

総合資源エネルギー調査会 原子力小委員会 放射性廃棄物WG
(旧電気事業分科会原子力部会放射性廃棄物小委員会) 第2回会合

日時 平成25年8月7日(水) 15:00～17:26

場所 経済産業省本館17階第1～3共用会議室

○伊藤放射性廃棄物等対策室長

定刻になりましたので、ワーキングを始めたいと思います。

本日は、特に暑い中お越しいただきまして、ありがとうございます。どうぞよろしくお願いいたします。

まず、私のほうから事務的なことを二、三確認させていただきます。1点目は、このワーキングの開催の回数については、1回目の小委から含めると計4回という数え方をこれまではしてきました。しかしながら、全省的な審議会見直しの結果を踏まえまして、本ワーキングはこれまでの小委員会とは別建てでカウントをすることになりました。従いまして、今回は放射性廃棄物ワーキング第2回という形に改めさせていただいて、以後、同様な形で回数のカウントをさせていただければと思っております。

続きまして、お配りしている資料の確認でございます。本日はお手元に議事次第、委員名簿、資料1、資料2、資料3-1、3-2、3-3、資料4、資料5、ただし資料5には、本日欠席の新野委員からのご意見をいただいておりますので、それを2枚目につけさせていただいております。それから資料6でございます。また、参考資料ですが、2種類ありまして、参考資料1として、前々回の伴委員からのご指摘、ご意見を踏まえまして、天然バリアを考慮しない場合での地層処分システムの性能の解析結果が2次取りまとめにございましたので、それを配布させていただいております。それから、参考資料2は、ホームページでこのワーキンググループにおける議論を国民の皆様に見ていただいて、ご意見を受け付けられるような仕組みを7月9日から実施しています。今回は3名の方から昨夜までにご意見をいただいております、それを配布させていただきます。

それから、卓上に置いておりますドッチファイル、これは法律とか政令、また、NEAレポートなどの参考資料集となっております。この扱いについてはこれまで同様ということで、本日のワーキンググループ終了後そのまま置いていただければ、次回また同じようにご用意させていただきますし、お持ち帰りいただく場合は、恐縮ですが、それまでに我々にお返しいただく形にするか、あるいは、お手数をかけますけれども、次回お持ちいただくという形でお願ひできればと

思います。

資料等、過不足がありますでしょうか。よろしいですか。もし何かありましたら、事務方に申しつけていただければと思います。

次に、本日の出欠状況ですが、新野委員、西川委員がご都合によりご欠席となっております。事務方からは以上でございます。

それでは、増田委員長に以後の議事進行をお願いしたいと思います。よろしくお願いします。

○増田委員長

それでは、お手元の議事次第に従って進めてまいりたいと思います。

初めに、委員からのプレゼンテーションとして4名の委員から資料をいただいておりますので、これに基づきましてご説明をいただきます。4名続けて説明をしていただきまして、その後まとめて質疑応答とさせていただきたいと思います。

それでは、資料1、「地層処分の安全性を支える自然の基本的性質」を、朽山委員からご説明をお願いしたいと思います。朽山委員のご説明は15分ぐらいをめどに、それから、ほかの3人の委員の皆様方は20分ぐらいをめどにご説明をお願いしたいと思います。よろしくお願いします。

○朽山委員

朽山です。どうぞよろしく。私は、今日は3名の委員の方から地質環境関係のお話をさせていただくのですが、そのイントロダクションということで、「地層処分の安全性を支える自然の基本的性質」という形でお話をさせていただければと思います。

この中身と申しますのは、ガラス固化体の危険性と、受動的安全機能の必要性。受動的というのは、ここに「自然の基本的性質」と書いてございますように、もともと自然に備わっている性質を使って地層処分の安全を確保するということを言うための話です。それから、地層処分の基本概念と、地層処分の安全性の評価、こういうことでお話をさせていただければと思います。

まず、ガラス固化体の危険性ですけれども、ここにございますように、取り出して数年後に再処理してガラス固化体をつくるといたしますと、これは放射性物質がガラスにされて固められたものということになりますが、この左にありますような大きさのものの中に、およそ 2×10^{16} Bqという、ベキ乗がかかっていて非常にわかりにくいんですが、この放射能の量は、福島第一の事故で環境に放出された放射性セシウムの放射能にほぼ匹敵するぐらいの量でございます。これが1本当たりに閉じ込められているというものでございます。これが出てきた経緯は、3万人が1年間全部原子力で電力を賄ったとしたときぐらいの分の廃棄物として出てくるということでございまして、電力の3分の1を原子力で賄うと、年間1,000本ぐらいが出てくる勘定になって、現在までに、使用済燃料ですけれども、ガラス固化体にしますと2万4,000本ぐらいのものが既にある

ということでございます。

この危険性と性質でございますが、ここに書いてございますように、現在、ほぼすべての放射性物質は小さな体積の固体としてひとまとめに閉じ込められている。それから、含まれている放射能は膨大で、ガラス固化体が自然現象あるいは人の行為により破壊されて、何らかの力で環境に飛散させられれば、放射線影響により人や環境に危険を与える。これがリスクの源ということになりまして、これから我々を守るということになるわけです。

もしも環境に放出して希釈・拡散とか環境の浄化能力に頼ろうとしても、この放射能の量は膨大ですから、そういうわけにはいきません。非常な長期にわたって外的擾乱事象に対して放射性の「物質」を生活環境から隔離し閉じ込めておける処分方法が必要ということでございます。

ここに、1千年後、1万年後、数万年後に2000分の1、1万分の1、2万分の1と書いてございます。これは我々のスケールでいうと99.95%が1000年でなくなるということなんですけれども、それでもまだ残っているわけです。

どのくらい残っているかをグラフにいたしますと、こんな格好になっている。これは皆さんには非常にわかりにくいグラフですけれども、縦軸が、対数グラフと申しまして、1目盛りごとに10倍、10倍になっていく。横軸の、取り出して4年後に固化したとして計算したときの経過時間も、1年、10年、100年、1000年と、1目盛りごとに10倍、10倍になっていく。桁がすごく変わっていくということを示すためにこういうグラフがかかっている。

これは非常にわかりにくいんですが、いつもこういうものだという事を見直しながら見ていただければと思います。だんだん減っていったって、1000年後ぐらいに2000分の1になる。これは 2×10^{16} から始まって、1目盛りで10倍、2目盛りで100倍、3目盛りで1000倍ですので、大体2000分の1ぐらいになると。1万年たつと1万分の1ぐらいになりますよと、こういうグラフになっているわけです。

数万年たったところで、これをつくった天然ウランと、ガラス固化体1本当たりのものに計算しているんですけれども、これをつくるために天然ウランが7tぐらい要ります。ウラン鉱石にすると7,000tぐらいになるんですけれども、そういうものをつくるのに必要な天然ウランの放射能と同じぐらいになりますよと書いてあるんですね。ここで 10^{12} Bqがガラス固化体に含まれているということになります。これが安全なレベルというわけではございません。それよりも3桁下がった 10^9 Bq/500kgというぐらいで、大体1%ウラン鉱石1tの放射能と等しくなります。これで1000Bq/gぐらいですね。

今いろいろなところでセシウムの放射線が問題にされていますが、社会に循環されて問題ないレベルというのは0.1～1Bq/gぐらいです。これに比べると、これはその1000倍ぐらいあるという

ことですから、ここにきてはまだ駄目ですね。環境に飛散されれば危険という意味では、こういうところは非常に危ない。この辺になると、今度は環境に飛散されれば薄まって大丈夫でしょうけれども、人が接近すれば危険ということです、そういうことを考えると、うんと遠い将来まで隔離して閉じ込めておくことが必要なものがガラス固化体の性質ということになります。

