



# 超深地層研究所計画における研究の現状(1)

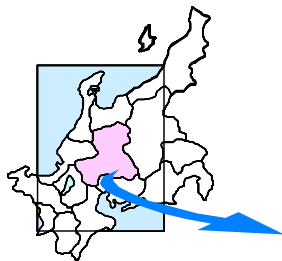
核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター

三枝 博光, 熊崎 直樹, 松岡 稔幸, 小出 馨

## 超深地層研究所計画

### 全体目標

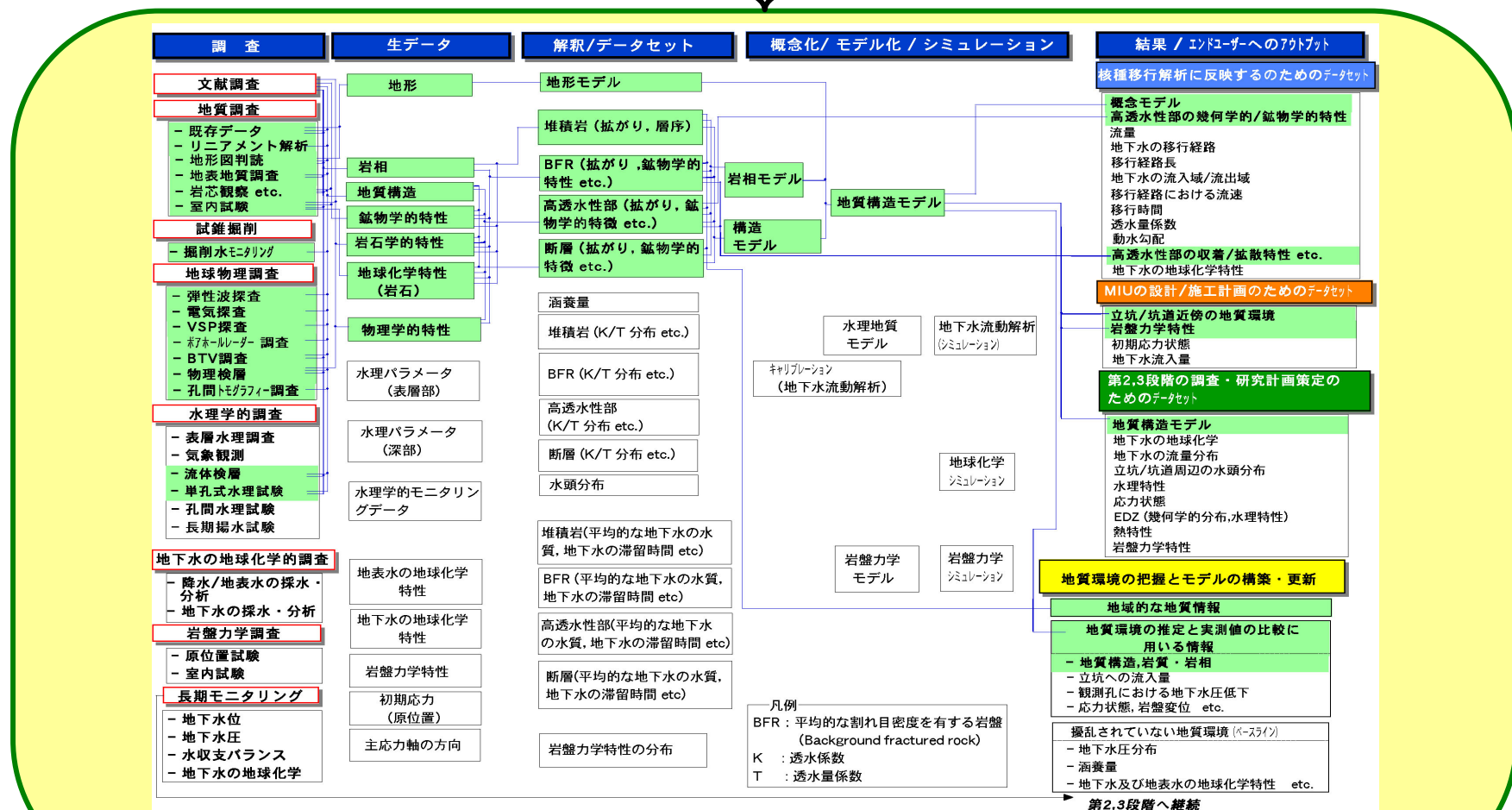
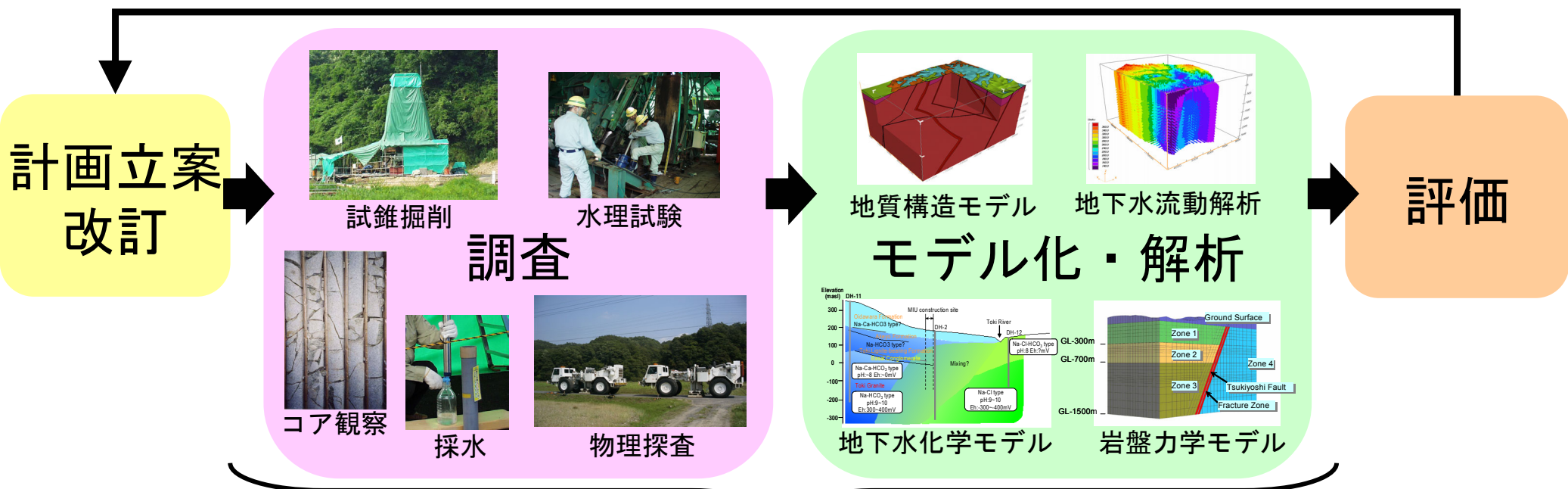
- ・ 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備
  - ・ 深地層における工学技術の基盤の整備
- (結晶質岩におけるブロックスケール [数100m<sup>2</sup>~数km<sup>2</sup>] を研究対象)



年度	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
第1段階 (地表からの調査予測研究段階)	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
第2段階 (研究坑道の掘削を伴う研究段階)						■	■	■	■	■	■	■	■	■						
第3段階 (研究坑道を利用した研究段階)													■	■	■	■	■	■	■	■

