

高レベル放射性廃棄物処分の事業化技術 —その3 サイト選定のための調査・評価手法—[†]

田中和広¹ 木方建造² 土 宏之³ 出口 朗³ 齋藤茂幸⁴

処分場のサイト選定において実施される調査・評価手法について、地層処分のマスタースケジュールに従い、調査の各段階毎に要求される性能評価要件や施設設計要件等を考慮し調査の考え方、項目、量、精度等に関して検討を行った。さらに、(その2)において設定された地質環境条件を対象として、具体的な調査の項目や手順について事例検討を行った。

Keywords: 高レベル放射性廃棄物, 地層処分, サイト選定, 地質環境, 地質調査

Strategy and contents of investigation and evaluation for site selection of high level radioactive waste disposal was discussed with regard to the required condition for safety assessment and design of facility according to the planned master schedule of high level radioactive waste disposal. Definite investigation program including the content, process, accuracy etc. was made up for the proposed geological conditions.

Keywords: high level radioactive waste, geological environment, geological survey

1 まえがき

放射性廃棄物の地層処分は人工バリアおよび天然バリアを組み合わせた多重バリアシステムにより安全性を確保する方式である。このシステムでは、放射性廃棄物の処分後、人工バリアから漏洩する放射性核種を天然バリアにより長期間にわたって人間環境に対して無害にする必要があり、そのためには、天然バリアに相当する処分場周辺の地質環境特性を十分に把握しておくことが重要である[1]。実施主体設立後に予定されているサイト選定やサイト特性調査においても、上記のような考え方にしたが、それぞれの調査段階毎に求められる要件を考慮して調査の項目、精度、量、手順等が検討されることとなる。

本特集では、「高レベル放射性廃棄物処分の事業化技術」として、処分の実施主体が行う処分サイト選定、地質・地下水特性調査、施設設計、安全評価、施設建設、廃棄体埋設、施設閉鎖など、一連の処分事業を模擬的に机上で検討した。本報告(その3)では、特にサイト選定のための調査・評価手法について、本特集(その2)で設定した地質環境条件を対象として、調査の各段階毎に実施する地質・地下水の調査・評価手法についての検討結果を述べる。

2 地質・地下水調査法

地層処分の安全性を確保するには、天然バリアである地下深部岩盤の地質・地下水特性を明らかにすることが

重要であり、サイト選定や選定されたサイトの特性調査の各段階における調査や評価のための手法の開発、体系化を行う必要がある。この場合、要求される地質・地下水環境に関するデータの種類や精度、量などは、処分事業におけるマスタースケジュールの各段階ごとに異なることが予想される。

地下深部における天然バリアの地質・地下水特性についてはこれまで一部のダム、地下発電所、水路トンネル等の電力構造物や石油の地下備蓄施設、海底トンネル、鉱山等においてデータの取得がなされているが、精度や量において十分ではなく、組織的かつ高精度なデータはほとんど取得されていないのが現状である。その意味では地下深部岩盤の地質・地下水特性の実態は必ずしも明らかではなく、調査手法の開発、体系化とともに新たなデータの取得が求められている。

また、地質環境の長期的な安定性に関しては、原子力発電所の立地、耐震設計において活断層評価等が行われているが、高レベル放射性廃棄物の地層処分においてはより長期の安定性の評価が求められることとなり、そのための調査手法の開発と将来予測のためのロジックの構築が課題となる。

2.1 調査・評価の考え方

本節では、地下深部の地質・地下水特性の調査・評価の考え方を示す。天然バリアの調査・評価フローをFig.1に示す[2]。天然バリアのバリア性能は、岩盤中の地下水流動評価と核種移行評価により総合的に評価される。さらに、長期的な安全性の確保のためには、地質環境の長期的な安定性の評価や風化、変質など長期の水-岩石反応等の評価が重要となる。今後新たな課題が提起されることも予想されるが、現状において重要と考える調査・評価における考え方について以下に述べる。

[†] Execution techniques for high level radioactive waste disposal: III Investigation and evaluation for site selection, by Kazuhiro Tanaka(katanak@cniepi.denken.or.jp), Kenzo Kiho, Hiroyuki Tsuchi, Akira Deguchi, and Shigeyuki Saito

2 (財)電力中央研究所 Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) 〒270-1194 我孫子市我孫子 1646

