

書籍「放射性廃棄物処分の原則と基礎」紹介

朽山修*1

講演者は2016年12月に「放射性廃棄物処分の原則と基礎」と題する書籍[1]を上梓した。本書は、放射性廃棄物の処分にこれからたずさわろうとしている人に学んでいただきたい入門的教科書で、低レベルから高レベルに至るさまざまな放射性廃棄物の処分における原則となる考え方と基礎となる知識を概説したものである。講演では、この書籍で目指した放射性廃棄物処分の全体像の俯瞰の意味と、それに合わせて書かれた各章の内容の簡単な紹介を行った。

Keywords: 放射性廃棄物, 処分, 地層処分, 浅地中処分, リスク, シナリオ

1 なぜ放射性廃棄物処分の全体像の俯瞰が大事か

放射性廃棄物の処分の社会的実現に対する最大の課題は、処分の安全性と正当化の議論の専門家による説明が社会に共有されず、社会の協力が得られないことである。放射性廃棄物の処分のことを知っている専門家はごく限られており、社会の圧倒的多数は、何も知らない非専門家であり、処分のことを知らないため、廃棄物の存在そのものを忌避して、処分地の選定は廃棄物の押し付け合いであると誤解して協力を拒否する。

少し、この社会現象の意味について考えてみよう。放射性廃棄物の処分の専門家の使命は、放射性廃棄物のもたらすリスクの性質と程度に応じて最適で過不足のない安全対策を準備して社会に実現することである。専門家は科学者として、リスクの性質と程度を推定し、どのような対策が最適であるかを考え、それに応じた処分システムを社会に実現する。ではこのときのリスクとは何か、安全とは何かを説明しているのが図1である。

リスクとは危害や損失を受ける可能性を意味しており、安全とは許容できないリスクのないことである。リスクを定量的に推定しようとするときには、リスクは、事象が起こったときにもたらされる影響の大きさと事象の起こりやすさの積として表される。放射性廃棄物についていえば、影響は、廃棄物に含まれる放射性物質の放射能が与える健康影響という危害であるが、考えているのは危害の予測であるので、潜在的に危害の原因となるものを、危険性、ハザード、潜在的危険性などと呼んで、影響のかわりに用いる。いま危害を放射線の被ばくによる健康影響と考え、潜在的危険性は、放射性物質の持つ放射能であり、廃棄物に含まれる放射エネルギーが潜在的危険性となる。

リスクあるいは安全の概念で重要な点は、被ばくによる健康影響は、放射性物質が何らかの経路または事象のつながり（これをシナリオと呼ぶ）を通じて人と接近して、外部被ばく、摂取、吸入を通じて人が放射性物質から放出される放射線を被ばくして初めて危害として顕在化するという点である。そのような結果につながる可能性（シナリオの発生確率）が高いほど、リスクが高い状態すなわち危険な状態であり、十分低ければ安全であることになる。

例えば放射性物質がむき出しの気体や液体の形である状態は、人と接近して被ばくを与える可能性が高い状態、すなわち空気や水により放射性物質が人の近傍に運搬される可能性（シナリオの発生確率）が高い「危険な」状態である。処分では、そのような接近が起こらないように安全措置を施し、人との接近の起こるシナリオを限定して（つまり廃棄物に含まれる放射エネルギーが問題となる期間、放射性物質を閉じ込めて人および環境から隔離して）それでも残るリスクが許容できる範囲に収まるようにする。安全措置を施さないときのリスク、施したときにそれでも残るリスク（安全措置の有効性）を評価して、過不足のない安全措置を実現する。

ただし、この際のリスクの評価は、これから起こるであろうことの評価であり予測であるので、評価結果には不可避免的に不確実性が伴う。この不確実性による影響に配慮して用心のため過剰に対策を考え、これを社会に提案するのが専門家の使命である。専門家にとって最も難しいのは、獲得された知識の信頼性（確からしさ）あるいは不確実性の評価と、それに配慮してどれだけ過剰に対策（予防）するか判断であり、「過剰」の十分性については社会の判断に委ねなければならない部分がある。

