

メタンハイドレートフォーラム 2015

メタンハイドレート開発に向けた 資源量の評価

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム(MH21)
資源量評価グループ

藤井 哲哉 (石油天然ガス・金属鉱物資源機構)

森田 澄人 (産業技術総合研究所)

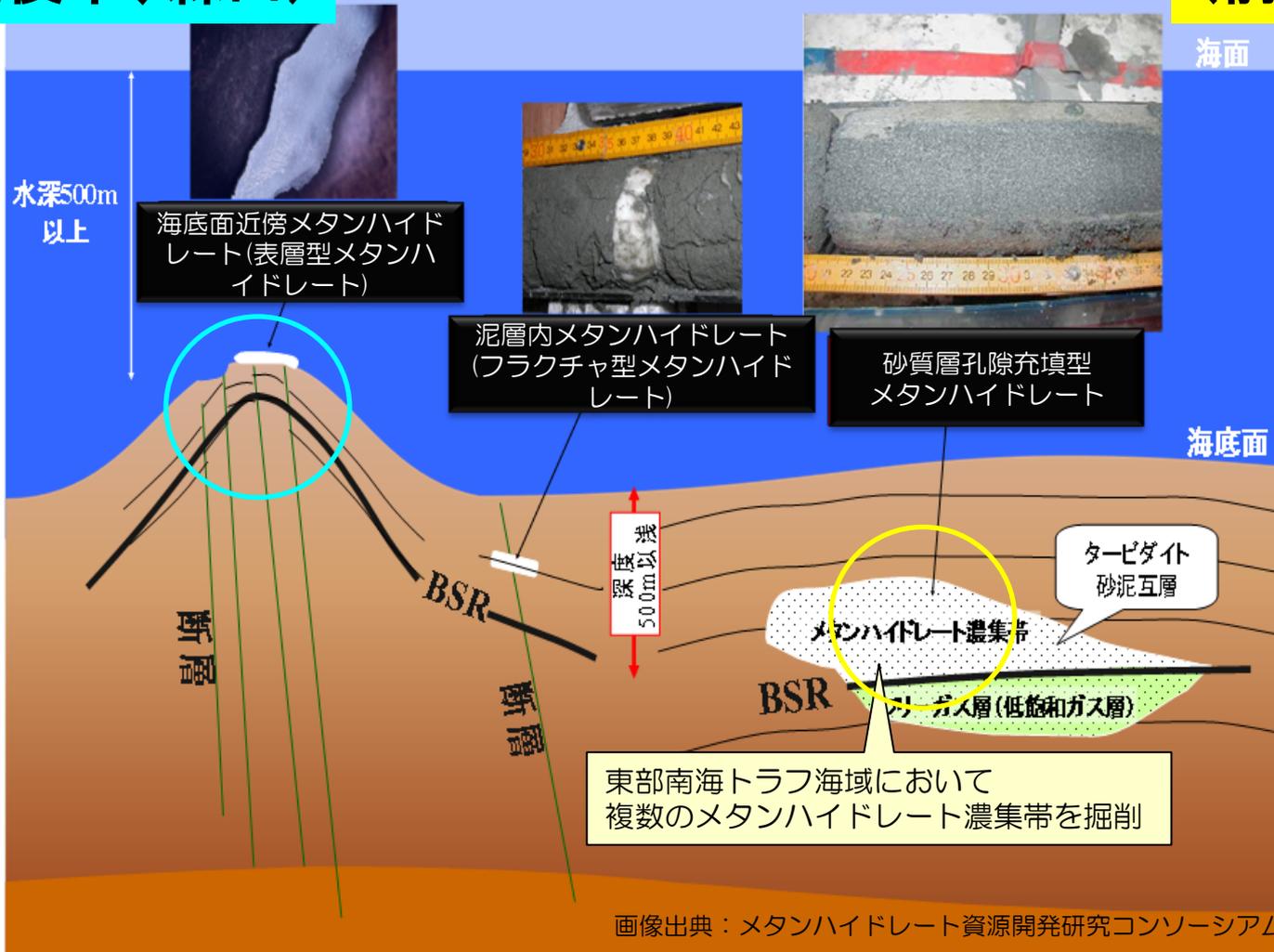
2015年10月1日

東京大学 伊藤国際学術研究センター 伊藤謝恩ホール

海域におけるメタンハイドレートの賦存形態

表層型
(後半、森田)

砂層型
(前半、藤井)



その他のメタンハイドレート

浸透性の低い地層に賦存 BSRは発現するものの
まとまった量・規模では
確認されていない
BSR分布域の大部分は
この種のハイドレートの
可能性がある

資源量評価（MH探査）へのアプローチ

1. 直接的検知

（各種観測・測定： 地震探査、物理探査、コア、検層）

砂層型メタンハイドレート濃集帯の分布推定及び賦存状況評価

三次元地震探査データ等を用いた濃集帯の解析・解釈等を実施。

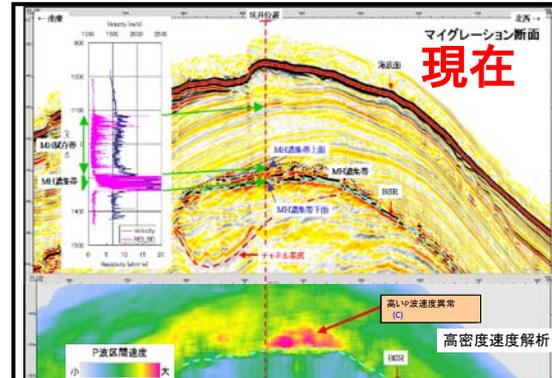
2. 間接的推定、成因論的なアプローチ （堆積盆地シミュレーションなど）

メタンハイドレートシステムの検討

- メタンの生成に関する検討

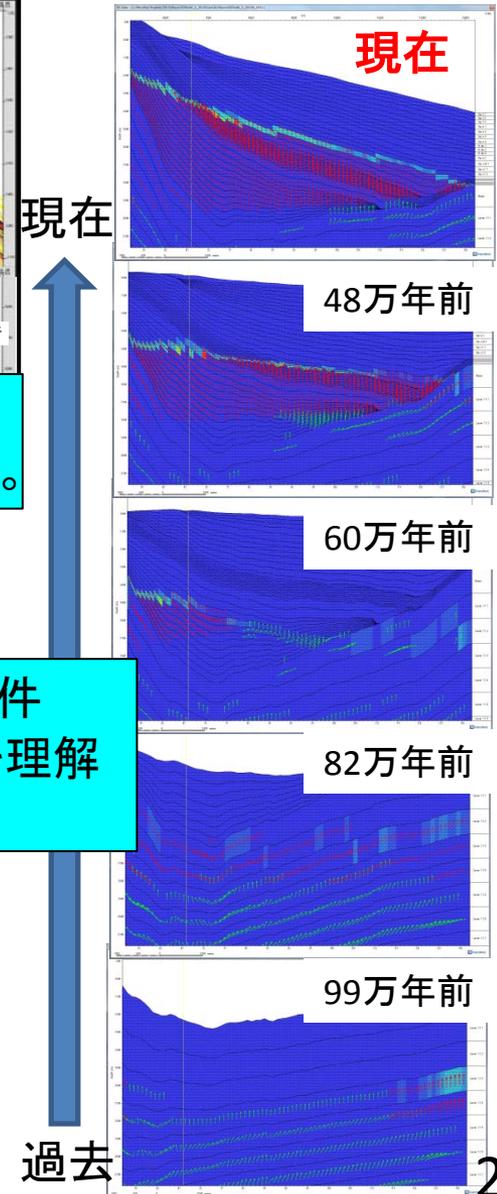
コア試料を用いたメタン生成に関する地化学分析・微生物学的分析

- メタンの移動・メタンハイドレート集積に関する検討
メタンハイドレートの生成シミュレーションによる検討



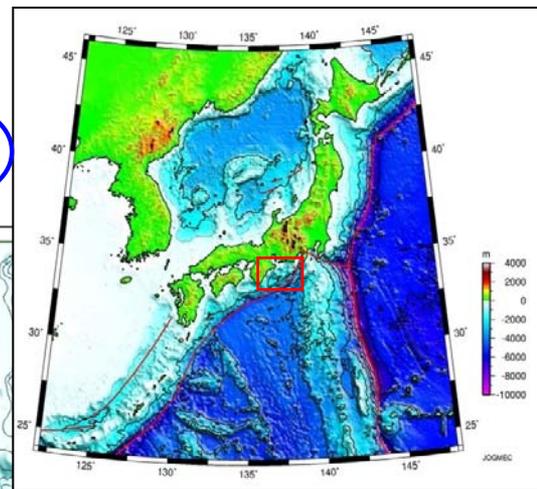
地層の物性・各種応答（地震波・音波・比抵抗）を見る。

MHが濃集するための条件（地質要素）やプロセスを理解→応用

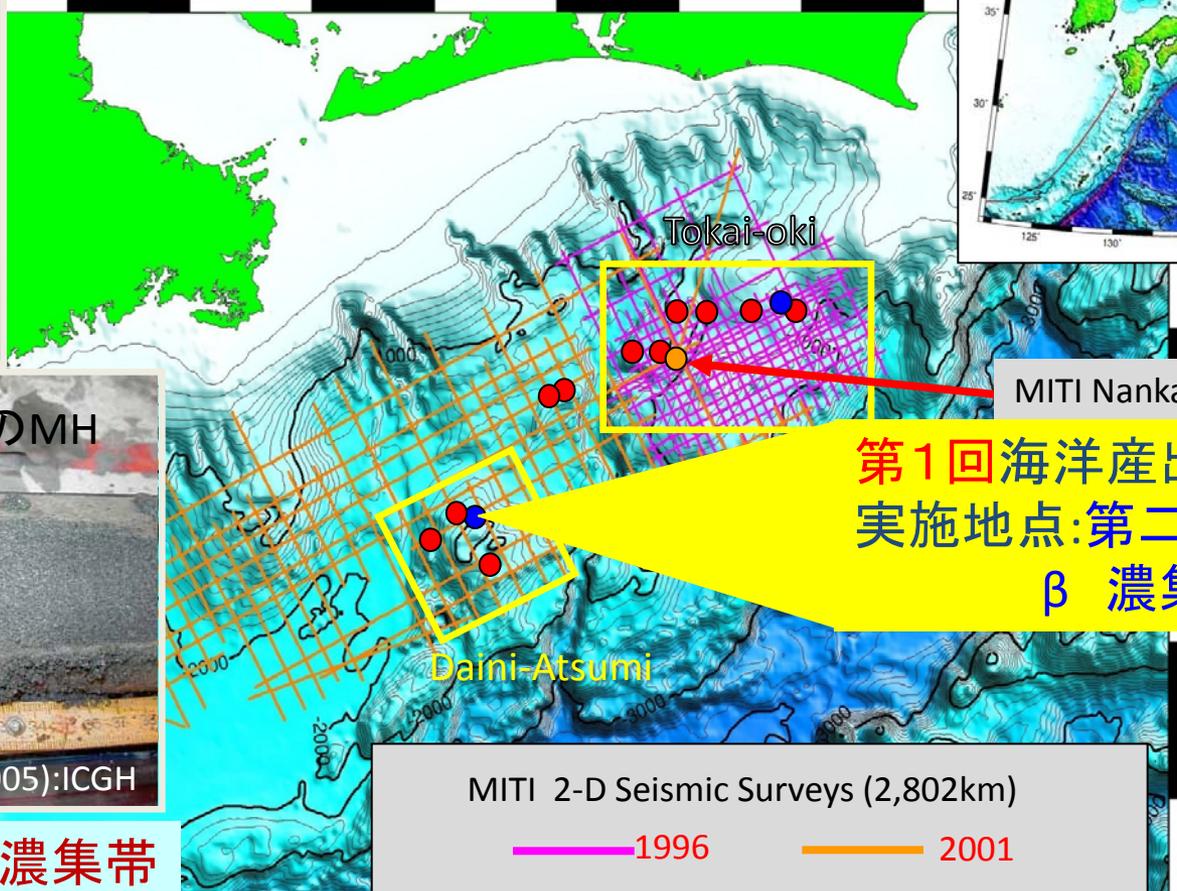


東部南海トラフにおける メタンハイドレート探査 (1996-2004)

