

幌延における原子力機構/電中研共同研究の成果 —コントロールボーリングと地下水年代測定技術—

(財)電力中央研究所
地球工学研究所
バックエンド研究センター
木方 建造

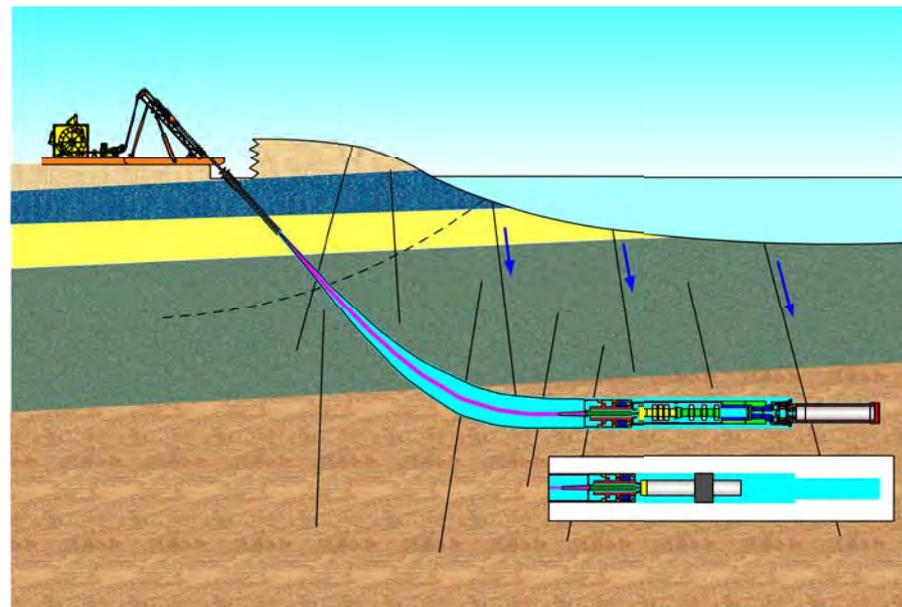
コントロールボーリング掘削・調査技術

背景

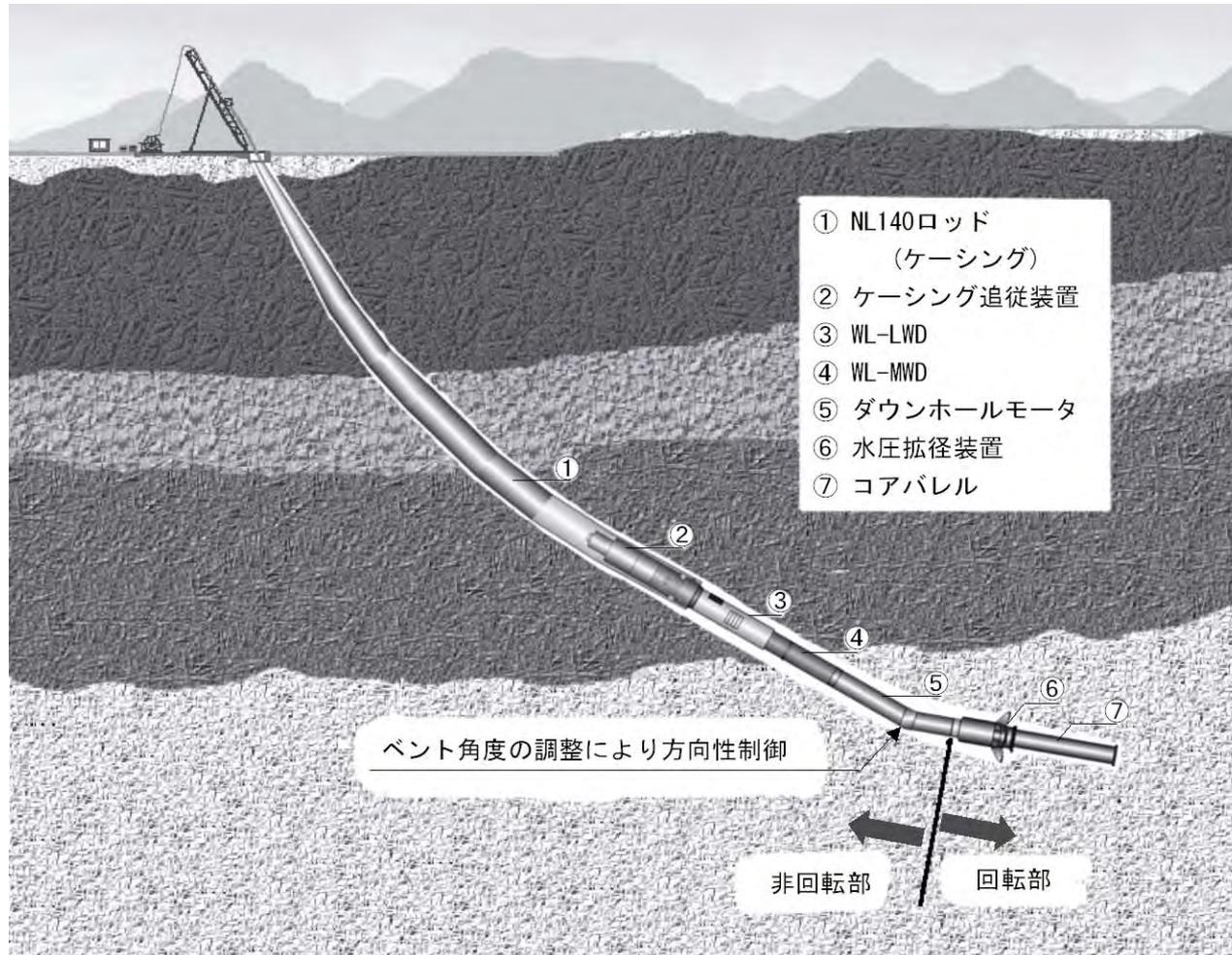
- * 概要調査は地表調査、物理探査と数少ない**ボーリング**により実施
- * **堆積軟岩、沿岸域**における調査技術の開発が必要とされている。