一方、社会の一般の人々は専門家ではないので、専門家が獲得した知識とそれに対する信頼性をそのまま共有できるわけではない。しかもここで扱うテーマは、すでに便益を得た結果として生まれ、これ以上の便益を生み出さない廃棄物の問題であり、そこからもたらされる放射線による健康影響という負の影響をもたらす可能性（リスク）である。廃棄物の処分という問題も被ばく影響の問題も、日常的に慣れ親しんでいる話題ではない。

不確実性はその人の知識不足に由来するため、非専門家にとっての不確実性は非常に大きく、人は本能的にリスクを忌避しようとする感情を抱くので、不確実性の影響としてリスクを過大評価する。一般的な場合には、「放射性廃棄物」、「放射能」、「廃棄物」という言葉のみが伝えられ、それが保有する知識のすべてとなり、処分におけるすべての安全措置について全く知らないことで、これを不確実であると考え、潜在的危険性としての放射エネルギーそのものをリスクと短絡する。また、被ばく影響もよくわからないので過大評価される。情報の限られた中での「危険」という直感的判断は思い込みとなり、その後の修正（自分の誤りを認めること）を困難とする。とくにその判断を他者に向けて発信した人にとっては修正は非常に難しい。これらの情緒的反応は過剰防衛の行動（極端な忌避）を誘発し、風評被

On the book "Principles and Fundamentals of Radioactive Waste Disposal", by Osamu TOCHIYAMA (tochio182764@nsra.or.jp)

*1 公益財団法人 原子力安全研究協会

Nuclear Safety Research Association (NSRA)

〒105-0004 東京都港区新橋5丁目18番1号新橋パークサイドビル

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会主催第33回バックエンド夏期セミナーにおける講演内容に加筆したものである。

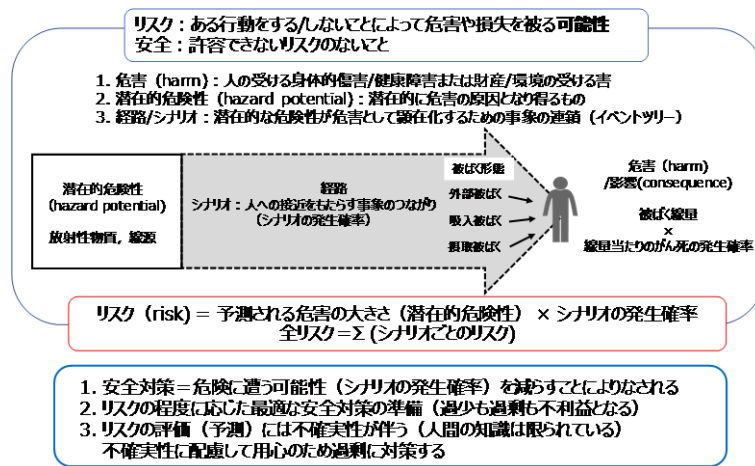


図1 放射性廃棄物処分におけるリスク

害を生むこともあり、これが本来の健康影響を超える負の影響をもたらす。この結果、廃棄物と処分システムは同じように忌避され、社会の協力が得られない結果となる。

放射性物質は、塊状の固体とされれば液体や気体の状態に比べてそのまま環境に分散して人に接近する可能性は大きく減少し、その結果リスクは大きく減少する。自然現象や人為事象により放射性物質が運搬されず、人が接近しなければ被ばくは起こらない。安全上問題となるのは、安全措置が接近につながるシナリオの発生確率を抑制し、リスクをどのように低減しているかであって、その完全性について不確実性は残るが、この不確実性の程度は非専門家が直感的に抱えている不確実性とは大きく異なっている。不確実性という言葉で表現するとわかりにくいですが、個人にとって、知っていることは確実で、知らないことは不確実、知らないことを暗黙知で推測していることはその境界と考えればよい。知っていることと知らないことは個人ごとに異なるが、科学は、再現性・実証性と帰納・演繹論理により体系化された万人に共有されるはずの知識や経験である。専門家の使命は、知識を獲得してこれを社会に共有して貰い、社会がより良い意思決定をするのに貢献することである。その意味で、専門家は放射性廃棄物に対する最適な防護措置を提案する者として、処分という体系の中で、自分が知っていること、知らないことについて理解しておくことが必須となる。

