

# メタンハイドレートフォーラム 2013

## 第1回海洋産出試験に至るまでの経緯

2014/1/24 11:10-11:40

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC)

佐伯龍男

(MH21サブプロジェクトリーダー)

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

# メタンハイドレート研究小史(MH開発計画が始まるまで)

海外

1930年代

シベリアのパイプライン閉塞事故等に関する研究

人的影響によるメタンハイドレートの生成を確認

1960年代

シベリアの永久凍土地域における天然のメタンハイドレートについての研究

天然のメタンハイドレートの存在が認識される

1970年代

米国フロリダ沖におけるメタンハイドレートの研究

海洋におけるメタンハイドレートの確認

1988年

地球上のメタンハイドレートの総量が約 $10^{16}m^3$ のメタンガスに相当すると試算される(注)

注:上記は、Makogon(1988)とKvenvolden(1988)による試算の一例。ただし、総量であって、資源開発可能な量を試算したものではない。

国内

1980年

南海トラフ周辺海域のBSRを確認  
日本周辺海域のメタンハイドレートが認識されはじめる

1989年,1990年

2箇所(奥尻海嶺・四国沖)でメタンハイドレートのサンプルを回収

学術研究から、資源開発のための研究へ

1990年代前半

松本ほか(1994)  
「メタンハイドレート  
21世紀の  
巨大天然ガス資源」  
研究活動が活発に...

1995~2000年

石油公団と民間10社による特別研究「メタンハイドレート開発技術」を実施

資源開発のための研究の着手

1999~2000年

基礎試錐「南海トラフ」を掘削  
メタンハイドレートのコアを回収

2001年

経済産業省による「メタンハイドレート開発計画」発表

海外

1930年代

シベリアのパイプライン閉塞事故等に関する研究

人的影響によるメタンハイドレートの生成を確認

1960年代

シベリアの永久凍土地域における天然のメタンハイドレートについての研究

天然のメタンハイドレートの存在が認識される

1970年代

米国フロリダ沖におけるメタンハイドレートの研究

海洋におけるメタンハイドレートの確認

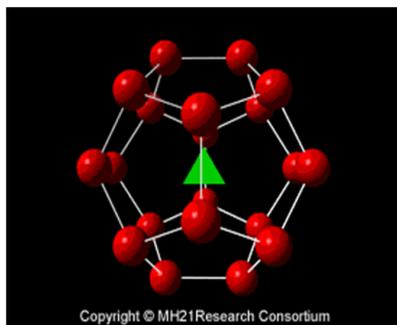
1988年

地球上のメタンハイドレートの総量が約 $10^{16}m^3$ のメタンガスに相当すると試算される(注)

注: 上記は、Makogon(1988)とKvenvolden(1988)による試算の一例。ただし、総量であって、資源開発可能な量を試算したものではない。

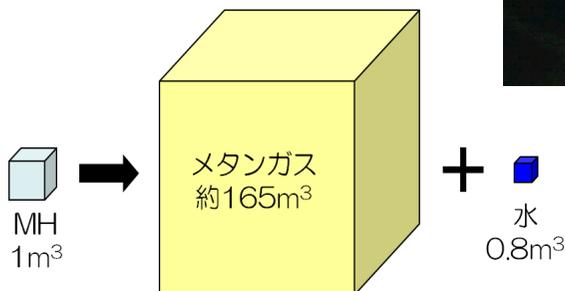
低温高圧の条件下で、メタンと水から、メタンハイドレートという物質が生成される

メタンハイドレート(MH)の分子構造



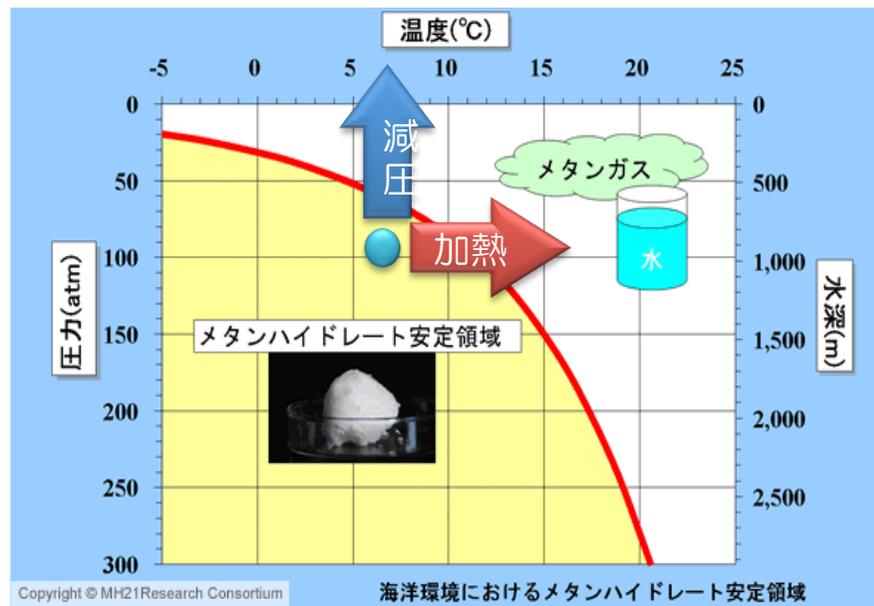
緑: メタン分子  
赤: 水分子

人工MHの燃焼実験



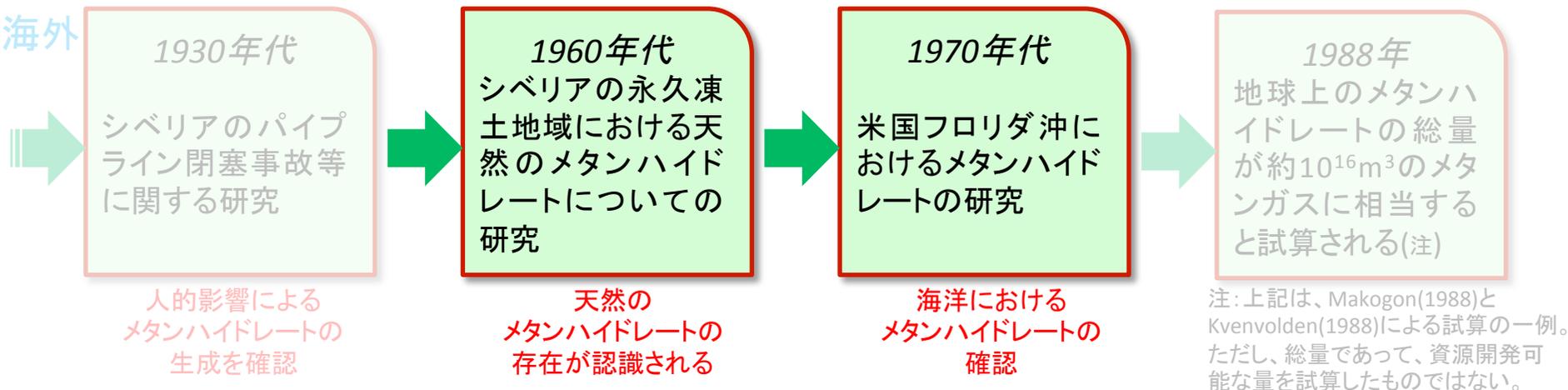
MH1m<sup>3</sup>には、約160-170倍の体積のメタンガスが含まれる

MHは低温高圧で安定な物質  
(例: 1気圧下で-80°C以下、0°Cでは23気圧以上)