136° 00' 136° 30' 137° 00' 137° 30' 138° 00'



Joides Resolution



MITI Nankai Trough

第1回海洋産出試験
実施地点: 第二渥美海丘
β 濃集帯



砂層孔隙充填型のMH

Fujii et al. (2005): ICGH

MITI 2-D Seismic Surveys (2,802km)

— 1996 — 2001

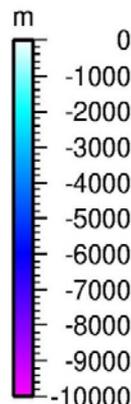
3-D Seismic Survey
(2), 1960km²

test wells

● LWD

“Anonada”

● LWD+Coring



メタンハイドレート濃集帯

- 調査海域において、16の濃集帯を抽出
 - 原始資源量評価値: 40 Tcf (この内濃集帯は20 Tcf)
- Fujii et al. (2008) OTC、藤井ほか(2010)地学雑誌
-> 2012年度の海洋産出試験実施地点の候補

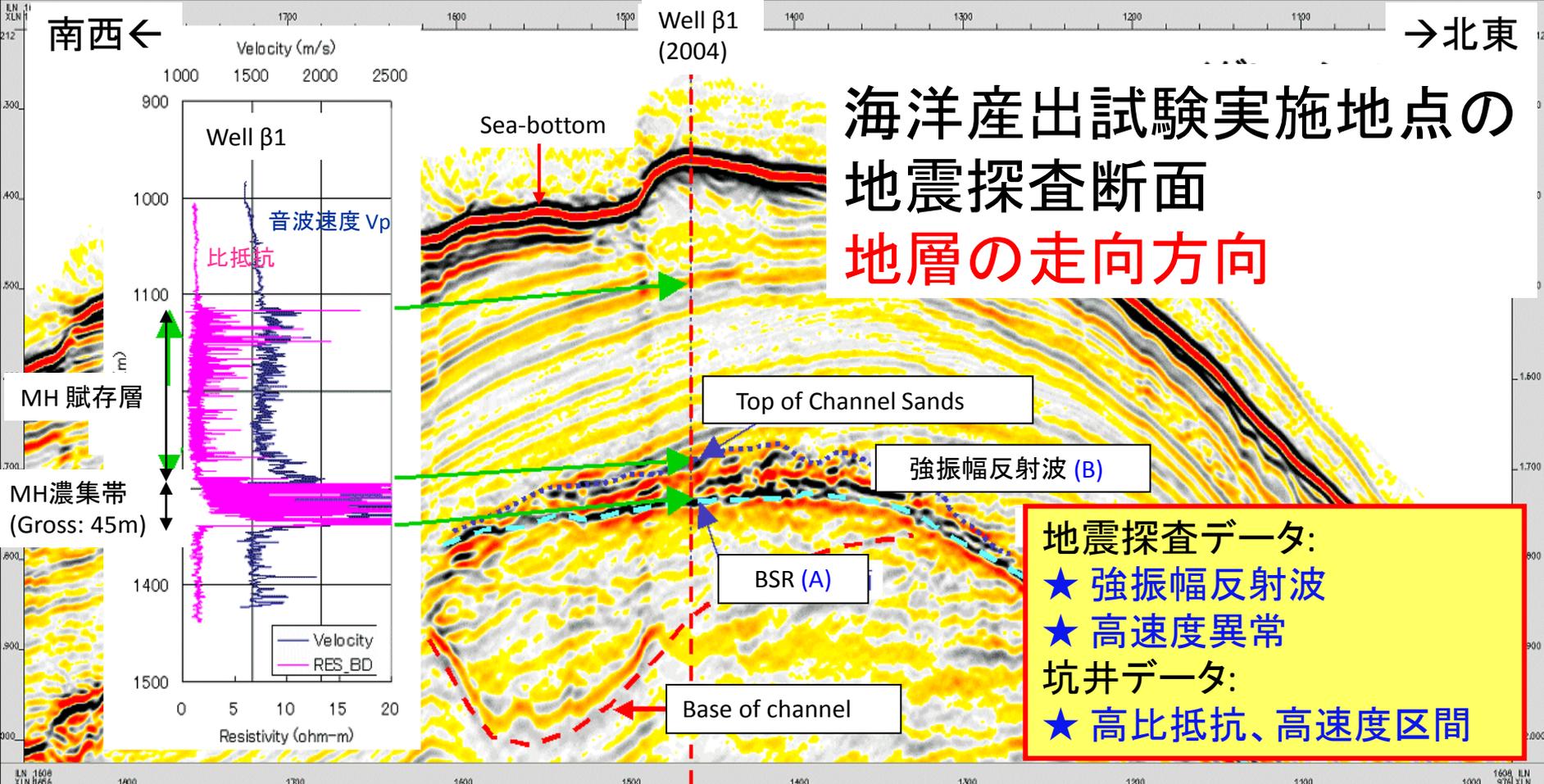
136° 00' 136° 30' 137° 00' 137° 30' 138° 00' 138° 30'

南西←

→北東

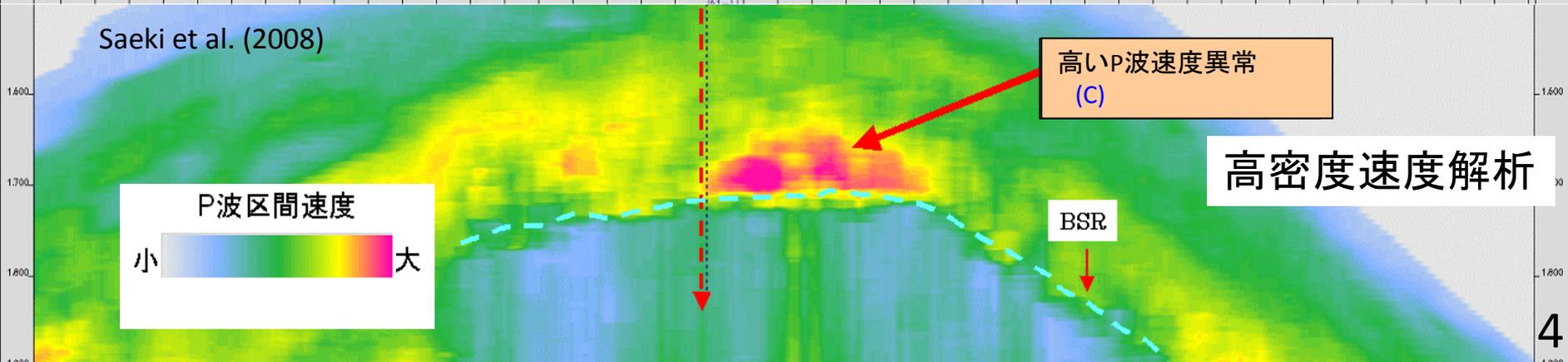
Well $\beta 1$
(2004)

海洋産出試験実施地点の 地震探査断面 地層の走向方向



地震探査データ:
 ★ 強振幅反射波
 ★ 高速度異常
 坑井データ:
 ★ 高比抵抗、高速度区間

Saeki et al. (2008)

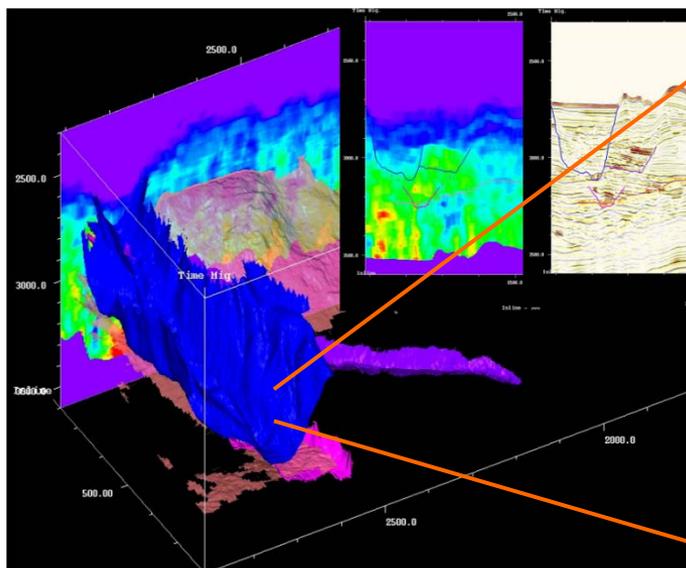


高密度速度解析

東部南海トラフにおける メタンハイドレート原始資源量評価

容積法による評価—確率論的手法を適用

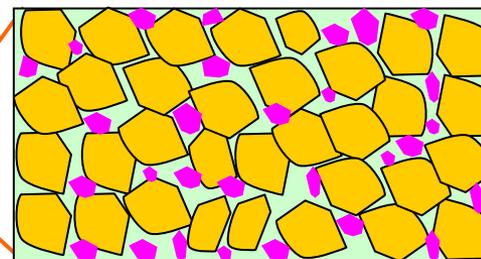
$$\text{メタンハイドレート原始資源量} = \text{GRV} \times \text{N/G} \times \phi \times S_{\text{MH}} \times \text{VR} \times \text{CO} / 28.3$$



総岩石容積 (GRV)



ネット/グロス比
(N/G)

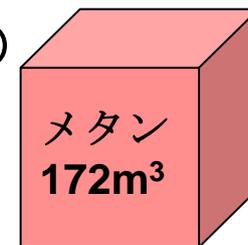


孔隙率 (ϕ)
メタンハイドレート飽和率
(S_{MH})

容積倍率 (VR)



MH 1m³

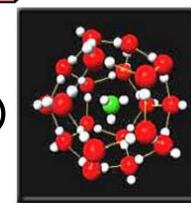


メタン
172m³



+ 水 0.8m³

ケージ占有率 (CO)



96%

(1bcf=28.3MMm³)

画像出典：メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム

東部南海トラフ海域の**原始**資源量評価結果

種類		算定パラメータ(合計／平均値)						MH原始資源量算定結果		
		GRV	N/G	ϕ	S_{MH}	VR	CO	P90	P10	P_{mean}
東部南海 トラフの MH濃集 帯 (767km ²)	坑井有	44.55億m ³	0.38	0.43	0.52	172	0.95	402億m ³	1369億m ³	838億m ³
	未掘削	349.31億m ³	0.37	0.45	0.51	172	0.95	1367億 m ³	9779億m ³	4901億m ³
	合計	393.86億m ³	0.37	0.44	0.51	172	0.95	1769億 m ³ (6Tcf)	1兆1148億m ³ (39Tcf)	5739億m ³ (20Tcf)
MH濃集帯以外の 東部南海トラフの MH賦存層 (3920km ²)	面積 3920Km ²	Net 層厚 6.4m	0.48	0.29	172	0.95	1067億 m ³ (4Tcf)	1兆2208億m ³ (43Tcf)	5676億m ³ (20Tcf)	
	(1兆2544億 m ³)	(0.02)								
合計								2835億 m ³ (10Tcf)	2兆3356億m ³ (83Tcf)	1兆1415億 m ³ (40Tcf)

GRV:総岩石容積, N/G:ネット/グロス比, ϕ :孔隙率, S_{MH} :MH飽和率, VR:容積倍率, CO:ケージ占有率

坑井有:基礎試錐「東海沖~熊野灘(04)」で確認されたMH濃集帯。

未掘削:基礎物探「東海沖~熊野灘(02)」から存在が推定されるMH濃集帯。

東部南海トラフMH濃集帯の原始資源量 = 2011年の日本の年間LNG輸入量の約5.5年分
 東部南海トラフの原始資源量 = 2011年の日本の年間LNG輸入量の約11年分

