
幌延地域を事例とした 地質環境の長期安定性に関する研究の 成果および今後の計画

独立行政法人 日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門

目標・課題 調査の進め方

「全体計画」フェーズ2の目標

(A)地質環境調査評価技術

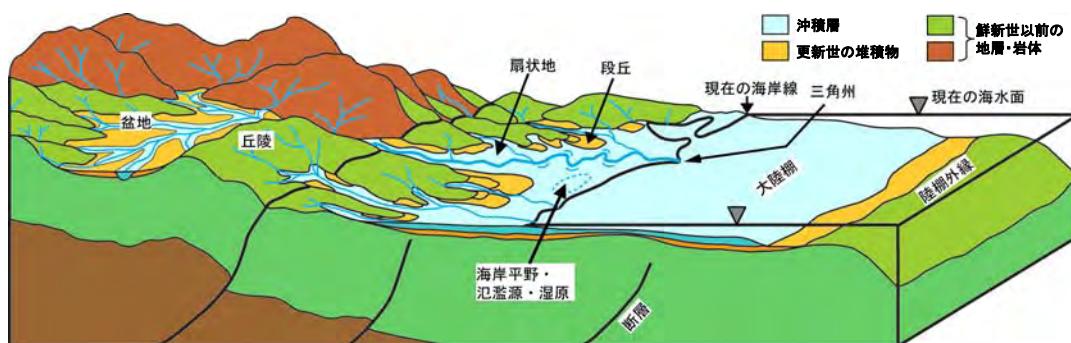
(3)地質環境の長期安定性調査評価技術

従来の安定な地質環境を選定するという視点に加え、地層処分システムの性能の観点から、**与えられた場の安定性や長期的な変化を評価するという視点**からの研究開発を進める必要がある

➡ **目標** 天然現象に関する**調査技術の体系化と長期予測・影響評価手法の整備**

幌延地域を事例とした 地質環境の長期安定性研究における「目標」

- 幌延地域を事例として、**地層処分にとって重要な地質環境特性***の現在から将来にわたる長期的な挙動を予測するための一連の調査・解析技術を整備する
*地下水の流動状態、地下水水質、物質移動特性など
- この過程を通じて、与えられた場(沿岸域、堆積岩分布地域)における地質環境の**長期挙動を予測し評価するための方法論**を構築する



沿岸域における地形及び地質・地質構造のイメージ図

地層処分にとって重要な地質環境の特性とプロセス

地質・地質構造	移行経路として重要な構造
	対象岩盤の分布と形状
	岩盤中の地質学的不均質性
	地形／地質・地質構造の時間変化
地下水の流動特性	地下水流動場
	地下水流束分布
	地下水流動場の時間変化
	地下水流束分布の時間変化
地下水の地球化学特性	地下水の塩分濃度分布
	地下水のpH・Eh環境
	地下水の水質変化
物質移動の遅延効果	移行経路沿いの物質移動場
	対象岩盤の化学的遅延能力
	コロイド・有機物・微生物の化学影響

希釈効果	帯水層などの分布
	帯水層などにおける流束分布
地下空洞 周辺の力学・水理状態	応力場
	岩盤の物理・力学特性
	地下空洞への地下水流入量／ガス湧出量
	掘削影響領域の分布／物理・力学特性
	不連続構造などの分布
	応力場の時間変化
地下の温度環境	岩盤の物理・力学特性の時間変化
	地温勾配分布
	岩盤の熱特性
	岩盤の熱特性の時間変化

※以下の文献に基づき作成

・サイクル機構(2005)高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築
平成17年とりまとめ 分冊1 深地層の科学的研究, JNC TN1400 2005-014.

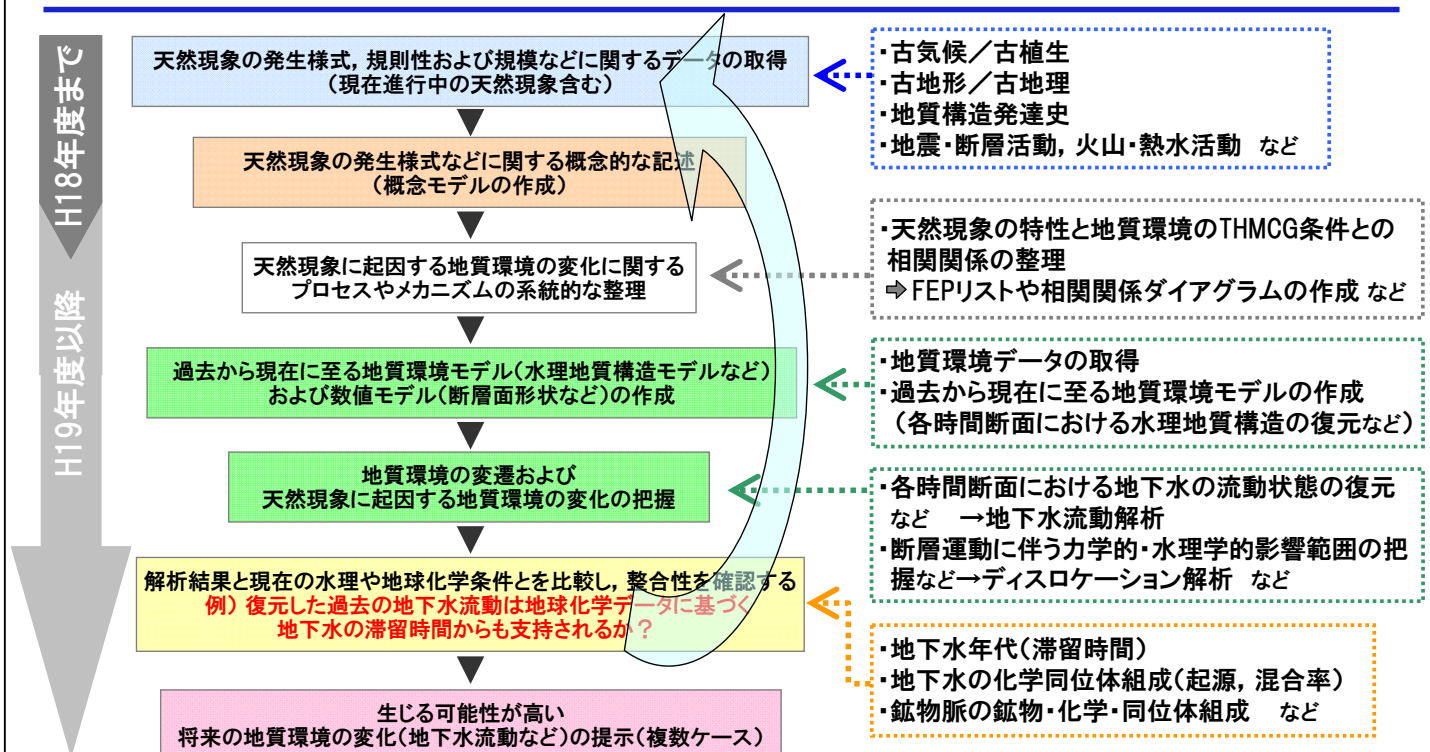
・原子力機構(2007)幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第1段階)
研究成果報告書 分冊「深地層の科学的研究」, JAEA-Research 2007-044.

