

「第2次取りまとめ」に示された 地質環境の長期安定性と地質環境特性 に関する見解についての検討

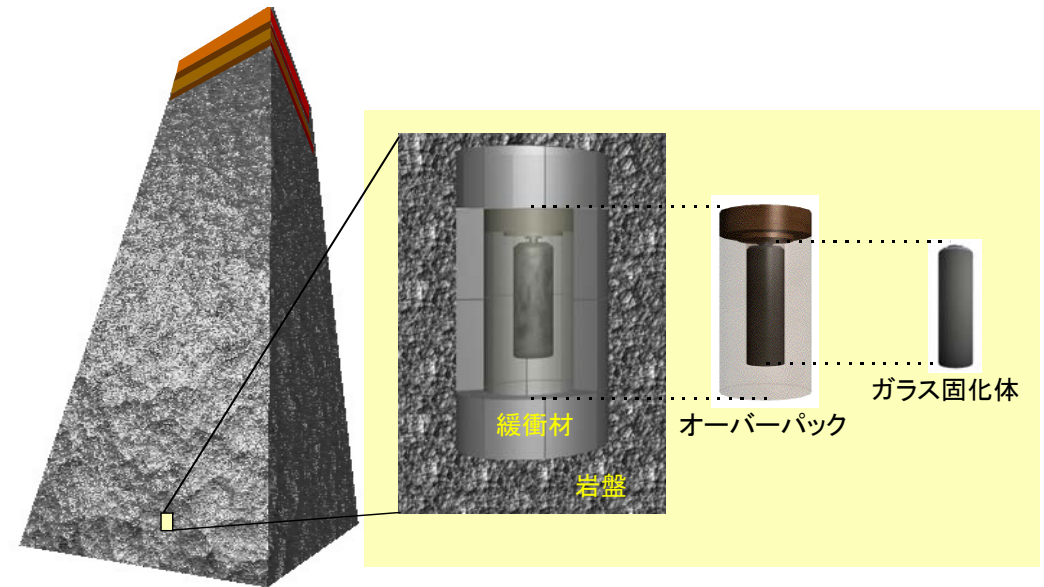
2013年10月
原子力発電環境整備機構

1. 地層処分概念と地層処分システム
2. 地下深部の地質環境に対する考え方
3. 地質環境の現象や特性に関する第2次とりまとめの見解と本検討の位置づけ
4. 地質環境の長期安定性に関する見解に対する検討
5. 地質環境特性に関する見解に対する検討
6. 次回会合以降の説明方針

1. 地層処分概念と地層処分システム

■ 地層処分概念と地層処分システム

- 地層処分は、地質環境が本来有する隔離機能にいくつかの工学的対策を組み合わせ、それらの複合および相乗作用によって放射性廃棄物の隔離機能を高めようとする考え方(多重バリアの概念)に基づいている(第2次取りまとめ*, 総論レポート, 2.1.1)。* 以下,「第2次取りまとめ」を省略する。
- 具体的には、廃棄物を内蔵するガラス固化体を鋼製のオーバーパックに収納し、それを粘土系材料である緩衝材で取り囲んで(これらを人工バリアという)、地下深部の地質環境(岩盤)内に設置する(右図)



地層処分システム(分冊3, 図1-1)

■ 地層処分の観点からの地下深部の地質環境に対する考え方

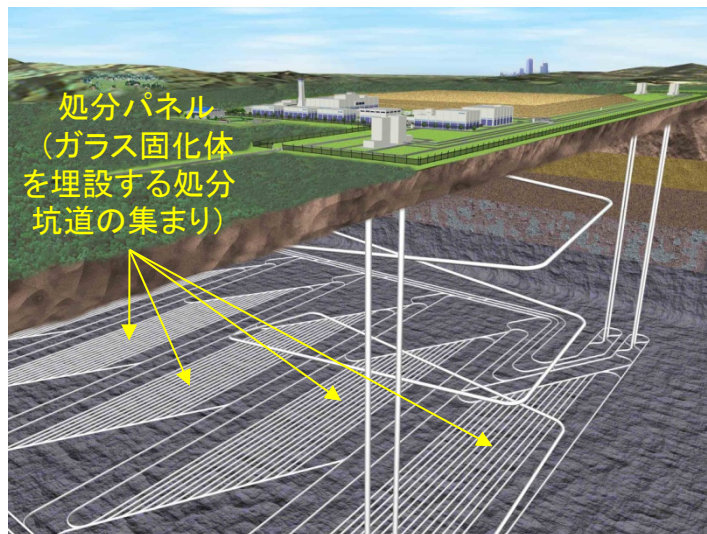
- 期待される役割
- ニアフィールドの重要性
- 擾乱を与える可能性のある現象による影響の回避の考え方
- 考慮する時間の長さとは不確実性の考慮

1. 地層処分概念と地層処分システム
2. 地下深部の地質環境に対する考え方
 - (1) 地下深部の地質環境に期待される役割
 - (2) ニアフィールド(人工バリアと近傍岩盤)の重要性
 - (3) 擾乱を与える可能性のある現象による影響の回避の考え方
 - (4) 考慮する時間の長さと不確実性の考慮
3. 地質環境の現象や特性に関する第2次とりまとめの見解と本検討の位置づけ
4. 地質環境の長期安定性に関する見解に対する検討
5. 地質環境特性に関する見解に対する検討
6. 次回会合以降の説明方針

2. (1) 地下深部の地質環境に期待される役割

- ① **物理的隔離**: 廃棄物を物理的に隔離し, 生物圏から長期にわたって十分な距離を維持する。
- ② **人工バリア設置環境**: 人工バリアが十分な性能を発揮するために, 周辺の地下水や岩盤の性質が人工バリアの品質維持にとって好ましく, それが長期にわたって安定である環境を提供する。
- ③ **天然バリア**: 放射性元素の溶解度を低く抑えるとともに, 緩慢な地下水の動き及び物質を収着するという岩石の特性により, 放射性核種の移行を遅延し, 移行の過程で核種を分散, 希釈する。地下深部の地質環境が本来的に備えた機能による。

(以上, 総論レポート, 3.1.1, 2.2.2より)



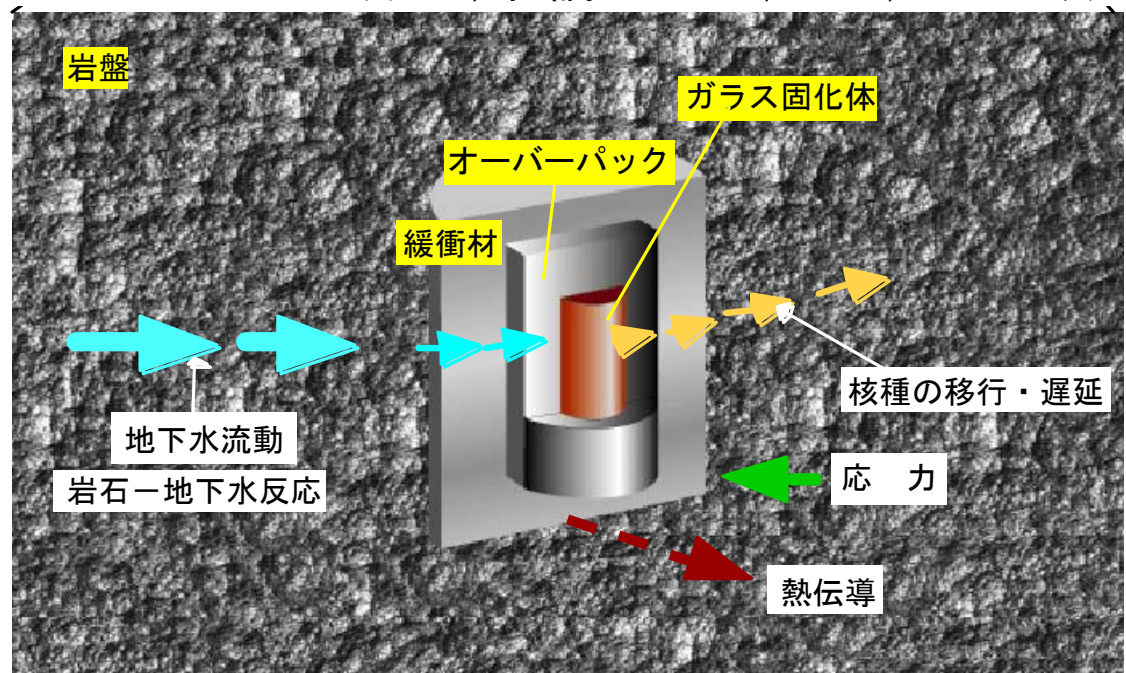
地層処分場の全体概念図

仕様例: 深度1000m,

大きさ(平面): 約3km × 約2km

いくつかに分けられた処分パネルに合計4万本のガラス固化体を埋設する。

(NUMO, 公募関係資料, 2002より)



人工バリアと周辺岩盤(総論レポート, 図3.1-1より)

左図の処分坑道下にガラス固化体を人工バリアとともに
1体ずつ離隔距離をとって埋設する

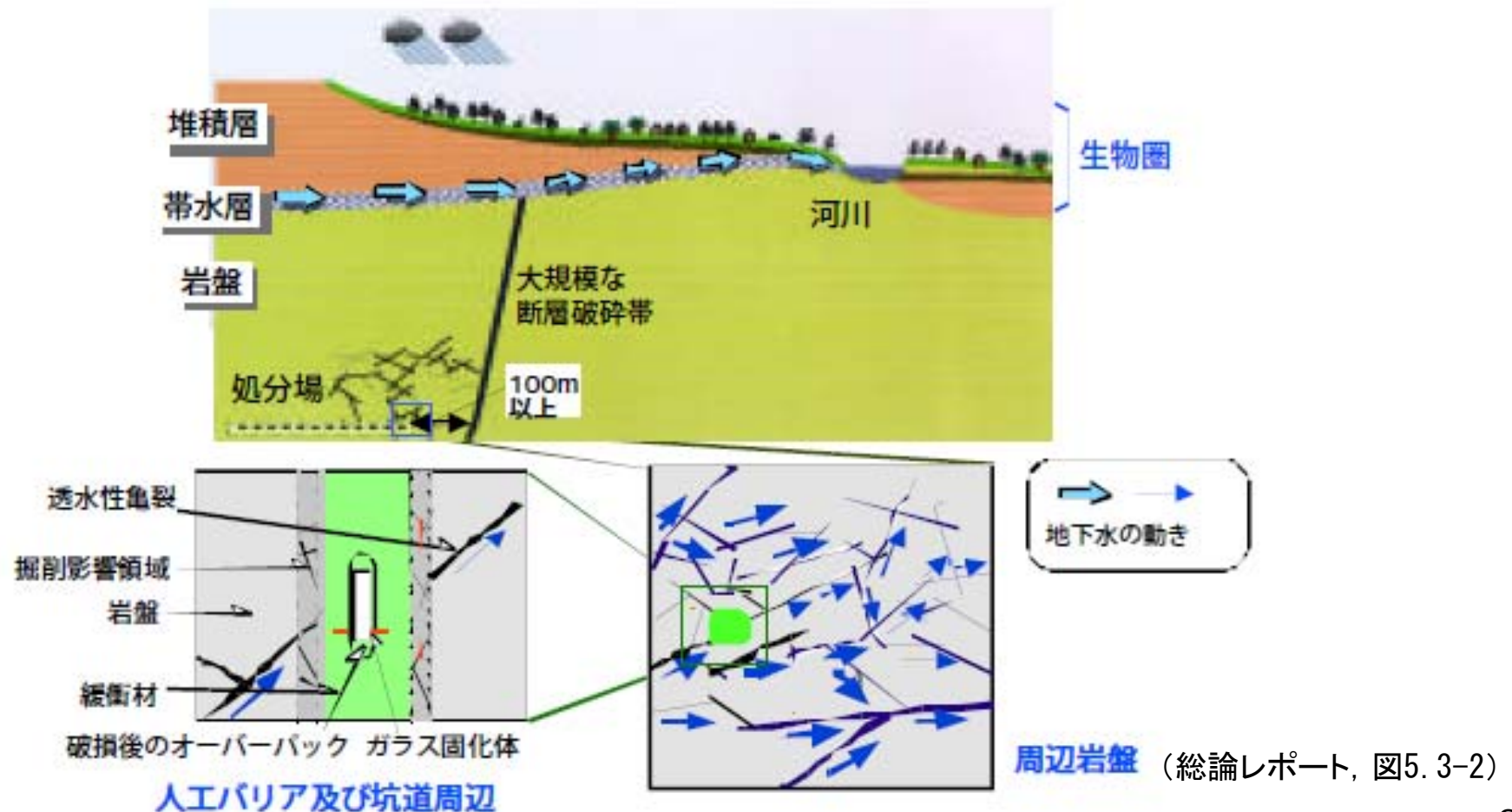


2. (1) 期待される役割のために望ましい地質環境特性の具体例

- 人工バリアの設置環境, 天然バリアとして期待される役割を果たすために, 地下深部は, 具体的には以下のような地質環境特性を備えていることが望ましい(総論レポート, 6.3.2)。
 - ① **地下水の流動特性**: 動水勾配や透水性が低く, 人工バリア中に浸透する地下水の量や速度が小さく, 処分場から人間環境へ向かう地下水の動きが小さいこと。
 - ② **地下水の地球化学特性**: 地下水のpHが強酸性や強アルカリ性でなく, かつ還元性で, オーバーパックの腐食や核種の溶解を抑制する条件であること。
 - ③ **岩盤の熱特性・力学特性**: 処分施設や人工バリアの設計および建設・施工性のために, 応力状態が均質に近く, 地温が低いこと。
 - ④ **岩盤中の物質移動特性**: マトリクス拡散の効果が大きく, 移行経路沿いに存在する鉱物の核種に対する吸着能力が高いこと。
- また, 第2次とりまとめでは, 以下のように, 地形, 地下水水質, 岩種を合理的に組み合わせる幅広い地質環境を設定した評価を行っている(総論レポート, 5.3.1)。
 - **地形**(動水勾配に関連する): 山地, 丘陵, 平野(台地, 低地)
 - **地下水水質**: 降水起源(陸水系), 海水起源(陸水系, 海水系)
 - **岩種**(熱・力学・物質移動特性に関係)
 - 結晶質岩: 酸性岩, 塩基性岩,
 - 堆積岩: 先新第三紀砂質岩, 先新第三紀泥質岩・凝灰質岩,
 - 新第三紀砂質岩, 新第三紀泥質岩・凝灰質岩

