

CCUSの早期社会実装会議（第4回）

# CCSサイトの貯留層の評価

令和5年10月27日

大成建設株式会社

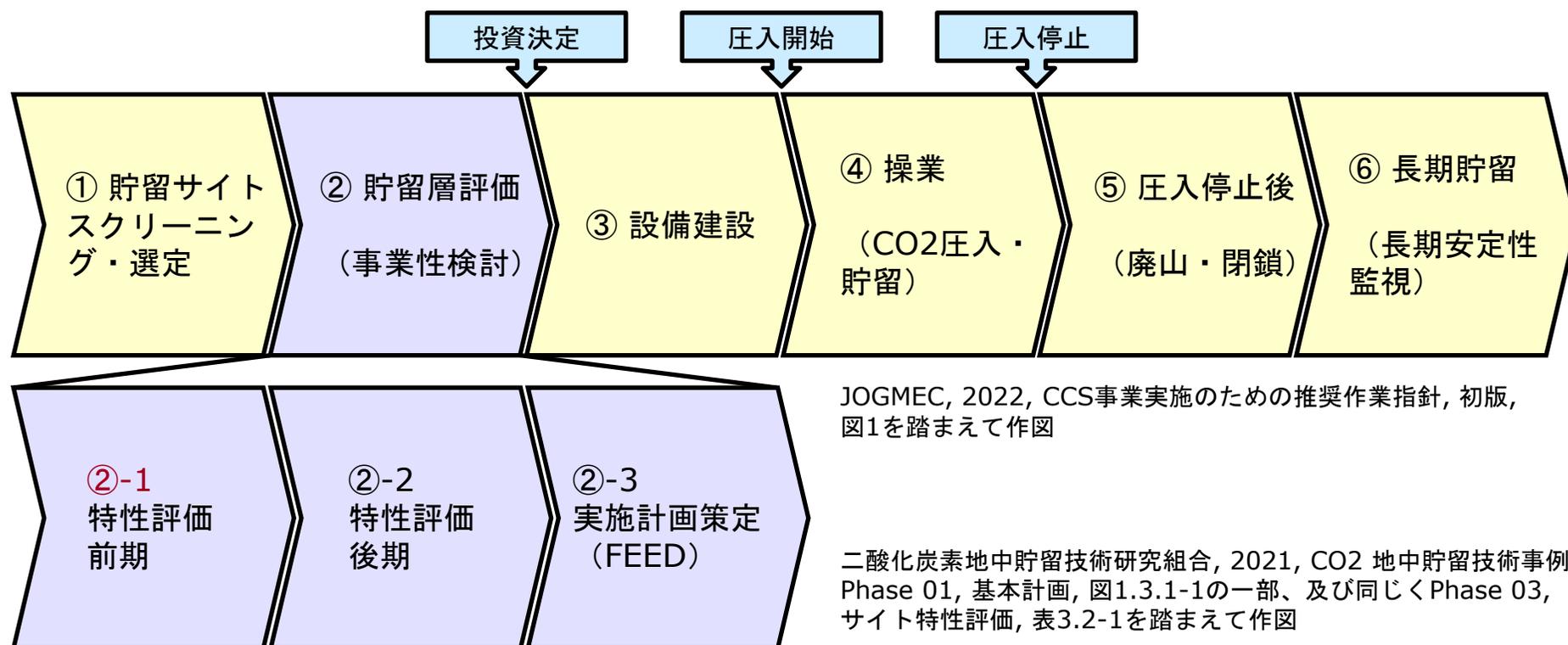
# 目次

---

1. 我が国のCCS事業の進展と本事業における貯留層評価の位置づけ
2. 各段階における貯留層評価の目的、実施作業、及び取得すべきデータ
3. フェーズ1における貯留層評価作業
4. フェーズ1で実施した広域地質評価
5. 広域地質評価の結果
6. フェーズ2で実施している特性評価前期段階の貯留層評価作業
7. フェーズ2で実施している詳細地質評価の骨子
8. AVOインバージョンとそのワークフロー
9. AVOインバージョンに基づく岩相分布の推定
10. 詳細地質評価の結果（詳細地質モデル）
11. 調査井掘削位置の選定に係る方針
12. 調査井掘削位置の選定
13. まとめと今後の課題

# 1. 我が国のCCS事業の進展と本事業における貯留層評価の位置づけ

- 我が国のCCS事業は、①貯留サイトスクリーニング・選定の段階を経て、②貯留層評価の段階に入って来ている。
- 本事業においては、フェーズ1（2016～2020）において①貯留サイトスクリーニング・選定段階の貯留層評価を実施した後、フェーズ2（現フェーズ：2021～）において、②-1特性評価前期段階（調査井掘削の準備段階）で実施すべき作業を例示することを目的として、海域1か所を対象として評価作業を試行している。



## 2. 各段階における貯留層評価の目的、実施作業、及び取得すべきデータ

- 特性評価前期段階の地下評価作業は、**A)** 既往3D弾性波探査/坑井データ等を用いて、特に**B)** 調査井の掘削位置や仕様を選定することを目的として行う**C)** 詳細地質評価を主とする。
- フェーズ2においても、概ね同じ要領にて評価作業を実施している。

