JAEA-Review
2010-069

JAEA-Review

「平成 22 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, 2010

（編）西尾 和久　弥富 洋介　島田 顕臣

（Eds.）Kazuhisa NISHIO, Yosuke IYATOMI and Akiomi SHIMADA

地層処分研究開発部門
東濃地科学研究ユニット

Tono Geoscientific Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate

February 2011

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, 2011

「平成 22 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 東濃地科学研究ユニット

(編)西尾 和久※, 弥富 洋介, 島田 顕臣

(2010 年 11 月 25 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においては,「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 22 年 10 月 19 日に岐阜県瑞浪市で開催した「平成 22 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。

東濃地科学センター(駐在):〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-64
※)技術開発協力員

Proceedings of Information and Opinion Exchange Conference on Geoscientific Study, 2010

（Eds.）Kazuhisa NISHIO※, Yosuke IYATOMI and Akiomi SHIMADA

Tono Geoscientific Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency
Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received November 25, 2010)

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) at Tono Geoscience Center (TGC) 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 in the conference. This document compiles research presentations, posters of the conference at Mizunami on October 19th, 2010.

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 5
3.1 全体概要 地層科学研究の現状について 5
3.2 JAEA 知識マネジメントシステム(KMS)の開発成果および H21 年度までの成果取りまとめ(CoolRepH22)に関する報告 12
3.2.1 KMS および CoolRepH22 の全体フレーム 12
3.2.2 地層科学研究の研究事例を用いた KMS の機能紹介 25
3.2.2.1 次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の開発と判断支援エキスパートシステム(ES)の構築と適用について ー「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」を例としてー 25
3.2.2.2 討論モデルの活用方法について ー地質環境の長期安定性に関する研究(火山・熱水活動に関する調査研究)を例としてー 39
4. 今後の研究計画 55
4.1 超深地層研究所計画 55
4.1.1 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備 55
4.1.2 深地層における工学技術の基礎の整備 66
4.2 地質環境の長期安定性に関する研究 72
5. ポスターセッション発表資料 81
6. おわりに 131
謝辞 131

Contents

1. Introduction ----------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 ---------- 5
3.1 State of geoscientific research for R&D on HLW geological disposal---------- 5
3.2 Development status of JAEA Knowledge Management System and JAEA Mid-term Report on R&D for deep geological disposal – CoolRepH22– ---------- 12
3.2.1 Overview of JAEA Knowledge Management System(JAEA KMS) and CoolRepH22---------- 12
3.2.2 Presentations on KMS functions with example of geoscientific research ---------- 25
3.2.2.1 Development of ISIS (Information Synthesis and Interpretation System), and establishment of ES (expert system)－Example of Establishment techniques for investigation, analysis and assessment of the deep geological environment－---------- 25
3.2.2.2 Application of Argumentation model －Example of volcanic & geothermal effects on long-term stability of geological environment－---------- 39
4. Future research plans ---------- 55
4.1 Mizunami Underground Research Laboratory Project ---------- 55
4.1.1 Establishment techniques for investigation, analysis and assessment of the deep geological environment---------- 55
4.1.2 Study on Engineering Technology ---------- 66
4.2 Research on Geosphere Stability for Long-Term Isolation of Radioactive Waste ---------- 72
5. Posters---------- 81
6. Concluding Remarks---------- 131
Acknowledgement---------- 131

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高レベル放射性廃棄物の地層処分事業および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，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[1)]。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「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。

今年度の「情報・意見交換会」(平成 22 年 10 月 19 日)では，地層処分の安全確保の論拠を支える知識ベースを適切に管理するための JAEA 知識マネジメントシステム(JAEA KMS)の開発状況と平成 21 年度までに進めてきた「地層処分技術に関する研究開発」の成果を Web 上に取りまとめた CoolRepH22 について報告するとともに，地層科学研究に関する今後の研究計画について報告し，大学・研究機関・企業の技術者・研究者等と意見交換を行った。また，翌日の平成 22 年 10 月 20 日には瑞浪超深地層研究所の深度 300m 水平坑道の見学会を開催した。

本資料は，平成 22 年 10 月 19 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。

参考文献

1) 資源エネルギー庁，日本原子力研究開発機構(2009)：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(2009 年 7 月)平成 20 年度版

2.「情報・意見交換会」の概要

平成 22 年 10 月 19 日に岐阜県瑞浪市の地域交流センター「ときわ」において,「平成 22 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)「全体概要 地層科学研究の現状」, 2)「JAEA 知識マネジメントシステム(KMS)の開発成果および H21 年度までの成果取りまとめ(CoolRepH22)に関する報告」および 3)「今後の研究計画」 の 3 部構成とし, それぞれ以下の 2.1 に示す表題にて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詳細に報告した。ポスター発表の表題を 2.2 に示す。また, 翌日の 10 月 20 日には, 瑞浪超深地層研究所の深度 300m 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

(発表者)

(1) 全体概要 地層科学研究の現状について

(発表者:結晶質岩工学技術開発グループ 伊藤洋昭)

(2) JAEA 知識マネジメントシステム(KMS)の開発成果および H21 年度までの成果取りまとめ(CoolRepH22)に関する報告

① KMS および CoolRep H22 の全体フレーム

(発表者:知識化グループ 日置一雅)

② 地層科学研究の研究事例を用いた KMS の機能紹介

a) 次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の開発と判断支援エキスパートシステム(ES)の構築と適用について

－「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」を例として－

(発表者:結晶質岩地質環境研究グループ 竹内真司)

b) 討論モデルの活用方法について

－地質環境の長期安定性に関する研究(火山・熱水活動に関する調査研究)を例として－

(発表者:自然事象研究グループ 石丸恒存)

(3) 今後の研究計画

① 超深地層研究所計画

a) 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備

(発表者:結晶質岩地質環境研究グループ 濱 克宏)

b) 深地層における工学技術の基礎の整備

(発表者:結晶質岩工学技術開発グループ 松井裕哉)

② 地質環境の長期安定性に関する研究

(発表者:自然事象研究グループ 梅田浩司)

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　（発表者）

① 調査技術の開発・体系化

（自然事象研究グループ　安江健一, 黒澤英樹）

② 長期予測・影響評価モデルの開発

（自然事象研究グループ　浅森浩一, 谷川晋一）

③ 年代測定技術の開発

（自然事象研究グループ　山崎誠子）

(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

（結晶質岩地質環境研究グループ　松岡稔幸）

② 地下水流動に関する調査研究

（結晶質岩地質環境研究グループ　尾上博則）

③ 地下水の地球化学に関する調査研究

（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

（結晶質岩地質環境研究グループ　真田祐幸）

⑤ 第 3 段階の調査研究計画

（結晶質岩地質環境研究グループ　鶴田忠彦）

⑥ 瑞浪超深地層研究所における工学技術に関する研究

（結晶質岩工学技術開発グループ　堀内泰治）

⑦ 瑞浪超深地層研究所の建設状況

（施設建設課　見掛信一郎）

(3)共同研究等

① 産業技術総合研究所との共同研究　－地球化学環境変動要因としての地下微生物の影響評価手法の技術開発と高度化－

（結晶質岩地質環境研究グループ　福田朱里）

② 京都大学との共同研究　－地質構造発達プロセスに基づく地質モデリング技術の開発－

（結晶質岩地質環境研究グループ　田上雅彦）

③ 地下水中のコロイド試料採取・分析手法の確立

（結晶質岩地質環境研究グループ　山本祐平）

(4)瑞浪超深地層研究所を利用した研究

① 断層近傍における能動的揚水実験によって生じた歪変化

（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）

表 2-1「平成 22 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

「平成 22 年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会」 －地層処分知識マネジメントシステムの開発と地層科学研究の今後の計画－	
第 1 日目 ； 10 月 19 日(火)	
1. 開会挨拶	12:45～12:50
2. 全体概要 地層科学研究の現状について	12:50～13:05
結晶質岩工学技術開発グループ 伊藤洋昭	
3. JAEA 知識マネジメントシステム(KMS)の開発成果および H21 年度までの成果取りまとめ(CoolRepH22)に関する報告	
(1) KMS および CoolRep H22 の全体フレーム	13:05～13:35
知識化グループ 日置一雅	
質疑	13:35～13:40
	(休憩 5 分)
(2)地層科学研究の研究事例を用いた KMS の機能紹介	
①次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の開発と判断支援エキスパートシステム(ES)の構築と適用について －「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」を例として－	13:45～14:10
結晶質岩地質環境研究グループ 竹内真司	
②討論モデルの活用方法について －地質環境の長期安定性に関する研究(火山・熱水活動に関する調査研究)を例として－	14:10～14:35
自然事象研究グループ 石丸恒存	
質疑	14:35～14:45
	(休憩 10 分)
4. 今後の研究計画	
(1)超深地層研究所計画	
①深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備	14:55～15:20
結晶質岩地質環境研究グループ 濱 克宏	
②深地層における工学技術の基礎の整備	15:20～15:35
結晶質岩工学技術開発グループ 松井裕哉	
(2)地質環境の長期安定性に関する研究	15:35～15:55
自然事象研究グループ 梅田浩司	
質疑	15:55～16:05
5. ポスターセッション－個別研究の成果－ (含;休憩)	16:05～16:50
6. 全体質疑	16:50～17:00
7. 閉会挨拶	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)	17:30～19:00
第 2 日目 ； 10 月 20 日(水)午前	
瑞浪超深地層研究所 深度 300m 水平坑道見学会	9:30～11:30

3. 調査研究発表資料

3.1 全体概要　地層科学研究の現状について

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　結晶質岩工学技術開発グループ
伊藤　洋昭

(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高レベル放射性廃棄物の地層処分(以下，地層処分)事業と国による安全規制の両面を支えるため，わが国における原子力の研究，開発および利用を計画的に遂行するために原子力委員会が定める基本的考え方に則り国が定めた「独立行政法人日本原子力研究開発機構が達成すべき業務運営に関する目標」(中期目標)[1] および「独立行政法人日本原子力研究開発機構の中期目標を達成するための計画」(中期計画)(以下，中期計画)[2]に基づき，地層処分技術に関する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。以下に，地層処分技術に関する研究開発の概要および地層科学研究の現状と今後の研究開発の概要について紹介する。

(2)地層処分技術に関する研究開発の概要

わが国における高レベル放射性廃棄物の処分方策については，1976 年の原子力委員会において当面地層処分に重点を置き調査研究を進めることとされ，これを始点として，動力炉・核燃料開発事業団(以下，動燃事業団(現;原子力機構))をはじめとする研究機関において，地層処分に関する研究開発を実施してきた。動燃事業団においては，原子力委員会の方針に基づき関係機関と協力しつつ研究開発を進めた結果として，1992 年に「高レベル放射性廃棄物 地層処分研究開発の技術報告書－平成 3 年度－」[3](以下，「第 1 次取りまとめ」)としてそれまでの研究開発成果を取りまとめた。また 1999 年には，核燃料サイクル開発機構(現;原子力機構)は，「第 1 次取りまとめ」以降の研究成果を「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－」[4](以下，「第 2 次取りまとめ」)に取りまとめた。この「第 2 次取りまとめ」は，国において，地層処分の技術的信頼性が示されているとともに，処分予定地の選定と安全基準の策定に資する技術的拠り所となることが示されていると評価され，この「第 2 次取りまとめ」を技術的な拠り所として，2000 年に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が制定され，それまでの概念評価の段階から事業段階へと移行した。「第 2 次取りまとめ」以降の研究開発の課題については，実際の地質環境への適用を通じて，あるいは現実の地質環境条件に基づいて技術の信頼性を確認していくこと，また，現象への理解をさらに深め，データの蓄積やモデルの改良を進め，処分システムの長期的安全性を評価する手法を確立することにより，地層処分技術の信頼性をさらに向上させることが重要であることが示された。[5][6]

事業段階における「地層処分研究開発」の役割は，「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の技術基盤を強化していくことにより地層

処分に対する国民的な理解を醸成していくことにある。そのため，原子力機構では，「第 2 次取りまとめ」以降の研究開発に関し，「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」という二つの研究開発目標を設定し，これら二つの研究開発目標に対して，地層科学研究では，前者については「地質環境特性の調査・評価技術の開発」および「深地層における工学技術の基礎の開発」，後者については「地質環境の長期安定性に関する研究」という個別の研究課題を設定し研究開発を進めてきた。

(3)地層科学研究の現状と今後の研究開発

原子力機構の第 1 期中期計画期間（平成 17 年 10 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日）における深地層の研究施設計画（超深地層研究所計画）では，深度約 460m までの研究坑道を掘削し，同深度までの調査研究を進め，得られた地質環境データに基づき，地上からの調査研究で構築した地質環境モデル（地質構造，水理地質構造，地球化学，岩盤力学）を確認しつつ，地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性の評価を行った。これらを通じ，精密調査における地上からの調査で必要となる技術の基盤を整備してきた。また，地質環境の長期安定性に関する研究については，精密調査地区の選定において重要となる地質環境条件に留意して，天然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価するための調査技術の体系化やモデル開発等を進めた。原子力機構は，これらの成果を含む第 1 期中期計画期間の地層処分技術開発における研究成果を，国内外の専門家によるレビュー等を通じて技術的品質を確保した包括的な報告書と知識ベースとして取りまとめ，平成 22 年 3 月に地層処分に関する知識マネジメントシステムのプロトタイプとウェブサイト上に取りまとめた報告書「CoolRepH22」をホームページ上で公開した。

原子力機構の第 2 期中期計画期間（平成 22 年 4 月 1 日～平成 27 年 3 月 31 日）における地層科学研究では，以下の二つの計画を定めて，現在，調査研究を進めている。①深地層の研究施設計画を進め，これまでの研究開発で明らかとなった深地層環境の深度（瑞浪：地下 500m 程度，幌延：地下 350m 程度）までの坑道を掘削しながら調査研究を実施し，得られる地質環境データに基づき，調査技術やモデル化手法の妥当性評価および深地層における工学技術の適用性確認を行う。これにより，平成 26 年度までに，地質環境の調査手法，地下施設建設に伴う影響範囲のモニタリング手法等の地上からの精密調査の段階に必要となる技術基盤を整備し，実施主体や安全規制機関に提供する。②地質環境の長期安定性に関する研究については，精密調査において重要となる地質環境条件に留意して，天然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価するための手法を整備していく。

(4)おわりに

原子力機構では，今後も地層処分技術に関する研究開発を着実に進めるとともに，成果の公表，深地層の研究施設等の施設の公開，国内外の研究機関・大学との研究協力を通じて，長期にわたる処分事業を支えていくための技術の継承や技術者・研究者の育成，地層処分に関する国民との相互理解の促進に寄与していく。

参考文献

1） 文部科学省，経済産業省：“独立行政法人日本原子力研究開発機構が達成すべき業務運営に関する目標”（2010）

2) 日本原子力研究開発機構:“独立行政法人日本原子力研究開発機構の中期目標を達成するための計画(平成 22 年 4 月 1 日～平成 27 年 3 月 31 日)”(2010)
3) 動力炉・核燃料開発事業団:“高レベル放射性廃棄物 地層処分研究開発の技術報告書－平成 3 年度－”, PNC TN1410 92-081(1992).
4) 核燃料サイクル開発機構:“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－”, JNC TN1400 99-020～024(1999).
5) 原子力安全委員会原子力バックエンド対策専門部会(2000)
6) 原子力安全委員会放射性廃棄物安全規制専門部会(2000)

JAEA 1

地層科学研究の現状

平成22年10月19日

東濃地科学研究ユニット
結晶質岩工学技術開発グループ
伊藤　洋昭

JAEA 2

日本における地層処分に関する研究

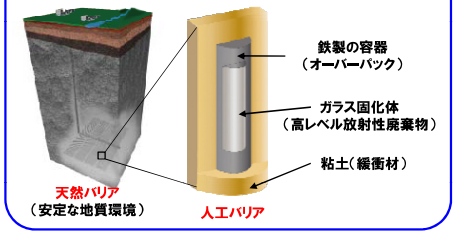
●地層処分研究開発開始（1976年）

●「第２次取りまとめ」（1999年11月）
日本における地層処分の技術的信頼性を提示

「第２次取りまとめ」の国による評価
→事業化に向けて技術的な拠り所となる

事業段階（2000年）
●特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律
●原子力発電環境整備機構（NUMO）設立

地層処分の概念（安全確保の考え方）



JAEA 3

事業段階における研究開発の必要性

技術的信頼性，国民の理解の更なる向上のために

「第２次取りまとめ」で示した考え方や技術が**実際の地質環境で想定通り役立つのかを検証**することが必要

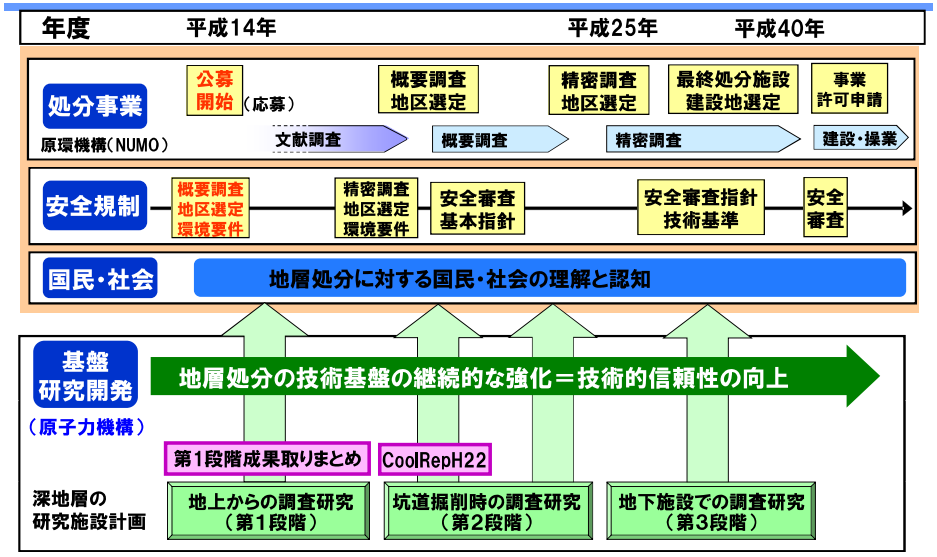
➡○深地層の研究施設において技術を適用して確認する

より現実に即した安全評価の手法を確立するために
地下での現象などの理解を深めることが必要

➡○天然事象（火山，地震・断層，隆起・侵食など）の調査技術や天然現象の処分場への影響を評価する手法の開発を進める
○人工バリア周辺での現象の把握（核種移行など）

JAEA 4

成果の段階的な取りまとめと地層処分計画への反映



第1期中期計画

高レベル放射性廃棄物の処分技術に関する研究開発

- 実施主体である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を知識基盤として整備していく。**
- 研究開発の成果を地層処分の安全確保の考え方や評価に係る様々な論拠を支える**「知識ベース」として体系化する。**

第1期中期計画期間：平成17年10月1日～平成22年3月31日

第1期中期計画（深地層の科学的研究）

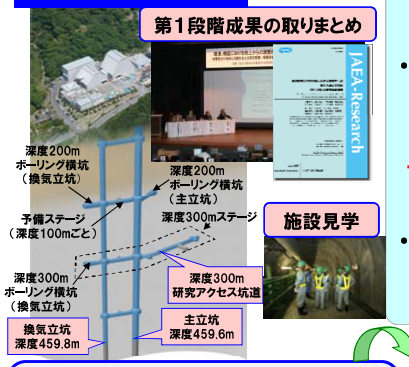
【深地層の研究施設計画】

- 中間深度までの坑道掘削時の調査研究を行う（瑞浪：地下500m程度，幌延：地下300m程度）。
- 得られた地質環境データに基づき，地上からの調査研究で構築した地質環境モデル（地質構造，岩盤力学，水理，地球化学）を確認しつつ，**地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性の評価を行う。**
- これらを通じ，**精密調査における地上からの調査で必要となる技術の基盤を整備する。**
- **坑道掘削に係る工学技術や影響評価手法**についても検討を行い，**適用性や信頼性を確認**するとともに，その後の調査研究に向けて**最適化を図る。**

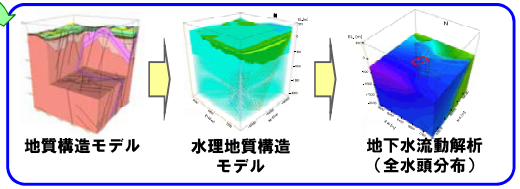
【地質環境の長期安定性に関する研究】

- 精密調査地区の選定において重要となる地質環境条件に留意して，**天然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価するための調査技術の体系化やモデル開発等を進める。**

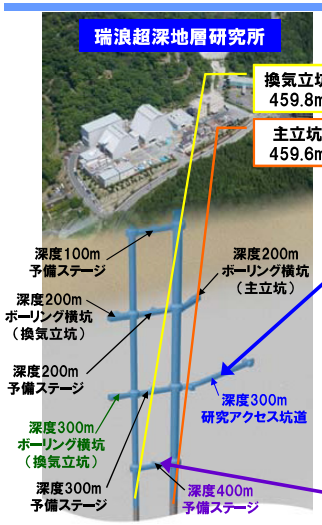
第1期中期計画における研究開発（深地層の研究施設計画）



- 地上からの調査研究段階の成果取りまとめ
  - →概要調査等の技術基盤として公開
- 坑道掘削時の調査研究　主立坑（深度459.6m）　換気立坑（深度459.8m）
  - ✓ 地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性評価
  - ✓ 掘削影響の評価や坑道の設計・覆工技術等の確認
  - →精密調査における地上からの調査で必要となる技術基盤を整備
- 研究用水平坑道の整備（深度300mステージ）
  - →地下施設での調査研究の開始
  - →国民との相互理解促進の場として活用



瑞浪超深地層研究所の建設状況

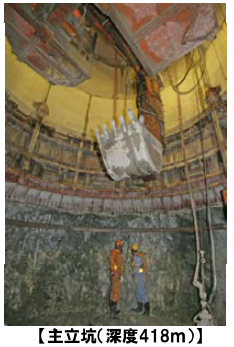


※坑道の位置や長さなどは計画であり，地質環境や施工条件などにより，決定していきます。

【深度300m研究アクセス坑道】

【深度400m予備ステージ】

深度300mボーリング横坑（換気立坑）

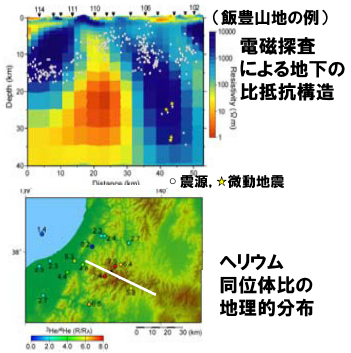

【主立坑（深度418m）】

第１期中期計画における研究開発（長期安定性研究）

地質環境の長期安定性に関する研究

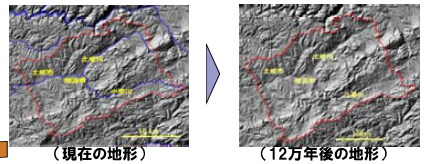
・過去数10万年程度の履歴を解明するための調査技術の体系化
→安定な場所を選ぶ（変動の激しい場所を避ける）ための技術を整備
・10万年程度の将来にわたる地質環境の将来変化を予測するためのモデルの開発

地下深部のマグマの探査技術

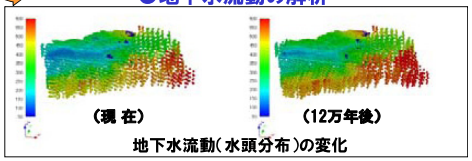


将来の地形変化を考慮した地下水流動の評価

●三次元地形変化シミュレーション



●地下水流動の解析



第１期中期計画における研究開発（知識ベースの開発）

知識ベースの開発

・研究成果を国内外の知見とあわせて，地層処分に関する総合的な技術として体系化
→知識マネジメントシステム（JAEA KMS）として構築し，プロトタイプを公開
・中期計画の研究成果を国内外専門家のレビュー等により品質確保して取りまとめ
→KMSとリンクさせてウェブ上に公開（CoolRepH22）
→処分事業や安全規制を恒常的に支援する体制の整備，理解促進への活用

○KMS／CoolRepH22 ウェブ公開
（H22年3月31日）

○報告会の開催
（H22年6月16日@東京国際交流館）

第２期中期計画（概要）

高レベル放射性廃棄物の処分技術に関する研究開発

➢ 実施主体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整備していくため，基盤的な研究開発を着実に進め，地層処分技術の信頼性の向上を図り，地層処分の安全確保の考え方や評価に係る様々な論拠を支える「知識ベース」を充実させる。

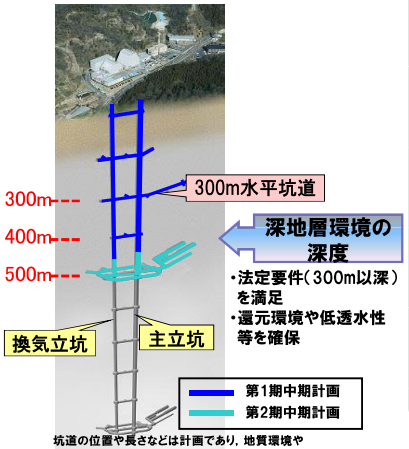
➢ 実施主体や安全規制機関との技術交流や人材交流等を進め，円滑な技術移転を図る。

➢ 研究施設の公開や研究開発成果の発信等を通じて，国や実施主体等が行う処分事業に関する国民との相互理解促進に貢献する。

第2期中期計画期間：平成22年4月1日～平成27年3月31日

第２期中期計画（深地層の研究施設計画）

瑞浪超深地層研究所



【深地層の研究施設計画】

➢ これまでの研究開発で明らかとなった深地層環境の深度（瑞浪：地下500m程度）まで坑道を掘削しながら調査研究を実施し，

・得られる地質環境データに基づき，調査技術やモデル化手法の妥当性評価および深地層における工学技術の適用性確認を行う。

・これにより，地上からの精密調査の段階に必要となる技術基盤を整備し，実施主体や安全規制機関に提供する。

➢ 国民との相互理解促進への活用

第2期中期計画（長期安定性研究）

【地質環境の長期安定性に関する研究】

➢精密調査において重要となる地質環境条件に留意して，**天然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する手法を整備**する。

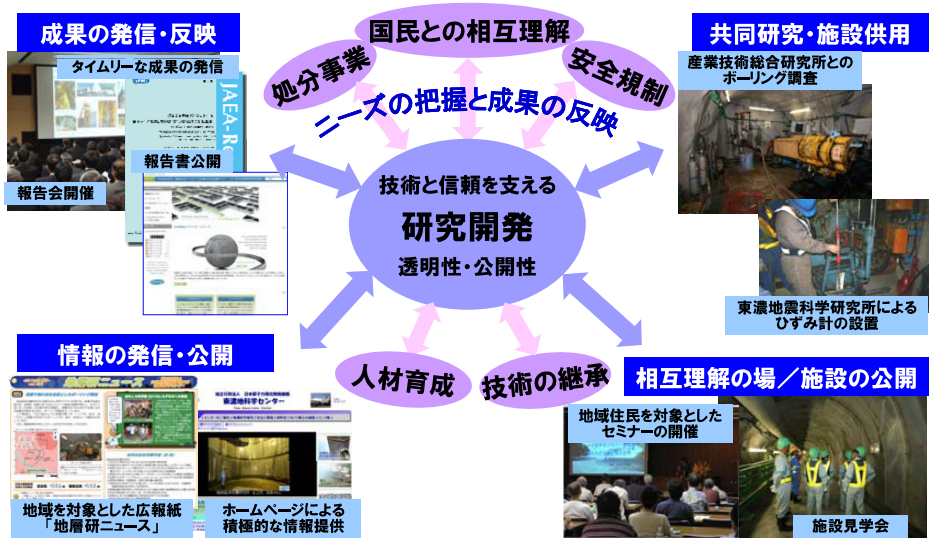
【地質環境の長期安定性に関する研究の枠組み（H22-26）】

① 調査技術の開発・体系化
過去の天然現象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

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の変化を予測・評価するための手法の整備

③ 年代測定技術の開発
最先端の機器分析装置を用いた放射年代測定技術を含めた編年技術の高度化

地層処分に関する技術基盤の更なる強化・国民的な理解醸成に寄与



3.2 JAEA 知識マネジメントシステム（KMS）の開発成果および H21 年度までの成果取りまとめ（CoolRepH22）に関する報告

3.2.1 KMS および CoolRepH22 の全体フレーム

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
研究開発統括ユニット　知識化グループ
日置　一雅

(1)はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下，JAEA）は，国が示した中期目標や関連する計画・方針に従って定めた JAEA の中期計画（平成 17 年 10 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日）[1]に基づき，地層処分技術に関する研究開発として，地層処分研究開発およびその基盤となる深地層の科学的研究を進めるとともに，地層処分の安全確保の論拠を支える知識ベースを適切に管理するための JAEA 知識マネジメントシステム(JAEA KMS)[2]を開発するとともに，中期計画にしたがって平成21年度までに進めてきた地層処分の研究開発の成果と取りまとめた CoolRepH22※1 を作成し [3]，平成 22 年 3 月末に地層処分研究開発部門ホームページで公開した [4]。ここでは，JAEA KMS と CoolRepH22 の概要を紹介する。

※1：膨大な知識を従来のような大量の紙ベースの文書として取りまとめるのではなく，最新の知識工学や情報工学の技術を活用することで環境に優しい（紙資源を節約する）形態で展開することから，「クールビズ」をもじって CoolRep と命名したもの。平成 22 年 3 月までに取りまとめられた研究開発成果を CoolRepH22 と呼ぶ。

(2)JAEA KMS の概要

放射性廃棄物の地層処分の特徴は，将来数万年といった極めて長い時間を対象として安全性を確保しようとする点にある。こうした超長期にわたる地層処分の安全性は，実際に体験することができないため，地層処分の安全性と信頼性に関する議論と証拠の統合であるセーフティケースと呼ばれる考え方に基づく説明によって，安全に対する社会の理解を得ていく必要があることが広く認識されつつある [5]。

地層処分の安全性を示すための論拠には，多くの学問分野の多量の知識が関わる。また，関連する知識は数十年以上にわたる処分事業期間を通して増加し続けると考えられる。こうした地層処分における知識を安全性の説明の枠組みの中で位置づけ，関係者間で共有することが重要であり，そのための新たな場（プラットフォーム）の構築が求められる [6]。

そのため，JAEA KMS（プロトタイプ）には，安全性の説明の観点からそれらがどのように利用されるのかを透明性をもって示し，関係者が議論していくため，「地層処分は長期的に安全である」といった主張に関する説明を，主張の根拠となる様々な「論証」とそれに対する「反証」の連鎖（討論モデル）を構築・編集するツール（討論モデルエディタ）[7]を基幹となるマネジメント機能として開発した。また，論証の根拠を蓄積していくために必要な計画の立案，調査・解析・評価に関する経験やノウハウを蓄積・活用していくためのエキスパートシステム [8]およびエキスパートシステム開発インターフェース [9]，失敗事例などを蓄積した事例ベース [10]，地質環境調査などのマネージャーが最新の地質環境モデルを把握し，計画立案やそれに基づき実施される調査の進捗状況などの情報の把握を支援するマネジメントコクピット [11]，性能評価などを行いながら報告書を取りまとめていくことを支援する電子レポートシステム [12]などのマネジメント機能を

開発した。これらの機能は，関係者が双方向にコミュニケーションすることが可能なよう，ウェブを介した編集を可能にするとともに，グループウェアの機能も搭載した[13)]。※2 これらのマネジメント機能により，知識ベースに蓄積した研究開発で得られたデータ，ソフトウェア，情報，報告書などのみならず，専門家の経験やノウハウなどを引き出し，活用することを可能とした。

また，地質環境の調査・理解に関わる知識には，このような暗黙知に類するものが多々あり，深地層の研究施設計画で得られた研究開発成果などを如何に活用できるようにするかが重要である。こうした成果は，地層処分場の候補地点においてその地質環境を調査する際に最大限利用できるようにしておくため，JAEA KMS の機能のうち，地質環境調査の計画立案，調査・解析の実施などを支援する機能（エキスパートシステム開発インターフェース，エキスパートシステム，事例ベース，地質環境調査マネジメントコクピット）などを統合した，次世代型サイト特性調査情報統合システム（Information Synthesis and Interpretation System; ISIS）を構築しているところである[13)]。※3

※2：地層処分研究開発部門のホームページで公開している JAEA KMS は，情報セキュリティの観点から，Read Only となっている。

※3：資源エネルギー庁受託事業「地質環境総合評価技術高度化開発」で実施している。

(3)CoolRepH22 の概要

CoolRepH22 は，ウェブサイト上のレポートであり，セーフティケースの作成に資する知識基盤を提供するという観点から研究開発の最新の状況や今後の研究開発の方向性などを提示して，ステークホルダーの要求に応じて，地層処分に関連する知識や情報をスムーズに提供することを目指したものである。この目的のため，CoolRepH22 の構造を以下のようにした。

- セーフティケースを念頭において作成した「本文」（地層処分のセーフティケースを支援するための知識ベース）
- 研究開発分野ごと（深地層の科学的研究，性能評価研究，工学技術，TRU 廃棄物）の研究開発の成果の概要を示した「カーネル」※4
- 「本文」および「カーネル」から，ハイパーリンクを介して接続される個々の研究開発成果（例えば，より詳細な技術的情報を提供する報告書，ビデオやアニメーションなどの可視化支援資料，レビューや品質保証に関するすべての資料，関連するウェブサイトなど）

※4：中期計画期間の成果を中心に研究開発の状況を簡潔に取りまとめるもの。「性能評価」，「処分場の工学技術」，「深地層の科学的研究」，「知識マネジメントシステム」，「品質マネジメントシステム」について作成することとしている。

このような構造と技術的深さに応じたハイパーリンクの階層化により，ステークホルダーがそれぞれの立場から必要とする情報の提供，要約の中の関連する場所（テキスト文書）から技術的な情報へのアクセスすることにより，「見たいものがすぐに見られる」ことによる理解の効率化などを可能とした。

(4)まとめ

原子力機構は，平成 22 年 3 月に，JAEA KMS（プロトタイプ）および CoolRepH22 を公開した。今後は，プロトタイプの運用，維持，管理を行い，ユーザーの意見を集約しつつ，知識の拡充と機能の改良を図っていく予定である。

参考文献

1) http://www.jaea.go.jp/01/pdf/keikaku18.pdf
2) 大澤英昭, 梅木博之, 牧野仁史, 高瀬博康, イアン・マッキンレー, 大久保博生“地層処分技術に関する知識マネジメントシステムの設計概念”, 火力原子力発電, Vol.59, No.6, pp.26-33, (2008).
3) http://www.jaea.go.jp/04/tisou/houkokukai/houkokukai.html
4) http://www.jaea.go.jp/04/tisou/toppage/top.html
5) NEA(2008) : Safety Cases for Deep Geological Disposal of Radioactive Waste, Where Do We Stand?, Symposium Proceedings, Paris, France, 23-25 January 2007, OECD Nuclear Energy Agency, Paris, ISBN 978-92-64-99050-0.
6) 大澤英昭, 梅木博之, 牧野仁史, 日置一雅, 高瀬博康, “地層処分技術に関する知識マネジメントシステムの設計研究－安全性の論理構造を用いた共有プラットフォームの構築－”, 研究・技術計画学会第 23 回年次学術大会予稿集, 2E11, pp.872-875, (2008).
7) http://kms1.jaea.go.jp/kmsif/diagram_info.html
8) http://kms1.jaea.go.jp/kmsif/expert_system_info.html
9) http://kms1.jaea.go.jp/kmsif/es_development_info.html
10) http://kms1.jaea.go.jp/kmsif/casebase_info.html
11) http://kms1.jaea.go.jp/kmsif/management_info.html
12) http://kms1.jaea.go.jp/PAIRS/PAIRS_info.html
13) http://kms1.jaea.go.jp/kmsif/kobweb_info.html
14) Osawa, H., Umeki, H., Ota, K., Hama, K., Sawada, A., Takeuchi, S., Semba, T., Takase, H., McKinley. I. G. “Development of Next-generation Technology of Integrated Site Characterization for Deep Geological Repositories”, Proceedings of WM2009 Conference, March 1-5, Phoenix, AZ, 9132 (2009).