1. 日本周辺海域のメタンハイドレートの賦存状況の評価（砂層型）

① メタンハイドレート濃集帯の分布推定及びメタンハイドレート賦存状況の評価

- 2009年以降新たに取得（入手）・解析した地震探査データを使用（主に赤色・青色のエリア）。
- 主に三次元物探査船「資源」を使用して取得した地震探査データを使用し、濃集帯分布の推定作業を実施。

1. BSRの分布

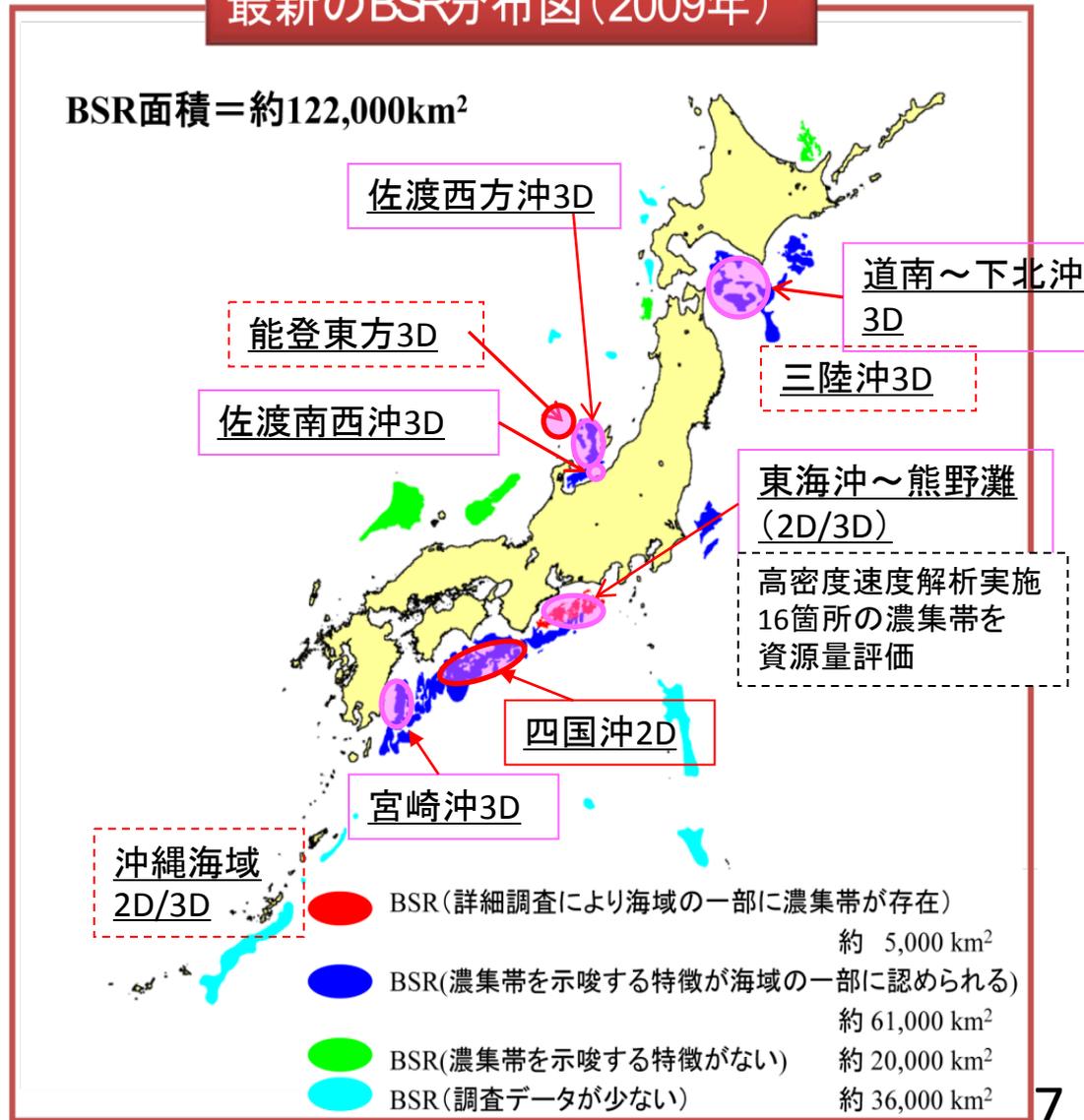
2. 強振幅反射波

2. 高速度異常

3. 堆積学的解釈（砂の存在）

最新のBSR分布図（2009年）

BSR面積=約122,000km²



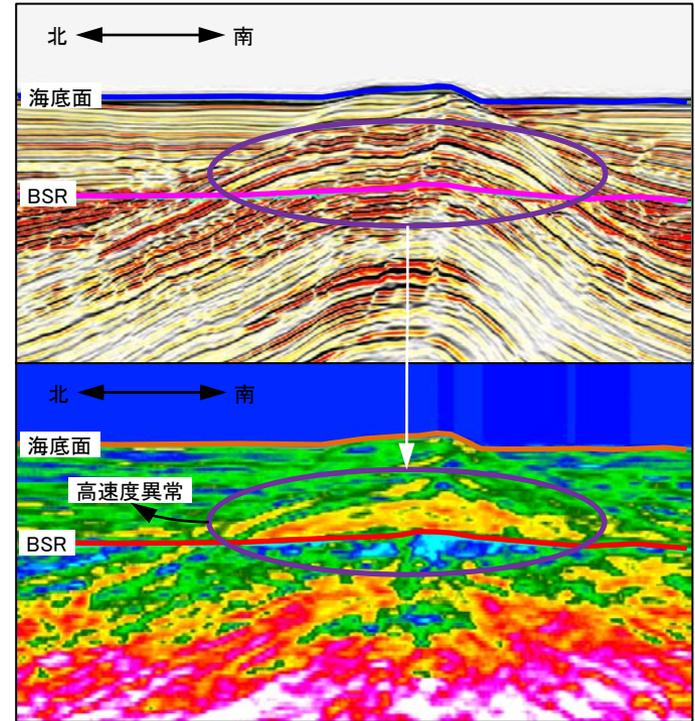
1. 日本周辺海域のメタンハイドレートの賦存状況の評価（砂層型）

- メタンハイドレート濃集帯の分布域推定及び賦存状況の評価作業の一環として、昨年度に引き続き、**宮崎沖、三陸東方・北西海域、能登東方、沖縄海域の3次元地震探査データ**の評価作業を実施。
- 具体的には、地震探査データ上の特徴的な強振幅反射波群及び、これまでに実施した高密度速度解析結果の速度断面上の高速度部に着目し、濃集帯分布の推定作業を実施。
- 昨年度に引き続き、**四国沖の2次元地震探査データ**の再処理及び高密度速度解析結果を用いて、濃集帯分布域の推定作業（特にエリア毎の特性比較）を実施

サイスミックファシス区分

Seismic facies	Reflector amplitude	Reflector configuration	Areal extent	Depositional environment	Interpretation of seismic configuration
Submarine canyon complexes (facies A)	High	Discontinuous to sinuous reflectors and above continuous reflectors.	4.5 km wide, 12 km long	Channel fill deposits and sheet deposits.	
Leveed channel complexes (facies B)	High and low. Internal part of levee typically low.	Single or stacked multi-cycle with a distinctive gull wing shape in cross-section.	11 km wide, 5.8 km long	Channel fill deposits and levee deposits with sediment wave.	
Submarine fan complexes (facies C)	Variable	Continuous parallel high frequency reflectors.	> 2 km	Mid to lower fan sheet turbidite.	
Mass transport complexes (facies D)	Low	Chaotic, hummocky and mounded seismic facies with poor to fair continuity.	> 20 km	Mud-prone debris flows deposited in slope or base of slope.	

濃集帯推定作業の例



2. メタンハイドレートシステムの検討 (砂層型)

●メタンの生成に関する研究

- コア試料のガス分析(メタン同位体)結果(東部南海トラフ) →大半のメタンガスは**微生物起源**。
- 「**メタン生成菌によるメタンガス生成が、どの深度でどのように発生しているか**」という検討課題に注力。

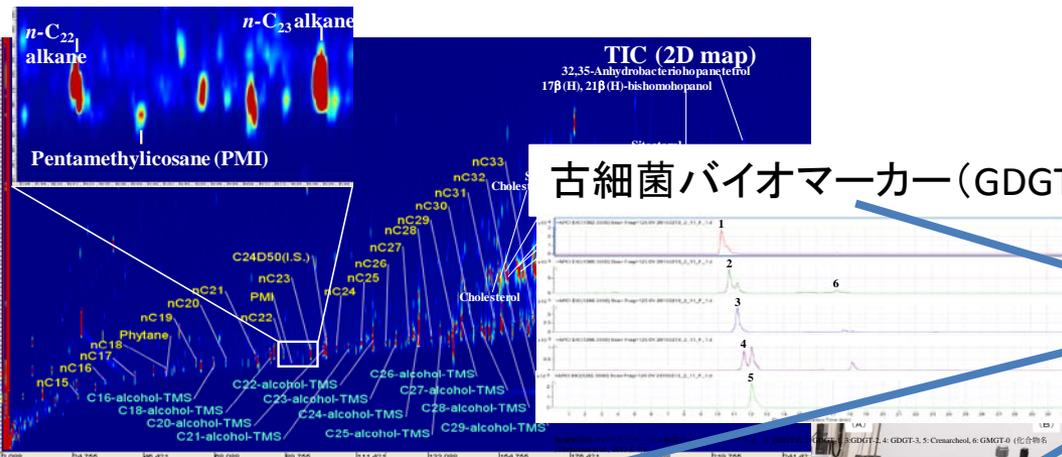
1. コアのバイオマーカー分析(PMI、GDGT)

●昨年度から継続してメタン菌由来のバイオマーカー(生物学的指標)である**ペンタメチルイコサン(PMI)**の分析を行い、これまでの仮説(メタン生成菌の活動がメタハイ濃集帯の深度で活発だった可能性)を支持する結果を得た。また、古細菌に由来するバイオマーカーであるglycerol dialkyl glycerol tetraether (**GDGT**)の分析による仮説の検証を開始した。

2. 微生物学的解析(培養によるメタン生成活性の測定、および遺伝子解析) AISTへの委託

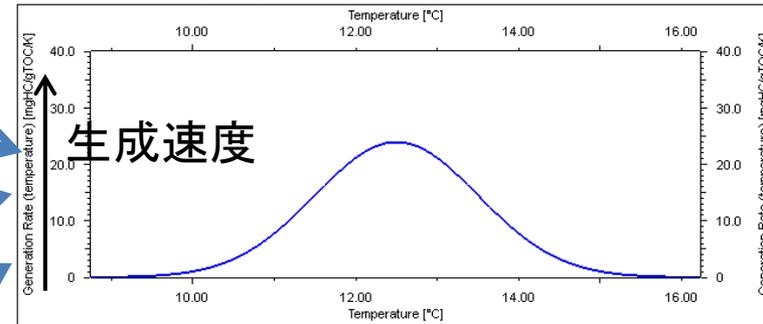
●コア堆積物からメタン生成菌株を単離(純粋培養)し、メタン生成速度の温度、圧力依存性を評価するための取り組みを開始。複数のメタン生成菌株の単利に成功。また、生成速度のデータを取得した。

●これらに基づき微生物によるメタン生成のモデル化(プロトタイプ)を行い、堆積盆シミュレーションへの反映を実施。



メタン生成速度モデルのプロトタイプ

Plot [HI=60 (mgHC/gTOC)]



ペンタメチルイコサン(PMI)

培養実験
(メタン生成速度)