事業フェーズ	① スクリーニング・選定	②-1 特性評価 前期	②-2 特性評価 後期
目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造形態の把握</li> <li>・ 貯留層/遮蔽層の広域分布把握</li> <li>・ 貯留システム検討</li> <li>・ 想定エリアの選定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 貯留システムレビュー（サイト範囲）</li> <li>・ サイト候補の選定</li> <li>・ 追加調査準備（3D弾性波探査/<b>B)</b> 調査井掘削位置・仕様選定）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 貯留システムの詳細評価</li> <li>・ 静的/動的貯留可能量の推定</li> <li>・ 概念設計</li> <li>・ サイト確定</li> </ul>
実施作業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 広域地質評価</li> <li>・ 広域概念地質モデルの構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>C)</b> 詳細地質評価</li> <li>・ 追加調査仕様検討</li> <li>・ PO/PA活動計画</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 詳細地質評価</li> <li>・ 地質/貯留層モデルの構築</li> <li>・ 流動シミュレーション</li> <li>・ 調査井掘削</li> <li>・ PO/PA活動</li> </ul>
取得すべき必要データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既存地質情報（文献等）</li> <li>・ 既往2D/3D弾性波探査/坑井データ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既往地質データ（同左、特に<b>A)</b> 既往3D弾性波探査/坑井データ）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 3D弾性波探査（モニタリングベース）</li> <li>・ 調査井で取得したデータ 試料分析結果</li> </ul>

二酸化炭素地中貯留技術研究組合, 2021, CO2 地中貯留技術事例集、Phase 03, サイト特性評価, 表3.2-1より、同書の趣旨を踏まえて一部修正の上転記

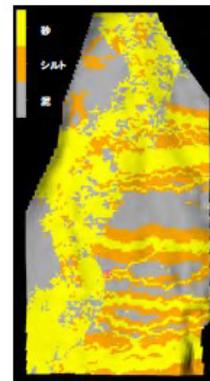
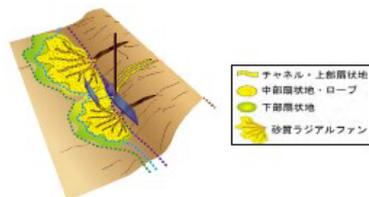
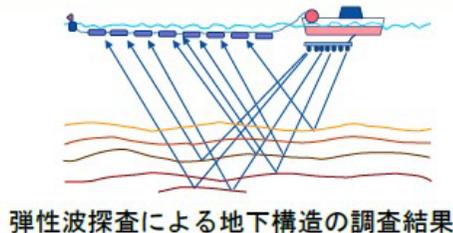
### 3. フェーズ1における貯留層評価作業

- フェーズ1（2016～2020）においては、「海底下に貯留した二酸化炭素の漏洩抑制・修復手法に関する検討」の一環として、「二酸化炭素貯留適地調査事業」において貯留ポテンシャルがあると評価されている海域を取り上げて、①貯留サイトスクリーニング・選定段階の貯留層評価作業である「広域概念地質モデルの構築」等を行った。

(主な成果2-1)

不均質な地下構造を広範囲にモデル化する技術の確認

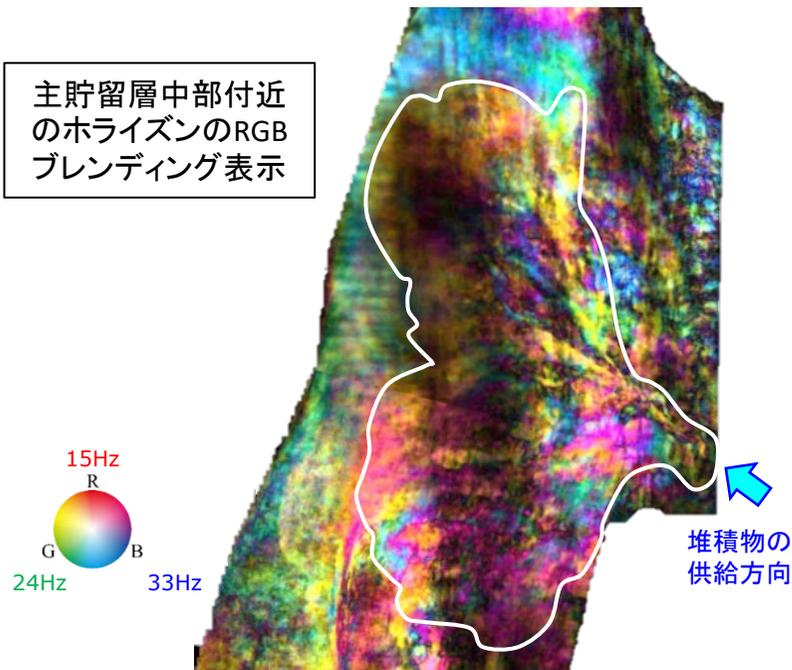
- 数km以上の水平広がりを持った海底下の地質構造を信頼性高く評価することが必要である。
- 調査結果と太古の堆積環境を推定する手法を組み合わせ、**精緻なモデルを作成した。**



## 4. フェーズ1で実施した広域地質評価

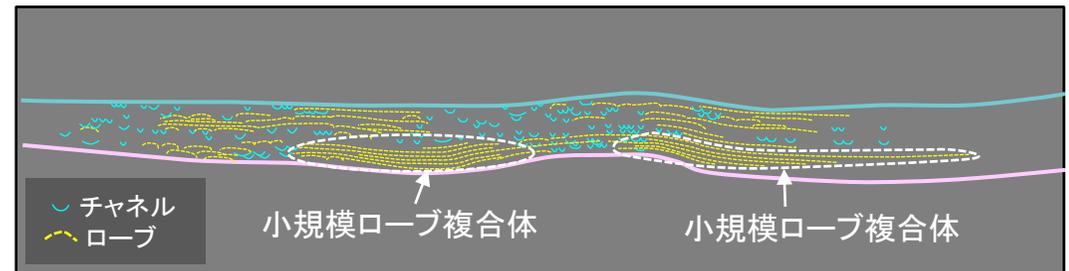
- フェーズ1において、「広域概念地質モデルの構築」を目的として実施した「広域地質評価」では、弾性波探査データに含まれる堆積学的な特徴を手掛かりとする以下のような手法を用いて、砂質堆積物の大まかな分布傾向を推定し、貯留可能域を把握した。
  - 弾性波探査データの周波数特性を視覚的に示すことができるRGBブレンディング表示により、平面的な地形学的特徴（蛇行河川の痕跡や海底扇状地の拡がり等）を把握する手法。
  - 弾性波探査断面上の反射イベントの形状に現れている堆積物の特徴を抽出する手法。