2. (2)ニアフィールド(人工バリアと近傍岩盤)の重要性

- 広域にわたる地質環境条件を把握しようとする際の不確実性を考慮して、人工バリアと近傍の比較的狭い領域の岩盤からなるニアフィールドの挙動に力点をおいて、安全性を示す方法(ニアフィールドアプローチ)をとっている(総論レポート, 5.3.2)。
- 安全性の検討にあたっては、処分場下流100mの岩盤とそれに繋がる大規模な断層破碎帯を設定して核種移行解析(1次元モデル)を行っている(下図)。



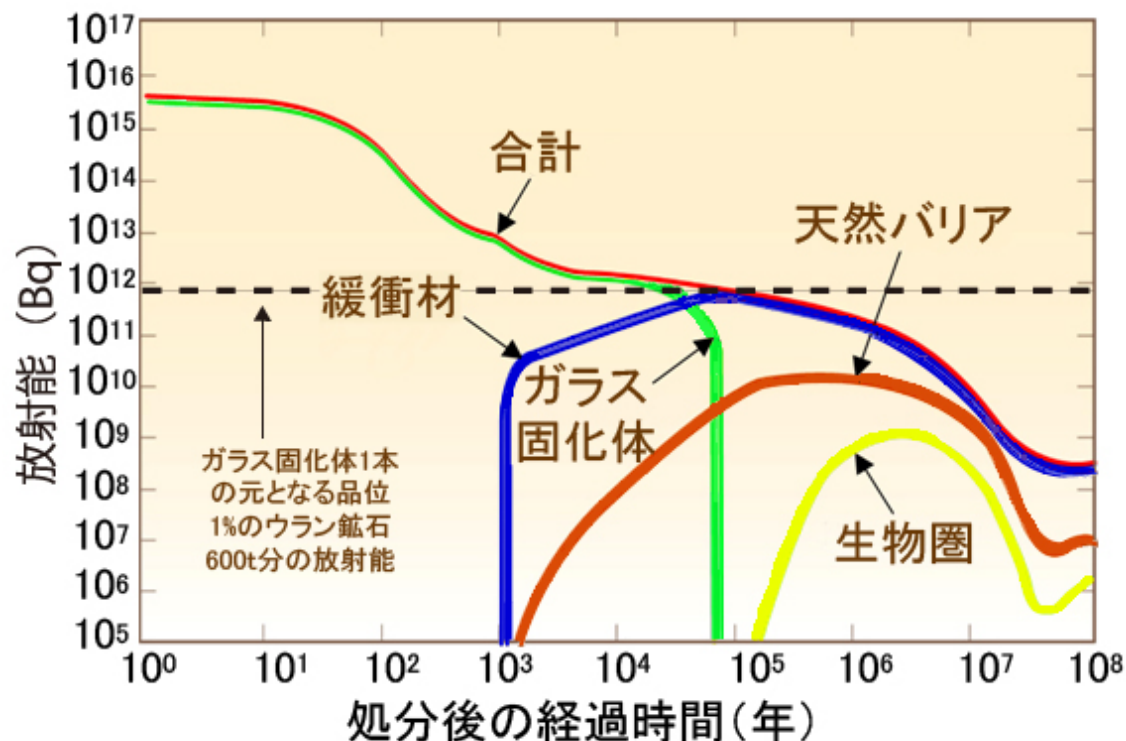
2. (2)ニアフィールドの重要性：長期にわたる核種の保持

- 放射性核種が地下水を介して生物圏に運ばれることを想定した場合でも、地下深部の地質環境が期待される役割を果たしていれば、大半の放射性核種は長期にわたってニアフィールドに保持される。前頁のモデルを用いた解析結果を下図に示す。
- 海外のウラン鉱床だけでなく、日本の東濃ウラン鉱床でも、1千万年前に形成されて以来、断層活動や隆起・侵食、気候・海水準変動などを被ってきたにもかかわらず、ウランやトリウムなどが地質環境中に現在まで保存されてきている(総論レポート, 3.4)。

システムの各要素に存在する放射能の経時変化

(前頁のモデルを用いた核種移行解析結果より。ガラス固化体1本あたり。)

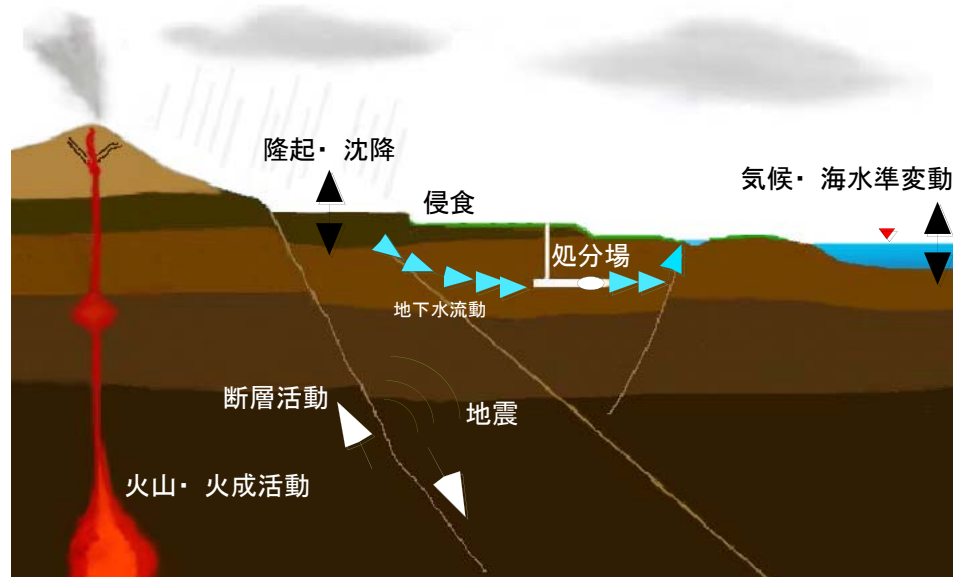
(Development of Repository Concepts for Volunteer Siting Environment, NUMO-TR-04-03, 2004 Fig.2-4に加筆)



- 放射性核種は放射性崩壊により減衰。
- 保守的に、処分の1000年後にオーバーパックの閉じ込め機能が消失し、地下水がガラス固化体に接触し始めると設定している。
- 保守的に、ガラス固化体は7万年ですべて地下水へ溶出すると仮定している。
- 地下水への溶出が進み、緩衝材へ移行し、その一部は緩衝材から岩盤を経て最終的に地表の生物圏に到達する。
- 放射能は初期はすべてガラス固化体内(図中のガラス固化体の緑線が合計の赤線と重なる)に、次いでほとんどが緩衝材内(図中の緩衝材の青線が合計の赤線とほぼ重なる)にとどまって減衰する。
- 残りもほとんどが天然バリア内で減衰する。
- 生物圏まで到達する放射能は最大でも、その時点の合計の100分の1以下であり、処分直後の合計の百万分の1以下である。

2. (3) 擾乱を与える可能性のある現象による影響の回避の考え方

- ニアフィールドを中心とした地下深部の地質環境に期待する役割(物理的隔離, 人工バリア設置環境, 天然バリア)に擾乱を与える現象として地震・断層活動, 火山・火成活動などが考えられるが, 以下のように対処することとしている(総論レポート, 3.2.7).
 - **火山活動**や**断層活動**のように偏在性が強い現象や局所的な現象については, 科学的な根拠に基づき, 将来にわたって活動が起こりそうな場所を特定する。個々の地域については, 現地での詳細な調査によって得られる情報に基づき, 人工バリア設置環境などに及ぼすと想定される影響の程度や範囲を把握し, そこから十分に離すか, あるいは, それを考慮して処分施設や人工バリアを設計する。
 - **隆起・沈降・侵食**および**気候・海水準変動**については, 将来における変動の速度や幅を推定し, 一部の変動の著しい地域を避けたうえで, 個々の地域において想定される変動の規模を考慮して 処分施設や人工バリアを設計するなどの対応を取る。



(総論レポート, 図3.1-1より)



2. (4) 考慮する時間の長さとは不確実性の考慮

- 地層処分という概念あるいは発想は、地下深部の地質環境が、地表に比べてはるかに安定であり、本来的に物質を長期にわたって隔離・保存する能力が高いことにその根拠を置いている。地下の岩盤は、化学的に安定な岩石で構成されており、天然現象などの外的要因によって応力状態や熱的な環境が大きく変わらない限り、恒常的に存続し得るものと言える(分冊1, 3.1.3)。
- 地層処分では十万年以上の超長期にわたる期間の安全性を考慮する(2. (2)の図参照)。このような遠い将来を考慮して、擾乱を与える可能性のある現象の影響を回避することを考える場合、必然的に不確実性が存在する。
- 地層処分では、これらについて唯一の正確な予測は必要ではなく、むしろ、潜在的な将来の変化の範囲を理解し、これらが容認できないリスクを与えないことを保証すること、将来起こり得る挙動の範囲についての評価を、適切な社会的決定を行う上で十分な信頼性をもって実現することが重要(*)

* National Research Council(2001): Disposition of High-Level Waste and Spent Nuclear Fuel: The Continuing Societal and Technical Challenges,
Committee on Disposition of High-Level Radioactive Waste Through Geological Isolation, Board on Radioactive Waste Management, Division on Earth and Life Studies, NATIONAL ACADEMY PRESS, Washington, D.C (2001)



2. (4) 不確実性の考慮：擾乱に起因する影響の想定

- 超長期の不確実性を考慮して、第2次取りまとめでは擾乱の影響を以下のように検討している。
- 物理的隔離機能が確保された場合（総論レポート，付録B，5.6.3）：

地下水を介するため，生物圏への移行は遅延され，その間に減衰する。また，処分場領域が直接擾乱を受けない場合には，その影響が小さい（ニアフィールドの重要性）。

 - **断層活動**（新規断層発生）に起因して想定される影響
新規に断層が処分場近傍または処分場領域で発生し，断層が地下水流れおよび核種移行の卓越経路となること，またそれによる断層を通じた酸化性地下水の侵入および人工バリア機能の喪失など。
 - **火山活動**に起因して想定される影響
新規にマグマの貫入が処分場近傍で発生することによる，地下水流動と地下水の地球化学特性の変化，人工バリア機能の喪失など
 - **隆起・侵食等**に起因し想定される影響
隆起・侵食による地下水流動と地下水水質の変化や，気候・海水準変動による地下水流動と地下水水質の周期的変化
- 物理的隔離機能が喪失する場合（総論レポート，付録B）：

地下水を介さず生物圏へ直接影響を与えることになるが，その影響は，天然に存在する放射性核種の含有量などと比較し，同程度であることが示されている。

 - **火山活動**に起因して想定される影響
マグマが処分場を直撃し，人工バリアに保持されている放射性核種が生物圏に放出される。
 - **隆起・侵食**に起因して想定される影響
隆起・侵食により処分場を含む岩盤が地表に到達し，さらに処分場を含む岩盤が侵食されて，放射性核種が生物圏に放出される。

3. 地質環境の特性や現象に関する第2次とりまとめの見解と本検討の位置づけ

- 地層処分システムの長期安全性の確保の観点から考慮すべき、下記の地質環境特性の①～④、地質環境特性の長期安定性の①～④について、第2次とりまとめでは、それぞれに関する見解をとりまとめている。これらの見解が、前述の地下深部の地質環境に対する考え方の基盤となっている。
 - 地質環境特性
 - ①地下水の流動特性, ②地下水の地球化学特性, ③岩盤の熱特性・力学特性, ④岩盤中の物質移動特性
 - 地質環境の長期安定性に関する現象
 - ①地震・断層活動, ②火山・火成活動, ③隆起・沈降・侵食, ④気候・海水準変動

■ (本検討の位置づけ)

本検討では、このような考慮すべき特性や現象のそれぞれに関する第2次とりまとめの見解に焦点をあて、これらの見解に対して、第2次とりまとめ以降の様々な公開文献情報を収集・整理し、見解や今後のサイト調査などへ反映すべき情報がないか、という網羅的な整理・検討の取り組みを実施した。