地質環境の長期安定性研究検討委員会

第4回(2008年3月10日)

5

幌延地域を事例とした地質環境の長期安定性研究 「研究の基本フロー(1/2)」



地質環境の長期安定性研究検討委員会

第4回(2008年3月10日)

6

「全体計画」における研究開発分野間の連携

(A)地質環境調査評価技術

(1)総合的な調査評価技術

(3)地質環境の長期安定性調査評価技術



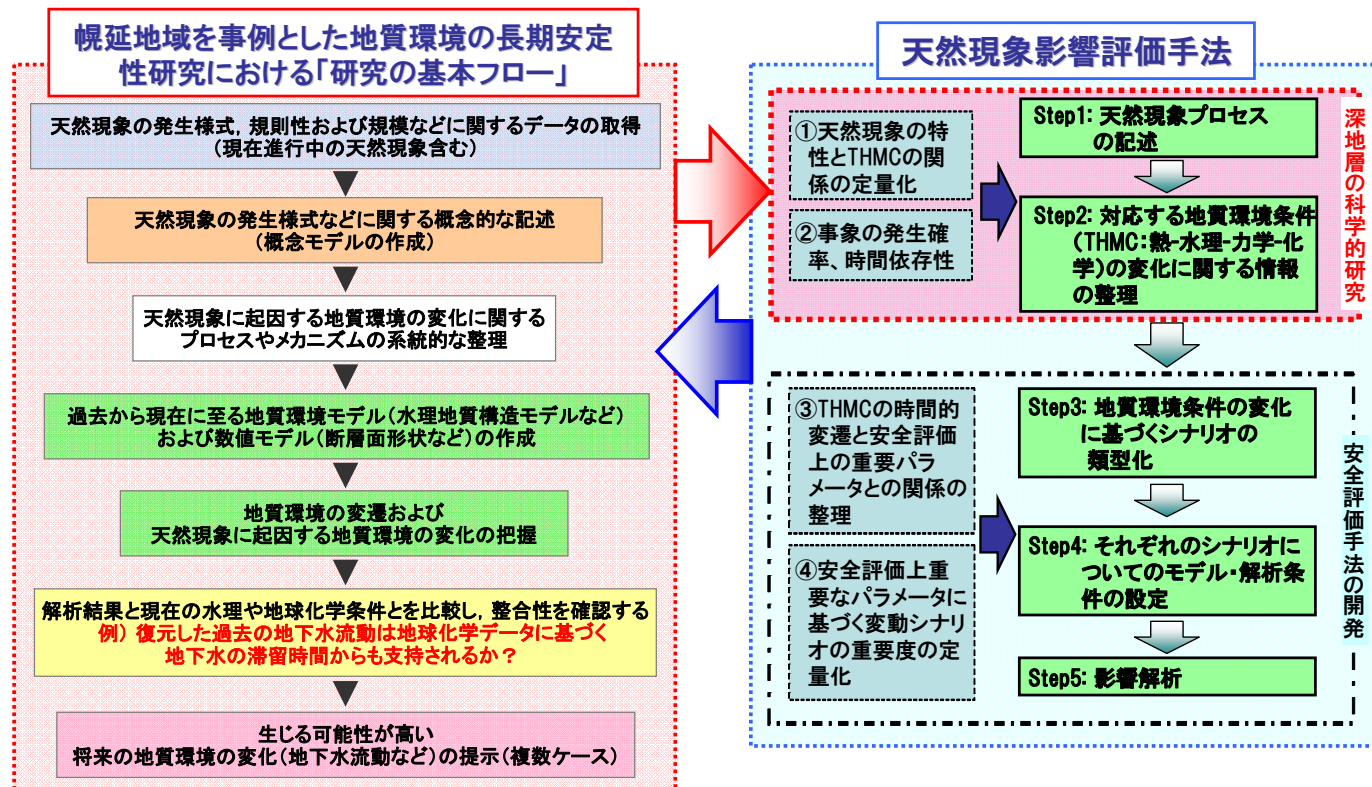
(C)性能評価技術

(1)評価手法③総合的な性能評価



天然現象影響評価技術

幌延地域を事例とした地質環境の長期安定性研究 「研究の基本フロー(2/2)」



個別研究成果

「全体計画」フェーズ2における研究課題, 進め方

①地震・断層活動

●断層活動の影響評価モデルの開発

地形, 地質, 地球物理学的手法などの要素技術を**組み合わせ**て断層および褶曲の分布や**活動履歴**を把握し, それらの活動に伴う**地質環境の影響範囲**を評価する調査手法の**適用事例**を示す(**幌延地域**)

③隆起・沈降・侵食／気候・海水準変動

●隆起・沈降・侵食等に関する調査技術

地形, 地質, 測地学的データを**組み合わせ**て,**幌延地域**を対象に隆起・沈降・侵食の**傾向を推定する**調査手法の適用事例を示す

●気候・海水準変動に関する調査技術

幌延地域における**事例研究**を通じて, 気候・海水準変動による**地質環境の変化**を把握する調査手法の**適用事例**を示す

●地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法の開発

東濃／**幌延地域**における取得データを用いて, 隆起・侵食／気候・海水準変動による**地質環境の将来の変化**を予測し, 地下水流動へ及ぼす影響を評価できる**解析手法**を提示する

「全体計画」フェーズ2における研究課題, 進め方

①地震・断層活動

●断層活動の影響評価モデルの開発

地形, 地質, 地球物理学的手法などの要素技術を**組み合わせ**て断層および褶曲の分布や**活動履歴**を把握し, それらの活動に伴う地質環境の影響範囲を評価する調査手法の適用事例を示す(幌延地域)

