

ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討(5)

Study of Subsurface Disposal Concepts for Uranium Waste (5)

中谷 隆良 石戸谷 公英 船橋 英之 佐々木 良一
黒沢 満

Takayoshi NAKATANI, Kimihide ISHITOYA, Hideyuki FUNABASHI, Ryoichi SASAKI
and Mitsuru KUROSAWA

バックエンド推進部門

バックエンド技術開発ユニット

Nuclear Cycle Backend Technology Development Unit
Nuclear Cycle Backend Directorate

October 2009

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

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

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

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2009

ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討(5)

日本原子力研究開発機構 バックエンド推進部門 バックエンド技術開発ユニット

中谷 隆良、石戸谷 公英*、船橋 英之、
佐々木 良一*、黒沢 満*

(2009年8月24日受理)

ウラン廃棄物は、その主要汚染核種が長半減期のウランであり、また、廃棄体からの放射線の影響をほとんど考慮しなくてよいという特徴を持っている。本件は、これらの特徴を考慮した具体的な余裕深度処分概念の実現可能性について検討したものである。

平成19年7月に原子力安全委員会が取りまとめた「低レベル放射性廃棄物埋設に関する安全規制の基本的考え方（中間報告）」では、事象発生の可能性とその影響に応じた3区分のシナリオ分類（基本シナリオ、変動シナリオ及び人為・稀頻度事象シナリオ）や各シナリオにおける評価の目的、それぞれのシナリオに対する評価上のめやす線量が示された。同中間報告はウラン廃棄物を対象としたものではないものの、ウラン廃棄物の埋設処分にも同様の考え方が適用されることが考えられる。

そこで平成19年度には、同中間報告を参考に、「基本シナリオ」について、サイトが不確定であることを念頭に、評価シナリオの検討、パラメータ設定及び予察的な被ばく線量評価を実施した。

平成20年度は、日本原子力学会等により示された新知見を踏まえ、「変動シナリオ」について評価シナリオの検討、パラメータ設定及び予察的な被ばく線量評価を実施した。

評価の結果、被ばく線量については、今回検討した全ての評価ケースで「変動シナリオ」のめやす（参考とする）値である $300 \mu\text{Sv/y}$ を下回ることを確認した。

なお、現在原子力安全委員会において、低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に係る「安全審査の基本的考え方」について審議中であるが、本検討では設定していないシナリオが解析例として示されている。そのため、当該審議の動向に注意を払うとともに、新たな安全評価の考え方が示された場合は、再度確認を行うことが必要である。

本報告書は、三菱マテリアル株式会社が日本原子力研究開発機構との契約により実施した業務成果に基づくものである。

核燃料サイクル工学研究所（駐在）：〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33

※ 技術開発協力員

* 三菱マテリアル株式会社 エネルギー事業センター

Study of Subsurface Disposal Concepts for Uranium Waste (5)

Takayoshi NAKATANI, Kimihide ISHITOYA*, Hideyuki FUNABASHI
Ryoichi SASAKI* and Mitsuru KUROSAWA*

Nuclear Cycle Backend Technology Development Unit
Nuclear Cycle Backend Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received August 24,2009)

The purpose of this study was an examination on the possibility of sub-surface disposal for "Uranium waste" that has not been discussed enough up to now.

We examined a reasonable sub-surface disposal concept considering features of the uranium waste that the half-life of uranium was very long and the radiation from waste packages was not almost needed to consider. A reasonable disposal system was suggested in past our study. "Classification of Scenarios into Three Types (Likely-Scenarios, Less-likely Scenarios and Inadvertent Human Intrusion or Rare Natural Event Scenarios)" and their "Standard Dose Values" were indicated in "Basic Policy for Safety Regulation Concerning Land Disposal of Low-Level Radioactive Waste (Interim Report)" formulated by the Nuclear Safety Commission of Japan .

Referring to the Interim Report, a preliminary exposure dose assessment of "Likely Scenarios" was carried out in 2008.

In 2009, a preliminary exposure dose assessment was carried out for "Less-Likely Scenarios" referring to the draft publication of the Atomic Energy Society of Japan where more concrete information was shown about the safety assessment of sub-surface disposal.

As the result, maximum exposure doses for all cases considered in this study were less than 300 μ Sv/y (standard exposure dose value for "Less-likely Scenarios").

Keywords: Uranium Waste, Sub-surface Disposal Concepts, Less-likely Scenarios

This work was based on the study performed by Mitsubishi Materials Corporation under contract with the Japan Atomic Energy Agency.

※ Collaborating Engineer

* Energy Project & Technology Center, Mitsubishi Materials Corporation

目 次

1. はじめに	1
2. 実施内容	2
2.1 検討項目	2
2.2 検討内容	2
3. ウラン廃棄物余裕深度処分における「変動シナリオ」設定の考え方の検討	3
3.1 シナリオ区分の考え方	3
3.2 将来起こりうる確からしいと予見される変化の整理	5
3.3 変動シナリオの設定	12
4. 変動シナリオにおける予察的な被ばく線量評価	17
4.1 『変動シナリオ』として再評価するシナリオの整理	17
4.2 基本パラメータの設定	18
4.3 変動を考慮するパラメータの整理	33
4.4 変動シナリオの評価結果	35
5. まとめ	46
参考文献	47

CONTENTS

1 . Introduction.....	1
2 . Contents of study.....	2
2.1 List of study.....	2
2.2 Substance of study	2
3 . View of “Less-likely Scenarios” set-up for the sub-surface disposal of Uranium waste....	3
3.1 Concept of scenarios classification.....	3
3.2 Arrangement of disposal system changes which seem to be foreseeable in future.....	5
3.3 Set-up of “Less-likely scenarios”	12
4 . Prospective dose analysis of “Less-likely scenarios”	17
4.1 Selection of scenarios which should be re-analyzed as “Less-likely scenarios”.....	17
4.2 Basic parameters set-up for dose analysis	18
4.3 Changing parameters set-up for dose analysis.....	33
4.4 Results	35
5 . Summary	46
References	47

目 次

図 3.3-1	H19 年度検討のシナリオ選定の流れと、今年度検討のシナリオ設定の流れ	12
図 3.3.1-1	H19 年度検討での実施分を含めた基本シナリオ及び変動シナリオの区分整理.....	16
図 4.2.2-1	合理化処分概念 C	19
図 4.2.2-2	廃棄体本数 10 万本の場合の処分坑道レイアウト	20
図 4.2.3-1	想定した核種移行評価モデル.....	23
図 4.2.3-2	地下水移行シナリオにおいて想定される被ばく経路	24
図 4.4-1	変動パラメータの入力方法の比較.....	39
図 4.4-2	H19 年度検討における被ばく線量経時変化（気候変動-寒冷化の例）	40
図 4.4-3	今年度検討における被ばく線量経時変化（気候変動-寒冷化の例）	41
図 4.4-4	H19 年度検討における被ばく線量経時変化（気候変動-温暖化（海進）の例）	42
図 4.4-5	今年度検討における被ばく線量経時変化（気候変動-温暖化（海進）の例）	43
図 4.4-6	H19 年度検討における被ばく線量経時変化（造構運動-隆起・侵食の例）	44
図 4.4-7	今年度検討における被ばく線量経時変化（造構運動-隆起・侵食の例）	45

表 目 次

表 3.1-1	処分システムの状態と被ばく経路の組み合わせによるシナリオ分類	4
表 3.2-1	将来起こることが予想される自然現象と核種移行に影響を与えるパラメータの 関係（温暖化-降水量増加）	7
表 3.2-2	将来起こることが予想される自然現象と核種移行に影響を与えるパラメータの 関係（温暖化-海水準変動（海進））	8
表 3.2-3	将来起こることが予想される自然現象と核種移行に影響を与えるパラメータの 関係（寒冷化-降水量減少）	9
表 3.2-4	将来起こることが予想される自然現象と核種移行に影響を与えるパラメータの 関係（寒冷化-海水準変動（海退））	10
表 3.2-5	将来起こることが予想される自然現象と核種移行に影響を与えるパラメータの 関係（造構運動-隆起・侵食）	11
表 3.3.1-1	パラメータの変動に関する設定（①温暖化-降水量増加）	14
表 3.3.1-2	パラメータの変動に関する設定（②温暖化-海水準変動（海進））	14
表 3.3.1-3	パラメータの変動に関する設定（③寒冷化-降水量減少）	14
表 3.3.1-4	パラメータの変動に関する設定（④寒冷化-海水準変動（海退））	15
表 3.3.1-5	パラメータの変動に関する設定（⑤造構運動-隆起・侵食）	15
表 4.1-1	再評価実施の判定	17
表 4.2.1-1	検討対象ウラン廃棄物の核種組成（放射能比）	18
表 4.2.1-2	評価対象核種	19
表 4.2.2-1	還元条件から酸化条件へ変化した場合の分配係数の変化率の算出	21
表 4.2.2-2	各元素の処分施設からの放出係数.....	21
表 4.2.3-1	天然バリア中の移行経路に関するパラメータ	22
表 4.2.3-2	還元条件から酸化条件へ変化した場合の分配係数の変化率の算出	25
表 4.2.3-3	還元条件から塩水性条件へ変化した場合の分配係数の変化率の算出.....	26
表 4.2.3-4	天然バリアにおける分配係数の設定	26
表 4.2.4-1	公衆の被ばく線量の算出に関するパラメータ	27
表 4.2.4-2	農作物及び畜産物の摂取量.....	27
表 4.2.4-3	農作物への移行に関するパラメータ	28
表 4.2.4-4	畜産物への移行に関するパラメータ	29
表 4.2.4-5	農耕土壌の分配係数	30
表 4.2.4-6	内部・外部被ばく線量換算係数	31
表 4.2.4-7	評価核種の線量換算係数によってその寄与が考慮されている子孫核種.....	32
表 4.3-1	“気候変動-温暖化-降水量増加”シナリオにおけるパラメータ設定	34
表 4.3-2	“気候変動-温暖化-海水準変動（海進）”シナリオにおけるパラメータ設定.....	34
表 4.3-3	“気候変動-寒冷化-降水量減少”シナリオにおけるパラメータ設定	34
表 4.3-4	“気候変動-寒冷化-海水準変動（海退）”シナリオにおけるパラメータ設定.....	34

表 4.3-5	“造構運動-隆起・侵食-表層剥離等”シナリオにおけるパラメータ設定	35
表 4.4-1	H19 年度検討における評価結果及び今年度検討における評価結果	38

This is a blank page.

1.はじめに

ウラン廃棄物の余裕深度処分に関しては H16 年度より H19 年度まで下記の検討を実施してきている。

H18 年度までは、「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（第 3 次中間報告）」（原子力安全委員会、平成 12 年 9 月、以下、「第 3 次中間報告」という。）¹⁾ における原子炉廃棄物の余裕深度処分概念を基本として、ウラン廃棄物の余裕深度処分について人工バリアを設置しない合理的な処分概念の成立性の概略検討、長期的な化学環境の変化を考慮した線量評価、現段階でサイトが確定していないことによるパラメータの不確実性を考慮した包括的感度解析を実施した。

H19 年度は、原子力安全委員会が取りまとめた「低レベル放射性廃棄物埋設に関する安全規制の基本的考え方（中間報告）」（平成 19 年 7 月）²⁾（以下、「安全規制中間報告」という。）において示された、評価シナリオ区分や各シナリオにおける評価の目的、それぞれのシナリオに対する評価上のめやす線量を参考として、ウラン廃棄物余裕深度処分における「基本シナリオ」設定の考え方の検討及び検討して設定した「基本シナリオ」について期間的なパラメータ変動を考慮した予察的な被ばく線量評価を実施し、「ウラン廃棄物余裕深度処分概念の検討(4)」（以下、「H19 年度検討」という。）³⁾に取りまとめた。

今年度は、安全規制中間報告、社団法人日本原子力学会にて策定中の余裕深度処分の安全評価手法に関する標準（以下、「学会標準案」という。）、現在審議中の原子力安全委員会 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（以下、「埋設分科会」という。）での審議状況を参考に、ウラン廃棄物の余裕深度処分における「変動シナリオ」の選定の考え方を検討した。この際、H19 年度検討において「基本シナリオ」として整理された具体的なシナリオについて、「変動シナリオ」設定の考え方を踏まえて最新の知見に基づき再整理を行った。設定した「変動シナリオ」についてパラメータ変動の発生時期を考慮した予察的な被ばく線量評価を実施し、ウラン廃棄物余裕深度処分の成立可能性の検討に資する。

2. 実施内容

2.1 検討項目

以下の項目を実施する。

- (1) ウラン廃棄物余裕深度処分における「変動シナリオ」の設定
- (2) 変動シナリオにおける予察的な被ばく線量評価
- (3) まとめ

2.2 検討内容

2.2.1 ウラン廃棄物余裕深度処分における「変動シナリオ」の設定

安全規制中間報告におけるシナリオの分類に関する考え方及び学会標準案に示された「変動シナリオ」の考え方を参考に、ウラン廃棄物の余裕深度処分における、処分システムの可能性のある変動状態（例えば、比較的短期における移行距離の減少や地下水流量の増加、保守的な人工バリア劣化による施設浸入水量の増加や拡散移行抑制機能の低下等）と一般的な被ばく経路の組み合わせによる地下水移行シナリオや、処分システムの可能性の高い状態と可能性の低い被ばく経路（例えば、一般河川よりも流量の小さい沢水の利用等）の組み合わせによる地下水移行シナリオを検討し、「基本シナリオ」で選定した以外の様々な変化における変動を網羅的に考慮する変動シナリオを整理する。

2.2.2 変動シナリオにおける予察的な被ばく線量評価

前項で設定した変動シナリオに対して、下記に示すようなパラメータについて変動を考慮したパラメータ値の設定を行い、設定したパラメータを用いた被ばく線量評価を実施する。

- ・ 地表環境への接近時間（速度）
- ・ 移行距離
- ・ 地下水流速
- ・ 化学環境の変化に応じた分配係数
- ・ 生物圏環境（河川流量等）等

なお、被ばく線量評価を実施するに当たっては、第3次中間報告及び学会標準案を参考に、モデルやパラメータを設定する。

2.2.3 まとめ

「変動シナリオ」の検討及び被ばく線量評価をもとに、学会標準案や安全規制中間報告等で示された「変動シナリオ」の考え方を取り入れた場合における、人工バリアに期待しない合理的な余裕深度処分概念の成立条件の範囲について考察するとともに、課題を整理する。

3. ウラン廃棄物余裕深度処分における「変動シナリオ」設定の考え方の検討

3.1 シナリオ区分の考え方

H19年度検討では、安全規制中間報告、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会「低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に係る安全規制について（報告書）」（平成19年3月）、埋設分科会及び学会標準案におけるシナリオの設定の考え方及びシナリオ区分に関する知見を整理し、基本シナリオ設定の考え方を整理している。この際、変動シナリオ及び人為・稀頻度事象シナリオについても併せて検討しており、下記のような考え方として整理している。

「学会標準案」の考え方に基づき、基本シナリオを設定すると、“一般的な被ばく経路”と、“処分システムに対して起こりうる可能性の高い状態”の組み合わせが基本シナリオとなりうる。

「安全規制中間報告」の定義によると、基本シナリオとは、過去及び現在の状況から、処分システム及び被ばく経路の特性並びにそれらにおいて将来起こることが確からしいと予見される一連の変化を考慮したものである。ここで、余裕深度処分施設が建設される場所は、基本的に安定な場所であり、10万年間といったオーダーでは、過去の履歴に基づき相当な確度で推定が可能であると仮定すると、数万年といったオーダーにおいては、天然バリアに関するパラメータが安定あるいは限定された幅での変動であると考えられることができる。