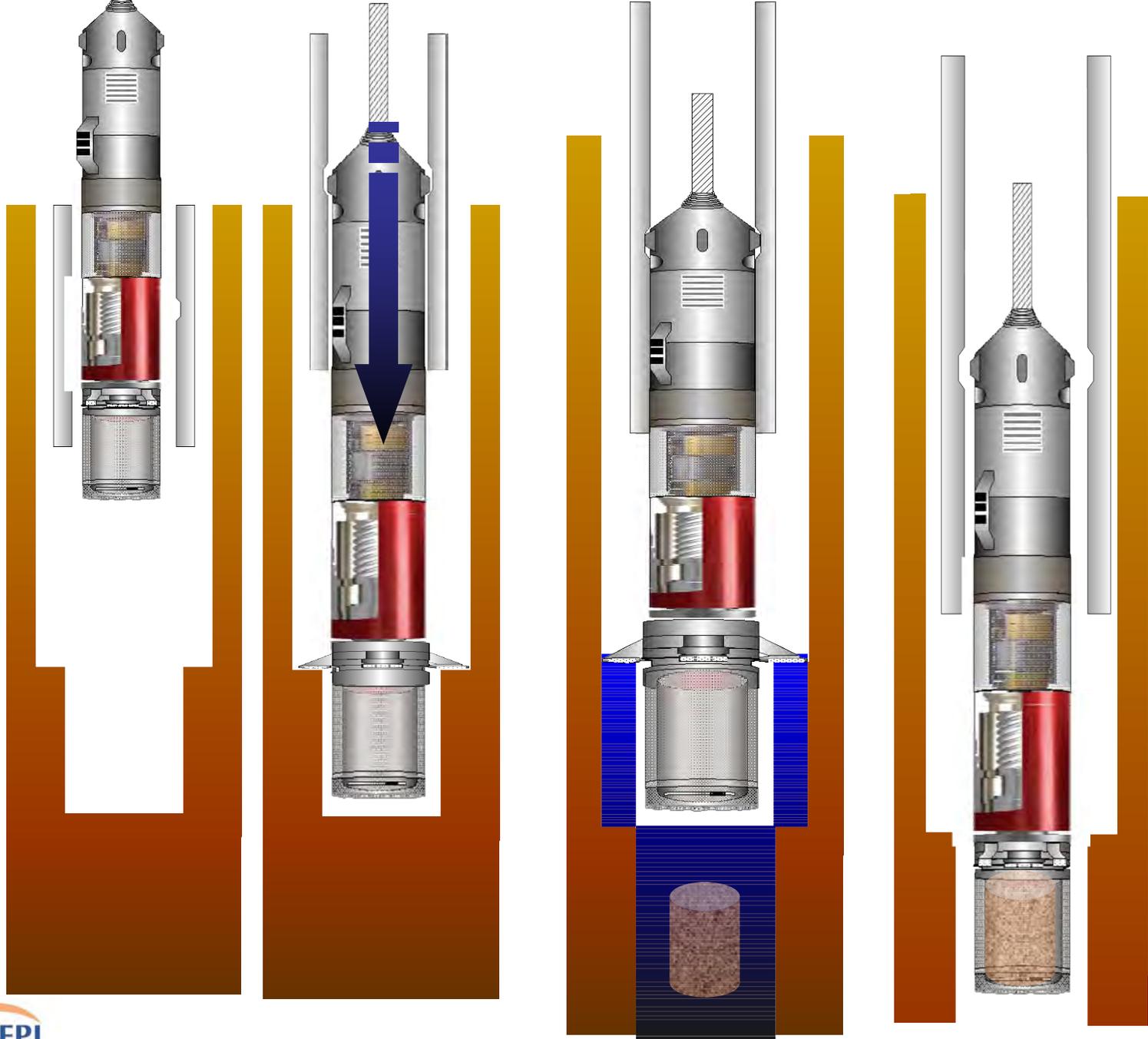
研究目的

- * 堆積軟岩にも適用できる、効率的（方向性をコントロールできる）**ボーリング掘削技術および調査技術の開発**



DHM工法(電中研式)によるコントロールボーリング





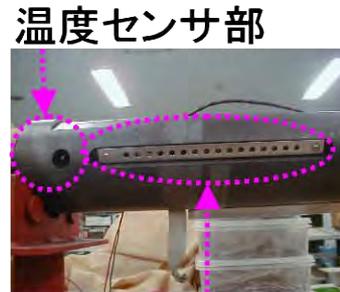
WL-LWD (Logging While Drilling)の概観



音波検層送信部



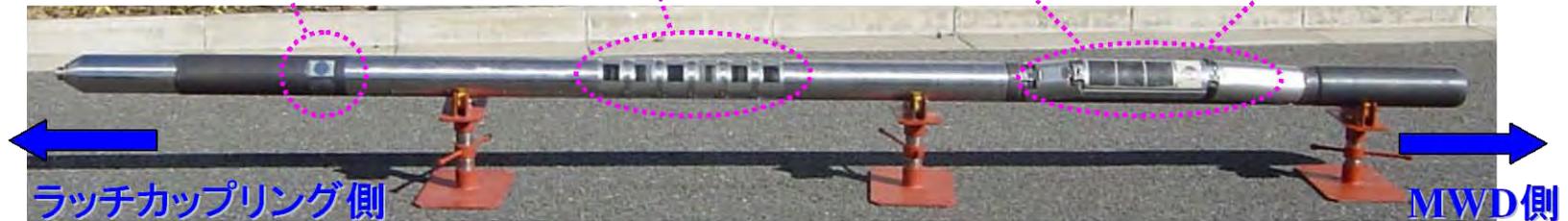
音波検層受信部



泥水比抵抗センサ部



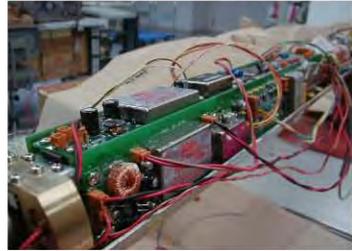
ガード電極センサ部



プローブ内部の電気回路とコネクタ部分



音波検層Rx同軸防水コネクタ



