



古い地層に存在する古い水を評価 する方法について

電力中央研究所 中田 弘太郎

2019年8月29日 札幌報告会2019

 電力中央研究所

第1章：はじめに

- ◆ 地下水を研究することの重要性
- ◆ 地下水年代(地下水の年齢)の利用

地下水を研究することの重要性

① 水資源としての地下水

生活・工業用水としての地下水を利用するメリット

- ・水質が安定している: 災害時にもメリット
- ・水温の変化が少ない: 夏冷たく、冬温かい
- ・災害時にも利用できる可能性がある
- ・大規模な貯水設備等を必要としない



不安な点も・・・

- ・どのくらい使っても大丈夫なの？
- ・水質が変わることはあるの？



地下水の特性(起源、量など..)を把握しておくことが重要

日本・海外での地下水の利用

日本での地下水利用

- ・生活用水: 20.5%を地下水に依存
- ・工業用水: 27.2%を地下水に依存
- ・農業用水: 11.2%を地下水に依存

データ: 国土交通省「地下水利用の現状」から引用しました

➡ 11.2%を地下水に依存

降水が豊かな日本では水資源としての地下水の重要性はそれほど高くない

海外(アメリカ)での地下水利用

全体の約30%を地下水に依存している

→特に農業用(灌漑)では、ほぼ50%を依存

* カンザス州: 80%、アーカンソー州: 69%、
ミシシッピ州: 68%、ハワイ州: 63%

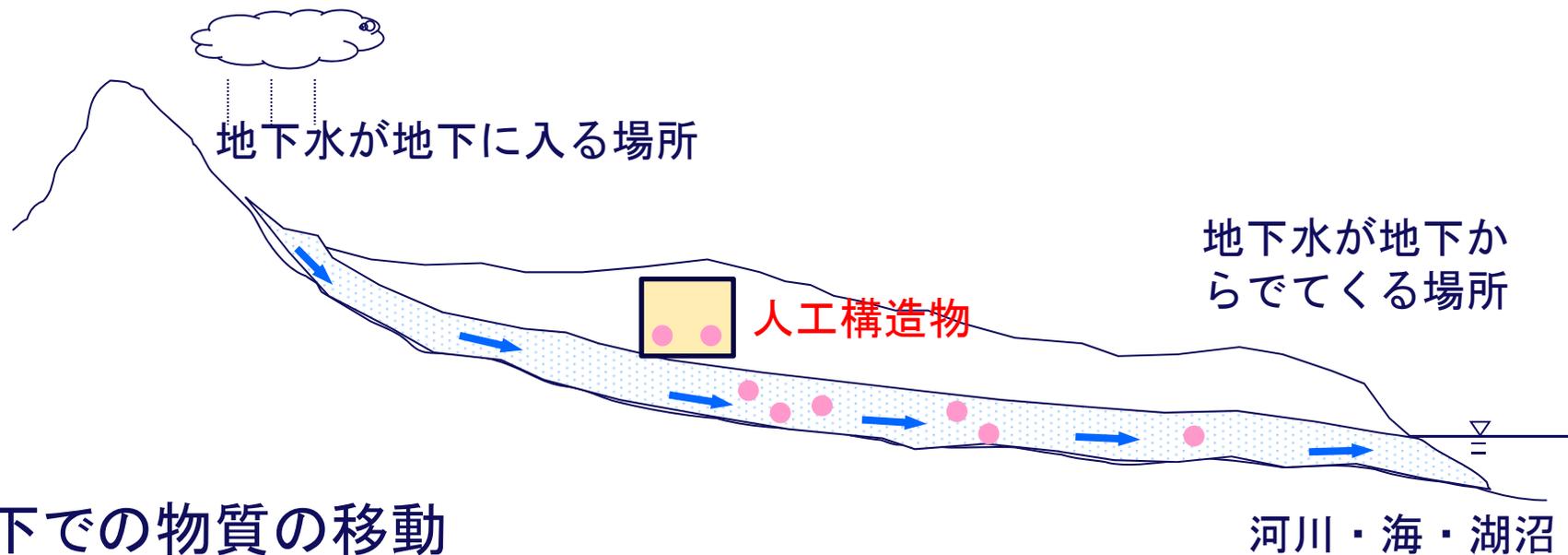
➡ 地下水への依存度高い