③隆起・沈降・侵食／気候・海水準変動

●隆起・沈降・侵食等に関する調査技術

地形, 地質, 測地学的データを**組み合わせ**て, 幌延地域を対象に隆起・沈降・侵食の**傾向を推定する**調査手法の適用事例を示す

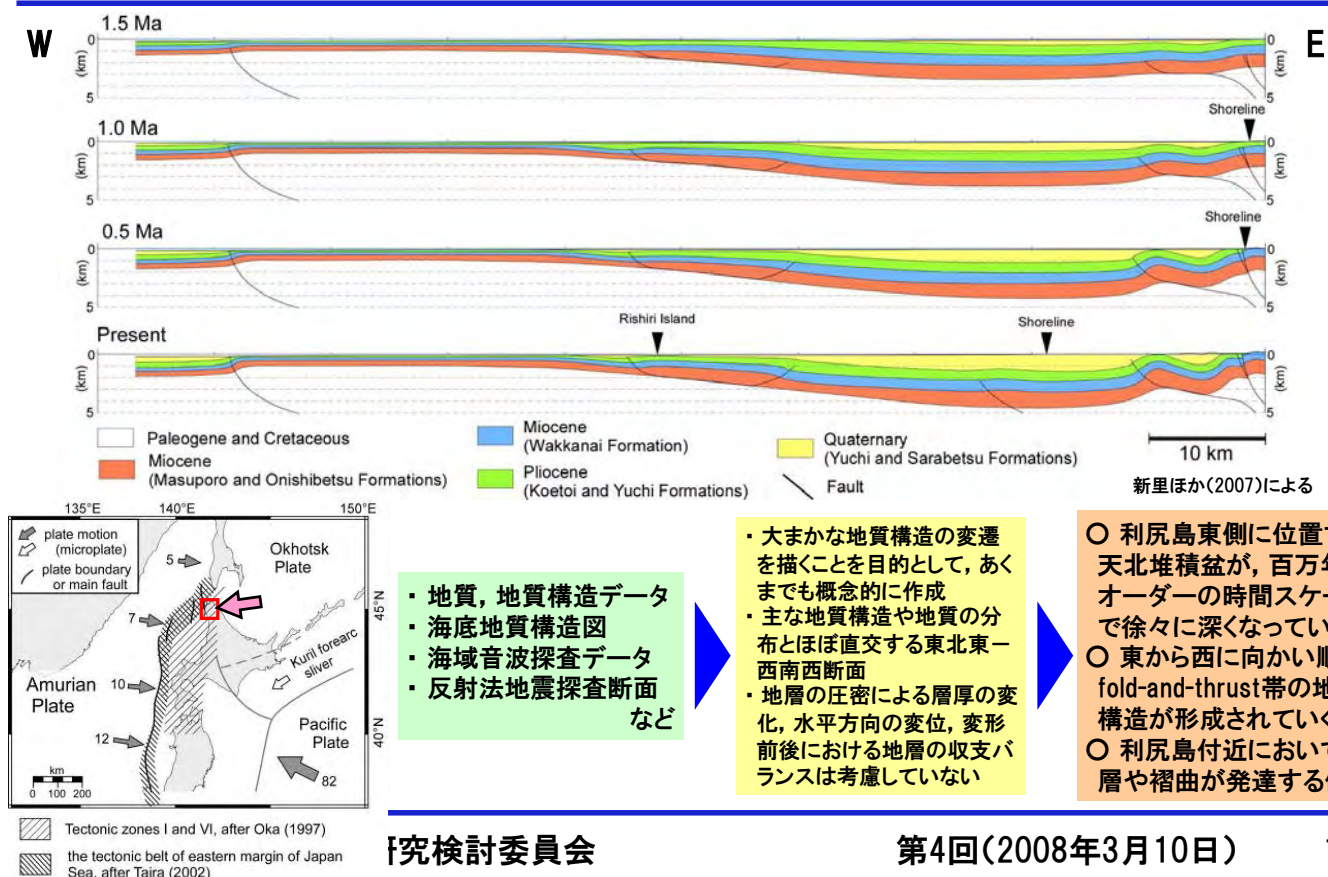
●気候・海水準変動に関する調査技術

幌延地域における**事例研究**を通じて, 気候・海水準変動による地質環境の変化を把握する調査手法の適用事例を示す

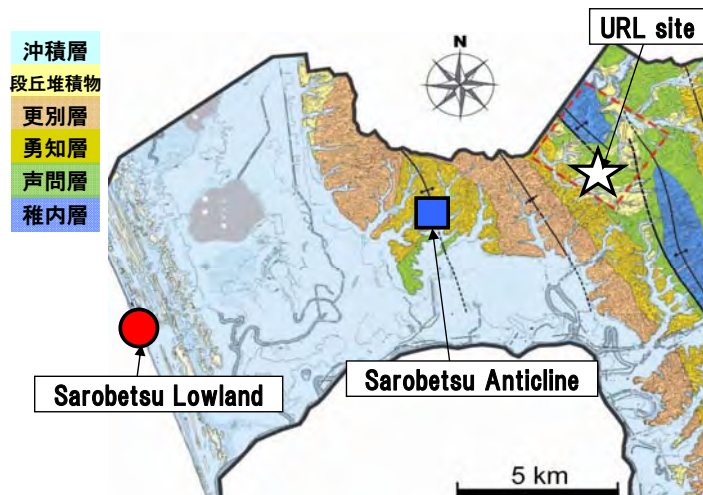
●地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法の開発

東濃／幌延地域における取得データを用いて, 隆起・侵食／気候・海水準変動による地質環境の将来の変化を予測し, 地下水流動へ及ぼす影響を評価できる解析手法を提示する