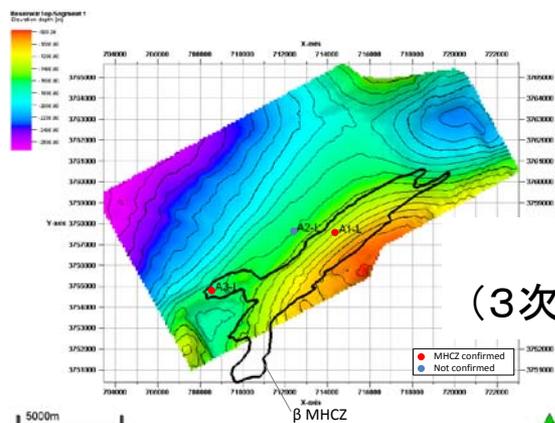


温度

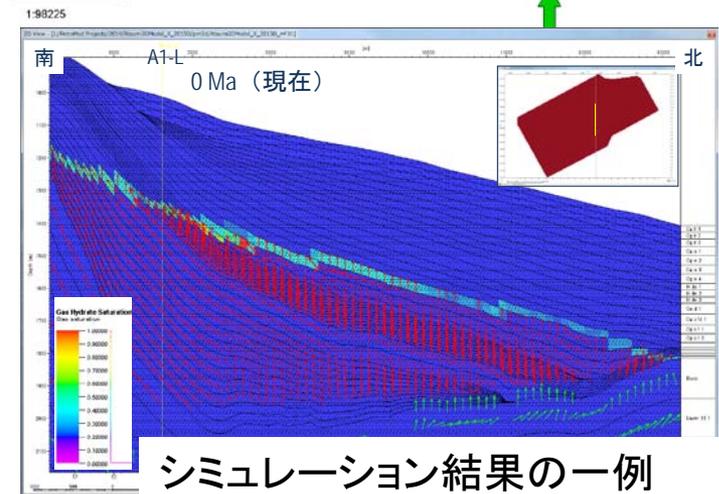
2. メタンハイドレートシステムの検討（砂層型）

●メタンの移動・メタンハイドレートの集積に関する研究

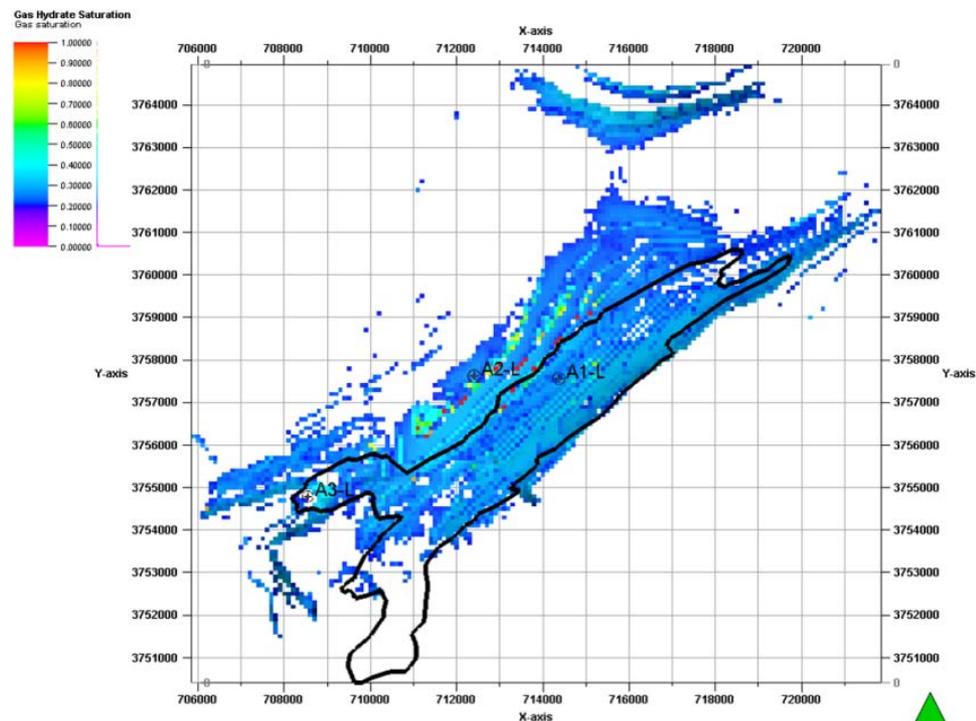
- メタンハイドレートの生成シミュレータ(堆積盆シミュレータ)を用い、3次元的な集積効果を踏まえた第二渥美海丘および東海沖におけるメタンハイドレート濃集帯の形成シミュレーションを実施し、濃集帯形成の規制要因考察を実施。
- これらに基づき、濃集に至るプロセス、濃集に必要な地質条件の考察を実施。



第二渥美海丘
(3次元モデリングエリア)



シミュレーション結果の一例
(A1-L坑井を通る南北方向の断面)。



＜三次元シミュレーションにより
再現されたβ濃集帯＞

各層準のMH飽和率分布を重ね合わせて表示したもの(MH飽和率20%以上の領域を表示している)

1. 日本周辺海域のメタンハイドレートの賦存状況の評価（砂層型）

① メタンハイドレート濃集帯の分布推定及びメタンハイドレート賦存状況の評価

今後の作業見通し

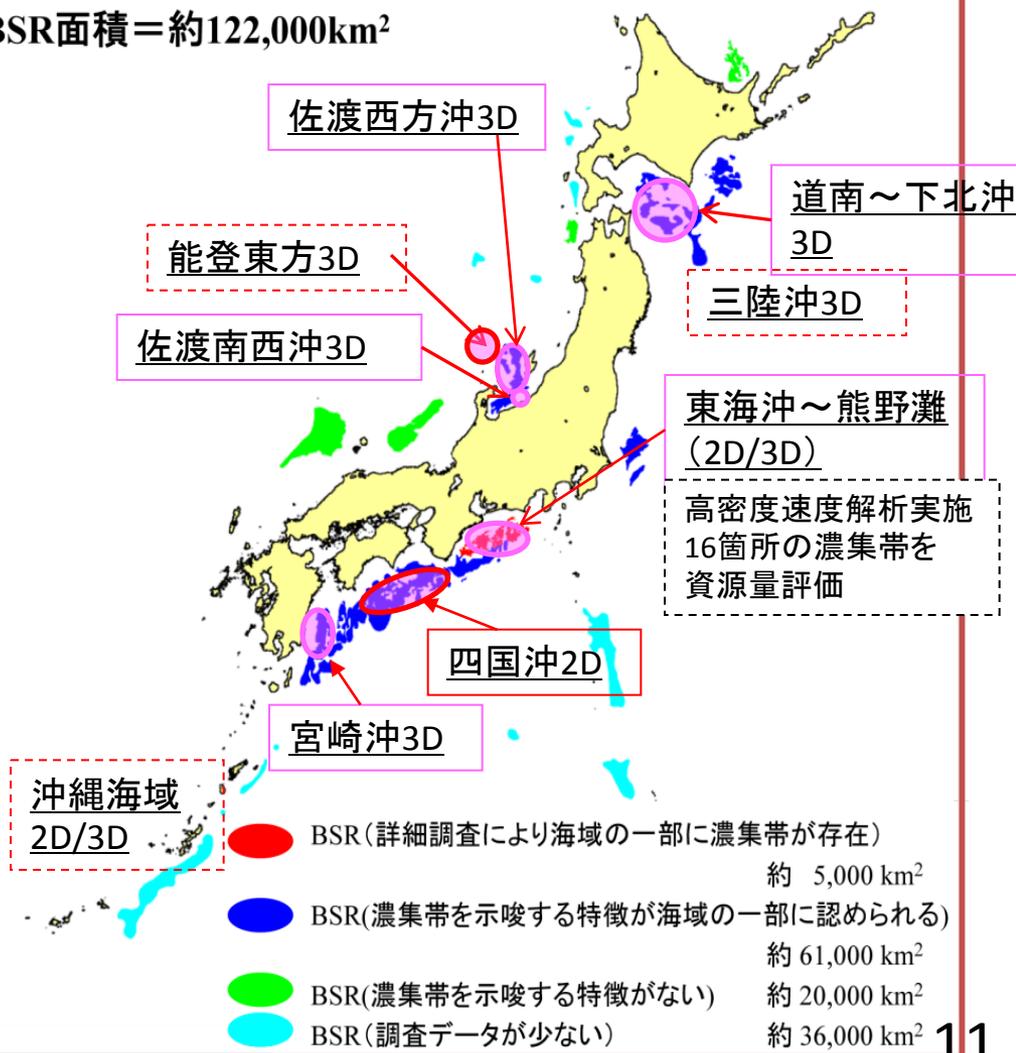
- ・ 沖縄海域などについて、濃集帯の解析・解釈作業を継続するとともに、エリア毎の特性比較を実施する。



- ・ これらフェーズ2で得られた結果を総合解釈して、日本周辺海域のBSR分布図(改訂版)・濃集帯分布図のプロトタイプを作成。
- ・ 資源開発の可能性に重点を置いた総合的な評価結果を提示。

最新のBSR分布図(2009年)

BSR面積=約122,000km²



2. メタンハイドレートシステムの検討（砂層型）

①メタンの生成に関する検討

昨年度までに構築した微生物によるメタン生成モデルのプロトタイプに対して、事前掘削等で得られたコア試料の地化学分析と微生物学的分析の結果から得られたメタン生成量に関するデータを加味して、第1回海洋産出試験実施海域のメタン生成モデルを完成させる

②メタンの移動・メタンハイドレートの集積に関する検討

三次元的な効果を勘案したメタンハイドレート濃集帯の形成シミュレーションを継続し、ハイドレート集積の条件を考察する

③総合解釈

昨年度までに構築した第1回海洋産出試験実施海域（第二渥美海丘）および東海沖の濃集帯形成のモデルをアップデートし、これまでの検討結果および上記の検討結果を総合解釈する。

日本海における表層型メタンハイドレートの調査について

これまでの経緯:

過去の調査により、上越沖などのガスチムニー構造(音響学的ブランキング)をともなう局所的マウンドなどの特異点において、海底下ごく浅層部に塊状メタンハイドレートが確認されてきた。

- 日本海側に賦存が確認されている表層型メタンハイドレートについて、平成25年度から3年程度かけて、資源量把握に向けた本格的な広域調査等を実施予定(平成25年度エネ特予算で約10億円を計上)。
- 平成25年度は、6月8日から約6週間かけ、上越沖、能登半島西方沖の広域地質調査を実施予定。その後、本調査を踏まえ、夏から秋にかけて上越沖で詳細な地質調査等を実施予定。
- 平成26年度には、調査データの分析を踏まえ、表層型メタンハイドレートの試掘も実施予定。

<今後の調査予定海域>



<分布調査手法>



- 自立型巡航探査機(AUV)
母船とのケーブルなしで自力で航行し、自動観測する探査機。海底に接近して探査を行い、非常に高い解像度の海底地形や海底下構造のデータを取得することが可能。

**表層型メタンハイドレートの資源量把握に向けた本格的な調査の実施
(平成25年度～3年程度)**

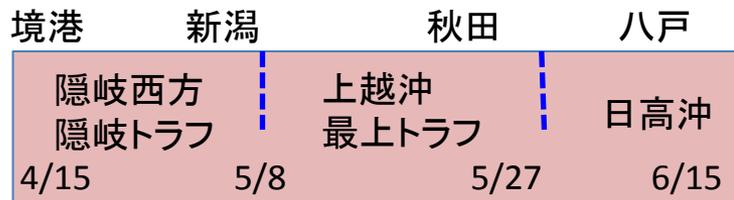
主な調査項目：

これまで6種の海洋調査を実施している。

- ①広域地質調査**
- ②詳細地質調査(AUV)**
- ③掘削同時検層(LWD)**
- ④掘削地質サンプル採取(コアリング)**
- ⑤海洋電磁探査**
- ⑥環境調査**