どのくらい隔離して閉じ込めておけばいいかというと、ほぼ永遠なんですけれども、これを人間の文明の移り変わりと見てみますと、過去に振り返ってみますと、第二次世界大戦が60年前ぐらいにあったとか、産業革命がこのぐらいにあったとか、『源氏物語』が1000年前につくられたとか、古代文明が5000年前ぐらいに始まったとか、最終氷期が終了してだんだん暖かくなって農耕が開始されて、都市文明ができてきたのが一万数千年前だということを考えると、この間ずっと人間が見張っていることはとてもできません。見張って頑張ったとしてどこかで駄目になるのであれば、それが駄目になったとしても大丈夫なような格好での隔離・閉じ込めの方法が必要であるというのが放射性廃棄物の問題です。

そのために自然の力を利用しようというわけで、受動的な安全機能に期待する地層処分概念は、処分された高レベル放射性廃棄物が人間に影響を与えないようにするため、隔離・閉じ込めという2つのことを確実にします。隔離というのは、安全評価側からいうと人間と廃棄物の間の距離が接近するというもので、「接近シナリオ」と呼んでいます。それから、閉じ込めというのは、ここから放射性物質が漏れ出て人間環境に入ってしまう、そういうものは地下水によって溶かされて出てきますので、これを「地下水シナリオ」と呼んでいます。

こういうことをするためにどうするかと言いますと、まず1つは、廃棄物自体が直接人間に影響を及ぼさないようにするために、非常に厚い岩の壁が本来的に持つ隔離機能で、数百メートルぐらいのものを使おうということになります。それから、閉じ込めのほうは、地下水が来ないようにするというので、地下深部が本来的に持つ閉じ込め機能を使います。これは、地下水はほとんど動かないということと、もう一つは溶解度により溶出が抑制されるということを使います。これについては次のスライドでもう少し詳しく説明いたします。

これでまず安全を確保するわけです。これでほぼ自然の力によって安全が確保されるんですが、こういうことがさらに確実になるように、隔離機能については、これをさらに確実にするために適切な条件を持つ地質環境を処分の場所として選定するということになります。これは距離が近づかないようにするということですね。それから、もう一つは、閉じ込めのほうも、さらに閉じ込め機能を確実にするために、多重バリアシステムを構築することになります。

今、地下水シナリオのほうで溶解度の話をしました。実際は地下にガラスに固められた放射性物質があるわけですが、これはどういうことになるかと言いますと、実際に放射性物質があった

としても、こういうものは、ほとんどの元素の性質は水に溶けないものがほとんどですので、溶ける量がごくごく限られています。皆さんも地下水とか海水が溶けているものは非常に限定的なものであるということをご存じだと思いますが、これは時間がたっても溶ける量は限られてしまうということがあります。

こちら側の矢印は溶けてくるもの、こちら側の矢印は沈殿していくものということで、これが平衡になった状態ですね。そのときに溶ける量が非常に限られてしまっていて、ほとんどの地下水への溶解度は非常に低い。例えばアメリシウム241という放射性物質の溶解度は1 cc、1 cm³、水1 g 当たり6000Bqぐらいいに限られてしまいます。先ほど 2×10^{16} とか驚くほどの放射能の量を示しましたが、実際に水の中に溶けてくる量はこれ以上にはならないということになります。

ネプツニウム237ですと、1 cc 当たり0.1Bqぐらいいが溶けてくるということになります。これをごくごく飲めば非常に困ったことになるかもしれませんが、実際には廃棄物の環境の中で動いている地下水はごくごく少しです。ガラス固化体1本当たり1年間に10ぐらいいしか動かないということになります。それが地下から上に上がるに従ってだんだん地下水は動きやすくなって薄まっていくわけですね。薄まって行って、上にいくまでに十分に希釈されて安全な量になってしまう。そういうことを確実にするためにいろいろなことをやっているということです。

ですから、本質的にこういうことが成り立っていれば、危ないことにはなかなかならないということですね。溶解度がこれ以上高くなるのは、深部地下水では起こらないような酸化性、強い酸性、あるいは、アルカリ性であるということになります。それから、地下水がどうどうと滝のように流れて機械的に固体の微粒子が運ばれるということがあれば困りますが、地表環境ではそういうことが起こるかもしれませんが、地下ではそういうことはありませんので、これが破れるということとはございません。

それをもっと確実にするために何をするかと言いますと、ガラスで固められて固体にされたものの周りを、さらに地下水が接触しないように鉄のオーバーパック、19cmぐらいいの厚さを今考えていますが、鉄で覆って、さらにベントナイトと呼ばれる粘土の緩衝材を配置します。そうしますと、地下水が入りにくくなることと同時に、緩衝材のところは水が動きにくくなりますので、水は流れるということがなくなって、染み込んでそこにじっとしているということになりますので、なかなかここに運ばれないということになって、より確実にバリアが形成される。これを人工バリアと呼んでいるわけです。

全体としては、接近シナリオと地下水シナリオに対する影響としては、これから3名の先生方に話してもらいますが、例えば火山活動のようなものですね。これは接近シナリオです。マグマが貫入して、それがぱっと吹き上げてくるということがありますが、接近シナリオになります。こ

うということがないように、実際の場所を選ぶということになります。

それから、鉱物資源と書いてございますが、これは鉱物資源のあるところを処分場にいたしますと、人間のほうから接近する可能性があるということで、こういうところを避けようとしているわけです。これは急激なプロセスとして起こるような事柄です。

それから、地震・断層とか隆起・浸食ということも問題になるわけですが、こちらはどちらかというと地下水シナリオですね。非常に緩やかなプロセスに対してどれだけの影響があるかということになります。これが起こったとしても、ここの溶解度が上がるということはなかなかないんですが、その後、いろいろなものを運ぶときの距離とか時間が短くなる可能性があるので、できるだけそういうことを避けようとして、こういうところを探しているということです。

実際に溶解度の制限が成り立つのはこの周りの地質環境が安定であればいいということになります。まずはそこを確保して、それからもう少し広域の話としていろいろな議論をするということになりますので、一義的に一番大事な地質環境というのは、廃棄体が置かれて、そのすぐ回りの安定性がどうなるかが問題になります。

こういうことを全体として考えながら、放射性物質の運命、放射性核種の運命、運命というのは影響つきの運命と考えていただければいいんですが、放射性物質の運命を言い当てるのではなくて、その運命がどれだけ広がっていて幅があるかと、幅があっても影響は十分問題ないですよということを確認するのが安全評価ということになります。このようにして、安全を確保しようということですね。

まず一番大事なことは人工バリアのところに閉じ込められているということです。工学バリアと母岩、それから、周りの水理地質環境、それから、もう少し地表近くなってくる地表環境プロセス、それから、人間の被ばく形態、こういうものが問題になるんですけども、これを時間的なものとさかのぼりながら見ていきますと、実際には工学バリアと母岩は非常に変化がゆるやかですので、遠い将来まで予測ができるわけですね。人間のほうはすぐ変わってしまいますから、たちまち予測が不可能になります。しかし、今、問題にしているのは、工学バリアのところで全部が閉じ込められているということを確保したいわけですから、これを予測するには今の科学的知識でもって確からしいことが言えそうだというのが、放射性物質の廃棄物処分の安全確保の考え方になっております。

このようなことをして、最終的に安全評価はそれでもってこういうことがどれだけ起こるかということを考えるのに、オーバーパックは1000年で壊れると。19cmの鉄が全部やられてしまう。ガラス固化体はだんだん溶けてしまうんだと。実際には溶けるわけではなくて、そこでガラスがほかのものに変質するだけなんですけど、これを「溶ける」と呼んで、なくなっていくと考える。

