

## 「平成20年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会」資料集

Proceedings of Information and Opinion Exchange Conference  
on Geoscientific Study, 2008

(編) 西尾 和久 弥富 洋介 島田 顕臣 尾方 伸久  
(Eds.) Kazuhisa NISHIO, Yosuke IYATOMI, Akiomi SHIMADA and Nobuhisa OGATA

地層処分研究開発部門  
東濃地科学研究所ユニット

Tono Geoscientific Research Unit  
Geological Isolation Research and Development Directorate

May 2009

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2009

「平成 20 年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会」  
資料集

日本原子力研究開発機構  
地層処分研究開発部門 東濃地科学センター

(編)西尾 和久\*, 弥富 洋介, 島田 顕臣, 尾方 伸久

(2009 年 1 月 28 日受理)

独立行政法人日本原子力研究開発機構 東濃地科学センターでは、「地層処分技術に関する研究開発」のうち深地層の科学的研究(以下, 地層科学研究)を実施している。地層科学研究を適正かつ効率的に進めていくため, 研究開発の状況や成果, さらに今後の研究開発の方向性について, 大学, 研究機関, 企業の研究者・技術者等に広く紹介し, 情報・意見交換を行うことを目的とした「情報・意見交換会」を毎年開催している。本資料は, 平成 20 年 10 月 16 日に岐阜県瑞浪市で開催した「平成 20 年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会」にて用いた発表資料を取りまとめたものである。

Proceedings of Information and Opinion Exchange Conference on Geoscientific Study, 2008

(Eds.) Kazuhisa NISHIO\*, Yosuke IYATOMI, Akiomi SHIMADA and Nobuhisa OGATA

Tono Geoscientific Research Unit

Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency

Akeyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received January 28, 2009)

The Tono Geoscience Center (TGC) of Japan Atomic Energy Agency (JAEA) has been conducting a geoscientific studies in order to establish a scientific and technological basis for the geological disposal of HLW. Information and Opinion Exchange Conference on Geoscientific Study has been held by TGC annually. The conference provides technical information and an opportunity for peer review and exchange of opinions on the geoscientific studies conducted at TGC. Research specialists and engineers from Japanese universities, research organizations and private companies usually participate the conference. This document compiles research presentations, posters of the conference on October 16<sup>th</sup>, 2008 at Mizunami.

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory, MIU Project, Information and Opinion Exchange Conference, Geoscientific Study, Geological Disposal of HLW

---

※)Collaborating Engineer

## 目 次

1. はじめに	1
2. 情報・意見交換会の概要	2
2.1 口頭発表の表題	2
2.2 ポスター発表の表題	3
3. 調査・研究発表資料	6
3.1 地層科学研究の現状	6
3.1.1 「地層処分技術に関する研究開発」における地層科学研究の役割および超深地層研究所 計画の今後の予定	6
3.1.2 「地質環境の長期安定性に関する研究」の成果と反映	14
3.1.3 超深地層研究所計画「研究坑道の掘削を伴う研究段階」の成果と反映	28
3.1.4 瑞浪超深地層研究所の建設状況	44
3.2 技術基盤整備の状況 -個別技術の紹介-	55
3.2.1 「地質環境の長期安定性に関する研究」に係わる年代測定技術開発の現状と展望	55
3.2.1.1 タンデム型加速器質量分析計(ペレトロン)を用いた年代測定技術開発 -1mgの炭素で分かる過去のイベント-	55
3.2.1.2 ウラン・トリウム・ヘリウム年代測定技術開発 -日本で初めての年代測定技術の実用化に向けて-	64
3.2.2 超深地層研究所計画 「研究坑道の掘削を伴う研究段階」の調査研究 -坑道を掘って何がわかったか-	73
3.2.3 瑞浪超深地層研究所を利用した研究事例 経済産業省受託事業 地下坑道施工技術高度化開発 -既存グラウトの効果確認に関する 研究-	87
4. ポスターセッション発表資料	102
5. おわりに	123
謝辞	123

## Contents

1. Introductoin .....	1
2. Overview of the Information and Opinion Exchange Conference on Geoscientific Study -	2
2.1 Presentation titles .....	2
2.2 Poster titles .....	3
3. Presentations on research and development .....	6
3.1 Current status of geoscientific research, R&D on HLW geological disposal .....	6
3.1.1 Role of geoscientific research for R&D on HLW geological disposal and plan of Mizunami Underground Research Laboratory Project .....	6
3.1.2 Result and reflection of “Study on the long-term stability of geological environment” .....	14
3.1.3 Result and reflection of “Phase II Investigaions of the Mizunami Underground Research Laboratrory Project” .....	28
3.1.4 Current status of the Shaft Sinking at the Mizunami Underground Research Laboratory .....	44
3.2 Current status of technique basis - Presentation of the individual researches - .....	55
3.2.1 Study on the long-term stability of geological environment Current status and prospect of development of dating technique about study on long-term stability .....	55
3.2.1.1 Development of dating technique with tandem type accelerator mass Spectroscopy (JAEA Pelletron) - Only 1mg carbon sample tells about geological event - .....	55
3.2.1.2 Development of (U-Th)/He dating technique - Aiming at the practical use of dating technique for the first case in Japan - .....	64
3.2.2 Mizunami Underground Research Laboratory Project Current status of the Investigaions at Phase II .....	73
3.2.3 Case studies performed at the Mizunami Underground Research Laboratory Study on applicability of existing grouting technology at Mizunami URL, Contract study with METI .....	87
4. Posters .....	102
5. Concluding Remarks .....	123
Acknowledgements .....	123

## 1. はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)は、原子力発電環境整備機構による処分事業と国による安全規制の両面を支える技術基盤を継続的に強化していくために、他の研究開発機関と連携して基盤的な研究開発を進めている。東濃地科学センターでは、「地層処分技術に関する研究開発」のうち深地層の科学的研究(以下、地層科学研究)を進めている。

東濃地科学センターでは、地層科学研究を適正かつ効率的に進めていくため、大学、研究機関、企業の研究者・技術者等に地層処分計画との位置付けを明確にした研究開発の状況や成果について広く紹介し、情報・意見交換を行うことを目的として、「東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会」(以下、「情報・意見交換会」)を毎年1回開催している。本資料は、平成20年10月16日に開催した「情報・意見交換会」の報告資料を取りまとめたものである。

## 2. 情報・意見交換会の概要

東濃地科学センターでは、平成 20 年 10 月 16 日に岐阜県瑞浪市の地域交流センターにおいて、「平成 20 年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会」(以下、「情報・意見交換会」)を開催した。「情報・意見交換会」での報告内容は、1)「地層科学研究の現状」および 2)「技術基盤整備の状況 一 個別技術の紹介 一」の 2 部構成とし、それぞれ以下の 2.1 に示す表題にて東濃地科学センターで実施している地層科学研究の現状や成果および今後の予定等を口頭発表の形式で報告した。更に、ポスター発表の形式で個別研究の成果を報告した。ポスター発表の表題を 2.2 に示す。また、翌日の 10 月 17 日には、瑞浪超深地層研究所の深度 200m 水平坑道見学会を開催した。今年度の「情報・意見交換会」のプログラムを表 2-1 に示す。

### 2.1 口頭発表の表題

#### 1) 地層科学研究の現状

- ① 「地層処分技術に関する研究開発」における地層科学研究の役割および超深地層研究所計画の今後の予定

(発表者: 東濃地科学研究ユニット 杉原 弘造)

- ② 「地質環境の長期安定性に関する研究」の成果と反映

(発表者: 自然事象研究グループ 野原 壯)

- ③ 超深地層研究所計画「研究坑道の掘削を伴う研究段階」の成果と反映

(発表者: 結晶質岩地質環境研究グループ 濱 克宏)

- ④ 瑞浪超深地層研究所の建設状況

(発表者: 施設建設課 研究副主幹 見掛 信一郎)

#### 2) 技術基盤整備の状況 一 個別技術の紹介 一

- ① 地質環境の長期安定性に関する研究

長期安定性研究に係わる年代測定技術開発の現状と展望

(その 1) タンデム型加速器質量分析計(ペレトロン)を用いた年代測定技術開発

— 1mg の炭素でわかる過去のイベント —

(発表者: 自然事象研究グループ 齋藤 龍郎)

(その 2) ウラン・トリウム・ヘリウム年代測定技術開発

— 日本で初めての年代測定技術の実用化に向けて —

(発表者: 自然事象研究グループ 花室 孝広)

- ② 超深地層研究所計画

「研究坑道の掘削を伴う研究段階」の調査研究 一 坑道を掘って何がわかったか 一

(発表者: 結晶質岩地質環境研究グループ 早野 明)

③ 超深地層研究所を利用した研究事例

経済産業省受託事業

地下坑道施工技術高度化開発 既存グラウトの効果確認に関する研究

(発表者:結晶質岩工学技術開発グループ 松井 裕哉)

## 2.2 ポスター発表の表題

### 1)地質環境の長期安定性に関する研究

① 逆断層帯における地下構造調査技術 -東北地方の例-

(発表者:自然事象研究グループ 楳原 京子)

② 断層ガスを利用した断層調査技術の適用性検討

(発表者:自然事象研究グループ 黒澤 英樹)

③ 古気候復元技術と地形変化シミュレーション

(発表者:自然事象研究グループ 田力 正好)

④ 地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術

(発表者:自然事象研究グループ 二ノ宮 淳)

### 2)超深地層研究所計画

① 地質・地質構造に関する調査研究

(発表者:結晶質岩地質環境研究グループ 鶴田 忠彦)

② 岩盤水理に関する調査研究

(発表者:結晶質岩地質環境研究グループ 毛屋 博道)

③ 地下水の地球化学に関する調査研究

(発表者:結晶質岩地質環境研究グループ 水野 崇)

④ 岩盤力学に関する調査研究

(発表者:結晶質岩地質環境研究グループ 平野 享)

⑤ 瑞浪超深地層研究所における工学技術に関する研究

(発表者:結晶質岩工学技術開発グループ 浅井 秀明)

⑥ アクロス研究の工学技術への応用(その2) -アクロス技術の現状-

(発表者:東濃地科学研究ユニット 長谷川 健)

⑦ 瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事 -換気立坑における湧水対策の現状-

(発表者:施設建設課 原 雅人)

### 3) 共同研究等

- ① 地質環境診断用マイクロ化学プローブの開発(日立製作所)  
(発表者:結晶質岩地質環境研究グループ 竹内 竜史)
- ② 傾斜計を用いたモニタリング技術の開発(東北大学)  
(発表者:結晶質岩地質環境研究グループ 大山 卓也)
- ③ 東濃地域を対象とした亀裂分布のマルチスケールモデリング技術の開発(熊本大学)  
(発表者:結晶質岩地質環境研究グループ 天野 健治)
- ④ 瑞浪超深地層研究所周辺の水理・物質移動特性評価に関する研究(電力中央研究所)  
(発表者:結晶質岩地質環境研究グループ 濱 克宏)

### 4) 瑞浪超深地層研究所を利用した研究

- ① 瑞浪超深地層研究所における施設共用 100m 予備ステージにおける傾斜変動(その2)  
(発表者:財団法人地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所 浅井 康広)
- ② JAEA 量子ビーム応用研究部門との部門間協力研究  
放射線グラフト重合法により作製した捕集材の湧水中ほう素吸着性能の把握  
(発表者:結晶質岩工学技術開発グループ 弥富 洋介)
- ③ 経済産業省受託事業  
地下坑道施工技術高度化開発 既存グラウトの効果確認に関する研究  
(発表者:結晶質岩工学技術開発グループ 松井 裕哉)

表 2-1 「平成 20 年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会」プログラム

第 1 日目 ; 10 月 16 日(木)	
1. 開会挨拶	10:30～10:35
2. 地層科学研究の現状	
(1) 地層科学研究の役割、超深地層研究所計画の今後の予定、今年度発表内容の紹介 東濃地科学研究ユニット長 杉原 弘造	10:35～10:50
(2) 「地質環境の長期安定性に関する研究」の成果と反映 自然事象研究 Gr サブグループリーダー 野原 壯	10:50～11:15
(3) 超深地層研究所計画「研究坑道の掘削を伴う研究段階」の成果と反映 結晶質岩地質環境研究 Gr サブグループリーダー 濱 克宏	11:15～11:40
(4) 瑞浪超深地層研究所の建設状況 施設建設課 研究副主幹 見掛 信一郎	11:40～12:00
(質疑)	12:00～12:15
休憩	12:15～13:30
3. 技術基盤整備の状況—個別技術の紹介—	
(1) 地質環境の長期安定性に関する研究 ・長期安定性研究に係わる年代測定技術開発の現状と展望 (その1) タンデム型加速器質量分析計(ペレトロン)を用いた年代測定技術開発 —1mg の炭素でわかる過去のイベント— 自然事象研究 Gr 齋藤 龍郎	13:30～13:45
(その2) ウラン・トリウム・ヘリウム年代測定技術開発 —日本で初めての年代測定技術の実用化に向けて— 自然事象研究 Gr 花室 孝広	13:45～14:00
(質疑)	14:00～14:10
(2) 超深地層研究所計画 「研究坑道の掘削を伴う研究段階」の調査研究 —坑道を掘って何がわかったか— 結晶質岩地質環境研究 Gr 早野 明	14:10～14:45
(質疑)	14:45～14:50
(3) 超深地層研究所を利用した研究事例 ・経済産業省受託事業 地下坑道施工技術高度化開発 既存グラウトの効果確認に関する研究 結晶質岩工学技術開発 Gr 研究副主幹 松井 裕哉	14:50～15:10
(質疑)	15:10～15:15
4. ポスターセッション(含;休憩)	15:15～16:40
5. 全体質疑	16:40～16:55
6. 閉会挨拶	16:55～17:00
懇談会(会費制にて希望者のみ/場所:瑞浪国際地科学交流館)	17:30～19:30
第 2 日目 ; 10 月 17 日(金)午前	
瑞浪超深地層研究所 深度 200m 水平坑道見学会	10:00～12:00

### 3. 調査・研究発表資料

#### 3.1 地層科学研究の現状

##### 3.1.1 「地層処分技術に関する研究開発」における地層科学研究の役割および超深地層研究所計画の今後の予定

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  
東濃地科学研究ユニット  
杉原 弘造

###### (1) はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下, 原子力機構)は, 原子力発電環境整備機構(以下, NUMO)による処分事業と国による安全規制の両面を支えるため, 他の研究開発機関と連携して基盤的な研究開発を進めている。東濃地科学センターでは, 「地層処分技術に関する研究開発」のうち深地層の科学的研究(地層科学研究)を進めている。以下に, 「地層処分技術に関する研究開発」における地層科学研究の役割および, 地層科学研究の一環として進めている超深地層研究所計画の今後の予定について述べる。

###### (2) わが国の地層処分計画における「地層処分技術に関する研究開発」の役割

わが国における高レベル放射性廃棄物の地層処分計画は, 核燃料サイクル開発機構(以下, サイクル機構, 現; 原子力機構)が平成 11 年に公表した「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ<sup>1)</sup>(以下, 「第 2 次取りまとめ」)を技術的な拠り所として, 研究開発段階から, 研究開発と並行して地層処分の事業と安全規制の施策を進めていく事業段階へと進展した。平成 12 年 6 月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(平成 12 年 6 月, 法律第 117 号, 以下, 「最終処分法」)が公布され, この法律に基づき同年 10 月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針<sup>2)</sup>(以下, 「基本方針」)および「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画<sup>3)</sup>(以下, 「最終処分計画」)が定められた。この「基本方針」および「最終処分計画」は, 今後の技術の変化等, 事情の変更に応じて所要の見直しを行うものとされており, 平成 20 年 4 月に改定が行われた。改定された「基本方針」では, 地層処分に関する国民の理解促進活動の強化について明記され, また, 「最終処分計画」では, 精密調査地区選定時期等が見直された。原子力委員会が平成 12 年 11 月に公表した「原子力の研究, 開発及び利用に関する長期計画<sup>4)</sup>(以下, 「原子力長計」)および, 平成 17 年 10 月に公表した「原子力政策大綱<sup>5)</sup>」では, 『原子力機構を中心とした研究開発機関は, 深地層の研究施設等を活用して, 深地層の科学的研究, 地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発, 安全規制のための研究開発を引き続き着実に進めるべきである』とされている。事業段階における「地層処分技術に関する研究開発」の役割は, 「第 2 次取りまとめ」が示した「わが国における地層処分の技術的信頼性」をさらに向上させ, 国民の理解を促進するとともに, 処分事業や安全規制の技術基盤を強化していくことにある。

### (3) 事業段階における地層科学研究の役割

原子力機構では、「原子力長計」等に示された研究開発の役割を踏まえ、「第2次取りまとめ」以降の事業段階における研究開発計画を策定し、平成13年に「高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の全体計画」<sup>6)</sup>(以下、「全体計画」)を公表した。「全体計画」では、「第2次取りまとめ」で示したわが国における地層処分の技術的信頼性をさらに向上させ、処分事業や安全規制を支える技術基盤を強化していくという観点から、「実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認」と「地層処分システムの長期挙動の理解」の二つの研究開発目標を設定した。これらの目標を達成するために原子力機構では、「深地層の科学研究」、「処分技術的信頼性向上」、「安全評価手法の高度化」という三つの分野について研究開発項目を設定し、それぞれの分野における研究開発課題を明らかにした。「深地層の科学研究」の分野では、①地質環境特性の調査・評価技術の開発、②地質環境の長期安定性に関する研究、③深地層における工学技術の基礎の開発という研究課題を設定し、東濃地科学センターおよび幌延深地層研究センターにおいて研究開発に取り組んでいる。

①地質環境特性の調査・評価技術の開発および、③深地層における工学技術の基礎の開発を進めるための中核となる深地層の研究施設計画については、第1段階である地表からの調査予測研究段階を終了し、研究坑道を掘削しながら調査研究を行う第2段階を進めている。NUMOが行う処分地選定のための調査は、最終処分法に基づいて、「文献調査」、「概要調査」、「精密調査(前段の地上からの精密調査と後段の地下施設を利用した精密調査)」と段階的に進められるが、深地層へのアプローチの方法としては、概ね深地層の研究施設計画における「第1段階」が「概要調査」と「地上からの精密調査」に、また、「第2段階」および「第3段階」が「地下施設を利用した精密調査」に対応すると考えられる。このうち、概要調査のための技術基盤は、「第2次取りまとめ」や「超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第1段階)研究成果報告書」<sup>7)</sup>などにより整備してきた。現在は、地下施設の設置を前提として行われる地上からの精密調査の技術基盤を整備していく観点から、深地層の研究施設計画の第2段階に得られる地質環境データに基づき、第1段階に構築した地質環境モデルの妥当性を確認すること等を通じて、地表からの調査技術やモデル化手法の妥当性を評価し、その信頼性を高めていく調査研究を進めている。

②地質環境の長期安定性に関する研究については、「第2次取りまとめ」では、関連する地球科学の分野に蓄積された情報や知見を分析するとともに、過去の天然現象に認められる傾向や規則性に基づき将来の活動の可能性や変動の規模などを検討し、地層処分に適した安定な地質環境が、わが国にも広く存在し得るとの見通しが得られた。また、その科学的根拠となる基盤情報として、活断層や第四紀火山、海成段丘の分布・形成年代等に関する全国レベルでのデータベースを整備し、文献調査の技術基盤の整備に寄与した。「第2次取りまとめ」以降の研究開発では、従来から進めてきた全国レベルでのデータの蓄積や個別現象・メカニズムの解明といった学術的な研究を継続する一方で、NUMOによる精密調査地区の選定や、国による安全規制に必要となる調査技術や評価手法の整備に重点をおいて研究を進めている。

### (4) 超深地層研究所計画の今後の予定

現在の原子力機構の中期計画では、超深地層研究所計画は平成21年度末に深度500m程度まで進めることとしている。一方で、改定された「基本方針」では、『研究開発機関は、最終処分の安全性、信頼

性について、分かりやすい情報発信に努めるとともに、深地層の研究施設等においては、当該研究施設や研究開発の内容の積極的な公開等を通じて、特定放射性廃棄物の最終処分に関する国民との相互理解促進に貢献していくことが重要である』とされている。「最終処分計画」では、精密調査地区選定期が平成 20 年代前半から平成 20 年代中頃に、処分施設建設地選定期が平成 30 年代後半から平成 40 年前後に変更された。また、これまでの瑞浪超深地層研究所における調査研究により得られた地質環境情報等から、深度 300m 付近は、調査研究の対象となる結晶質岩中に位置しており、深部と異なる地質条件(割れ目が多く湧水の可能性がある)を有していることが分かってきている。

以上のような「基本方針」と「最終処分計画」の改定、ならびに、これまでの調査研究で得られた成果を鑑みると、深度 300m に研究坑道を設置し調査研究を実施することにより、深部での調査研究の成果とあわせて技術の高度化が可能となること、研究の場を早期に確保し時間のかかる調査研究を進めることができること、研究の場を広く一般に公開することで地層処分の理解促進に貢献できることから、中期計画の達成を目指しつつ、平成 20 年度から深度 300m において調査研究用の水平の坑道を整備していくこととした。

## (5) まとめ

東濃地科学センターでは、処分事業と安全規制の両面を支える技術基盤を整備していくため、今後もニーズを的確に把握しつつ研究開発を着実に進めるとともに、研究開発成果のタイムリーな公表、施設の公開などを積極的に進め、地層処分に関する国民の理解促進に寄与していく考えである。

## 参考文献

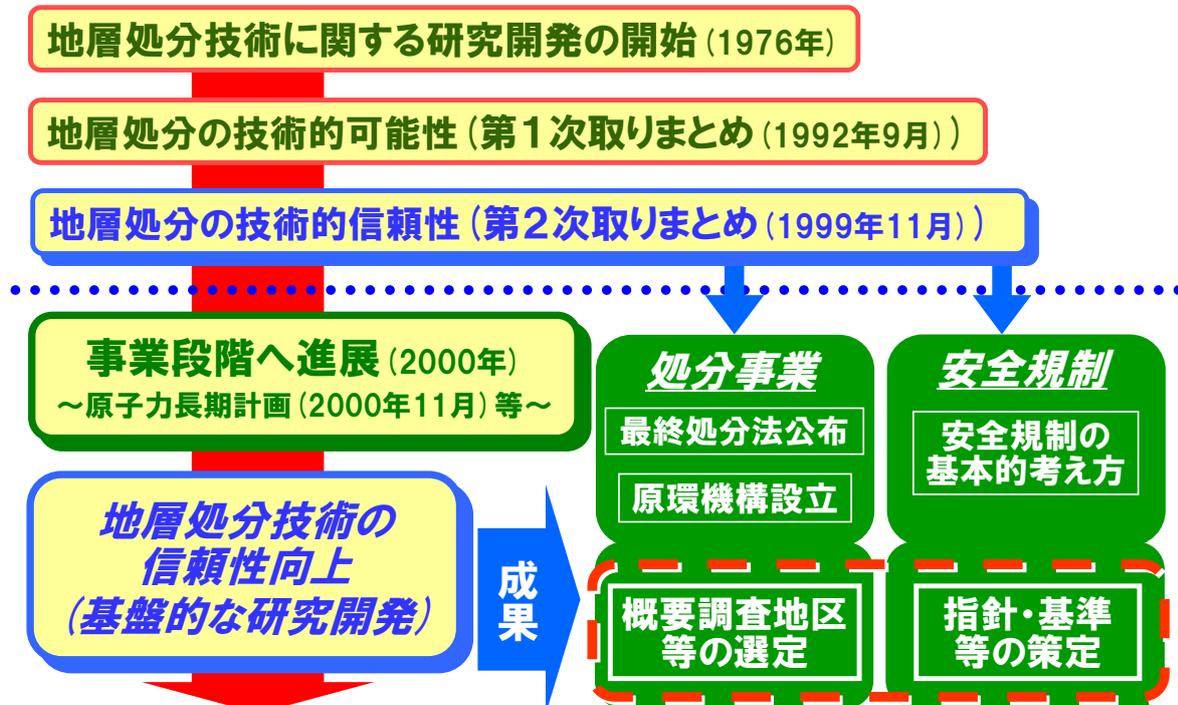
- 1) 核燃料サイクル開発機構(1999):“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－”, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN1410 99-020-024(1999).
- 2) 通商産業省(2000):“特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針を定めた件”, 平成 12 年 10 月 2 日, 通商産業省告示第 591 号.
- 3) 通商産業省(2000):“特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画を定めた件”, 平成 12 年 10 月 2 日, 通商産業省告示第 592 号.
- 4) 原子力委員会(2000):“原子力の研究, 開発及び利用に関する長期計画(平成 12 年度)”, 原子力委員会(2000).
- 5) 原子力委員会(2005):“原子力政策大綱”, 平成 17 年 10 月 11 日.
- 6) 核燃料サイクル開発機構研究開発課題評価委員会(2001):“平成 13 年度研究開発課題評価(中間評価)報告書 研究課題「高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発の全体計画」”, JNC TN1440 2001-008.
- 7) 日本原子力研究開発機構(2007):“超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第 1 段階)研究成果報告書”, JAEA-Research 2007-043.