音波検層回路部

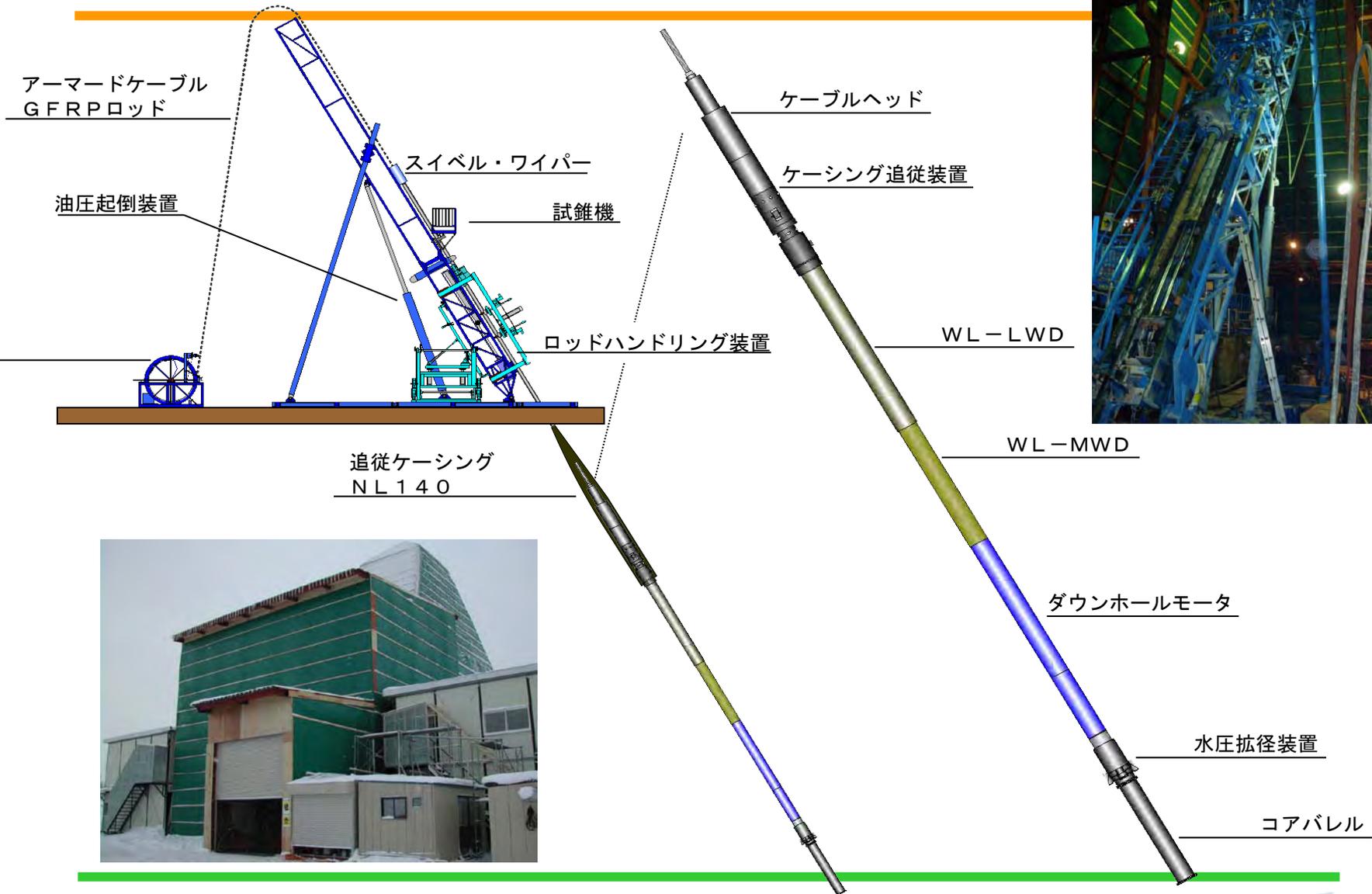


電磁波検層回路部

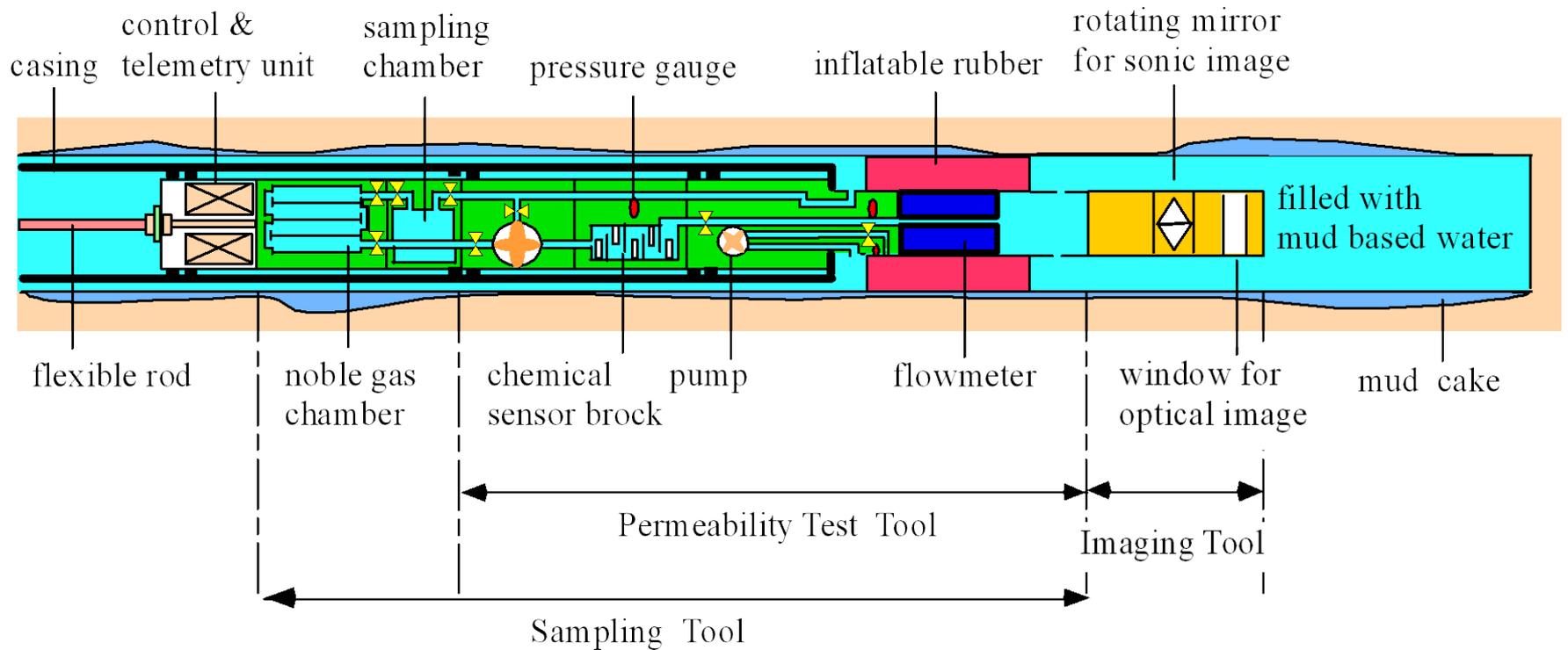


ハーメチックコネクタ部

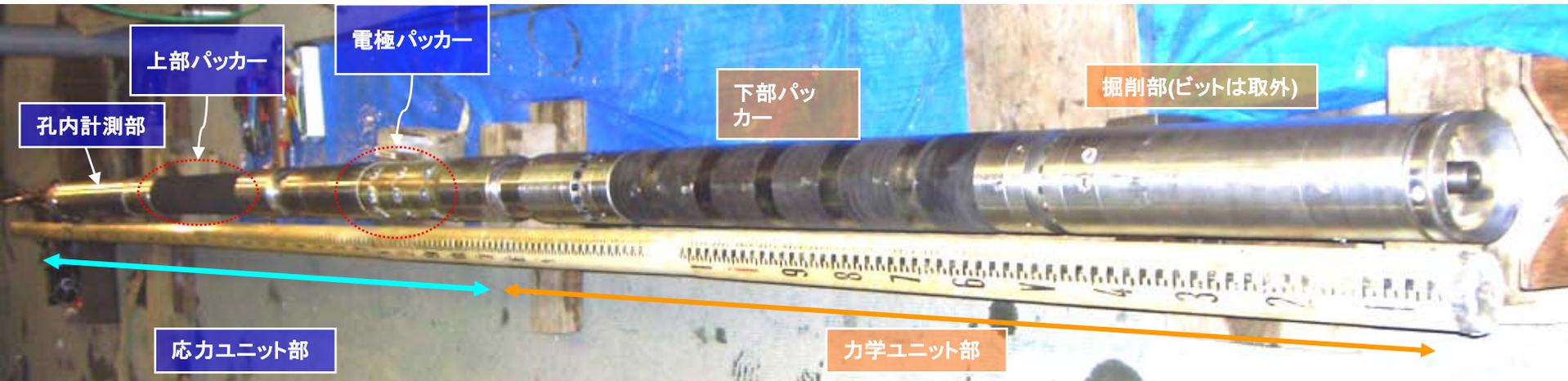
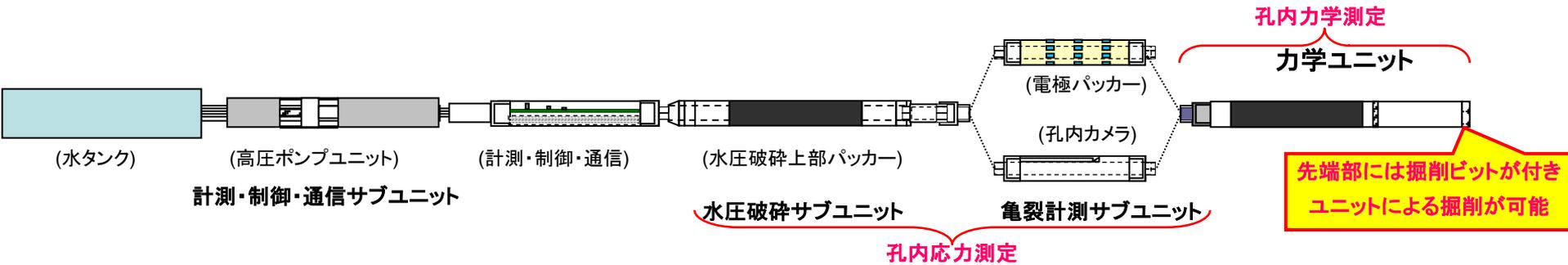
掘削システム全体図



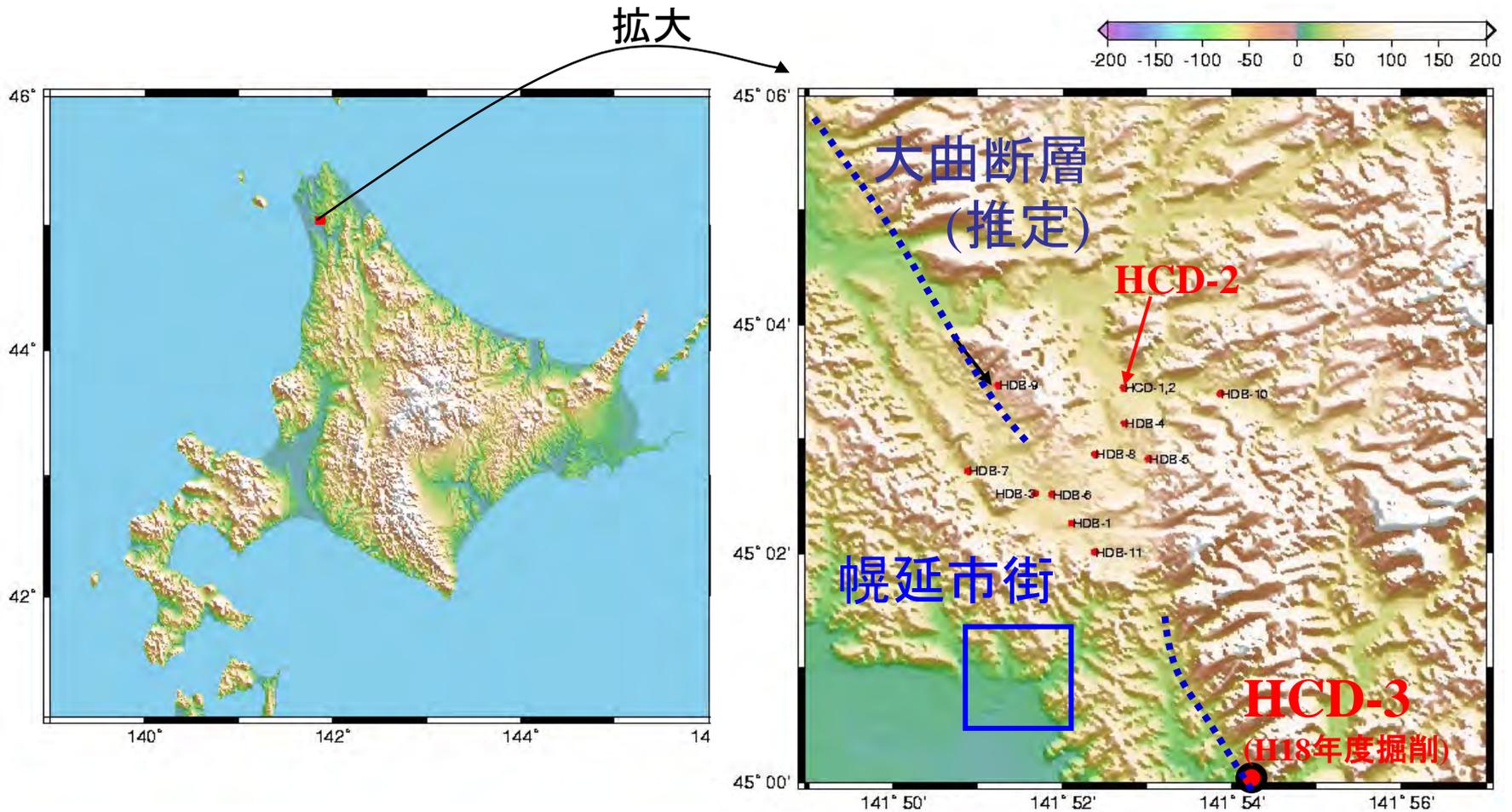
透水・採水・イメージングモジュール



孔内力学・応力統合計測装置

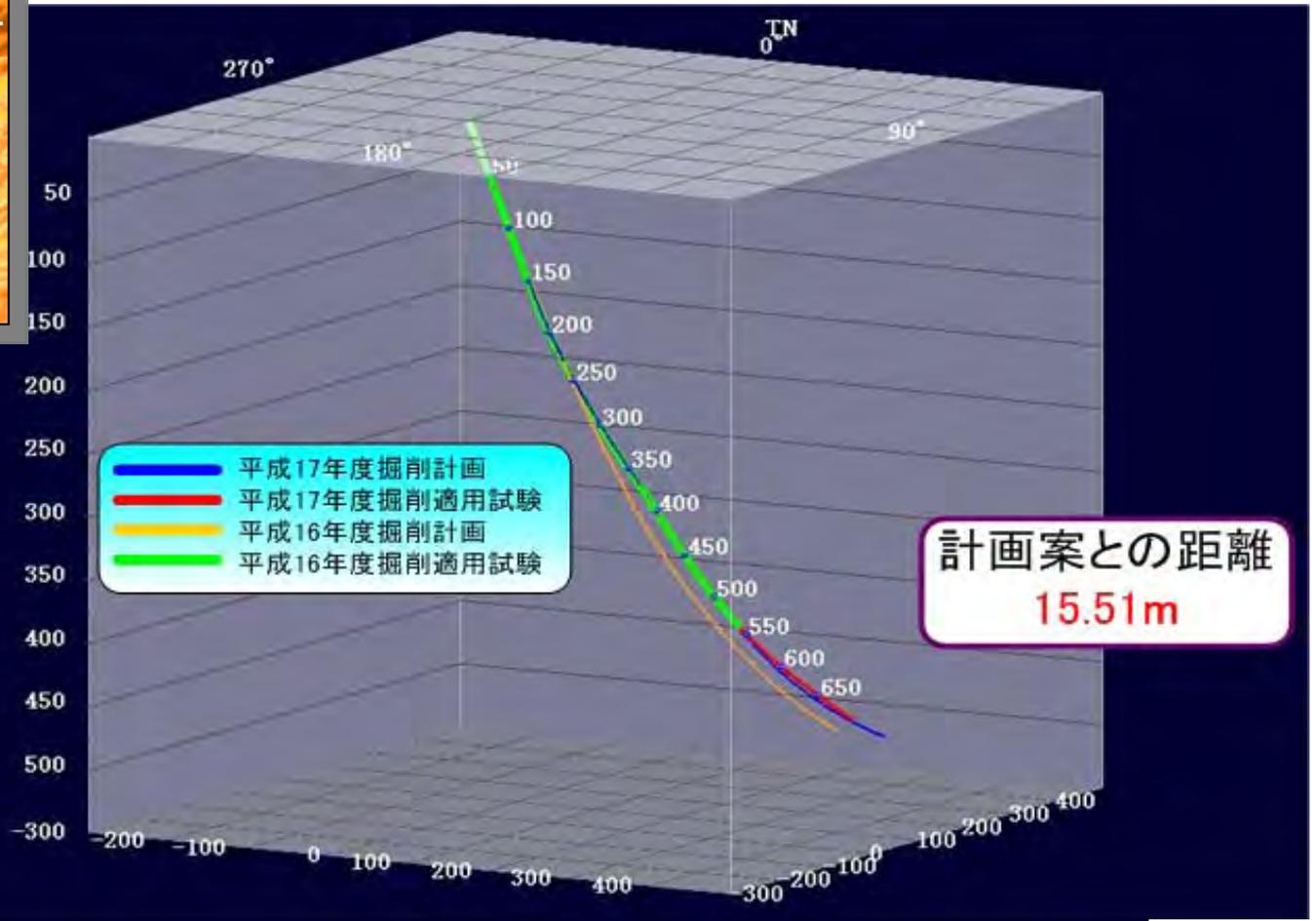
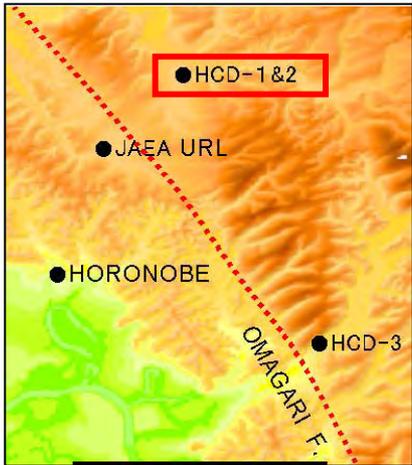