そして、放射性物質は溶解度に従って溶け出て、溶け出た放射性物質は必ず地下水により運ばれるとして計算するわけです。

これが全体の放射能ですね。これは先ほどと違って処分時からの計算になっていますから、ちょっと低いところから始まっていますが、この赤いのが全体の放射能の量、黄色がガラス固化体に閉じ込められたもの、青いのが人工バリアの中にある量です。これは対数グラフになっていますので、急に上がっていますが、そこのところはオーバーパックが1000年で壊れるとしているから、こういう格好になって、ガラス固化体が溶けるに従ってオーバーパックの周りにずっと出てくるということですね。

ここで赤い線と青い線が重なっているということは、ほとんどの放射性物質はその場所に閉じ込められたままであるということをあらわしています。漏れ出たほうを計算してみますと、岩盤のほうにはほんの少し漏れてくる、それが長い間岩盤を伝って生物圏まで出てくるのはさらに少なくなるということですね。一番最初のものから比べると出てくるものは数百万分の1になる。つまり、今、危険な放射性物質の問題も、将来にわたって出てくることなく非常にわずかで済むと。事実上、完全な閉じ込めが達成されて、将来の被ばくは無視できる程度になるという見通しが得られるというのが、地層処分の基本的な考え方になっております。

以上でございます。

○増田委員長

ありがとうございました。

それでは、続きまして、資料2の「地質環境の安定性に影響を与える地殻変動」、これを山崎委員のほうからお願いしたいと思います。では、お願いします。

○山崎委員

首都大学東京の山崎でございます。どうぞよろしくお願いいたします。

私、今日は4つほどのテーマでお話したいと思いますけれども、その前に自己紹介をしますと、私は都市環境科学研究科ということで、都市を研究しているわけではないんですが、地理環境科学域というところで地球の歴史を勉強しております。特に第四紀と言われている二、三百万年ぐらい前の人類が発展してきた時期の研究で、その時期の環境がどう変わってきたかということを主に研究しております。

今日は地質環境の長期安定性と地殻変動を中心に話をしていきますが、今、活断層が非常に話題になっていますので、活断層の解説をしないと、皆さん誤解があると思いますので、途中でこれを入れさせていただきたいと。原子力施設をめぐる、特に活断層の問題を今日はお話します。こういうお話をしていきますと、活断層は理学的なテーマ、処分あるいは耐震というような光学

的な問題で結構狭間ができてしまいまして、いろいろな問題が起きているということをお話させていただきます。

これは、先ほどの杓山先生のお話もありました、廃棄体を地下に埋めるわけですが、幾つか安定性を脅かす要因がございます。例えば火山が来るかもしれないとかありますけれども、一番大きな問題は、離隔距離と書いてありますが、埋めたものがだんだん浅くなってきちゃうということがあります。

それを起こす原因は、1つは隆起運動、日本列島はかなり隆起しております。ですから、時間がたちますと、どんどん浅くなっていく。浅くなっていくのはなぜかという、隆起すると、海の高さは変わりませんから、浸食で上が削られちゃうわけですね。ですから、この距離がだんだん短くなっていく。一方、沈んでいるところもありますので、そういうところにいけば、離隔距離は逆に深くなる。ただ、こういうところは平野とか人口が密集しているところが多いという問題があります。浸食作用というのも地球の表面で起きる現象なんですけど、地球全体で気候の変動などでかなり大きな影響がありますので、そういう話をしたいと思います。

埋めたものが地下水で地表に出てくるときに、断層があるところが水みちになる可能性もある。あるいは、極端な話、こういうところが断層で割れてしまうという心配もあります。大分前に、原子力安全委員会の中で特定放射性廃棄物の処分安全調査会というのがありまして、高レベル廃棄物をどういうところに埋めるかということで幾つか要件を出したことがあります。そのときに、活断層があるところにはつくらない、それから、火山は避けるということになっておりました。ですから、原則的には火山や活断層があるところにつくらないんですけど、活断層というのが定義によって大分変わりますので、問題が生じるということがございます。

地殻変動の話なんですけれども、日本では、一番よくわかるのは地震性地殻変動というのがございます。これは室戸岬の海成段丘というところで、広い台地があつて、高い崖がありますね。低いところにも台地があります。これは地震のたびごとに半島が隆起して上がっていくわけです。ここに変な絵が描いてありますけれども、これは海の高さが変化をします。横軸は時間ですので、5万年、10万年、15万年という万年オーダーでのスケールで、こちらはメートルです。百数十mからですけども。

現在、非常に海面が高い、暖かい時期なんですけど、12万年前にもそういう時期がありました。それから地球はだんだん寒くなるので、海の水が雪として内陸に降って氷になって、大陸氷河になって残ってしまいましたから、海へ戻ってこないということで、海面が変化をするんですね。それはただ一直線に変化するわけではなくて、暖かくなったり寒くなったりを繰り返しながらだんだん寒くなって、2万年前に一番寒い時期がありました。マイナス100m以上海が下がったと言

われています。それから急に今暖かくなって持ち上がっている。この前もずっと同じようなパターンを繰り返してしまして、地球が寒くなることは間違いないんですが、今はまだ割と安定なところにいるということです。

こういう台地がつくられるというのは、それぞれのピークのところに、海面の上昇速度が遅くなりますから、広く地形が削られて平らができる。それが地殻変動を受けていますと、一定の割合で上がっていきます。これは地殻変動に合わせて曲線を描いたのですが、この辺のM2という時代にできた台地は、時間をやりますと、百何十メートルの高さに出てくるということで、陸上には昔の海面がつくった、水準変動によってつくられた平坦面が何段も台地として残る。これが日本列島の特徴でございます。

これは、先ほどの12万5000年前、「M I S 5 e」と我々は呼んでいるんですけども、今と同じように暖かかった時期が12万前にございました。これは目印になりますから、いろいろなところで指標として使われています。その当時の海面の高度、旧汀線というのは海が一番上がった時期、それからまた引き始めますから、その跡が残るわけです。よく洪水のときに壁を指して「ここまで水位が上がりました」という話がありますけれども、あれと同じですね。海が上がった高さが陸に記録されるわけです。それが地殻変動によって高いところへ上がっていきますから、その高度を調べてやるとその地域がどれぐらい隆起したかということがわかる。日本列島の周り、東京もそうですけれども、大体数十メートル持ち上がっています。

下北半島と書いていますが、下北半島ですと、40mぐらいの高さがありますし、ほかの地域のものは50とか60とか30と。バラツキがあるのは、それぞれの地域で地殻変動が微妙に異なるから、内陸に活断層があったり、例えば西津軽の辺りですと100m、150mとあります。これは海のすぐそばに活断層があって、この辺が持ち上がっているから。こういうバラツキはあるんですけども、基本的に日本列島の地域というのは大体2〜30mは持ち上がって、それに何十メートルかまたプラスが入っていったって、現在の地形ができているということになります。

これは下北半島の例です。下北半島の特に鉾の柄に当たる部分はあまり山がありませんで、ほとんど昔の海がつくった台地が残っています。色が違うのは台地の高さが違って、たくさんすき間が空いているのは、隆起している間に谷が入って削られてしまった部分ですね。黄色いところ、この辺が12万年ぐらい前の面でございます。これはもっと古い数十万年前の台地とか、より古いもの。大体、4、50万年たちますと、削られてなくなってしまうんですが、残っているところがこういうふうに分布しているということでございます。

そのところで高度をとりますと、例えば5 EというM I S 12万年前の高さをとりますと、40mとか、高いところだと50mぐらいしますけれども、この辺に高度が出てまいります。それから、