3 東京電力(株) Tokyo Electric Power Company 〒100-0011 千代田区内幸町 1-1-3

4 三菱マテリアル(株) Mitsubishi Materials Corporation 〒112-0002 文京区小石川 1-3-25

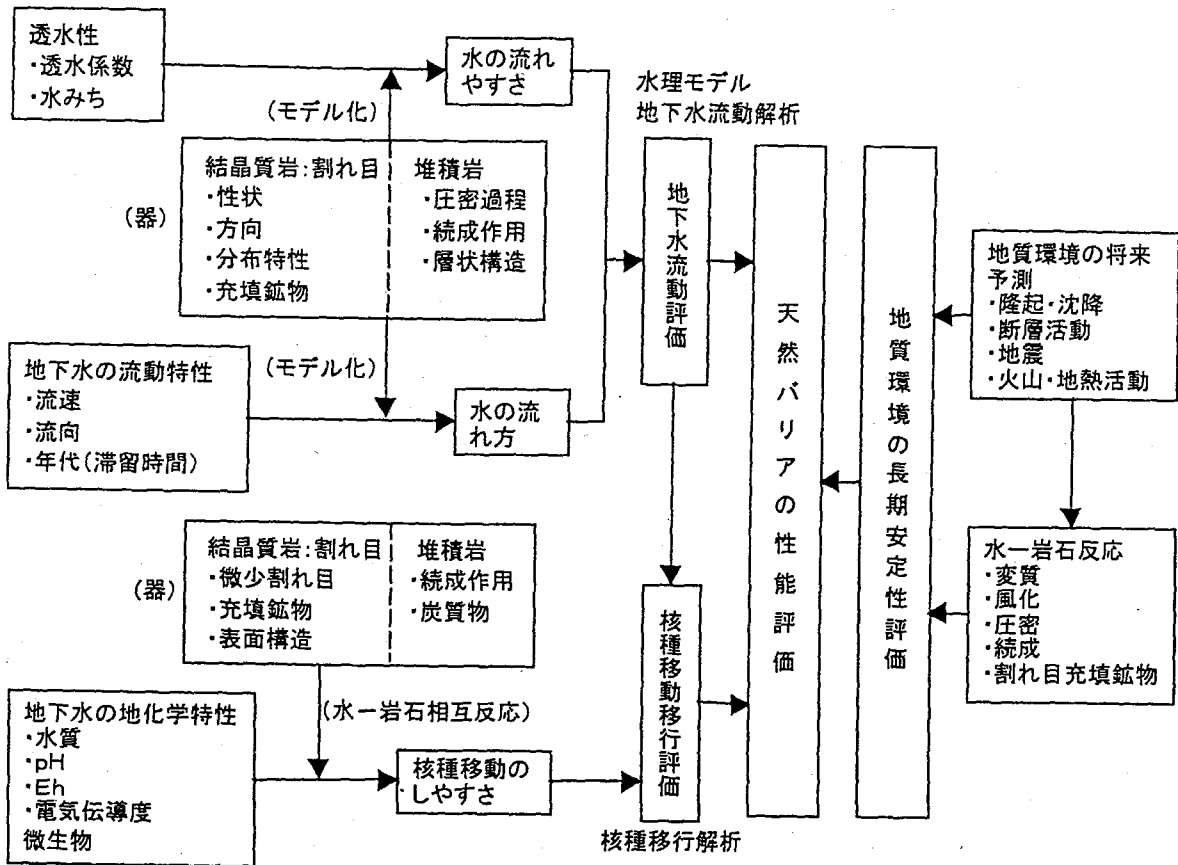


Fig. 1 Procedure of investigation and evaluation of natural barrier

2.1.1 地質環境特性の調査・評価

バリア性能評価における地下水流動の評価は、対象岩盤の地下水の流れやすさ(透水性)、どのように水が流れているか(地下水流動特性)といった2つの側面から判断される。

透水性に関しては、透水係数や水みちといったパラメータや概念が重要であり、地下水流動特性に関しては地下水流速・流向、地下水年代(滞留時間)等が重要となる。地下水理特性調査から得られたデータを基にモデル化がなされ、最終的には地下水流動解析、核種移行解析によりシステムとしての安全評価がなされる。この際、結晶質岩においては、地下水の流れやすさを決定し、実際に地下水が流れる場合に通路となる割れ目等の地質構造の評価が必要であり、特に水みちとなりうる割れ目の抽出や連続性、や間隙分布、膠結鉱物等の評価が重要であり、調査の方法も上記の特徴を考慮したものとなる。

核種の遅延現象においては割れ目充填鉱物、変質鉱物への吸着や微小割れ目への拡散等も重要な影響要因と考えられる。堆積岩においては続成鉱物や膠結鉱物などと

地下水との相互反応が地下水組成の形成に影響を与えるものと考えられる。このため、微小割れ目の記載と評価、続成鉱物や割れ目充填鉱物への核種の吸着のメカニズム、地下深部を模擬した環境下での核種移行に関するパラメータ(例えば分配係数)の取得方法の開発やデータ取得が重要と考えられる。

地下水の地化学特性は核種の移行に影響を与えることが予想され、地下水の組成は地下水の通路となる岩石、鉱物や割れ目を充填する鉱物と地下水との相互反応により形成されるものと考えられる。特に、核種の移行のしやすさの観点からはpH、Eh(酸化還元電位)などが重要なパラメータとなるものと考えられる。

地下深部における地化学的現象に関与すると考えられる微生物の影響の評価も重要な課題である。微生物は天然バリアの他にも、人工バリアの劣化にも関わっている可能性があることから地下微生物調査の重要性は増すものと考えられる。現在考えられている微生物による影響を下記に示す。

- ① 微生物の腐食作用によるオーバーパックへの影響

- ② 微生物と人工バリア材料との反応による人工バリア内の核種移行への影響
- ③ 有機物などの分解によって発生したガスによる処分施設への影響
- ④ 地層中に存在する微生物（地下に固有、もしくは掘削などにより人為的に持ち込まれたもの）による天然バリア中での核種移行への影響

地下施設を設計・施工するには、地下深部岩盤の力学的性質の調査・評価が重要となる。特に、空洞掘削時における地圧対策、処分施設の設計深度・空洞の形状・離間距離などの決定においては詳細な力学的物性値の取得が不可欠となる。

2.1.2 地質環境の長期安定性の調査・評価

処分の安全性の評価においては、長期的な安全性の確保が重要であり、特に、地層処分の成立性検討、サイト選定、サイト特性評価においては処分後の長期的な安全性評価の観点から地殻変動や火山活動などの地質環境要因の長期的な変化の評価とそれらが地層処分に与える影響の検討が重要である。