幌延現地適用性検討位置図



出典: 国土地理院 50mメッシュ 日本-I

HCD-1/2 の孔跡 (2003-2005)



上幌延における現地適用性検討

★断層を対象としたコントロール掘削手法の検討

断層に起因する想定危機

想定危機への対応方策の事前検討

実地盤掘削での掘削方法の確認

★コントロール掘削を主体とした調査による大曲断層の特性評価

既存情報調査

地表調査: 地質踏査、反射法地震探査

孔内検層、測定: 透水試験、孔内採水、LWDおよび物理検層(一部)

コア試験、分析: 地質観察、透水試験、間隙水抽出・分析、物理試験、力学試験

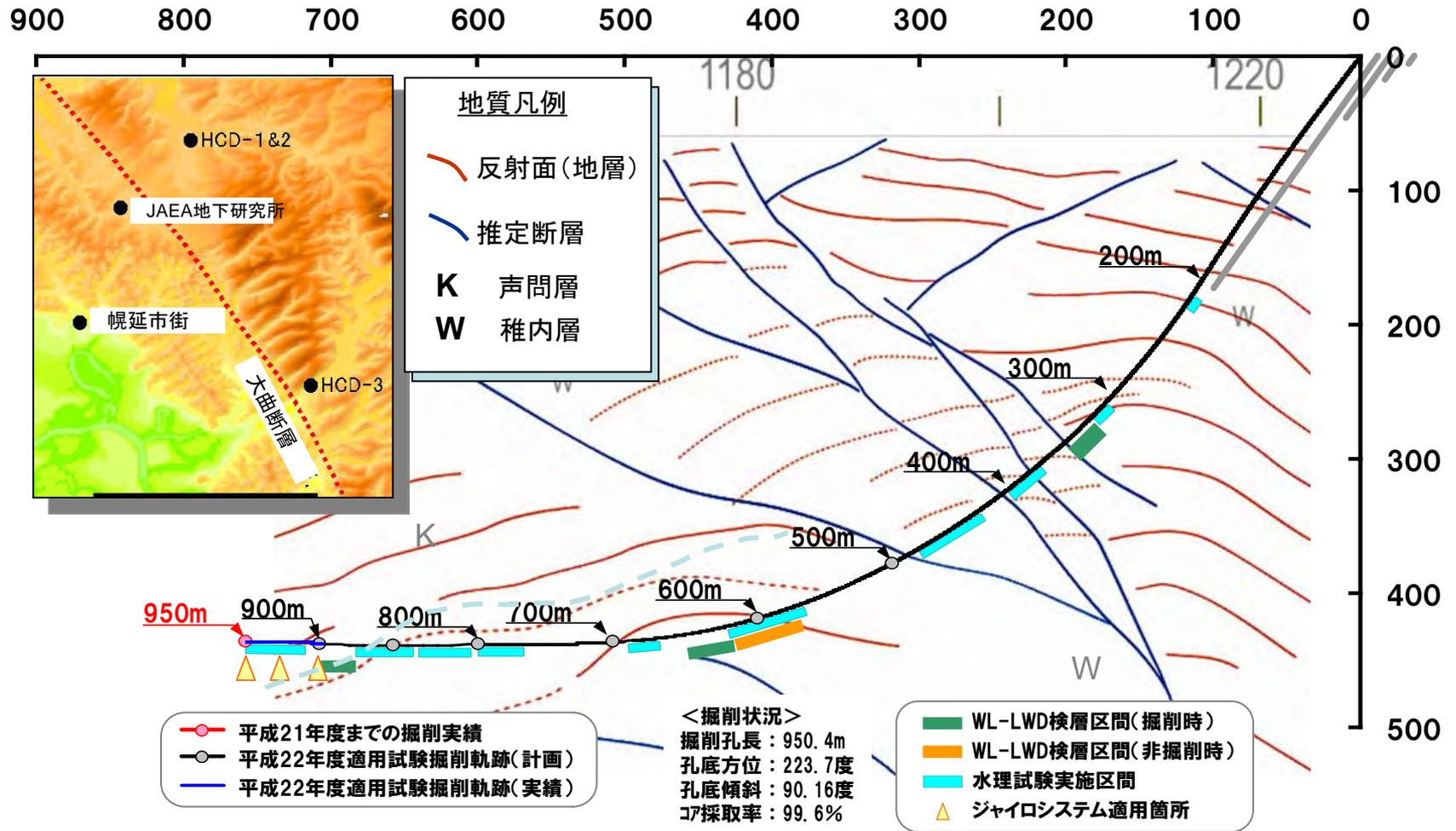
地質構造・地質特性: 地表調査+コア地質観察

水理特性: 孔内透水試験+コア透水試験+地下水年代測定

地化学特性: 孔内採水・分析+コア間隙水抽出・分析

物理・力学特性: コア物理・力学試験+LWD・孔内検層(一部区間)

HCD-3 の孔跡 (2006-2010)



断層岩の産状 (f9)