KMSおよびCoolRepH22の全体フレーム

平成22年10月19日

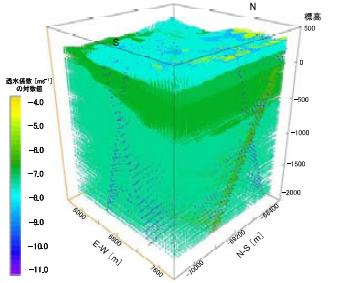
研究開発統括ユニット
知識化グループ
日置　一雅

地層処分の本質的課題

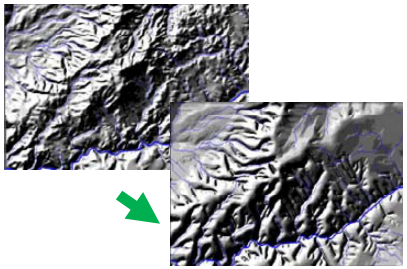
- 放射性廃棄物を，人工物と天然の地層を組み合わせた多重バリアで構築される受動的なシステムによって，数万年といった超長期間にわたる安全性を確保
- 安全性を経験できない，頭で理解することが必要。「安全性の実証（実際に作動させて納得）」ではなく，「安全性の立証（説明による了解）」が社会的合意の根拠
- 「安全性の立証」（セーフティケース）はデータ，専門家の判断やシミュレーションなどを駆使した推論過程ー多くの学問分野における多様かつ大量の知識（単なるデータではなく，情報，経験・ノウハウ（暗黙知））が関係

日本の地層処分研究開発における情報爆発

- 最初の統合性能評価（H3）報告書は約400ページ，9年後の第2次取りまとめ（H12）では約2,500ページに増加
- 最も難しかった点は，地質環境，工学技術，性能評価に関連する多量の情報／データを統合すること
- 将来的にはHLW/TRU廃棄物処分場全体を対象とした三次元，時間依存のより統合的なモデルの取り扱いによってさらにデータ量が増加



三次元水理地質モデルによる透水係数の分布



東濃地域の三次元地形変化予測の例

JAEA 5

米国ユッカマウンテン処分場許認可申請書

総合安全評価(TSPA: Total System Performance Assessment)の反復実施
- TSPA 1991, 1993, 1995
- TSPA-VA (Viability Assessment) 1998
- TSPA-SR (Site Recommendation) 2001
- TSPA-LA (Licensing Application) 2008

申請書本文ー
約1万ページ

知識統合

関連データ・情報ー約3,000万ページ
⇨印刷物の厚さ～1.5 km（100ページで厚さ約1 cm）

JAEA 6

地層処分における知識マネジメントの必要性

- 「安全性の立証」(セーフティケース)に必要なのは客観性のある適切な科学技術的知識 ー 研究機関の役割
- 大量かつ多様な知識が関係，さらに長い事業期間にわたって知識は増大・進化(立地点の地層の段階的な調査による情報の蓄積，科学技術の進歩)ー「情報爆発」と「知識統合」への対応
- セーフティケースの妥当性を知識の変化に応じて継続的に検証(過去と現在を比較)するため，知識を管理(品質に留意した，生産・加工・更新・保存・伝承の繰り返し)することが必要

JAEA 7

地層処分のセーフティケース

地層処分技術
- 超長期の安全性確保
- 学際的総合技術
- 事業期間の長期性

事業期間を通じた繰り返し過程

➢ セーフティケースの作成
地層処分の長期的安全性を様々な証拠に基づいて立証しようとするもの

多くの学問分野の「知識」(データ，情報，経験，ノウハウなど)を用いて行う論理立てた説明

➢ セーフティケースの信頼構築
段階的に蓄積されるサイトの情報や最新の科学技術的知見を用いた信頼性の向上

➢ セーフティケースの受容
事業を次段階へ進めるためにセーフティケースが信頼に足るものであることについての合意

JAEA 8

セーフティケース作成を目的とした研究開発成果の統合

セーフティケースの文書化(主要な記述)

□ 安全性と信頼性の確保のために適切なアプローチがとられていること
- サイト選定や設計，安全評価の進め方
- 品質保証の進め方
- 透明性と追跡性の確保の方策

□ 適切なサイトが選定されていること
- 地質環境の長期安定性
- 好ましい地質環境特性(還元性・小さな地下水流量と流速)

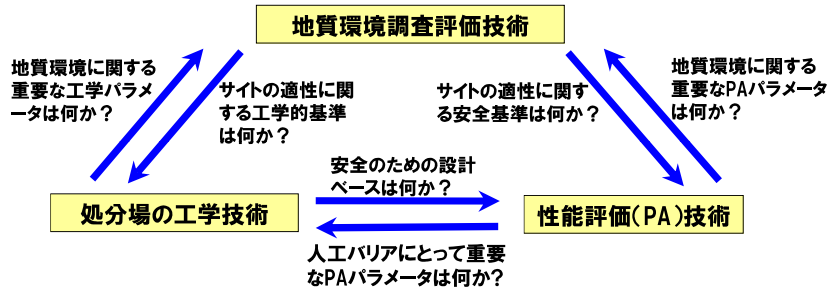
□ 処分場が適切に設計されていること
- 適切な設計手法とデータの使用
- 建設・操業・閉鎖技術の実証

□ 信頼できる安全評価が行われていること
- 網羅的で体系的なシナリオ設定
- 品質保証されたモデルとデータ
- 体系的な性能評価／不確実性評価

□ 求められるレベルの安全性と信頼性を有していること
- 安全基準を満足すること
- 安全評価の補完的説明
- 課題に対する具体的対策の明示

JAEA 9

セーフティケース作成のための研究開発の統合



JAEA 10

研究開発成果の統合の歴史

- 過去20年以上にわたり，研究開発成果の統合は，比較的限られたメンバーによって実施
  …情報の爆発的増加によって限られた人数では限界
  …経験を積んだ専門家の引退時期
- 次世代型知識マネジメントの方法ーCoolRep ＋ JAEA KMS
  CoolRep：ウェブサイト上のレポート，「クールビズ」から命名

地層処分(HLW/TRU廃棄物)研究開発

H3 (1992)：約430ページ
H12 (1999)：約2,500ページ
TRU-1 (2000)：約460ページ
TRU-2 (2005)：約590ページ
H17 (2005)：約1,150ページ
H22 (2010)
処分場の許認可 (2030s)

JAEA 11

知と技の伝承への挑戦

- 地層処分に関心のある人々に技術的な基盤を提供し，それぞれの意思決定を支援することを目指す
  - ✓ 安全性を支援する論拠も含めた，安全に関わる基本的な議論の全体像に容易にアクセスできる手段の提供(すべての重要な情報や文書とハイパーリンク)
  - ✓ 読者の求めるレベルに応じ，適切な情報を提示し，セーフティケースを支えるすべての技術的な材料を階層的に提供
  - ✓ 現実的なプログラムにおいて避けられない基本的なトレードオフの明確化(例えば，操業安全性と閉鎖後安全性のバランス)
  - ✓ 求められるレベルの品質の確保と，レビューの履歴を含む品質マネジメントシステムの装備
  - ✓ 国民との相互理解促進のために，「様々な読者自身が知りたいと思う情報を欲しいときにすばやく引き出せる」ことが重要

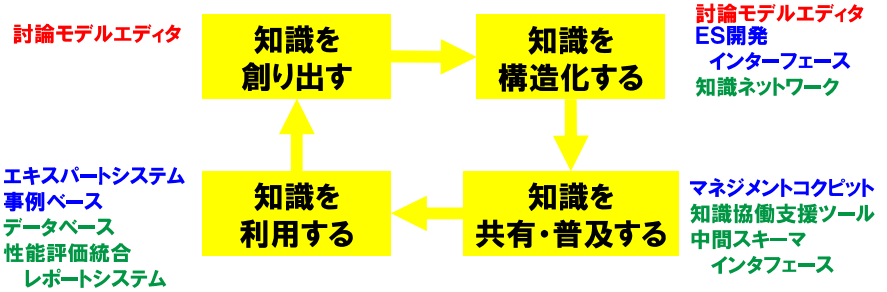
→「道路地図」から「カーナビ」へ

JAEA 12

知識マネジメントの4つのステージと支援機能

■課題探索を支援する
■仮説生成を支援する
■発見的問題解決
■戦略立案支援

■人やコンピュータの使いやすい形で表現する
■相互の関係が分かりやすいように体系化，保存する
■知識の深化に応じてタイムリーに更新し履歴を記録する



■繰り返し行うタスクに必要なツールやデータをパッケージ化し手順を標準化する
■過去の経験から規則を学んで活用する
■類似した事例を参考にする

■ユーザー間で知識を共有する
■重要な知識を要約する
■知識を普及し広く意見を募る
■必要な知識を効率的に探す

知識マネジメントシステムの基本概念

- セーフティケースに階層的に含まれる様々な命題に根拠となるよう関連づけて，知識（形式知と暗黙知）をもれなく体系化
- 爆発的に増加する知識に対応可能な柔軟な仕組み
- 専門家だけでなく，あらゆるステークホルダーにとってユーザーフレンドリーな機能を提供
- 最先端のIT，知識工学を最大限に活用

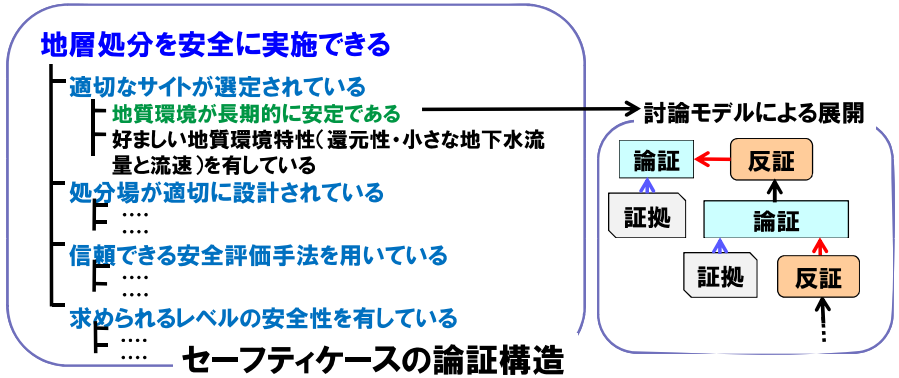
JAEA KMSとは？

✓知識マネジメントシステム
- 時間とともに進化する多種・多様な知識を，目的や利用者の知識レベルに応じて効果的に利用・統合することを支援する仕組み

✓セキュリティへの配慮から助走期間を設定
- 外部からのアクセスは，現在は「Read Only」
- JAEA KMSの機能は「説明（ビデオなどを駆使）」による紹介
- 当面，双方向のコミュニケーション機能は，HP上で指定するアドレスへの問い合わせ・ご意見で対応

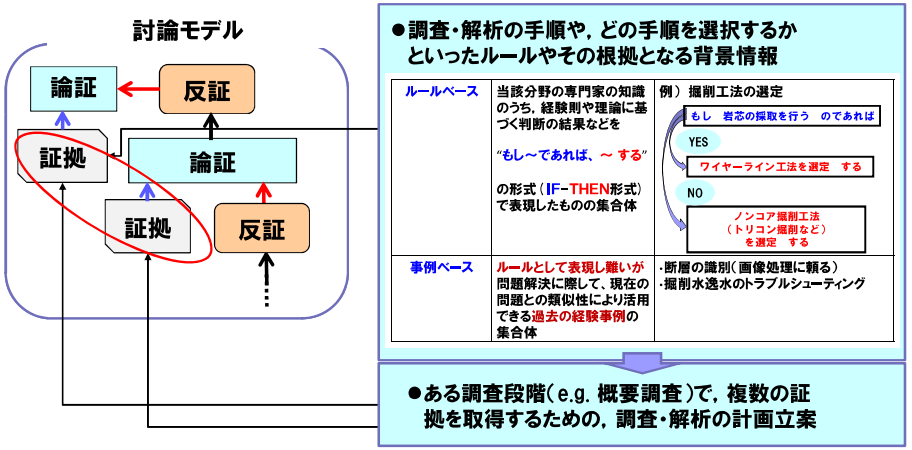
セーフティケースのKM的取り扱い

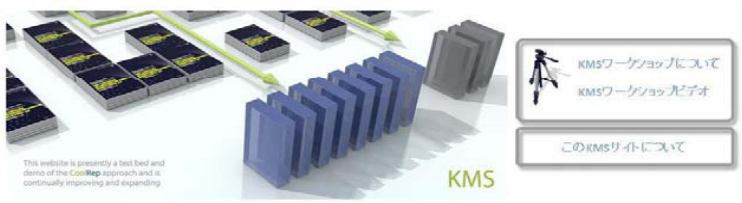
討論モデルによるセーフティケースの表現
- 討論の形式により論点を明らかにしつつ内容を深化
- セーフティケースの構成要素に基づいて討論すべき項目を構造化
- 補強すべき知識の明確化



セーフティケースの論証構造

討論モデルの証拠構築に必要な地質環境の調査・解析の経験・ノウハウの知識の構造化（例）





JAEA KMSへようこそ！

JAEA KMSの基本概念

地層処分研究開発部門では、これまで蓄積した地層処分技術に関する研究開発で得られた知識の社会的な共有化を図り、処分事業の実施主体や安全規制機関をはじめとする幅広いユーザーから必要とされる知識をタイムリーに提供することをめざして、平成17年度から知識マネジメントシステム(これをJAEA KMSと名付けています)の開発を進めています。

ご利用にあたって

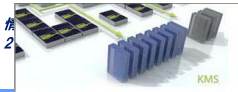
■本プロトタイプでは、KMSへのアクセスとして「個別ツール」と「利用シナリオ」の2つのルートを用意しました。

■「個別ツール」からは個々のツールにアクセスいただけます。なお、これらツールついては、現在はセキュリティの都合により閲覧のみが可能となっています。各ツールを起動し閲覧いただく際には ID 等の入力が必要となりますので、画面に従って操作してください。

■「利用シナリオ」からは個々のツールの目的や機能あるいはその使い方等を確認いただけます(各ツールの概要および操作ガイド(ビデオ)、複数のツールを用いた実際的な利用シーンのビデオ)。「個別ツール」から個々のツールにアクセスする前に、まずこちらをご覧ください。

個別ツール

利用シナリオ



ようこそユーザーさん。
JAEA KMSを使って何をしますか？

KMSワークショップについて
KMSワークショップビデオ
このKMSサイトについて

KNetwork2
中間スキーマ インターフェイス
ES開発 インターフェイス
エキスパート

探す （必要な情報、データ、ソフトウェアを探す）
内容を理解する 手伝ってもらう （分からないことを調べて内容を確認する、仕事を手伝ってもらう）
記録する
コミュニケーション

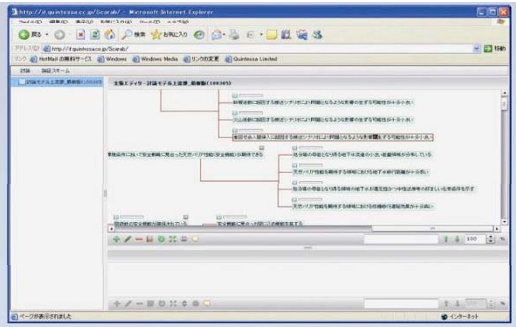
JAEA データベース
Kobweb
マネジメントコクピット
用語
メールでのお問合せはこちら

ツールのリスト

ツールの分類

討論モデルエディタ（Scarab）

討論モデルとは，論証と反証の連鎖を，それらの根拠とともに，議論形式で示したものです。質問と回答（Q&A）のリストを体系化したものとも言えます。



概要を読む（PDF）

操作ガイド（ビデオ）

利用シナリオ

利用シナリオではツールの使用例をビデオでご紹介します

エキスパートシステム開発インターフェイス

コンピュータの専門家ではない，調査の専門家（エキスパート）が，自分のノウハウをルール化し，エキスパートシステムを作成することを支援するツールです。

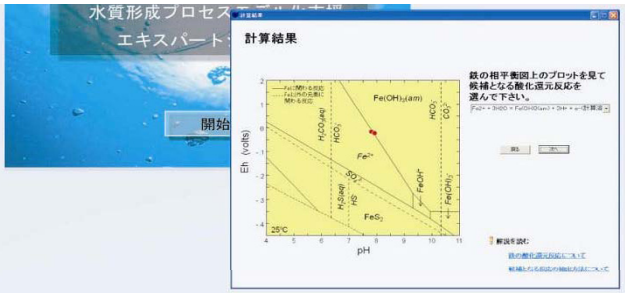
概要を読む（PDF）

操作ガイド（ビデオ）

エキスパートシステム

JAEA 21

専門家のノウハウが，ルールの形で整理されています。
専門家ではない人が，調査や解析，評価などを実施することを支援します。



ルールファイルを見る

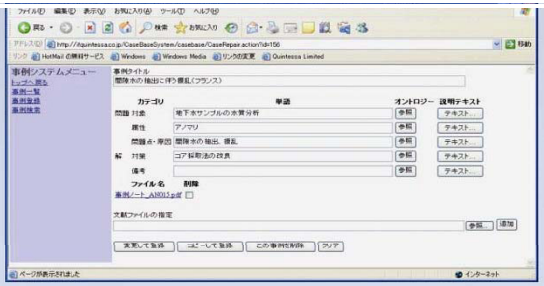
操作ガイドで示すエキスパートシステムのルールファイルを表示します

本ツールの概要については、エキスパートシステム開発インタフェイスの概要をご覧ください

事例ベースシステム

JAEA 22

ルール形式では表現しにくい過去のトラブル事例などの発生原因や対処方法が格納してあり，キーワードで検索することができます。



概要を読む（PDF）

操作ガイド（ビデオ）

利用シナリオ

利用シナリオではツールの使用例をビデオでご紹介します

マネジメントコクピット

JAEA 23

地質環境調査のマネージャーが，進行中の調査作業の進捗状況や，最新の地質環境モデルの内容や，関連する情報を迅速に把握することを支援するためのツールです。

概要を読む（PDF）

操作ガイド（ビデオ）

利用シナリオ

利用シナリオではツールの使用例をビデオでご紹介します

情報・意見交換会 2010

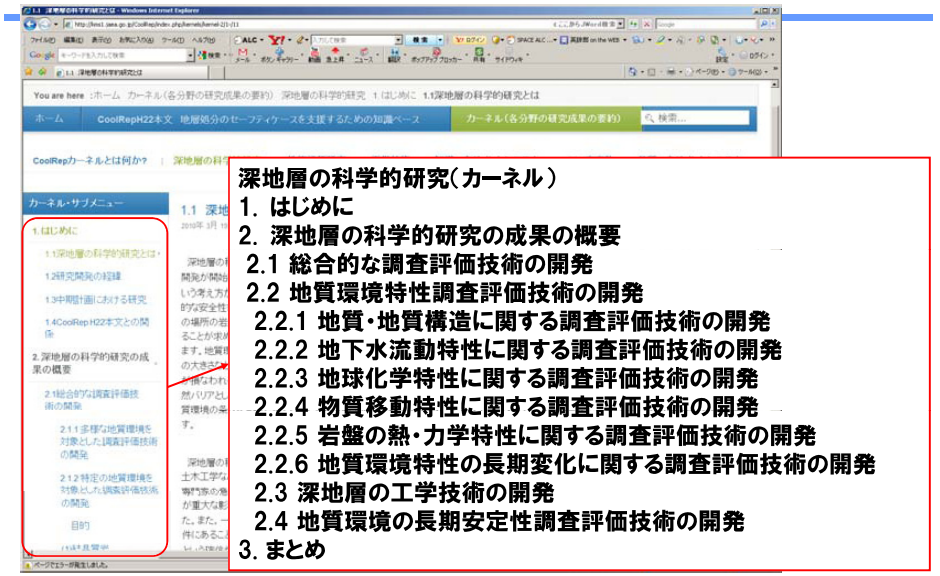
JAEA 24

CoolRepとは？

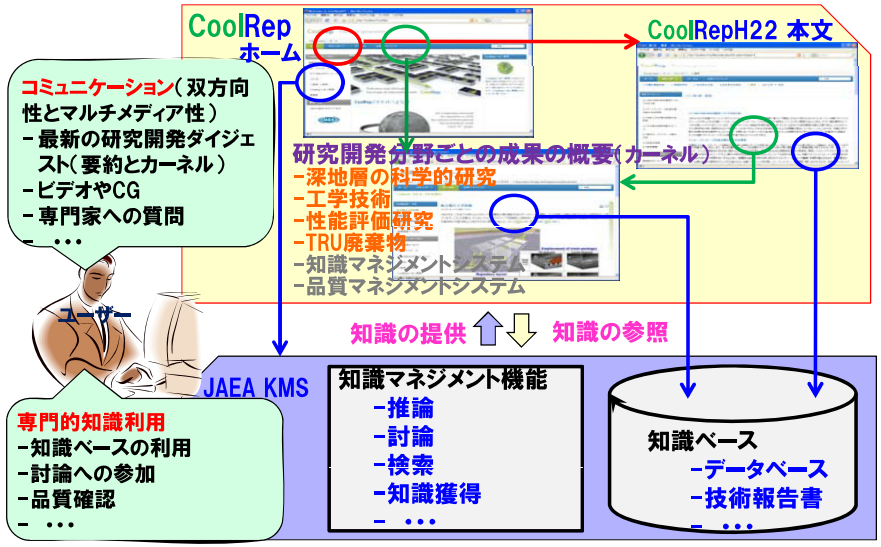
- セーフティケースの作成に資する知識基盤を提供するという観点から研究開発の最新の状況や今後の研究開発の方向性などを提示して，地層処分に関連するステークホルダーの要求に応じた知識や情報をスムーズに提供することを指向したもの
- メッセージ
  - 「HLW第２次取りまとめ（1999）」と「TRU２次レポート（2005）」は日本における安全な地層処分のための技術的基礎を形成
  - 引き続き実施している研究開発を通じて，特定サイトが明らかになった際に適用可能とするため，以下の観点から強化：
    - 候補サイトの現実的な地質環境条件の考慮
    - 処分場閉鎖後の長期安全性だけでなく，建設・操業等の安全性や制約条件の包括的な考慮
    - 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
    - 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応可能な技術的柔軟性の確保
    - 多様な情報の指数関数的な増加（情報爆発）に対応可能な知識マネジメント

本文 -地層処分のセーフティケースを支援するための知識ベース-

各研究開発分野ごとの成果の概要(カーネル)



CoolRep/JAEA KMSの構造ー多様なリンク



今後に向けて

- プロトタイプシステムを利用した地層処分研究開発の新しいビジネスモデル
  - セーフティケース(SC)を視軸とした研究開発の体系化
    - SC概念に基づく知識の構造化:CoolRep/KMS
  - 研究開発の自律的進化
    - CoolRep/KMSのユーザーコミュニティの形成による協働作業の推進
      - 機関や分野を横断して,研究開発の意義や相互関係の理解の深化,課題解決の発想を支援
      - コミュニティの一員としての積極的な参加が研究開発全体の進化だけでなく,人材育成・技術移転に貢献

JAEA 29

ユーザーコミュニティにおけるKMSの利用

- KMSの普及のためには知識マネジメントの主体としての利用者のコミットメントが重要
- 今後，地層処分事業実施主体や安全規制関係機関および研究開発に関わる大学や関連機関等の共通の課題についてコミュニティを形成・運用し，種々の活動に実際にKMSを利用することにより，
  - 知識の生産・利用・普及・保存の効率化
  - 知識マネジメントの多様な活動を支援するツールとしてのKMSの役割の明確化
  - KMSの種々のツールの適用性評価および今後の改良に向けたフィードバック
  - 全てのメンバーが利用することが可能な共通の知識ベースの構築

  を進め，社会共通の知識基盤を継続的に提供

JAEA 30

CoolRep/KMSの開発ーまとめ

- 地層処分の知識基盤を体系化し，これを事業期間を通じて継続的に提供するための新しいアプローチとして，JAEA KMSと，これにリンクした研究開発成果の統合方法CoolRepを提案し，基本機能の設計や実証を経てプロトタイプを公開
- 様々な機会(OECD/NEA，IAEAなどの国際会議における紹介，ワークショップの開催，外部専門家による評価委員会のレビューなど)において，その意義と妥当性について支持を獲得
- CoolRepの方法論はなお開発途上であるが，最新のITや知識工学の技術の利用により実際的なツールとして実現可能
- 今後，ユーザーコミュニティを形成して，実際にCoolRepH22/KMSプロトタイプの利用を進め，利用者の要望を反映しながら方法論やツールの改良・高度化を進めるとともに，研究開発による継続的な知識の創出，拡充，更新に反映

JAEA 31

ご清聴有難うございました

公開ウェブサイト
http://www.jaea.go.jp/04/tisou/toppage/top.html

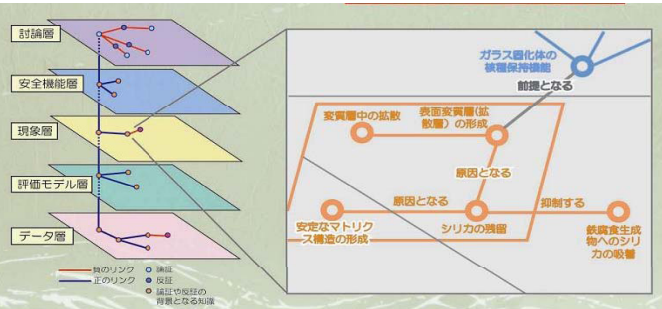
JAEA 32

参考資料
(JAEA KMSのその他のマネジメント機能)

知識ネットワーク作成・閲覧ツール（KNetwork2）

JAEA 33

**専門家が頭の中で考えている情報の関係を，ネットワーク状に示すツールです。
討論モデルを作成する際に，論証や反証などを抽出する作業を支援します。**



概要を読む（PDF）

操作ガイド（ビデオ）

利用シナリオ

利用シナリオではツールの使用例をビデオでご紹介します

知識協働支援ツール（Kobweb）

JAEA 34

■地層処分事業の従事者や種々の分野の研究者は、事業主体、規制機関や研究機関等の異なる組織に所属していたり、また、同じ組織でも地理的に離れた場所で働いています。知識協働は、単発的かつ一過性のものではなく、異なる組織間、地理的に離れたオフィス間、異分野間での日常的な双方向の連携を必要とします。グループウェアは、このような連携のために、上に述べた様々な意味で「隔てら

ユーザー同士が，周知・連絡・意見交換などのコミュニケーションをするのを支援するツールです。

概要を読む（PDF）

操作ガイド（ビデオ）

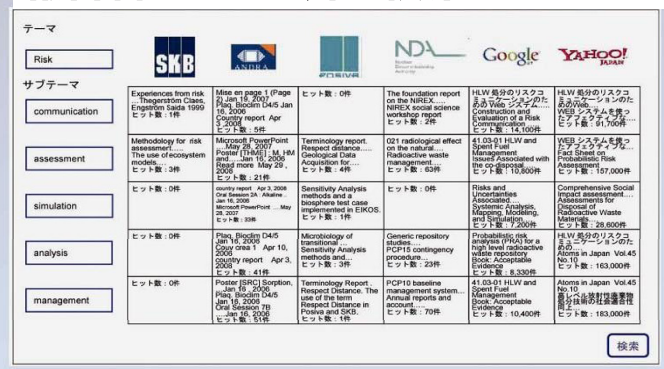
利用シナリオ

利用シナリオではツールの使用例をビデオでご紹介します

中間スキーマインタフェイス

JAEA 35

キーワードを入力すると，世界各国の地層処分関係機関のサイトに同時にアクセスして，関連する報告書などを一斉に検索できるツールです。



起動する

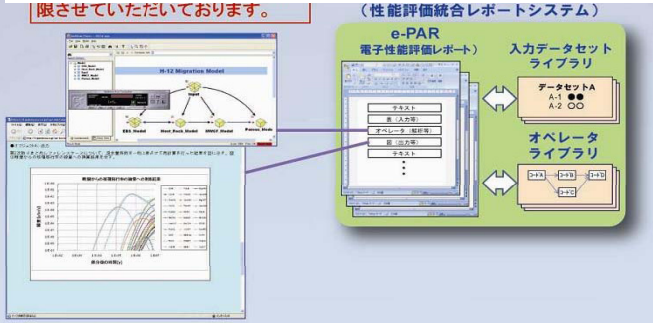
概要を読む（PDF）

操作ガイド（ビデオ）

性能評価統合レポートシステム PAIRS

JAEA 36

「読む」だけでなく，「興味のある人が，実際に解析を試してみる」ことができるインタラクティブな報告書（電子性能評価レポート）の作成を支援するツールです。



概要を読む（PDF）

操作ガイド（ビデオ）

利用シナリオ

利用シナリオではツールの使用例をビデオでご紹介します

JAEAデータベース

熱力学・収着・拡散データベース	地層処分の安全評価のためのデータベースです。
緩衝材基本特性データベース	緩衝材や処分場の設計と人工バリアの長期挙動評
グラウトデータベース	地下坑道掘削時における湧水抑制のためのグラウ
ガラスの溶解に関するデータベース	ガラスの溶解挙動に関する公開情報を集約したデ-
温泉地化学データベース［データ集］	日本の地質環境の理解や火山・地熱活動の影響評
坑井温度プロファイルデータベース［データ集］	日本の地質環境の理解や火山・地熱活動の影響評

3.2.2 地層科学研究の研究事例を用いたKMSの機能紹介

3.2.2.1 次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の開発と判断支援エキスパートシステム(ES)の構築と適用について　ー「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」を例としてー

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
竹内　真司

(1)はじめに

地層処分事業における地質環境調査には，処分場の設計や安全評価に用いるための多岐にわたるデータ・情報を一貫性と整合性をもって提供していくことが求められ，調査計画の立案から，調査・解析の実施，結果の評価といった作業を適切に進めることが必要である。地質環境調査は処分事業計画に沿って段階的に進められ，この過程で，新たに取得されるデータ・情報を踏まえて柔軟に計画を更新し，常に調査全体をその目的に照らして最適なものとしていくことが重要である。また，地質環境調査に関わる上記作業においては，経験を積んだ多様な専門家のノウハウ・判断根拠が大きな役割を果たす。こうしたノウハウ・判断根拠は，一般に専門家に暗黙知として蓄積されており，これを有効に活用することが，作業を適切かつ効率的に進めるうえで不可欠である。地質環境調査によって得られたデータや情報が地層処分の長期安全性を論ずるための基礎となることから，それらの信頼性を確かなものとするためには，こうしたノウハウや判断根拠が透明性と追跡性を持って示されることも重要である。このため長期にわたる処分事業において，専門家の経験やノウハウ・判断根拠を可能な限り明示的に取り込みながら，これを利用して地質環境調査を最適なものとしていくための技術の開発が必要となる。以上のような観点から，原子力機構では，「次世代型サイト特性調査情報統合システム」(ISIS: Information Synthesis and Interpretation System)の開発を進めている[1)]。本報告では，開発したISISの全体概要とその中核をなす判断支援エキスパートシステム(ES)の内容および原子力機構が実施してきた地上からの調査研究の経験やノウハウを基に作成したESについて，コンピュータによるデモンストレーションを交えて紹介する。

(2)システム開発の基本的考え方

ISISの開発においては，まず地質環境調査で主要な要素と考えられる①地質環境モデルの構築，②地質環境モデルに基づく調査計画の立案，③調査計画に基づく調査・解析の実施に関して，これらの関係を明確にしたうえで，異なる分野の専門家が常に情報を交換し調査の進展を確認することができるよう，上記，①から③の作業の流れをコミュニケーションツール(ISISマネジメントコクピット)の中で結合した。次に，こうした作業を支援するための知識として，これまで原子力機構を始め国内外で地層処分の観点から実施された地質環境調査などにおけるノウハウ・判断根拠などの暗黙知を第三者が共有し利用できるように文章や図表などを用いて表出化した。具体的には，原子力機構が進めている二つの深地層の研究施設計画や沿岸域プロジェクト[2)]および国内外の調査事例に関する様々なノウハウ・判断根拠を，専門家へのインタビュー[1)]なども交えてタスクフローや意思決定プロセスとして表出化した。こうして整理した知識をIF-THEN形式(もし～であれば，～する，という形式)で表現したルールベースとして整理した。さらに，IF-THEN形式では表現できないものの，地質環境調査で想定される種々の問題を解決するうえで類似

例として活用できるものについては事例ベースとして整備した。これらを基に，地質環境調査に関する一連の作業や意思決定などを支援するためのESを構築した。ESの構築にあたっては，上述した暗黙知の表出化に関する知識の獲得と再利用の困難さなど[3)]を克服するため，エキスパートシステム開発用インターフェイス（以下，インターフェイス）も作成した。

(3)ES の構築例

これまでの深地層の研究施設における地表からの調査研究の経験などを基に，①地質環境モデルの構築，②地質環境モデルに基づく調査計画の立案，③調査計画に基づく調査・解析に関する手順や判断根拠などに関してIF-THEN形式でルール化し，これをインターフェイスに入力することでESを構築した。これまでに，①に関しては水理地質／地下水流動モデル，岩盤力学モデル，地球化学モデルなどの構築に関するESを，②に関しては，全体計画立案および地下水の採水調査計画立案に関するESを，さらに③については，地下水の採水調査の実施に関するESをそれぞれ公開するとともに，その他の項目のESについても継続的に構築し，順次公開することとしている。ESの構築により，地質環境調査の関係者（実施機関，規制機関，研究機関，大学など）が地質環境モデルの構築，計画策定および調査の実施から成る一連の地質環境調査を効率的に実施可能となることが期待される。

また事例ベースについては，国外の事例を中心に70件余りの事例について整理し，地質環境調査に関わる種々の問題の解決に活用可能な状況である。

一方，構築したESの手法や判断根拠などの内容の妥当性については，インターフェイスのコメントパッド機能を用いることで，関係者が意見を書き込み，作成者が回答するなど，WEB上での議論が可能な機能を備えている。さらに，大学や研究機関，さらには国際ワークショップの場などを利用して内容に関するご意見やコメントをいただき，これらを適宜，反映することとしている。

(4)まとめ

段階的に得られる地質環境情報や様々な条件の変化に応じて，適宜計画等の最適化を支援するための次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）を開発してきた。ISISの開発は，主として地質環境のモデル構築や調査計画の立案，調査・解析の実施に関する意思決定や判断根拠などに関する知識について知識工学的な手法を適用して暗黙知を表出化するとともに，表出化した暗黙知のルールベースや事例ベース化を行うことでESを整備している。構築したシステムは，様々な場面で処分事業，安全規制，大学関係者などが利用可能なシステムとなっている。

今後はユーザーとの意見交換を通して，利便性の向上や知識の信頼性の向上を継続的に実施するとともに，コミュニケーションツール（マネジメントコクピット）の改良を行っていく予定である。

※本研究は，経済産業省委託事業「地質環境総合評価技術高度化開発」の成果の一部である。

参考文献

1） 大澤英昭，太田久仁雄，濱　克宏，澤田　淳，竹内真司，天野健治，三枝博光，松岡稔幸，宮本哲雄，豊田岳司，岩月輝希，前川恵輔，國丸貴紀，新里忠史，浅森浩一，平賀正人，山中義彰，重廣道子，島田顕臣，阿部寛信，梅木博之(2008)：地質環境総合評価技術高度化開発−次世代型サイト特性調

査情報統合システムの開発−, JAEA−Research 2008−085.
2) 太田久仁雄, 茂田直孝, 丸井敦尚, 内田利弘, 木方建造, 長谷川琢磨(2008):日本原子力学会2008年秋の大会要旨集, p.410.
3) 人工知能学会編(2005):人工知能辞典, pp.218−221.