USGS「Groundwater Use in US」からデータを引用しました

世界的にみると、水資源としての地下水の重要度は高い

地下水を研究することの重要性

② 地下の物質移動における役割



地下での物質の移動

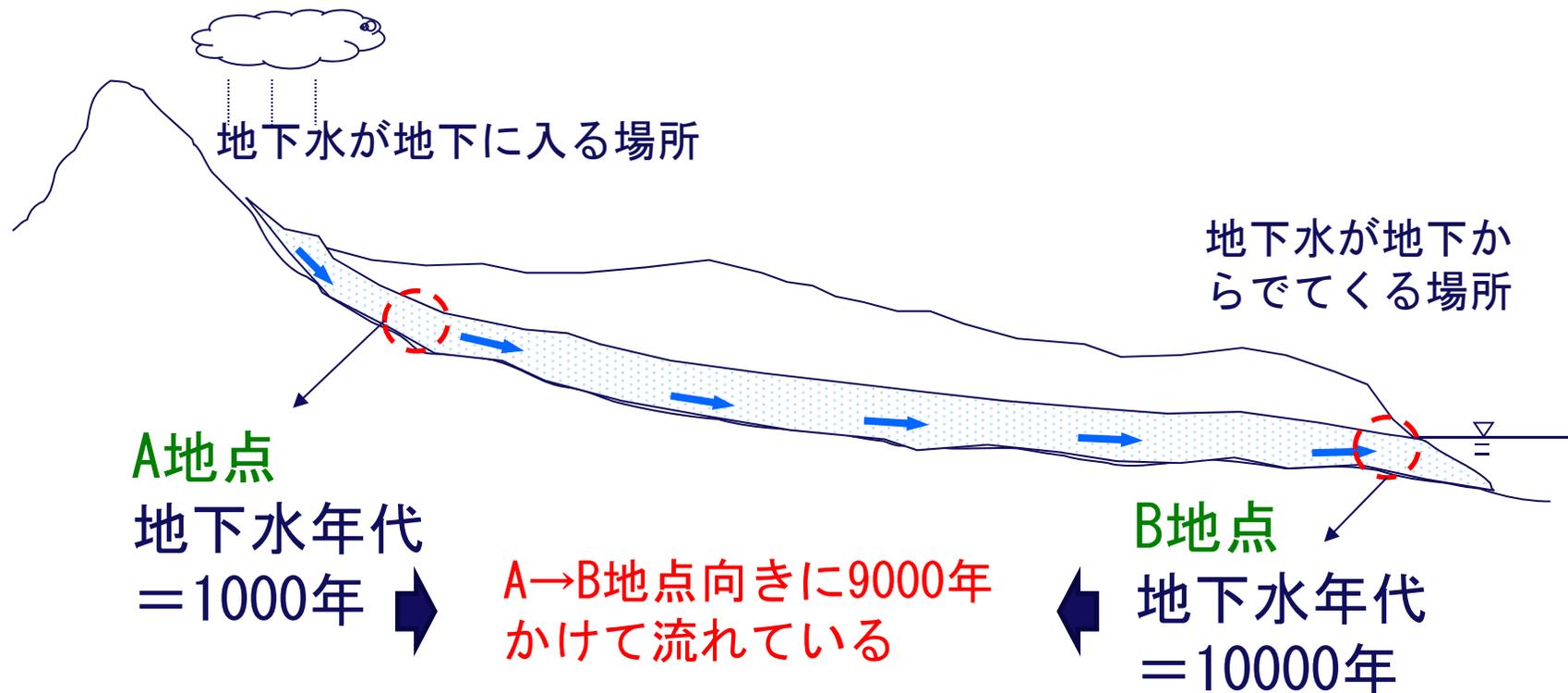
→地下水に溶解、**地下水の流れとともに移動する可能性が高い**



地下水がどのような速度で流れ、どこに流れていくのか
を知ることが重要

地下水の「年齢」の利用

地下水の年齢：地下水が地下に入ってからからの時間 → 「**地下水年代**」



地下水年代の分布：広域・長期間での地下水の流れる方向・速度を推定できる重要な情報になる

第1章のまとめ

地下水年代(地下水が地下に入ってから経過した時間)→広域・長期間の地下水流動予測に有用



- ・水資源としての地下水の特性把握
- ・地下での物質の移動速度予測

等へ応用が期待できる

第2章：地下水年代の測定原理

地下水の年代はどうやって推定するのか？

- ◆ 地下に入ると増えていくものを利用
- ◆ 地下に入ると減っていくものを利用
- ◆ そのほかに利用できるもの

地下水年代の評価方法：増えていくもの

例：ヘリウムガス

ヘリウムガスとは？

- ・特性：空気より軽い、他の物質と反応しない、液体になりにくい
- ・利用：風船、声が変わる、MRI(冷却)、半導体等の製造
- ・発生：岩石に含まれるウラン/トリウムの反応から発生
→油田等古い地層から採取される