もう一段低い段丘、5 C の段丘で見ますと、30m前後のところから20mぐらいのところにくると。もっと古い段丘でいきますと、M I S 7 という、さらに10万年ぐらい前にふりつけられたものは大体7、80mの高さに分布している。現在の高さは、すべて海面の高さがもともと同じであれば隆起量になるんですけども、当時の海面の高さが違います。この時期にはマイナス10mぐらい今より低かった。

逆に、この地域はこの時期には5 m ぐらい高かったはずなので、その分引いてやらないと本当の隆起量は出てこない。低いほうはマイナス8 m 低くなって、こういうところにいますが、これで割算をして速度を求めますと、ほぼ大体1000年あたりで数十センチ、30cmから40cmぐらいのスピードで下北半島は持ち上がっているということがわかります。これが一定のスピードで、等速でほぼ上がっているだろうと。これをもとに何万年たてばどのぐらいの高さまでこの地域は上がるだろうかという予想がつくわけでございます。

日本列島周辺でこういう全体としての隆起があるんですが、その原因は、プレートが日本列島を押していて、日本列島が持ち上がっているだろうと。ここ300万年ぐらいはこういう動きが続いていると考えられています。ですが、この間の3月11日の大地震はこういうプレートが潜っていくところで起きた地震なんですが、同時にプレートの中でたくさんいろいろな割れ目が起きまして、地震も同時に起きています。

一方で、プレートでひずみが開放されるんですけども、一部分のひずみは内陸部に残ってしまいます。それが活断層と言われる小さな断層を動かします。これは海の地震に比べるとはるかに規模は小さくて、大体1000分の1 ぐらいの大きさなんですが、人が住んでいる真下で起きます。人の生活圏のところで起きますから、場所によっては大きな被害が出る場合があります。規模としては小さいし、頻度も小さいんですが、災害としては大きな影響を及ぼすものが活断層と言われているものです。

活断層についてはいろいろな考え方がありまして、説明が難しいので、歴史から説明するのが一番わかりやすいと私は思いますから、お話をさせていただきます。戦前の地形学に「断層地形」という言葉があったんですね。関東地震の後にいろいろな調査が行われて、地球の表面はブロックで分かっているのではないかと、そのブロックの境が断層であって、地塊運動があるんだという考え方がありました。5 万分の1 の地形図が日本全国使えるようになりましたので、地図を見て、急な崖を見出すということで研究が行われました。42年に『断層地形論考』という本が出ていますけれども、断層地形というものがあると。

地震学との関係で言いますと、断層地形は初めは全然関係がなかったんですけども、大地震のときに地表に断層が出てまいります。これは戦前非常に詳しく記載が行われました、明治時代

からそういうことがありましたので、記載されました。これとこれを結びつけた研究が初めてできまして、「活断層」という言葉を命名したわけです。つまり、地震のときに断層を調べてみると、そこに行くと断層地形があると、それから、昔から何回も繰り返した跡があるんだと、これはまた動くかもしれないということで、「活断層」という言葉が昭和2年に初めてできたんですね。

その定義は、極めて近い時代まで地殻運動を繰り返した断層であり、今後もなお活動する可能性の大きい断層に「活断層」という名前をつけました。今後動くかもしれないと。たくさんある断層の中から生きている断層として区別をしようということで「活断層」という名前がついたわけです。

しかし、当時はまだ地震の原因はわかっていませんでした。何で地震が起きるのかというのはわかっていなかったもので、断層活動はただ揺れるから出るんじゃないかと。あるいは、今、我々が住んでいる世界とは全然違う、昔の地質時代に起きているものではないかと考えていたんですね。これも、デイビスの「浸食輪廻」の話もそうですけれども、幼年期から準平原に変化していく言葉が今でもありますけれども、実は「断層活動期」というものなんですね。ですから、今とは違う時期に起きたものがたくさんあるという考えですが、戦後、この考え方は変わります。

戦後、地震は断層が動くとき起きるということが理論的にも証明されました。そうやって動く断層を「震源断層」と言います。地下にある断層ですね。この震源断層が地表に出てきたものが地震断層であり、それが何回も繰り返して、我々が認めることができるものが活断層であるということが定まりました。こういう数式がありますけれども、ともかく再来性、必ず繰り返し起きると。それから、毎回同じような動きをするんだと。再来性と固有性というのが活断層の特徴です。

これは理学的な話なんですけれども、大きく変化があったのは、松田先生が1975年に地震断層の事例をたくさん集めてある経験式をつくったんですね。地震断層の長さとマグニチュードに関係があるんだと。これを活断層の場合に援用しまして、活断層の長さがわかると、そこから起きる地震のマグニチュードがわかるということで論文が書かれました。これは理学的な情報を工学的な情報に使えるようにする、つまり、活断層があった場合に、そこから起きる地震の大きさが推定できるということで、耐震設計に使えるようになったわけでございます。

地震予知として全国の活断層調査も70年代に行われましたが、一番大きな契機は1995年の兵庫県南部地震です。活断層が動いて戦後最大の震災が引き起こされたわけです。その結果、活断層は怖い、危険という意識が日本列島の中で定着いたしました。

実際の断層というのはどういうものか。これはなかなか見ることができないんですけれども、山の中にある活断層で大きな工事が行われると時々見えます。これは岐阜県の山の中の跡津川断層ですけれども、ダム工事のときにつくった道路に出てきました。こういうふうに非常にスパン

としたものです。こちらが御影石、花崗岩の岩体です。こちらは7、8万年前の川の砂利ですが、それがスパッと包丁で切ったような断面でずれています。これは水平方向にずれるのでこういうふうな断面が見えているわけでございます。

実際、地震が起きたときにこういう断層が出ています。これは兵庫県南部地震、神戸の地震のときに淡路島に出てきた断層です。こういう平らなところ、これは人工的に平らにしたもので、本来はここに丘陵地があったんですけども、丘陵の泥は全部、関西空港の埋立に削ってしまった跡地です。そこにこういう断層が出てきて、家の軒先を貫いたということがあった。

これはこの辺の富島というところなんですけれども、さっきここに丘があったと申しましたが、北のほうに行くとこういう断面を示しています。ここに非常に急な崖があるんですね。こういうのを断層崖と言います。この崖だけ見てもわからないのですが、こちら側の海のほうにある地層と、津名丘陵という山の上にある地層が同じものがあります。

100万年から200万年前の大阪層群という、もともと大阪湾にたまった地層なんですけれども、断層でずれて500mぐらい食い違っているんですね。この崖も300mぐらいある。実際このところで1mぐらい地震のときに食い違いました。ですから、この500mの食い違いをつくるのは、2000年に1回ぐらいなんですけれども、この断層が動いて1mぐらいのずれをつくって、繰り返してこういう落差をつくっていった。これが活断層の地形です。活断層調査というのは、こういう崖を探す、断層地形を探して見つけていくものでございます。

実際の地震との関係なんですけれども、日本列島の内陸部では深いところでは地震は起きないです。せいぜい20kmです。日本列島はこれより下は熱くて、石がひずみをためられないんですね、変形してしまいます。それから、浅いところも風圧が弱くてひずみがたまりませんから、地震が起きるのは大体地下3kmから20kmまでの間、これを地震発生層と呼んでいます。この地震発生層の中で断層がずれると地震が起きるんですね。

ただし、マグニチュードが小さい、つまり断層の長さが短い場合には、地震発生層の中ですから、地表には全然影響が出ません。ところが、だんだん長さが長くなってくると、地震発生層を突き破って上のほうまで出てくる場合があります。強い震動を出すのはこの辺なんですけれども、この辺がついでに割れていくわけです。とにかく地震発生層全体が割れるようなものが起きると、地表まで断層が出てくる。大体マグニチュード6.8とか7ぐらいから断層が出始めます。そのときに、長さ20kmぐらいの断層が出てくるわけです。こういうのを地震断層と言います。大きいものだと80kmぐらいにわたって断層が出て、最大のずれの量も10mぐらいに及ぶものがございます。