次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の開発と判断支援エキスパートシステム(ES)の構築と適用について

―「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」を例として―

平成22年10月19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
竹内 真司

発表内容

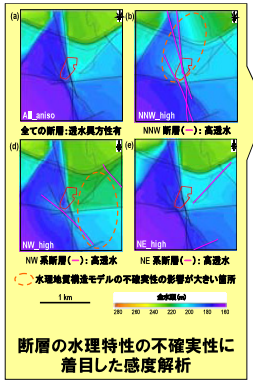
- 次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の開発
- 判断支援エキスパートシステム(ES)の構築と適用
  - ルールベースの開発
    適用例:
    - ✓ 地質環境モデルの構築
    - ✓ 地質環境調査計画の策定
    - ✓ 調査の実施
  - 事例ベースの開発
- 知識の信頼性の向上
- まとめ

地質環境調査の進め方

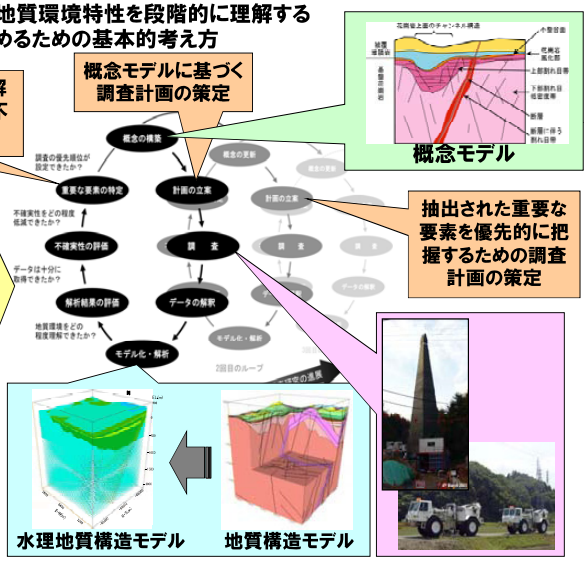
様々な制約条件の下で，地質環境特性を段階的に理解する上で，調査を効率的に進めるための基本的考え方

重要な要素(モデル化・解析結果への感度の高い不確実性因子)の抽出

概念モデルに基づく調査計画の策定



断層の水理特性の不確実性に着目した感度解析



概念モデル

抽出された重要な要素を優先的に把握するための調査計画の策定

水理地質構造モデル

地質構造モデル

地質環境調査に関するノウハウ・経験の整理

様々な条件や状況変化に応じて計画立案，調査，モデル化解析を柔軟に実施・変更できるようにするための技術開発
〔次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)〕

体系化

- ○ 地質環境モデルの構築
- ○ 地質環境調査計画策定
- ○ 調査の実施

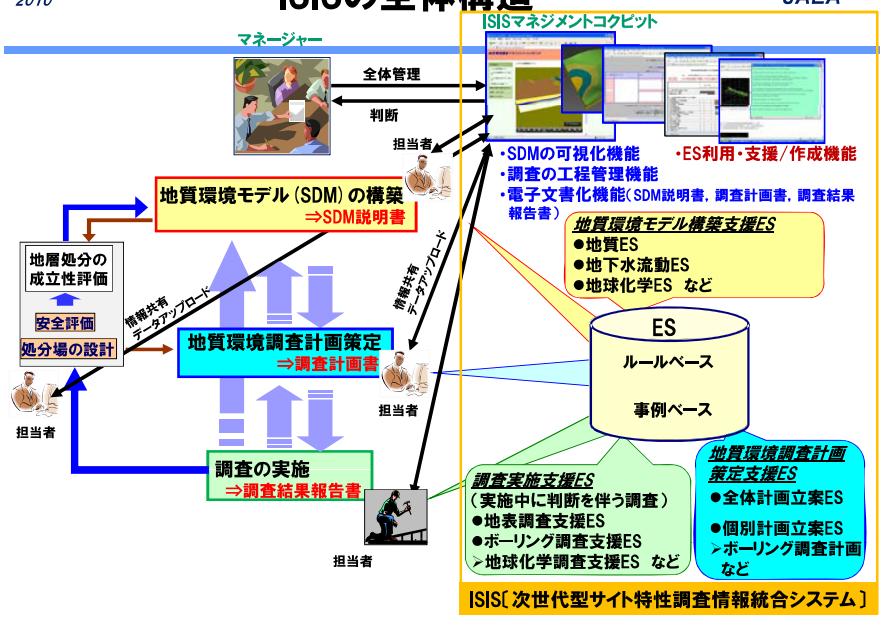
} ノウハウ・判断根拠等の表出化

知識工学の手法の適用

深地層の研究施設 計画(瑞浪・幌延)
沿岸域プロジェクト
国内外での事例

ISIS: Information Synthesis and Interpretation System

ISISの全体構造



事業への反映を意識したES化項目の整理

モデル構築／計画立案

事業への技術的知見・ノウハウの反映			
文献調査段階	文献調査情報の整理	地質環境モデルの構築	
		地下水流動解析	
		長期変遷に関する検討	
	概要調査計画立案	基本計画立案（配置計画・調査項目選定）	
		個別調査計画立案（空中／地表・海上調査，ボーリング調査）	

エキスパートシステム項目
1.01-調査を必要とする項目の整理
1.02-モデル化領域設定
1.03-地質構造モデル構築
1.04-地球化学モデル構築
1.05-岩盤力学／熱特性モデル構築
1.06-物質移動モデル構築
1.07-生物圏モデル構築
1.08-水理地質／地下水流動モデル構築
1.09-地形発達モデル構築
2.01-概要調査基本計画書の策定
2.02-個別調査計画書の策定
2.02.01-空中調査計画の策定
2.02.02-地表調査計画の策定
2.02.03-海上調査計画の策定
2.02.04-ボーリング調査計画策定
2.02.04.a-ボーリング掘削
2.02.04.b-岩芯地質調査／掘削泥調査
2.02.04.c-孔壁画像調査
2.02.04.d-物理検層
2.02.04.e-VSP／孔間トモグラフィ探査
2.02.04.f-孔内力学試験
2.02.04.g-岩芯の室内調査・分析
2.02.04.h-流体検層
2.02.04.i-水理試験
2.02.04.j-地下水の採水調査
2.02.04.k-長期地下水モニタリング

事業への反映を意識したES化項目の整理

調査の実施（空中・地上・海上）

事業への技術的知見・ノウハウの反映			
概要調査	空中調査	調査実施検討・評価	空中からの調査実施，成果の整理・検討
	地上・海上調査	調査実施検討・評価	地表・海上からの調査実施，成果の整理・検討

エキスパートシステム項目
3.01-空中調査
3.01.01-リモートセンシング
3.01.02-空中物理探査
3.02-地表調査
3.02.01-地殻変動観測
3.02.02-地形調査
3.02.03-水理調査／気象観測
3.02.04-地表水の採水調査
3.02.05-地表地質調査
3.02.06-電磁探査
3.02.07-弾性波探査
3.02.08-岩石の室内調査・分析
3.02.09-古気候調査
3.03-海上調査
3.03.01-海底地質調査
3.03.02-海上物理探査
3.03.03-海底堆積物・岩石の室内調査・分析
3.03.04-海域における水理特性調査
3.03.05-海水採水調査

事業への反映を意識したES化項目の整理

調査の実施（ボーリング調査）／モデル構築

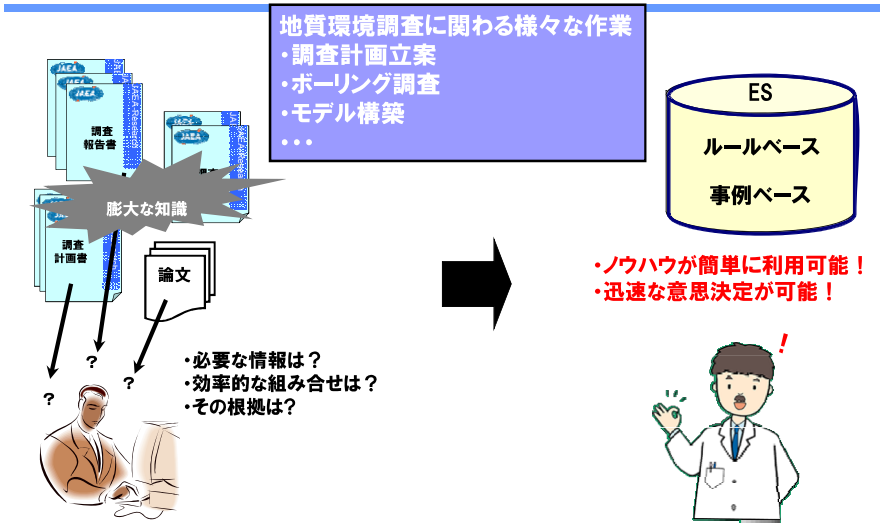
事業への技術的知見・ノウハウの反映			
概要調査	ボーリング調査	調査実施	ボーリング調査実施，成果の整理・検討
	解析・モデル化	モデル構築・解析	地質環境モデルの構築，更新

エキスパートシステム項目
3.04-ボーリング調査
3.04.01-ボーリング掘削
3.04.02-岩芯地質調査／掘削泥調査
3.04.03-孔壁画像調査
3.04.04-物理検層
3.04.05-VSP／孔間トモグラフィ探査
3.04.06-孔内力学試験
3.04.07-岩芯の室内調査・分析
3.04.08-流体検層
3.04.09-水理試験
3.04.10-地下水の採水調査
3.04.11-長期地下水モニタリング
4-解析・モデル化
4.01-地形モデル
4.02-地質構造・地質構造発達モデル
4.03-水理地質構造・水理地質構造発達モデル
4.04-地球化学・地球化学変遷モデル
4.05-物質移動モデル
4.06-岩盤力学・岩盤力学変遷モデル

発表内容

- 次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）の開発
- 判断支援エキスパートシステム（ES）の構築と適用
  - ルールベースの開発
    適用例：
    - ✓ 地質環境モデルの構築
    - ✓ 地質環境調査計画の策定
    - ✓ 調査の実施
  - 事例ベースの開発
- 知識の信頼性の向上
- まとめ

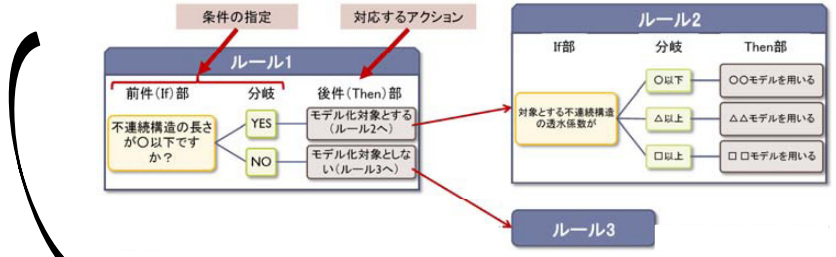
ESによる知識の利用



ルールベース化によるES構築の手順

○地質環境調査に関するタスクの分類とタスクフローの構築

○意思決定プロセスの構築　（IF-THEN形式でルール化）

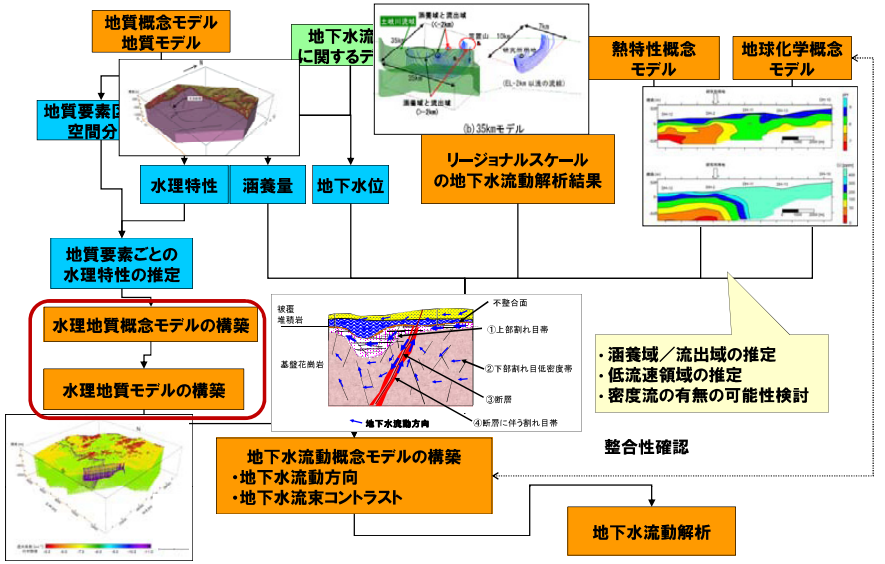


○ルールベースとエキスパートシステムの開発

発表内容

- 次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）の開発
- 判断支援エキスパートシステム（ES）の構築と適用
  - ルールベースの開発
    適用例：
    - ✓ 地質環境モデルの構築
    - ✓ 地質環境調査計画の策定
    - ✓ 調査の実施
  - 事例ベースの開発
- 知識の信頼性の向上
- まとめ

タスクフローの構築 （地質モデル～地下水流動解析）



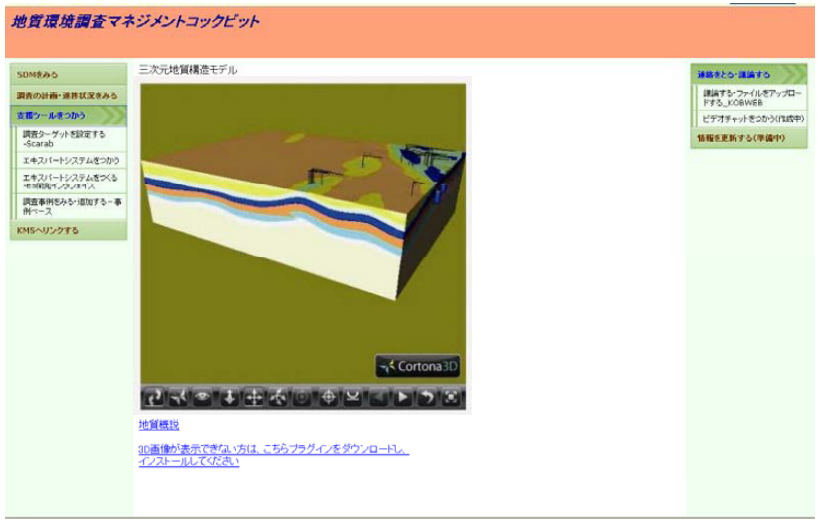
JAEA/KMSの入り口画面

JAEA/KMSのトップ画面

JAEA/KMSのメニュー画面

マネジメントコクピットのトップ画面

マネジメントコクピットのメニュー画面



ESのメニュー画面

エキスパートシステム

ご覧いただけるエキスパートシステムは暫定版です。
今後 専門家の方々との意見交換を行いながら、
適宜更新していく予定です。

1-予察的地質環境モデルの構築.html(工事中)
1.01-モデル化領域設定.html (工事中)
1.02-地形発達モデル構築.html (工事中)
1.03-地質モデル構築.html(工事中)
1.04-水理地質／地下水流動モデル構築.html
1.05-地球化学予察モデル構築.html
1.06-岩盤力学／熱特性モデル構築.html
1.07-物質移動モデル構築.html(工事中)
1.08-生物圏モデル構築.html (工事中)
1.09-調査を必要とする項目の整理.html(工事中)
2-調査計画立案支援に関わるES.html (工事中)
2.01-概要調査基本計画書の策定.html
2.01.01-調査対象要素の優先順位化.html(工事中)

水理地質モデル構築ESの適用 (1)

水理地質構造モデル／地下水流動解析

•

このエキスパートシステムに関してご意見、ご質問等ございましたら、各ページ下の「ご意見・ご質問，それに対する回答はこちら」のボタンを押してください。投稿用コメントパッドが立ち上がります。ご投稿されたご意見、ご質問に対する回答は，再訪問時に下の「コメントパッドを見る」ボタンを押すとご覧になることができます。なお、任意ではございますが、メールアドレスをご記入頂いた方には、ご要望に応じて，取り急ぎ直接メールで回答することも可能です。

コメントパッドを見る

フロー図

次へ

水理地質モデル構築ESの適用 (2)

水理地質モデルの構築

① 水理地質概念モデルの構築

Q)

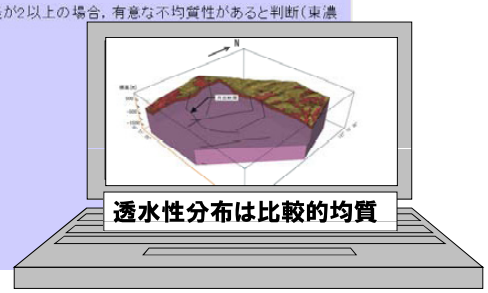
地質構造要素で分けた領域(地質構造区分)に基づいて水理地質構造モデルを作成するかどうかを判断するため，地質構造区分内の水理特性のコントラストを以下の条件により評価

一つの地質構造区分内の透水係数について，対数標準偏差が有意な大きさ(1以上 注1)を有するか？

＊注1：
ステップ2では，透水係数の対数標準偏差が2以上の場合，有意な不均質性があると判断(東濃地域での経験に基づく)

○ Yes(透水性分布の不均質性が高い)
◉ No(透水性分布が比較的均質)

前画面に戻る　次へ
ご意見・ご質問，それに対する回答はこちら
フロー図



水理地質モデル構築ESの適用 (3)

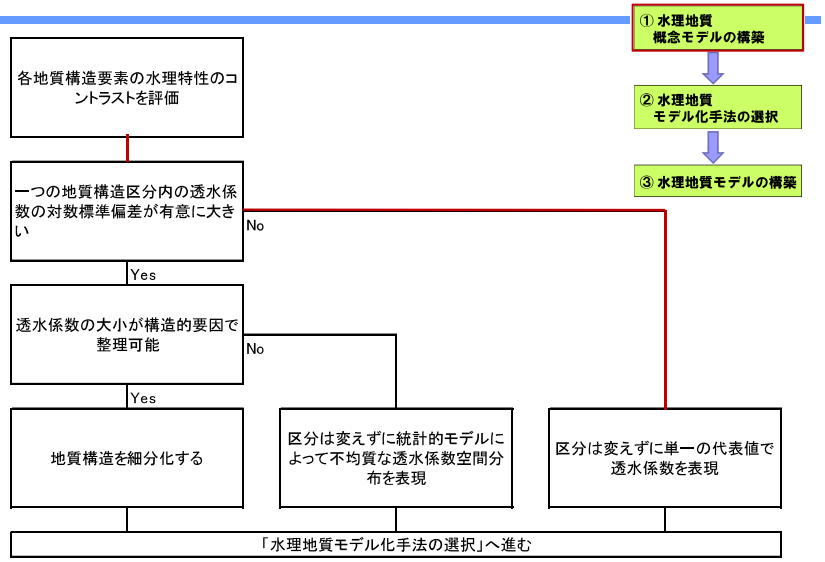
水理地質モデルの構築

① 水理地質概念モデルの構築

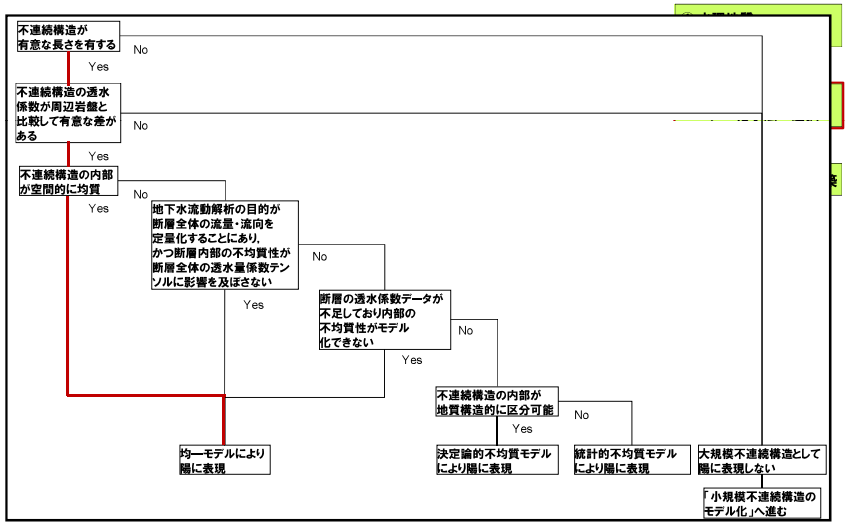
地質構造区分は変えずに，単一の透水係数(代表値)によって透水係数の空間分布を表現

前画面に戻る　次へ
ご意見・ご質問，それに対する回答はこちら
フロー図

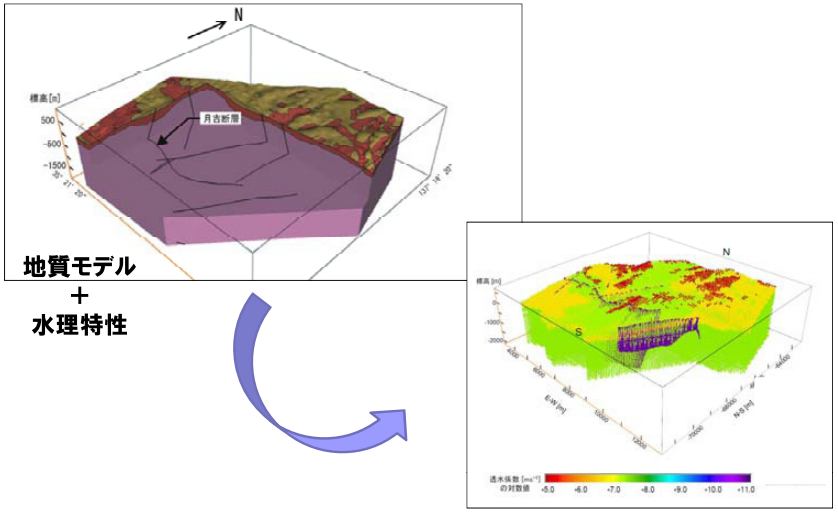
水理地質モデル構築ESの適用 (4)



水理地質モデル構築ESの適用 (5)



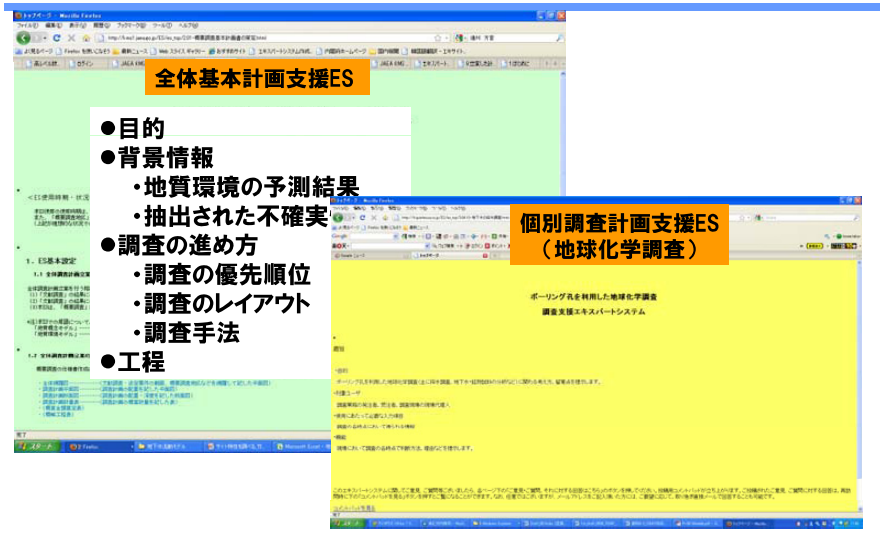
水理地質モデル構築ESの適用 (6)



発表内容

- 次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）の開発
- 判断支援エキスパートシステム（ES）の構築と適用
  - ルールベースの開発
    - 適用例：
      - ✓ 地質環境モデルの構築
      - ✓ 地質環境調査計画の策定
      - ✓ 調査の実施
  - 事例ベースの開発
- 知識の信頼性の向上
- まとめ

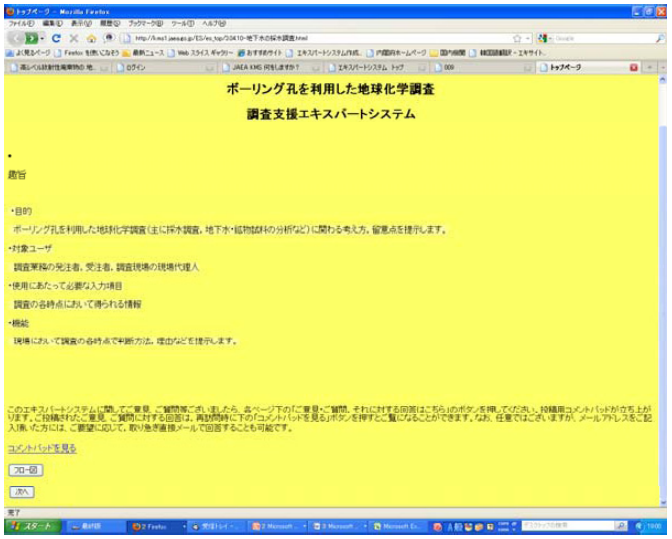
地質環境調査計画策定支援ES



発表内容

- 次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）の開発
- 判断支援エキスパートシステム（ES）の構築と適用
  - ルールベースの開発
    - 適用例：
      - ✓ 地質環境モデルの構築
      - ✓ 地質環境調査計画の策定
      - ✓ 調査の実施
  - 事例ベースの開発
- 知識の信頼性の向上
- まとめ

調査実施支援ES
（ボーリング孔を利用した地球化学調査ートップ画面ー）



調査実施支援ES
（ボーリング孔を利用した地球化学調査ーメニュー画面ー）

このエキスパートシステムでは，ボーリング孔を利用した採水調査を支援するため，調査に関わる留意点・ノウハウを示します。

ボーリング孔を利用した採水調査においては，調査計画書，作業手順書に従って，

◆ボーリング孔掘削時の掘削水の管理・トレーサー濃度の測定

◆物理化学パラメータなどのモニタリング

◆地下水・岩石試料の採取，分析

◆データセットの構築と品質確認

を行います。

調査に先立ち，以下の事前検討書類は作成済ですか？

各々をクリックすると，事例を見ることができます。

○調査計画書
○作業手順書
◉品質管理チェックシート
○機器の準備チェックシート

調査実施支援ES
（ボーリング孔を利用した地球化学調査　ー品質管理シートー）

表 品質管理保証チェックシート

品 質 管 理 保 証 チ ェ ッ ク シ ー ト

(?? 号孔における地下水採水)

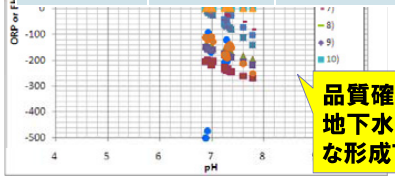
?? 号孔
平成　年　月　日作成
調査担当者：

作業内容	チェック内容	有無	評価基準	特記	調査担当確認	計画管理者評価	備考
仮設準備	水中ポンプ，採水管，パッカーに キズや汚れがついていないか？		三段階評価				
	カップリングに キズや汚れがついていないか？		三段階評価				
	カップリングにO-リングが装着されているか？		三段階評価				
	各資材の数量を確認したか？		三段階評価				
	各資材の写真を撮影したか？		三段階評価				
ポンプパッカー設置	設置前にボンブケーシングおよびアニュラスの水位を確認したか？		三段階評価				
	挿入長を確認しながら設置したか？		三段階評価				
	採水管のカップリングのOリングに キズや汚れ等の不備はないか？		三段階評価				
	採水管のOリングにグリースを塗布したか？		三段階評価				
	ポンプ電源ケーブルとパッカーラインは採水管に沿わせて極力なく固定したか？		三段階評価				
	注入水はウラニン水を使用したか？		三段階評価				
	パッカーは約1MPaで拡張したか？		三段階評価				

調査実施支援ES
（水質形成プロセスの推定）

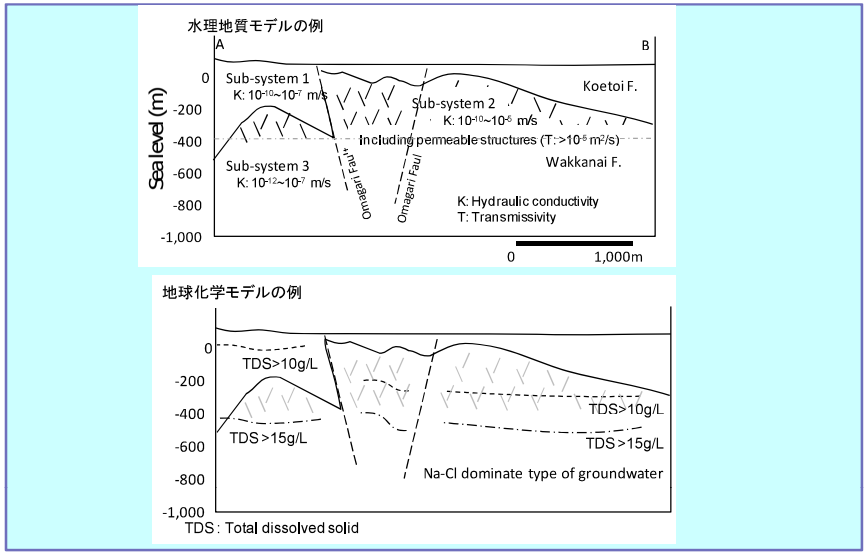
1. エクセルや地球化学計算コードへの生データの入力
2. ボーリング掘削の汚染やデータの取得方法に基づく解析の可否（品質）の判断