数万年といったオーダー以降では、天然バリア条件の大きな変動を伴いうるが、可能性のある変動状態とみなすことができることから、（これと）一般的な被ばく経路を（組み合わせたものを）「変動シナリオ」として設定することができる。数万年といったオーダー以降の時間軸においては、可能性の低い被ばく経路の取り扱いには慎重に判断する必要がある。

学会標準案においては、処分システムの状態設定と被ばく経路の組み合わせによるシナリオ分類は、表 3.1-1のように整理することができる。

表 3.1-1 処分システムの状態と被ばく経路の組み合わせによるシナリオ分類

		被ばく経路		
		一般的な被ばく経路	可能性の低い被ばく経路	極めて可能性が低い被ばく経路
処分システム	可能性の高い状態	基本シナリオ	変動シナリオ	人為・稀頻度事象シナリオ
	可能性のある変動状態	変動シナリオ	(変動シナリオ)	(人為・稀頻度事象シナリオ)
	稀頻度状態	人為・稀頻度事象シナリオ	(人為・稀頻度事象シナリオ)	—※

()内は、可能性の低い状態どうしの組み合わせとなるので、慎重に判断する。
 ※は、極めて可能性の低い状態の組み合わせとなるので考慮するまでもない。

H19 年度検討では、サイトが未確定であることを考慮し、基本シナリオとしては幅広いシナリオ検討を行い、下記に示す複数の評価シナリオを設定した。

- ① “気候変動-温暖化-降水量増加” シナリオ
- ② “気候変動-温暖化-海水準変動（海進）” シナリオ
- ③ “気候変動-寒冷化-降水量減少” シナリオ
- ④ “気候変動-寒冷化-海水準変動（海退）” シナリオ
- ⑤ “造構運動-隆起・浸食-表層剥離等” シナリオ

今年度検討では、具現化しつつある学会標準案における「処分システムの可能性の高い状態は一つ」の考え方に準拠して、基本シナリオは、処分システムの「可能性の高い状態」に対して「一般的な被ばく経路」を組み合わせた 1 つの状態と設定する。

具体的には、H19 年度検討で整理した気候変動及び海水準変動に関する一般的な記述において、「現在は間氷期のピークをわずかに過ぎた時期にあるとされる。10 万年周期の氷期・間氷期サイクルが今後も続くものとすれば、数千年以内に次の氷期が始まり、8～10 万年後には氷期のピークに達すると考えられる。」

と整理したことから、基本シナリオは将来起こる可能性が高い自然事象である“地球環境は寒冷化の方向に進む”とし、その具体的な変化は、「寒冷化に伴い降水量は減少し、そのため地下水流速が減少する」と「寒冷化に伴い降水量は減少し、そのため海水準が低下する」と設定する。

今年度検討の実施内容である変動シナリオ設定においては、上記の基本シナリオに対して、下記のような処分システムの状態の変動を考慮してシナリオを再整理する。

- 環境変化に伴う処分システムの状態の変動(可能性のある変動状態の設定)
 - ・ 寒冷化による降水量減少、海水準低下(変化が大きいケース、早期に変化するケース)
 - ・ 温暖化による降水量増加、海水準上昇
 - ・ 隆起・侵食による移行距離の減少及び化学的環境変化

今年度再整理した変動シナリオは、表 3.1-1 の考え方によると、処分システムが「可能性のある変動状態」と被ばく経路が「一般的な被ばく経路」に該当すると考えられる。一方、表 3.1-1 に示すように、処分システムが「可能性の高い状態」と被ばく経路が「可能性の低い被ばく経路」の組み合わせも変動シナリオとして分類されていることから、今年度検討で設定した基本シナリオの処分システム（可能性の高い状態）に対し、下記の被ばく経路の変化と組み合わせ、変動シナリオと設定し、検討対象とする。

- 被ばく経路の変化(可能性の低い被ばく経路の設定)
 - ・ 河川水量の減少（沢水利用）

3.2 将来起こりうる確からしいと予見される変化の整理

H19 年度検討においては、考慮する自然現象としては、下記の項目を取り上げている。

- ・ 気候変動及び海水準変動
- ・ 隆起・侵食による地形の変化

一方で、処分施設の選定の段階で、過去の履歴に基づき避けることができる自然現象として、下記のことを想定し、基本シナリオの検討範囲からは除外している。

- ・ 火山・火成活動
- ・ 地震・断層活動

ここで、埋設分科会の審議資料（二分第 2-1-3 号）において、「余裕深度処分施設が建設される場所は、基本的に安定な場所であり、10 万年間といったオーダーでは、過去の履歴に基づき相当な確度で推定が可能である」としている。

このような基本的な立地要件の観点から、変動シナリオにおいても、基本シナリオと同様に火山・火成活動及び地震・断層活動を検討範囲から除外する。

気候変動及び海水準変動、隆起・侵食による地形の変化として想定しうる変化は、以下のようなものである。

気候変動：温暖化、あるいは寒冷化に伴って、気温の上昇(降水量増加)、気温の低下(降水量低下)が起こると推定される。

海水準変動：海進、海退に伴って、水理場や水化学の変化が起こると推定される。また、侵食営力の強さは侵食基準面により支配されるため、海面の変動は侵食速度に影響する。

隆起・侵食による地形変化：隆起に伴い、河川の下刻や海食を主要因とした侵食作用が生じると推定できる。旧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—分冊 1 わが国の地質環境(1999) (以下、「第 2 次取りまとめ」という。) ⁴⁾によると、河川による下刻速度はその流域の隆起速度にほぼ相当するとされている。

気候変動や海水準変動は、厳密には異なる周期で繰り返されており、隆起・侵食による地形変化についても気候変動や海水準変動と連動して変動速度は一樣ではない。また、これらは地域や元来の地形等によって複合的に変動しうるものである。しかし、今年度検討においては、サイト特性が明らかになっていないことから、これらの自然現象が、評価上重要なパラメータに及ぼす影響を単純化して設定し、解析ケースとの対応を設定することとする。この際、これらの自然現象に伴って起こりうる影響を整理した結果を表 3.2-1～表 3.2-5 に示す。

表 3.2-1 将来起こることが予想される自然現象と核種移行に影響を与えるパラメータの関係 (温暖化・降水量増加)

現象	変化	影響を受けるパラメータ	パラメータへの影響	影響として規定した事象の記述	規定した事象によるパラメータの変化の程度	解析ケースでの取り扱い
気候変動	降水量増加	放出係数	処分施設からの放射性核種の放出量が変化する。	降水量の増加に伴う処分場地下水面上昇により、動水勾配が大きくなり、施設近傍の地下水流速が大きくなる。これに伴い、施設への浸入出水量は増加し、施設の変質は進展する。	岩盤中に隔離された施設に対する変化は小さく、考慮するまでもない。	不変
		天然バリアにおける分配係数	化学的環境の変化に応じて変化する。	降水量の増加に伴う処分場地下水面上昇により、動水勾配が大きくなり、施設近傍の地下水流量が増加する。これに伴い、岩盤（天然バリア）の変質が進展する。	降水の影響は地表近傍において顕著であるが、岩盤に対する変化は小さく、考慮するまでもない。	不変
		施設近傍の領域の地下水流速	地下水流速は全体的に大きくなる。	降水量の増加に伴う処分場地下水面上昇により、動水勾配が大きくなり、施設近傍の地下水流速が大きくなる。	基本的に小さいが増加する。ただし、隔離された岩盤に対する変化は動水勾配及び透水係数の増加の程度に依存する。	増加
		施設近傍以外の領域の地下水流速	地下水流速は全体的に大きくなる。	降水量の増加に伴う処分場地下水面上昇により、動水勾配が大きくなり、地下水流速が大きくなる。	基本的に増加する。ただし、動水勾配の増加に依存する。	増加
		核種移行距離	核種中の移行距離は変化しない。	降水量の変化は施設の位置に影響しない。河川は一時的に増水しても処分場の位置関係は維持される。	核種移行距離は変化しない。	不変

表 3.2.2 将来起こることが予想される自然現象と核種移行に影響を与えるパラメータの関係 (温暖化・海水準変動 (海進))

現象	変化	影響を受けるパラメータ	パラメータへの影響の設定	影響として規定した事象の記述	規定した事象によるパラメータの変化の程度	解析ケースでの取り扱い
気候変動	海進 (海水準変動)	放出係数	放射性核種の処分施設からの放出量が増える。	海岸線が処分施設に近づき、動水勾配が小さくなり、施設近傍の地下水流速が小さくなり、施設の変質が緩やかになる。	岩盤中に離隔された施設内に対する変化は小さく、考慮するまでもない。	不変
		天然バリアにおける分配係数	化学的環境が塩水性環境に近づく。	海岸線が処分施設に近づき、処分場周辺の岩盤 (天然バリア) の地下水が海水の影響を受ける。	離隔された岩盤に対する変化は小さいと考えられるが、塩水性環境に変化したときの影響は大きい可能性がある。	塩水性
		施設近傍の領域の地下水流速	地下水流速は全体的に大きくなる。	海岸線が処分施設に近づき動水勾配が小さくなり、地下水流速が小さくなる。他方、降水量の増加・地下水面上昇で動水勾配が大きくなり、地下水流速が大きくなる。変化は両者の関係のトレードオフになる。	動水勾配の減少と降水量の増加とのトレードオフであるが、流量増加はU及びび子孫核種の移行を促進することから、ここでは増加すると想定する。ただし、離隔された岩盤に対する変化は動水勾配及び透水係数の増加の程度に依存する。	増加
		施設近傍以外の領域の地下水流速	地下水流速は全体的に大きくなる。	海岸線が処分施設に近づき、地下水流速が小さくなる。他方、降水量の増加・地下水面上昇で、地下水流速が大きくなる。変化は両者の関係のトレードオフになる。	動水勾配の減少と降水量の増加とのトレードオフであるが、流量増加はU及びび子孫核種の移行を促進することから、ここでは増加すると想定する。ただし、動水勾配の増加に依存する。	増加
		核種移行距離	岩盤中の移行距離は変化しない。	海進は施設の位置に影響しないと考える。海岸線が前進しても、河川と処分場の位置関係は維持されると考えると考える。	核種移行距離は変化しない。	不変

表 3.2-3 将来起こることが予想される自然現象と核種移行に影響を与えるパラメータの関係 (寒冷化・降水量減少)

現象	変化	影響を受けるパラメータ	パラメータへの影響の設定	影響として規定した事象の記述	規定した事象によるパラメータの変化の程度	解析ケースでの取り扱い
気候変動	降水量減少	放出係数	処分施設からの放射性核種の放出量が減少する。	降水量の減少に伴い処分場近傍の地下水面が下降し、動水勾配が小さくなり、施設近傍の地下水流速が小さくなる。これに伴い、施設への浸入出水量は減少し、施設の変質は緩やかになる。	岩盤中に隔離された施設に対する変化は小さく、考慮するまでもない。	不変
		天然バリアにおける分配係数	化学的環境の変化に応じて変化する。	降水量の減少に伴い処分場近傍の地下水面が下降し、動水勾配が小さくなり、施設近傍の地下水流速が小さくなる。これに伴い、岩盤（天然バリア）の変質は緩やかになる。	降水の影響は地表近傍において顕著であるが、岩盤に対する変化は小さく、考慮するまでもない。	不変
		施設近傍の領域の地下水流速	地下水流速は全体的に小さくなる。	降水量の減少に伴い処分場近傍の地下水面が下降し、動水勾配が小さくなり、施設近傍の地下水流速が小さくなる。	基本的に変化は小さいが減少する。ただし、隔離された岩盤に対する変化は動水勾配の減少の程度に依存する。	減少
		施設近傍以外の領域の地下水流速	地下水流速は全体的に小さくなる。	降水量の減少に伴い処分場近傍の地下水面が下降し、動水勾配が小さくなり、地下水流速が小さくなる。	基本的に減少する。ただし、動水勾配の減少に依存する。	減少
		核種移行距離	岩盤中の移行距離は変化しない。	降水量の変化は施設の位置に影響しない。河川は一時的に減水しても処分場の位置関係は維持される。	核種移行距離は変化しない。	不変

表 3.2-4 将来起こることが予想される自然現象と核種移行に影響を与えるパラメータの関係 (寒冷化・海水準変動 (海退))

現象	変化	影響を受けるパラメータ	パラメータへの影響	影響として規定した事象の記述	規定した事象によるパラメータの変化の程度	解析ケースでの取り扱い
気候変動	海退 (海水準変動)	放出係数	放射性核種の処分施設からの放出量が増加する。	海岸線が処分施設から離れ、動水勾配が大きくなり、地下水の循環域が処分場環境に達する。その結果、大気(酸素)を多く含む降水(地下水)の影響で施設内が酸化性環境になる。それに伴い、施設の変質劣化も進展する。	岩盤中に隔離された施設内に対する変化は小さいと考えられることから、変化しないとする。	不変
		天然バリアにおける分配係数	分配係数が環境変化に応じて変化する。	海岸線が処分施設から離れ、動水勾配が大きくなり、地下水の循環域が移行経路に達する。その結果、大気(酸素)を多く含む降水(地下水)の影響で移行経路が酸化性環境になる。	隔離された岩盤に対する変化は小さいと考えられることから、変化しないとする。	不変
寒冷化	海退 (海水準変動)	施設近傍の領域の地下水流速	地下水流速が変化する。	海岸線が処分施設から離れ、動水勾配が大きくなり、施設近傍の地下水流速が大きくなる。一方で、降水量の減少に伴い処分場地下水面が下降し、動水勾配が小さくなることで、地下水流速が小さくなる。変化は両者の関係のトレードオフになる。	地下水流速は大きくも小さくもなりうる。ここでは、動水勾配に対する降水量減少の影響は、海退の影響より大きいと考え、流速は減少するとする。	減少
		施設近傍以外の領域の地下水流速	地下水流速が変化する。	海岸線が処分施設から離れ、動水勾配が大きくなり、地下水流速が大きくなる。一方で、降水量の減少に伴い処分場地下水面が下降し、地下水流速が小さくなる。変化は両者の関係のトレードオフになる。	地下水流速は大きくも小さくもなりうる。ここでは、動水勾配に対する降水量減少の影響は、海退の影響より大きいと考え、流速は減少するとする。	減少
		核種移行距離	移行距離は変化しない。	海退は施設の位置に影響しないと考える。海岸線の後退は河川と処分場の位置関係に影響しないと考える。	核種移行距離は変化しない。	不変

表 3.2-5 将来起こることが予想される自然現象と核種移行に影響を与えるパラメータの関係 (造構運動・隆起・侵食)

現象	変化	影響を受けるパラメータ	パラメータへの影響	影響として規定した事象の記述	規定した事象によるパラメータの変化の程度	解析ケースでの取り扱い
造構運動	隆起・侵食	放出係数	放出係数が施設内環境の変化に応じて変化する。	表層の削剥及び河食等により降水系地下水の循環域が処分場環境に達する。その結果、大気(酸素)を多く含む降水(地下水)の影響で施設内が酸性環境になる。それに伴い、施設の変質劣化も進展する。	放出係数が酸性環境の値に変化する。	酸化性
		天然バリアにおける分配係数	分配係数が環境変化と風化変質に応じて変化する。	表層の削剥及び河食等により降水系地下水の循環域が処分場環境に達する。その結果、大気(酸素)を多く含む降水(地下水)の影響で移行経路が酸性環境になる。それに伴い、岩盤が風化変質する。	岩盤の分配係数が酸性環境の値に変化する。	酸化性
		施設近傍の領域の地下水流速	地下水流速は全体的に大きくなる。	表層の削剥及び河食等により降水系地下水の循環域が処分場環境に達する。その結果、大気(酸素)を多く含む降水(地下水)の影響で移行経路が酸性環境になる。それに伴い、岩盤が風化変質して透水係数が大きくなる。	基本的に増加する。ただし、離隔された岩盤の動水勾配及び透水係数の増加の程度に依存する。	増加
		施設近傍以外の領域の地下水流速	地下水流速は全体的に大きくなる。	表層の削剥及び河食等により降水系地下水の循環域が深くなり、施設近傍以外でも地下水流速が大きくなる。	基本的に増加する。ただし、動水勾配の増加に依存する。	増加
		核種移行距離	施設深度の変化に応じて変化する。	表層の削剥及び河食等により、処分場と河川の位置関係が短くなる。	核種移行距離は短くなる。	減少

