

地下水の流れが非常に遅い領域を 調査・評価する技術の高度化

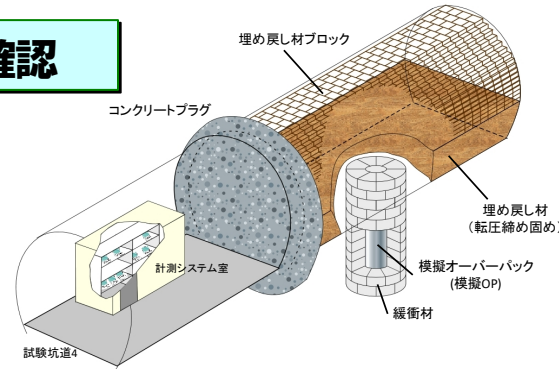
核燃料・バックエンド研究開発部門

幌延深地層研究センター 堆積岩地質環境研究グループ

令和2年度以降の幌延深地層研究計画

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- 人工バリア性能確認試験
- 物質移行試験



人工バリア性能確認試験の概要



人工バリア性能確認試験の解体調査のイメージ

②処分概念オプションの実証

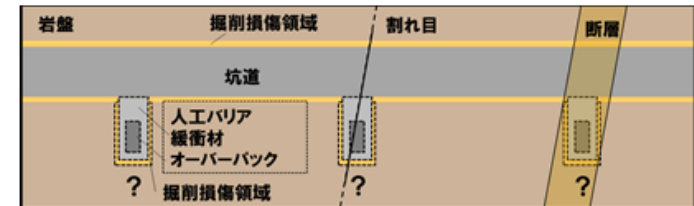
- 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
 - ・ 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
 - ・ 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化
- 高温度（100℃以上）等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験



閉鎖技術オプションの整理

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
 - ・ 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握
 - ・ 地下水流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化*
- 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験



廃棄体定置決定や間隔設定の考え方の整理

※経済産業省資源エネルギー庁の委託事業（令和2年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する研究開発事業：岩盤中地下水流動評価技術高度化開発）の一環として実施した。

本日の話の流れ

1. 地層処分において地下水流動を調べる研究の重要性
2. 幌延地域における古い地下水(化石海水)の存在
3. 化石海水の調査方法の紹介
 - 調査の全体の流れ
 - 広域スケールを対象とした調査
 - 空中電磁探査
 - 電磁探査(MT法)
 - 施設スケールを対象とした調査
 - ボーリング調査
 - 高密度電磁探査
 - 反射法地震探査
4. まとめ

本日の話の流れ

1. 地層処分において地下水流動を調べる研究の重要性
2. 幌延地域における古い地下水(化石海水)の存在
3. 化石海水の調査方法の紹介
 - 調査の全体の流れ
 - 広域スケールを対象とした調査
 - 空中電磁探査
 - 電磁探査(MT法)
 - 施設スケールを対象とした調査
 - ボーリング調査
 - 高密度電磁探査
 - 反射法地震探査
4. まとめ

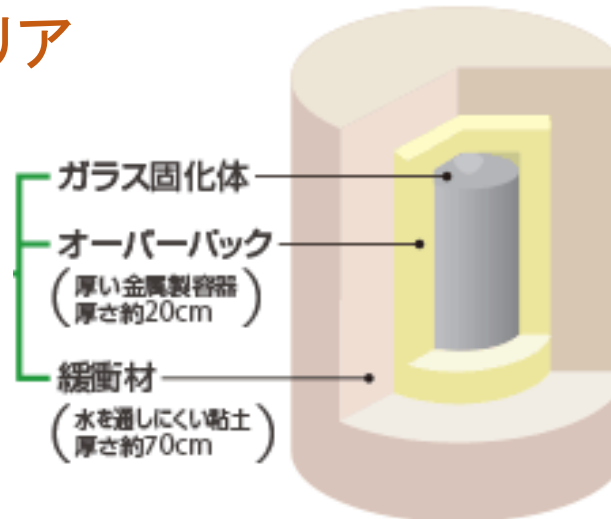
地層処分とは

原子力発電に伴って発生する**高レベル放射性廃棄物**を、地下深くの安定した岩盤に閉じ込め、人間の生活環境や地上の自然環境から隔離して処分する方法



NUMOの説明会資料より抜粋

人工バリア



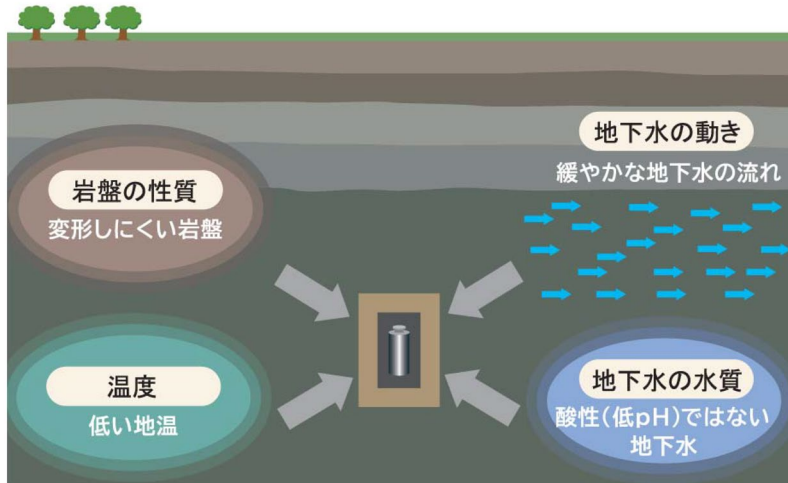
https://www.chuden.co.jp/energy/nuclear/nuc_qa/qa06.html

