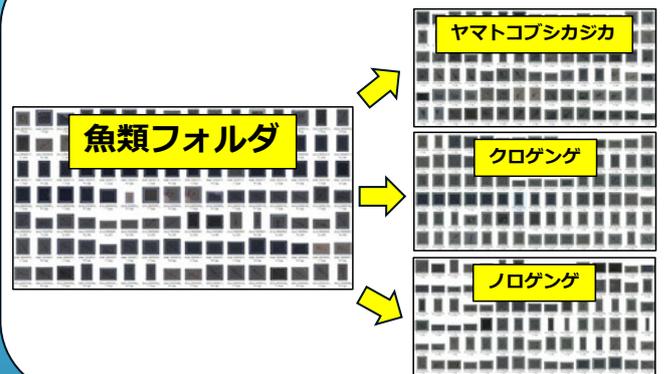
3. 上越沖調査について

(4) アノテーションソフトComputer Vision Annotation Tool (CVAT) やAI技術を活用した映像解析作業

1. CVATを活用した生物抽出作業（人間+AI技術）



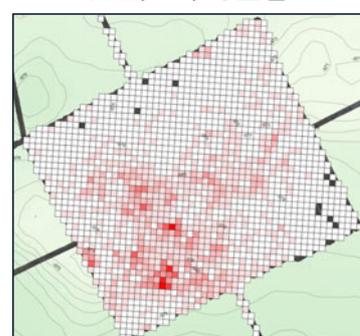
2. 抽出された生物画像の仕分け作業（上位→下位分類）



3. 抽出画像より位置情報や個体数データの吸い出し

日時	緯度	経度	写真No.	動物種別	カニ	イソギンチャク	エビ	ホッコクアカエビ	エビジャコ科	ヒトデ	クサウオ科	イサゴビクニン	ノログンゲ	クロゲンゲ	ヤマトコブシカジカ
2023-04-27T08:46:50	37.5	137.9	4576	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:45:10	37.5	137.9	4576	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:45:14	37.5	137.9	4577	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:45:18	37.5	137.9	4578	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:45:22	37.5	137.9	4579	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:45:26	37.5	137.9	4580	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:45:30	37.5	137.9	4581	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:45:34	37.5	137.9	4582	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:45:38	37.5	137.9	4583	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:45:42	37.5	137.9	4584	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:45:46	37.5	137.9	4585	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:45:50	37.5	137.9	4586	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:45:54	37.5	137.9	4587	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:45:58	37.5	137.9	4588	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2023-04-27T08:46:02	37.5	137.9	4589	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0

4. 座標系への投影（ハビタットマップ作成）、定量データの整理

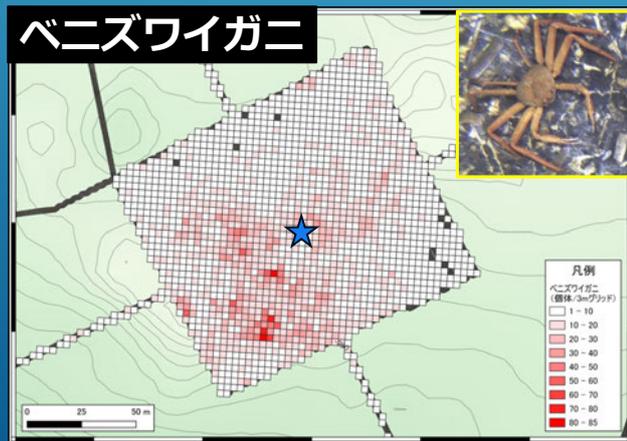
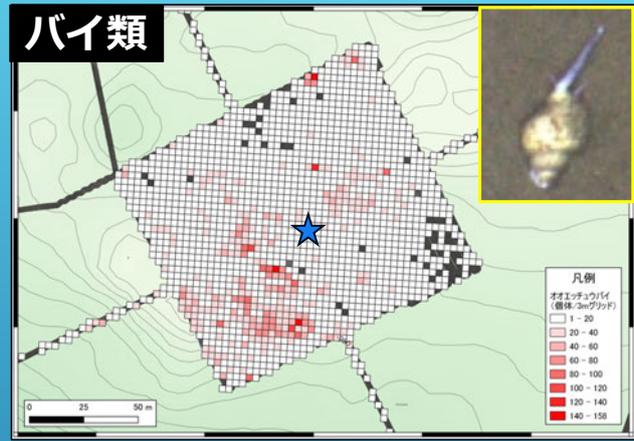


No.	種名	上越沖			合計	出現率
		Dive3	Dive4	Dive5		
1	ホッコクアカエビ	8,115	3,437	43	11,644	574
2	ヤマトコブシカジカ	243	34	27	304	2
3	ノログンゲ	15	4	4	23	0
4	クロゲンゲ	2,415	107	250	2,812	4,765
5	ヒトデ	1	0	0	1	2
6	エビジャコ科	4	3	0	7	2
7	イサゴビクニン	16,226	3,278	2,578	24,482	303
8	クサウオ科	19	8	18	46	1
9	カニ	1	0	0	1	4
10	ホッコクアカエビ	2,784	324	1,541	4,659	1,567
11	ノログンゲ	1	0	2	3	0
12	クロゲンゲ	294	30	358	742	1,25
13	ヒトデ	14,516	3,844	2,728	21,088	104
14	クサウオ科	81	20	51	152	174
15	エビジャコ科	394	30	358	782	1,25
16	イサゴビクニン	2,097	293	1,033	3,423	751
17	ホッコクアカエビ	58	20	24	102	51
18	ヤマトコブシカジカ	23	7	4	34	2
19	ノログンゲ	19	0	0	19	0
20	クロゲンゲ	137	30	39	206	52
21	ヒトデ	19	11	13	43	21
22	エビジャコ科	47,281	13,300	9,336	69,917	9,769
23	クサウオ科	13,294	2,860	3,174	19,328	8,219
出現種数		19	11	13	43	21
合計個体数		47,281	13,300	9,336	69,917	9,769
観測時間 (min)		4.2	4.3	2.4	10.9	1.1
観測密度 (個体/m ²)		4.2	4.3	2.4	3.9	1.1

3. 上越沖調査について

(5) 上越海丘 ハビタットマップ (R5調査時)

★は掘削孔の位置を示す

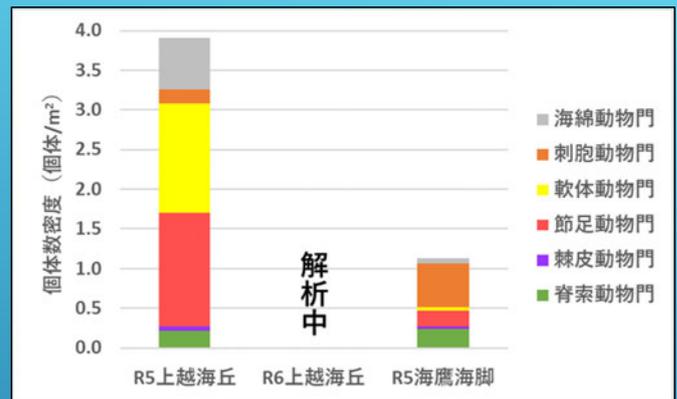


3. 上越沖調査について

(6) 上越海丘及び海鷹海脚における出現種と出現個体数密度 (R5調査時)