ですから、気をつけなければいけないのは、地震動は地下深いところで起きるので、地表で、

例えば傾いている断層で強い地震が起きるかという、そうではないんですね。ここ全体が断層を挟んでかなり広い範囲で揺れが起きるということでございます。

実際そういう断層は断層地形というのをつくります。日本列島の衛星写真を見ると、そういう地形が、こちら辺がそうなんです、これは川が曲がっているのがずっと続いています。この辺にもあります。こういうところもそうですね。それから、こういうところ、こちら側は結構出入りがありますけれども、こちら側はまっすぐですね。こちら側が活断層です。平野の縁もそうですね。だから、日本列島の平野の縁というのはほとんどが活断層がつくっていると考えていただいていると思います。内陸部にもあります。こういう地形をつくる。ですから、断層の位置を探ることができる。先ほどの処分場でこういうところは避けようというのはそういう意味でございます。

地震予知等の関係で、いつごろ動くだろうかということを推定するのにトレンチ発掘調査をします。新しい地層がたまっているところで断層のずれを見て、新しい地層がずれているんだけど、別の地層に覆われているということで、この地層がたまってから、この地層がたまる前に1回これは動いていると。その後また断層が動いて、この地層も切っている。ここで2回のずれがあるということがわかります。

それから、年代値を出すと何年前に動いたかという見当がつきます。現在がここであって、過去にさかのぼって何年前に動いたかということが大体見当ついて、そうすると残りの時間どのぐらい安定かということがわかって、これで確率評価も可能でございます。こういう新しい地層が集まっていないといつ動いたかということがわからない。これが難しいんですね。基盤の中に破碎帯がある場合にはいつ動いたかということはなかなかわからないということになります。

地学事象はたくさんあるんですけども、活断層の最大の特徴は将来のことを問題にしているんですね。「将来の活動性」の可能性を評価しなくてはいいけない。将来の活動性というのは見ただけではわからないんです。多数の証拠から歴史を出さないといいけない。これは非常に難しいです。最新の地質時代における活動の繰り返しということで、断層変位の累積性とか、応力場は一定・不変という仮定の下でこういう仮定を出していくんですけども、とにかく時間的な判断基準が必要です。

基準は目的によって異なるんですね。例えば、「日本の活断層」という、日本の活断層の分布をつくったデータベースみたいなものがあるんですけども、これは第四紀以降、今ですと、250万年、つくった当時は180万年以降の活動を指標にしました。それは地形に跡が残っているものをもとにかく探したんですね。ただ、原子力施設の耐震設計指針では、後期更新世、12万5000年前、数字で言うと2万5000年ですけども、それ以降の活動があるものを活断層にするということで

す。何でこれにしたかというこの基準が広く残っているからです。今の日本ではこれが一番いい指標になります。もっと古くなるともうわからなくなりますから、これがあると活断層を識別しやすいということでもあります。

活断層の時間の幅の大小は不確実性に関係しまして、時間を長くとればとるほど不確実なものはふえます。日本の活断層をつくったときにも、不確実性が非常に高いので、例えば、不確実の1とか確実の1とか2とか3とかということ信頼度をやっているんですね。3というのはほとんど信用できないというものとして分けています。こういう指標も要るということです。ただ、後期更新世以降の活動を見ているのは、最大間隔が数万年以上の活断層はほとんどないんですね。通常の応力状態では長い間隔では再活動しません。最近の数万年間、活動が見つかっているんですね。ですから、長い活動間隔を持つものはある特殊な条件で動いているということが逆に考えられるというわけです。

原子力施設の関係をお話しますと、原子力安全委員会の耐震安全指針は昔の指針ですけども、あくまでも活断層というのは地震を起こす原因と扱われています。ですから、活断層の長さからマグニチュードを推定して、サイトの基準地震動を想定するというのがとられていたんですね。ところが、3月11日の原発事故以降、規制委員会のほうでは活断層の扱いが大分変わりました。アメリカの例が持ってこられているんですけども、アメリカのNRCではCapable faultという考え方があります。これは活断層じゃなくても動く断層はあるということです。つまり、地すべりも含めて主断層以外、これは活断層ですけども、小さなずれも評価の対象にすべきだということで、それが活断層として今、言葉は「活断層」ではなくて、「動く可能性がある断層」という言葉を使っていますが、活断層として扱われて、再稼働の重大な要件になっているということです。

これも同じようなものですけども、これまでの耐震設計審査基準では、活断層は耐震設計の基準地震動 S_s の策定に使われていた。つまり、断層の位置と長さがわかればよかったわけです。判定基準を設けて評価しています。それは後期更新世以降の活動の有無を判定するというので、断層地形とカリニメントとか、断層破碎帯・累積変位をもって、後期更新世以降に活動があれば、地震を起こす断層として判断するというので検討していたわけです。

地形をずらす活断層はないんですけども、小さなずれがたくさんあるんです。そういうずれは今までは考慮していなかったということが事実です。基本的には原子炉の中には、例えば厚いスラブがあるので耐震裕度があるということで、これは暗黙のこととしてやっていたわけですけども、現在はこれが問題になっていると。新聞情報ですけども、地表付近に出ている小さなずれとか割れ目が活断層かどうか、つまり将来動くかどうかということが大きな問題になってい

るわけでございます。

中には後期更新世の地層がずれている場合があります。でも、後期更新世の地層がない場合もたくさんあるんですね。それは活断層が指摘できるんですけども、その真偽がわからないものがたくさんあります。これはグレーであります。グレーは活断層とみなすということで、現在は重要施設は活断層の上につくらないということで、小さな割れ目についても再起動のときの問題として扱われている。これが今の活断層の状況でございます。

それを絵に描きますと、こういうところで、地下の地震を起こすような、そこからつながってくる主断層が出て、これは大きな断層地形をつくれますから、従来はここだけ見ていたと。分岐断層も同じようなものですけども、こういうところに小さい断層がずれる場合があると。こういうところに施設があった場合にこれが問題になるだろうということになります。これは地震動で励起される場合もあります。それから、古い断層破碎帯があった場合、これが活断層かどうかということがまた問題になると。地震発生とは直接関係のない、いろいろな断層のずれが地表にあらわれていて、存在するということで、この評価というのが今大きな問題になっています。

科学として活断層を防災・安全評価に利用するために様々な問題が生じています。活断層のように歴史性から将来の活動を想定する場合には、地学現象は不確実性に富んでいます。これは理学の宿命なんですね。白黒の判断が非常に難しいものがあります。結局わからない。幾らやってもわからない。現実にはわからないものに白黒をつける必要があります。わからないから活断層とみなすというのは、科学ではなくて、ある意味での政治判断になります。不確実性というのは、不安とか心配を生んでしまいますね。

不安を解消する、安全性担保のためには工学的な対応・対策が必要であると思っています。断層が動くかもしれない、これには被害を最小限にする様々な対応・対策が必要であると、そのためには深層防護の考え方を入れたいろいろな対応が必要であらうと。処分場についての議論はしませんでしたけれども、活断層はとにかくトンネルをずらす可能性がありますので、そういう意味であるかないかということは重要である。ただし、それは避けることができるものですから、工学的な対応が必要ではないとか私は思っております。