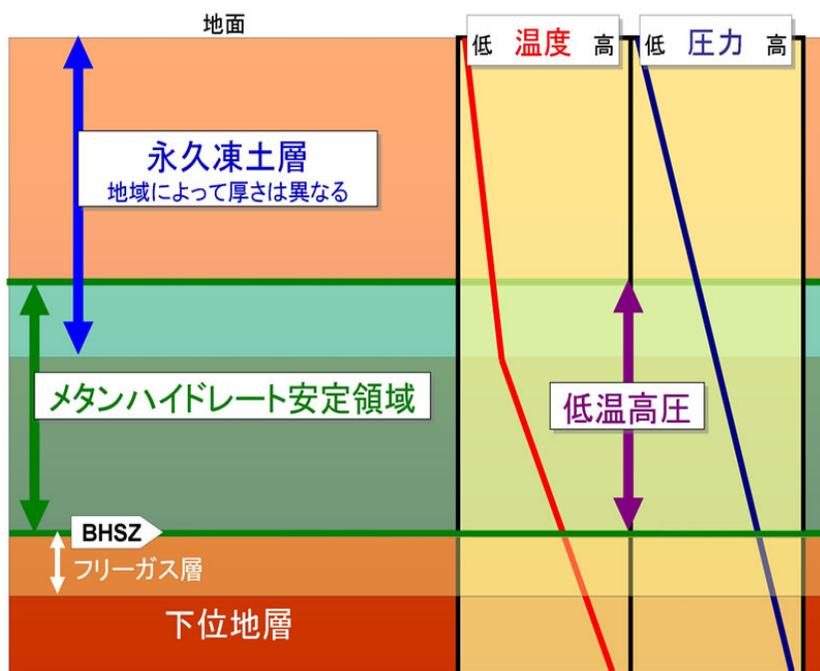


画像出典: メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム

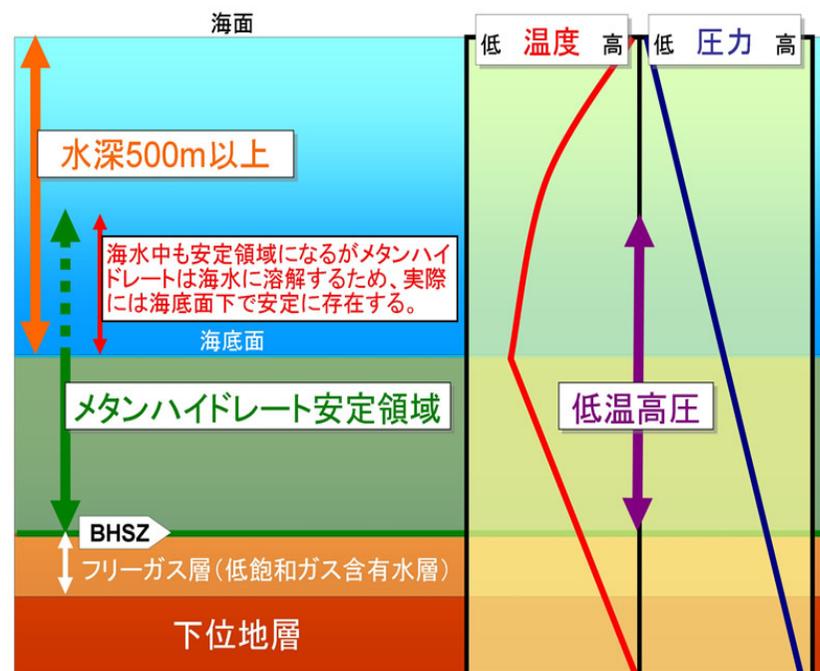
海外



・低温高圧の条件下で、メタンと水から、メタンハイドレートという物質が生成される  
▶天然のメタンハイドレートが、永久凍土地域と大水深海域に存在している

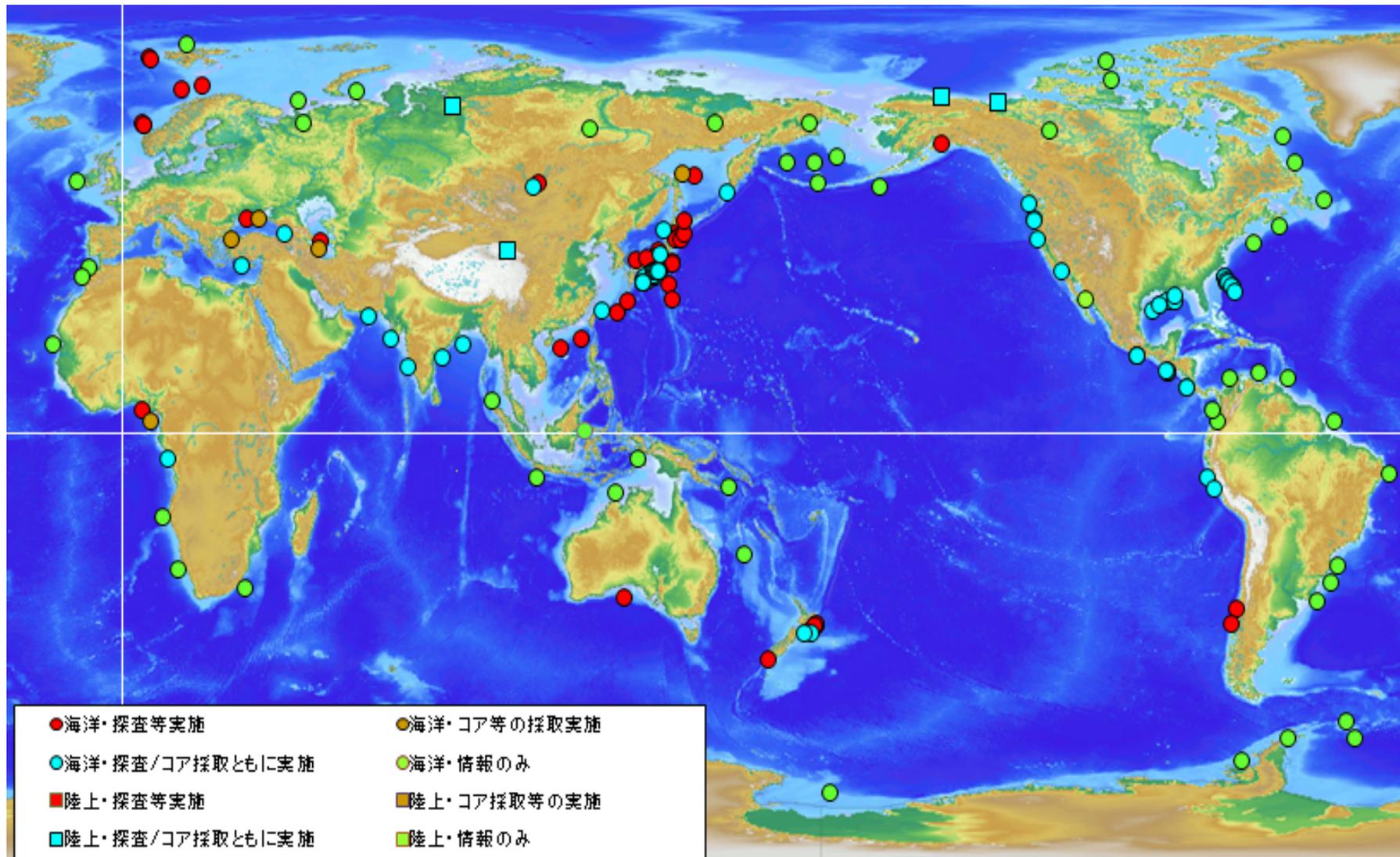


カナダ北西準州マリックスサイトの環境を例としたモデル



東南海トラフの環境を例としたモデル

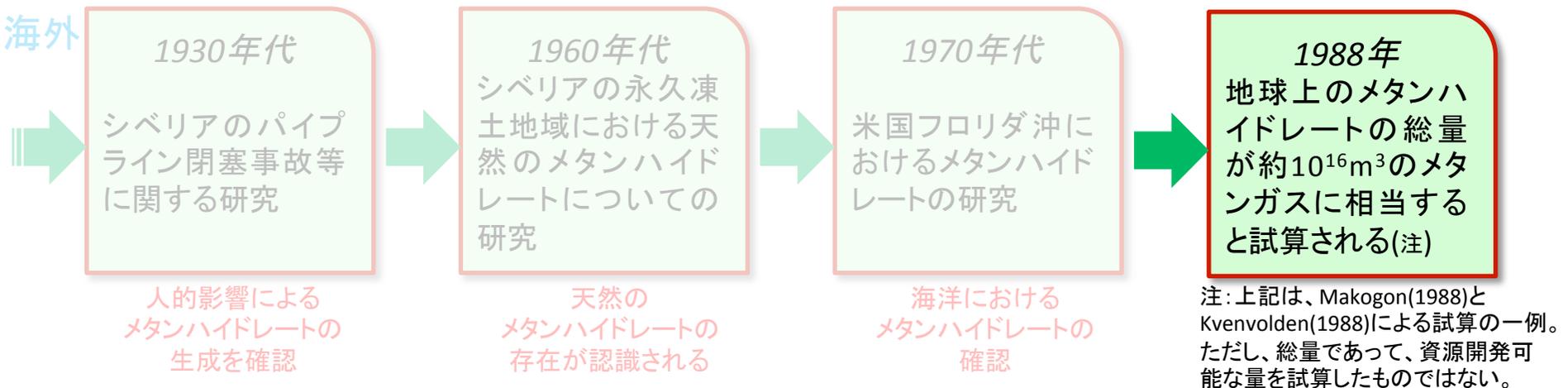
# 世界のメタンハイドレート分布予想



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

- MHが陸上で安定する場所は、永久凍土層が発達している地域の地層(1000m程度まで)
- MHが海洋で安定する場所は、水深500m以深の海底面下の地層(数百m程度まで)
- 日本では、海洋にのみ存在

海外



- ・低温高圧の条件下で、メタンと水から、メタンハイドレートという物質が生成される
- ・天然のメタンハイドレートが、永久凍土地域と大水深海域に存在している

➡地球上には、膨大な量のメタンハイドレートが存在している

地球上のメタンハイドレートの総量は、Makogon(1988)やKvenvolden(1988)の約 $10^{16}m^3$ 以外にもBoswell & Collett (2006)の100,000tcf(≒約 $3 \times 10^{15}m^3$ )やJohnson(2011)の43,311 tcf(≒約 $1 \times 10^{15}m^3$ )などの試算があり、 $10^{15} \sim 10^{16}m^3$ (1000兆~1京 $m^3$ )と幅のある数値になっている(注:いずれも天然ガスに換算した量)。ただし、そのうち、何割が資源開発対象となり、かつ、何割が技術的に回収可能かはわかっていない。たとえば、Boswell&Collett(2006)は、大水深域の砂層充填型MHの総量は、全体から2桁小さい数字(数十兆 $m^3$ か、それより多い程度)と試算している。

一方、世界の天然ガス資源量(技術的回収可能量)として、在来型404.4兆 $m^3$ 、非在来型230.3兆 $m^3$ といった試算(伊原2011)があることから...

