

メタンハイドレートフォーラム 2018

MH21総括成果報告：推進グループ環境チーム

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (MH21)
推進グループ環境チーム 荒田 直 (JOGMEC)

2019年1月23日
東京大学 伊藤国際学術研究センター 伊藤謝恩ホール

報告内容

- 環境研究の目的
- フェーズ1の検討内容（想定事象と概要）
- フェーズ2以降の検討内容（想定事象と検討プロセス）
 - 予測・評価に係る手法の検討
 - ベースラインデータの取得
 - 各種影響予測と評価
 - 環境変化に係るデータ取得手法の検討
 - 環境モニタリング
- 成果と課題

環境研究の目的

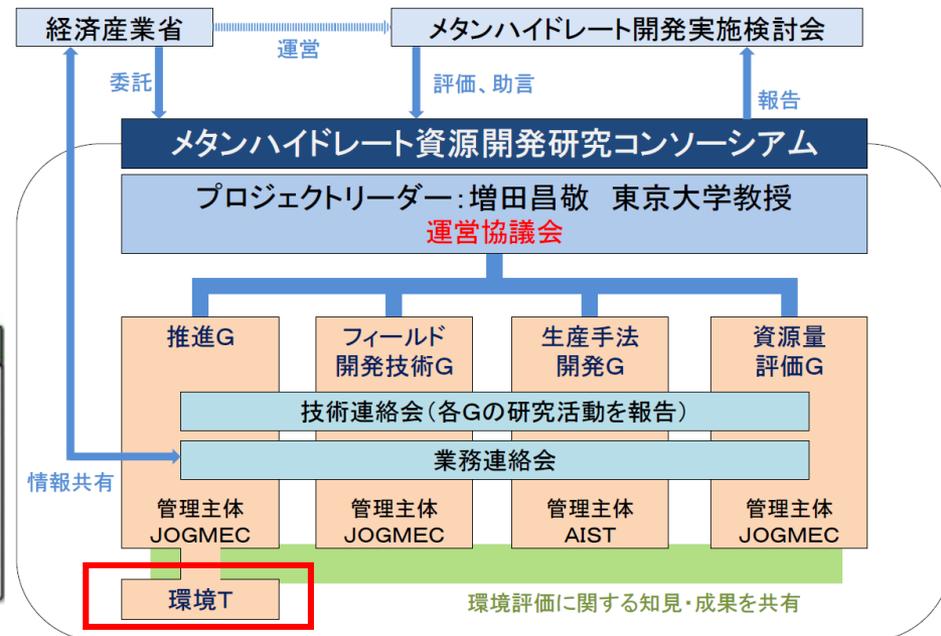
目的

将来の商業生産に向け、メタンハイドレート開発で想定される環境影響に対して、

- ◆ 環境影響要因と環境要素を抽出し、想定される環境影響を予測・評価するための手法を整備する。
- ◆ 想定される環境影響に対して必要なモニタリング手法を整備するとともに、環境影響に係るデータを取得する。



2.3 フェーズ3の体制(p.18-19)



開発計画初期（フェーズ1）の主な想定事象

●生産井周辺の海底面からのメタン漏洩

➤MHが浅部未固結層に存在している

- 不十分なキャップロック構造
- セメンチング不良
- 断層やき裂の存在

→ 周辺の生物環境への影響。大規模な場合には地球温暖化への影響

●地層変形

➤砂層の孔隙中のMHのガス生産

- MH層賦存砂層の圧密やせん断強度の低下など

→ 大規模な地層変形の場合には、海底攪乱等により周辺環境に影響が生じる。

→ 断層面の発生 (**>> メタン漏洩のリスク**)

●生産水の排出

➤MHの分解

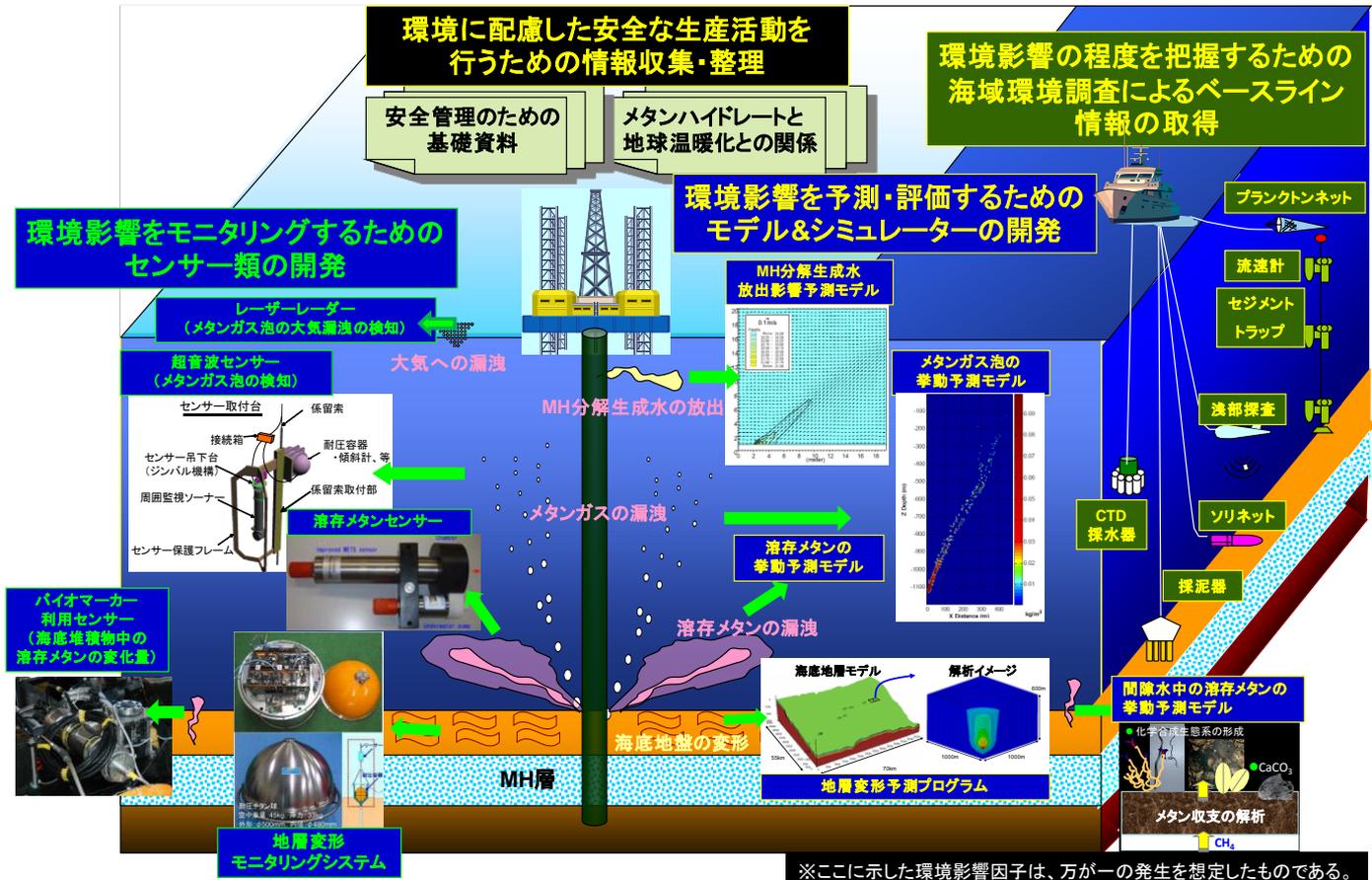
- MHの分解により真水が生じ、生産水に混入する。

→ 生産水排出時の海洋生物の成長等への影響

◆ ただし、フェーズ1（2001～2008）の段階では、生産方法、賦存状態、候補エリアが不明確であったため、適宜、見直しを行う必要がある状況。

開発計画初期（フェーズ1）の検討内容

- ◆ 環境影響の予測やデータ取得等に係る要素技術の検討等を幅広く実施
 - 広域的なベースラインデータ（概況データ）の取得（東海沖～熊野灘）
 - 環境モニタリング技術（メタン・地層変形）の要素技術の検討
 - 地層変形予測技術の検討 → フェーズ2以降、生産手法開発Gにて担当



※ここに示した環境影響因子は、万が一の発生を想定したものである。

フェーズ2以降の想定事象

フェーズ1の成果を受けた見直し

- ◆ フェーズ1の成果により、生産方法、候補海域がより明確となり（減圧法主体・第二渥美海丘近傍）、海洋産出試験を想定した環境面での検討が可能となった。

□ 初期の想定事象の見直し

● 生産井周辺海底面からのメタン漏洩

➤ 減圧法主体の生産方式

- 減圧法主体の生産方式であれば、圧力・温度条件や熱の供給を考慮すると、連鎖的なMHの分解反応は生じないことが想定された。

→ 大規模なメタン漏洩は想定しにくい

□ 在来型開発と共通する影響要因の追加検討

● カuttingス等の発生

➤ ライザーレス掘削

- 浅部地層のライザーレス掘削時にはカuttingスや使用流体が発生する。

→ 底生生物への影響

✓ 在来型開発と共通の影響要因

✓ 日本近海での環境影響に係るデータは殆ど無く、環境影響の程度を説明できるデータが必要。

フェーズ2以降の検討内容

見直し

環境影響の予測

環境影響要因の抽出

- ・ MH開発に特有と考えられる事象
- ・ 在来型開発での環境影響に係る知見
- ・ 専門家ヒアリング、環境有識者会議コメント

ベースラインデータの把握

- ・ 採水調査、採泥調査、ネット採集、流況観測など

シミュレーション等による予測

- ・ 拡散シミュレーション
- ・ 生態毒性試験等の環境影響に関するデータ取得
- (・ 生態系モデルの構築)