以上でございます。

○増田委員長

ありがとうございました。

続きまして、資料3、「地下環境とその働き」、こちらを吉田委員からお願いしたいと思います。

○吉田委員

名古屋大学の吉田です。私のほうからは、「地下環境とその働き」ということで話題提供させて

いただきます。最初の朽山先生の話にもありましたが、封じ込め機能を地質環境に期待しているわけですが、それについてどれくらい何がわかってきたのというのを皆さんに情報提供できればと思います。

地下環境の状態を理解するには、あるいは、封じ込め機能を理解するには、2つのアプローチがあります。1つは実験で評価する。実際、放射性核種といったものを流してみても、それがどれくらい吸着するのかというアプローチですね。ベルギーとか海外ではウランとかプルトニウムを地下研究所で流して、そこで評価しています。実際そういうものにも携わってきました。もう一つは、自然の状態で、実際に物が動いたりしたものを類似例として、ナチュラアナログと言いますが、それを理解することによって、どこにウランなどが吸着しているかと、そういったことから学ぶアプローチがあります。

私のアプローチは、どちらかというと後者にあたります。自然に学ぶ物質移動プロセスと言っていますが、日本の自然環境には様々な岩石の中を地下水と元素が移動したことによってできる模様とか状態変化があります。それを取り上げてそこから学ぶということです。それはどうしてかということ、実験では把握することのできない数百年、数千年、数万年というオーダーの自然における実際の現象を読み取ることができるということから、こういうアプローチをしています。さらに、それをやることは、日本の地下環境で育まれた状態を読み解くということですので、基本的には日本の地下環境に合致したデータ、あるいは、それが将来の技術に反映できるのではないかという思いでやっています。

そういう中で、地下環境というのは一体何かということですが、今日は時間もありませんので、かなり端折ってお話をします。本当は先ほどの事例を全部お話をするといいんですけども、そうすると大学院講義になって半年間かかってしまうので、それを20分間で要点だけお話しします。まず地下環境というのは、極端に言うと岩石と地下水だけです。岩石は3種類です。火成岩と変成岩と堆積岩、それだけ理解しておいていただければいいです。

その中に物質が移動するところは何かということ、これ3つです。断層と割れ目と岩石のマトリクスです。岩石は必ず空隙があります。「百聞は一見にしかず」ということで資料を持ってきました。これは花崗岩です。白い部分が新鮮な部分で、茶色い部分が変質した部分です。花崗岩も、墓石に使ったり、御影石とか言ったりしますが、必ず空隙があります。大体1%ぐらいあります。例えば、海岸の砂はまだ未固結ですけども、あれだと50%、60%の空隙があります。それだけ水を含むので、そこにいろいろなものが溜まりますが、空隙があるということはそれだけ反応表面積も広がるということもあります。なので、空隙が大きいのとバリア機能が低いというのが完全に相関するわけではありません。いずれにしろ、岩石の中にどういう現象が進行するかを見

るということですね。

ここにあるように岩石は断層と割れ目と空隙ですね。こっちは花崗岩のマトリクスの中の微小空隙で、これは染色したもので、細かいのは大体 10μ とか、それくらいのオーダーの微小空隙です。こっちは堆積岩のほうで、大体 100μ とか、そういうオーダーの空隙が入っています。そこを、それぞれの岩石マトリクス、割れ目、断層に沿ってどういう機能があるのかというのをかいつまんでお話していきます。

1つ目の事例は、皆さん聞いたことがあると思うんですが、岐阜県の土岐市にはウラン鉱床があります。ウラン鉱床は2000万年前にできたものですが、地下水にウランが溶けて、地下を流れている段階で濃集したものです。ウランというのは酸化すると溶解度が上がります。それが地下に行くと還元状態になって、そこで沈殿・濃集するということです。したがって、どういったところを流れるかを見てやることによって、あるいは、濃集するかというのを見てやることで、どういう鉱物が吸着能力を持っているかを読み解くことができるということです。

これがその事例です。これは堆積岩の粒子の中を、白いところはウランの濃集しているところです。これはオートラジオグラフという写真を感光させる手法と同じようなもので、白みが強いところほどウランが濃集しているところです。そういったところを見ると、鉄を多く含む鉱物がウランを濃集しやすい、あるいは、粘土鉱物といったものがウランを吸着しやすいということがわかってきたということです。鉄を多く含む鉱物がなぜ吸着するのかというと、酸化還元反応をおこしやすいからです。いわゆる鉄を持っているので、還元させやすいので、酸化した鉄を、地下水を還元しやすくして、より濃集させやすいと。そういうメカニズムが見えるということです。

こういう岩石は別に特殊なものではないです。その辺にある岩石とそう変わらないと言ってもいいと思います。この東濃ウラン鉱山は40年間空洞を掘って維持していたわけですが、空洞を掘って坑道が酸化したからウランが溶出したかということ、そういう事実も認められませんでした。そういう岩石がどれぐらいのウランの吸着能力を持っているのか。

今ちょっとお見せしましたが、ここにもコントラストありますね、濃集していないところと濃集しているところ。ウランを濃集しているところほど何か特殊な鉱物なり機能があるのではないかと。つまり、ウランを濃集しているところほどよりウランを多く濃集するのかもしれないという目論見の下で、同じ岩石を採って、ウラン233というトレーサーを用いて吸着実験をやってみました。

そうすると、ウランを含む岩石よりも、ウランを含んでいない岩石のほうが濃集するという結果が得られたということです。これは何を示しているのだろうかということ、最初目論見は外れたんですが、ウランを濃集した堆積岩には特別な違いはなさそうだと。逆に、ウランが濃集する

かどうかはウランが透過した否かだけの問題かなと読み取れるということです。

次に、花崗岩のマトリクスについてお話をします。これが花崗岩、先ほどのマトリクスですけども、これをお返ししますので、見てください。今からお話するのは、こっちが割れ目で、先端のところ、フロントというんですが、ここのフロントにウランが濃集しています。花崗岩の中には必ず天然のウランが数ppmぐらい入っていますが、この先端にはその5倍から10倍のウラン、20ppmぐらいのウランが濃集しています。もちろん、研究所の自然のものであるので、こういったところにウランが濃集しているかというのを調べています。

これが新鮮なほうで、変質するとこういう色がついてしまう。今のところをシカクで見た割れ目からの、こういうフロントのところ、岩石を薄くすって顕微鏡で見ると、白いところ、新鮮なところは本当にきれいですが、変質しているところは鉄が酸化しています、沈着しています。そこにどういう元素があるかというのを示したものです。

そうすると、さっきも言いましたが、ウランは一番先端のところに濃集すると。これは、この割れ目からウランがずっと浸透して先端に濃集するというプロセスでできたものだということで、どこにウランが濃集しているかという、鉄酸化物のあるところにウランが濃集しているということもわかってきたということです。こういうプロセスを読み解きつつ、新鮮花崗岩と変質の花崗岩で何が違うのだろうかを調べてみると、変質すると空隙率が大きくなるということです。

変質するというのは、水が入り込んで長石とかいろいろな鉱物を溶かす、あるいはみ虫歯のように冒されるような状態ですね。そういったところに小さな穴ができて浸透していく。浸透すると同時に次の二次的な元素が入ってきて、沈殿が起るときに、地下水中に入っていたウランとかほかの元素も一緒に沈着するということです。ちなみに、空隙率は約2倍、反応表面積だと100倍ぐらいのオーダーの変化があります。

以前、地下の研究をやっている人と議論したことがあります。それは何かというと、地下に行くと新鮮な花崗岩はもちろんあるんですけども、変質の花崗岩に出会った場合、それはバリア機能として劣るのではないかという意見あるいはコメントを得たことがあります。実際、日本の花崗岩の30%ぐらいは変質しています。これは花崗岩ができるときに熱水が循環するからです。