## 調査研究の基本的進め方 — 繰り返しアプローチ —

調査量に対する地質環境の理解度の評価⇒深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備



## 統合化データフロー (地質・地質構造の例)

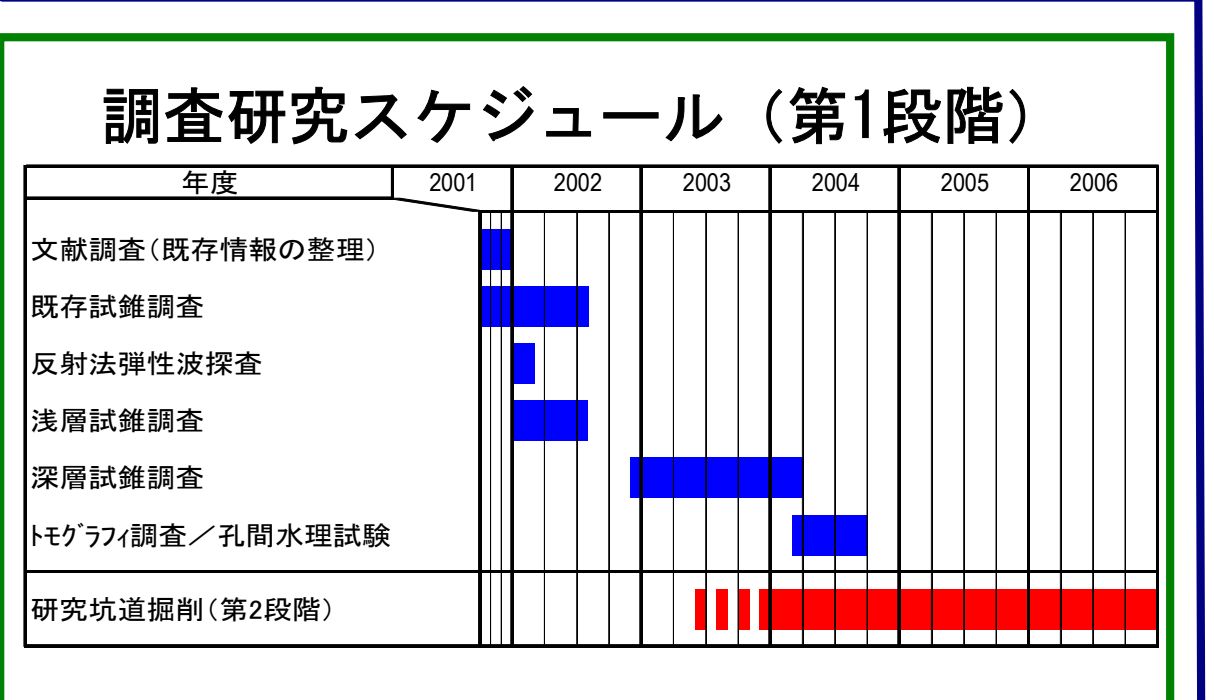
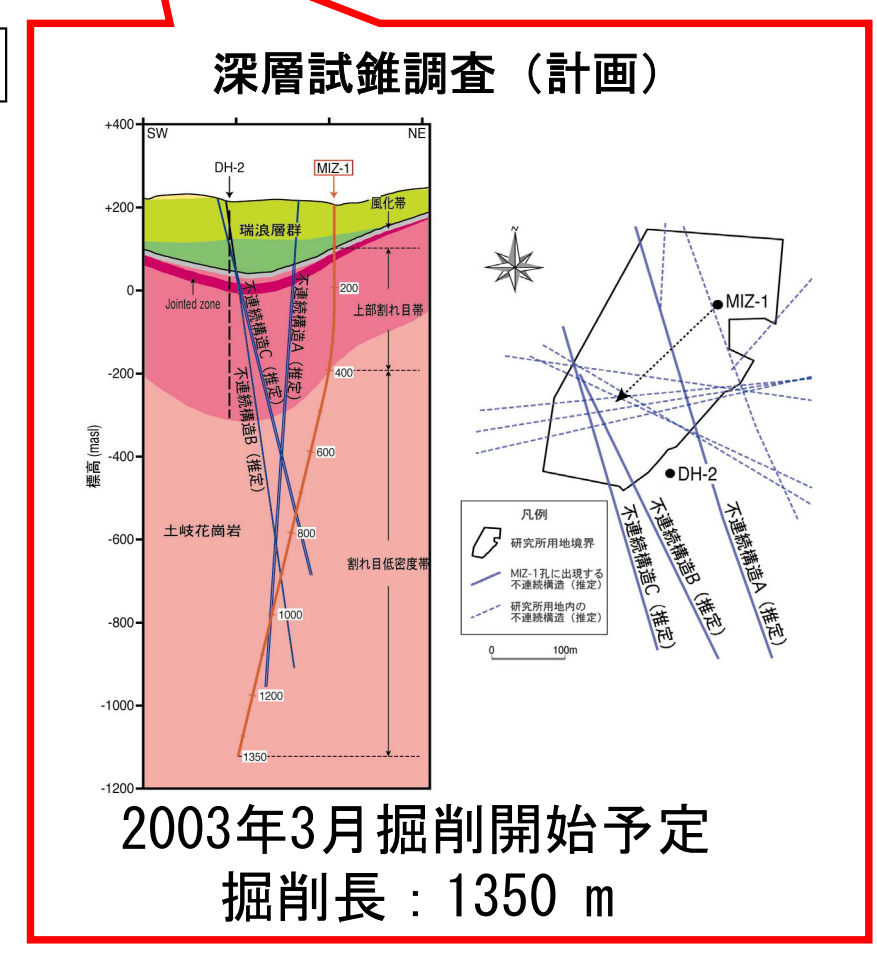
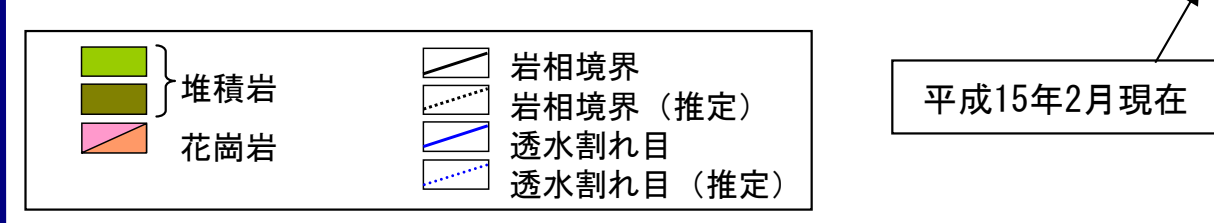
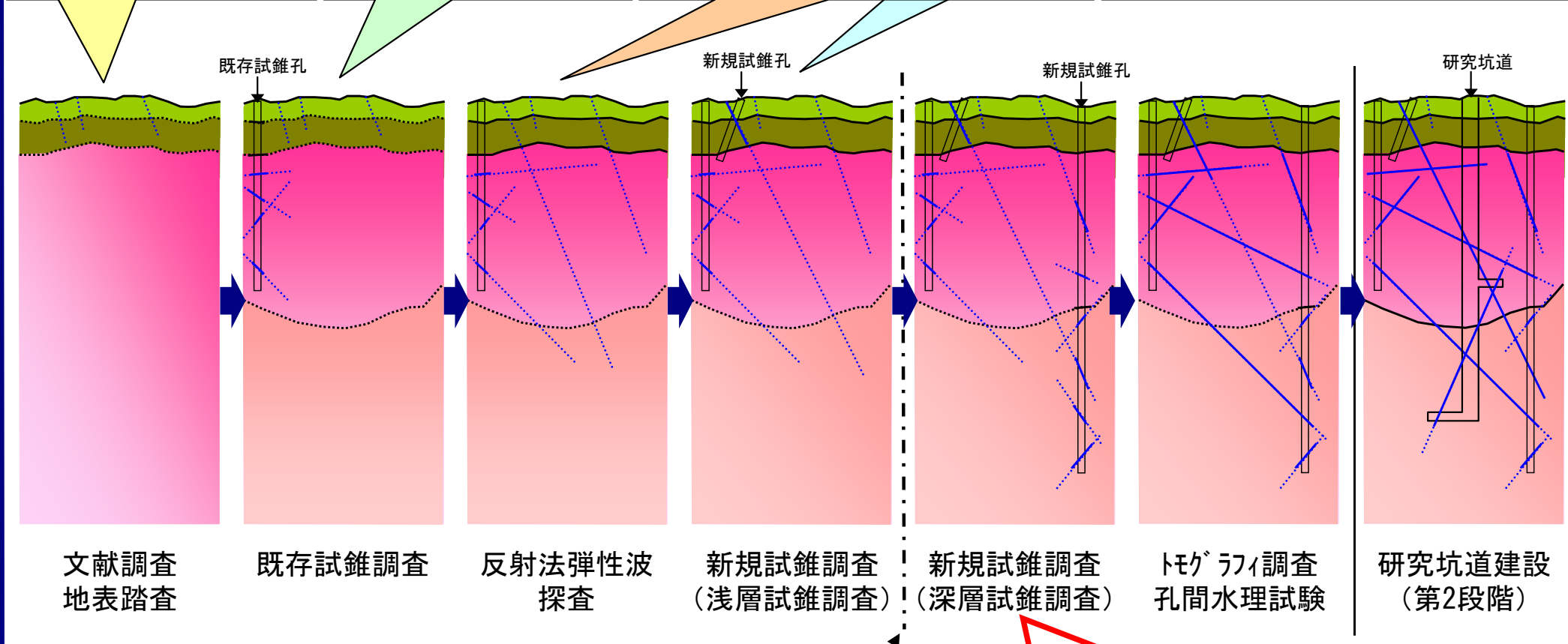
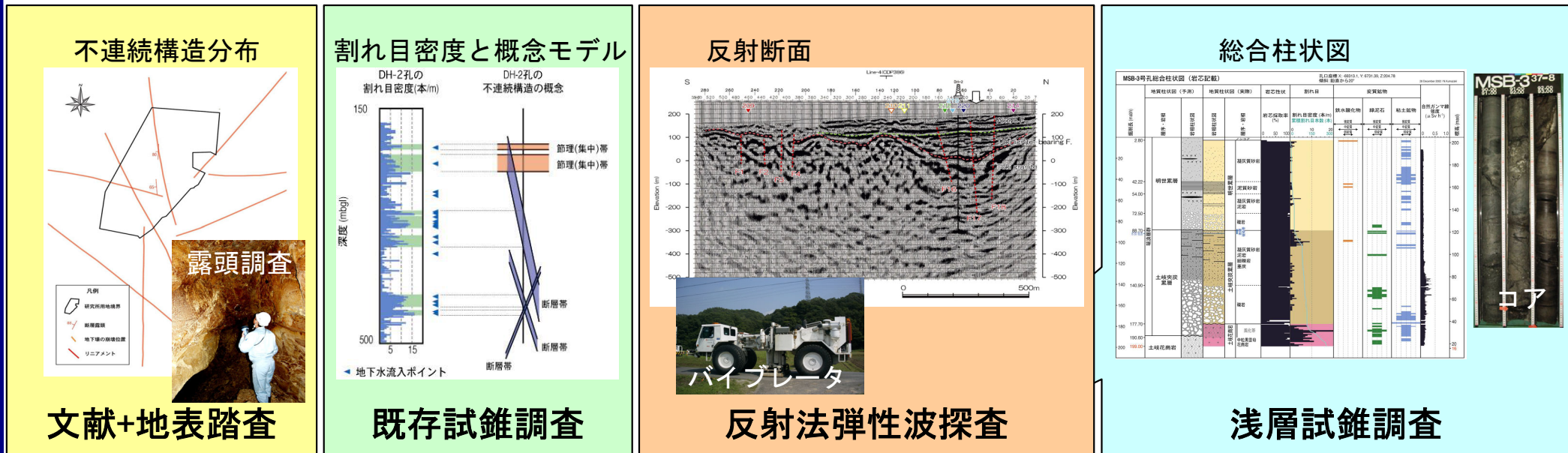