ここでは我が国における地質環境要因の長期的な変化の将来予測の考え方について述べる。

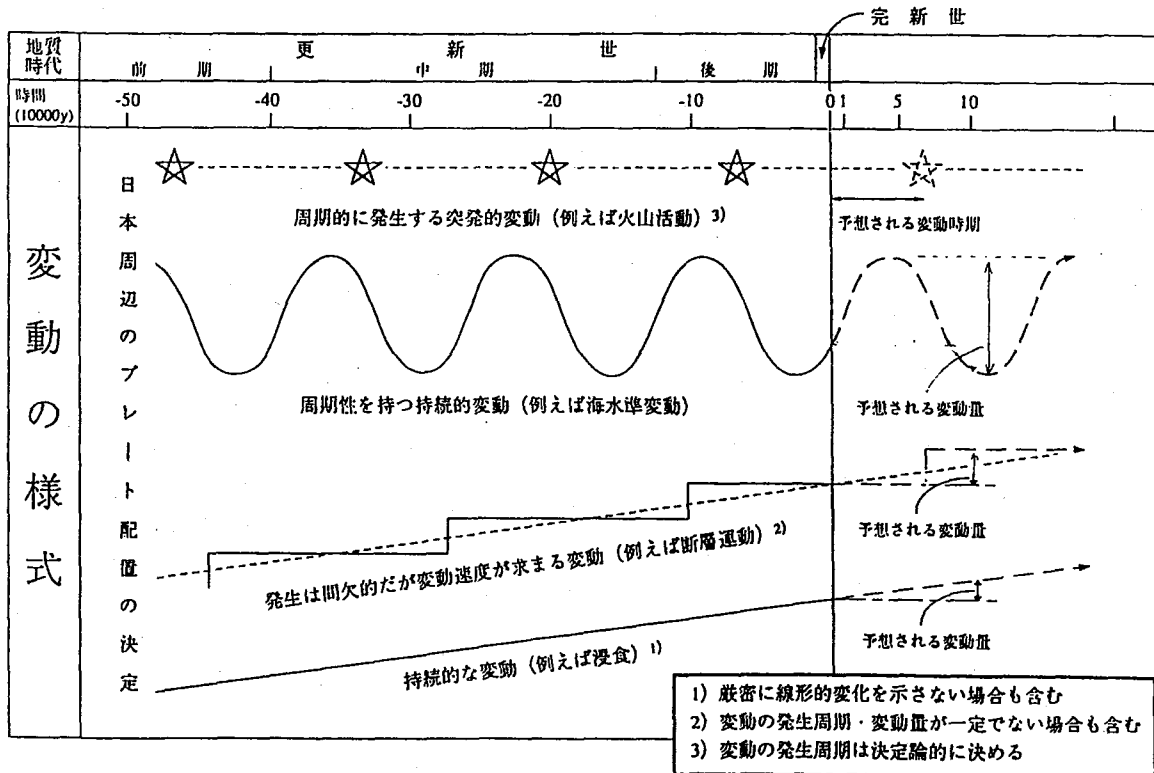
将来的な地質変動の予測に関しては① 確率論による方法、② 外挿による方法、③ 類推による方法、④ モデルによる方法が提案されている[3]。

長期的な予測に関しては現状では過去の変動を検討し、

その中から普遍性、法則性を見いだすことにより過去の現象を将来へ外挿する方法が受け入れられている。その際に特に重要なのは、どの位の過去までさかのぼって現象を検討すれば良いのか、また、過去の現象がどのような変動特性を有しているかを明らかとすることである。各現象の発生の仕方の特徴を Fig.2 に示す。

これらの地質環境要因のうち、火山・地熱活動、断層活動等は時間的に突発的に発生する事象であり、過去の活動の場の時空分布特性を明かすることにより、いつ、どこでどの程度の活動が起こるかを予測することが重要である。一方、隆起運動や海水準変動などは緩慢な事象であり、変動速度や変動の様式を求めることにより特に変動の著しい地域を抽出することが重要である。

地層処分の安全評価期間については、わが国においてはまだ示されていない。このため現状においては評価すべき期間というより外挿的手段による予測により地質学的に意味のある評価が可能な期間として設定するのが妥当であろう。第四紀以降の断層の活動様式、地盤の隆起速度、プレート境界の移動等の検討結果によればわが国の地殻変動は最近約 50 万年間はほぼ同様のテクトニクスに支配されている。このため、ここでは対象とすべき地質環境条件を支配するテクトニクスのうち大部分の現象発現の背景となっているプレート運動の継続時間を考慮して、評価が可能な期間という観点から 50 万年前以降の地質現象を検討することにより外挿法の観点から今



- 1) 厳密に線形的変化を示さない場合も含む
- 2) 変動の発生周期・変動量が一定でない場合も含む
- 3) 変動の発生周期は決定論的に決める

Fig. 2 Pattern of geological movement and strategy of extrapolation

後約 10 万年間[4]の将来予測のための考え方を検討する。火山活動においては、プレート運動との時間的な関係が明確ではないことから第三紀後期以降の現象を検討する。

放射性核種が処分場から人間環境へ放出されるシナリオとしては、直接人間環境へ放出される「接近シナリオ」(核種の直接放出)と地下水を媒体として放出される「地下水シナリオ」(核種の間接放出)とがあり、処分場の地質環境条件とは Fig.3 で示される関係がある。

「接近シナリオ」に影響を与える可能性のある地質環境要因としては以下の現象が考えられる。

- ① 火山活動による処分場の破壊と放射性核種の地表への放出
- ② 隆起運動による処分施設の地表への露出による放射性核種の直接放出
- ③ 断層運動に伴う岩盤

一方、間接放出に至るシナリオにおいて特に地下水流動特性に影響を与える可能性のある事象として以下が考えられる。

- ① 隆起運動および、隆起運動に伴う侵食作用の加速による地形変化による地下水流動変化

- ② 断層活動による処分場の破壊と破碎帯の形成による新たな水みちの形成による地下水流動特性の変化
- ③ 火山活動、地熱活動に伴う地下水の熱水対流運動
- ④ 海水準変動に伴う地下水流動特性変化
- ⑤ 地震時における間隙水圧の急激な上昇に伴う放射性核種を含む地下水の地表への湧出等がある。