地質・地質構造	水理地質構造区分	水質	pH，酸化還元電位	滞留時間	水質形成プロセス	備考
K層	システム1	Na-Ca-HCO3型	中性		天水の浸透	
W-U層	システム2	Na-Cl-HCO3型	中性 -150mV	>1Ma	化石海水との混合	
W層	システム3	Na-Cl-HCO3型	中性 -150mV	>1Ma	化石海水	



品質確認されたデータのみを用いて自動的に，地下水のpH，酸化還元電位を理論計算し，主要な形成プロセスを判断する。

地球化学モデル構築支援ES



発表内容

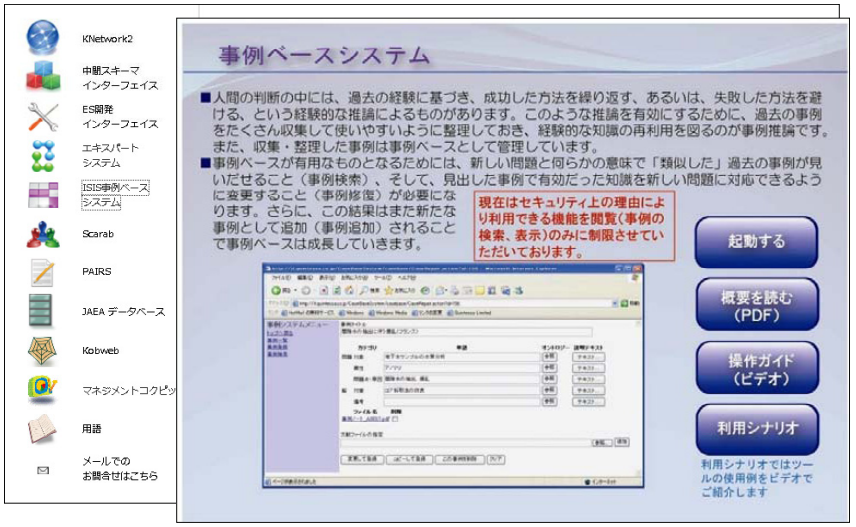
- 次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）の開発
- 判断支援エキスパートシステム（ES）の構築と適用
  - ルールベースの開発
    - 適用例：
      - ✓ 地質環境モデルの構築
      - ✓ 地質環境調査計画の策定
      - ✓ 調査の実施
  - 事例ベースの開発
- 知識の信頼性の向上
- まとめ

ES　－事例ベースの作成－

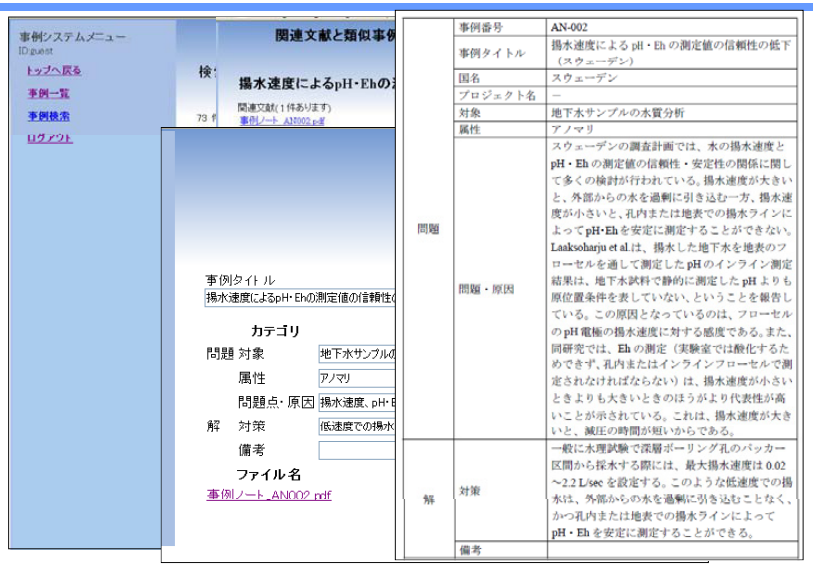
- IF-THEN形式のルールとして表現しきれない経験やノウハウ

- 利用方法，例えば・・・
  - ✓ 現場でのトラブルへの適切な対応
  - ✓ 計画策定時の重要事項の確認　など

ES　－事例ベースの作成－



ES　ー事例ベースの内容ー



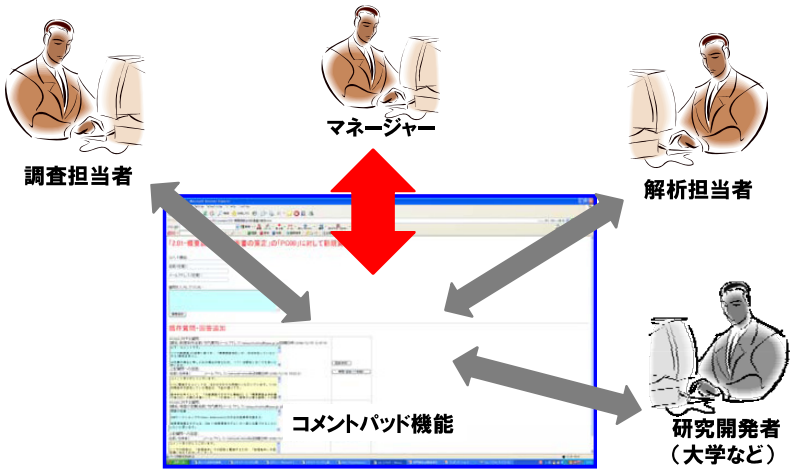
問題	事例番号	AN-002
	事例タイトル	揚水速度による pH・Eh の測定値の信頼性の低下（スウェーデン）
	国名	スウェーデン
	プロジェクト名	―
	対象	地下水サンプルの水質分析
	属性	アノマリ
	問題・原因	スウェーデンの調査計画では、水の揚水速度と pH・Eh の測定値の信頼性・安定性の関係に関して多くの検討が行われている。揚水速度が大きいと、外部からの水を過剰に引き込む一方、揚水速度が小さいと、孔内または地表での揚水ラインによって pH・Eh を安定に測定することができない。Laaksoharju et al.は、揚水した地下水を地表のフローセルを通して測定した pH のインライン測定結果は、地下水試料で静的に測定した pH よりも原位置条件を表していない、ということを報告している。この原因となっているのは、フローセルの pH 電極の揚水速度に対する感度である。また、同研究では、Eh の測定（実験室では酸化するためできず、孔内またはインラインフローセルで測定されなければならない）は、揚水速度が小さいときよりも大きいときのほうがより代表性が高いことが示されている。これは、揚水速度が大きいと、減圧の時間が短いからである。
解	対策	一般に水理試験で深層ボーリング孔のパッカー区間から採水する際には、最大揚水速度は 0.02～2.2 L/sec を設定する。このような低速度での揚水は、外部からの水を過剰に引き込むことなく、かつ孔内または地表での揚水ラインによって pH・Eh を安定に測定することができる。
	備考	

発表内容

- 次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）の開発
- 判断支援エキスパートシステム（ES）の構築と適用
  - ルールベースの開発
    - 適用例：
      - ✓ 地質環境モデルの構築
      - ✓ 地質環境調査計画の策定
      - ✓ 調査の実施
  - 事例ベースの開発
- 知識の信頼性の向上
- まとめ

知識の信頼性向上

●ESインターフェースのコメントパッド機能



知識の信頼性向上
ー意見交換会を通したツールの適用性確認ー

●地震予知総合研究振興会（地
●北海道大学地球環境科学研究
●国際ワークショップ

まとめ

- 段階的に得られる地質環境情報や様々な条件の変化に応じて，適宜計画等の最適化を支援するための**次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）**を開発
  - 調査計画の作成・変更に関する意思決定や判断に関わる知識の体系化（特に暗黙知の表出化）
  - 表出化した暗黙知のルールベース，事例ベース化 **（ESの構築）**
- 様々な場面で処分事業，安全規制，大学関係者などのステークホルダーが利用可能なシステム
- ユーザーとの意見交換を通した利便性の向上や知識の信頼性の向上

3.2.2.2 討論モデルの活用方法について －地質環境の長期安定性に関する研究（火山・熱水活動に関する調査研究）を例として－

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
石丸 恒存

(1)はじめに

地層処分研究開発部門では，平成 22 年 3 月に第 1 期中期計画（平成 17 年度～21 年度）の研究成果取りまとめ（CoolRep H22）とともに，世界に先駆けて開発した知識マネジメントシステム（JAEA KMS）のプロトタイプを原子力機構ホームページ（http://www.jaea.go.jp/04/tisou/toppage/top.html）上に公開した。JAEA KMS は，地層処分技術の知識に関わる生産，利用，保存・更新，伝達といった種々の作業を支援するため，「知識ベース」と「マネジメント機能」で構成されている。本発表では JAEA KMS の「マネジメント機能」のうちの一つである「討論モデル」を用いて，地質環境の長期安定性に関する研究のうち，火山・熱水活動に関するこれまでの研究成果や CoolRepH22 の一部を織り込みながら，その活用方法について例示的に紹介する。

(2)「討論モデル」の概要について

討論モデルは，「地層処分は長期的に安全である」という最上位の命題に対して，これに必要な主張の階層構造を想定し，そこから個々の要件の成立の根拠となる「論証」と，ある論証に対して考えうる「反証」との連鎖で，安全性の論理構造を表現したものである。換言すれば，討論モデルは，様々なレベルの質問・回答（Q&A）を階層的に構造化して示せるようにしたものと言うことができる。討論モデルは，単なる「論証」の流れだけではなく，「論証」と「反証」の連鎖を示すことにより，安全性を向上するための道筋とともに，安全性を阻害する要因（課題）をマップ状に可視化することが可能になり，安全性に関わる論理をより頑健なものとする。この討論モデルは，JAEA KMS の「マネジメント機能」のうち，討論モデルエディタ（Scarab）を用いて，ウェブを介して※，関係者が論証と反証の連鎖を議論形式で追加・編集することが可能である。それぞれの論証は，それに関する論拠や，証拠を蓄積するための調査・解析技術に関する知見などについて，「知識ベース」内の情報（例えば，報告書や論文）とリンクさせることにより閲覧ができるようになっている。この討論モデルは，ある主張とそれに対する論証の信頼性を向上させる観点から，あるいは安全性に関する課題を解決する観点から，関係者間で相互に利用・活用することにより，現状認識の確認や情報を共有するツールとして有効なものとなる。

※：情報セキュリティと履歴管理の観点から，ID とパスワードで管理されている。

(3)「討論モデル」の活用例について

地質環境の長期安定性に関する研究では，これまで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・海水準変動などの個別の天然現象を対象に，主に地上からの調査に関わる技術基盤の整備のための「調査技術の開発・体系化」を進めてきた。また，地質環境特性に関わる安全性評価のための「長期予測・影響評価モデルの開発」，共通基盤技術として

の「年代測定技術の開発」も合わせて進めてきている。

本発表では，サイト選定過程における文献調査から概要調査計画に至るまでの段階を想定し，「火山・熱水活動の影響を回避する」という考慮事項を例題として取り上げ，ジェネリックに事前に想定できる事項について論証と反証の流れ（討論モデル）を例示的に示す。合わせて，各論証を裏付けるために，これまでに地質環境の長期安定性に関する研究で進めてきた「調査技術の開発・体系化」に関連する研究成果（適用事例）がどのように活用できるのか紹介する。討論モデルの活用例では，例えば，全国を一律に評価する事項として「第四紀火山の中心から半径 15km の円の範囲内にある地域は含めないように概要調査地区を選定している」という論証に対しては，「既存の第四紀火山が分布している以外の場所で，マグマ活動が起こることがあるのではないか」という反証を追加して，さらにこれに答える形で論証の展開を試みるとともに，論証の根拠となる知見（例えば，地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術）とリンクさせた。また，現在取り組んでいる研究課題（例えば，ウラン・トリウム・ヘリウム法による年代測定技術）が，どのような論証を裏付けることを目指しているのかについても例示的に示した。

討論モデルの活用方法について

ー地質環境の長期安定性に関する研究（火山・熱水活動に関する調査研究）を例としてー

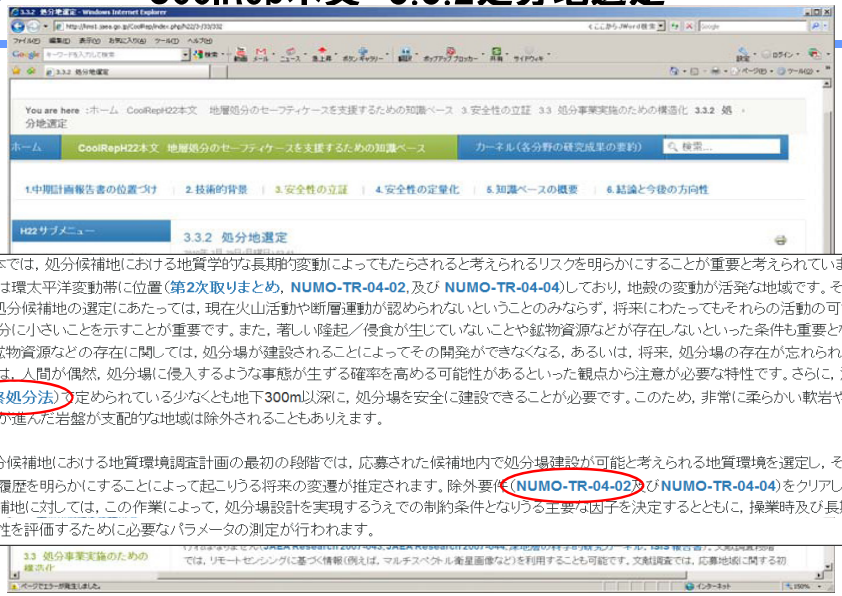
平成22年10月19日

東濃地科学研究ユニット
自然事象研究グループ
石丸　恒存

紹介内容

- 処分地選定の要件について
  ー法律や実施主体の考え方ー
- 地質環境の長期安定性に関する研究について
  ー位置づけと目的ー
- 討論モデル（Scarab）の活用方法について
  ー（火山・熱水活動に関する調査研究）を例としてー
- まとめ，今後の課題

CoolRep本文　3.3.2処分地選定



日本では，処分候補地における地質学的な長期的変動によってもたらされると考えられるリスクを明らかにすることが重要と考えられています。日本は環太平洋変動帯に位置（第2次取りまとめ，NUMO-TR-04-02，及び NUMO-TR-04-04）しており，地殻の変動が活発な地域です。そのため，処分候補地の選定にあたっては，現在火山活動や断層運動が認められないということのみならず，将来にわたってもそれらの活動の可能性が十分に小さいことを示すことが重要です。また，著しい隆起／侵食が生じていないことや鉱物資源などが存在しないといった条件も重要となります。鉱物資源などの存在に関しては，処分場が建設されることによってその開発ができなくなる，あるいは，将来，処分場の存在が忘れられた場合には，人間が偶然，処分場に侵入するような事態が生ずる確率を高める可能性があるといった観点から注意が必要な特性です。さらに，法律（最終処分法）で定められている少なくとも地下300m以深に，処分場を安全に建設できることが必要です。このため，非常に柔らかい軟岩や角礫化が進んだ岩盤が支配的な地域は除外されることもありえます。

処分候補地における地質環境調査計画の最初の段階では，応募された候補地内で処分場建設が可能と考えられる地質環境を選定し，その過去の履歴を明らかにすることによって起こりうる将来の変遷が推定されます。除外要件（NUMO-TR-04-02及びNUMO-TR-04-04）をクリアしている候補地に対しては，この作業によって，処分場設計を実現するうえでの制約条件となりうる主要な因子を決定するとともに，操業時及び長期の安全性を評価するために必要なパラメータの測定が行われます。

地層処分における重要な地質環境条件

最終処分法(H12)での要件

【概要調査地区の選定】
当該文献調査対象地区；
-地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がない，将来にわたって生ずるおそれが少ないと見込まれる（地震，噴火，隆起，侵食その他）
-第四紀未固結堆積物／鉱物資源

【精密調査地区の選定】
当該対象地層等；
-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
-坑道掘削に支障がない
-活断層・破砕帯・水流が地下施設への悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれる
-その他

原子力安全委(H14)での環境要件

【概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件】
-地震・断層活動
（活断層の存在）
-火山・火成活動
（第四紀火山の存在）
-隆起・沈降・侵食
（著しい変動のおそれ）
-第四紀未固結堆積層の存在
-鉱物資源の鉱床等の存在

＜概要調査以降の検討項目＞
-気候変動・海水準変動
-地下水の流動特性
-地下水・岩石の地化学特性
-その他（山はね等の主に建設および操業時の安全性に係わるもの）

文献調査・概要調査の考え方(NUMO-TR-04-02)

【文献調査の実施】

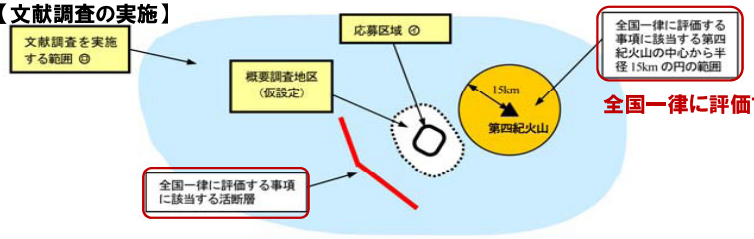


図 4.5.1-2 考慮事項の適用とその手順［2］

【概要調査地区の範囲の設定】

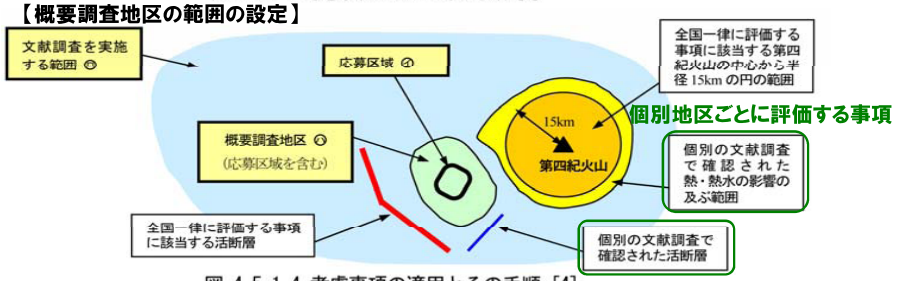


図 4.5.1-4 考慮事項の適用とその手順［4］

(出典:NUMO TR04-02, 4.5)

表 2.3-1 概要調査段階における検討内容，調査項目及び評価に役立つ情報（例）

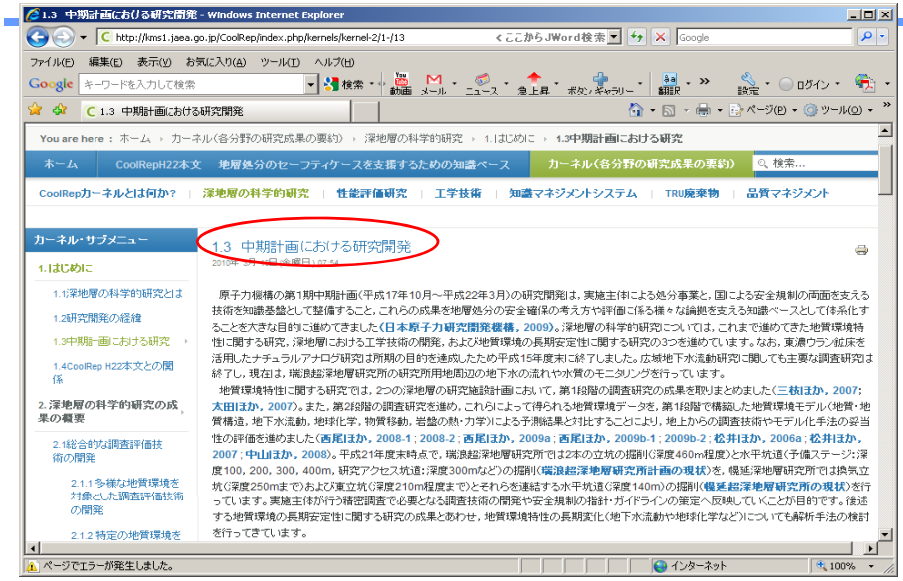
項目		検討内容	調査項目	評価に役立つ情報
処分場の長期安定性	地質構造・地質	地質・地質構造の把握	地質・地質構造	地形
				地質分布，層序
				断層・破砕帯，不整合面等の分布
				地質・地質構造
				地史，地下の熱構造
	地震・断層活動	直接破壊回避の確認	活断層の伸展・拡大	分布（位置，長さ，幾何形状）
				性状（変位方向，センス）
				活動履歴
		地震・断層活動が地質環境に及ぼす影響	地震・断層活動による力学的影響	破砕帯及び周辺岩盤の破砕の幅，破砕の程度等
			地震・断層活動による熱的影響	破砕帯及び周辺岩盤の熱履歴とその影響範囲等
			地震・断層活動による水理学的影響	地震時の地下水流動変化，プロセスゾーンの水理特性等
			地震・断層活動による地球化学的影響	地震時の水質変化の有無，変化の程度と範囲，期間等
	火山・火成活動	直接噴出回避の確認	第四紀火山の分布・拡大	分布（火道・噴出物等の位置）
				火山の分類（単成／複成）
				時間的・空間的分布特性
		火成活動が地質環境に及ぼす影響	火成活動による熱的影響	熱異常域の分布と程度，熱履歴
			火成活動による水理学的影響	影響の範囲，程度（熱水対流の発生範囲，温泉分布等）
			火成活動による地球化学的影響	水質の変化の発生範囲，程度等
	隆起・侵食	隆起・沈降特性の確認	隆起・沈降特性	隆起の様式・隆起速度分布
				沈降の様式・沈降速度分布
		侵食特性の評価	侵食特性	侵食の様式・侵食速度分布

(出典:NUMO TR04-02, 2.3)

紹介内容

- 処分地選定の要件について
  －法律や実施主体の考え方－
- 地質環境の長期安定性に関する研究について
  －位置づけと目的－
- 討論モデル(Scarab)の活用方法について
  －(火山・熱水活動に関する調査研究)を例として－
- まとめ，今後の課題

「深地層の科学的研究」カーネル　1.3中期計画における研究開発



地質環境の長期安定性に関する研究については，地震・断層活動，火山・地熱活動および隆起・侵食といった現象を対象に，概要調査等に必要となる，①過去の天然現象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（調査技術の開発・体系化），変動シナリオを考慮した安全評価の基盤となる，②将来の天然現象に伴う地質環境条件の変化を予測・評価するための手法の整備（長期予測・影響評価モデルの開発）のほか，③最先端の機器分析装置等を用いた放射年代測定や鍵層の高分解能同定法等による編年技術の開発（年代測定技術の開発）を進めてきました（野原ほか，2007；野原ほか，2008；草野ほか，2009）。

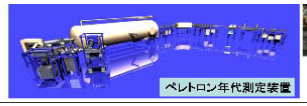
これらの研究開発で行ってきた調査評価技術の開発成果の概要を，本カーネルでは，以下の項目で示しています。

2.4 地質環境の長期安定性調査評価技術の開発
2.4.1 地震・断層活動に関する調査評価技術の開発
2.4.2 火山・熱水活動に関する調査評価技術の開発
2.4.3 隆起・侵食/気候・海水準変動に関する調査評価技術の開発
2.4.4 年代測定技術の開発

CoolRep
「深地層の科学的研究」カーネル

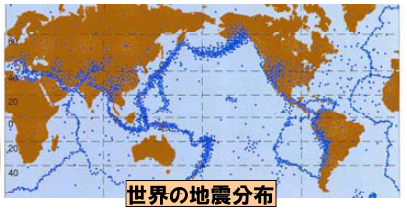
地質環境の長期安定性に関する研究

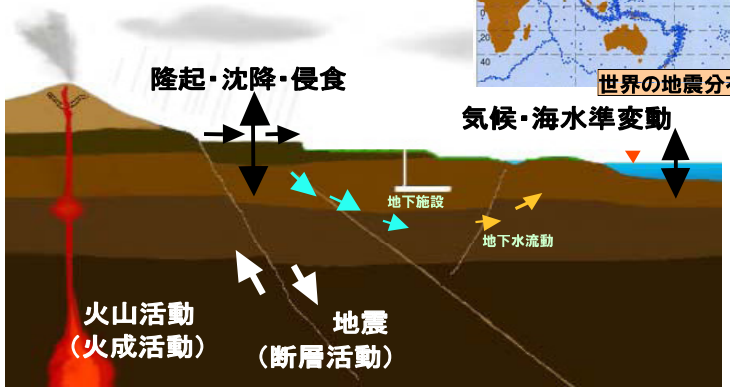
2.4 地質環境の長期安定性調査評価技術の開発
2.4.1 地震・断層活動に関する調査評価技術の開発
2.4.2 火山・熱水活動に関する調査評価技術の開発
2.4.3 隆起・侵食/気候・海水準変動に関する調査評価技術の開発
2.4.4 年代測定技術の開発



長期安定性の観点から考慮すべき天然現象

日本列島は，太平洋を取り囲む地殻変動の活発な地域に位置している。





基盤研究開発の全体計画における段階目標

「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」（2006）＜2009改訂＞

全体目標：地層処分の技術基盤の継続的な強化

第2次取りまとめ
わが国における地層処分の成立性
安定な地質環境の存在
工学技術と安全評価技術の実現性

フェーズ1
＜H13年度～H17年度＞
地上からの地質環境調査 技術の体系的整備
幅広い地質環境を対象とした評価手法の整備

フェーズ2
＜H18年度～H24年度＞
地上からの調査に関わる技術基盤の確立
実際の地質環境へ適用可能な評価手法の整備と工学的実現性の提示

フェーズ3
＜H25年度～＞
地下施設を活用した調査に関わる技術基盤の確立
実際の地質環境を対象とした体系的・合理的な評価手法と工学技術等の実証

深地層の研究施設
第1段階（地上からの調査）
第2段階（坑道掘削時の調査）
第3段階（地下施設での調査）

＜事業段階＞
NUMO設立 H12年10月
↓
公募開始 H14年12月
↓
文献調査

天然現象に関する調査技術の体系化
天然現象の長期予測・影響評価手法の整備

＜概要調査地区選定＞
↓
地上からの概要調査

＜精密調査地区選定＞
↓
地上からの精密調査

地下施設での精密調査
↓
＜最終処分施設建設地選定＞

地質環境の長期安定性研究の目的

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

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特性（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 ＜安全評価へのデータ提供＞

- 地震・断層活動
- 火山・熱水活動
- 隆起・侵食／気候・海水準変動

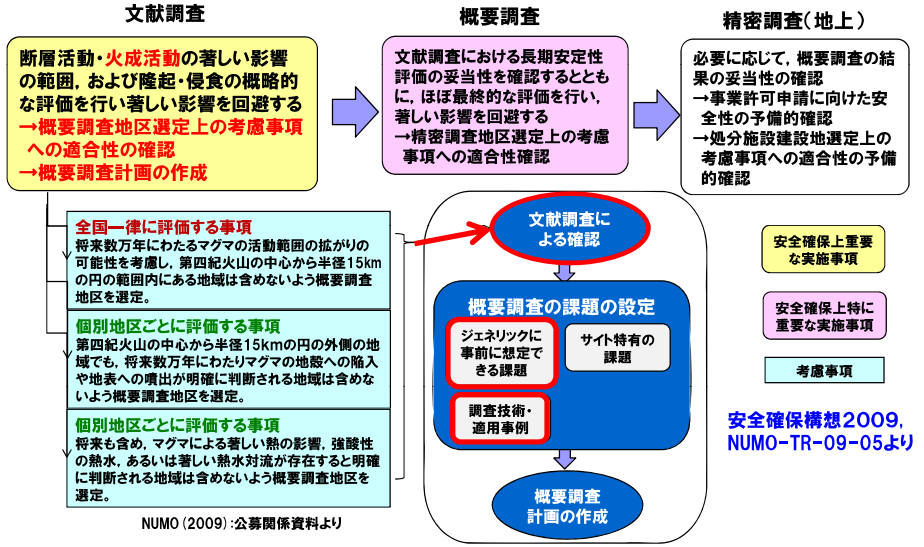
＋年代測定技術の開発（共通基盤技術）

サイトの選定や安全規制に必要な調査技術や評価手法の整備
［ 実施側および規制側への研究成果の反映 ］

紹介内容

- 処分地選定の要件について
  －法律や実施主体の考え方－
- 地質環境の長期安定性に関する研究について
  －位置づけと目的－
- 討論モデル（Scarab）の活用方法について
  －（火山・熱水活動に関する調査研究）を例として－
- まとめ，今後の課題

サイト選定のプロセスとその支援（例）



NUMO（2009）：公募関係資料より

安全確保構想2009，NUMO-TR-09-05より

実際のKMSを用いた討論モデルエディタ（Scarab※）のデモンストレーション

＝今回の考慮事項（命題）の例＝

「サイト選定において，火山・熱水活動の影響を回避する」

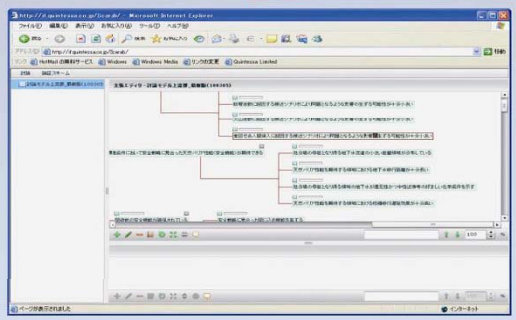
※ Scarab＝Supporting tool for Constructing Argumentation models with Associated Knowledge-Base

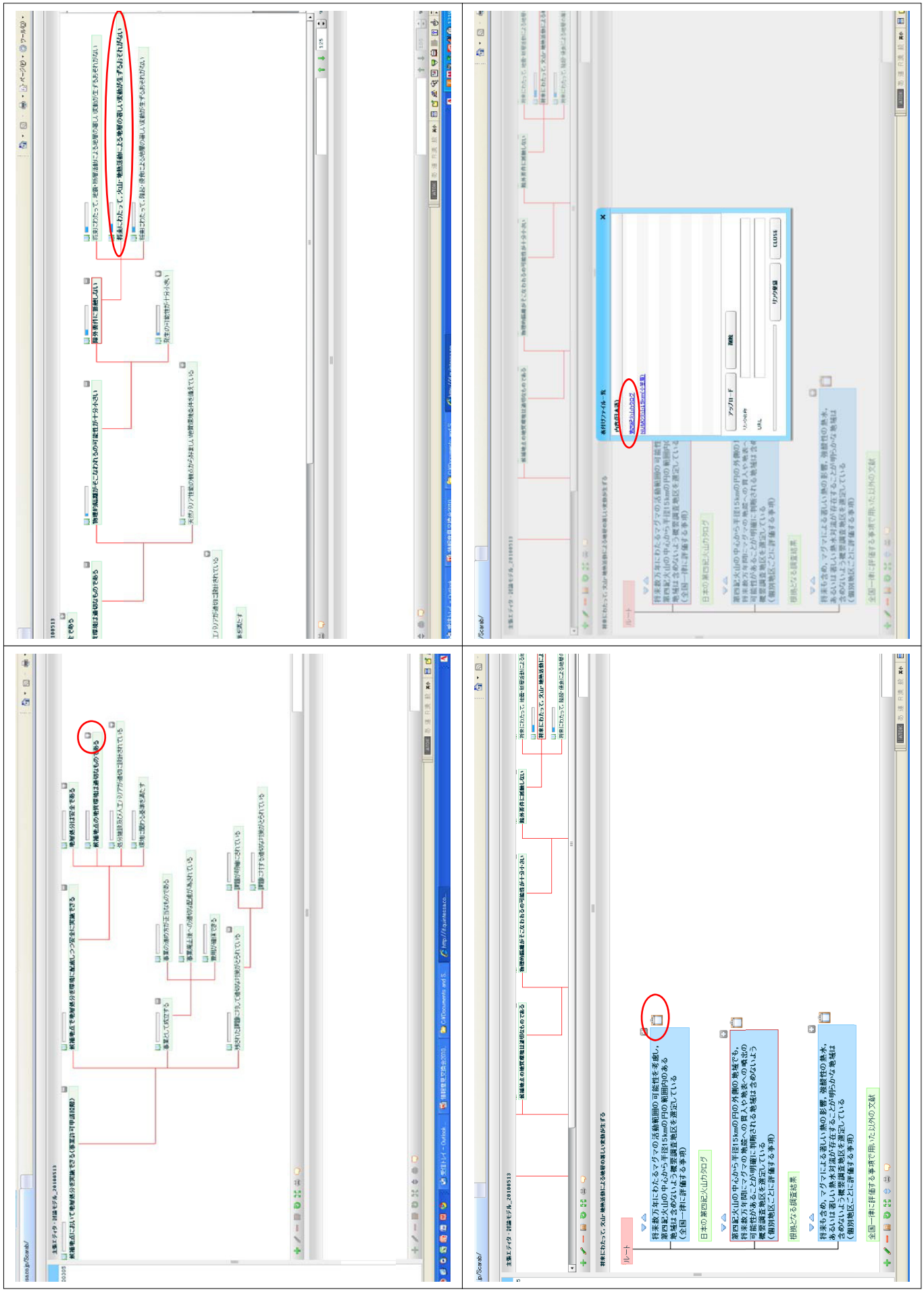
※スカラベ：（ http://d.hatena.ne.jp/keyword より）
タマオシコガネ（フンコロガシ）と呼ばれるコガネムシのこと。
古代エジプトでは太陽神ケペリを表し，生成・創造・再生のシンボルとして神聖視され，
彫刻・印章・護符・装身具などにその意匠が彫られた。