- ・地球上のメタンハイドレートについては、膨大な量が試算されている
- ・ただし、それらすべてのメタンハイドレートが資源として利用できるわけではない
- ・また、研究開発段階である現時点では資源開発可能な量はゼロといってよい、が...
- ・回収可能な技術が確立できた場合には、非在来型ガス等と比肩する量となる可能性を秘めている

# 国内におけるメタンハイドレート研究のはじまり

(学術研究から、資源開発のための研究へ)

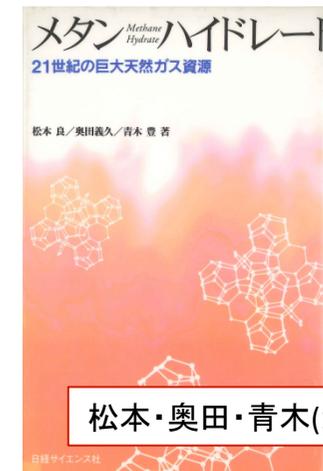
1980年  
南海トラフ周辺海域のBSRを確認  
日本周辺海域のメタンハイドレートが認識されはじめる



1989年,1990年  
2箇所の科学掘削(奥尻海嶺・四国沖)でメタンハイドレートのサンプルを回収

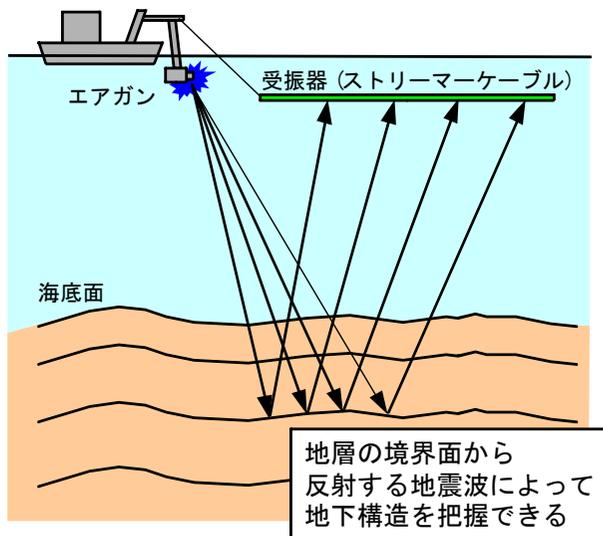


1990年代前半  
松本ほか(1994)  
「メタンハイドレート  
21世紀の  
巨大天然ガス資源」  
研究活動が活発に...



松本・奥田・青木(1994)

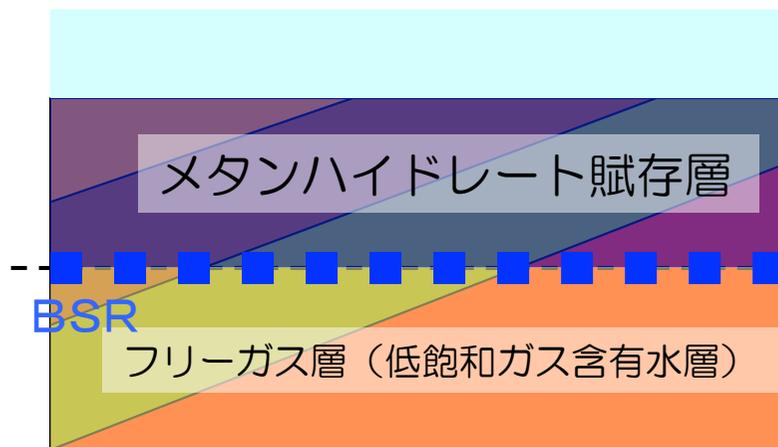
## 反射法地震探査の原理



## BSR (Bottom Simulating Reflector)

=海底擬似反射面

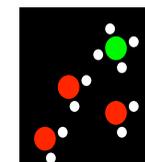
=メタンハイドレートの基底からの反射面



低温・高圧下で  
メタン  
ハイドレート



安定領域  
の下限



メタンと水  
として存在

- 青木・玉野(1980)が地震学会でBSRが確認できる日本周辺の地震探査データを紹介
- 科学掘削プログラム(奥尻海嶺[1989]・四国沖[1990])でMHを含むコアが回収される
- 松本・奥田・青木(1994)の出版で、MHの認識がさらに広まる

これらを受けて、日本国内において、MHの資源開発の可能性を検討する気運が高まっていった

# メタンハイドレートの資源開発の可能性検討に着手



- 1995~2000年に、石油公団と民間10社(\*)によって、特別研究「メタンハイドレート開発技術」が実施

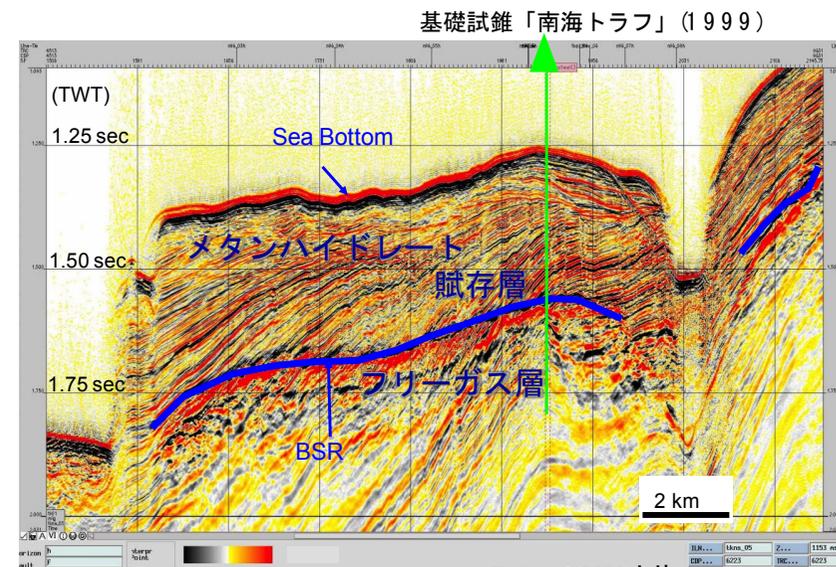
\*: 石油資源開発(株)・帝国石油(株)・東京ガス(株)・大阪ガス(株)・日本海洋掘削(株)  
(株)テルナイト・電源開発(株)・AOCエネルギー開発(株)・インドネシア石油(株)・東邦ガス(株)