主貯留層中部付近の  
ホライズンのRGB  
ブレンディング表示



RGBブレンディング表示によって浮かび上がった海底扇状地

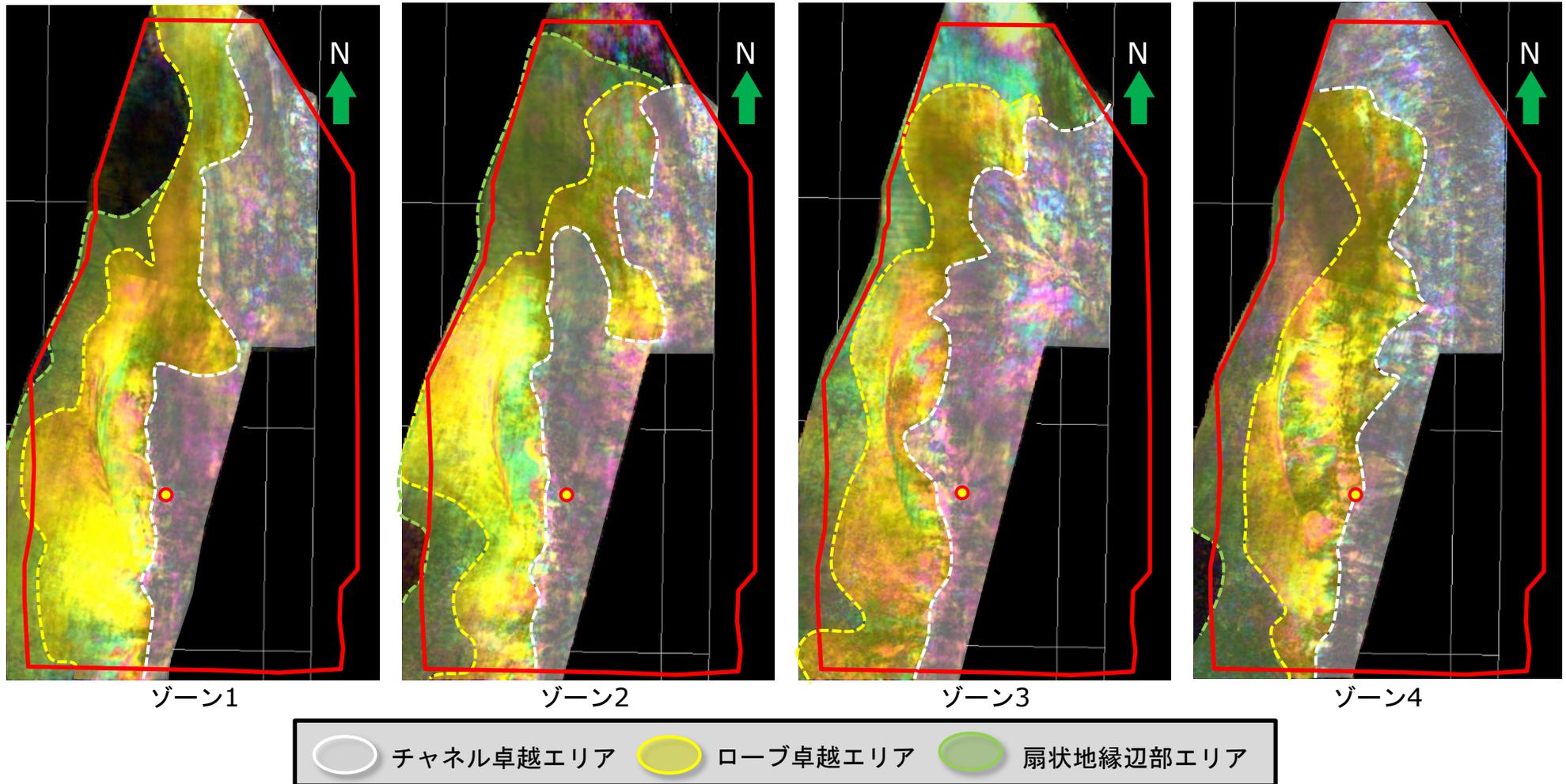
弾性波探査南北断面上  
での解釈例



弾性波探査断面上の反射イベントの形状に現れている堆積物の特徴

## 5. 広域地質評価の結果

- 貯留層（最下層をゾーン1とする4ゾーン）における堆積相（堆積環境による地層区分）の分布を推定し、ローブ卓越エリアと推定される西側海域（黄色）の貯留性が高いと評価した。