No.	門名	種名	単位：個体数				
			上越海丘			海鷹海脚	
			Dive3	Dive4			合計
			西側	東側		Dive5	
1	海綿動物	尋常海綿綱	8,115	3,487	42	11,644	574
2	刺胞動物	ウメボシイソギンチャク科	243	34	27	304	2
3		セトモノイソギンチャク科	15		4	19	
4		イソギンチャク目	2,475	107	288	2,870	4,765
5		軟体動物	タコ目				
6	節足動物	十腕形上目 (イカ類)	4	3		7	2
7		ホクヨウウミウシ					3
8		オオエッチュウバイ	16,226	5,278	2,978	24,482	303
9		エビジャコ科	19	8	19	46	1
10	棘皮動物	モエビ科	1			1	4
11		ホッコクアカエビ	2,794	324	1,541	4,659	1,567
12		十脚目 (エビ類)	1	5	2	8	
13		ベニズワイガニ	14,516	3,844	2,728	21,088	164
14		ウミシタ目					3
15	棘皮動物	ニチリンヒトデ科	81	20	51	152	174
16		ヒトデ綱	394	30	358	782	125
17	脊索動物	ホヤ綱					1,190
18		ノロゲンゲ	2,097	293	1,035	3,425	753
19		クロゲンゲ	48	20	24	92	13
20		アゴゲンゲ	23	7	4	34	2
21		イサゴビクニン	19	2		21	5
22		ザラビクニン	75	2		77	5
23		ヤマトコブシカジカ	137	36	35	208	52
出現種数			19	17	15	19	21
合計個体数			47,283	13,500	9,136	69,919	9,709
観察面積 (m ²)			11,286	2,850	3,776	17,912	8,579
個体数密度 (個体/m ²)			4.2	4.7	2.4	3.9	1.1

注) 種名は暫定であり、今後の精査で変更となる可能性がある。



4. 酒田沖調査について

(1) AUV潜航記録一覧



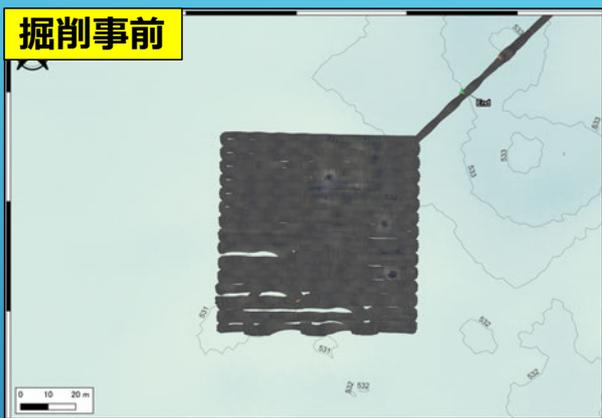
調査年	調査日	調査海域	航走時間※	航走距離※ (m)	写真撮影 枚数	備考	
2023年	8月18日	酒田海丘	3時間43分	2,399	3,409	掘削事前	
	-						「ちきゅう」による掘削
	8月26日	酒田海丘	6時間56分	4,962	6,343	掘削事後	
8月29日	酒田海丘	6時間44分	4,917	6,173			
2024年	8月7日	酒田海丘	7時間31分	5,385	6,765	掘削 約1年後	
	8月9日	酒田海丘	7時間31分	5,547	6,757		
合計			32時間25分	23,210	29,447		

※航走時間および航走距離は、海底着底～離底までにおける値を示す。

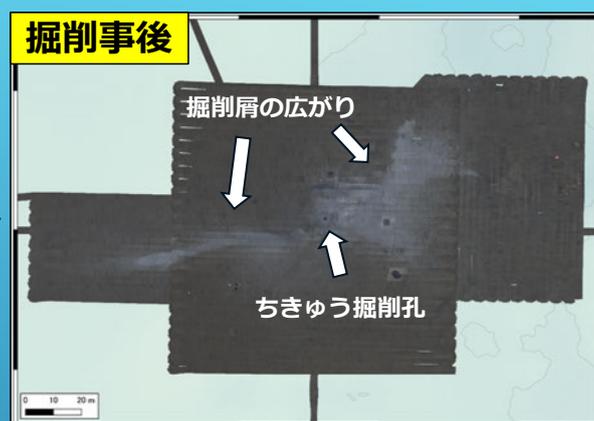
4. 酒田沖調査について

(2) 海底モザイク画像 経年比較

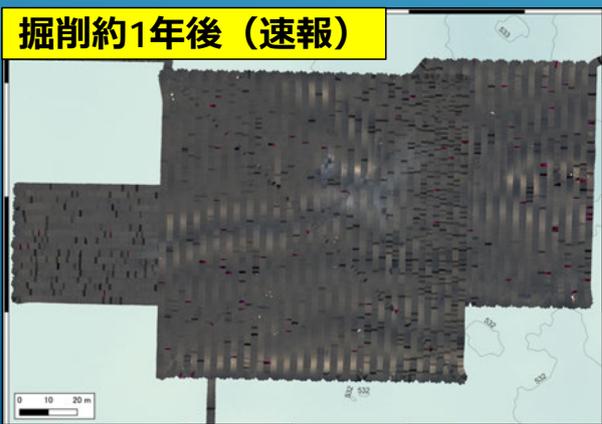
R 5 掘削事前



掘削事後

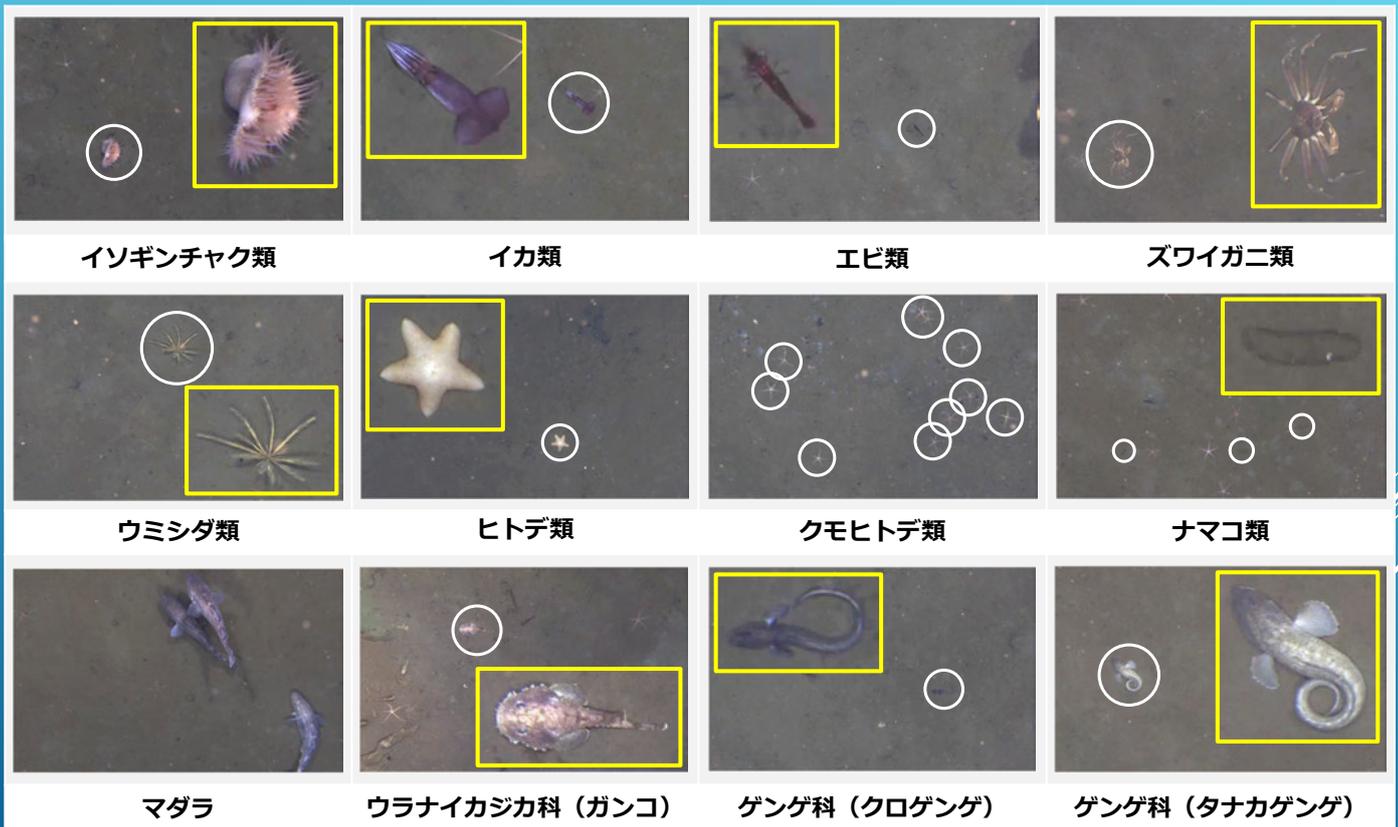


R 6 掘削約1年後 (速報)