- 基礎物性、地質・地化学探査技術、物理探査技術、掘削技術、生産技術等に係わる研究開発を実施

→ 日本周辺のBSR分布図(1999年版)の作成や  
圧力コアツール(PTCS)の開発

→ 平成9年度(1998年)カナダ・マッケンジーデルタに  
おける実証井の掘削(日加米共同)

→ 平成11年度(1999~2000年)の  
基礎試錐「南海トラフ」の掘削に貢献  
BSR上位の砂層にMHの賦存を確認  
PTCSによりハイドレートコアを回収



Tsuji, et al. (2004) より

# メタンハイドレート開発計画に基づく研究開発の開始

□非在来型天然ガス資源のひとつであるMHは、我が国周辺海域に相当量の賦存が見込まれており、我が国のエネルギー安定供給に貢献する新たな国産エネルギー資源として期待。

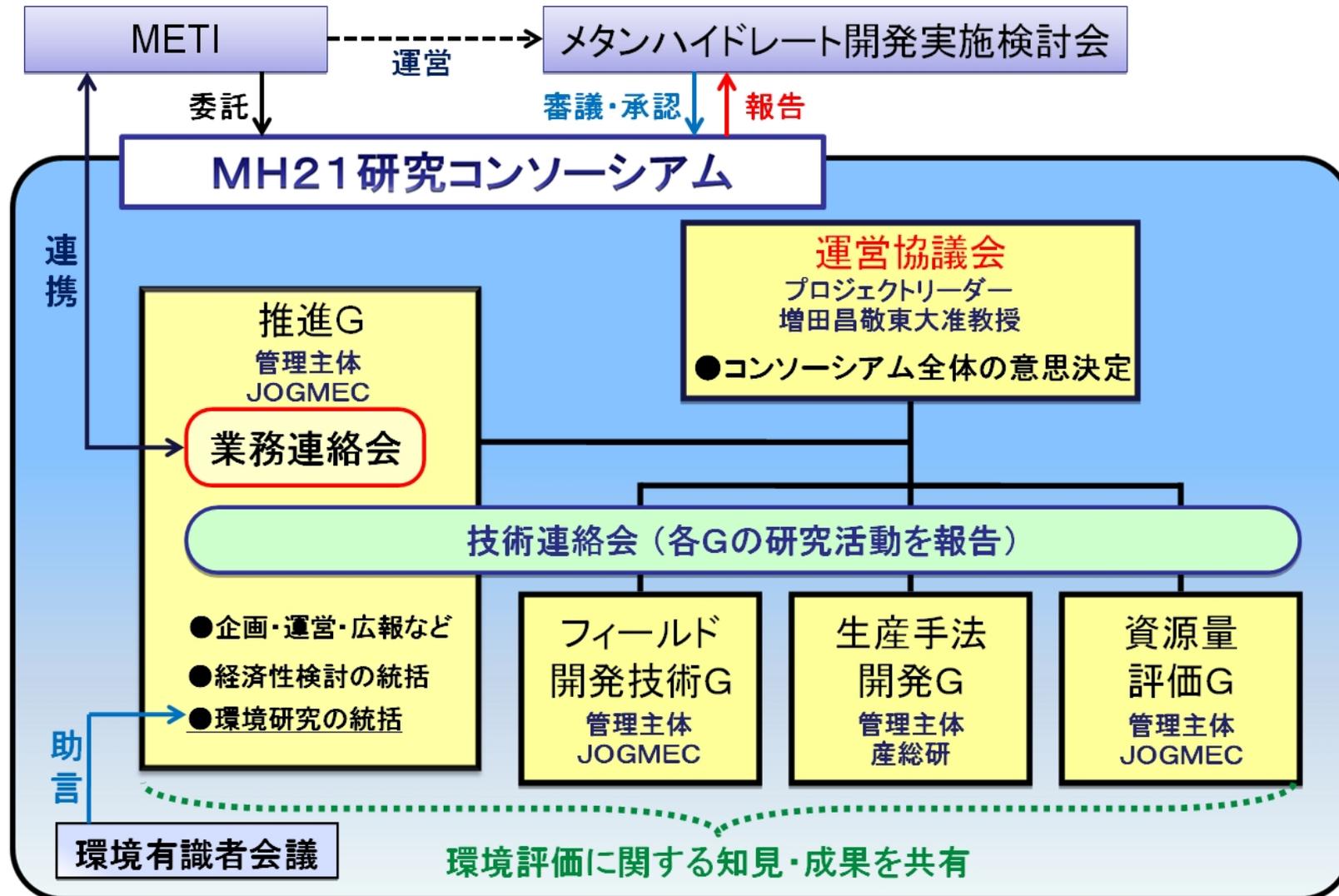
□平成13年度(2001年度)に、経済産業省は「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」を発表。

□「開発計画」の目標を達成するために、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム(略称:MH21研究コンソーシアム)が組織された。

## 【「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」の目標】

1. 日本周辺海域におけるメタンハイドレートの賦存状況と特性の明確化
2. 有望メタンハイドレート賦存海域のメタンガス賦存量の推定
3. 有望賦存海域からメタンハイドレート資源フィールドの選択、並びにその経済性の検討
4. 選択されたメタンハイドレート資源フィールドでの海洋産出試験の実施
5. 商業的産出のための技術の整備
6. 環境保全に配慮した開発システムの確立

# 現在(フェーズ2)のMH研究の実施体制



- 内容が多岐にわたるため、研究課題の一部については、JOGMEC・産総研から、各研究機関・大学・企業等に委託。
- 環境に関する研究については、フェーズ1(2001~2008)では、環境影響評価G(管理主体:エンジニア振興協会)が統括。フェーズ2からは、推進G内の環境影響評価チームが統括し、各Gの環境関連研究と横断的に研究を進めている。

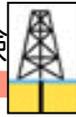
# 研究開発の流れ

## フェーズ1 (海洋産出試験に向けた研究)

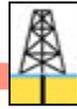
2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008年度