岩石から発生したヘリウムガスは、地下水に溶けて蓄積される

➡ 古い地下水ほどHe濃度が高くなる、年代が古いほど分析が容易



地下水のヘリウム濃度、岩石からのヘリウムの発生速度がわかれば、地下水年代を推定できる

地下水年代の評価方法：減っていくもの

例：天然の放射性核種（ ^{14}C など）

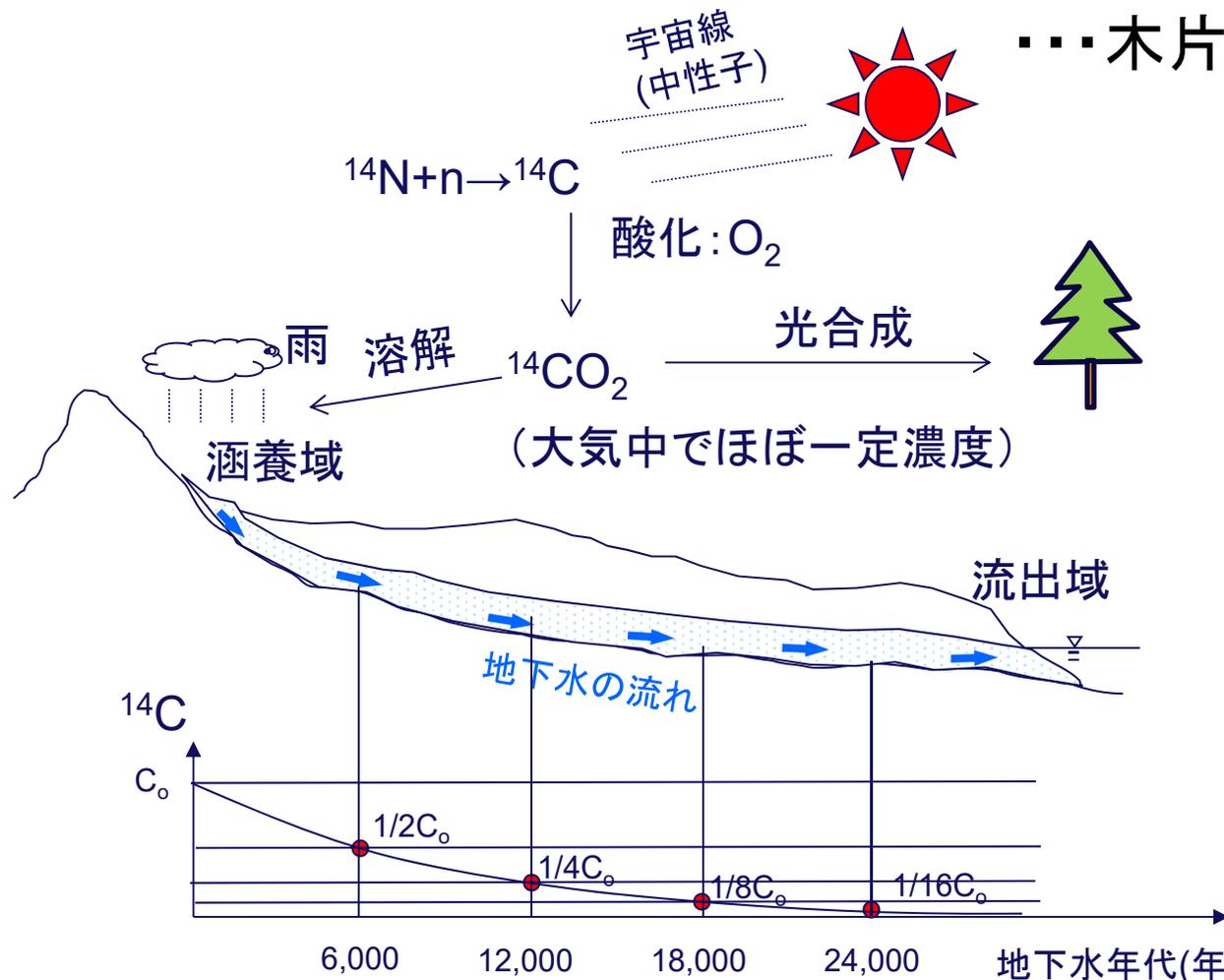
…木片の年代測定等で有名

大気中の放射性核種
→宇宙線による生成
と崩壊がバランス



地下中の放射性核種
→生成がなく、「半減期」に従ってなくなる

濃度と半減期から年代を推定できる



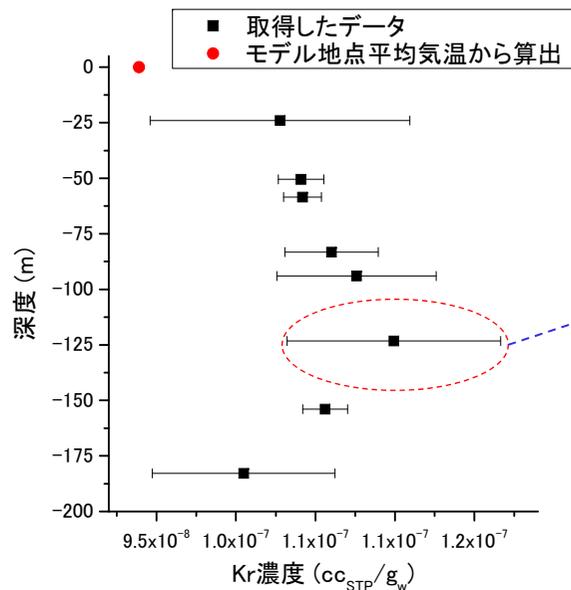
～4半減期くらいが適用限界

地下水年代の評価方法: そのほか

例: 昔の気候変動を利用