4. 酒田沖調査について

(3) 直下視スチルカメラ映像より確認された主な生物 (酒田沖)

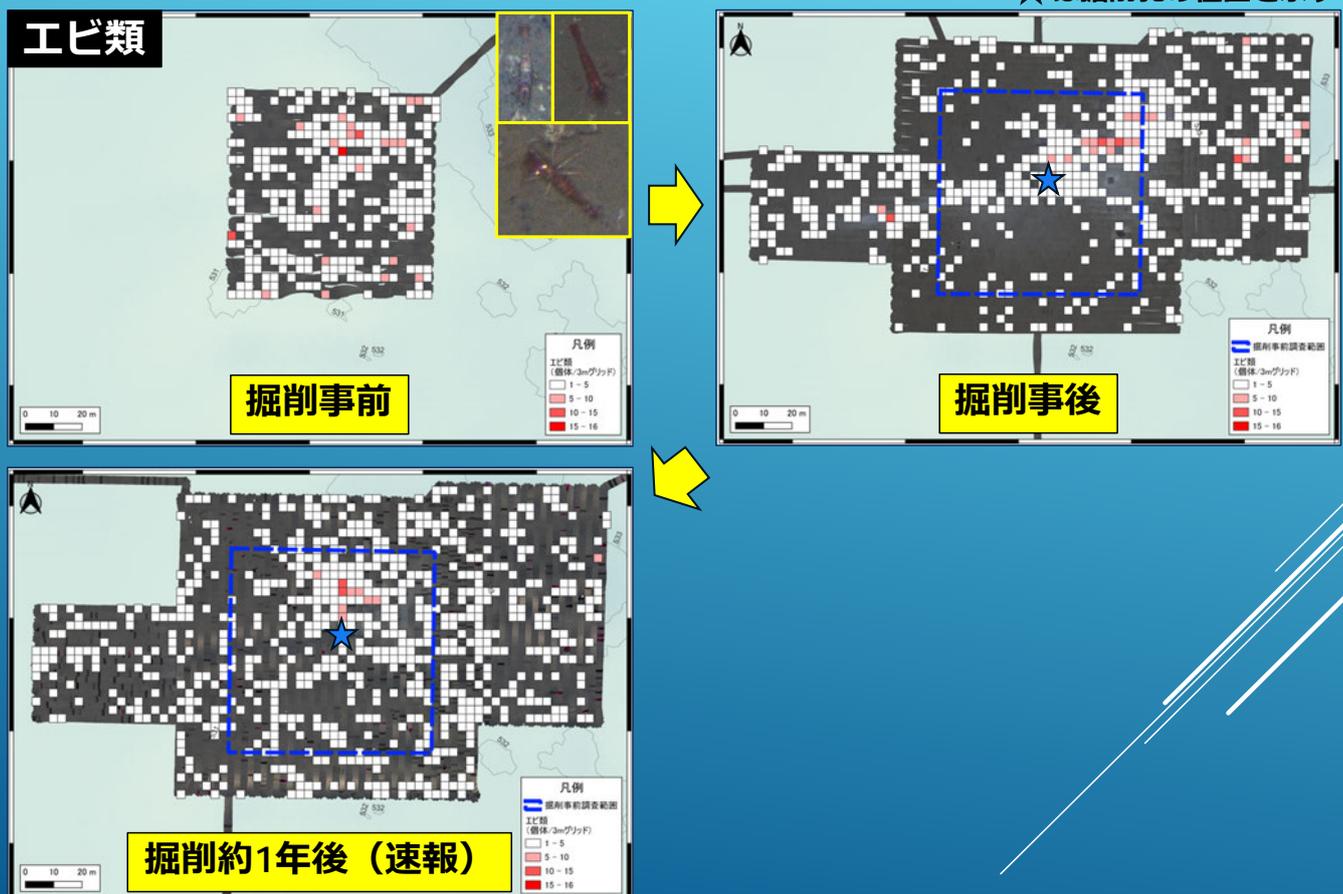


※黄色枠内は拡大写真

4. 酒田沖調査について

(4) -1. 酒田海丘 エビ類のハビタットマップ (経年比較)

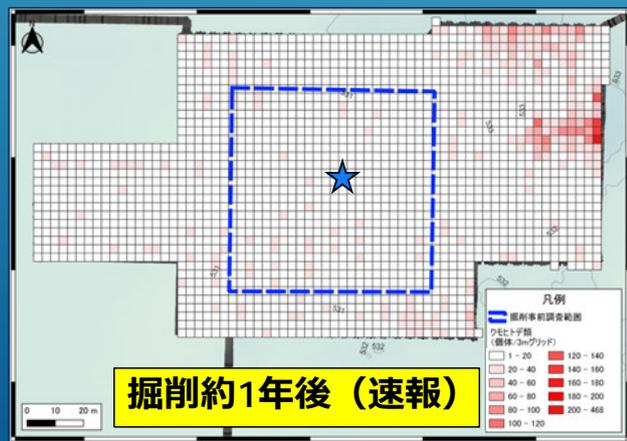
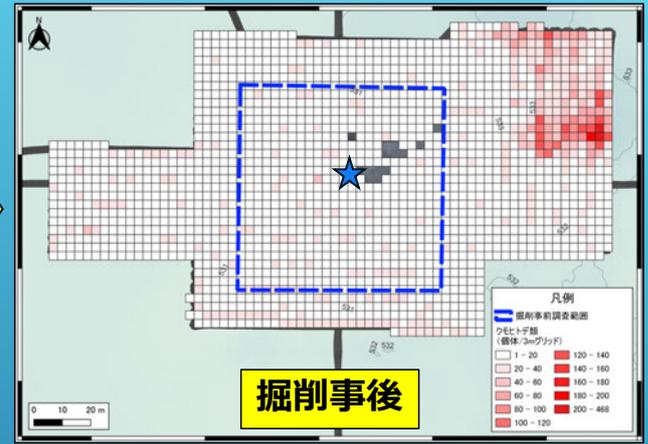
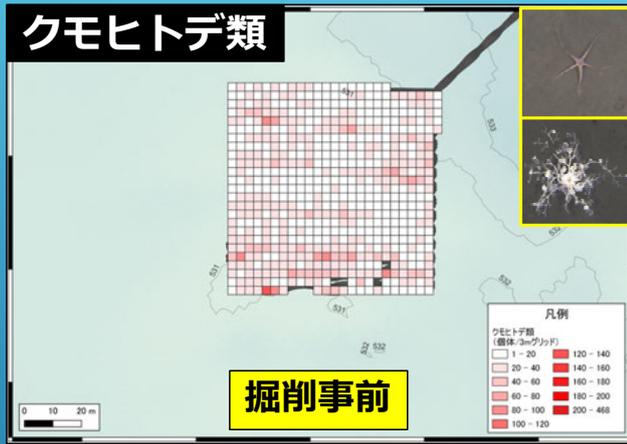
★は掘削孔の位置を示す