そういう意見もあり、これの吸着実験をやってみればいいではないかということで、セシウムを用いた吸着実験をしました。結論からいうと、新鮮な花崗岩よりも、ほとんど同等か、変質の花崗岩のほうが吸着率があるということも見えてきたと。これは恐らく鉄鉱物が吸着剤として働いてくれていることをあらわしているということです。そういったものも見えてきて、こういうものがあれば、新鮮な花崗岩と変質花崗岩はバリア材としても同等に取り扱ってもいいでしょうということの傍証になると考えます。

次に割れ目です。花崗岩の割れ目の資料を持っていますので、お話しします。日本の花崗岩は割れ目が非常に多いということは昔から言われていました。トンネル工事とかも含めて。それがどうやってできるのかということですね。また、地下においては割れ目が水みちになるということもあり、割れ目を物質が流れるときに吸着機能がどれくらいあるのかということを知っていく必要があるだろうということです。

これも日本の自然の状態に学ぶということで、日本にはいろいろな年代の花崗岩があります。若いものは100万年から、古いものは1億2000万年のものがあります。岩手県にある葛根田という花崗岩は、現在も冷えつつある、温度が600℃ぐらいある、地下3,000mぐらいにある花崗岩です。これらの花崗岩を年代ごとに割れ目がどれくらいあるのかというのをトレースして調べてみました。

私は最初、割れ目は年代がたつごとに、人間にしわがふえるように、どんどん数が増えるのではないかと思ったわけです。一方、そうでない可能性もありということで、年代の若いものから古いものを緻密に調べてみたら見えるのではないかとということで調べてみたということです。結論から言うと、若いほうも古いほうも割れ目の本数はあまり変わりません。一方、今、地下3,000mから4,000mにある600℃ぐらいで冷えつつある花崗岩には割れ目がありません。これはボーリングを掘って調べられています。つまり、今できつつあるところから100万年間ぐらいの間の割れ目は、既に今あるような状態に近い状態として地表にあらわれるということもわかってきた。

ちなみに、これはアメリカのネバダ州の花崗岩です。山一つ花崗岩ですけれども、全くと言っていいぐらい割れ目がありません。どういうことかということ、欧米の、大陸の花崗岩は非常に範囲が広く貫入します。それも、深いところでゆっくり冷えて、隆起もゆっくりです。日本の場合は、規模が小さくて、貫入の深度が浅くて、冷却が早くて、隆起も早い。同じ花崗岩でも日本の地質環境で育まれた特徴を持っていることがわかってきたということです。

したがって、こういう性質を見比べて岩体の特徴を把握しつつ、サイト選定とかサイトの特徴を提示する必要があるだろうと。ここで何でこういうものを出すかというと、一人よがりと言っても仕方ないので、国際学会とかいろいろなところでディスカッションして、本当にそれがアクセプタブル、いわゆる提示できるものかどうかという議論もする必要があります。今、フィンランドと韓国のメンバーとも議論しているんですが、彼らもこういう考え方を導入したいと言ってくれていますので、地質学的にも受けつけてくれているのではないかと思います。

これらの充填鉱物の割れ目の状態についても簡単にお話しします。今、割れ目の形成を見ましたが、割れ目には必ず充填鉱物ができます。割れ目というのは、ここにありますように歯ブラシのようにブラシが上下から出ているように見えますが、すべての割れ目が開口しているわけでは

ありません。割れ目はこういうふうにしーリングされるものもあります。これらは、先ほど言ったように花崗岩が隆起しているときに、日本の地下は必ず水がありますので、熱水が循環することによって沈殿します。一方、どんどん隆起しますので、地圧が低くなってどんどんオープンしていくということですね。それをやりつつ地下水が回って、中にはしーリングされるものもある。こっちは同じ花崗岩、今お話ししたものですけれども、開口していて、横のものはしーリングされているということですね。

これについて拡散実験をやった事例がこれです。結論だけ言うと、充填鉱物ほど空隙率が高いので、自己拡散係数は高い。かつ、それは吸着係数も高いという側に傾くという結果が得られています。

これらのしーリングしている割れ目の割合はどのぐらいなのかということですが、こういう研究を今まさに地下研究所でやっています。これは地表ではほとんどできません。なぜかというと、割れ目は、弱いものですので、ほとんど風化してしまいます。充填鉱物も雨で洗い流されてしまいます。こういったことを地下研究でやることによって、日本の地下の特徴がわかる。

結論から言うと、300m坑道においては、先ほどの2m以上のものは2.2本で約300本ありますが、そのうちの76%ぐらいはしーリングされている。大体このぐらいの割合、逆に言うと20%弱ぐらいが水みちとして機能している。今、500m掘っていますが、500mではさらに割れ目の本数も減ってきている。いわゆる深度ごとの違いも見えてきていますので、そういうのもっと見つつ、日本の地下環境の特徴を理解する必要があるだろうと。

では、堆積岩はどうか、やっぱり気になることですが。私は宮崎なのでよく行くんですが、これは宮崎県の青島海岸の「鬼の洗濯岩」です。ほとんど割れ目はありません。時代的に若いということもありますが、一方で、こういう付加体の堆積岩は変形して、こういったところに割れ目ができたりしています。ここも割れ目あるいは断層かもしれません。

現在こういったものをボーリングコアを用いて調べているんですが、ここも基本的にはこういう割れ目があって、花崗岩と同じように、ちょっと白っぽくなってあれですけども、充填鉱物、先ほどの花崗岩と同じように磁型の結晶が析出していて、これを見ることによって水みちを同定できる。つまり、花崗岩と同じような考え方でアプローチできることがわかってきています。基本的に全体の10%ぐらいが水みちとして機能していそうで、中は割れていますけれども、しーリングされているものもあることがわかってきたということです。こういったものを情報として蓄積していく必要があるということになります。

もう一つ、これは気になる場所だと思います。何かと言うと、先ほどの岩石にもありましたが、地表からの地表水、酸化した地下水の地下への影響はどれぐらいの深度であるのだろうか

いう研究も行っています。結論から言いますと、先ほどの色が染出したりしているものは、花崗岩の場合だと200mぐらいまで、堆積岩だと100mぐらいまでで、酸化した地表水が岩石によって緩衝されるんですね。

岩石は還元作用がありますので、酸化した地下水が中に入ることによって、岩石の持っている有機物とか炭酸カルシウムといったもので反応して中和される。そういう深度が大体これぐらいだということがわかったということです。ですので、深度300m以深といった一つの指針もありますが、なぜ300m以深なのかという科学的な裏づけ、もちろん実際の処分場では、先ほどの山崎先生の話ではないですけども、隆起もしますので、そういったファクターも考慮しつつサイティングする必要があるだろうということになります。

こういった環境についても、実際のデータがどれくらい信頼性があるのかを論文発表によって検討することが大事だと思います。こういったものは、前回の委員会でも議論になりましたが、暫定保管においても検討する必要があるのかもしれない。

最後に断層ですが、先ほどの山崎先生にもありましたが、断層というのはどういう水みち構造をしているのかというと、断層の中は、構造運動によって、空洞があるわけではなくて、すりつぶされたもので詰まっているということです。これは堆積岩の事例ですが、ここここがずれていきますね。これは花崗岩の例ですが、こういうふうに白っぽくなっている。これは花崗岩がすりつぶされて中に入っているという状態のものです。こういったものは隠れ傷、ここがガウジとか、ここが割れ目になるんですが、重要なのはこの割れ目帯のところ。ガウジのところは水があまり通らないということが現地での透水試験でわかってきました。