- ・ 気温が低い: 水にガスが**溶けやすい**
 - ・ 気温が高い: 水にガスが**溶けにくい**
- 冷蔵庫のコーラ
vs 室温のコーラ

ガスの濃度が高い箇所は、気温が低いときに地下に入った水である可能性



(例) ある地点でのクリプトン濃度の深度方向分布(左図)

深度125m付近の地下水は気温が低いときに地下に入った

氷期がもっとも盛んだった**18000年程度前**の地下水であると推察できる

第2章のまとめ

地下水の年代の推定方法

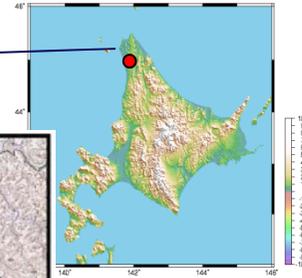
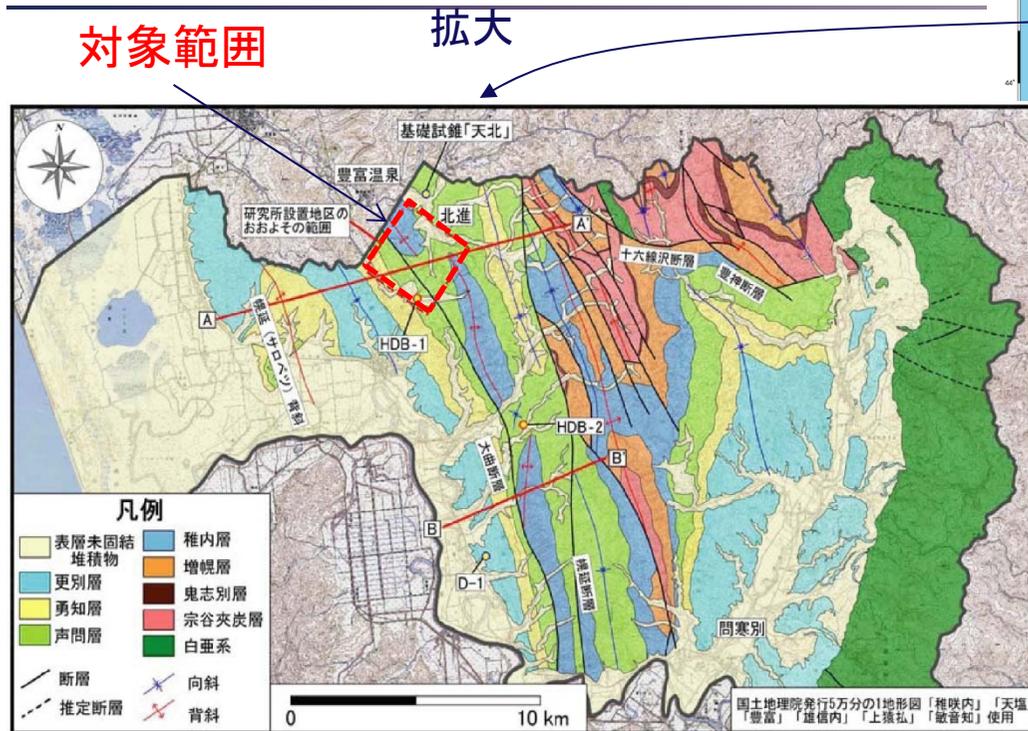
- ◆ 地下で増えるものを利用：ヘリウムガスなど
- ◆ 地下で減るものを利用：天然の放射性核種
- ◆ 過去の気候変動なども利用できることも