4. 酒田沖調査について

(4) -2. 酒田海丘 クモヒトデ類のハビタットマップ（経年比較）

★は掘削孔の位置を示す

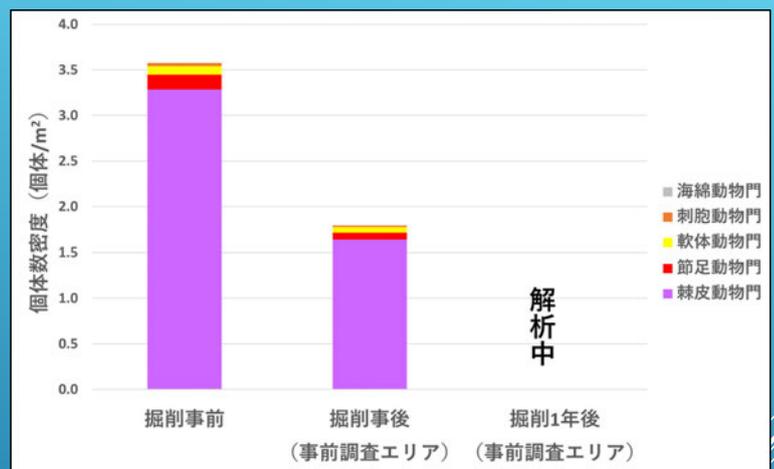


4. 酒田沖調査について

(4) -3. 酒田海丘における出現種と出現個体数密度（R5調査時：掘削事前および掘削事後）

単位：個体数

No.	門名	種名	掘削事前	掘削事後
			Dive2	Dive3 事前調査 エリア
1	刺胞動物	イソギンチャク目	190	104
2		オオヤナギウミエラ科	2	3
3	軟体動物	タコ目	36	12
4		十腕形上目（イカ類）	59	9
5		オオエッチュウバイ	394	288
6	節足動物	エビジャコ科	4	1
7		ホッコクアカエビ	39	
8		異尾下目（ヤドカリ類）		1
9		十脚目（エビ類）	800	389
10		ベニズワイガニ	5	2
11	棘皮動物	ウミシダ目	53	18
12		ニチリンヒトデ科	153	101
13		ヒトデ綱	366	210
14		ツルクモヒトデ目	31	17
15		クモヒトデ綱	13,382	6,308
16		ノザワミツマタナマコ	24	9
17		ナマコ綱	3,003	1,822
出現種数			16	16
合計個体数			18,541	9,294
観察面積 (m ²)			5,184	
個体数密度 (個体/m ²)			3.6	1.8



注1) 種名は暫定であり、今後の精査で変更となる可能性がある。
 2) 魚類については同定精査中のため、除外している。

5. まとめ

- 「YOUZAN」のカメラで撮影した映像を用いたフォトマッピングにより、掘削孔近傍における海底面のモザイク画像を取得することが出来た。
- 得られた画像データより画像アノテーションソフト（CVAT）やAI技術を活用して生物の同定、計数作業等を実施し、出現生物のハビタットマップの作成や定量データの整理を進めることが出来た。

今後の予定

- ベースラインデータの取得を進めるとともに、掘削による海底環境への影響を検討
- 海底面の底質と生物分布の相関について定量的に評価する手法の検討

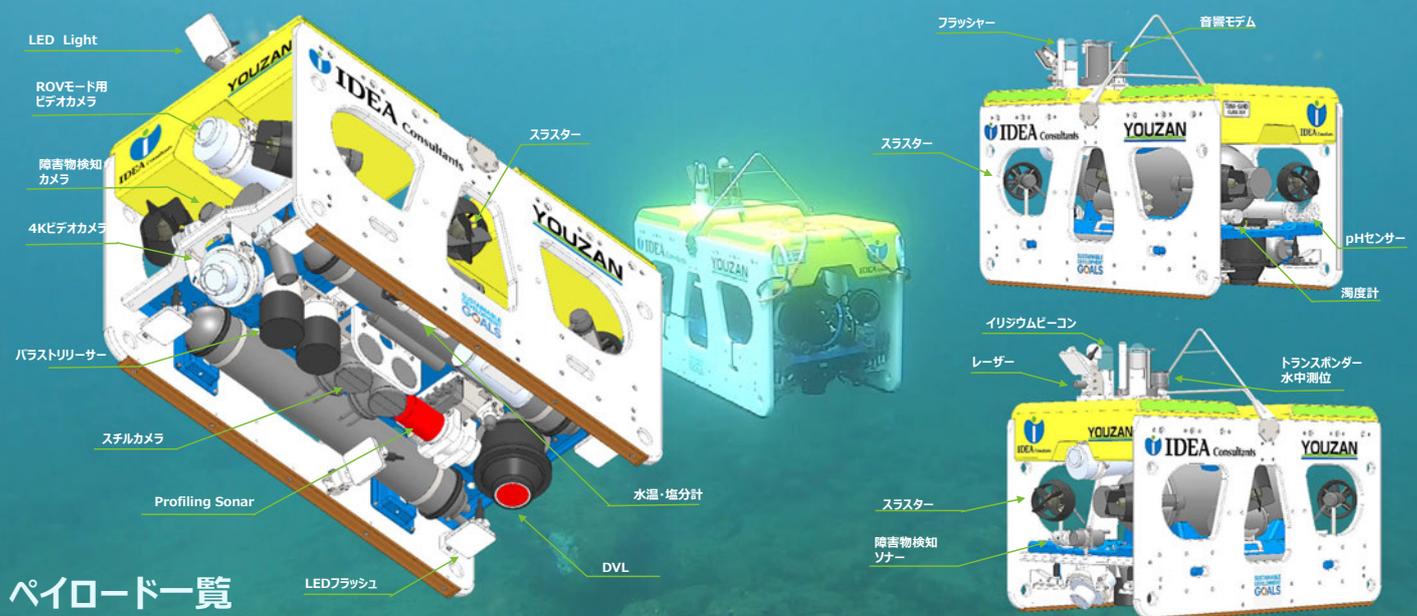
謝辞

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。

参考資料

2. AUV (YOUZAN) について YOUZANの装備品及びセンサー等の搭載状況

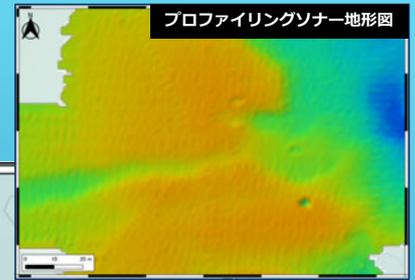


ペイロード一覧

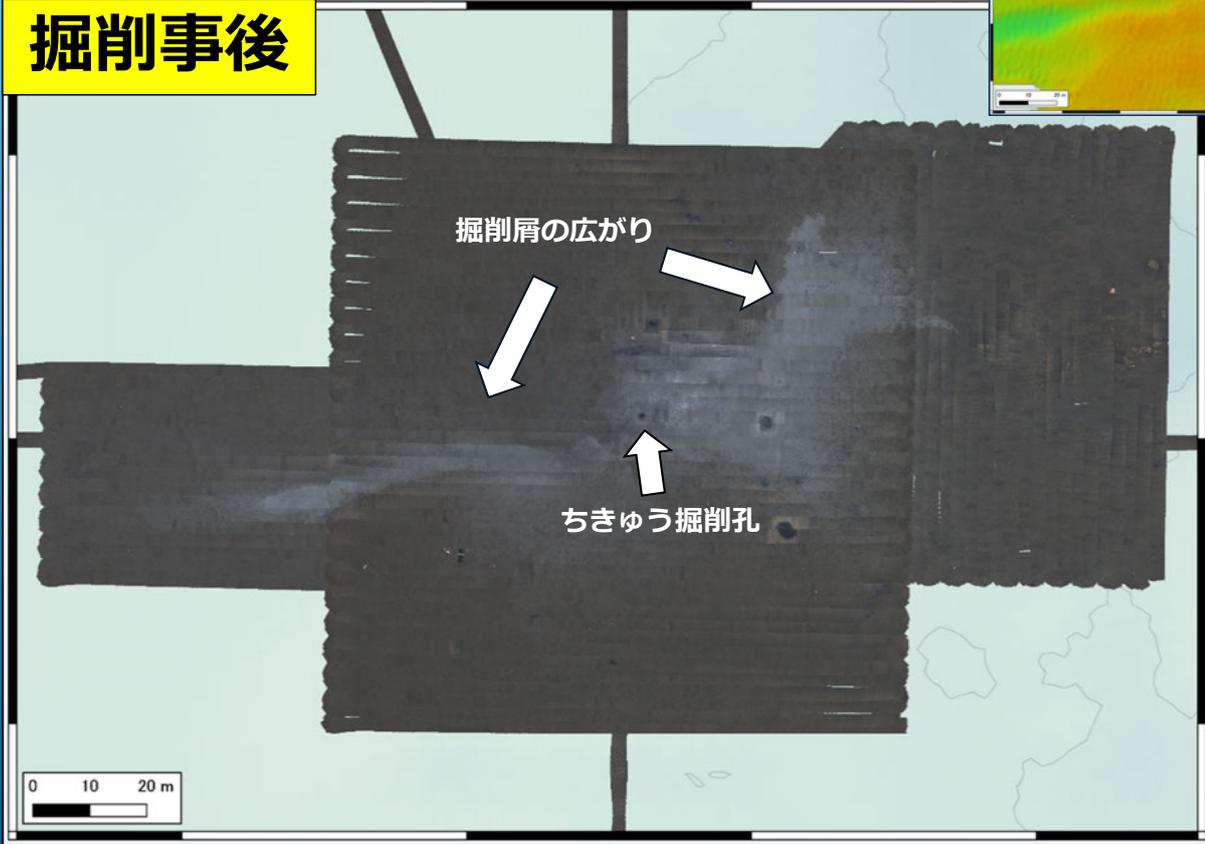
項目	型式	メーカー名	その他
スチルカメラ	GR2	RICHO社	静止画 約1,620万画素
4Kカメラ	UMC-S3CA	SONY社	動画 約1,220万画素
DVL	PioneerDVL600kHz	Teledyne RDI社	高度、対地速度
深度計	8B2000-I	Paroscientific社	水深
前方探査ソナー	Micron Sonar	Tritech社	全周ソナー
プロファイリングソナー	881A	imagenex社	シングルファンビーム
濁度計	INFINITY ATUD-USB	JFEアドバンテック社	0~1,000 FTU
水温塩分計	INFINITY CT A7CT-USB	JFEアドバンテック社	-5~45℃
pH計	SPS-14	紀本電子工業社	pH3.5-9.0

