

◆ 革新的環境技術シンポジウム 2012 ◆

# CO<sub>2</sub>地中貯留技術の実用化に向けての課題と RITEの取り組み

(公財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)  
CO<sub>2</sub>貯留研究グループ・主席研究員

せつ じきゅう

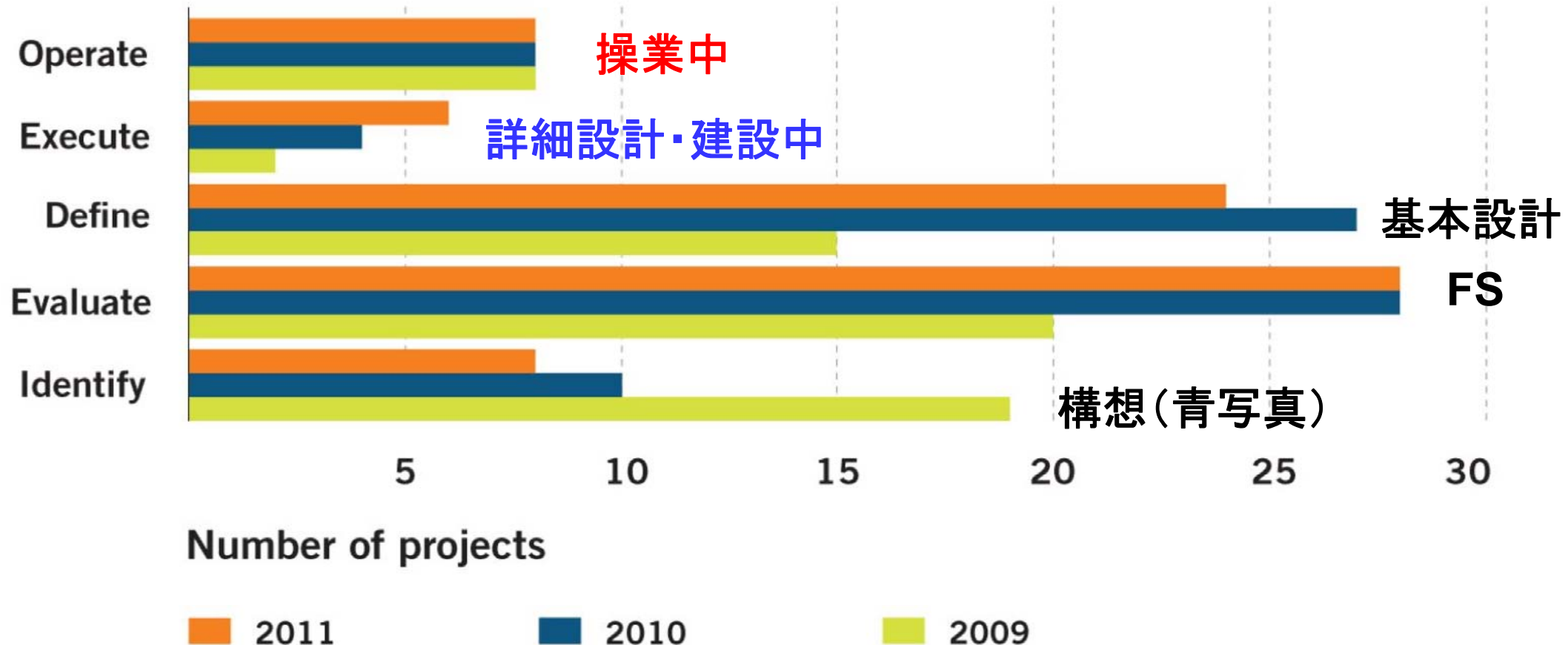
薛 自求



# 目次

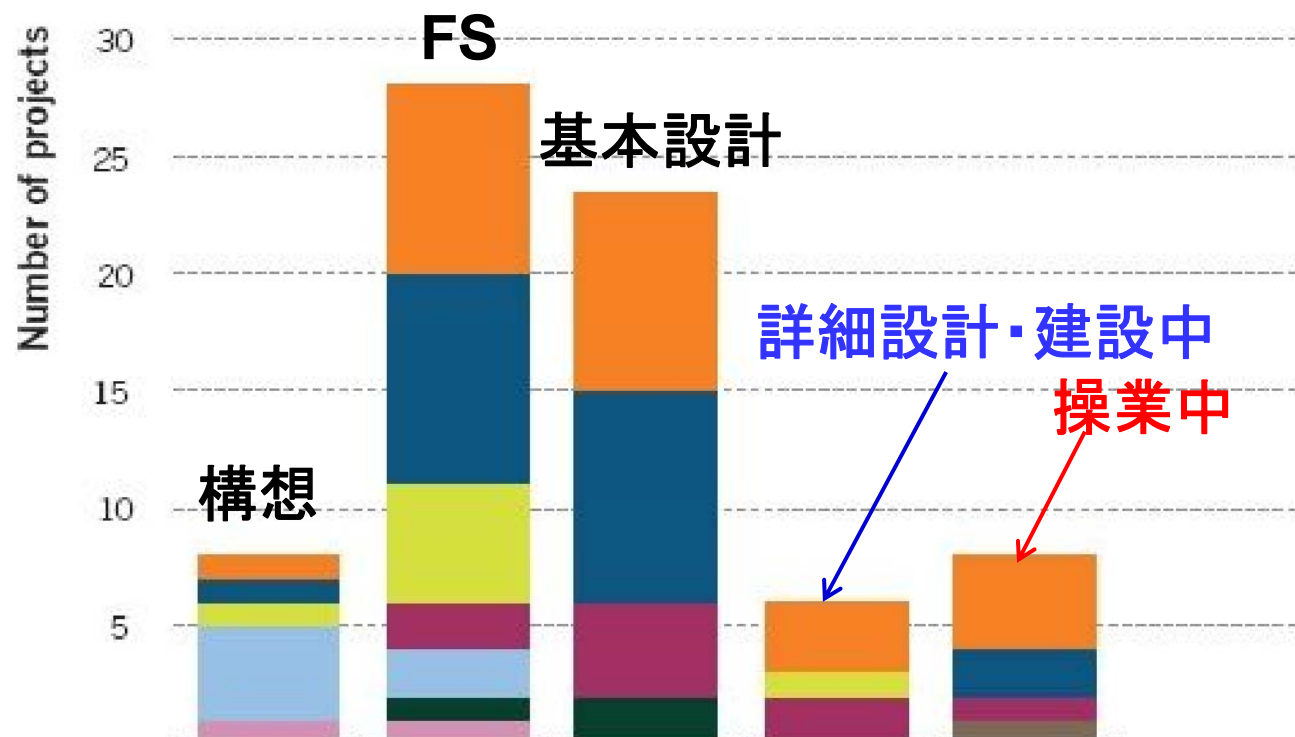
- 大規模CCSプロジェクトの最新動向
  - ✓ CO<sub>2</sub>-EOR、塩水性帯水層(地中貯留)
- CO<sub>2</sub>地中貯留技術開発の現状
  - ✓ 技術課題、法規制、社会的受容性
- 安全性評価技術開発 の取り組み
  - ✓ CO<sub>2</sub> 貯留メカニズム、地質モデリング、  
CO<sub>2</sub>挙動モニタリング技術

# 2009年以降の大規模CCS PJの推移



Source: Global CCS Institute, Global Status of CCS, 2011

# 地域別大規模CCSプロジェクトの現状



Source: GCCSI 2012

	Identify	Evaluate	Define	Execute	Operate	Total
United States	1	8	9	3	4	25
Europe	1	9	9	0	2	21
Australia and New Zealand	1	5	0	1	0	7
Canada	0	2	4	2	1	9
China	4	2	0	0	0	6
Middle East	0	1	2	0	0	3
Other Asia	1	1	0	0	0	2
Africa	0	0	0	0	1	1
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>28</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>74</b>

# 大規模CCSの普及に向けて

## ➤ 法規制 (Regulatory uncertainty)

- ・EC: CCS指令の国内法化
- ・US: EPA, Class VI well (EOR: Class II well)

## ➤ 経済性 (Economic/Investor uncertainty)

- ・EU ETS Current under €10/t (Need : \$50/t)
- ・主要国の経済不振

## ➤ 社会的受容性 (Public acceptability)

- ・主要国でもCCSの認知度が低い (heard of CCS: 10%)
- ・**CCS安全性への疑問** (サイトから距離5キロ以内は不安)
- ・政府や産業界への不信感 (地元とのコミュニケーション)