第3章：古い地層中の地下水年代測定

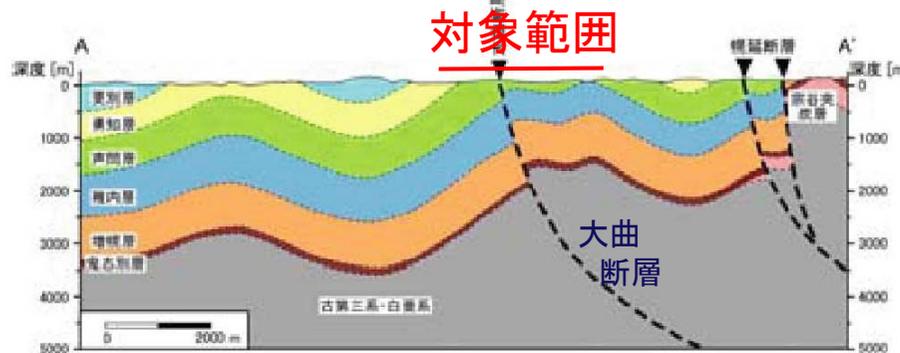
第2章に挙げた手法を幌延地域の地下水に適用し、古い地層中の地下水年代評価を試みる

- ◆ 地下水サンプルの取得方法：「水が出にくい地層」への適用方法の工夫
- ◆ 幌延地区、「声問層」「稚内層」の地下水への適用結果

技術検証地点：北海道幌延地域



地層	声問層	稚内層
岩の種類	珪藻質泥岩	硬質頁岩
堆積年代 (百万年)	2~3	3~13
透水係数 (m/s)	$10^{-7} \sim 10^{-9}$	$10^{-5} \sim 10^{-11}$
間隙率	50~60%	50~60%



