

第2期中期計画とりまとめ

② 深地層の研究施設計画成果のとりまとめの考え方について —c. 地下水の地球化学—

平成25年11月29日

地層処分研究開発部門
東濃地科学研究ユニット
幌延深地層研究ユニット

個別研究成果における達成度(地球化学分野)

反映先	達成目標	必要な研究開発項目	具体的成果(ノウハウなどの一例)	達成
サイト選定に関する意思決定	地上からの調査で、 化学的に好ましい環境条件の領域を判断できる。	地上から地球化学特性の三次元分布を理解するためのボーリング孔配置方法や観測方法	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 調査数量を明確化 <ul style="list-style-type: none"> ・水理地質学的コンパートメントがある場合は、コンパートメント毎に観測孔を配置 ・断層などが少ない均質な地質条件では、3本程度のボーリング調査で水質分布断面を提示可 ✓ 塩水系地下水での比抵抗探査(比抵抗検層も含む)の適用範囲を提示 	○
		好ましい条件の長期安定性を提示するための技術	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 環境条件に応じた地下水年代推定法 ✓ 鉱物特性・同位体に基づく地下水のpH, 酸化還元電位の長期安定領域の推測手法 	○
		データの品質を保証し、追跡性・透明性を確保するための技術	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 現場作業記録を網羅的に個々のデータと合わせてDB化することによりデータの追跡性・透明性を確保(IT化が残された課題) 	○
		各分野の調査結果を網羅的に整理し、地球化学モデルを構築するための解析手法	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 論文・報告書として取りまとめ、エキスパートシステムとして整備 	◎

個別研究成果における達成度(地球化学分野)

反映先	達成目標	必要な研究開発項目	具体的成果(ノウハウなどの一例)	達成
建設に関する意思決定	地上からの調査で、	地上からの排水基準項目濃度を把握するボーリング調査方法	✓ 前述で担保	○
	建設・操業時の排水が排水基準を満たすこと、 長期的な排水に伴う化学変化が、好ましい化学条件を回復不能にしないことを判断できる。	化学変化を抑制するための設計・施工方法(パネル展開の考え方など)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 設計に有用な調査試験の考え方を明示 • 複数の断層分布を事前に把握していても、コンパートメント境界か否かは判断できない • 大規模揚水試験時の周辺観測孔での水圧レスポンスから、コンパートメント境界になり得る断層を抽出する • 抽出された断層(コンパートメント)に基づき、坑道掘削時の水理擾乱・化学擾乱に関わる予測解析を行い、擾乱の少ない坑道レイアウトをデザインする 	○
		長期的な排水に伴う化学変化の予測解析技術	✓ 水理-化学連成解析による変化の予測と検証(取りまとめまでに整理予定)	△

個別研究成果における達成度(地球化学分野)

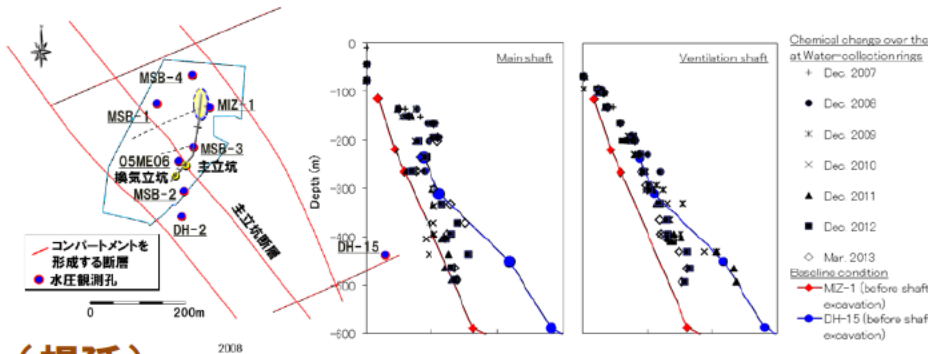
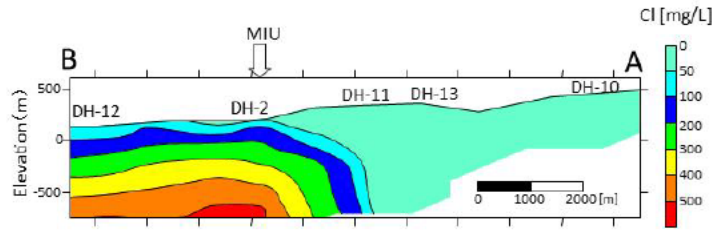
反映先	達成目標	必要な研究開発項目	具体的成果(ノウハウなどの一例)	達成
<p>処分開始に関する意思決定</p>	<p>実際の施設建設の状況を踏まえて、施設閉鎖後、好ましい化学条件の回復・維持が見込まれることを判断できる。</p>	<p>建設・作業時の化学変化のモニタリング技術・解析技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 重要な観察事例 <ul style="list-style-type: none"> ・大量湧水(排水)がある場合は、作業期間中に坑道周辺の地下水が浅層水に入れ換わる可能性が高い ・堆積岩では、作業期間程度の中に坑道周辺が酸化状態になることはない ✓ 坑道掘削から閉鎖までに実施すべき観測項目とその頻度、方法 ✓ 建設・作業に伴う水質の中長期変化を理解・予測するための観測内容と解析方法(多変量解析による変動幅を推測可能) ✓ 坑道周辺のアルカリ化領域の調査技術(物理探査と水理・化学連成解析) 	◎
		<p>化学条件回復を促進する設計・施工(パネル展開の考え方等)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ コンパートメントを考慮した化学的擾乱について、予測解析の妥当性を確認しながらパネルを展開する 	○
		<p>回復・維持に関わる予測解析技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 次期中期計画での研究内容を具体化 	△