メタンハイドレートの  
開発生産は可能か？

第1回  
陸上産出試験  
於カナダ  
永久凍土地域



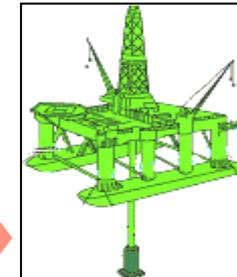
第2回  
陸上産出試験  
於カナダ  
永久凍土地域



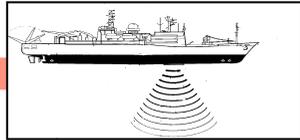
永久凍土地域に  
おける生産手法  
の研究開発

## フェーズ2

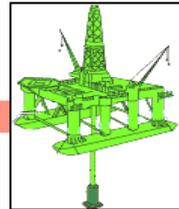
2009年度～



メタンハイドレートの  
開発対象は存在するのか？



二次元・三次元  
地震探査



基礎試錐  
「東海沖～熊野灘」

メタンハイドレート  
賦存海域(東部南海ト  
ラフ)における資源量  
調査

海洋産出試験

## フェーズ3

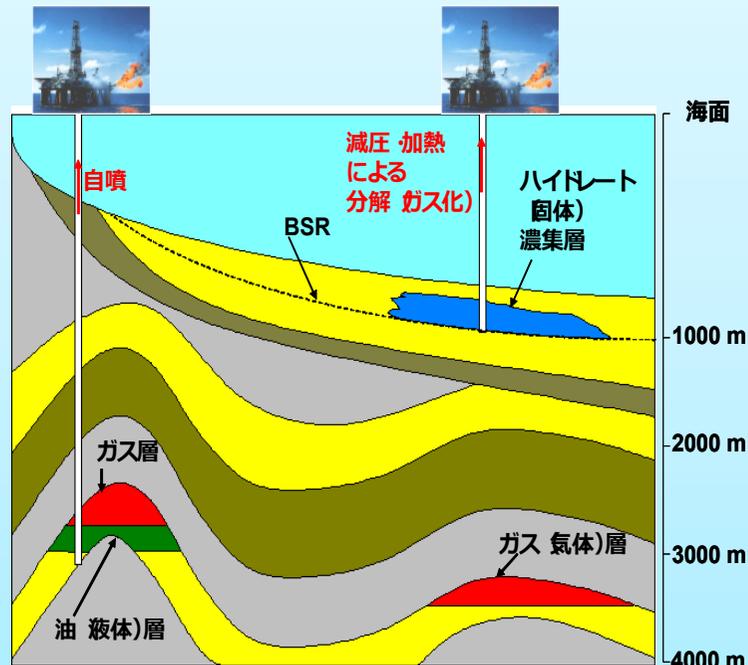
～2018年度

技術基盤の準備

# メタンハイドレートの生産手法の研究開発

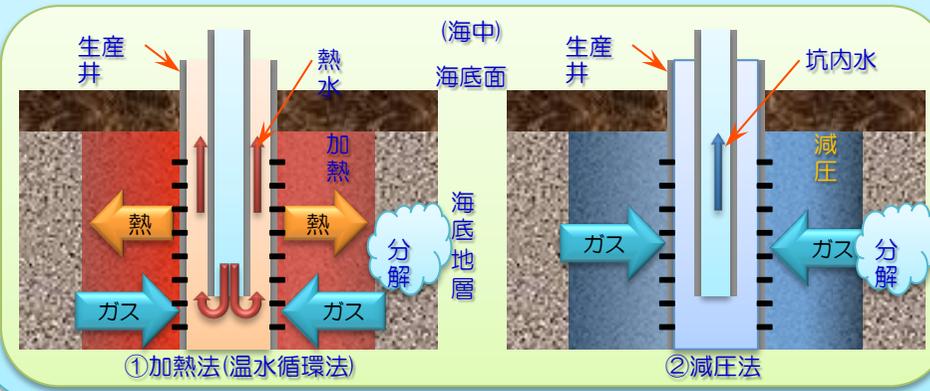
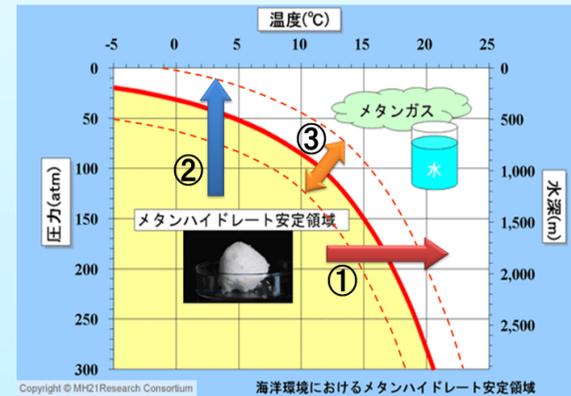
## 天然ガスとMHの生産概念

メタンハイドレートは、固体で掘り出すのではなく、地層内で、分解・メタンガス化して、採取管（ライザーパイプ）を通じて、気体で生産・回収する。



## MHを分解する基本的な3手法

- ①温度を上げる(加熱法)
- ②圧力を下げる(減圧法)
- ③生成・解離平衡条件を変化させる(インヒビタ圧入法)



# 永久凍土地域におけるメタンハイドレートの生産手法の研究開発

## カナダでの『陸上産出試験の実施』

カナダ北西部・マッケンジーデルタ（永久凍土地帯）で、地下のメタンハイドレートを分解し、メタンガスを連続的に取り出す試験を世界に先駆けて実施。

### 第一回陸上産出試験(平成13年度)

### 第二回陸上産出試験(平成19年・平成20年度)

	第1回試験 (平成13年度)	第2回試験 (平成19・20年度)
参加国	5カ国(日加米独印)	2カ国(日加)
生産手法	温水循環法	減圧法
結果	メタンガス生産に成功 (世界初)	減圧法の連続生産に成功 (世界初)
累計生産量	470m <sup>3</sup> (5日間)	13,000m <sup>3</sup> (6日間)
課題	生産の継続性 エネルギー効率	長期生産試験の必要性※



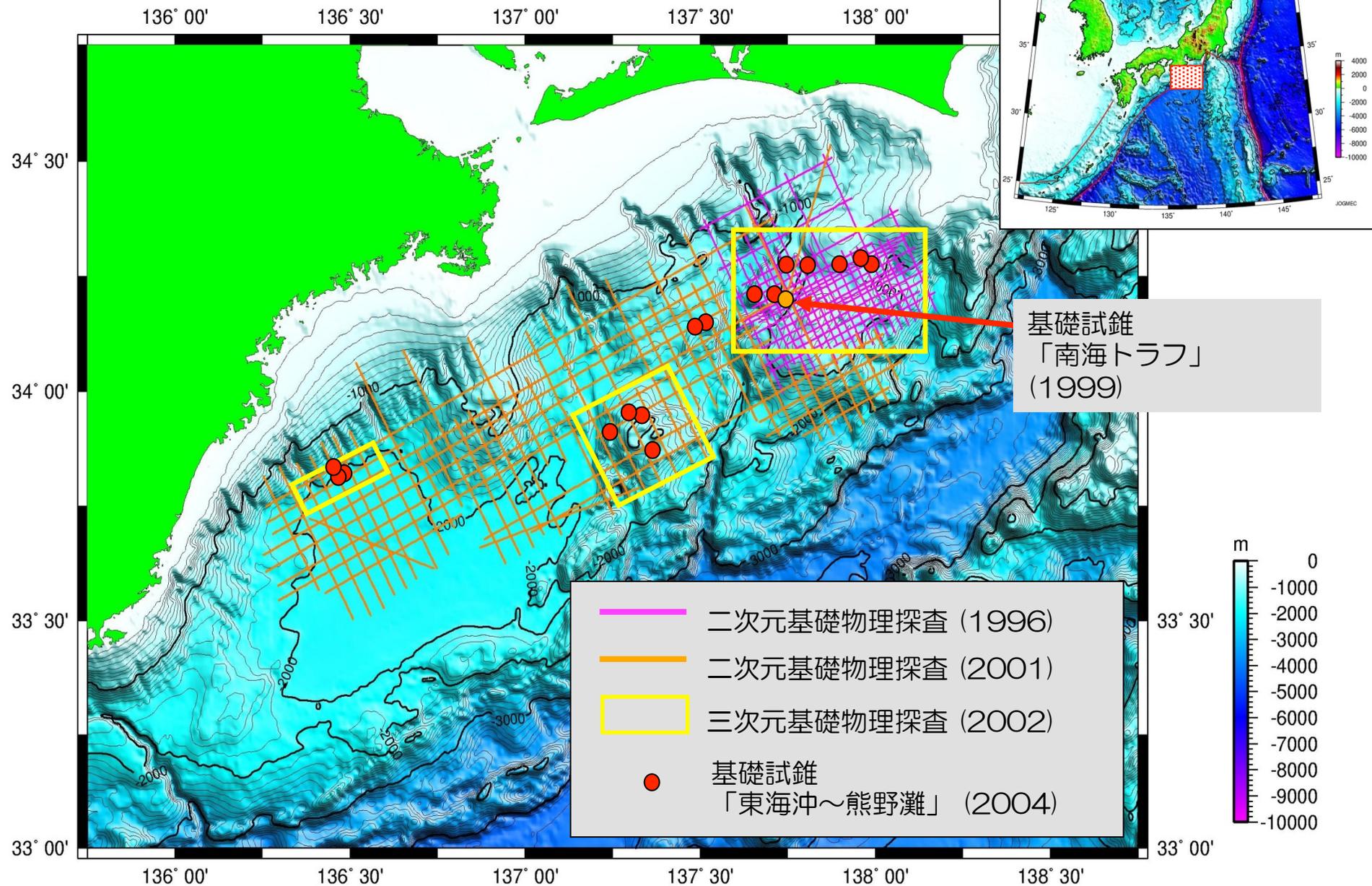
メタンガス生産の様子  
(2008年3月10日～16日)