断層ガウジ

断層角礫

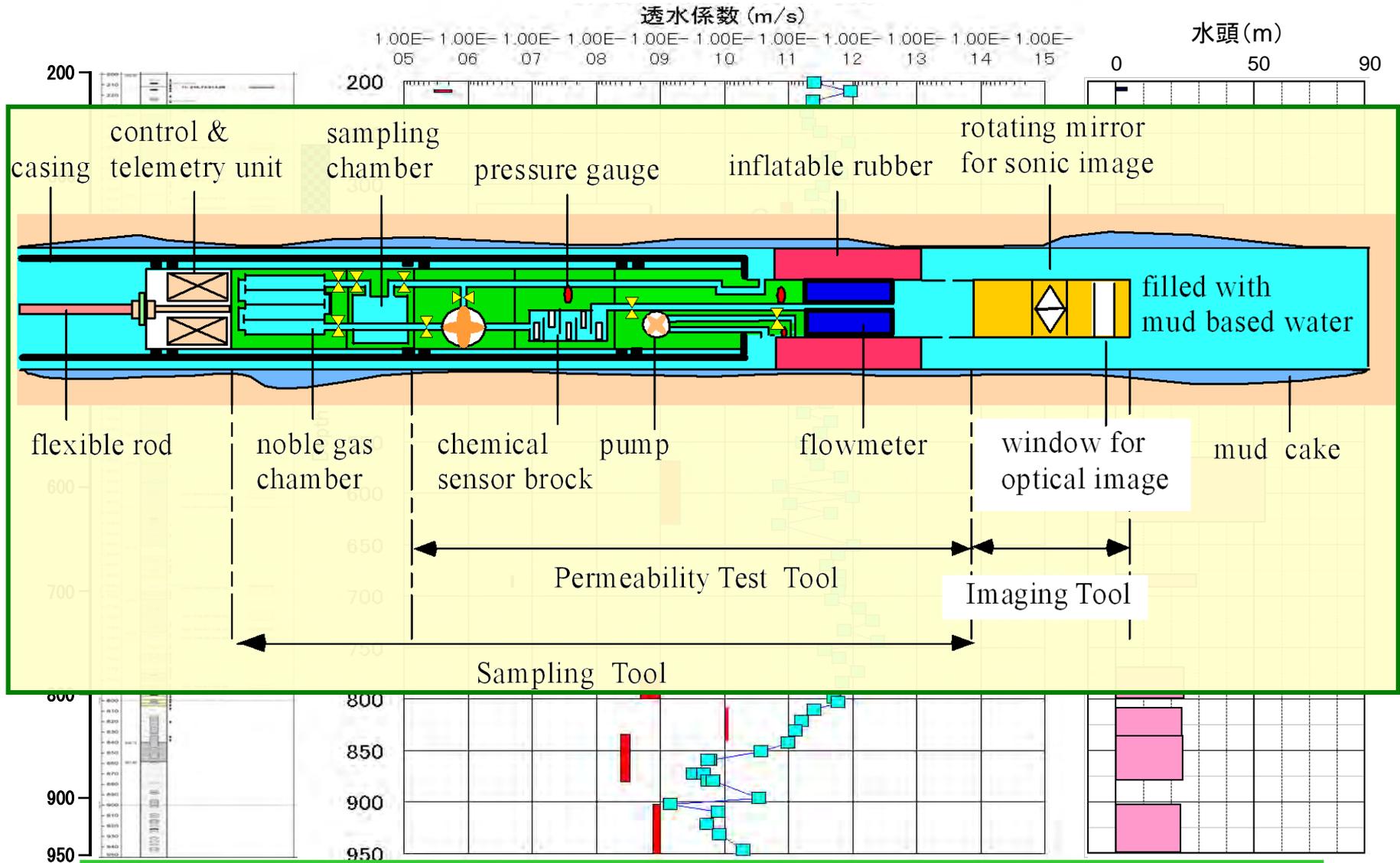
カタクレーサイト

347m

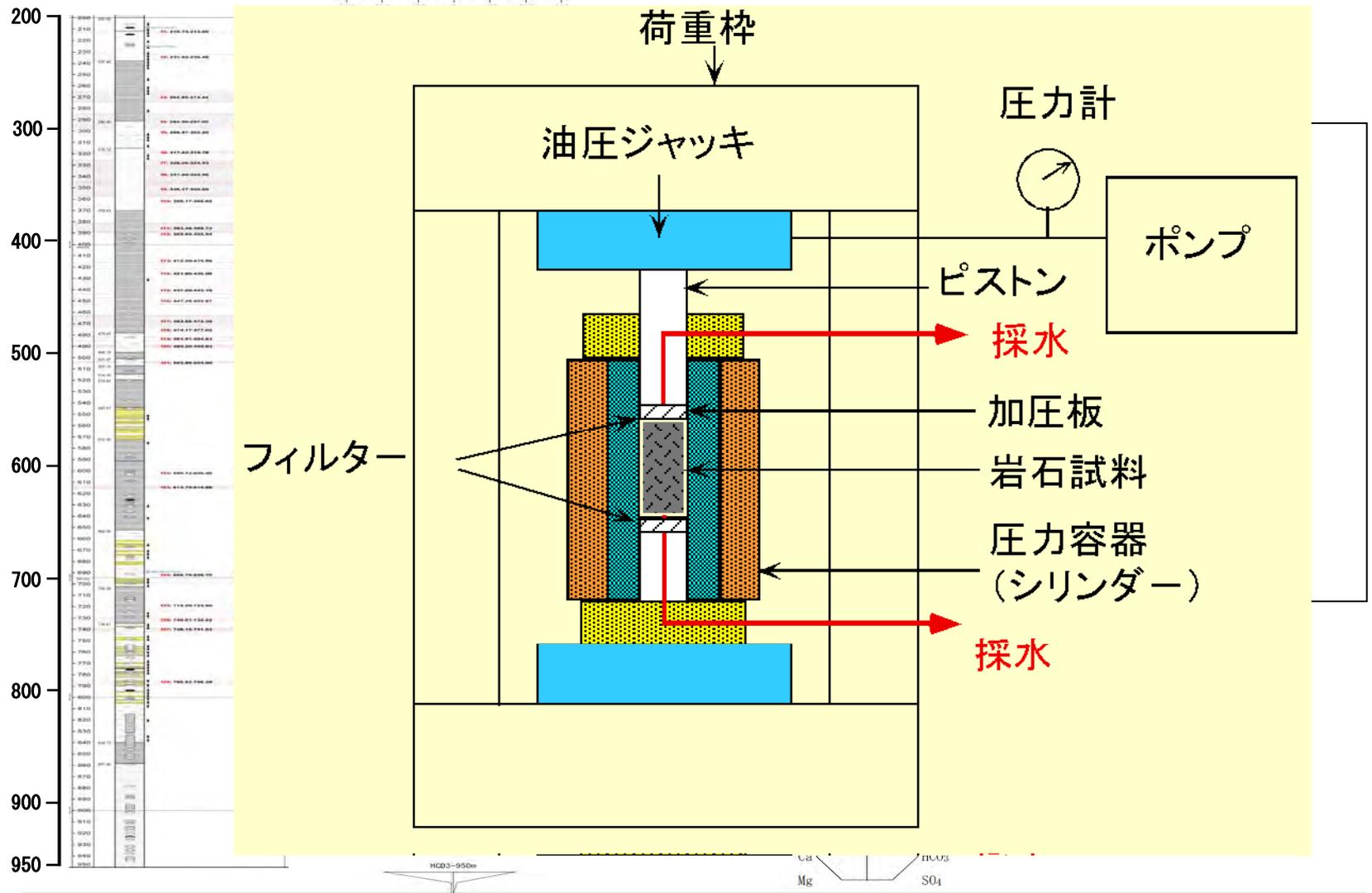


356m

大曲断層周辺の透水性と間隙水圧



コア間隙水の水質



まとめ

- ★ 堆積軟岩で方向性を制御し、概要調査に必要な調査が可能なコントロール掘削・調査技術を開発した。
- ★ 本技術の適用性検討をJAEAとの共同研究として幌延地点において実施中である。
- ★ これまでに本手法により2本の孔井を掘削し、各種の調査を実施した。特に2孔目(HCD-3)は大曲断層を対象として掘削・調査を行い、断層周辺の地質地下水特性を明らかにした。
- ★ 今後HCD-3孔井は目標の1000mまで掘削し、全ての調査技術の適用性を確認したうえで、本掘削・調査技術を実用化する。

地下水年代測定技術の開発

研究背景

高レベル放射性廃棄物処分の安全評価やサイト選定においては、**非常に遅い地下水流動の評価が必要**になる。この遅い地下水流動の評価には、地下水中に溶存する放射性物質の壊変やそれに伴う発生などに基づく**地下水年代測定技術が有効**と考えられる。