成果ダイジェスト A1)地質環境の初期状態の理解

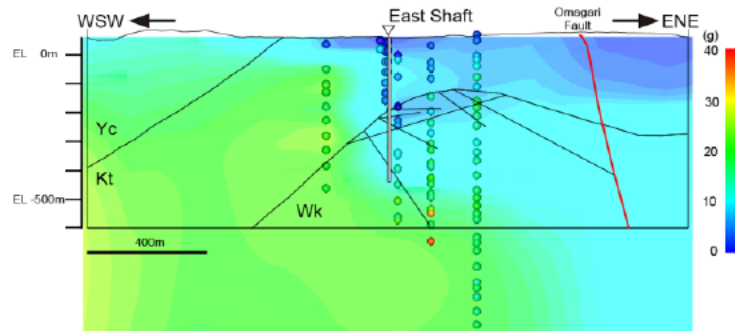
—地上から地球化学特性の三次元分布を把握するための調査技術—

施設建設時の新たな知見(コンパートメント構造を踏まえたボーリング孔配置, 孔間水理試験, モニタリング思想など)により, 地上からの調査時に不可欠な考え方, 具体的対応方法を明示した

(瑞浪)



(幌延)



● 観察により得られた知見

月吉断層や主立坑断層を境に, 地下水水質が異なる(瑞浪)。割れ目帯周辺で(塩分濃度)が異なる(幌延)。実際に地下水水質分布に影響を与え得る水理地質構造として, 礫岩層, 断層, 不整合面, 割れ目帯が挙げられる

➤ 地質環境調査実施時のノウハウを整理した

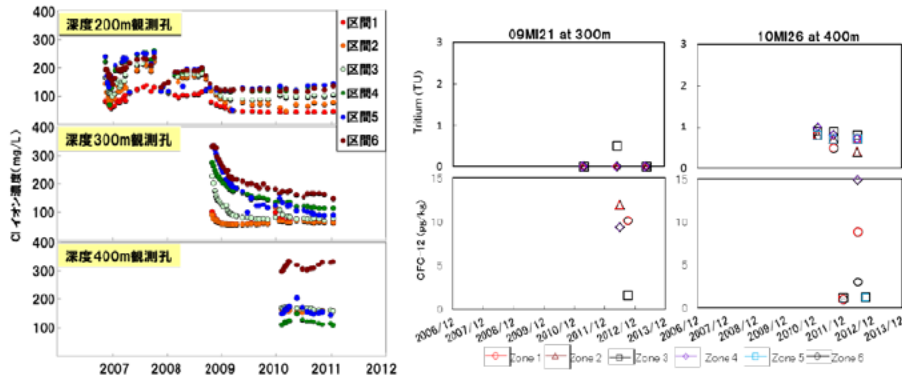
- ✓ 以上の地質構造が認められる場合, その両側で地下水水質を確認可能な調査レイアウトとする(水理地質学的コンパートメント毎に最低1本のボーリングを配置する)
- ✓ 施設建設時の周辺環境の擾乱範囲, 程度を事前評価するため, コンパートメント間のボーリング孔を利用した長期揚水試験の実施が望ましい
- ✓ 地下施設に達する可能性のある地質構造を含む観測孔は, 長期モニタリング孔として活用する
- ✓ 地下水の物理化学パラメータは, 地上からの調査では予察的な情報の取得に留まり, 坑道からの調査により補完する必要がある