(③,④,⑤はH26年度から実施。)

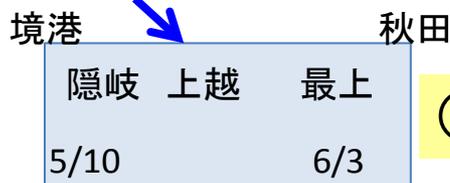
平成26年度 表層型メタンハイドレート調査の流れ



① 広域地質調査



第七開洋丸

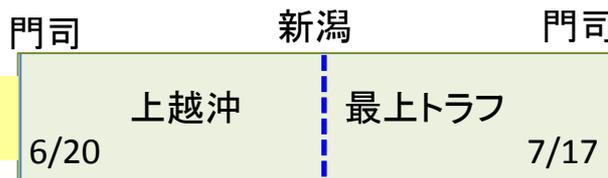


② AUV詳細地質調査



巡航型探査機
ディープワン

③ 浅層掘削LWD



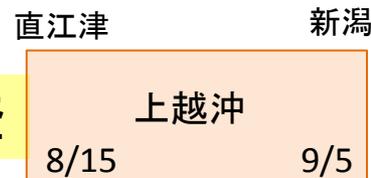
R/V Ragini

④ 掘削・地質サンプル採取

D/V 白嶺



⑤ CSEM電磁探査



電磁探査ユニット

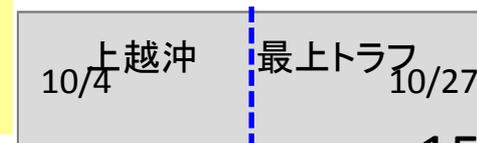


R/V なつしま

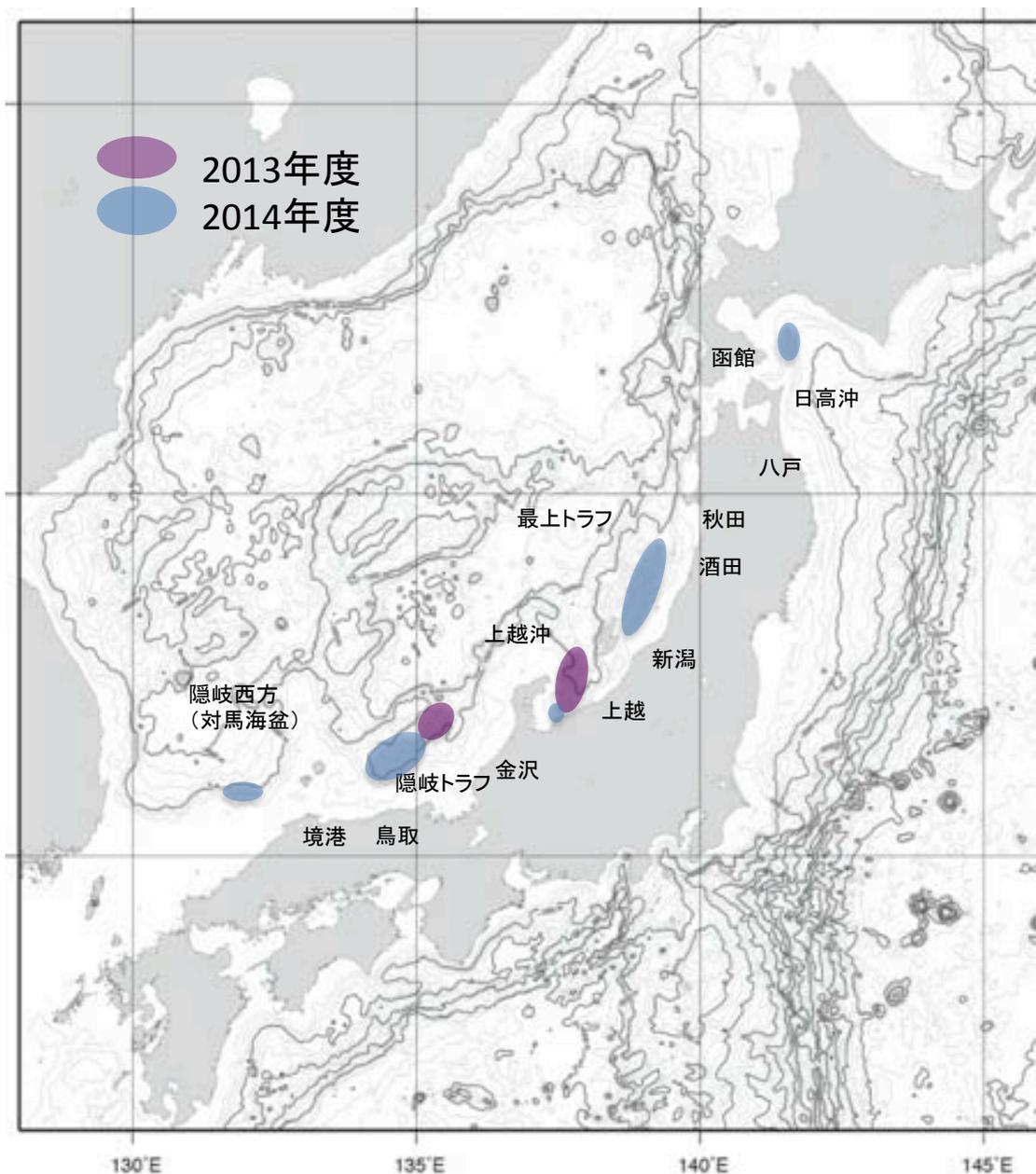


無人探査機
ハイパードルフィン

⑥ ROV海底環境調査



①広域

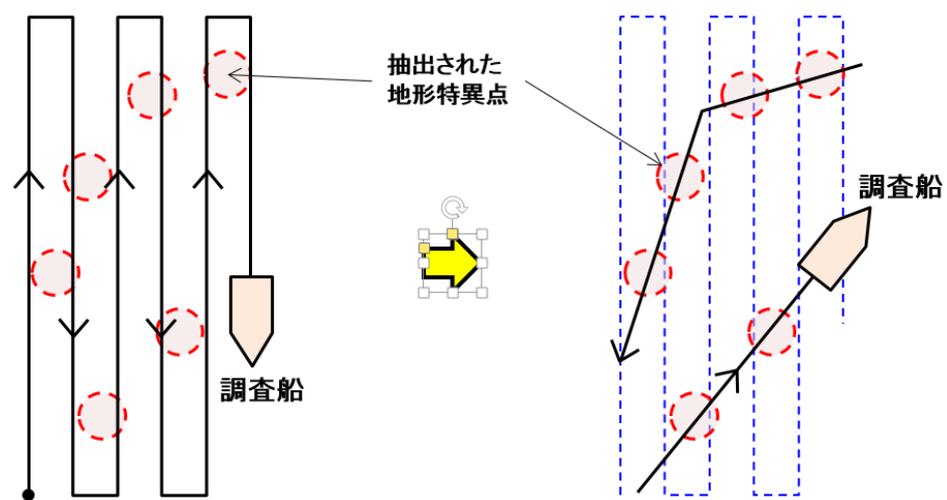
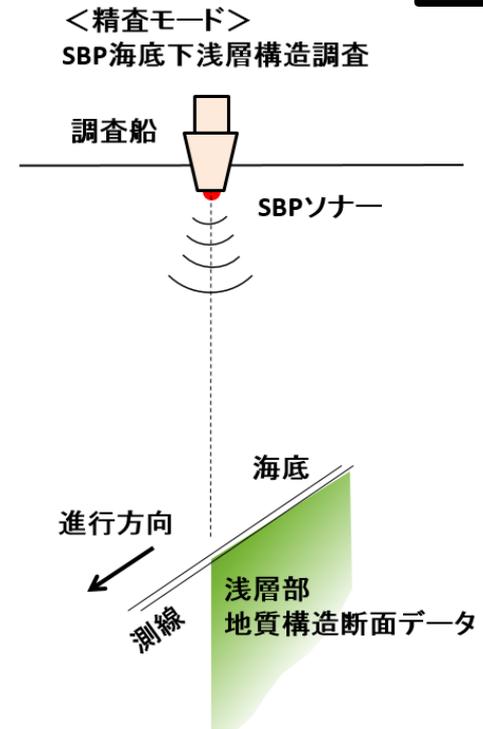
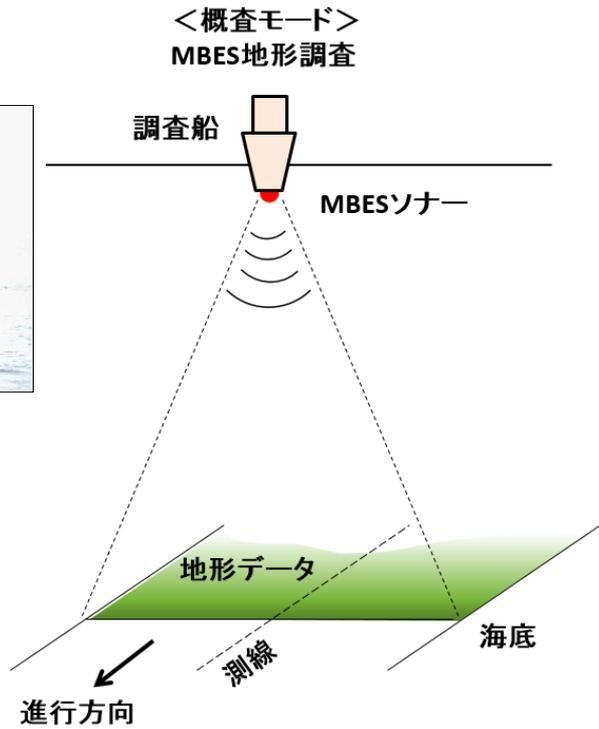


①広域地質調査
調査海域において表層型メタンハイドレートの存在の可能性があるガスチムニー構造(音響学的ブランキング)を持つ特異点の搜索を実施した。

広域地形調査の概念図

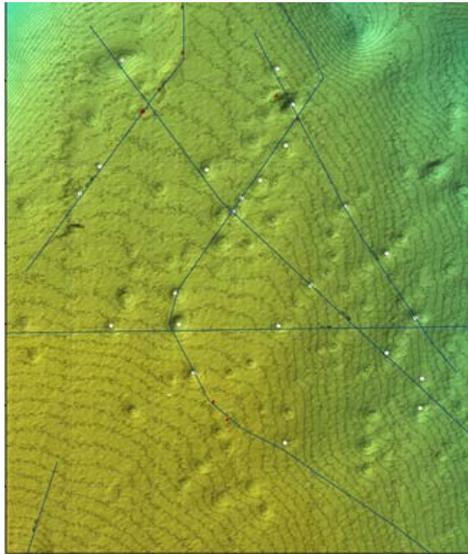
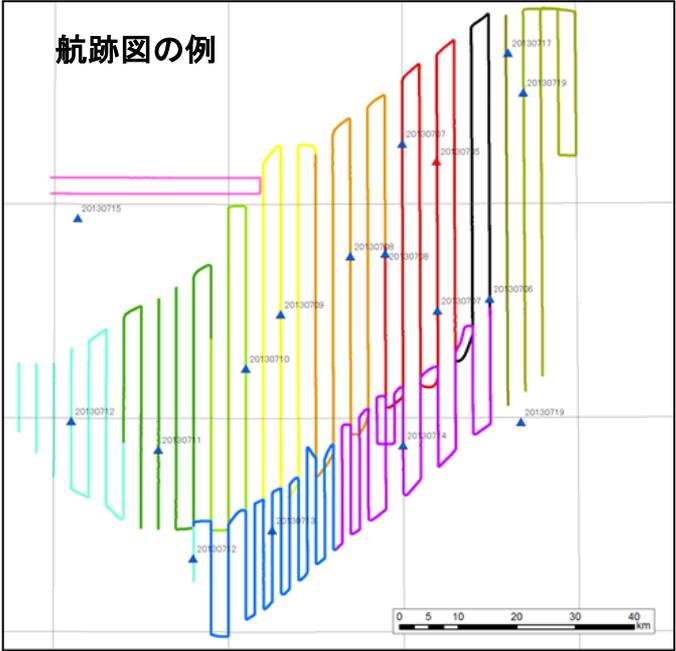