# 超深地層研究所計画における研究の現状 (2)

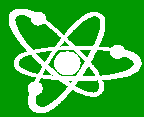
核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター

三枝 博光, 熊崎 直樹, 松岡 稔幸, 小出 馨

## 瑞浪超深地層研究所における第1段階の調査の流れ



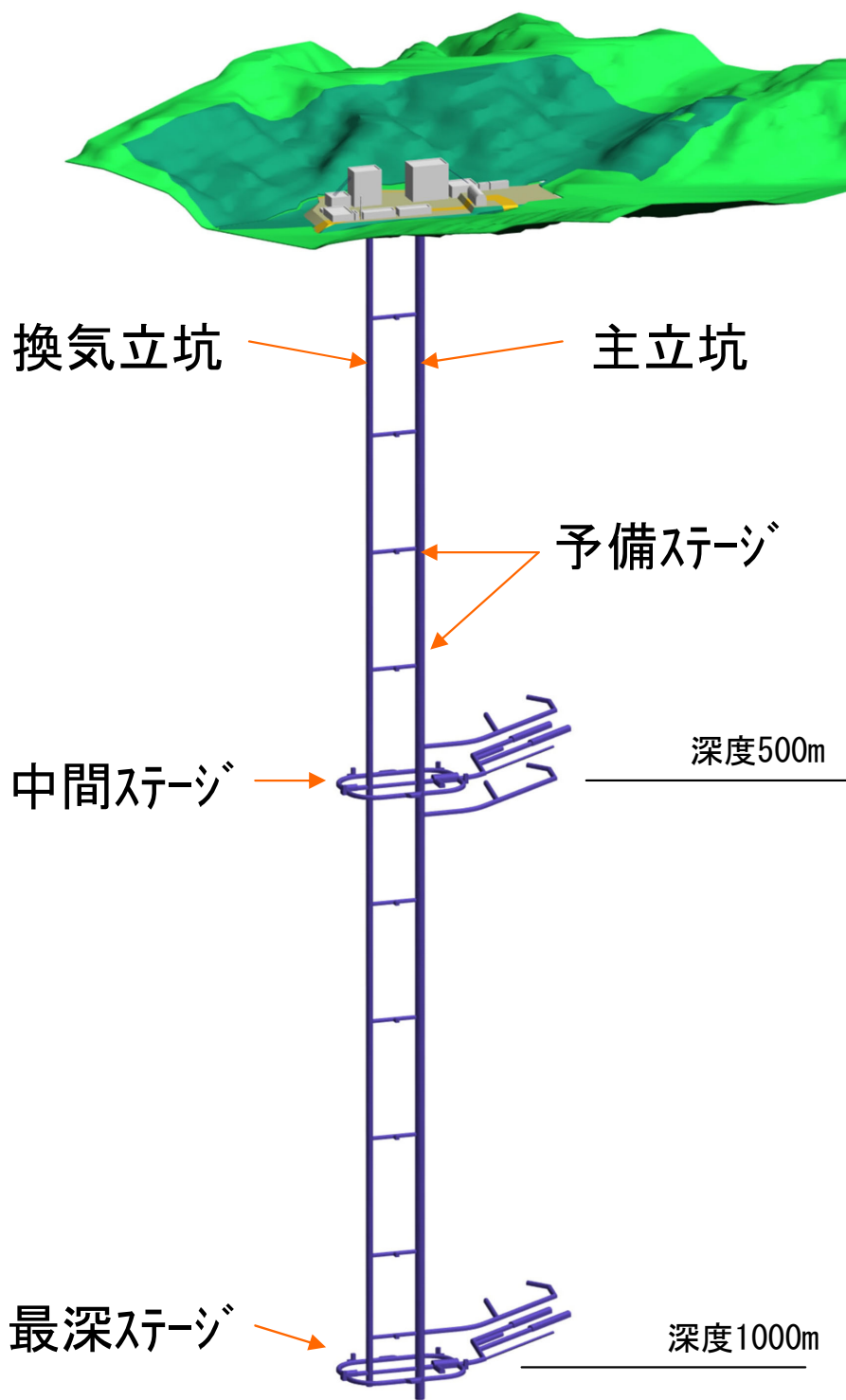




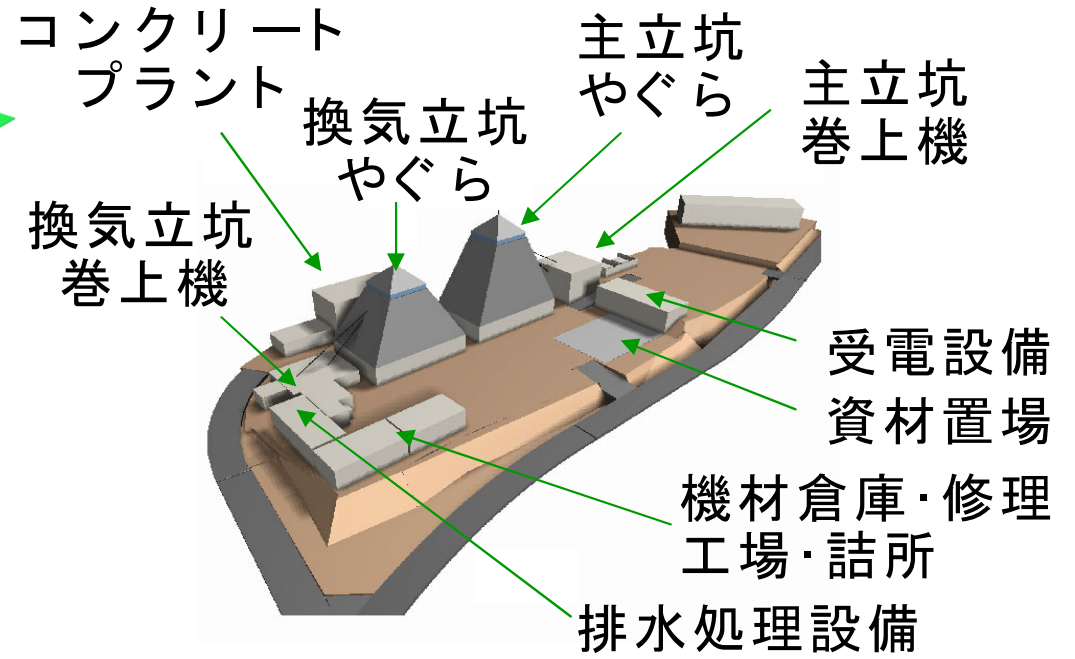
# 瑞浪超深地層研究所の施設設計(1)