3.3 変動シナリオの設定

変動シナリオの設定に当たっては、以下の手順で実施する。

- ・ H19 年度検討では、幅広い環境変動を包含させるため、基本シナリオに対して複数の評価シナリオを設定している。一方、今年度検討では、「学会標準案」（基本シナリオにおいて設定する処分システムの可能性の高い状態（基本状態）は原則として一つである）の考え方にに基づき、H19 年度検討における地下水移行シナリオについて“処分システムの可能性の高い状態”と“一般的な被ばく経路”の組み合わせを基本シナリオとして、また“処分システムの可能性のある変動状態”と“一般的な被ばく経路”の組み合わせを変動シナリオとして再整理し、変動シナリオとして扱うものを明確化する。
- ・ 変動シナリオとして考慮すべきシナリオである“処分システムの可能性の高い状態”と“可能性の低い被ばく経路”の組み合わせのものを設定する。

H19 年度検討及び今年度検討におけるシナリオ検討の流れを図 3.3-1 に示す。

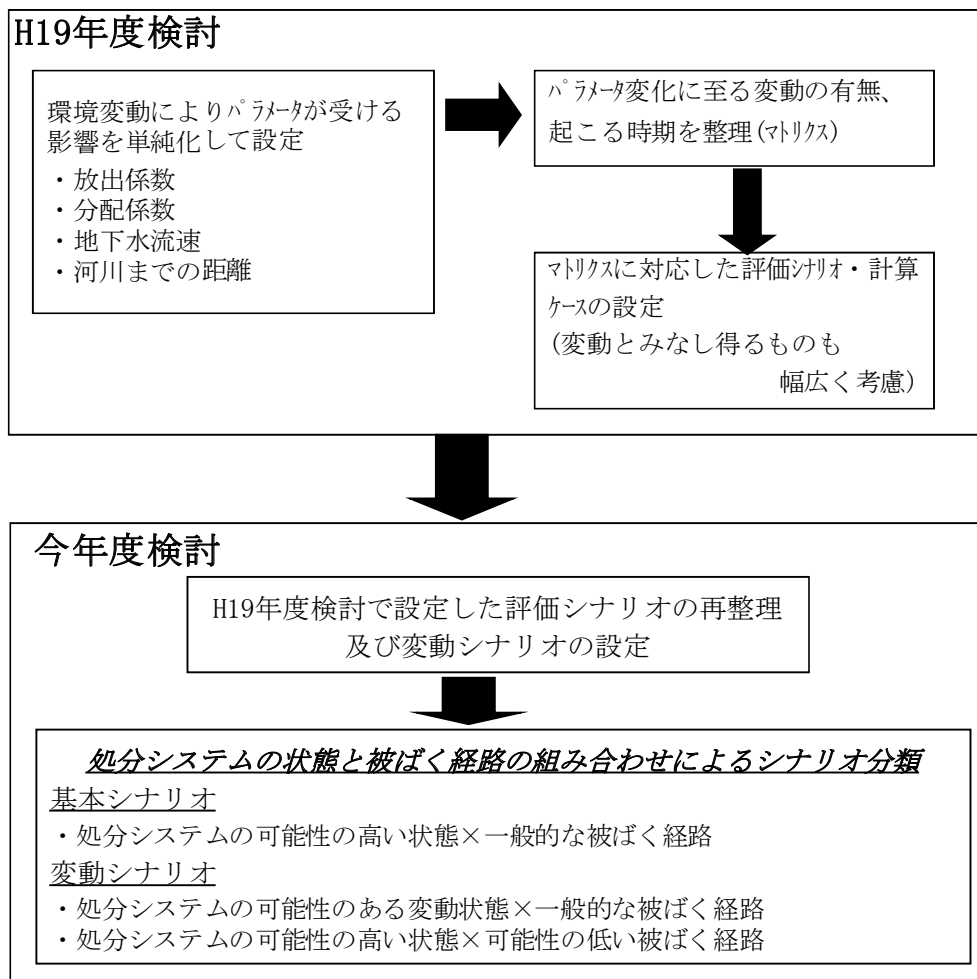


図 3.3-1 H19 年度検討のシナリオ選定の流れと、今年度検討のシナリオ設定の流れ

3.3.1 基本シナリオの再整理

H19年度検討における基本シナリオの検討においては、将来起こりうる確からしいと予見される変化、即ち気候変動に伴う降水量の変化及び海水準の変動、並びに隆起・侵食に伴う地形の変化によって、下記の4つのパラメータが受ける影響を単純化して設定し、解析ケースとの関連を整理している。次に、核種移行パラメータの変化に至るような変動が起こりうるか、また、起こる場合には、それは処分後のいつの時期かをマトリックスとして整理している。

- ・ 放射性核種の処分施設からの放出係数
- ・ 天然バリアの分配係数
- ・ 地下水流速(施設近傍及び施設近傍以外)
- ・ 処分施設から河川までの距離

その結果、H19年度検討では、3.1節で既述したように、基本シナリオとして下記のシナリオを想定した。

- ① “気候変動-温暖化-降水量増加”シナリオ
- ② “気候変動-温暖化-海水準変動(海進)”シナリオ
- ③ “気候変動-寒冷化-降水量減少”シナリオ
- ④ “気候変動-寒冷化-海水準変動(海退)”シナリオ
- ⑤ “造構運動-隆起・侵食-表層剥離等”シナリオ

また、H19年度検討にて設定したこれら基本シナリオの変化事象が発生する発端時期としては、3.2節で既述したとおり、「10万年といったオーダーでは、過去の履歴に基づき相当な確度で推定が可能である」との考えのもとに、10万年以内においてもパラメータが変動することが想定し得るとし、1万年後、5万年後、10万年後にパラメータ変動が生じるケースを設定した。

H19年度検討において設定した各シナリオにおける変動パラメータとパラメータ変動時期について、表3.3.1-1～表3.3.1-5に示す。

表 3.3.1-1 パラメータの変動に関する設定 (①温暖化-降水量増加)

変動時期 パラメータ	1 万年後	5 万年後	10 万年後
放出係数	不変	不変	不変
天然バリアにおける分配係数	不変	不変	不変
施設近傍の領域の地下水流速	増加 (変化小) or 増加 (変化大)	増加 (変化小) or 増加 (変化大)	増加 (変化小) or 増加 (変化大)
施設近傍以外の領域の 地下水流速	増加 (変化小) or 増加 (変化大)	増加 (変化小) or 増加 (変化大)	増加 (変化小) or 増加 (変化大)
処分施設から河川までの距離	不変	不変	不変

表 3.3.1-2 パラメータの変動に関する設定 (②温暖化-海水準変動 (海進))

変動時期 パラメータ	1 万年後	5 万年後	10 万年後
放出係数	不変	不変	不変
天然バリアにおける分配係数	塩水性	塩水性	塩水性
施設近傍の領域の地下水流速	増加	増加	増加
施設近傍以外の領域の 地下水流速	増加	増加	増加
処分施設から河川までの距離	不変	不変	不変

表 3.3.1-3 パラメータの変動に関する設定 (③寒冷化-降水量減少)

変動時期 パラメータ	1 万年後	5 万年後	10 万年後
放出係数	不変	不変	不変
天然バリアにおける分配係数	不変	不変	不変
施設近傍の領域の地下水流速	減少 (変化小) or 減少 (変化大)	減少 (変化小) or 減少 (変化大)	減少 (変化小) or 減少 (変化大)
施設近傍以外の領域の 地下水流速	減少 (変化小) or 減少 (変化大)	減少 (変化小) or 減少 (変化大)	減少 (変化小) or 減少 (変化大)
処分施設から河川までの距離	不変	不変	不変

表 3.3.1-4 パラメータの変動に関する設定 (④寒冷化-海水準変動 (海退))

パラメータ \ 変動時期	1 万年後	5 万年後	10 万年後
放出係数	不変	不変	不変
天然バリアにおける分配係数	不変	不変	不変
施設近傍の領域の地下水流速	減少 (変化小) or 減少 (変化大)	減少 (変化小) or 減少 (変化大)	減少 (変化小) or 減少 (変化大)
施設近傍以外の領域の地下水流速	減少 (変化小) or 減少 (変化大)	減少 (変化小) or 減少 (変化大)	減少 (変化小) or 減少 (変化大)
処分施設から河川までの距離	不変	不変	不変

表 3.3.1-5 パラメータの変動に関する設定 (⑤造構運動-隆起・侵食)

パラメータ \ 変動時期	1 万年後	5 万年後	10 万年後
放出係数	酸化性	酸化性	酸化性
天然バリアにおける分配係数	酸化性	酸化性	酸化性
施設近傍の領域の地下水流速	増加	増加	増加
施設近傍以外の領域の地下水流速	増加	増加	増加
処分施設から河川までの距離	減少 (変化小) or 減少 (変化大)	減少 (変化小) or 減少 (変化大)	減少 (変化小) or 減少 (変化大)

これらのシナリオのうち、3.1 節で設定した基本シナリオにおける処分システムの状態と照らし合わせると、今年度検討において基本シナリオとして再整理されるのは、シナリオ③及び④の“気候変動-寒冷化”シナリオである。なお、シナリオ検討においては、自然現象がパラメータに与える影響を単純化するために、寒冷化に伴う降水量減少と海退をそれぞれ別個に考慮しているが、現実には、寒冷化によって連動して生じる現象であり、表 3.3.1-3 及び表 3.3.1-4 の設定を比較すると、パラメータの変動は同一であり、シナリオ③及び④を基本シナリオとして設定することは、基本シナリオを一つの状態と設定することと同義である。

一方、H19 年度検討において基本シナリオの検討の中で幅広い環境変動を包含させるために設定したシナリオ①、②及び⑤については、3.1 節で整理した考え方から、今年度検討では変動シナリオとして再定義する。また、変動シナリオでは処分システムについて、“可能性のある変動状態”が考慮されるので、変動が生じる程度及び発生時期については、変動の程度が大きく、発生の可能性が低いと想定できる場合や、変動が 10 万年よりも早期に生じる場合について変動

シナリオに分類する。つまり、今年度検討で基本シナリオと再定義された気候変動寒冷化（シナリオ③及び④）についても、その変動が大きいあるいは変動の発生が早期（1 万年後及び 5 万年後）の場合は『変動シナリオ』に分類する。

また、学会標準案は、処分システムが“可能性の高い状態”と被ばく経路が“可能性の低い被ばく経路”の組み合わせについても変動シナリオと整理していることから、今年度検討においてこの組み合わせも『変動シナリオ』に分類する。

H19 年度検討実施分を含めた基本シナリオ及び変動シナリオの区分の整理結果を図 3.3.1-1 に示す。

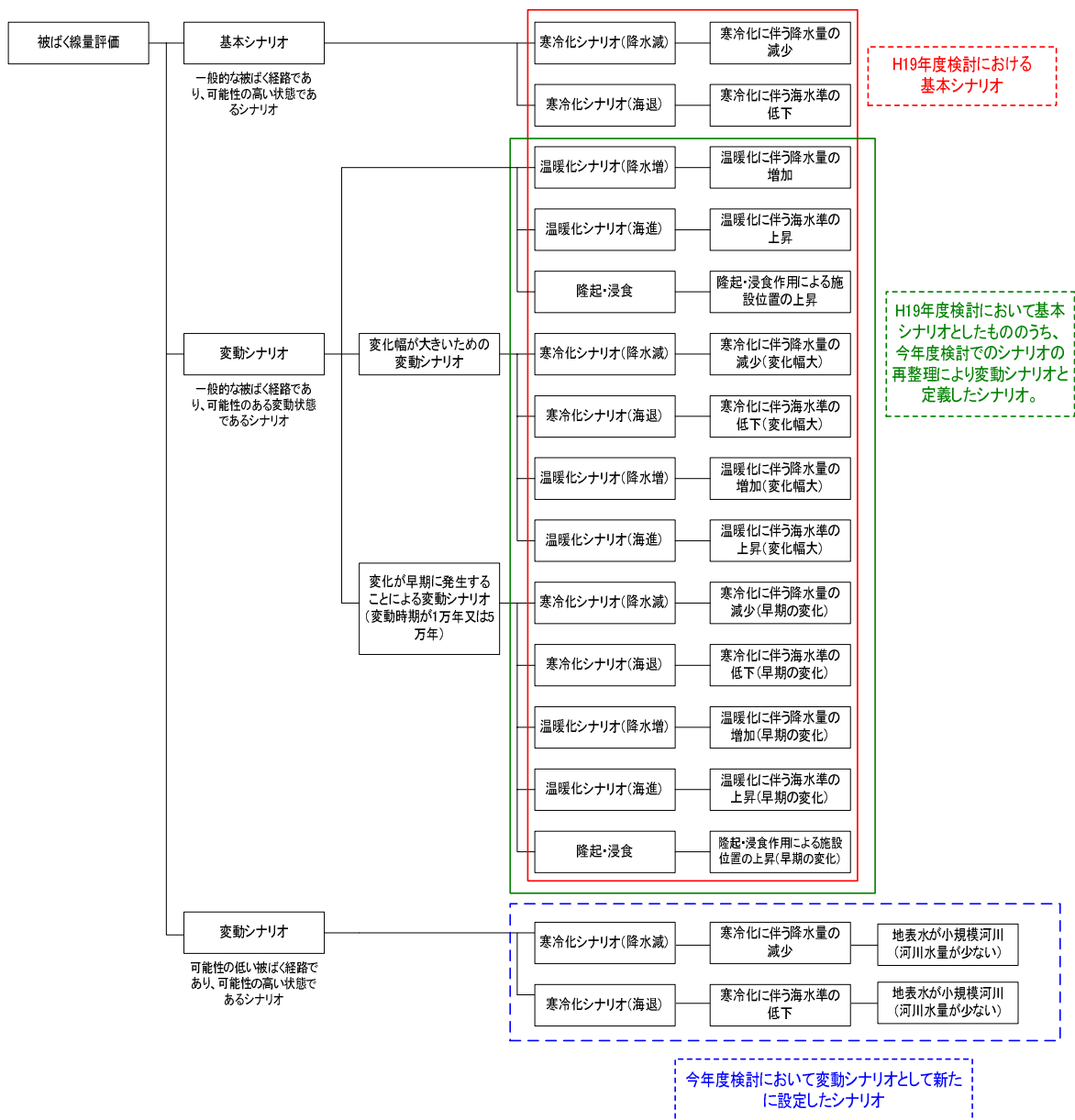


図 3.3.1-1 H19 年度検討での実施分を含めた基本シナリオ及び変動シナリオの区分整理

4. 変動シナリオにおける予察的な被ばく線量評価

4.1 『変動シナリオ』として再評価するシナリオの整理

3章において、H19年度検討で基本シナリオとして設定した評価シナリオから今年度検討で『変動シナリオ』として再整理したケースのうち、H19年度検討において有意な被ばく線量を示したケースについて再評価を実施した。

ここで、H19年度検討では、保守的な評価を行う観点から、変動パラメータは所定の変動時期において基本値から変動値にステップ状に急変する評価方法としていた。この評価方法では、変動パラメータの変動幅が大きくなった場合、極端な被ばく線量の増加を示すケースが見られた。