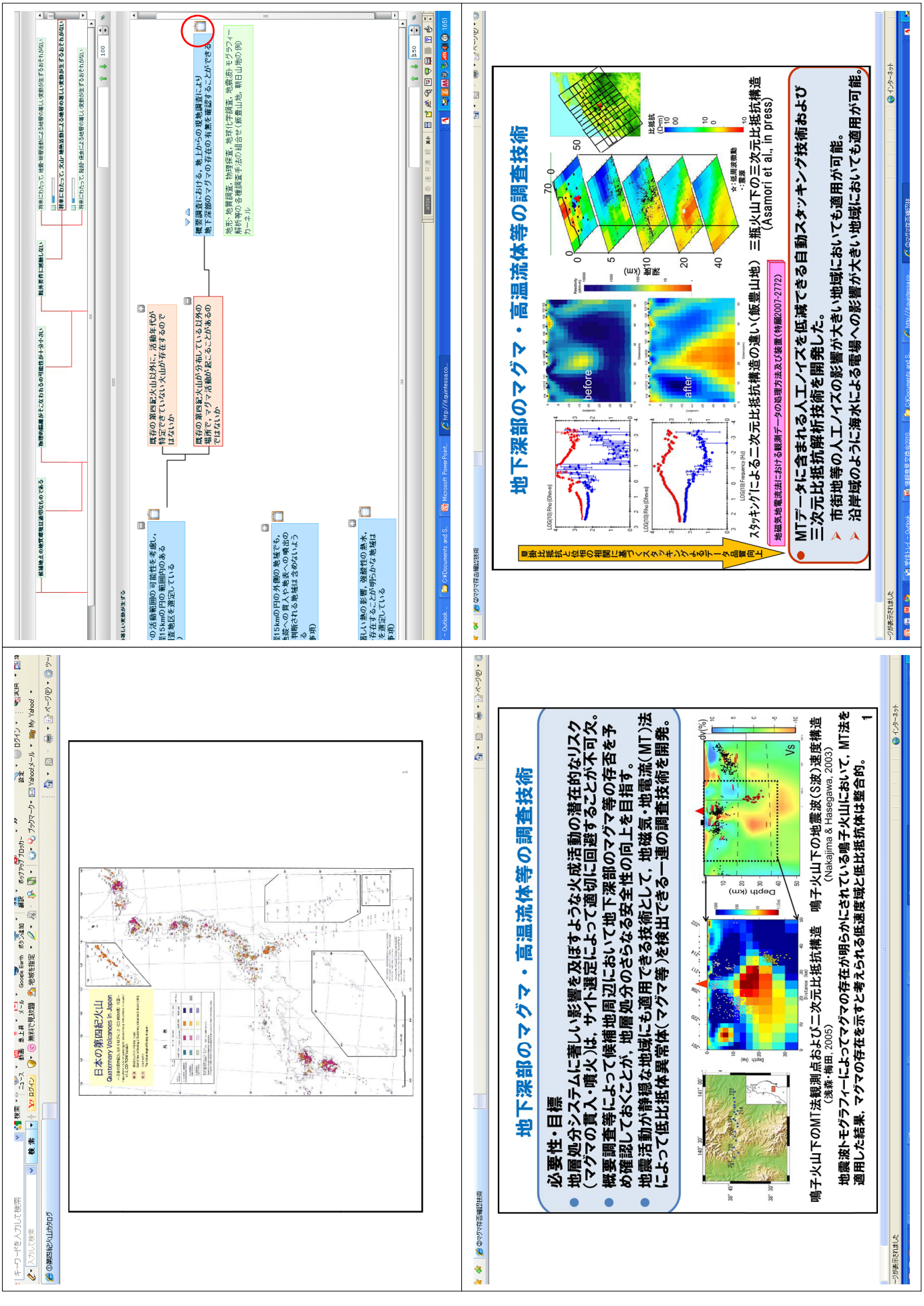
討論モデルエディタ（Scarab）

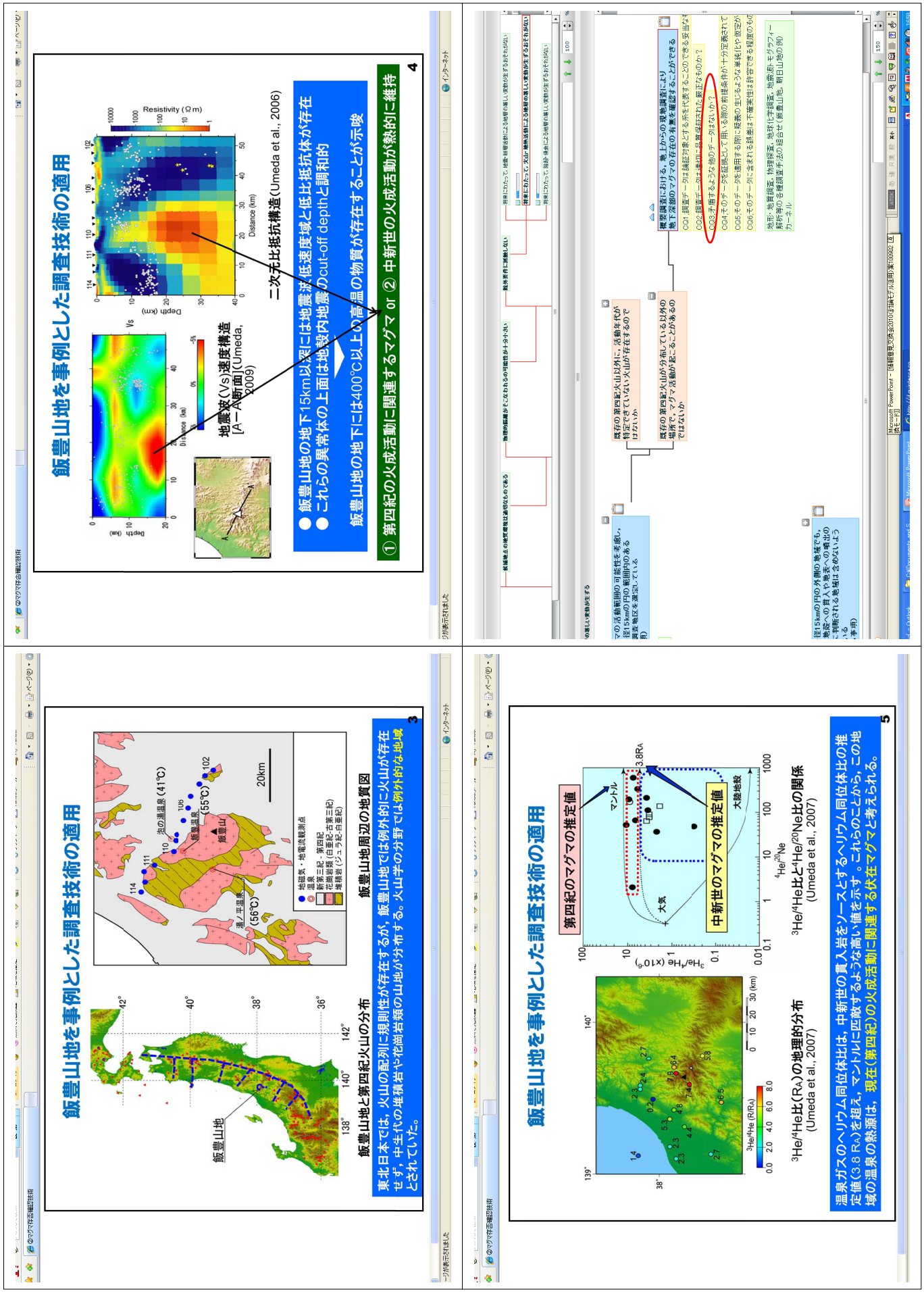
- 討論モデルは，安全確保における上位概念の下に，除外要件に係る項目などがぶら下がる。
- 論証と反証の連鎖を議論形式で追加・編集が可能。

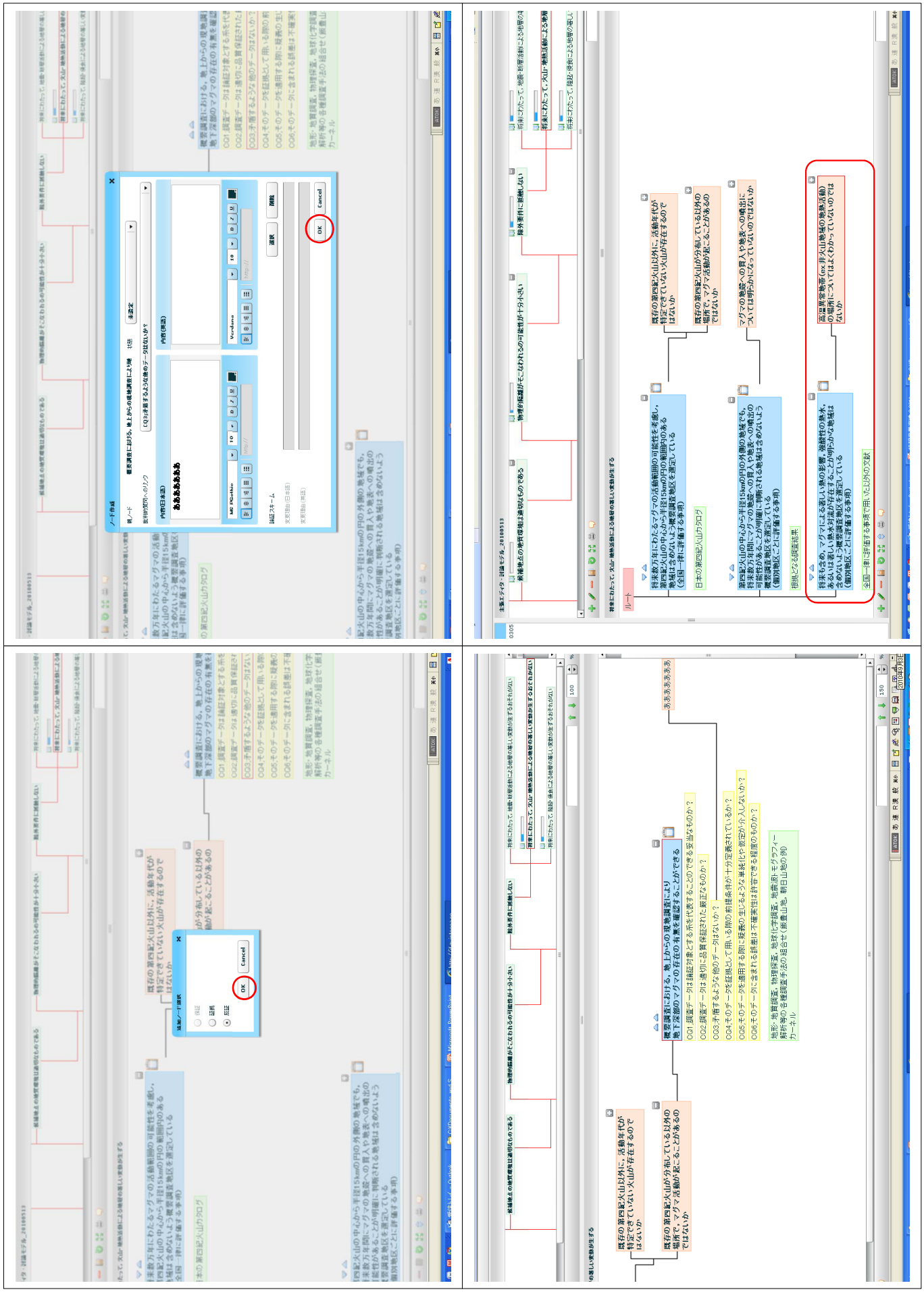
⇒様々なレベルのQ&Aを階層的に構造化して示したもの

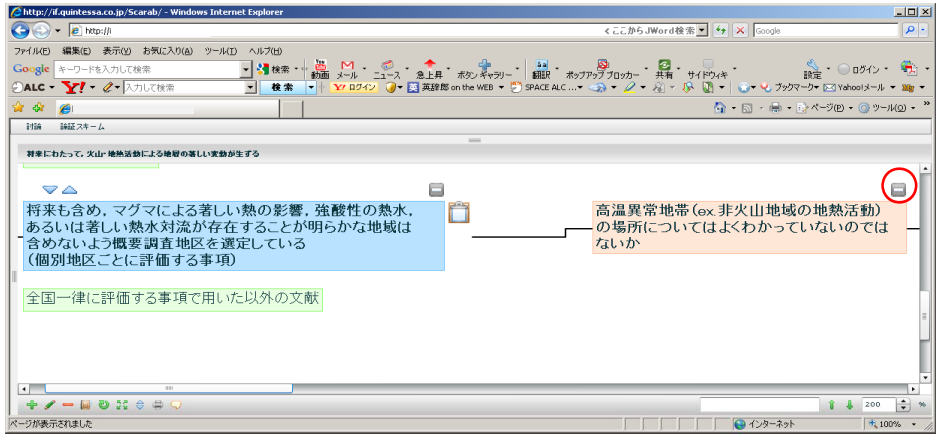


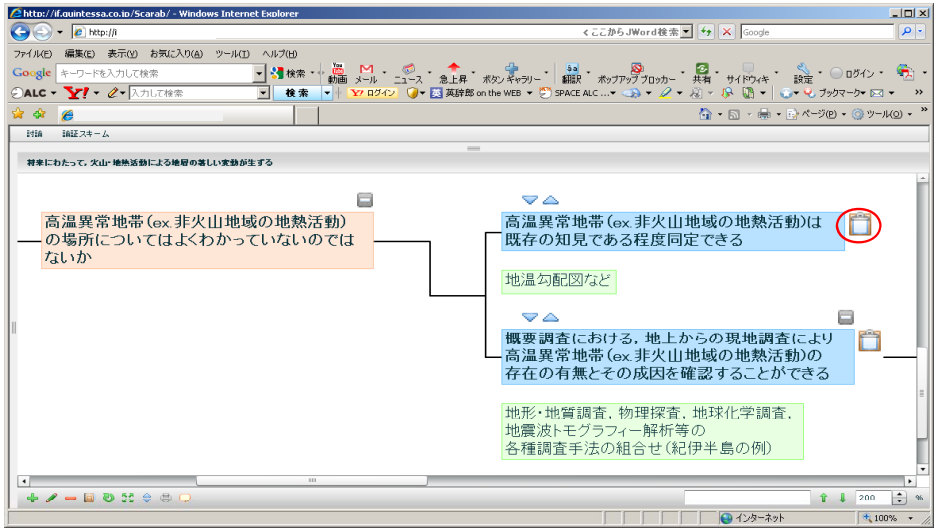


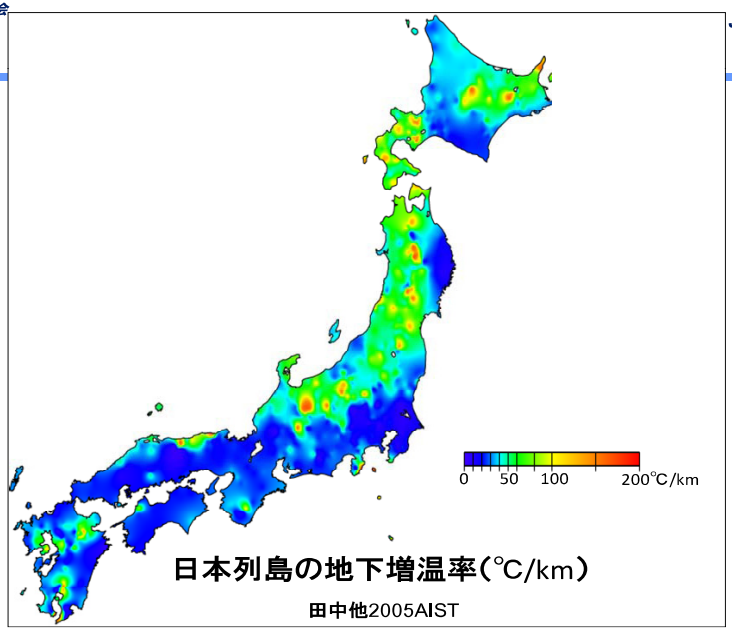

地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術
必要性・目標
地層処分システムに著しい影響を及ぼすような火成活動の潜在的なリスク（マグマの貫入・噴火）は，サイト選定によって適切に回避することが不可欠。
概要調査等によって候補地周辺において地下深部のマグマ等の存在を予め確認しておくことが，地層処分のさらなる安全性の向上を目指す。
地震活動が静穏な地域にも適用できる技術として，地磁気・地電流（MT）法によって低比抵抗異常体（マグマ等）を検出できる一連の調査技術を開発。
鳴子火山下のMT法観測点および二次元比抵抗構造　鳴子火山下の地震波（S波）速度構造
(Nakajima & Hasegawa, 2003)
(浅森・梅田, 2005)
地震波トモグラフィーによってマグマの存在が明らかにされている鳴子火山において，MT法を適用した結果，マグマの存在を示すと考えられる低速度域と低比抵抗体は整合的。
日本の第四紀火山
Quaternary Volcanoes in Japan
地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術
MTデータに含まれる人工ノイズを低減できる自動スタッキング技術および三次元比抵抗解析技術を開発した。
市街地等の人工ノイズの影響が大きい地域においても適用が可能。
沿岸域のように海水による電場への影響が大きい地域においても適用が可能。
地磁気地電流法における観測データの処理方法及び装置（特願2007-2772）
スタッキングによる二次元比抵抗構造の違い（飯豊山地）　三瓶火山下の三次元比抵抗構造
(Asamori et al., in press)
before
after

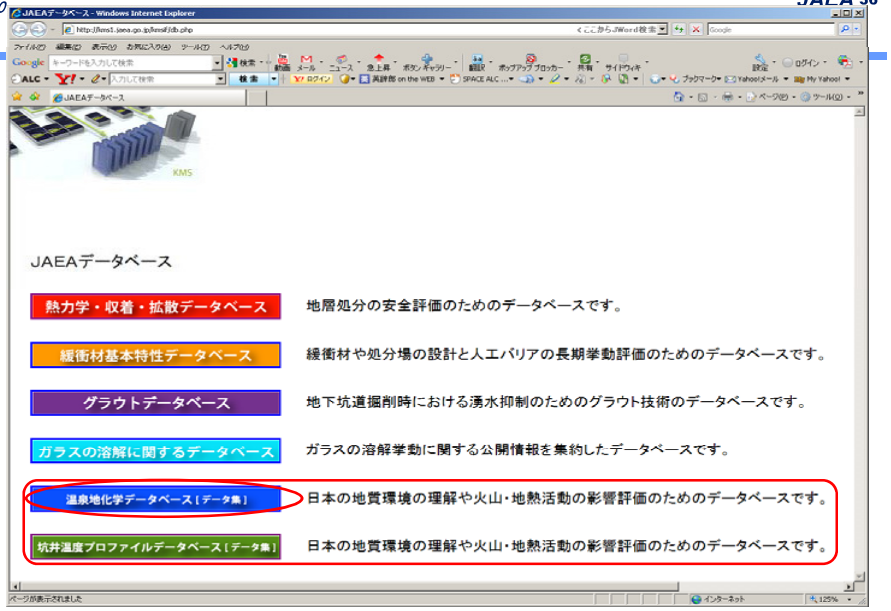

飯豊山地を事例とした調査技術の適用
飯豊山地
飯豊山地と第四紀火山の分布
飯豊山地周辺の地質図
東北日本では，火山の配列に規則性が存在するが，飯豊山地では例外的に火山が存在せず，中生代の堆積岩や花崗岩類の山地が分布する。火山学の分野では例外的な地域とされていた。
地震波(Vs)速度構造 [A－A断面](Umeda, 2009)
二次元比抵抗構造(Umeda et al., 2006)
● 飯豊山地の地下15km以深には地震波低速度域と低比抵抗体が存在
● これらの異常体の上面は地殻内地震のcut-off depthと調和的
飯豊山地の地下には400℃以上の高温の物質が存在することが示唆
① 第四紀の火成活動に関連するマグマ or ② 中新世の火成活動が熱的に維持
Resistivity (Ωm)
Depth (km)
Distance (km)
Vs
飯豊山地を事例とした調査技術の適用
第四紀のマグマの推定値
中新世のマグマの推定値
マントル
大気
大陸地殻
$^3He/^4He$比(R_A)の地理的分布 (Umeda et al., 2007)
$^3He/^4He$比と$^4He/^{20}Ne$比の関係 (Umeda et al., 2007)
温泉ガスのヘリウム同位体比は，中新世の貫入岩をソースとするヘリウム同位体比の推定値(3.8 R_A)を超え，マントルに匹敵するような高い値を示す。これらのことから，この地域の温泉の熱源は，現在(第四紀)の火成活動に関連する伏在マグマと考えられる。

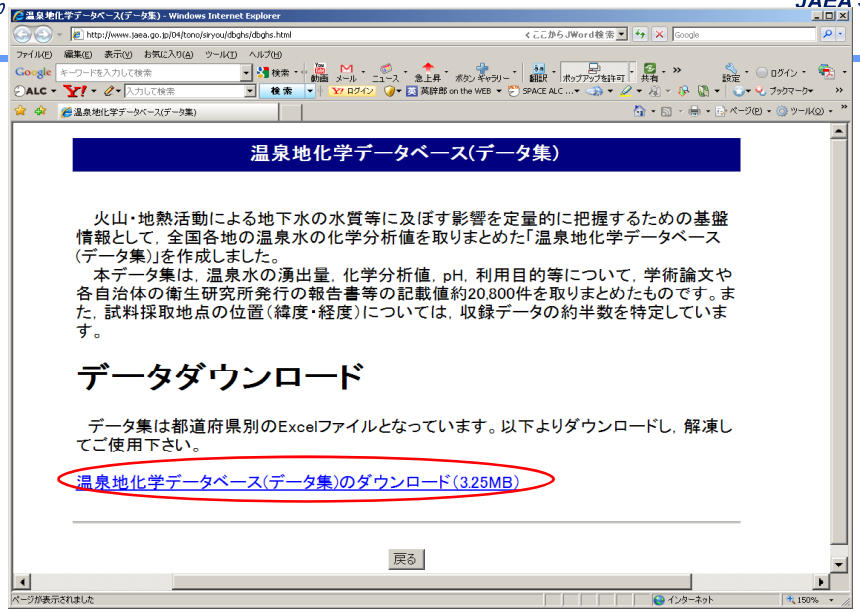


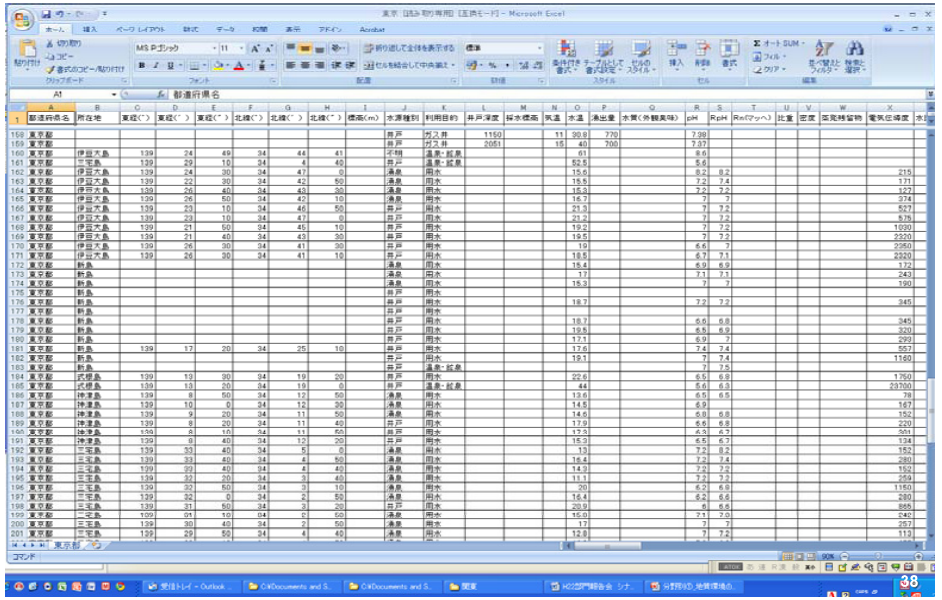

将来も含め，マグマによる著しい熱の影響，強酸性の熱水，あるいは著しい熱水対流が存在することが明らかな地域は含めないよう概要調査地区を選定している
（個別地区ごとに評価する事項）
全国一律に評価する事項で用いた以外の文献
高温異常地帯（ex.非火山地域の地熱活動）の場所についてはよくわかっていないのではないか

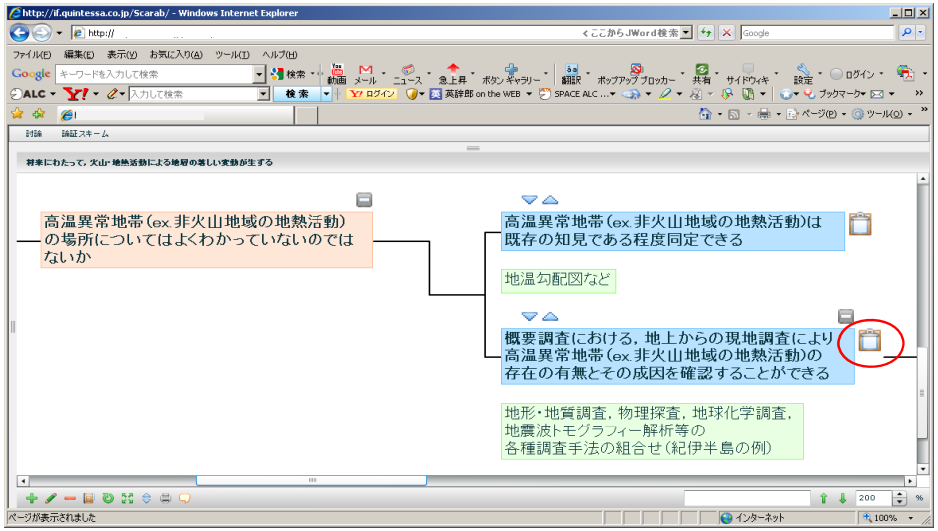

高温異常地帯（ex.非火山地域の地熱活動）の場所についてはよくわかっていないのではないか
高温異常地帯（ex.非火山地域の地熱活動）は既存の知見である程度同定できる
地温勾配図など
概要調査における，地上からの現地調査により高温異常地帯（ex.非火山地域の地熱活動）の存在の有無とその成因を確認することができる
地形・地質調査，物理探査，地球化学調査，地震波トモグラフィー解析等の各種調査手法の組合せ（紀伊半島の例）


0
50
100
200℃/km
日本列島の地下増温率（℃/km）
田中他2005AIST


JAEAデータベース
熱力学・収着・拡散データベース
地層処分の安全評価のためのデータベースです。
緩衝材基本特性データベース
緩衝材や処分場の設計と人工バリアの長期挙動評価のためのデータベースです。
グラウトデータベース
地下坑道掘削時における湧水抑制のためのグラウト技術のデータベースです。
ガラスの溶解に関するデータベース
ガラスの溶解挙動に関する公開情報を集約したデータベースです。
温泉地化学データベース［データ集］
日本の地質環境の理解や火山・地熱活動の影響評価のためのデータベースです。
坑井温度プロファイルデータベース［データ集］
日本の地質環境の理解や火山・地熱活動の影響評価のためのデータベースです。





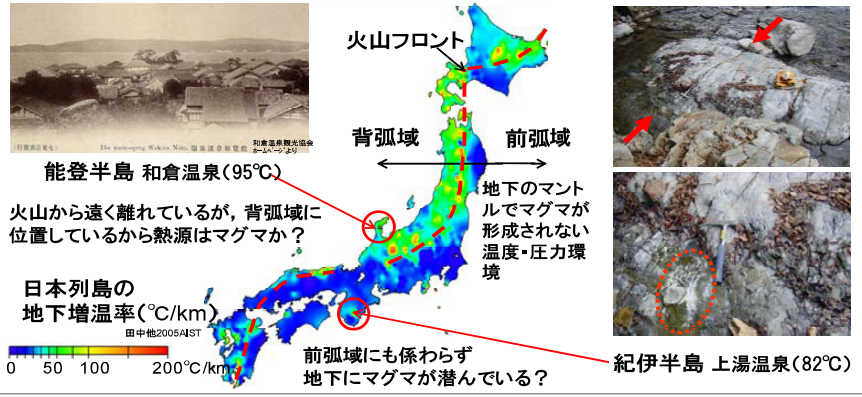


構造運動による熱水活動に関する基盤研究

- **必要性・目標**
- **「構造運動から生じる熱水活動」については，場所，影響の範囲がほとんど不明であるので，研究を特に促進する必要がある(廃棄物安全小委員会報告，2003)。**
- **地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術を活用して，これらの熱水活動の原因を明らかにする。**

能登半島 和倉温泉(95℃)

火山から遠く離れているが，背弧域に位置しているから熱源はマグマか？

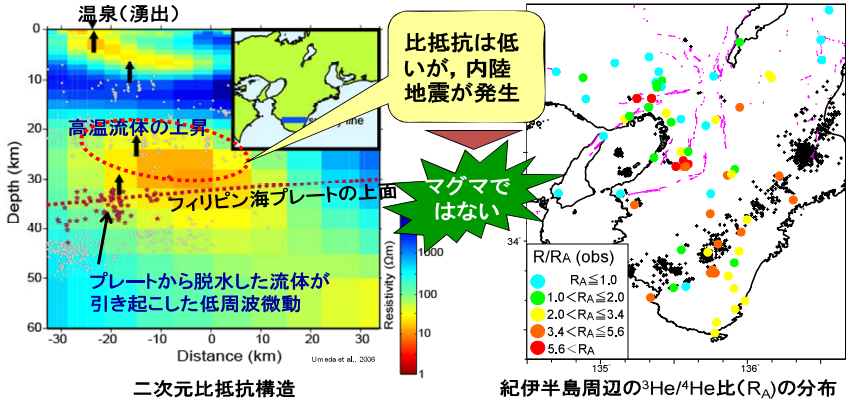


地下のマントルでマグマが形成されない温度・圧力環境

前弧域にも係わらず地下にマグマが潜んでいる？

紀伊半島 上湯温泉(82℃)

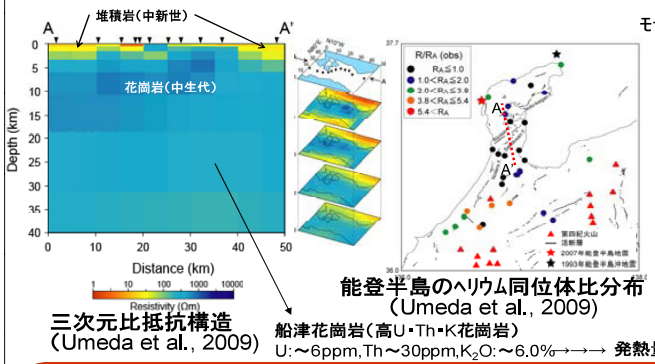
構造運動による熱水活動に関する基盤研究



二次元比抵抗構造　　紀伊半島周辺の$^3He/^4He$比（R_A）の分布

紀伊半島の温泉ガスのヘリウム同位体比は，マントルに匹敵するような高い値を示すことから，新たな火成活動の前兆（Seno et al., 2001）と考えられていた。
→低周波微動の震源分布および比抵抗構造から，フィリピン海プレートを起源とする高温流体（緑泥石の分解：～600℃）の上昇に起因。

構造運動による熱水活動に関する基盤研究



三次元比抵抗構造（Umeda et al., 2009）

能登半島のヘリウム同位体比分布（Umeda et al., 2009）

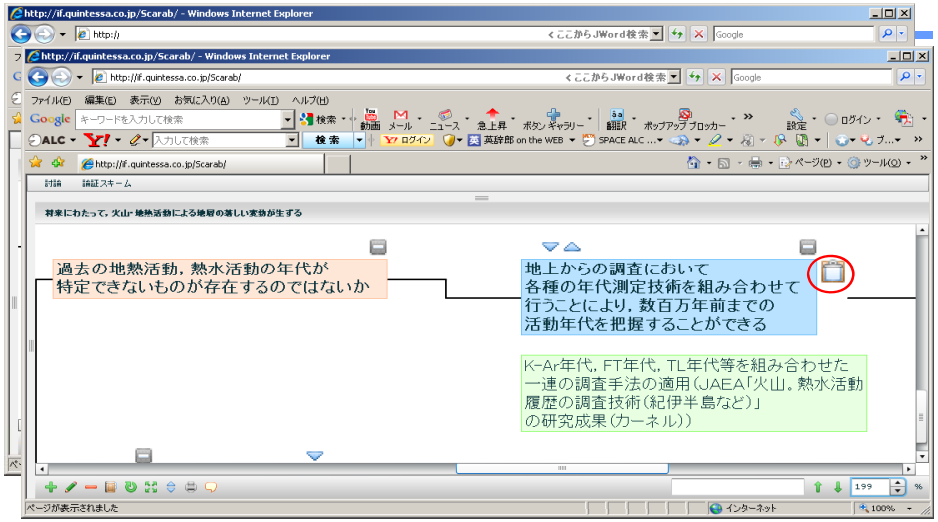
船津花崗岩（高U・Th・K花崗岩）
U:～6ppm,Th～30ppm,K_2O:～6.0%→→→　発熱量：4.0μW/m^3