第七海洋丸
(海洋エンジニアリング(株))



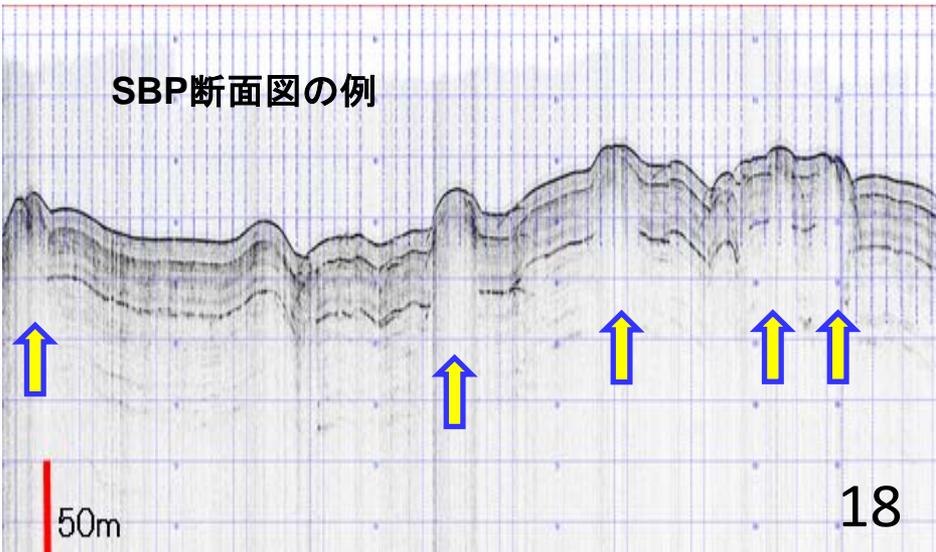
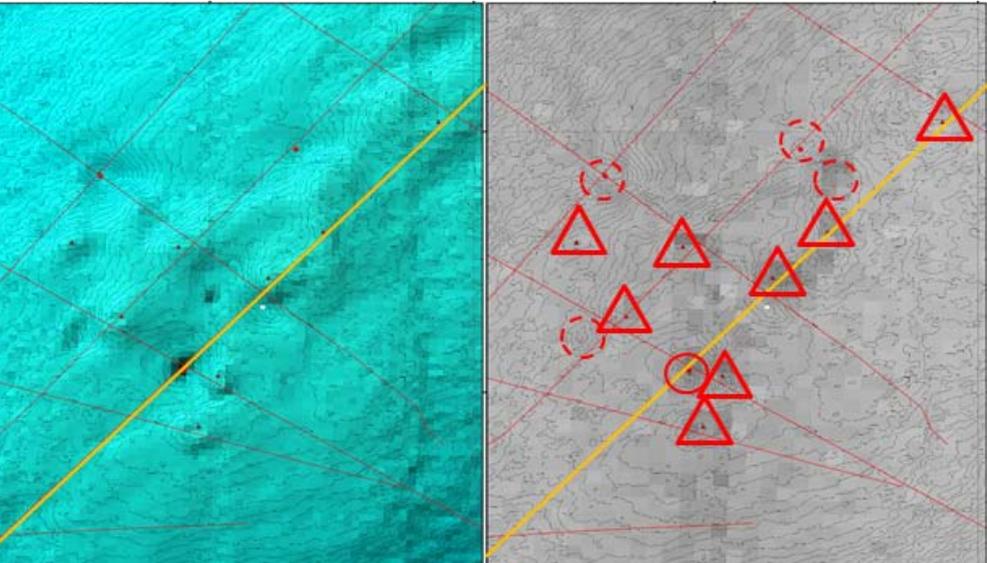
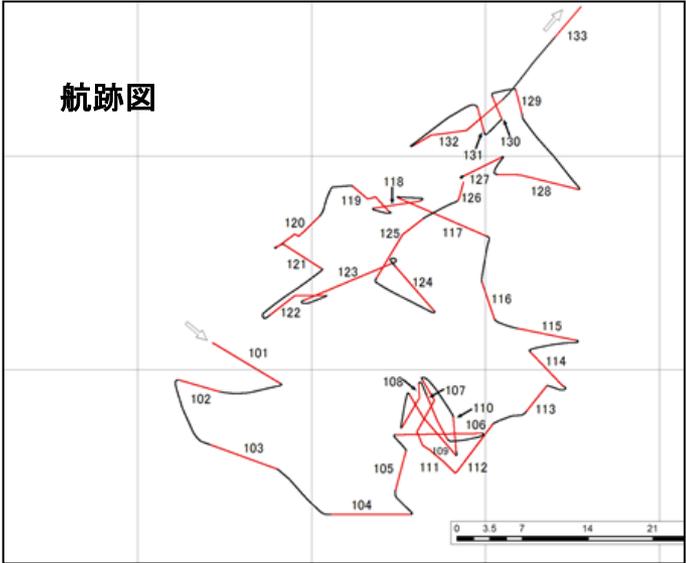
①広域

平成25年度および26年度でガスチムニー構造を持つ特異点を計971箇所で認定



MBESで得られた地形図の例

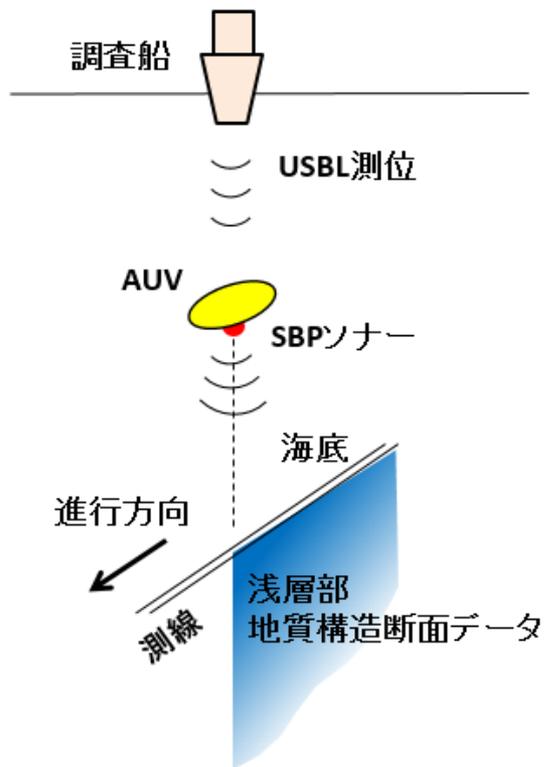
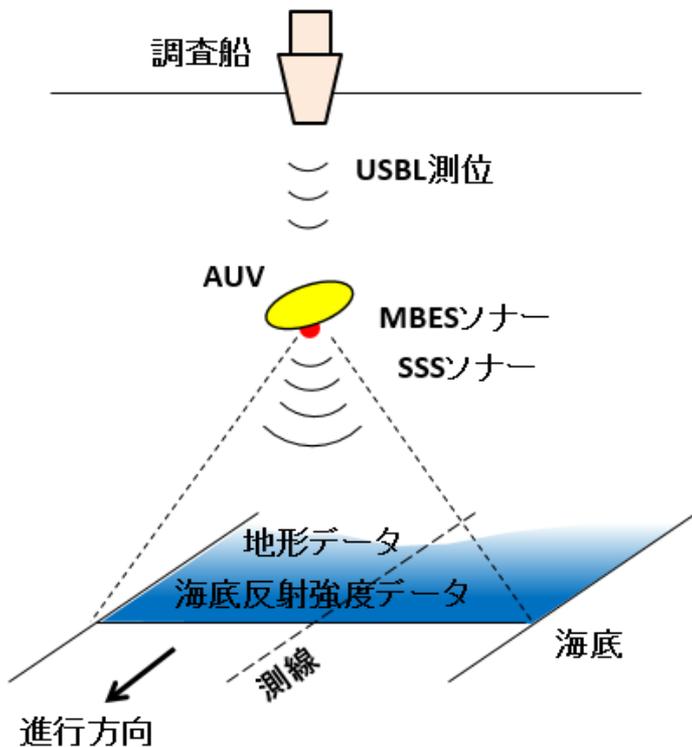
< RV MBES+SBP surveys >



AUV探査の概念図

MBES地形調査および
SSS海底反射強度調査

SBP海底下浅層構造調査

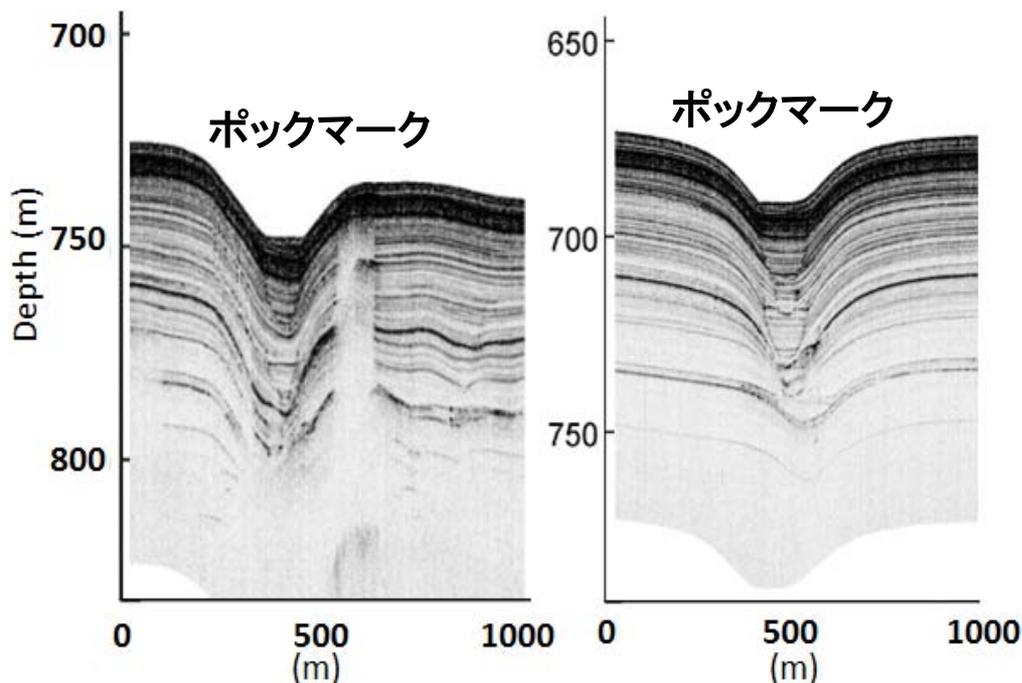


深海丸とAUV「Deep1」
(深田サルベージ建設(株))

