

NUMO「包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現」（レビュー版）
 に関する外部専門家向け説明会（東京会場）：頂いたご意見とご質問への回答

セッション5：閉鎖後長期の安全性の評価	
ご質問・ご意見	回答
<p>広域スケールの領域における核種の移行は基本シナリオなどに対応する解析ケースによる線量評価においては考慮しないこととしたとのことだが、広域スケールの核種移行解析はどのような目的で実施したのか。また、広域スケールで実施している地下水流動解析は、それに含まれる処分場スケールの水理場を与えるための境界条件を与えるために実施したという理解でよいか。</p>	<p>具体的なサイトが明らかとなっていない現時点では、処分場が建設される地下深部の母岩を対象とした処分場スケールの領域の外側にある生活圏を含む広域スケールの領域に対して詳細な水理モデルやそれに応じた核種移行モデルを一般的に設定するのは合理的ではない。このため、包括的技術報告書では、処分場スケールの領域の外側に第2次取りまとめで適用したような大規模な断層が存在すると仮定し、これを経路として処分場スケールの領域から生活圏に放射性核種が移行するものとした線量の計算を行っている。しかし、この結果をみると大規模断層による核種の遅延効果は計算上わずかであったため、広域スケールに対する核種移行はあえて考慮せず、すべての解析ケースで処分場スケールから移行した放射性核種は全て生活圏へ流入するものとして線量を計算することとした。これによって母岩として三種類の岩種やそれに応じた処分場の設計による処分場スケールでの安全機能の差がより明確に現れるとともに線量の推定にあたってはより保守的なものとなっている。実際には、広域スケールの地質環境には放射性核種の遅延による減衰や分散希釈といった大きな安全機能が期待でき、具体的なサイトの特徴を反映して取り入れていく。広域スケールの粒子追跡解析はご指定のように、処分場スケールでの水理場を決定するための境界条件を与えるために実施している。</p>
<p>稀頻度事象シナリオについて、リスクを算出する際に用いた発生可能性について、累積確率を考慮するともっと確率は高い値となるのではないか。</p>	<p>稀頻度事象シナリオの評価においては、ある時期にそのシナリオが突発的に発生することを想定している。こうした想定では、リスクを検討するという観点では、発生確率としてその時点の確率密度関数を考慮することが合理的である。</p>
<p>ICRP において「代表的個人」は、原子力発電所</p>	<p>セッション 2 でのご質問に対してもご回答したよ</p>

<p>周辺の全員を対象としてモニタリングを行うことは困難であるため採用された概念である。千年、万年を対象とした長期間の評価が必要な地層処分において、寿命がせいぜい 80 年の個人を対象とすることに意味はない。ICRP の専門家は代表的個人を採用すべきでないと言っている。UNSCEAR（国連科学委員会）が提唱している集団線量の考え方を採用すべきである。</p>	<p>うに、わが国においては、地層処分に関する規制基準は今後検討させることとなっており、包括的技術報告書では、最新の国際的な考え方として ICRP Pub.122 を参照している。これによれば、地層処分に関する放射線防護の考え方として、集団の中で比較的高く被ばくする複数の個人を代表する「代表的個人」の年間線量に基づいて被ばくを評価すべきとしており、線量が高い個人を特定して被ばく線量の影響を評価することで、集団全体の安全性を評価することができると考えられることから、この ICRP の考えを踏まえて、代表的個人に対する線量を評価対象としている。こうした放射線防護の考え方については、ご指摘のような議論も含め、引き続きその動向を注目しつつ適切に対応していきたい。</p>
<p>透水量係数のヒストグラムについて、第2次取りまとめと比べて高透水性のチャンネルが減ったとのことであるが、第2次取りまとめでは母岩の透水量係数分布を表現するように一次元マルチチャンネルに透水性の分布を与えるような核種移行モデルで、三次元割れ目ネットワーク（DFN）モデルの簡略化を行って核種移行解析に用いられている。一方、包括的技術報告書では、割れ目ネットワークモデルによる非収着性物質の物質移動を直接計算した結果を一次元マルチチャンネルモデルでフィッティングするという方法が採られていると理解している。この近似では移流による物質移動のみを取り扱っているのか。DFN モデルのフィッティングに関しては、マトリクス拡散が適切に近似されていることが重要であり、その際に影響が大きい単位流量あたりのマトリクス拡散に寄与する割れ目表面積なども含めて確認すべきである。</p>	<p>ご指摘のように、第2次取りまとめで核種移行解析に用いた一次元マルチチャンネルモデルは、母岩中の移行のみを対象として、透水量係数分布に基づいて各チャンネルに地下水が配分されるように近似化が行われている。この方法も母岩中の核種移行を保守的に評価できるということが示されているが、これは地下水の流動特性に物質移動特性が支配される、いわば移流に注目した近似であるということができ、ご指摘のように割れ目ネットワークモデルにおけるマトリクス拡散を適切に近似するものであるとはいえない。包括的技術報告書ではより現実に即した評価を行うため、母岩を割れ目ネットワークモデルで表現し、その中に人工バリアや処分施設の構成要素を設計に基づいて三次元的に配置して、廃棄体をソースとする物質移動の解析を行っている。この際、ランダムウォーク法を用いた粒子追跡解析によって、移流のみならずマトリクスへの拡散も考慮して亀裂ネットワークモデルによる物質移動挙動を把握している。この挙動特性を一次元マルチチャンネルモデルによってフィッティングしており、DFN モデルにおける核種移行をより物質移動に注目して近似したモデルであることができる。</p>
<p>DFN モデルについて、透水量係数と亀裂サイズの</p>	<p>包括的技術報告書では全国を対象として地下研究</p>