放射性廃棄物の処分を科学技術的側面から考えると、処分の実現のためには、実に多くの分野の学問的成果が必要とされ、それぞれの学問分野はそれぞれの方法論や物差しを持っている。これから放射性廃棄物の処分の研究開発や実施の実務にたずさわる人も、恐らくそれぞれの分野で多くのことを学ばなければならないだろう。しかし、処分の実現に貢献するためには、ただ各分野の人が寄り集まればよいというわけにはいかない。放射性廃棄物の危険性を避けるためには、人の生活における日常感覚からはかけ離れた長期の間、人が生活する環境から廃棄物を隔離しておく必要があり、その実現という目的のためには、さまざまな分野でそれぞれの方法論や物差しにより得られた知識を、放射性廃棄物の処分という目的に合わせた方法論や物差しに合わせて統合する必要があり、これを人々が生活する

実社会において社会問題の解決という形で適用しなければならない。このときには、各分野の知識とその限界(残る不確実性)を理解するとともに、それらの知識が統合された処分システムの安全の議論では、システム全体の知識とその限界が理解されなければならない。木を見て森を見ない人が何人集まっても森は見えない。

この書籍では、このような考え方に基づいて、放射性廃棄物の処分に関する技術的内容や歴史的経緯、現在の処分の政策を述べることはせず、放射性廃棄物の処分という全体像を俯瞰的に把握することを目的として、その原則や基礎を述べることに注力した。

書籍の内容は、具体的には、次の7章で構成されている。

- 第1章 放射性廃棄物と社会
社会は廃棄物をどう扱ってきたか
- 第2章 核反応と放射線
どのような放射性核種がどのようにできるのか
- 第3章 放射線の健康影響と放射線防護
放射線はどのような危害を与えるのか
- 第4章 放射性廃棄物の発生
どこからどのような放射性廃棄物がどれだけ出ているのか
- 第5章 放射性廃棄物処分の基本戦略
どのようにして処分の安全を確保するのか
- 第6章 放射性廃棄物の隔離と閉じ込めの達成
隔離と閉じ込めはどのように達成されるのか
- 第7章 放射性廃棄物処分のセーフティケースと安全評価
隔離と閉じ込めの達成の確認はどのようにしてなされるのか

以下に各章の概要を紹介する。

2 第1章 放射性廃棄物と社会

第1章では、人の生命活動と社会活動から不可避に発生しもはや不要となった有害廃棄物を、人々はどう扱ってきたかを概観し、環境防護の観点から生まれてきた汚染者支払いの原則、予防原則、持続可能性の原則と、廃棄物に対する廃棄物の最小化、廃棄物処分の考え方を紹介する。

- 1.1 廃棄物の管理の基本的考え方
- 1.2 廃棄物と環境
 - 1.2.1 地球環境と生物の進化
 - 1.2.2 文明の発展と環境負荷
 - 1.2.3 環境汚染
 - 1.2.4 汚染者支払いの原則
 - 1.2.5 予防原則
 - 1.2.6 持続可能性
- 1.3 廃棄物の処分を巡る慣行：条約や法令および処分施設
 - 1.3.1 バーゼル条約
 - 1.3.2 ロンドン条約
 - 1.3.3 スーパーファンド法
 - 1.3.4 廃棄物の最終処分場
- 1.4 放射性廃棄物の管理
 - 1.4.1 放射性廃棄物の発生
 - 1.4.2 放射性廃棄物の発生源による分類
 - 1.4.3 放射性廃棄物の危険性
 - 1.4.4 放射性廃棄物管理の考え方
 - 1.4.5 放射性廃棄物の処分の技術的段階

すでに便益を得た結果として生まれ、これ以上の便益を生み出さない廃棄物のもたらすリスクに対する社会の反応は、必ずしも合理的、規範的なものとは言えないが、それでもそのような矛盾に満ちた社会の中で、可能な限り公正で合理的な解決を目指そうと人々は努力してきたのである。この章は答えを得ようとして読むのではなく、これらの歴史から、将来どうあるべきか、どうすればよいかを考えていただく材料として読んでいただきたい。