4. 酒田沖調査について

海底モザイク画像（R5調査時：掘削事後）



掘削事後



4. 酒田沖調査について

酒田海丘 ヒトデ類のハビタットマップ（経年比較）

★は掘削孔の位置を示す



4. 酒田沖調査について

酒田海丘 ナマコ類のハビタットマップ（経年比較）

★は掘削孔の位置を示す

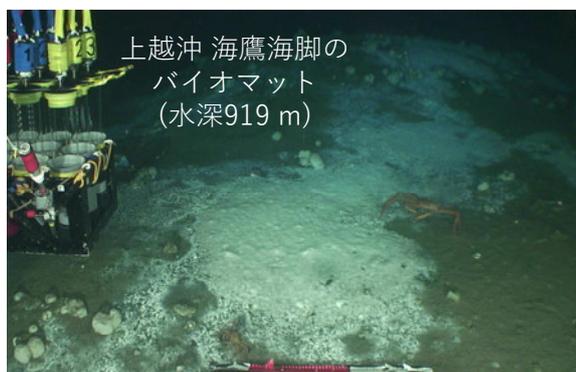


上越沖および酒田沖メタンハイドレート胚胎域における特徴的な元素動態と底生生物群集

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
太田 雄貴

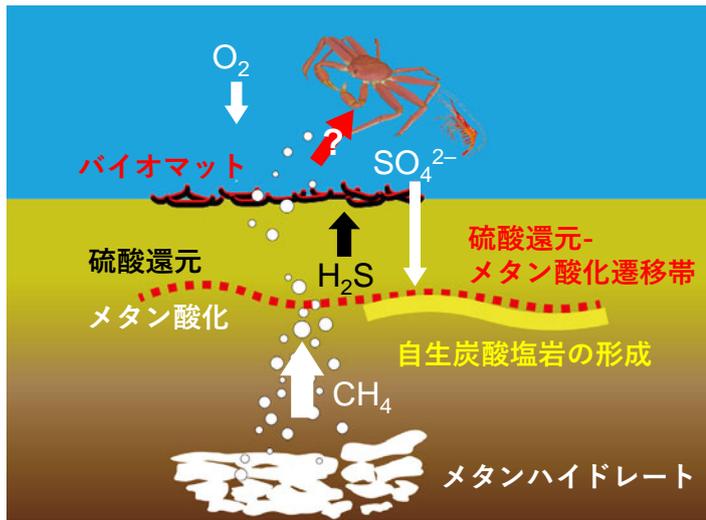
本研究は、経済産業省のメタンハイドレート研究開発事業の一部として実施しました。

表層型MH胚胎域の環境



- MHに関連する生物の多様性・特異性、堆積物の化学や微生物学的な性状を解明
→ MH開発における物質動態や生物への影響を評価・予測に貢献

MH胚胎域生態系構造・食物連鎖・物質循環



嫌気性メタン酸化

(Anaerobic oxidation of methane, AOM)

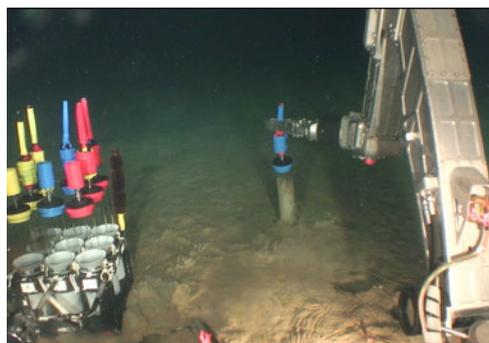


硫化鉱物の形成

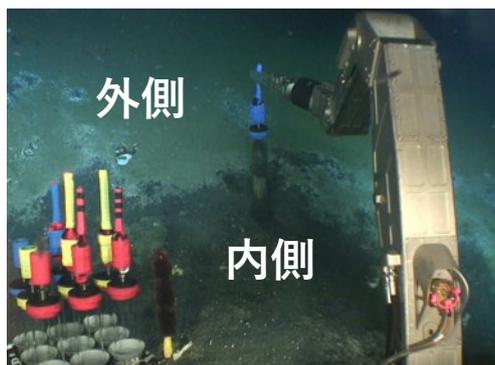


1. 海鷹海脚・酒田海丘バイオマット周辺におけるAOM発生の地球化学的証拠
2. 日本海MH胚胎域堆積物中のAOM-微量元素組成の関連性
3. MH胚胎域における底生生物群集特徴