2.2 調査項目と調査手法

2.1 で述べた考え方に従い、実施される具体的な調査の項目と調査手法について述べる。

調査項目は、2.1.1, 2.1.2 に述べられた考え方に従えば、

- ・地質環境の長期予測に資する調査
- ・調査地の水理特性把握に資する調査
- ・調査地の地化学特性把握に資する調査
- ・調査地の力学特性に資する調査

に大別される。実際に調査で得られた結果は様々な目的に用いられる。たとえば、地質構造調査においては割れ目の分布特性は水理特性評価に、割れ目の充填鉱物は地下水の化学組成の推定に、微小割れ目や充填鉱物組成は核種移行評価に用いられる。また、トレンチ調査の結果

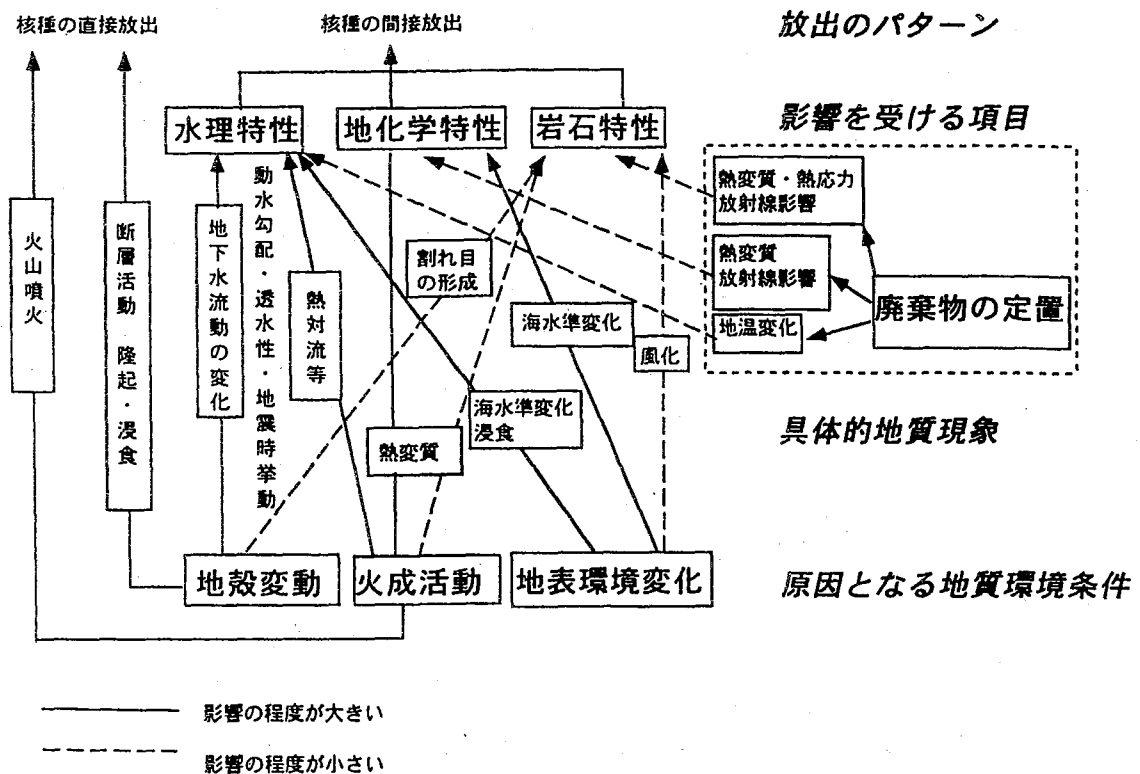


Fig. 3 Relevancy between long-term stability of geological conditions and a scenario of safety assessment.

は直接岩盤を露出させることにより、岩盤の力学特性、風化の程度、割れ目の分布特性等の評価に用いるとともに、断層と上載地層との切り切れの関係から断層の活動性が評価される。以下では手法の重複を避けるため、調査の分野毎に手法を得られるパラメータとともに記述する。得られたパラメータがどのように評価に用いられるかについては2.1の調査の考え方を参照されたい。

2.2.1 地下水理特性調査

地下水理特性調査としては以下の調査が実施される、透水係数を透水試験（原位置、室内）、フローメータ検層により、また間隙水圧を地下水位測定、間隙水圧測定により流向・流速を流向・流速測定、フローメータ検層、トレーサー試験により取得する。

2.2.2 地質・地質構造特性調査

地質・地質構造特性調査は、その目的、スケール、精度、調査の段階などの観点から、リモートセンシング技術（衛星など）、地表調査技術、トレンチ調査技術、物理探査技術、ボーリング孔を利用した調査技術（ボーリング掘削技術を含む）、坑道を利用した調査技術、室内試験、環境影響評価技術、長期計測技術に概略分類される。得られるパラメータは岩石の種類、岩体の規模、地質構造（割れ目、破碎帯の分布特性を含む）、断層の活動年代、圧密、続成、風化、変質の程度等である。

2.2.3 地化学特性調査

地化学特性調査としては、岩盤地化学特性調査（充填鉱物の化学分析）、地下水の地化学特性調査（パラメータとしては水温、電気伝導度、pH、Eh、溶存酸素、一般水質、微量元素、溶存有機物、安定同位体（D, ^{18}O ）、放射性元素（ ^3H , ^3He , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{129}I , ^{222}Rn ）、溶存ガス）がある。放射性元素の壊変速度等を利用して求められる地下水の年代、すなわち地下水の滞留時間（降水が地下に浸透し、大気との接触が遮断されてからの経過時間）は、地下水の流動場を把握するための重要な情報となる。

2.2.4 核種吸着特性調査

核種移行に関する重要なパラメータである分配係数の測定手法としては、バッチ法、カラム法、拡散法、トレーサー法、安定同位体利用法等がある。

2.2.5 地下微生物調査

微生物調査法としては、顕微鏡による存在する微生物の状態や数の確認、微生物を培養し機能により微生物を類別しその存在量を測定する方法、試料から直接DNAを抽出する方法などがある。パラメータとしては微生物の種類や存在量があげられる。