施設閉鎖後のモニタリングの知見を地表からの調査段階時のモニタリング孔配置計画にフィードバック

成果ダイジェスト A2)地質環境の短期変動・回復挙動の理解 —地下施設建設・操業に伴う地球化学特性の変化の観測・解析技術—

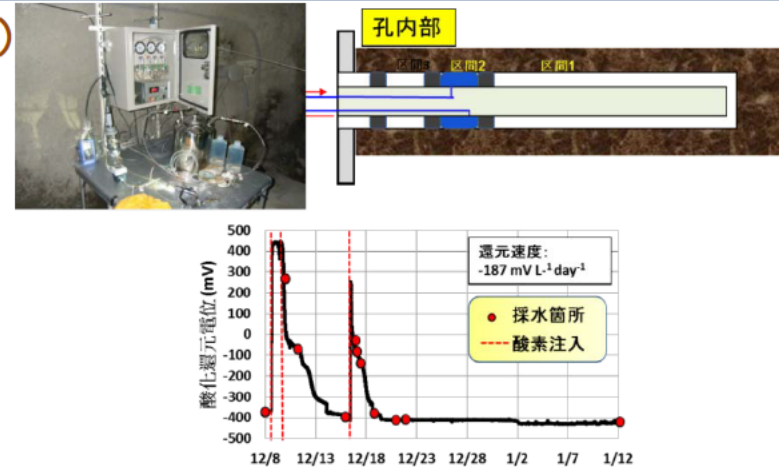
施設建設時の新たな知見(複数観測点での定期観測と多変量解析)により、
結晶質岩・堆積岩における施設建設・操業時の中長期変化の幅が推測可能になった

(瑞浪)



- 約10年間にわたる数百m³/日の地下水排水により、表層水を含む地下水が深度400mまで浸透。付随して地下水の水質も浅層地下水の組成に徐々に変化
- 坑道への湧水が多い条件では、維持管理期間が長いほど周辺地下水の水質は大きく変化する(操業期間中に坑道周辺の地下水が浅層水に入れ換わる可能性が高い)
 - 混合により水質が変化する環境では、周辺観測点での長期的なデータ取得、多変量解析による変化プロセスの把握、経時変化量に基づく将来予測により、建設、維持管理時の中長期的な水質変化を推察可能であることを提示

(幌延)



- 湧水量の少ない堆積岩においては、地下施設建設開始から数年間では、立坑周辺での化学的擾乱は起こっていない。
- 酸素が拡散しても、水—鉱物—微生物反応により、数日で無酸素状態となる。
 - 有機物に富む堆積岩は、十分な酸化還元緩衝能力を有している(堆積岩においては操業期間程度の中に坑道周辺が酸化状態になることはない)ことを提示
 - 有効な技術については、同左

坑道閉鎖(埋戻し)後の地質環境特性の回復、定常化過程に関わる知見の蓄積

成果ダイジェスト A3)地質環境の長期変動・回復挙動の理解 —地下水の滞留時間を推定するための調査技術—

従来、適用可能範囲が不明確であった地下水の滞留時間推定手法について、水理地質条件（結晶質岩、堆積岩、長期滞留領域など）に応じた有効手法と適用範囲を明示した

(瑞浪)

Nakata et al. (2013)のFig. 14を参照
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169413002126>

Nakata, K., Kodama, H., Hasegawa, T., Hama, K., Iwatsuki, T., Miyajima, T.: "Groundwater dating using radiocarbon in fulvic acid in groundwater containing fluorescein", Journal of Hydrology 489, pp.189-200 (2013).