見直し

環境影響の評価

- ・ 既往知見等による定性的な予測
- ・ リスクマトリックスでの評価

環境変化に係るデータ取得

想定される環境影響のモニタリング

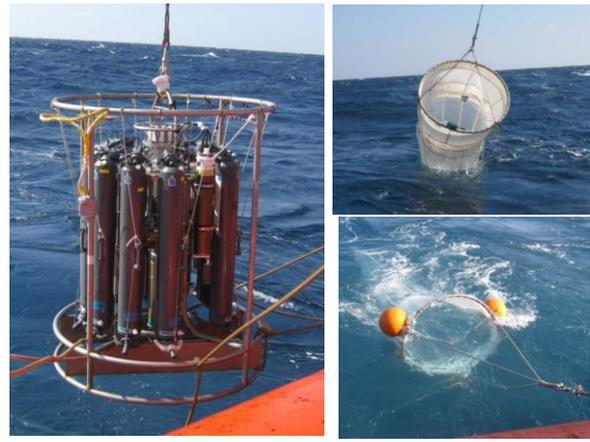
- ・ 地層変形、海底面からのメタン漏洩、生産水排出など

- ◆ 2回の海洋産出試験を通じた検討により、段階的に各手法の適正化を図り、商業生産に繋げていく。

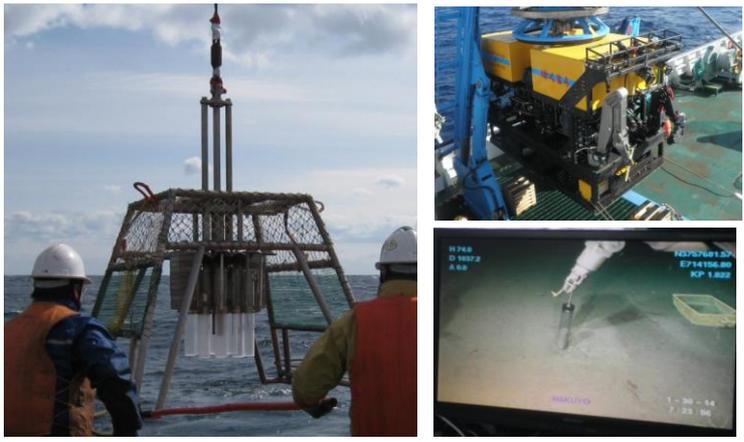
ベースラインデータの取得

◆ 試験海域である第二渥美海丘周辺海域において、既存の外洋域での調査手法を用い、環境影響を受ける可能性のある環境要素（水質・底質・生物相）のデータを定期的に取得し、ベースラインデータを蓄積。

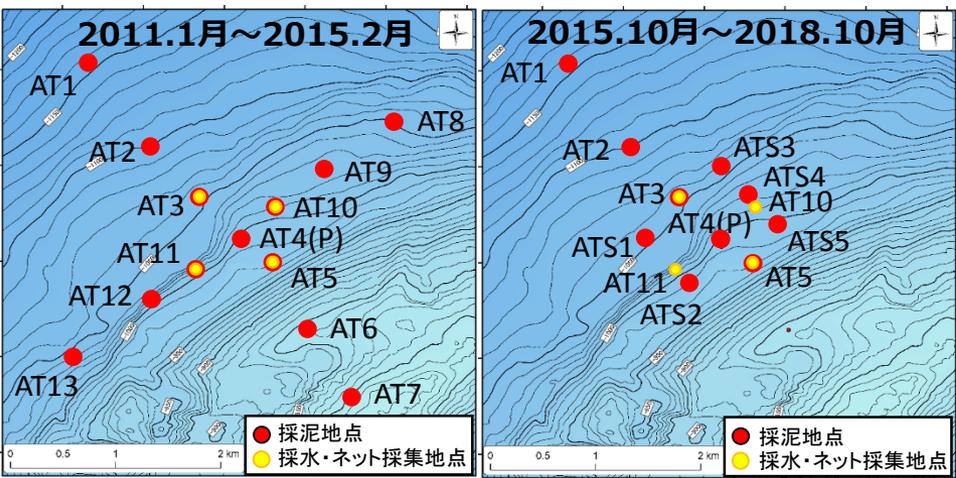
水柱環境の調査



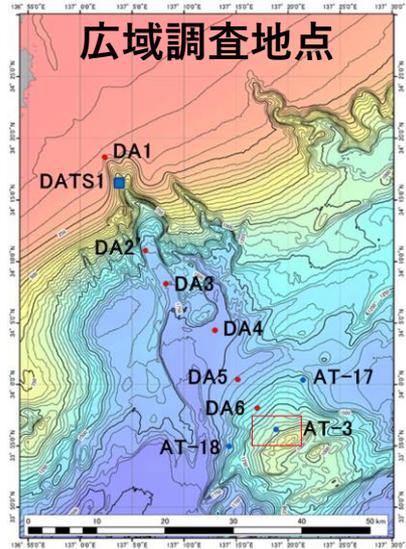
海底環境の調査



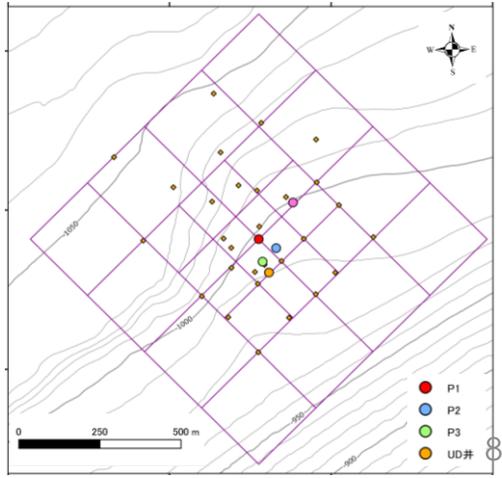
基本地点



広域調査地点



ROV調査地点

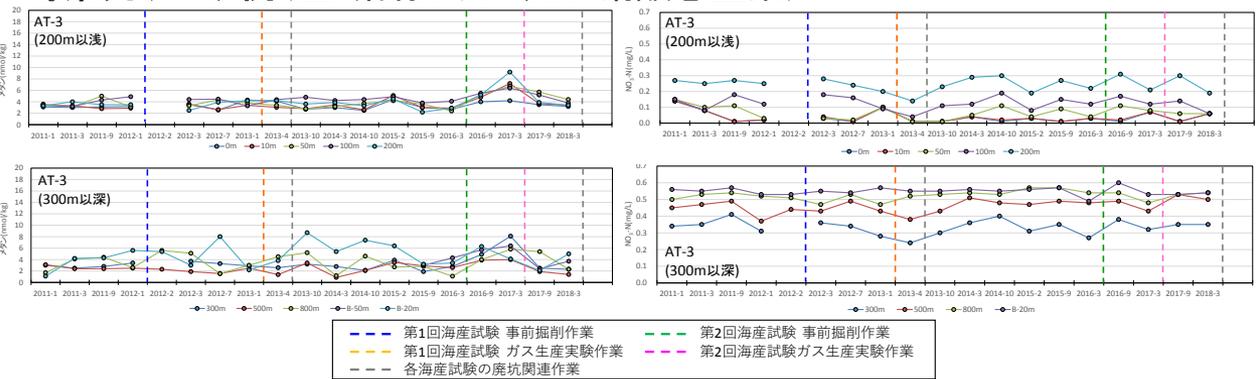


ベースラインデータの取得

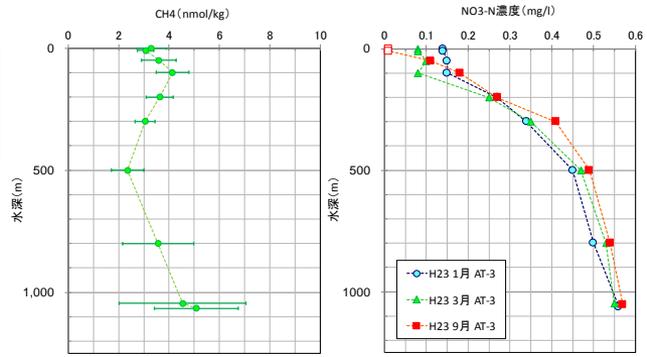
➤ 取得データをシミュレーション予測のためのデータとして活用するとともに、モニタリング時のベースラインデータとして活用

水質

時系列データ例(左:溶存メタン、右:硝酸態窒素)



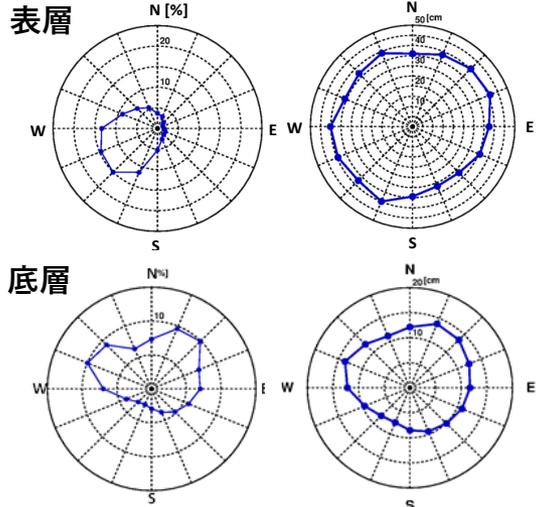
鉛直分布例 (左:溶存メタン、右:硝酸態窒素)



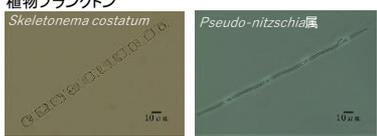
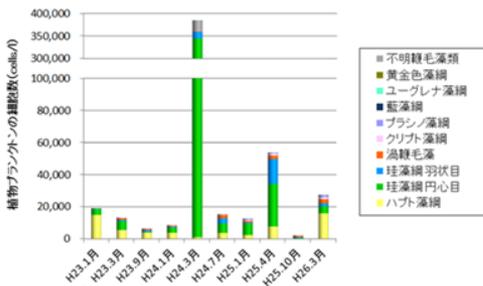
流況データ例 (フィールド開発Gにて取得)