2.2.6 力学特性調査

力学特性調査としては、室内岩石試験、物理試験（比重、吸水率、含水量、有効間隙率、超音波速度、熱的性質）、力学試験（静的・動的強度特性、変形特性、クリープ特性）、

原位置試験（強度試験、変形試験）、地圧測定計測（応力補償法、応力解放法、水圧破碎法、AE法、変形変化率法、DSA法、音弾性法）が実施される。

2.2.7 地質環境の長期安定性評価のための調査

地質環境の長期安定性評価のためには様々な調査が調査の段階、スケール、対象とする地質現象の違いにより組み合わせて用いられる。候補地選定段階では文献調査が主となるが、ここでは候補地調査で現地において適用される手法について主な地質現象毎に述べる。

断層・地震：分布調査、空中写真判読、トレンチ調査（堆積物の年代測定を含む）、物理探査（反射法、レーダー法、音波探査など）、地震観測、水位観測

<パラメータ> 活動履歴（活動時期、再来周期、変位速度）、センス、地震の発生頻度・規模

隆起・沈降：地質構造調査、空中写真判読（侵食小起伏面の調査を含む）、段丘面調査（テフラ分析、堆積物の年代測定などを含む）、堆積物の層相解析等

<パラメータ> 隆起速度、隆起の様式、ブロックの規模

火山・地熱：分布調査、空中写真判読、年代測定、地温勾配、温泉分布、温泉水の水質・同位体分析、副次的火山、地震波トモグラフィー
<パラメータ> 火山の年代値、火山活動履歴、火山噴出量、地温勾配、広域応力場、温泉水の水質（pH、安定同位体等）、弾性波速度

3 地層処分のマスタースケジュールと調査手順

地質・地下水調査は、調査目的、調査のスケジュール、対象となる岩体の種類、深度、範囲等によりその手順が異なってくる。本項では、高レベル放射性廃棄物処分のための地質・地下水特性調査計画（手順）について、その枠組みを決定する要因を整理するとともに、各調査各段階ごとに要求されるさまざまな要件に答えるべく実施される地質・地下水調査の概要について示す。

サイト選定のための調査計画を立案するには、下記的前提条件を考慮することが必要である（Table 1）。

- ・ マイルストーン
- ・ 調査項目と主要提出書類
- ・ サイト選定及びサイト特性調査で準拠すべき基準類とその要件
- ・ 各調査段階ごとの調査の考え方
- ・ 調査の成果物

Table 1 Siting procedure of HLW disposal facility

マイルストーン	調査項目と主要提出書類 <input type="checkbox"/> 地質環境調査データの反映が重要となる事項	サイト選定およびサイト特性調査で準拠すべき基準類とその要件
<p>処分候補地選定段階</p> <p>国による確認 ▽</p>	<p>調査項目と主要提出書類</p> <p>(1)隆起/侵食、(2)断層運動、(3)火山活動、(4)母岩の特性、(5)資源賦存状況</p> <p>↓</p> <p>処分候補地の要件への適合性評価</p> <p>↓</p> <p>処分候補地調査計画書</p>	<p><処分候補地の要件></p> <p>(1)地質環境の適合性 以下の自然現象の活動的な証拠が見られない地域であること。 ①隆起/侵食②断層運動③火山活動</p> <p>(2)母岩の特性 十分な広がりおよび強度を持つ岩体が明らかに存在しない地域でないこと。</p> <p>(3)資源賦存状況 有用資源の存在が明らかな地域でないこと。</p> <p>(4)環境保護・重要史跡等 国および地方公共団体により保護・保全されていない区域であること。</p>
<p>処分予定地選定段階</p> <p>国による確認 ▽</p>	<p>(1)隆起/侵食、(2)断層運動、(3)火山活動、(4)母岩の特性(①地質・地質構造②地盤構造③地熱構造④水理地質構造⑤水質形成機構)、(5)資源賦存状況、(6)海水準変動、(7)気候変動</p> <p>↓</p> <p>処分候補地調査書</p> <p>↓</p> <p>予備的な安全評価</p> <p>↓</p> <p>予定地の選定基準への適合性評価</p> <p>↓</p> <p>処分施設概念設計書 地上詳細調査計画書</p> <p>環境調査書</p>	<p><処分予定地の選定基準></p> <p>(1)地質環境の適合性 以下の自然現象の将来予測評価を実施し、これらの現象が発生しないか、発生しても影響が十分低い見通しを有する地域であること。 ①隆起/侵食②断層運動③火山活動</p> <p>(2)母岩の特性 十分な広がりを持ち、以下の地質環境条件が人工バリア機能で、地層処分により合理的に高レベル廃棄物の閉じ込めと隔離の目的を達成することが可能な地域であること。 ①地質・地質構造②地盤構造③地熱構造④水理地質構造⑤水質形成機構</p> <p>(3)資源賦存状況 有用資源が存在しないか、あっても明らかに量および品位的に開発等の可能性が予想されない地域であること。</p> <p>(4)環境保護・重要史跡等 国および地方公共団体により、保護・保全されていない区域であり、地元へ環境保全対策を講じても、処分場の立地が望めない所ではない地域であること。</p>
<p>処分地選定段階(地上詳細調査)</p> <p>地下特性調査施設の詳細レイアウト決定 ▽</p>	<p>(1)隆起/侵食 (2)断層運動 (3)火山活動 (基本的に調査済)</p> <p>(4)サイトの特性 ①地質・地質構造 ②地盤構造 ③地熱構造 ④水理地質構造 ⑤水質形成機構</p> <p>(5)資源賦存状況 (6)環境・重要史跡 (7)海水準変動 (8)気候変動 (前段階で調査済)</p> <p>↓</p> <p>地上詳細調査書</p> <p>↓</p> <p>安全評価</p> <p>↓</p> <p>地下特性調査施設位置選定(地上施設予定地、処分場予定地の位置選定を含む)</p> <p>↓</p> <p>地下調査施設詳細設計書 地下特性調査施設によるサイト特性調査計画書 地下特性調査施設による処分技術の実証計画書</p> <p>環境調査書</p>	<p><安全審査基準></p> <p>(1)サイト特性 サイト特性調査用地下施設の設置される区域は、想定される地震その他の荷重を厳しく評価しても、安全性を十分確保できる区域であること。</p> <p>(2)母岩の岩石・岩盤物性 母岩の岩石・岩盤物性は各種試験に基づく解析結果から、十分な安全性を有すること。</p> <p>(3)地下水の特性 地下水の水質および地下水流動系は、評価上重要な核種の測定および調査結果が、施設への構成要素への影響および放射性物質の挙動等を評価しても十分であるような安全性を有すること。</p> <p><地下特性調査施設の詳細設計指針></p> <p>(4)地下特性調査施設の位置決定、詳細レイアウトおよび詳細設計を可能とするデータを最終的に取得すること。</p>
<p>処分地選定段階(地下施設での調査)</p> <p>国による確認 ▽</p> <p>事業許可申請 ▽</p>	<p>(1)隆起/侵食 (2)断層運動 (3)火山活動 (最終的な取りまとめ)</p> <p>(4)地下特性調査施設での実証 ①地質・地質構造 ②地盤構造 ③地熱構造 ④水理地質構造 ⑤水質形成機構</p> <p>(5)資源賦存状況 (6)環境・重要史跡 (7)海水準変動 (8)気候変動 (最終的な取りまとめ)</p> <p>↓</p> <p>サイト特性調査書</p> <p>↓</p> <p>安全評価</p> <p>↓</p> <p>処分施設基本設計書 事業許可申請書</p> <p>処分技術実証検討書</p> <p>環境影響評価書</p>	<p><安全審査基準></p> <p>(1)地下処分場特性 ①地下処分場の区域は、想定される地震その他の荷重を厳しく評価しても、安全性を十分確保できる区域であること。 ②地下処分場の母岩の岩石・岩盤物性は各種試験に基づく解析結果から、十分な安全性を有すること。 ③地下処分場を取り巻く地下水の水質および地下水流動系は、評価上重要な核種の測定および調査結果が、施設への構成要素への影響および放射性物質の挙動等を評価しても、十分であるような安全性を有すること。</p> <p><サイト特性調査の指針></p> <p>(2)地下特性施設建設工事および建設された施設を用いた、サイト特性調査の指針。 ①地表地質調査、地表水文調査、地表物理探査、試験調査、検層およびトレンチ調査より取得したデータで構築した以下モデルが、確認されること。 i 地質・地質構造 ii 地盤構造 iii 地熱構造 iv 水理地質構造 v 水質形成機構</p> <p><処分場地下施設の詳細設計指針></p> <p>(3)処分場地下施設の位置決定、詳細設計を可能とするデータを取得すること。</p>