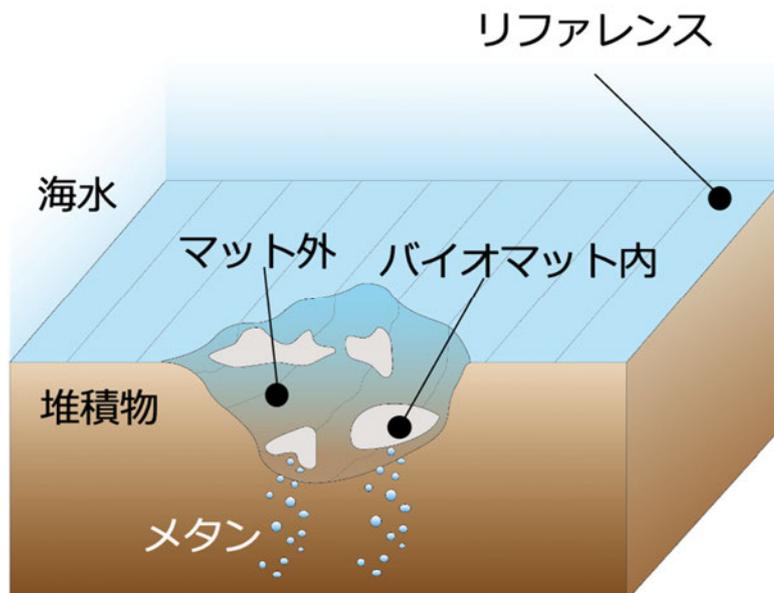
試料・分析手法



リファレンス

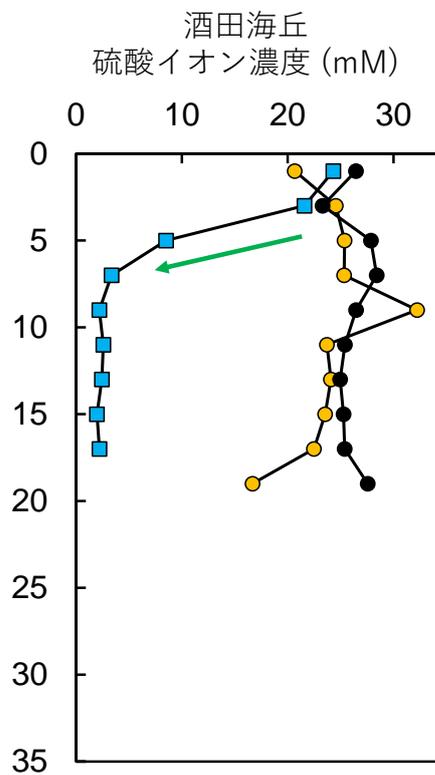
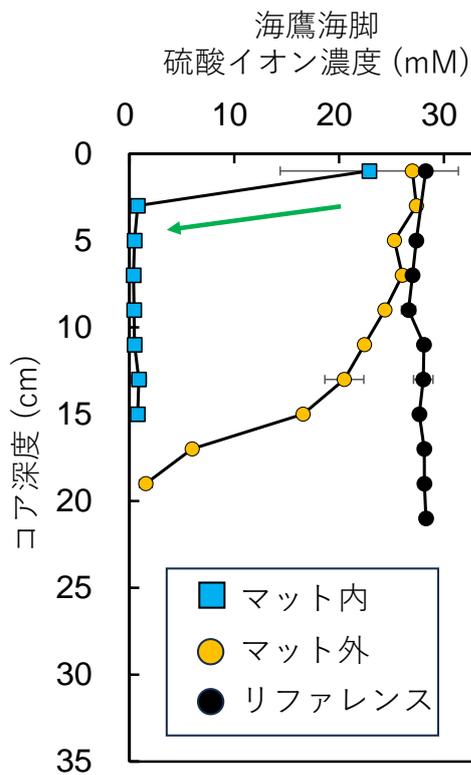


バイオマット外・内



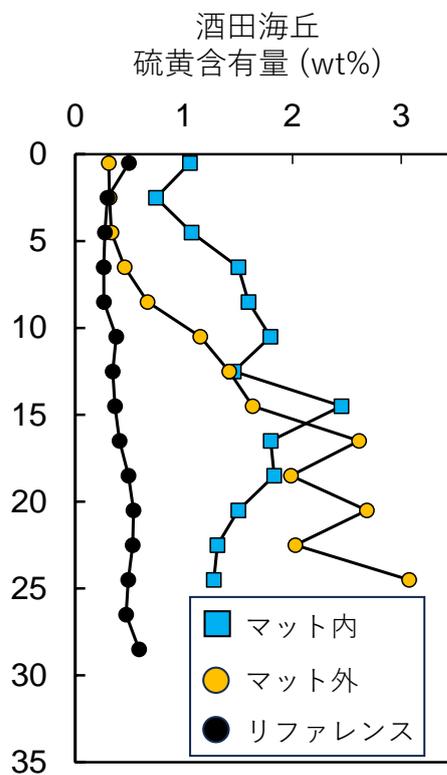
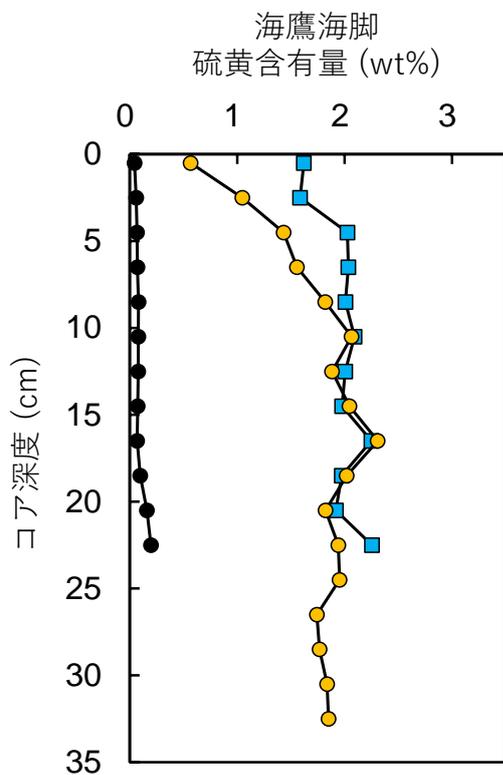
- 間隙水中の硫酸イオン(SO₄²⁻)濃度
- 固相中の全硫黄含有量 (:硫化鉱物含有量)
- 固相中の重金属組成分析
- 堆積物中の真核生物DNA解析, 生物観察
- etc.