流向の頻度分布

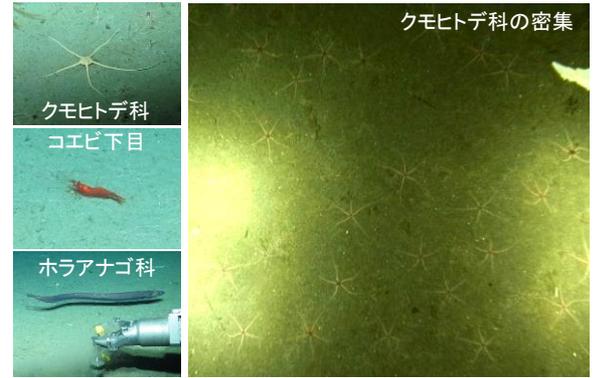
平均流速



生物相のデータ例



環形動物門 ヒメエラゴカイ科 線形動物門 タナイス目 節足動物門



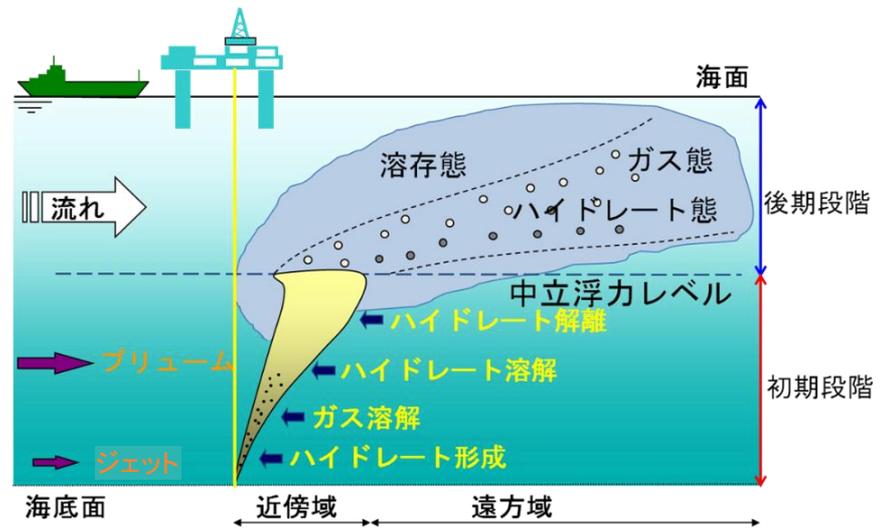
影響予測

①海底面からのメタン漏洩（拡散挙動予測）

メタンの拡散挙動予測モデルの構築

◆ メタンの様態変化を詳細に予測するために、油やガスの海水中での拡散挙動を予測するためのCDOGモデル（**C**omprehensive **D**eepwater **O**il and **G**as Blowout Model）をベースに、海底面からメタンガスが放出した場合の拡散挙動を予測するためのモデル（MEGADEEP：**M**ethane **G**ases from **D**eepwater）を構築。

モデルの概念



Zheng et al.(2002)を一部改変

メタンの様態変化

- ①ハイドレートの形成（Hydrate formation）
- ②ハイドレートの溶解（Hydrate dissolution）
- ③ハイドレートの解離（Hydrate dissociation）
- ④ガスの溶解（Gas dissolution）

気泡の変化

- ⑤気泡の破裂
- ⑥気泡の併合

➤ 個別の実験（気泡の併合実験）や現場観測データ（北海でのDeepspill実験、モントレイ湾でのメタンガス追跡実験等）により、各機能の検証を実施。

影響予測 ①海底面からのメタン漏洩（拡散挙動予測）

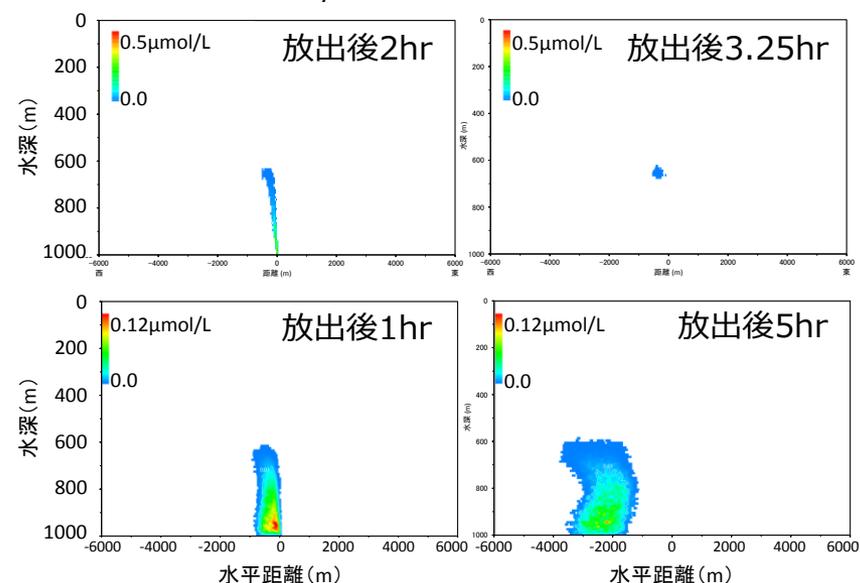
ケーススタディの実施

◆ 流況調査や環境調査で取得した物理場データをもとに複数のケーススタディを実施。

シミュレーション条件

- ・ ガス発生率：**0.01Nm³/s**, 0.04Nm³/s
 - ・ ガス発生期間：**2時間**, 30分間
 - ・ 気泡径：1mm, **5mm**, 10mm
 - ・ 流れ場：**平均分布**と最大流速分布
 - ・ 水温・塩分：**春季の平均分布（共通）**
- ◆ ガス発生率と発生時間については、MEGADEEPで扱える最小の発生率（0.01Nm³/s）とした（総量としては、第2回海産試験のガス生産時の管内の残存ガス量とほぼ同程度の量）。
- ◆ 自然界での観測事例を参考に、5mm径を気泡径の中心と仮定。

基本ケース：0.01Nm³/s×2hr, 平均流, 5mm
上段：ガス/ハイドレート態、下段：溶存態



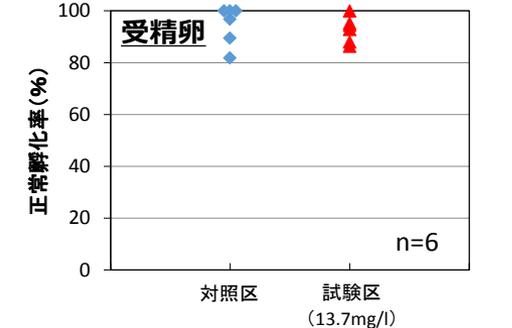
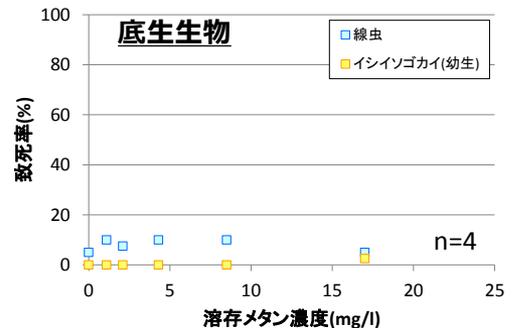
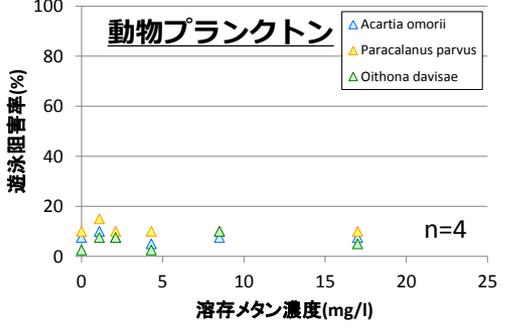
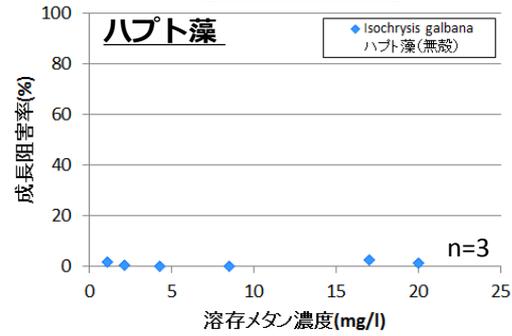
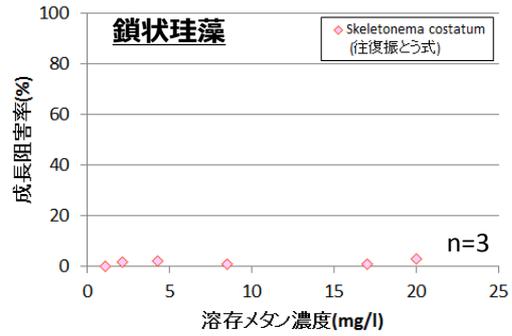
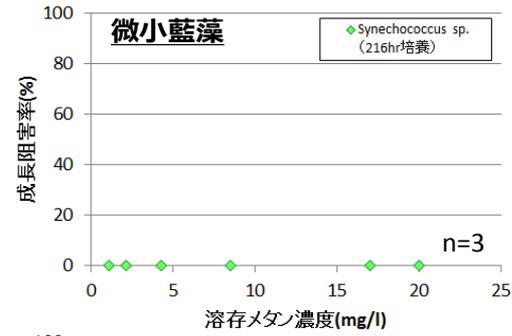
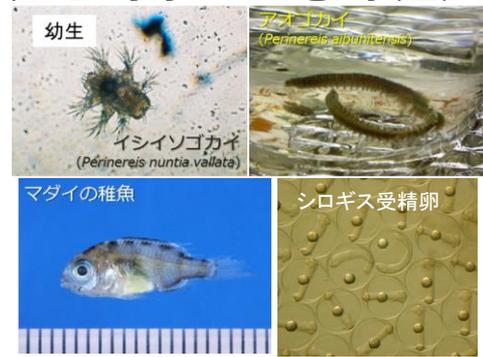
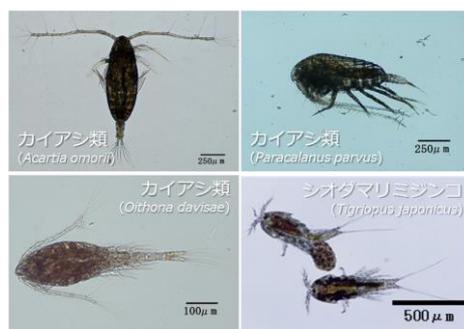
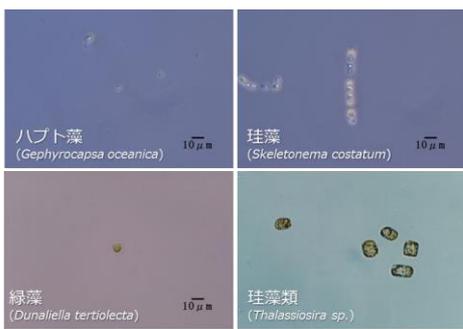
- 基本ケースでは、ガスは大気まで到達せず、溶存メタンの濃度も100nmol/L程度の濃度であり、後述の生態毒性試験の結果から生物への影響は極めて小さいことが推測された。
- 溶存態濃度が高くなる条件や、到達水深が浅くなる条件等の検討も実施。