# CCS技術課題のチャレンジ

## ➤ 貯留層評価 & 地質モデル構築

- ・油ガス田開発の技術応用できるが、高精度の貯留層評価要
- ・少ない地質情報を基に、信頼性の高い地質モデル構築

## ➤ 圧入後の長期挙動予測

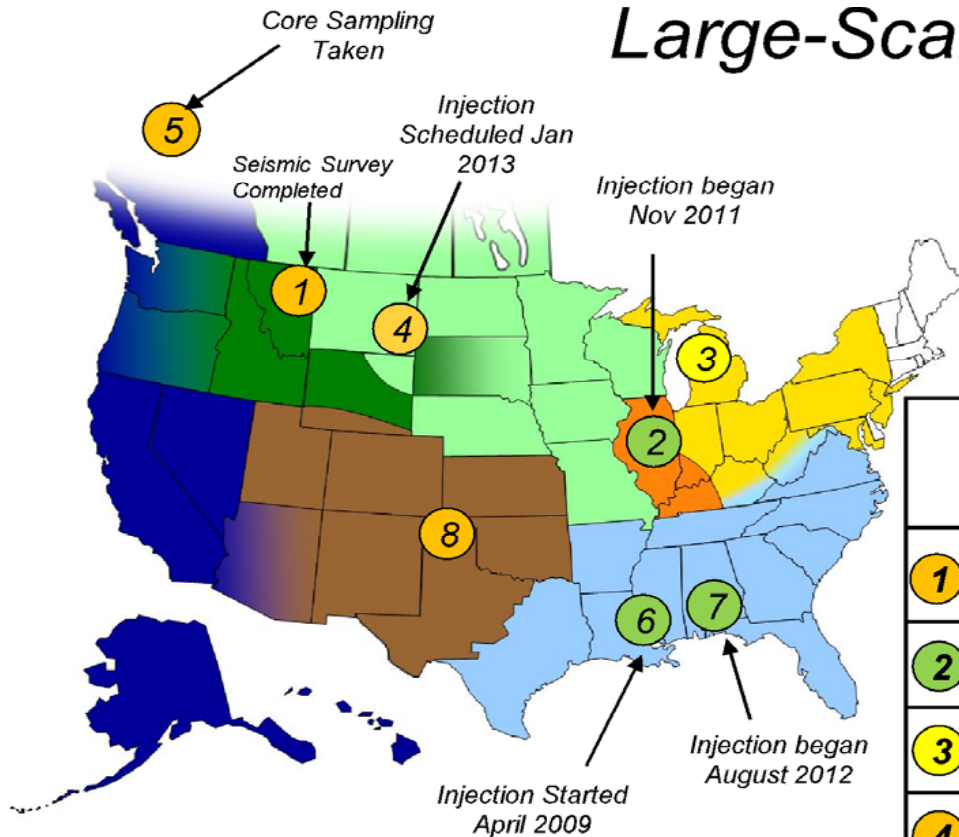
- ・油ガス田が数10年に対し、CCSは1000年オーダー？
- ・油ガス田開発の技術応用できるが、地化学反応や力学とのカップリング(連成解析)が必要

## ➤ 経済性や安全性の評価

- ・CO<sub>2</sub>挙動モニタリングの頻度 & 継続期間(コスト低減)
- ・貯留ポテンシャル、圧入性(圧入井の本数)、地層安定性
- ・CO<sub>2</sub>漏洩 & 海域環境(生物)影響、微小振動

# 米国におけるCCS技術課題のチャレンジ

## RCSP\* Phase III: Development Phase Large-Scale Geologic Tests



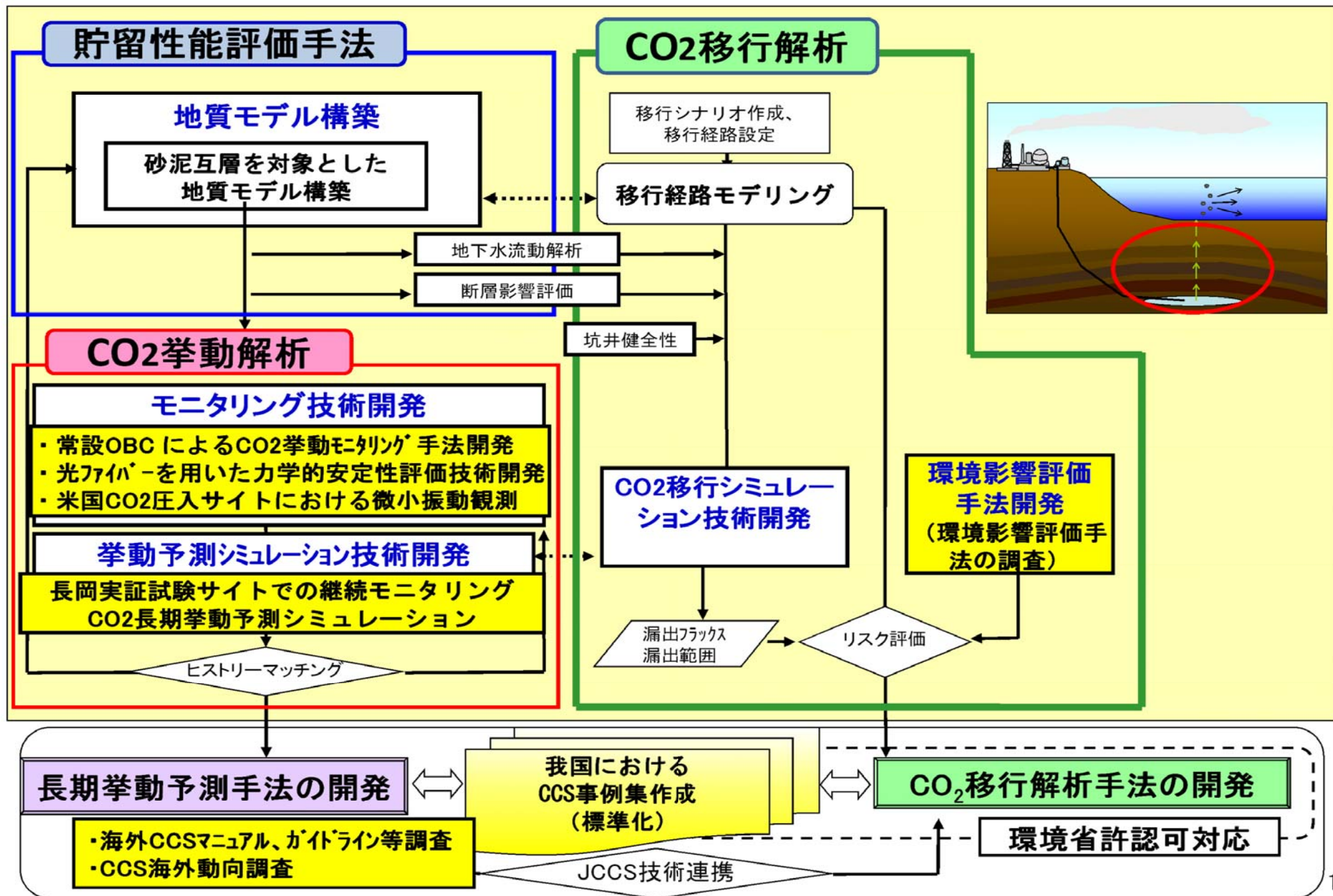
- Injection Ongoing
- 2012 Injection Scheduled
- Injection Scheduled 2013-2015

Note: Some locations presented on map may differ from final injection location

- ✓ Large Volume Tests in Saline and EOR Fields
- ✓ Accounting for Stored CO<sub>2</sub>
- ✓ Three projects currently injecting CO<sub>2</sub>
- ✓ On more expected in 2012
- ✓ Remaining injections scheduled 2013-2015

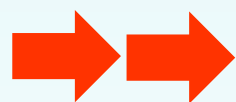
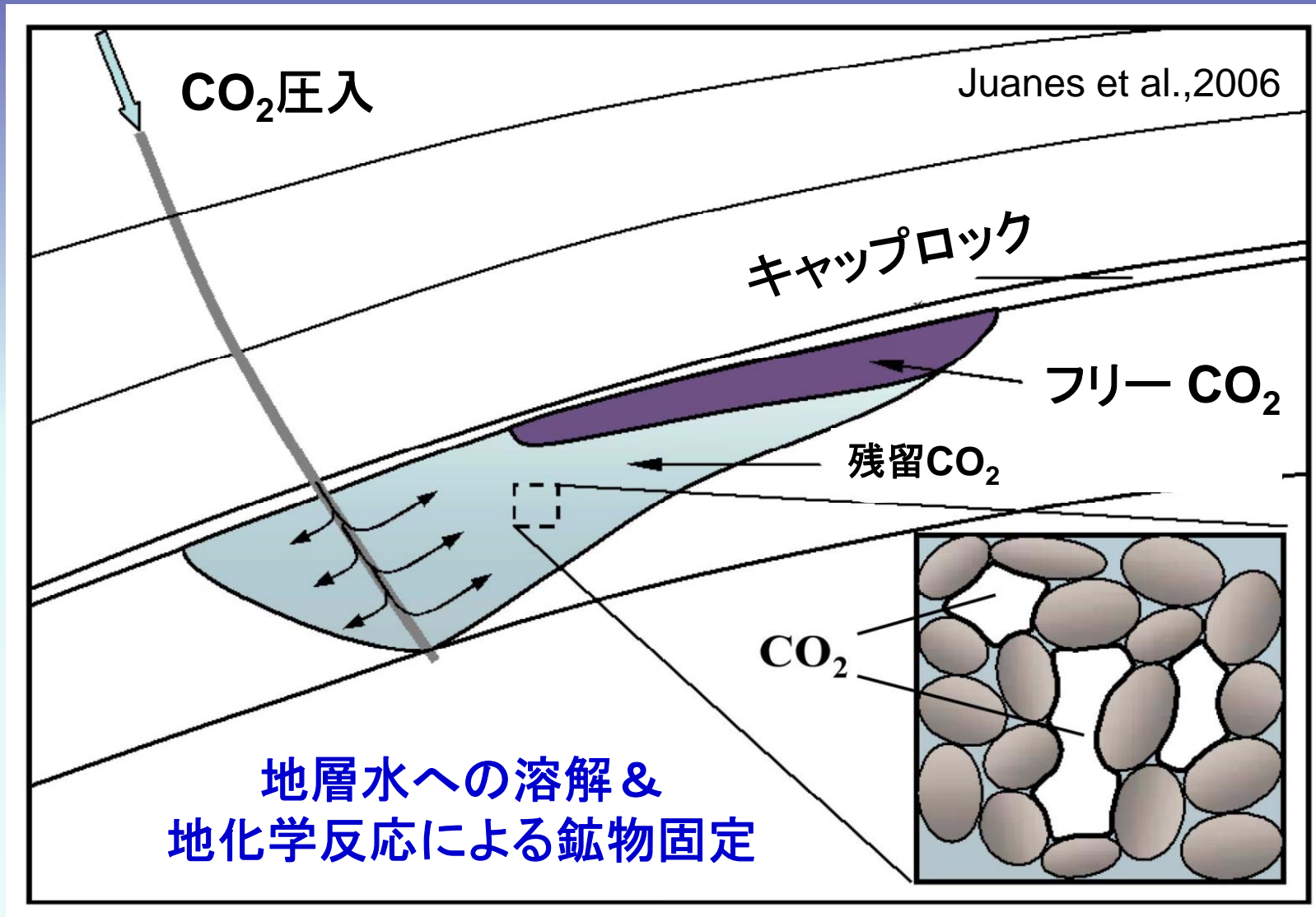
	Partnership	Geologic Province	Type/Target Injection (MT)
①	Big Sky	Nugget Sandstone	Saline/EOR/ 1.0
②	MGSC	Illinois Basin- Mt. Simon Sandstone	Saline/1.0
③	MRCSP	Michigan Basin- Niagaran Reef	EOR/1.0
④	PCOR	Powder River Basin- Muddy Formation	EOR/1.5
⑤		Horn River Basin-Carbonates	Saline/2.0
⑥	SECARB	Gulf Coast-Cranfield-Tuscaloosa Formation	Saline/EOR/4.0
⑦		Gulf Coast- Citronelle Paluxy Formation	Saline/EOR/.45
⑧	SWP	Regional CCUS Opportunity	EOR/1.0