核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター

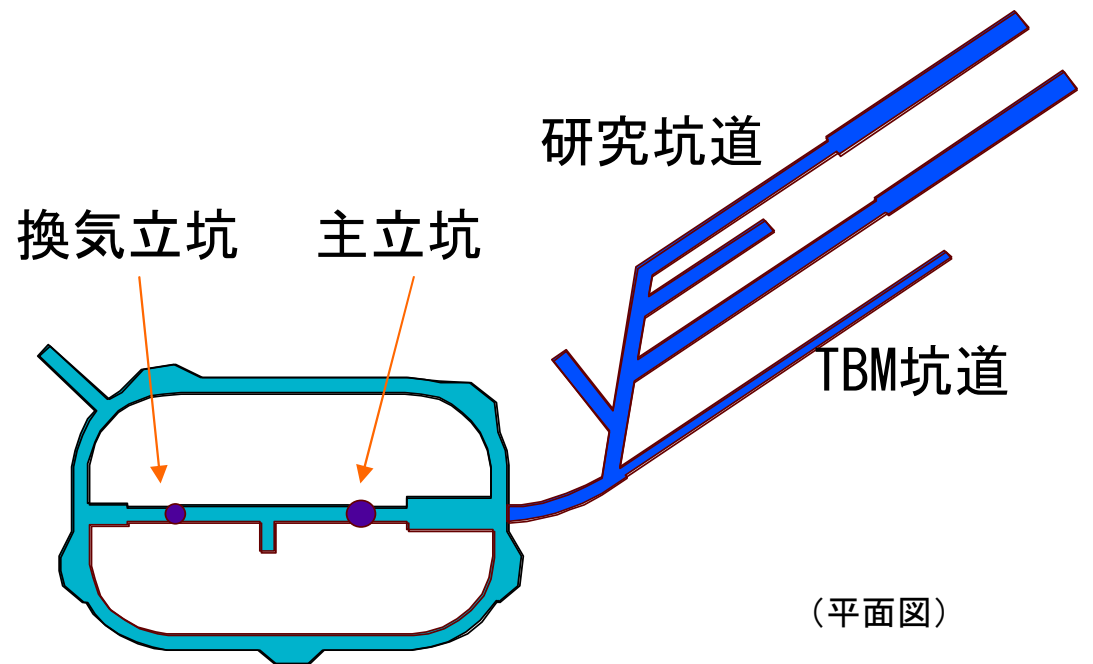
佐藤 稔紀, 見掛信一郎, 坂巻 昌工



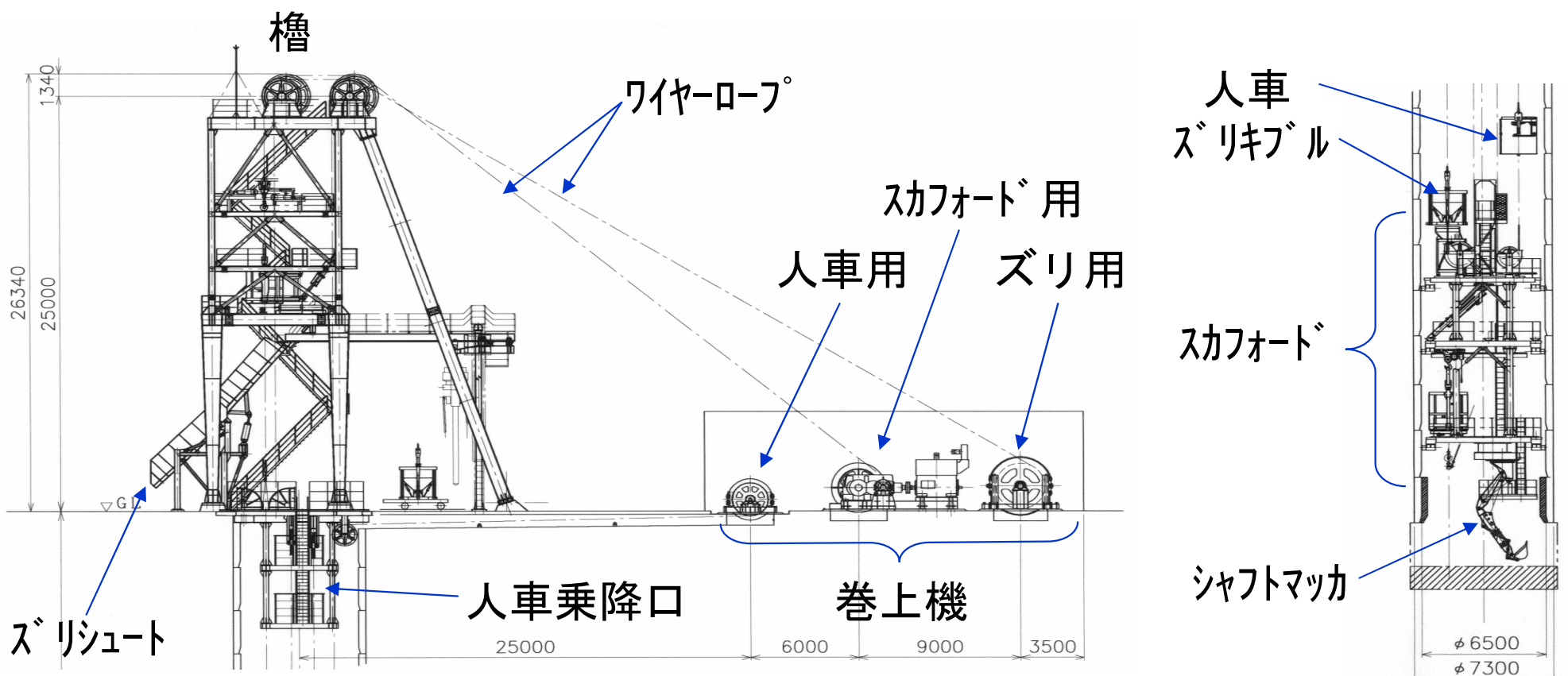
## 研究坑道レイアウト



## 地上施設レイアウト



## 中間・最深ステージレイアウト



## 立坑掘削設備 (櫓・巻上機・スcaffold)





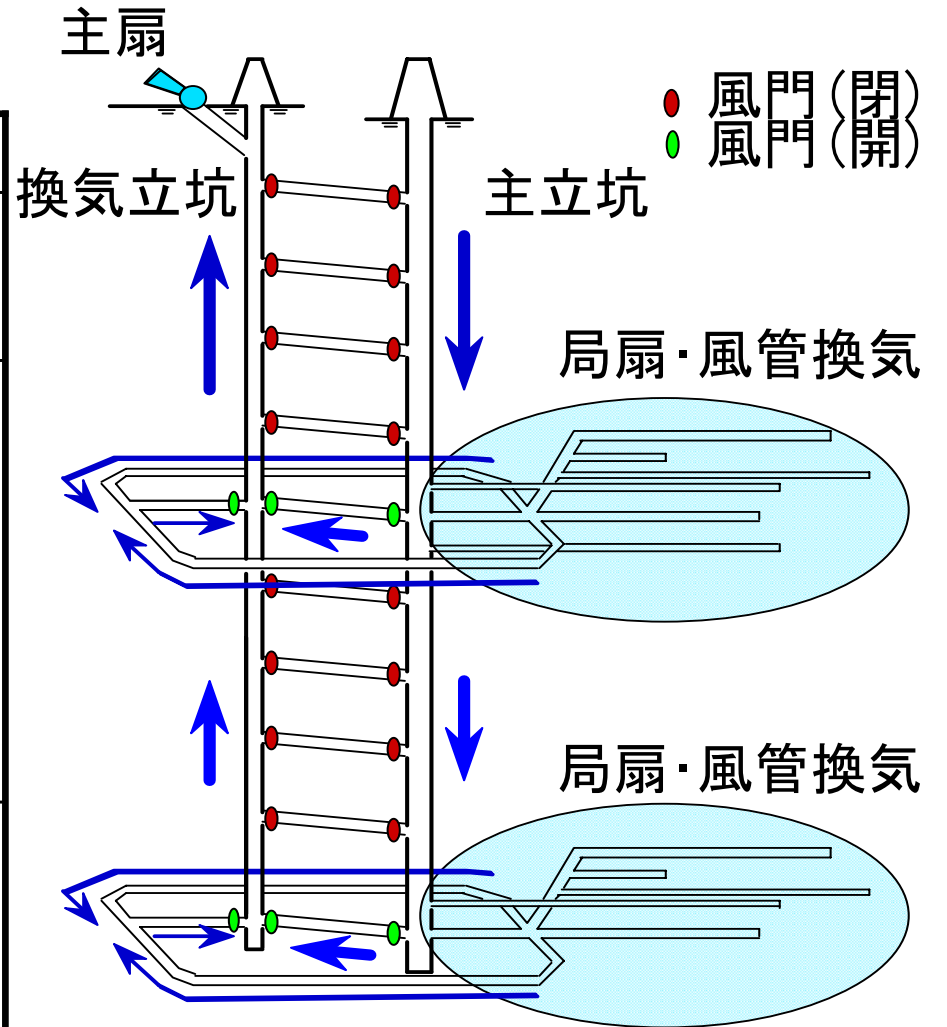
# 瑞浪超深地層研究所の施設設計(2)