3.1 マイルストーン

調査計画を立案する際には、(その2)で示した「処分候補地の選定」「処分予定地の選定」「処分地の選定」の各段階でのマイルストーンに定める必要がある。

3.2 調査項目と主要提出書類

主要提出書類において記述されるべき調査項目を明示することが必要となる。各段階における調査の特徴が、この調査項目に反映される。

3.3 サイト選定及びサイト特性調査で準拠すべき基準類とその要件

各段階で準拠すべき基準は以下の通りである。

- ・処分候補地選定段階：処分候補地の要件
- ・処分予定地選定段階：処分予定地の選定基準
- ・処分地選定段階（地上詳細調査期間）：安全審査基準，地下特性調査施設の詳細設計指針
- ・処分地選定段階（地下施設での調査）：安全審査基準，サイト特性調査の指針，処分場地下施設の詳細設計指針

処分候補地の要件及び処分予定地の選定基準に対しては、「地質環境の適合性」、「母岩の特性」、「資源賦存状況」、「環境保護・重要史跡等」の要件を提示する。地上詳細調査による処分地選定段階の安全審査基準に対しては、「サイト特性」、「母岩の岩石」、「岩盤物性」、「地下水の特性」の要件を示す。地下施設での調査による処分地選定段階の安全審査基準に対しては、「地下処分場の特性」が重要な要件となる。

地下特性調査施設及び処分場地下施設の詳細設計に対しては、位置決定と詳細レイアウトを可能とする設計用データが必要となる。また、サイト特性調査及び処分技術の実証に対しては、処分地選定の地上詳細調査段階までのデータを用いて描いた地下構造の確認のためのデータが必要となる。

3.4 各調査段階ごとの調査の考え方

各段階での調査の考え方は下記の通りである。

① 処分候補地選定段階

基本的に処分候補地として、問題のある地域を除く作業と位置づける。

② 処分予定地選定段階

広い区域の地表及び地下深部の概要を現地調査により把握し、問題のある地域を除いた結果を確認するとともに、予備的安全評価により、次段階以降の調査の方向性を定める作業と位置づける。ここで報告される予備的安全評価報告書の内容が、最終安全審査の結論に反しない内容を達成する調査レベルであることを必要とする。

③ 処分地選定段階（地上詳細調査）

特に深度方向についての情報取得に重点を置いて、限られた区域の詳細を把握し、地質・地質構造、水理地質構造、地盤・熱構造、水質形成機構の各モデルを構築するとともに、処分場地下施設区域の選定を行う作業と位置づける。ここで取得されたデータは、事業許可申請書、安全評価審査用資料及び地下特性調査施設詳細設計資料作成を目的とした精度の調査レベルを必要とする。