■ (検討の方法)

- ① 第2次とりまとめに示された見解の整理
- ② 見解に関連する公開文献情報の収集・整理
- ③ 見解やサイト調査などへの反映すべき情報についての検討

- 第2次とりまとめの記載順に従い、4. 地質環境の長期安定性(参考資料2の第3章), 5. 地質環境特性(参考資料2の第4章) の順で説明する。

参考：考慮する特性と現象：余裕深度処分及び諸外国との比較の例（１）

- 考慮する地質環境特性と地質環境の長期安定性に関する現象について、わが国の余裕深度処分と諸外国の地層処分と比較した例を示す。参照した文献を次頁に示す。地質環境の長期安定性に関する現象のうち、地震・断層活動及び隆起・沈降・侵食は、テクトニクスに起因するものの他に、氷河に起因するものも記載している。
- 余裕深度処分は第2次取りまとめと同様である。
- 第2次取りまとめを諸外国と比較すると、地質環境特性は同様であるが、長期安定性に関する事象については、国ごとに異なる。第2次取りまとめの主たる考慮対象ではないものとして、米国における不飽和帯の地質環境特性、北欧やスイスでの氷河による現象が挙げられる。

○：対象 △：対象(限定的)*1 －：対象外	想定する岩盤*2	地質環境特性				地質環境の長期安定性に関する現象			
		地下水 流動	地下水 地球化学	岩盤熱・ 力学	岩盤物 質移動	地震・断層 活動	火山・火 成活動	隆起・沈 降・侵食	気候・海水 準変動
第2次取りまとめ	結晶質岩・堆積岩	○	○	○	○	○	○	○	○
余裕深度処分		○	○	○	○	○	○	○	○
米国	凝灰岩（ユッカマウンテン）	○	○	○	○	○	○	△	△
英国	高強度岩，低強度堆積岩，蒸発岩	○	○	○	○	○	－	△	○
カナダ	結晶質岩 （カナダ楕状地仮想サイト）	○	○	○	○	○	○	－	△
スウェーデン	結晶質岩（フォルスマルク）	○	○	○	○	○	－	○	○
フィンランド	結晶質岩（オルキオト）	○	○	○	○	○	－	○	○
フランス	堆積岩（ビュール）・花崗岩	○	○	○	○	○	△	○	△
ベルギー	堆積岩（ブームクレイ）	○	○	○	○	○	－	－	○
ドイツ	岩塩（ゴアレーベン）	○	○	○	○	○	－	－	○
スイス	堆積岩（オパリナスクレイ）	○	○	○	○	○	○	○	○

*1：法規制の要求事項（サイト選定基準・除外基準，安全評価における考慮すべき事象など）となっているものを優先的に○としたうえで，実施主体の技術報告（研究レポートや許可申請図書）等で考慮しているものについても○とした。

△は，限定的に扱っているもの，または，当該現象の検討は行ったが得られた特定サイトの情報から結果的に考慮しなかったものなど。

*2：括弧内はサイト名又は地層名。括弧書きが無い場合は，それらを特定していない。

参考：考慮する特性と現象：余裕深度処分及び諸外国との比較の例（２）

出典資料等

【余裕深度処分】

- 1) 原子力安全委員会, 余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方, 平成22年

【米国】

- 1) NRC(2009), 10 CFR Part 63 - DISPOSAL OF HIGHLEVEL RADIOACTIVE WASTES IN A GEOLOGIC REPOSITORY AT YUCCA MOUNTAIN, NEVADA (§ 63.342より)
- 2) DOE(2009), Yucca Mountain Repository License Application Safety Analysis Report, DOE/RW-0573,Rev.1 (2.1, 2.2節より読み取り)

【英国】

- 1) EA et al.(2009), Geological Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes, Guidance on Requirements for Authorization(7.3より読み取り)
- 2) Defra(2008),Managing Radioactive Waste Safely. A Framework for Implementing Geological Disposal “A White Paper by Defra, BERR and the devolved administrations for Wales and Northern Ireland”(付録Bより読み取り)
- 3) NDA/RWMD (2010), Geological Disposal - Generic Post-closure Safety Assessment, NDA/RWMD/030(3.～5.より読み取り)

【カナダ】

- 1) CNS(2006), Regulatory Guide G-320 “Assessing the Long Term Safety of Radioactive Waste Management”
- 2) F.Garisto, P.Gierszewski, K.Wei(2004): Third Case Study - Features, Events and Processes, Report No: 06819-REP-01200-10125-R00(第3章より読み取り)

【スウェーデン】

- 1) SSM(2008), SSMFS 2008:37 “Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall”
- 2) SKB (2011, 2012): Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark - Main report of the SR-Site project, TR-11-01, 第4章, 第6章より読み取り

【フィンランド】

- 1) STUK(2011), GUIDE YVL D.5 (Draft 3) “DISPOSAL OF NUCLEAR WASTE”
- 2) Posiva(2010), Interim Summary Report of the Safety Case 2009(第3章, 第4章より読み取り)

【フランス】

- 1) ASN(2008), Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde
- 2) Andra(2005): Dossier 2005 Argile - Synthesis - Evaluation of the feasibility of a geological repository in an argillaceous formation(3章より)
- 3) Andra(2005): Dossier 2005, Argile Tome, Safety evaluation of a geological repository, 第6章より読み取り, GRANITE Tome, Safety analysis of a geological repository, 第5章より読み取り

【ベルギー】

- 1) ONDRAF/NIRAS 2001年12月 Technical overview of the SAFIR 2 report (NIROND 2001-05), 第3章, 第4章より読み取り。

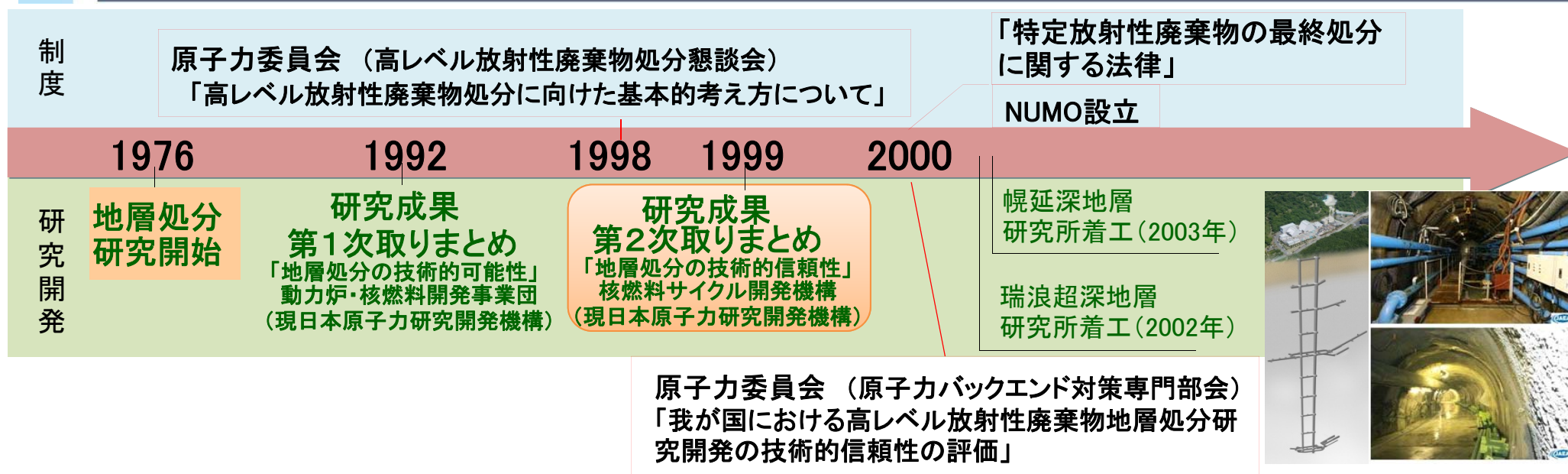
【ドイツ】

- 1) BMU(2010), Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle
- 2) Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH(2010), Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben Beschreibung des Arbeitsprogramms

【スイス】

- 1) BFE(2008), Sachplan geologische Tiefenlager Konzeptteil
- 2) Nagra(2008), "Technischer Bericht 08-03, "Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager, Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse"
- 3) Nagra(2002), Project Opalinus Clay Safety Report: Demonstration of disposal feasibility for spent fuel, vitrified high-level waste and long-lived intermediate-level waste, NTB 02-05

参考:これまでの研究開発の経緯



第1次とりまとめ
知見を全国的な視野でとらえて整理し、概括的に把握

- (地質環境の長期安定性) 精度の高い情報や知見の充実。地質環境への影響の検討。重大な影響が及ばない地域の十分な存在の見通しの確認
- (地質環境特性) 地下深部の地下水および岩盤に関する実測データや具体的知見の蓄積

第2次とりまとめ
• 地層処分にとって安定な地質環境の提示
• 地層処分にとって重要な地質環境の特性の提示

- サイト選定に資する地質環境の長期安定性にかかわる調査解析手法の体系化
- 地質環境調査技術の適用性確認

1. 地層処分概念と地層処分システム
2. 地下深部の地質環境に対する考え方
3. 地質環境の現象や特性に関する第2次とりまとめの見解と本検討の位置づけ
- 4. 地質環境の長期安定性に関する見解に対する検討**
 - (1) 公開文献情報の収集・整理
 - (2) 地震・断層活動
 - (3) 火山・火成活動
 - (4) 隆起・沈降・侵食
 - (5) 気候・海水準変動
5. 地質環境特性に関する見解に対する検討
6. 次回会合以降の説明方針



4. (1) 公開文献情報の収集・整理

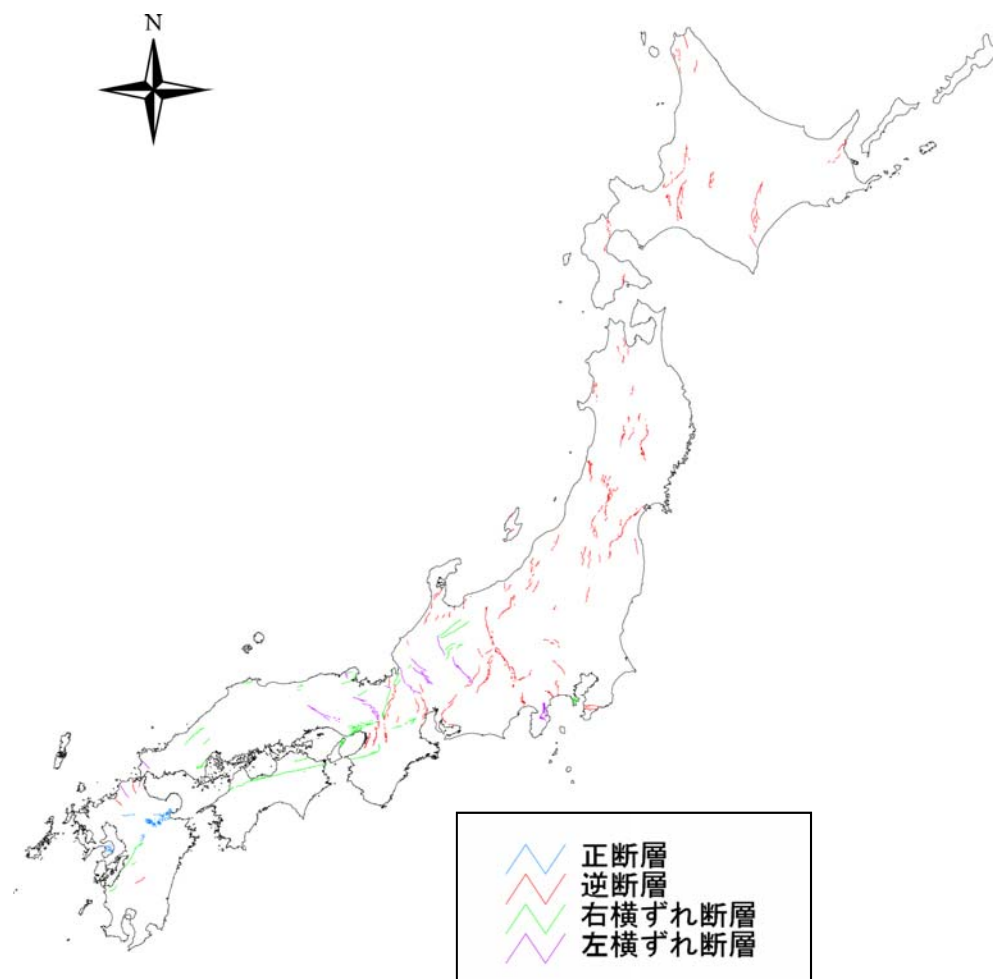
考慮すべき現象	見解が示されている項目
地震・断層活動	活動様式, 活断層分布, 断層活動の影響範囲, 地震による影響
火山・火成活動	過去の火山活動, 将来の火山活動, 熱・熱水の影響
隆起・沈降・侵食	隆起・沈降の特徴, 隆起・沈降の継続性および将来予測, 侵食の特徴および将来予測
気候・海水準変動	氷期・間氷期サイクル, 海水準変動および気候変動