影響予測

①海底面からのメタン漏洩（生物影響の検討）

生態毒性試験によるメタンの影響データの取得

◆ OECDのガイドライン等を参考に、推奨種や現場出現種を対象に生態毒性試験を実施



➤ 大気圧条件で飽和濃度のメタン濃度（約1mmol/kg）でも海洋生物への影響は確認されておらず、メタンの海洋生物への影響は極めて小さいことを示す結果が得られた。¹²

影響予測 ②生産水の排出（諸元の確認）

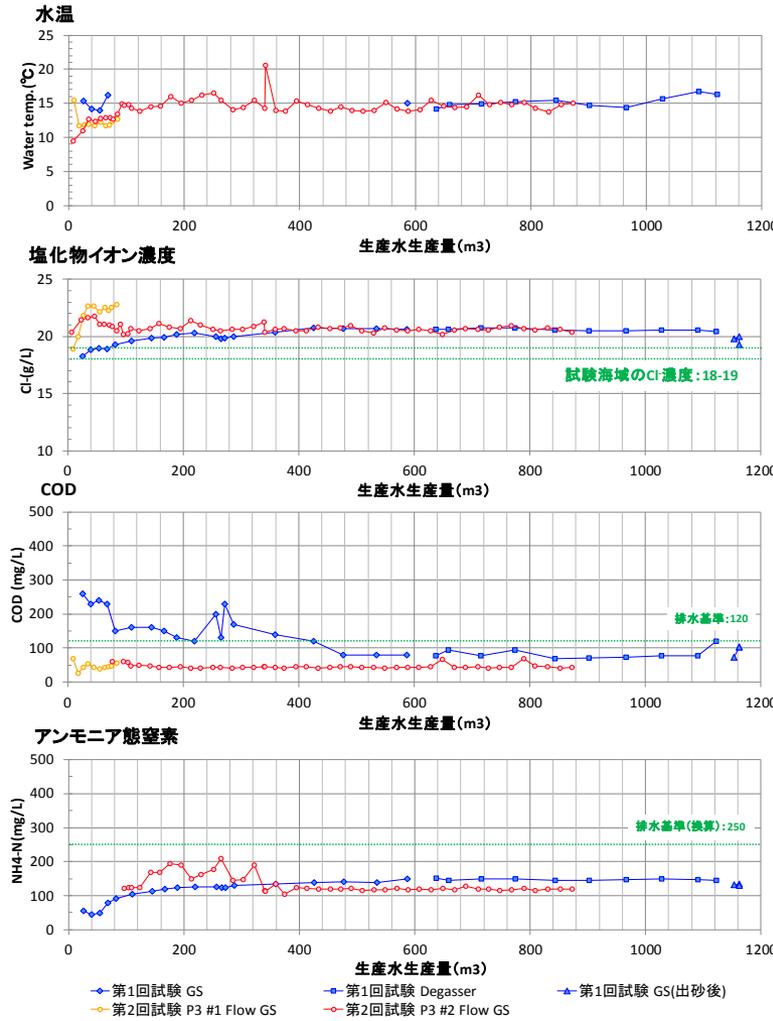
生産水成分の確認

◆ 生産水の日常管理データから成分を確認
(フィールド開発技術G担当)

- 排出方式に関しては、
 - ・ 表層排出ではMH層からリグへの管内での上昇中に昇温。海表面と同等の温度になる。
 - ・ デガッサーを介することで、溶存メタン濃度もBGLに近い濃度になる。
 - ・ 排出される生産水は水質汚濁防止法の排水基準を満たした水
- 生産水の成分については、
 - ・ 塩分は海表面の塩分よりも若干高い。
 - ・ CODや栄養塩類が相対的に高い値を示す（なお、CODについては第2回試験では低い値であった）。
 - ・ 重金属類の濃度も排水基準を満たす。
 - ・ 油分も含まれない。

➤ 2回の海産試験のデータから同様の傾向が確認されており、第二渥美海丘近傍で生じる生産水は概ね同様の成分と推測される

➤ 油分に起因する有害物質の影響は小さい。

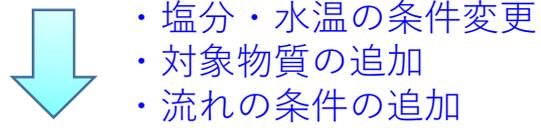


影響予測 ②生産水の排出（拡散予測）

◆ 試験海域の物理場データをもとに、既存モデル（移流拡散モデル）を活用し、海洋産出試験を対象とした生産水の拡散予測を実施。

第1回試験の計算条件

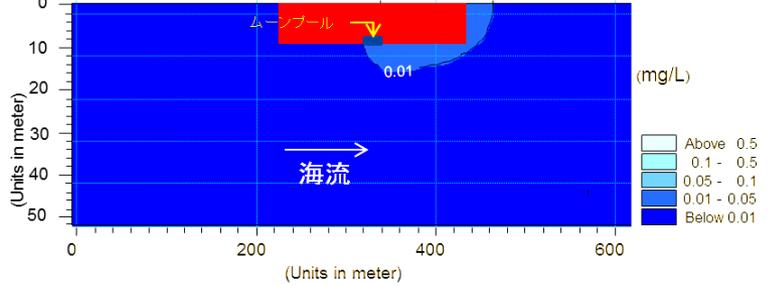
- ・ 排出率：500m³/day
- ・ 排出水の性状：水温：4°C, 塩分：0
アンモニア態窒素250mg/L（排水基準の濃度）
- ・ 海域の水温塩分分布：日本海洋データセンター(JODC)の2月のデータ
- ・ 流速：20cm/s（平均流）
- ・ 排出箇所：ムーンプール



第2回試験の計算条件

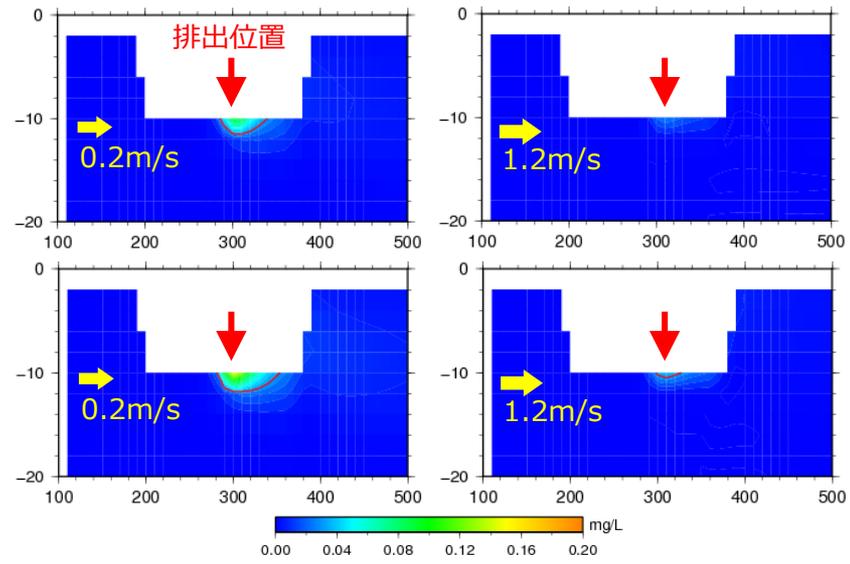
- ・ 排出率：500m³/day, 1000m³/day
- ・ 排出水の性状：アンモニア態窒素250mg/Lの他、亜鉛など11項目
- ・ 水温：表層水温(20.6°C), 塩分：36
- ・ 海域の水温塩分分布：日本海洋データセンター(JODC)の春季のデータ
- ・ 流速：20cm/s（平均流）, 1.2m/s（最大流）
- ・ 排出箇所：ムーンプール
- ・ 水産用水基準を影響範囲に反映