3 第2章 核反応と放射線

第2章では、放射性廃棄物の危険性をもたらす放射線の発生と性質に関する基礎知識を概説している。

放射性廃棄物はそれが有害な期間、人の生活環境から隔離しておく必要があるが、その有害性は、廃棄物中に含まれている放射性核種が放射線を出す能力（放射能）を持つことに由来している。原子炉中や加速器中などの核反応で放射性核種が生成し、この放射性核種の原子核は不安定で、より安定な原子核に変化するときに粒子線や電磁波を放射線として放出する。この放射線の持っているエネルギーが物質に吸収されて影響が発生する。ここでは、核化学および放射化学の教科書に記載されている内容のうち、放射性廃棄物の有害性（潜在的危険性）に関連する事柄に絞って、放射線、放射能、核反応の基礎知識を概観する。

- 2.1 原子の構造
 - 2.1.1 物質、原子、原子核の構造
 - 2.1.2 電磁気力と化学エネルギー
 - 2.1.3 核力と核エネルギー
 - 2.1.4 宇宙における元素の合成
- 2.2 核反応
 - 2.2.1 放射性崩壊
 - 2.2.2 崩壊則
 - 2.2.3 崩壊連鎖

- 2.2.4 放射性核種の生成
- 2.2.5 燃焼計算
- 2.3 放射線と物質の相互作用
 - 2.3.1 概要
 - 2.3.2 アルファ粒子の吸収
 - 2.3.3 電子の吸収
 - 2.3.4 ガンマ線の吸収

特にこの章では、化学反応と核反応では、反応の起こりやすさ、反応に伴うエネルギーの大きさ、関与する原子・分子または原子核の数が「桁」違いであること（桁）の違いが重要である。放射性崩壊による放射能の減衰は、放射能による潜在的危険性がどれだけの期間持続するか、言い換えれば放射性物質をどれだけの期間隔離し閉じ込めておくべきかの判断につながるものであるが、このことを考えるには、半減期に従う放射能の減衰を単に図2の上図のように描くだけではなく、時間軸と放射能軸の両軸を対数軸として下図のように描く（測る物差しを変える）ことが考え方の上で大事になる。処分では非常に多様な範囲の時間軸、空間軸における開放系、不均質系での現象を扱うことになるので、測る物差しのことを考えることは大変大事になる。

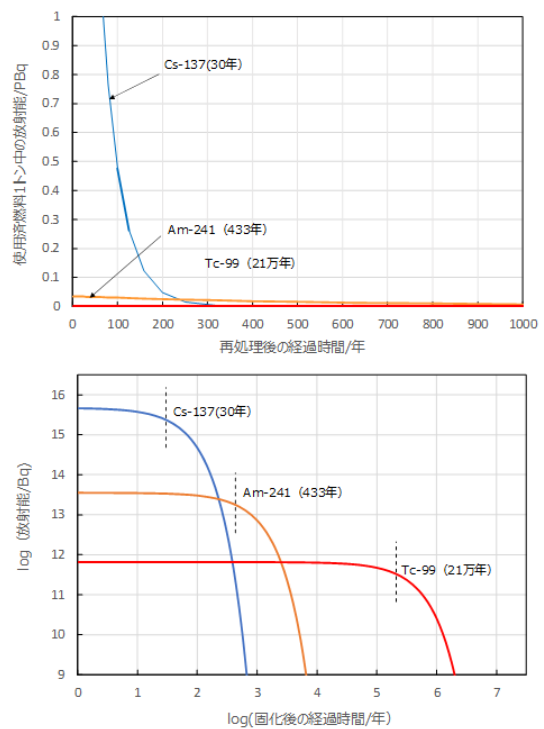


図2 放射性崩壊による放射能の減衰
(線形軸(上)と両対数軸(下)での表記)

4 第3章 放射線の健康影響と放射線防護

第3章では、放射線の健康影響と、それに対する防護の考え方を概説する。放射線は、その高いエネルギーのため、有機化合物からなる人体の構成物に損傷をもたらす、大量の被ばくは即時にその影響が症状として現れる危害をもたらす、少量の被ばくは即時には顕在化しないが、後にがんが発生する確率を高める効果を持つ。有害化学物質による健康影響も遅発的に現れるものが多く、その被害が統計