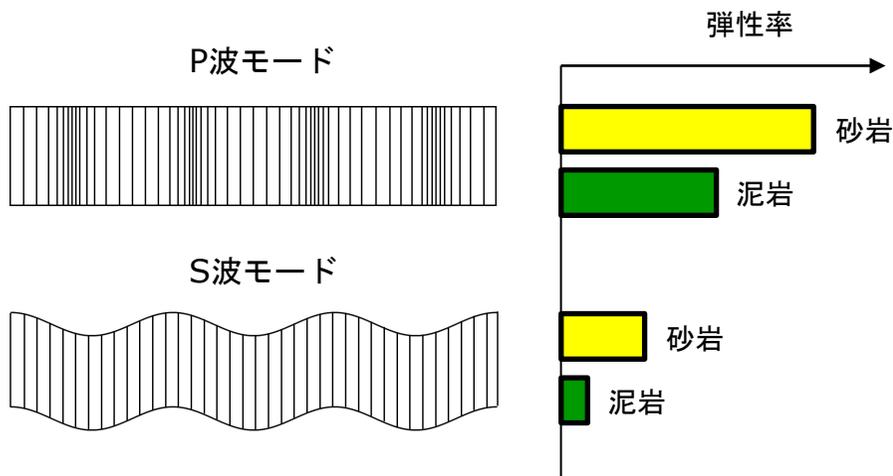


## 6. フェーズ2で実施している特性評価前期段階の貯留層評価作業

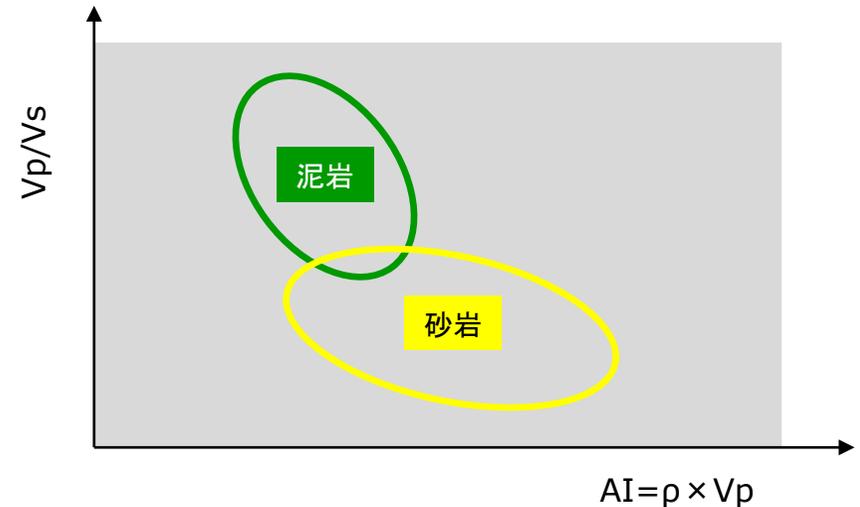
- フェーズ2（現フェーズ：2021～）においては、②-1特性評価前期段階の貯留層評価作業として、特に調査井掘削位置を選定するための作業を試行することを目的として、フェーズ1と同じ海域を取り上げ、既往3D弾性波探査データと既存坑井データとを利用して地下状況を精緻に推定することを主眼とする詳細地質評価を行っている。
- 詳細地質評価の結果は、フェーズ1で作成した広域概念地質モデルの対象範囲のうち、3D弾性波探査データがカバーする範囲に限定した詳細地質モデルとしてまとめる作業を行っている。
- 詳細地質評価の実施にあたっては、CCS事業の②-2特性評価後期段階において掘削されることが想定される調査井について、以下の想定を行っている。
  - 調査井掘削には莫大な費用を要するため、できるだけ少ない数の調査井によって（②-2特性評価後期段階の目的である）サイト確定に至り得る必要がある。そのため、各調査井において取得される地下情報が代表し得るエリアが十分に広いと想定できる必要がある。
  - また、各調査井が代表し得るエリア内において、以下の地質的要素の性状やその分布が、一定の精度を伴って推定できており、かつ調査井による情報取得はその精度を有意に向上させるためのものと位置付けられるべきである。
    - ✓ 貯留性：貯留層が、計画CO<sub>2</sub>量を貯留するのに十分な孔隙スペースを有していること
    - ✓ 圧入性：貯留層が、圧入井近傍における許容範囲を超える圧力上昇を生じさせずに、計画CO<sub>2</sub>圧入流量を十分に受け入れる浸透性を有していること
    - ✓ 遮蔽性：遮蔽層が、断層等の潜在的な漏洩経路を有さず、かつ圧入されたCO<sub>2</sub>を貯留層内に長期にわたって安定的に保持するのに必要な封じ込め能力を有していること

## 7. フェーズ2で実施している詳細地質評価の骨子

- フェーズ2において、「詳細地質モデルの構築」を目的として実施している「詳細地質評価」では、弾性波のうちの粗密波（P波）とせん断波（S波）の伝播速度（ $V_p$ と $V_s$ ；P波弾性率ないしS波弾性率と密度の比の平方根）が、砂岩と泥岩とでは有意に異なる性質を利用して、**砂岩（貯留性と圧入性が期待できる岩石）と泥岩（遮蔽性が期待できる岩石）の分布を、弾性波探査データの高い分解能を利用して詳細に推定し、貯留層と遮蔽層の分布域及びそれらの不均質性を詳細に把握**する作業を進めている。
- フェーズ2においては、砂岩と泥岩が、P波インピーダンス（ $AI = \text{密度} \times V_p$ ）と $V_p/V_s$ 比とによるクロスプロット上でそれぞれクラスターを構成するため、両者の分離・識別が容易になる傾向を手掛かりとして、砂岩と泥岩の分布をAVO（Amplitude Variation with Offset）インバージョンを基本とする方法によって推定している。