天然バリア

300mより深い安定した岩盤

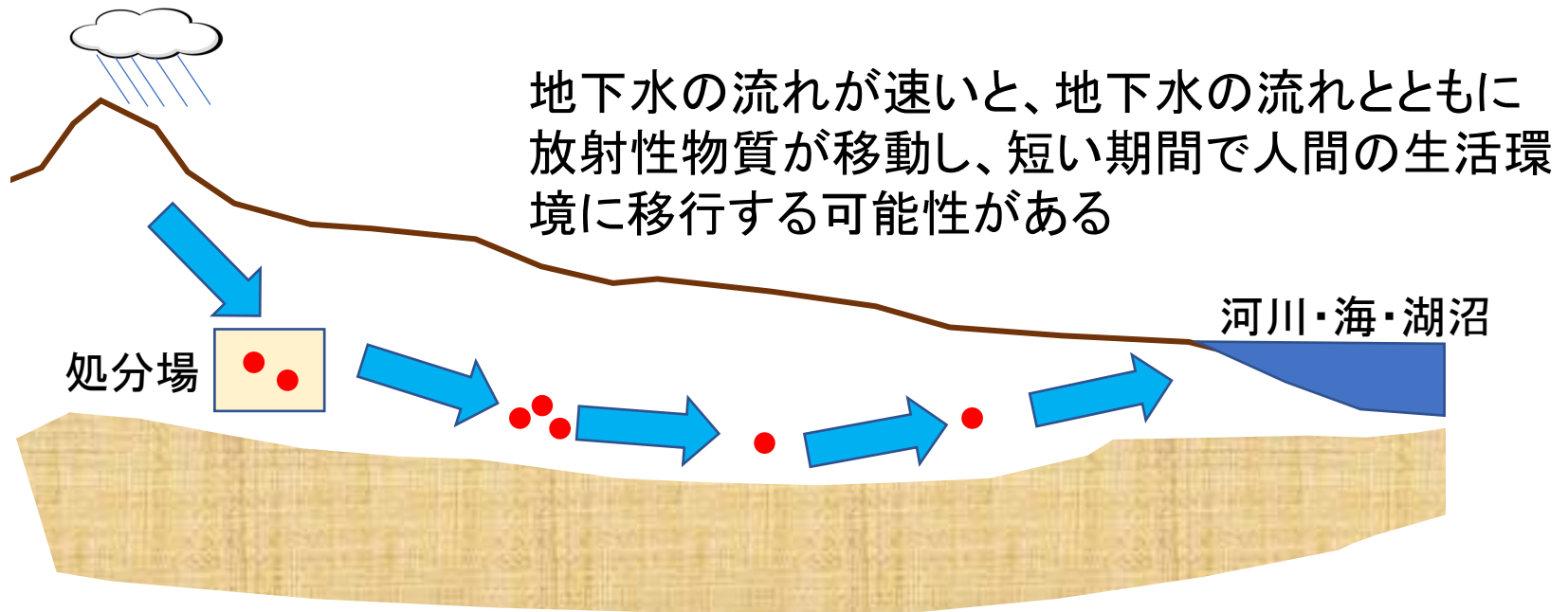
地層処分において好ましい地質環境

好ましい地質環境特性



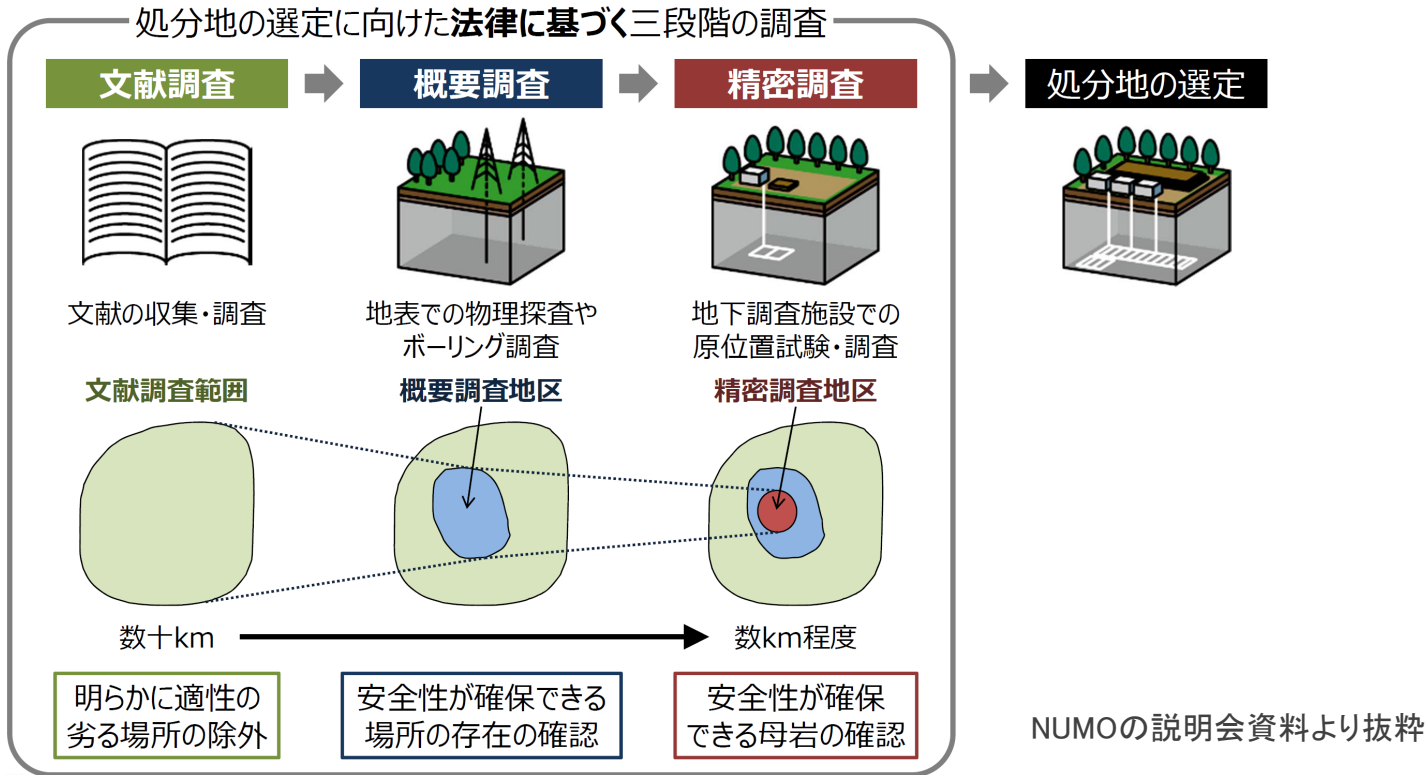
地下水の動きが非常に遅い(低流動である)ことが好ましい

NUMOの説明会資料より抜粋



地下水の低流動域を調査・評価する技術の開発

サイト選定の流れ



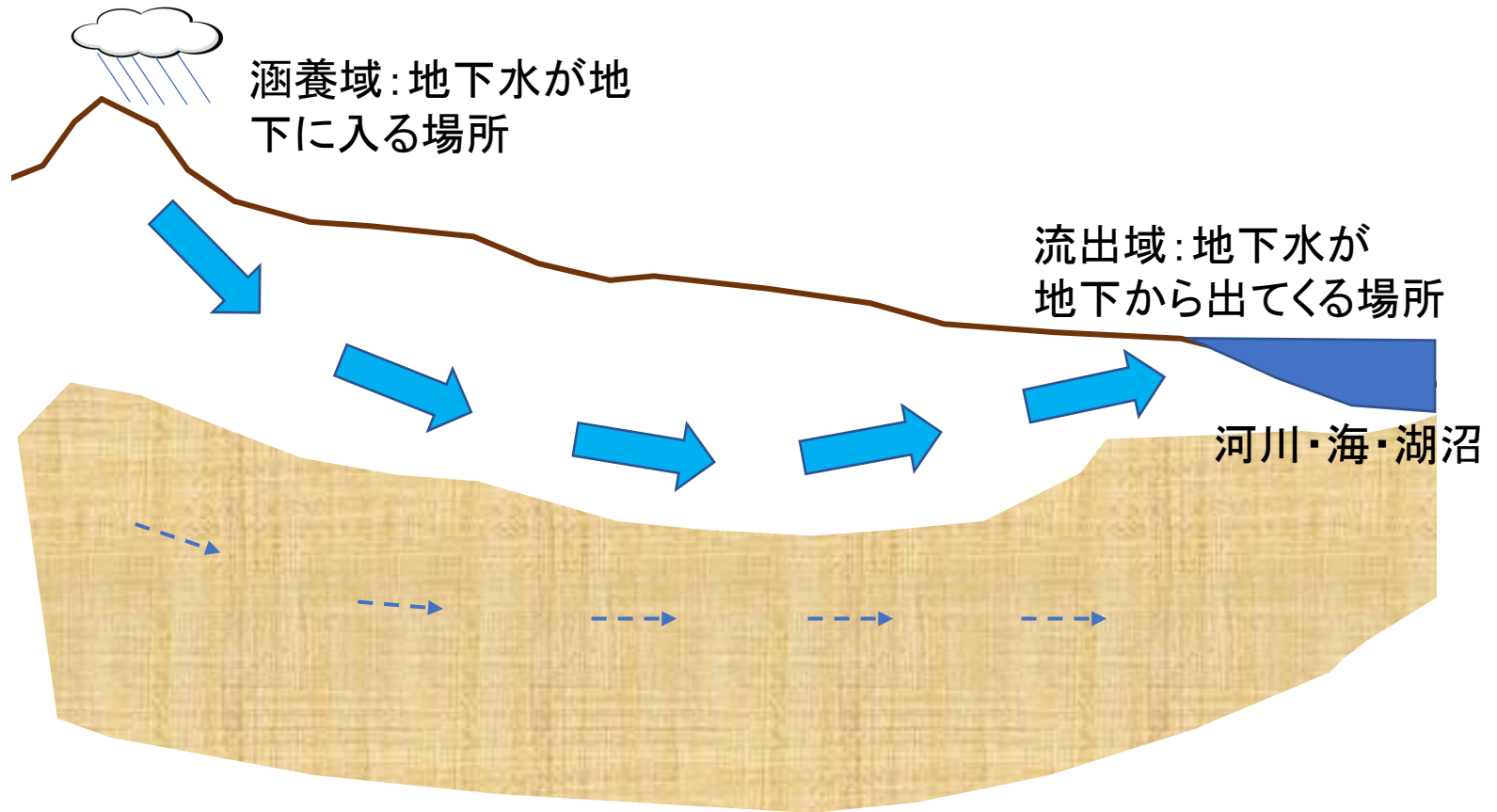
- 概要調査では、候補地を絞り込むために地下水の流れが遅い領域がどのように広がっているかを調べる※。
- 原子力機構はそのための技術の開発・高度化を実施している。

※NUMO(2021):包括的技術報告:わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイトの選定に向けセーフティーケースの構築—

本日の話の流れ

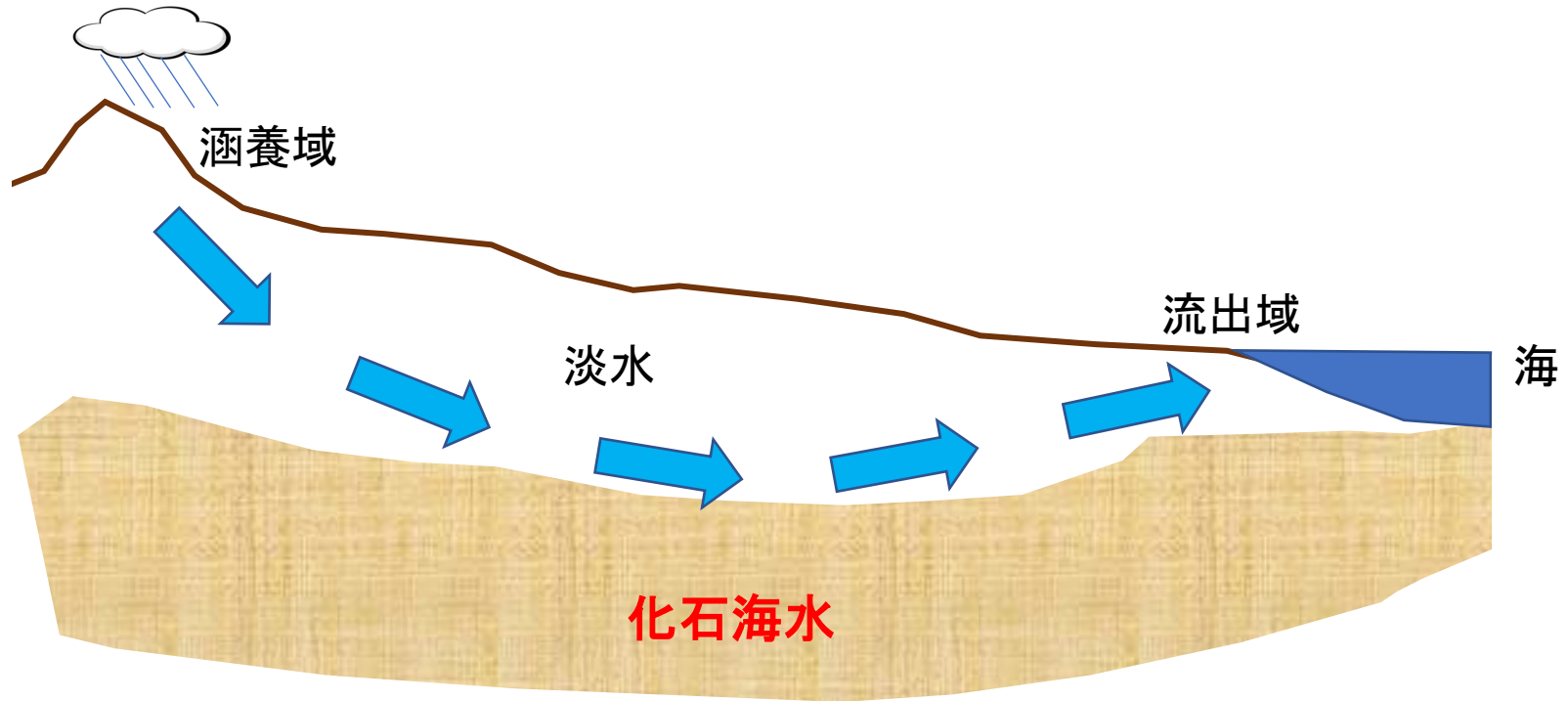
1. 地層処分において地下水流動を調べる研究の重要性
2. 幌延地域における古い地下水(化石海水)の存在
3. 化石海水の調査方法の紹介
 - 調査の全体の流れ
 - 広域スケールを対象とした調査
 - 空中電磁探査
 - 電磁探査(MT法)
 - 施設スケールを対象とした調査
 - ボーリング調査
 - 高密度電磁探査
 - 反射法地震探査
4. まとめ