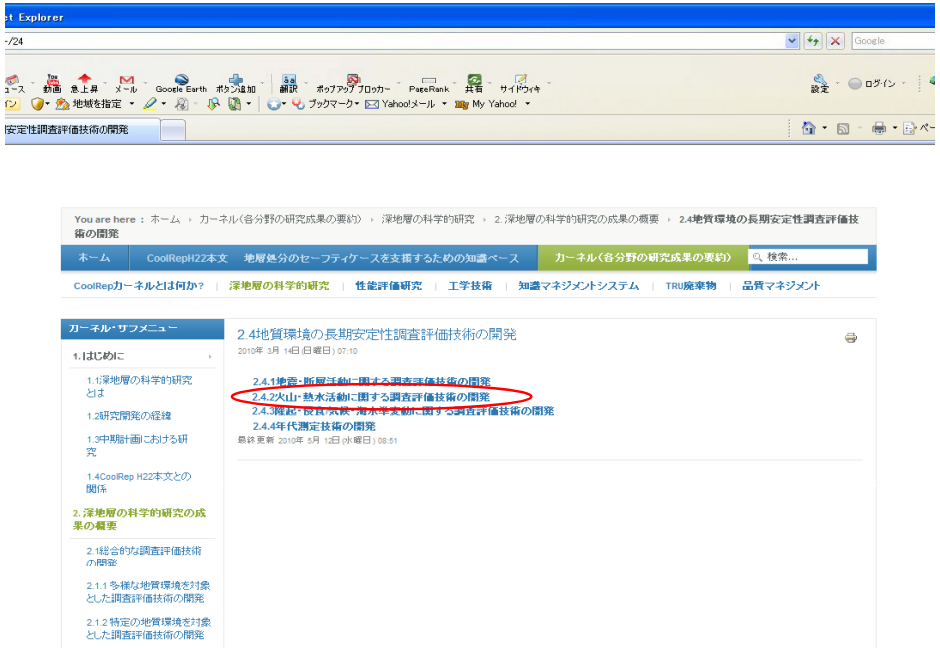
モデル計算 120mW/m^2　観測値 51～186 mW/m^2

上部地殻 20km×4μW/m^3	↑
下部地殻 15km×1μW/m^3	↑
リソスフェア 1mW/m^2	↑
アセノスフェア 25mW/m^2	↑

- **非火山地帯の熱水活動の熱源として，潜在的なマグマによるもののほか，スラブを起源とする熱水の上昇や花崗岩中のU，Th等の放射壊変による熱等が考えられる。**
  - **サイト選定の大前提である「火山フロントの前弧域では，火成活動が生じない」といった従来の火山学の認識を再確認した点では意義が大きい。これらは，地層処分の長期的な安全性を示す論拠（セーフティケース）の構築に寄与。**

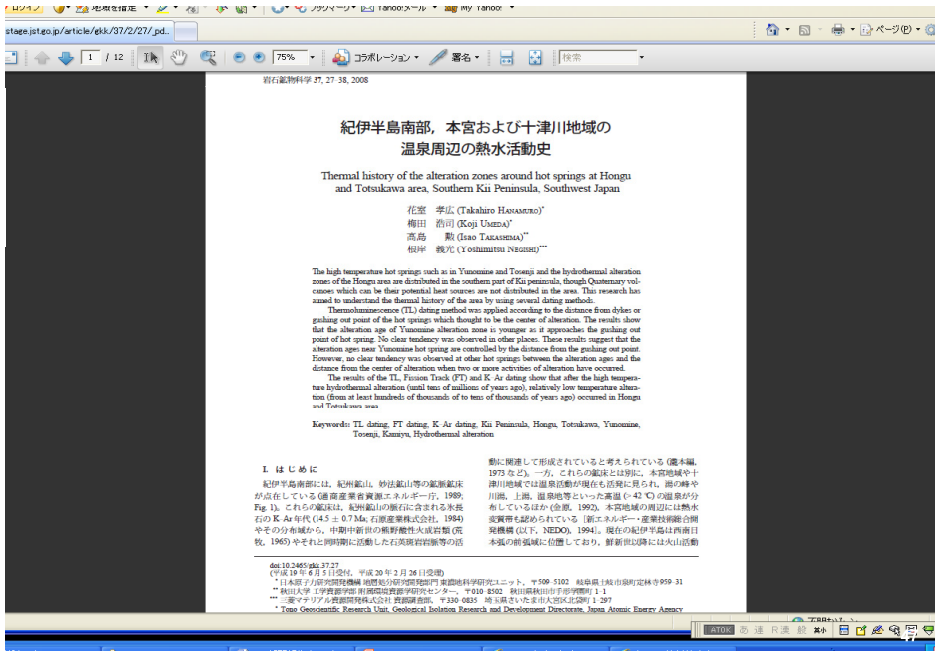
情報・意見交換会 2010　　*JAEA 43*

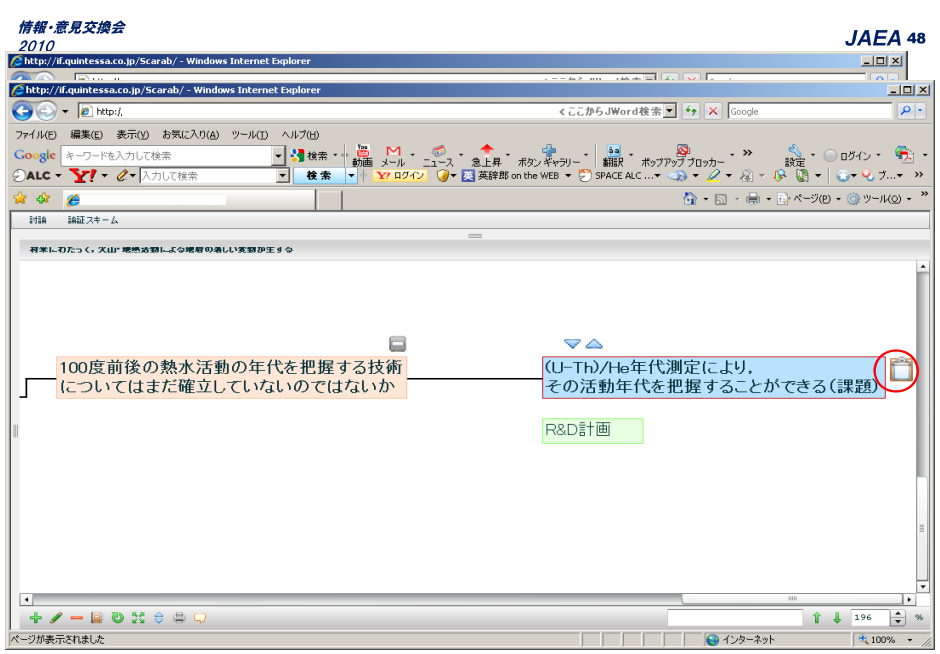




カーネル・サブメニュー
2.4.2 火山・熱水活動に関する調査評価技術
目的:(日本原子力研究開発機構, 2009 ; 資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構, 2006; 2009)
・火山・熱水履歴および地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術の整備
・地熱活動の影響を予測・評価するためのモデルの開発
平成17年までの成果概要:
・更新世中期までの火山(適用事例:むつ燧岳)を対象に,多量屈折率地質解析法(RIPL法)による火山活動史の編年を事例的に行うことにより,RIPL法がテフラを用いた鮮新統〜第四系の編年に適用可能な手法であることを確認(梅田ほか,2004 ; 梅田ほか,2008)。
・熱水等による影響の有無を確認するための調査技術として,熱水活動の開始時期の把握について,K-Ar年代,FT年代,TL年代等を組み合わせた一連の調査手法の適用事例(紀伊半島)を提示(K. Umeda et al., 2007a 花室ほか,2008)。

J-STAGE
科学技術情報発信・流通総合システム J-STAGE
Japanese English
My J-STAGE
記事検索
1件中、1件〜1件を表示。
お気に入り検索に追加
PDF
紀伊半島南部,本宮および十津川地域の温泉周辺の熱水活動史
花室 孝広, 梅田 浩司, 高島 勲, 根岸 義光
岩石鉱物科学, Vol. 37 (2008) No. 2 pp.27-38
▲ PAGE TOP
Copyright©1999-独立行政法人 科学技術振興機構 JST


岩石鉱物科学 37, 27-38, 2008
紀伊半島南部,本宮および十津川地域の
温泉周辺の熱水活動史
Thermal history of the alteration zones around hot springs at Hongu and Totsukawa area, Southern Kii Peninsula, Southwest Japan
花室 孝広 (Takahiro HANAMURO)*
梅田 浩司 (Koji UMEDA)*
高島 勲 (Isao TAKASHIMA)**
根岸 義光 (Yoshimitsu NEGISHI)***
Keywords: TL dating, FT dating, K-Ar dating, Kii Peninsula, Hongu, Totsukawa, Yunomine, Tosenji, Kumayu, Hydrothermal alteration
I. はじめに


情報・意見交換会
2010
JAEA 48
100度前後の熱水活動の年代を把握する技術についてはまだ確立していないのではないか
(U-Th)/He年代測定により,その活動年代を把握することができる(課題)
R&D計画

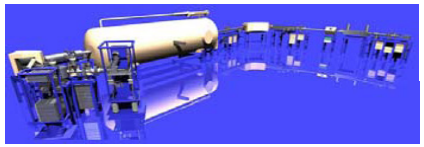
年代測定技術の開発（共通基盤技術の整備）

○加速器質量分析装置（AMS）を用いた年代測定技術
- 炭素14　→地質試料，地下水試料の年代の推定など（活用中）
- ベリリウム10　→古地形の復元など
- 塩素36　→地下水年代の推定など

○希ガス用質量分析装置を用いたK-Ar法に係わる年代測定技術
- 断層粘土の年代測定など

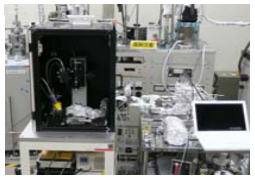
○四重極型質量分析計を用いた(U-Th)/He法に係わる年代測定技術
- 低温領域の熱履歴解析など

→第四紀の熱水活動や断層活動の評価に応用

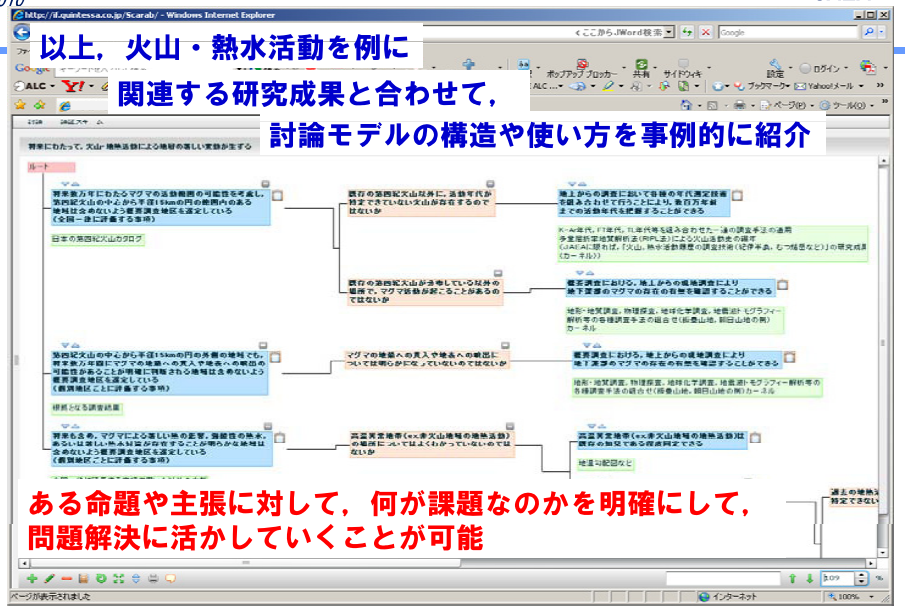


加速器質量分析装置
（ペレトロン）

K-Ar年代測定システム



(U-Th)/He年代測定システム



以上，火山・熱水活動を例に
関連する研究成果と合わせて，
討論モデルの構造や使い方を事例的に紹介

ある命題や主張に対して，何が課題なのかを明確にして，
問題解決に活かしていくことが可能

発表内容

- 処分地選定の要件について
  －法律や実施主体の考え方－
- 地質環境の長期安定性に関する研究について
  －位置づけと目的－
- 討論モデル（Scarab）の活用方法について
  －（火山・熱水活動に関する調査研究）を例として－
- まとめ，今後の課題

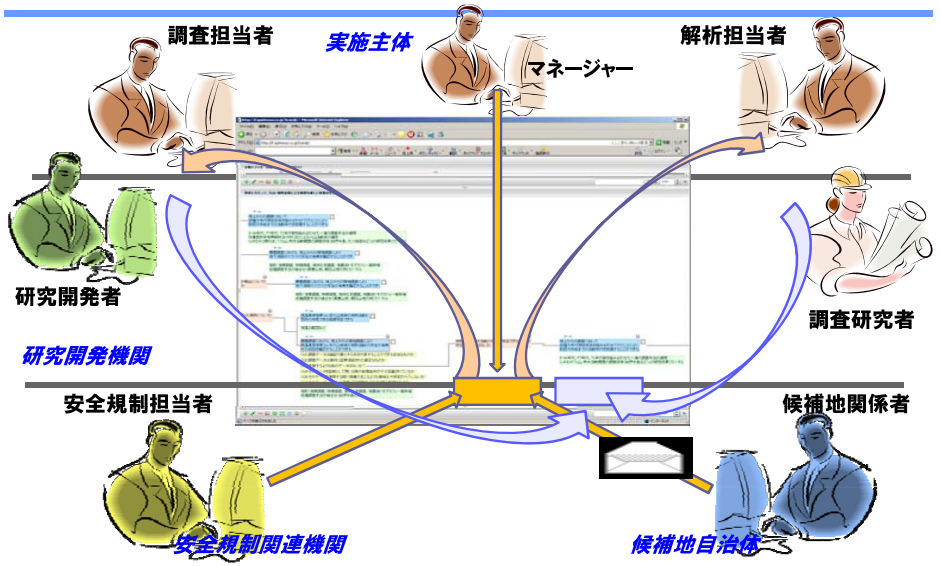
まとめおよび今後の課題

- **討論モデル**を用いながら，求められている考慮事項に対し，どのような疑問や懸念が生じ，それらに対し，これまでのどのような研究成果を用いれば解決できるかを**例示**。
  （関係者間で現状・課題の認識や情報を共有可能）

- 討論モデルやカーネルで示したとおり，地質環境の長期安定性に関する研究において，事例研究を通じて適用してきた地質環境調査評価技術の研究開発成果は，**知識基盤として着実に蓄積**。

- 今後とも，蓄積する経験・ノウハウを，セーフティケースと関連させつつ，地層処分事業の各段階の計画立案および調査の実施や，安全規制機関による調査結果の品質および妥当性の確認などを支援できるように**知識の構造化を進めていくことが重要**。

討論モデルを用いた関係者間の協働



ご清聴ありがとうございました。

4. 今後の研究計画

4.1 超深地層研究所計画

4.1.1 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備

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[1),2)]は，現在，第 2 段階（研究坑道の掘削を伴う研究段階）の調査研究を実施しているところであり，平成 22 年度から第 3 段階（研究坑道を利用した研究段階）の調査研究を開始する[3)]。これまで，第 1 段階取りまとめ報告書[4)]を中心として，研究開発報告書，論文，学会発表などを通じて研究成果を取りまとめ，公表してきた。

一方，原子力機構の第 1 期中期計画期間（平成 17 年 10 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日）における研究成果については，「CoolRepH22」として取りまとめ，ウェブサイト上で公開している。

第 3 段階の調査研究の計画や第 2 期中期計画（平成 22 年 4 月 1 日～平成 27 年 3 月 31 日）の策定にあたっては，第 1 段階と第 2 段階の調査研究の成果に基づき解決すべき課題を明確にするとともに，海外の研究事例を参考にしつつ，調査研究計画を具体化した。

本報では，第 2 段階のこれまでの主な研究成果および第 3 段階の研究計画を紹介する。

(2)研究坑道の掘削を伴う研究段階（第 2 段階）の概要

1)第 2 段階の目標

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構築および研究坑道の掘削による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の調査研究計画の策定

2)第 2 段階の主な成果

超深地層研究所の研究坑道は，主立坑（直径 6.5m）と換気立坑（同 4.5m）の 2 本の立坑と，2 本の立坑をつなぐ予備ステージおよび詳細な調査研究を実施するための水平坑道群からなる。

超深地層研究所の研究坑道については，平成 16 年から本格的な掘削が開始され，平成 22 年 10 月現在，主立坑および換気立坑とも深度約 460m まで掘削が進んでおり，当該深度までの水平坑道の掘削が概ね完了している。第 2 段階においては，第 1 段階と同様に，段階的に調査研究を進めながら，地質環境の調査・解析・評価技術の信頼性や適用性などを確認してきた。その過程で地質環境の理解や取得する地質環境情報の精度の向上を図りつつ，地質環境モデルの妥当性の確認や調査・解析・評価技術の改良を進め，実際の地質環境に適用可能な技術として体系的に整備してきている。

以上のような技術の整備のために，地質・地質構造調査（坑壁地質調査など），岩盤の水理調査（坑内湧水量の観測など），地下水の地球化学調査（地下水の化学分析など），岩盤力学調査（岩盤の初期応力測定など）を実施してきている。さらに，主立坑の深度 180m および換気立坑の 191m の坑底からは，地

表からの深度が 500m を超える深さまでのパイロットボーリング調査を実施したほか，研究坑道内および地表から掘削したボーリング孔を用いた地下水圧および水質のモニタリングなどを継続実施している。

これまでの調査研究の結果，研究所用地およびその周辺には高角度傾斜の NNW 走向の断層が卓越しており，そのうち主立坑で確認された断層は，地下水の流動を規制する低透水性の断層であることが確認されている。また，花崗岩中においては，低角度傾斜の割れ目が卓越する領域（上部割れ目帯）が深度 460m 付近まで分布し，それ以深は比較的割れ目頻度の低い下部割れ目低密度帯が分布すること，上部割れ目帯のうち深度約 200～250m の間には，低角度傾斜の割れ目の集中帯が分布し透水性構造として機能していることが確認されている。さらには，地下水の塩化物イオン濃度などの水質の深度依存性なども把握されている。

これらの成果を基に，地表からの調査・解析・評価技術の有効性を確認してきており，例えば，地層処分事業に対しては，概要調査や精密調査における地質環境調査計画の立案，調査の実施，地質環境モデルの構築などの技術として提示できると考えられる。また，安全規制については，安全審査に向けた指針・基準などの整備に活用できると考えられる。

(3)研究坑道を利用した研究段階（第 3 段階）の研究計画

1)第 3 段階の目標

①研究坑道を利用した調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の拡張による深部地質環境の変化の把握

②深地層における工学技術の有効性の確認

2)第 3 段階の調査研究の概要

本段階においては，調査研究の対象となる深部地質環境の特性を把握するばかりでなく，その地質環境中において生じる様々な現象（坑道掘削が周辺岩盤に与える影響，物質移動など）の理解にも重点をおいた調査研究を実施する。これらの深部地質環境に関する情報を三次元的に取得・蓄積し，研究坑道周辺の地質環境特性に関する推定結果の妥当性を評価する。あわせて，推定に用いた地質環境モデル（ブロックスケール（数十～数百 m 四方程度）およびサイトスケール（数 km 四方程度）の妥当性や解析手法の有効性なども評価する。

また，その評価結果を踏まえ，それぞれの分野における各スケールの地質環境モデルおよび適用した調査・解析・評価手法について高度化を図る。本段階においては，とくに地下深部において生じる様々な現象を理解するための調査・解析・評価技術の妥当性について確認することも重要である。さらに，深部地質環境の評価に至る一連のプロセスの繰り返しをとおして，評価すべき項目やその重要度を明確にするとともに，調査の種類・量，解析・評価の手法と結果の精度との関係を整理する。この結果を踏まえ，最終的には，深部地質環境の特性を把握するための調査・解析・評価技術を段階的に整備する。また，本段階の調査研究に必要な調査技術や調査機器についても適宜，開発を行う。具体的な調査研究課題は以下のとおりである。

●地質構造の三次元分布の把握

第 2 段階において推定した，地下水流動や水質に影響を与える断層，割れ目，変質帯などについて，研究坑道の拡張に伴う坑壁地質調査，物理探査および坑道からのボーリング調査結果と，第 2 段階にお

ける研究坑道周辺の地質・地質構造の推定結果との比較により，第 2 段階において構築した地質構造モデル（ブロックスケール）の妥当性を確認する。

●地下水の流動特性の把握

研究坑道の拡張に伴う地下水位や間隙水圧などの観測および研究坑道から掘削するボーリング孔における水理試験により，研究坑道周辺における主要な地質構造要素および花崗岩の水理特性を詳細に把握する。また，これらの実測データと第 2 段階における推定結果とを比較し，同段階において構築した水理地質構造モデル（ブロックスケール）や解析手法などの妥当性を評価する。この評価結果を踏まえ，水理地質構造モデル（ブロックスケール）の更新と境界条件の見直しを行い，研究坑道周辺における地下水流動に関する解析精度の向上を図る。

●地下水の地球化学特性の把握

研究坑道から掘削するボーリング孔および既存ボーリング孔における地下水採水や化学分析などを継続し，深部地下水の地球化学特性の三次元分布を把握する。これらの実測データと第 2 段階における推定結果とを比較し，同段階までに構築・改良した地球化学モデル（ブロックスケールの水質形成モデル）や解析手法などの妥当性を確認する。

●物質移動の遅延効果の把握

岩芯を用いた室内試験などにより，花崗岩中の物質移動経路や収着・拡散特性などを評価するとともに，研究坑道周辺において，花崗岩中における物質移動・遅延現象を把握するためのトレーサー試験などを実施する。さらに，花崗岩中における物質移動・遅延現象を把握するために必要な地下水中のコロイド，有機物，微生物に関するデータを取得する。

●地下空洞周辺の力学・水理状態の把握および地下の温度環境の把握

割れ目の頻度や透水性などの地質環境条件が異なる岩盤を対象に，新規水平坑道の拡張を実施し，坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の水理特性および力学特性の変化や熱特性などを把握する。これらの実測データと第 2 段階までにおける予測結果とを比較し，同段階において構築した地下水流動モデルや岩盤力学モデル（ブロックスケール）や解析手法などの妥当性を評価する。また，研究坑道における変位計測などを継続し，坑道周辺岩盤の長期的な安定性を評価するとともに岩盤の破壊現象（山はねなど）を把握する。これらの結果を踏まえ，岩盤力学モデル（ブロックスケール）を更新し，坑道周辺岩盤の力学挙動などに関する解析精度の向上を図る。

(4)研究成果の反映

第 1 段階，第 2 段階，第 3 段階の各段階において「概念の提示→計画の立案→調査の実施→データの解釈→モデル化・解析→解析結果の評価→不確実性の評価→重要な要素の特定」というプロセスを繰り返して調査研究を進め，段階的に地質環境特性に関する不確実性を低減することにより，結晶質岩の地質環境を合理的に調査・評価するための体系的な方法論を提示していく。これらの成果は，地上からの調査に関わる技術基盤の確立（地上からの調査技術の検証～地下施設での調査の考え方）および地下施設を活用した調査に係る技術基盤の確立に役立てられるとともに，地層処分技術の信頼性向上や安全規制のための研究開発にも活用される。また，一連の調査で取得される深部地質環境に関する情報や知見などは，国内外の地球科学分野の学術的研究の成果などと合わせて，地下深部における様々な現象（例えば，地下水による物質の移動など）の理解などにも反映できると考えられる。

参考文献

1) 動力炉・核燃料開発事業団: “超深地層研究所地層科学研究基本計画”, 動力炉・核燃料開発事業団, PNC TN7070 96-002 (1996).

2) 日本原子力研究開発機構:“超深地層研究所地層科学研究基本計画”,JAEA-Review 2010-016 (2010).

3) 日本原子力研究開発機構:“超深地層研究所計画年度計画書(2010 年度)”,JAEA-Review 2010-029 (2010).

4) 日本原子力研究開発機構:“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(2007).

超深地層研究所計画
深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備

平成22年10月19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

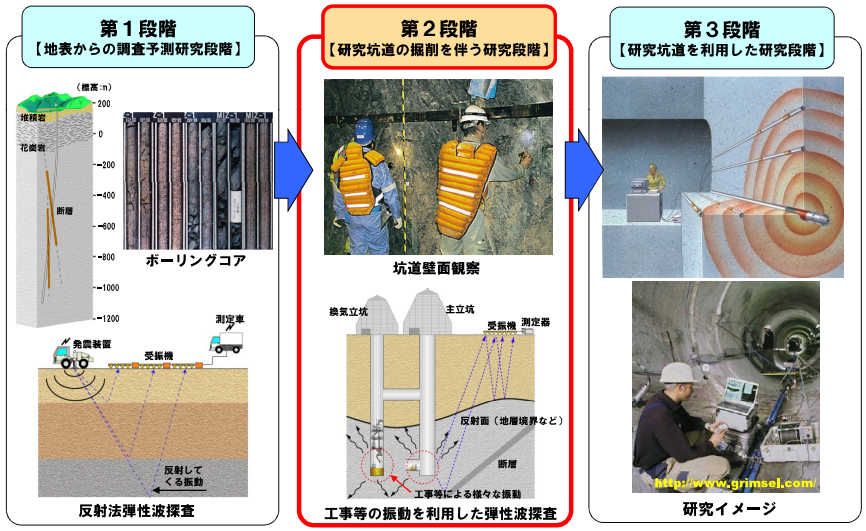
超深地層研究所計画の展望

- 結晶質岩サイトにおける処分地選定の段階に応じて必要となる体系的な調査・解析・評価技術と関連する技術基盤の整備
- 結晶質岩サイトにおける地下施設の設計・施工に関わる基盤の整備
- 幌延深地層研究計画（堆積岩）での研究成果と組み合わせることにより、日本の様々な地質環境に適用できる技術基盤の整備
- 日本、アジアの深地層の研究施設としても活用

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）
   - ○目標
   - ○主な研究成果
2. 研究坑道を利用した研究段階（第3段階）
   - ○目標
   - ○実施内容
3. まとめ

超深地層研究所計画の進め方



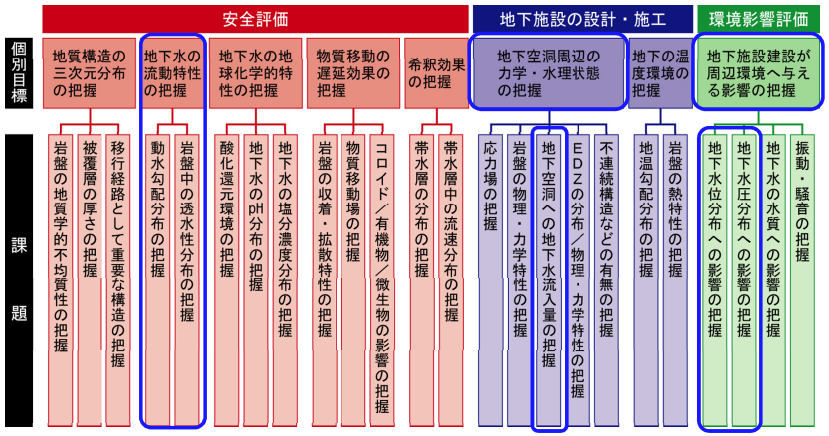
第2段階の目標

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

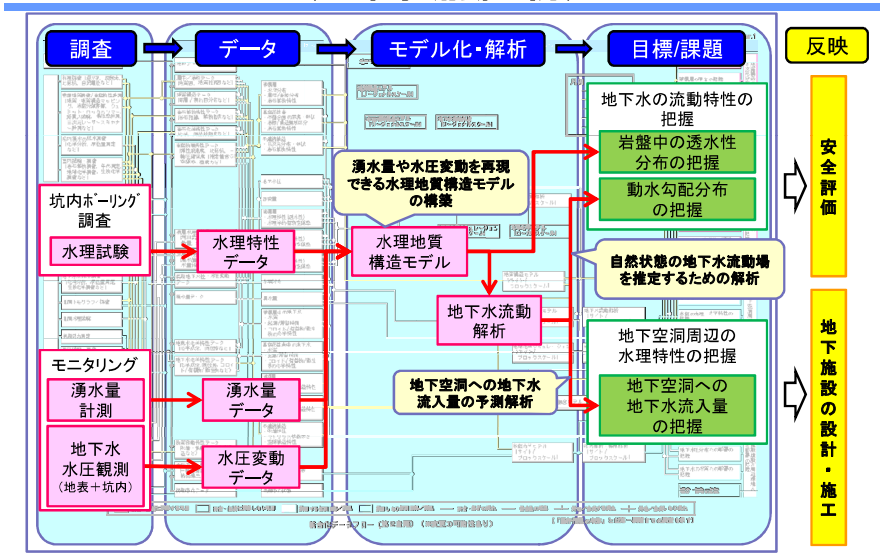
②研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術の有効性の確認

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

目標と課題の設定

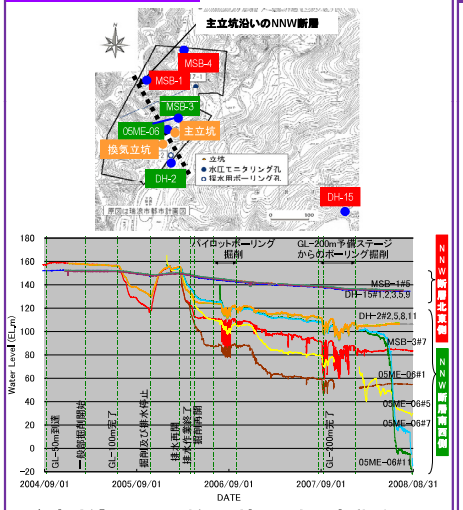


調査・モデル化・解析の流れ（地下水流動の例）



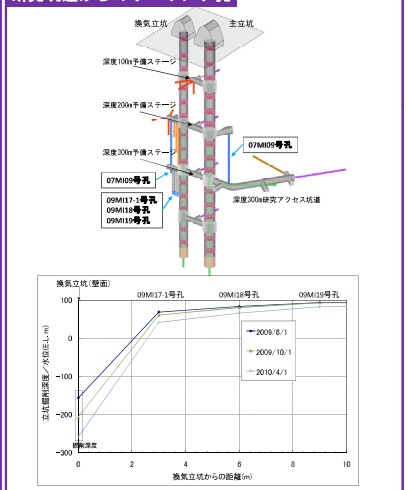
地下水水圧の観測結果

地表からのボーリング孔



➢ 主立坑沿いのNNW断層を挟んで水圧変動が異なる

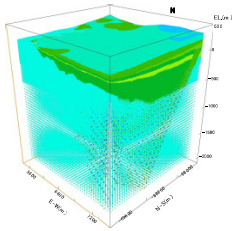
研究坑道からのボーリング孔



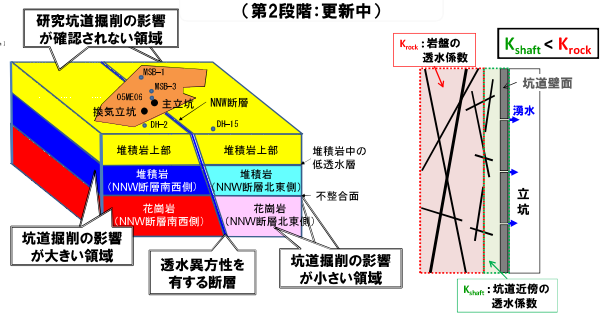
➢ 立坑近傍の水理特性によって，立坑のごく近傍（数mの範囲）で，急激な水圧低下が生じている

水理地質構造モデル
－計測結果に基づく水理地質構造の解釈－

水理地質構造モデル
（第1段階：検証中）

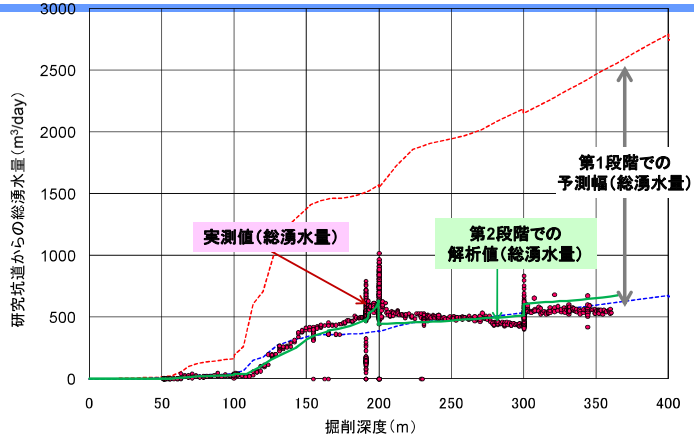


水理地質構造モデル
（第2段階：更新中）



	主立坑沿いのNNW断層	立坑近傍の水理特性
第１段階	断層面に直交方向が低透水性，面方向が高透水性であると推定	覆工コンクリートなどの影響により岩盤の透水性と異なると推定
第２段階	水圧変動から断層面に直交方向が低透水性であることを確認 ⇩ 坑内からのボーリング調査により，断層面方向と直交方向の透水性の違いや断層の連続性を確認中	坑道近傍の水理特性は，岩盤の透水性よりも低いことを確認