そこで今年度検討では、評価開始から所定の時期までの間に変動パラメータが線形的に変化するように設定し、評価することとした。そのため、シナリオの再整理の結果『基本シナリオ』とした「気候変動-寒冷化」シナリオについても、変動パラメータが含まれることから、再度評価を実施することとした。

H19年度検討で設定した評価シナリオに対する再評価実施の可否を判定した結果を表 4.1-1 に示す。

表 4.1-1 再評価実施の判定

評価シナリオ	判定	備考
基本ケース (パラメータ変動なし)	—	将来の環境変動について検討・設定するためのベースとなる状態であり、評価の対象外とする。
気候変動-寒冷化-降水量減少	○	変動の小さいケース（地下水流速×0.1倍）は基本シナリオと考える。 上記ケースにおいて、被ばく経路の変化として河川水量の減少を考慮したケースを変動シナリオと考える。 変動の大きいケース（地下水流速×0.01倍）は変動シナリオと考えるが、被ばく線量が小さいことが明らかであることから、再評価しない。
気候変動-寒冷化-海水準変動（海退）	—	「気候変動-寒冷化-降水量減少」と同じ結果となる。
気候変動-温暖化-降水量増加	○	
気候変動-温暖化-海水準変動（海進）	○	
造構運動-隆起・侵食作用-表層剥離	○	移行距離の違いが被ばく線量に与える影響は小さかったため、移行距離が大きく減少するケースについて再評価を実施する。

○：再評価を実施するシナリオ； —：再評価を実施しないシナリオ

4.2 基本パラメータの設定

ここでは、「基本シナリオ」及び「変動シナリオ」において核種移行、被ばく線量評価に関わるパラメータの設定について示す。

4.2.1 廃棄体に関するパラメータ

(1) 対象廃棄物

検討対象とするウラン廃棄物は、天然ウランの核種組成を持つものとした。ウラン廃棄物の核種組成を表 4.2.1-1に示す。

表 4.2.1-1 検討対象ウラン廃棄物の核種組成（放射能比）

対象ウラン廃棄物	核種	放射能比
天然ウラン	U-234	0.49
	U-235	0.023
	U-238	0.49

(2) 廃棄物物量及び初期インベントリ

検討対象とするウラン廃棄物の物量は、平成 18 年度に実施した「ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討 (3)」⁵⁾ (以下「H18 年度検討」という。)と同様に、「平成 17 年度 放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査」⁶⁾を参考に、JAEA (旧核燃料サイクル開発機構・東海事業所及び人形峠環境技術センター、2048 年度末まで)、JNFL (2050 年度末まで) 及びウラン燃料加工事業者 (2050 年度末まで) において排出されるウラン廃棄物のうち、1Bq/g 以上の全てのウラン廃棄物を対象とした場合の物量 99,920 本 (200L ドラム缶換算) を参考に、10 万本と設定した。初期インベントリは、H18 年度検討において廃棄体物量 10 万本の場合もインベントリはそのままとしたため、今年度検討においても $1.25 \times 10^{13}q$ に設定した。

(3) その他物性

廃棄体の密度及び空隙率は、第 3 次中間報告を参考に、見かけ密度 $2,500\text{kg/m}^3$ 、空隙率 0.2 (施設は周辺地質環境と同等の特性であると仮定する) と設定した。

(4) 評価対象とする核種

評価対象とする核種は、U-238、U-234 及び U-235 と、これらを親核種とする子孫核種とした。廃棄物中には、埋設初期では U-238、U-234 及び U-235 が天然組成比で含まれており、時間とともに子孫核種がビルドアップするとした。評価においては、より詳細な核種影響を検討するため対象核種の見直しを行い、半減期が 10 日以上の子孫核種は全て評価対象核種とした。半減期が短く親核種と放射平衡として扱える核種については、生物圏評価の被ばく線量算出にあたり、親核種の線量換算係数に子孫核種の影響を包含させることで考慮することとした。評価対象とする核種を表 4.2.1-2に示す。

表 4.2.1-2 評価対象核種

	被ばく線量算出のための核種グループ	
	親核種	子孫核種
U-238 系列	U-238	Th-234→U-234→Th-230→Ra-226→Pb-210→Po-210
U-234 系列	U-234	Th-230→Ra-226→Pb-210→Po-210
U-235 系列	U-235	Pa-231→Ac-227→Th-227→Ra-223

4.2.2 処分施設に関するパラメータ

(1) 処分施設形状

処分施設の設計は「ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討」⁷⁾における合理化処分概念 C に従うとし、H18 年度検討と同様に廃棄体本数 10 万本における施設寸法を 240m×10m×10m×2 本とした。合理化処分概念 C を図 4.2.2-1 に、廃棄体本数が 10 万本の場合の処分坑道レイアウトを図 4.2.2-2 に示す。

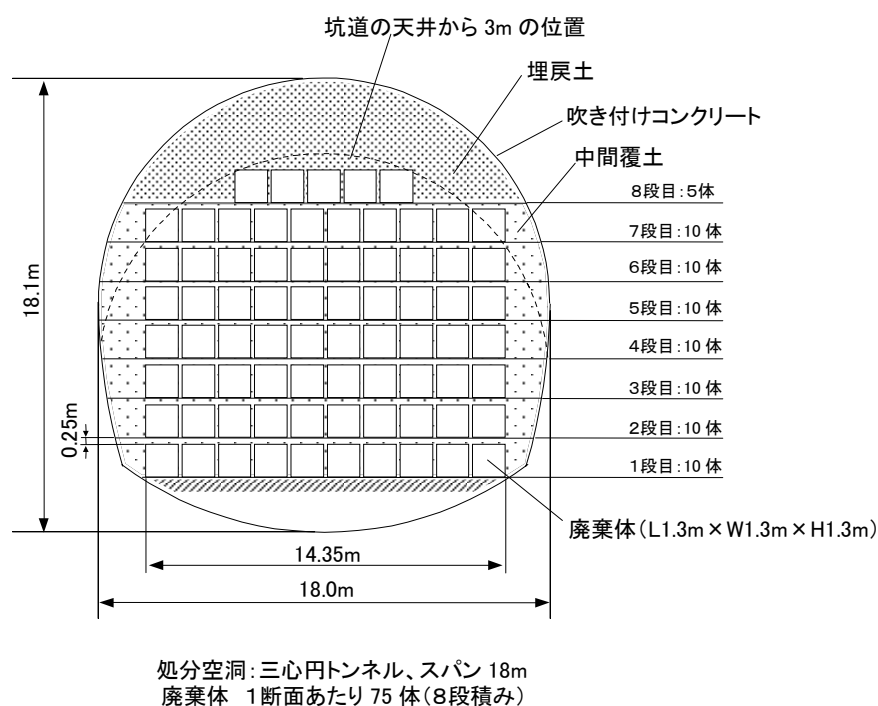


図 4.2.2-1 合理化処分概念 C

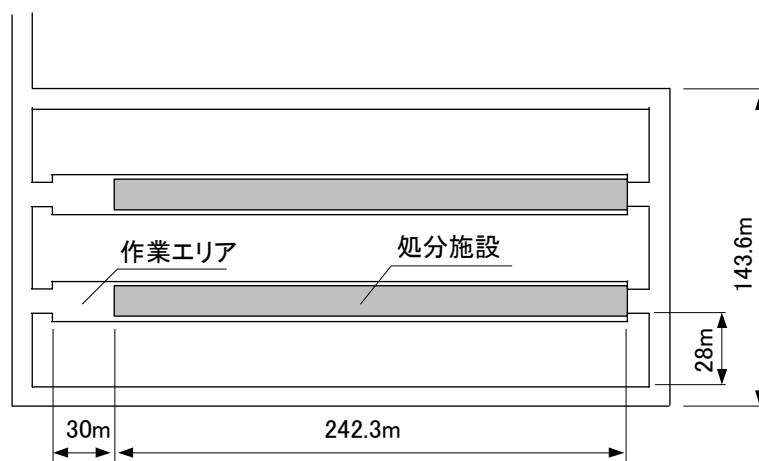


図 4.2.2-2 廃棄体本数 10 万本の場合の処分坑道レイアウト

(2) 処分施設の分配係数

処分施設からの放出係数については、還元性である条件（基本値）及び酸化条件下（酸性パラメータ）における値を設定した。

各元素の処分施設からの放出係数の基本値は、第3次中間報告を参考に基本値を 3.0×10^{-4} と設定した。

処分施設が酸化条件となった場合の放出係数としては、旧核燃料サイクル開発機構「TRU 廃棄物処分技術検討書 -第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ-」⁸⁾（以下、「TRU2次レポート」という。）を参考とした。基本値に「還元条件から酸化条件へ変化した場合の分配係数の変化率」を乗ずることで設定した。ここで、放出係数と分配係数の関係は下式で表される。

$$\frac{1}{\eta_0} = \varepsilon \cdot R_d \quad \dots (式 4.2-1)$$

$$R_d = 1 + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \rho \cdot K_d \quad \dots (式 4.2-2)$$

上式より、

$$K_d = \frac{\varepsilon \cdot (R_d - 1)}{(1-\varepsilon) \cdot \rho} \quad \dots (式 4.2-3)$$

ここで、

K_d : 分配係数 [m^3/kg]

η_0 : 処分施設の放出係数 [-]

- R_d : 遅延係数 [-]
- ε : 廃棄体間隙率 [-]
- ρ : 廃棄体密度 [kg/m³]

還元条件については廃棄体グループ 1 におけるセメントモルタルの分配係数を、酸化条件については廃棄体グループ 3 (硝酸塩の影響を考慮している) におけるセメントモルタルの分配係数を用いた。変化率の算出方法を表 4.2.2-1 に、また各元素の処分施設からの放出係数を表 4.2.2-2 にまとめる。

なお、Po については当該文献において値が示されていないことから、今年度検討では Pb と同じ特性を持つものと想定した。

表 4.2.2-1 還元条件から酸化条件へ変化した場合の分配係数の変化率の算出

元素	①TRU2 次レポートにおけるセメントモルタルに関する分配係数 (Gr.1 還元条件) [m ³ /kg]	②TRU2 次レポートにおけるセメントモルタルに関する分配係数 (Gr.3 酸化条件) [m ³ /kg]	還元条件から酸化条件へ変化した場合の分配係数の変化率 ②/①
U	0.25	0.025	0.1
Th	0.25	0.25	1
Ra	0.00125	0.00125	1
Pb	0.0125	0.0125	1
Po	0.0125	0.0125	1
Pa	0.25	0.25	1
Ac	0.25	0.25	1

表 4.2.2-2 各元素の処分施設からの放出係数

元素	基本値 [-] (分配係数 [m ³ /kg])	酸化条件下の放出係数 [-] (分配係数 [m ³ /kg])
U	3.0 × 10 ⁻⁴ (1.3 × 10 ⁰)	3.0 × 10 ⁻³ (1.3 × 10 ⁻¹)
Th		3.0 × 10 ⁻⁴ (1.3 × 10 ⁰)
Ra		
Pb		
Po		
Pa		
Ac		

注：() 内は放出係数に相当する「処分施設における分配係数[m³/kg]」を示す。なお、これ以降においては、用語として「処分施設における分配係数」を用いて議論することとする。

(3) 施設浸入水量

第 3 次中間報告における選定方法を参考とした。第 3 次中間報告では、施設は周辺地質環

境と同等の特性であると仮定しており、“施設近傍の領域”の地下水実流速がリファレンス値 $1.0 \times 10^{-3} \text{m/d}$ 、空隙率 0.2 であるとき、施設への浸入水量は $7.3 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{m}^2/\text{y}$ となる。これを浸入水量のリファレンス値とした。なお、施設浸入水量は、施設近傍の地下水実流速に依存していることから、地下水実流速の変動に連動する。

(4) 溶解度

ここでは、保守的に溶解度は考慮しない（つまり、沈殿は発生しない）こととした。

4.2.3 天然バリアに関するパラメータ

(1) 移行経路に関するパラメータ

処分施設から浸出した核種の移行経路は、第3次中間報告における選定方法を参考とし、“施設近傍の領域”及び“施設近傍以外の領域”内を移動して生物圏に放出されると想定した。想定した評価モデルの概要図を図 4.2.3-1に、地下水移行シナリオを図 4.2.3-2に示す。

移行経路に関するパラメータは、第3次中間報告を参考として設定した。それぞれのパラメータ設定値を表 4.2.3-1に示す。

「変動シナリオ」において、河川までの距離の減少を考慮するケースについては、施設近傍の地下水移行距離として 200m を確保することとなっていることから、この距離は化学的環境の変化にあっても確保されると想定し、施設近傍以外の地下水移行距離を変化させるよう設定した。

表 4.2.3-1 天然バリア中の移行経路に関するパラメータ

パラメータ	設定値
河川までの距離[m]	500
施設近傍の天然バリア密度 [kg/m ³]	2,600
施設近傍の天然バリア空隙率 [-]	0.2
施設近傍の地下水の実流速 [m/d]	1.0×10^{-3}
施設近傍の地下水の移行距離 [m]	200
施設近傍以外の天然バリア密度[kg/m ³]	2,600
施設近傍以外の天然バリア空隙率[-]	0.3
施設近傍以外の地下水の実流速[m/d]	1.0×10^{-2}
施設近傍以外の地下水の移行距離[m]	300