地下水の流動特性



- 地下水は、涵養域から流出域に向かって流れる。
- しかし、幌延の地下深部では、非常に古い地下水(化石海水)が存在するため、上記の流れは存在しない。

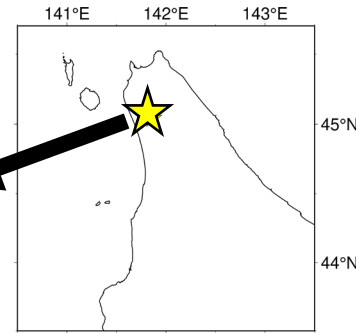
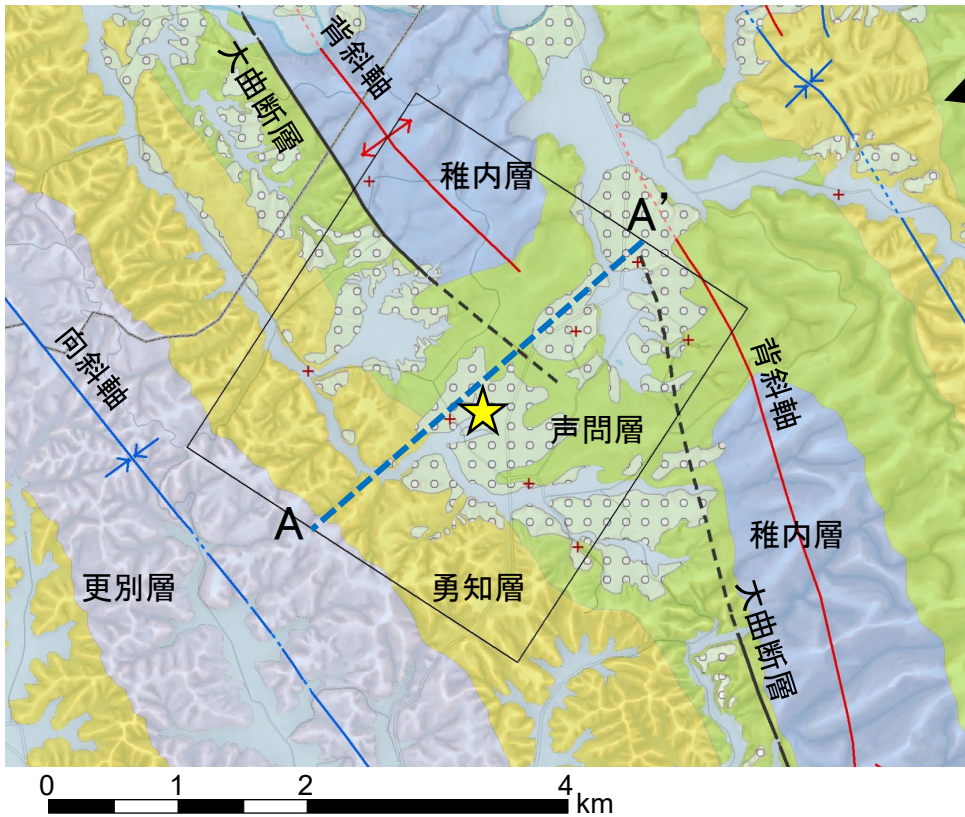
幌延における古い地下水(化石海水)の存在



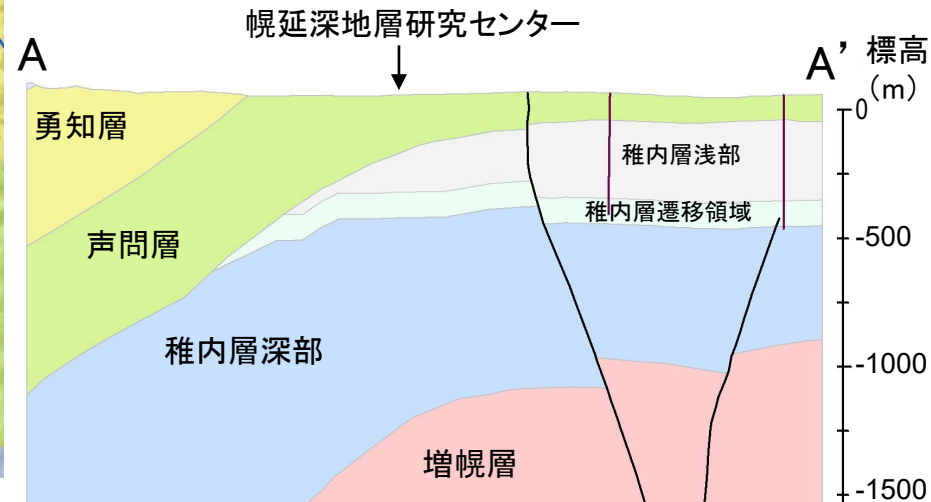
- 化石海水**: 地層の堆積時に地層中に取り込まれた塩水
地質学的な長い時間をかけて変質している
⇒長い間、隆起・侵食や海水準変動の影響を受けていない
⇒地下水の循環から切り離された地下水

化石海水の存在は有用な情報となる

幌延地域の地質構造



★ 幌延深地層研究センター
地下施設



地質断面図

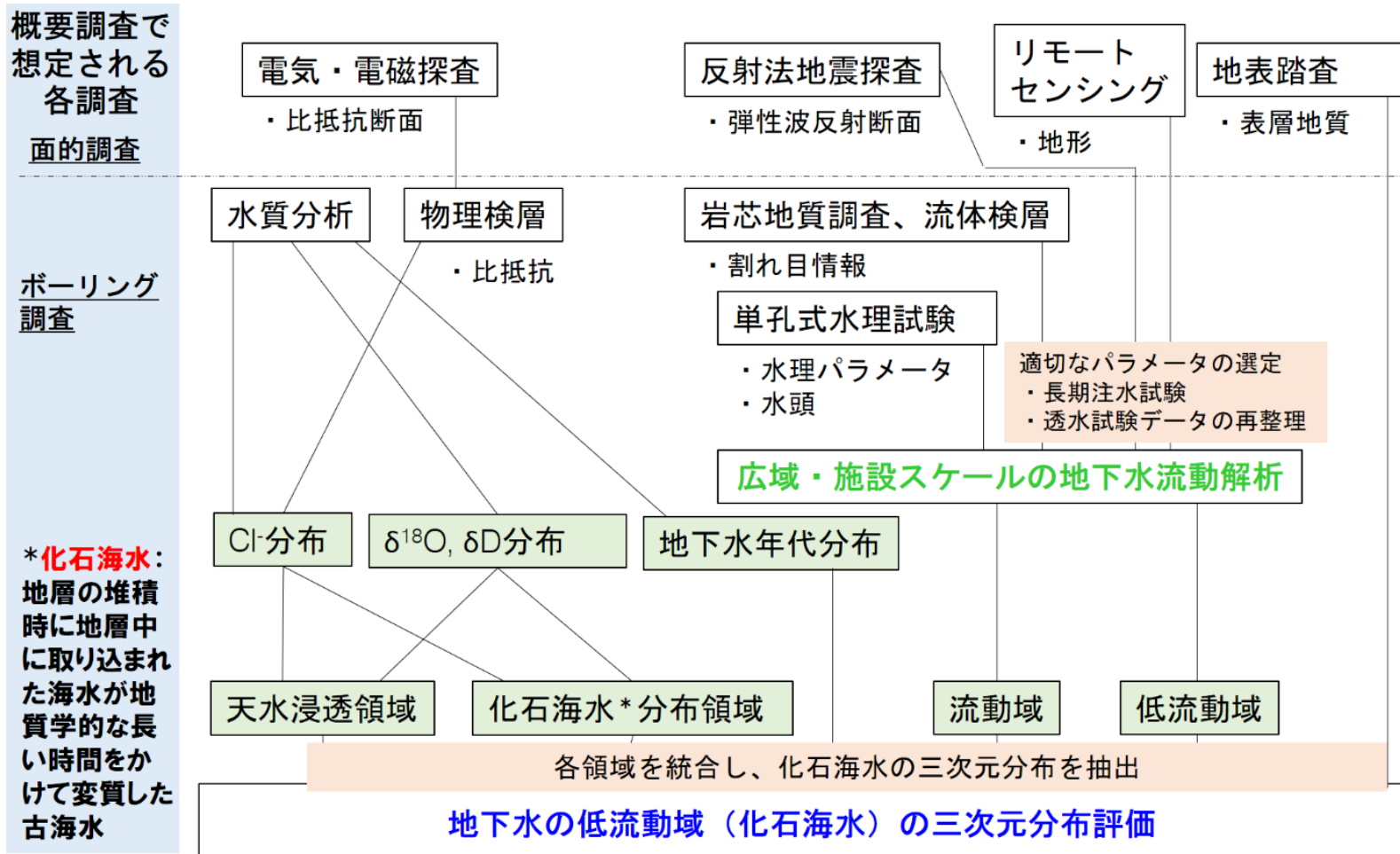
- 主に声問層と稚内層で構成
- 新第三紀に海で堆積して形成された珪質の泥岩
- 大曲断層が分布