「地層処分技術に関する研究開発」における  
地層科学研究の役割および  
超深地層研究所計画の今後の予定  
今年度発表内容の紹介

平成20年10月16日

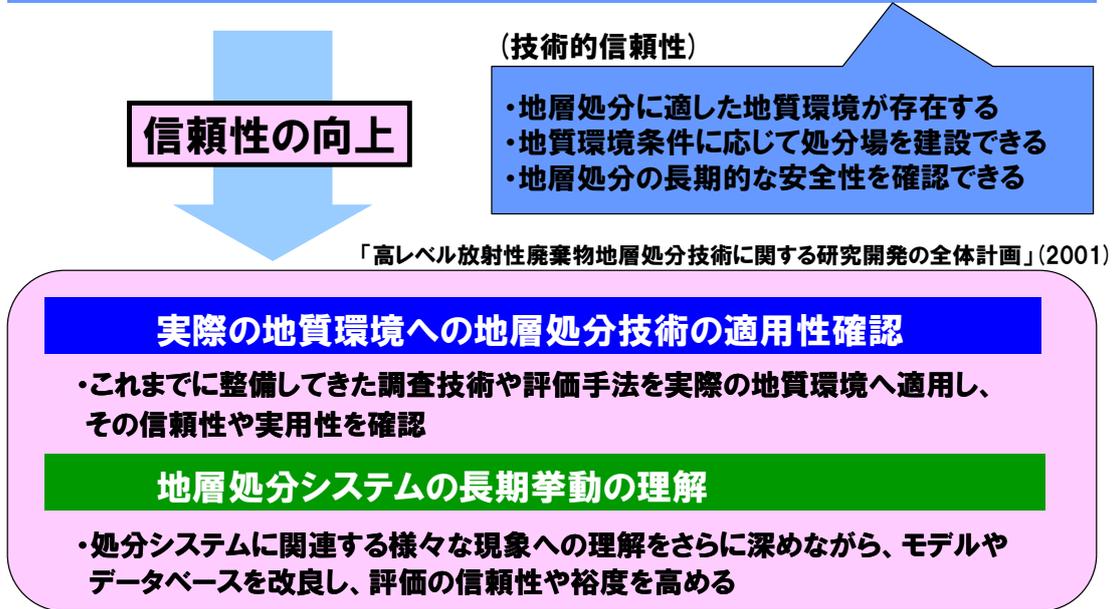
東濃地科学研究ユニット  
杉原 弘造

「地層処分技術に関する研究開発」の経緯と展開

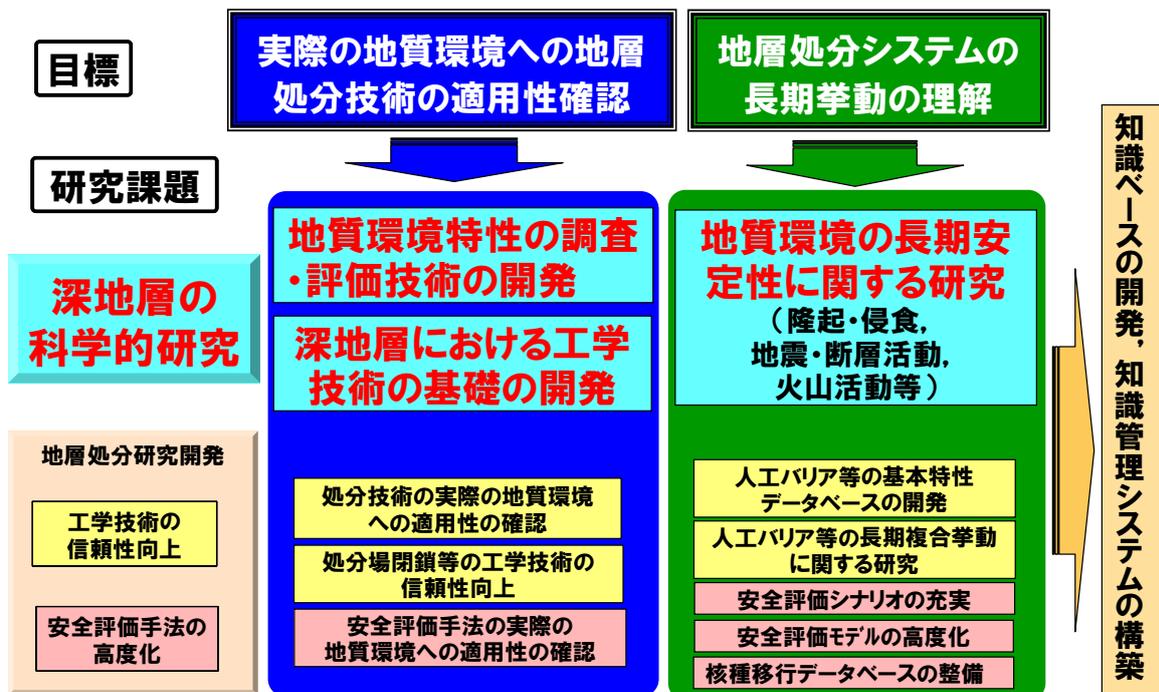


## 第2次取りまとめ以降の研究開発

### 第2次取りまとめ:わが国における地層処分の成立性を提示



## 事業段階における地層科学研究の役割

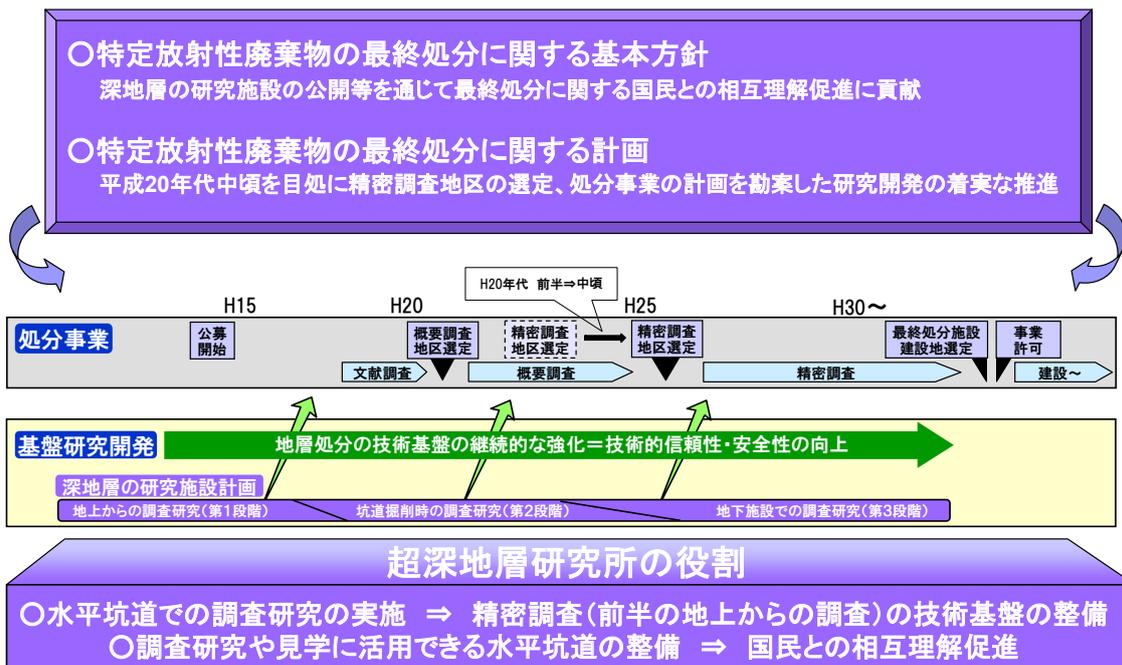


# 各研究開発施設における役割



# 超深地層研究所計画の今後の予定

一国による最終処分に関する基本方針・計画の改定を踏まえて

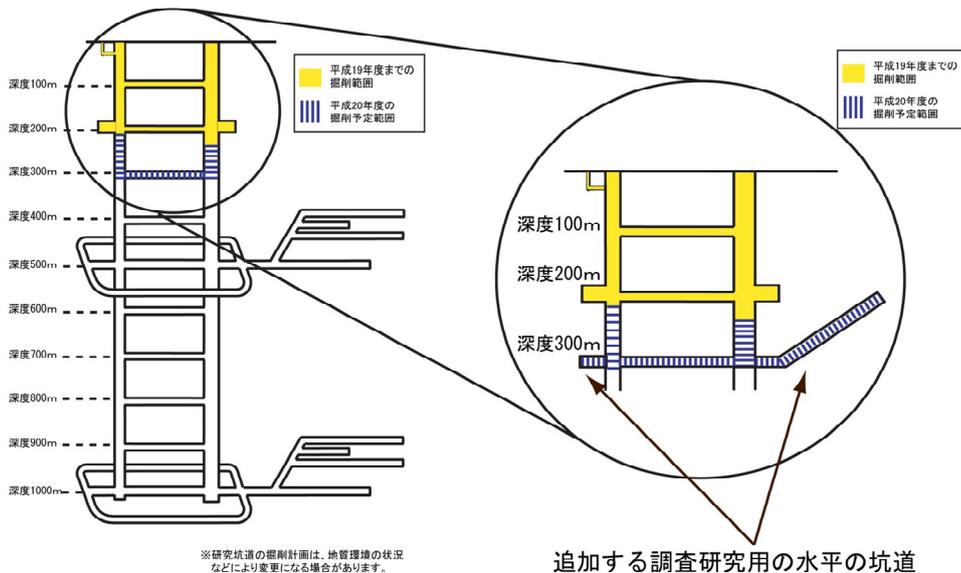


## 超深地層研究所計画の今後の予定 平成20年度事業計画を一部変更

### 深度300mに調査研究用の水平の坑道を設置

(平成20年度当初説明)

(変更後)



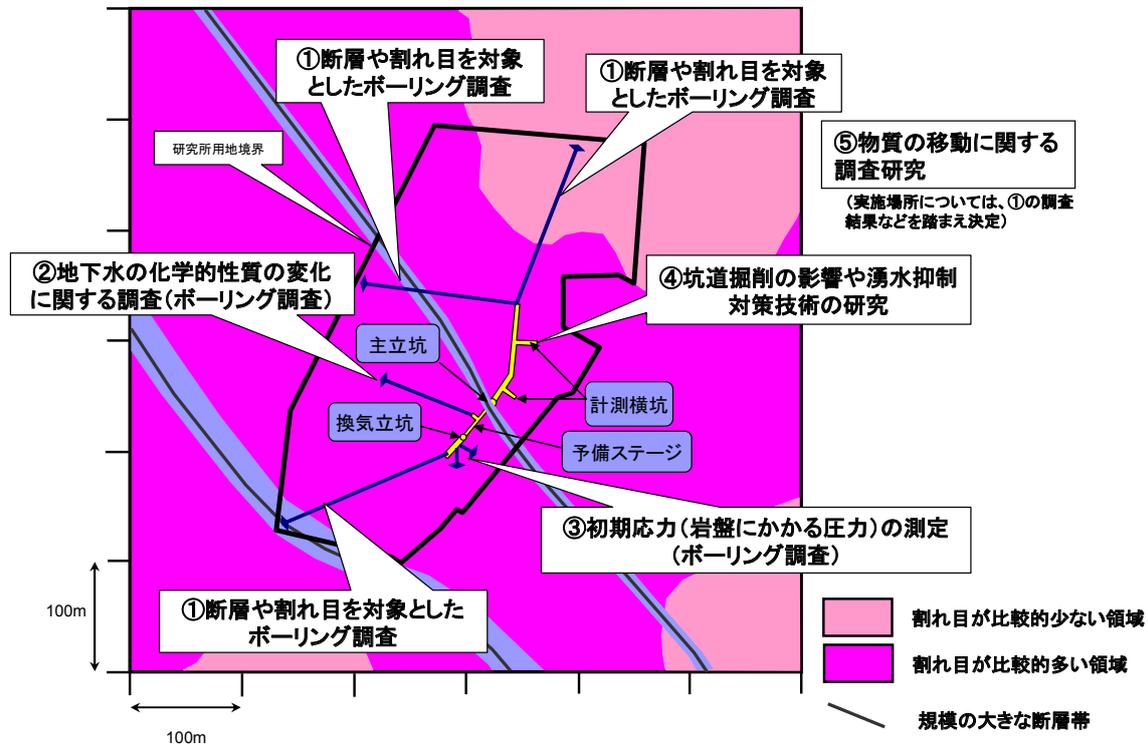
## 超深地層研究所計画の今後の予定 深度300mでの調査研究の必要性

### 深度300m付近の地質の状況や利点を踏まえ、 深度300mに調査研究用の水平の坑道を設置する

- 深度300m付近は深部と異なる地質条件(割れ目が多く湧水の可能性がある)を有していることが分かってきており、この深度で調査研究を実施することにより、深部での調査研究の成果と合わせ、技術の高度化が可能となること。
- 水平坑道を利用した研究の場を早期に確保し公開することにより、国民との相互理解の促進に一層貢献できること。

# 超深地層研究所計画の今後の予定

## 深度300mでの調査研究



## 研究開発成果の情報発信・理解促進・国際貢献

- 学会等における口頭発表(約70件), 論文投稿(約20件)  
日本原子力学会, 土木学会, 日本応用地質学会, 日本地下水学会, 他
- 原子力機構・研究開発報告書類の刊行(約20件)



- 東濃地科学センター 地層科学研究  
情報・意見交換会(毎年1回)



- 見学者の受入れ  
平成19年度: 3,360名、平成19年10月: 見学者数1万人突破(H14年度より)
- 学習施設としての研究施設の活用  
スーパーサイエンスハイスクールへの協力、サイエンスキャンプの実施
- 国際貢献  
韓国原子力研究所からの研究員受入れ(H19年12月~H20年3月)

### 3.1.2 「地質環境の長期安定性に関する研究」の成果と反映

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  
 東濃地科学研究ユニット 自然事象研究グループ  
 野原 壯

#### (1) はじめに

変動帯に位置する我が国において、地層処分の安全性を確保するためには、既知の活断層や火山等の地殻変動による顕著な影響を避けてサイトを選定することが前提となる。さらに、地層処分においては、長期間の安全性の確保が求められるため、地下深部における地質環境の長期的な安定性の評価に関する不確実性の低減が重要な課題となっている。

上記の課題に対して、機構は、「地質環境の長期安定性に関する研究」として、地下深部の地質環境に影響を及ぼす可能性のある地震・断層活動、火山・熱水活動、隆起・侵食/気候・海水準変動などの天然現象を対象として、最新の知見を踏まえた調査技術の高度化と、体系的な調査評価技術に関する研究を実施している。

#### (2) これまでの研究成果の概要

本研究では、地上からの調査の段階において考慮すべき天然現象の存在やその履歴とそれらの影響を把握するための調査・評価技術について、事例研究による精度の確認を主な目標としている。本稿では、平成 19 年度までに実施した体系的な調査評価技術に関する事例研究の成果と、年代測定技術開発の現状を報告する。

##### ① 事例研究

横手盆地東縁断層帯における研究では、変動地形調査、地質・地質構造調査、弾性波探査、ボーリング調査に、バランス断面法を用いた解析を組合せ、逆断層帯の分布と、地質構造および地形の過去百万年間程度の変化課程を把握する一連の手法を示した<sup>1)</sup>。また、断層破碎帯の流体移行経路としての特徴を把握するため、断層構造の研究と並行して、断層ガスの調査技術開発を実施している。これまでに、断層水素ガスの原位置測定技術を考案し<sup>2)</sup>、断層構造の不均質性および断層の走向と断層水素ガス放出量との関係を見いだした。

マグマや深部流体の存否を把握するための調査技術として、飯豊・朝日山地や能登半島等の事例研究を通じて、地震波トモグラフィー、MT 法、温泉ガスの希ガス同位体測定等の手法を組合わせた総合的なアプローチを提示した<sup>3)</sup>。MT 法については、見掛比抵抗と位相差の離散関係を考慮した観測データの自動スタッキング法<sup>4)</sup>を開発し、深部比抵抗構造の探査精度の向上を図った。

隆起・侵食/気候・海水準変動については、東濃地域における事例研究により、古気候の復元<sup>5)</sup>と、地質を考慮した地形変化シミュレーション<sup>6)</sup>を実施している。

##### ② 年代測定技術開発

機構では、タンデム型加速器質量分析計(ペルトロン)を用いた年代測定技術の開発や、比較的低温領域(～100℃)の熱履歴の解析手法である(U-Th)/He年代測定システムの開発<sup>7)</sup>を行っている。過去6万年程度までの地下水年代測定技術については、ペルトロンによる炭素同位体年代測定法を用いて、地質調査、試料採取、前処理、測定および解析までの一連の調査測定技術の研究を行っている<sup>8)</sup>。

### (3) 今後の研究の進め方

事例研究の当面の目標は、体系的な調査評価技術の精度の確認である。これについては、年代測定技術開発の成果を活用した体系的な調査評価技術について検討し、事例研究を通じてその適用を図る。年代測定技術開発のうち、(U-Th)/He 年代測定システムについては、事例研究への適用が当面の目標である。ペレットによるベリリウム年代測定技術については、実試料の測定手法の整備と並行して適用事例の提示を目指す。また、炭素同位体年代測定に関しては、事例調査を通じて、地下水試料並びに固体試料の品質管理を考慮した地質調査、試料採取、前処理および測定、解析までの一連の調査測定技術として情報を蓄積し、その精度の確認を図っていく。

### 参考文献

- 1) 楮原ほか(2006)横手盆地東縁断層帯・千屋断層の形成過程と千屋丘陵の活構造, 地学雑誌, 115, pp.691-714.
- 2) Shimada et al. (2008) Rapid and simple measurement of H<sub>2</sub> emission from active faults using compact sampling equipments, Resource Geology, 58, pp.196-202.
- 3) Umeda et al. (2007) Multiple lines of evidence for crustal magma storage beneath the Mesozoic crystalline lide Mountains, northeast Japan, J. Geophys. Res., 112, B05207, doi:10.1029/2006JB004590.
- 4) 根木ほか(2005)MT 法データの信頼性評価に関する一考察, 物理探査学会学術講演会講演論文集, 112, pp.223-226.
- 5) 三箇・安江(2008)河床縦断形のシミュレーション, 地形, 29, 1, pp.27-49.
- 6) 佐々木ほか(2006)東濃地方内陸小盆地堆積物の分析による過去 30 万年間の古気候変動, 第四紀研究, 45, 4, pp.275-286.
- 7) Yamada et al. (2008) New (U-Th)/He dating systems and ages in Japan Atomic Energy Agency, Geochim. Cosmochim. Acta, 72, p.A1050.
- 8) Iwatsuki et al. (2005) Hydrochemical baseline condition of groundwater at the Mizunami underground research laboratory (MIU), Applied Geochemistry, 20, pp.2283-2302.