④ 処分地選定段階（地下施設での調査）

前段階で構築された各モデルに反するデータがないことを確認するとともに、処分場地下施設区域の詳細設計を可能にするデータ取得作業と位置づける。処分場地下施設予定位置の地質・地質構造等を確認するとともに、その処分場地下施設建設開始に備えた、事業許可申請書、安全審査用資料及び処分場詳細設計資料作成を目的とした精度の調査レベルを必要とする。

3.5 調査の成果物

各段階における基本的な調査範囲の広さを提示し、3.3で示した調査の要件ごとに必要な調査の成果物を提示する。また、必要なものについては、成果物の縮尺も示す。

4 調査手順事例

サイト選定のための地質・地下水調査手順は、対象となる岩体の種類によりその内容が異なる。したがって、処分予定地選定段階以降は、(その2)で設定した地質環境条件である堆積岩と結晶質岩（花崗岩）の2種類の岩種を対象にした事例検討を実施した。ボーリング調査の密度、物理探査の測線間隔等は対象とするサイトの地質環境条件や考慮すべき破碎帯の規模により変わりうるものと考えられる。ここでは事例検討による各段階毎の調査の概要を以下に示す。また、調査から得られる成果物の事例検討結果を、各調査段階別にTable 2にまとめる。

4.1 処分候補地選定段階

処分候補地選定段階では文献調査、リモートセンシング及び空中物理探査等、現地に立ち入らない方法で、処分候補地を選定する。特に、「最近の火山活動」、「著しい隆起地域」、「活断層の有無及びその位置」、「有望な地下資源の存在」、「大規模断層の有無及びその位置」、「地質構造の広がり」と構成する地層及び岩相等に注意を要する。

4.2 処分予定地選定段階

この段階の調査は、物理探査と地表踏査を実施する。基本的調査では、地表地質踏査・ボーリング・物理探査

Table 2 Result obtained in each steps of survey (case study)

調査段階	成果物 (◎: 主要成果物)
処分候補地選定	<p>【調査範囲：1,000 km²】 [地質環境の適合性及び母岩の特性調査成果図面・資料] ◎位置図◎地質図・水系図◎地形リニアメント解析図◎リモートセンシング解析図◎空中物理探査解析図◎第四紀上下変位量図◎活断層分布図◎火山フロント、第四紀及び第三紀火山分布図、温泉分布図◎震源分布図 [有用資源調査成果図面・資料] ◎金属、非金属、石炭、石油等の天然鉱床分布図 [土地規制関係調査成果図面・資料] ◎国立、国定、県指定公園図◎重要史跡・文化財位置図◎広域土地利用状況図</p>
処分予定地選定	<p>【調査範囲：150 km²】 [地質・地質構造、隆起/侵食、断層運動調査成果図面・資料] ◎位置図・地形リニアメント解析図・リモートセンシング再解析図・空中物理探査再解析図・接峰面図・水系図・起伏量図◎地質図 (1/25,000 程度) ◎地質断面図 (1/25,000 程度) ◎ルートマップ (1/5,000) ◎岩相分布図 (1/25,000 程度) ・地震探査反射断面図・弾性波探査速度分布図・見掛け比抵抗分布図◎ボーリング柱状図◎地質柱状対比図◎断層トレンチスケッチ図 [地盤構造調査成果図面・資料] ◎ボーリング岩盤等級柱状図 (含ボーリング検層データ) ・岩石物理試験データ・岩石化学試験データ [地熱構造、火山活動調査成果図面・資料] ◎温泉分布図◎地温分布図・岩石熱特性データ [水理地質構造調査成果図面・資料] ◎水理地質図◎水理地質断面図◎水理学的なボーリング柱状図・地下水等高線図◎透水係数分布図・透水係数データ・降水量データ・蒸発散量データ・河川流量データ・湧水量データ・水位データ・流向・流速測定データ・間隙水圧データ◎水質データ (同位体、不活性ガス、反応性ガス、水温、塩分濃度) [水質形成機構調査成果図面・資料] ◎水質データ (酸化還元電位、水素イオン濃度、電気伝導度、主要イオン及び微量イオン) ◎岩石の特定造岩鉱物データ [有用資源調査成果図面・資料] ◎金属、非金属、石炭、石油等の鉱床分布図 [土地規制関係調査成果図面・資料] ◎国立、国定、県指定公園図・重要史跡・文化財位置図◎土地利用状況図</p>
地上詳細調査	<p>【調査範囲：50 km²】 [地質・地質構造調査成果図面・資料] ◎位置図・地形リニアメント再解析図・リモートセンシング再解析図・空中物理探査再解析図・接峰面図・水系図・起伏量図◎地質図 (1/10,000 程度) ◎地質断面図 (1/10,000 程度) ◎ルートマップ (1/5,000) ◎岩相分布図 (1/10,000 程度) ・地震探査反射断面図・弾性波探査速度分布図・見掛け比抵抗分布図◎ボーリング柱状図◎地質柱状対比図◎断層トレンチスケッチ図 [地盤構造調査成果図面・資料] ◎ボーリング岩盤等級柱状図 (含ボーリング検層データ) ・岩石物理試験データ・岩石化学試験データ・初期地圧測定データ・孔内水平載荷試験データ [地熱構造調査成果図面・資料] ・温泉分布図◎地温分布図・岩石熱特性データ [水理地質構造調査成果図面・資料] ◎水理地質図◎水理地質断面図◎水理学的なボーリング柱状図・地下水等高線図◎透水係数分布図◎間隙水圧分布図・降水量データ・河川流量データ・湧水量データ・蒸発散量データ・透水係数データ・水位データ・流向・流速測定データ◎水質データ (同位体、不活性ガス、反応性ガス、水温、塩分濃度) ・間隙水圧データ [水質形成機構調査成果図面・資料] ◎水質データ (酸化還元電位、水素イオン濃度、電気伝導度、主要イオン及び微量イオン) ・岩石の特定造岩鉱物データ</p>
処分地選定	<p>【調査範囲：20 km²】 [地質・地質構造調査成果図面・資料] ◎位置図◎地質図 (1/5,000 程度) ◎地質断面図 (1/5,000 程度) ◎岩相分布図 (1/5,000 程度) ◎立坑及び水平坑道地質展開図 (1/200 程度) ◎ボーリング柱状図◎地質柱状対比図◎断層スケッチ図 [地盤構造調査成果図面・資料] ◎ボーリング岩盤等級柱状図 (含ボーリング検層データ) ◎坑内ボーリング孔間及びボーリング孔と立坑・坑道間トモグラフィ解析断面図◎節理系解析資料◎坑内原位置岩盤物性試験データ・岩石物理試験データ・岩石化学試験データ [地熱構造調査成果図面・資料] ・岩石熱特性データ [水理地質構造調査成果図面・資料] ◎水理地質図◎水理地質断面図◎水理学的なボーリング柱状図・地下水等高線図◎透水係数分布図◎間隙水圧分布図◎岩盤節理分布図◎坑内湧水量データ・蒸発散量データ◎透水係数データ・水位データ・流向・流速測定データ◎水質データ (同位体、不活性ガス、反応性ガス、水温、塩分濃度) ・間隙水圧データ [水質形成機構調査成果図面・資料] ◎坑内及びボーリング孔内水質データ (酸化還元電位、水素イオン濃度、電気伝導度、主要イオン及び微量イオン) ・岩石の特定造岩鉱物データ</p>