第1回海産試験の予測結果（アンモニア態窒素の例）



第2回海産試験の予測結果（アンモニア態窒素の例）

上図：排出率500m³/d, 下図：排出率1000m³/d



➤ いずれの物質もBGL濃度を超える範囲は排出位置から下流側に100m程度の範囲であり、水産用水基準の基準値を超える範囲は50m程度の範囲となった。

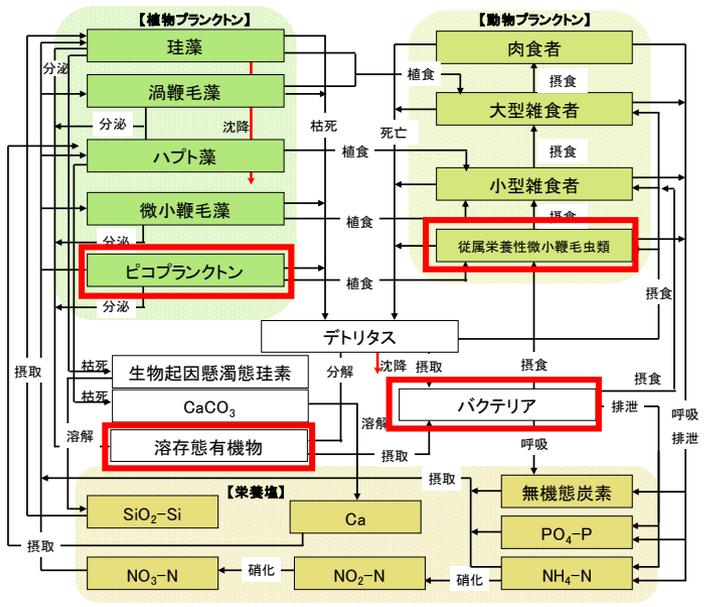
影響予測

②生産水の排出（生物影響の検討）

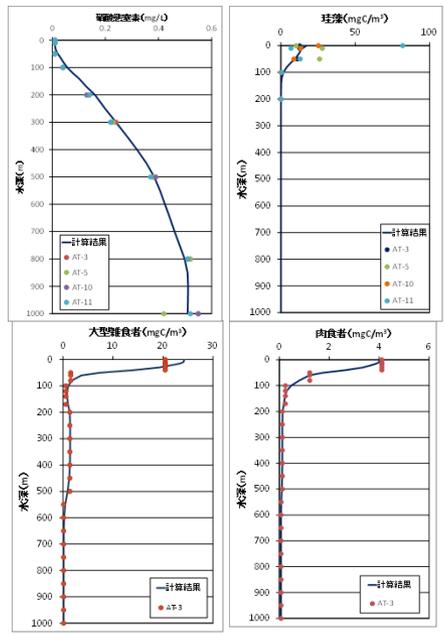
生態系モデルによる海洋生物の変化予測

- ◆ 生産水の排出量の増加など、将来の商業生産に伴う広域的な環境影響を仮定し生態系モデル（光合成生態系・底層生態系）の構築を実施。
- ◆ 全球規模における海洋の炭素循環を表現するために開発された海洋炭素循環モデル（Nakata *et al.*, 2004）に基づいて設計（太平洋や大西洋での観測データ等を用いて検証されている）。
- ◆ 従来の生食食物網にプランクトンのサイズ情報による区分を追加するとともに、分解者ないし生産者であるバクテリアを加えた微生物食物網の構造を取り入れている。

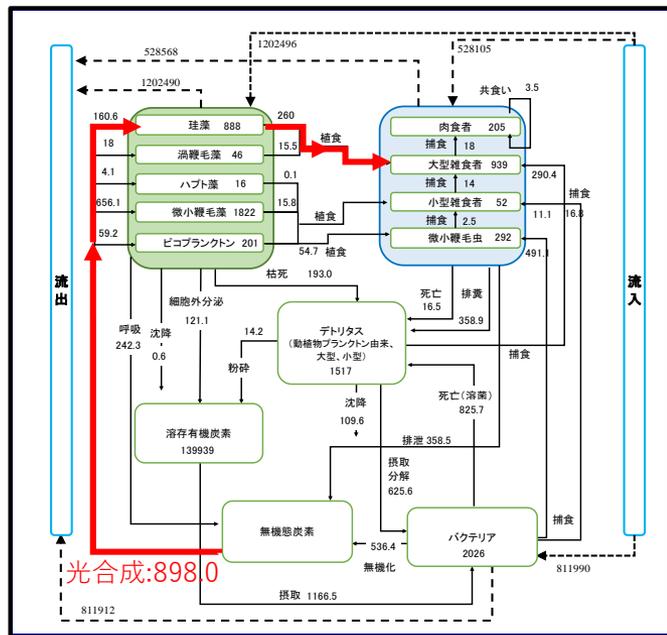
光合成生態系モデルの構成



再現計算結果例（春季）



フラックス抽出の例（春季）



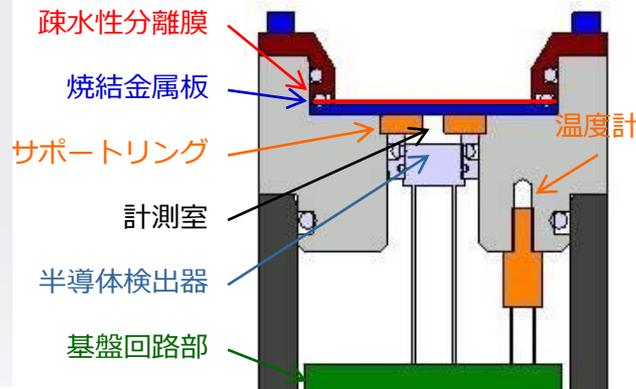
- 環境調査で取得した各季節の環境データをもとに再現計算を実施し、パラメータの妥当性確認や調整を進めモデルを構築（現時点では問題となるような大きなパラメータ調整等の必要は無い）。
- フラックス抽出機能を不可し、各季節の生物相の特徴整理にも反映。

環境モニタリング ①海底面からのメタン漏洩

経緯

- ◆ フェーズ1で検討したモニタリング手法のうち、改良検討を進めていた溶存メタンセンサー（METS methane sensor：二酸化スズ半導体検出器）の適用を検討。
（1000m級の大水深海域での溶存メタンの長期モニタリングは初めての試み）
- ◆ 計測濃度範囲：10-400nmol/kg、計測頻度：1時間間隔
（約10分間のポンピングの最後に5秒間隔で5回計測）
 - 想定事象および生態毒性試験の結果から「長期間継続するメタン濃度の上昇」とし、計測濃度範囲を試験海域で想定されたバックグラウンド濃度よりも高く、暴噴クラスの高濃度よりも低い濃度範囲に設定。
- ◆ メタン濃度が上昇した際のエリアを特定可能なように流向流速も合わせて計測。
METSの補正および基礎データ把握のため水温・塩分・DOも計測。

METS methane sensor



主な搭載センサー

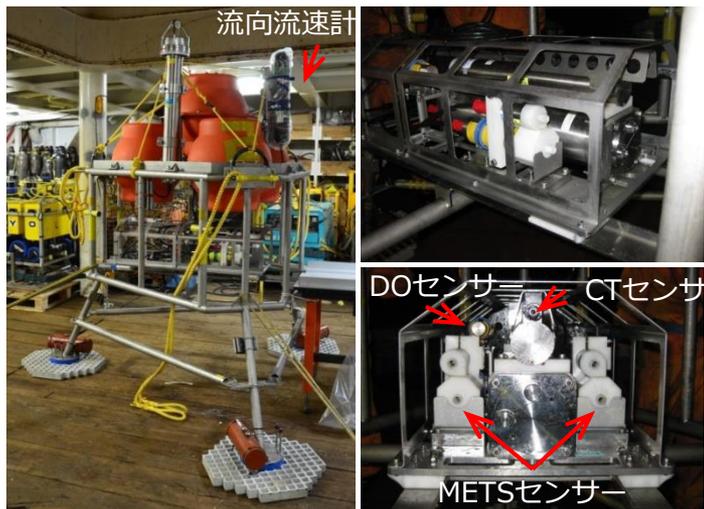
- 溶存メタンセンサー（2台/システム）
 - METS methane sensor (Franatech GmbH)
 - ・ 耐圧：2,000m
- CTセンサー（1台/システム）
 - SBE 37SM (Sea-Bird)
- DOセンサー（1台/システム）
 - OPTODE3830 (AANDERAA)
- 流向流速計（1台/1台のシステム）
 - DW-Aquadopp (Nortek)

環境モニタリング

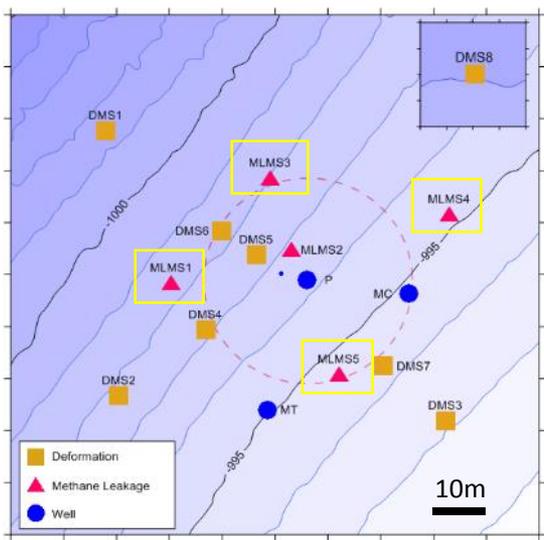
①海底面からのメタン漏洩

第1回海産試験での知見

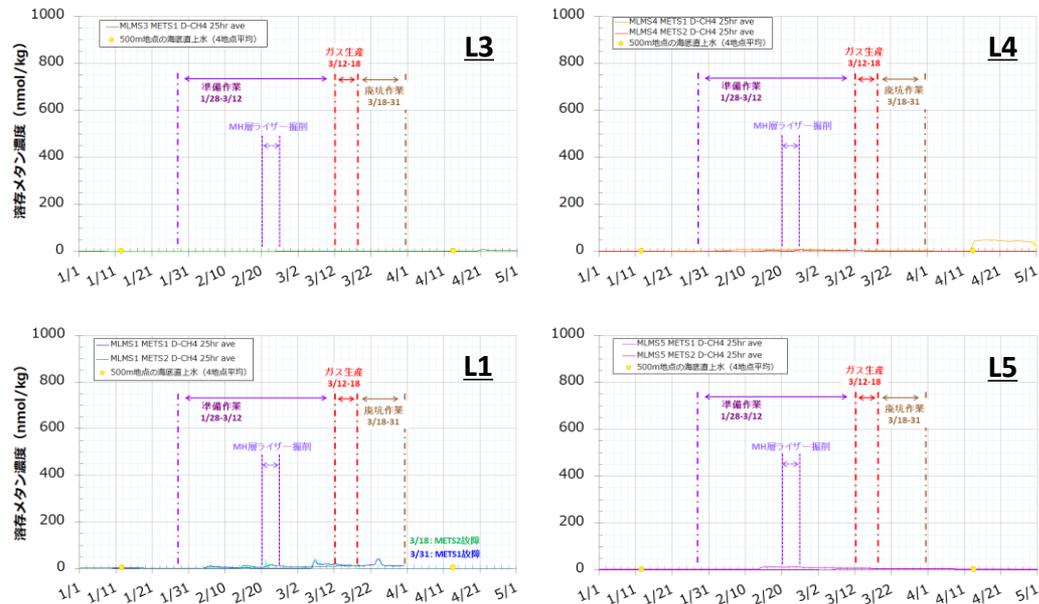
適用システム



システム配置



モニタリング結果 (ガス生産期間を中心に抜粋)