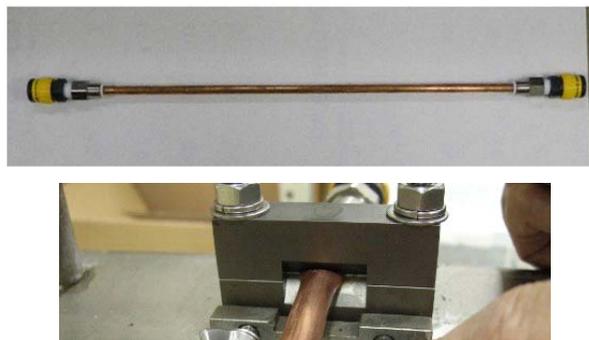
太田ほか(2007)を参照

透水係数：水の透しやすさの指標

- ・礫： $> 10^0$ ・砂： $10^{-2} \sim -3$
- ・泥： $10^{-4} \sim -7$ 粘土： $< 10^{-7}$

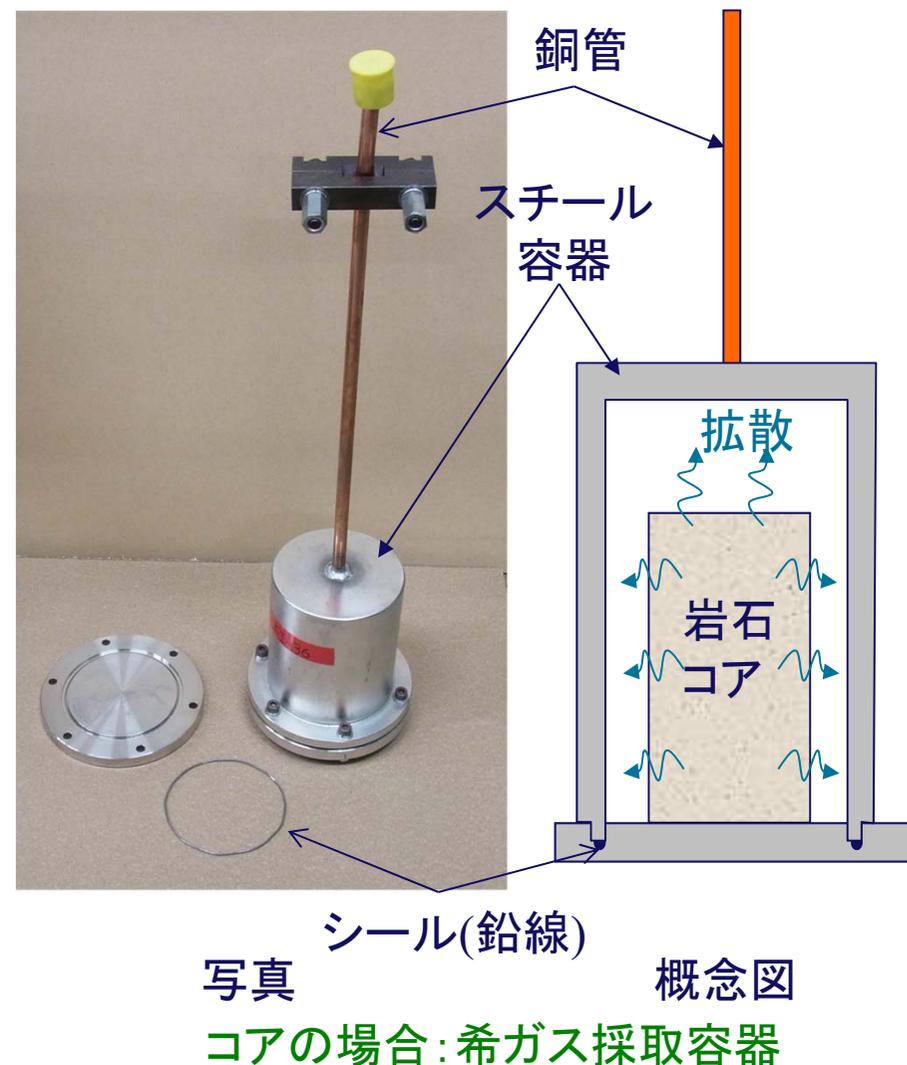
* 古くて水を透しにくい地層だが、水を透しやすい箇所も存在する

技術開発：地下水のヘリウム濃度測定



水の場合：銅管に水を採取し、クランプと呼ばれる治具で銅管を閉じる

水が採取できない場合はコアからガスを採取するための技術を開発した*



技術開発：間隙水の取り出し



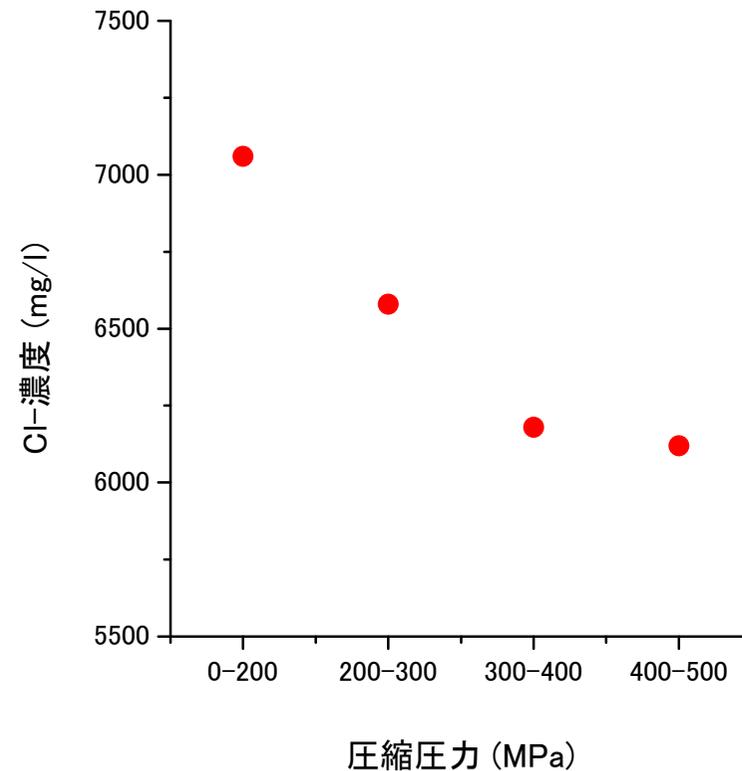
油圧ジャッキで岩石に圧力をかける

岩石を入れる筒

出てきた水を採取するチューブ

圧縮抽水装置

→圧力をかけて間隙水を絞り出す装置