# 「地質環境の長期安定性に関する研究」 の成果と反映

平成20年10月16日

東濃地科学研究ユニット  
自然事象研究グループ  
野原 壯

## 特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律

### 概要調査地区の選定

地震等の自然現象等について文献調査を行い、調査を行った地区の中から以下の要件に基づき概要調査地区を選定。

- ・ 自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと
- ・ 将来にわたって、自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること

### 精密調査地区の選定

最終処分を行おうとする地層及びその周辺の地層において自然現象の変動や構成する岩石の種類および性状等についてボーリング等を行い、精密調査地区を選定。

- ・ 対象地層等において自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていないこと
- ・ 活断層、破碎帯又は地下水の水流があるときは、これらが坑道その他の地下の施設に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれること

## 地質環境の長期安定性に関する研究の目標と課題

(活断層、火山・熱水活動、隆起・侵食等に関する研究)

### ① 調査技術の開発・体系化

天然現象に関する過去の記録や現在の状況を調査するための体系的な技術の整備

→サイトの選定や安全性の検討に必要なデータの取得

- 活断層に関する調査技術
- 地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術
- 火山・熱水活動履歴の調査技術
- 古地形・古気候の復元技術 等

### ② 長期予測・影響評価モデルの開発

将来の天然現象に伴う地質環境条件(熱, 水理, 力学, 地球化学等)の変化を予測・評価するための手法の整備

→天然現象による影響を考慮した安全評価への反映

- 断層活動の影響評価モデルの開発
- 火山活動等の長期予測(確率)モデルの開発
- 熱水活動等の影響評価モデルの開発
- 三次元地形変化モデルの開発 等

- 分析技術開発(共通基盤技術の整備)

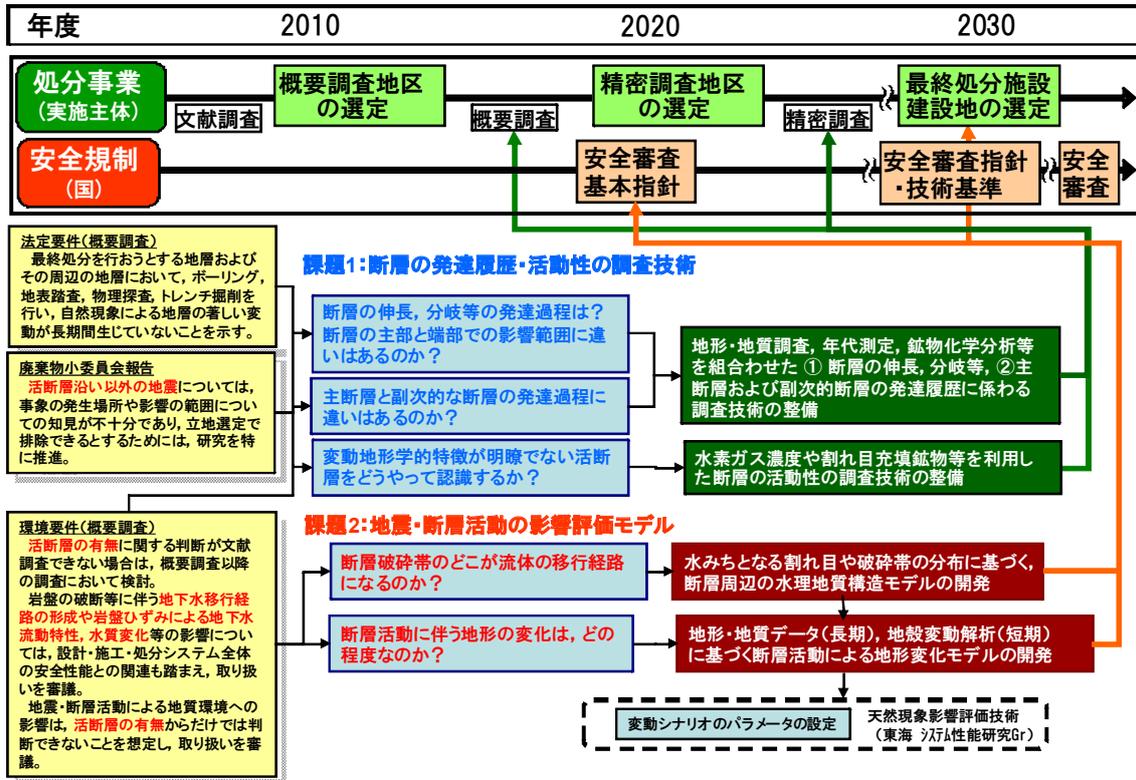
→ 本日、午後の報告

(「高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画」より抜粋)

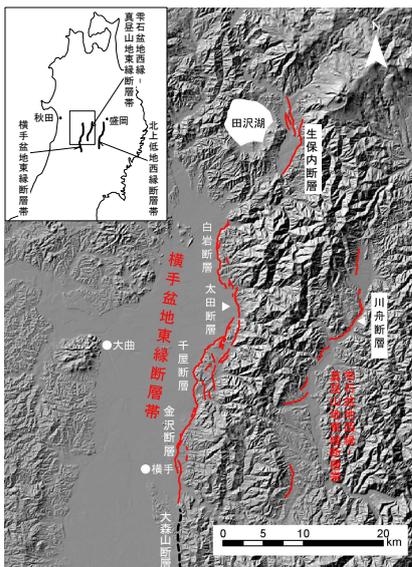
## 本日の報告内容

1. 研究の目標と課題
2. 研究の現状と成果の反映先
3. まとめ

# 活断層に関する研究

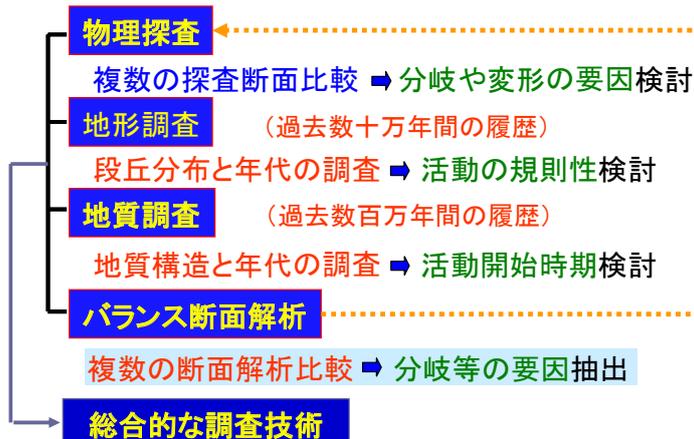


## 断層の発達履歴・活動性の調査技術



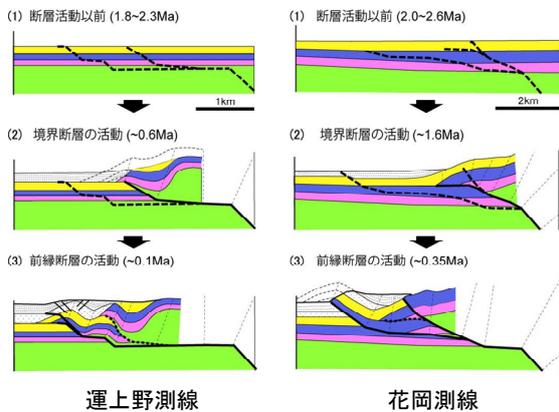
### 逆断層帯の将来の分岐の範囲は？

過去の発達課程を把握、分岐等の幅と要因を検討



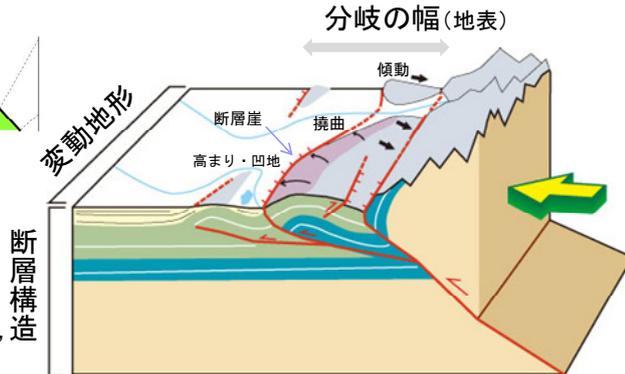
活断層の分布に加えて、変動地形と断層構造の発達過程を詳細に調査

## 断層の発達履歴・活動性の調査技術



逆断層帯の将来の分岐の範囲は？

逆断層の変動地形と断層構造のイメージ



横手盆地東縁断層帯の  
バランス断面図

椿原ほか (2006)

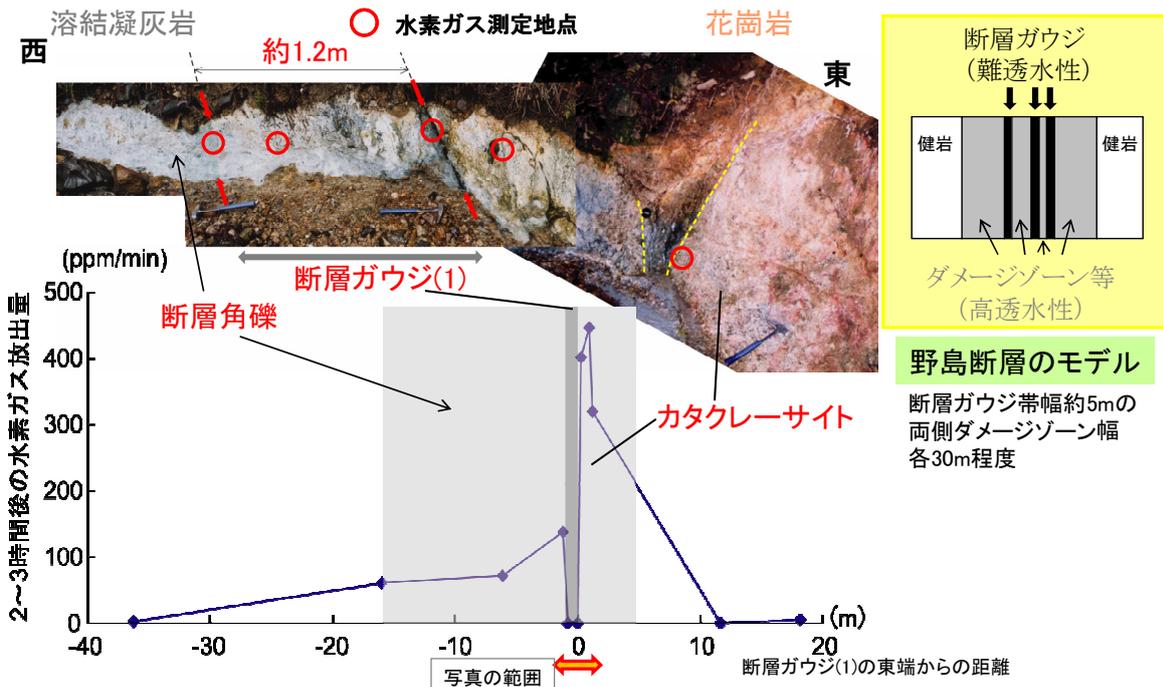
分岐断層の発達には、下盤側の堆積条件、造層内すべりの生じやすさと深さに関係

➤ 逆断層帯の分岐断層の発達履歴について、変動地形調査や物理探査等とバランス断面解析を組合せた調査技術を提示

## 断層活動の影響評価モデル

横ずれ断層の主な移行経路の分布は？

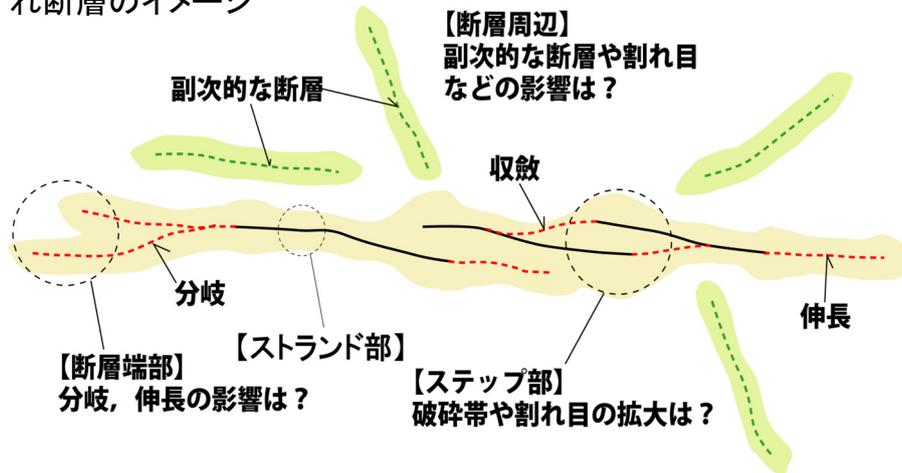
### 阿寺断層の水素ガス測定



## 断層活動の影響評価モデル

横ずれ断層の主な移行経路の分布は？

横ずれ断層のイメージ

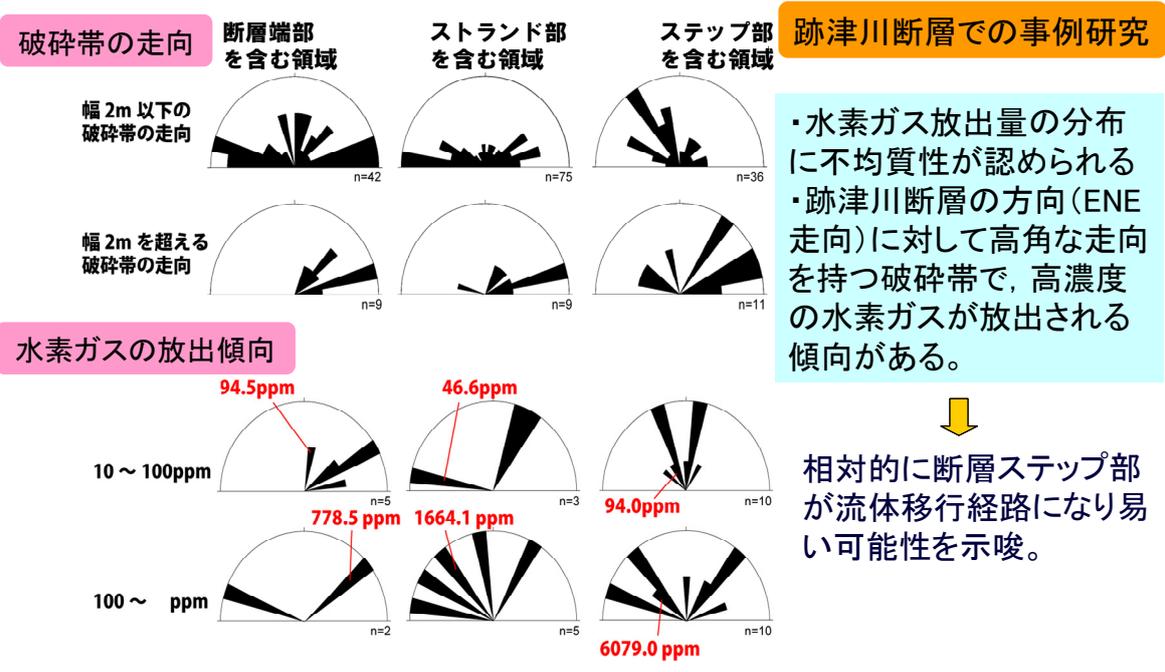


断層の構造は一般に不均質  
(母岩の不均質性や断層帯の発達史を反映)

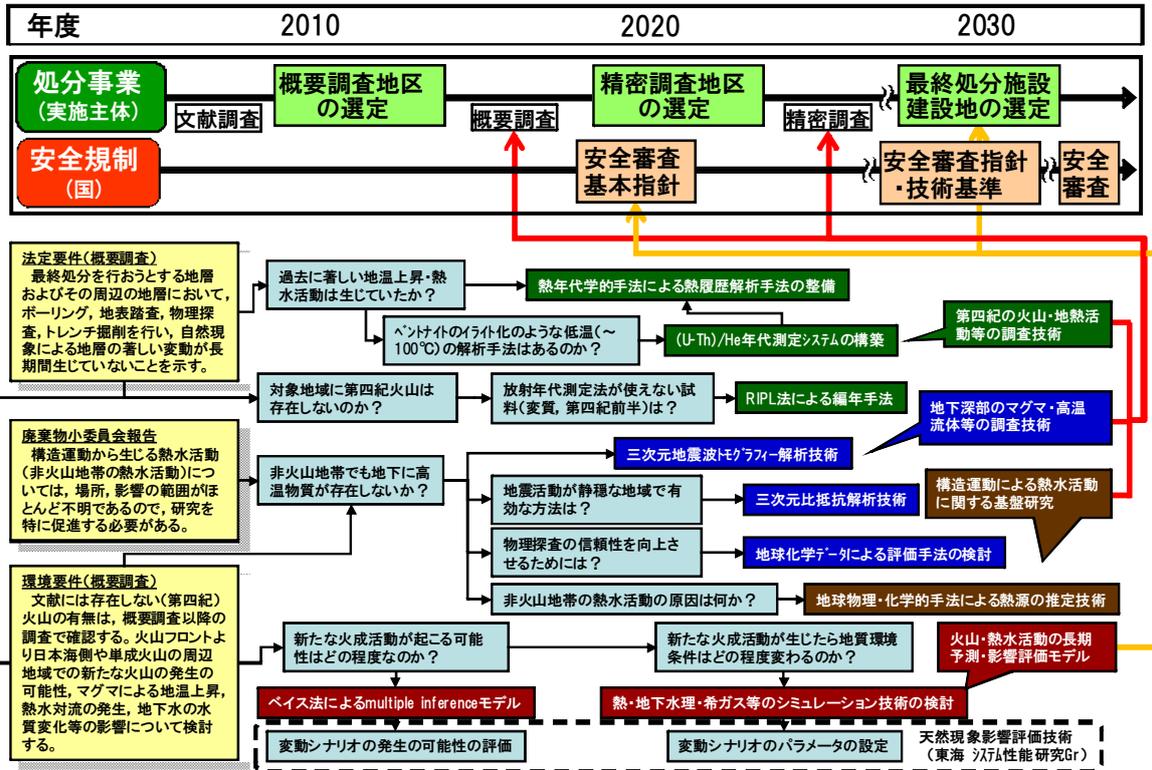
割れ目や破碎帯の分布に基づく  
破碎帯の水理地質構造モデル

## 断層活動の影響評価モデル

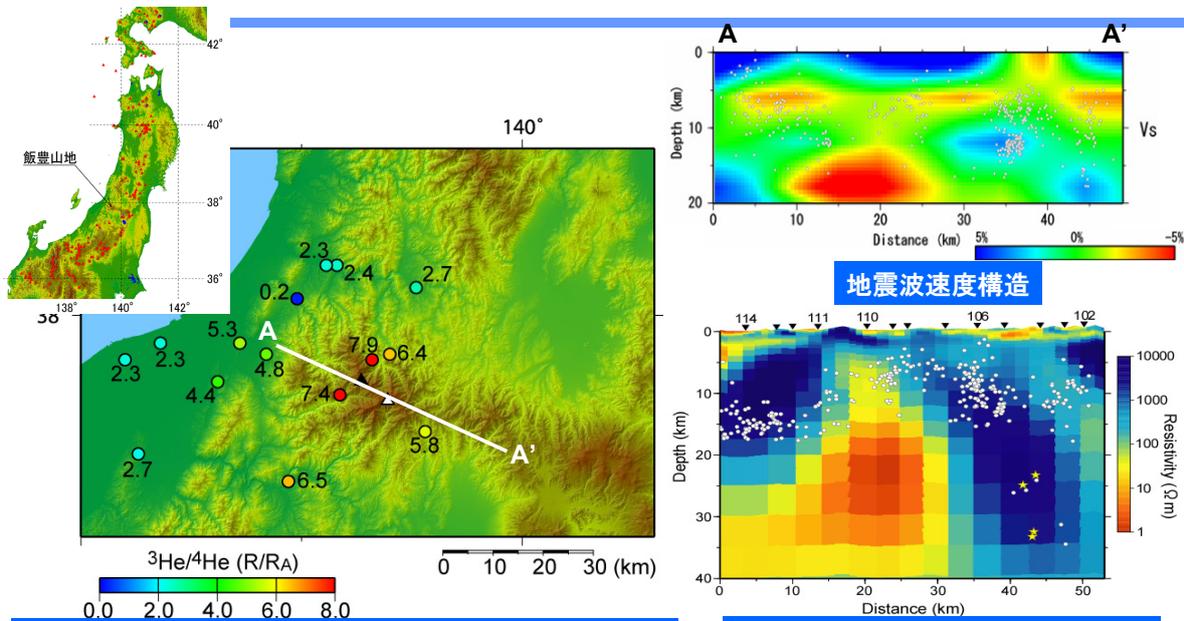
横ずれ断層の主な移行経路の分布は？



# 火山・地熱活動に関する研究



## 地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術



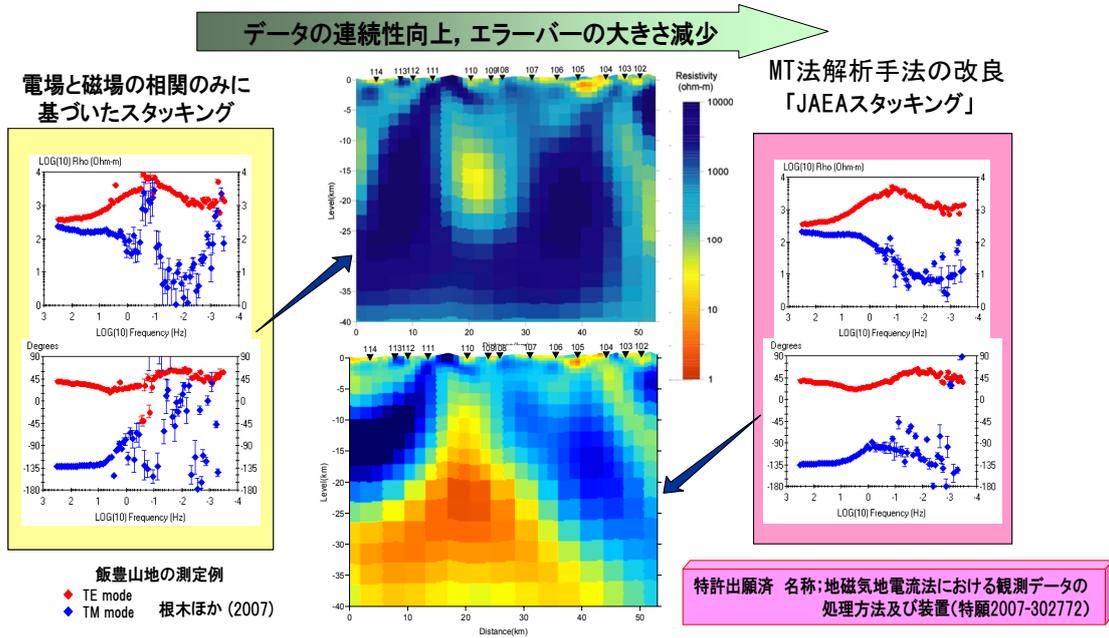
温泉ガスの $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比( $R_A$ )の分布(Umeda et al., 2007)

深部比抵抗構造(Umeda et al., 2006)

### 結論

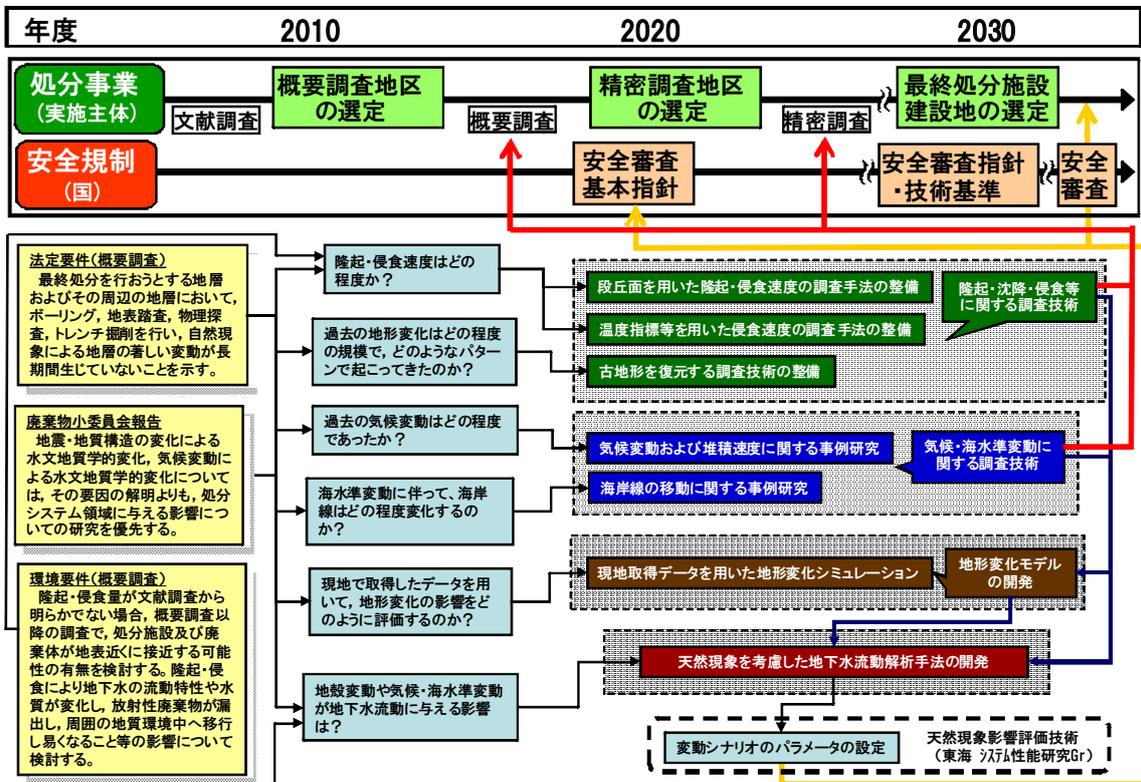
2つの構造探査結果と温泉ガス調査結果はいずれも地下深部の高温流体の存在を示す。地質学, 地球物理学, 地球化学的手法を用いた総合的なアプローチを用いて、活火山のない地域の地下のマグマの存否が把握できることを確認した。