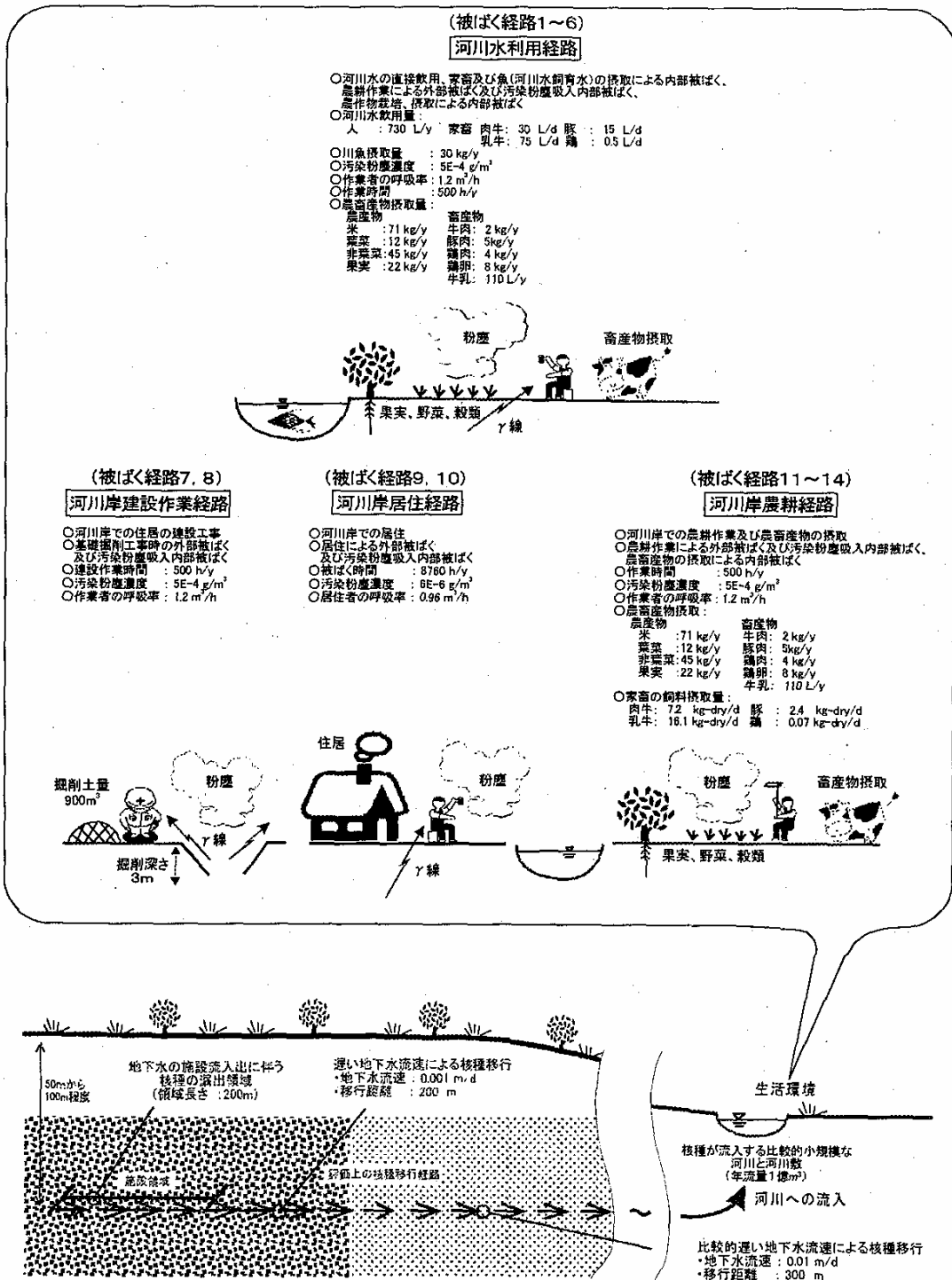
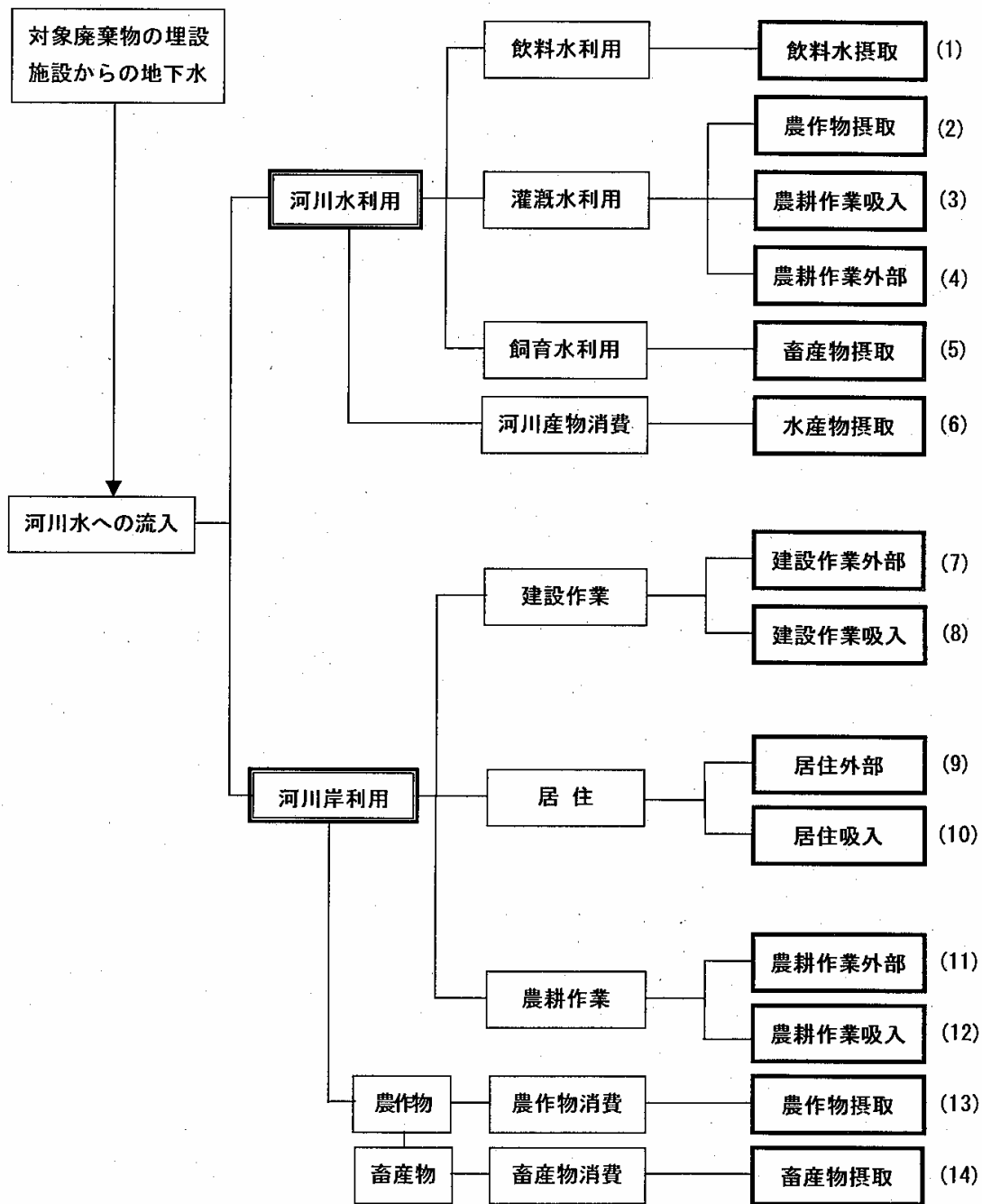


図 4.2.3-1 想定した核種移行評価モデル

(原子力安全委員会、「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について(第3次中間報告)」(平成12年9月14日)より引用)



括弧内の数字は被ばく経路番号を示す。

図 4.2.3-2 地下水移行シナリオにおいて想定される被ばく経路

(原子力安全委員会、「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について(第3次中間報告)」(平成12年9月14日)より引用)

(2) 天然バリアの分配係数

天然バリアにおける分配係数については、還元性である条件（基本値）、酸化条件下（酸性パラメータ）及び塩水性条件下（塩水性パラメータ）における分配係数を設定した。

分配係数の基本値の設定にあたっては、H18 年度検討と同様に、「平成 16 年度 放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査(2/2)」⁹⁾において“政令余裕深度処分評価パラメータ選定手順準拠”として設定された値を参考とした。

移行経路が酸化条件となった場合の分配係数としては、処分施設の放出係数の場合と同様に TRU2 次レポートを参考とし、基本値に「還元条件から酸化条件へ変化した場合の分配係数の変化率」を乗ずることで設定した。変化率の算出方法を表 4.2.3-2 にまとめる。

移行経路が塩水性条件となった場合の分配係数としては、第 2 次取りまとめを参考とし、基本値に「還元条件から塩水性条件へ変化した場合の分配係数の変化率」を乗ずることで設定した。還元条件については降水系における岩盤の分配係数を、塩水性条件については海水系における岩盤の分配係数を用いた。変化率の算出方法を表 4.2.3-3 にまとめる。

以上より設定した天然バリアにおける分配係数の設定値を表 4.2.3-4 に示す。

なお、Po については当該文献において値が示されていないことから、本年度検討では Pb と同じ特性を持つものと想定した。

表 4.2.3-2 還元条件から酸化条件へ変化した場合の分配係数の変化率の算出

元素	①TRU2 次レポートにおける母岩に関する分配係数 (Gr.1 還元条件) [m ³ /kg]	②TRU2 次レポートにおける母岩に関する分配係数 (Gr.3 酸化条件) [m ³ /kg]	還元条件から酸化条件へ変化した場合の分配係数の変化率 ②/① [-]
U	1	0.005	0.005
Th	1	1	1
Ra	0.5	0.05	0.1
Pb	0.1	0.1	1
Po	0.1	0.1	1
Pa	1	0.005	0.005
Ac	5	5	1

表 4.2.3-3 還元条件から塩水性条件へ変化した場合の分配係数の変化率の算出

元素	①第2次取りまとめにおける岩盤中分配係数(降水系) [m ³ /kg]	②第2次取りまとめにおける岩盤中分配係数(海水系) [m ³ /kg]	還元条件から塩水性条件へ変化した場合の分配係数の変化率 ②/① [-]
U	1	1	1
Th	1	1	1
Ra	0.5	0.05	0.1
Pb	0.1	0.1	1
Po	0.1	0.1	1
Pa	1	1	1
Ac	5	5	1

表 4.2.3-4 天然バリアにおける分配係数の設定

元素	基本値* [m ³ /kg]	酸化条件[m ³ /kg]	塩水性条件[m ³ /kg]
U	0.1	0.0005	0.1
Th	1	1	1
Ra	0.05	0.005	0.005
Pb	0.1	0.1	0.1
Po	0.1	0.1	0.1
Pa	0.1	0.0005	0.1
Ac	1	1	1

※JAEA：“平成17年度 放射性廃棄物の長期的評価手法の調査(2/2) [ウラン・TRU 廃棄物の基準整備に係る調査]” ④を参考とした。

(3) 溶解度

ここでは、保守的に溶解度は考慮しない（つまり、沈殿は発生しない）こととした。

4.2.4 生物圏に関するパラメータ

(1) 評価経路

生物圏は、自然現象の影響の結果として変動することが考えられる。一方で、生物圏における被ばく経路の変動は、具体的なサイトの特性やその地域の生活様式等に大きく依存する。具体的には、サイト特性としては、サイトから近隣の河川までの距離、地形の勾配や降水量、海岸線からの距離といった将来の侵食の様態に影響を及ぼす特性が挙げられる。また、生活様式としては、農作物の摂取量、河川周辺や海岸付近の土地の利用状況などが挙げられる。生物圏の変動を具体的に記述するためには、まず、生物圏における被ばく経路の変動に寄与する要因のうち、少なくとも主要なものを特定して、現在のサイト特性を反映した被ばく経路を設定する必要がある。将来的な変動は、このような被ばく経路の設定に基づいて検討する必要がある。

したがって、具体的なサイト条件が明らかになっていない現段階における生物圏の設定の位置づけは、安全評価を実施するために、現在の人の生活様式に基づいて典型的と考えられ

る経路を設定することとし、「基本シナリオ」及び「変動シナリオ」においては、H18 年度検討と同様に、第 3 次中間報告で想定された地下水シナリオの評価経路のうち、決定経路である「河川岸農耕経路」に係る線量を評価した。

なお、将来的に、具体的なサイト特性が明らかになった時点においては、学会標準案等を参考として、そのサイトに応じた評価経路の再検討が必要である。

(2) 評価パラメータ

“公衆の被ばく線量の算出におけるパラメータ”は、第 3 次中間報告における選定方法を参考に設定した。“被ばく線量換算係数”、“農作物及び畜産物の摂取量”、“土壌から農作物・畜産物への移行係数”及び“農耕土壌の分配係数”については、「平成 18 年度 放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査」¹⁰⁾の埋設処分におけるクリアランスレベル評価に使用されるパラメータを参考とした。各パラメータの設定値を表 4.2.4-1～表 4.2.4-6 に示す。なお、各核種の内部及び外部被ばく線量換算係数は、親核種と放射平衡として扱える核種の分も含んだものである。詳細を表 4.2.4-7 に示す。

表 4.2.4-1 公衆の被ばく線量の算出に関するパラメータ

パラメータ	設定値
河川流量 [m ³ /y]	1.0×10 ⁸ 1.0×10 ⁶ *
農耕土壌の密度 [kg/m ³]	2,600
農耕土壌の空隙率 [-]	0.3
汚染度上混合割合 [-]	1
農耕土壌における年間作業時間 [h/y]	500
農耕作業時の粉塵濃度 [g/m ³]	5.0×10 ⁻⁴
農耕作業者の呼吸量 [m ³ /h]	1.2
農耕作業時の遮蔽係数 [-]	1

*：可能性の低い被ばく経路として、沢水利用を考慮した場合に使用

表 4.2.4-2 農作物及び畜産物の摂取量

パラメータ	設定値	
農作物の年間摂取量 [kg/y]	米	71
	葉菜	12
	非葉菜	45
	果実	22
畜産物の年間摂取量 [(牛肉・豚肉・鶏肉・鶏卵) kg/y] [(牛乳) L/y]	牛肉	8
	豚肉	9
	鶏肉	7
	鶏卵	16
	牛乳	44

表 4.2.4-3 農作物への移行に関するパラメータ

パラメータ		設定値
土壌から農作物への移行係数 (米) [(Bq/g-wet) per (Bq/g-dry)]	U	1.1×10^{-3}
	Th	1.9×10^{-5}
	Ra	6.6×10^{-4}
	Pb	4.0×10^{-3}
	Po	2.0×10^{-3}
	Pa	4.0×10^{-2}
	Ac	1.0×10^{-3}
土壌から農作物への移行係数 (葉 菜・非葉菜・果実) [(Bq/g-wet) per (Bq/g-dry)]	U	2.4×10^{-3}
	Th	2.2×10^{-4}
	Ra	1.2×10^{-2}
	Pb	3.4×10^{-3}
	Po	1.5×10^{-3}
	Pa	4.0×10^{-2}
	Ac	1.0×10^{-3}
土壌から農作物への移行係数 (飼 料) [(Bq/g-wet) per (Bq/g-dry)]	U	2.3×10^{-2}
	Th	1.1×10^{-2}
	Ra	8.0×10^{-2}
	Pb	1.1×10^{-3}
	Po	9.0×10^{-2}
	Pa	1.0×10^{-1}
	Ac	4.0×10^{-3}

表 4.2.4-4 畜産物への移行に関するパラメータ

パラメータ		設定値
家畜の飼料摂取量 [kg-dry/d]	肉牛	7.2
	乳牛	16.1
	豚	2.4
	鶏	0.07
飼料・飼育水から畜産物への移行係数（牛肉） [d/kg]	U	3.0×10^{-4}
	Th	1.0×10^{-4}
	Ra	9.0×10^{-4}
	Pb	4.0×10^{-4}
	Po	5.0×10^{-3}
	Pa	1.0×10^{-3}
	Ac	2.0×10^{-5}
飼料・飼育水から畜産物への移行係数（豚肉） [d/kg]	U	6.2×10^{-2}
	Th	4.6×10^{-3}
	Ra	3.5×10^{-2}
	Pb	3.1×10^{-2}
	Po	3.1×10^{-2}
	Pa	1.1×10^{-4}
	Ac	1.7×10^{-4}
飼料・飼育水から畜産物への移行係数（鶏肉） [d/kg]	U	1.0×10^0
	Th	1.8×10^{-1}
	Ra	4.8×10^{-1}
	Pb	1.2×10^0
	Po	1.2×10^0
	Pa	4.1×10^{-3}
	Ac	6.6×10^{-3}
飼料・飼育水から畜産物への移行係数（鶏卵） [d/kg]	U	1.0×10^0
	Th	1.8×10^{-1}
	Ra	2.5×10^{-1}
	Pb	1.2×10^0
	Po	1.2×10^0
	Pa	4.1×10^{-3}
	Ac	1.6×10^{-2}
飼料・飼育水から畜産物への移行係数（牛乳） [d/L]	U	4.0×10^{-4}
	Th	5.0×10^{-6}
	Ra	1.3×10^{-3}
	Pb	3.0×10^{-4}
	Po	3.4×10^{-4}
	Pa	5.0×10^{-6}
	Ac	2.0×10^{-5}

表 4.2.4-5 農耕土壌の分配係数

パラメータ	設定値	
農耕土壌の分配係数 [m ³ /kg]	U	4.0×10^{-1}
	Th	8.9×10^1
	Ra	2.4×10^0
	Pb	2.2×10^1
	Po	6.6×10^0
	Pa	6.6×10^0
	Ac	5.4×10^0