的に観測されるまで明らかにならずに、対策が遅れるという過去の失敗の経験を持っている。したがって、放射性廃棄物を含む有害廃棄物については、その原因帰属の関係を不確かさとともに理解して、すなわち統計確率論的因果関係として把握して、予防的対策をとることが必要となる。

本章ではとくに、放射線がなぜ、どの程度、どのように危険なのかという放射線の健康影響について説明し、国際的コンセンサスとして勧告されている放射線防護の考え方について紹介する。

- 3.1 バックグラウンド放射線と放射線の健康影響
- 3.2 放射線防護に用いられる諸量
 - 3.2.1 放射線によるエネルギー付与と電離
 - 3.2.2 身体中において定義される線量（防護量）
 - 3.2.3 計測のために定義されるさまざまな計測量（実用量）
- 3.3 照射の生物学的影響
 - 3.3.1 放射線による DNA 損傷と放射線障害の発生
 - 3.3.2 確定的影響
 - 3.3.3 確率的影響
- 3.4 規制勧告と防護基準
 - 3.4.1 被ばく状況
 - 3.4.2 正当化の原則
 - 3.4.3 防護の最適化の原則
 - 3.4.4 線量限度の適用の原則

ここではまず、放射性物質が放射線を出す能力（放射能：単位 Bq）と、この放射線の照射により物質に吸収されるエネルギー（吸収線量：単位 Gy）、人体、組織、臓器への影響（実効線量：単位 Sv）の関係、すなわち、どれだけの放射能を持つ放射性物質と遭遇すれば、どれだけの被ばく線量となるかを説明し、それがどれだけの致死リスクに相当するかを説明する。

放射線防護はこのリスクを可能な限り低減するようになされるが、健康影響がゼロになるような被ばく線量のしきい値はないので、正当化、防護の最適化、線量限度の原則を被ばくが起る状況（計画被ばく状況、現存被ばく状況、緊急時被ばく状況）に対して適用して防護がなされる。防護基準は、考慮されている被ばく状況と防護の原則により決まるもので、「安全」と「危険」の境界を表したり、個人の健康リスクに関連した段階的変化を反映したりするものではないことを理解することが本章の要点である。

5 第4章 放射性廃棄物の発生

第4章では、どのような放射性廃棄物がどのような活動からどれだけ発生しているかを概説する。

- 4.1 放射性廃棄物の発生：概要
- 4.2 原子力によるエネルギー生産
- 4.3 核燃料サイクル
 - 4.3.1 採鉱と粗製錬（milling）
 - 4.3.2 精製錬（purification, refining）、転換（conversion）
 - 4.3.3 濃縮（enrichment）
 - 4.3.4 成形加工（fabrication）、転換（conversion）
 - 4.3.5 原子炉（reactor）の運転

- 4.3.6 使用済燃料貯蔵
- 4.3.7 再処理
- 4.3.8 MOX 燃料加工
- 4.4 核燃料サイクルからの廃棄物
 - 4.4.1 高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）
 - 4.4.2 TRU 廃棄物
- 4.5 原子炉施設から発生する運転・解体廃棄物
 - 4.5.1 放射能レベルの比較的高い原子炉施設廃棄物
 - 4.5.2 放射能レベルの比較的低い原子炉施設廃棄物
- 4.6 研究施設等から発生する廃棄物
 - 4.6.1 研究施設からの廃棄物
 - 4.6.2 放射性同位体の製造と使用から生じる廃棄物
 - 4.6.3 研究施設等からの廃棄物の扱い
- 4.7 アップストリーム工程からの廃棄物
 - 4.7.1 NORM を含む放射性廃棄物
 - 4.7.2 ウラン廃棄物
- 4.8 事故廃棄物