# 地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術

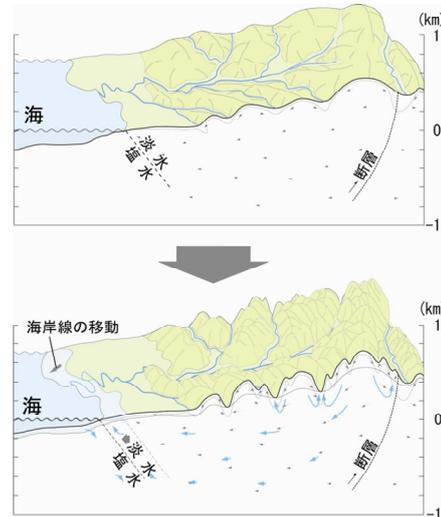
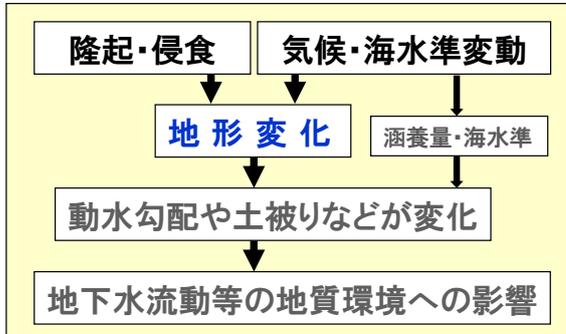


➤ 見掛け抵抗と位相差の相関, 曲線の不連続性等に基づく加重スタッキング法(JAEAスタッキング)を開発し, MT法による比抵抗構造解析技術の高度化を図った。

# 隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究 JAEA 14



# 隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究



## 将来の地形変化を予測するために

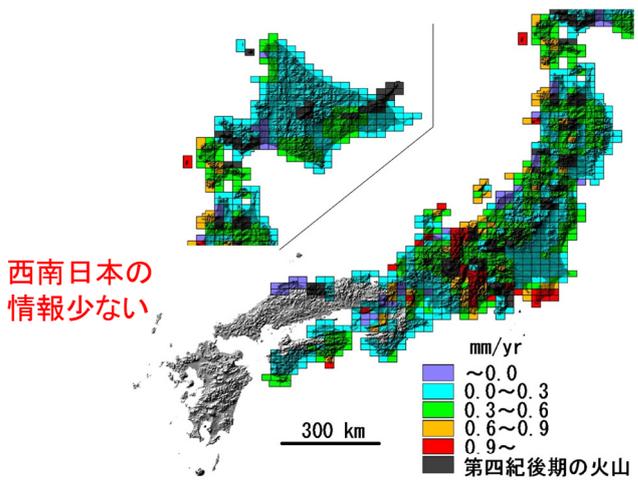
1. 現在の地形・地形変化の理解: **現象の理解**
2. 過去から現在までの変化の解明: **重要現象の整理**  
(地形変化モデルの構築)
3. 以上に基づき将来を予測: **将来予測**

# 隆起・侵食等の調査技術

概要調査においては、対象となる地域及びその周辺の隆起量・侵食量を確認

段丘を用いた隆起量の調査手法  
・海岸部:海成段丘  
・内陸部:河成段丘(TT法)

調査手法の適用性確認とくに、内陸部のTT法の適用性を確認



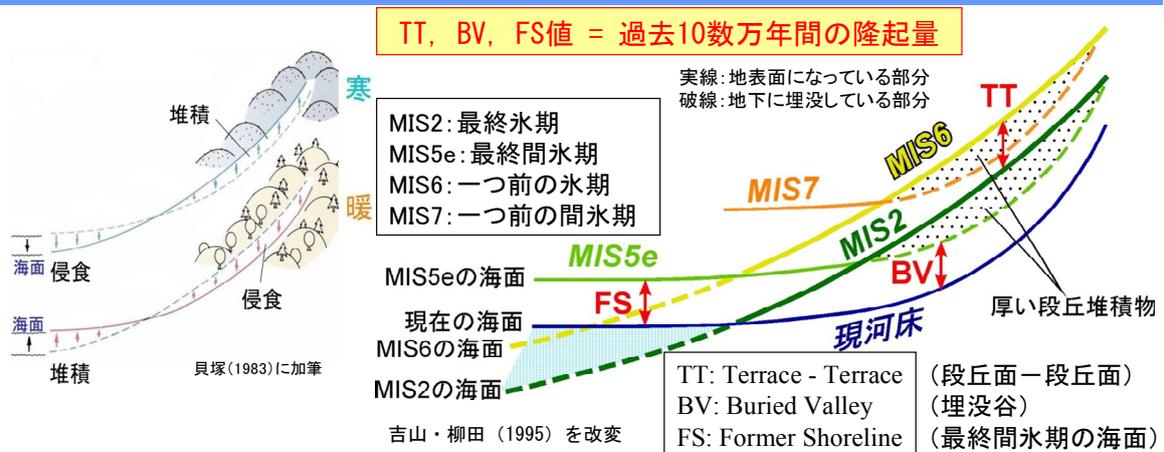
主に東日本における最近約10万年間の隆起速度分布図

**TT法とは**  
同様な気候・海水準では、よく似た河床形態が形成される可能性が高いことから、形成時期の異なる段丘面の比高差を隆起量と仮定する手法。



河成段丘 貝塚(1983)

## 隆起・侵食等の調査技術



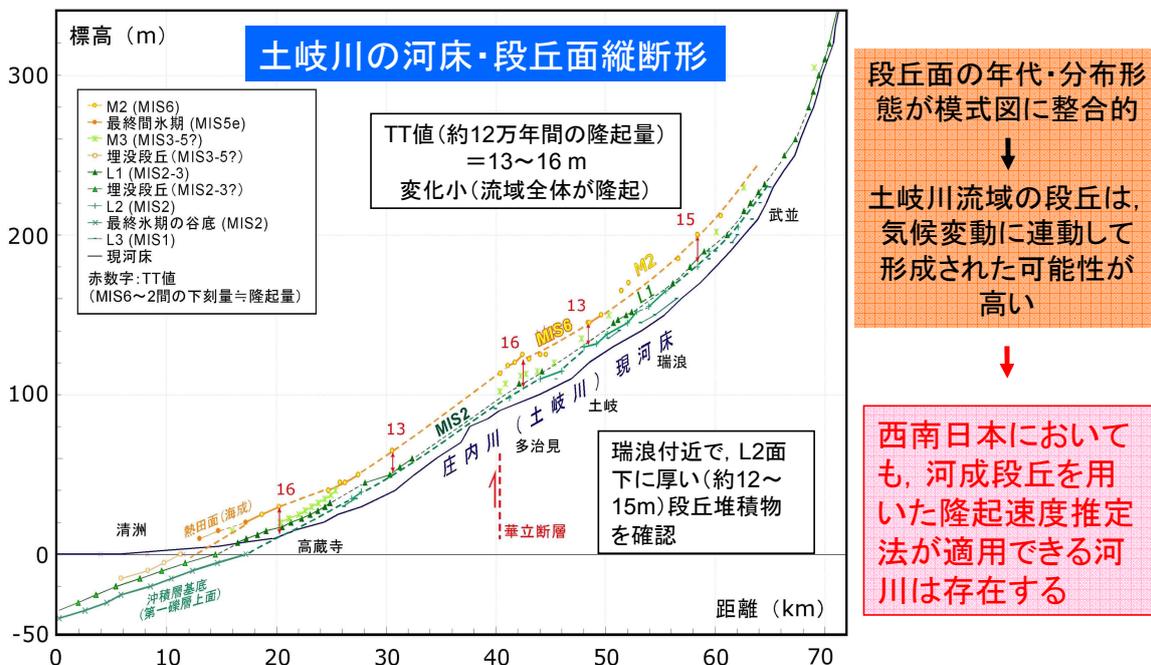
### 河床縦断形の比高から隆起速度を推定する方法の模式図

**TT法の主な課題**

- ・河岸段丘形成モデルの検証(堆積年代と当時の気候の解明)
- ・西南日本での適用可能性の検討

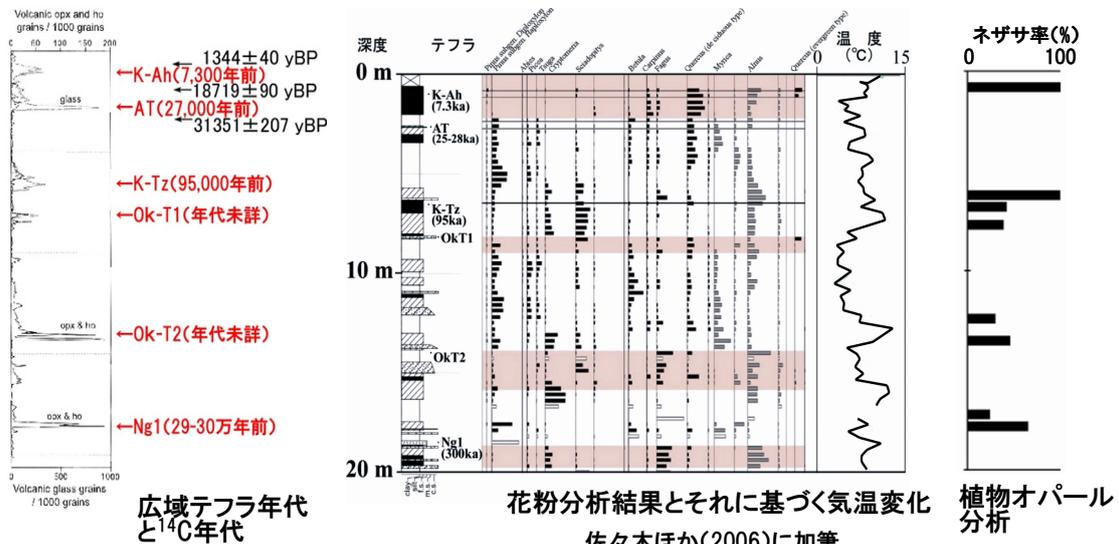
上記課題に対し、鎚川・土岐川を事例とした段丘分布の調査、ボーリング、C-14年代測定、火山灰分析、花粉分析等を実施

## 隆起・侵食等の調査技術

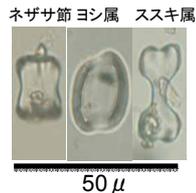


# 隆起・侵食等の調査技術

—東濃大湫盆地における堆積物の年代と当時の気候—

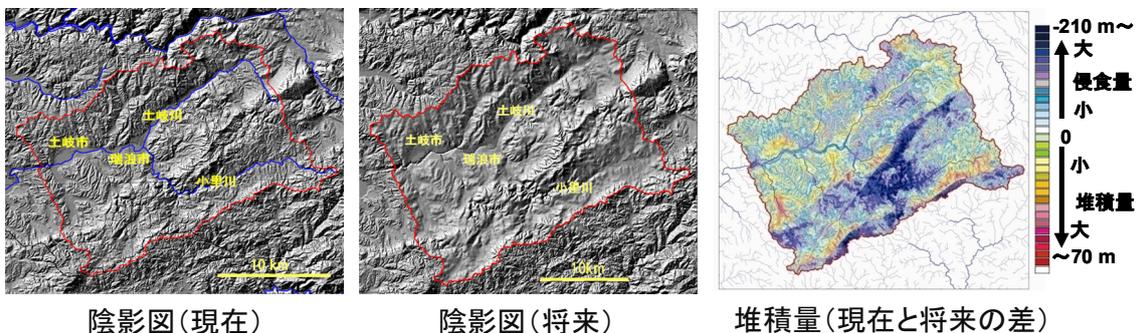
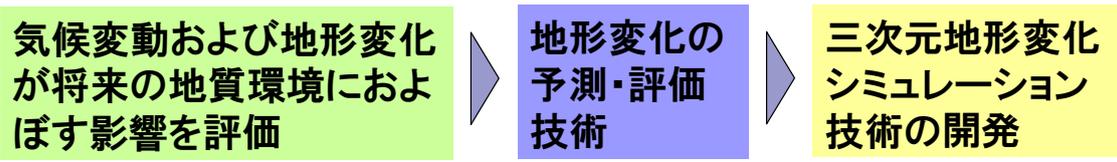


- 堆積物の年代を同定するために、多量屈折率測定地質解析法 (RIPL法) を実用化した。
- 花粉を用いたモダンアナログ法と植物オパール分析による古気候復元の技術を整備した。



# 地形変化モデルの開発

## 基本プログラムの開発

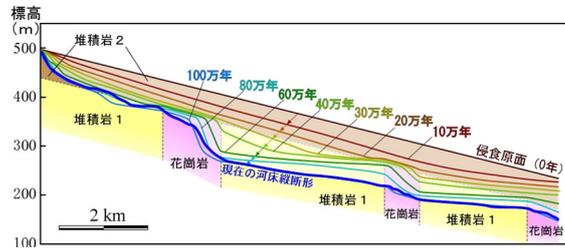


## 地形変化シミュレーションの結果の例

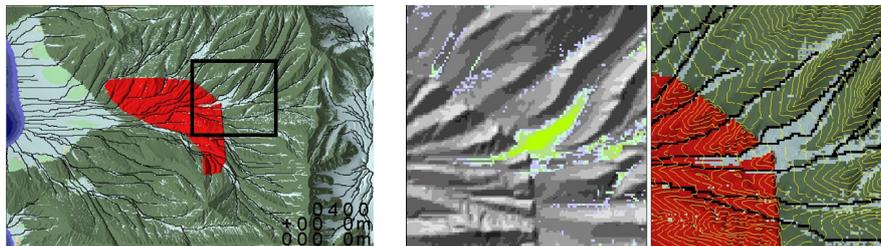
- 拡散理論に基づき、地形変化を三次元でシミュレートする基本プログラムを整備

# 地形変化モデルの開発

## 主な入力パラメータとその現地調査手法の検討



地質を考慮した河床縦断形変化のシミュレーション

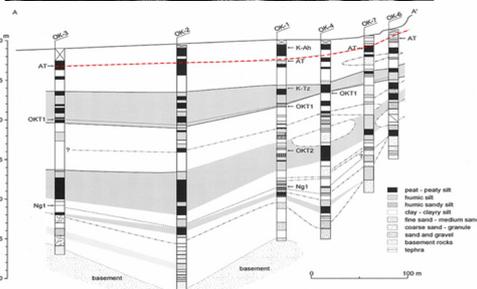
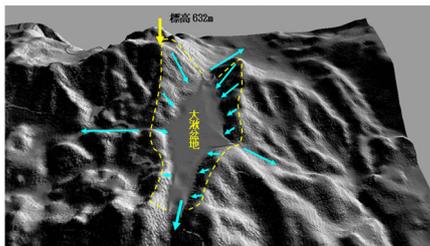


地質分布を考慮した地形変化シミュレーション結果

➤ 実際の地形変化速度のパラメータと、それを取得するための調査技術を検討中

# 地形変化モデルの開発

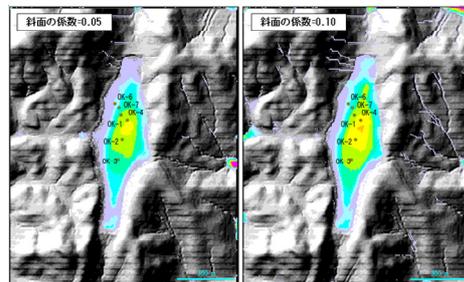
## 主な入力パラメータとその現地調査手法の検討



大湫盆地の鳥瞰図と堆積物の分布

AT以降の堆積物の堆積速度  
約 2m/25,000 年=0.08 mm/yr      AT: 始良丹沢火山灰

NO	AT の深度 (m)	斜面の係数(SLP)				
		0.05	0.06	0.10	0.20	0.40
OK-6	0.84	0.66	<b>0.72</b>	0.90	1.34	2.68
OK-7	1.22	1.22	<b>1.26</b>	1.54	2.20	3.64
OK-4	1.78	2.02	<b>2.10</b>	2.38	3.00	4.22
OK-1	2.65	2.42	<b>2.56</b>	2.78	3.46	4.60
OK-2	2.40	2.38	<b>2.46</b>	2.76	3.36	4.58
OK-3	2.25	1.86	<b>1.96</b>	2.22	2.84	4.06
回帰直線の傾き		0.9458	<b>0.9901</b>	1.1142	1.4122	2.046



シミュレーション結果

AT 以降の堆積厚から斜面係数を推定  
山地斜面の侵食速度は 0.02~0.04 mm/yr  
斜面の係数は 0.06 程度

➤ 閉鎖的盆地の堆積物調査が、侵食速度主要パラメータの取得・確認手法として有効

## 隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究

隆起・沈降運動と地形(沿岸域～上流域)を考慮した分類のイメージ

	沿岸～下流域		中流域	上流域
	沿岸域の海底が緩勾配	沿岸域の海底が急勾配		
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)			

➤ 現在の地形形成条件に基づいて調査地域を分類し、地域ごとの特徴を考慮した適切な調査技術の組み合わせの提示を検討中

## まとめ

- 国の基盤研究開発の全体目標の達成に向け、最新の知見を踏まえた調査技術の高度化と、体系的な調査評価技術に関する研究を実施中
- 非火山地帯におけるマグマや深部流体の存否を調査する技術を開発
- 地形や地質構造の長期的変化に関する調査技術の開発を事例として進めた
- 事例調査結果を踏まえたシミュレーションについて検討を開始
- 過去数十万年間の履歴の解明に向けた年代測定技術開発を実施中

なお、分析技術開発については、本日午後に報告いたします。

### 3.1.3 超深地層研究所計画「研究坑道の掘削を伴う研究段階」の成果と反映

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

東濃地科学研究ユニット 結晶質岩地質環境研究グループ

濱 克宏

#### (1) はじめに

超深地層研究所計画の研究坑道の掘削を伴う研究段階（第2段階）では、

- ①研究坑道の掘削を伴う調査・研究による地質環境モデルの更新および掘削に伴う深部地質環境の変化の把握、
  - ②研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術の有効性の確認、
  - ③研究坑道を利用した研究段階（第3段階）の調査・研究計画の策定、
- を段階目標としている<sup>1)</sup>。これらの目標を果たすために、研究坑道の掘削に伴って取得する地質環境情報に基づき第1段階の地質環境モデルの妥当性を確認するとともに、一連の調査・解析手法の有効性を確認してきている。さらに、研究坑道の掘削において既存あるいは新たに開発した工学技術を適用し、工学技術の有効性を確認してきた。

これらの研究開発や技術開発の成果については、報告書<sup>2)</sup>や論文<sup>3)</sup>などで公表している。例えば、立坑掘削時の発破振動やボーリング掘削時の振動を利用した逆VSP探査により、地下深部の不連続構造の分布を、地上からの調査と比較して、より詳細に推定可能であることを確認している。また、研究坑道の掘削やボーリング孔掘削などの作業に伴う水圧変化が、研究所周辺の観測孔において観測され、その水圧の変動量と水圧応答の傾向がNNW断層の北東側と南西側で異なっていた。このことは、第1段階調査研究によりNNW断層が低透水性であると推定した結果を支持している。このように、第2段階の調査研究により、第1段階の調査研究において適用した調査やモデル化手法の妥当性の検討や、第2段階の調査研究で適用した調査手法の適用性の確認を行っている。

上述の研究の成果には、地質環境調査手法の適用性の検討結果に関するもの、モデル化・解析手法の検討結果に関するものなどがあり、これらは地層処分におけるサイト特性調査の実施や、調査・解析結果の品質管理に活用できると考えられる。しかし、これらの成果を活用する際には、研究対象とする地質環境が異なると適用できないものがあることや、調査や解析の実施に係る制約条件（工期、予算、用地の制限、人的資源、研究設備など）があることを考慮する必要がある。さらに、調査や解析の実施時の専門家の判断（エキスパートジャッジメント）については、その結果は報告書などに記述されるものの、理由や根拠が明確には記述されていないことがあるため、調査担当者や研究者の経験や知識としてしか蓄えられることができない。これらの経験や知識をできるだけ汎用性のある形で整理し表出化することは、解析などの結果の信頼性を高める上で有効であるだけでなく、例えば、地層処分事業の実施主体などの調査担当者が地質環境調査を実施する際に、判断が必要なケースにおいて、参考にできる成果になると考えられる。このような考え方で、第2段階に加えて、第1段階で実施した調査や解析について、上述のような経験や知識を表出化させることを開始した。

## (2) 実施方針

この検討では、対象とする分野の専門家はもちろんのこと、当該分野の専門家以外の研究者にも活用できるように、判断の流れを“もし～であれば、～する。”の形式（if-then 形式）のルールで整理し、これに基づきエキスパートシステム（ES: Expert System）を構築する方針としている。ES とは、出発地から目的地まで到達する経路を提案してくれるシステムのように、使用者が入力する条件に応じて、調査や解析などのタスクの実施方法の提案や判断の支援を行ってくれるものである。

これまでに、以下の 7 種類の ES を構築している。

- ・ 孔壁画像調査方法選択支援 ES
- ・ ボーリング掘削計画概要図作成支援 ES
- ・ シーケンシャル水理試験実施支援 ES
- ・ 地下水流動場の理解支援ファジーES
- ・ 水質データの品質評価 ES
- ・ 水質形成プロセスモデル化支援 ES
- ・ 掘削水トレーサ選定支援 ES

例えば、水質形成プロセスモデル化支援 ES は、使用者が所有する地下水水質および岩石・鉱物データセットを基にして、この ES に示される手順で解析を行うことにより、地下水の酸化還元条件を支配する主要な地下水-岩石反応の抽出を支援するものである。

これまでの検討の結果、エキスパートジャッジメントも if-then 形式のルールとして表現できることがわかり、このような方法で知識と経験を整理していくことにより、次世代またはそれ以降の世代にまで知識などを引き継ぐことが可能であると考えられる。

地層処分のような数十年から数百年にわたる事業では、このような方法による知識の管理が有効であると考えられ、超深地層研究所計画を進めつつ、地質環境調査の計画立案、調査の実施やモデル化・解析に関する知識や経験を蓄積し、上述のような知識管理の体系を整備していくことは、我々の研究成果を地層処分事業や規制に反映する有効な方法の 1 つであると考えられる。

なお、本報で述べた ES 構築に関わる検討については、経済産業省からの受託研究「地質環境総合評価技術高度化開発」の成果の一部を活用した。

## 参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構：超深地層研究所計画 地層科学研究基本計画，JNC TN7410 2001-018 (2002).
- 2) (編) 西尾和久・弥富洋介・尾方伸久：「平成 18 年度東濃地科学センター地層科学研究情報・意見交換会」資料集，JAEA-Review 2008-010 (2008).
- 3) 例えば，岩月輝希・天野由記・井岡聖一郎・三枝博光・竹内竜史：大規模地下施設建設に伴う周辺地下水環境の変化，日本原子力学会和文論文誌，Vol. 6, No. 1, pp. 73-84 (2007).