研究目的

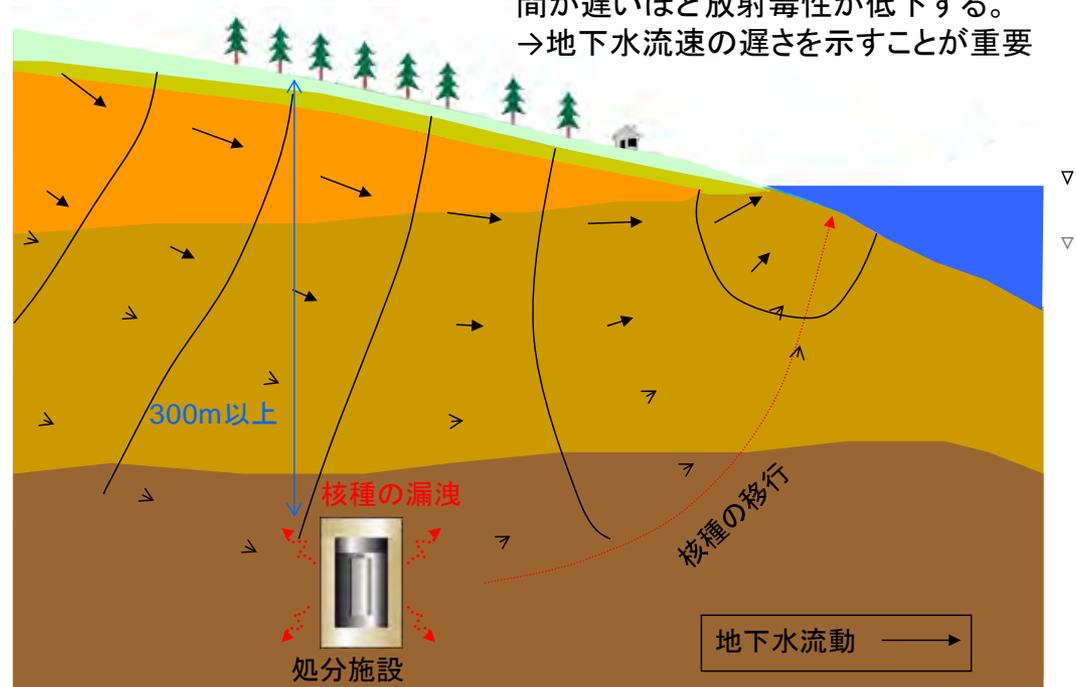
この地下水年代測定技術について、方法の開発と国内での適用性向上を実施する。

説明内容

- ・地下水年代測定法の概要
- ・岩石コアによる評価方法
- ・適用例
 - ーオーストラリア
 - ー大鑽井盆地難透水層
 - ー幌延

遅い流速を評価する意義

漏洩した核種は、放射性のため、到達時間が遅いほど放射毒性が低下する。
→地下水流速の遅さを示すことが重要



地下水年代測定法の概要

地下水年代測定法の原理

天然に存在する放射性物質の**放射壊変**やそれに伴う物質の**生成**に着目して滞留時間を評価する。

^{14}C 法

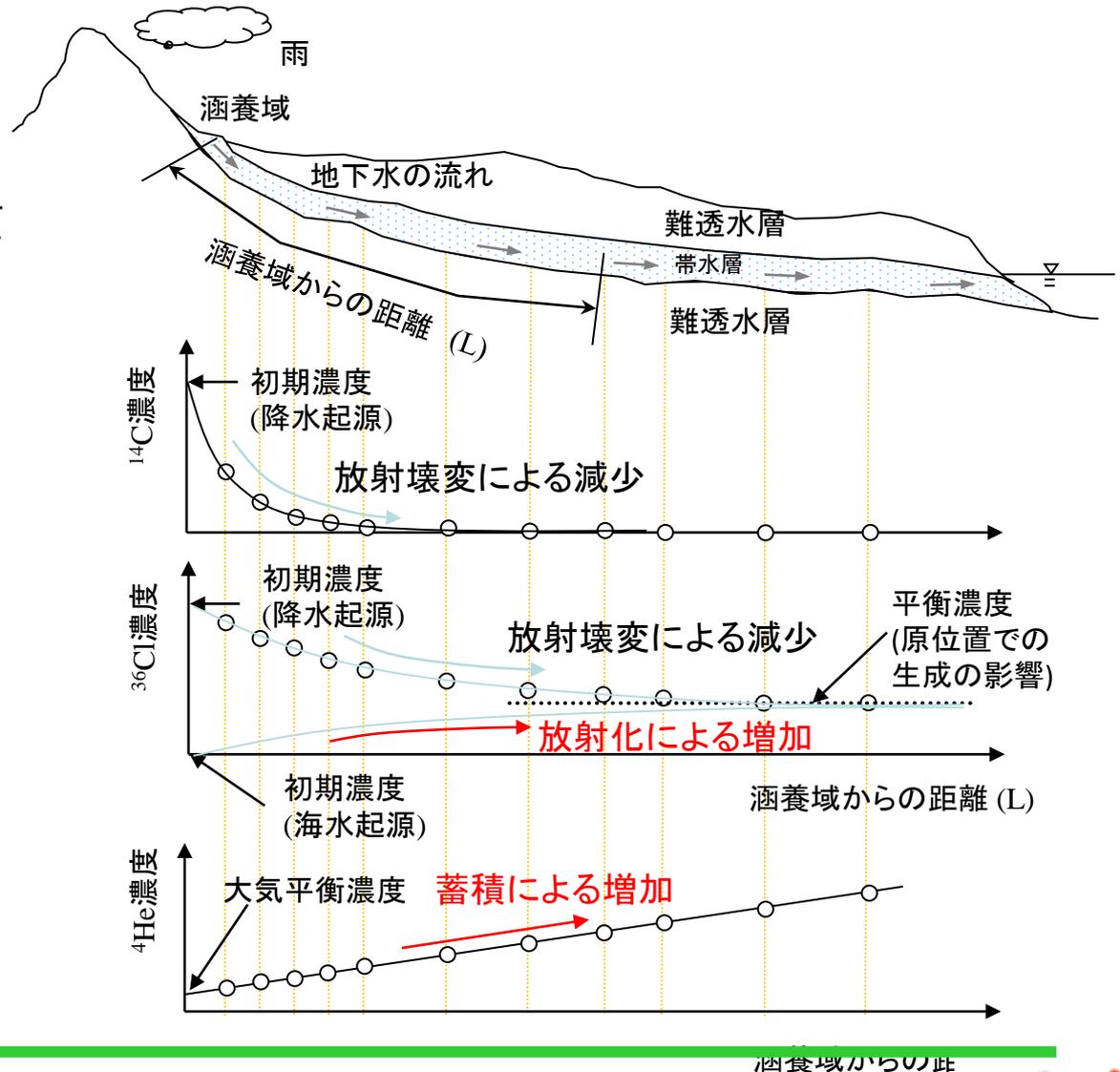
半減期5730年による濃度変化に着目して年代を求める方法

^{36}Cl 法

半減期30万年による濃度変化に着目して年代を求める方法

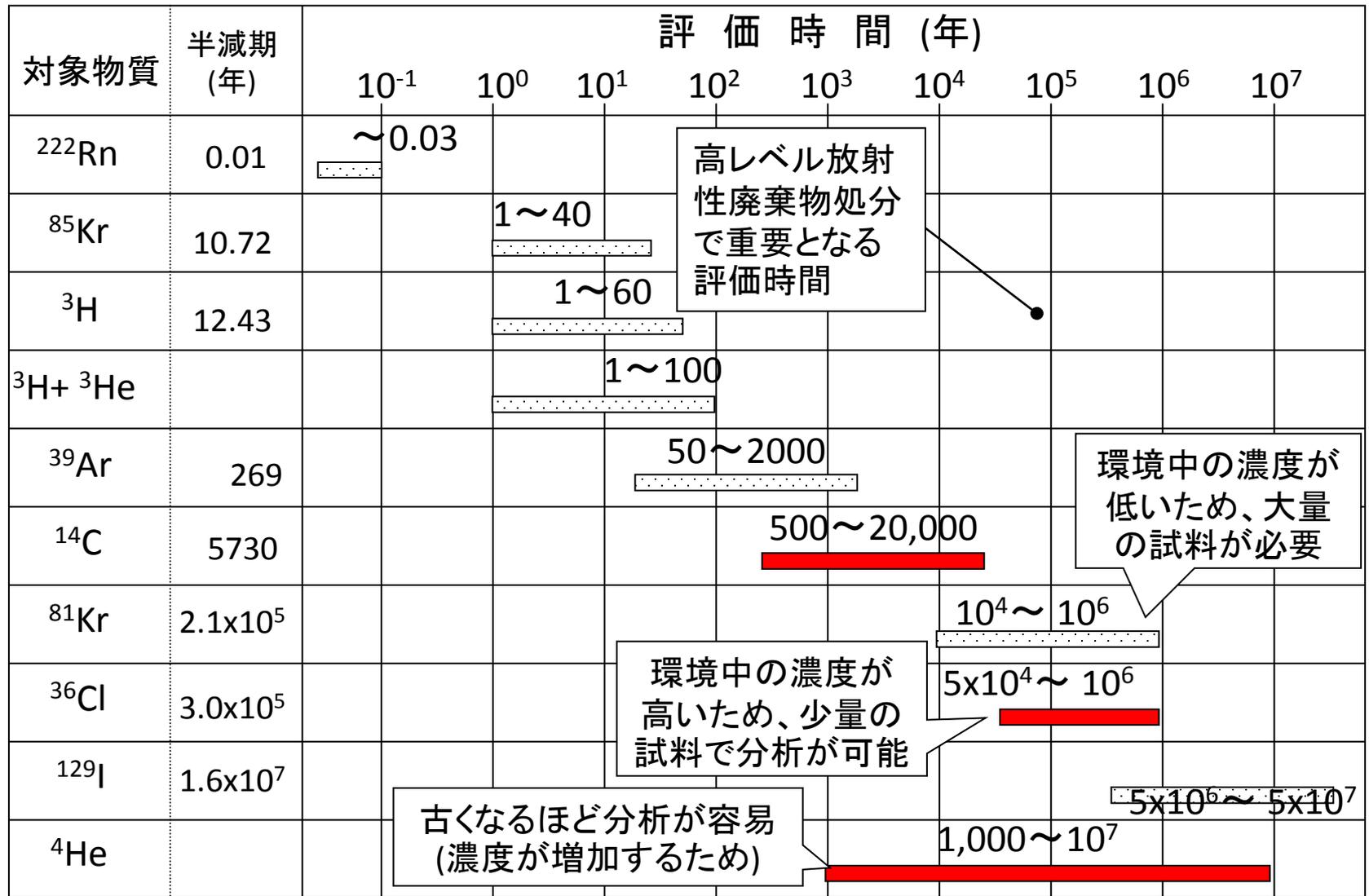
^4He 法

ウラン、トリウムの変換に伴う発生に着目して年代を求める方法



涵養域からの距離

地下水年代測定法と測定可能な年代範囲



半減期: 放射性物質の濃度が半分になるのにかかる時間

岩石コアによる地下水年代測定法の開発

低透水性岩盤の調査が必要なため、採水が困難な場合を想定し、岩石コアによる年代測定法を開発している。

^4He 年代測定法

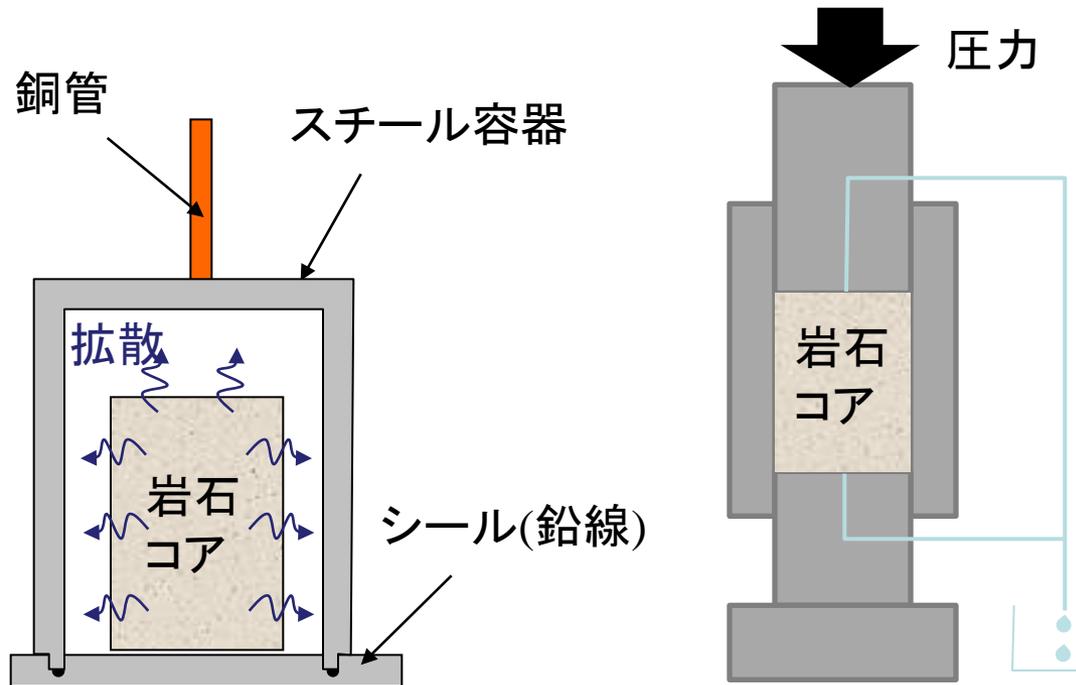
岩石コアを採取後速やかにスチール容器に入れ、脱気する。

数ヶ月後間隙水からの拡散を待って分析を実施する。

^{36}Cl 年代測定法

岩石コアから圧縮抽水およびリーチングにより試料を採取し、分析を実施する。

(Cl濃度が高い場合のみ)