# CCS技術課題へのRITEの取り組み





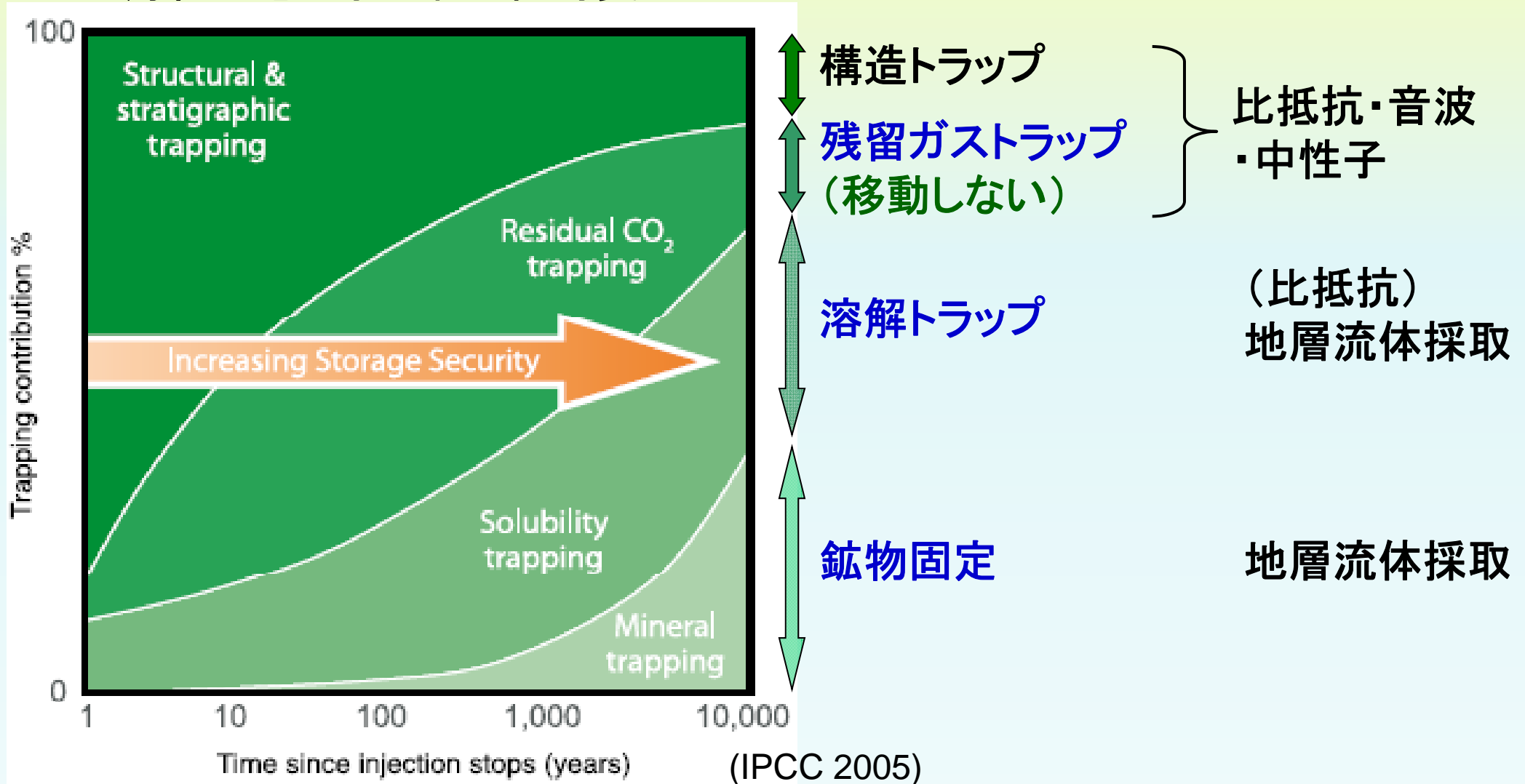
# CO<sub>2</sub>貯留メカニズムと長期安全性評価



**Permanently Sequestering CO<sub>2</sub> in the Subsurface**

# 長岡実証試験サイトにおける CO<sub>2</sub>貯留メカニズムの検証

貯留形態・寄与率の経時変化



# 長岡サイトのCO<sub>2</sub>貯留状態調査

2000

サイト選定、圧入井&  
観測井(OB-2, -3)掘削

2001

観測井(OB-4)掘削

2002

2003

CO<sub>2</sub>圧入開始

2004

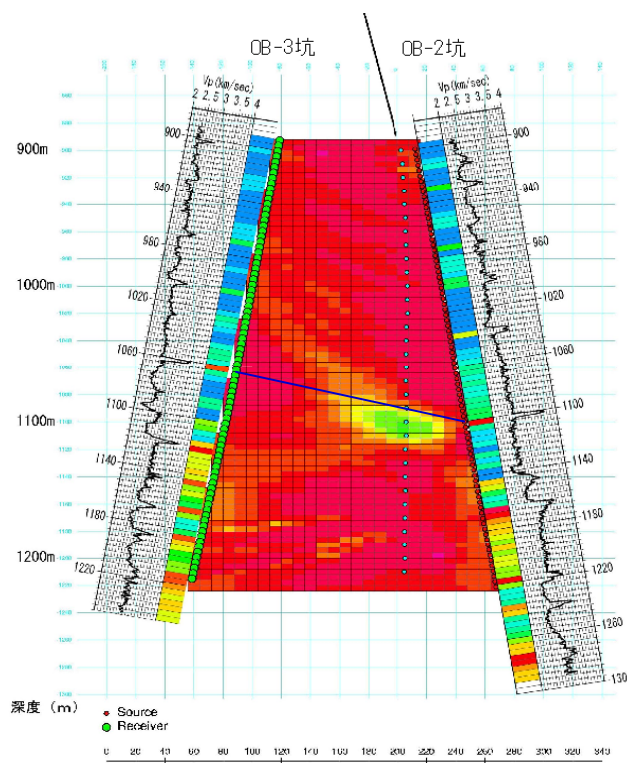
2005

CO<sub>2</sub>圧入終了  
(10,400 ton)