AOMの地球化学的証拠：間隙水中のSO₄²⁻濃度

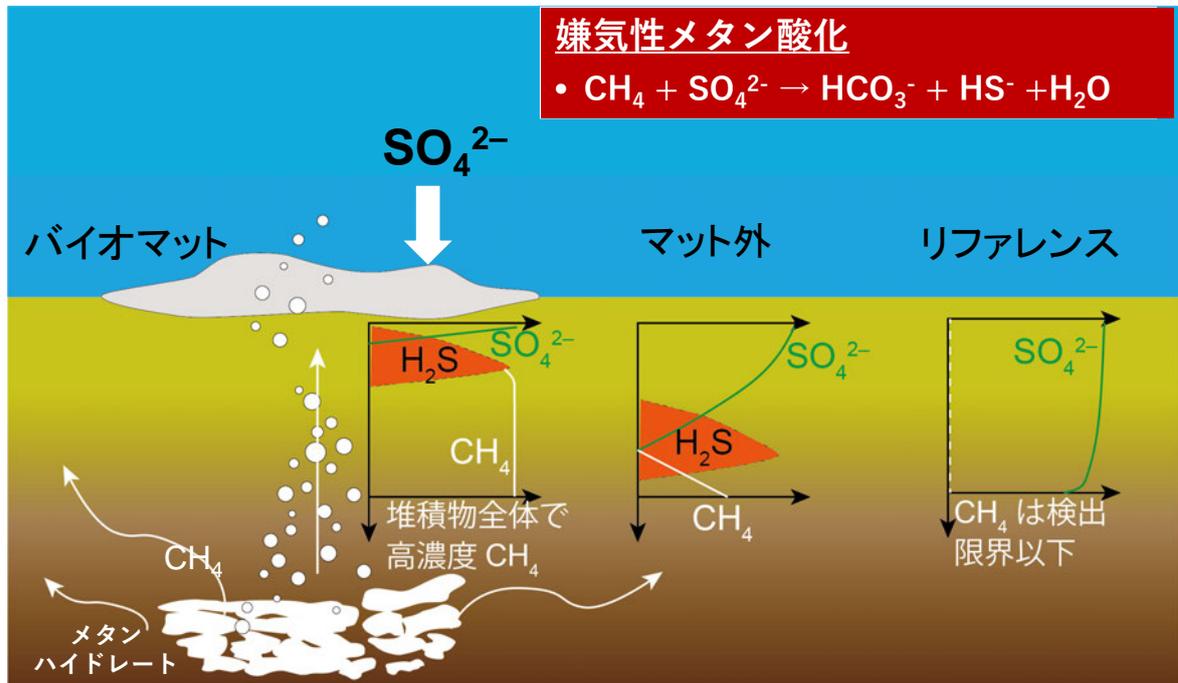


- マット内の硫酸イオンは堆積物表層で急激に減少し、深度5-7 cmでほぼ濃度 0 を示した
- マット外でも深度10-15 cm以深で減少傾向を示した

AOMの地球化学的証拠：固相中の全硫黄含有量



- マット内ではコア全体で硫化鉱物の含有量が高く、マット外でもコア深部で硫化鉱物が多く含まれることが分かった。

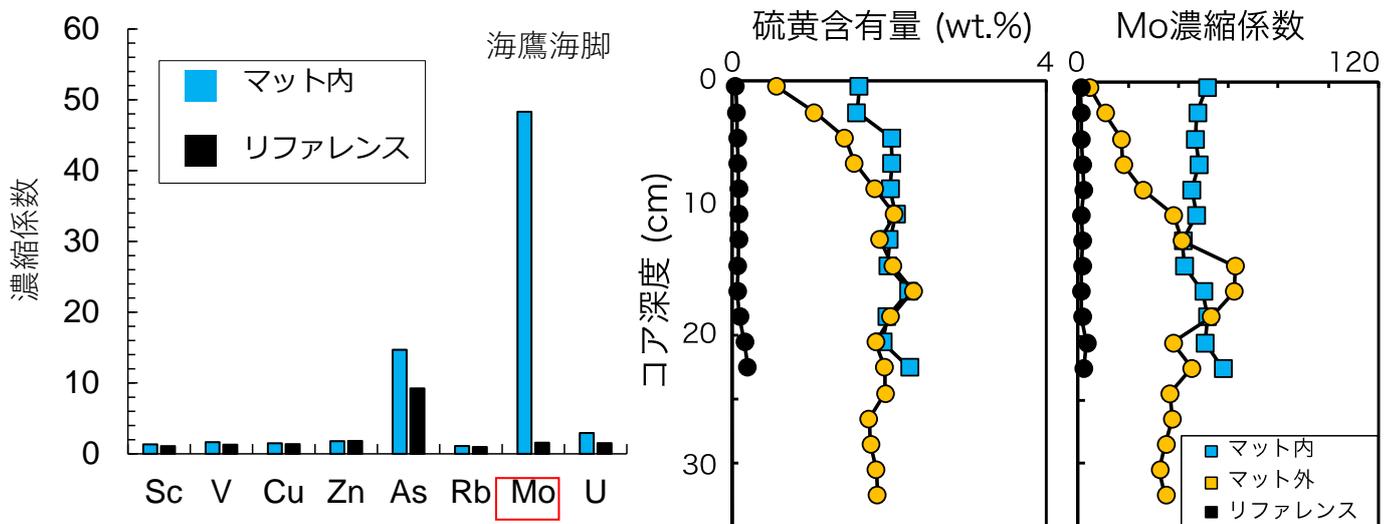


- ・バイオマット内では活発な嫌気性メタン酸化によってごく浅い堆積物で多量の硫化鉱物が形成されている
- ・バイオマット周辺では、拡散メタンによって深部で嫌気性メタン酸化が起きている

日本海MH胚胎域堆積物中のAOM-微量元素組成の関連性

元素Xの濃縮係数 = (X/Al)サンプル / (X/Al)バックグラウンド

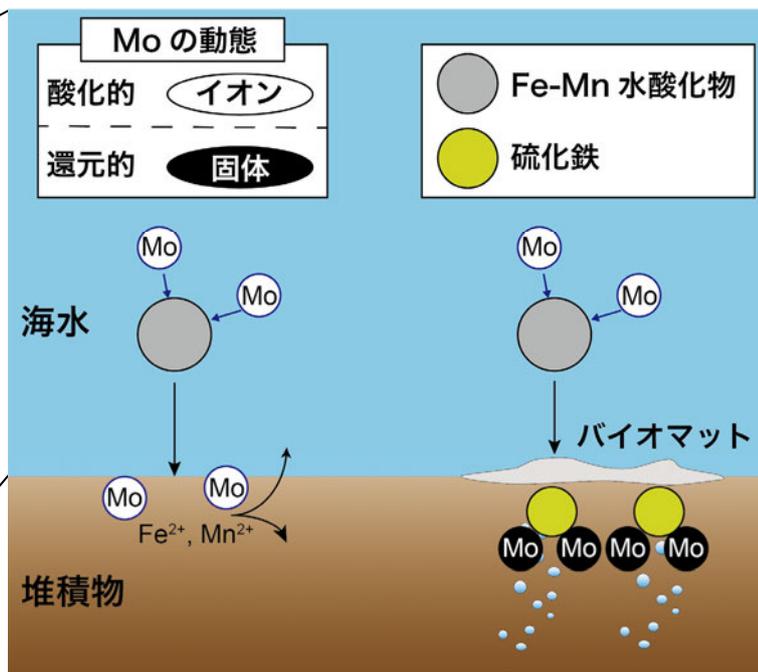
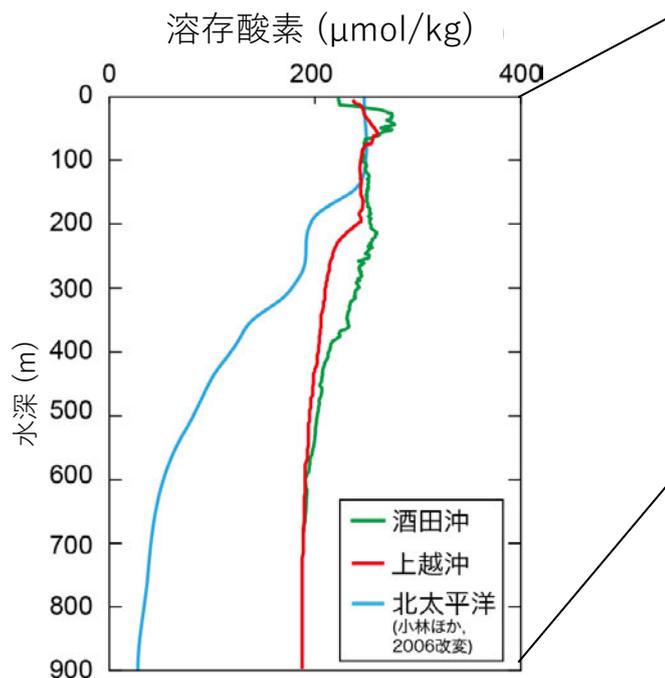
*バックグラウンドは大陸地殻上部の平均元素組成(McLennan, 2001)



堆積物 (固相) 中の26種類の微量元素の濃縮係数を分析

バイオマット周辺堆積物中では嫌気性メタン酸化で形成された硫化鉱物中にMoが濃縮

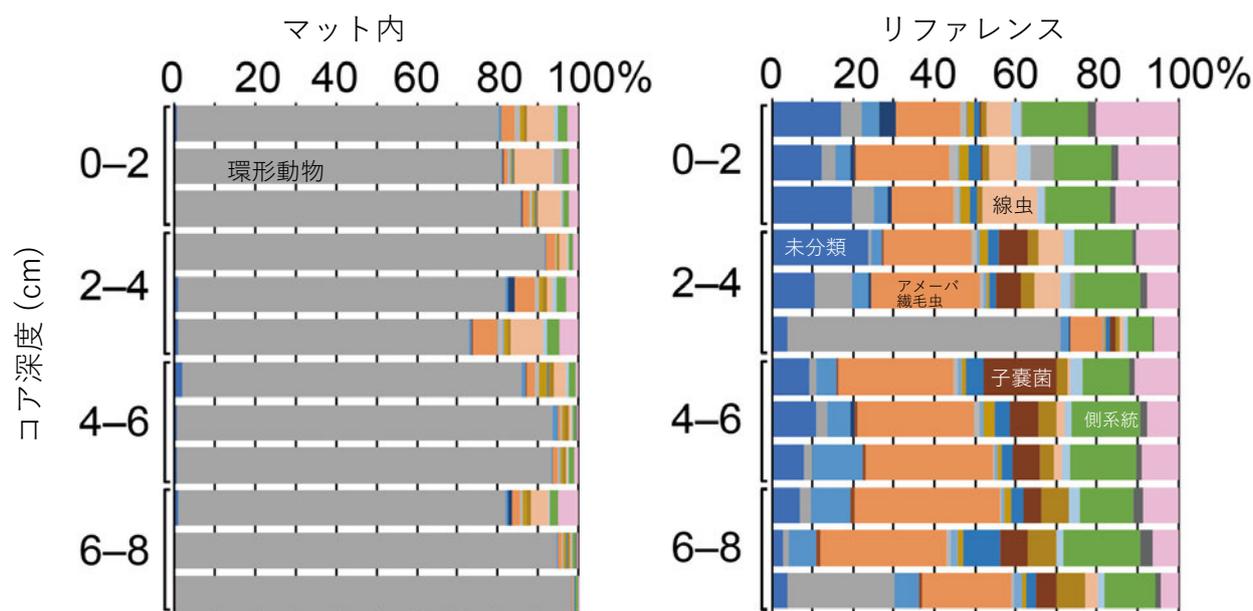
日本海MH胚胎域堆積物中のAOM-微量元素組成の関連性



- 日本海は表層から底層まで好気的な海水が存在
- Mo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