地下水流動解析
－水理地質構造モデルの妥当性確認（計測結果との比較）－

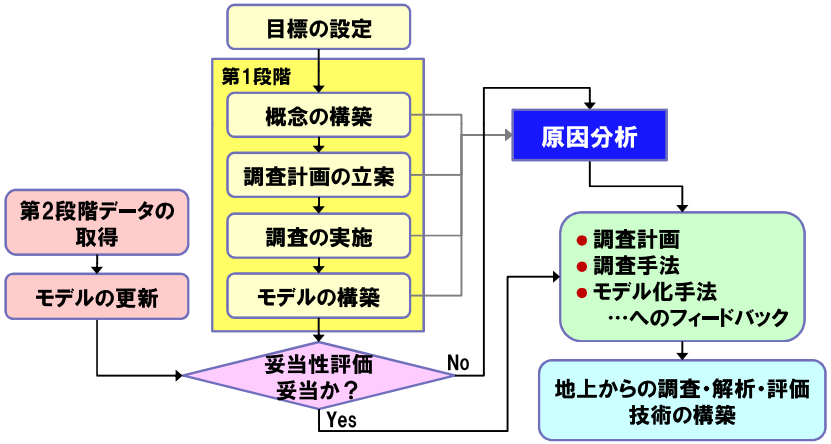


- 第２段階での調査結果に基づき，水理地質構造モデルを更新
→ 地下水流動解析による湧水量の再現性が向上

⇩

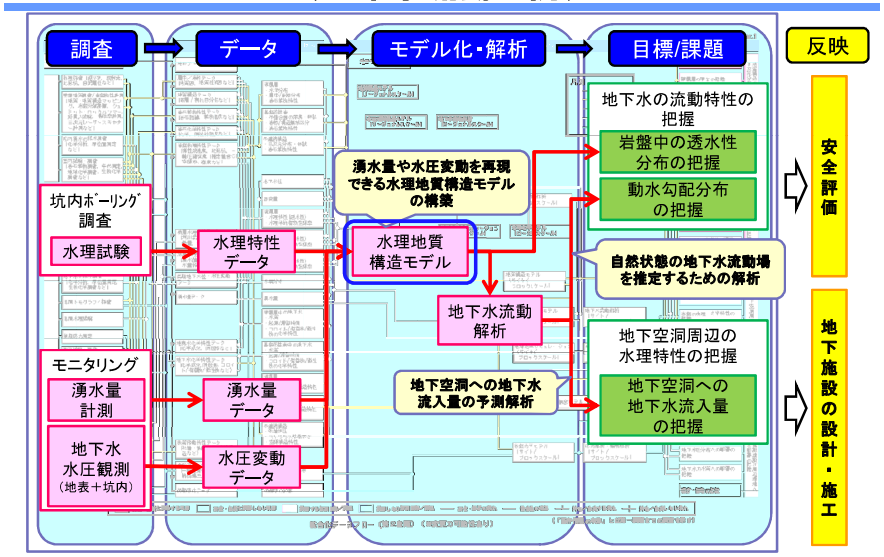
- 更新した水理地質構造モデルに基づく，水圧変動の再現性向上に関する検討を実施中
- 第1段階の調査評価技術の妥当性を評価

地上からの調査技術の妥当性評価の考え方

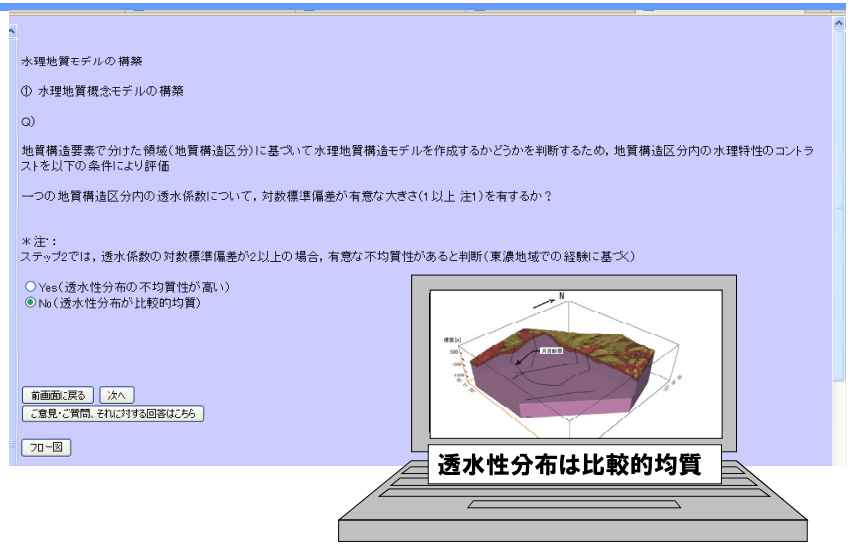


地上からの調査評価技術（第1段階の調査技術）の妥当性を評価するためには、第1段階モデルと第2段階モデルとの比較を通じた不確実性低減の程度を評価することが重要

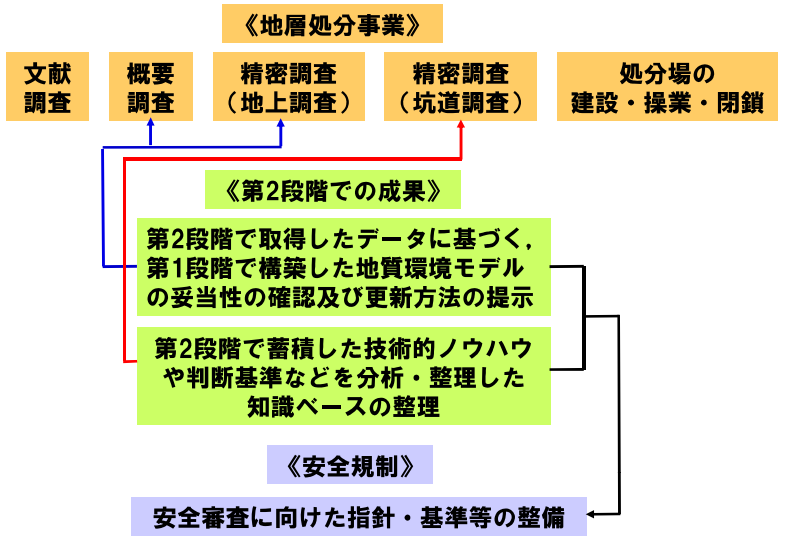
調査・モデル化・解析の流れ
（地下水流動の例）



水理地質モデル構築エキスパートシステム



地層処分事業や安全規制への反映



地層処分事業や安全規制への反映

NUMOとの情報交換

ボーリング調査に関する品質管理手法

産総研との共同研究

ボーリング調査計画の立案・調査の実施

本日の報告内容

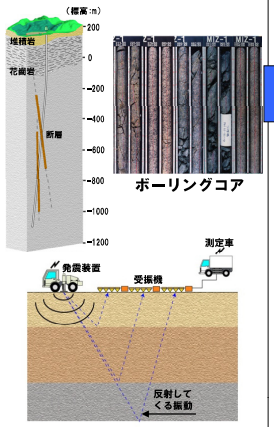
1. 研究坑道の掘削を伴う研究段階（第2段階）
   - ○目標
   - ○主な研究成果

2. 研究坑道を利用した研究段階（第3段階）
   - ○目標
   - ○実施内容

3. まとめ

超深地層研究所計画の進め方

第１段階
【地表からの調査予測研究段階】

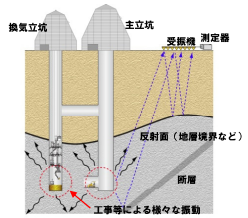


ボーリングコア

反射法弾性波探査

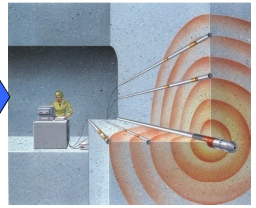
第２段階
【研究坑道の掘削を伴う研究段階】

坑道壁面観察



工事等の振動を利用した弾性波探査

第３段階
【研究坑道を利用した研究段階】



研究イメージ

第3段階の目標

①研究坑道を利用した調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の拡張による深部地質環境の変化の把握

②深地層における工学技術の有効性の確認

個別目標と課題

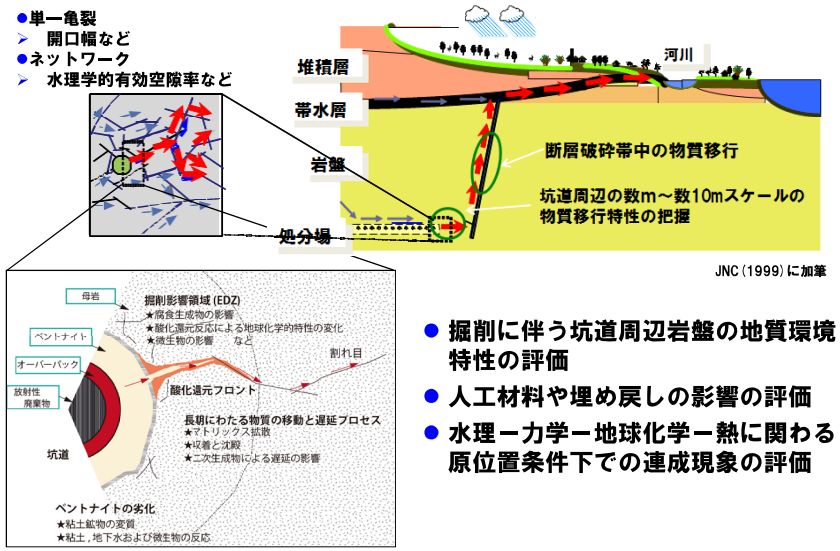
- 主なポイント

✓ 地質環境の長期変化を考慮

物質移動の遅延効果の把握
- 物質移動場の把握
- 岩盤の収着・拡散特性の把握
- コロイド/有機物/微生物の影響の把握

EDZの地質環境特性の把握
- EDZの範囲の把握
- EDZの透水性，物理・力学特性分布の把握
- EDZの地球化学特性の把握
- EDZの応力状態の把握

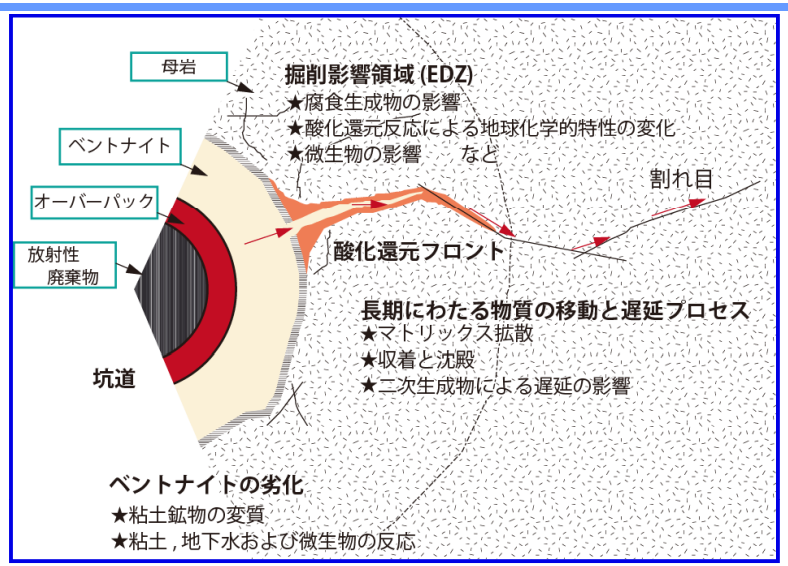
第3段階の調査研究における着眼点



- 掘削に伴う坑道周辺岩盤の地質環境特性の評価
- 人工材料や埋め戻しの影響の評価
- 水理ー力学ー地球化学ー熱に関わる原位置条件下での連成現象の評価

JAEA 21

第3段階の調査研究における着眼点



JAEA 22

物質の移動に関する調査研究

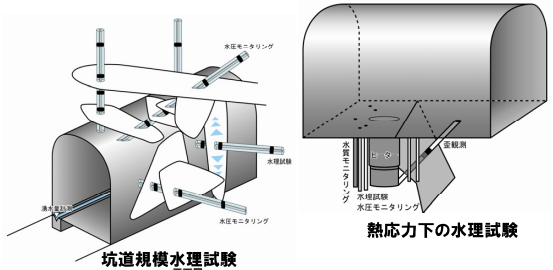
主要な課題

結晶質岩における物質移動現象の調査・解析・評価技術の構築

○変動帯に位置（多様な充填鉱物、高い割れ目密度など）
○原位置試験と室内試験の組み合わせ
○スケール
（数km四方程度：サイトスケール、数十～数百m四方程度：ブロックスケール）

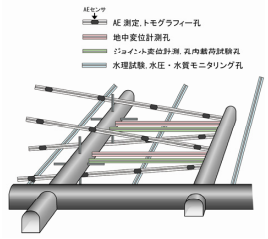
JAEA 23

坑道掘削及び施工対策の影響評価に関する研究

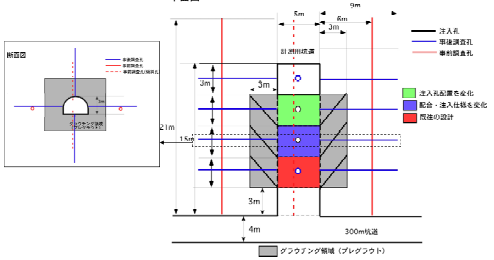


坑道規模水理試験

熱応力下の水理試験



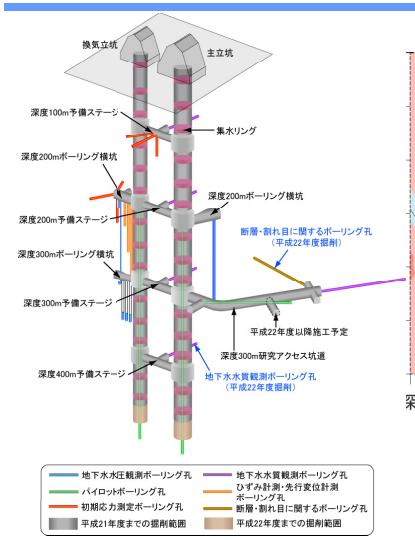
研究坑道周辺の
岩盤力学ー水理ー地球化学複合現象調査

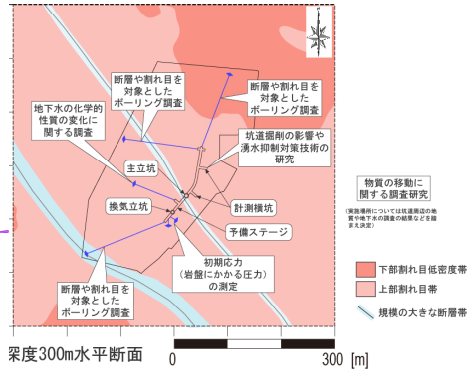


施工対策影響評価試験レイアウト案

JAEA 24

深度300mステージにおける調査計画（案）

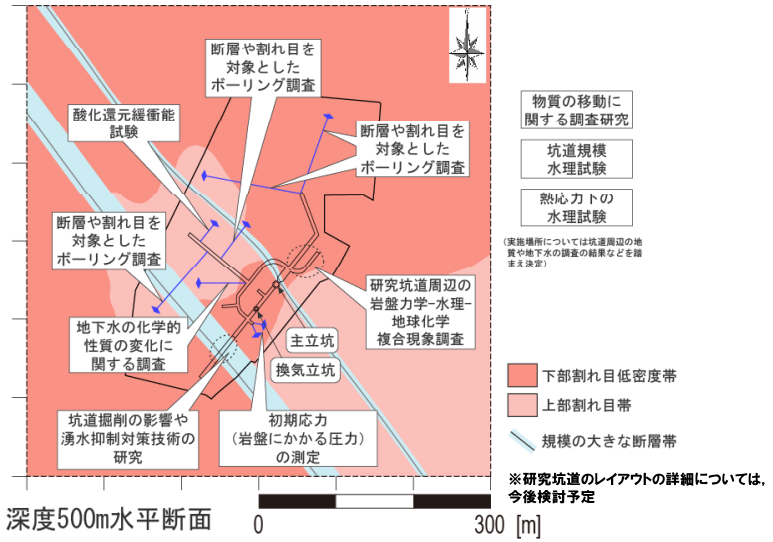




深度300m水平断面

研究坑道におけるボーリング調査などのレイアウト

深度500mステージにおける調査計画(案)



H22年度の計画

平成22年度の主な実施項目

	平成22年度の主な実施項目
地質	・物理探査(逆VSP探査, 流体流動電位法探査) ・研究坑道の壁面地質調査および壁面物性計測 ・深度300m研究アクセス坑道でのボーリング調査 ・地質構造モデルの構築・更新
岩盤水理	・立坑の集水リングを用いた湧水量計測 ・既存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 ・深度300m研究アクセス坑道でのボーリング孔を利用した水理試験, 地下水水圧観測 ・水理地質構造モデルの構築・更新 ・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
地球化学	・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 ・予備ステージボーリング孔における地下水水質観測 ・深度400m予備ステージでのボーリング調査 ・既存ボーリング孔における地下水水質観測 ・地球化学モデルの構築・更新
岩盤力学	・ボーリングコア等を用いた岩盤物性, 初期応力等の測定・分析 ・岩盤力学モデルの構築・更新 ・岩盤の長期挙動評価手法の構築
物質移動	・既存の調査結果を用いた物質移動の調査試験計画の策定

まとめ

○第2段階調査研究を推進

○第2段階の調査研究成果を地層処分事業および安全規制へ反映する観点で整理

○第3段階の調査研究を開始

4.1.2 深地層における工学技術の基礎の整備

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　結晶質岩工学技術開発グループ
松井　裕哉

(1)研究の概要

本研究では，超深地層研究所計画[1)]の一環として，結晶質岩を対象とした深度 1,000m 程度までの地下構造物の設計・建設・維持に対する既存の工学技術の有効性の確認と，今後，必要と考えられる技術の開発を実施している。

研究は，地層処分に対する技術基盤の構築という側面も踏まえ，①設計・施工計画技術の有効性の確認，②掘削技術の有効性の確認，③施工対策技術の有効性の確認，④安全を確保する技術の有効性の確認の四つの研究課題を設定し，進めている。①は地上からの調査段階で必要となる技術基盤，②，③は地下構造物の建設段階で必要となる技術基盤，④は地下構造物完成後の操業段階で必要な技術の基盤となる。

(2)各研究課題と平成 21 年度研究成果の概要

深度 300m までの研究成果は，既に前年度の情報意見交換会および CoolRep[2)]などで報告しているため，今回は深度 300m から 460m までの研究坑道掘削に伴い得られた成果を概説する。

①設計・施工計画技術の有効性の確認

地上からの調査研究段階で実施した超深地層研究所の設計および施工計画の有効性を確認するため，坑道掘削中に実施している壁面観察で得られた地質情報等から評価した岩盤等級区分（以下，岩盤モデル）と設計時のそれとの比較，支保工や岩盤の応力・変形計測結果と設計基準値などとの比較，地表および研究坑道に設置した地震計等の計測結果と設計時の解析結果等との比較，実際の掘削サイクルタイム分析結果と設計時の施工計画との比較などを実施している。

設計時に設定した岩盤モデルの妥当性評価は，深度 300m までと同様であり，健全な土岐花崗岩中を掘削している換気立坑部では概ね一致しているが，設計時に想定していなかった断層部が出現している主立坑では，設計時の岩盤モデルとは大きく異なる。この結果を踏まえ，仮に地上からの調査段階で主立坑中心にパイロットボーリング調査を実施した場合に，現在，遭遇している岩盤の変形挙動等を予測しえたか否かの検討を行った[3)]。具体的には，深度 180m 付近から掘削したパイロットボーリング調査[4)]時の岩盤等級区分に基づきコアの室内試験を実施し，それらの結果から岩盤モデルを再設定し，数値解析を実施した。その結果，再設定した岩盤モデルは，現在，主立坑で見られる岩盤状況と対応すること，その情報に基づき実施した数値解析は現在の主立坑の周辺岩盤の挙動をより精度良く評価し得ることを確認した。これにより，パイロットボーリング調査の有効性は湧水抑制の観点[5)]のみならず，設計に直結する力学的観点からも示されたと考える。

②掘削技術の有効性の確認

深度 300m までと同様，換気立坑側では覆工には非常に微小な変形・応力しか生じていないこと，断層部が出現している主立坑側でも支保工が変状を生じるような変位・応力が発生していないことから，ショー

トステップ発破工法や現行の支保工形態(覆工・吹付けコンクリート, 鋼製支保工とロックボルトの組み合わせ)は, 極めて安全性の高い掘削方法であることを確認した。

③施工対策技術の有効性の確認

施工対策が必要な事象として, 空洞の力学的安定性にかかわる突発的事象(高抜けなどの岩盤ブロックの滑動, 山はね), 地下水にかかわる突発的事象(突発湧水, 坑道壁面近傍における高差圧の発生)などを抽出し, それらの対策技術の検討とその有効性の確認を行っている。

深度 300～400m 間では顕著な湧水箇所が認められなかったが, パイロットボーリング等で湧水抑制対策が必要と判断した換気立坑深度 420～428m, 444～454m 間のグラウチングにおいて超微粒子セメントを用いた。これは対象岩盤が低透水性(1Lu 程度～数 Lu)であったためであるが, 普通ポルトランドセメントで止水が困難な1Lu 程度までの低透水性岩盤を改良できることを確認した。

④安全を確保する技術の有効性の確認

空洞安定性確保の観点から, 現在, 設置している支保工の長期的な変化を把握・評価可能な調査技術を既往の研究事例から抽出し, 瑞浪超深地層研究所に適用可能な技術の選定を行った。

(3)今後の研究計画 [1)]

第 2 期中期計画期間(平成 22～26 年度)において, 深度 500m までの研究坑道を整備することから, 第 2 段階の研究として, 四つの研究課題について引き続き研究開発を進めていく。具体的には①, ②については研究坑道掘削に伴い得られる情報に基づきこれまでと同様の解析評価を行うとともに, 地下構造物の建設コストの低減という視点からのパイロットボーリング調査や情報化施工を含む合理的な設計・施工技術の構築を進める。③では, 総排水処理量低減のため, さらに高水圧環境下で低透水性(1Lu 以下)の岩盤に湧水抑制対策を施す可能性も考慮し, 湧水抑制対策の技術開発も進めるとともに, 深部で想定される突発事象(山はね高差圧など)への対策について原位置計測などを含む対策工の技術開発を必要に応じ実施していく。④については, 抽出した調査技術の有効性を原位置にて確認するとともに, 地下深部において人的作業が可能な環境を維持管理するための総合的な技術体系の整備をはかる。

また, 第3段階における研究として, 地質環境に関する研究とも連携し, 地下構造物建設に使われる材料が周辺地質環境に及ぼす影響を把握・評価する手法開発を目的とした試験研究の結果をふまえ, それらの影響を修復・軽減する技術の開発も順次進めていく予定である。

参考文献

1) 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:超深地層研究所　地層科学研究基本計画, JAEA-Review 2010-016.

2) 日本原子力研究開発機構:CoolRep　http://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/index.php/kernels/kernel-2/2-/23-/1, 2010.3.21

3) 納多 勝ほか:力学的観点に着目したパイロットボーリング調査の有効性検討, 第 65 回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp. 127-128(CD-ROM)

4) 鶴田忠彦ほか:瑞浪超深地層研究所における立坑内からのパイロットボーリング調査報告書, JAEA-Research 2008-098.

5) 見掛信一郎ほか:結晶質岩を対象とした坑道掘削における湧水抑制対策の計画策定と施工結果に関する考察, JAEA-Technology 2010-026, p.116.

今後の計画

超深地層研究所計画　深地層の工学技術の基礎の整備

平成22年10月19日

東濃地科学研究ユニット
結晶質岩工学技術開発グループ
松井　裕哉

今回の報告内容

研究概要

各研究課題とH21年度成果の概要

- 設計・施工計画技術の有効性確認
- 掘削技術の有効性確認
- 施工対策技術の有効性確認
- 安全を確保する技術の有効性確認

今後の計画

本研究の位置づけ

・既存の土木・資源分野で培われた技術を適用することにより，結晶質岩では深度1,000m程度までの範囲で，地下施設の設計・施工および操業が実現可能であることを提示（第2次取りまとめ）

・国内では，深度1,000m程度までの範囲で展開された地下施設はほとんどない
・国内に分布する結晶質岩は，割れ目が多く地下水も豊富に存在する

本研究の目標

結晶質岩を対象とした地下施設の設計・建設および操業に対する技術の有効性の検討（第2次取りまとめで示された課題）

進め方

以下の四つの研究課題を設定し，研究坑道の設計・掘削および掘削に伴って実施する計測から得られるデータの分析・評価による実証的な研究を行う。

①設計・施工計画技術の有効性確認
②掘削技術の有効性確認
③施工対策技術の有効性確認
④安全を確保する技術の有効性確認

地層処分に対する技術基盤構築との関係
①：地上からの調査段階で必要となる技術基盤
②，③：地下施設の建設段階で必要となる技術基盤
④：地下施設完成後の操業段階で必要となる技術基盤

今回の報告内容

研究概要

各研究課題とH21年度成果の概要

- ・設計・施工計画技術の有効性確認
- ・建設技術の有効性確認
- ・施工対策技術の有効性確認
- ・安全を確保する技術の有効性確認

今後の計画

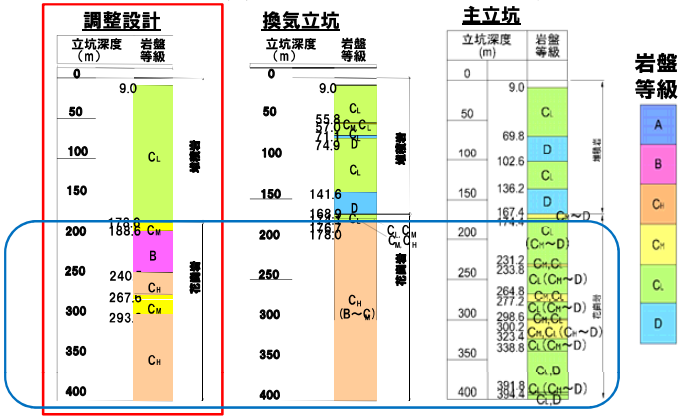
研究成果の概要（設計・施工計画技術の有効性確認）

換気立坑部

堆積岩層，土岐花崗岩部とも設計時に設定した岩盤モデルと同等

主立坑部

設計時の岩盤モデルとは異なる相対的に脆弱な岩盤状況



坑道壁面地質観察結果に基づく岩盤等級区分と設計時に設定したそれとの比較

研究成果の概要（設計・施工計画技術の有効性確認）

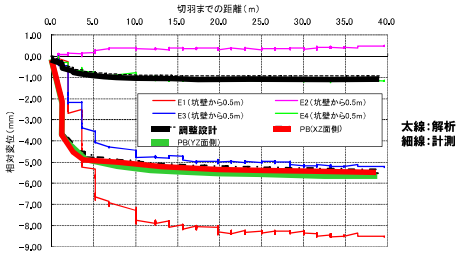
主立坑深度200m付近から掘削したパイロットボーリング調査時の岩盤等級区分毎に，室内試験等を実施し解析モデルの岩盤物性値を再設定

再設定した岩盤物性値

岩盤等級	CH	CM	CL	D
弾性係数 E (GPa)	0.69	0.48	0.30	0.27
ポアソン比 ν	0.35	0.35	0.35	0.35
単位体積重量 γ (kN/m3)	26.0	26.0	26.0	26.0
粘着力 C (MPa)	4.0	2.0	1.0	1.0
内部摩擦角 φ (°)	40.0	30.0	23.5	21.5

数値解析により主立坑周辺岩盤の挙動を再評価した結果，より精度良く予測できることを確認

湧水抑制といった水理的な観点のみならず力学的観点からもパイロットボーリング調査は有効



解析結果の例（深度250m地点地中変位）

研究内容（施工対策技術の有効性確認）

空洞の力学的安定性にかかわる突発的事象

- ・高抜けなどの岩盤ブロックの滑動
- ・山はね

地下水にかかわる突発的事象

- ・突発湧水
- ・坑道壁面近傍における高差圧の発生

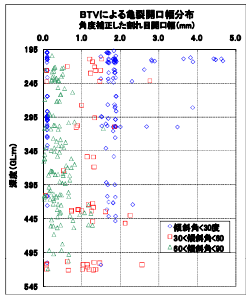
などに対する対策技術の検討とその有効性の確認

研究成果の概要（施工対策技術の有効性確認）

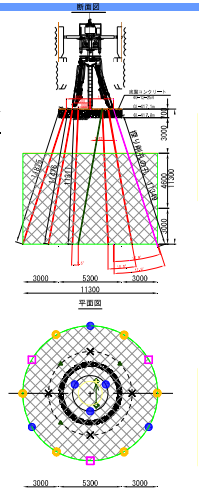
今後想定される地質環境条件：
低透水性，高水圧

超微粒子セメントを用いたグラウチング

低透水性岩盤（1Lu程度まで）の湧水抑制が可能であることを確認

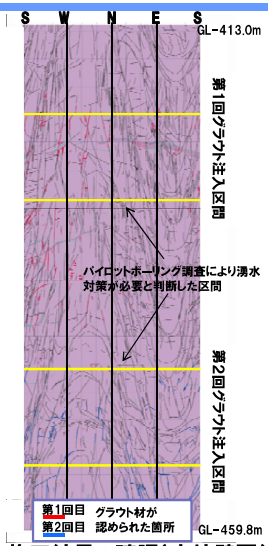


パイロットボーリング調査結果の分析



地質環境条件や施工実績に基づき，注入孔数・配置，注入仕様等を合理化

グラウチング施工計画



施工結果の確認（立坑壁面）

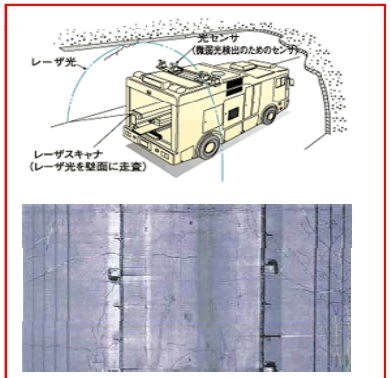
研究内容（安全を確保する技術の有効性確認）

・支保工の健全性評価のために把握すべき事象の抽出
ひび割れ，漏水，浮き・剥離，内空変位
（既存のトンネル等の維持管理対象項目）

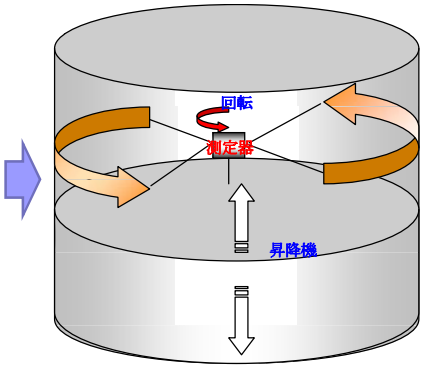
・瑞浪超深地層研究所へ適用可能な既存技術の抽出
目視観察，デジタルカメラ・ビデオ観察，表面レーザー探査，赤外線カメラ計測，光波測距，3Dレーザースキャナー計測，光ファイバー計測，ひずみ計計測，導電塗料塗布，応力発光体設置　等

研究成果の概要（安全を確保する技術の有効性確認）

適用方法の検討



表面レーザー計測の例



立坑部での計測イメージ

今回の報告内容

研究概要

各研究課題とH21年度成果の概要

・設計・施工計画技術の有効性確認

・建設技術の有効性確認

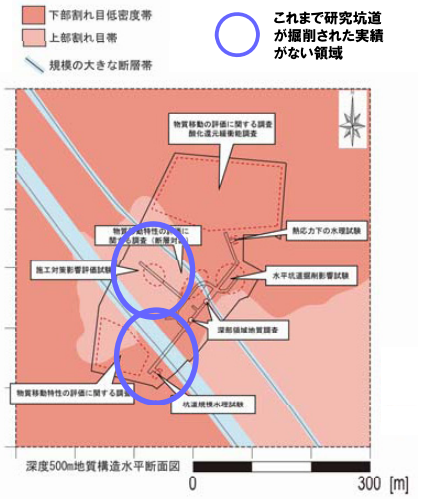
・施工対策技術の有効性確認

・安全を確保する技術の有効性確認

今後の計画

今後の計画(１)

- 四つの研究課題(設計・施工計画技術，掘削技術，施工対策技術，安全を確保する技術の有効性確認)に対応する研究開発を，深度500mまでの研究坑道掘削に対して実施



深度500mステージにおける第3段階の調査研究の位置(計画)
研究対象領域で示す(具体的なボーリング孔のレイアウトなどは地質環境や施工状況により決定)

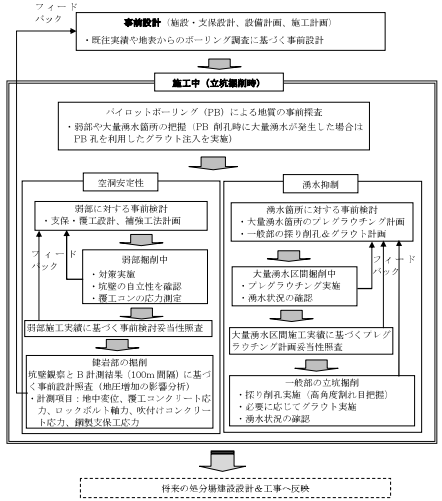
今後の計画(２)

- 設計・施工計画技術

→情報化施工技術の検討

- 施工対策技術

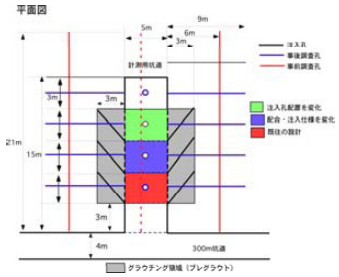
→より低透水性・高水圧下での湧水抑制対策技術



これまでの研究坑道掘削工事実績を踏まえた情報化施工フローの例

今後の計画(３)

- 地質環境へ及ぼす影響の修復・軽減技術の開発(第3段階の研究)



施工対策影響評価試験

地質環境へ影響を及ぼす因子の抽出

地質環境へ及ぼす影響の軽減技術の例
(低アルカリ性セメントによる支保工構築)