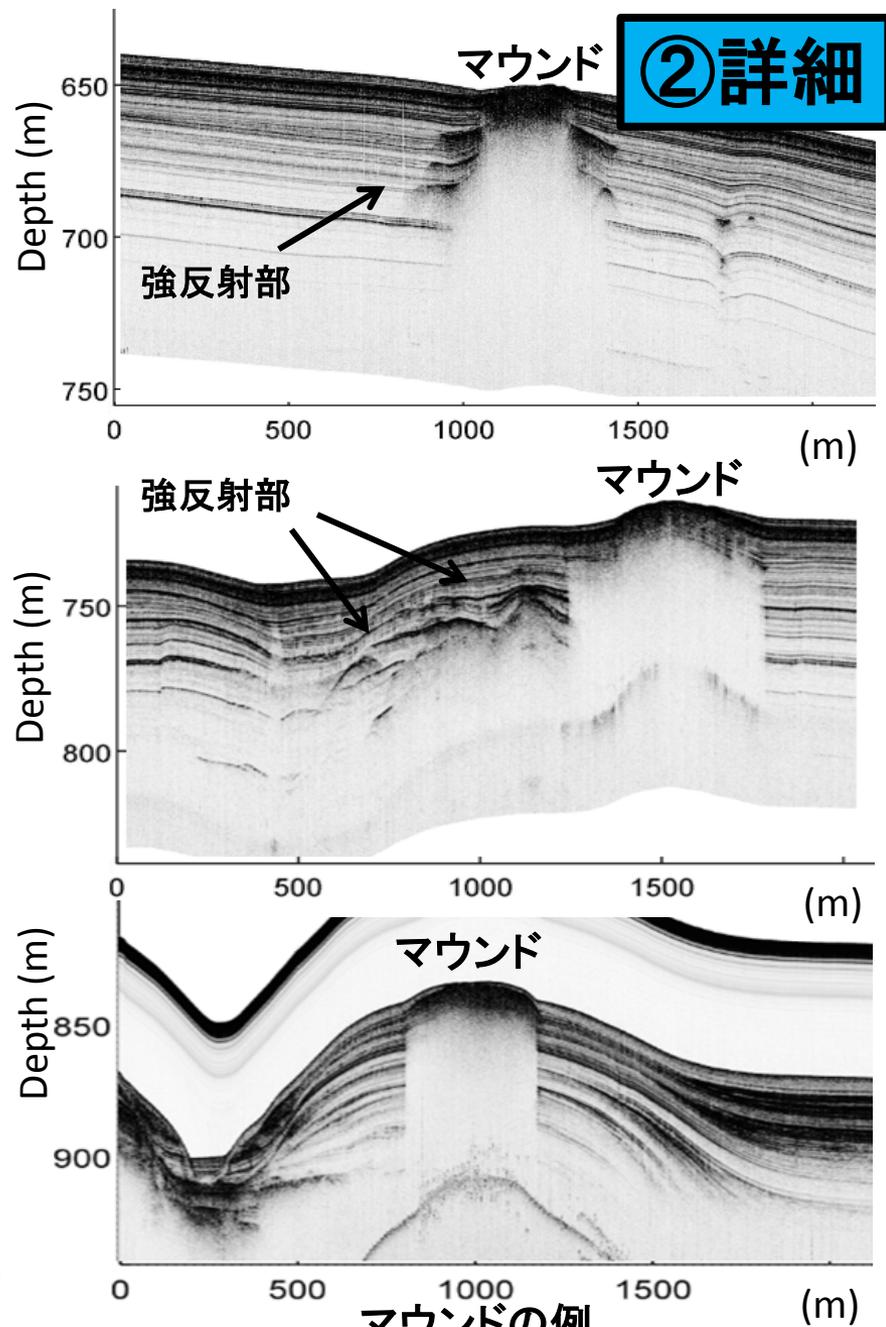
②詳細地質調査(AUV)
AUV(自律型海中探査機)を用いてより詳細な音響探査により、特異点の性状を明らかにした。

<地質構造に見られる特徴>

SBPでは海底下浅層部の詳細な地質構造をとらえた。地形上の特異点(特にマウンド)の多くは強反射レイヤーをとめない、しばしば音響基盤となって下位にガスチムニー構造(ブランキング)を示す。強反射レイヤーが海底に露出している場合はSSSで強反射として認められる。ポックマークは地質構造上、陥没を示すものが顕著である。



ポックマークの例 (隠岐トラフ)



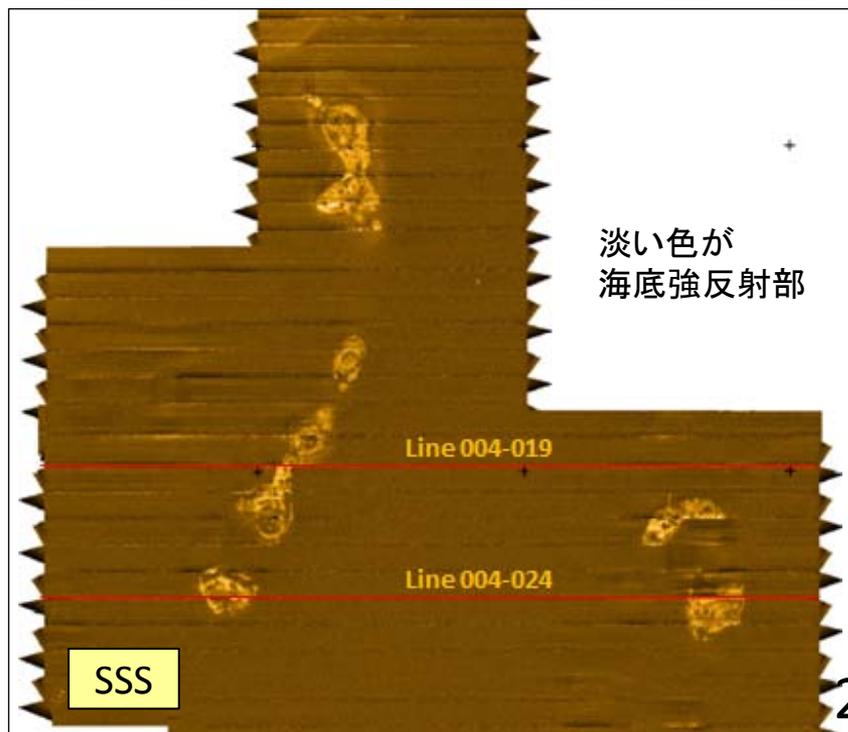
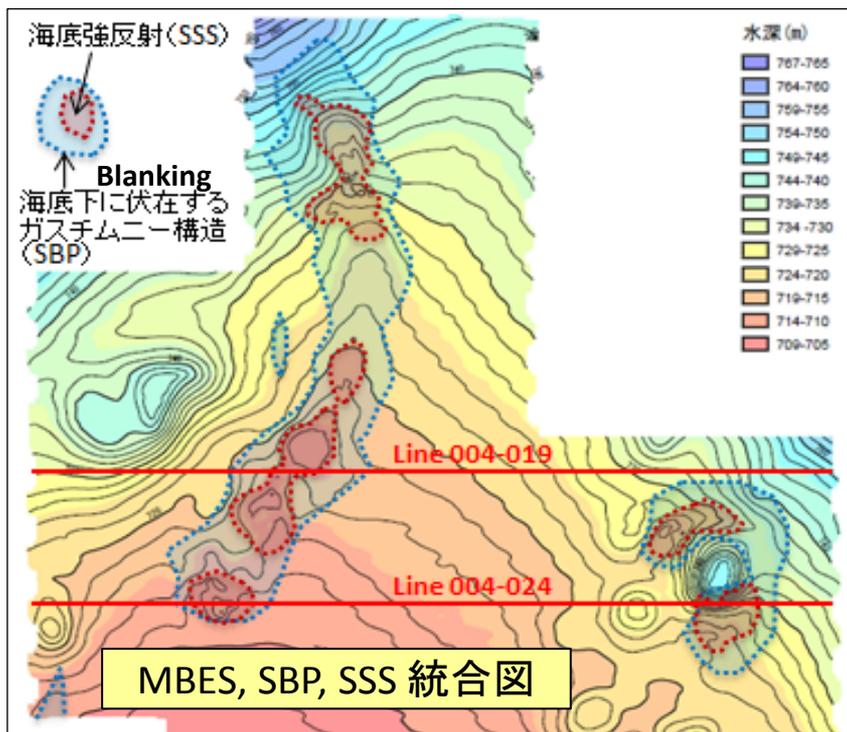
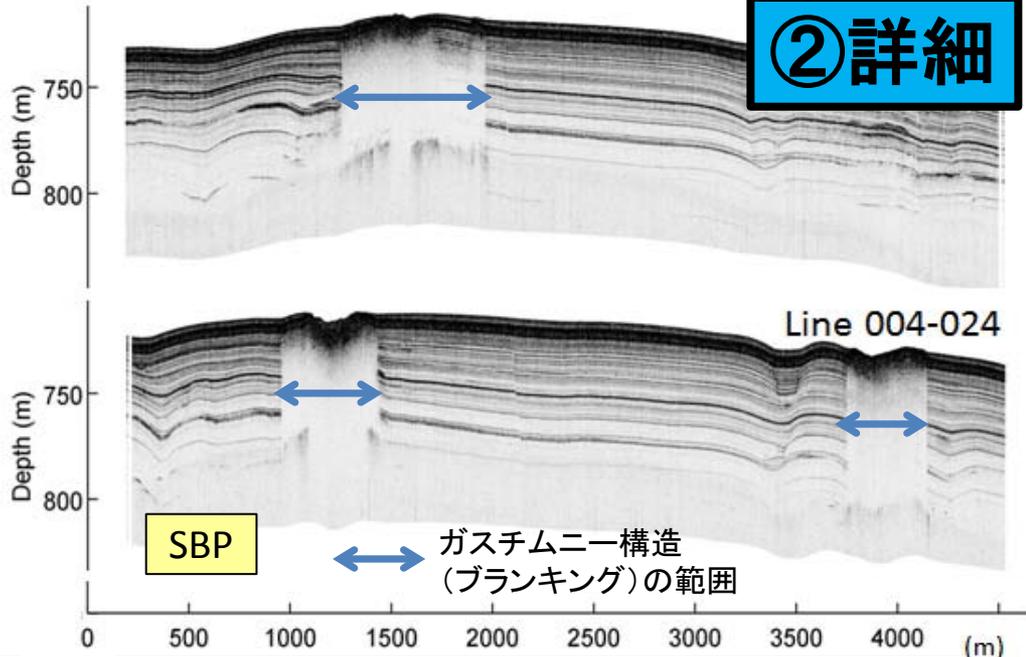
マウンドの例
(上,中:隠岐トラフ; 下:最上トラフ) 20

<音響データの統合>

SSSで観測された海底の強反射は、概してSBPで観測されたガスチムニー構造の分布範囲内に限られる。

図は数珠つなぎとなった海底強反射部が地形では帯状の高まり(リッジ)を形成している例。海底強反射部の中心は凹地(ポックマーク)を形成している箇所が多い。(隠岐トラフ海域より)

②詳細

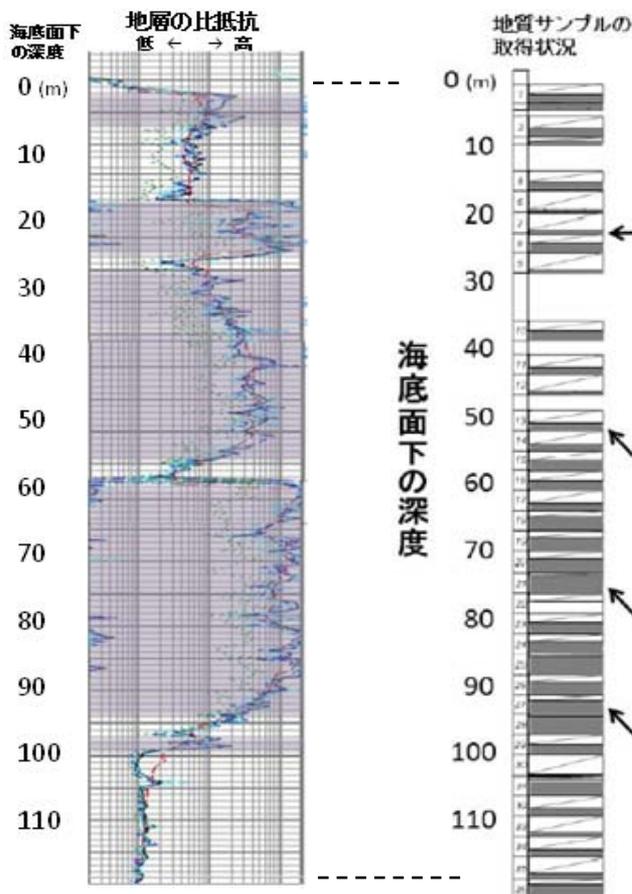


③掘削同時検層

上越沖、秋田・山形沖の11地点において実施。海底下の比抵抗、自然ガンマ線、音波速度などの物理特性を調査し、ガストムニー構造（音響ブランキング）を示す地層内において、表層型メタンハイドレートが濃集している可能性を示した。