<p>相関が考慮されていないのではないか。SKBのセーフティケース報告書においては、相関の大小を変えた3ケースを想定して解析を実施している。透水量係数と亀裂サイズの相関を考慮しない場合、大きな亀裂に小さい透水係数を与えてしまうこともあり、非保守的な結果を導く可能性がある。</p>	<p>施設での研究成果も含めて、割れ目（亀裂）に関する情報を整理しているが、透水量係数と亀裂サイズの相関に関する十分な情報が得られておらず考慮していない。変動ケースにおいて亀裂の透水性が高い場合を考慮しているため、これによって安全評価上の保守性は考慮されているものと考えているが、今後の課題として検討していく。具体的にサイトが特定できれば、その地点における概要調査や精密調査の段階で情報を得ながら解析に反映できるようにしていきたい。</p>
<p>原子力発電所で用いられている「究極の安全を目標とした残余リスクの最小化」という概念は、地層処分の分野でも同様なのか。すなわち、「ここまでやれば安心」というコンセプトがあるのか。</p>	<p>時間の長期性や地質環境という不均質性を有するシステム要素を含むことによる不確実性に特別の配慮を行う必要がある地層処分では、「これでよい」といったゴールを明確に設定することはできないと認識している。このため、リスクをできるだけ低減するための恒常的な努力を払うことが事象者の責任として重要であることが国際的にも共通の考え方である。セーフティケースは、事業の節目節目で繰り返し作成し、その信頼性を不断に高めることによって、こうした努力を具現化するという意味で重要である。</p>
<p>処分事業は何が問題で今進められていないのか。世の中に実証結果を示すためにも閉鎖前までのプロセスで一度事業の許認可を得て進め、閉鎖後の事業については、それまでに得られた知見を取り込んであらためて許認可を得るというアプローチは考えられないか。</p>	<p>技術的には、文献調査に進むことができる水準に達していると考えている。包括的技術報告書の目的の一つはこうした技術水準に達していることをご提示してご意見を仰ぐことである。具体的に文献調査の段階に進むためには、何より、それを受け入れていただくことが前提であり、このためには地層処分の必要性や安全性について広く国民の皆様にご理解いただくことが必要である。地層処分の安全性は、閉鎖後の長期間にわたっても、それが確保されることについてご理解いただけないと事業を進めることはできない。包括的技術報告書はこうした地層処分の安全性についてご理解いただくための技術的な基盤として役立てることができると考えている。</p>
<p>事業をさらに加速できる要因がないかを検討し続けてほしい。</p>	<p>ご意見として承る。</p>