## 超深地層研究所計画

### 「研究坑道の掘削を伴う研究段階」の成果と反映

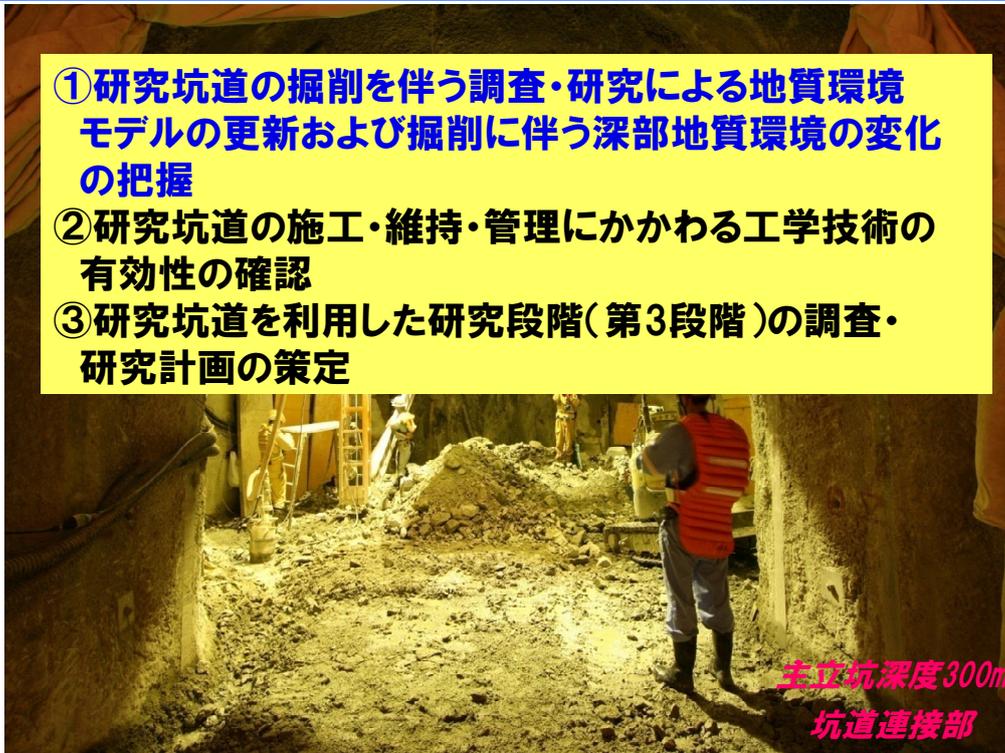
平成20年10月16日

東濃地科学研究ユニット  
結晶質岩地質環境研究グループ  
濱 克宏

## 本日の報告内容

1. 研究坑道の掘削を伴う研究段階  
(第2段階)の目標
2. 第2段階の研究成果の例
3. 第2段階の成果の反映方法
4. 経験・知識の表出化
  - ・進め方
  - ・具体例
5. まとめ

## 第2段階の目標

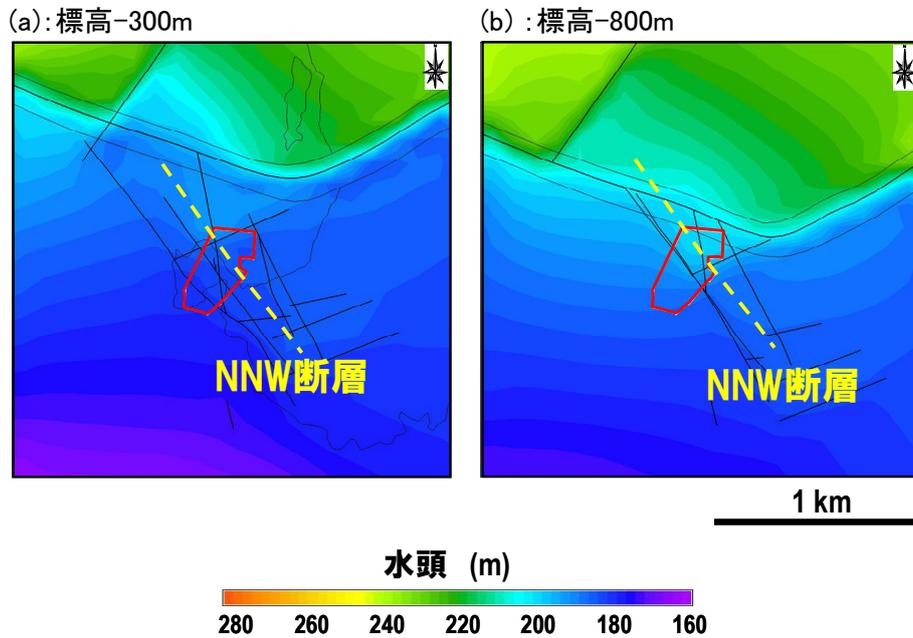


## 第2段階の調査研究項目の例

平成20年度の主な実施項目	
地質	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物理探査(逆VSP探査, 流体流動電位法探査)</li> <li>・研究坑道の壁面地質調査および壁面物性計測</li> <li>・地質構造モデルの構築・更新</li> <li>・物理探査手法・地質調査手法・地質構造モデル化手法の高度化</li> </ul>
水理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・立坑の集水リングを用いた湧水量計測</li> <li>・調査ボーリング孔を用いた間隙水圧測定(水理ボーリング調査)</li> <li>・地表からのボーリング孔での間隙水圧モニタリングおよび表層水理観測</li> <li>・水理地質構造モデルの構築・更新</li> <li>・データベース・地質環境データ解析・可視化システムの構築</li> </ul>
地球化学	<ul style="list-style-type: none"> <li>・立坑壁面および集水リングを用いた坑内湧水の採水・分析</li> <li>・予備ステージボーリング孔における地下水水質観測</li> <li>・地表からのボーリング孔における地下水水質観測</li> <li>・地球化学モデルの構築・更新</li> <li>・溶存ガスの定量・定性分析のための技術開発</li> </ul>
岩盤力学	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤力学調査</li> <li>・岩盤力学モデルの構築・更新</li> <li>・岩盤の長期挙動評価手法の確立</li> </ul>

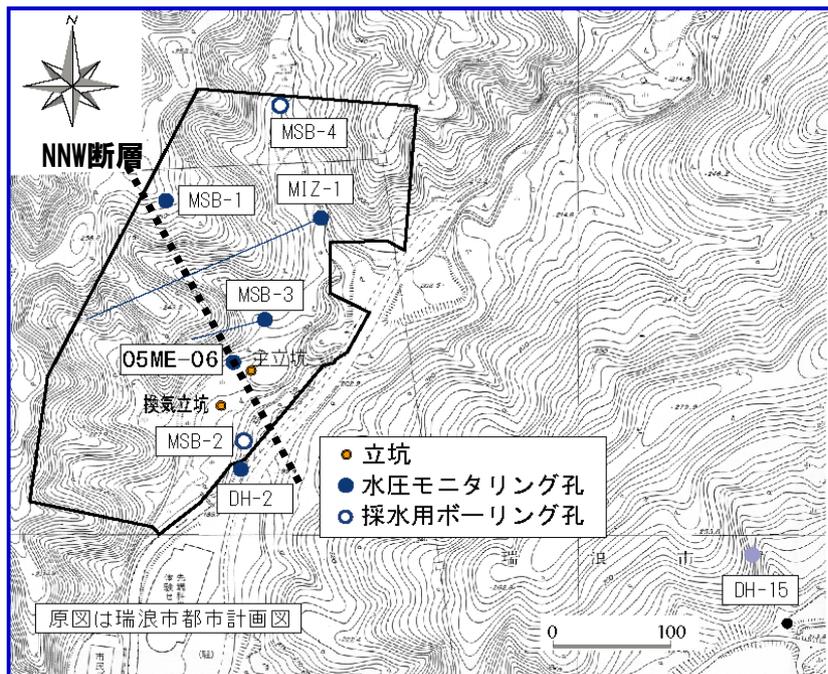
# 第1段階調査研究における解析結果

## 研究所用地周辺における水頭分布



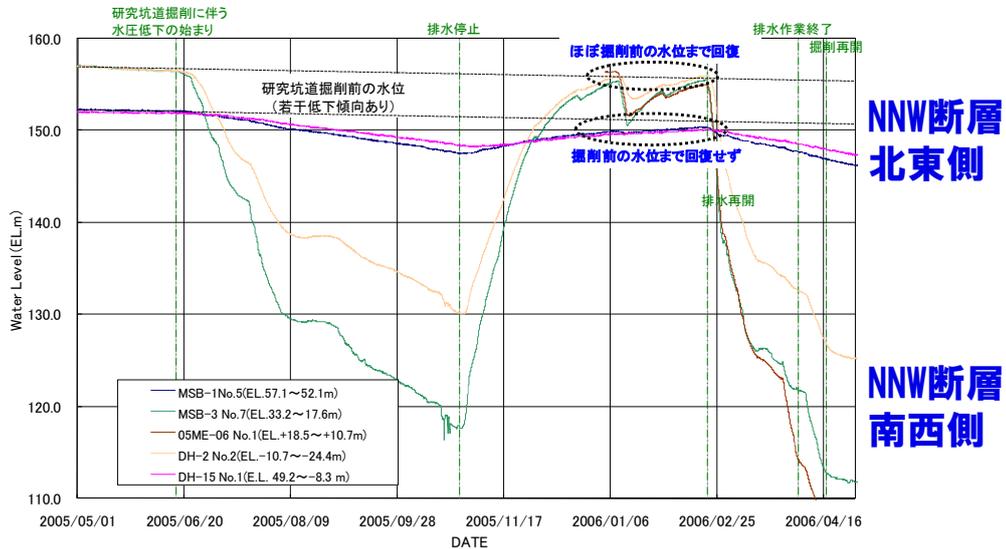
# 第2段階の研究成果の例

## 研究坑道などの掘削に伴う地下水水圧変化のモニタリング



## 第2段階の研究成果の例

### 地下水水圧モニタリング結果

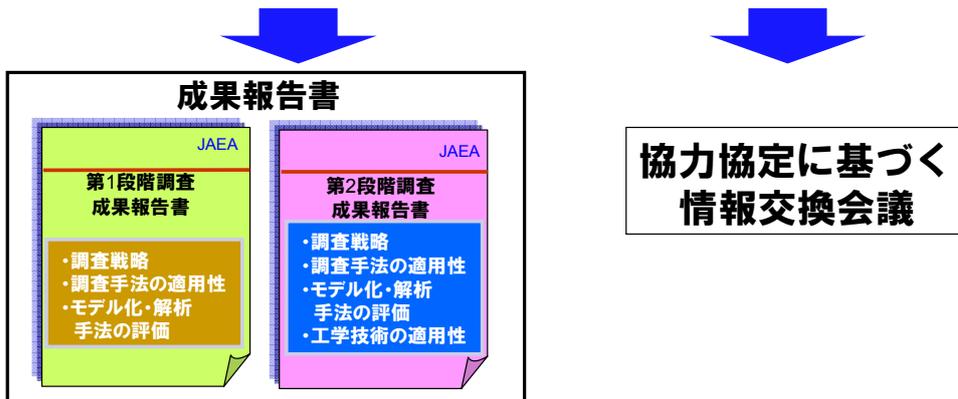


⇒NNW断層北東側は低透水構造で囲まれた領域である可能性  
⇒NNW断層の低透水性を示唆

## 研究成果の反映方法

### 研究成果

- ・地質環境調査手法の適用性の検討結果
- ・モデル化・解析手法の検討結果、など



### 地層処分事業および規制

- ・サイト特性調査手法
- ・調査や解析結果の品質管理手法、など

## 研究成果の反映における留意点

○調査や解析の実施時の専門家の判断（エキスパートジャッジメント）の理由や根拠が必ずしも明示的に記述されていないため、調査担当者や研究者の経験や知識としてしか蓄えられないことができない。



○これらの経験や知識を表出化し整理することは、解析などの結果の信頼性を高める上で有効であるだけでなく、地質環境調査を実施する際に、判断が必要なケースにおいて、参考にできる成果になる可能性。



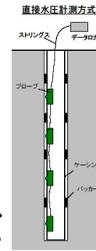
○第2段階に加えて、第1段階で実施した調査や解析について、上述のような経験や知識を表出化させることを開始。

## 知識・経験の表出化の進め方

- ①知識の分類(例えば、浅い知識と深い知識)
- ②ルールベースと事例ベースの分類
- ③判断の流れを“もし～であれば、～する。”の形式  
(if-then形式)のルールで整理
- ④ルールベースに基づくエキスパートシステム  
(ES: Expert System)の構築

# ① 知識の分類

	形式知	暗黙知
<b>浅い知識</b> (経験則)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査の実施手順</li> <li>・解析の実施手順</li> <li>・手法の適用性 (どのような条件ではどのような手法を用いるか)</li> <li>・ワークフローなど</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実務上の経験</li> <li>・勘</li> <li>・熟練技能など</li> </ul>
<b>深い知識</b> (ルールの前提, 理論的根拠, 制約条件など)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現象モデル (場, プロセス)</li> <li>・数学モデル</li> <li>・理論 (地質学, 地球化学など)</li> <li>・調査技術・機器の原理</li> <li>・解析技術</li> <li>・手法に関する制約条件など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像情報の判読</li> <li>・試料の分類など</li> </ul>



# ② ルールベースと事例ベース

<b>ルールベース</b>	当該分野の専門家の知識のうち、経験則や理論に基づく判断の結果などを“もし～であれば、～する”の形式 (if-then形式) で表現したものの集合体	<b>例) 掘削工法の選定</b> もし 岩芯の採取を行う のであれば YES ワイヤーライン工法を選定 する NO ロータリースピンドル工法 またはロータリーテーブル工法 を選定 する
<b>事例ベース</b>	ルールとして表現が難しいものの、問題解決に際し、現在の問題との類似性により活用できる過去の経験の事例の集合体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断層の識別 (画像処理に頼る)</li> <li>・掘削水逸水のトラブルシューティング</li> </ul>

### ③ if-then形式でのルールの整理

#### 深層ボーリング調査計画立案におけるボーリング掘削計画立案の事例

前件部	後件部
A-1) 岩芯の採取を行う場合	ワイヤーライン工法を選定する
A-2) 岩芯の採取を行わない場合	ロータリースピンドル工法もしくはロータリーテーブル工法を選定する
B-1) 揚水試験を行う場合	ボーリング孔径の規格サイズをPQ(122mm)～HQ(98mm)サイズとする
B-2) 揚水試験を行わない場合	ボーリング孔径の規格サイズをPQ(122mm)～NQ(98mm)サイズとする
C-1) 希望する岩芯のサイズ(径)がPQサイズ(85 mm)に該当する場合	掘削フェーズの設定から導かれる最上部の土壌もしくは地表～孔口付近の防護区間以外の各掘削フェーズをPQサイズ(外径:122 mm, 内径:85 mm)もしくは134 mm相当の外径(内径はPQサイズと同様の85 mm)を有する掘削ビットサイズとする。
C-2) 希望する岩芯のサイズ(径)がHQサイズ(63.5 mm)に該当する場合	掘削フェーズの設定から導かれる最上部の土壌もしくは地表～孔口付近の保護区間以外の各掘削フェーズをHQサイズとする(外径:98 mm, 内径:64 mm)。

### ④ ルールベースに基づくエキスパートシステムの構築

#### 身近にあるエキスパートシステム

経路の探索エキスパートシステム (<http://transit.yahoo.co.jp/>)

## ④ルールベースに基づくエキスパートシステムの構築

### 身近にあるエキスパートシステム

瑞浪→東京(2008年4月16日 14:55出発)

出発時刻順で表示 | 乗り換え回数順で表示

※出発時刻順: お客様が指定された出発時刻にいちばん近く、到着時刻が早い順に表示されます。

6件中1~3件を表示しています。 [ 次の3件 ]

**経路1** 15:05出発 17:33到着  
2時間28分(乗車2時間21分、ほか7分) 距離: 416.1km  
運賃: 片道11,620円(乗車券6,620円 特別料金5,000円) 乗り換え: 1回

時間	経路	運賃
15:05~15:46	瑞浪 駅 JRセントラルライナー14号	6,620円
15:53~17:33	名古屋[ 出口案内 ] 駅 JR新幹線のぞみ28号	
	東京[ 出口案内 ]	

>>再探索する

鉄道路線、運賃、所要時間、乗り換え時間などの情報が基礎データとして登録されており、鉄道に関する知識が少ない使用者であっても、出発時刻などの条件を入力することにより、経路、運賃や所要時間が表示。

経路の探索エキスパートシステム (<http://transit.yahoo.co.jp/>)

## ④ルールベースに基づくエキスパートシステムの構築

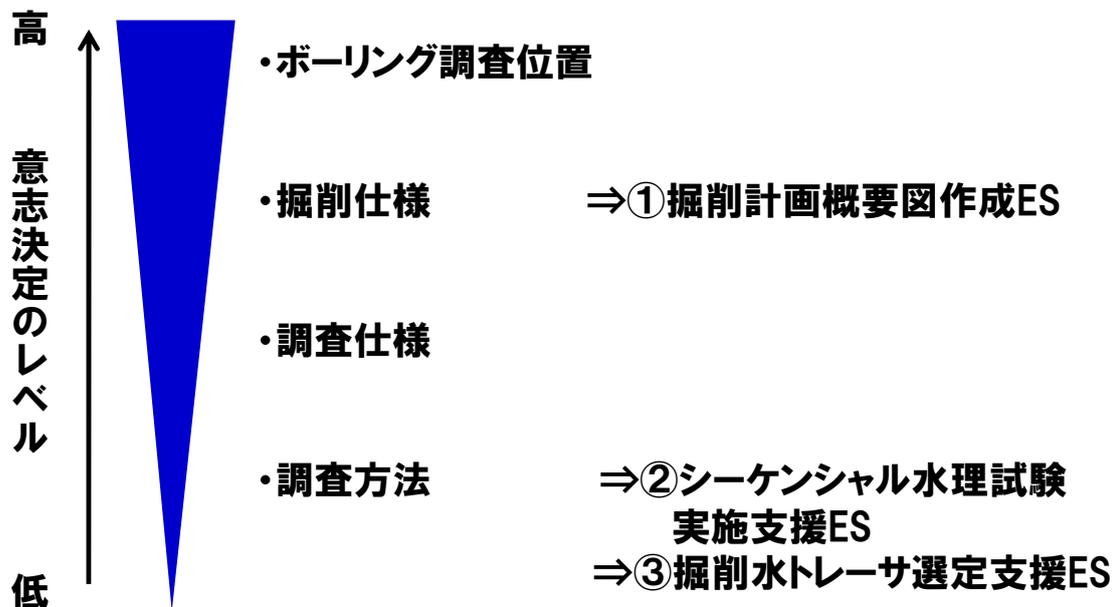
### これまでに以下のESを構築

分野	プロトタイプシステム	適用
共通	ボーリング掘削計画概要図作成ES	ボーリング調査計画の策定
地質分野	孔壁画像調査方法選択支援ES	地質学的調査手法の選定
水理分野	シーケンシャル水理試験実施支援ES	水理調査手法の選定
	地下水流動場の理解支援ファジーES	水理地質構造場概念の構築
地球化学分野	水質データの品質評価ES	水質分布の推定
	水質形成プロセスモデル化支援ES	水質形成プロセスの推定
	掘削水トレーサ選定支援ES	掘削仕様の最適化