本日の話の流れ

1. 地層処分において地下水流動を調べる研究の重要性
2. 幌延地域における古い地下水(化石海水)の存在
3. **化石海水の調査方法の紹介**
 - 調査の全体の流れ
 - 広域スケールを対象とした調査
 - 空中電磁探査
 - 電磁探査(MT法)
 - 施設スケールを対象とした調査
 - ボーリング調査
 - 高密度電磁探査
 - 反射法地震探査
4. まとめ

地表から化石海水の三次元分布を評価する方法

- 化石海水は古い海水が起源であるため、天水とは水質が異なる。
 - 地下水の流動は、地質構造(地層や断層の分布)も影響する。
- ボーリング調査、物理探査(電磁探査、反射法地震探査)、地質調査などを実施する。



Cl⁻濃度: 塩化物イオン濃度、δ¹⁸O: 酸素同位体比、δD: 水素同位体比

化石海水の調査の進め方(イメージ)

1. 既存情報の収集・調査

- 既存の情報（地形や地下水流動）に基づき、涵養域から流出域までの地下水流動系を含む広域的な領域を選ぶ

2. 地表からの調査

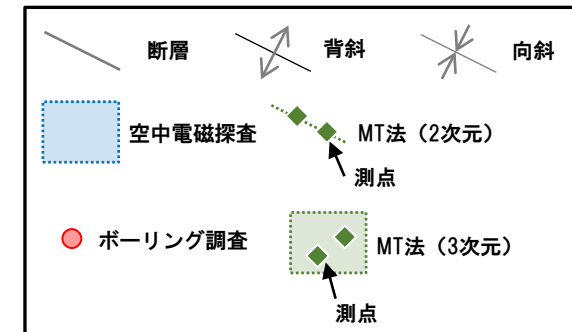
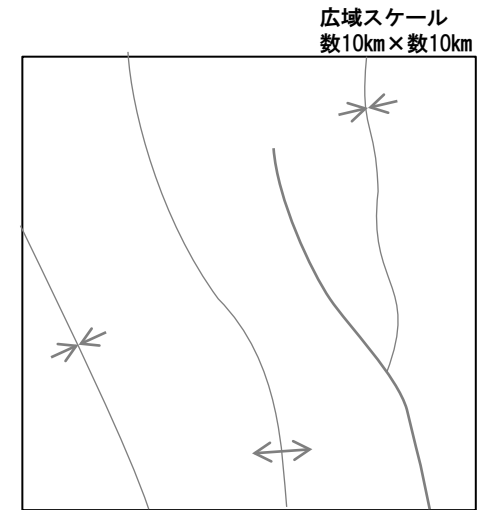
- ① 広域スケール（数十km以上）を対象として概略的な化石海水の分布を理解する

- 空中電磁探査
- 電磁探査（2次元）

↓ 領域を絞る

- ② 施設スケール（数km四方）を対象としてより具体的な化石海水の分布を推定する

- ボーリング調査
- 電磁探査（3次元、高密度）



化石海水の調査の進め方(イメージ)

1. 既存情報の収集・調査

- 既存の情報（地形や地下水流動）に基づき、涵養域から流出域までの地下水流動系を含む広域的な領域を選ぶ

2. 地表からの調査

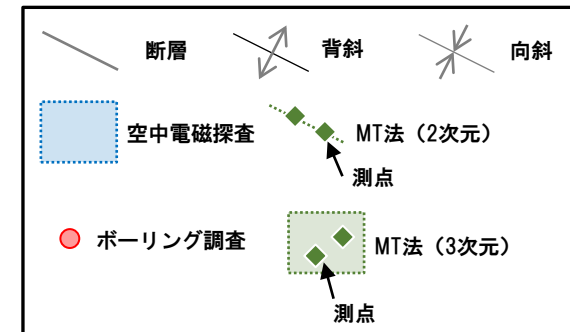
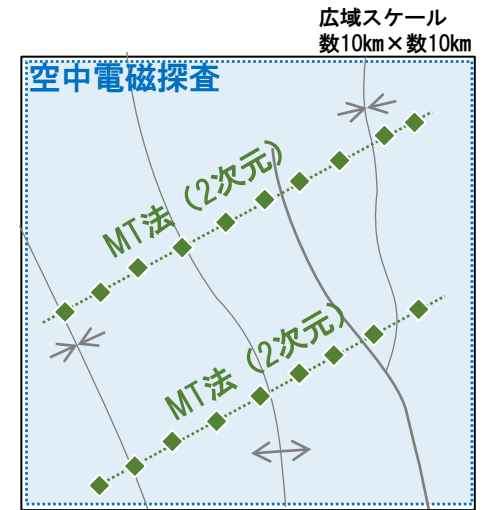
- ①広域スケール（数十km以上）を対象として概略的な化石海水の分布を理解する

- 空中電磁探査
- 電磁探査（2次元）

↓ 領域を絞る

- ②施設スケール（数km四方）を対象としてより具体的な化石海水の分布を推定する

- ボーリング調査
- 電磁探査（3次元、高密度）



化石海水の調査の進め方(イメージ)

1. 既存情報の収集・調査

- 既存の情報（地形や地下水流動）に基づき、涵養域から流出域までの地下水流動系を含む広域的な領域を選ぶ

2. 地表からの調査

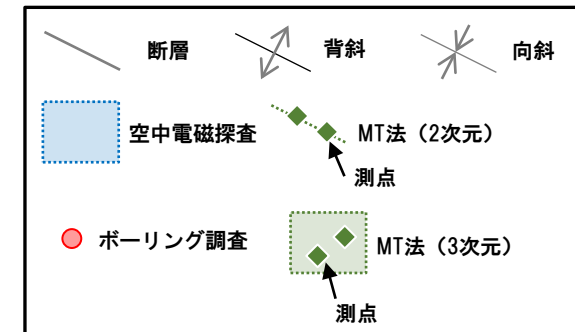
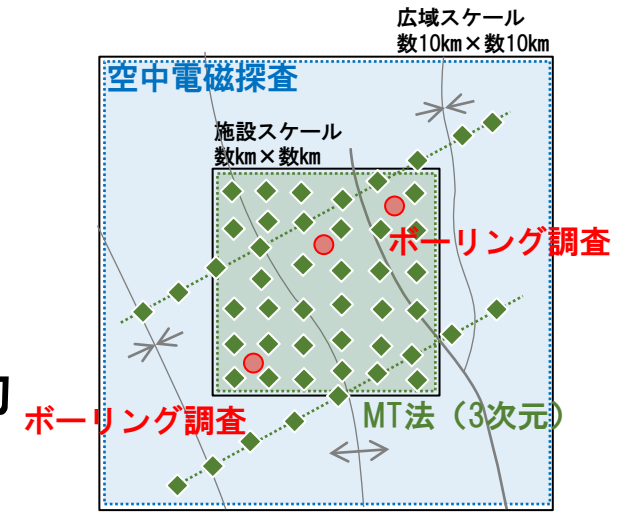
- ①広域スケール（数十km以上）を対象として概略的な化石海水の分布を理解する

- 空中電磁探査
- 電磁探査（2次元）

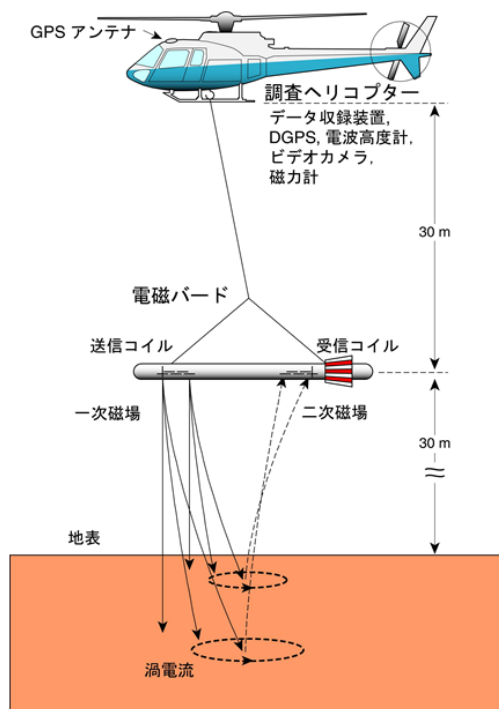
↓ 領域を絞る

- ②施設スケール（数km四方）を対象としてより具体的な化石海水の分布を推定する

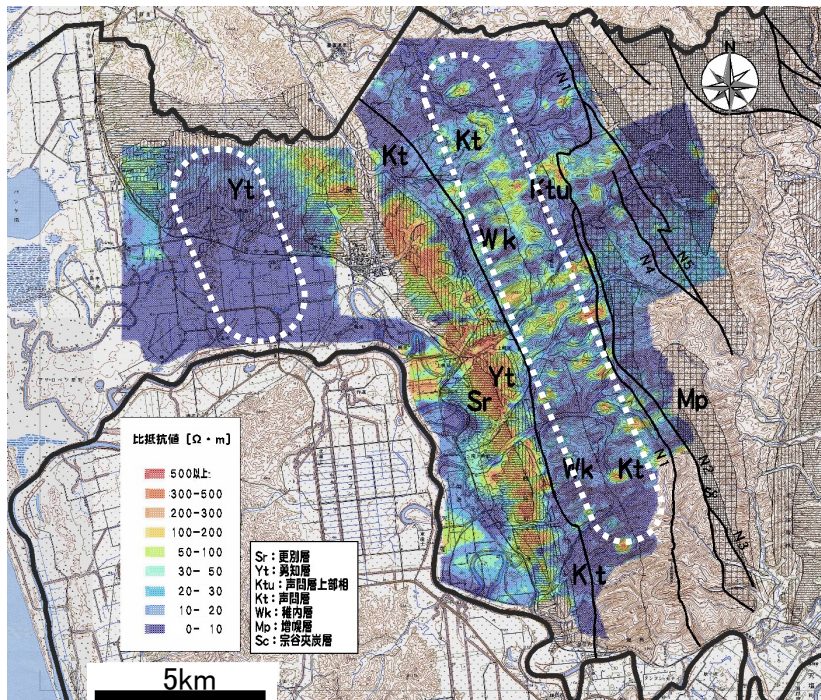
- ボーリング調査
- 電磁探査（3次元、高密度）



空中電磁探査(広域の比抵抗分布を調べる)