- 地質環境の長期安定性については, 学術的に広く調査研究が実施されていることから, 地質学雑誌, 地学雑誌, 地震, 活断層研究, 第四紀研究, Journal of Geophysical Research, Earth Planets and Space, Tectonophysicsといった学術誌を中心に情報を収集した。
- 収集した文献数: 約320件

4. (2)地震・断層活動：第2次取りまとめの見解(その1)

(活動様式，活断層分布)

- ① 既存の活断層帯において，過去数十万年程度にわたり同様の活動様式で繰り返し生起(右図)。この間，地殻応力場はおおむね安定して持続。十万年程度の将来についても，現在の活動の場が継続。地域によって活動性や活動様式が異なる(分冊1，2.3.3)。
- ② 活断層が現存しない地域において，地質環境に重大な影響を与える断層が，将来新たに発生する可能性は小さい。規模の大きい活断層帯の延長にある主要な非活断層帯等は，注意が必要(分冊1，2.3.1)。
- ③ 伏在活断層の存在が考えられる地域や海域などについては，地下構造調査によって，活断層の有無や分布を確認する必要がある(分冊1，要約)。



活断層タイプ別分布図

(分冊1，図2.3-5)

(200万分の1活断層図編纂ワーキンググループ，1999)

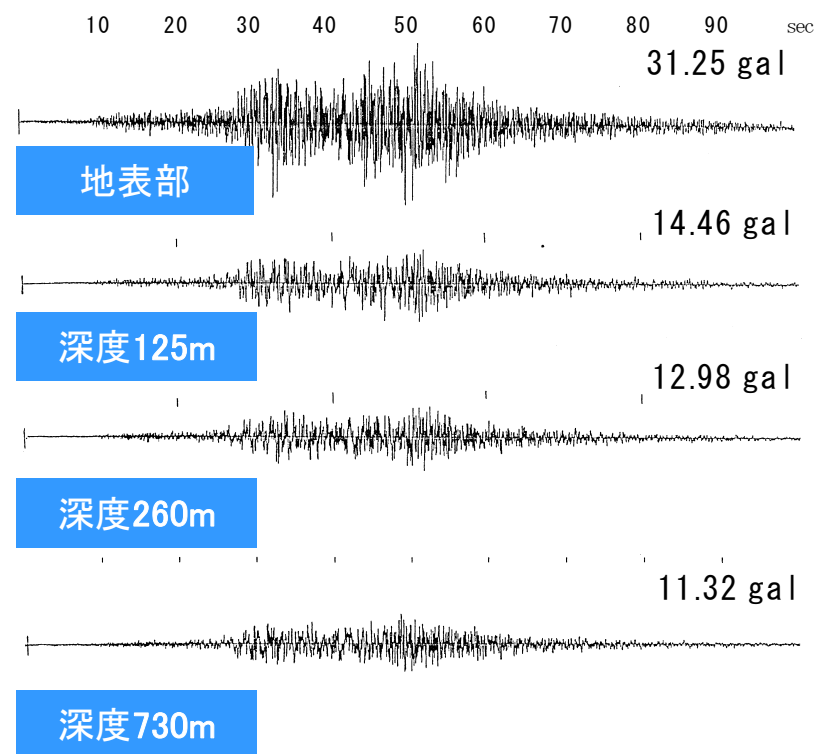
4. (2) 地震・断層活動：第2次取りまとめの見解(その2)

(断層活動の影響範囲)

- ④ 活断層破砕帯の幅は数mから数百m程度。周辺岩盤中にずれ変位が生じる可能性のある小断層などの分布範囲は、大きな活断層の近傍でも数km程度以内(分冊1, 2.3.3)。
- ⑤ 個々の地域については、近傍の活断層を詳細に調査し、その影響範囲を検討し、伏在活断層の有無や小規模な活断層の分布などを調べる必要がある(分冊1, 2.3.3)。

(地震による影響)

- ⑥ 地下数百m以深では一般に地震動による影響は小さい(分冊1, 2.3.3) (右図)。
- ⑦ 地震前後の地下水流動や水質の変化は小さい。また、その変化は一時的であり、数カ月後にはもとの水位に戻る(分冊1, 2.3.2)。



釜石鉱山での地震観測例(1994年 三陸はるか沖地震:M7.5, 震央距離 212.6 km)

(原子力安全委員会 放射性廃棄物・廃止措置専門部会
第二種廃棄物埋設分科会, 第3回資料, 1999)



4. (2)地震・断層活動:主な公開文献情報の整理(その1)

(活動様式, 活断層の分布)

- 最近数十万年間(約40万年前以降)に同一の場所で繰り返し活動している断層は活断層として認定(地震調査研究推進本部 地震調査委員会 長期評価部会, 2010など)。その中でとくに主要な活断層帯や確実度の高い活断層について, 繰り返し活動の平均間隔や開始時期などが, その地域的な特徴とともに評価(地震調査研究推進本部ホームページなど)。
- 地震防災の観点などから実施された調査の結果に基づき, 各種の活断層図が拡充(中田・今泉, 2002; 産業技術総合研究所ホームページなど)。主要な110の活断層帯について, その位置や形状などが明示(地震調査研究推進本部ホームページ)。



- ✓ 見解①②③に沿う事例が蓄積されている。
- ✓ なお, 下記については, 第2次取りまとめでも示されており, 信頼性向上の観点から引き続き情報収集を継続し, その結果をサイト調査計画へ反映する。
- 活断層とは認定されていない断層についても, 活断層の近傍に位置し活断層と同じ運動様式を有する場合や, 活断層の延長上に位置する場合などは, 現在の地殻応力場においても再活動する可能性がある」と指摘(山崎, 2004; 梅田ほか, 2010など)。
- 活断層の見落としの可能性を指摘(日本地質学会 地質環境の長期安定性研究委員会, 2011など)。



4. (2)地震・断層活動：主な公開文献情報の整理(その2)

(断層活動の影響範囲)

- 大規模な活断層帯では、断層活動による力学的影響は一般に断層から数百m程度であるものの、数kmに及ぶ場合もあることを指摘(金折・遠田, 2007; 吉田ほか, 2009など)。

(地震による影響)

- 2011年東北地方太平洋沖地震のような規模の極めて大きな地震においても、地震動は地表に比べて地下深部では小さく(藤川ほか, 2012)、地震動の影響が大規模な地下施設などに損傷を与えることはないということを確認(吉田・大藤, 2012)。
- 同地震により、地下水の水位や水質は、わが国の広範囲にわたり変化が観測されたものの、ほとんどの観測地点において1年以内に地震発生前の状態に回復(産業技術総合研究所ホームページなど)。



- ✓ 見解④～⑦に沿う事例が蓄積されている。
- ✓ また、下記については、原因について継続的に検討が進められていることから、引き続き最新の情報を収集する。
- 2011年4月11日の福島県浜通りの地震に伴う温泉の自噴は、地震の発生から2年以上にもわたり継続(産業技術総合研究所ホームページ)。

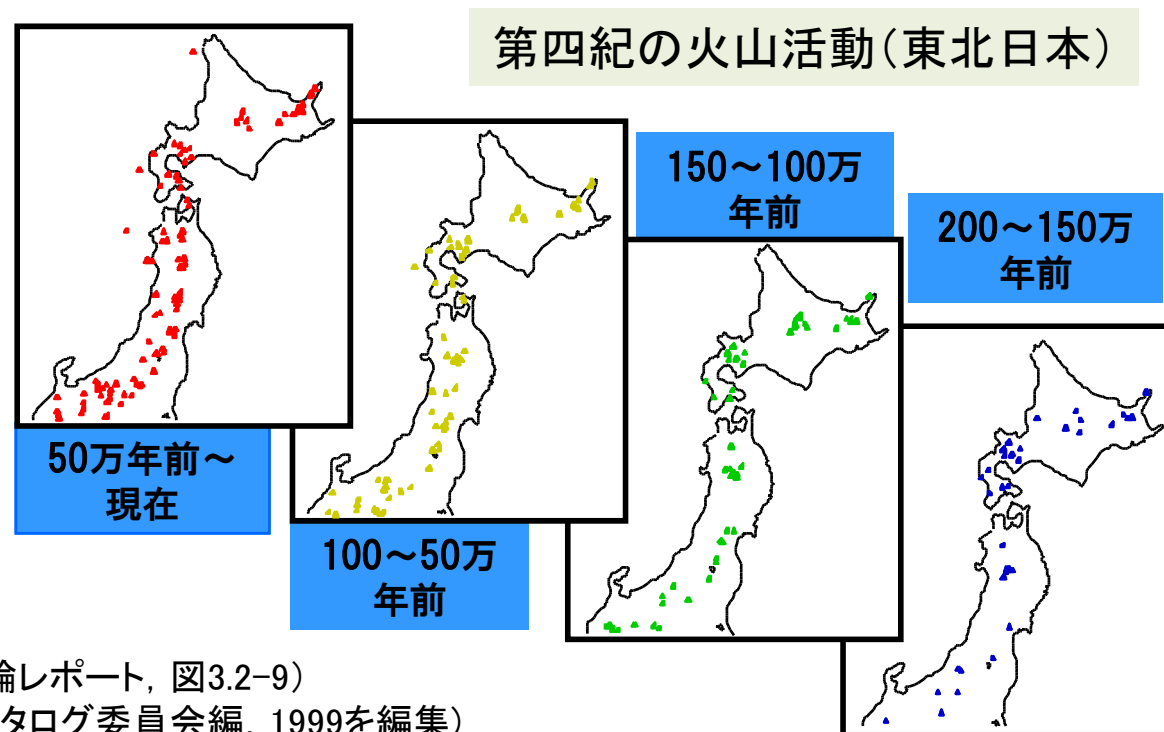
4. (3) 火山・火成活動：第2次取りまとめの見解(その1)

(過去の火山活動)

- ① 中新世後期～鮮新世以降は、東日本火山帯と西日本火山帯の範囲のみに限って活動が生じている。過去数十万年における火山活動の変化は、火山地域や火山列スケールでの活動域の拡大・縮小、移動などの変化(分冊1, 2.4.3) (下図)。

(将来の火山活動)

- ② 十万年程度の将来については、過去数十万年間の時間的・空間的变化に基づき、将来の活動域を評価する手法が有効。テクトニクス の考慮や地下のマグマの存在の有無などの確認が重要(分冊1, 2.4.3)。



(総論レポート, 図3.2-9)
(第四紀火山カタログ委員会編, 1999を編集)

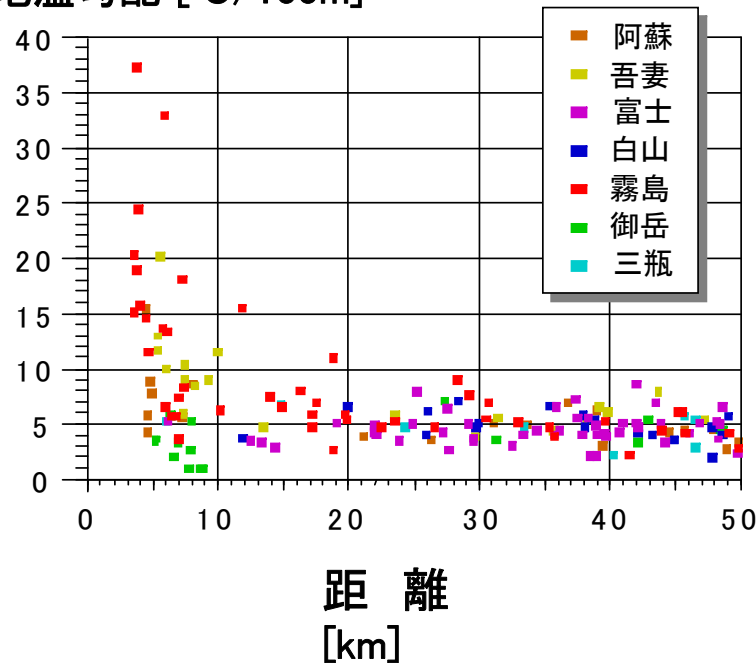
4. (3) 火山・火成活動：第2次取りまとめの見解(その2)

(熱・熱水の影響)

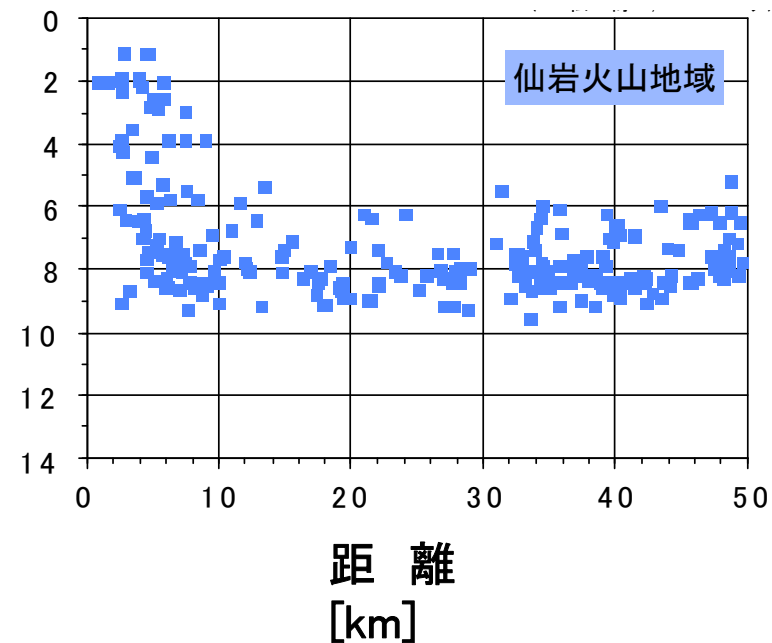
- ③ 火山周辺の熱的，水理的，地球化学的影響などは一般に火山の噴出中心から離れるにしたがって小さくなる傾向がある(下図)が，その程度は火山によって異なる(分冊1，2.4.3)。