表 4.2.4-6 内部・外部被ばく線量換算係数

パラメータ	設定値	
内部被ばく線量換算係数 (経口) [Sv/Bq]	U-238	4.5×10^{-8}
	Th-234	3.4×10^{-9}
	U-234	4.9×10^{-8}
	Th-230	2.1×10^{-7}
	Ra-226	2.8×10^{-7}
	Pb-210	6.9×10^{-7}
	Po-210	1.2×10^{-6}
	U-235	4.7×10^{-8}
	Pa-231	7.1×10^{-7}
	Ac-227	1.1×10^{-6}
	Th-227	8.8×10^{-9}
	Ra-223	1.0×10^{-7}
内部被ばく線量換算係数 (吸入) [Sv/Bq]	U-238	5.7×10^{-6}
	Th-234	5.8×10^{-9}
	U-234	6.8×10^{-6}
	Th-230	2.8×10^{-5}
	Ra-226	1.2×10^{-5}
	Pb-210	1.2×10^{-6}
	Po-210	2.2×10^{-6}
	U-235	6.1×10^{-6}
	Pa-231	8.9×10^{-5}
	Ac-227	6.3×10^{-4}
	Th-227	7.6×10^{-6}
	Ra-223	5.7×10^{-6}
外部被ばく線量換算係数 [(μ Sv/h) per (Bq/g-soil)]	U-238	2.7×10^{-4}
	Th-234	7.2×10^{-3}
	U-234	2.7×10^{-5}
	Th-230	9.0×10^{-5}
	Ra-226	5.0×10^{-1}
	Pb-210	1.8×10^{-4}
	Po-210	2.5×10^{-6}
	U-235	5.1×10^{-2}
	Pa-231	1.1×10^{-2}
	Ac-227	2.1×10^{-4}
	Th-227	3.1×10^{-2}
	Ra-223	8.7×10^{-2}

表 4.2.4-7 評価核種の線量換算係数によってその寄与が考慮されている子孫核種

核種	線量換算係数に含まれる子孫核種
U-238	—
Th-234	Pa-234m、Pa-234
U-234	—
Th-230	—
Ra-226	Rn-222、Po-218、At-218、Rn-218、Pb-214、Bi-214、Po-214、Tl-210
Pb-210	Bi-210
Po-210	Hg-206、Tl-206
U-235	Th-231
Pa-231	—
Ac-227	Fr-223、At-219
Th-227	—
Ra-223	Rn-219、Po-215、Pb-211、Bi-211、Po-211、Tl-207

4.3 変動を考慮するパラメータの整理

H19年度検討において、各評価シナリオを差別化するパラメータは処分施設からの核種の放出係数（分配係数）、天然バリアの地下水流速、天然バリアの分配係数及び核種の移行距離（河川までの距離）である。評価モデルは、各シナリオで「変化する」と判断されたパラメータが所定の時期に基本値から各シナリオの変動パラメータ値にステップ状に急変するものとなっていた（核種の移行距離のみ線形変化）。

各シナリオにおけるパラメータの変化に関する設定を表 4.3-1～表 4.3-5 に示す。

なお、表 4.3-5 の「造構運動-隆起・浸食-表層剥離等」シナリオにおけるパラメータ設定については、H19年度検討においては施設近傍以外の核種移行距離が削剥等により短縮された場合を想定し、基本値である 300m に対し、100m 減少した場合と 200m 減少した場合の 2 ケースを設定・評価した。しかし、移行距離の減少によって被ばく線量結果に大きな差がなかったことから、今年度検討においては、1 ケースのみ（100m に減少した場合）を評価対象とした。

“気候変動-寒冷化-降水量減少”シナリオと“気候変動-寒冷化-海水準変動（海退）”シナリオは、連動して発生する事象であり、評価上用いる変動パラメータとその変動の大きさは同じであることから、“気候変動-寒冷化-降水量減少”シナリオのみ計算する。また、このシナリオで地下水流速の変動幅が大きいもの（基本値×0.01 倍）については、天然バリア内での核種の移行抑制作用が大きく、H19年度検討においてもその被ばく線量が $1.0 \times 10^{-10} \text{Sv/y}$ 以下と微小であり、パラメータ変動の入力方法を変更した場合においても同様の結果が導出されることが考えられることから、今年度検討においては評価の対象とはしないこととした。

ケース設定に当たっては、3.2 節で既述したように、過去の履歴に基づき相当な確度で推定が可能な期間は概ね 10 万年程度までであり、これよりも短い期間においてはパラメータが変動することを想定できるとして、H19年度検討と同様、1 万年後、5 万年後及び 10 万年後にパラメータ変動が生じるケースを想定する。

なお、表 4.3-1～表 4.3-5 で、各評価ケースに“ケース名”を設定しているが、その中で“T**k”と記載しているものは、変動期間を示すもので、今年度検討における意味は下記のとおりである。

- ・ T10k：評価開始時（0 年）より 1 万年までに所定のパラメータが線形的に基本値から変動値に変わる
- ・ T50k：評価開始時（0 年）より 5 万年までに所定のパラメータが線形的に基本値から変動値に変わる
- ・ T100k：評価開始時より（0 年）10 万年までに所定のパラメータが線形的に基本値から変動値に変わる

※ここで「基本値」とは、4.2 節で設定した各パラメータの初期状態を指す。

表 4.3-1 “気候変動-温暖化-降水量増加” シナリオにおけるパラメータ設定

パラメータ	パラメータの変化	ケース 1 (S1-C1-T**k)	ケース 2 (S1-C2-T**k)
放出係数	変化なし	基本値	基本値
天然バリアの分配係数	変化なし	基本値	基本値
施設近傍の地下水流速	増加	基本値×10	基本値×30
施設近傍以外の地下水流速	増加	基本値×10	基本値×30
河川までの距離	変化なし	基本値	基本値

表 4.3-2 “気候変動-温暖化-海水準変動（海進）” シナリオにおけるパラメータ設定

パラメータ	パラメータの変化	ケース 1 (S2-C1-T**k)
放出係数	変化なし	基本値
天然バリアの分配係数	塩水性	塩水性パラメータ
施設近傍の地下水流速	増加	基本値×10
施設近傍以外の地下水流速	増加	基本値×10
河川までの距離	変化なし	基本値

表 4.3-3 “気候変動-寒冷化-降水量減少” シナリオにおけるパラメータ設定

パラメータ	パラメータの変化	ケース 1 (S3-C1-T**k)
放出係数	変化なし	基本値
天然バリアの分配係数	変化なし	基本値
施設近傍の地下水流速	減少	基本値×0.1
施設近傍以外の地下水流速	減少	基本値×0.1
河川までの距離	変化なし	基本値

表 4.3-4 “気候変動-寒冷化-海水準変動（海退）” シナリオにおけるパラメータ設定

パラメータ	パラメータの変化	ケース 1 (S4-C1-T**k)
放出係数	変化なし	基本値
天然バリアの分配係数	変化なし	基本値
施設近傍の地下水流速	減少	基本値×0.1
施設近傍以外の地下水流速	減少	基本値×0.1
河川までの距離	変化なし	基本値

表 4.3-5 “造構運動・隆起・浸食・表層剥離等” シナリオにおけるパラメータ設定

パラメータ	パラメータの変化	ケース 1 (S5-C1-T**k-100m)
放出係数	酸化性	酸化性パラメータ
天然バリアの分配係数	酸化性	酸化性パラメータ
施設近傍の地下水流速	増加	基本値×10
施設近傍以外の地下水流速	増加	基本値×10
河川までの距離	減少	200m+100m

4.4 変動シナリオの評価結果

H19 年度検討において基本シナリオとしたケースについて、今年度検討において基本・変動シナリオの再整理を行い、さらに“処分システムの可能性が高い状態”と“可能性の低い被ばく経路（河川水量の減少）”の組み合わせとなる変動シナリオを追加し、被ばく線量の評価を実施した。各ケースにおける最大被ばく線量とピーク出現時間を整理した結果を表 4.4-1 に示す。

評価の結果、変動シナリオとして設定したのいずれの評価ケースにおいても安全規制中間報告で示されたためやす（参考とする）値である $300 \mu\text{Sv/y}$ を下回ることが確認された。

H19 年度検討と今年度検討の評価手法の違いは、時間によって変化するパラメータの入力手法がステップ状の変動（H19 年度検討）であるか、線形的な変動（今年度検討）であるかの違いである。例として施設近傍の地下水流速の変動を図 4.4-1 に示す。

なお、上記の入力手法の変更に伴い、基本シナリオについても再評価をしており、表 4.4-1 にその結果を示している。評価の結果、今年度検討で基本シナリオとして設定した評価ケースにおいても安全規制中間報告で示されたためやす値である $10 \mu\text{Sv/y}$ を下回ることが確認された。

(1)基本シナリオ

気候変動・寒冷化を考慮するシナリオで、地下水流速が基本値の 0.1 倍、パラメータ変動期間が 0~10 万年のケース（S3-C1-T100k）である。最大被ばく線量は $1.6 \times 10^{-7} \text{Sv/y}$ であり、H19 年度検討と同じであったが、ピーク出現時間は今年度検討の結果では $7.2 \times 10^6 \text{y}$ と若干遅くなっていた。

比較として H19 年度検討と今年度検討における被ばく線量の経時変化を図 4.4-2 及び図 4.4-3 に示す。これらより、被ばく線量にはパラメータ入力手法の違いによる大きな変化は確認されなかった。本ケースでは、地下水流速の減少により核種の移行が抑制されることから、H19 年度検討でも今年度検討においても、被ばく線量の増加が見られるのは地下水流速の減少（変化）が終了する時期よりかなり後期の 100 万年以降となる傾向を示している。したがって、パラメータ入力手法を変更したものの、被ばく線量が増加する時期と比較するとかなり早期で変動が終了するため、最大被ばく線量の値にはほとんど影響を与えなかったものと考えられる。ただし、今年度検討の場合、評価開始時（0 年）より徐々にではあるが地下水流速の減少が始まっており、H19 年度検討よりも核種移行の抑制作用が早期から働いたことから、ピーク出現時間は遅くなったものと考えられる。

(2)変動シナリオ

気候変動・寒冷化を考慮するシナリオ (S3-C1-T100k) において、河川水量の減少を考慮した場合、最大被ばく線量は $1.6 \times 10^{-5} \text{Sv/y}$ であり、ピーク出現時間は $7.2 \times 10^6 \text{y}$ であった。同じ処分システムの状態で評価した基本シナリオ (S3-C1-T100k) よりも最大被ばく線量が増加したのは、核種が流出する河川を“一般的な被ばく経路”である $1.0 \times 10^8 \text{m}^3/\text{y}$ の河川から、“可能性の低い被ばく経路”である $1.0 \times 10^6 \text{m}^3/\text{y}$ の小規模河川に変更したことにより、希釈水量が 1/100 となったことから、河川水中の核種濃度が基本シナリオの 100 倍となったためである。ただし、パラメータの変動幅及び変動期間は基本シナリオと同様であることから、被ばく線量の経時変化のパターンは同じで、ピーク出現時間も基本シナリオ (S3-C1-T100k) と同じ $7.2 \times 10^6 \text{y}$ であった。

気候変動・温暖化を考慮するシナリオで、地下水流速が基本値の 10 倍に増加するケース (S1-C1-T10k、S1-C1-T50k、S1-C1-T100k)、30 倍に増加するケース (S1-C2-T10k、S1-C2-T50k、S1-C2-T100k) とともに、最大被ばく線量は H19 年度検討と今年度検討で殆ど同じ結果であったが、ピーク出現時間は今年度検討の方が若干早くなり、さらにこの傾向はパラメータ変動期間が長いほど強いことが確認された。

ピーク出現時間が早まった原因は、パラメータ入力方法を変更したことにより、今年度検討では評価開始時より核種流出が始まったためと考えられる。

また、最大被ばく線量が殆ど同じであった原因は、ピーク出現時間がいずれのケースにおいてもビルドアップによる子孫核種増加の影響が出る前にパラメータ変動が終了したためと考えられる。支配核種は各ケースともに Pb210[U234] (例えば、U-234 から生成される Pb-210 については、“Pb210[U234]”と表記する。以下、全ての核種について同様に表記する。) であった。

気候変動・温暖化・海水準変動を考慮するシナリオ (S2-C1-T10k、S2-C1-T50k、S2-C1-T100k) では、地下水流速の増加とともに、天然バリア (移行経路) が海水の影響を受けた場合を想定したケースである。H19 年度検討と今年度検討の結果を比較すると、各ケースにおける最大被ばく線量は殆ど同じであった。被ばく線量の経時変化もほぼ同じであるが、今年度検討では評価開始時からパラメータが変動し核種が流出することから、パラメータ変動終了時 (H19 年度検討は変動時期) の被ばく線量の急増が緩和されている (図 4.4-4 及び図 4.4-5)。またピーク出現時間も今年度検討の方が若干早くなっている。支配核種は移行経路 (天然バリア内) の分配係数が海水の影響で小さくなる Ra226 [U234] であった。

気候変動・寒冷化でパラメータ変動が早期に発生することを考慮するシナリオで、地下水流速が基本値の 0.1 倍に変動するケース (S3-C1-T50k、S3-C1-T10k) では、変動期間に関わらず、最大被ばく線量は $1.6 \times 10^{-7} \text{Sv/y}$ であった。これは H19 年度検討と同様の結果であり、これらのケースではパラメータの入力方法の違いはないと言える。

造構運動・隆起・侵食を考慮したシナリオ（S5-C1-10k-100m、S5-C1-50k-100m、S5-C1-100k-100m）では、処分施設からの核種放出係数、天然バリアの分配係数及び地下水流速と、複数のパラメータを同時に変動させるが、H19年度検討では各パラメータを所定の変動時期にステップ状（瞬時変動）させていたことから、パラメータの変動時期に係わらず、各ケースにおいて急激な被ばく線量の増加（パルス状のピーク）が見られた（図 4.4-6）。一方、線形的なパラメータ変動を設定した今年度検討では、パラメータの変動期間が長いほど（変動終了時刻が遅いほど）被ばく線量の急激な増加が緩和される傾向を示した（図 4.4-7）。ここで、支配核種について見てみると、H19年度検討では各ケースともに天然バリアにおける分配係数が酸化性環境で 0.005 倍となる Pa231[U235]であった。今年度検討での支配核種は、パラメータ変動期間が 0～1 万年（S5-C1-10k-100m、）及び 0～5 万年（S5-C1-50k-100m）のケースでは、同様に Pa231[U235]であったが、パラメータ変動期間が 0～10 万年（S5-C1-100k-100m）のケースでは Ra226[U234]であった。このことから、パラメータが徐々に変化する今年度検討では初期から核種の流出が促進されたため、H19年度検討において支配核種であった Pa231[U235]の天然バリアにおける濃度が 10 万年後にはすでに薄くなっていたことが考えられる。