- センサーおよびシステムによるが、約3ヶ月～6ヶ月間程度のデータを取得。
- 計測された濃度としては、ガス生産後に一部の地点で40nmol/L程度の濃度を観測したが、それ以外の地点では顕著なメタン濃度の上昇は確認されていない（生態毒性試験の結果を考慮すると周辺生物への影響は小さいものと推定される）。
- 期間後半の計測では大半のセンサーで計測室内部の不具合が生じており、長期安定性に課題が残る結果となった。

環境モニタリング

①海底面からのメタン漏洩

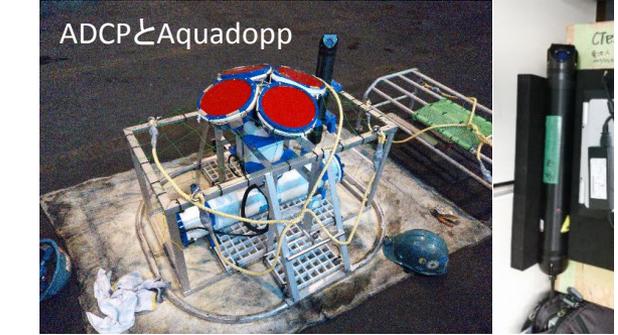
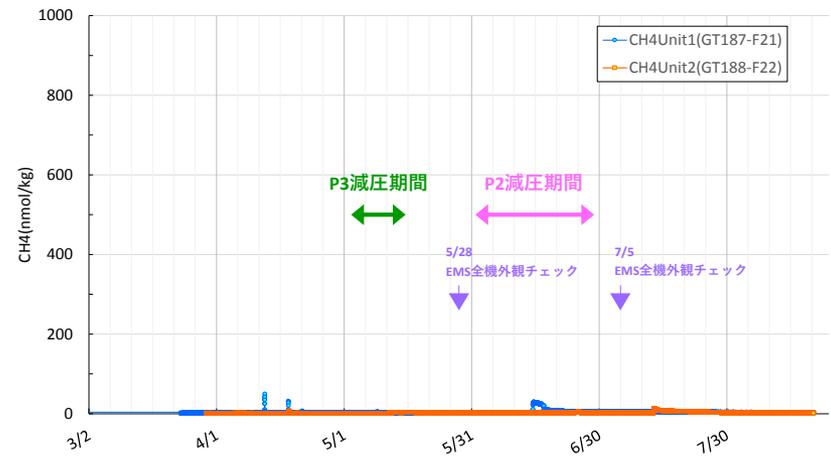
第2回海産試験での知見

適用システム

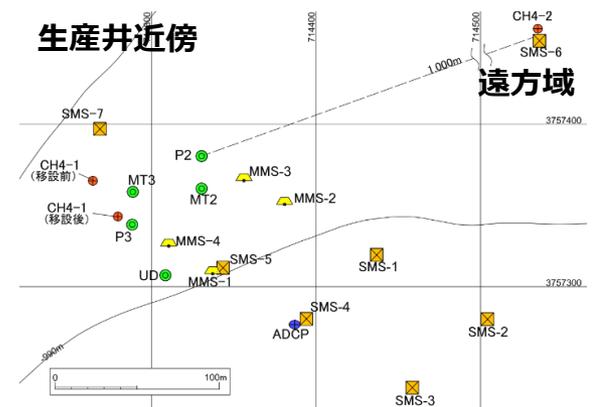


- ◆ 長期安定性や精度面での改善のため、新規に市販化されたレーザー計測式のメタンセンサーの適用も検討。しかしながら、電力消費量が大きく、また一部不具合が生じたことから、安全性や使用性の観点を考慮し、適用を断念。
- ◆ 前回使用したシステムを再整備しモニタリングを実施（途中メンテナンスを挟む）。

モニタリング結果（ガス生産期間を中心に抜粋）



システム配置



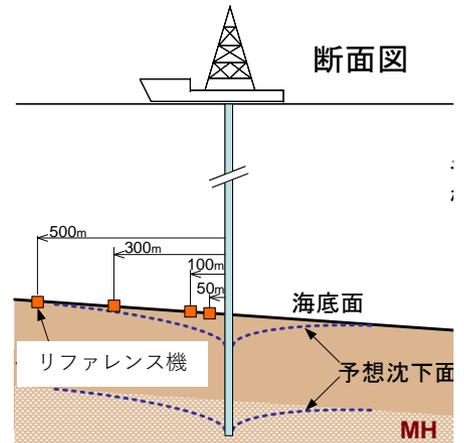
- 合計で約7ヶ月間程度のデータを取得。
- メタン濃度上昇時のデータの一部に飽和濃度に達していないデータが確認されており、応答速度や計測頻度の設定に課題が残る結果となった。
- 2回のモニタリング結果から、大水深海域での長期モニタリングに際しては、適用要件の明確化が課題として抽出された。
 - 定期的なメンテナンス、常時計測が必須。

環境モニタリング ②地層変形

経緯

- ・ 生産手法開発Gの予測結果等を参考に、小規模な変形（沈下量ではcmオーダー）を対象とした。
- ・ 生産井近傍の変化点と変形が生じないと考えられる遠方の基準点（Reference）との圧力の差分から沈下量を推定。
- ・ 市販化されている圧力計のうち、高精度で実績の有るセンサーを適用。
- ・ 傾斜と方位の計測と合わせて地層変形を推定。

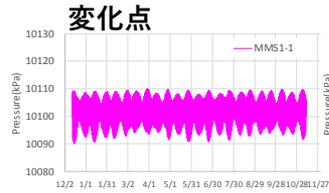
計測概念



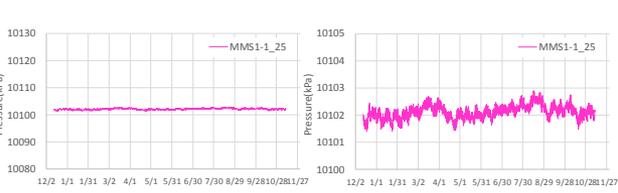
沈下量推定の考え方

- 潮汐補正
- ・ 25時間移動平均/潮汐周期成分の除去
- 長周期の海洋変動成分の補正
- ・ リファレンスとの差分
- ドリフト補正
- ・ ドリフトの確認, 1次近似やFitting curve等による除去
- 圧力計の精度確認
- 沈下量の推定

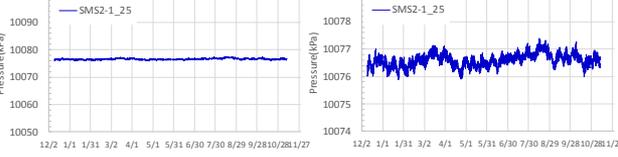
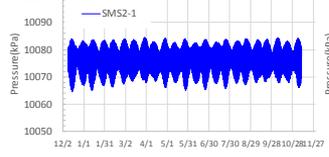
生データ



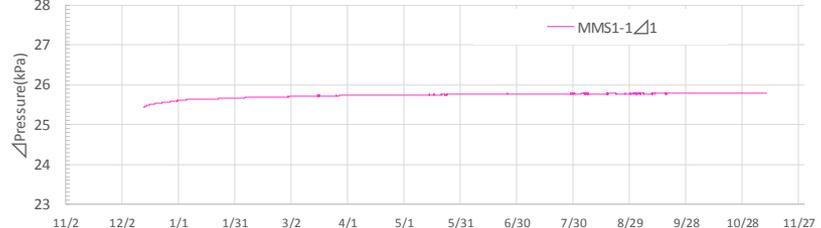
25時間移動平均 (左) と拡大図 (右)



基準点



基準点との差分値



環境モニタリング ②地層変形

第1回海産試験での知見

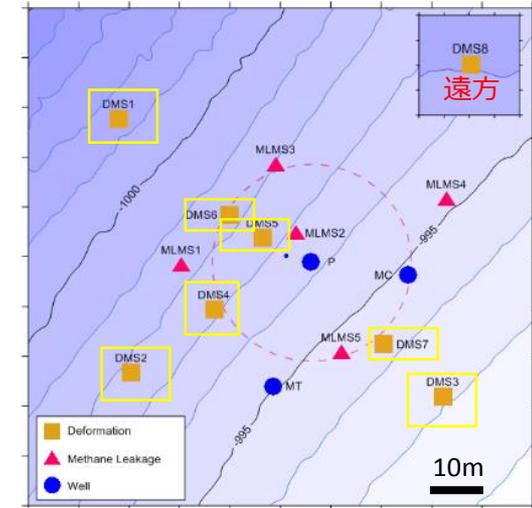
適用システム



搭載センサー（第2回試験も同様）

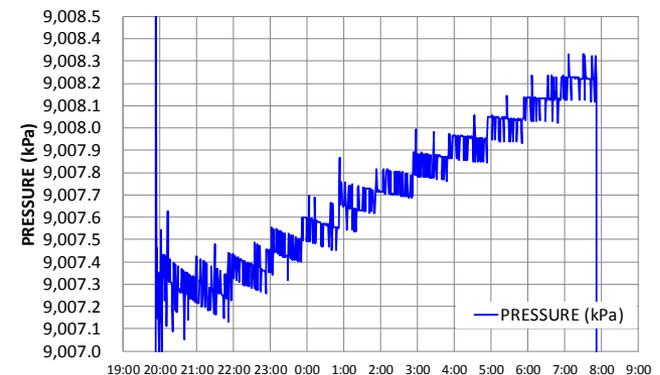
- 圧力計（2台/システム）
 - 8CB1400-I-005 (Paroscientific)
 - ・ 測定範囲：0-1400m
 - ・ 分解能 (PI100)：104Pa (約1cm)
 - ・ 精度 (確度含む)：0.005%FS \approx 690Pa
- 傾斜計（1台/システム）
 - NS-30/DMG2-U (Measurement Specialties)
 - ・ 測定範囲： $\pm 30^\circ$
 - ・ 分解能：0.001 $^\circ$
 - ・ 精度 (確度含む)：0.3 $^\circ$
- 方位計（1台/システム）
 - C100 (KVH)
 - ・ 分解能：0.1 $^\circ$
 - ・ 精度： $\pm 0.5^\circ$ 確度：0.2 $^\circ$