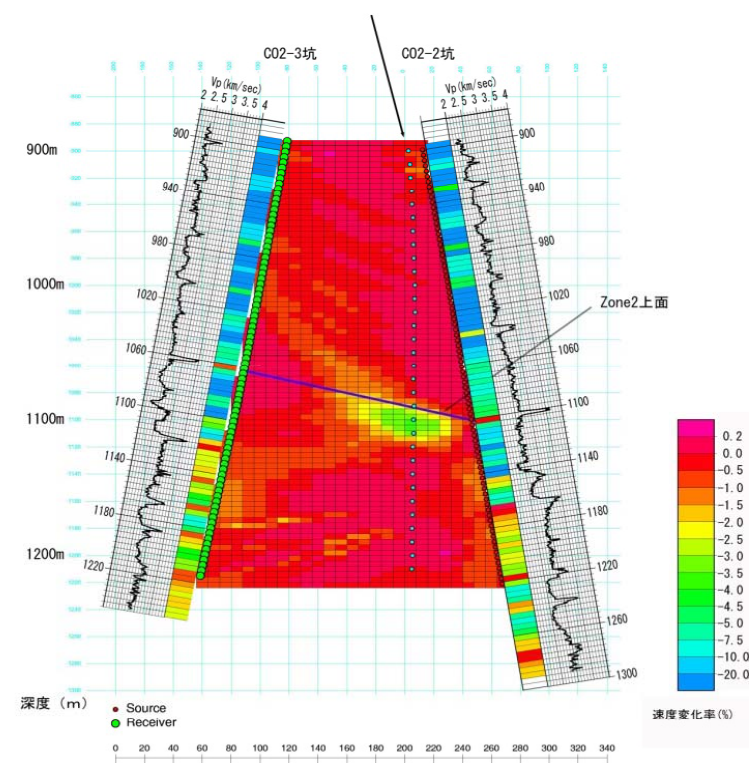
2010

2015

圧入終了後

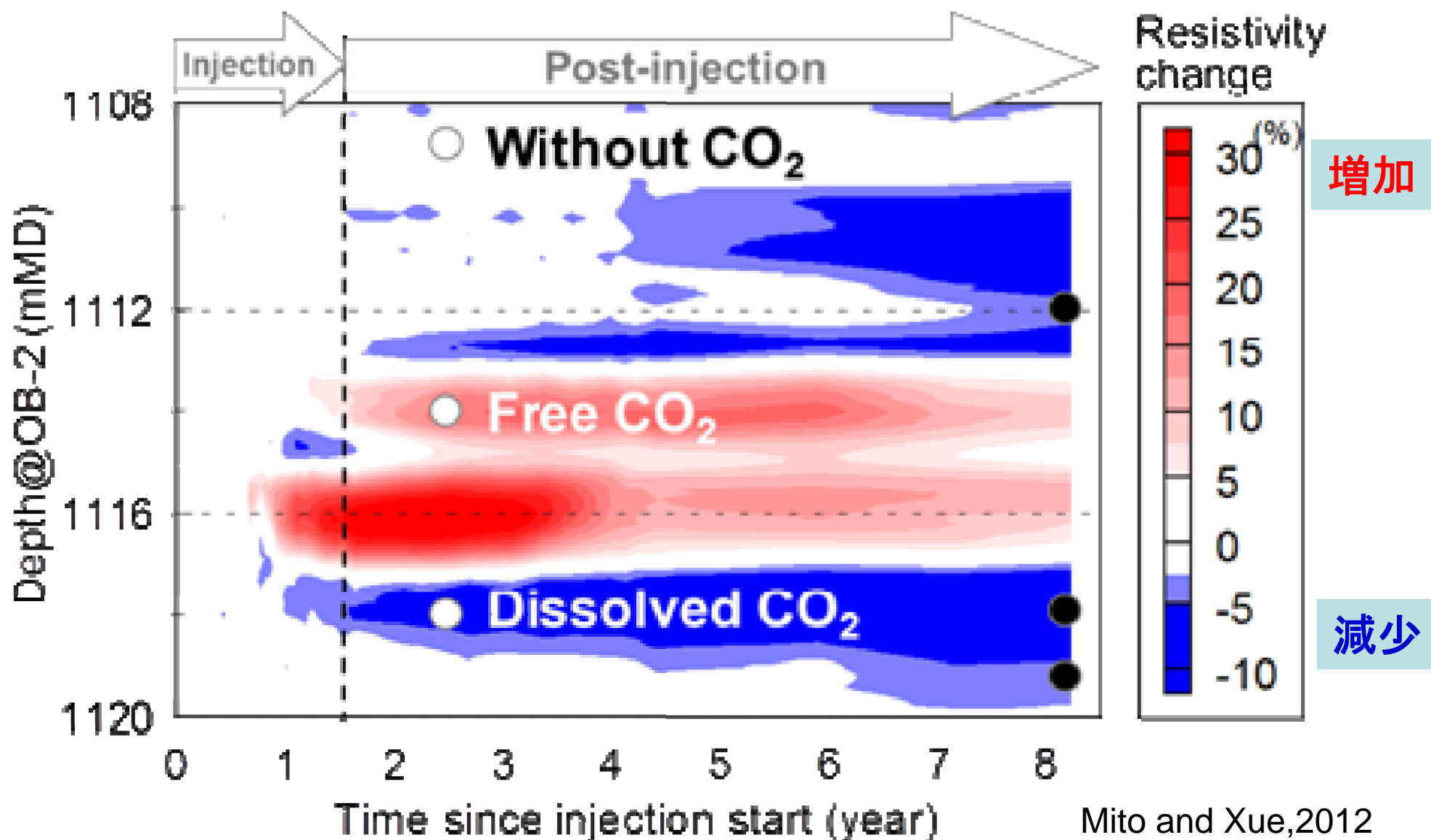


圧入終了  
5年9ヶ月後



- 坑井間弾性波トモグラフィ測定結果より、CO<sub>2</sub>は安全に貯留されていることが確認できた。
- 中越地震(2004)や中越沖地震(2007)の影響も受けていない。

# 比抵抗検層によるCO<sub>2</sub>溶解域の検出

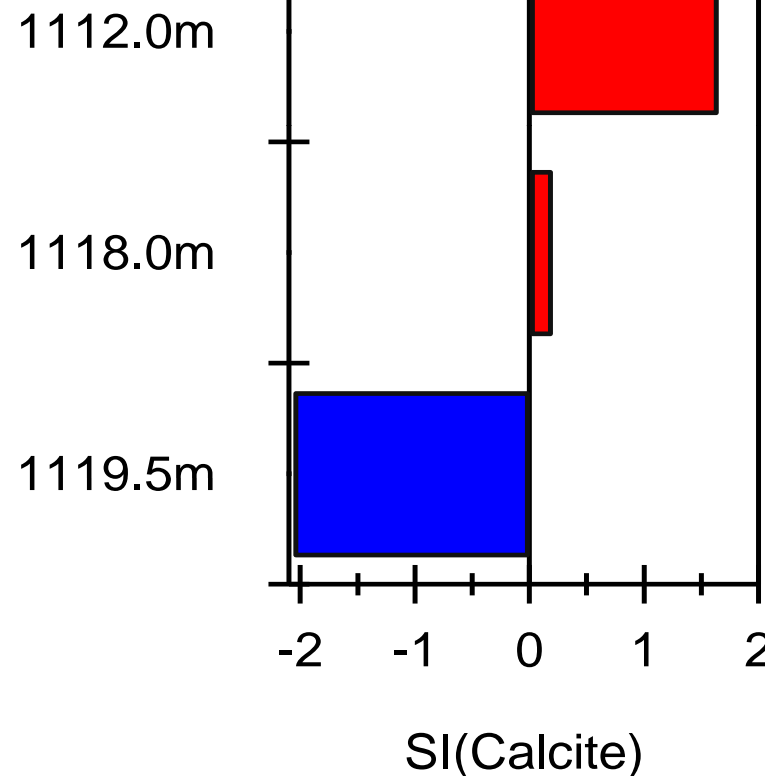
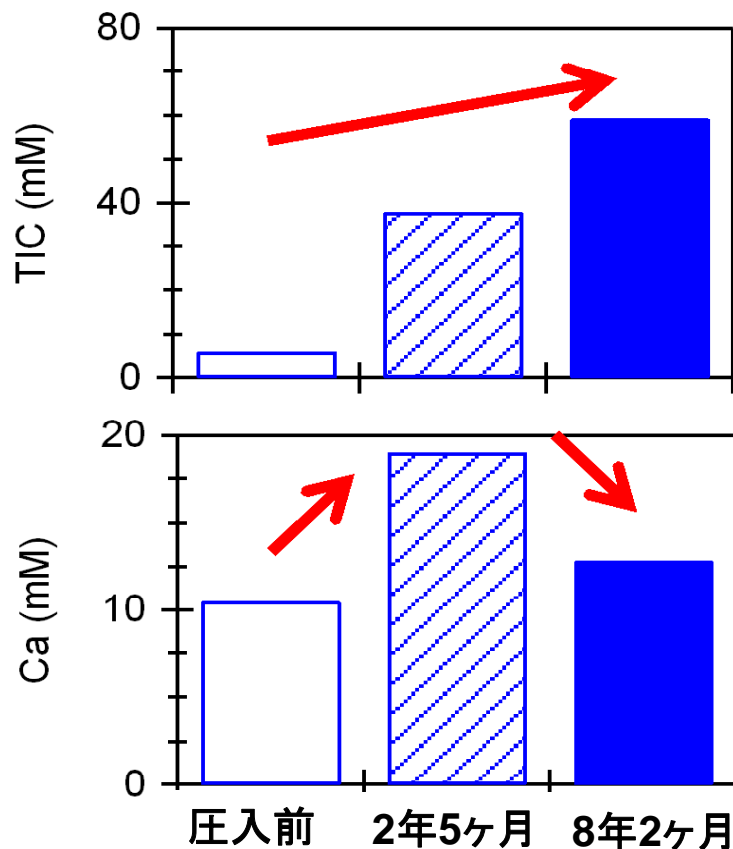


観測井OB-2近傍の比抵抗と経時変化(赤:CO<sub>2</sub>分布域;青:CO<sub>2</sub>溶解水分布域)