核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター

佐藤 稔紀, 見掛信一郎, 坂巻 昌工

## 火災時解析の結果

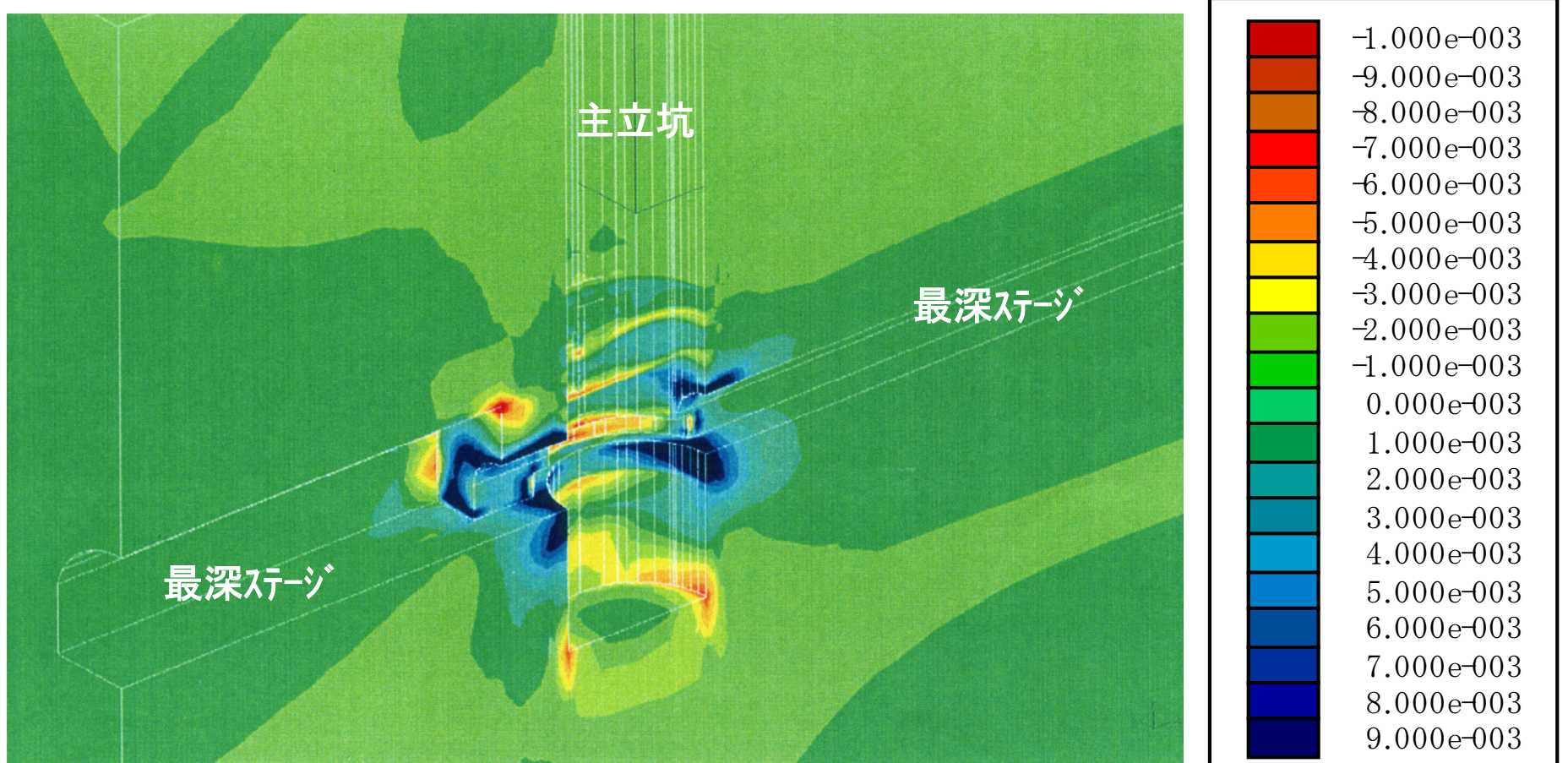
発生場所	火災の状況	避難方法
中間ステージ 最深ステージ	風向きの逆転が無く、火災ガスは換気立坑から気流に乗って排出される。	主立坑からの地表避難が可能。
両立坑坑底 換気立坑 (火災初期)	火災ガスは概ね換気立坑から排出されるが一部のガスが浅部の予備ステージで逆流し、主立坑を降下して坑内全域に達する。主立坑や各ステージは火災ガスが流れ込むが、温度上昇や火災ガス濃度の増加は小規模。	防煙マスク着用で主立坑からの地表避難は不可能ではないが、退避の方が安全。
主立坑浅部 (火災初期)	火災ガスは中間ステージを経由して換気立坑から排出される。深部への通気量は低下し、火災ガスの拡大には時間を要するが、時間の経過とともに坑内全域にガスが達する。	状況によっては防煙マスク着用で換気立坑浅部は避難が可能であるが、退避の方が安全。



施設完成時の通気システム

## 安全対策

### (通気網解析による火災時解析と通気設備の設計)



### 空洞安定性解析：主立坑と最深ステージ接続部

### (3次元FEM解析：最大主ひずみ分布)





# 地質環境の長期安定性に関する研究の現状(1)

核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター

梅田 浩司, 野原 壯, 藤原 治, 福島 龍朗

地層処分の安全性を確保するためには、地質環境に変化をもたらす様々な自然現象によって、処分システムの性能が損なわれないよう十分に安定な場所を選ぶこと、また、想定される変化を見込んで適切な工学的な対策を施すことが原則となる。

## 地層処分システムに影響を及ぼすことが想定される自然現象

- 断層運動やマグマの貫入・噴出による廃棄体の破壊，地表への放出

対象地域において上記の現象が生ずる可能性を評価するための技術が必要。

### 長期予測技術

三次元地形変化モデルの開発，火山活動の長期予測モデルの開発，震源断層の解析手法の開発

- 地殻変動による広域的な地下水理の変化
- マグマ活動による地温の上昇，熱水・火山ガス等の混入による水質の変化
- 断層運動に伴う周辺岩盤の変形，破断・破碎等による地下水理の変化