③掘削同時検層

LWD比抵抗データ



④掘削コアリングで 採取したサンプルの例



③掘削検層LWD

④掘削地質サンプル採取

＜上越沖のガストムニー構造で取得された厚さ約 1.3m の表層型メタンハイドレート＞



④掘削コアリング

上越沖、秋田・山形沖の3箇所のガストムニー構造で、表層型メタンハイドレートを含む地質サンプルを採取するとともに、メタンハイドレートが塊状、板状、脈状、粒状など、様々な形態で存在することを明らかにした。



コアリングを実施した白嶺

また各掘削サイトにおいて、海底下50m程度までの深度で、厚さ数10cmから1m程度のメタンハイドレートが確認され、それより深いところでは厚さ1cm未満や直径1cm未満のサンプルが採取された。

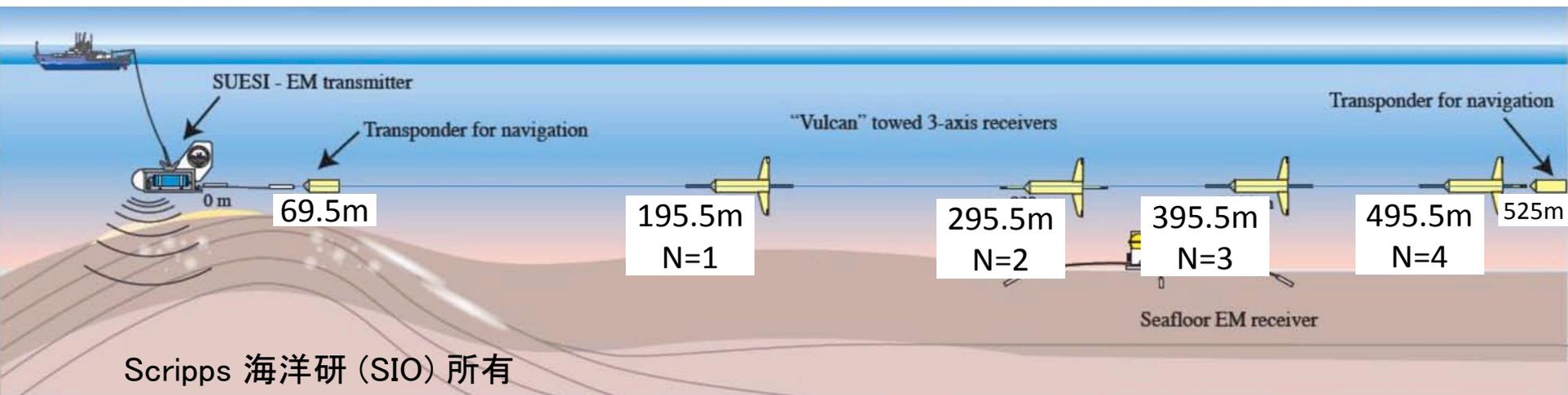
電磁探査システム (Vulcan CSEM)

⑤海洋電磁探査(CSEM)

深海曳航により電流を流し、海底下の電場の変化を記録することにより、ハイドレートなどの高比抵抗物質の分布を明らかにした。

SUESI (送信)

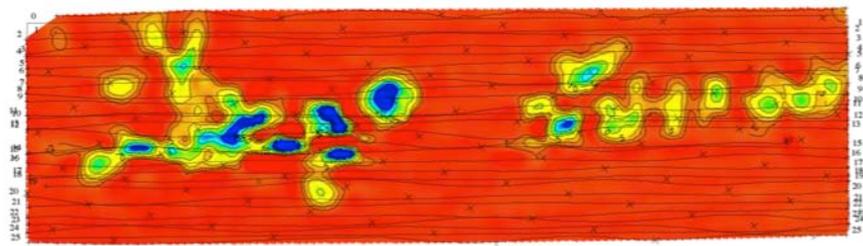
Vulcan(s) (受信)



The Marine EM laboratory at Scripps Institution of Oceanography <http://marineemlab.ucsd.edu/>



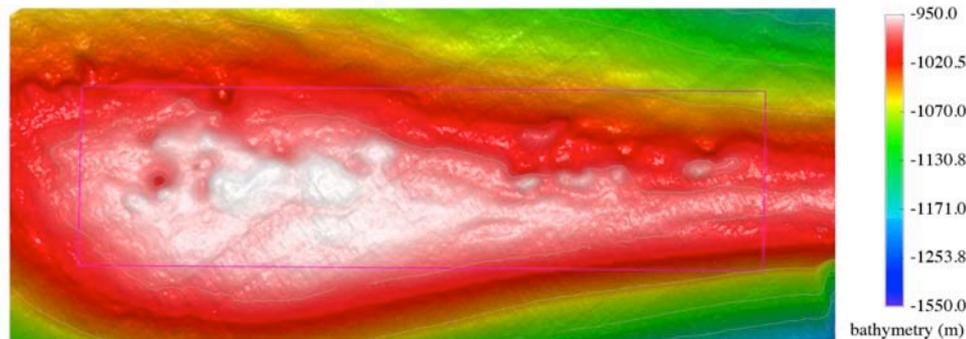
3次元逆解析結果
海底下45m 平面



低 比抵抗 高

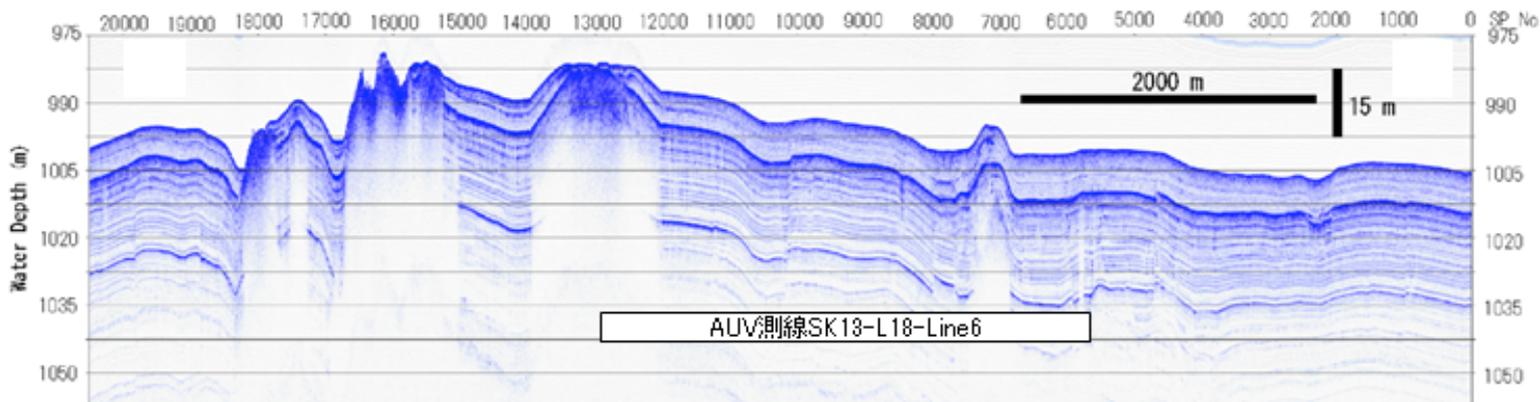
NOT TO SCALE

海底地形



NOT TO SCALE

bathymetry (m)



AUV測線SK13-L18-Line6



擬似比抵抗断面 (11Hz, MOSEM 測線15)



3次元逆解析断面 (測線 15)



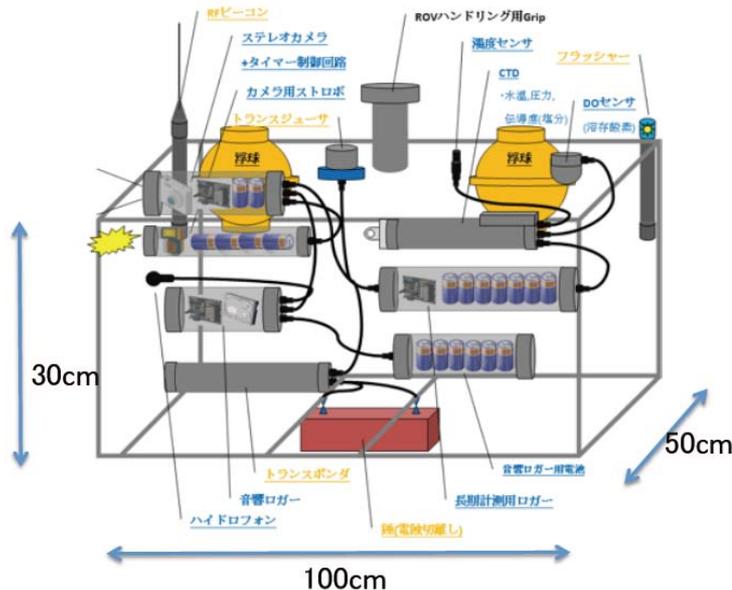
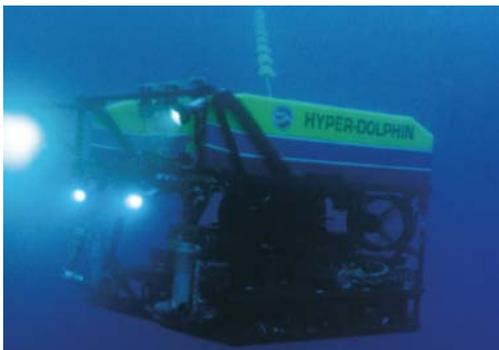
3次元逆解析断面 (測線 14)

NOT TO SCALE

青: 高比抵抗、赤: 低比抵抗

環境調査 (ROV探査・長期モニタリング)

⑥環境



⑥環境調査 (ROV)
 ROV (遠隔操作ビークル) による海底観察ならびに調査作業、さらに長期環境モニタリング装置の設置による観測や試料採取などを実施した。

なつしまとROV「ハイパードルフィン」
 (海洋研究開発機構)

海鷹海脚
 ハイドレートの壁



透明感のあるピュアな
 メタンハイドレート層

海底から立ち上がる
 メタンガスの気泡



ともに
 YouTubeから
 (METI投稿)

新たな海洋基本計画を受け、平成25年度から表層型メタンハイドレートの集中的な広域分布調査として、平成26年度までに主に6種の調査を実施した。

1) 広域地質調査の結果として、2年間でハイドレート胚胎の可能性を示唆するガスチムニー構造(音響ブランキング)を持った特異点を971箇所で認定した。

2) 詳細地質調査として、AUV音響探査によりマウンドなど地形特異点における海底および海底下の強反射部とガスチムニー構造との関係を明らかにした。

3) 掘削同時検層(LWD)を実施し、ガスチムニー構造を示す海底下においてハイドレートを示唆する低ガンマ線および高比抵抗の層準を確認した。

4) 掘削サンプリング浅層部においてメタンハイドレートを採取した。塊上、板状、脈状、粒状などの形態で産することを確認した。

5) 海洋電磁探査を実施し、三次元逆解析により、海底下およそ浅層部に高比抵抗部を観測した。おおよそがSBPの音響ブランキングに対比される。

6) 環境調査として、ROVを用いた海底潜航調査と長期環境モニタリングシステムの設置などを実施した。