放射性核種は核種ごとに決まる半減期と崩壊様式（放出放射線の種類）を持っているので、放射性廃棄物の潜在的危険性は、含まれる放射性核種の量と組成により決まる。

生成する放射性核種は、核燃料サイクルにおいては、原子炉の核燃料が核分裂して生成する核分裂生成物とそれに生成する中性子が核燃料に吸収されて生成する超ウラン核種が主なものとなる。これらをそのまま固化したものは高レベル廃棄物と呼ばれる。一方、再処理等の施設ではこれらの核種で汚染された諸材料が廃棄物となる。これらは低レベル廃棄物のうち、TRU 廃棄物と呼ばれるものに分類される。

一方、発電用原子炉の運転・解体においては、原子炉から漏れ出る中性子をその周囲の諸材料中の原子が中性子を吸収して生成する放射化生成物が主なものとなる。核種の生成量は、原子炉の直近と離れたところで程度が異なり、そのレベルに応じて、適切な処分法が考えられている。

放射性廃棄物には、これらの他にも、研究施設や放射線利用施設等から発生するものや、燃料を天然ウランから製造するための施設から発生するものなどがある。

6 第5章 放射性廃棄物処分の基本戦略

第5章では、今日、国際的コンセンサスとして認められている、放射性廃棄物の処分の基本戦略を概説する。

- 5.1 放射性廃棄物処分の安全原則
 - 5.1.1 原子力、放射線の利用における安全基準
 - 5.1.2 基本安全原則
 - 5.1.3 放射線リスクを生じる施設と活動に対する責任
 - 5.1.4 放射性廃棄物の発生の正当化とその管理の正当化
 - 5.1.5 防護の最適化
 - 5.1.6 個人のリスクの制限と現在および将来の世代の防護
 - 5.1.7 事故の防止と緊急時の準備と対応
- 5.2 放射性廃棄物の処分に関連する IAEA 安全基準の

要件と指針

- 5.2.1 処分の基本戦略としての閉じ込め・隔離とクリアランス・管理放出
- 5.2.2 処分による現世代と将来世代の防護
- 5.2.3 処分施設のライフタイムと監視のレベル
- 5.2.4 処分施設の安全基準
- 5.3 規制免除, クリアランスと認可排出
 - 5.3.1 規制免除とクリアランスの規準
 - 5.3.2 免除またはクリアランスレベルの決定
 - 5.3.3 気体, 液体の排出の認可
 - 5.3.4 排出限度の決定: 放射線環境影響評価
- 5.4 放射性廃棄物の分類と処分オプション
 - 5.4.1 廃棄物の分類: 危険性の持続時間
 - 5.4.2 廃棄物の閉じ込め: 処分施設の構成と放射性廃棄物の処分前管理
 - 5.4.3 放射性廃棄物の処分前管理
 - 5.4.4 放射性廃棄物の処分
 - 5.4.5 廃棄物の隔離: 埋設深度の選択
 - 5.4.6 浅地中, 余裕深度処分施設の概要
 - 5.4.7 地層処分施設の概要

放射性物質は、安全上問題にならない濃度と量の気体または液体をそのまま環境に放出又は再利用するものを除いては、その潜在的危険性が問題となる期間、**図3**のように塊状固体としていくつかのバリアより構成される地中の処分施設に閉じ込め、この処分施設が外的擾乱（自然事象と人為事象）を受けないように隔離される。処分施設が浅地中に設けられる場合は、地中であることにより、自然事象や人を除く生物活動からの擾乱はある程度避けることができるが、人の一般的な地下利用により処分施設のバリアが破壊される可能性が残る。このため、土地利用制限などの制度的管理により人の行為からの隔離がなされるが、含まれる核種によっては、潜在的危険性が制度的管理を保証する社会制度の継続が期待される期間をはるかに超える場合がある。このような場合には、地層処分のように深度を大きくして、人が接近する機会と方法が限定されるようにする。