火山からの距離と温度，水質

地温勾配 [$^{\circ}\text{C}/100\text{m}$]



pH



(総論レポート，図3.2-12,13)
(小松，梅田 1999)



4. (3) 火山・火成活動: 主な公開文献情報の整理

(過去の火山活動, 将来の火山活動)

- 火山活動は火山フロントの背弧域に限定して繰り返し生起 (Yamamoto, 2009など)。火山フロントの前弧域では, 今後も火山活動が発生する可能性は極めて小さいと解釈 (高橋・Martin, 2004)。

(熱・熱水の影響)

- マグマや高温岩体などの地下水環境への影響については, 火山の中心から離れるほど小さくなる傾向 (馬原ほか, 2000など) にあるものの, 数十kmにまで及ぶ事例も指摘 (※) (産業技術総合研究所, 2012など)。

※成層火山構造に影響を受けた浅層地下水系及び火山体に達する断層系を経路とする地下水系 (岩手火山体)



- ✓ 過去の火山活動には偏在性が認められるという見解①に沿う事例が蓄積されるとともに, 今後の火山活動に関して見解②と同様の趣旨の文献が多く見られる。
- ✓ 火山活動の影響範囲は火山ごとに異なるものの, 火山から遠方では小さくなる傾向が認められ, 見解③に沿う事例が蓄積されている。
- ✓ なお, 以下については火山・火成活動ではないが, 信頼性向上の観点から引き続き情報収集を継続し, その結果をサイト調査計画に反映する。
- 非火山性熱水活動: 常磐地域, 能登半島, 新潟平野, 紀伊半島などの非火山地域における熱水活動に関する公開文献情報が蓄積 (高橋ほか, 2004; Umeda et al., 2007など)。

4. (4) 隆起・沈降・侵食：第2次取りまとめの見解

(隆起・沈降の特徴)

- ① 地域ごとに、ある一定の傾向と速度で数十万年間継続している場合が多い。褶曲断層山脈と逆断層地塊からなる山地や、地震隆起をする海岸などを除いた、多くの地域の隆起・沈降運動の速さは、十万年あたり50 m程度かそれ未満(分冊1, 2.5.3)。

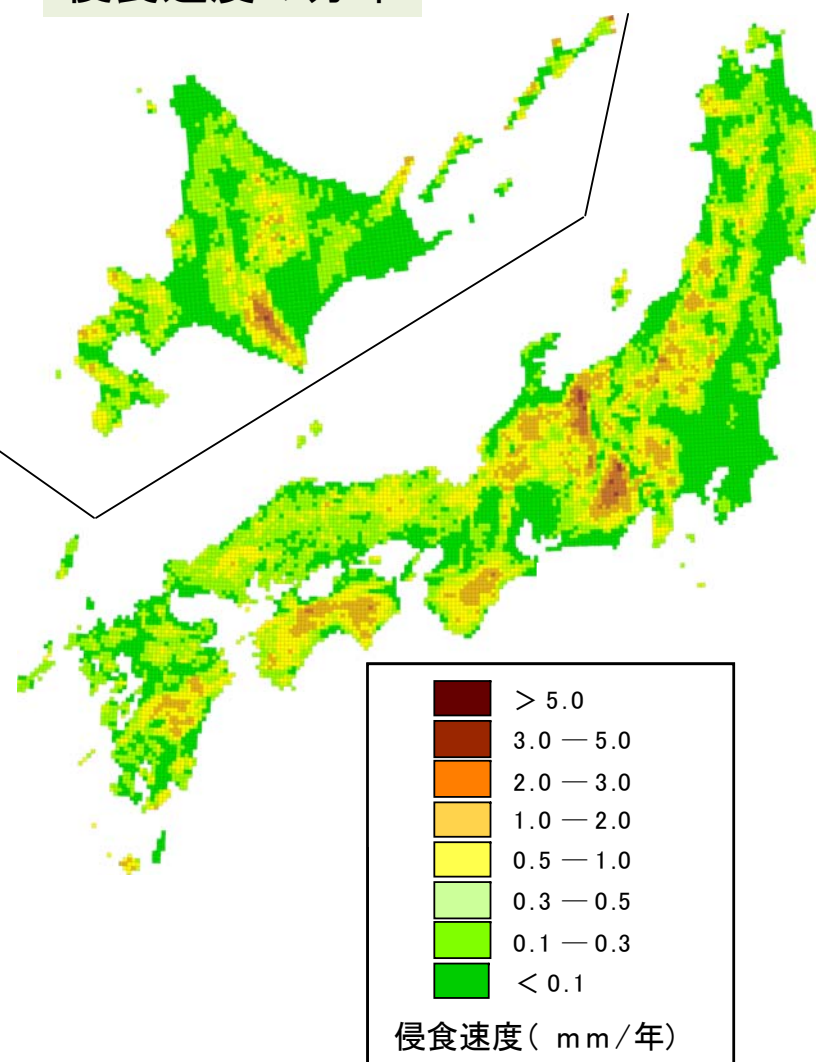
(隆起・沈降の継続性および将来予測)

- ② 各地のテクトニクスを反映しており、その傾向は将来十万年程度は大きくは変わらない(分冊1, 2.5.3)。

(侵食の特徴および将来予測)

- ③ 山地の中心部では侵食速度が年間1mmを越えるところも多いが、丘陵や平野の大部分では年間0.5 mm以下である(分冊1, 要約) (右図)。
- ④ 隆起が激しい山地中心部や地震隆起海岸を除けば、十万年間に侵食される深さは数十m～百m程度と推定される。海岸部の最大下刻量は、隆起と氷期の海面低下量を合計して評価する必要がある(分冊1, 2.5.3)。

侵食速度の分布



(総論レポート, 図3.2-17)

(藤原ほか, 1999)



4. (4)隆起・沈降・侵食：主な公開文献情報の整理

(隆起・沈降の特徴，継続性および将来予測)

- 海成段丘や河成段丘の対比・編年や，河成段丘面の比高から隆起速度を算定する手法の信頼性の向上により，過去数十万年間の隆起・沈降に関するデータが全国規模で蓄積され，隆起速度分布図などが公開(小池・町田, 2001; 日本地質学会 地質環境の長期安定性研究委員会, 2011など)。多くの地域において十万年あたり50m以下の隆起速度(道家ほか, 2008; 田力ほか, 2011など)。中期更新世以降に一定になった地殻変動の方向および速度は，将来十万年程度であれば継続する可能性大(梅田ほか, 2013)。

(侵食の特徴および将来予測)

- 主に山地・丘陵などを対象として侵食・削剥速度を把握。侵食・削剥速度は地殻変動の活発さの影響(若狭ほか, 2008; 末岡, 2010など)。



- ✓ 内陸河川流域を中心として全国的に隆起・沈降の傾向や速度が把握され，見解①で示された全国規模の隆起・沈降速度の概略的な分布と整合している。また，今後の隆起・沈降に関して見解②と同様の趣旨の文献が多く見られる。
- ✓ 山地・丘陵を中心に侵食・削剥速度が把握され，見解③④に沿う事例が蓄積されている。

4. (5) 気候・海水準変動：第2次取りまとめの見解

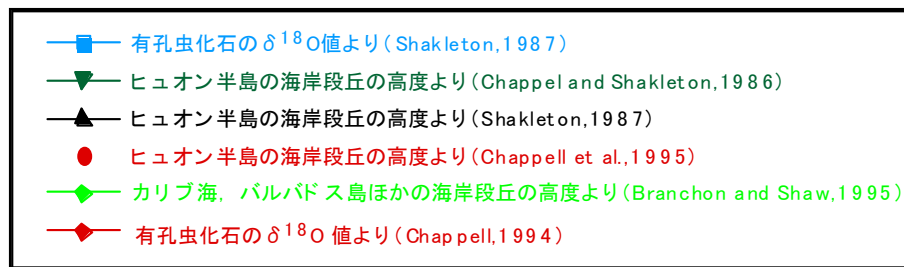
(氷期・間氷期サイクル)

① 十万年の氷期・間氷期の周期が卓越している(分冊1, 2.6.3)。

(海水準変動および気候変動)

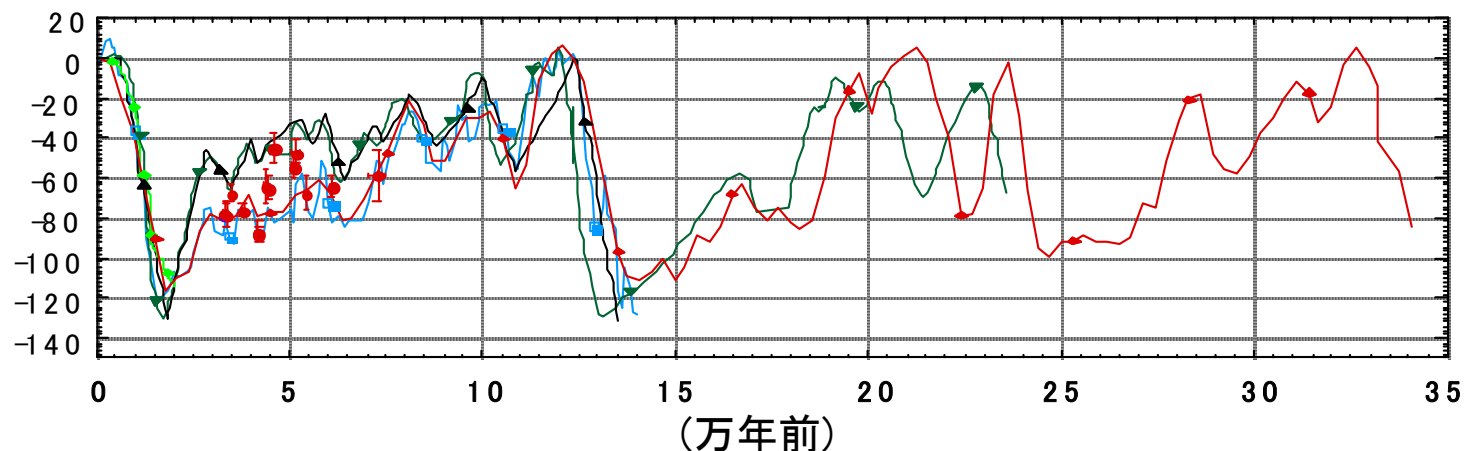
② 過去数十万年間における海水準は、現在に比べて+5 m~-120 m程度の範囲で変動してきた(下図)。気温は、現在に比べて氷期には8°C~10°C程度低く、間氷期の最温暖期には2°C~3°C高かったと考えられる。降水量は、氷期の日本列島では現在の7割から半分近くまで減少していた可能性が高い(分冊1, 2.6.3)。

海水準変動



(分冊1, 図2.6-1)

海水準
(現在比: m)





4. (5) 気候・海水準変動: 主な公開文献情報の整理

(海水準変動)

- 過去数十万年間における地球規模の海水準変動をより精緻に把握 (Jansen et al., 2007; 大場, 2010など)。氷期には海水準が最大で150 m程度低下し, 最終間氷期には, グリーンランド氷床の大幅な縮小が約5mに及ぶ海水準上昇をもたらしたと推測 (Rabineau, 2006; Clark et al., 2009など)。

(気候変動)

- わが国における約二十五万年前から現在までの気候変動を詳細に把握 (大場, 2006など)。最終氷期では, 現在と比較して気温が最大で10°C以上も低く, 降水量は5~7割程度に減少していたと推定 (松末ほか, 2000; 佐々木ほか, 2006など)。



- ✓ 新たに把握された海水準変動の変動幅は, 推定技術の向上や推定誤差を考慮すると, 見解②で示された変動幅と整合すると考えられる。
- ✓ 過去数十万年間の日本列島における気温や降水量変化がより定量的に把握されており, その変動範囲は見解②で示された変動範囲とおおむね整合する。

1. 地層処分概念と地層処分システム
2. 地下深部の地質環境に対する考え方
3. 地質環境の現象や特性に関する第2次とりまとめの見解と本検討の位置づけ
4. 地質環境の長期安定性に関する見解に対する検討
5. 地質環境特性に関する見解に対する検討
 - (1) 公開文献情報の収集・整理
 - (2) 地下水流動特性
 - (3) 地下水の地球化学特性
 - (4) 岩盤の熱特性・力学特性
 - (5) 岩盤の物質移動特性
6. 次回会合以降の説明方針



5. (1) 公開文献情報の収集・整理

考慮すべき特性	見解が示されている項目
地下水流動特性	動水勾配, 透水性
地下水の地球化学特性	形成機構, 降水系地下水水質, 海水系地下水水質
岩盤の熱特性・力学特性	熱特性, 地温, 初期応力, 強度などの特性, 掘削影響
岩盤の物質移動特性	物理的構造, 化学的性質