断層・褶曲の分布と活動履歴



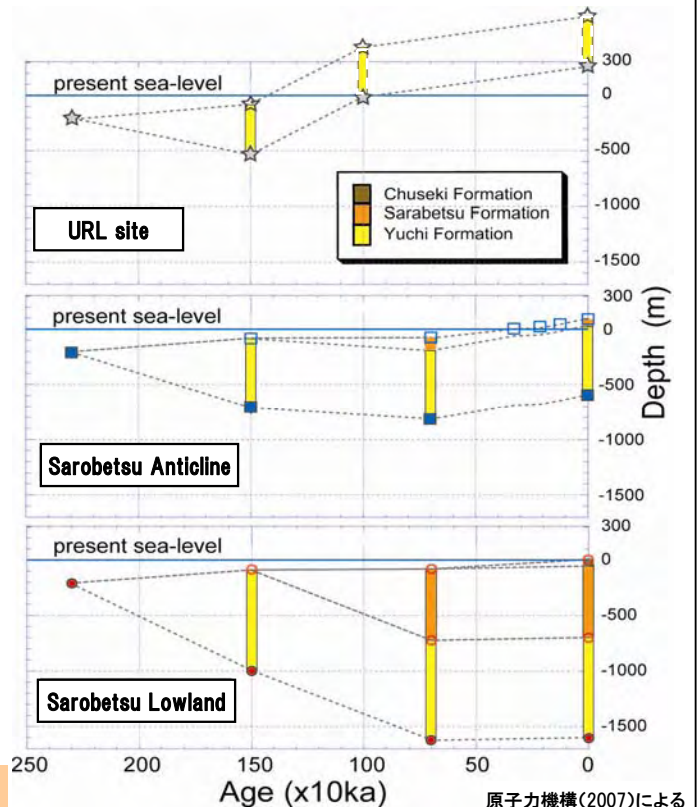
隆起・沈降の傾向



- ・地形／地質分布, 年代層序
- ・海水準変動, 堆積環境, 古水深
- ・断層／褶曲構造の分布

約250万年以降, 東部では約100万年前以前から隆起傾向, 西部では現在まで沈降傾向にある

○ 約250万年前から現在に至る各地区の隆起・沈降の変遷は, 地質構造と広域テクトニクスを反映し, 各地区で異なる傾向を示す

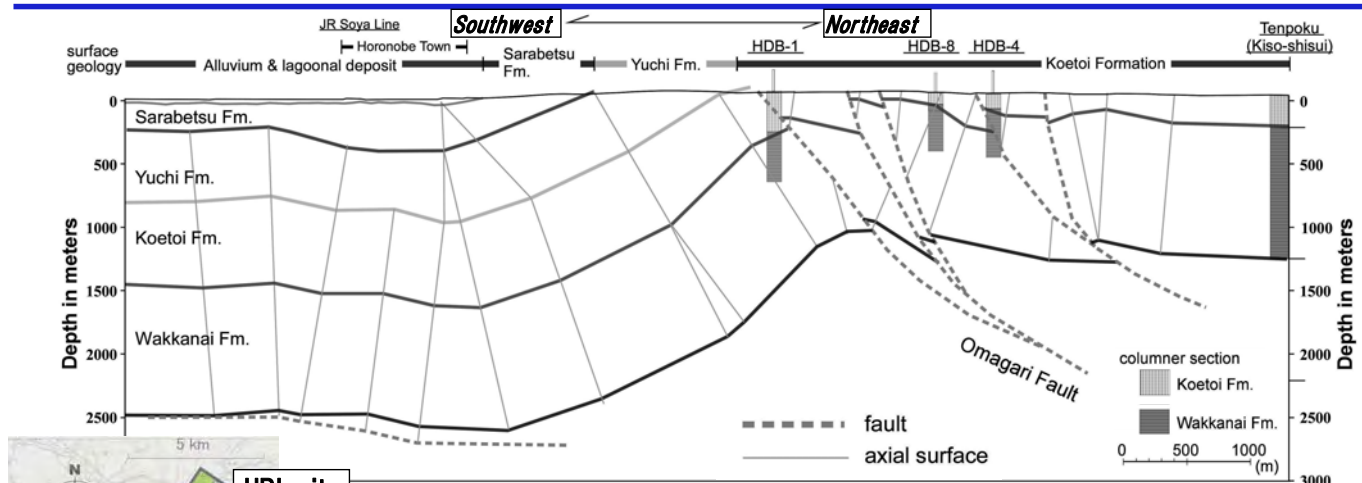


沈降(隆起)史解析

原子力機構(2007)による

13

幌延深地層研究所付近の断層・褶曲の分布



新里ほか(2007)による

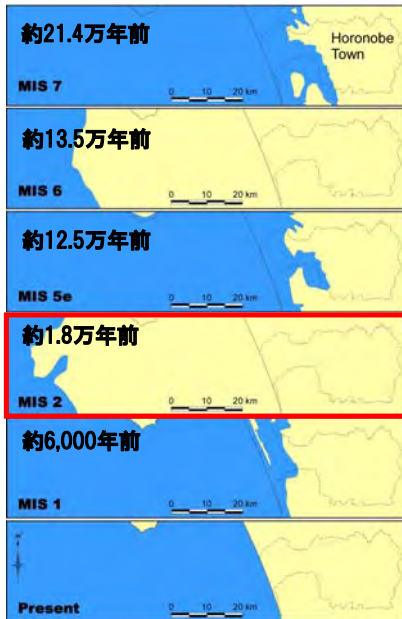
- ・地表地質分布
- ・反射法地震探査断面
- ・ボーリング調査データ

- ・速度断面におけるイベント面の抽出
- ・dip-domain methodによる地質構造の解釈断面作成
- ・面積バランスを考慮

地質構造の解釈断面

- リストリック断層の幾何形状をなす東傾斜の複数の断層が分布

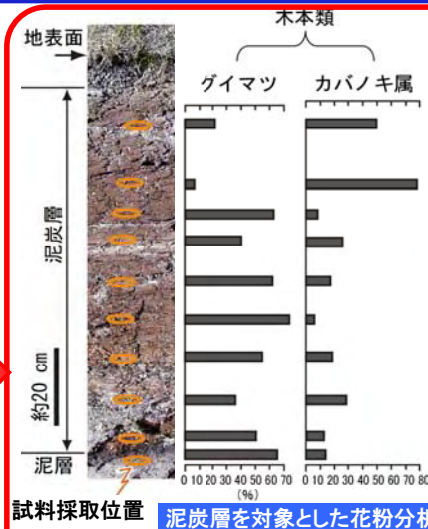
海陸分布の変遷／最終氷期最寒冷期頃の古気候



氷期・間氷期サイクルに伴う古地理変遷

- ・段丘面の分布と形成時期
- ・海底地形
- ・汎地球的海水準変動

○ 過去約21万年間の海陸分布・陸域は、氷期・間氷期サイクルに伴う海岸線の大規模な移動を伴いながら、徐々に西側に向かい拡大



花粉分析による古植生の復元

現在の植生との比較に基づく古植生帯の推定

○ モダンアナログによる古気候の推定
現在と比較して年平均気温で約8℃以上低く、年間降水量は約750～1000 mm以上少ない不連続的永久凍土帯



原子力機構(2007)による

15

将来の涵養量推定のための基本フロー

(涵養量の取得に至るまでの大まかな調査・観測およびの流れ)

【将来の幌延地域における涵養量の推定】

地表地質環境(気候, 植生, 土壌, 表層地質, etc.)の概念モデルの構築

水収支に係る概念モデルの構築

涵養量の推定に必要な表層水理パラメータの抽出

モダンアナログを用いた氷期における表層水理パラメータの見積もり

※ 現在の地球上において、幌延地域の氷期における地表地質環境・水収支システムと類似する地域(モダンアナログ)を抽出し、そのモダンアナログにおける表層水理パラメータを既往資料等に基づき収集

将来の涵養量の見積もり

【現在の幌延地域における涵養量の算定】

現在の気候条件下における幌延地域の事例

水収支に係る概念モデルの構築

- ・地形データ(起伏量, 谷密度)
- ・表層地質分布
- ・土地被覆(土地利用, 植生)

涵養量推定のために必要なパラメータの取得に係る水収支観測システムの概念を構築

- ・表層水理調査の体系を整理

観測機器の設置および観測機器によるパラメータ取得

現在の涵養量の算定

表層水理パラメータを、モダンアナログにより取得するか、観測により取得するかが大きく異なる

幌延地域と日本各地の平野との比較

	沿岸～下流域（堆積域：平野等）		中流域 （侵食小：丘陵等）	上流域 （侵食大：山地等）
	沿岸域の海底地形 が緩勾配	沿岸域の海底地形 が急勾配		
沈降地域	・濃尾平野 ・幌延地域（サロベツ原野）			
安定～変動小			東濃地域 （土岐川本流）	東濃地域 （土岐川支流）
隆起地域	幌延地域（宗谷丘陵西部）	相模川下流域	鎭川	
突発的地形変化	河川争奪（東濃地域）、火砕流（長木川）、溶岩流、大規模地滑り、大規模崩壊 等			

「全体計画」フェーズ2における研究課題、進め方

①地震・断層活動

●断層活動の影響評価モデルの開発

地形、地質、地球物理学的手法などの要素技術を組み合わせて断層および褶曲の分布や活動履歴を把握し、それらの活動に伴う地質環境の影響範囲を評価する調査手法の適用事例を示す（幌延地域）