システム配置



事後の圧力計の精度確認 (段階載荷試験)

第1回試験 SMS-5 圧力計2 (PI=100)



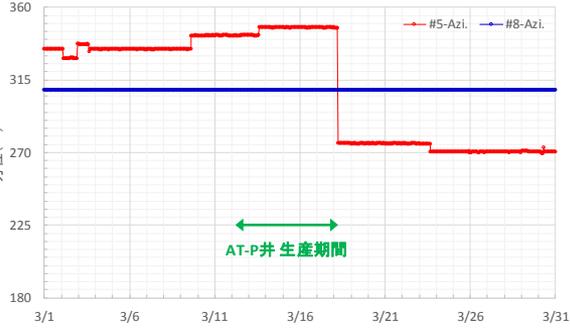
- ・ 一定圧力下での計測値の2.58 σ は0.22kPa
- ・ 差分での計測精度は0.44kPa (約4.4cm)²¹

環境モニタリング

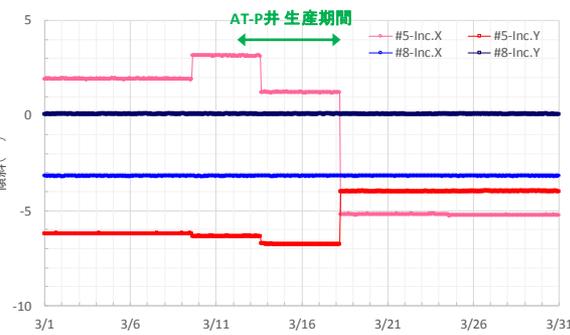
②地層変形

第1回海産試験での知見 (モニタリング結果と課題)

方位

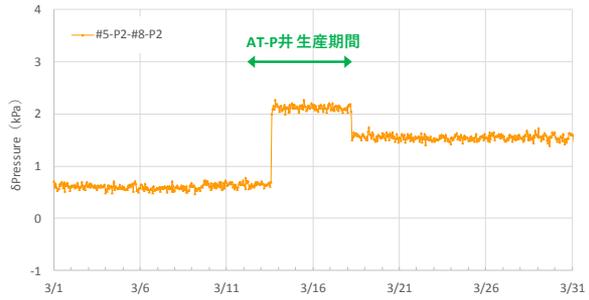


傾斜



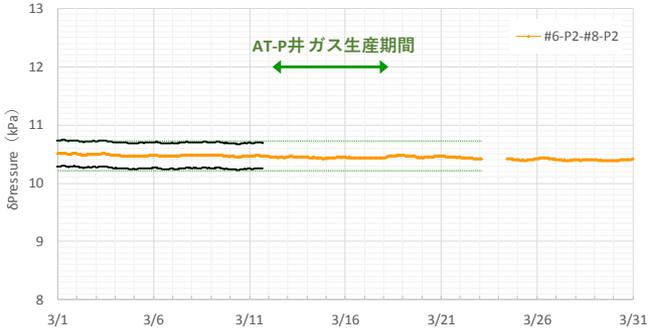
圧力 (検討前の差分値)

5号機P2 (基準:8P2)

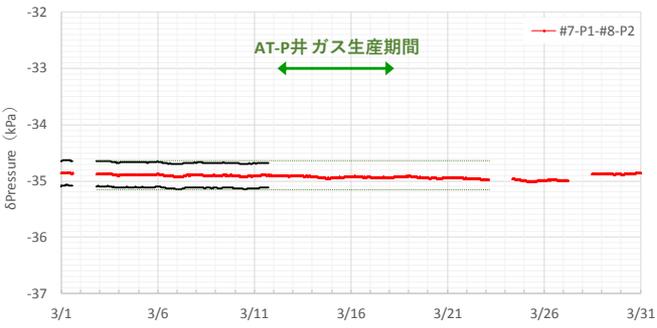


圧力 (検討後の差分値)

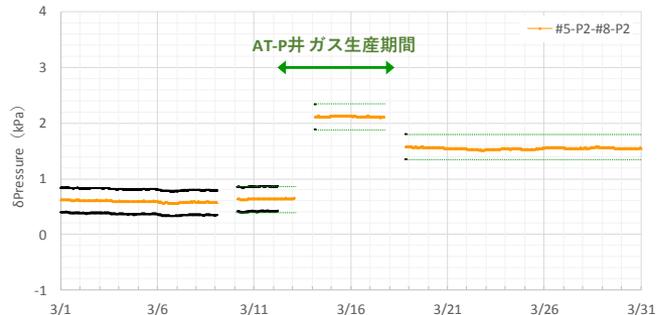
6号機P2 (基準:8P2)



7号機P1 (基準:8P2)



5号機P2 (基準:8P2)



- 方位・傾斜・圧力データに顕著な変化 (1時間での大きな変化) が確認されており、ROVのテザーケーブルとの干渉が原因と考えられた。
- 大きな変化は1時間での変化であるが、以降の数時間程度でも微小な変化傾向が確認されており、単純なデータの繋ぎ合わせは困難。
- 外的要因による変化が確認された時期を除くと、計測精度を超えるレベル (約4.4cm) の有意な変化は確認されていない。



外的要因による影響の低減と圧力計の精度向上が課題

空白 : 外的要因による影響が確認されたデータを除去した期間。
 黒線 : 計測精度

環境モニタリング ②地層変形

第2回海産試験での知見

適用システムの設計

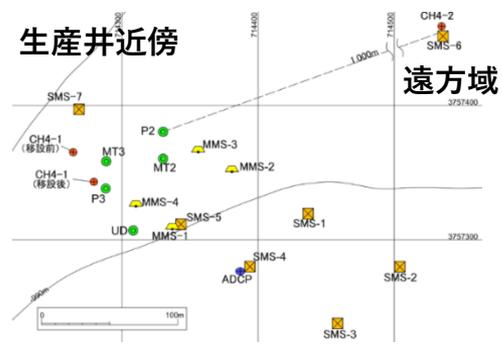
- ◆ ROVのテザーケーブル等を回避可能な保護枠を設置し海底面への設置部位にサクシオンバケツを適用



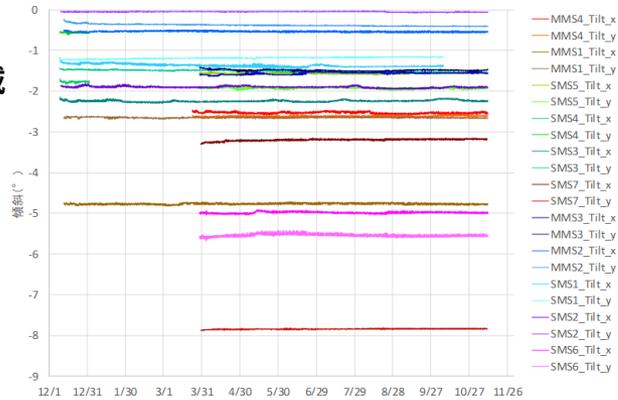
サクシオンバケツ
(海底面への固着用)

モニタリングユニット

システム配置



傾斜データ

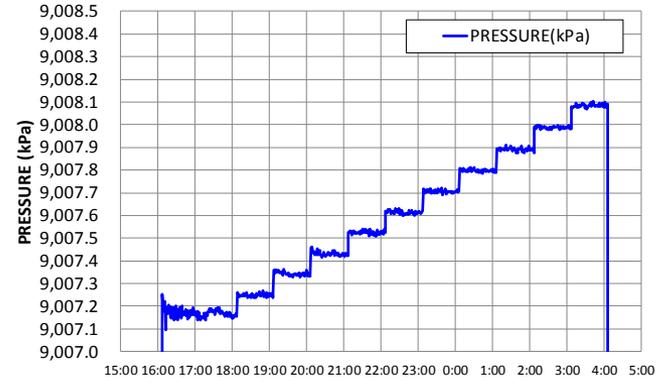


圧力計の設定

- ◆ 圧力計のデータ平均化時間の設定を6664ms(PI6664)とし、分解能を向上した。
 - ・ PI6664(積算時間:6664ms)
 - ・ 圧力分解能:1.4Pa(約0.1mm)
 - ・ 精度(確度込):690Pa (約6.9cm)

事後の圧力計の精度確認 (段階载荷試験)

第2回試験 MMS1 圧力計1 (PI=6664)



- ◆ 計測値の2.58σ : 0.02kPa~0.08kPa
- ◆ 差分での計測精度 : 0.054~0.119kPa (約5mm~1.2cm)

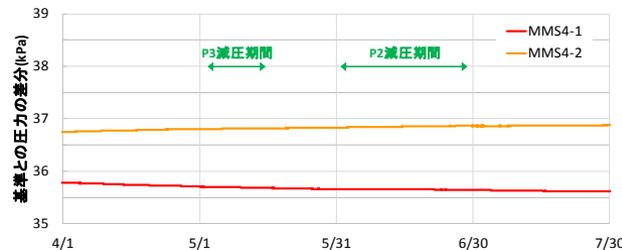
- 方位・傾斜・圧力データに連動する大きな変化は確認されておらず外的要因の影響の無いデータを取得。
- 圧力計の精度向上を確認