<p>HLW の評価対象核種に追加された難収着性の元素である炭素-14、塩素-36、ヨウ素-129 について、TRU 等廃棄物との配分はどのようなになっているのか。また、HLW からの溶出挙動は調和溶解か、あるいは瞬時放出か。</p>	<p>第2次取りまとめでは、ヨウ素-129 は再処理の過程で全て揮発しガラス固化体には含まれないと仮定していたが、諸外国での評価などの情報を収集し、再処理工程において廃液側に移行すると考えられるヨウ素-129 はガラス固化の際に揮発せず、全てガラス固化体に含まれるものとしている。ここで、廃液側への移行率は、六ヶ所村の日本原燃再処理工場の許認可申請関連資料で示されている設計仕様に従い3%としている。TRU 等廃棄物のインベントリ設定においては、再処理工程においてヨウ素-129 がすべて揮発するものと保守的に仮定した。したがって、インベントリとして重複して考慮している量が存在していることになる。C-14、塩素-36 についても同様の取り扱いをしている。</p> <p>HLW からの溶出挙動はガラスの溶解に支配される調和溶解であるとしている。</p>
<p>HLW と TRU 等廃棄物を合わせると元々含まれる量の 200%になっているということか。</p>	<p>前述のとおり、部分的に重複して計上しているが、元の量の 200%になっているというわけではない。</p>
<p>線量確率分解アプローチを採用したとのことだが、オーバーパックの寿命 1,000 年という設定は基本シナリオとして妥当なのか。</p>	<p>同じ条件であっても、腐食速度にはばらつきを生ずる。また、地下施設の建設・操業・閉鎖までの期間に、設置される周辺母岩の地質環境特性が擾乱を受け、個々の人工バリアが異なる状態に置かれることなどを考慮すれば、オーバーパックが、地下水と内部に密封充填されたガラス固化体との接触を抑制する期間（寿命）にばらつきを生ずるものと考えられるが、現時点の知見や情報に基づいてこうしたばらつきを表すことは困難であるため、基本シナリオとして、腐食の進展を保守的に評価したうえで、埋設したすべてのオーバーパックが一律 1,000 年で寿命を迎えるという設定を行っている。今後の技術開発によって、寿命のばらつきを示すための情報やデータを蓄積し、そのうえで求められる最確値を基本シナリオに対するオーバーパック寿命として与えることを検討していきたい。</p>
<p>稀頻度シナリオや人間侵入シナリオでは、リスクを算出しているが、これは統合アプローチの考え方ではないか。</p>	<p>基本的な考え方は、線量確率分解アプローチを採るということで、発生確率を検討することが可能と考えられる場合には、参考値としてリスクを計算している。予め統合アプローチを採用しているというこ</p>

	とではない。
GBI (Geosphere-Biosphere Interface) の設定には大きな不確実性が伴うと考えられる。包括的技術報告書では GBI は固定しているようだが、100 万年といった評価を行う際には、隆起・侵食や気候変動などを考慮しなければならないと考える。そのことに関する検討は進められているのか。	ご指摘のように、GBI は生活圏が存在する地表環境に依存し、地表環境は長い時間スケールでは隆起・侵食や気候変動などの影響を受けて大きく変化する可能性がある。このような変動は地域依存性が高く、サイトが明らかとなっていない現段階では、想定される一般的な GBI のなかで線量の計算値が総じて高いものを固定的に与えている。現在、GBI の時間的変遷を合理的に取り扱うことができるように、地表から処分場が設置される地下深部までを、その時間変化も含めて一体的に扱うことができる四次元の地質環境モデルの開発を進めている。
地表における希釈量は、線量評価結果に対して最も影響が大きいことから注意すべきである。	ご指摘のとおりである。包括的技術報告書では、希釈量については、線量評価で設定した GBI である河川流量であり、全国平均の値を代表として用いている。そのうえで、その不確実性に対しても安全性が確保できることを検討している。将来的には、開発中の四次元地質環境モデルによって GBI を三次元的に把握し、その時間変化も含めてより合理的に希釈水量を与えることができるようにしていくことを検討している。
代表的個人を採用していることについて、一般の方にも納得してもらえよう、説明には注意すべきである。	ご指摘のとおりである。前述のとおり、ICRP の考え方にしたがっているが、何故、それが合理的なものであるのかといった背景も含めた説明を行うように努めていきたい。
稀頻度事象シナリオと発生可能性について、発生可能性の根拠は本編・付属書に示されているのか。	包括的技術報告書の第 3 章の付属書に記載している。
核種移行モデルでは埋め戻し材を無視しているようだが、埋め戻し後の坑道を介した移行経路についてはどのように考えているのか。	核種移行解析にあたっては、人工バリアや埋め戻し材などの処分場構成要素を、周辺母岩を三次元亀裂ネットワークモデルで表現した地質環境モデルの中に設計仕様に基づいて配置したうえで、埋め戻された廃棄体をソースタームとした物質移動のふるまいを把握し、これを最適に近似するようなマルチチャンネルモデルで簡略化したモデルを用いている。したがって、埋め戻し材の配置や特性が核種移行に及ぼす影響についてはこの簡略化モデルに反映されている。安全評価シナリオでは、ベントナイトを