③隆起・沈降・侵食／気候・海水準変動

●隆起・沈降・侵食等に関する調査技術

地形、地質、測地学的データを組み合わせて、幌延地域を対象に隆起・沈降・侵食の傾向を推定する調査手法の適用事例を示す

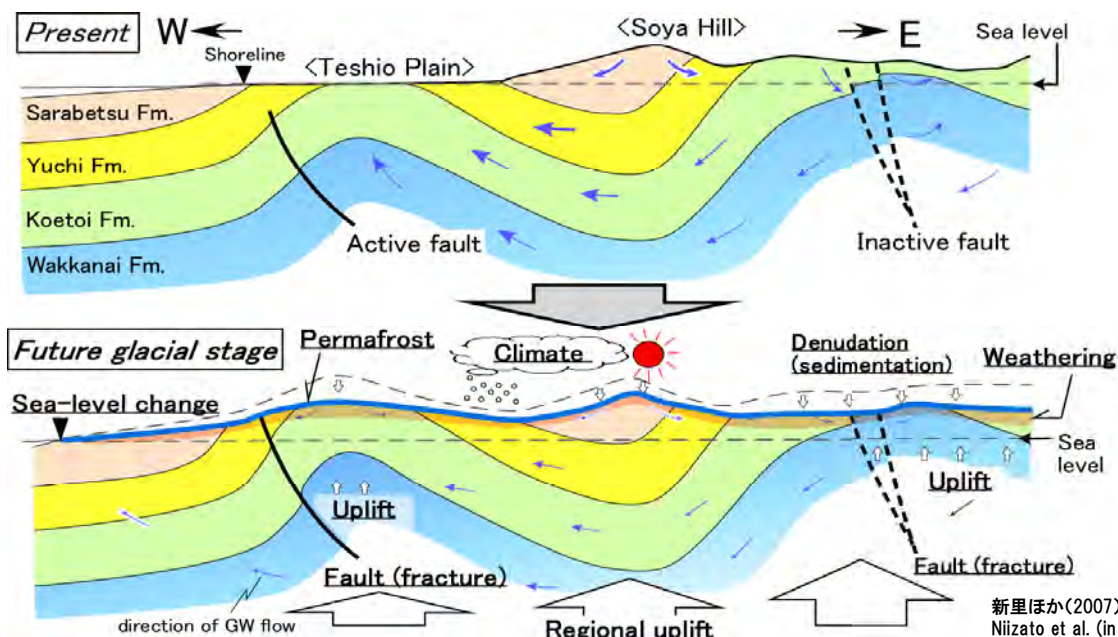
●気候・海水準変動に関する調査技術

幌延地域における事例研究を通じて、気候・海水準変動による地質環境の変化を把握する調査手法の適用事例を示す

●地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法の開発

東濃／幌延地域における取得データを用いて、隆起・侵食／気候・海水準変動による地質環境の将来の変化を予測し、地下水流動へ及ぼす影響を評価できる解析手法を提示する

将来の地質環境の変化に関する概念モデル

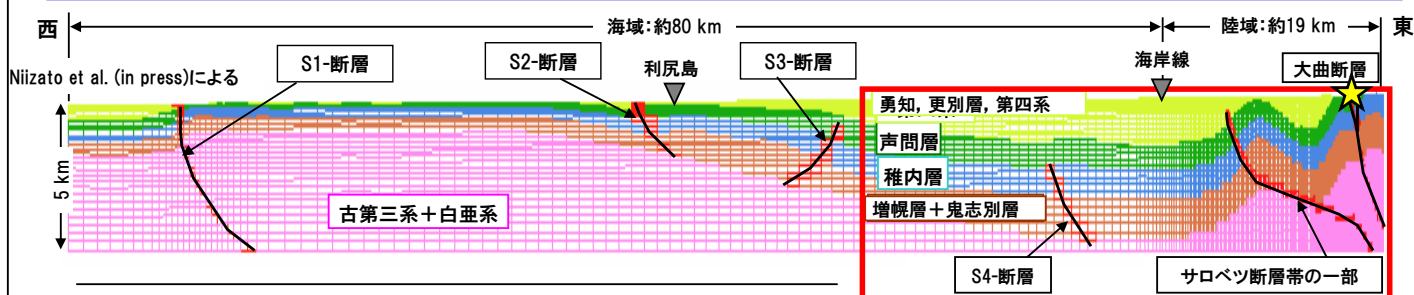


- ・過去の天然現象は将来も同じ様式で発生することを前提
- ・外挿法, 類推法の適用

- 過去から現在に至る変動傾向に基づき, 将来数10万年程度の期間を対象として, 氷期における状況を誇張して描いた
- 現在の地下水の流動状態を基準として, 永久凍土の形成や海岸線位置の移動, 地形変化などによる地下水の流動状態の変化についても概念的に記述

19

地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法 — 解析モデルの設定 —



地質区分	透水係数(m/s)	間隙率 (%)	比貯留係数(1/m)
表層 (地表より10m程度)	1.0E-06	60	1.0E-05
勇知層・更別層・第四系	Depth_Yt	60	1.0E-05
声問層	Depth_Kt	60	1.0E-05
稚内層	Depth_Wk	40	1.0E-05
増幌層+鬼志別層	5.0E-10	30	1.0E-05
古第三系+白亜系	1.0E-11	20	1.0E-05
断層 (大曲断層, サロベツ断層帯の一部, S1~S4-断層)	1.0E-07	50	1.0E-05

※ 表の $Depth_Yt$, Kt , および Wk は, 各層における透水係数の深度依存モデルを示す
透水係数 k (m/s), 深度 Z (m) とすると, 上下限を設定した以下の式で示される

$Depth_Yt$: $\log_{10}(k) = -0.0034Z - 8.3665$ [上限: 1×10^{-8} m/s, 下限: 1×10^{-11} m/s]

$Depth_Kt$: $\log_{10}(k) = -0.0039Z - 7.5935$ [上限: 1×10^{-7} m/s, 下限: 1×10^{-11} m/s]

$Depth_Wk$: $\log_{10}(k) = -0.0061Z - 5.5626$ [上限: 1×10^{-6} m/s, 下限: 1×10^{-11} m/s]



解析対象領域

地形陰影図は国土地理院(2001)による

幌延深地層研究所から南南西方向に向かう
幅約100 km, 深度5 kmの鉛直2次元断面

地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法 — 解析ケースと解析条件 —

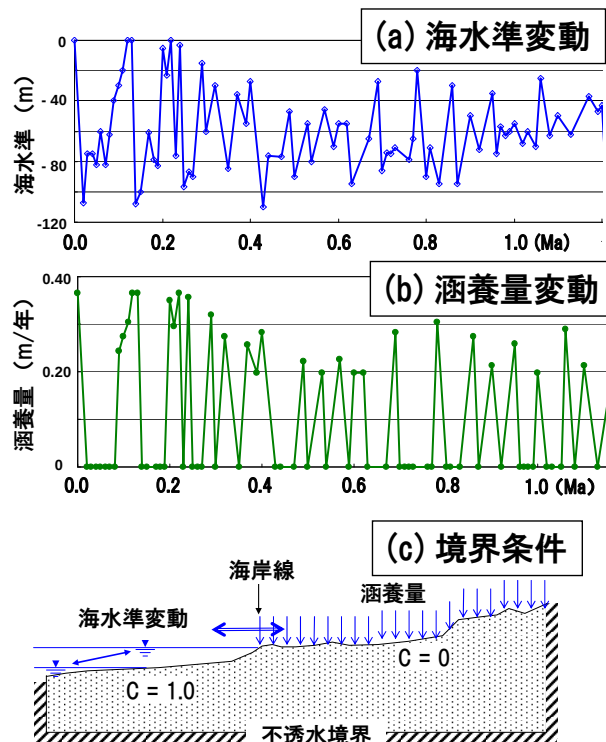
解析ケース

- 地質構造の変化の有無および透水係数の時間変化の有無により3ケースを設定
- 150万年前から現在までを対象とした解析

解析ケース	Case1	Case2	Case3
海水準変動／涵養量変動	○	○	○
＜地質構造の変化＞隆起・沈降／ 侵食・堆積，断層／褶曲の成長 (120万年前以降から60万年前は20万年ごと，60万年 以降は10万年ごとに地質構造を切り替える)	×	○	○
透水係数の時間変化 (150万年前は，現在に比べて1桁高いと仮定)	×	×	○