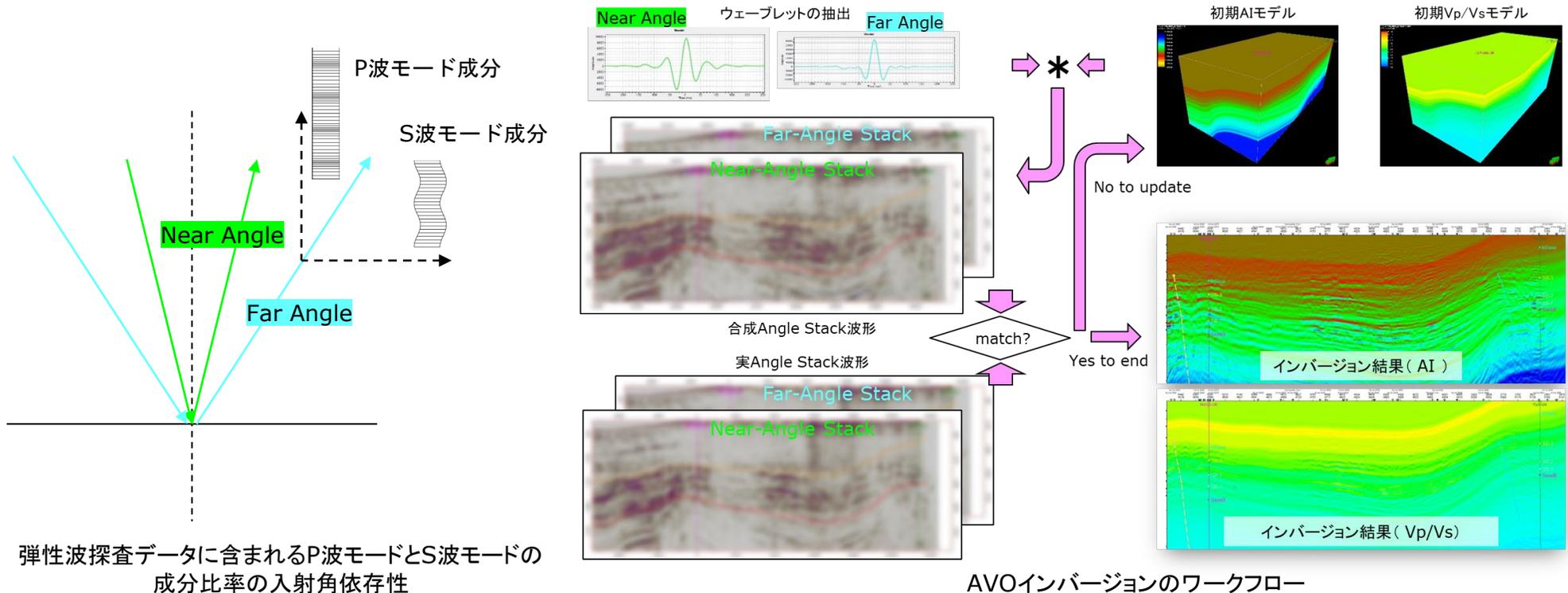
弾性波のうちの粗密波（P波）とせん断波（S波）、及び弾性率



AI- $V_p/V_s$ クロスプロットに現れる砂岩と泥岩のクラスター

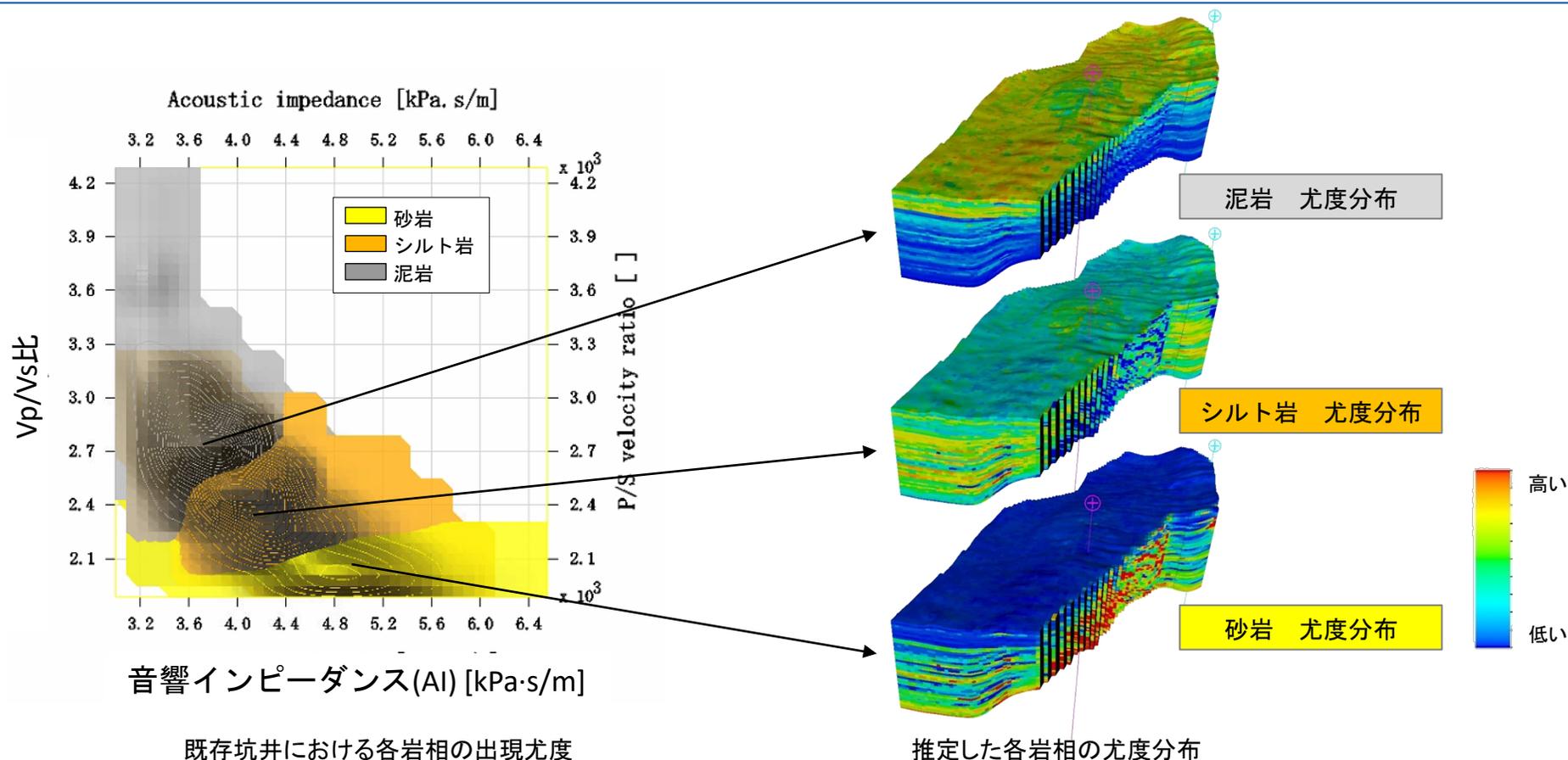
## 8. AVOインバージョンとそのワークフロー

- AVOインバージョンとは、弾性波探査データに含まれる高角入射パート（Near Angle Stack）と低角入射パート（Far Angle Stack）とで、P波モードとS波モードの成分比率が異なる性質を利用して両モードの反射率を計算し、AI値とVp/Vs比の分布を推定する方法である。