圧力をかけていくと、粘土鉱物から層間水が抽出→イオン濃度が変化する可能性



水の絞り出し方と水質の関係を明らかにした*

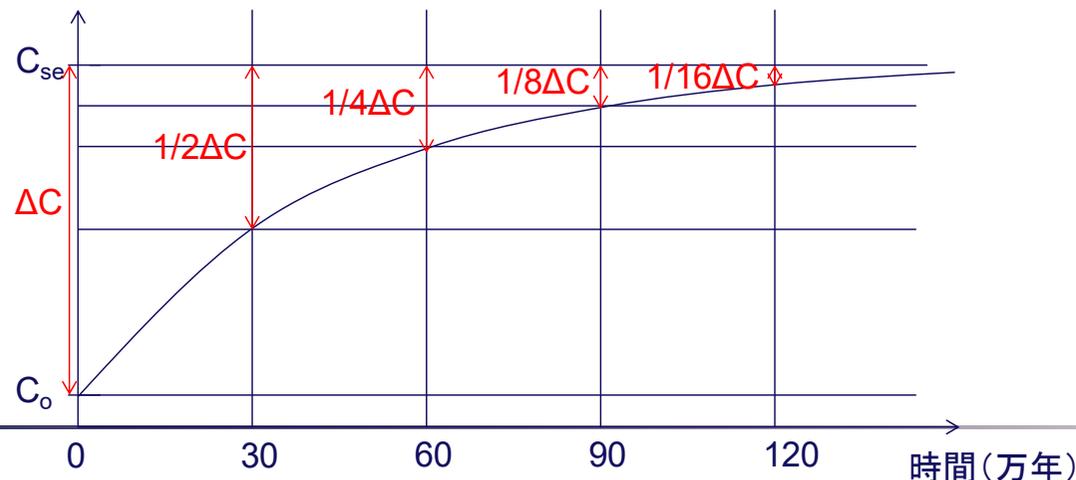
幌延地域への適用: トレーサー

地下で増えるもの: ヘリウムを利用

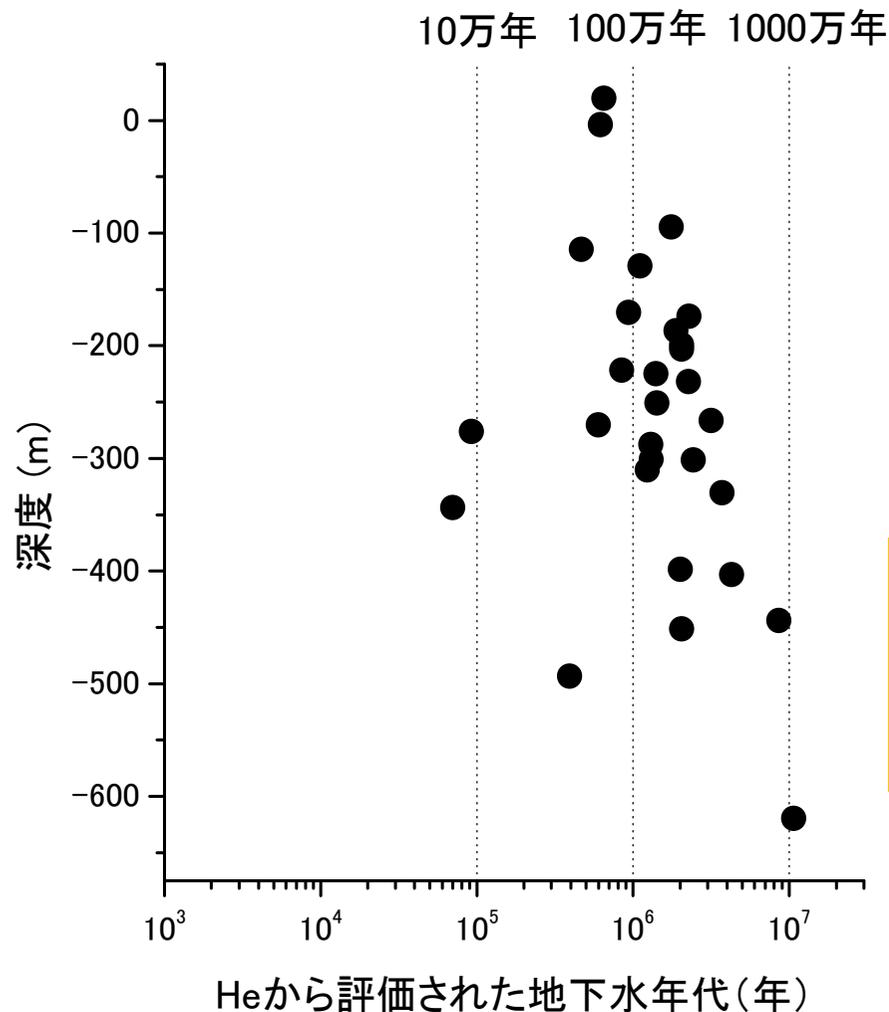
- ・ヘリウムの適用範囲: 数千年~1千万年程度
→地下水年代の増加とともに、ヘリウム濃度が増加
- ・コアを取得し、コアから間隙水のガスを取り出して分析
- ・ヘリウム濃度÷地層でのヘリウム蓄積速度で年代を計算

地下で減るもの: Clの放射性同位体 (^{36}Cl) を利用

- ・ ^{36}Cl の適用範囲(半減期30万年): 15~120万年程度
→地下水年代の増加とともに、「岩石での平衡値」に近づく
 - ・コアを取得し、コアから間隙水を抽出、またはCl-イオンを抽出
- *幌延地域の場合、地下水起源が海水なので、増加しながら平衡値に近づく