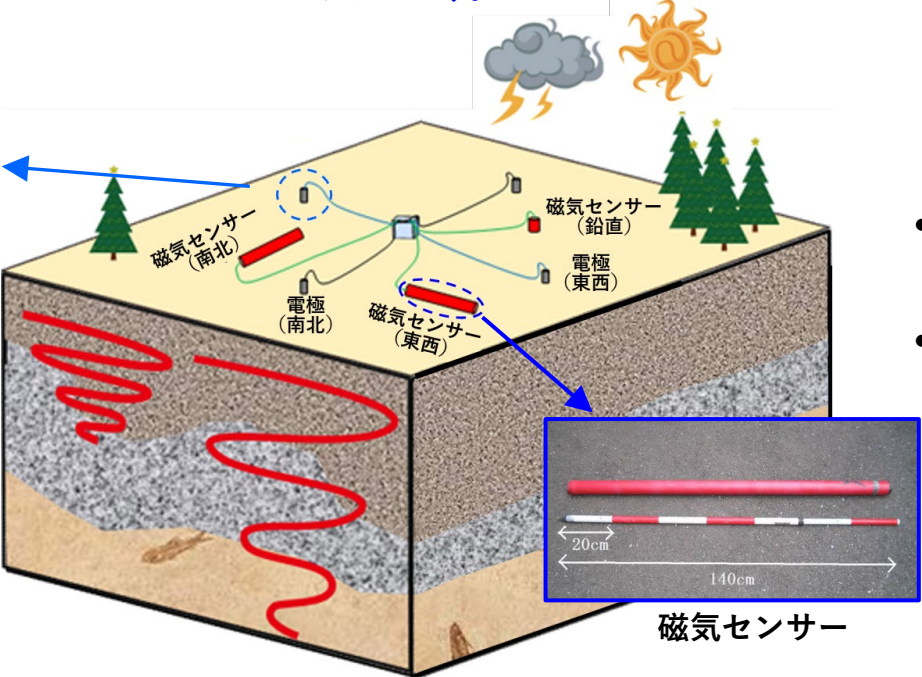
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2013/pr20130214/pr20130214.html



- 広域を迅速に探査できる。
- 探査深度は浅い。

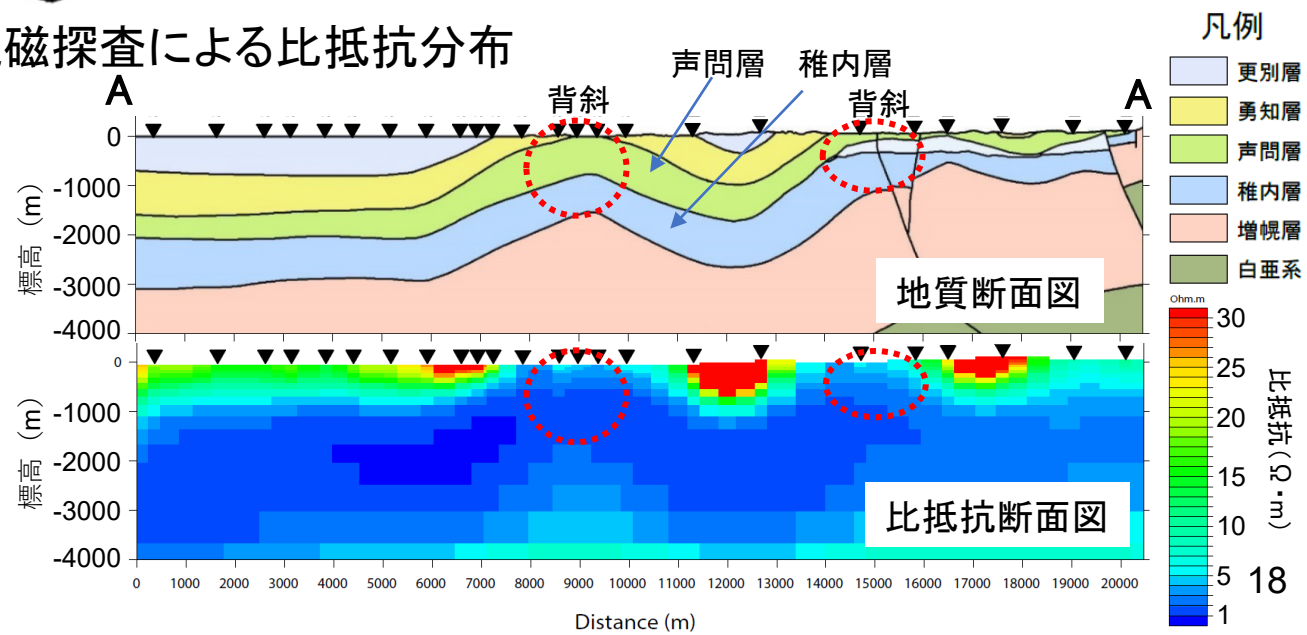
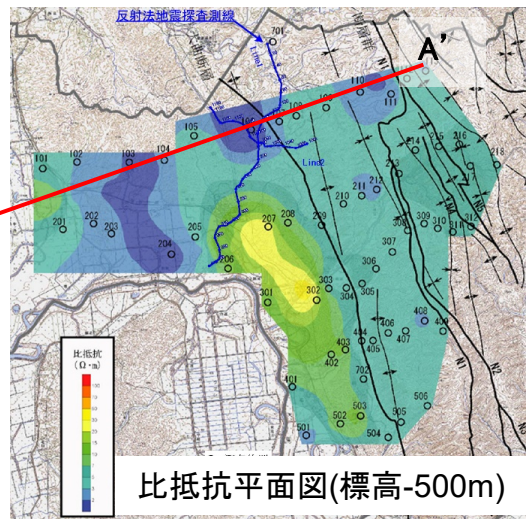
広域スケールを対象とした空中電磁探査による見掛比抵抗分布(深度100m)