- 地質環境特性に関する公開文献情報の収集では, 日本原子力研究開発機構, 電力中央研究所, 産業技術総合研究所などの研究機関により地下深部の調査研究が精力的に進められていることから, それらの機関の研究報告書などを主な対象とするとともに, その他の文献も収集した。
- 収集した文献数: 約110件

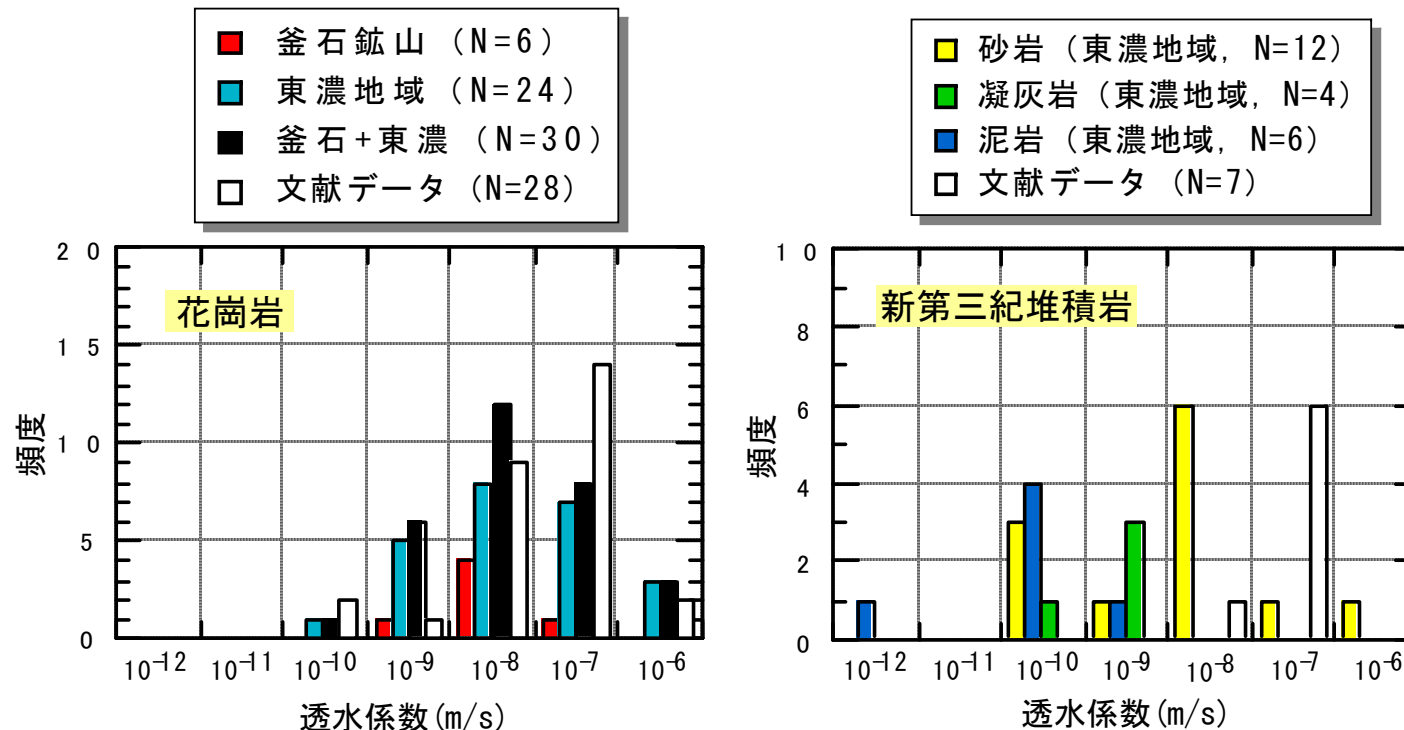
5. (2) 地下水流動特性: 第2次取りまとめの見解

(動水勾配)

- ① 地表付近の動水勾配は地形勾配に強く支配されており、低地(0.008), 台地(0.016), 丘陵地(0.035), 山地(0.061)の順に大きくなる。地下深部の動水勾配は地表付近の地下水面の勾配に比べて小さくなる(分冊1, 要約)。

(透水性)

- ② 断層破碎帯や割れ目集中帯を除くと、地下深部の岩盤としての平均的な透水係数は、おおむね $10^{-10} \sim 10^{-7}$ m/sの範囲にある(分冊1, 要約) (下図)。



釜石鉱山・東濃地域のボーリング孔および文献調査の透水係数頻度分布

(総論レポート, 図 3.3-8より)



5. (2) 地下水流動特性: 主な公開文献情報の整理

(動水勾配)

- 大局的な動水勾配および主流動方向は地形形状に支配されているものの、遮水性を有する断層に挟まれたブロック状の領域などでは、局所的に動水勾配が小さくなる傾向(三枝ほか, 2007; 國丸ほか, 2012など)。

(透水性)

- 結晶質岩, 堆積岩および付加体堆積岩を対象とした事例研究を通じて, 地下深部の岩盤や割れ目帯などの, 透水係数や透水量係数, 透水性割れ目の分布を把握。地下深部の岩盤の透水係数は健岩部では $10^{-12} \sim 10^{-6}$ m/sの範囲(太田ほか, 2007; 長谷川, 2010など)。



- ✓ さまざまな岩種の地下深部における特性が把握されている。
- ✓ 各特性の値の分布はおおむね見解①②で示された範囲内である。

5. (3) 地下水の地球化学特性: 第2次取りまとめの見解

(形成機構)

- ① 地下水の水質は、起源となった水とその場の岩石との反応によって形成される。海岸付近では海水起源の地下水、火山地域ではマグマ起源の地下水の存在が考えられる。ただし、火山やその周辺を除けば、マグマによる地下水への影響は排除できる(分冊1, 要約)。

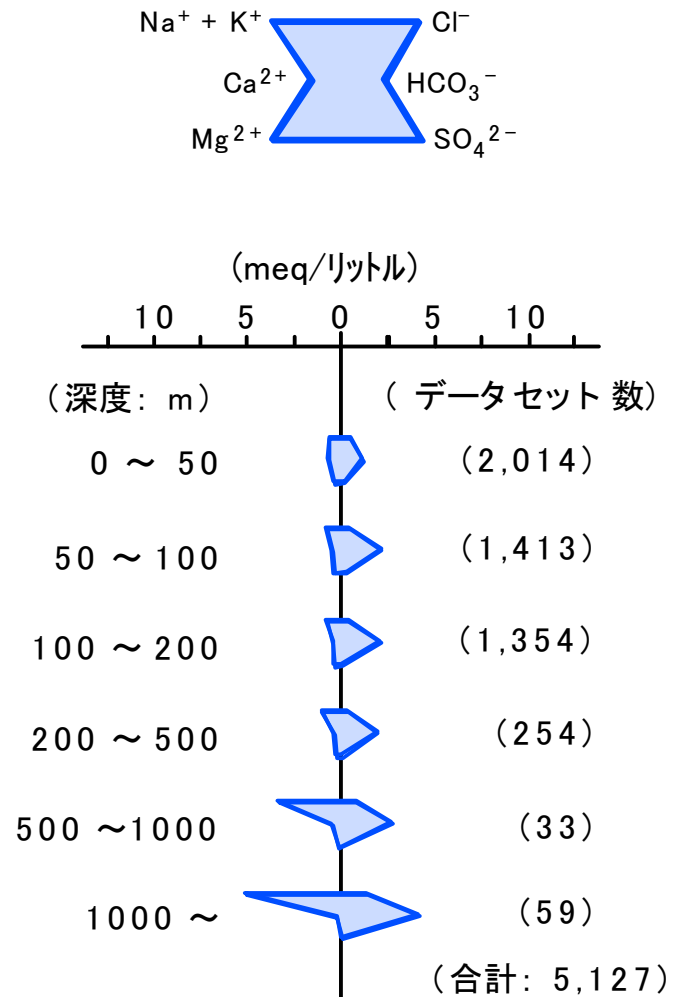
(降水系地下水水質)

- ② 降水を起源とする地下水については、地表付近で Na^+ , Ca^{2+} および HCO_3^- に富み、地下深部にいくにしたがって Ca^{2+} が減少して Na^+ , HCO_3^- が増加する(右図)。同時にpHは酸性から弱アルカリ性に変化する。堆積岩では深度数十m, 花崗岩では深度数百m程度より深い所で、還元性の地下水が形成されている(分冊1, 要約)。

(海水系地下水水質)

- ③ 海水を起源とする地下水については、地下深部での水質は Na^+ , Cl^- に富み、還元状態にあると考え得る(分冊1, 要約)。

降水起源の地下水の水質と深度



(総論レポート, 図3.3-10)
(瀬尾, 清水 1992より)



5. (3)地下水の地球化学特性:主な公開文献情報の整理

(形成機構)

- 内陸部, 沿岸域および海域の堆積岩, ならびに沿岸域の付加体堆積岩を対象とした事例研究を通じて, 地表から地下深部に至る地下水の水質分布(例えば, 淡水および塩水), 起源・滞留時間, 水質形成機構を把握(太田ほか, 2007; 産業技術総合研究所, 2012など)。

(水質)

- 対象とする岩種や起源にかかわらず, 地下深部の地下水は, 地下浅部と比較して中性から弱アルカリ性を示し, 還元状態が維持される傾向(岩月ほか, 2009; 國丸ほか, 2011など)。
- 地下水の年代については, 特に堆積岩の地下深部において, 数百万年~1千万年程度の値(馬原ほか, 2006; 中田・長谷川, 2010など)。



- ✓ 多様な地域や岩種について, 形成機構や水質が把握されている。
- ✓ これらは見解①②③とおおむね整合している。

5. (4) 岩盤の熱特性・力学特性: 第2次取りまとめの見解(その1)

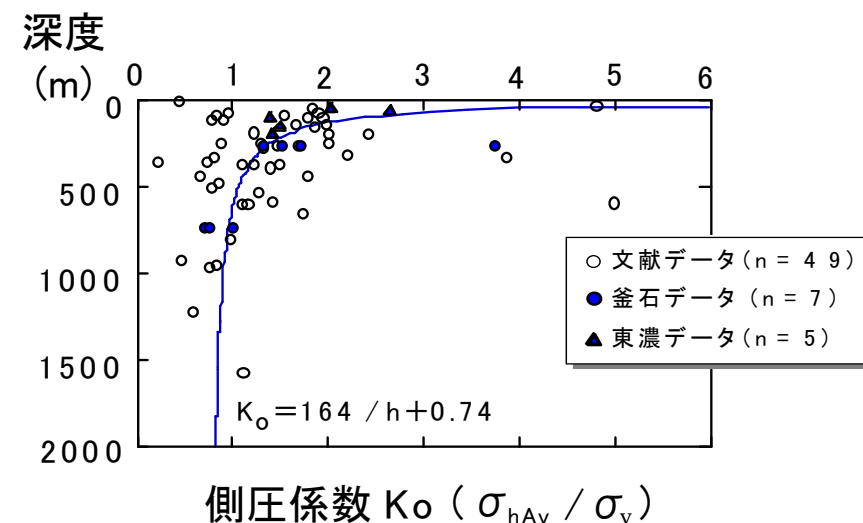
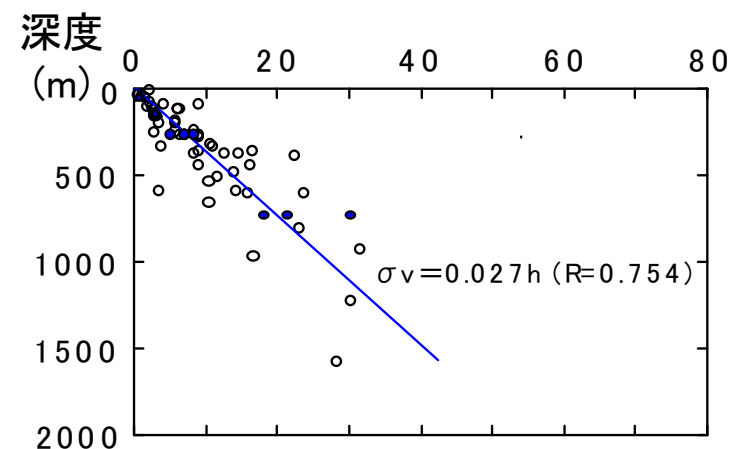
(熱特性, 地温)

- ① 岩種ごとの熱伝導率, 結晶質岩の比熱と線膨張係数のそれぞれの度数分布を把握(分冊1, 3.5.4)。
- ② 火山地域を除く大部分の地域で, 地温勾配はおおむね $5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 以下(平均的には $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 前後)である(分冊1, 要約)。

(初期応力)

- ③ 地下深部での鉛直応力は, ほぼ土かぶり圧に等しく(右図上), 鉛直応力と水平応力との比は地下浅部ではばらつくものの, 深度が大きくなるにしたがって1前後に近づく(右図下)(分冊1, 要約)。

初期応力の深度分布



(総論レポート, 図3.3-18より)