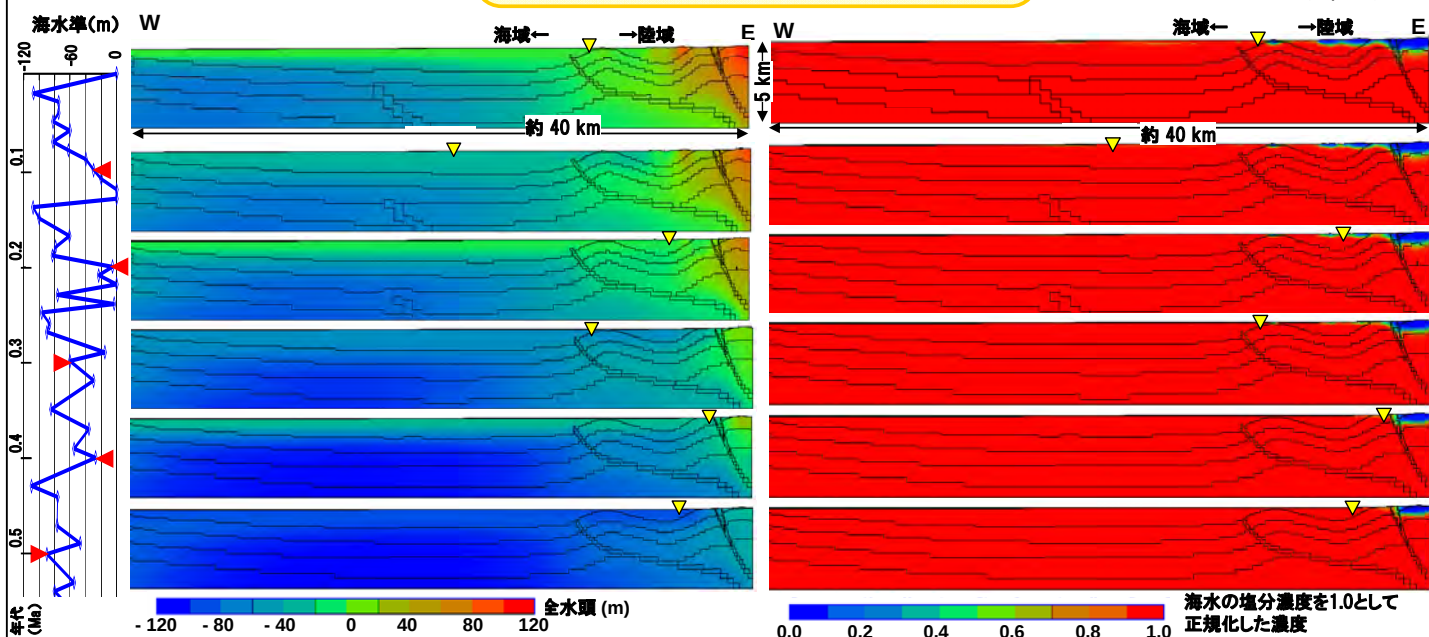
初期条件

- 地下水流動解析: 150万年前の海水準と涵養量を与えた条件で定常解析を実施し，得られた全水頭分布を初期条件とした
- 地下水中の塩分濃度に関する解析: 150万年前において，全領域の塩分濃度を1.0とした(海水の塩分濃度を1.0として正規化)



地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法 — 全水頭および地下水における塩分濃度の変遷の例 —

- Case 2: 海水準・涵養量変動 ○
隆起・沈降／侵食・堆積 ○
透水係数の時間変化 ×



研究成果と今後の課題

研究成果, 到達レベル, および今後の課題(1/2) ー 天然現象の変動傾向・活動履歴 ー

● これまでの成果

幌延地域を事例として, 地層処分にとって重要な地質環境の特性とプロセスに時間変化をもたらすことが想定される**天然現象について**, その変動傾向・活動履歴・周期性の**概略を把握**することができた

● 到達レベル

幌延地域を事例として, 天然現象, 地形及び地質・地質構造の時間変化, および地下水の流動状態の時間変化について, **概念モデル**を描くことができた

● 今後の課題

- ・断層および褶曲の三次元形態と活動履歴の把握
- ・地層の収支バランスを考慮した復元地質構造断面図の作成
- ・埋没による地層の圧密とそれに伴う間隙率の変化の推定
- ・涵養量の変化の推定
- ・地形変化の記述

研究成果, 到達レベル, および今後の課題(2/2)

－ 地質環境の変化 －

● これまでの成果

隆起・沈降・侵食(地形及び地質・地質構造の時間変化), 気候・海水準変動を考慮して, **過去から現在に至る**地下水の流動状態および地下水中の塩分濃度の変遷を, **いくつかの仮定をおいた上で定量的に**描くことができた

● 到達レベル

地形及び地質・地質構造の時間変化, および気候・海水準変動を考慮して地下水の流動状態を描くための**モデル化手順**および**解析手法**を構築した

● 今後の課題

- ・モデル化や数値解析にあたっての仮定や仮想値について, **過去から現在までに生じた天然現象のデータに基づく**パラメータ設定や解析モデルの作成
- ・地下水の地球化学データ等, 他のデータとの比較による**整合性の確認**

研究成果のまとめ(案)

「全体計画」フェーズ2の目標

(A)地質環境調査評価技術

(3)地質環境の長期安定性調査評価技術

従来の安定な地質環境を選定するという視点に加え、地層処分システムの性能の観点から、**与えられた場の安定性や長期的な変化**を評価するという視点からの研究開発を進める必要がある

➡ **目標** 天然現象に関する調査技術の**体系化**と
長期予測・影響評価**手法の整備**

「全体計画」フェーズ2における研究課題, 進め方

①地震・断層活動

●断層活動の影響評価モデルの開発

地形, 地質, 地球物理学的手法などの要素技術を**組み合わせ**て断層および褶曲の分布や活動履歴を把握し, それらの活動に伴う地質環境の影響範囲を**評価する調査手法の適用事例**を示す(**幌延地域**)

③隆起・沈降・侵食／気候・海水準変動

●隆起・沈降・侵食等に関する調査技術

地形, 地質, 測地学的データを**組み合わせ**て,**幌延地域**を対象に隆起・沈降・侵食の傾向を推定する**調査手法の適用事例**を示す

●気候・海水準変動に関する調査技術

幌延地域における**事例研究**を通じて, 気候・海水準変動による地質環境の変化を把握する**調査手法の適用事例**を示す

●地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法の開発

東濃／**幌延地域**における取得データを用いて, 隆起・侵食／気候・海水準変動による地質環境の将来の変化を予測し, 地下水流動へ及ぼす影響を評価できる**解析手法を提示**する

研究成果の取りまとめ(案)

－ 概 要 －

- 従来の安定な地質環境を選定するという視点に加え、**地層処分システムの性能**の観点および**与えられた場の安定性や長期的な変化**を評価するという視点から、