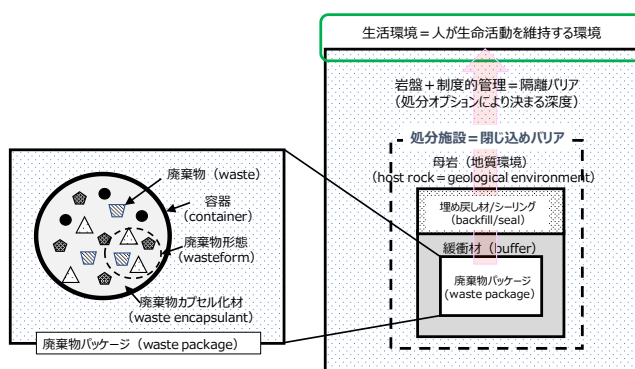


図3 処分施設の構成

7 第6章 放射性廃棄物の隔離と閉じ込めの達成

第6章では、放射性廃棄物中の放射性物質が、その潜在

的危険性が持続する間、定置された場所にとどまり、その場所が種々の外的擾乱を受けず隔離されたままとなることを示すさまざまな分野の科学的知識について概説する。

- 6.1 地球環境における物質の循環
 - 6.1.1 地球の構造
 - 6.1.2 マントル対流とプレートテクトニクス
 - 6.1.3 岩石の循環
 - 6.1.4 地層の形成
- 6.2 地下水の動き
 - 6.2.1 地下水の動き
 - 6.2.2 ダルシーの法則
- 6.3 元素の固液分配と動きやすさ
 - 6.3.1 放射性核種の元素としての性質
 - 6.3.2 環境中の地下水の特性
 - 6.3.3 自然界における元素の固液分配
- 6.4 放射性核種の移行挙動
 - 6.4.1 移流
 - 6.4.2 拡散
 - 6.4.3 移流に伴う分散
 - 6.4.4 収着性多孔質媒体中の物質移行
 - 6.4.5 閉じ込めの達成
- 6.5 閉じ込めのための地質環境と隔離の確保
 - 6.5.1 浅地中処分と地層処分における隔離の確保
 - 6.5.2 好ましい地質環境
 - 6.5.3 地質環境の長期安定性に影響を与える要因
 - 6.5.4 地質環境に著しい影響を与える天然現象の地域的分布と長期的変動の傾向
 - 6.5.5 処分地（サイト）選定における段階的調査の考え方

さまざまな深度の地下に埋設された固体廃棄物については、そこに含まれる放射性核種を生活環境にまでもたらず経路は、侵食やマグマの貫入、人間侵入などの、外的擾乱により廃棄物と人との隔離が損なわれ両者が接近する場合を除いては、廃棄物固体あるいはバリア材、およびそれらが埋設設置された周囲の母岩（地質環境）などの固体中の空隙中に浸透して存在する地下水を媒介として移行する経路が唯一のものである。地下では固体の塊を流動させるほどの風や流水のような動きはないので、閉じこめの完全さは、廃棄物の傍まで浸透して接触する地下水にどれだけの放射性核種が溶けだし、どれだけの量の地下水がどれだけの速度で運搬されるかで決まる。固体から放射性核種がどれだけ溶出するかは、固体マトリクスと放射性核種の化学的性質と地下水の化学的条件で決まり、地下水の動く量と速さ（水理）は、バリア材、母岩の空隙の種類と構造およびそれらが置かれている条件により決まる。母岩は、地殻または地層の要素として存在しており、地殻や地層は、地球規模で起こっているプレートの運動に伴って起こる物質循環により形成されている。本章では、地球環境を構成している物質が、どの程度の空間的および時間的規模で移動し変遷しているかについての科学的知識を整理し、放射性物質の隔離・閉じ込めがどの程度の時間と空間の範囲内で達成されるかを理解する。

8 第7章 放射性廃棄物処分のセーフティケースと安全評価

第7章では、放射性廃棄物の処分において、廃棄物に対する安全が確保されていることを、科学的知識に基づいて示す安全評価と、安全評価における不確実性を評価して意思決定のための情報として提示するセーフティケースについて概説する。

7.1 セーフティケース概論

- 7.1.1 放射性廃棄物処分のセーフティケース
- 7.1.2 セーフティケースと安全評価
- 7.1.3 不確実性とリスク
- 7.1.4 不確実性下の意思決定

7.2 安全評価

- 7.2.1 安全評価の手順
- 7.2.2 安全評価の例

7.3 セーフティケースの構成要素

- 7.3.1 セーフティケースの構成と要素
- 7.3.2 目的と背景 (purpose and context)
- 7.3.3 安全戦略 (safety strategy)
- 7.3.4 評価基盤 (assessment basis)
- 7.3.5 安全評価、証拠と論証 (safety assessment, evidence and arguments)
- 7.3.6 統合 (synthesis)