(幌延)

電力中央研究所 (2013)の図5.5-1を参照
http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/library/2012/24-2-2.pdf

一般財団法人電力中央研究所：“平成24年度地層処分技術調査等事業（地層処分共通技術調査：岩盤中地下水移行評価技術高度化開発）-地下水年代測定技術調査-報告書（2013）

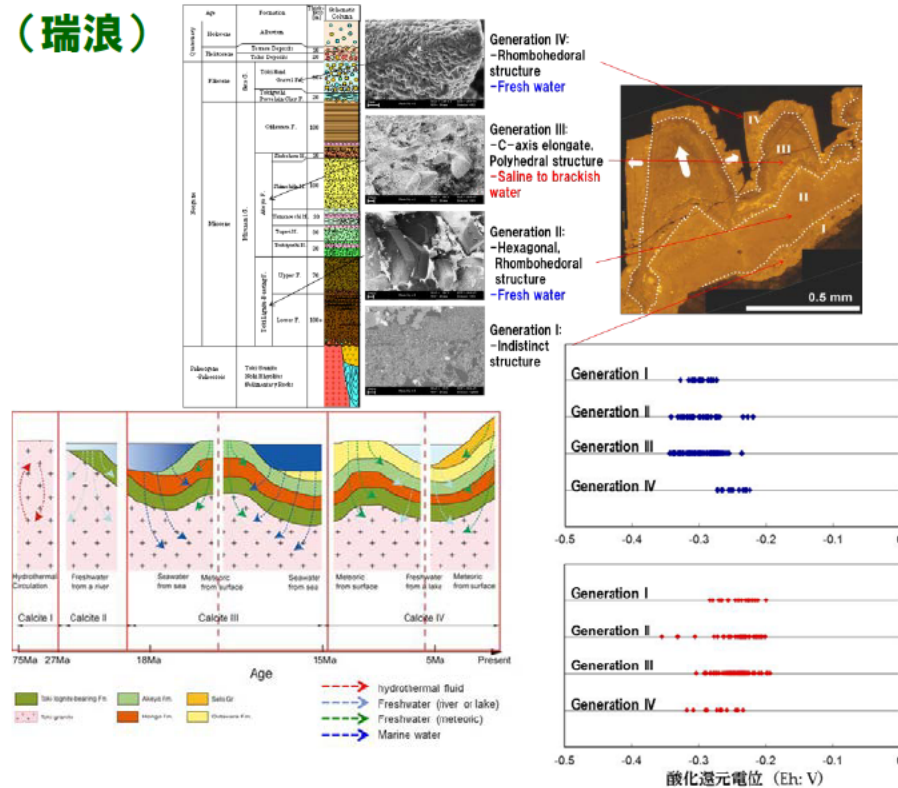
- 複数の化学的な指標(^{14}C 濃度, $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ 比, ^4He 濃度, ^{37}Cl 等)の分析事例を蓄積
- 水理地質学的な条件に応じて、有効な地下水の滞留時間推定手法を明示
 - ピストン流が想定可能な空隙媒体の均質な堆積岩 → トリチウムや ^{14}C など天然放射性元素を活用
 - 海水・古海水があり不動領域が予想される環境 → ^{36}Cl , ^4He , 酸素同位体シフトなどを活用
 - ピストン流が仮定できない割れ目媒体 → 花崗岩においては溶存有機物の ^{14}C やフロンガスが有効