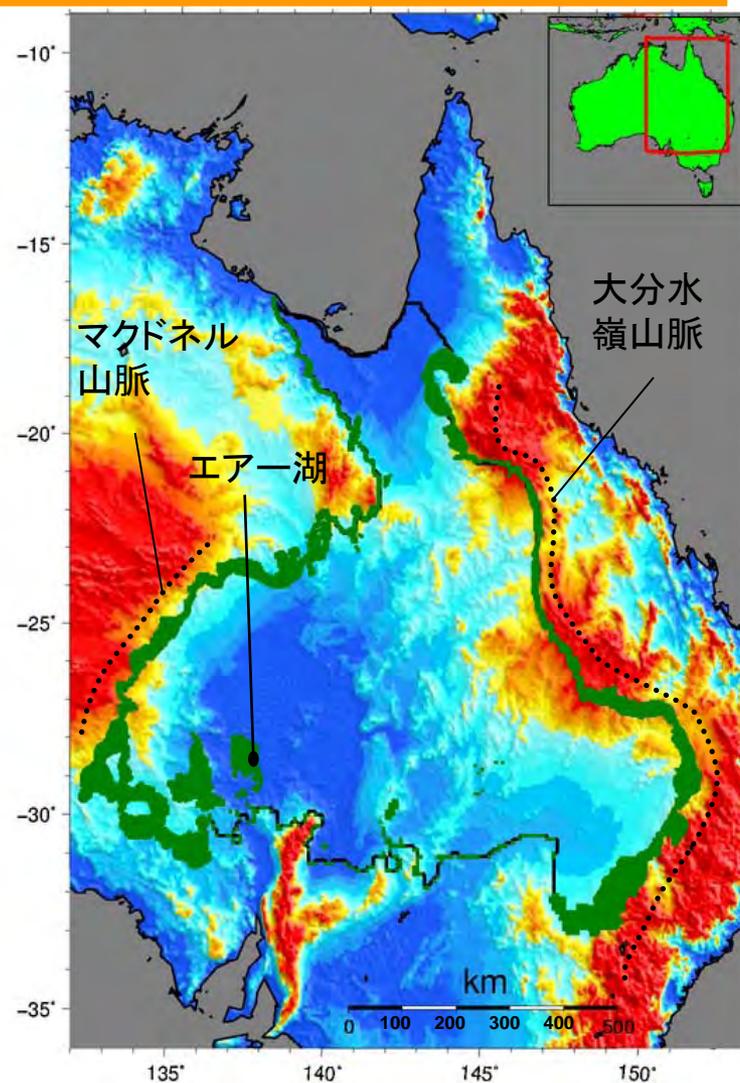


地下水年代測定技術適用例

オーストラリア大鑽井盆地

- ・地質構造が単純
→地下水流動も単純
- ・滞留時間が長い
→古い年代測定技術に適している
- ・被圧帯水層、乾燥帯
→井戸が多数有り、
地下水の混入が少ない

帯水層が露頭する
周辺の山地部(大分水嶺山脈、
マクドネル山脈)で涵養、
低地部(エア一湖)で流出



オーストラリア大鑽井盆地の状況



写真-1 現地移動時の風景

写真-2 自噴井



希ガス分析装置と採水状況

- : サンプル導入部
- : ガス分離部(温度によって分離)
- : 測定部(電荷を与えて電圧で加速する。)
- : 測定部(磁力で元素を分離)



測定装置の外観

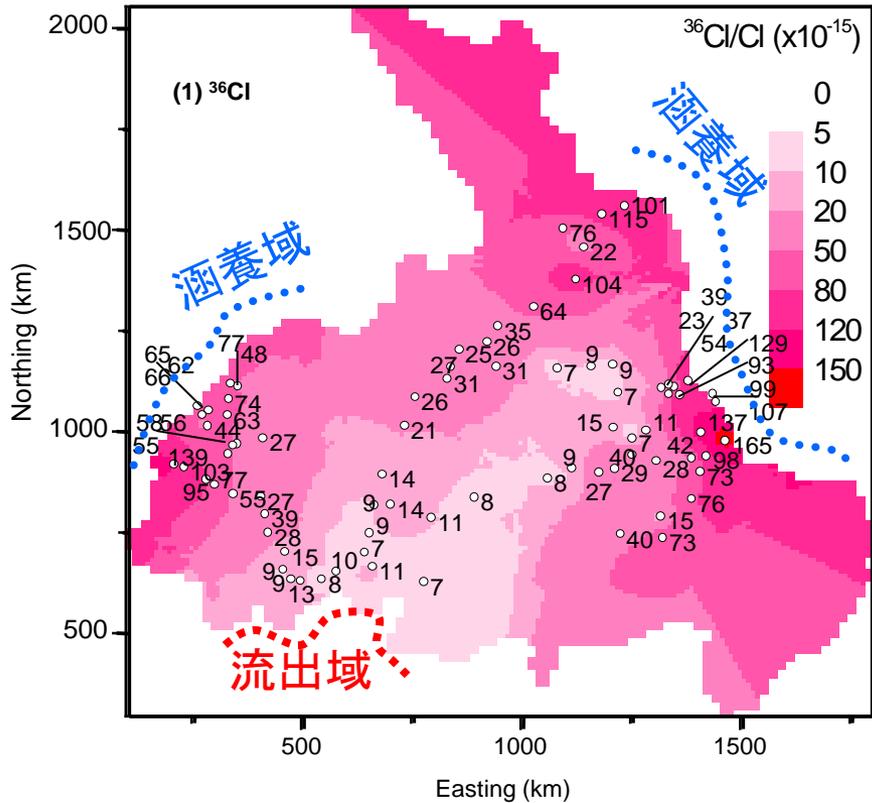


採水状況



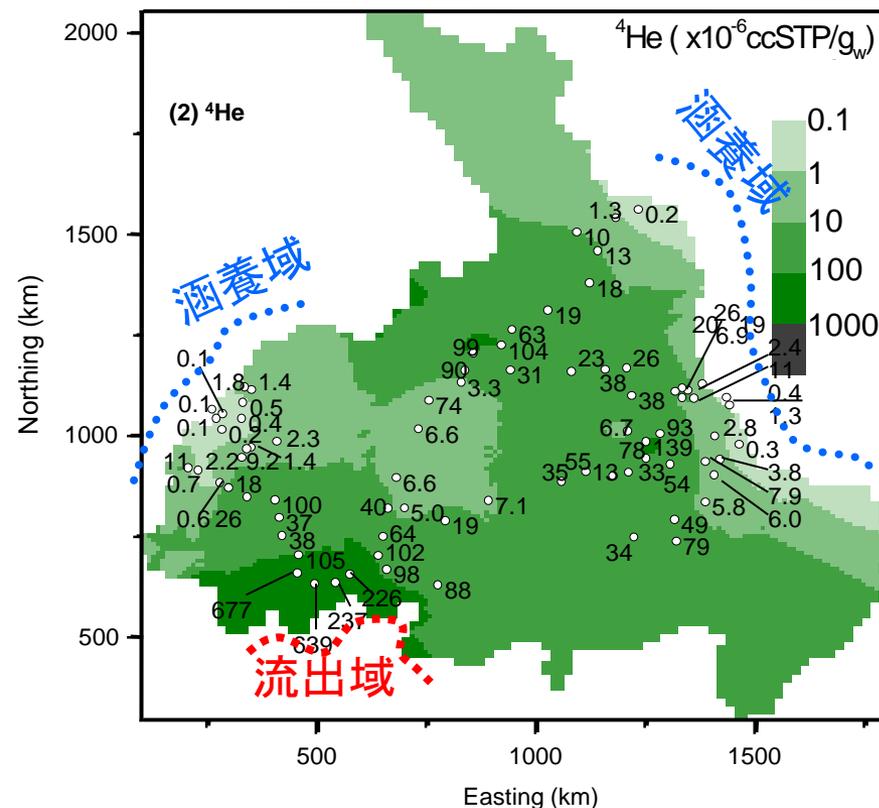
採水試料(地下水を銅管に封入)

大鑽井盆地における $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ と ^4He の分布



(1) $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ の分布

- ・涵養域で値が大きく、
- ・流動方向に放射壊変で減少、
- ・数字は井戸における観測値



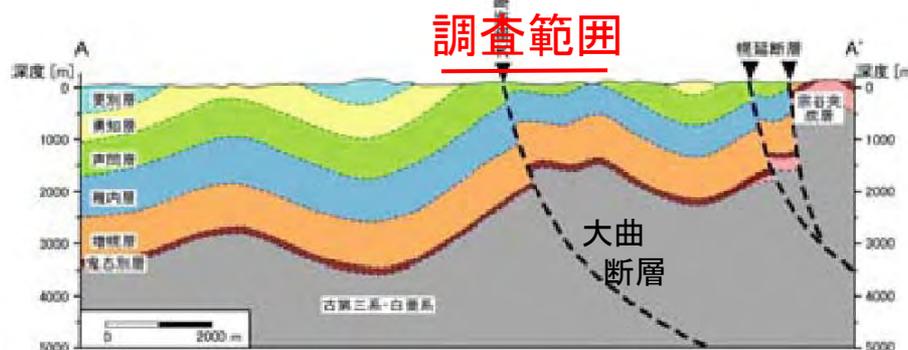
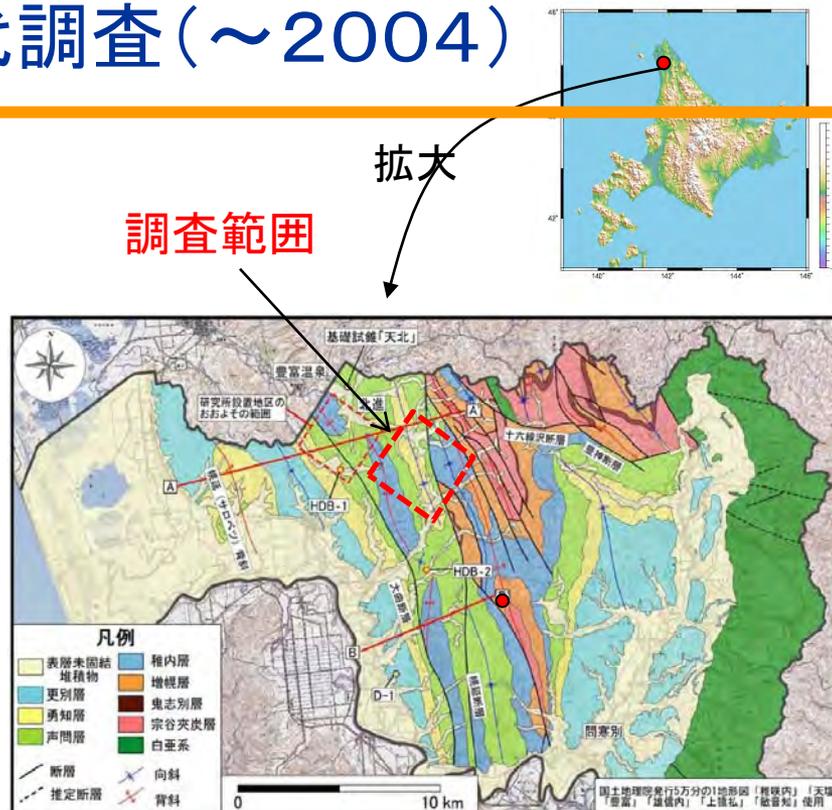
(2) ^4He の分布