環境モニタリング ②地層変形

第2回海産試験での知見（モニタリング結果と課題）

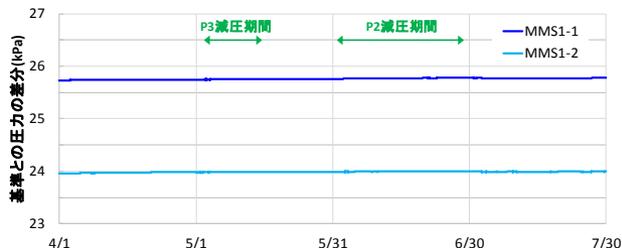
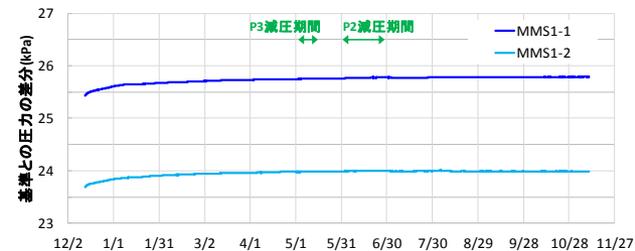
圧力（基準点との差分値）

MMS4（基準：SMS2-2）



差分の精度: 0.057kPa、0.062kPa

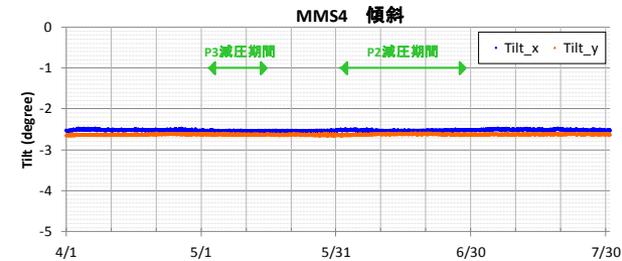
MMS1（基準：SMS2-2）



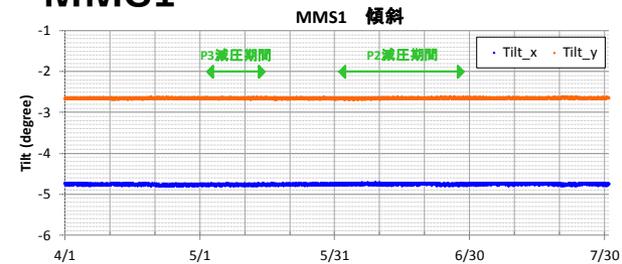
差分の精度: 0.062kPa、0.054kPa

傾斜

MMS4



MMS1

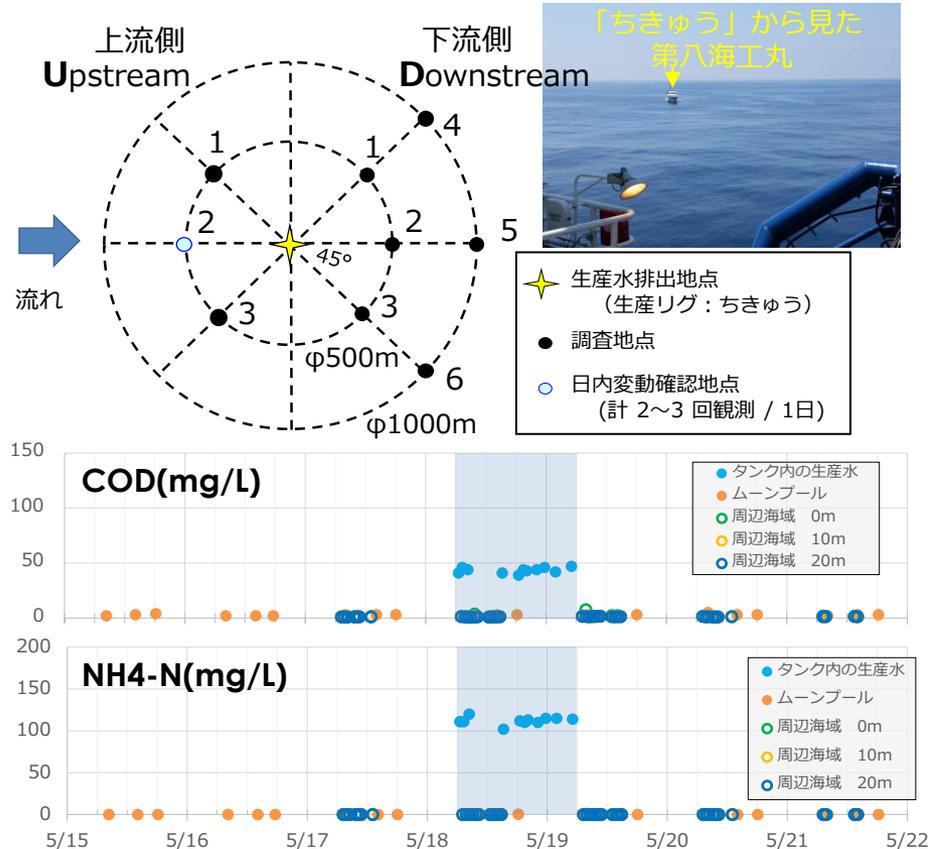


- ▶ 生産井近傍に設置した3台のシステムでのガス生産期間前後の圧力変化はドリフトを含めて +0.05kPa～-0.09kPa（+5mmから-9mm程度）の範囲。沈下方向（+方向）への変化を示すデータでは、差分の計測精度を超える変化は確認されていない。
- ▶ 沈下を示すような傾斜の増加も確認されていない。
- ▶ ただし、設置時期の違いに起因すると考えられる非線形の初期ドリフトの影響が確認されているため、事後に約3か月間の一定加圧試験（10MPa）を実施し、各センサーのドリフトデータの把握と補正を進めている（現在最終確認の段階）。

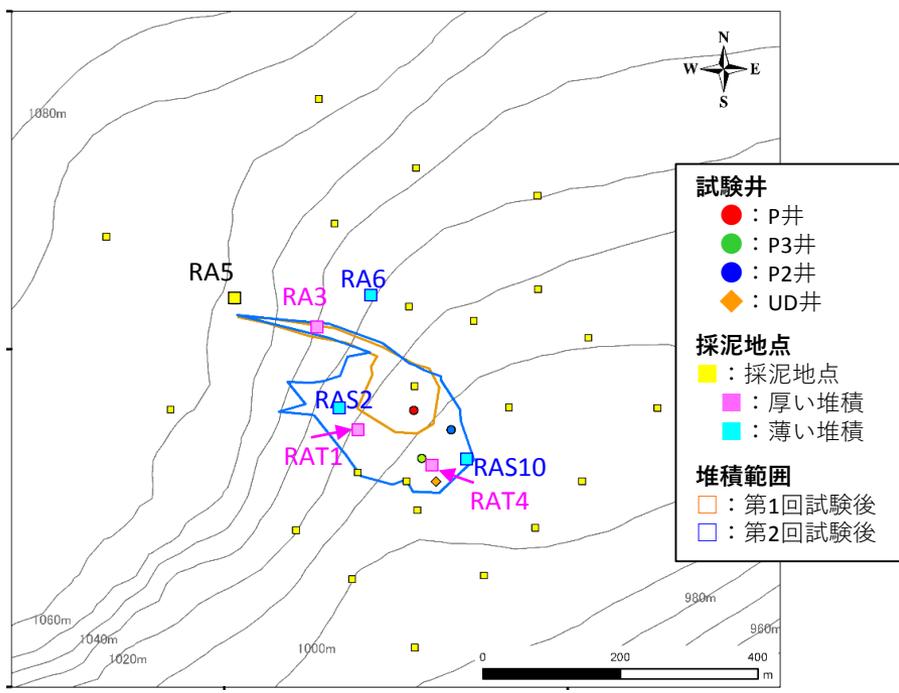
その他のデータ取得 (生産水排出・カッピングス等の堆積)

- ◆ 生産水排出時の拡散範囲を確認するため排出前から排出後にかけて採水調査を実施
- ◆ カッピングス等の堆積範囲の明確化のためにROVでの観測とプッシュコア採泥を実施

生産水採水調査結果例 (第2回海産試験)



ROVでの堆積エリアの確認(各試験後)



➤ 1日間で約600m³/日の排出では、ムーンプール内の採水試料でアンモニア態窒素の微増が確認されたのみ。周辺海域では自然変動と識別可能な環境変化は確認されていない。

- カッピングス等が堆積したと想定されるエリアは坑井から概ね300m程度の範囲。
- 堆積エリアでは白色の堆積物が堆積しており、相対的に高いバリウム濃度やメイオベントスの減少傾向が確認された。

成果と課題

成果

- 2回の海産試験の機会を通じて、商業生産でのメタンハイドレート開発で想定される環境影響に関する予測・評価・環境データ取得手法の検討を進めた。
 - 予測・評価手法
 - 海洋産出試験を対象とした予測・評価を行い、取得した環境影響に関するデータとの大きな相違がないことを確認
 - データ取得手法
 - 地層変形：概ね目標とした精度での長期間の連続計測を実施
 - メタン濃度：一定期間でのデータ取得は実施できているが、センサーの適用要件の精査や解析手法の検討が必要
 - 環境影響に関する知見
 - 第二渥美海丘近傍での試験規模のガス生産では、実データとして環境変化は小さいという結果が得られた。

課題

- 商業生産時の外挿が可能と考えられる生産規模のガス生産試験等の機会で、環境影響に係るデータを取得し、商業生産時の想定事象や影響規模の明確化を進める必要がある。取得データをもとに予測・評価手法の検証を行う必要がある。
- 商業生産を想定した開発システム案や候補地点の情報等をもとに、適宜、事象の想定や手法等を見直し手法の適正化を進める必要がある。

本資料は、経済産業省の委託により実施しているメタンハイドレート研究開発事業において得られた成果に基づいています。以下の関係先に謝意を表します。

経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油・天然ガス課

環境調査・モニタリングに係る作業にご理解・ご協力をいただいた各地方自治体、各漁協、他の皆様

ご助言を頂いた有識者各位

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (MH21) の
委託業務先各社