表 4.4-1 H19 年度検討における評価結果及び今年度検討における評価結果

シナリオ		ケース	H19 年度検討・評価結果		今年度検討・評価結果	
			最大被ばく線量 [Sv/y]	ピーク出現時間 [y]	最大被ばく線量 [Sv/y]	ピーク出現時間 [y]
基本	気候変動-寒冷化-降水量減少/海水準変動 (海退)	S3-C1-T100k	1.6×10^{-7}	6.8×10^6	1.6×10^{-7}	7.2×10^6
	気候変動-寒冷化-降水量減少/海水準変動 (海退)	S3-C1-T100k に対し、河川水量減少を考慮	-	-	1.6×10^{-5}	7.2×10^6
変動	気候変動-温暖化-降水量増加	S1-C1-T100k	5.5×10^{-6}	2.1×10^5	5.7×10^{-6}	1.6×10^5
		S1-C1-T50k	5.5×10^{-6}	1.6×10^5	5.6×10^{-6}	1.4×10^5
		S1-C1-T10k	5.5×10^{-6}	1.3×10^5	5.6×10^{-6}	1.2×10^5
		S1-C2-T100k	1.3×10^{-5}	2.7×10^5	1.1×10^{-5}	1.0×10^5
		S1-C2-T50k	9.1×10^{-6}	9.6×10^4	9.2×10^{-6}	7.1×10^4
		S1-C2-T10k	8.0×10^{-6}	5.7×10^4	8.0×10^{-6}	5.2×10^4
	気候変動-温暖化-海水準変動 (海進)	S2-C1-T100k	1.5×10^{-5}	1.9×10^5	1.4×10^{-5}	1.4×10^5
		S2-C1-T50k	1.4×10^{-5}	1.5×10^5	1.3×10^{-5}	1.2×10^5
		S2-C1-T10k	1.2×10^{-5}	1.1×10^5	1.2×10^{-5}	1.1×10^5
	気候変動-寒冷化-降水量減少/海水準変動 (海退)	S3-C1-T50k	1.6×10^{-7}	7.2×10^6	1.6×10^{-7}	7.4×10^6
		S3-C1-T10k	1.6×10^{-7}	7.6×10^6	1.6×10^{-7}	7.6×10^6
	造構運動-隆起・浸食-表層剥離	S5-C1-T100k-100m	1.1×10^{-4}	1.0×10^5	8.7×10^{-6}	1.0×10^5
		S5-C1-T50k-100m	4.4×10^{-5}	5.0×10^4	6.9×10^{-6}	4.6×10^4
		S5-C1-T10k-100m	3.3×10^{-6}	1.0×10^4	1.8×10^{-5}	1.0×10^4

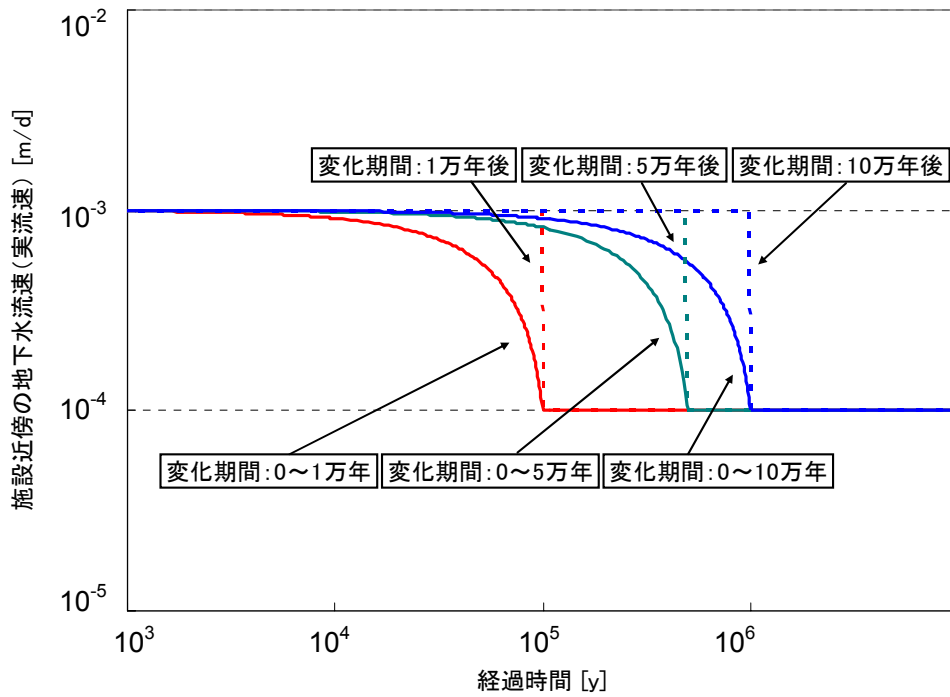


図 4.4-1 変動パラメータの入力方法の比較

(例 気候変動-寒冷化シナリオにおける施設近傍の地下水流速の変化)