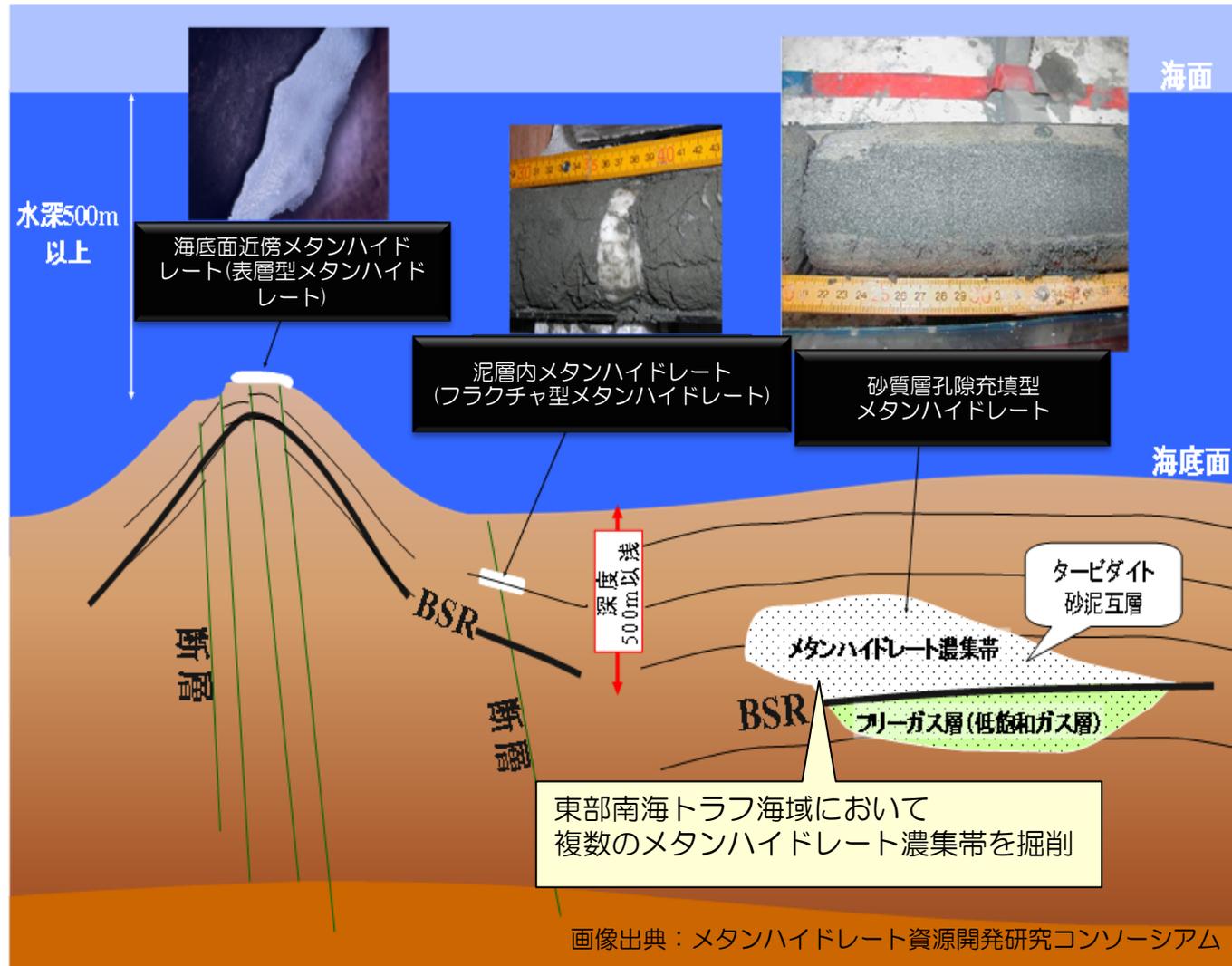
第1回試験の際に、流体産出試験や核磁気共鳴検層を実施し、天然のメタンハイドレート層が浸透性を有し、減圧が可能であることを確認。その結果を踏まえ、第2回試験で減圧法が試みられた。

- ①三次元地震探査データを利用してメタンハイドレート賦存砂層の詳細分布を推定し、試験井の位置等を検討。
- ②複数年をかけた準備・実施体制で試験を実施。  
これらの経験は、海洋産出試験に活かされていくこととなる。