他条件での研究事例の蓄積、適用範囲の確認、環境回復の指標としての応用例の提示

成果ダイジェスト A3)地質環境の長期変動・回復挙動の理解 —長期的な地球化学特性の変遷の解析・モデル化技術—

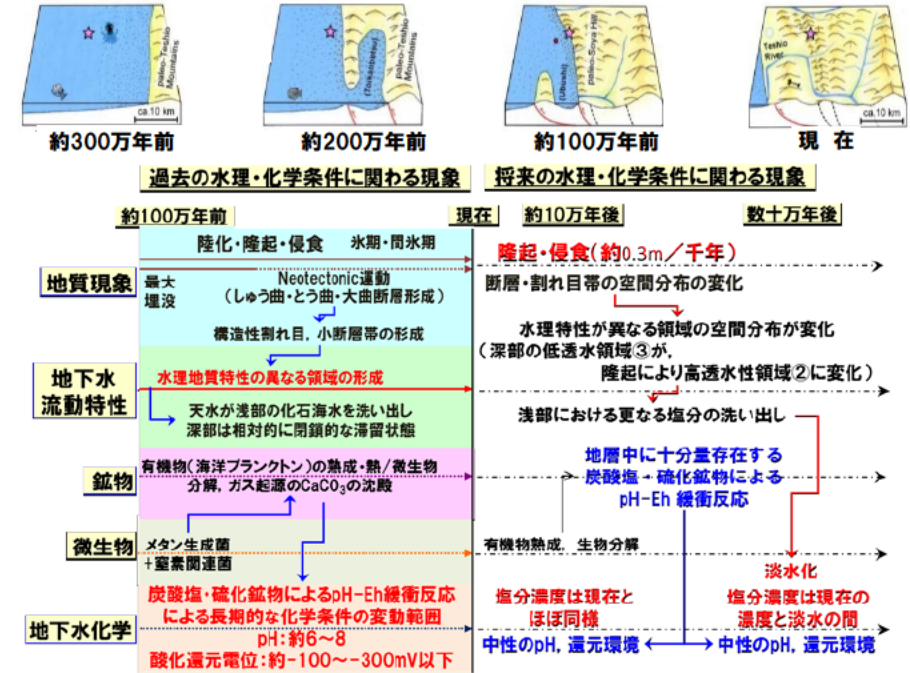
従来、調査解析手法がなかった長期的化学特性について、水理地質条件に応じて鉱物学的手法(花崗岩向け)やシナリオ解析(堆積岩向け)により、その推測が可能になった

(瑞浪)



➤ 割れ目充填鉱物の三次元分布、結晶構造、同位体、化学的特徴調査により、pH・酸化還元環境の長期変遷を提示可能

(幌延)



➤ 単純な割れ目媒体でなく、割れ目充填鉱物が十分に利用できない場合は、水理地質構造区分に基づくサブシステム区分、各サブシステム間の相互作用、化学条件などを時間断面毎に整理することにより、長期的な地球化学特性を推測可能

施設閉鎖時後の地球化学特性の変化幅の把握と地質学的時間スケールにおける長期変動幅の比較、安全評価への反映手法の考え方を整理

成果ダイジェスト メッセージ案(地球化学分野)

A1) 地質環境の初期状態の理解: 地上から地球化学特性の分布とその形成プロセスを理解するための調査技術, 解析・モデル化技術を整備

例えば,

- 施設建設時の知見に基づいて, 地上からの調査時の水理地質構造に応じたボーリング孔配置方法や調査数量を明確化
 - ✓ 透水性の異なる地質構造(礫岩や割れ目帯, 断層など)に囲まれた水理地質学的コンパートメントがある場合は, コンパートメント毎に観測区間を配置
 - 大規模揚水試験の実施により, 複数の断層からコンパートメント境界になり得る断層を抽出する
 - 抽出されたコンパートメントに基づき予測解析を行い, 坑道掘削時の擾乱の少ない坑道レイアウトをデザインするとともに, 坑道掘削時にその妥当性を確認しながらパネルを展開する
 - ✓ 断層などが少ない条件では, 3本程度のボーリング調査で水質分布断面を把握可能
 - ✓ 塩水系地下水では, 比抵抗探査(+ボーリング孔での比抵抗検層)の利用を検討
- データの品質を保証しつつ追跡性・透明性を確保するための技術を例示
- 地上からの調査結果に基づき, 地球化学モデルを構築するための一連の解析手法を構築

成果ダイジェスト メッセージ案(地球化学分野)

A2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解: 施設建設・操業時の地球化学擾乱や緩衝プロセスの観測・解析技術(含 事例)を提示

例えば,

➤ 観察事例から重要な知見を提言

- ✓ 結晶質岩において大量の湧水(排水)がある場合は, 操業期間中に坑道周辺の地下水が浅層水に入れ換わる可能性が高い
- ✓ 有機物に富む堆積岩では, 操業期間中に坑道周辺が酸化状態になることはない

➤ 従来, 知見の無かった施設建設時のモニタリングや解析に関わるノウハウを提示

- ✓ 坑道掘削から閉鎖に至る期間の観測項目, 頻度, 方法(坑道モニタリングシステムなど)
- ✓ 施設建設・操業に伴う水質の中長期変化は, 複数観測点での定期観測と多変量解析により変動幅を推測可能
- ✓ 坑道周辺のアルカリブルーム領域は, 物理探査と水理・化学連成解析で評価可能