- 坑井データを利用してAI値とVp/Vs比の初期モデルを作成し、モデルから計算される弾性波探査データの各パート（合成Angle Stack）が、実際の弾性波探査データの各パート（実Angle Stack）に一致するようにモデルを反復修正し、AI値とVp/Vs比の実際の分布を推定する。



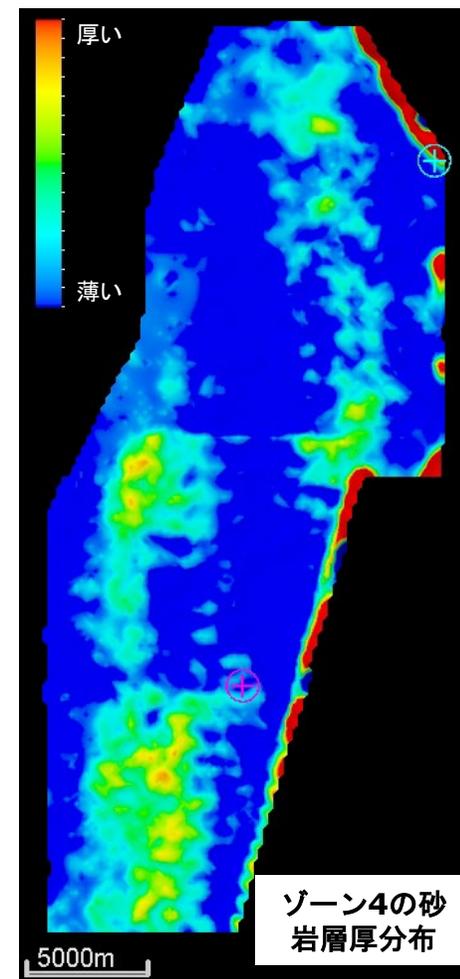
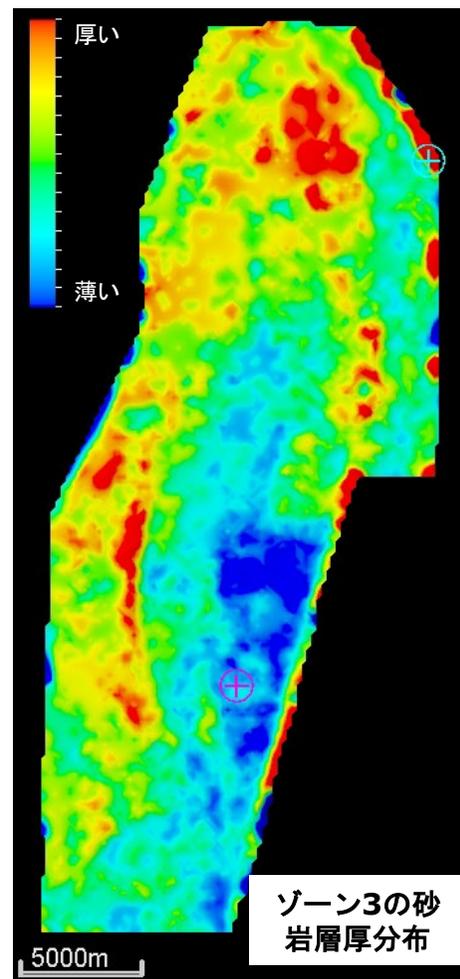
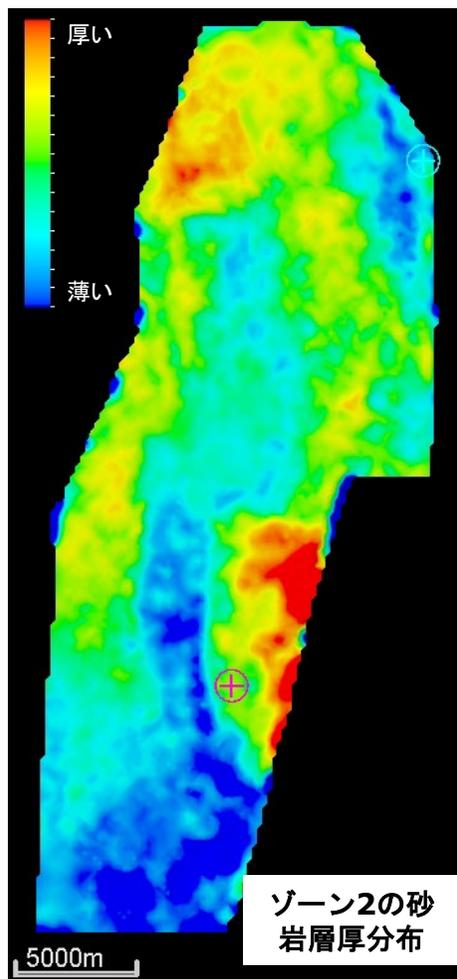
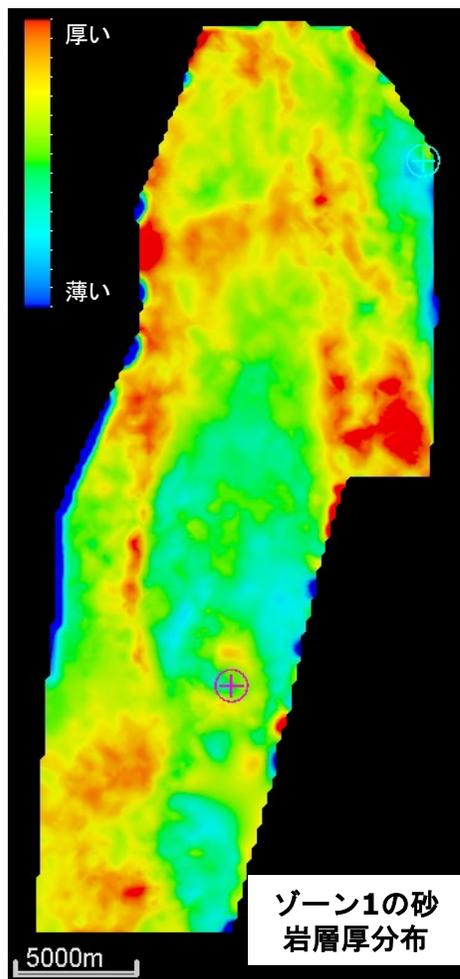
## 9. AVOインバージョンに基づく岩相分布の推定