4.2 地質環境の長期安定性に関する研究

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
梅田 浩司

(1)はじめに

日本列島は，プレートの収束帯に位置しており，安定大陸に比べて地殻変動や火成活動が活発であることから，我が国における地層処分の概念は，「長期的な安定性を備えた幅広い地質環境」に「性能に余裕をもたせた人工バリア」を設置するという特徴を有する。すなわち，第一に自然現象によって地層処分システムに期待される物理的な隔離機能が損なわれる恐れがないようなサイトを選ぶことが前提となる。さらに，サイト固有の地質環境や想定されるそれらの長期的な変化を見込んで，合理的な地層処分システムを構築した上で，長期的な安全性を確認することが必要となる。そのため，地質環境の長期安定性に関する研究では，① サイト選定に必要となる自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技術基盤の整備(**調査技術の開発・体系化**)，② 変動シナリオを考慮した安全評価に必要となる将来の地質環境の変化を予測・評価するための技術基盤の整備(**長期予測・影響評価モデルの開発**)のほか，③ 放射年代測定法やテフロクロノロジー等の編年技術の高度化(**年代測定技術の開発**)を進めている。

(2)第 2 期中期計画における研究開発の方向性

原子力機構の第 2 期中期計画(平成 22 年度～平成 26 年度)では，「地質環境の長期安定性に関する研究については，精密調査において重要となる地質環境条件に留意して，天然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する手法を整備する」ことを目標に掲げている。また，資源エネルギー庁を中心に設立した地層処分基盤研究開発調整会議の全体計画のフェーズ 2 では，平成 24 年頃までに「精密調査の前半に相当する地上からの調査に関わる技術基盤の確立」を目標としていることから，今後 5 ヶ年の調査技術の開発・体系化については，精密調査の前半に必要となる地上からの調査技術に重点を置いて進めていくことが必要となる。さらに，全体計画のフェーズ 3 では，平成 20 年代後半頃までを目途に，「精密調査の後半に相当する地下施設を活用した調査に関わる技術基盤の確立」を目標としていることから，第 2 期中期計画後半においては，地下施設を活用した調査に係る技術基盤の整備にも着手していく。

一方，将来の地質環境の予測・評価手法については，将来十万年程度の期間を対象に研究開発を進めているが，一般に，過去に遡るほど自然現象の記録が乏しくなることから，対象とする期間が長くなればなるほど予測に伴う不確実性も増大していく。そのため，今後の長期予測・影響評価モデルの開発に際しては，自然現象を発端とする様々な地質環境への影響に係るシナリオについて，そのシナリオの発生する可能性と地質環境への影響の大きさ(地下水流動や水質の変動幅)のみならず，予測結果に内在する不確実性を併せて示していくことが重要となる。

⑶今後５ヶ年の達成目標

①調査技術の開発・体系化

調査技術の開発・体系化については，サイトが有する地質環境が最終処分法による段階的な処分地の選定要件や原子力安全委員会による環境要件等に適合するか否かを判断するための情報（データ）を概要調査等を通じて取得するための技術基盤を整備するものである。特に，活断層や第四紀火山等の存在が文献調査の段階で確認できない場合には，概要調査の段階で地表踏査，物理探査，トレンチ調査等によって，これらの存在を確認することが求められており，そのための調査技術の開発は喫緊の課題である。そのため，第 1 期中期計画では，空中レーザー計測や DEM の解析によって微細な断層変位地形を検出する手法[1)]や地下深部のマグマや高温流体等の存否を確認するため地震波速度構造，比抵抗構造，地下水中の希ガス同位体比等のデータを組み合わせた総合的な解析手法を提示した[2)]。以上のように，第 1 期中期計画では，火成活動および隆起・侵食／気候・海水準変動に関する地上からの調査に係る技術基盤はおおむね整備されていると考えられる。第 2 期中期計画では，断層運動のうち特に変動地形が明瞭でない活断層の認定や地下深部の震源断層を確認するための技術のほか，将来の断層の伸長，破砕帯の拡大等を検討する際の科学的知見となる断層の成熟度を明らかにするための調査技術の開発を目指していく。また，ボーリング孔や坑道等といった地下で遭遇した断層の活動性の評価ができるよう断層岩の物質科学的な特徴と放射年代値との関連性についての検討を進めていく。

②長期予測・影響評価モデルの開発

地層処分における将来予測については，過去から現在までの現象の変動傾向から将来を外挿する方法が基本となる。特に変動シナリオに基づく安全評価に必要となる予測・評価では，将来の断層運動や隆起・沈降によって生じる地形・地質構造の変遷やそれに伴う地下水流動や水質の変動幅を示していくことが不可欠となる。日本列島では過去十万年程度までの地形学的情報が比較的多く得られることから，将来数万年程度の地質環境の変化を外挿法によって，ある程度の信頼性をもって予測・評価できると考えられる。しかしながら，過去十万年より古い時代の地形学的情報を得ることは極めて困難であることから，十万年を超えるような時間スケールでの予測・評価は，地質学的な情報に頼らざるを得ない。第 2 期中期計画では，主に地質学的情報によって様々な時代の地形・地質構造の復元を行い，それらを場のモデルとして地下水流動や水質を復元するといった古水理地質学的なアプローチ[3)]によって，過去から現在までの地質環境の変化の傾向を把握するための一連の調査・解析・評価技術を提示していく。なお，これらの経験則に加えて現象のメカニズムや地質環境の変化に至るプロセスを考慮した数値シミュレーションによる科学的信頼性の向上を図っていくことも重要となる。第 1 期中期計画では，地質分布や活構造区ごとの隆起速度を考慮した従順化モデルを作成し，大局的な地形の変化とそれに伴う地下水流動を推定する数値シミュレーション技術[4)]を開発しているが，第 2 期中期計画では，地形学的情報により過去の地形を復元し，それを起点としたシミュレーションによって現在の地形がどの程度再現できるかを確認していくことによりシミュレーション技術の妥当性を提示していく。

③年代測定技術の開発

将来予測の信頼性を向上させるためには，過去の自然現象の発生した時期やその変動の傾向・速度を精度良く把握することが不可欠である。そのため，放射年代測定法を含めた編年技術を整備していくこ

とが重要となる。第 1 期中期計画では，東濃地科学センターで保有するタンデム型加速器質量分析計を用いて少量の生物体試料を用いた ^{14}C 年代測定技術の開発を行った。一方，四重極型質量分析計を用いた(U-Th)/He 年代測定システム [5]および希ガス質量分析計による K-Ar 年代測定システムの整備を進めた。第 2 期中期計画では，^{10}Be 年代法による岩石の露出年代や(U-Th)/He 年代法および K-Ar 年代法による断層の活動年代を決定するため，試料調整法の改良等を含めた年代測定技術の開発を進めて行く。

参考文献

1） 中田ほか(2008)活断層研究, 29, 1-13
2） Umeda et al. (2007) J. Geophys. Res., 112, B05207
3） Yusa et al. (1993) Paleohydrogeol. Meth. and Appli., 117-146
4） 三箇・安江(2008)地形, 29, 27-49
5） Yamada et al.(2008) Geochim. Cosmochim. Acta, 72, A1050.

表「地質環境の長期安定性に関する研究」の今後 5 ヵ年の研究開発課題

	研究課題名	目的	実施内容	反映先
①調査技術の開発・体系化	1. 変動地形が明瞭でない活断層等に係る調査技術の開発	概要調査等において低活動性の断層や伏在断層等，一般の活断層の調査技術が適用できない断層を識別するための調査技術を提示	活断層および地質断層のほか，断層のタイプや規模，活動性等の異なる断層から放出されるガスの主成分・同位体化学組成の特徴を明らかにするとともに，変動地形の明瞭でない活動層を検出するための地球化学的指標を提示する。	●地上からの調査において必要とされる技術基盤
	2. 断層の発達段階の評価に係る調査技術の開発	既存の断層の伸長や破砕帯の拡大の影響を回避するため，サイト近傍の断層からの離間距離を適切に設定するための科学的な判断根拠として，概要調査等によってそれぞれの断層の発達段階を明らかにするための調査・評価技術の提示	断層近傍の地球物理学的データ（震源分布，発震機構解等）と地形・地質学的データ（断層の連続性・長さ，活動開始年代，変位速度等）を統計的に解析し，発達段階の分類に係る試案を提示する。	
	3. 地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術の開発	坑道やボーリング等で遭遇した断層の活動性（非活動性）を示すための調査・評価技術の提示	断層岩に含まれる自生雲母粘土鉱物のK-Ar年代，割れ目を充填する炭酸塩鉱物のU-Th年代，He年代や他の断層との切断関係から最新の活動年代を推定する手法および断層の上盤と下盤のジルコンやアパタイトの放射年代測定に基づく垂直変位速度を推定する手法を提示する。	●地下施設を利用した調査において必要とされる技術基盤
	4. 地殻内の震源断層等に係る調査技術の開発	将来の地層処分システムに重大な影響を及ぼす可能性がある現象（地殻内の震源断層，高温流体等）を予め検出するための調査技術の提示	震源断層や高温流体等によって引き起こされる地殻内の不均質構造を高分解能・高精度で把握するための地球物理学的手法を構築する。当面は，微小地震の震源決定精度の高度化およびMTデータの三次元比抵抗構造解析手法を整備する。	●地上からの調査において必要とされる技術基盤 ●処分場の閉鎖後のモニタリングに係る技術基盤
	5. 内陸部の隆起・侵食速度の算出に係る調査技術の開発	内陸部において河成段丘が発達していない地域（TT法の適用が困難な場所）の隆起・侵食量の調査技術の提示	河成段丘の発達が乏しい西南日本にも多く分布する旧河谷堆積物を用いて，その編年と標高に基づき隆起速度を推定する調査技術を提示する。	●地上からの調査において必要とされる技術基盤
②長期予測・影響評価モデルの開発	1. 地形変化シミュレーション技術の高度化	地下水流動や水質を支配する将来の地形の変化を予測・評価するための手法の提示	第1期中期計画において開発した拡散モデルに基づく地形変化シミュレーション技術の妥当性を評価するため，地形・地質データから復元した過去の地形を起点としたシミュレーションによる現在の地形の再現性を検討する。	●変動シナリオを考慮した安全評価に係る技術基盤
	2. 地質断層の再活動等に係るシミュレーション技術の開発	現在の地殻応力場の下で（地殻応力場が変化したケースも想定）既存の断層の伸長や地質断層の再活動の可能性を評価するための手法の提示	有限要素法などによる連続体モデルや粒状体モデルに基づく三次元数値シミュレータ（例えば，FLAC3D，PFC3D）を用い，複数の仮想的なモデル計算により地質断層の再活動や活断層の分岐や進展の範囲を感度解析的に示す。	
	3. 地殻変動に伴う熱水活動の形成に係るモデルの開発	断層運動を含む将来の地殻変動によって現在の地温勾配，地下水流動や水質の変化を予測・評価するための手法の提示	第1期中期計画において開発した高温・高圧領域を対象とした熱・水連成シミュレータ等を用いて断層運動に伴う地下深部の破砕帯の形状や透水性の変化による熱水系の形成や温度構造の変化を感度解析的に示す。	
	4. 超長期における予測・評価手法に関する検討	将来十万年を超えるような超長期について，外挿法による予測・評価の妥当性を検討するための過去の地質イベントの識別分解能に係る科学的知見の提示	断層運動，火山活動，隆起・侵食，気候・海水準変動について，これまでの研究事例のレビューを行い，それぞれの地質イベントの編年の精度と分解能の違いを時代別・地域別に整理する。	
	5. 古水理地質学的アプローチによる地質環境の変化の予測・評価手法の開発	将来の地質環境の安定性を検討するための基盤として過去十～百万年オーダで広域的な地質環境を概括的に再現するための一連の調査・解析・評価手法の提示	過去十～百万年オーダで広域的（百km四方）な地形・地質構造を復元するとともに，それを場のモデルとして過去から現在までの地下水流動や水質の変化の幅を時代別に整理する。	
③年代測定技術の開発	1. 加速器質量分析計を用いた^{10}Be年代測定法の実用化	^{14}C年代法では困難な数万年より古い時代の地質イベントを精度良く識別できる編年技術の提示	岩石からのBe抽出法の検討を含む試料調整法を確立するとともに，試料調整から質量分析計による定量までの一連の年代測定のルーチン化を行うとともに，装置のバックグラウンドの低減やビームの安定化を図る。	●地上および地下施設を利用した調査において必要とされる技術基盤
	2. 四重極型質量分析計等を用いた(U-Th)/He年代測定法の実用化		ジルコンより閉鎖温度の低いアパタイトの単粒子の(U-Th)/He年代測定法を実用化するとともに，年代の評価で重要となるα放出補正法を最適化する。	
	3. 希ガス質量分析計等を用いたK-Ar年代測定法の実用化		純水及び重液を用いた高精度の遠心分離により自生雲母粘土鉱物を0.1 μm以下のサイズまで純化する手法を確立するとともに，感度法によるK-Ar年代測定法を適用する。	
	4. 高分解能のテフラ同定手法の開発		火山ガラスが変質，風化・消失したテフラを同定する技術として，残存鉱物である石英や斜長石中に含まれるメルトインクルージョンの化学組成によってテフラを同定する手法を開発する。	

※なお，詳細な内容については，梅田ほか(2010)＜「地質環境の長期安定性に関する研究」基本計画－第 2 期中期計画（平成 22 年度～平成 26 年度），JAEA-Review 2010-030，48p.＞を参照されたい。

今後の研究計画

地質環境の長期安定性に関する研究

平成22年10月19日

東濃地科学研究ユニット
自然事象研究グループ
梅田　浩司

わが国における地層処分における安全確保の考え方

考慮すべきわが国の地質環境の特徴：環太平洋変動帯に位置　噴火・地震など地殻変動が活発

影響の可能性

- ・生活環境との離間距離の短縮（接近シナリオ）
- ・自然現象による地下水の変化（地下水シナリオ）

対　策

・地層処分システムの構築

地層処分システムの性能が著しく損なわれないよう長期にわたって安定な地質環境を選定（サイト選定）

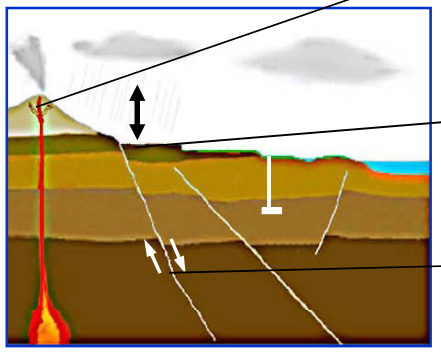
想定される天然現象の変動を見込んで処分施設を適切に設計・施工（工学的対策）

地層処分システムが備えるべき性能を確保

安全性の確認

構築された地層処分システムの安全性を評価（安全評価）

地層処分において考慮すべき自然現象



【火山・地熱活動】
・マグマの貫入・噴出による廃棄体の破壊
・地温上昇・熱水対流の発生，熱水・火山ガスの混入による地下水の水質変化 等

【隆起・侵食／気候・海水準変動】
・処分施設および廃棄体の地表への接近
・地下水の流動特性や水質の変化による放射性物質の移行 等

【地震・断層】
・岩盤の破断・破砕による処分施設および廃棄体の破損
・岩盤の破断・破砕による地下水移行経路の形成，岩盤歪に起因する地下水圧の変化 等

（原子力委員会バックエンド対策専門部会，1997）

研究開発の目標と反映先

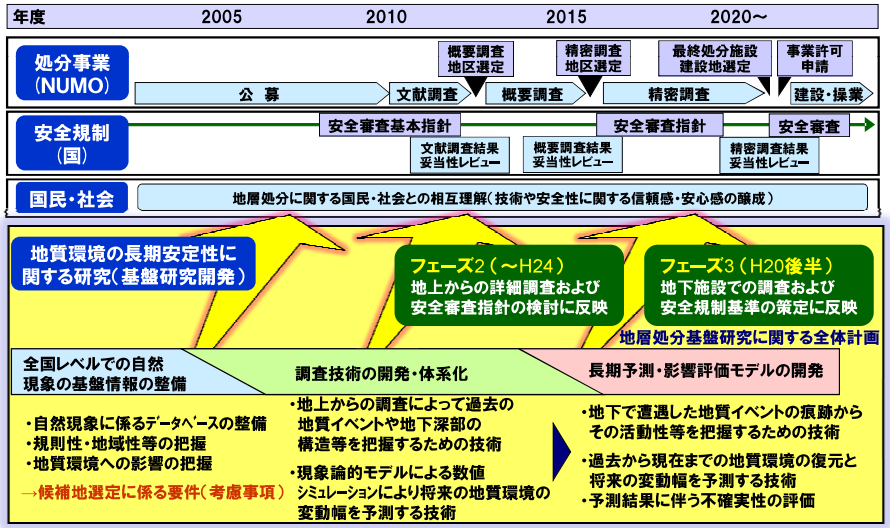
①調査技術の開発・体系化
過去の自然現象の記録や現在の状況を調査するための体系的な技術の整備
＝＞ サイトの選定や安全性の検討に必要となるデータの取得

② 長期予測・影響評価モデルの開発
将来の自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価するための手法の整備
＝＞変動シナリオに基づく安全評価に必要な技術

③ 年代測定技術の開発
最先端の機器分析装置を用いた放射年代測定技術を含めた編年技術の高度化
＝＞ ①，②の信頼性の向上するための技術基盤
（データの品質・解釈等の妥当性を評価するための技術的能力の蓄積）

JAEA 5

第2期中期計画における研究開発の方向性



JAEA 6

第2期中期計画（H22～26）の研究課題

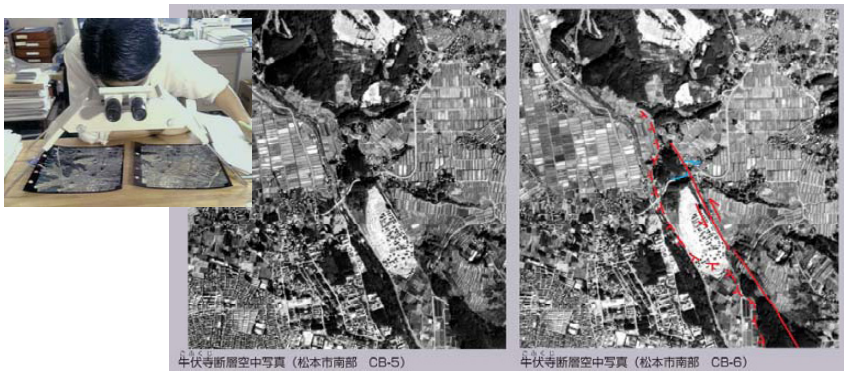
①調査技術の開発・体系化
- 変動地形が明瞭でない活断層等に係る調査技術
- 断層の発達段階の評価に係る調査技術
- 地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術
- 地殻内の震源断層等に係る調査技術
- 内陸部の隆起・侵食速度の算出に係る調査技術

② 長期予測・影響評価モデルの開発
- 地形変化シミュレーション技術の高度化
- 地質断層の再活動等に係るシミュレーション技術
- 地殻変動に伴う熱水活動の形成に係るモデルの開発
- 超長期における予測・評価手法に関する検討
- 古水理地質学的アプローチによる地質環境の変化の予測・評価手法の開発

③ 年代測定技術の開発
- 加速器質量分析計を用いた^{10}Be年代測定法の実用化
- 四重極型質量分析計等を用いた（U-Th）/He年代測定法の実用化
- 希ガス質量分析計等を用いたK-Ar年代測定法の実用化
- 高分解能のテフラ同定手法の開発

JAEA 7

変動地形が明瞭でない活断層等に係る調査技術



（右写真参照）写真の赤線の位置が活断層で，ケバをつけた側が落下側を示す。
矢印は断層がずれた方向，青線は断層によって横にずれた河川を示す。

空中写真判読により，活断層等の存在を判断する手掛かりとなる変動地形（地殻の変動に起因する特徴的な地形のこと。地形の切断・屈曲，撓曲，傾動・逆傾斜等）やリニアメント等の地形を抽出する。

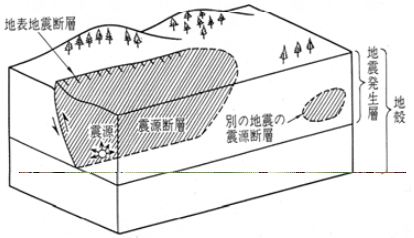
JAEA 8

変動地形が明瞭でない活断層等に係る調査技術

① 伏在断層
最近1万年に形成された沖積層等，新しい地層に厚く覆われた断層のため，変動地形が地表に現れない断層。

② 低活動性の断層
活動性が低い（再来間隔が長い）ため，侵食等によって明瞭な変動地形の特徴を有さない断層。

③ 未成熟な断層
震源断層が地表にまで成長していない未成熟な断層。

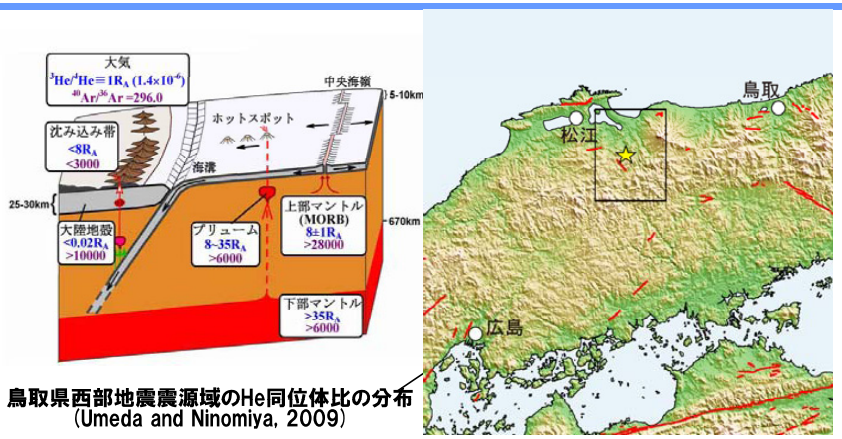


地表まで達していない震源断層
（未知の活断層）

必要性・目標
- 低活動性の断層や未成熟な断層等は，変動地形学的なアプローチを適用することが困難。そのため，これらの活断層（主に結晶質岩）を識別するための地上からの調査技術を提示。

JAEA 9

変動地形が明瞭でない活断層等に係る調査技術



鳥取県西部地震震源域のHe同位体比の分布
(Umeda and Ninomiya, 2009)

- 2000年鳥取県西部地震の震源域で採取した地下水中の溶存ガスのヘリウム同位体比は著しく高い値を示す(震源断層がマントルヘリウムの通路？)。
  - ➢ 変動地形が明瞭でない活断層の地球化学的な調査技術として有効性を示唆。

JAEA 10

第2期中期計画(H22～26)の研究課題

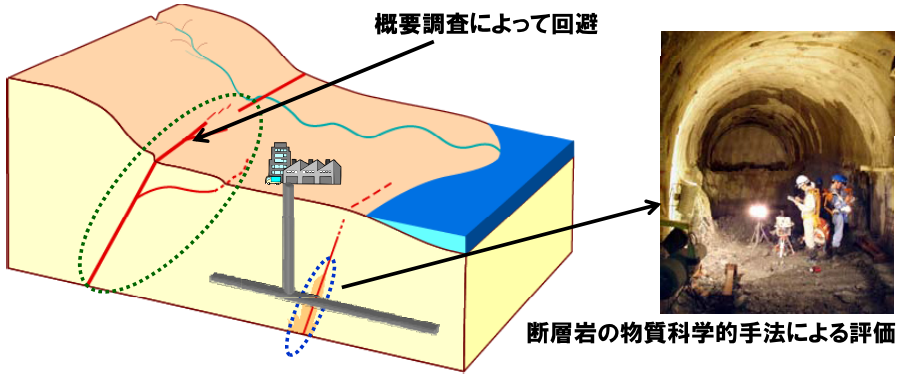
①調査技術の開発・体系化
- 変動地形が明瞭でない活断層等に係る調査技術
- 断層の発達段階の評価に係る調査技術
- 地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術
- 地殻内の震源断層等に係る調査技術
- 内陸部の隆起・侵食速度の算出に係る調査技術

② 長期予測・影響評価モデルの開発
- 地形変化シミュレーション技術の高度化
- 地質断層の再活動等に係るシミュレーション技術
- 地殻変動に伴う熱水活動の形成に係るモデルの開発
- 超長期における予測・評価手法に関する検討
- 古水理地質学的アプローチによる地質環境の変化の予測・評価手法の開発

③ 年代測定技術の開発
- 加速器質量分析計を用いた^{10}Be年代測定法の実用化
- 四重極型質量分析計等を用いた(U-Th)/He年代測定法の実用化
- 希ガス質量分析計等を用いたK-Ar年代測定法の実用化
- 高分解能のテフラ同定手法の開発

JAEA 11

地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術

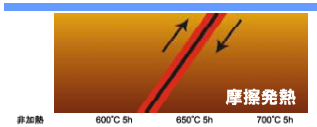


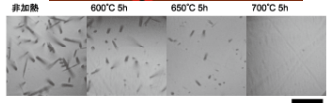
断層岩の物質科学的手法による評価

必要性・目標
- ボーリングや坑道等の地下で遭遇した断層は，上載地層法を適用することは困難。そのため，断層充填鉱物等の放射年代測定によって断層の活動性(非活動性)に制約を与える調査技術を提示。

JAEA 12

地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術

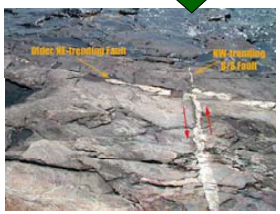




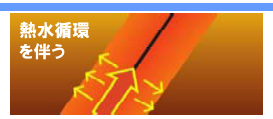
ｼﾞﾙｺﾝのﾌｨｯｼｮﾝﾄﾗｯｸの熱ｱﾆｰﾘﾝｸﾞ
㈱京都ﾌｨｯｼｮﾝﾄﾗｯｸのHPから引用

ｼﾞﾙｺﾝ，ｱﾊﾟﾀｲﾄ等の閉鎖温度が低い鉱物を利用して摩擦発熱が生じた時期をFT法，(U-Th)/He法等で推定

炭酸塩鉱物脈(方解石)のU-Th年代，(U-Th)/He年代と断層の切断関係から断層の活動性を推定



断層を充填している炭酸塩鉱物脈



原岩由来粘土鉱物　自生粘土鉱物

熱水活動によって生じた自生雲母粘土鉱物の生成年代をK-Ar法によって推定→原岩由来雲母粘土鉱物との分離が重要

- 断層運動によって生じた摩擦熱・熱水活動の生じた時期を特定する技術のほか，炭酸塩鉱物脈の年代値と断層の切断関係から断層の活動性を評価する技術を目指す。

JAEA 13

第2期中期計画(H22～26)の研究課題

①調査技術の開発・体系化
- 変動地形が明瞭でない活断層等に係る調査技術
- 断層の発達段階の評価に係る調査技術
- 地下で遭遇した断層の活動性に係る調査技術
- 地殻内の震源断層等に係る調査技術
- 内陸部の隆起・侵食速度の算出に係る調査技術

② 長期予測・影響評価モデルの開発
- 地形変化シミュレーション技術の高度化
- 地質断層の再活動等に係るシミュレーション技術
- 地殻変動に伴う熱水活動の形成に係るモデルの開発
- 超長期における予測・評価手法に関する検討
- 古水理地質学的アプローチによる地質環境の変化の予測・評価手法の開発

③ 年代測定技術の開発
- 加速器質量分析計を用いた^{10}Be年代測定法の実用化
- 四重極型質量分析計等を用いた(U-Th)/He年代測定法の実用化
- 希ガス質量分析計等を用いたK-Ar年代測定法の実用化
- 高分解能のテフラ同定手法の開発

JAEA 14

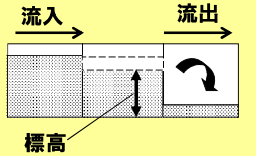
古水理地質学的アプローチによる地質環境の変化の予測・評価手法の開発

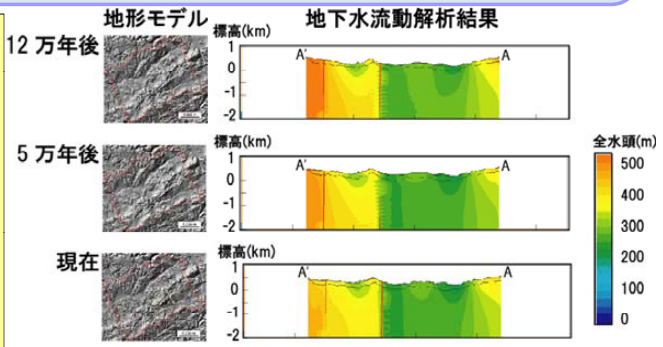
必要性・目標
- 隆起・侵食作用に伴う地形の変化は，長期的には地下水の流動や水質等の地質環境に変化を及ぼすことが想定。変動シナリオに基づく安全評価に資するため将来の地質環境の変動幅を(オーダで)予測するための評価手法を提示。

$\partial u / \partial t = k\ (\partial^2 u / \partial x^2)$

<時間 t の位置 x の高度を u>

- 地形勾配に応じた拡散現象によるフラックスを計算。
- k(従順化係数)は対象地域の地質，気候条件等に依存。





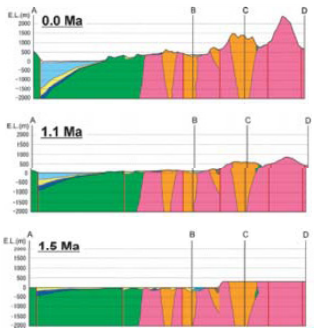
12万年後までの地形の起伏と地下水流動(Saegusa et al., 2009)

JAEA 15

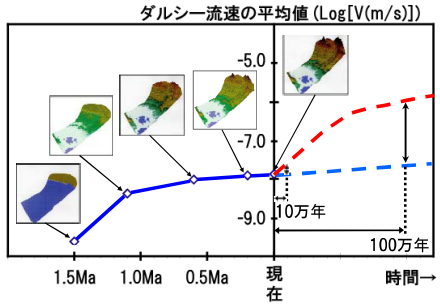
古水理地質学的アプローチによる地質環境の変化の予測・評価手法の開発

より長期の地質環境の変動幅を予測するためには・・・・

より古い時代まで遡って地質環境を復元し，その傾向を外挿する(古水理地質学的アプローチ)



過去150万年間の地形・地質の復元
(伊勢湾～木曽山地までの領域)

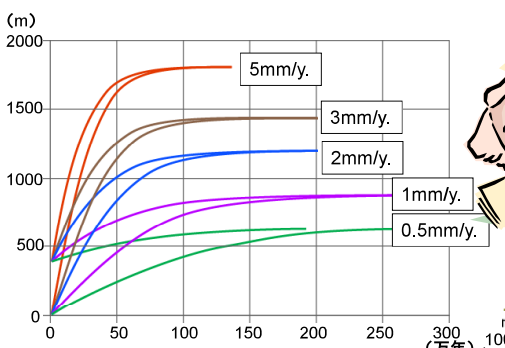


1.5Ma以降のダルシー流速の平均値(深度毎)とその傾向に基づく将来の変動幅の推定の例

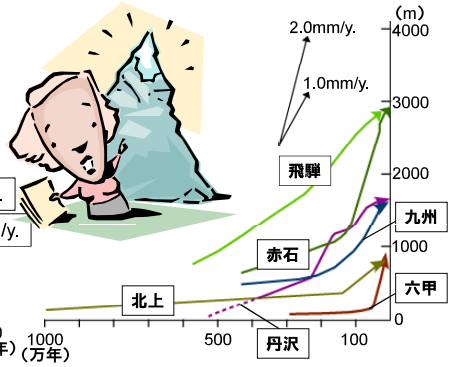
- 東濃地域を事例として1.5，1.0，0.5Maおよび現在の地下水流動解析を実施。
  - 過去数百万年までの地下水流動の変化の傾向を外挿し，将来の変動幅を例示。
  - 現在の場は過去数十万年の傾向と整合的，長期の外挿に伴う不確実さは増大。

JAEA 16

古水理地質学的アプローチによる地質環境の変化の予測・評価手法の開発



標高0m，400mから等速隆起した場合の平均高度の経時変化



代表的な山地の成長曲線

- 六甲山地や屋久島等は最近数十万年に隆起を開始した山地であり，動的平衡に達していないことから，今後も山地が成長すると考えられる。
  - 長期的な地質環境の変化を検討する際には，テクトニクスの転換期を考慮することが重要

ポスターセッション－個別研究の成果－

① 調査技術の開発・体系化

※ 内陸部の隆起量の算定手法

※ 地球化学的手法による断層活動の調査技術

（安江健一）

（黒澤英樹）

② 長期予測・影響評価モデルの開発

※ 地形変化のシミュレーション技術

※ 熱水活動の影響に係る評価技術

（谷川晋一）

（浅森浩一）

③ 年代測定技術の開発

※ 感度法によるK-Ar年代測定技術

（山崎誠子）

5. ポスターセッション発表資料

(1)地質環境の長期安定性に関する研究

① 調査技術の開発・体系化
② 長期予測・影響評価モデルの開発
③ 年代測定技術の開発

(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
② 地下水流動に関する調査研究
③ 地下水の地球化学に関する調査研究
④ 岩盤力学に関する調査研究
⑤ 第 3 段階の調査研究計画
⑥ 瑞浪超深地層研究所における工学技術に関する研究
⑦ 瑞浪超深地層研究所の建設状況

(3)共同研究等

① 産業技術総合研究所との共同研究 －地球化学環境変動要因としての地下微生物の影響評価手法の技術開発と高度化－
② 京都大学との共同研究 －地質構造発達プロセスに基づく地質モデリング技術の開発－
③ 地下水中のコロイド試料採取・分析手法の確立

(4)瑞浪超深地層研究所を利用した研究

① 断層近傍における能動的揚水実験によって生じた歪変化

This is a blank page.