5. (4) 岩盤の熱特性・力学特性：第2次取りまとめの見解(その2)

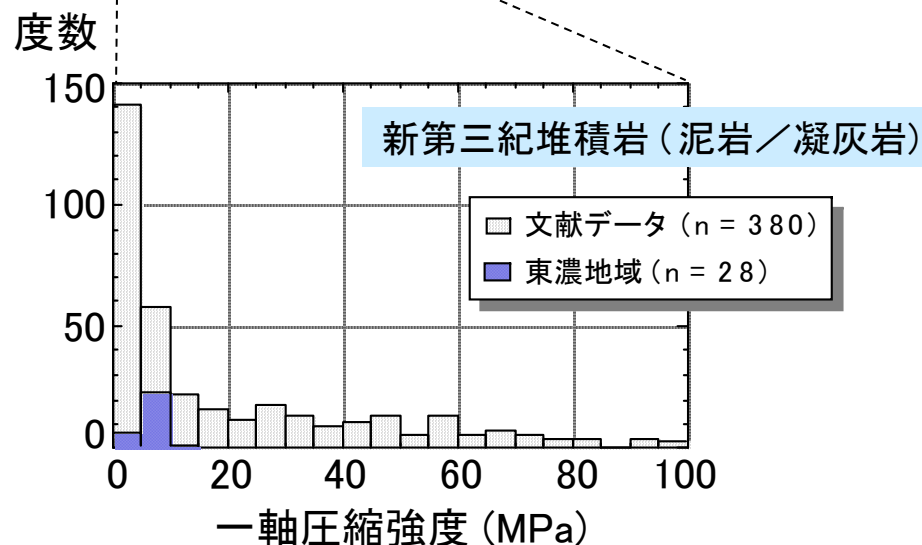
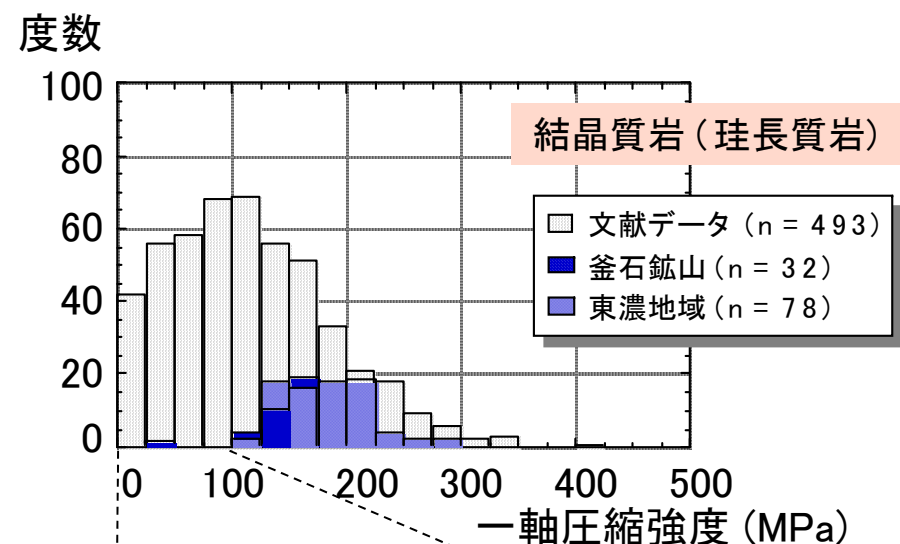
(強度などの特性)

- ④ 右図に示すような岩石の主要な物性を岩種ごとに把握(分冊1, 要約)。

(掘削影響)

- ⑤ 発破掘削によって周辺の岩盤の強度などが変化する範囲は, 坑道壁面から1m程度まで(分冊1, 要約)。

一軸圧縮強度の頻度分布



(総論レポート, 図3.3-16より)



5. (4) 岩盤の熱特性・力学特性: 主な公開文献情報の整理

(熱特性, 地温)

- 室温から高温の条件下における岩盤の熱特性について, 深地層の研究施設における調査や試験などを通じて特性が把握(林ほか, 2003; 松井ほか, 2005など)され, データベース化(土木学会岩盤力学委員会 岩盤の熱環境に関する研究小委員会, 2006)。地温分布に関する情報も全国規模でデータベース化され, 非火山地域における地温勾配は, おおむね $3\sim 5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 程度(田中ほか, 2004など)。

(初期応力, 力学特性)

- 地下深部の岩盤の物理・力学特性および初期応力について, 深地層の研究施設における調査や試験などを通じて特性が把握(松井ほか, 2000; 核燃料サイクル開発機構, 2005)され, 情報は適宜整理(地盤工学会, 2009など)。地下深部における鉛直応力と水平応力との比は $1\sim 2$ (Yokoyama et al., 2003; 近藤ほか, 2011など)。

(掘削影響)

- 深地層の研究施設や地下発電所において, 地下坑道掘削による周辺岩盤への力学的影響を把握。力学的特性が大きく変化する範囲は 1m 未満(中山ほか, 2009など)。

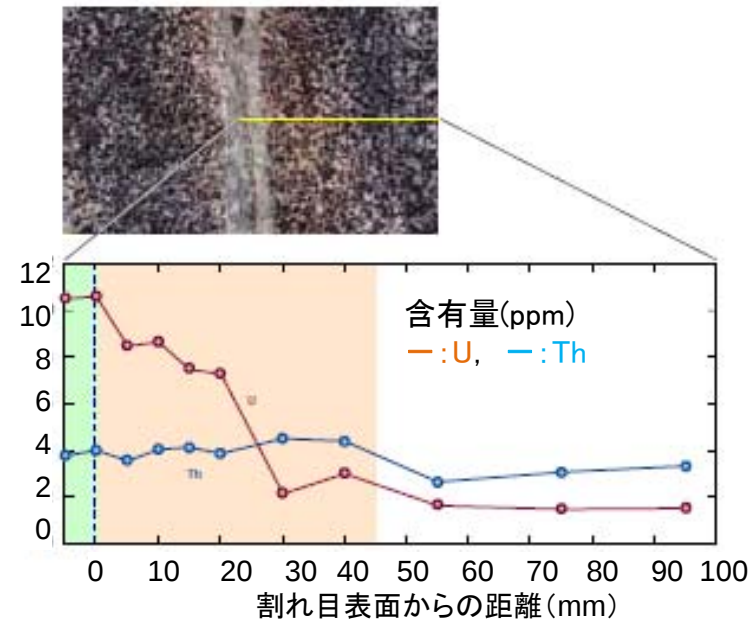


- ✓ 地下深部のデータや全国規模のデータが把握されている。
- ✓ 各特性の値の分布はおおむね見解①～⑤で示された範囲内である。

5. (5) 岩盤の物質移動特性: 第2次取りまとめの見解

(物理的構造)

- ① 花崗岩などの緻密な岩盤では、岩盤中に発達した割れ目のネットワーク構造が支配的な移行経路となり、大きな割れ目が発達しにくい新しい堆積岩では、粒子間の間隙が主要な移行経路となる。鉱物のへき開や鉱物中の微小割れ目などが、移行経路として重要な役割を果たす。花崗岩においては、割れ目表面から数十mm程度まで、マトリクス拡散が生じている(分冊1, 要約) (右図)。



地下水から割れ目重点鉱物層(図中■領域)に供給された天然ウランは、母岩内部に向けて移動(マトリクス拡散)していると考えられる。天然ウランのマトリクス拡散は概ね変質母岩(図中■領域)と未変質母岩(図中□領域)の境界付近まで達している。

(化学的性質)

- ② 粘土鉱物および雲母や黄鉄鉱などの鉄含有鉱物は、石英、長石類、方解石などそれを含まない鉱物に比べて、一般に物質を吸着する能力が高い(分冊1, 要約)。

栗橋花崗閃緑岩体中の高透水性割れ目近傍における天然ウラン系列核種の分布プロファイル

(分冊1, 図3.6-12より)



5. (5) 岩盤の物質移動特性: 主な公開文献情報の整理

(物理的構造, 化学的性質)

- 白亜紀の花崗岩類および新第三紀～第四紀堆積岩類を事例として, 物質移動・遅延の場となる構造の幾何形状や収着・拡散特性, その場で生じる物質移動・遅延現象を把握(太田ほか, 2005; Yoshida et al., 2009など)。
- 様々な岩石に対する核種の分配係数および拡散係数を測定し, それらをデータベースとして取りまとめ, 公開(舘ほか, 2009など)。



- ✓ 多様な岩種について, 物質移動に関わる物理的構造, 化学的性質が把握されており, これらは見解①②とおおむね整合している。
- ✓ 化学的性質について, データベース化されている。

1. 検討の位置づけ
2. 地下深部の地質環境に対する考え方
3. 地質環境の現象や特性に関する第2次とりまとめの見解
4. 地質環境の長期安定性に関する見解に対する検討
5. 地質環境特性に関する見解に対する検討
6. 次回会合以降の説明方針



6. 次回会合以降の説明方針

- 次回会合以降，以下を説明する予定である。
 - 地質環境特性の長期安定性に係る現象並びに地質環境特性のそれぞれについて第2次取りまとめで示された見解に関連する公開文献情報
 - 見解やサイト調査などへ反映すべき情報についての検討内容

参考文献:地質環境の長期安定性(1)

■地震・断層活動

- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会 長期評価部会(2010):「活断層の長期評価手法」報告書(暫定版), 平成22年11月25日.
- 地震調査研究推進本部:活断層の長期評価. <http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02_danso.htm>;活断層の地域評価. <http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02_chiiki_kyushu.htm>(参照2013年2月1日)
- 中田 高, 今泉俊文(編)(2002):「活断層詳細デジタルマップ」付図200万分の1日本列島活断層図. 東京大学出版会
- 産業技術総合研究所:活断層データベース. <<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/index.html>>(参照2012年12月1日)
- 山崎晴雄(2004):地層処分における概要調査地区選定後の作業内容とその意義ー活断層の識別・評価を例に. 原子力バックエンド研究, 10, 119-123
- 梅田浩司, 安江健一, 浅森浩一(2010):高レベル放射性廃棄物の地層処分における断層研究の現状と今後の展望. 月刊地球, 32, 52-63
- 日本地質学会 地質環境の長期安定性研究委員会(編)(2011):日本列島と地質環境の長期安定性. 地質リーフレット4
- 金折裕司, 遠田晋次(2007):中国地方西部に認められるプレート内山ロー出雲地震帯の成因と地震活動. 自然災害科学, 25, 507-523
- 吉田英一, 大嶋章浩, 吉村久美子, 長友晃夫, 西本昌司(2009):断層周辺に発達する割れ目形態とその特徴ー阿寺断層における‘ダメージゾーン’解析の試み. 応用地質, 50, 16-28
- 藤川 智, 奥村俊彦, 岡田康男, 窪田 茂, 末広俊夫, 玉田潤一郎, 藤崎 淳(2012):地下深部の地震動特性に関する基礎的検討. 土木学会第67年次学術講演会講演概要集, 1081-1082
- 吉田久雄, 大藤友詳(2012):東日本大震災における久慈国家石油備蓄基地の防災活動について. Safety & Tomorrow, No.143, 39-46
- 産業技術総合研究所:地震に関連する地下水観測データベース“Well Web”. <<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/gxwell/GSJ/index.shtml>>;
- 産業技術総合研究所:2011年4月11日福島県浜通りの地震(M7.0)に伴う温泉の変化. <<http://unit.aist.go.jp/igg/crufluid-rg/iwaki/onsen.html>>(参照2012年12月1日).



参考文献：地質環境の長期安定性(2)

■火山・火成活動

- Yamamoto, T. (2009) : Sedimentary processes caused by felsic caldera-forming volcanism in the Late Miocene to Early Pliocene intra-arc Aizu basin, NE Japan arc. *Sediment. Geol.*, 220, 337-348.
- 高橋正樹, Martin, A.J. (2004) : 今後10万年間どこに火山はできるか？ マグマ供給システムの長期安定性をめぐって. *月刊地球*, 26, 386-394
- 馬原保典, 中田英二, 田中和弘 (2000) : 火山活動が高レベル処分のための天然バリアの地下水環境に及ぼす影響評価－文献調査と岩手山における地下水調査. 電力中央研究所報告, U99062
- 産業技術総合研究所 (2012) : 概要調査の調査・評価項目に関する技術資料－立地要件への適合性とその根拠となる調査結果の妥当性. 産業技術総合研究所 地質調査総合センター研究資料集, No.560
- 高橋正明, 風早康平, 安原正也, 高橋 浩, 森川徳敏, 稲村明彦 (2004) : 阿武隈地域の温泉水の地球化学的研究. *日本水文科学会誌*, 34, 227-244
- Umeda, K., Sakagawa, Y., Ninomiya, A., Asamori, K. (2007) : Relationship between helium isotopes and heat flux from hot springs in a non-volcanic region, Kii Peninsula, southwest Japan. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L05310, doi:10.1029/2006GL028975.