## 具体例

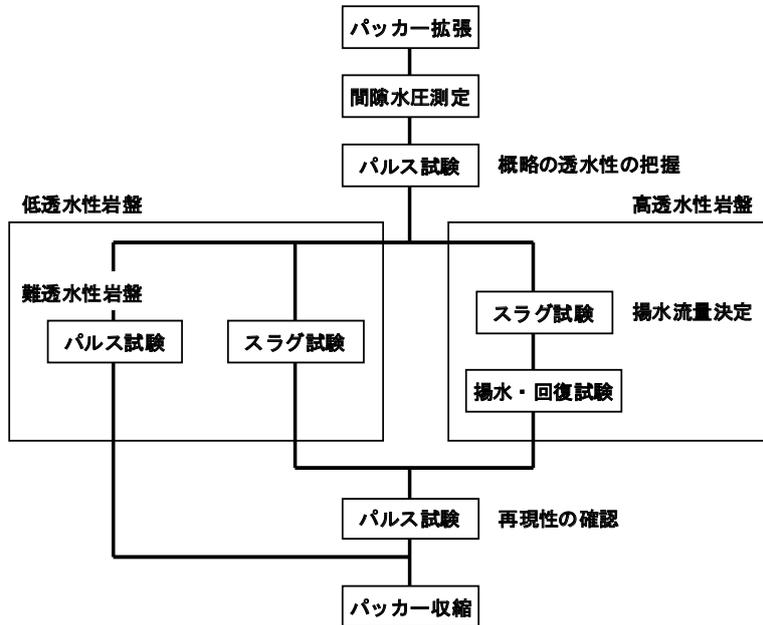
### 知識・経験の表出化 およびES構築

### ボーリング調査計画の立案



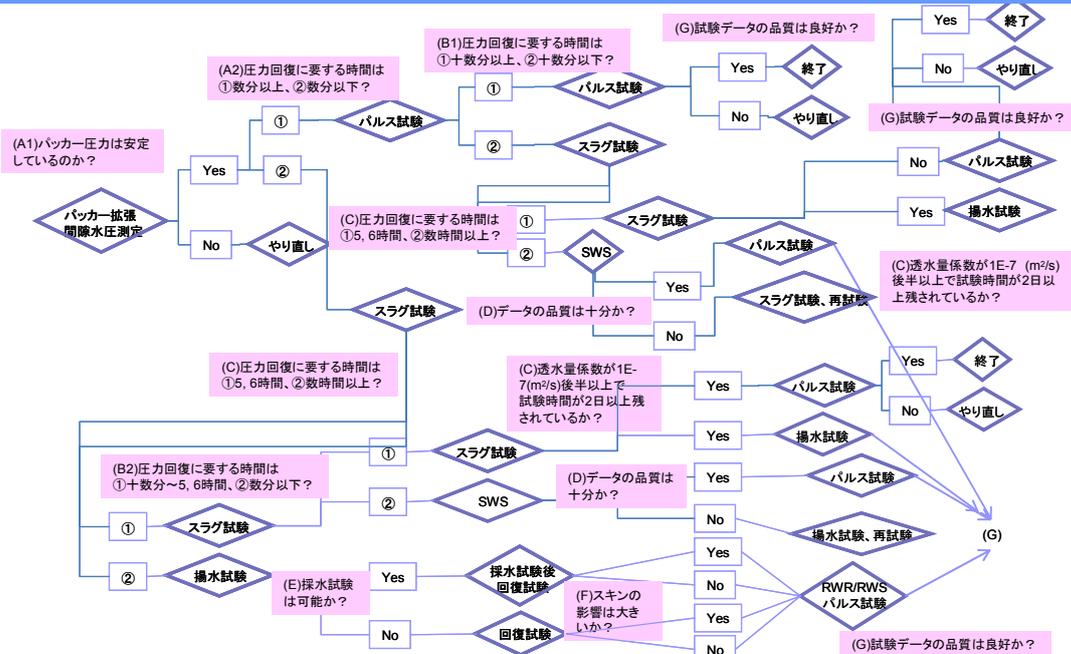


## ②シーケンシャル水理試験フロー



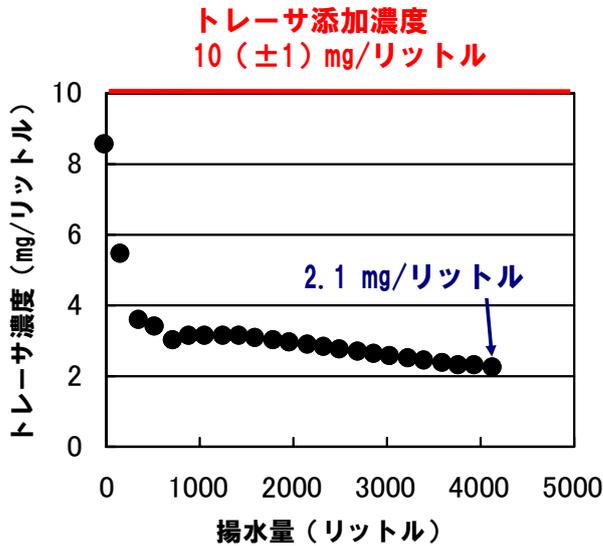
ボックスからボックスへの移動や分岐部分に  
ノウハウや判断根拠が内包

## ②シーケンシャル水理試験のフロー（決定木）



複雑な知識であっても、決定木によりノウハウや判断根拠の  
ポイントや基準を整理可能

### ③ボーリング掘削水トレーサの選定

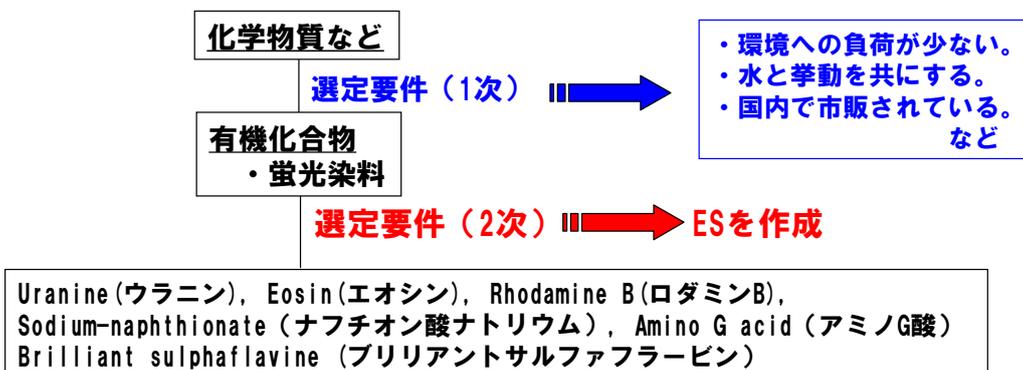


ナフチオン酸ナトリウム

### ③ボーリング掘削水用トレーサの選定

#### トレーサ物質選定の要件 (2次)

1. 蛍光スペクトルの濃度依存性
  - ・検量線の作成が可能 (蛍光光度と濃度が直線関係)
2. 蛍光スペクトルのpH依存性
  - ・pHの変化にともなう蛍光スペクトルの変化がない。
3. 化学的な安定性 (溶液にした場合に分解してしまう可能性)
  - ・溶液にして一定期間放置しても蛍光強度が変化しない。
4. 岩石に対する収着特性
  - ・調査対象の岩石にほとんど収着しない



### ③ボーリング掘削水トレーサの選定

**要件**

**制約条件**

	蛍光強度の濃度依存性がない事	試料の pH で pH 依存性がない事	調査期間中 蛍光染料が安定な事	岩石に対する吸着性がない事	併用不可の組合せ
1. Uranine	○	○	○	○	
2. Eosin	○	○	○	○	5, 7, 9
3. Rhodamine B	○	○	○	○	4, 10
4. Sulfo Rhodamine B	○	○	○	×	3, 10
5. Sulfo Rhodamine G	○	○	○	×	2, 7, 9
6. Sodium-naphthionate	○	○	○	○	
7. Rhodamine 6G	○	×	○		2, 5, 9
8. Brilliant sulphaflavine	○	○	○	○	11
9. Erythrosine	×	○	○		2, 5, 7
10. Bengal rose	×	○	○		3, 4
11. Pyranine	○	×	○	×	8
12. Amino G. acid	○	○	○	○	



ナフチオン酸ナトリウム (10mg/L)

真偽表の適用により、最適な選択肢を合理的に判断可能

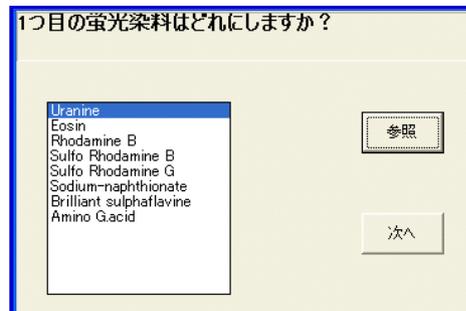
### ③ボーリング掘削水トレーサの選定



開始画面



条件の入力



トレーサの提示

## ③ボーリング掘削水トレーサの選定

### 失敗事例とルールの改善

1. 東濃地下水と幌延地下水の違い
  - ・ 起源、塩分濃度に加えて溶存有機物に大きな違い
  - ・ 東濃では数mg/L、幌延では数十mg/L程度
2. 蛍光染料の測定波長と有機物の蛍光波長の関係
  - ・ ナフチオン酸ナトリウムの蛍光波長：420nm
  - ・ フルボ酸様物質の蛍光波長：450nm付近
3. 誤った判断
  - ・ ナフチオン酸ナトリウムの濃度が低下しているにも関わらず、有機物による蛍光を計測したために、見掛け上高い蛍光染料濃度と判断
 →掘削水による汚染を過大評価



- ・ 想定される有機物濃度を入力
- ・ ナフチオン酸ナトリウムを選択した場合にコメント表示

## まとめ

- 第1段階で実施した調査や解析について知識や経験を表出化
- 専門家の判断をif-then形式のルールとして表現
- 本法により知識と経験を整理していくことにより、次世代またはそれ以降の世代にまで知識などを引き継ぐことが可能

地層処分のような数十年から数百年にわたる事業では、このような方法による知識の管理が有効であると考えられ、超深地層研究所計画を進めつつ、地質環境調査の計画立案、調査の実施やモデル化・解析に関する知識や経験を蓄積し、上述のような知識管理の体系を整備していくことは、研究成果を地層処分事業や規制に反映する方法の1つであると考えられる。

### 3.1.4 瑞浪超深地層研究所の建設状況

独立行政法人 日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター  
 施設建設課  
 見掛 信一郎

#### (1) はじめに

日本原子力研究開発機構は、高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の基盤となる深地層の科学的研究を行う研究施設として、岐阜県瑞浪市と北海道幌延町において深地層の研究施設を建設中である。このうち、岐阜県瑞浪市で建設を進めている瑞浪超深地層研究所は、花崗岩を主な対象として研究を行っている。

本計画では、「地表からの調査予測研究段階」、「研究坑道の掘削を伴う研究段階」、「研究坑道を利用した研究段階」の3つに分けて調査研究が実施される。調査研究は、①「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」および②「深地層における工学技術の基盤の整備」の2つを全体目標とし、現在、「研究坑道の掘削を伴う研究段階」の調査研究を進めている。その成果は、主に高レベル放射性廃棄物の処分事業における地下施設の建設中の調査に対する基盤的な技術や情報として活用されることを目指している<sup>1)</sup>。本報告では、瑞浪超深地層研究所の建設状況について概要を述べる。

#### (2) 瑞浪超深地層研究所の建設状況の概要

瑞浪超深地層研究所では、2本の立坑(主立坑:内径 6.5m 及び換気立坑:内径 4.5m)と複数の水平坑道からなる研究坑道の掘削工事を行っている。研究所用地周辺の地質は、基盤岩として土岐花崗岩が分布しその上位を堆積岩が覆っており、不整合面は主立坑掘削地点で深度約 166m、換気立坑で約 169m である。掘削の進捗は、2008年8月29日現在で、主立坑深度 300.2m、換気立坑深度 252.2m まで到達している。水平坑道は、深度 100m と 200m において主立坑と換気立坑をつなぐ坑道を設置した。また、深度 200m に両立坑から水平坑道と反対側に、ボーリング調査を実施するための水平坑道(「ボーリング横坑」、主立坑側及び換気立坑側各 1 箇所)を設置した。

研究坑道の掘削においては、坑道掘削に伴い発生する地下水(湧水)に関して、水質については、自然由来のふっ素、ほう素の濃度を低減させる対策を講じている。湧水量については、ボーリング調査結果や地下水流動解析結果により<sup>2)</sup>、土岐花崗岩上部割れ目帯から多く発生する可能性が予測された。これらのことから、研究及び研究坑道掘削を計画的に推進するために、掘削工事の安全性向上と湧水量の抑制に関する対策としてグラウチングを適切に行いつつ掘削を進めている。

#### (3) 湧水抑制対策

湧水抑制対策は、掘削予定箇所周辺を対象に掘削に先行して行うグラウチング(プレグラウチング)を必要に応じ実施している。掘削予定箇所周辺の地質環境については、坑道内から実施したボーリング調査などにより評価を行った。調査は、立坑掘削地点におけるパイロットボーリングとして、立坑坑底(主立坑深度 180m、換気立坑深度 191m)の中心から鉛直下向きに掘削し(掘削長:主立坑では 348m(深度 528m まで)、換気立坑では 335m(深度 526m まで))、地質学的調査、物理検層、水理調査、水質分析などを行った。その結果、主立坑沿いには強変質を伴う花崗岩と貫入岩がボーリング孔底まで分布し透水

性は低いことがわかった。換気立坑では、変質が弱い硬質な花崗岩が確認され、花崗岩上部(堆積岩との境界部付近から数百メートルの領域)に低角度割れ目が卓越する上部割れ目帯が深度 455m 付近まで分布し、その中の低角度割れ目の頻度が特に高い割れ目の集中帯が深度 200～250m に分布することが確認された。特に、深度 210m 付近に高い透水性を示す区間が存在し、ボーリング掘削時に大量の湧水が確認されたことから、深度 200m の換気立坑接続部(換気立坑と水平坑道の交差部)及び換気立坑ボーリング横坑の領域を対象にプレグラウチングを実施したうえで掘削を行った<sup>3)</sup>。その後、両立坑が深度 200m に到達した時点で、ボーリング横坑からボーリング調査(掘削長 125m)を行い、両立坑の掘削に先立ち地質環境情報を取得したうえで深度 200m 以深の掘削を進めた。換気立坑のボーリング調査では、深度 200～220m の区間で湧水が確認されたことから、換気立坑深度 200m～220m の領域を対象にプレグラウチングを実施した<sup>4)</sup>。一方、主立坑は顕著な湧水箇所がなく透水性が低いことから、これまでにプレグラウチングは実施せずに掘削を行った。

プレグラウチングは、対象領域の岩盤中の割れ目にグラウト材料を注入することにより透水性を低下させ湧水量を抑制する工法である。グラウト材料としては普通ポルトランドセメントを使用した。注入方法は、グラウト注入孔の削孔作業について専用機械を用いて実施する方法や、立坑掘削で使用している機械(シャフトジャンボ: 発破装薬孔掘削機械)を用いて一連の施工サイクルの中でグラウトを実施できる方法などを適用しつつ施工効率の向上を図った。プレグラウチング対象領域の掘削時の状況は、掘削壁面からにじみ出し程度の湧水はあるものの、顕著な湧水は認められなかった。また、坑道掘削の前後で坑内湧水量にもほとんど増加が認められなかった。これらの結果から、実施した湧水抑制対策が効果的に機能したと評価できる。

#### (4) まとめ

今後、坑道からの調査を継続して行い、取得した地質や地下水に関するデータにもとづき、掘削予定箇所周辺の地山状況を事前に把握し、設計及び施工計画に必要な条件を整備し合理的な計画を立案することにより掘削を進めていく。これとともに、深部地質環境における工学技術の課題である「建設技術」の合理化を図り、その検証を行う。また、湧水に対し状況に応じた対策を講じていくことにより、湧水に関する施工対策技術の適用性を確認していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構(2004): 超深地層研究所計画における調査研究の考え方と進め方(平成 15～17 年度), JNC TN7400 2004-008.
- 2) 大山卓也, 三枝博光, 尾上博則, 竹内竜史, 下茂道人, 熊本 創(2007): 瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題(その 3) -パイロットボーリング調査に基づく湧水量予測解析-, 土木学会第 62 回年次学術講演会, CS5-067, pp.293-294.
- 3) 見掛信一郎, 山本 勝, 池田幸喜, 竹内真司, 原 雅人(2008): 瑞浪超深地層研究所における研究坑道掘削の現状, 土木学会岩盤力学委員会ニューズレター, 2008 年 1 月発行, No.14.
- 4) 原 雅人, 木下晴信, 池田幸喜, 山本 勝他(2008): 瑞浪超深地層研究所 換気立坑における湧水抑制対策としてのプレグラウチング施工, 土木学会第 63 回年次学術講演会, VI-256.

## 瑞浪超深地層研究所の建設状況

平成20年10月16日

東濃地科学センター  
施設建設課  
見掛 信一郎

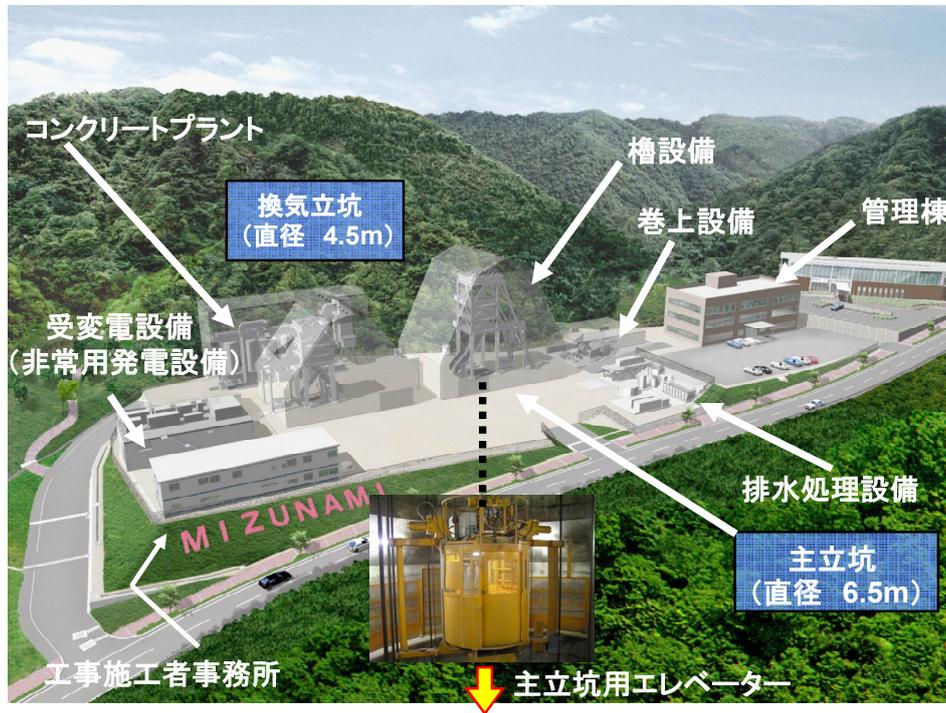
## 内容の構成

瑞浪超深地層研究所の概要

研究坑道掘削工事

まとめ

## 瑞浪超深地層研究所の概要 地上施設



## 研究坑道掘削工事の施工設備



橋設備 (換気立坑)



コンクリートプラントと  
防音ハウス組立作業



スcaffold  
(換気立坑への吊り込み作業)



シャフトジャンボ (主立坑)



橋設備 (主立坑の  
防音ハウス組立作業)



巻上設備 (主立坑)

# 瑞浪超深地層研究所の概要

**進捗状況**



平成15年7月



地上部  
掘削工事着手前

平成17年6月



深度100m  
予備ステージ貫通

平成19年9月



深度200m  
主立坑ボーリング横坑の露岩部

平成20年9月30日作業終了時点

- ・主立坑: 深度300.2m
- ・換気立坑: 深度268.9m
- ・水平坑道: 深度300m予備ステージ  
主立坑壁面から26.4m掘削  
深度300m調査研究用水平坑道  
主立坑壁面から10.4m掘削

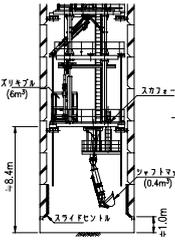
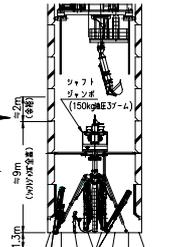
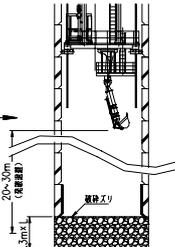
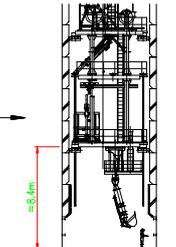
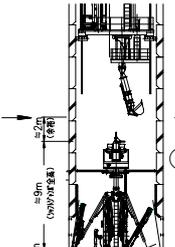
平成20年8月



深度300m  
主立坑から予備ステージ  
坑口施工

## 研究坑道掘削工事 — 立坑掘削の施工サイクル —

立坑発破掘削の標準サイクル

① ずり出し完了

② 削孔～装薬

③ 発破(1回目)

④ ずり出し

⑤ 削孔～装薬



削孔

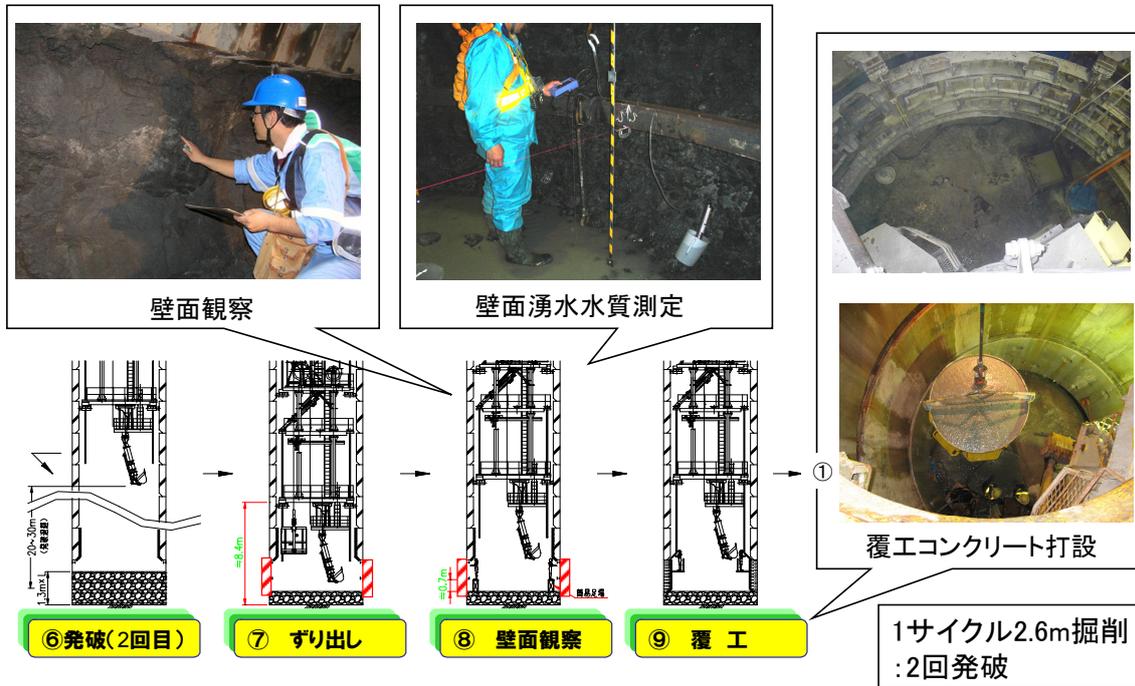


装薬



ずり出し

# 研究坑道掘削工事 —立坑掘削の施工サイクル—



## 研究坑道の掘削に伴い発生する地下水(湧水)の対策方法

<b>課題</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 坑道掘削に伴い<b>大量の湧水</b>が発生する可能性</li> <li>● 湧水の<b>溶存成分濃度(ふっ素、ほう素など)の低減</b></li> </ul>
<b>対策</b>	<p>研究及び研究坑道掘削を計画的に推進する観点から</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 湧水抑制対策(グラウチング)の実施</li> <li>● 排水処理設備の処理方法の改良</li> </ul>

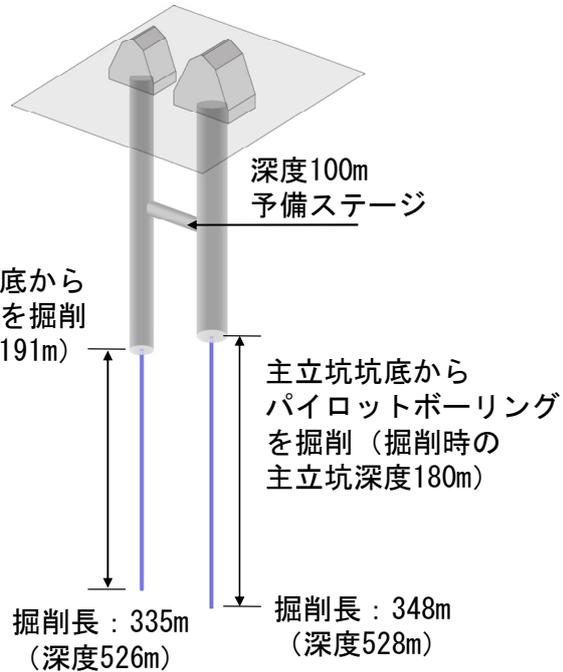
<p>対策実施による効果と得られる成果</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 掘削工事の<b>安全性向上</b>と <b>排水処理量の低減</b></li> <li>● <b>施工対策技術</b>(湧水抑制対策)の 適用性の確認</li> </ul>
---