# 地化学反応による鉱物固定可能性評価

Mito and Xue, 2012

溶解 ← → 沈殿

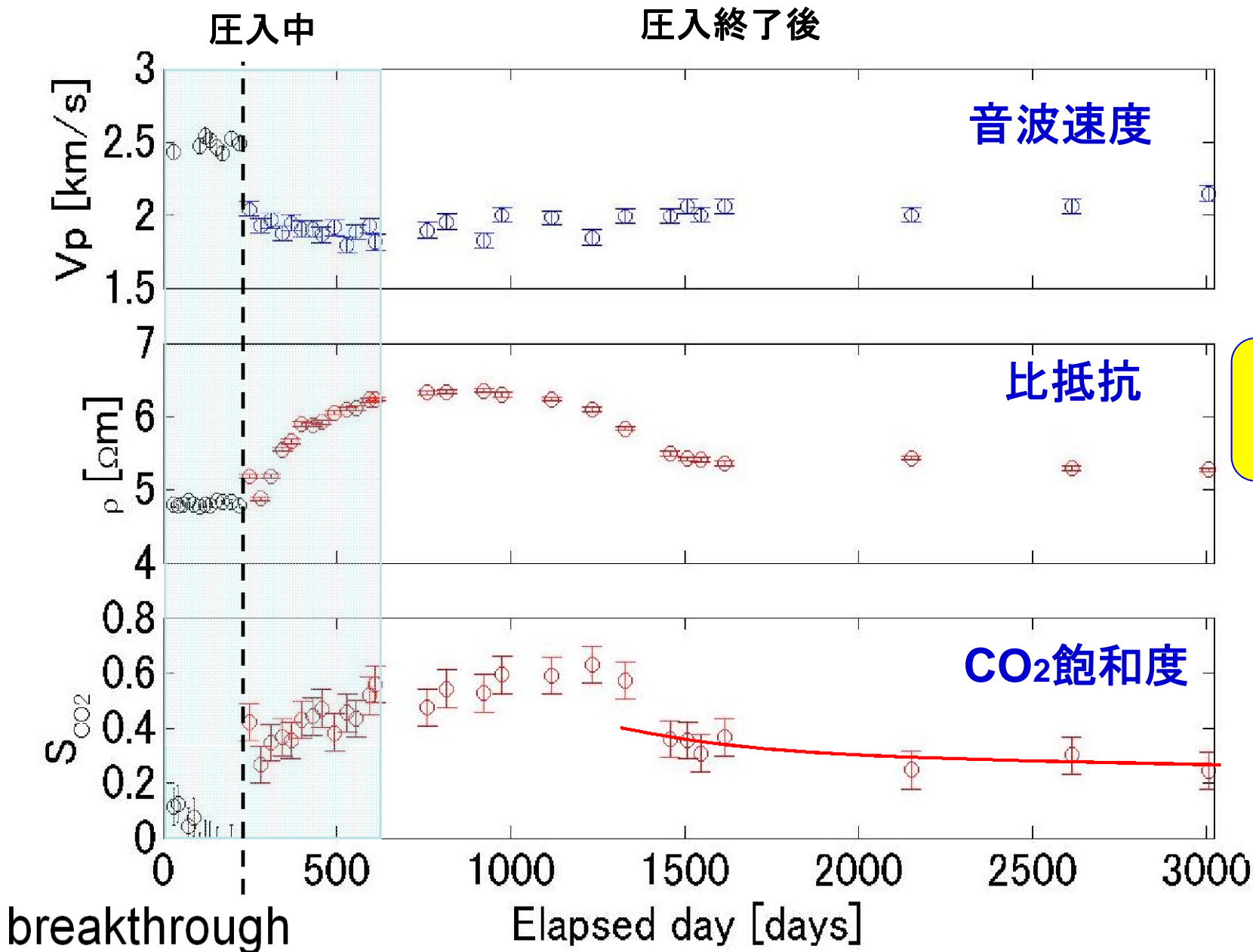


深度1118m付近の全炭酸とカルシウム(Ca)の経時変化

3つの深度におけるカルサイトの飽和指数(SI)

CO<sub>2</sub>溶解 → → 鉱物溶解 (中和反応) → → 炭酸塩鉱物の沈殿 (鉱物固定)

# 残留ガス飽和度のfield data: 世界初!



OB-2では、検層結果がほぼ一定値に収束

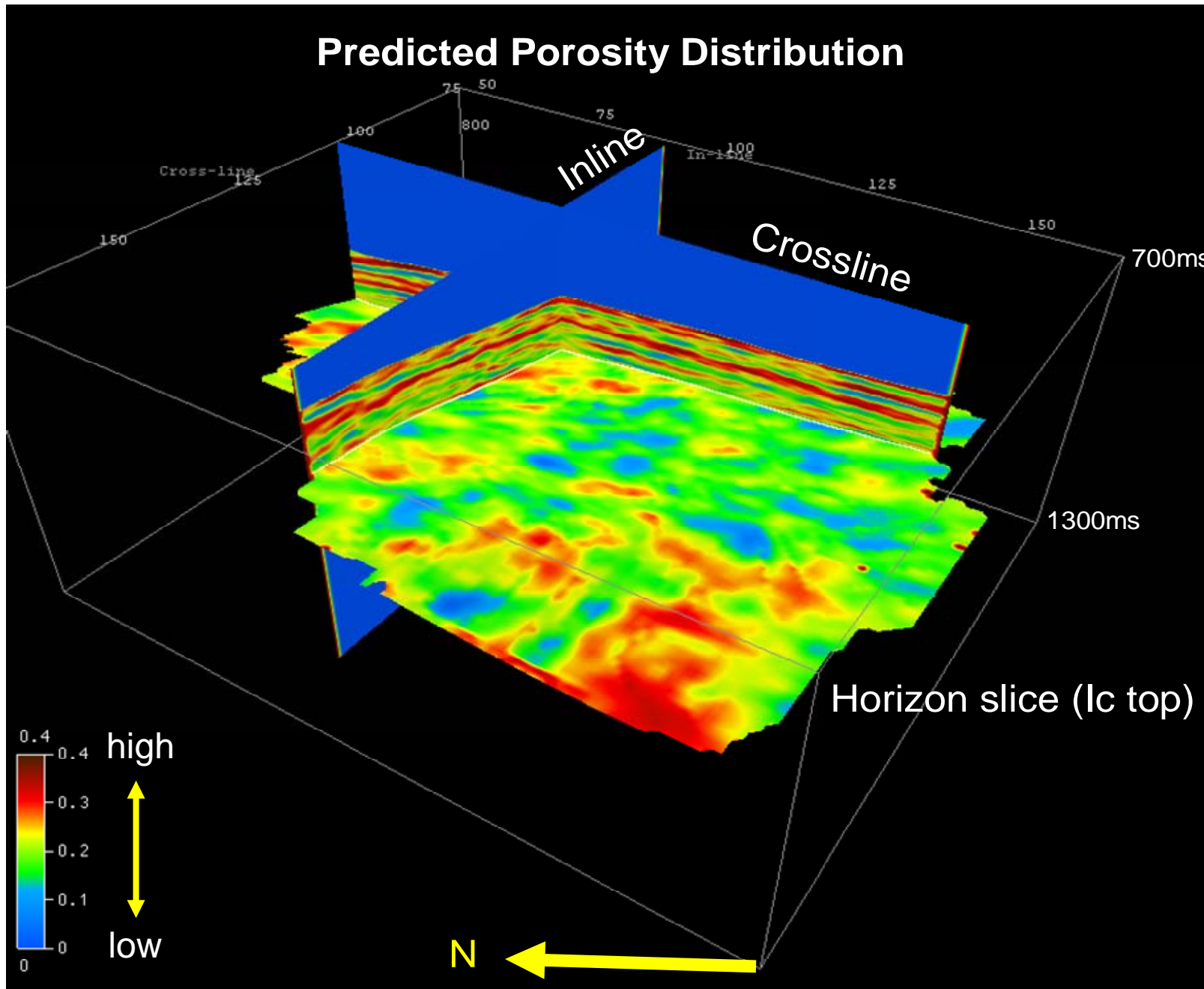


CO<sub>2</sub>が安全に貯留されている

CO<sub>2</sub>飽和度

$$S_{CO_2} = \frac{\phi_{BL} - \phi_n}{\phi_{BL}}$$

# 貯留層地質モデル構築：不均質性！



油ガス田開発に比べて  
**地質情報が少ない**  
(坑井数、物理検層)