で地質・地質構造の概要を把握し、トレンチ及び断層調査ボーリングで地表及び地下深部の断層の存在と活動性を確認する。重要な断層で処分予定地選定に影響する場合は、深部延長部確認の目的で、断層調査ボーリングを追加する。この場合、技術的に可能な範囲で、調査目的に最も適した角度で実施する。

4.3 処分地選定段階（地上詳細調査）

処分予定地選定段階で基本的に全ての沢と尾根の踏査を実施し、かつ物理探査測線からのデータ及びボーリング調査から得られたデータにより、当区域の地質環境の概要が把握されている。この段階ではこの調査結果に基づき、処分予定地を対象としたより狭い区域のより詳細なデータと深度方向の詳細なデータを取得し、上記資料の作成を可能にさせるものとする。

この段階の基本的調査は、地表地質精査、ボーリング調査、物理探査及びトレンチと断層調査ボーリングからなる。処分予定地選定段階で把握された当区域の地質環境の概要を基に、より小規模な断層の把握及び密度を高めたボーリング調査から取得される三次元的地下空間の地下水及び岩石の特性を把握するものとする。重要な断層で地下特性調査施設予定地選定に影響する場合は、深部延長部確認の目的で、断層調査ボーリングを追加する。この場合、技術的に可能な範囲で、調査目的に最も適した角度で実施する。

新たに孔内載荷試験及び初期地圧測定等の孔内原位置試験を実施し、地下特性調査施設詳細設計のための岩盤データを取得する。予定地内の立坑計画位置では、予め立坑予定岩盤の状況を把握する目的でパイロットボーリングを実施する。

上記調査結果に基づき地下特性調査施設予定地を選定し、詳細レイアウト・設計を行う。

4.4 処分地選定段階（地下施設での調査）

地上詳細調査で実施された、地表地質精査、ボーリング調査、物理探査及びトレンチと断層調査ボーリングにより、影響を及ぼす断層は明らかにされ、少なくとも処分場地下施設の設置想定区域から基本的には除かれている。地下施設での調査では、地上詳細調査で把握された地質・地質構造、地盤構造、地熱構造、水理地質構造、水質形成機構を原位置で確認する。これより、地表からの調査では技術的な制約下にあった、低透水性箇所での

地下水サンプル取得、システムティックな割れ目系の空間情報の取得、及び岩相と物性値での対応で把握された各構造の原位置での空間的情報取得により、処分場地下施設の詳細設計が可能となる。

この段階では、立坑及び坑道の掘削がなされ、坑壁観察、その坑道から実施される水平ボーリング及びトモグラフィ調査が行われる。これより、処分場地下施設設置想定区域の詳細地下空間における岩石の分布状況、地上からの調査で確認できないレベルの小さな断層と密度の高い割れ目系からなる岩盤状況、及び原位置での湧水と水質からなる水理地質特性を把握するものとする。また、坑壁観察において、空間的に支配的な割れ目系及び湧水の見られる割れ目系を把握し、統計的手法も導入して処分場地下施設設置想定区域内の岩盤構造及び水理地質構造を明らかにする。

5 まとめ

本研究は我が国を代表する地質環境条件を複数設定し、現状の技術により処分施設概念を構築しその安全性について検討を行うものである。(その3)ではサイト選定に関わる調査・評価において実施される地質・地下水調査についてマスタースケジュールなどの要件を考慮しながら各段階毎に調査の項目、精度、量、手順の考え方等について検討を行った。

参考文献

- [1] 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 TN 1140 92-081 (1992).
- [2] 田中和広, 宮川公雄, 千木良雅弘, 鈴木浩一, 駒田広也, 河西基, 馬原保典, 五十嵐敏文, 田中靖治, 安池慎二：深部地質・地下水環境の特性評価—結晶質岩を対象とした調査・評価法の体系化—, 電中研報告, U32, p.57 (1998).
- [3] 田中和広, 千木良雅弘：我が国の地質環境の長期的変動特性評価(その1)—将来予測の考え方と課題—, 電中研研究報告, U96027 (1997).
- [4] 原子力委員会, 原子力バックエンド対策専門部会：高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の今後の進め方について, p.19 (1997).