- フェーズ2においては、既存の坑井データを利用して、砂岩と泥岩、及びそれらの中間岩相であるシルト岩を含めた3岩相の、AI値とVp/Vs比とによるクロスプロット上での分布傾向（出現尤度分布）を推定し、それをAVOインバージョンによって得たAI値とVp/Vs比の分布にあてはめることによって、各岩相の出現尤度を各点において推定した。



## 10. 詳細地質評価の結果（詳細地質モデル）

- 貯留層内各ゾーンにおける砂岩層厚の分布（下図：暖色ほど砂岩層が厚いことを示す）を推定し、特にゾーン1とゾーン3の北部と西部に高い貯留性を有する地層が分布すると評価した。



# 11. 調査井掘削位置の選定に係る方針

- 以下の方針により、調査井掘削位置を選定する作業を行っている。
  - 1坑井が代表し得るエリアが十分に広く、調査井は少ない数で掘削できる。
    - ⇒ 十分な厚さの貯留層と遮蔽層が十分に広がると推定されるエリアに1本だけ掘削する。
  - 調査井掘削により得られるデータを用いることで、貯留性、圧入性、遮蔽性に関する現段階（②-1特性評価前期段階）での推定精度を、投資決定に向けて有意に向上させられる。

⇒設備建設を伴う投資決定においては、圧入地点が（対象エリアの連続性が油水界面の一致によって確信できる石油開発とは異なり）実測により地下情報が確認されている位置のごく近傍であることが重要視される（右図参照）であろうことから、将来における圧入井が調査井の近傍に配置されることを想定する。

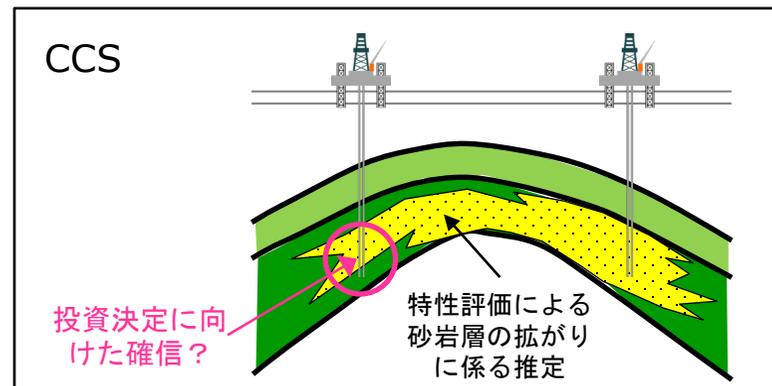
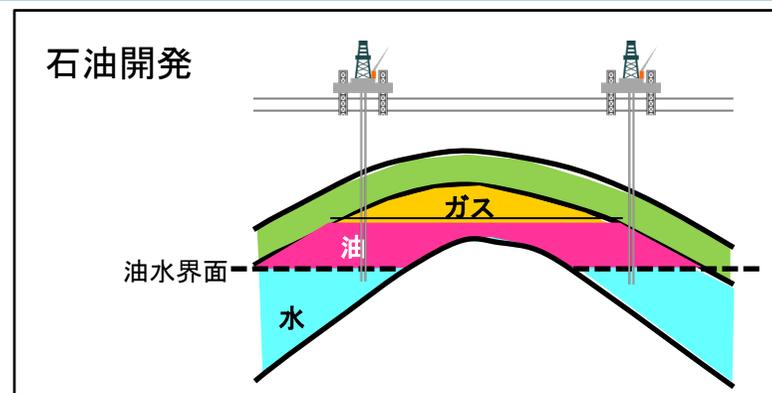
⇒当該地点で圧入したCO2が、漏洩リスクのある断層や既存坑井には接近しない地点である。