# メタンハイドレート賦存海域(東部南海トラフ) における資源量調査



# 海域におけるメタンハイドレートの賦存形態



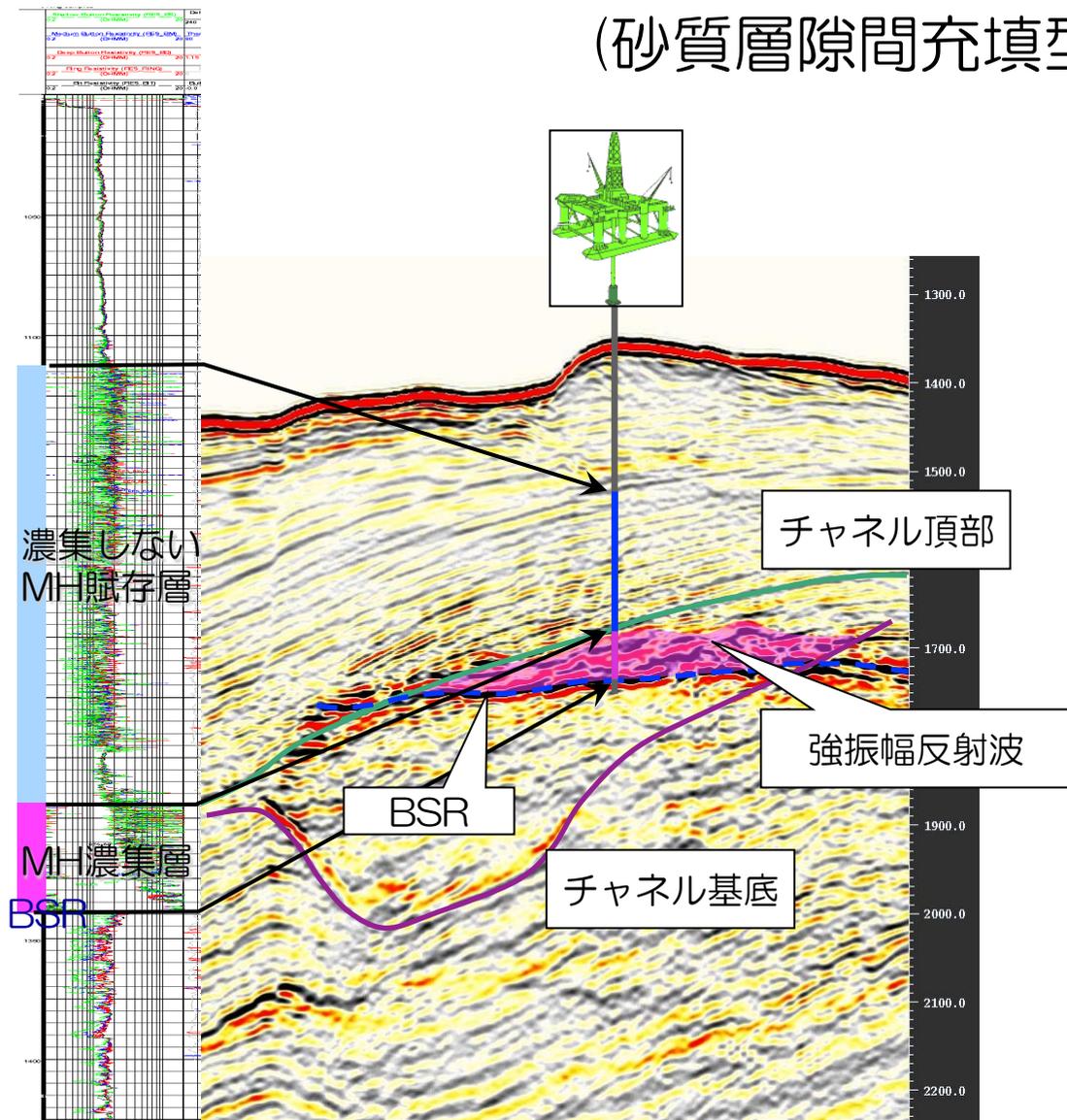
## その他のメタンハイドレート

BSR分布域のうち、多くのメタンハイドレート層は、深海成の浸透性の低い層であり、BSRは発現するもののまとまった量・規模のメタンハイドレートは確認されてない

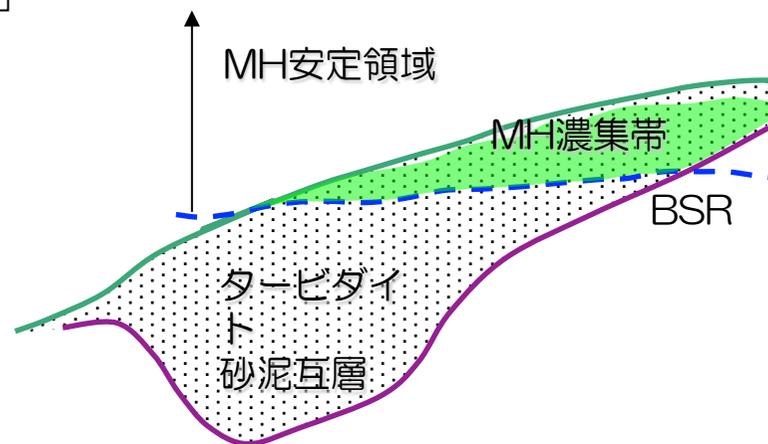
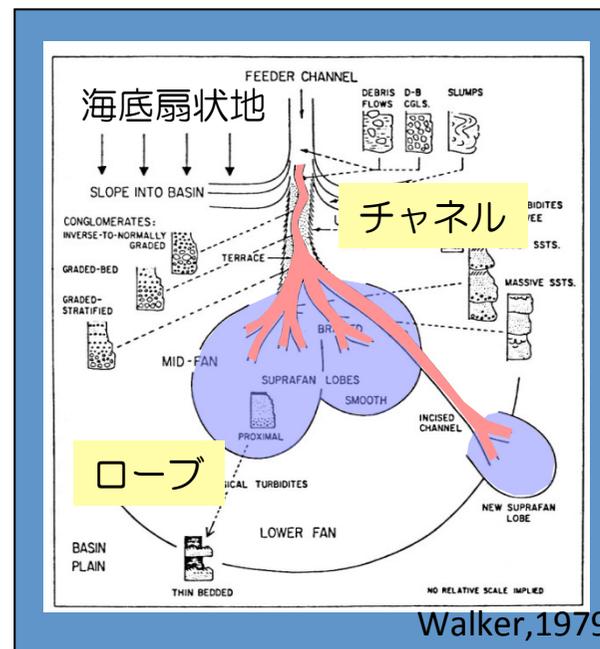
つまり、資源開発の対象となるメタンハイドレート層は、賦存形態やエリアが限定される可能性がある。

# メタンハイドレート濃集帯

(砂質層隙間充填型)



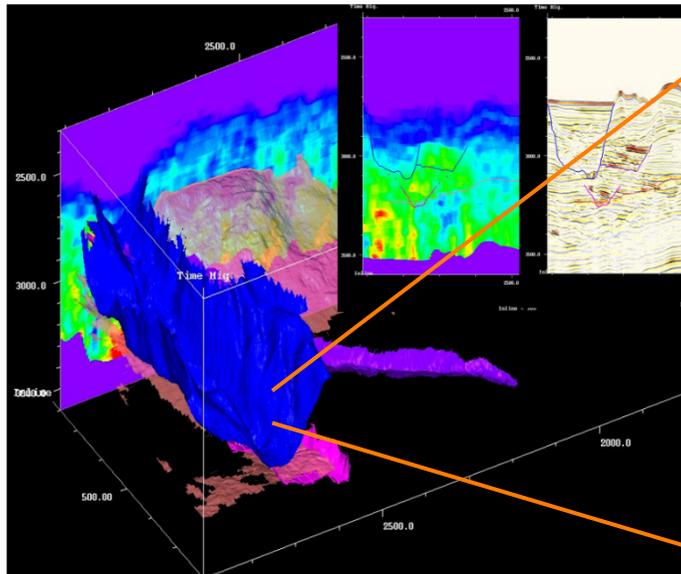
画像出典：メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム



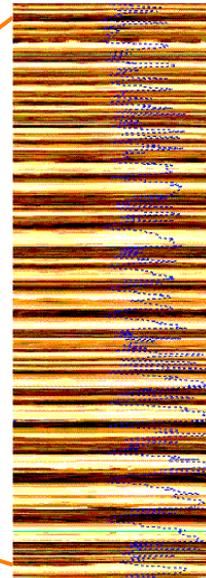
# メタンハイドレート原始資源量

容積法による評価—確率論的手法を適用

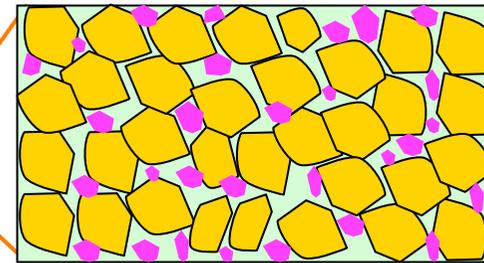
$$\text{メタンハイドレート原始資源量} = \text{GRV} \times \text{N/G} \times \phi \times S_{\text{MH}} \times \text{VR} \times \text{CO} / 28.3$$



総岩石容積 (GrossRockVolume)  
濃集帯全体の体積

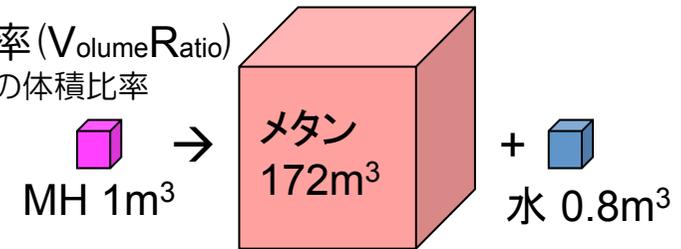


ネット/グロス比  
(NetGross-ratio)  
砂層が占める割合

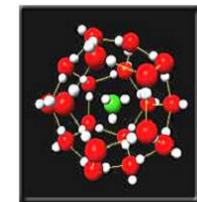


孔隙率 ( $\phi$ : Porosity)  
隙間の割合  
MH飽和率  
( $S_{\text{MH}}$ : MH-saturation)  
隙間をMHが占める割合

容積倍率 (VolumeRatio)  
分解後の体積比率



ケージ占有率  
(CageOccupancy)  
H<sub>2</sub>O分子籠の中に  
CH<sub>4</sub>が存在する確率



96%

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

(1bcf=28.3MMm<sup>3</sup>)

# 東部南海トラフ海域の資源量評価結果

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	$\phi$	$S_{MH}$	VR	CO	P90	P10	$P_{mean}$
東部南海 トラフの MH濃集 帯 (767km <sup>2</sup> )	坑井有	44.55億m <sup>3</sup>	0.38	0.43	0.52	172	0.95	402億m <sup>3</sup>	1369億m <sup>3</sup>	838億m <sup>3</sup>
	未掘削	349.31億m <sup>3</sup>	0.37	0.45	0.51	172	0.95	1367億 m <sup>3</sup>	9779億m <sup>3</sup>	4901億m <sup>3</sup>
	合計	393.86億m <sup>3</sup>	0.37	0.44	0.51	172	0.95	1769億 m <sup>3</sup> (6Tcf)	1兆1148億m <sup>3</sup> (39Tcf)	5739億m <sup>3</sup> (20Tcf)
MH濃集帯以外の 東部南海トラフの MH賦存層 (3920km <sup>2</sup> )	面積 3920Km <sup>2</sup>	Net 層厚 6.4m	0.48	0.29	172	0.95	1067億 m <sup>3</sup> (4Tcf)	1兆2208億m <sup>3</sup> (43Tcf)	5676億m <sup>3</sup> (20Tcf)	
	(1兆2544億 m <sup>3</sup> )	(0.02)								
合計								2835億 m <sup>3</sup> (10Tcf)	2兆3356億m <sup>3</sup> (83Tcf)	1兆1415億 m <sup>3</sup> (40Tcf)