※実線：今年度検討のパラメータ変動の入力方法

破線：H19年度検討のパラメータ変動の入力方法

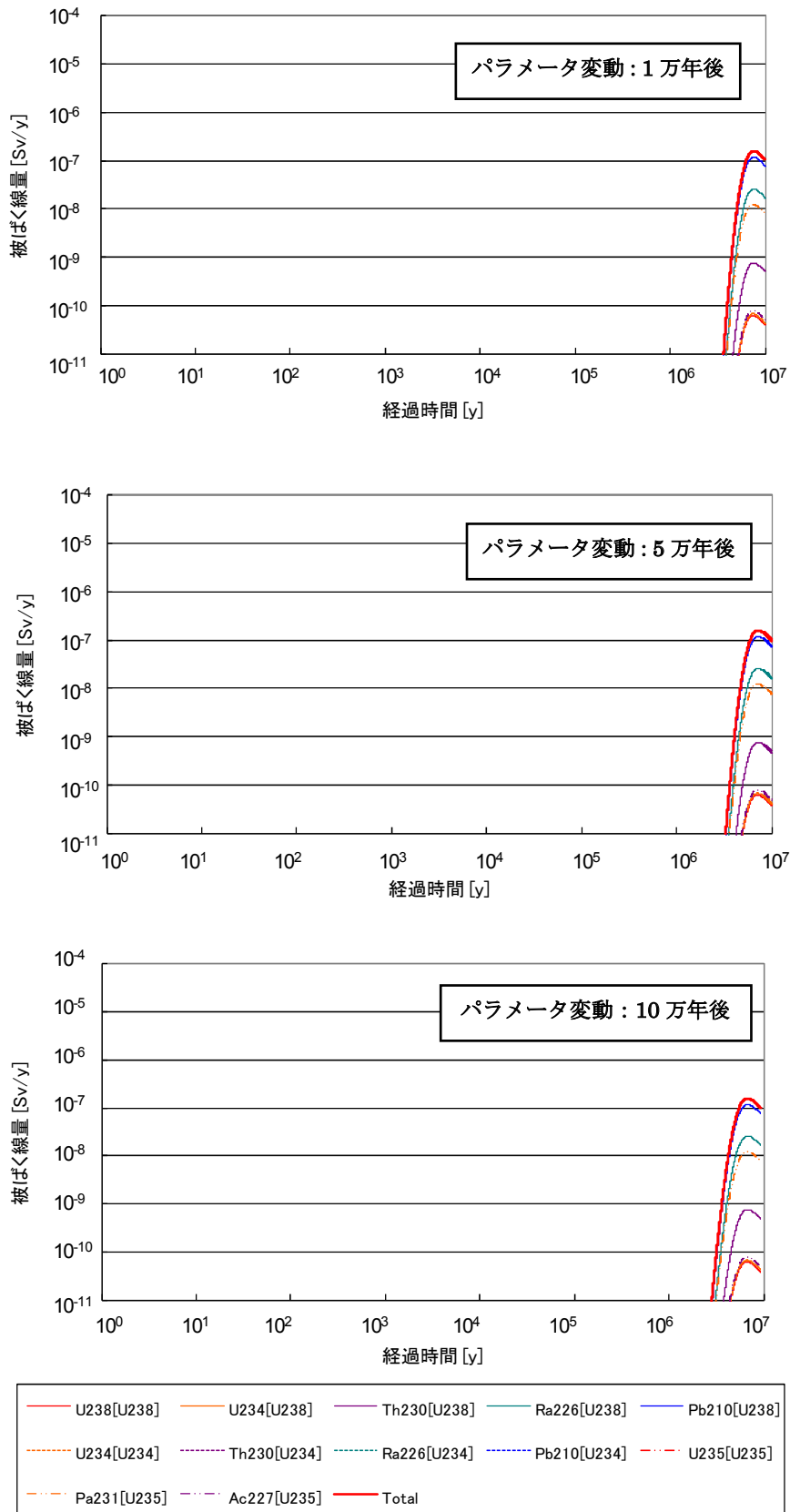


図 4.4-2 H19 年度検討における被ばく線量経時変化（気候変動-寒冷化の例）

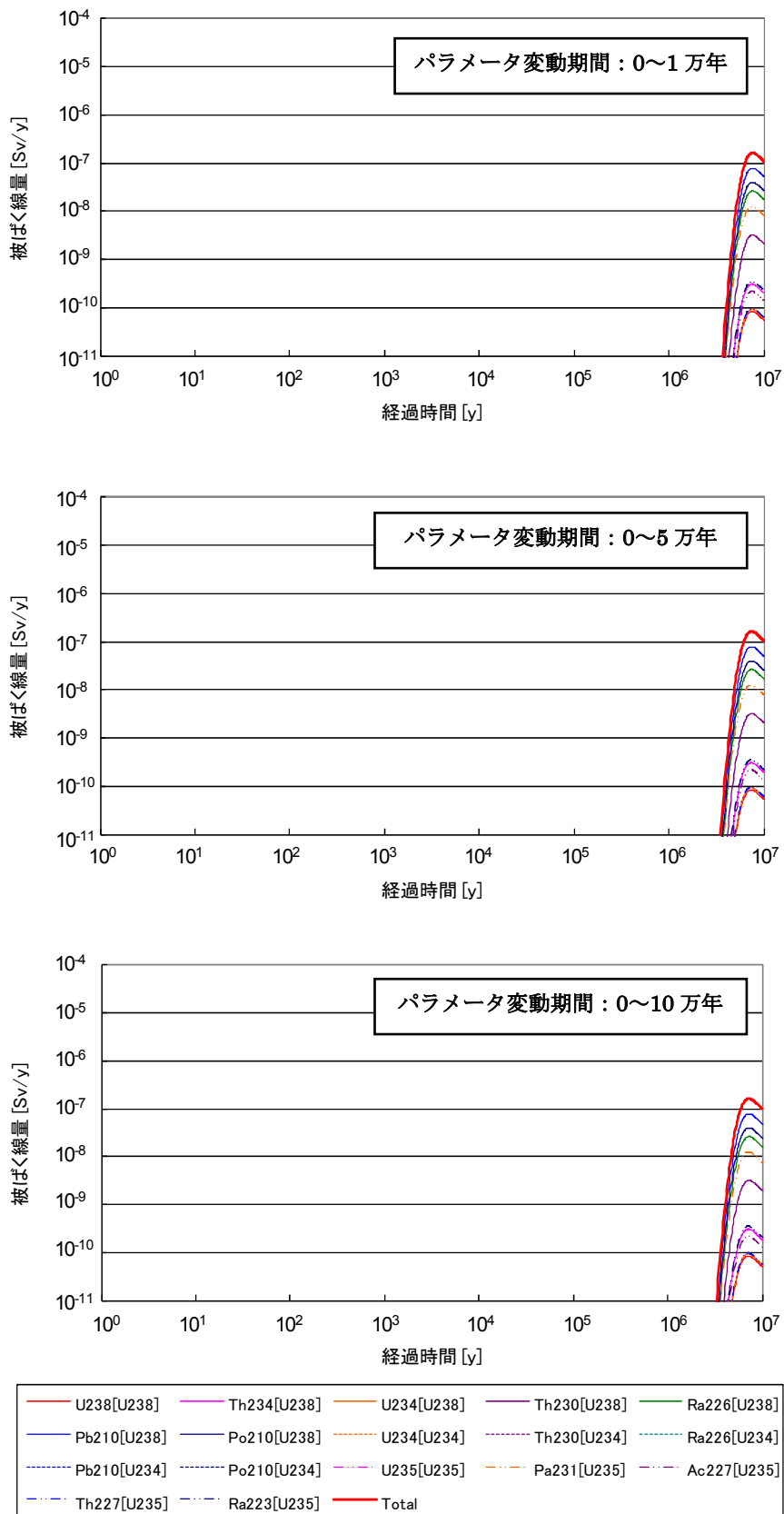


図 4.4-3 今年度検討における被ばく線量経時変化（気候変動-寒冷化の例）

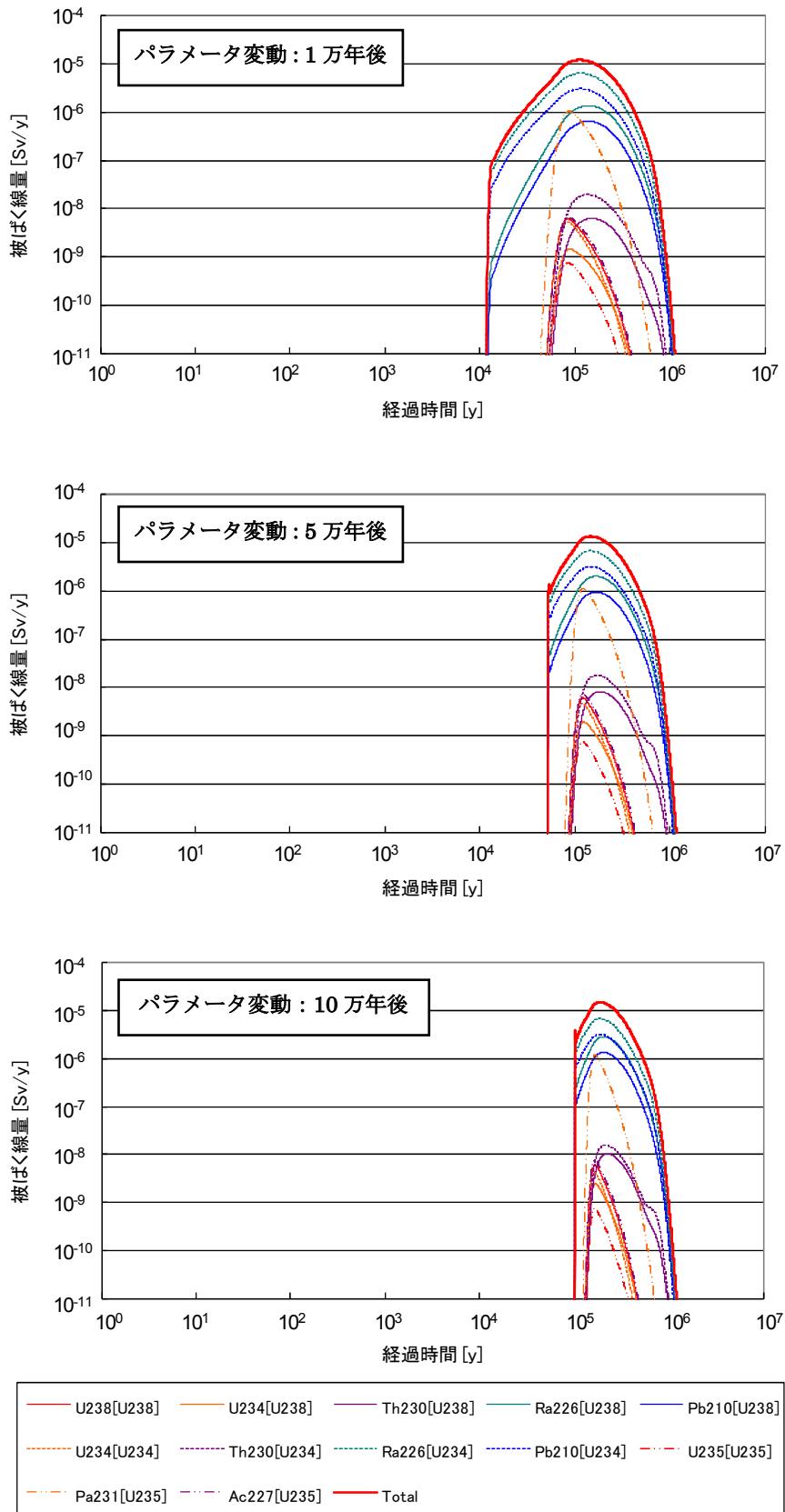


図 4.4-4 H19 年度検討における被ばく線量経時変化（気候変動・温暖化（海進）の例）

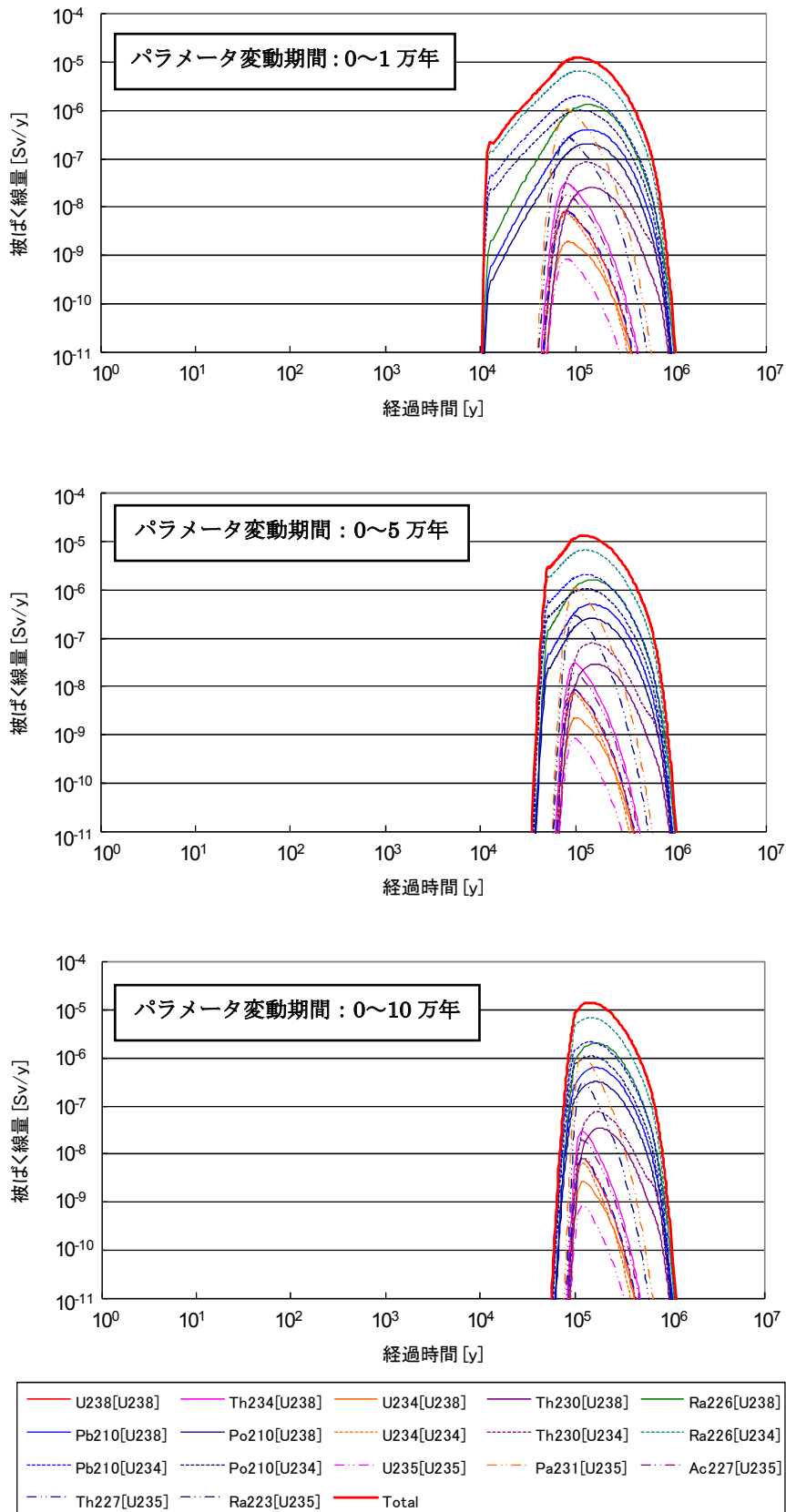


図 4.4-5 今年度検討における被ばく線量経時変化（気候変動・温暖化（海進）の例）

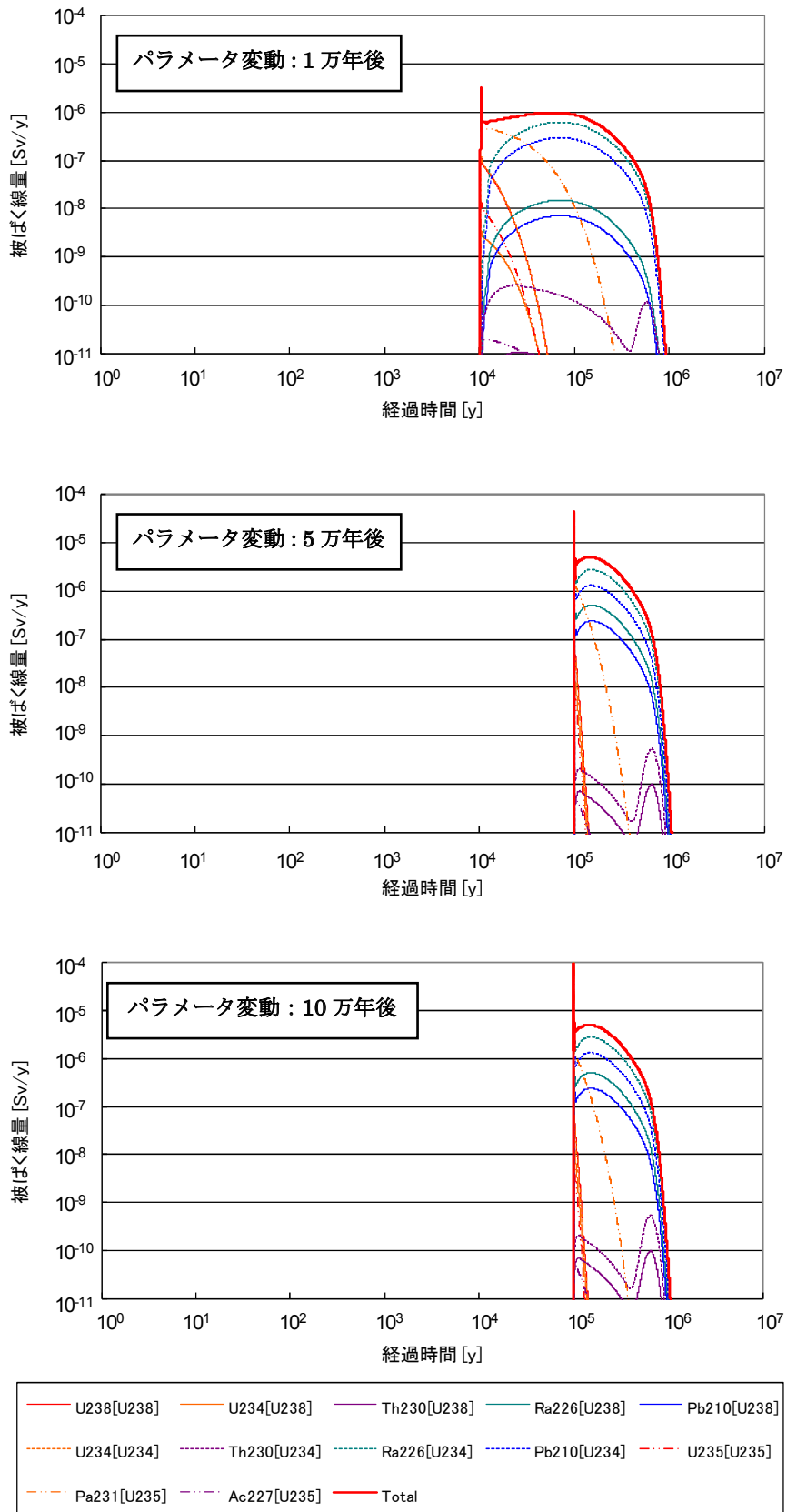


図 4.4-6 H19 年度検討における被ばく線量経時変化（造構運動-隆起・侵食の例）

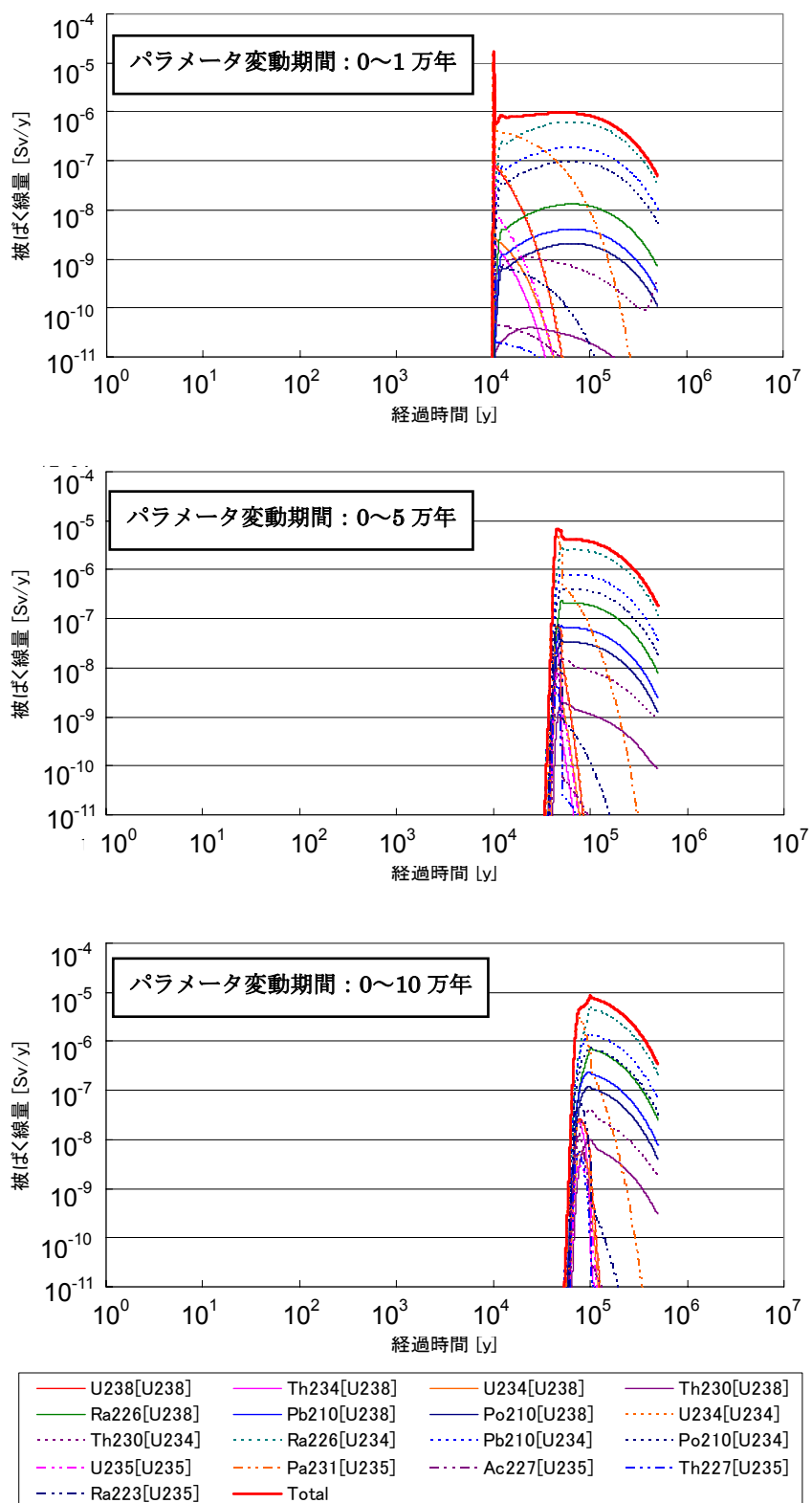


図 4.4-7 今年度検討における被ばく線量経時変化（造構運動-隆起・侵食の例）
（本ケースのみ評価時間は50万年まで）

5. まとめ

今年度は、ウラン廃棄物余裕深度処分の合理化に資することを目的とし、将来、処分施設や処分施設から放出される放射性核種の移行経路(天然バリア)に起こると予見される事象を検討し、「変動シナリオ」を整理した。

まず、H19年度検討において「基本シナリオ」としたものについて、学会標準案における「基本シナリオにおいて設定する処分システムの可能性の高い状態(基本状態)は原則として一つ」との考え方に基づいてシナリオを再整理した。その結果、『基本シナリオ』は、地球環境は寒冷化に向かうとして“寒冷化シナリオ”を設定し、“寒冷化に伴い降水量が減少し、そのため地下水流速が減少する”及び“寒冷化に伴い降水量が減少し、そのため海水準が低下する”ものとした。早期の寒冷化及び寒冷化以外のシナリオは『変動シナリオ』として再整理した。また、各評価シナリオに設定した変動パラメータを H19 年度検討では所定の変動時期にステップ状に変動していたものを、今年度検討では評価開始時から所定の変動時期まで線形的に変動するようパラメータの入力方法を変更し、変動パラメータが含まれる評価ケースに対して再評価を実施した。

その結果、変動シナリオに定義した全ての評価ケースは、安全規制中間報告に示された変動シナリオのめやす(参考とする)値である $300 \mu\text{Sv/y}$ を下回ることを確認した。

なお、現在原子力安全委員会において、低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に係る「安全審査の基本的考え方」について審議中であるが、審議においてはシナリオ区分の取り扱いや様式化されるべき評価条件が不確定で、今年度検討では設定していないシナリオが解析例として示されている。審議の対象は原子炉施設等からの放射性廃棄物であるが、ここでの審議結果はウラン廃棄物の余裕深度処分の検討にも適用される可能性があることが考えられる。そのため、当該審議の動向に注意を払うとともに、新たな安全評価の考え方が示された場合は、再度確認を行うことが必要である。

<参考文献>

- 1) 原子力安全委員会：“低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値について（第3次中間報告）”（2000）
- 2) 「低レベル放射性廃棄物埋設に関する安全規制の基本的考え方（中間報告）」、原子力安全委員会、平成19年7月12日
- 3) 石戸谷公英、中谷隆良、船橋英之、佐々木良一、高瀬敏郎、黒沢満：“ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討(4)”、JAEA-Research 2008-092（2008）
- 4) 「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— 分冊1 わが国の地質環境」、核燃料サイクル開発機構、JNC TN1400 99-021、（1999）
- 5) 辻村誠一、船橋英之、石橋純、高瀬敏郎、黒沢満：“ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討(3)”、JAEA-Research 2007-030（2007）
- 6) 日本原子力研究開発機構：“平成17年度 放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査(2/2) [ウラン・TRU 廃棄物の基準整備に係る調査]”（2006）
- 7) 山本正之、石橋純：“ウラン廃棄物の余裕深度処分概念の検討”、JNC TJ8440 2005-001（2005）
- 8) 電気事業連合会、核燃料サイクル開発機構：“TRU 廃棄物処分技術検討書 —第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ—”、JNC TY1400 2005-013（2005）
- 9) 日本原子力研究所：“平成16年度 放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査(2/2) [ウラン・TRU 廃棄物の基準整備に係る調査]”（2005）
- 10) 日本原子力研究開発機構：“平成18年度 放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査(2/2) [ウラン・TRU 廃棄物の基準整備に係る調査]”（2007）

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) とよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(e)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照度	ルーメン	lm	cd sr ^(e)	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
放射線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70.205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘り度	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ sA
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ sA
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
放射線輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨクタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1L=1l=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バロン	b	1 b=100fm ² =10 ⁻¹² cm ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベクレル	B	
デシベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フット	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe≐ (10 ³ /4π)A m ⁻¹

(c) 3元素のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≐」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ) 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