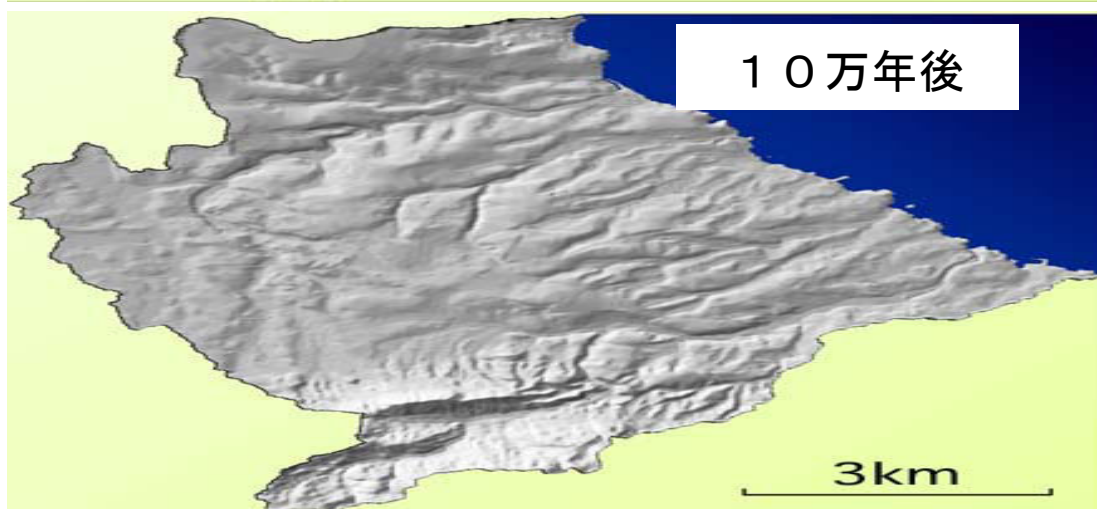
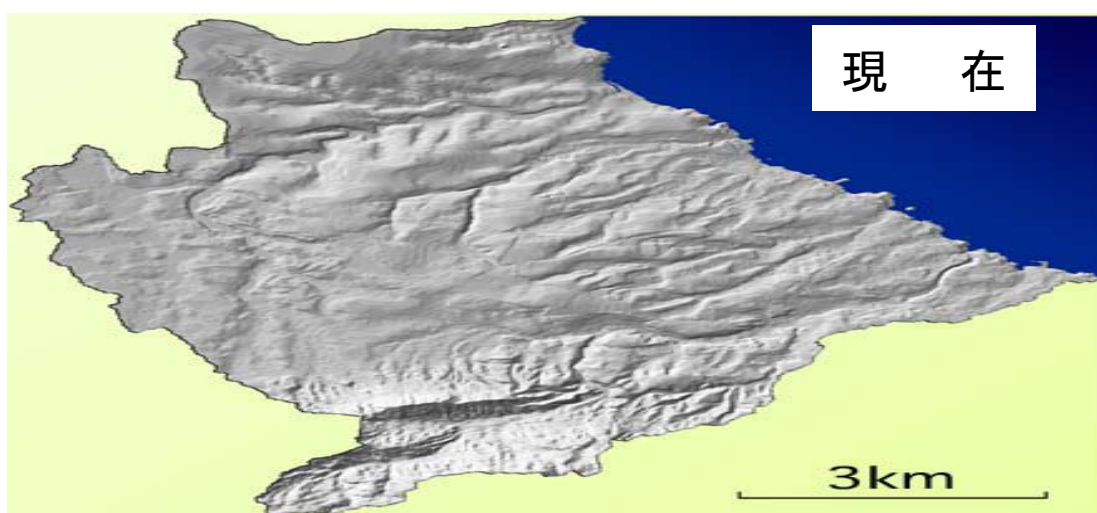
対象地域において上記の影響を定量的に評価するための技術が必要。

### 地層変動調査技術

堆積・侵食量の算定手法の開発，第四紀火成活動等の精密復元技術，震源断層や地下深部のマグマ溜り等の探査技術の開発，断層周辺の破碎帯や地下水理の変化等の評価技術の開発

## 三次元地形変化モデルの開発

### 拡散モデルによる地形変化シミュレーション技術の開発



将来の地形変化を予測するための技術開発の一環として、高精度のデジタル標高モデル (DEM) を整備するとともに、斜面・河床勾配における物質の移動量に関する経験式 (平野, 1966; 野上, 2000) に基づき、物質拡散モデルを作成し、侵食作用のみを考慮した将来 (10万年後) の地形変化のシミュレーションを実施した。

主な結果:

- 1/2500国土基本図により5mメッシュのデジタル標高モデルを作成した。
- シミュレーションの結果、起伏の大きい山地、傾斜の急な河川の崖等は侵食量が大きくなる。また、階段状の段丘崖が丸みを帯び、地域全体としてなだらかな地形に変化する。

今後の計画:

- 地殻変動、気候・海水準変動等の効果を組み込んだシミュレーション
- 古地形等に基づくモデルの検証、高度化

上北地方の現在と10万年後の地形 (陰影図)





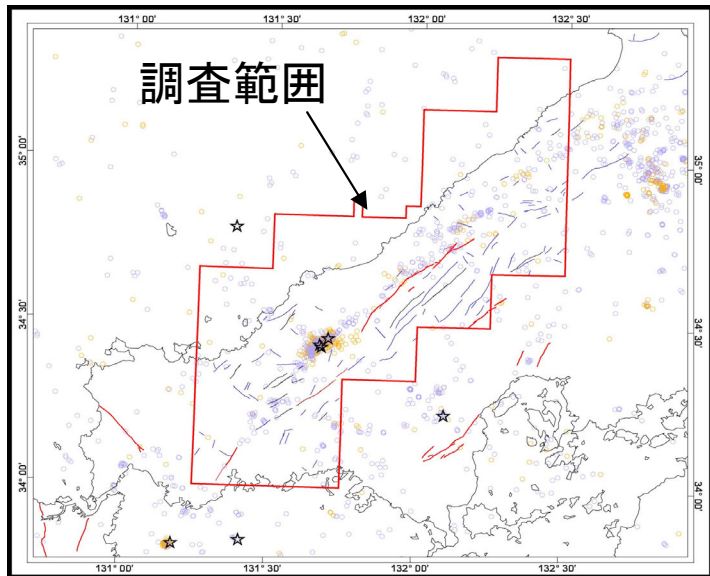
# 地質環境の長期安定性に関する研究の現状(2)

核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター

梅田 浩司, 野原 壯, 藤原 治, 福島 龍朗

## 震源断層の解析手法の開発

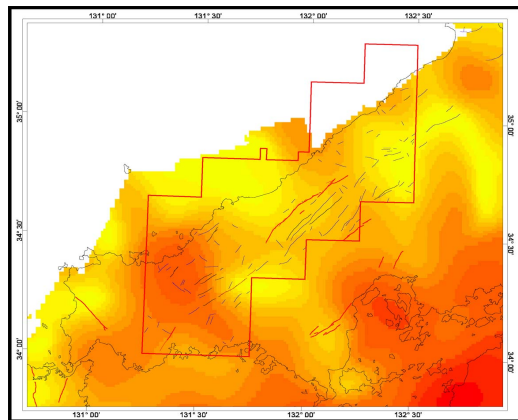
### 測地学, 地球物理学的データ等から震源断層を抽出する技術の開発



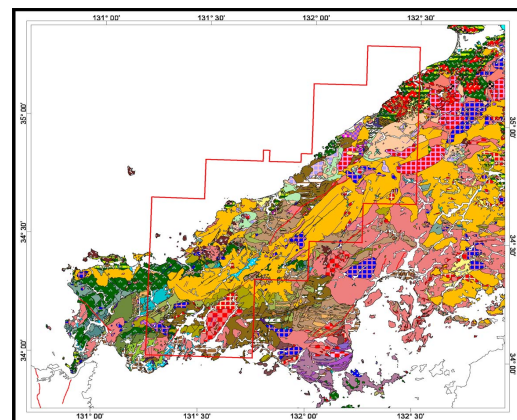
リニアメント  
— 抽出したリニアメント  
— 活断層  
— 推定活断層

震源  
○ 深さ  $\le 10\text{km}$   
○ 深さ  $> 10\text{km}$   
☆  $M \ge 4$

### 抽出したリニアメントと震源の分布



GPS最大歪速度分布図



20万分の1 土木地質図

地形的な特徴から抽出されるリニアメントについて、その周辺地域における震源分布や地質学、測地学、地球物理学等のデータを解析することにより、震源断層や断層破碎帯等を抽出する技術開発を行っている。これまでは、中国地方を対象に活断層である可能性のあるリニアメントの抽出のほか、地質構造、震源分布、地殻歪速度等と比較・検討を実施している。