結果：ヘリウムを用いた結果



地下水年代
→ 主に100～1000万年に分布



地層年代と同程度に古い水が
岩石間隙に存在する*

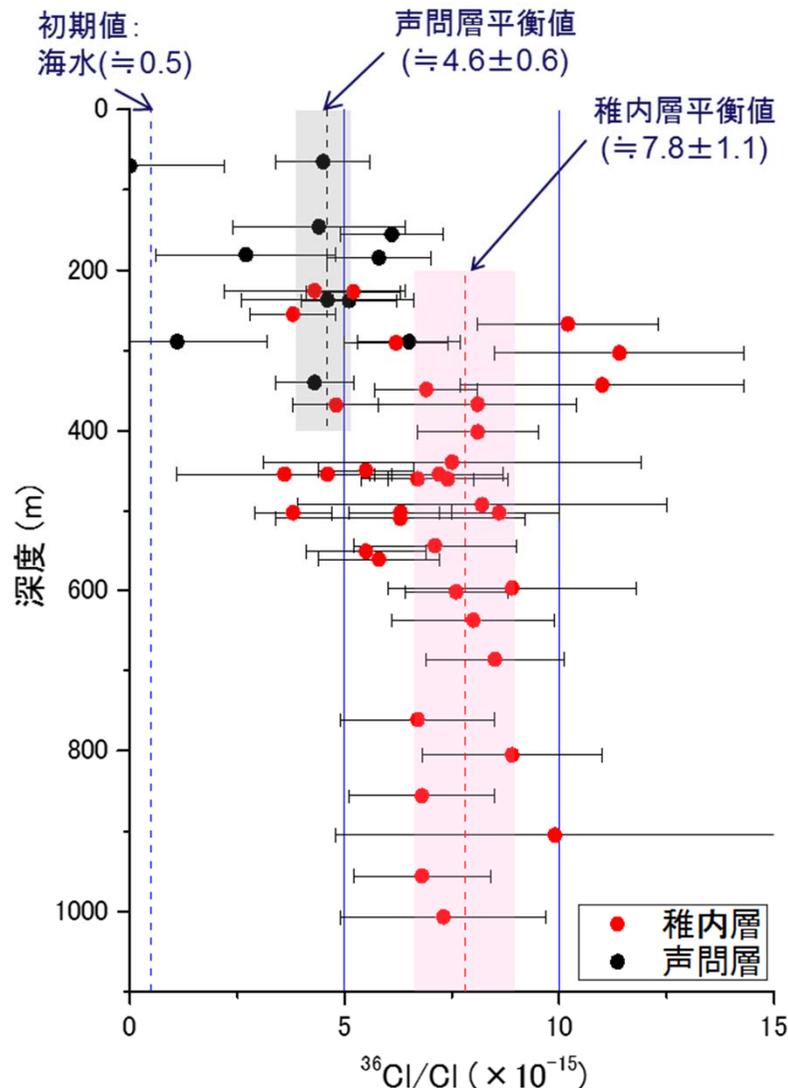


ヘリウムを用いた年代測定→地層
に古い水が存在することを示す方
法として有効

*地層の沈降に伴う水の移動などは別途詳細を議論する必要がある

→詳細はNakata et al., (2018) Geofluids, vol. 2018, Article ID 7823195を参照

結果：³⁶Clを用いた結果



分析した³⁶Cl/Clの値

- ・初期値である海水における値より有意に大きい
→半減期の30万年より有意に古い地下水が存在している
- ・各地層の「放射平衡値」に近い
→120万年以上程度の年代が経過している可能性が高い



³⁶Clを用いた年代測定→地層に120万年以上程度留まった水が存在することを示した

第3章のまとめ

◆ 技術開発：水が取れにくい地層への適用

- ✓ Heを岩石間隙水から取り出して分析する技術
- ✓ 岩石から間隙水を取り出す方法

◆ ヘリウムと ^{36}Cl の幌延地域地下水への適用

- ✓ 幌延地域の地下水の一部は、地層が現在の状態になってから、あまり動いていない可能性がある

◆ 古い地層への地下水年代への適用

- ✓ 地下水が長く地層に留まる可能性を検証する手法として有用であることが確認できた

全体のまとめ

- ◆ **地下水**: 水資源や地下の物質移動の観点から、重要な研究対象
- ◆ **地下水年代**: 地下で濃度などが増減するものを用いて、地下水が地下に留まった時間を把握できる
- ◆ **地下水年代の古い地層への適用**: 地下水が長い時間ある地層に留まっていることを示すのに有効な手法であることを確認した

謝辞

本研究は、経済産業省からの受託研究などにおいて実施したものである。

JAEAの共同研究関係者には、岩石コア・地下水のサンプリングにご協力いただき、解釈などについて議論していただいた。