➤ 施設設計・施工に反映可能な知見を提示

- ✓ 事前の影響評価のためには, 結晶質岩中のコンパートメント, 堆積岩中の割れ目帯分布を踏まえ施設レイアウトを立案することが不可欠
- ✓ 施設建設時にコンパートメント毎にモニタリングを実施することで, 影響領域の拡大を防ぐために優先的に閉鎖すべきパネル区画を判断できる可能性がある

成果ダイジェスト メッセージ案(地球化学分野)

A3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解:地質学的時間スケールにおける地球化学特性の長期変動幅を推測するための手法を提示

例えば,

➤ 観察事例から重要な知見を提言

✓地震による水質変動は既存の地下水の混合により起こるため,その変動幅は,現在観察される地下水の水質の範囲を超えることはない

➤ 従来,未整備だった長期変遷に関わる調査解析手法を提示

✓過去に海水と淡水が入れ替わってきたフィールドでは,炭酸塩鉱物の調査でpHの安定領域を把握可能(有機物を含まない花崗岩向け)

✓含鉄,含硫黄鉱物の分布に基づき還元環境の領域を把握可能(岩種に無関係)

✓調査対象をサブシステム区分した上で,施設を建設するサブシステムとその周辺の地球化学プロセスとそれに影響を与えてきた天然事象(FEP)の相関を解析することで,将来の地球化学特性を推測可能(岩種に無関係)

次の研究計画において対象とすべき課題

反映先	達成目標	必要な研究開発項目	課題	重要度
部分的埋戻しに関する意思決定	坑道で得られる情報に基づき、	部分的埋戻し時の化学変化のモニタリング技術・解析技術	✓坑道閉鎖を模擬した試験研究による知見のフィードバックが必要	◎
	部分的埋戻しの利点や必要性を提示できる	化学変化の回復を促進するための設計・施工方法（優先的パネル閉鎖の考え方等）	✓施設建設時にコンパートメント毎にモニタリングを実施することで、影響領域の拡大を防ぐために優先的に閉鎖すべきパネル区画を判断する（実証が必要）	◎
廃棄体定置終了、最終閉鎖に関する意思決定	前段階までの情報に基づき、 好ましい化学条件の回復、長期維持の蓋然性を判断できる	URL閉鎖後の観測及び解析による事例の提示	✓URL全体閉鎖時のモニタリングによる実証や解析技術に関わる事例研究が必要	○

今後の課題 メッセージ案(地球化学分野)

- A1) 地質環境の初期状態の理解(サイト選定～処分開始に関する意思決定への反映): 施設閉鎖に関わる知見を地上からの調査へフィードバックし, 調査技術開発を完了する**
- 施設閉鎖に関わるモニタリングの知見を地表調査時のモニタリング孔配置計画にフィードバック
 - 品質管理手法についてKMSと合わせ, 許認可申請時に利用可能なITパッケージの開発
- A2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解(処分開始～最終閉鎖に関する意思決定への反映): 坑道閉鎖時のモニタリング技術開発, 地球化学特性の回復挙動の理解が必要**
- 調査量と解析精度の関連を整理し, 事業時の計画立案手法に反映(フィジビリティスタディ)
 - 坑道閉鎖(埋戻し)後の地質環境特性の回復, 定常化過程に関わる知見の蓄積
 - 建設・操業時に浸透した浅層地下水を, 坑道閉鎖時に元来の地下水に置換・回復するための手順
 - 浅層地下水が残留した場合の中長期的な地球化学特性の解析技術
 - 坑道・グラウト周辺のpH分布, 酸化還元状態の長期変化
 - 適切な部分閉鎖(埋戻し)方法について, 研究所閉鎖時の施工方法とモニタリングにより実証
- A3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解(処分開始～追加対策に関する意思決定への反映): 施設閉鎖後の地球化学特性の定常状態化・天然事象に伴う変動幅を統合する解析技術の構築が必要**
- 地震後の長期的な水圧変化に応じた水質変動幅の予測と検証
 - 施設閉鎖時後の地球化学特性の変化幅の把握, 地質学的時間スケールにおける長期変動幅との比較, 安全評価への反映の考え方を整理