- ・涵養域で値が小さく、
- ・流動方向に蓄積により増加
- ・数字は井戸における観測値

幌延での地下水年代調査(～2004)

主に稚内層から岩石コアを採取し、 ^{36}Cl と ^4He による地下水年代測定を実施した。

地層名	声問層	稚内層
岩種	珪藻質泥岩	硬質頁岩
堆積年代	4～9 Ma	9～13 Ma
透水係数 (m/s)	$10^{-7} \sim 10^{-9}$	$10^{-5} \sim 10^{-11}$
間隙率	約60%	30～40%



幌延町の地質図(舟木ほか、2005)

幌延での $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ 調査

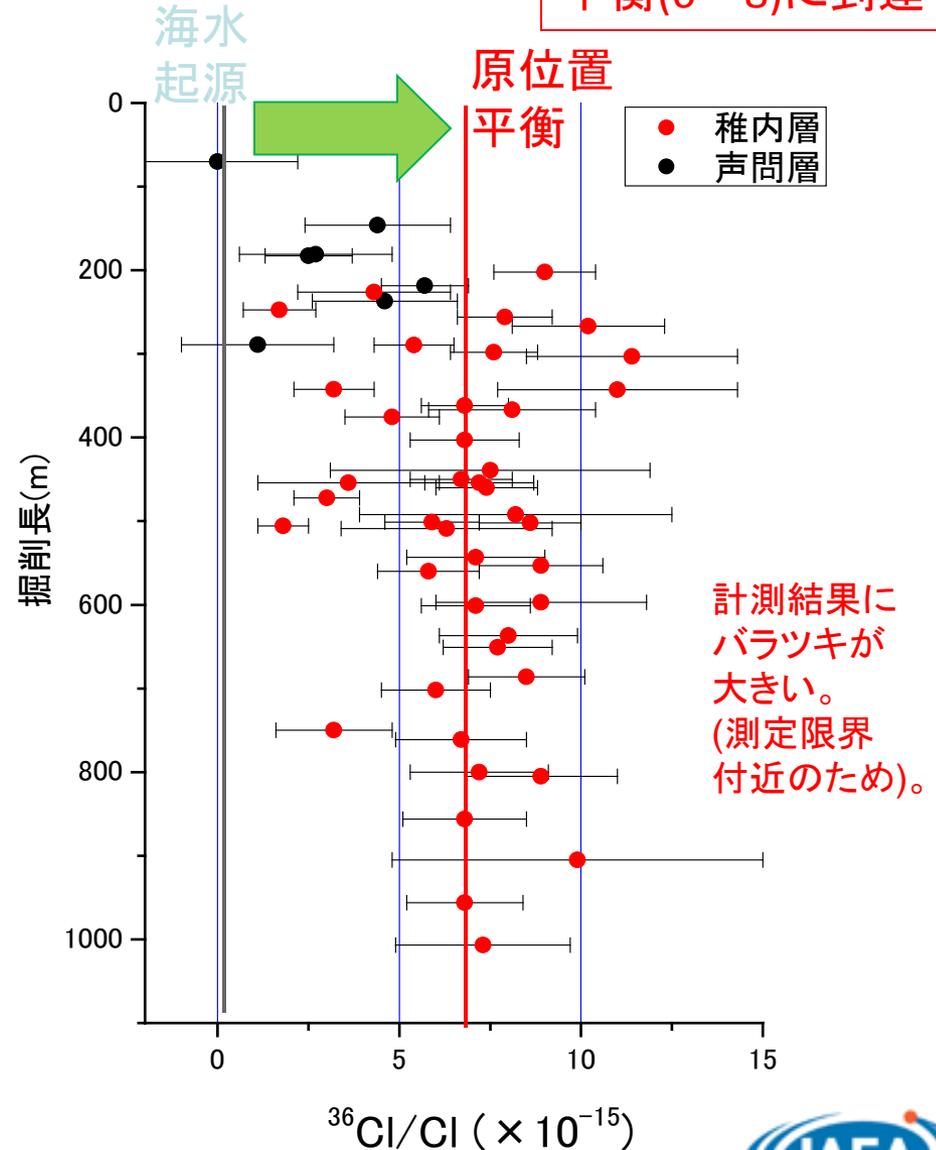
主に稚内層から岩石コアを採取し、圧縮抽水によって地下水を採取し、 $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ を分析した。

- ・稚内層、声問層は海成層
- ・地下水の $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ は、海水に比べて大きい。
→海水起源の地下水が原位置で放射化されたと推定される。

- ・稚内層の深部では、地下水の $^{36}\text{Cl}/\text{Cl} \approx 7$ で原位置平衡値(6~8)に近い
→平衡に達するには3半減期以上(100万年以上)の時間を要するため、**稚内層深部での地下水年代は100万年以上**

原位置で放射化
100万年以上

海水起源(≈ 0.1)
放射化で原位置
平衡(6~8)に到達



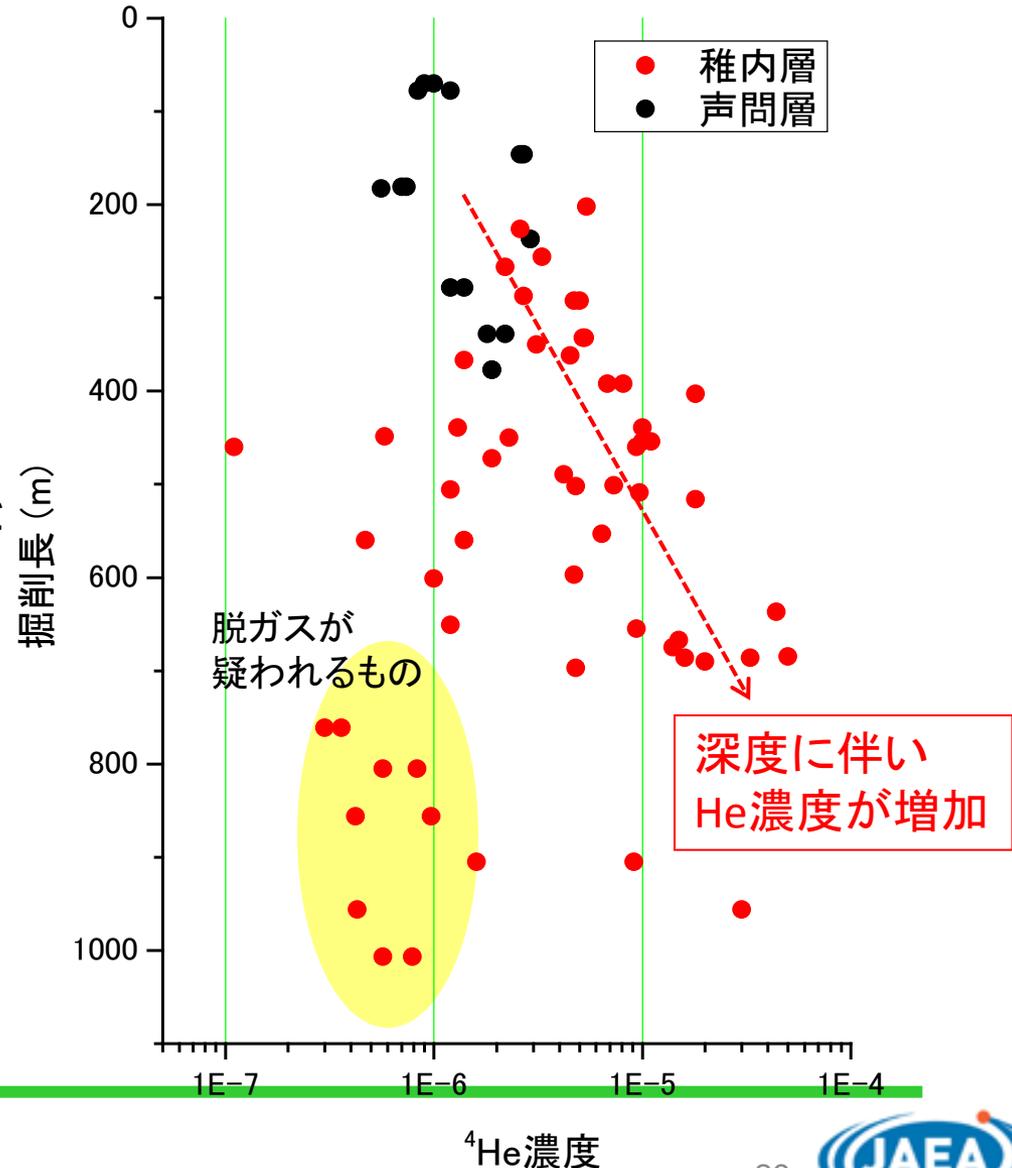
幌延での⁴He調査

主に稚内層から岩石コアを採取し、地下水中の⁴He濃度を分析した。

- ・⁴He濃度はバラツキが大きい
 $1 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-5} \text{cc}_{\text{STP}}/\text{g}_w$
- ・蓄積速度は、ウランリウム量などから、 $1 \sim 2 \times 10^{-12} \text{cc}_{\text{STP}}/\text{g} \cdot \text{y}$ 程度
→ ⁴He濃度は100～1000万年程度の蓄積量に相当する。地層の堆積年代とも整合することから堆積時から動いていない可能性が高い。

残された課題

- ・Heの起源
(外部からの流入)
- ・脱ガスの評価
(分析のバラツキの原因)



まとめ

＊地下水年代測定技術の適用性向上を図るために岩石コアによる ^4He と ^{36}Cl の定量方法を開発した。

＊オーストラリア大鑽井盆地の難透水層において、岩石コアによる ^4He と ^{36}Cl の定量方法の妥当性を確認した。また、輸送において、拡散が支配的であることを示した。

＊幌延地域において稚内層の地下水は堆積時に取り込まれた化石海水であることを、 ^4He 蓄積量と $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ の放射平衡から示した。

＊今後、引き続き①地下水年代測定法の国内における適用性の検討と②その他の年代測定法による調査を実施する予定である。