GRV:総岩石容積, N/G:ネット/グロス比,  $\phi$ :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。

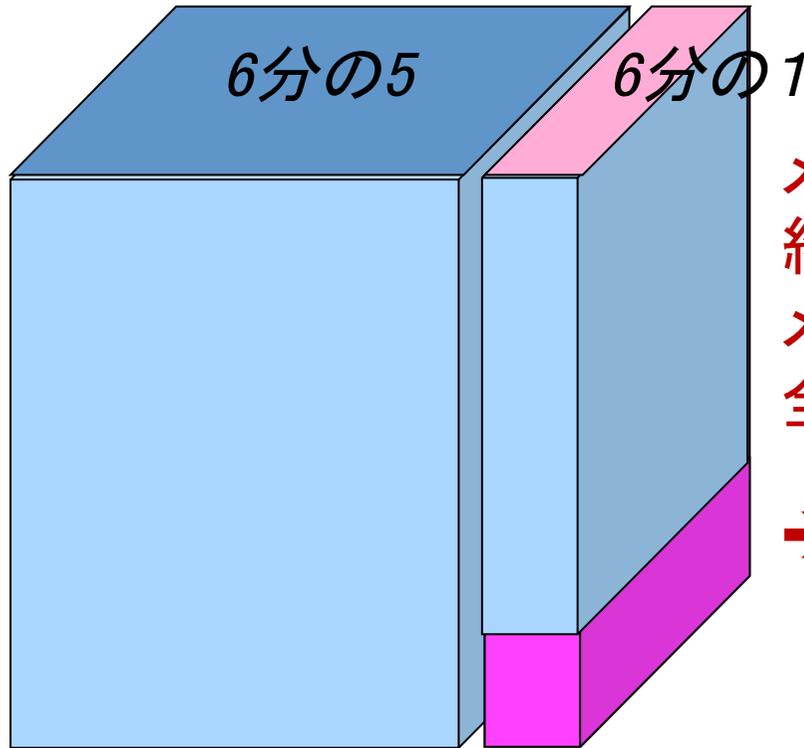
未掘削:基礎物探「東海沖~熊野灘(02)」から存在が推定されるMH濃集帯。

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

# 濃集帯と濃集帯以外

それ以外の  
メタンハイドレート  
分布エリア

メタン  
ハイドレート  
濃集帯エリア



メタンハイドレート賦存層の  
約30分の1の体積の  
メタンハイドレート濃集帯に  
全体の約半分メタンハイドレートが分布!!

→メタンハイドレート濃集帯は  
16のエリアに分かれて  
東部南海トラフに分布している。

6分の1のさらに5分の1=30分の1

# フェーズ1からフェーズ2へ

## メタンハイドレートの 開発対象は存在するのか？

### フェーズ1成果

東部南海トラフにおいて  
開発可能性が高いMH濃集帯を確認  
(濃集帯の探査手法を確立)

MH濃集帯を含む東部南海トラフの  
メタンハイドレート原始資源量を算定



[基礎試錐を実施した掘削調査船] [採取されたメタンハイドレート試料]

## メタンハイドレートの 開発生産は可能か？

### フェーズ1成果

減圧法が濃集帯のガス生産に有効である  
ことを科学的データに基づき提唱  
(MHの物性や分解挙動を測定する室内実験、  
MH生産シミュレータの開発など)

陸上産出試験により減圧法の有効性を  
フィールドレベルで実証



[カナダにおける陸上産出試験]

## フェーズ2開始

産出試験海域の選定  
MH濃集帯の比較検討

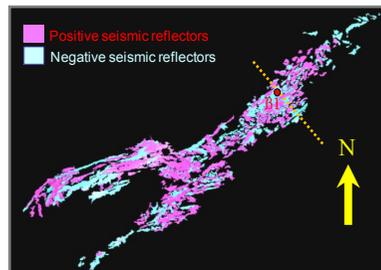
産出試験対象の詳細検討  
詳細構造・物性の推定

産出試験対象のモデル構築  
地質モデル・貯留層モデル

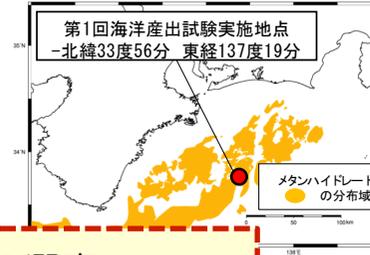
生産シミュレーション  
貯留層モデルに基づく検討

海洋産出試験技術の開発  
試験計画策定・準備作業

モニタリング技術の開発  
分解挙動・環境影響



[産出試験対象の詳細構造の推定]



## 第1回海洋産出試験

- ①海洋における産出技術の実証  
減圧・生産が可能か？
- ②海洋における生産挙動の確認  
MH層はどのように  
反応するのか？
- ③モニタリング技術の適用・実証  
MH層分解の挙動や  
影響をとらえられるのか？



2013年3月12日 第二渥美海丘洋上

海洋メタンハイドレート層の減圧・生産は可能

→より長期の 安定的かつ安全かつ経済的な生産は可能か？

将来の商業生産の技術基盤整備を目指すには...

第1回海洋産出試験の結果の検証を深めつつ

より長期の産出試験による実証を重ねていくことが求められる

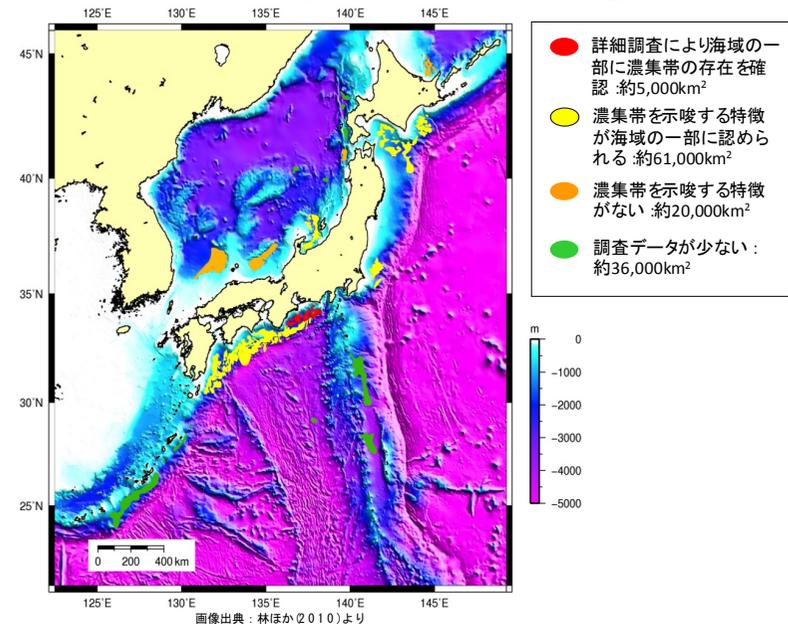
さらに、対象の拡大を視野にいれ...

東部南海トラフのメタンハイドレート濃集帯  
(砂層孔隙充填型)の理解を深めつつ  
[メタンハイドレートシステムの解明]

東部南海トラフ以外→  
日本周辺海域のメタンハイドレートの  
賦存状況の把握と

砂層孔隙充填型以外→  
表層型メタンハイドレートの科学的調査を  
進めていく

日本周辺海域におけるメタンハイドレート起源のBSR分布



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。これまでの研究に携わった関係者の皆様に謝意を表します。