7.4 シナリオ区分による不確実性に対する対策:処分システムの頑健性の確保

- 7.4.1 シナリオ評価による安全評価の不確実性
- 7.4.2 安全評価におけるリスク論的アプローチ
- 7.4.3 線量/確率分解アプローチによるシナリオ区分
- 7.4.4 シナリオに対するめやすの設定

安全評価とは、潜在的危険性(線源)と影響をシナリオにより結び付けるリスクの評価のことで、安全措置を施した結果、なお残るリスクが十分低いことを確認する、すなわち安全措置が十分機能する(性能が十分である)ことを確認するための評価であることから、安全評価あるいは性能評価と呼ばれる。

この安全評価は、**図4**のような手順でなされる。まず施した安全措置が機能することを確認するために、**図3**のような構成をしている処分システムの記述がなされる。このようにシステムが構成されれば、潜在的危険性と影響(被ばく)を結びつける事象のつながり(シナリオ)は限定される。それでも起こり得るシナリオを考えるのがシナリオの作成のステップである。これは予測であるので、予防措置を講ずるために考えるシナリオとして十分であるかどうかを確認される必要がある。シナリオが設定されれば、それを定量化するために事象がモデルにより表され、モデルは数式とされ実際に計算ができるようにコード化される。これにより得られた結果が妥当かどうか最終的に判断される。

この安全評価は「予測」であるので、当然不確実性が伴う。判断するためのシナリオとして、起こるかもしれない事象を十分網羅しているか(シナリオの不確実性)、シナ

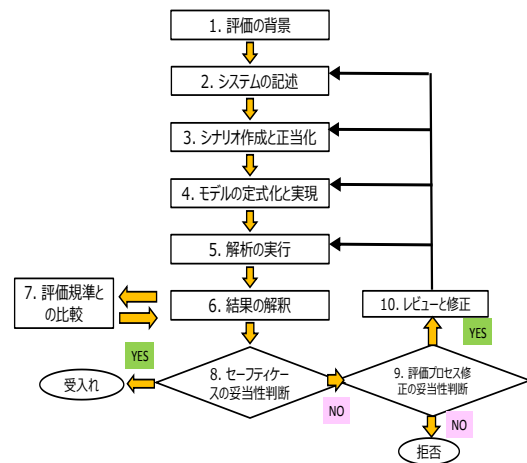


図4 安全評価の手順

リオをモデル化する時に起こる事象を十分モデルで表現できているか(モデルの不確実性)、予測計算に用いるデータやパラメータは実際に起こる事象に対して十分代表的であるか(データとパラメータの不確実性)が当然問題となる。

処分システムにおいて起こる事象は、範囲が閉じられておらず、かつ不均質な時間と空間の枠で起こる。このため、閉鎖系、均質系で得られてきた科学的知識の単純素朴な適用(因果の鎖としてのシナリオの評価)ではこの安全評価の結果に対する信頼性は十分高いとは言えない。

このことを考慮して、評価全体の信頼性を確かめる議論を、評価のやり方の目的に対する妥当性、複数のシナリオのセットによる安全評価、不確実性の評価、多様な論拠、段階的意思決定等について行うように整理してシステムの安全を主張する形で整理した文書がセーフティケースであり、処分を進める場合にはこのようなセーフティケースが規制や公衆に向けて提示され、その遂行の妥当性が確認される。

謝辞

本書の執筆は、原子力環境整備促進・資金管理センターの企画部の藤原愛さんから、センターの創立40周年の記念事業の一環として、放射性廃棄物の処分にこれからたずさわる若手のために、本を書いてはどうかとの提案を受けて始まった。執筆内容等々ずいぶんと紆余曲折があったが、辛抱強く励ましていただき付き合っていたいただいた。深甚なる感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] 朽山 修(著) 原子力環境整備促進・資金管理センター(監修):放射性廃棄物処分の原則と基礎, ERC 出版(2016). pdf版は http://www.rwmc.or.jp/library/history_40/ より入手可能