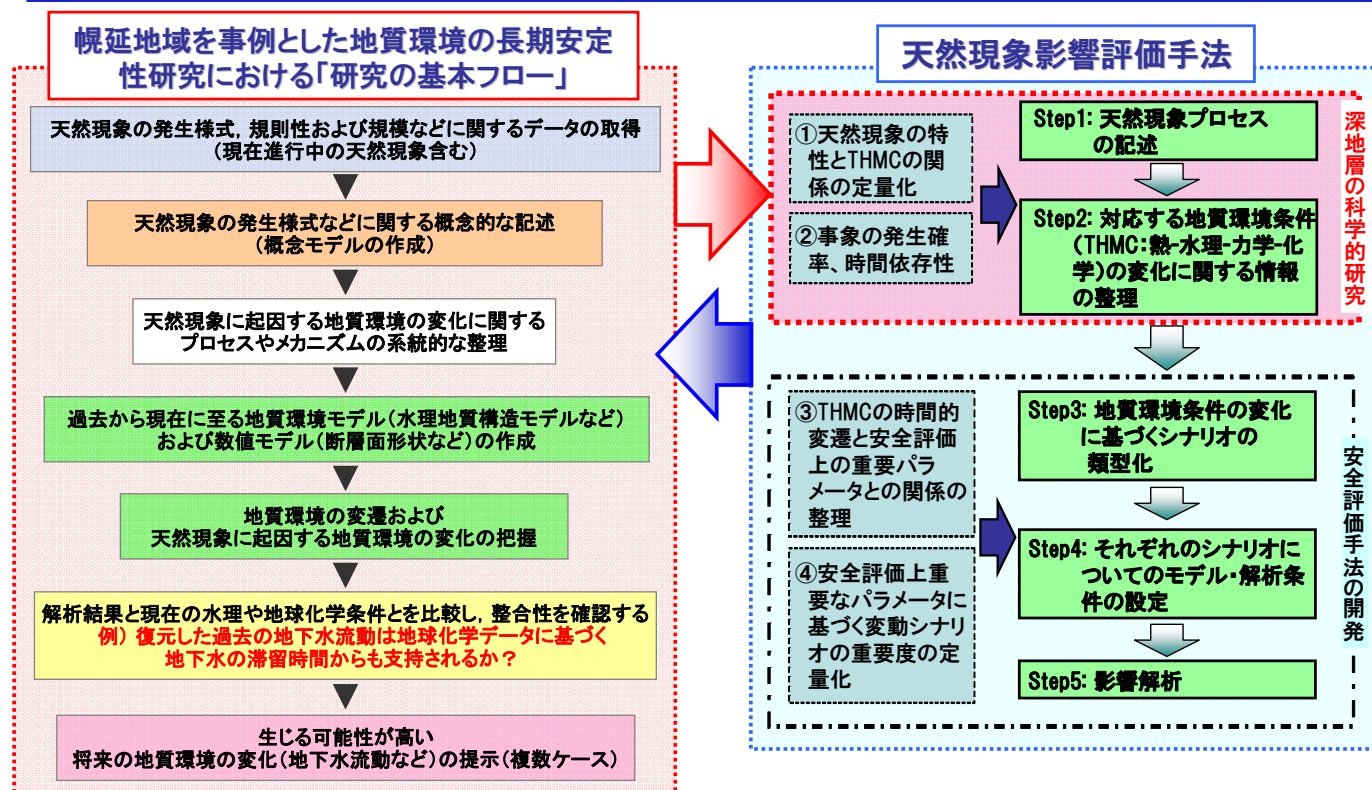
- － 調査の進め方
- － 要素技術の組み合わせ方 など

について、その**考え方**や幌延地域における**適用事例**を示していく

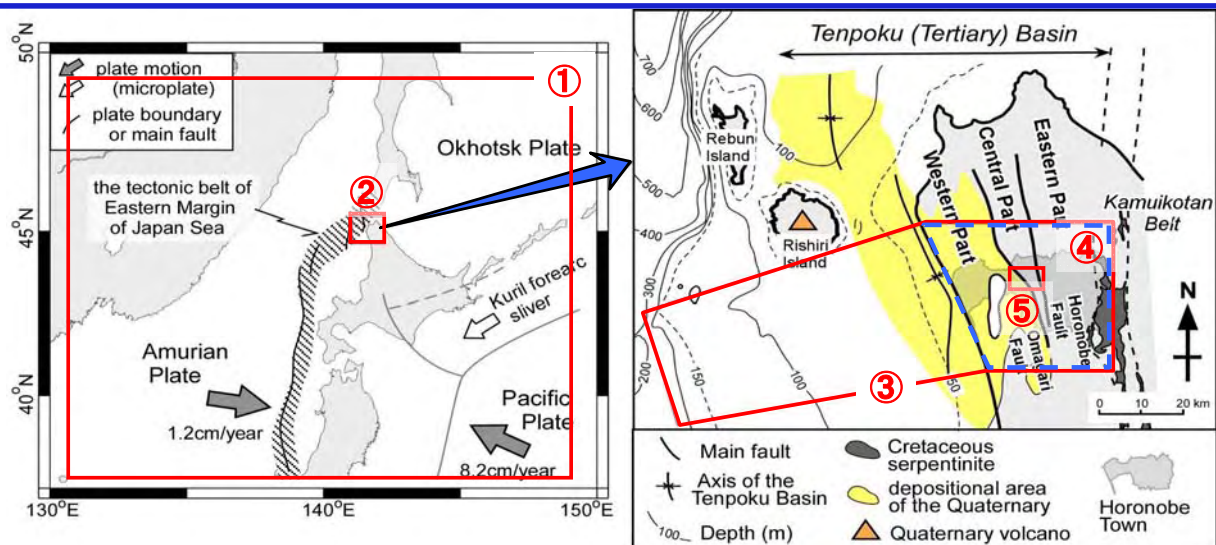
● 調査研究の手法(調査研究の進め方)

- ・ 研究の**基本フロー**の構築
- ・ **空間スケール**の設定
- ・ 調査研究の展開に応じた**データフロー**の構築
- ・ 天然現象**相互作用マトリクス**の構築