## 立坑掘削地点の地質環境情報の取得

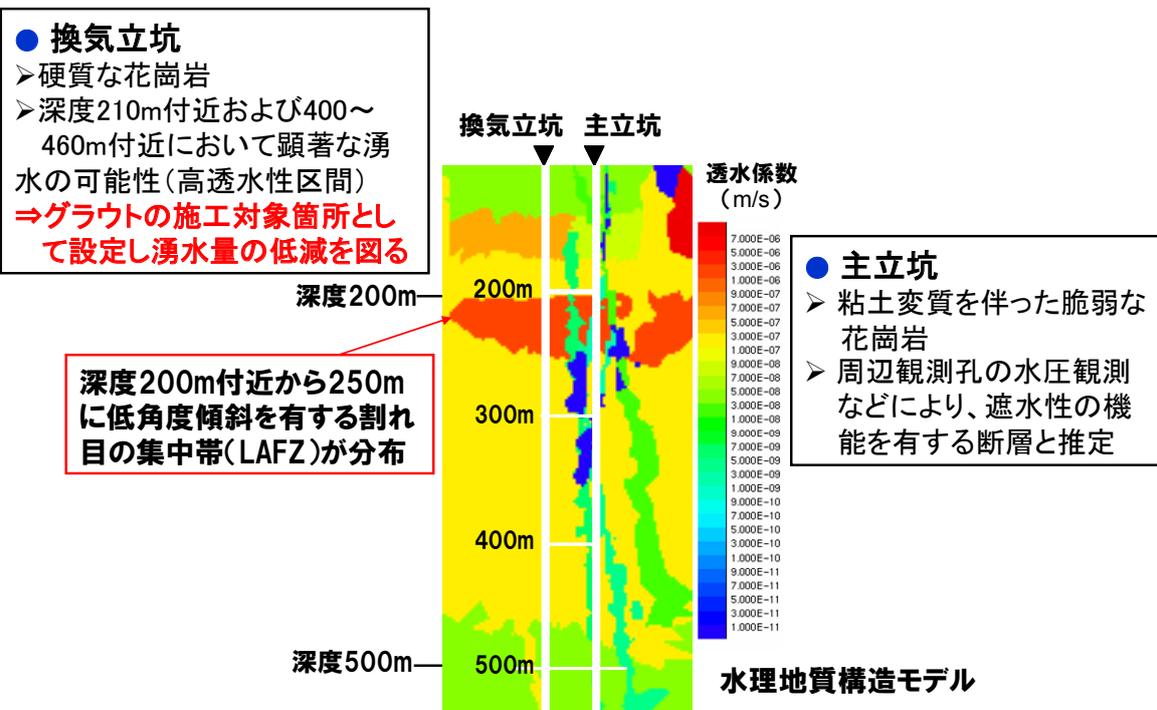
両立坑坑底からの  
パイロットボーリング調査  
(平成18年度実施)

換気立坑坑底から  
パイロットボーリングを掘削  
(掘削時の換気立坑深度191m)

目的  
「立坑掘削地点」の情報として  
深度500mまでの地質・地下水  
状況を、立坑掘削に先立ち把握  
する



## 主立坑と換気立坑の掘削対象領域における地質環境



## 湧水抑制対策(グラウチング)の実施

### パイロットボーリングの結果から、深度200m付近では

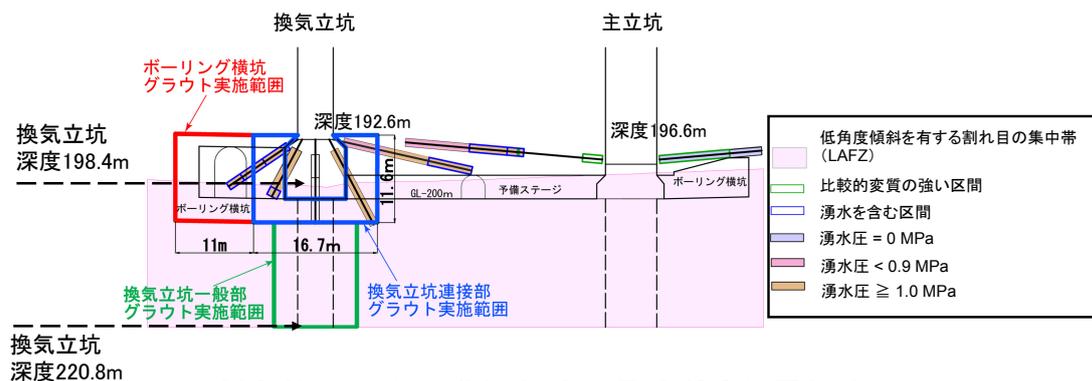
- 低角度傾斜を有する割れ目の集中帯(LAFZ)において、換気立坑接続部及びボーリング横坑を掘削することにより、連続した透水経路から**大量の湧水**が発生することが**想定**された
- 坑道掘削領域の湧水圧、湧水量、透水性を把握するために、坑道掘削前に**探り削孔**を実施
- 坑道掘削に伴う湧水量の低減を図るため、掘削前に**グラウチング**を実施

### ● 主立坑

- 主立坑沿いに遮水性の機能を有する断層
- 立坑掘削範囲は低透水性

⇒切羽からの削孔により、掘削毎に前方の状況を把握

## 坑道掘削領域の地下水状況



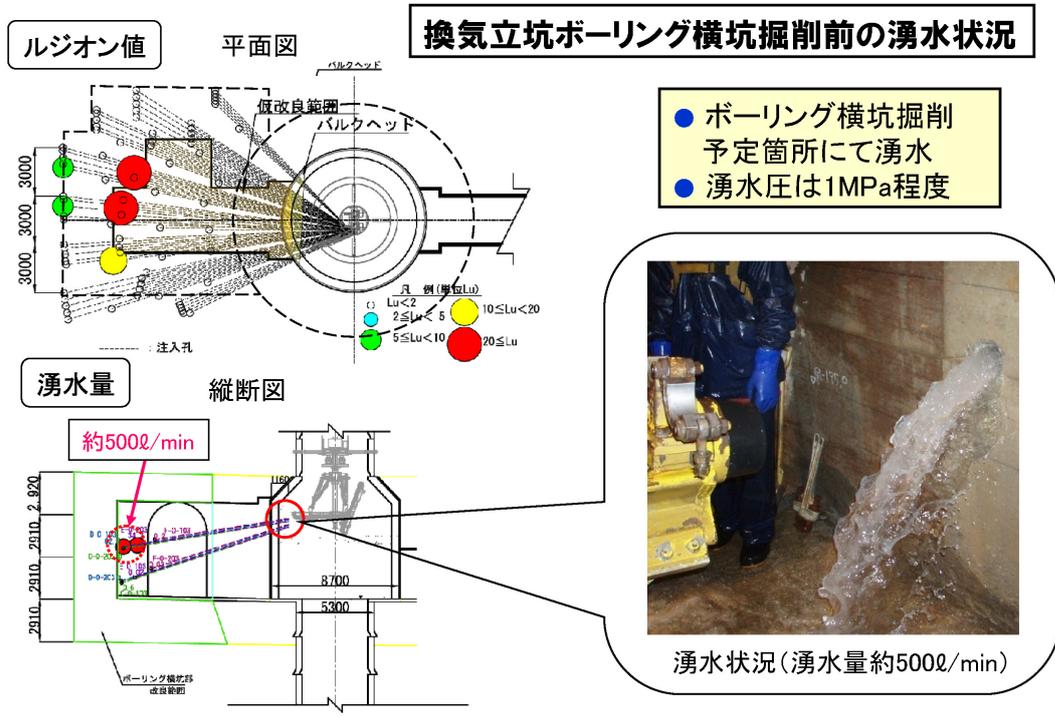
### 対象範囲の水理学的条件 (探り削孔結果による)

- 湧水圧：1MPa程度
- 湧水量：最大100ℓ/min

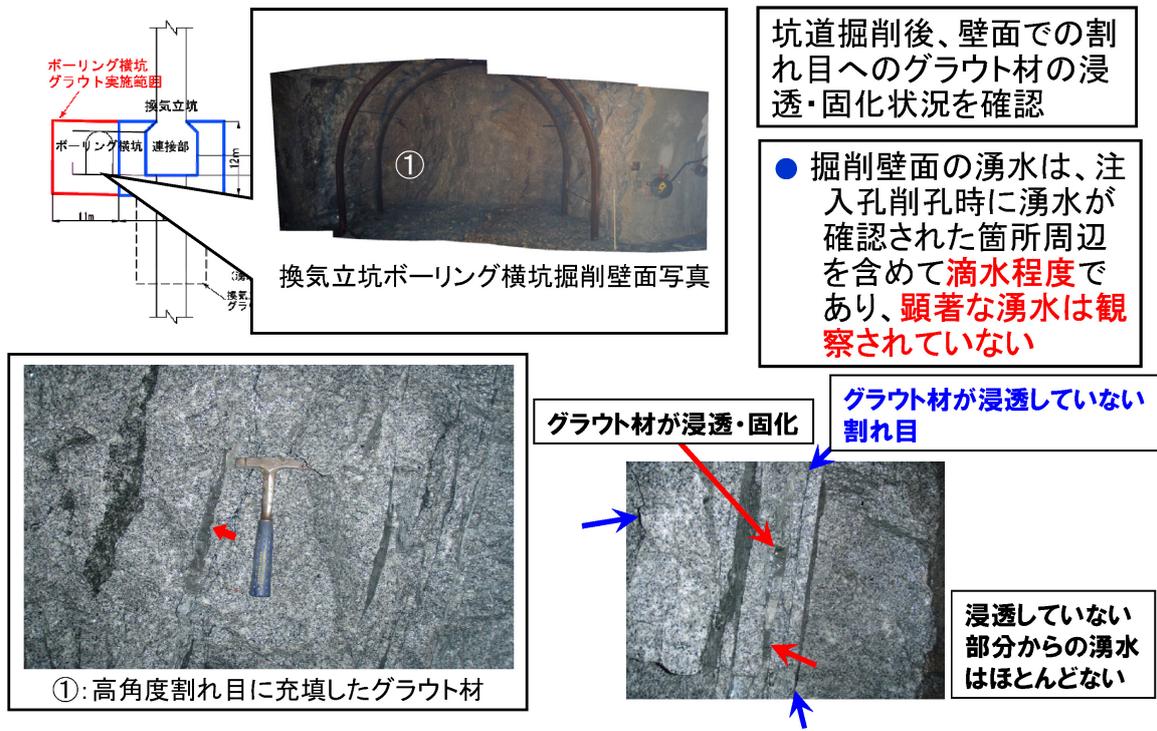
### グラウチングにより透水性を低下：

坑道周囲の3m以上を対象に、周辺地山の透水係数を  
10<sup>-6</sup>m/sオーダー → 10<sup>-7</sup>m/sオーダーに改良

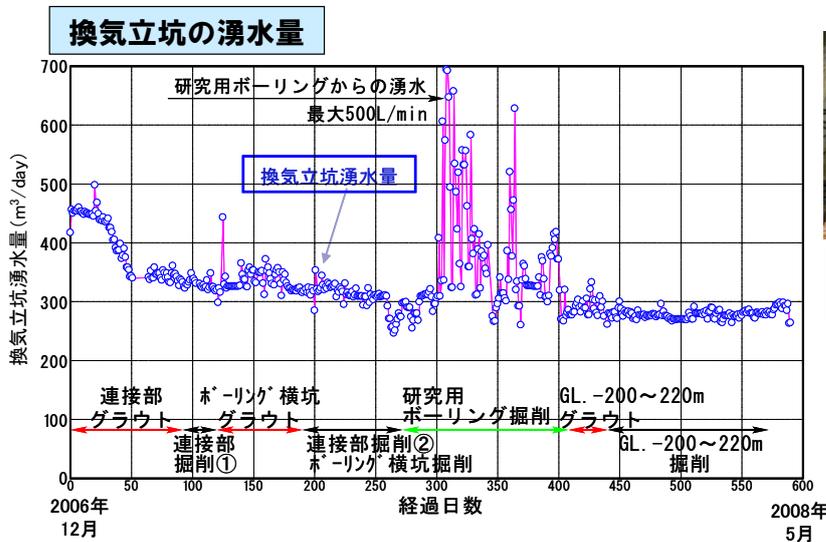
## 湧水抑制対策(グラウチング)実施結果の一例



## 坑道掘削後の湧水抑制効果



## 換気立坑における湧水量の経時変化



換気立坑ボーリング横坑から接続部を撮影



換気立坑  
深度200m~220m

● グラウチング実施後から坑道掘削期間における湧水量は、300~400m³/day前後の値で推移し、大量湧水の発生はなし。

## グラウト浸透の特徴

- グラウト材は、割れ目に**選択的に浸透**しており、水みちをふさぎ、湧水量低減に寄与
- 坑道掘削時、**顕著な湧水は観察されておらず**、所期の目標は達成

### 地山状況に応じた計画と適用性の確認

- 設定した注入仕様に従ってグラウチングを実施した結果、湧水抑制に効果があったことを確認
- 今後さらに工程短縮・費用削減に向け、合理的な注入仕様を検討する

## 現在の施工状況

**深度300m  
調査研究用水平坑道**

換気立坑 主立坑

水平坑道掘削に先立ちボーリングを実施し地質状況を把握

発破装薬の削孔作業

予備ステージ壁面観察

主立坑予備ステージ側から接続部を撮影

**今後の調査研究計画**  
 ・湧水抑制対策に関する研究開発  
 ・長期にわたる地下水中の物質の移動に関する調査研究  
 など

## まとめ

- 今後も環境保全に努め安全第一で工事を進めていく。
- 工事の安全性向上と、湧水抑制対策として必要に応じグラウチングを行いつつ、掘削を進めていく。  
(知見の集約、技術の蓄積により、的確な湧水抑制対策を確立していく。)

### 平成20年度の予定

- 深度300mにおいて
  - ・調査研究用水平坑道の掘削
  - ・両立坑をつなぐ予備ステージの掘削
- 主立坑、換気立坑
  - ・深度300m以深の掘削

## 3.2 技術基盤整備の状況 -個別技術の紹介-

### 3.2.1 「地質環境の長期安定性に関する研究」に係わる年代測定技術開発の現状と展望

#### 3.2.1.1 タンデム型加速器質量分析計(ペレトロン)を用いた年代測定技術開発 -1mg の炭素で分かる過去のイベント-

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  
東濃地科学研究ユニット 自然事象研究グループ  
齋藤 龍郎

##### (1) はじめに

地質環境の長期安定性に関する研究では、地震・断層活動、火山・地熱活動、隆起・侵食、気候・海水準変動等の自然現象が、将来の地質環境に与える影響の程度や範囲を調査・評価するための技術開発を目指している。特に、変動シナリオによる安全評価においては、将来の地質環境の変化を考慮することが重要となる。そのためには、過去から現在までの地質環境(熱、地下水理、力学、水質等)の変動の程度と時期を把握することが不可欠となる。特に、10 万年程度の期間の安全性を示すためには数 10 万年程度の過去の現象の履歴をできるだけ精度良く把握することが求められる。したがって、その基本的データを与える年代測定技術を整備することは重要となる。東濃地科学センターが進めている年代測定の技術開発には、希ガス用質量分析計を用いた(U-Th)/He 法(ウラン・トリウム・ヘリウム法)と、タンデム型加速器質量分析計(以下、ペレトロン)を用いた $^{14}\text{C}$ 法(炭素-14法)等があるが、ここでは後者について紹介する。

ペレトロンによる $^{14}\text{C}$ 年代は、植物、土壌、貝、地下水等、様々な生物起源の極微量な試料によって測定することが可能であり、活断層の認定や噴火史の編年、遺跡の年代等の幅広い分野に活用されている。しかしながら、年代値を決定するためには、試料独特の補正が必要な場合があり、試料採取、前処理、測定および評価までの一連の年代測定技術が必要となる。東濃地科学センターでは、平成 9 年にペレトロンを導入し、これらを用いた年代測定技術の整備を進めている。

##### (2) ペレトロンによる年代測定で分かること

ペレトロンで実施されている炭素同位体の分析では、1mg 程度の炭素試料があれば年代を測定することができる。生物等に含まれる炭素全体のうち1兆分の1だけ含まれている $^{14}\text{C}$ は、呼吸等により大気と炭素の交換を繰り返している間は一定であるが、死ぬと外界との炭素交換が行われなくなり(閉鎖系になる)、遺体に含まれる $^{14}\text{C}$ は、放射壊変により一定の割合で減衰していく(元の量に関係なく 5730 年で半減する)性質がある。これを利用して、試料に含まれる $^{14}\text{C}$ と現代炭素標準試料との比(現代炭素比)を測ることによって、植物や土壌等の有機物が、生命活動を停止してから経過した時間を見積もることができる。

例えば、炭になった木片が地層中から見つかり、その木がいつ焼けたかがわかる。そのため、火山噴出物中に含まれる炭化木の $^{14}\text{C}$ 年代は、木が焼けた年代、すなわち、噴火年代を意味する。また、津波堆積物中の貝殻や、断層によって変位を生じている鍵層中の有機物等の $^{14}\text{C}$ 年代測定を行えば、津波の発生時期(海溝型巨大地震の発生時期)や断層の活動時期等も明らかにすることができる。

$^{14}\text{C}$ 年代測定には以上のように利点が多いが、放射壊変を利用した年代測定では、遡れる年代がそれ

それぞれの元素の持つ半減期の 10 倍程度であり、 $^{14}\text{C}$  年代では 5 万年前後までとなる。そこで、他の元素を利用した年代測定技術の整備も必要である。例えば、約 150 万年の半減期を持ち、岩石の年代や侵食速度の推定に応用できるとされる  $^{10}\text{Be}$  法(ベリリウム-10 法)や、約 30 万年の半減期を持ち、地下水年代への応用が期待される  $^{36}\text{Cl}$  法(塩素-36 法)による年代測定では、10 万年～数 100 万年前までの年代測定が可能となる。このため、現在、ペレトロンを利用した  $^{10}\text{Be}$  法や  $^{36}\text{Cl}$  法の年代測定技術の整備も進めている。

### (3) $^{14}\text{C}$ 年代測定と安定同位体分析による地下水流動の推定

ペレトロンによる  $^{14}\text{C}$  年代測定の結果は、安定同位体等の他の地球化学データと組み合わせることにより、地質環境特性に関する研究にも貢献できる。一例として、 $^{14}\text{C}$  年代測定と酸素・水素同位体分析による地下水流動状態の推定方法を紹介する。

- (1) 地下水を採水し、安定同位体質量分析計およびタンデム型加速器質量分析計用に前処理。
- (2) 試料の水分子中の水素同位体比(D/H)、酸素同位体比( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )および炭素同位体比、( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ )を測定。
- (3) タンデム型加速器質量分析計により、炭素同位体比( $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  比)を測定。

ここで、安定水素・酸素同位体比からは、地下水の起源が推定できる(例えば、天水、マグマ水等)。瑞浪超深地層研究所のボーリング から採取した地下水は、水素・酸素同位体比を測定した結果、酸素同位体比に顕著なシフトは認められず、Craig(1961)<sup>1)</sup>の天水線(global meteoric water line)上にプロットされることから、この地下水は天水起源と推定されている<sup>2)</sup>。また、地下水中の二酸化炭素(天水の時点で取り込んだと考えられる二酸化炭素)の  $^{14}\text{C}$  年代からは、地下水の滞留時間に関する情報を得ることができ、地下水の流動速度の推定にも活用できる可能性がある。但し、流動中の  $^{14}\text{C}$  を含まない古い炭素(dead carbon)の混入や地層との化学反応による影響のために、安定炭素同位体比で年代を補正することが必要となる。東濃鉱山の地下水試料では、滞留年代は長いものでは 16,000 年と推定されている<sup>3)</sup>。また、瑞浪超深地層研究所の地下 600m 付近で採取した地下水試料には、滞留年代が 5 万年を超えると推定されるものも認められた。

### (4) まとめ

年代測定技術は、地質環境の長期安定性に関する研究に係わる天然現象のイベント年代の推定のみならず、地下水流動等の地質環境特性に関する研究にも貢献できる。今後は、侵食速度の推定に応用できるとされる  $^{10}\text{Be}$  法や地下水流動への応用が期待される  $^{36}\text{Cl}$  法等に係わる年代測定技術の整備を引き続き進めていく。

### 参考文献

- 1) Craig, H.,(1961):Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133, pp.1702-1703.
- 2) Iwatsuki et al.,(2005):Hydrochemical baseline condition of groundwater at the Mizunami underground research laboratory (MIU), Applied Geochemistry, 20, pp.2283-2302.
- 3) 岩月他(1999): $^{14}\text{C}$  同位体による地下水流動状態の推定, サイクル機構技報, No.4, pp.93-100.

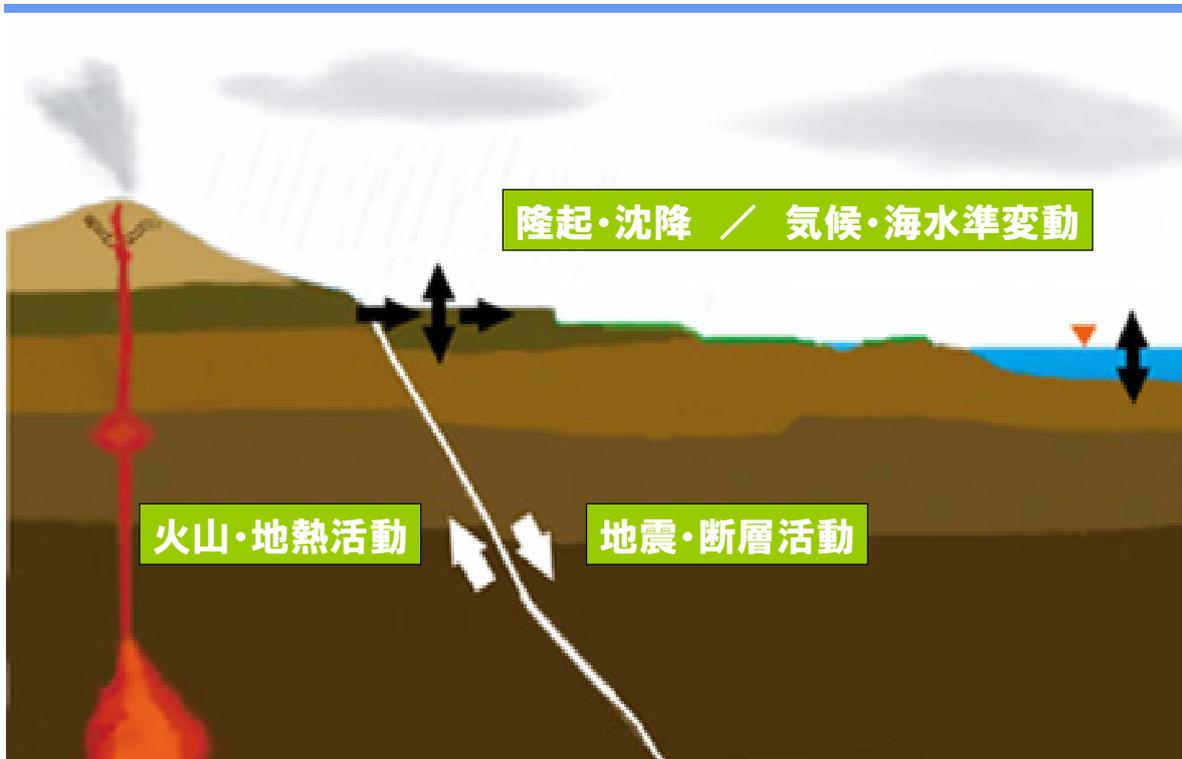
長期安定性研究に係わる年代測定技術開発の現状と展望(その1)