⇒調査井近傍において、本事業が基本とする洋上圧入システムでの操業が可能である。

⇒水深90m程度以上の地点である。

➢ 調査井の掘削装置が国内で調達可能である。

⇒水深120m以下の地点である。

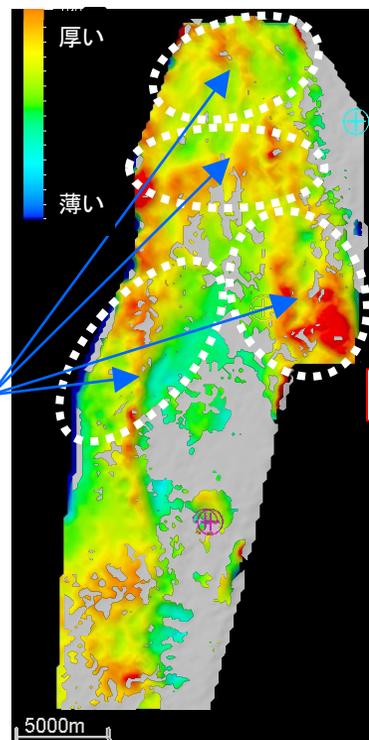


## 12. 調査井掘削位置の選定

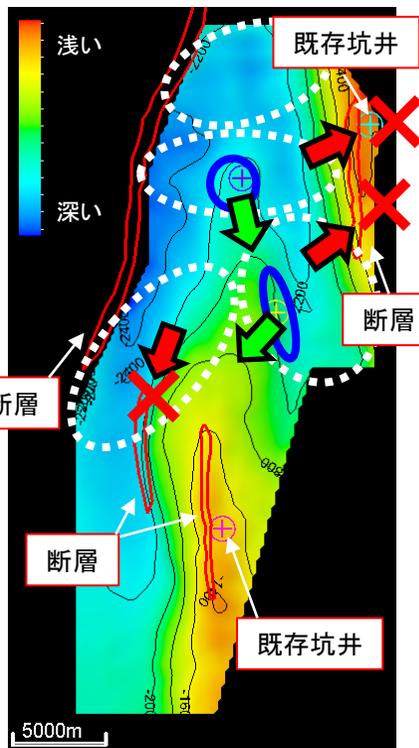
- 遮蔽性が最も高いと期待されるゾーン1に注目し、貯留層・遮蔽層の広がり、圧入CO2が断層や既存坑井へ接近しないこと、水深が90~120mであること等の条件により、**青楕円**で示す2地点に絞った後、平均孔隙率が相対的に高い**赤丸地点**を調査井掘削位置として選定した。

暖色が連続していることから、**十分な厚さの貯留層**が十分に広がると推定される

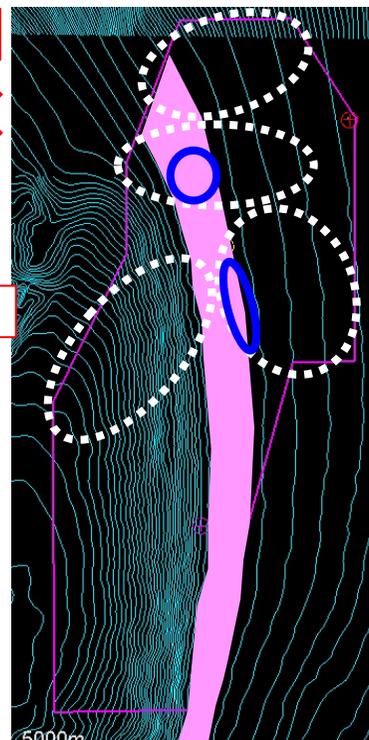
層内シール層の厚さが50m以上ある（50mより薄い部分をグレイアウトする篩にかからなかった）部分が連続していることから、**十分な厚さの遮蔽層**が十分に広がると推定される



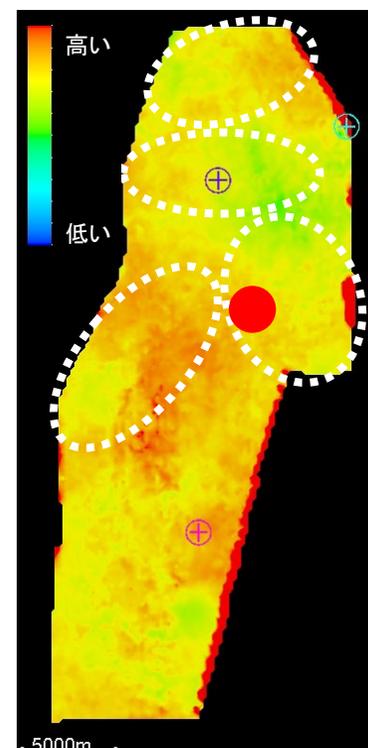
厚い層内シール部（グレイアウトしていない部分）下位のゾーン1の砂岩層厚



ゾーン1上面の深度構造図。矢印は圧入CO2の移動方向（緑：構造頂部に向かう流れ。赤：断層や既存坑井に接近する流れ）



水深図（ピンク色の塗りつぶしが水深90~120mのゾーン）



ゾーン1の砂岩層の平均孔隙率（暖色ほど高孔隙率であることを示す）。赤丸が、選定した調査井掘削位置。

## 13. まとめと今後の課題

- 本事業フェーズ2（2021～）においては、特に調査井掘削位置を選定するための作業を試行することを目的として、フェーズ1と同じ海域を取り上げて、②-1特性評価前期段階の貯留層評価作業である詳細地質評価を行っている。
- 現在までに、設定した調査井掘削位置の選定に係る方針に基づき、調査井1坑の掘削位置選定の試行を完了している。
- 一方で、詳細地質評価の進め方や結果について、第三者である専門会社がレビューを行い、課題の抽出を行っている。抽出された主たる課題は以下の9件である。
  - 使用したデータの品質や新たに取得すべきデータに係る課題 : 2件
  - 試行することが有意義であると考えられる作業方法に係る課題 : 7件
- 今後は、前項の課題を解決する方法を検討するとともに、これまで行ってきた詳細地質評価作業と併せて試行例としてまとめ、②-1特性評価前期段階（調査井掘削の準備段階）において実施すべき作業の例示を行う予定である。