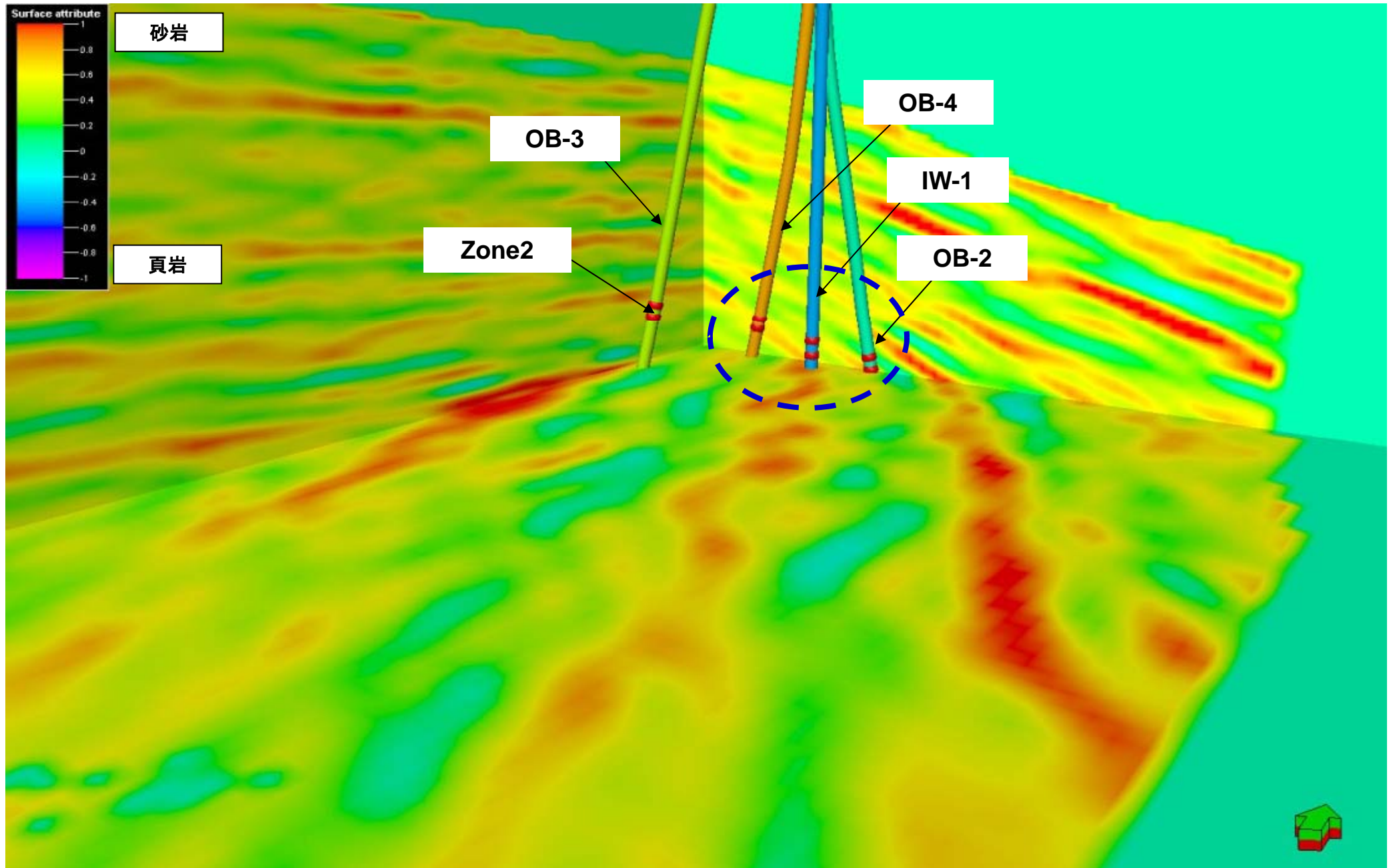
既存坑井、コア試料

油ガス埋蔵量推定技術

3次元地震波探査

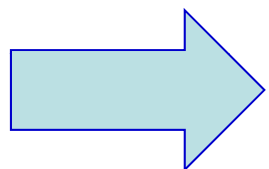
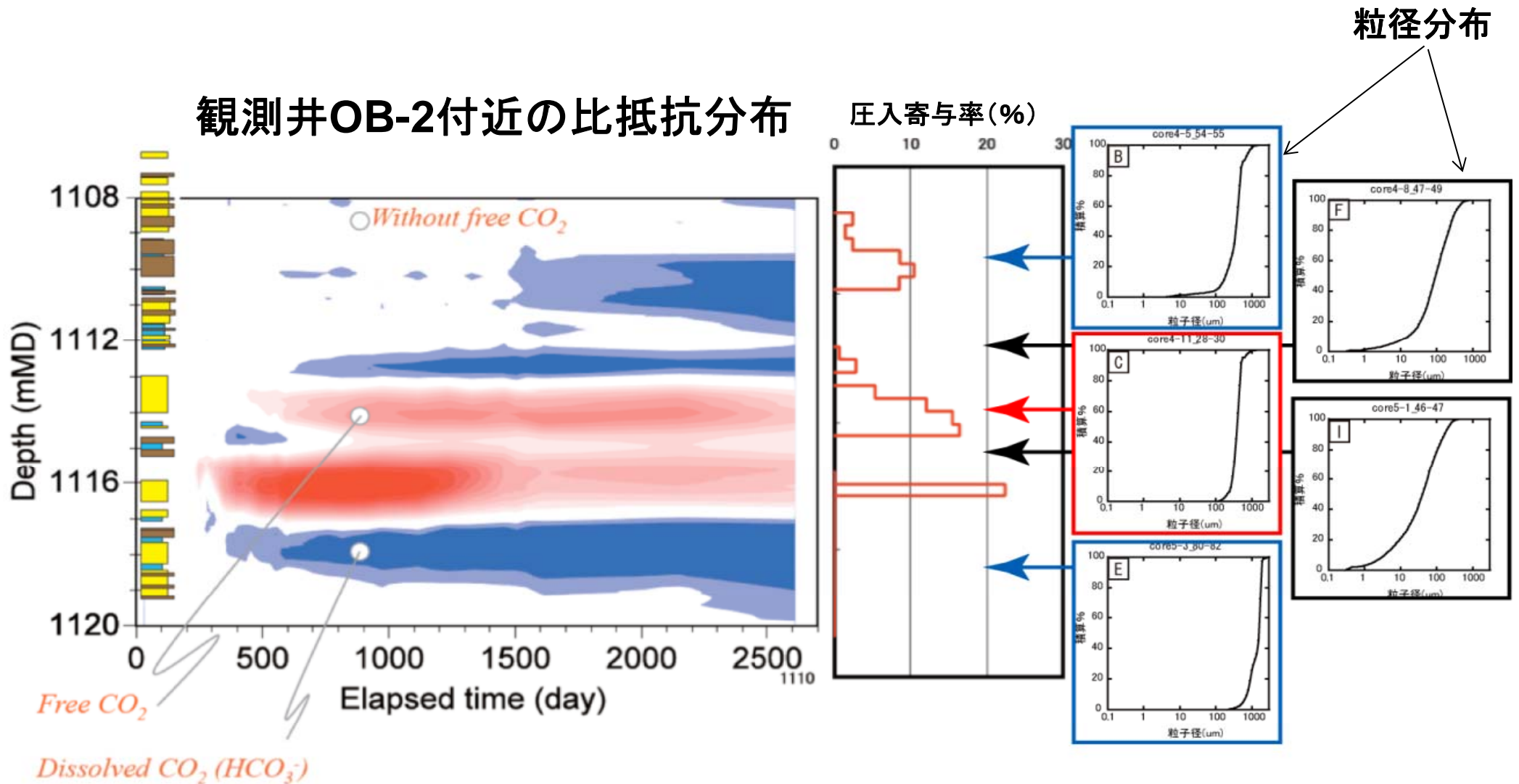
3次元貯留層モデル  
孔隙率分布  
(2km x 2km)