■隆起・沈降・浸食

- 小池一之, 町田 洋 (編) (2001) : 日本の海成段丘アトラス. 東京大学出版会.
- 日本地質学会 地質環境の長期安定性研究委員会 (編) (2011) : 日本列島と地質環境の長期安定性. 地質リーフレット4
- 道家涼介, 佐藤善輝, 安江健一, 廣内大助 (2008) : 阿寺断層帯中部, 加子母地区における変位地形と平均変位速度. *活断層研究*, 29, 79-86.
- 田力正好, 安江健一, 柳田 誠, 古澤 明, 田中義文, 守田益宗, 須貝俊彦 (2011) : 土岐川(庄内川)流域の河成段丘と更新世中期以降の地形発達. *地理学評論*, 84, 118-130.



参考文献：地質環境の長期安定性(3)

■隆起・沈降・侵食(つづき)

- 梅田浩司, 谷川晋一, 安江健一(2013): 地殻変動の一樣継続性と将来予測: 地層処分の安全評価の視点から. 地学雑誌
- 若狭 幸, 森口有里, 松崎浩之, 松倉公憲(2008): 宇宙線核種濃度から推定される木曽川上流寝覚ノ床における下刻速度. 季刊地理学, 60, 69-76
- 末岡 茂, 田上高広, 堤 浩之, 長谷部徳子, 田村明弘, 荒井章司, 山田隆二, 松田達生, 小村健太郎(2010): フィッション・トラック

■気候・海水準変動

- Jansen, E., Overpeck, J., Briffa, K.R., Duplessy, J.-C., Joos, F., Masson-Delmotte, V., Olago, D., Otto-Bliesner, B., Peltier, W.R., Rahmstorf, S., Ramesh, R., Raynaud, D., Rind, D., Solomina, O., Villalba, R., Zhang, D. (2007): Palaeoclimate. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.)], Cambridge Univ. Press, 433-497.
- 大場忠道(2010): 第四紀の始まりの世界的な気候寒冷化とは何か? —酸素同位体比変動から. 第四紀研究, 49, 275-281
- Rabineau, M., Berné, S., Olivet, J.L., Aslanian, D., Guillocheau, F., Joseph, P. (2006): Paleo sea levels reconsidered from direct observation of paleoshoreline position during Glacial Maxima (for the last 500,000 yr). Earth Planet. Sci. Lett., 252, 119-137
- Clark, P.U., Dyke, A.S., Shakun, J.D., Carlson, A.E., Clark, J., Wohlfarth, B., Mitrovica, J.X., Hostetler, S.W., McCabe, A.M. (2009): The Last Glacial Maximum. Science, 325, 710-714
- 大場忠道(2006): 有孔虫の殻の酸素・炭素同位体比に基づく過去15万年間の日本海と鹿島沖の環境変化. 地学雑誌, 115, 652-660
- 松末和之, 藤原 治, 末吉哲雄(2000): 日本列島における最終氷期最寒冷期の気候. サイクル機構技報, No.6, 93-103.
- 佐々木俊法, 須貝俊彦, 柳田 誠, 守田益宗, 古澤 明, 藤原 治, 守屋俊文, 中川 毅, 宮城豊彦(2006): 東濃地方内陸小盆地埋積物の分析による過去30万年間の古気候変動. 第四紀研究, 45, 275-286

参考文献:地質環境特性(1)

■地下水流動特性

- 三枝博光, 瀬野康弘, 中間茂雄, 鶴田忠彦, 岩月輝希, 天野健治, 竹内竜史, 松岡稔幸, 尾上博則, 水野 崇, 大山卓也, 濱 克宏, 佐藤稔紀, 久慈雅栄, 黒田英高, 仙波 毅, 内田雅大, 杉原弘造, 坂巻昌工(2007):超深地層研究所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
- 國丸貴紀, 見掛信一郎, 西尾和久, 鶴田忠彦, 松岡稔幸, 石橋正祐紀, 上野孝志, 徳安真吾, 大丸修二, 竹内竜史, 三枝博光, 尾上博則, 武田匡樹, 狩野智之, 水野 崇, 萩原大樹, 佐藤稔紀, 真田祐幸, 丹野剛男, 引間亮一, 森川佳太, 湯口貴史, 尾方伸久, 濱 克宏, 池田幸喜, 山本 勝, 島田顕臣, 松井裕哉, 伊藤洋昭, 杉原弘造(2012):超深地層研究所計画 年度報告書(2010年度). JAEA-Review 2012-020
- 太田久仁雄, 阿部寛信, 山口雄大, 國丸貴紀, 石井英一, 操上広志, 戸村豪治, 柴野一則, 濱 克宏, 松井裕哉, 新里忠史, 高橋一晴, 丹生屋純夫, 大原英史, 浅森浩一, 森岡宏之, 舟木泰智, 茂田直孝, 福島龍朗(2007):幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第1段階)研究成果報告書, 分冊「深地層の科学的研究」. JAEA-Research 2007-044
- 長谷川琢磨, 中田弘太郎, 近藤浩文, 五嶋慶一郎, 富岡祐一, 後藤和幸, 柏谷公希(2010):水質・地下水年代を利用した地下水流動評価法の高度化―三浦半島西部沿岸を対象とした地下水流動・物質移動解析. 電力中央研究所報告, N10017.

■地下水の地球化学特性

- 太田ほか(2007):上記参照
- 産業技術総合研究所(2012):沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発 成果報告書(平成24年3月).
- 岩月輝希, 石井英一, 新里忠史(2009):北海道幌延地域における深部地球化学環境の長期変遷シナリオの構築. 地学雑誌, 118, 700-716
- 國丸貴紀, 見掛信一郎, 西尾和久, 鶴田忠彦, 松岡稔幸, 早野 明, 竹内竜史, 三枝博光, 大山卓也, 水野 崇, 丹野剛男, 平野 享, 竹内真司, 尾方伸久, 濱 克宏, 池田幸喜, 山本 勝, 弥富洋介, 島田顕臣, 松井裕哉, 伊藤洋昭, 杉原弘造(2011):超深地層研究所計画 年度報告書(2009年度). JAEA-Review 2011-007
- 馬原保典, 中田英二, 大山隆弘, 宮川公雄, 五十嵐敏文, 市原義久, 松本裕之(2006):化石海水の同定法の提案―太平洋炭鉱における地下水水質・同位体分布と地下水年代評価. 地下水学会誌, 48, 17-33
- 中田弘太郎, 長谷川琢磨(2010):地下水年代測定評価技術の開発(その10)―北海道幌延地域における ^4He ・ ^{36}Cl 法適用の試み. 電力中央研究所報告, N09027

参考文献:地質環境特性(2)

■岩盤の熱特性・力学特性

- 林 為人, 中村敏明, 高橋 学(2003):稲田花崗岩の熱特性, 超音波速度, 強度および変形特性の異方性. 応用地質, 44, 175-187
- 松井裕哉, 棚井憲治, 川上 進, 佐藤稔紀, 西村繭果, 青柳茂男, 藤田朝雄, 谷口直樹, 菊池広人, 松本一浩, 油井三和(2005):設計技術(地下施設設計, 人工バリア設計, 閉鎖設計)の実際の地質環境条件への適用性評価. JNC TN5400 2005-00
- 土木学会 岩盤力学委員会 岩盤の熱環境に関する研究小委員会(編)(2006):熱環境下の地下岩盤施設の開発をめざしてー熱物性と解析
- 田中明子, 山野 誠, 矢野雄策, 笹田政克(2004):日本列島及びその周辺地域の地温勾配及び地殻熱流量データベース. 数値地質図P-5, 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- 松井裕哉, 前田信行, 吉川和夫(2000):MIU-3号孔における力学特性調査結果及び正馬様用地における土岐花崗岩体の岩盤力学的概念モデル. JNC TN7420 2001-001
- 核燃料サイクル開発機構(2005):高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築ー平成17年取りまとめ, 分冊1「深地層の科学的研究」. JNC TN1400 2005-014.
- 地盤工学会(2009):原位置岩盤試験データベース(2008年度版). 丸善
- Yokoyama, T., Ogawa, K., Kanagawa, T., Tanaka, M, Ishida, T.(2003):Regional in-situ stress states in Japan based on measurements. In: Sugawara, K., Obara, Y., Sato, A. (Eds.) Rock Stress, Swets & Zeitlinger, Lisse
- 近藤浩文, 木方建造, 五嶋慶一郎, 長谷川琢磨, 濱田崇臣, 大山隆弘, 鈴木浩一, 後藤和幸, 末永弘, 中田弘太郎, 田中姿郎, 長岡 亨, 窪田健二, 土 宏之, 三和 公, 村元茂則, 河野一輝, 伊藤久敏(2011):高レベル放射性廃棄物等の処分地選定のための概要調査技術に係わる実証研究ー地質環境条件に応じた掘削・孔内調査・試験手法の適用性と課題. 電力中央研究所報告, N15
- 中山 雅, 佐野満昭, 真田祐幸, 杉田 裕(編)(2009):幌延深地層研究計画 平成20年度調査研究成果報告. JAEA-Research 2009-032



参考文献：地質環境特性(3)

■岩盤の物質移動特性

- 太田久仁雄, 佐藤稔紀, 竹内真司, 岩月輝希, 天野健治, 三枝博光, 松岡稔幸, 尾上博則(2005):東濃地域における地上からの地質環境の調査・評価技術. JNC TN7400 2005-023
- Yoshida, H., Nishimoto, S., Metcalfe, R.(2009a): Altered crystalline rock distributed along groundwater conductive fractures and the retardation capacity in the orogenic field of Japan. Proc. 12th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM2009-16332
- Yoshida, H., Metcalfe, R., Seida, Y., Takahashi, H., Kikuchi, T.(2009b): Retardation capacity of altered granitic rock distributed along fractured and faulted zones in the orogenic belt of Japan. Eng. Geol., 106, 116-122.
- 舘 幸男, 栃木善克, 陶山忠宏, 齋藤好彦, Ochs, M., 油井三和(2009):地層処分安全評価のための核種の収着・拡散データベースシステムの開発. JAEA-Data/Code 2008-034



用語集(1)

* : 人工バリア, 安全評価関係を中心に抽出し, 総論レポートの用語集を参照した。

•オーバーパック

ガラス固化体を包み込み, ガラス固化体に地下水が接触することを防止し, 地圧などの外力からガラス固化体を保護する容器。人工バリアの構成要素の一つ。候補材料は炭素鋼などの金属である。

•ガラス固化

再処理の過程において使用済燃料から分離される高レベル放射性廃液を, ガラスと一緒に高温で加熱することにより水分を蒸発させるとともに非晶質に固結(ガラス化)し, 物理的・化学的に安定な形態にするプロセス。廃液はステンレス製の堅牢な容器(キャニスタ)に閉じ込められた状態でガラス固化され, 人工バリアの構成要素のひとつであるガラス固化体となる。ガラス固化体は放射性物質を安定な形態に保持し, 地下水に対する耐浸出性に優れることが特徴。

•緩衝材

オーバーパックと岩盤の間に充填し, 地下水の侵入と放射性物質の溶出・移行を抑制するもの。さらに岩盤の変位を物理的に緩衝するクッションの働きや, 地下水の水質を化学的に緩衝して変化を抑える働きをもつ。人工バリアの構成要素のひとつ。候補材料はベントナイトなどの粘土である。

•収着(分配係数)

収着は, 固体の空孔の中あるいは表面で起こる反応をいう広義の用語である。それを使うにあたっては, 吸収と吸着の反応の間の技術的区別の問題は除かれている。吸収は主として固体の空孔内で起こり, 固体の吸収能力はその体積に比例するような反応を一般的に示すのに用いられる。吸着は, 固体表面で起こる反応を示すものであって, 固体の吸着能力はその有効表面積に比例する。後者の過程の一例はイオン交換であり, そこでは固体の表面にある荷電位置を占めたイオンが溶液中のイオンにより交換されるのである。分配係数は, 特定の化学種の平衡2相間の分配の定量的尺度。環境研究において, その値は, 土壌あるいは埋め戻し材が放射性核種の移行をどのくらい遅らせるかを予測するのに用いられる。



用語集(2)

- 透水係数／透水量係数

いずれも岩盤中での水の通りやすさを示す数。透水係数は、動水勾配が1のときに、単位面積あたりを流れる水の水速度 (m/s) で表す。透水量係数は、透水係数に帯水層の厚さや割れ目の幅を乗じたもの (単位は m^2/s)

- 動水勾配

地下水の動きを決める要因のひとつで、地下水が流れる方向の単位距離当たりの水圧 (正確には水頭) の差をいう。地下水は、水圧の高い方から低い方へ移動するので、水圧の高さが同じところを結んだ等水圧線に対して垂直の方向が動水勾配の方向となる。

- ベントナイト

モンモリロナイトを主成分とする粘土の一種。水を吸収して膨潤する性質およびイオン交換性を持つ。高レベル放射性廃棄物の地層処分では、緩衝材や処分坑の埋め戻し材との原料として用いられる。ベントナイトの膨潤により緩衝材の透水性が低下し、ガラス固化体に地下水が接触するのを防ぐ。また、ガラス固化体に地下水が接触したとしても、緩衝材の透水性が低いために放射性核種の移行が遅延し、イオン交換性により放射性核種が緩衝材に吸収される。

- マトリクス拡散

割れ目 (亀裂) から岩石基質方向への拡散。割れ目に沿った地下水の流れに対して直交する方向に物質が移動するため、花崗岩のような亀裂性岩盤で期待される遅延機能の一つとしてみなされている。