MT法電磁探査（広域かつ深部までの比抵抗分布を調べる）

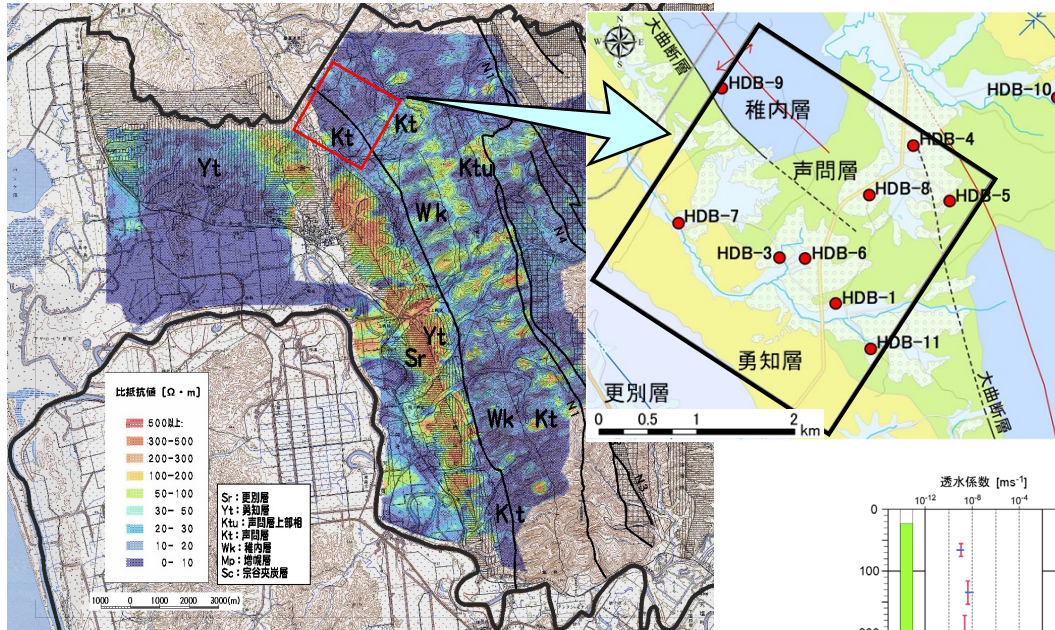


- 測点を広い範囲に設けることで、広域を調査できる。
- より深くまでの比抵抗分布を推定できる。

広域スケールを対象とした電磁探査による比抵抗分布



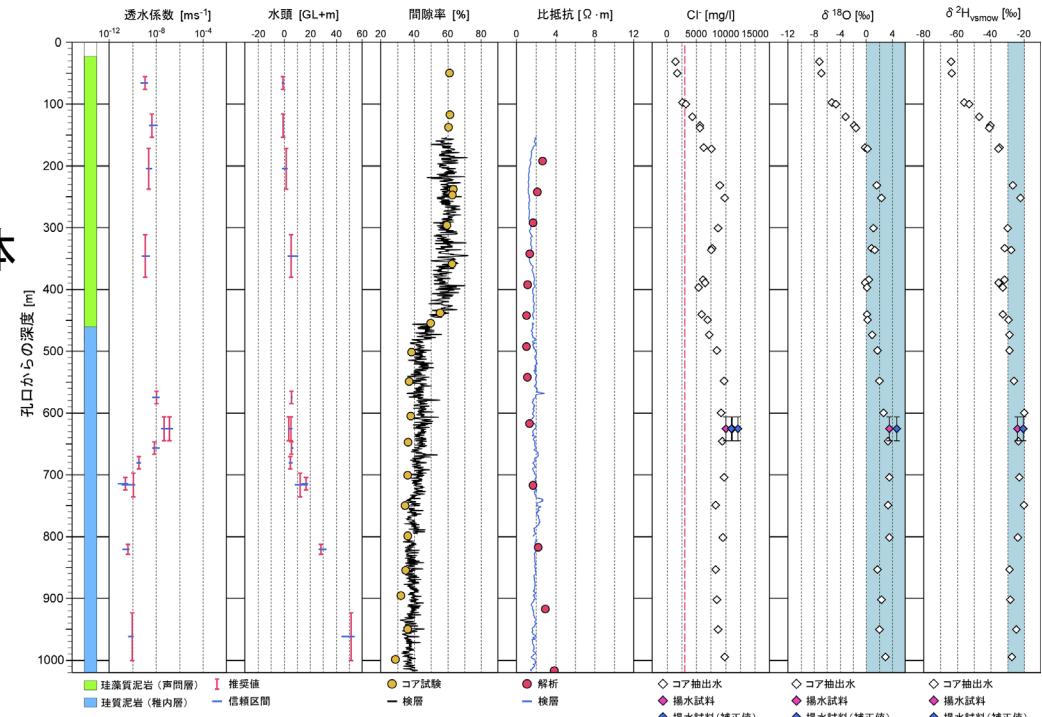
ボーリング調査



ボーリング調査 (HDB-1孔)

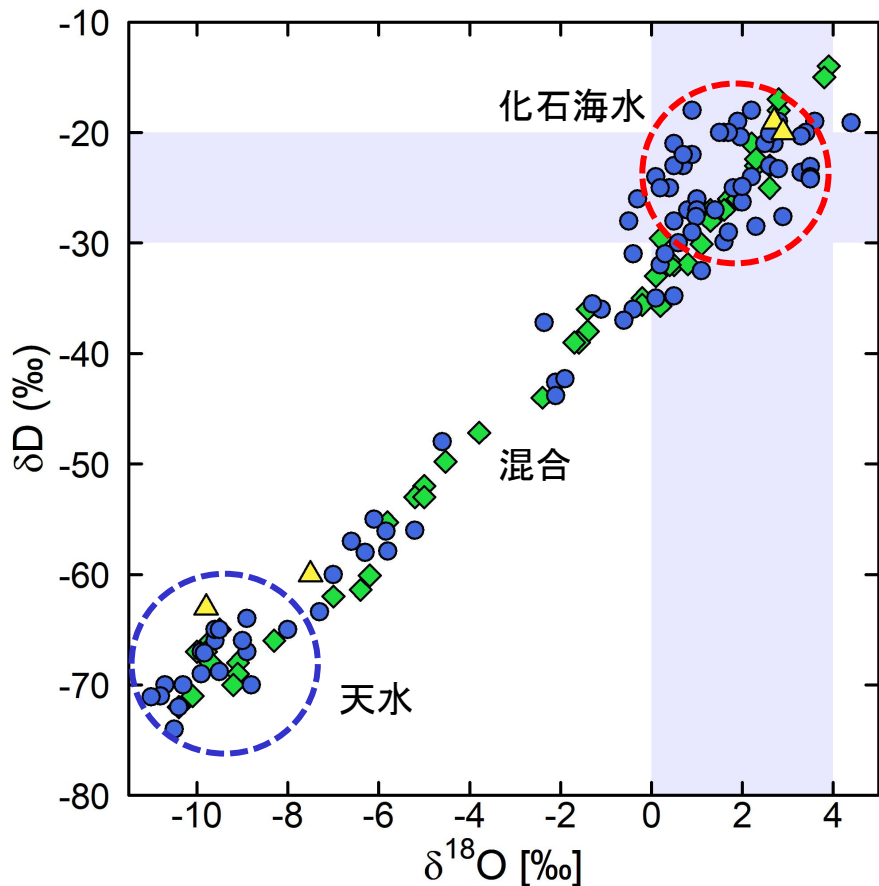
- 水質分析(地下水の化学組成、同位体データ、地下水年代)
- 単孔式透水試験(透水係数、水頭)
- 物理検層(比抵抗)
- 岩芯地質観察(岩種、岩相、割れ目情報)

掘削地点の深さ方向に対して実測値が得られる。



ボーリング調査により得られた各データの柱状図(HDB-11)¹⁹

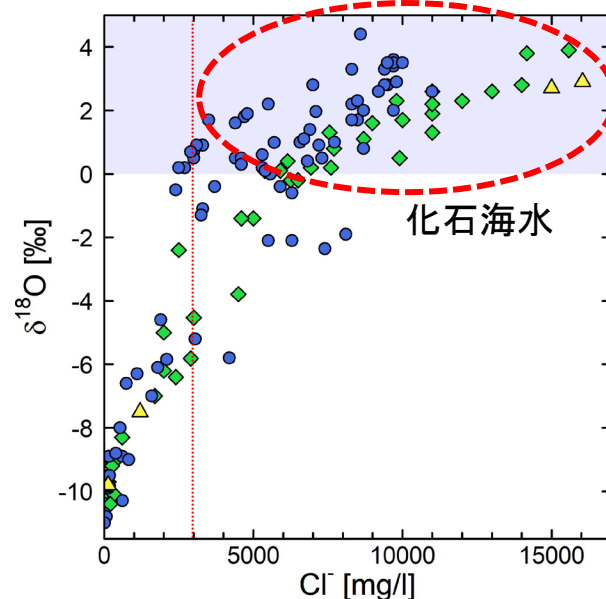
既存孔に基づく幌延地域の化石海水の特徴



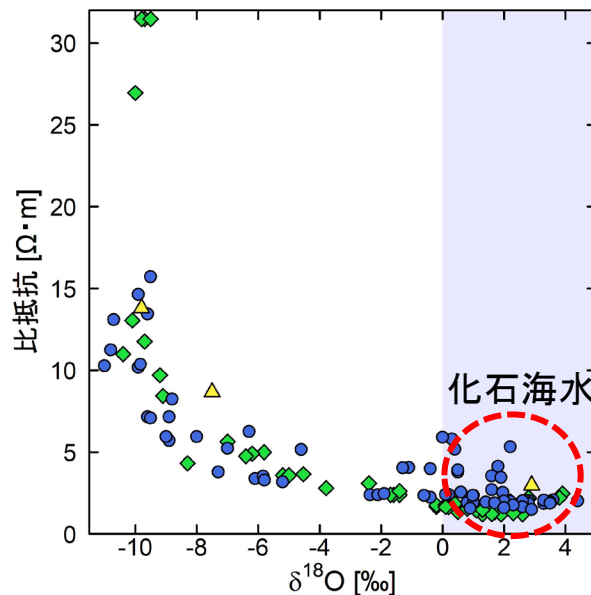
既存孔の $\delta^{18}\text{O}$ と δD の関係

- 酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$): 0 ~ 4‰
- 水素同位体比 (δD): -30 ~ -20‰
- 塩化物イオン濃度: おおよそ 3000mg/L 以上
- 比抵抗: 5 $\Omega \cdot \text{m}$ 以下