	<p>主成分とする止水プラグを適切に設置することで、埋め戻し後の坑道が主要な地下水移行経路となることはないとしており、核種移行解析モデルにおいても坑道が主たる移行経路となり立て坑を介して生活圏に至るような想定は行っていない。</p>
<p>処分場周辺に放射性核種を閉じ込めるということが地層処分の基本概念であるならば、核種の存在割合の分布を示した結果を示しても良いのではないか。</p>	<p>処分場による長期的な閉じ込め性能を提示するうえで、ご指摘のような処分場構成要素内の核種の存在割合は、線量以外の指標として重要であり、包括的技術報告書の第7章で検討を行っている。これについては次のセッションでご説明する。</p>
<p>処分場スケールのマルチチャンネルモデルについて、様々なチャンネル長さを設定しているが、100m スケールの母岩の三次元割れ目ネットワークモデルを用いた粒子追跡解析による物質移動挙動を近似したマルチチャンネルモデルを、100m スケールより大きなスケールでの母岩中の物質移動挙動にも適用できるものとして、チャンネル長さを延長して用いているという理解でよいか。</p>	<p>お考えのとおりである。処分場スケールに含まれるパネルスケールより外側の母岩に対して考慮する割れ目の特性は、パネルスケールにおける母岩と同じ統計量を有するものとしており、こうした割れ目の大きさの範囲を超える断層の分布は処分場スケールにおいて決定論的に与えている。パネルスケールの外側の処分場スケール領域母岩のマルチチャンネルモデルを作成するにあたっては、処分区画を含むパネルスケールの領域の外側に移行した核種が処分場スケールの母岩領域を移行する距離は、処分区画と処分場スケールの母岩領域に設定されている決定論的な断層、あるいは処分場スケールの領域境界との位置関係により、様々な場合があり得る。これをマルチチャンネルモデルで近似的に取り扱うため、まず、100m スケールの母岩に対応した三次元割れ目ネットワークモデルを近似したマルチチャンネルモデルを作成し、そのチャンネルの長さを各処分区画と決定論的に与えた断層まで、あるいは処分場スケールの領域境界までの直線距離まで延長して、各処分区画ごとの核種移行解析を行っている。これによって、処分場スケールでの分散効果を保守的に取り扱うことになっている。ただし、処分区画から決定論的に設定した断層、あるいは処分場スケール境界までの距離が100mより短くなる場合については、分散効果を非保守側に見込むことになるため、長さを0として、パネルスケール領域外側の処分場スケールでの母岩中の核種移行を保守的に無視した評価としている。</p>

<p>外挿について、スケールを大きくした場合には、より大きな断層が含まれる可能性があるが、透水量係数と割れ目サイズの相関まで考えると、あるスケールにおいて割れ目ネットワークモデルを近似したマルチチャンネルモデルのチャンネル長さを延長することでスケールの拡張を行うことは妥当と言えるのか。</p>	<p>上記回答で述べたとおり、透水量係数と割れ目サイズの相関については十分な知見が得られていないことから考慮していない。また、処分場スケールまでの領域に含まれる母岩の割れ目特性はすべて同じのものであると仮定していることからこうした相関を考慮しない場合には、マルチチャンネルモデルの長さを延長してスケールの拡張を行うことは保守的な設定という観点では妥当であると考えることができる。三次元割れ目ネットワーク (DFN) モデルを用いた核種移行解析の領域サイズについては、包括的技術報告書では 100m 程度であるが、より大きなスケールに対する DFN モデルを用いた物質移動解析に基づいてマルチチャンネルモデルによる近似の精度を上げ、保守性を低減するため、現在領域サイズ 1,000m 程度まで解析可能な計算コードの開発を行っている。こうした解析領域サイズの拡張によって、割れ目サイズと透水量係数の相関を考慮する必要がある場合にも柔軟に対応できるように、開発を進めていく。</p>
---	--

以上