主な結果：

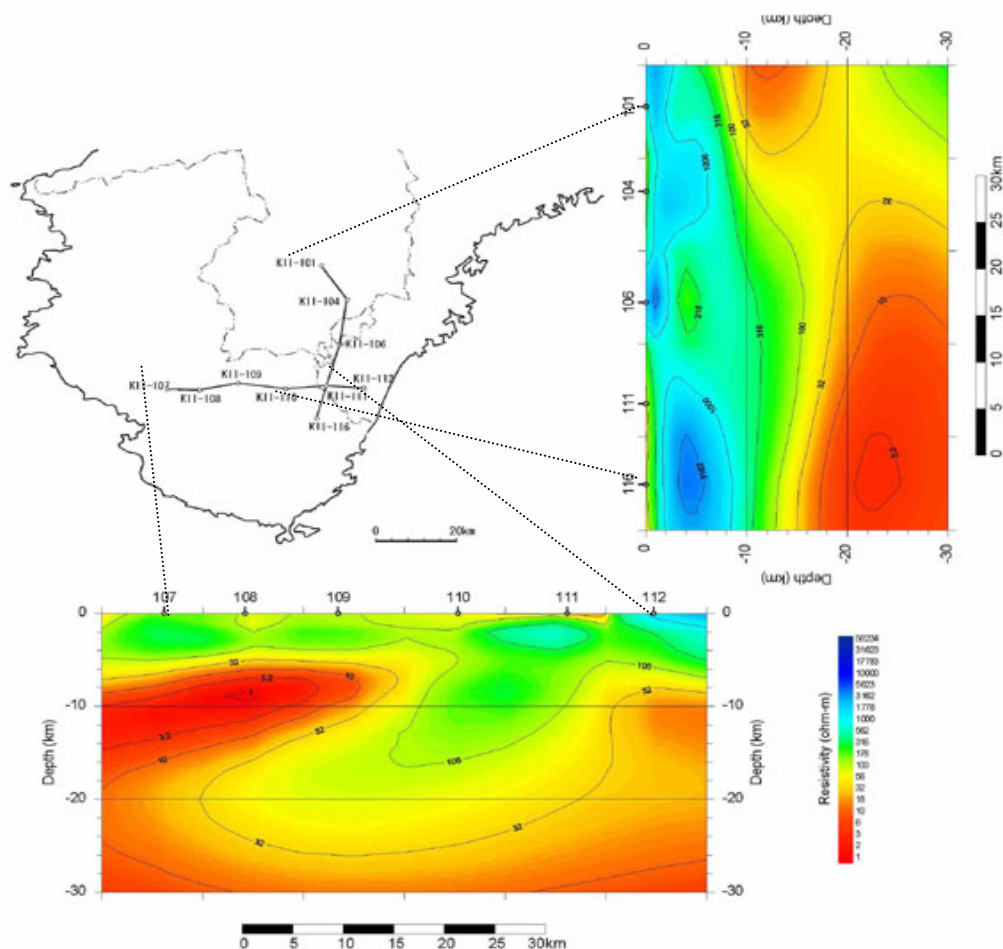
- リニアメントの分布は主要な活断層の周辺に偏在する傾向が認められる。
- 震源分布、GPS地殻歪速度、重力等の情報とおおまかにみると整合的である。

今後の計画：

- リニアメントと震源分布、地質学的情報等との対比
- リニアメントの形成条件等に関する調査
- 縦ずれ断層地域におけるリニアメント抽出技術の開発

## 震源断層や地下深部のマグマ溜り等の探査技術の開発

### MT法比抵抗調査によるマグマ溜り等の探査技術の開発



MT法比抵抗調査による紀伊半島南部の深部比抵抗構造

地下深部の震源断層や熱源（マグマ溜り）等を把握するための技術開発の一環として、紀伊半島南部（非火山性地熱地帯）においてファーリモートリファレンスによるMT法比抵抗調査を実施している（対象深度：地下 20~30 km程度）。

主な結果：

- ファーリモートリファレンス処理により0.1Hz以下の低周波帯域の広域ノイズ（人工ノイズ）を除去することができた。
- 2次元解析の結果紀伊半島の東部から西に傾斜する高比抵抗部（100~1000  $\Omega\text{m}$ ）と低比抵抗部（1~10  $\Omega\text{m}$ ）が存在することが明らかになった。

今後の計画：

- 島原半島（雲仙火山）を事例とした地震波トモグラフィーとの比較・検討
- 温泉ガス等のヘリウム同位体比の測定、地球物理学的手法との比較・検討





# 東濃鉱山における調査試験研究の現状(1)

## 岩盤の力学的安定性に関する試験研究

核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター

中間 茂雄, 高倉 望, 中島 貴弘, 福島 龍朗

★ 3次元的に広がる応力状態の評価手法の確立

— 研究の概要 —

★ 坑道周辺岩盤の長期安定性評価手法・物性変化の程度・範囲の把握

精密調査における安全評価に反映

— 研究テーマ —

### 応力評価研究

★ 3次元初期応力場の評価研究

★ 応力測定手法の開発(封圧AE法等)

### 坑道周辺岩盤研究

1 孔壁劣化現象のメカニズム解明

2 岩盤の長期挙動(クリープ)を表現可能な構成方程式の開発

★ 掘削影響領域の概念の確立

★ 坑道周辺岩盤の長期変形・間隙水圧のモニタリング・データ蓄積

★ 不飽和領域の計測技術の開発

### 1 孔壁劣化現象のメカニズム解明に関する研究

— 研究一例紹介 —



- ・ 東濃鉱山の堆積軟岩中において発生している、硬岩系岩盤で起こるような「山はね」に似たような試験孔壁面の崩壊現象に関する研究
- ・ 掘削から3年以上経過した現在もなお崩壊現象が継続  
⇒二次応力計測、孔壁の含水量計測、崩壊時のAE計測などにより、現象の要因分析を実施予定

【左写真】堆積軟岩中の試験孔に見られた孔壁崩壊現象

### 2 岩盤の長期挙動(クリープ)を表現可能な構成方程式の開発

- ・ 岩盤の長期挙動を予測するために必要な構成方程式を開発するために、室内および原位置にて長期変形データを蓄積中

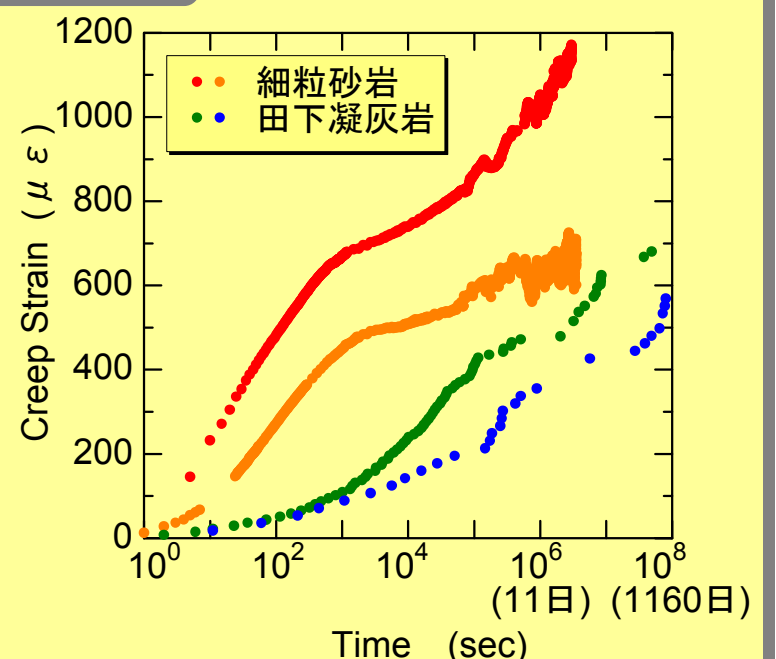
【室内試験結果】・・・これまでに例のない5年以上のクリープ試験を実施中

- ・ 田下凝灰岩 試験開始5年経過後もひずみが増大しつづけている
- ・ 粗粒砂岩 試験開始30日経過後もひずみが増大(東濃鉱山)しつづけている

【原位置計測結果】・・・これまでに例のない10年以上の坑道周辺岩盤の長期挙動を計測中

東濃鉱山坑道 試験開始30日経過後もひずみが増大しつづけている

⇒堆積軟岩のクリープ変形特性を把握



【上図】室内試験で得られたクリープひずみ-時間線図

(試験条件: クリープ応力30%、湿潤状態)