タンデム型加速器質量分析計(ペルトロン)を用いた  
年代測定技術開発  
—1mgの炭素でわかる過去のイベント—

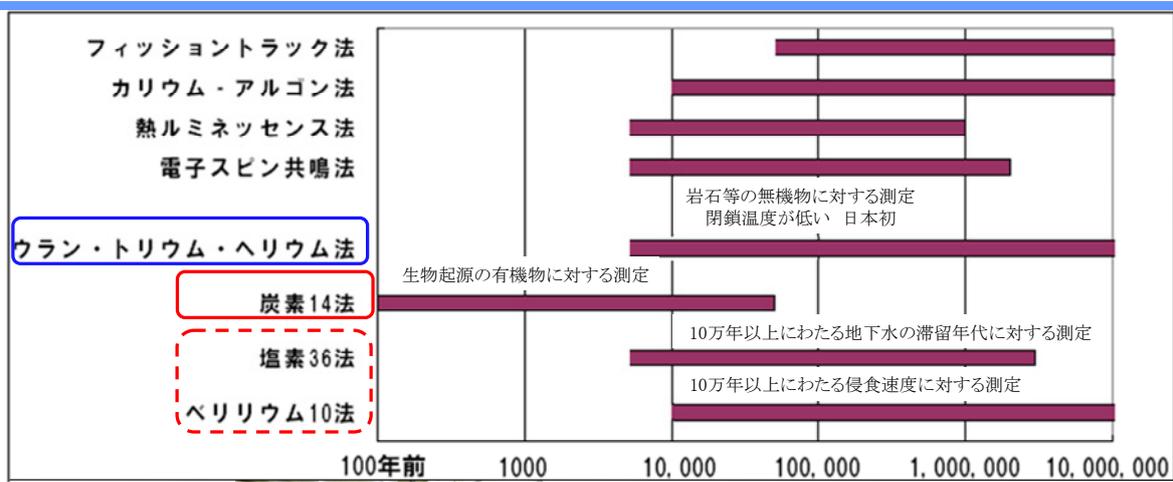
平成20年10月16日

東濃地科学研究ユニット  
自然事象研究グループ  
齋藤 龍郎

地質環境の長期安定性に関する研究



# 主な年代測定技術と測定年代範囲

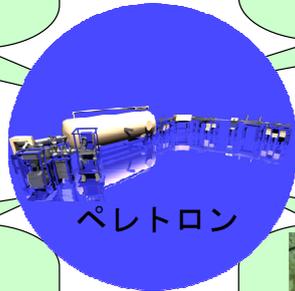
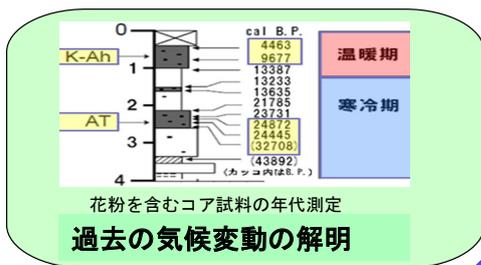


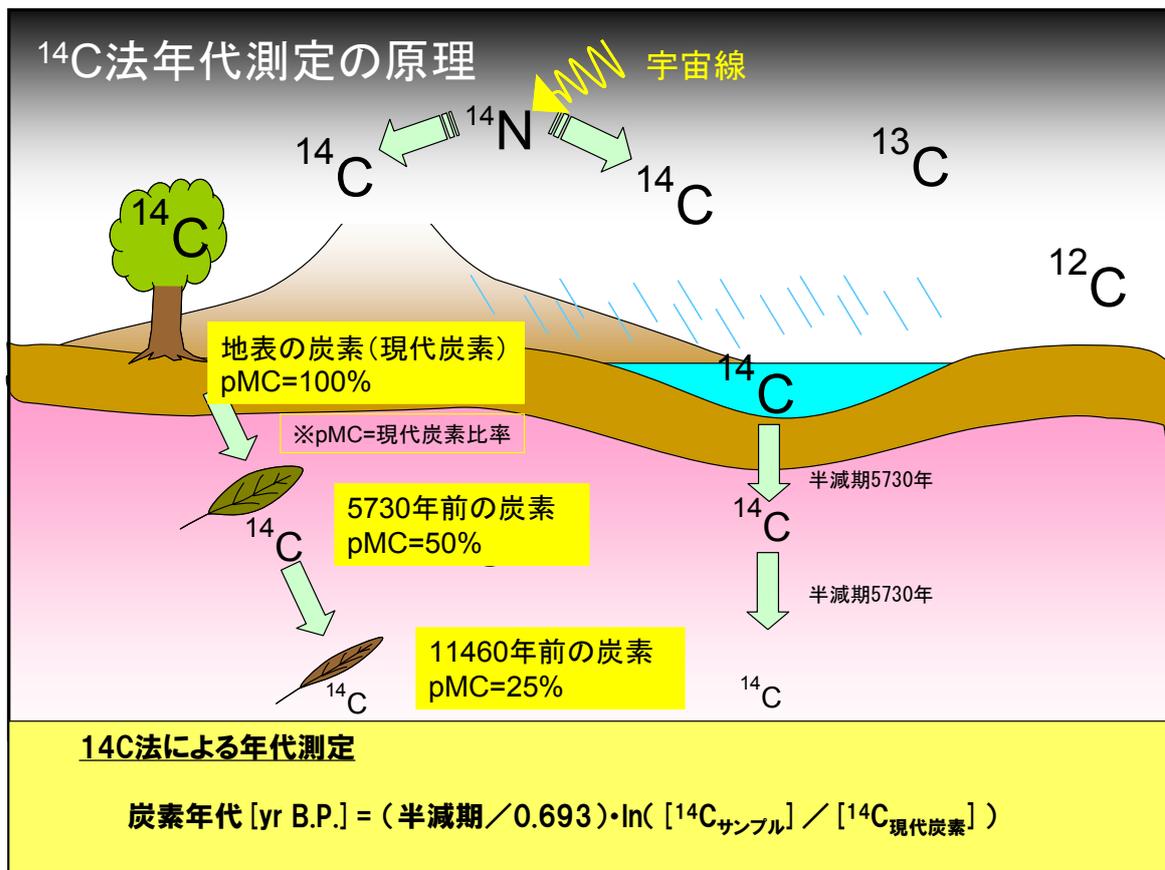
タンデム型加速器質量分析計  
ペレトロン



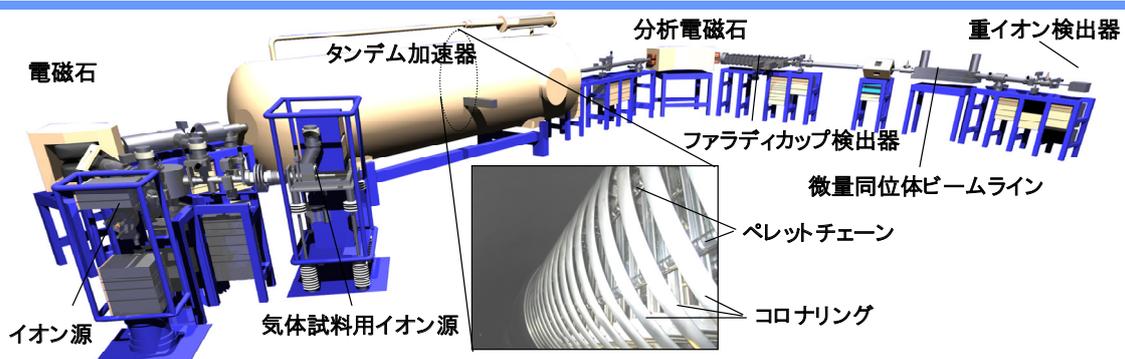
希ガス質量分析装置

# 年代測定で分かること



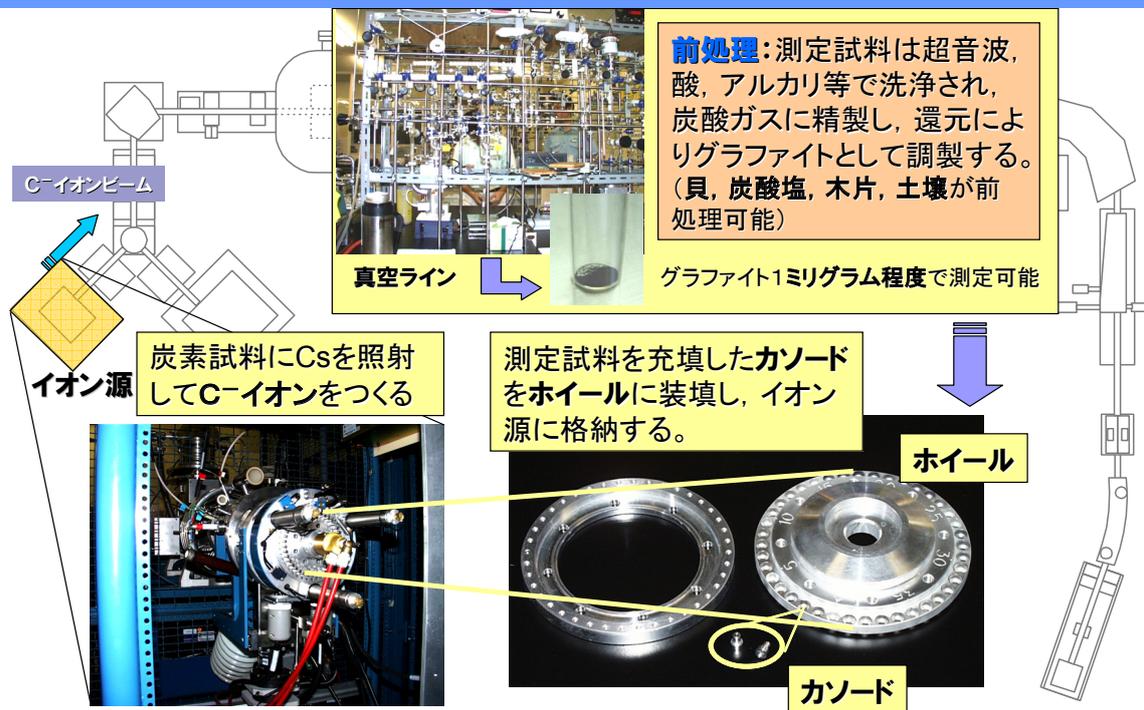


## ペルトロン年代測定装置の主な仕様

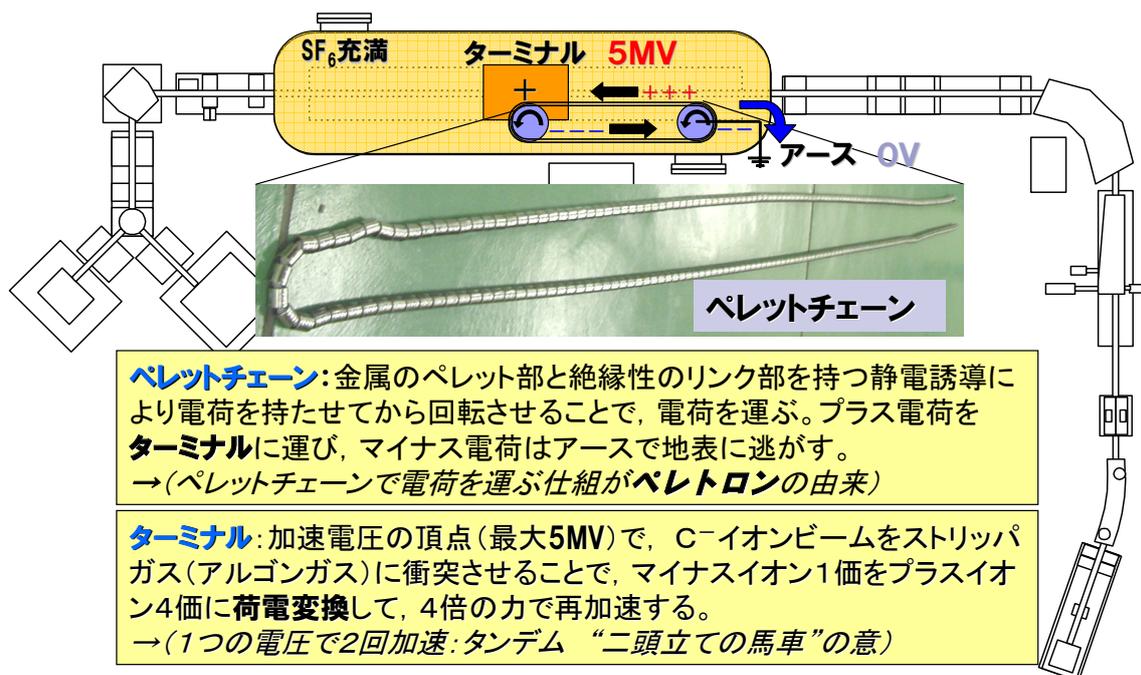


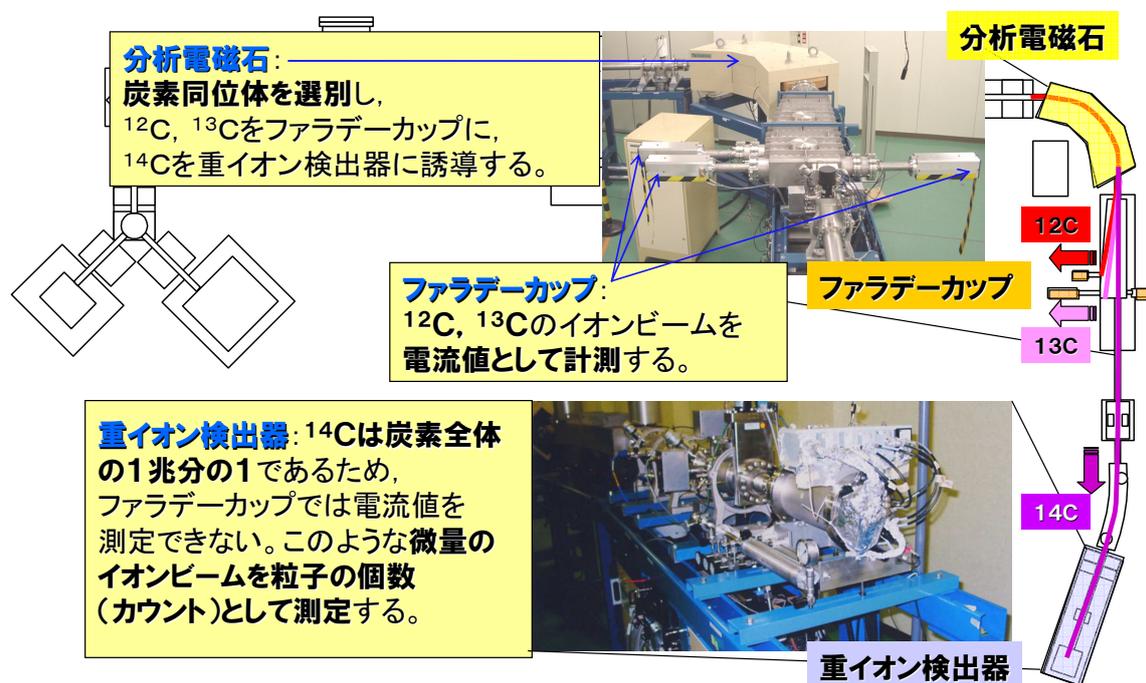
— 主な仕様 —	(NEC社製SDH15-2 ペルトロン)
■ 最大加速電圧	500万V
■ 最大電流	1 $\mu\text{A}$
■ 最小試料量	約1ミリグラム ( $^{14}\text{C}$ の場合)
■ 年代測定範囲	最大約5万年前まで ( $^{14}\text{C}$ の場合)
■ 測定所要時間	1試料あたり約1時間程度

## $^{14}\text{C}$ 年代測定 の 工 程 ( その 1 )



## $^{14}\text{C}$ 年代測定 の 工 程 ( その 2 )

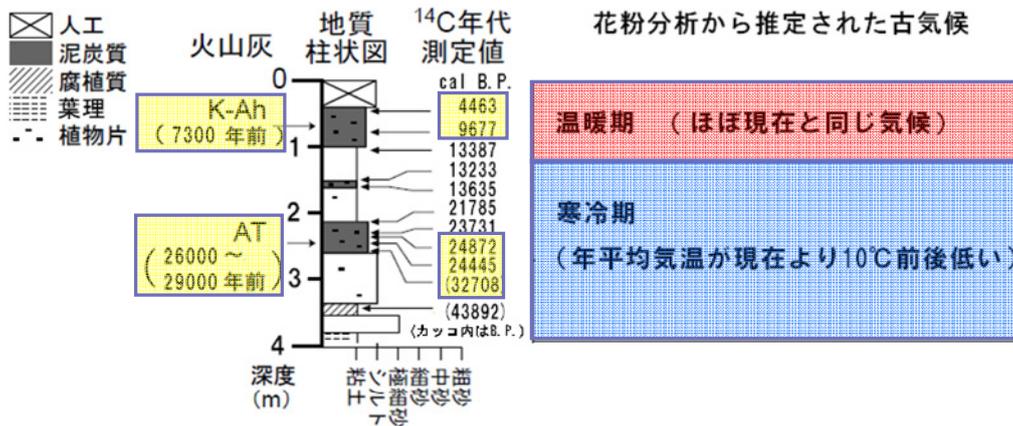


**$^{14}\text{C}$ 年代測定 の 工程 (その3)****ペレトロンを活用した内部研究事例**

- **古気候変動に関する研究**  
(試料:ボーリングコア中の木片, 植物片)
- **活断層の発達過程に関する研究**  
(試料:段丘堆積物中の土壌, 木片)
- **$^{14}\text{C}$ 年代と安定同位体分析による地下水滞留年代の推定**  
(試料:研究坑道およびボアホール地下水)

## 古気候変動に関する研究

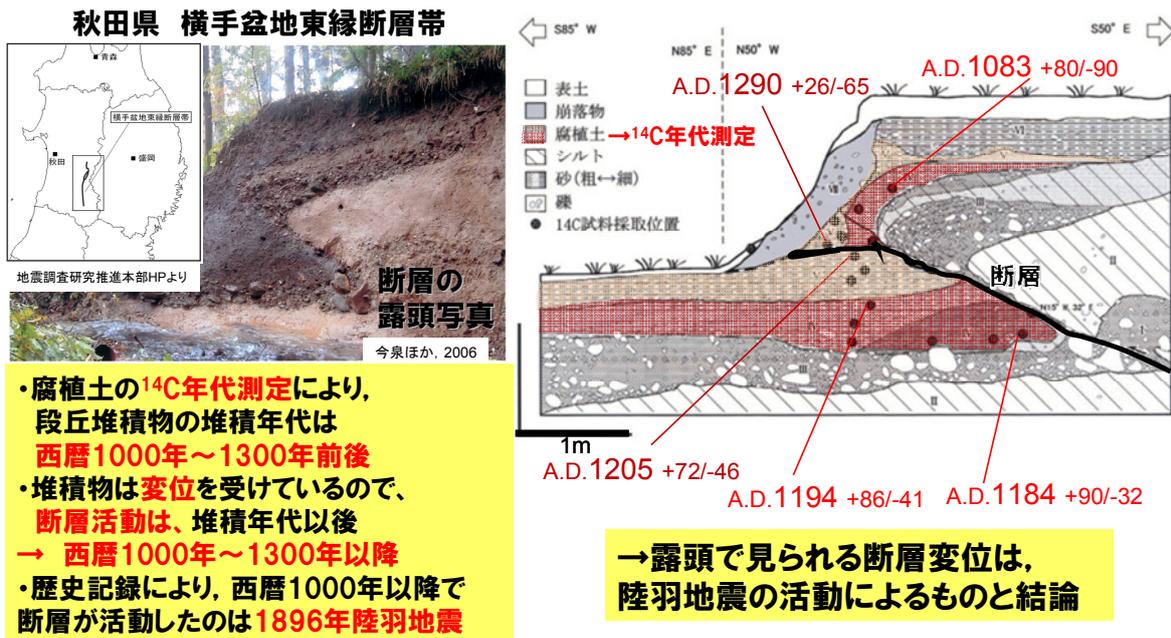
- 岐阜県瑞浪市のボーリング試料を用いた<sup>14</sup>C年代測定は、火山灰分析（噴出年代）の結果と整合的。
- 花粉分析結果と<sup>14</sup>C年代測定結果の比較により、古気候の変動の時期が詳細に評価できた。



大湫(おおくて)盆地における<sup>14</sup>C年代測定、火山灰分析および花粉分析の結果

## 活断層の発達過程に関する研究

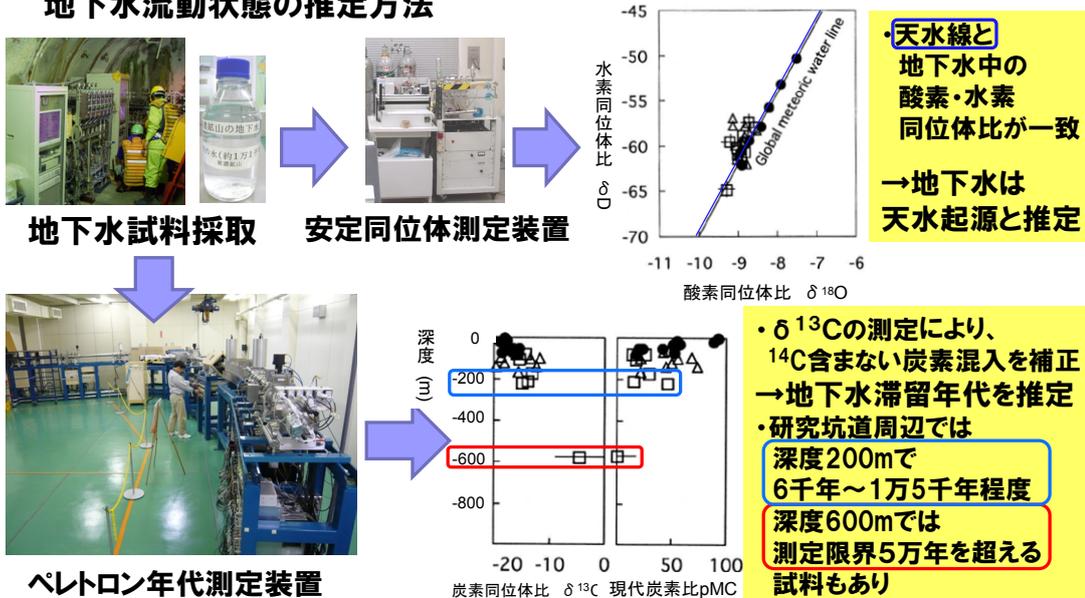
<目的>: 活断層に沿って変位している堆積物の年代測定により、活断層の発達過程を明らかにする。



- 腐植土の<sup>14</sup>C年代測定により、段丘堆積物の堆積年代は西暦1000年～1300年前後
- 堆積物は変位を受けているので、断層活動は、堆積年代以後
- 西暦1000年～1300年以降
- 歴史記録により、西暦1000年以降で断層が活動したのは1896年陸羽地震

# <sup>14</sup>C年代と安定同位体分析による 地下水滞留年代の推定

➤ 地下水試料を用いた <sup>14</sup>C 年代測定と酸素・水素同位体分析による  
地下水流動状態の推定方法



## まとめと今後の取組

### ○まとめ

ペルトロンによる年代測定技術の活用を紹介

- ◆天然現象のイベント年代の推定に有効
- ◆地下水滞留年代の推定にも活用

### ○今後の取組

炭素以外の放射性核種による年代測定技術の整備

- ◆<sup>10</sup>Beによる数十万年間の侵食速度推定
- ◆<sup>36</sup>Clによる5万年を超える地下水滞留年代の推定