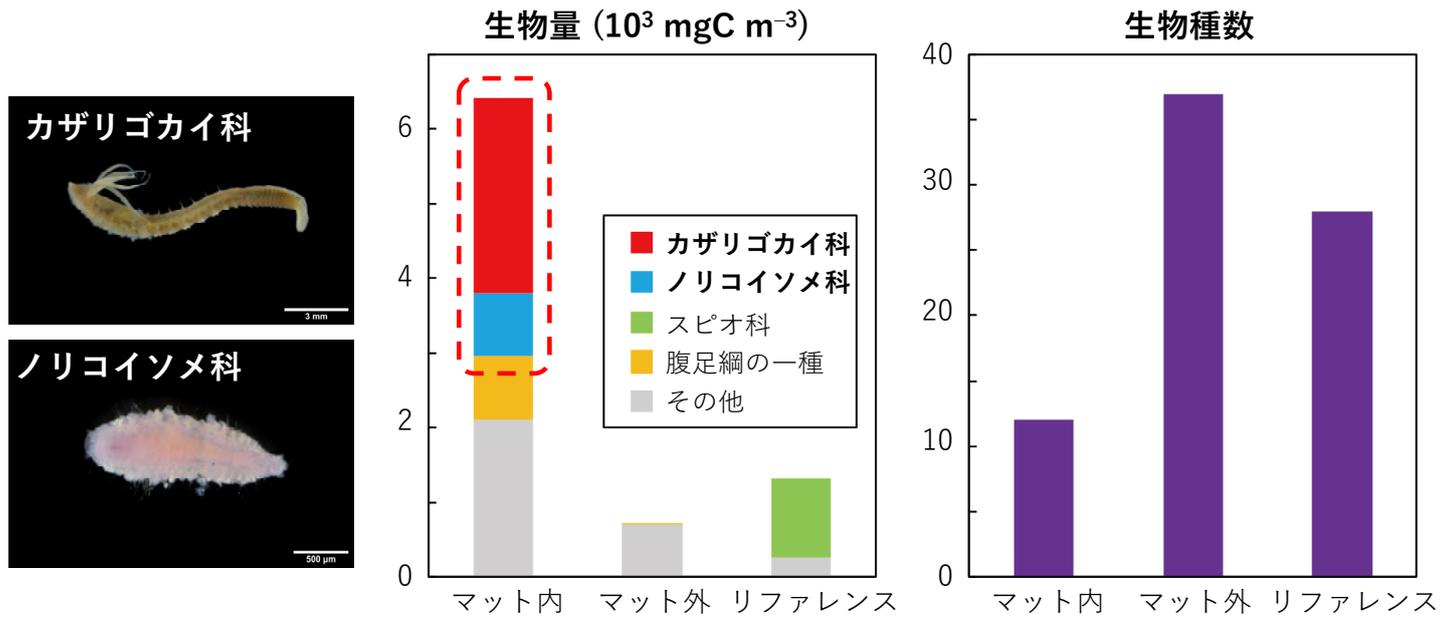
日本海MH胚胎域堆積物の重金属組成に関連した環境システムの概要図 (Ota et al., 2022, Chem. Geol.)

MH胚胎域における底生生物群集特徴



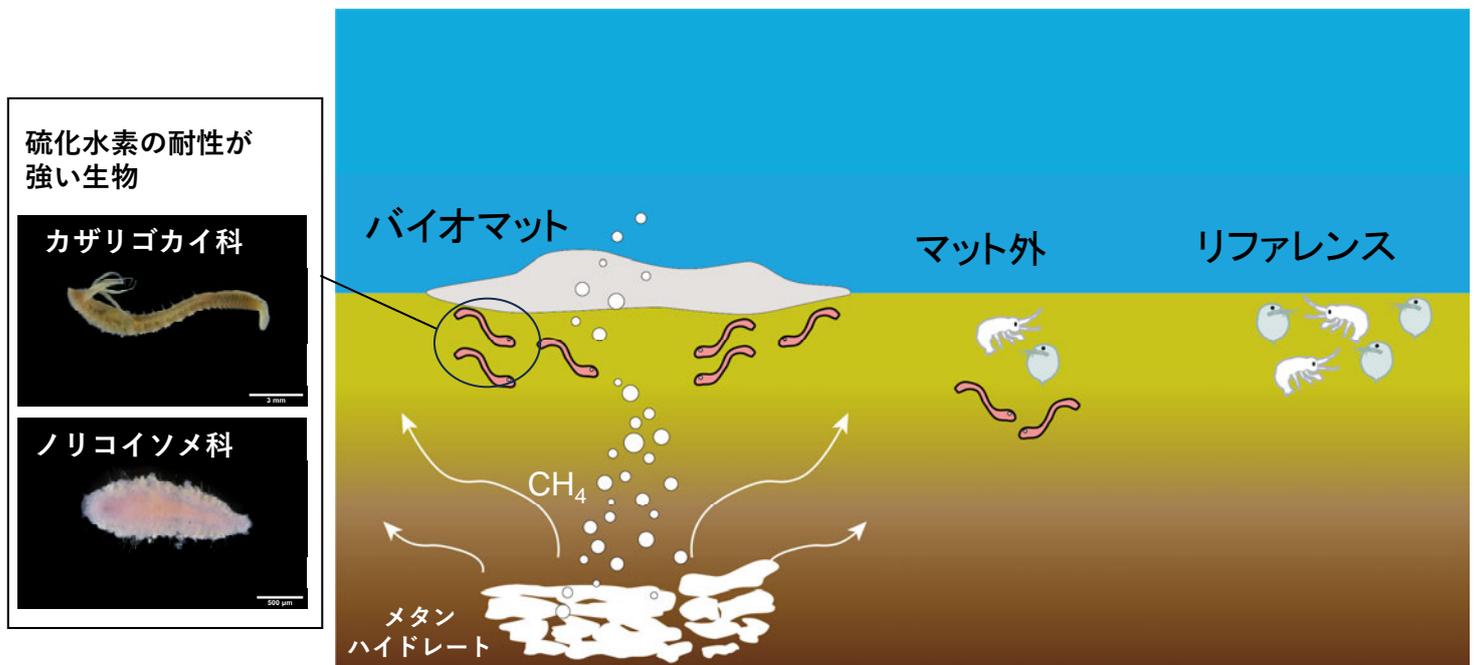
酒田海丘堆積物中の真核生物DNAの相対量 (%)

マット内堆積物では、環形動物の割合が顕著に高く、ほかの場所ではアメーバ鞭毛虫や線虫など多様な生物の存在が示された。



生物観察でも同様の結果が得られ、特に**カザリゴカイ科**と**ノリコイソメ科**の環形動物がマット内堆積物中で特徴的に多く出現していた。

- ▶メタンに関連した硫化水素の多い環境によって特徴的な生態系が構成された可能性がある。(Ota et al., 2024, Chemosphere)



生物の種数は遺伝子分析でも生物観察でもマット外で最も多かった。

- ▶マット外堆積物では、生息環境の多様性（表層は好氣的, 深部はメタンによって硫化水素の多い環境）が多様な生物の原因かもしれない (Ota et al., 2024, Chemosphere)

まとめ

MH胚胎域の湧出メタンに関連したバイオマット周辺堆積物の化学的な性状や生物の特異性を解明

- 嫌気性メタン酸化による硫化水素に富んだ環境および多量の硫化鉱物の形成
- 硫化鉱物中へのMoの濃縮
- 硫化水素への耐性が強い環形動物（ノリコイソメ類とカザリゴカイ類）の繁栄
- バイオマット外堆積物での高い生物多様性

今後の目標

- メタン湧出域の生態系の理解（食物連鎖など）
- 有害物質の動態解明（溶出実験など）
- 生態系・環境システムへの長期的な影響の把握
（長期モニタリング、古環境変動の解明など）

ご清聴ありがとうございました