# 東濃鉱山における調査試験研究の現状(2)

## 東濃ウラン鉱床を対象としたナチュラルアナログ研究

核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター

笹尾 英嗣, 岩月 輝希, 新里 忠文

### 東濃ウラン鉱床におけるナチュラルアナログの利点

- ・ウラン系列核種はアクチニド元素のアナログ元素
- ・地下深部の環境条件とウランの状態の長期的変遷
- ・隆起侵食・断層運動が核種移行に与える影響

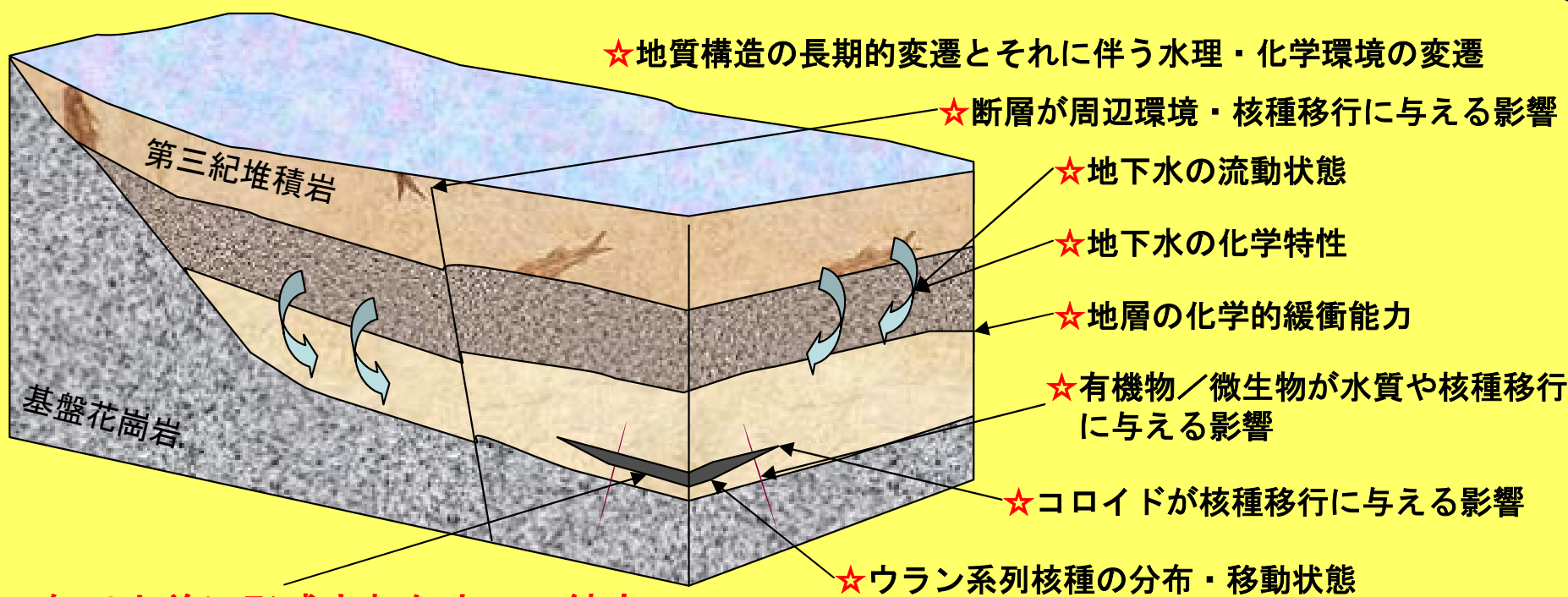
- ★処分のタイムスケールにおける地下深部の放射性核種の挙動
- ★核種の挙動に影響を与える環境条件の長期的変遷と影響の程度



ナチュラルアナログ研究の目的：これらに関わる調査・解析・評価手法の開発

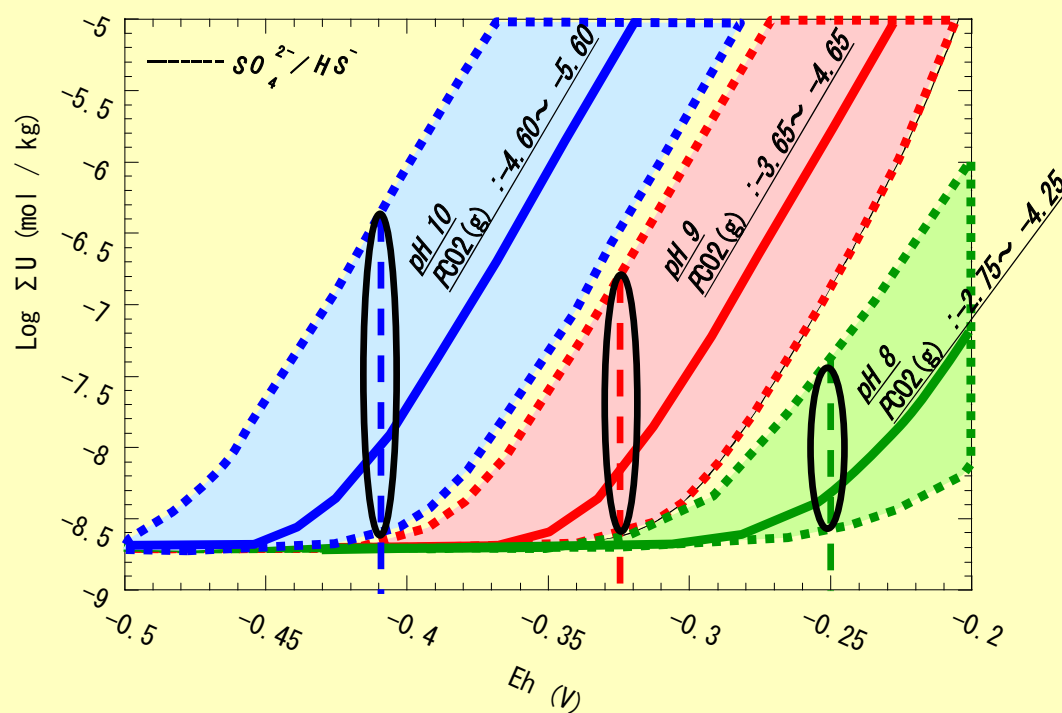
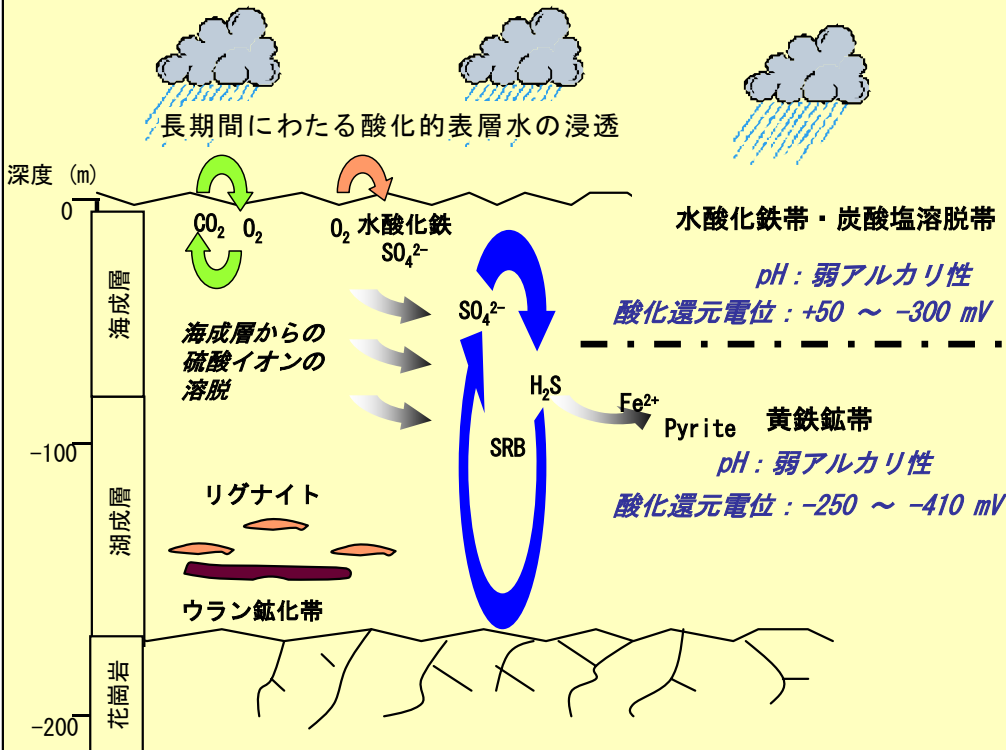


### 概要・精密調査地区における安全評価に反映



### 1千万年以上前に形成されたウラン鉱床

### 研究成果の一例：ウラン鉱床周辺の化学的緩衝プロセス・ウラン溶解度の長期的変動幅（下図）



★東濃ウラン鉱床において鉱物に収着・置換している鉱物形を持たないウランは、観察・熱力学解析からUO<sub>2</sub>(am.)と推測される。性能評価の基本概念では高レベル放射性廃棄物から溶出するアクチニド核種は、4価の酸化物または水酸化物として地下水への溶解度がコントロールされると考えられており、東濃での解析結果はこの基本概念を支持する。

★ウラン鉱床周辺の弱アルカリ性・強還元環境といった環境条件は、炭酸塩鉱物の緩衝反応・有機物を介した硫酸還元反応により形成されており、地層の持つ化学的緩衝能力から、過去数十万年間にわたってこのようなシステムが維持されてきたと推察される。この長期的な環境条件の変動幅におけるUO<sub>2</sub>(am.)の溶解度幅は10<sup>-6.4~-8.7</sup> mol/kgと見積もることができる。

このようにナチュラルアナログ研究により構築された手法により、概要・精密調査地区において長期的な核種の溶解度変動幅に関わる予察的安全評価を行うことが可能になる。