➡ 化石海水を判別するための指標となる。

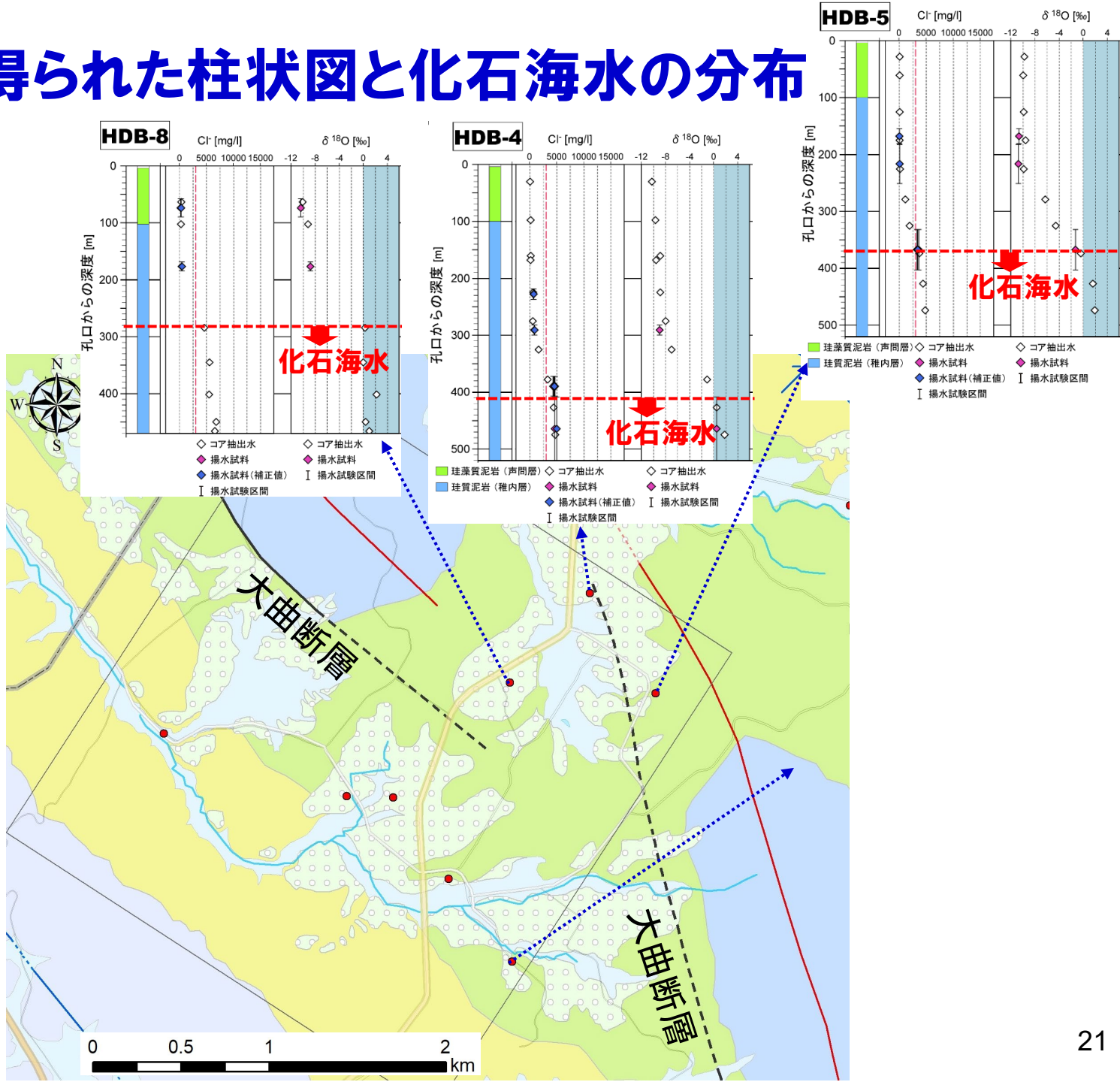


既存孔の塩化物イオン濃度と $\delta^{18}\text{O}$ の関係

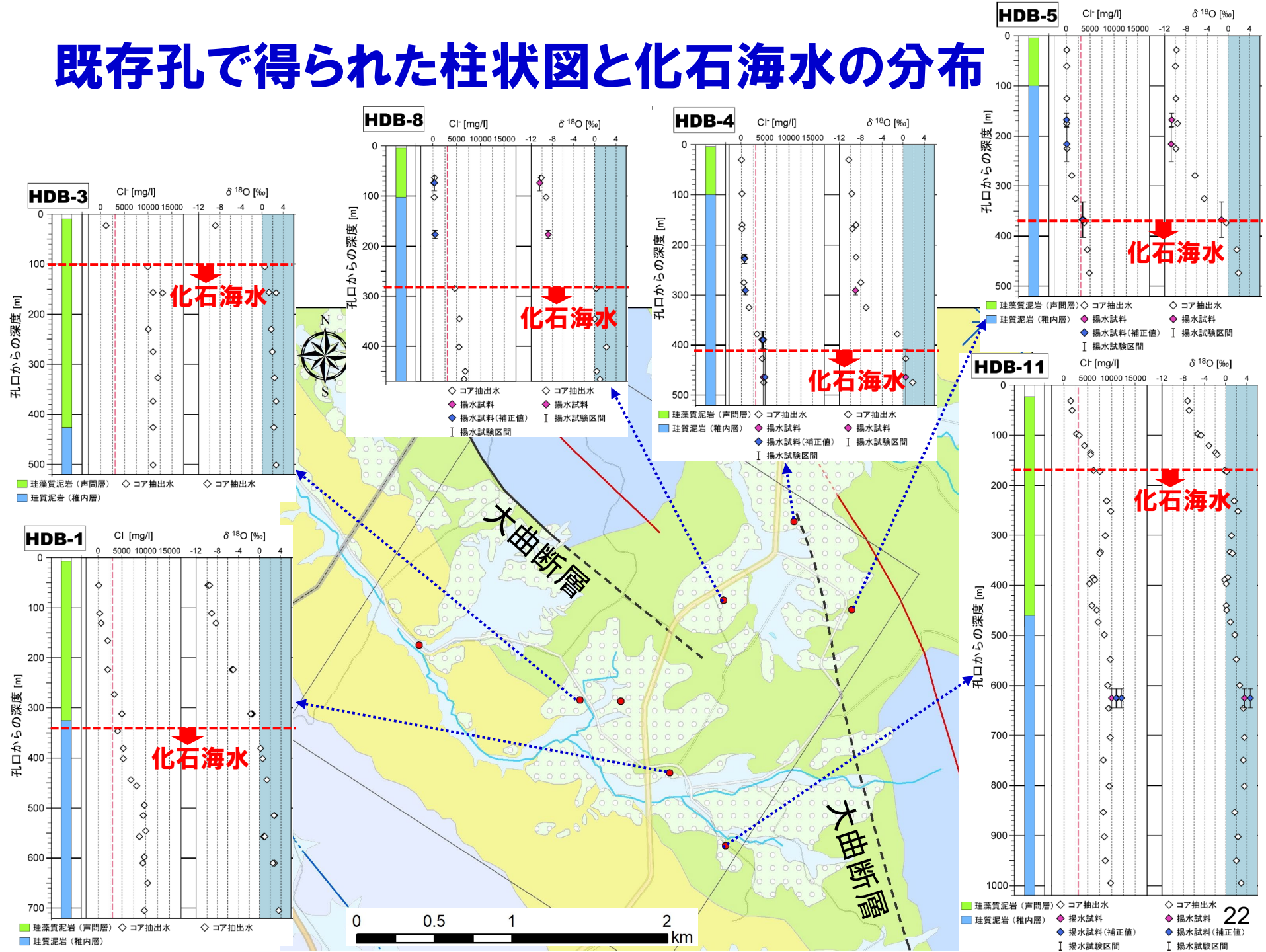


既存孔の比抵抗検層データと $\delta^{18}\text{O}$ の関係

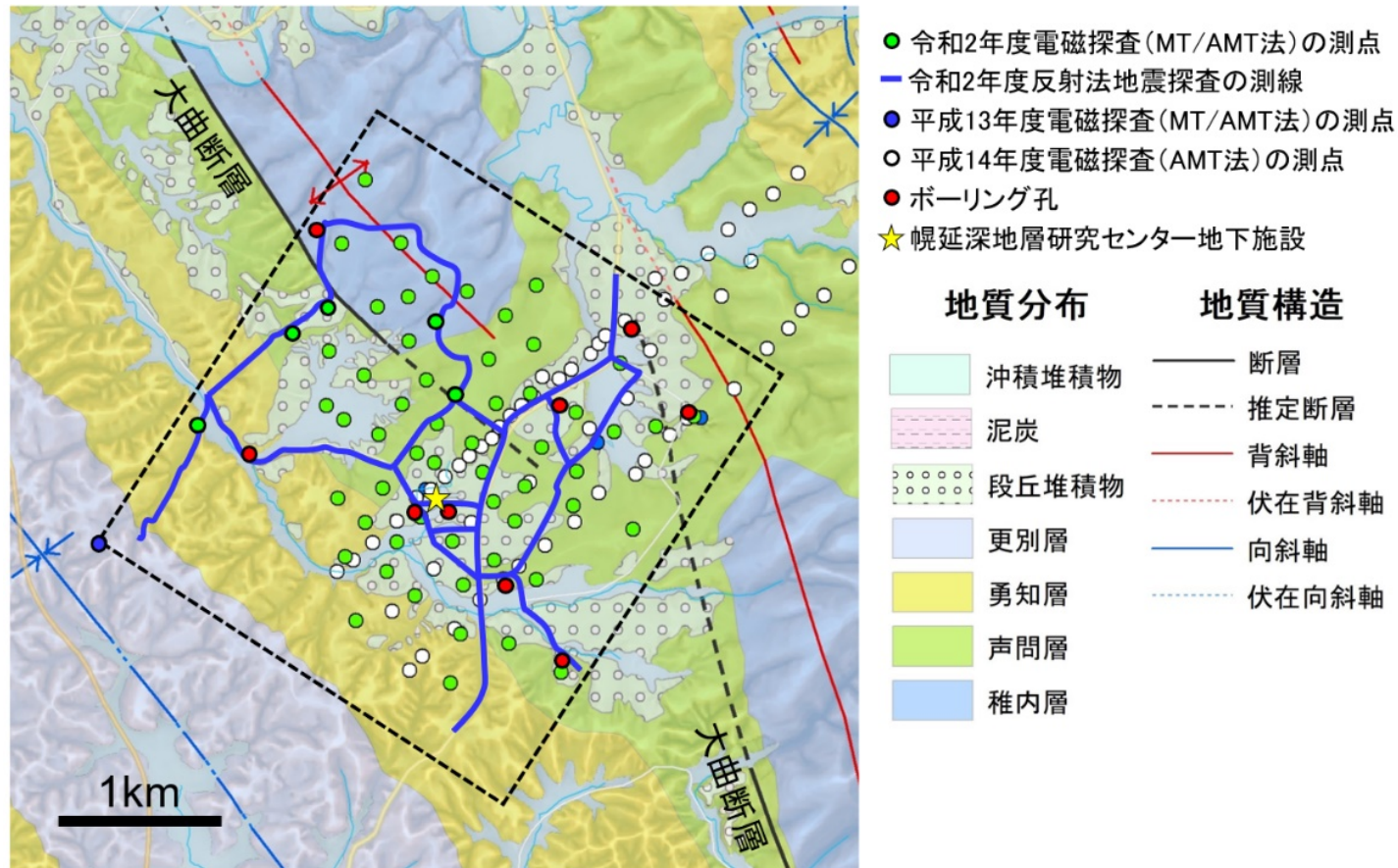
既存孔で得られた柱状図と化石海水の分布



既存孔で得られた柱状図と化石海水の分布



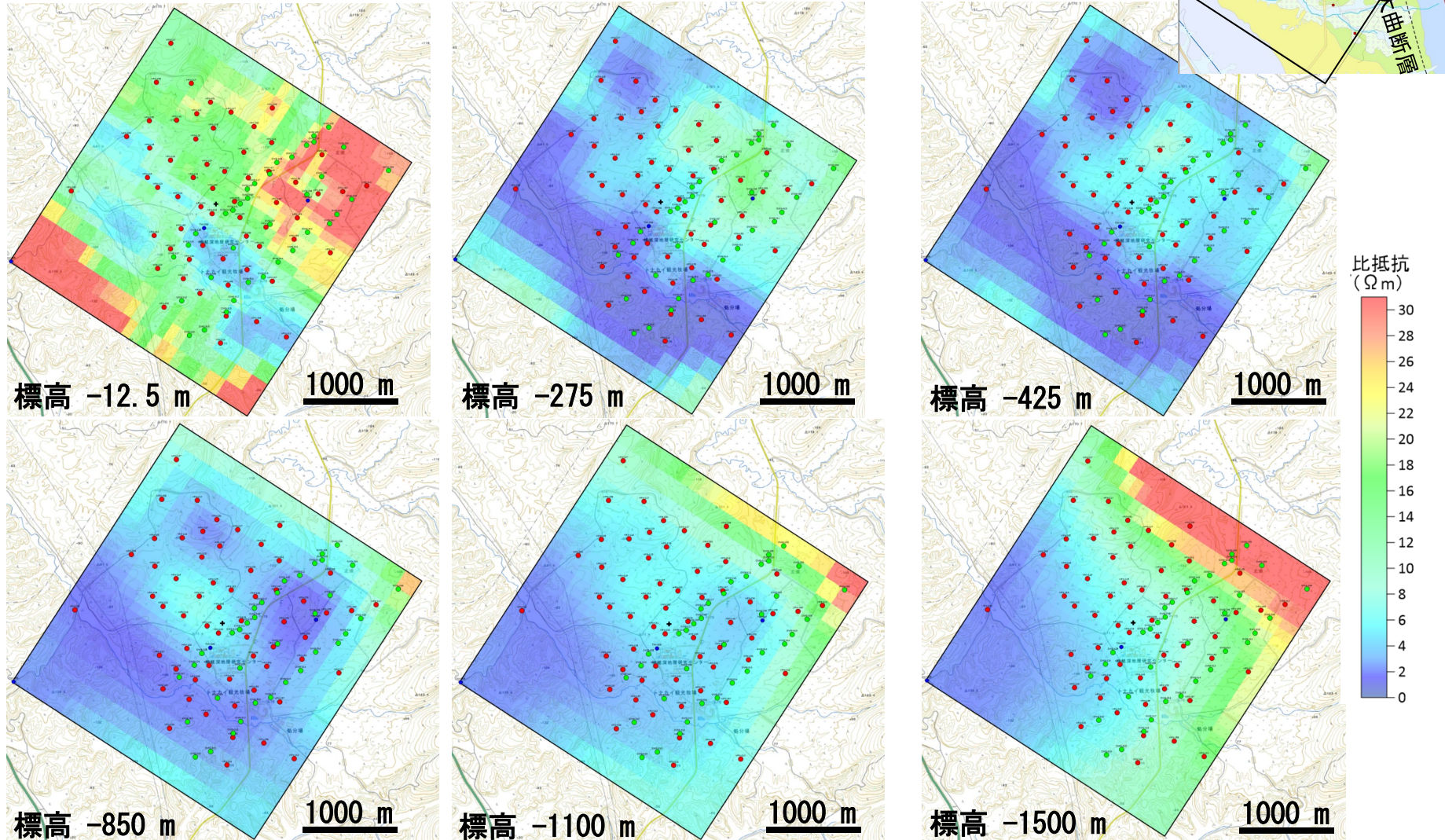
高密度電磁探査および反射法地震探査の実施(R2年度)



- 施設スケール(3km四方)を対象に、高密度電磁探査を実施
- 高密度電磁探査では、測点を高い密度で配置することで精度が高いデータを取得