# 貯留層の不均質性とCO<sub>2</sub>流動・分布



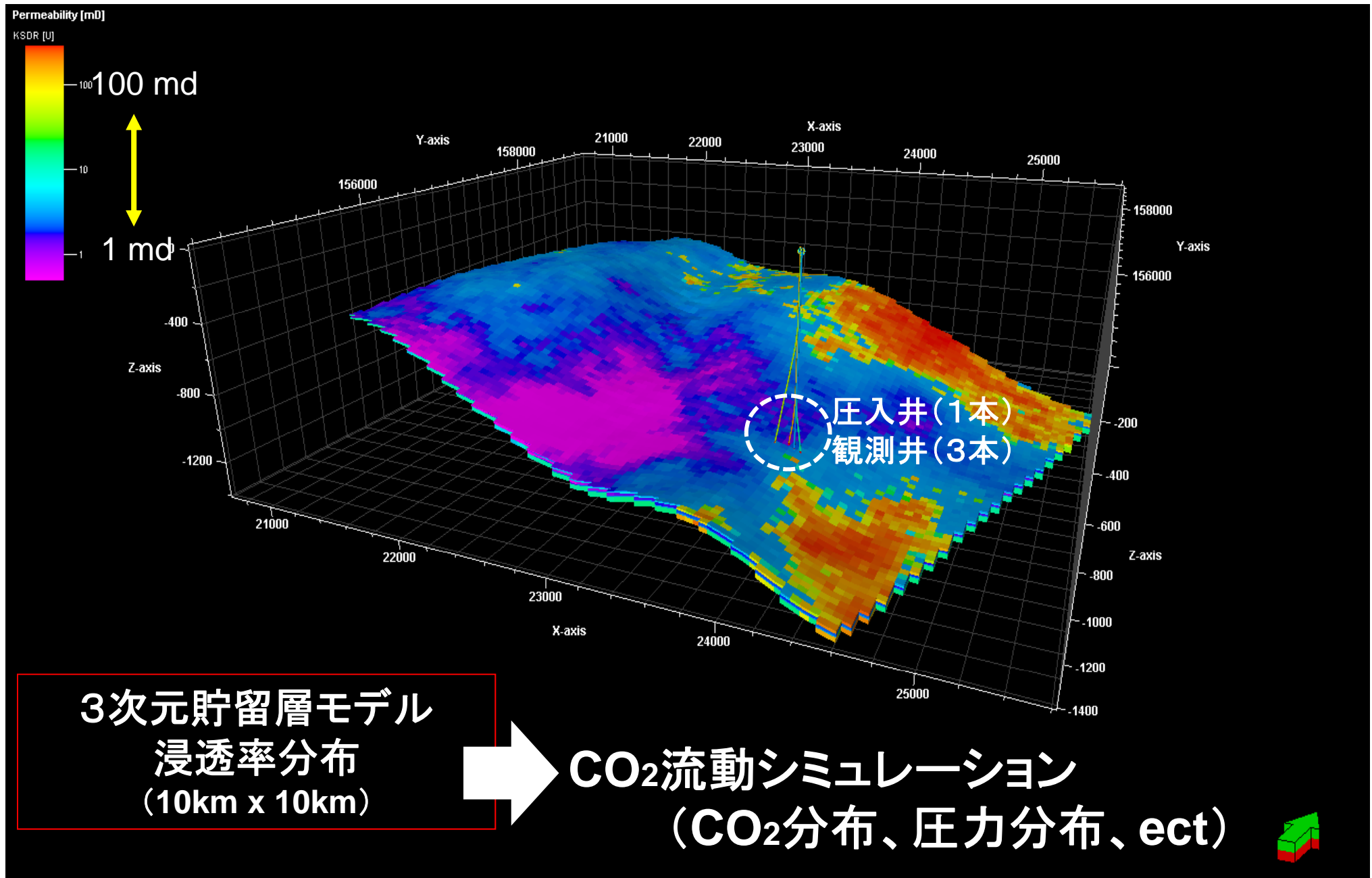


# CO<sub>2</sub>分布 vs 貯留層の不均質性



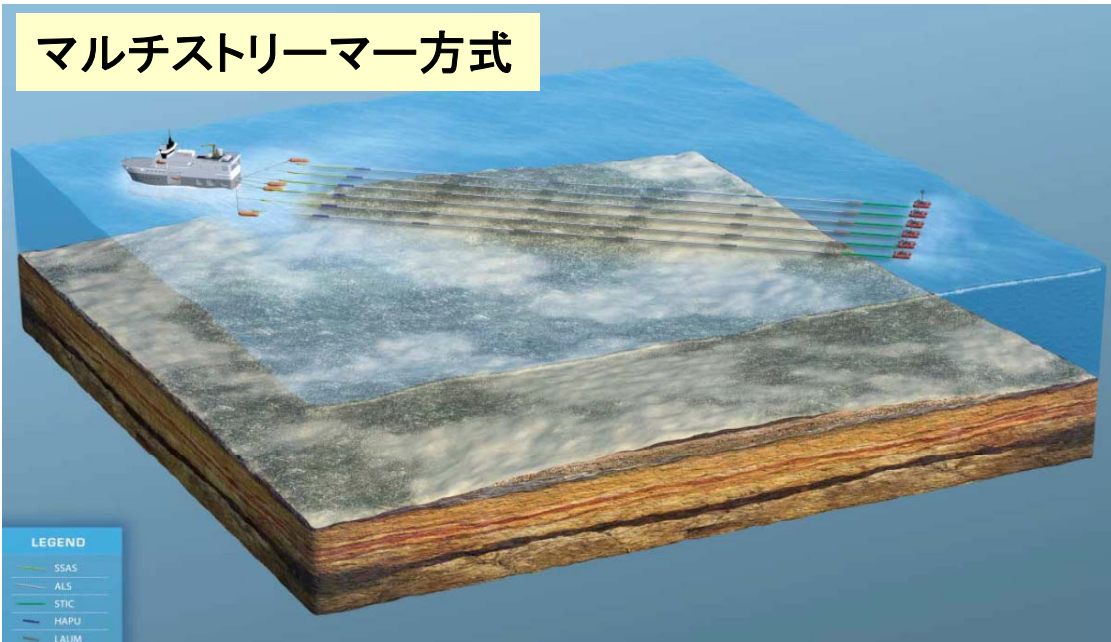
貯留層の不均質性: 砂の淘汰度、粘土の含有量

# 貯留層モデルをCO<sub>2</sub>挙動解析へ



# 常設OBCを用いた3次元反射法弾性波探査

## マルチストリーマー方式



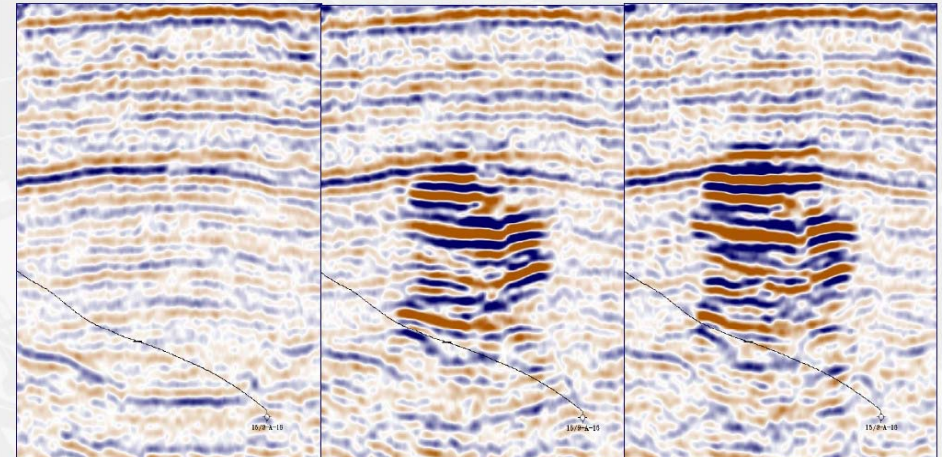
## 3D Seismic survey at Sleipner

STATOIL

1996

1999

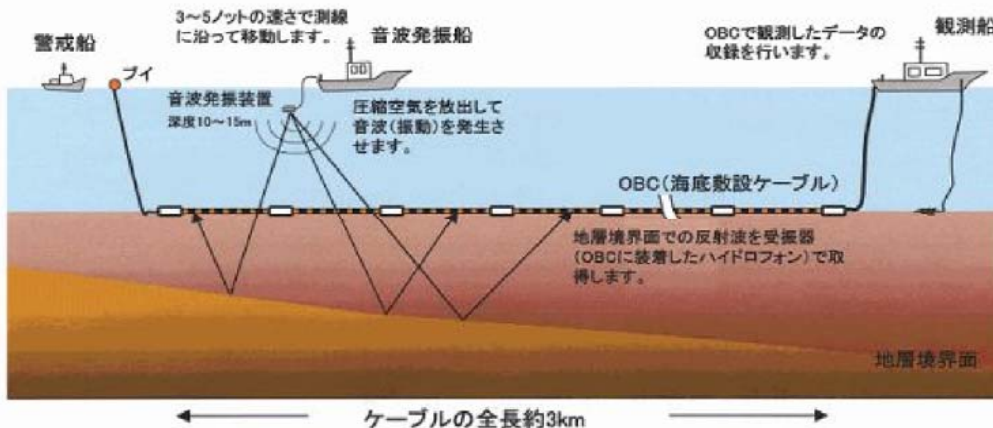
2001



Source: SACS, Best Practise manual 2003

8

## 再設置型OBC方式



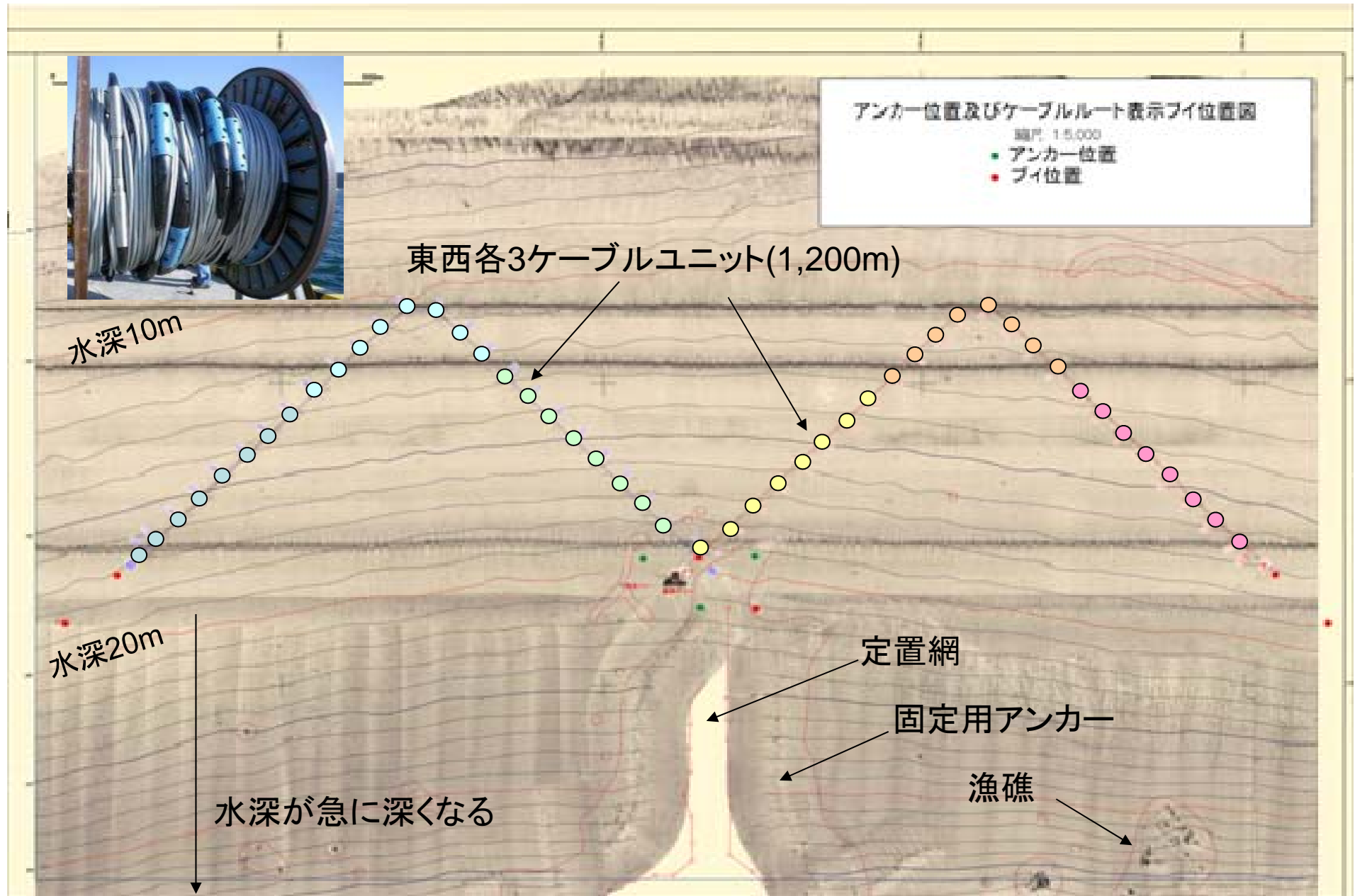
## 常設OBCのアドバンテージ

- 1) 受信機の位置ずれによる観測誤差が少ない。
- 2) 自然地震や微小振動の観測システムを兼ねる。
- 3) **P-S変換波データの取得**により、岩相や孔隙内流体の変化をとらえる。(室内実験と連携)