幌延地域を事例とした地質環境の長期安定性研究 「研究の基本フロー」



調査対象の「空間スケール」

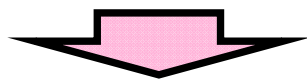


原子力機構(2007)による

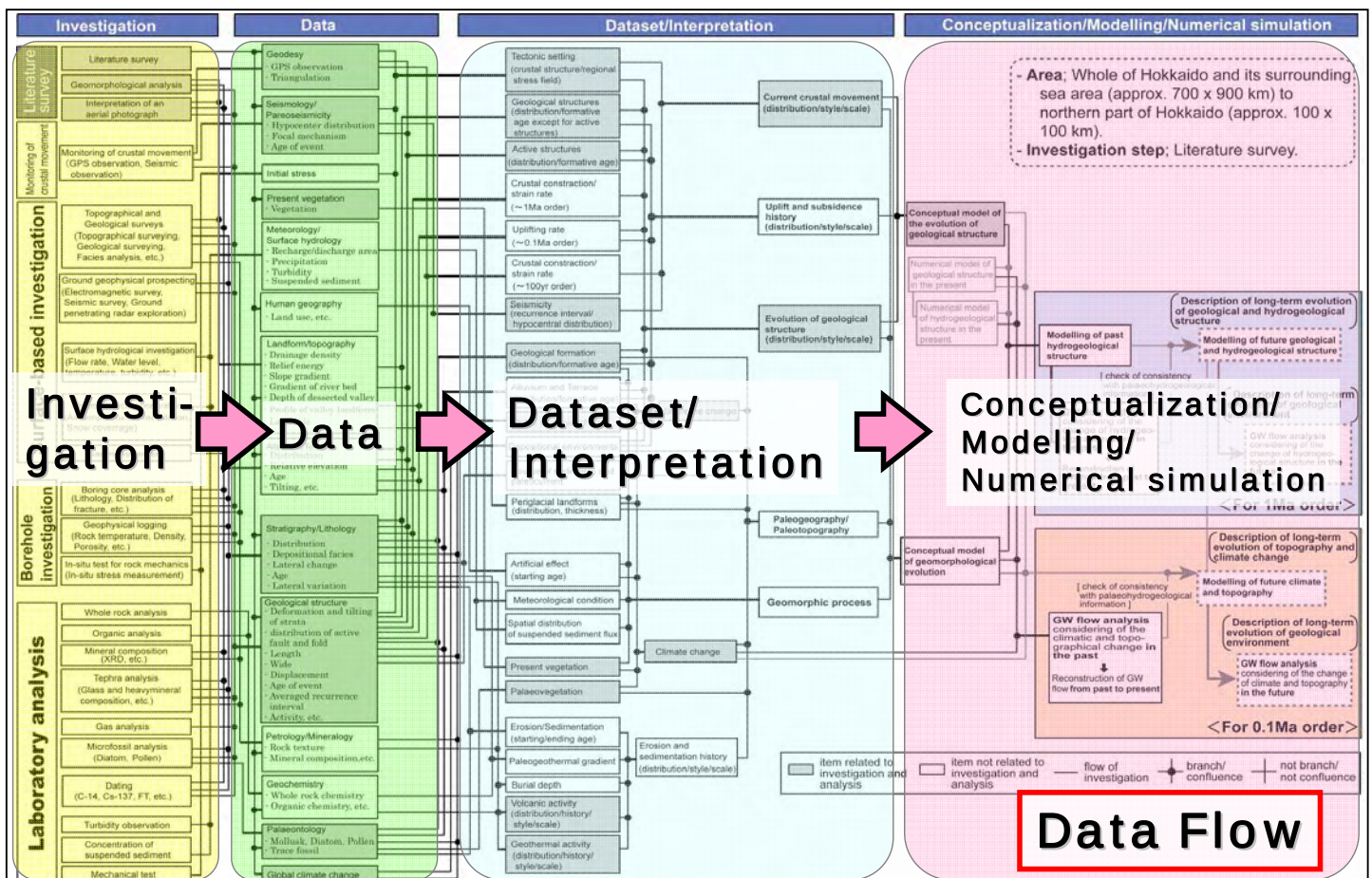
- 個々の天然事象は、その発生規模や影響範囲が異なる
 - 解析における空間分解能の制約
 - 必要な情報を漏れなく偏りなく収集
- ➡ 広い領域の粗いデータから狭い領域の詳細なデータへ

調査研究の展開に応じた「データフロー」の構築

- 調査研究全体の「目標」と「進め方」を明確にする
- 「目標」に対して、調査の種類と組み合わせ、
取得するデータの種類、
データの解釈、
異なる分野間で得られた情報の統合など、
実際の作業の流れに沿って**基本的な調査研究の進め方**を示す



これにより、調査・解析・評価に至る一連の**調査手法の体系化**を例示

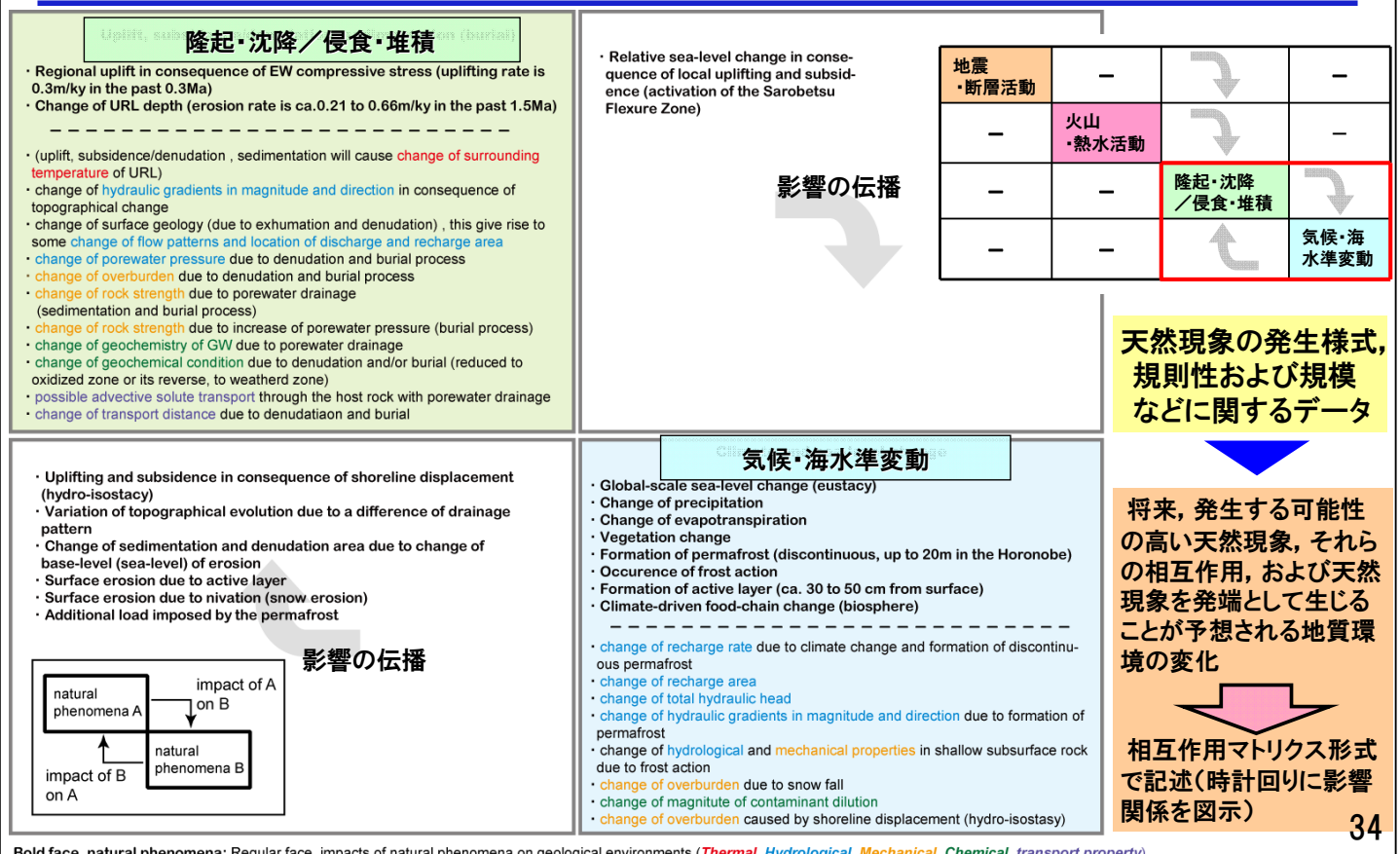


地質環境の長期安定性研究検討委員会

第4回(2008年3月10日)

33

天然現象の相互作用マトリクス



34

「幌延深地層研究ユニットにおける長期安定性研究」スケジュール(概要)