- 化石海水の分布と地質構造(断層や褶曲)の関係性を把握するために、反射法地震探査も実施
- 反射法地震探査は、アクセス可能な道路を利用

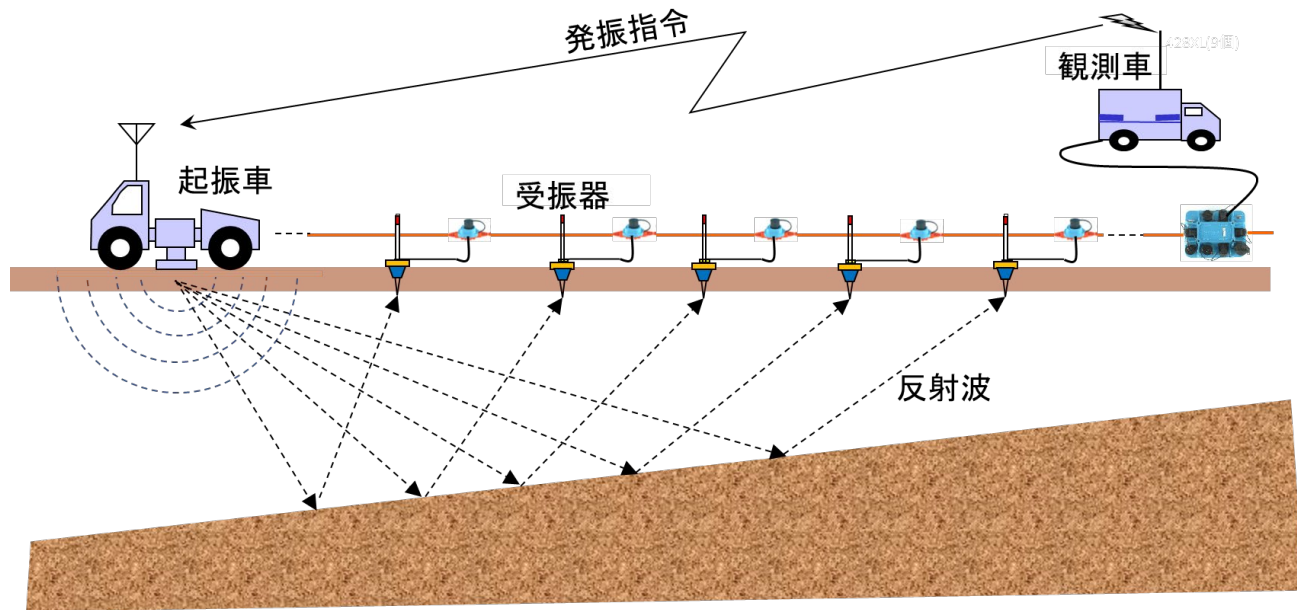
高密度電磁探査による三次元比抵抗分布

三次元解析結果

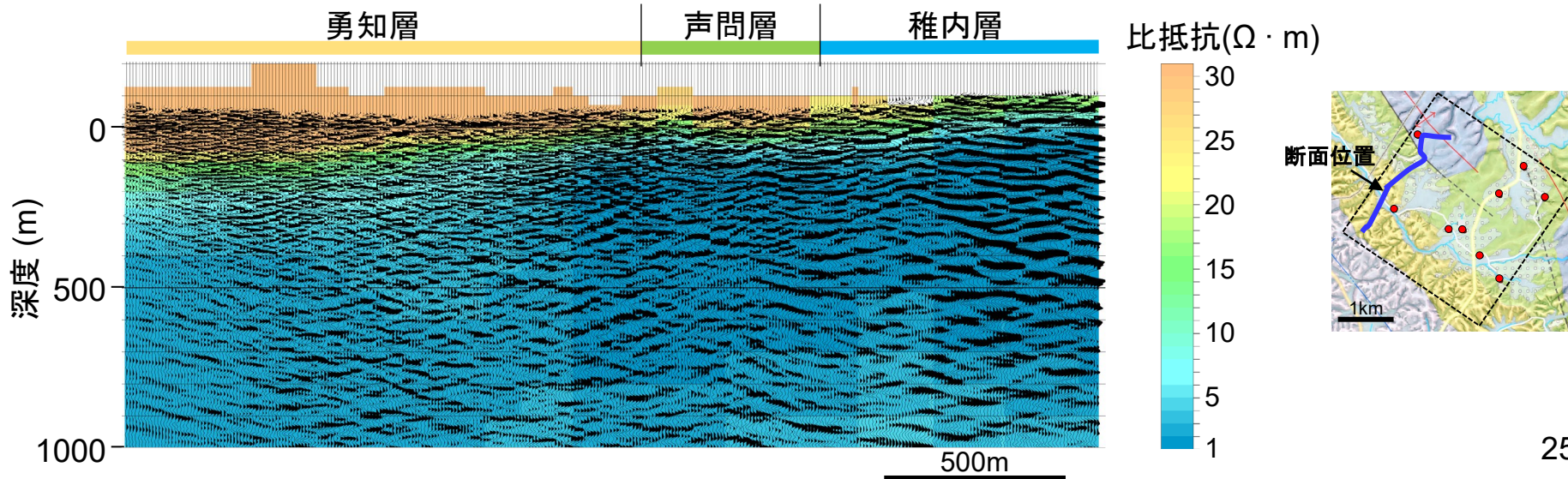


大曲断層が分布する北東側では相対的に比抵抗が高い。

反射法地震探査



反射法地震探査と電磁探査の結果の重ね合わせ



まとめ

- ◆ 幌延地域の地下深部には化石海水が存在する。
- ◆ 化石海水の分布は、広域的に電磁探査により調べ、次に領域を絞り、ボーリング調査や高密度電磁探査により詳細に調べる。
- ◆ 幌延深地層研究センターでは、地層処分事業の概要調査に資するために、さまざまな手法を組み合わせ、化石海水の三次元分布を把握する技術の高度化に取り組んでいる。