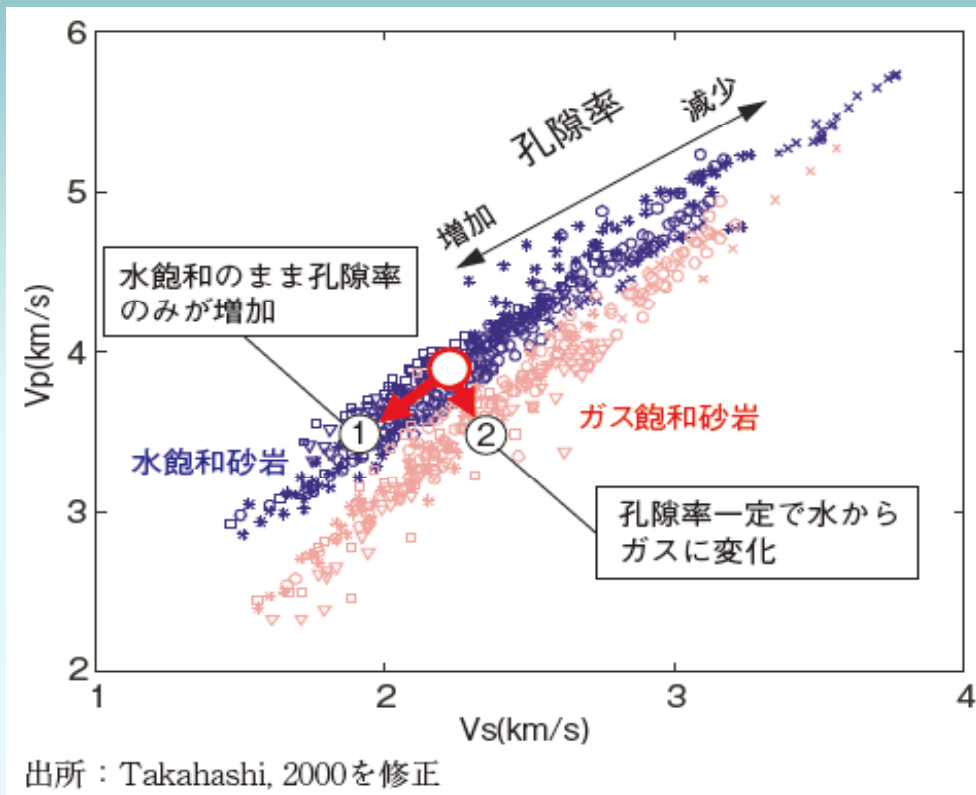
\* OBC: Ocean Bottom Cable、海底ケーブル

先行事例: BP社Valhall油田(北海)の油層モニタリング

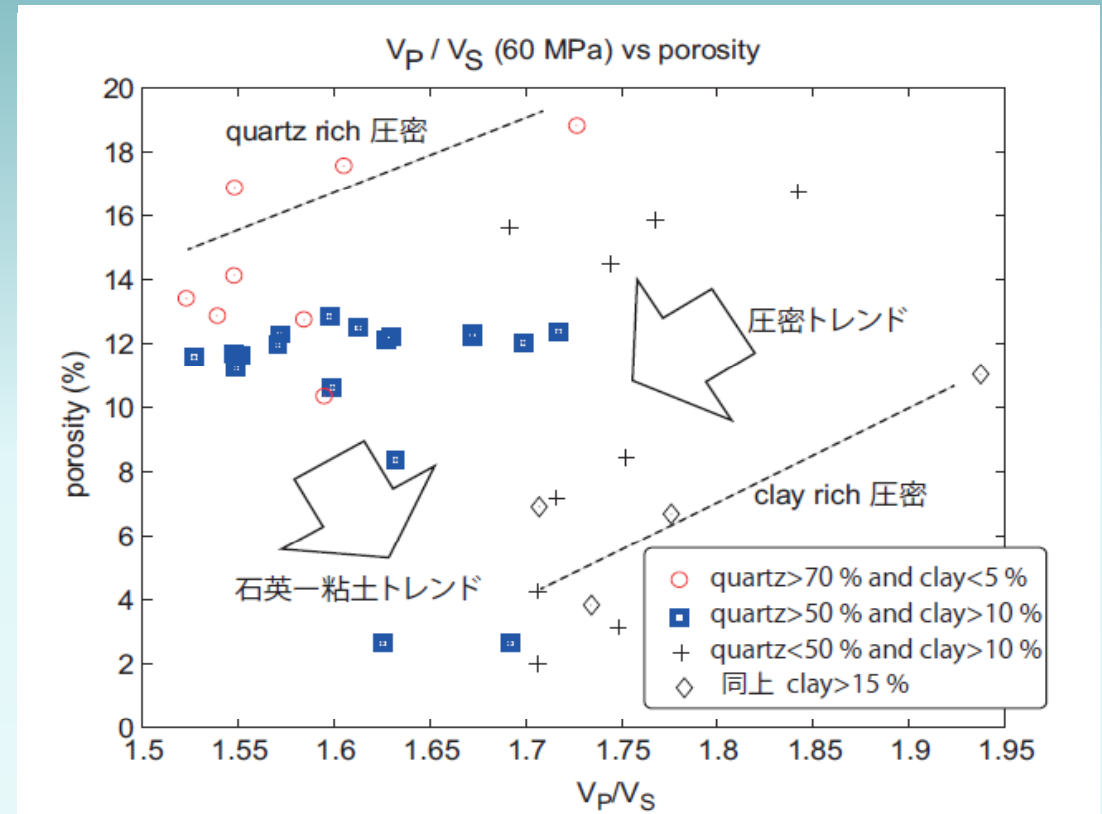
# 常設OBCを用いた実海域評価実験



# S波情報によるガス飽和度や岩石物性の評価



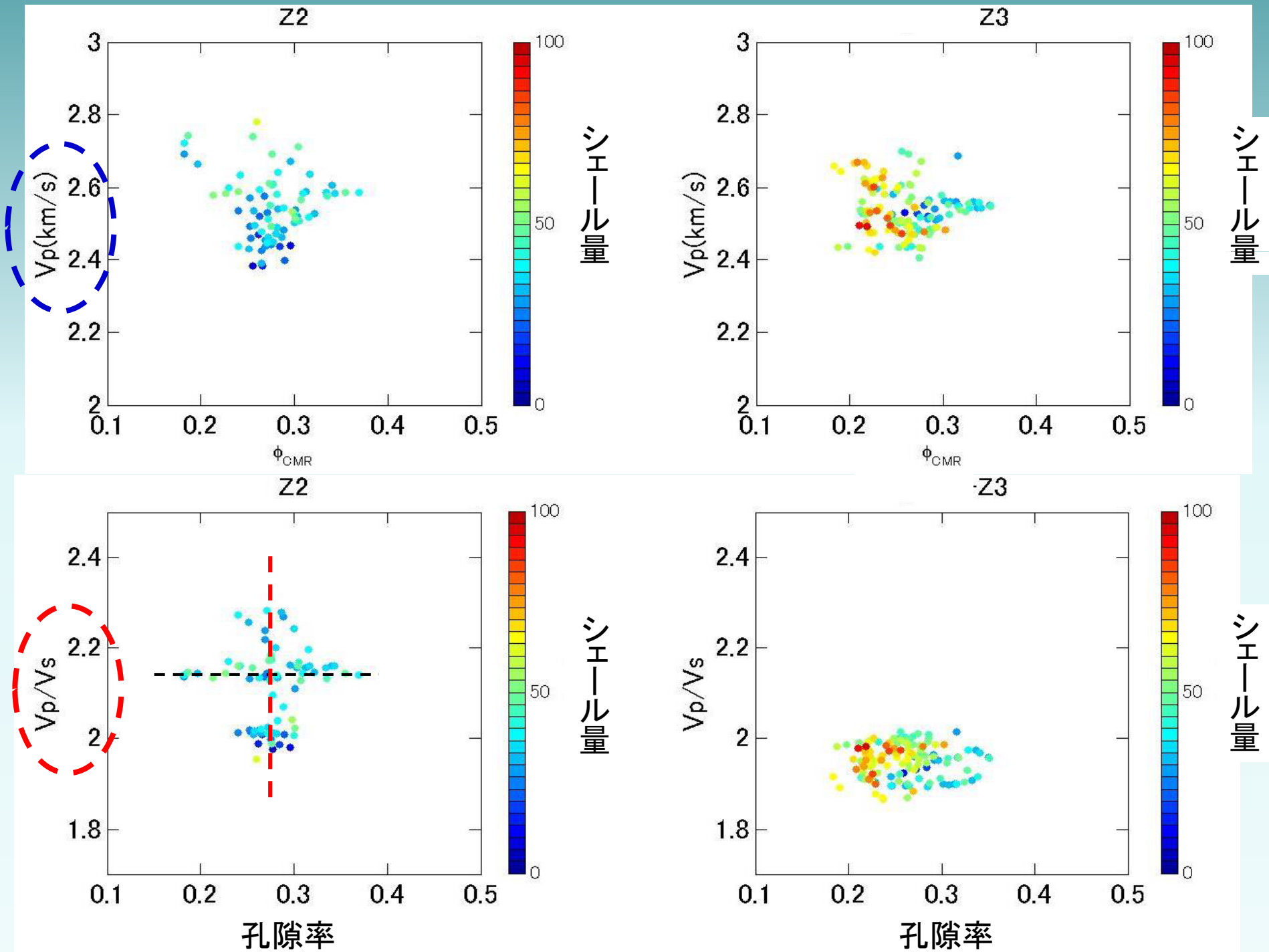
$V_p, V_s$ とガス飽和度の関係



$V_p/V_s$ と圧密状態や粘土分の関係

# Vp、Vp/Vs vs Porosity@長岡サイト

Nakajima and Xue (2012)



# まとめ

## ➤ 大規模実証試験への知見提供

### ▪ CO<sub>2</sub>貯留メカニズム

(長岡では物理的やCO<sub>2</sub>溶解トラップの他、残留ガスや鉱物固定トラップの可能性も確認)

### ▪ 貯留層モデル構築

(複雑な地質構造や貯留層の不均質性、S波情報の有効利用 →→→ わが国の地質特性に適した地質モデリング手法)

## ➤ CCS実用化への貢献

(わが国の地質的 & 社会的特性に適した技術事例集 →→→ 国際標準化や海外展開)