ちなみに、こっちは今まで見た、これが透水性の高い単一の割れ目で、充填鉱物があるもの。

こっちは断層の近傍の割れ目です。こういったものは粘土状の充填物で充填されています。したがって、なかなか水を通しにくいという状況が見えてきたということです。

これは同じような事例で、地下備蓄のサイトですが、瀬戸内海の地下200mの花崗岩の中に既に建設されて、LPGガス、気体を水圧で液体にして、皆さんが鍋物をするときに使うカートリッジには液体が入っていますね。あれは圧力をかけると液体になるというものですが、地下にガスを圧力で液体にして保存すると、そういうプロジェクトの中で、こういったところでも断層が出ます。

これは断層で壊された花崗岩ですが、こういったところに粘土状の充填物のあるガウジがあって、その湧水量を見ると、ガウジのほう、断層帯のほうは0.9ℓ/毎分なんですけれども、それよりも周辺の割れ目のほうが数十倍高い湧水量が出るところもありで、断層よりもその周辺の割れ目のほうが、水みちとしては重要になってくる。そういったものを理解した上で、最終的には

どう工学技術と連携しつつ、日本の地下環境に合致した技術として整備していくのかというのが重要になってくると考えています。

既に断層の知見は蓄積しつつありますが、最後に、今日言いたかったのは単に外国の技術を持ってくるのではなくて、日本の地下環境をきちっと認識した上で、あるいは、断層というものは一体どういうものかということ認識した上で、適切な技術としてつくり上げていく必要があるということです。

以上です。

○増田委員長

ありがとうございました。

それでは、最後になりますが、資料4の「高レベル放射性廃棄物地層処分における地下水挙動に関する考え方」、こちらを徳永委員にお願いいたします。

○徳永委員

東京大学の徳永でございます。今日は事務局から2つお題をいただいて、1つは地下水の話をしなさいと。もう一つは、地層処分ですらまでどのようなオプションが考えられていたかという話をしなさいと言われました。2つ目の話はあまり得意ではないところもあるのですが、いただいたお題はお答えするという事で参っております。

まず最初に地下水の話、先ほどの吉田委員の話でもかなり出ていましたし、朽山委員の話でも出ていましたが、なぜ放射性廃棄物処分を考えるとときに地下水のことを考えないといけないのかというと、仮に地層処分をするとすれば、地面の下に高レベル放射性廃棄物を置いた後に、それが人間環境に近づいてくる一つのプロセスとして重要なものは、地下水が高レベル放射性廃棄物と触れて、高レベル放射性廃棄物の中から核種を溶かして移動してくる、それが最も重要な考えないといけない主要なシナリオであるということです。

もう一つは、接近シナリオと言われる、マグマが処分場へ直接貫入したり、人間が積極的に行くということが将来的に起こるかもしれないということとか、考えても仕方がないかもしれないですが、隕石が衝突するととんでもないことが起こりますよねと。そういうのが接近シナリオと言われているものです。地下水シナリオの側はどんな条件でどんな場であっても考えないといけないという意味で、その挙動を考えないといけないということになります。

地下水はそもそもどういうところを流れていますかというあたりをできるだけ正確にご理解いただきたいということで、こんな資料をつくりました。これはある人の教科書からとってきたものですが、地下水は、地面の中にある大きなスペースを滔々と流れているものは非常に稀であって、ほとんどすべての地下水はこういうすき間を通っているものです。ですから、石油もこうい

うすき間にたまっているわけです。鍾乳洞で地下に入ると水が流れているというのがありますが、あれは極めて特殊なので皆さんが行ってごらんになるわけです。あれは普通のものではなくて、ほとんどすべてのものはこういうすき間の中を流れているということです。

下の図に描いているのは、そのすき間がどれぐらいの大きさとかいうイメージを持っていただきたくてお持ちした図です。横軸は桁山先生の図と同じで対数の軸をとっているので、 10^{-0} から 10^{-1} というところへいくと、すき間の大きさが10分の1になるということを言っています。 10^{-0} というのは1ですが、ここが $1\ \mu\text{m}$ です。これは砂岩と言われるものです。これはやや緻密な砂岩と言われるもので、これは泥岩と言われるものです。泥岩と言われるような泥が固まってできた岩石が持っているすき間の大きさというのはこの図では、 $10^{-2}\ \mu\text{m}$ で、とても小さいです。

それに比べて、私たちが地下水をとっているというのは、砂岩とか礫というものからとりますが、その大きさは $10^1\ \mu\text{m}$ ぐらい、 $10\ \mu\text{m}$ ぐらいの大きさです。なので、これぐらい差がある岩石が地面の下に分布しているということになります。それが一つ重要なことです。そういう中が水が通るとというのが、どれぐらい通りやすさに差があるかということを知る必要があります。

地下水が流れる量というのは、岩石がどれぐらい水を流しやすいかという特性と、岩石の移動を引き起こす力がどれぐらい大きいかというものの掛け算で決まります。なので、水がほとんど動かないような場所を探したいと思うとすれば、水を流しにくいような岩石が主体となっているところを探して、水の移動を引き起こす力が小さいところを選べばいいということになります。それが場所を選んでいくということです。

ここもまた対数軸で書いている軸で、単位はどうでもいいですが、ここは 10^5 と書いていて、ここは 10^{-8} と書いています。すなわち、ここからここまでの間では13桁違うわけです。繰り返していると、このあたり、私が今言っているあたり、この辺が井戸を掘って水をとるときによく使うものです。それに対して、 10^{-8} ですから、1億倍ぐらい水を通しにくいものが地面の下にある。

そうすると、水を非常に通しにくい岩石が、水を流したくない工学をやりたいときには探すものになって、それは世の中にはあるということです。それはどういう岩石かというと、亀裂が少なく、風化があまり進んでいない結晶質岩、先ほどの吉田委員の話にあった花崗岩の非常に亀裂が少ないものであったり、泥質岩、泥を主体としたような岩石が可能性として挙げられるわけです。

もう一つは水の移動を引き起こさないということですが、地面の下は2つの特徴があって、1つは地下深部に行けば行くほど水の移動を引き起こす力のうちの一つ、すなわち重力の影響は小さくなってきます。山の高いところから山の低いところへ水が流れていくんですが、浅いところ

ではその影響を受けて速く流れますけれども、深いところへいけば行くほどその影響は相対的に小さくなっていくという特徴があります。

地面というのはもう一つ興味深い特徴があつて、周期の短い変動は深いところには伝わらないという特徴があります。すなわち、地表近くで様々な高周波の変動が起こったとしても、地下の深くに行くとそれは伝わらなくなります。この図はややわかりにくいんですが、矢印で書いているこの辺は数年ぐらいで流れるような地下水があつて、この辺にいくと数百年かかると。これは全部、水が流れやすいと思っている地層の中の話で、先ほど申し上げたように、非常に水を通しにくいものを考えると、その下になりますから、もっと長い時間をかけて水が動くということになります。

実際にどれぐらい地下水の流れている速さが違うかという、2つの極端な事例を持ってきました。1つは、富士山の東側にある三島溶岩流と言われる溶岩の中ですけれども、そこを流れる水は非常に速いということが知られています。この下に有名な柿田川の湧水があるところですが、あのあたりの地下水は、雨が降って地面の中に入ってから10年とか15年で顔を出してくるという、非常に速い流れをしています。

一方、これはオーストラリアの大鑽井盆地と言われるところの地下水の調査の結果です。ちょっとわかりにくくて申しわけないですが、これは70万年、ここからここまで行くのに130万年、ここからここまで行くのに100万年というような時間がかかるということになります。

ですから、先ほど申し上げましたように、水の通しやすさが10桁を超えるぐらいの違いがあつて、流すための力の大きさが、地表近くは浅くて、地下に行くとそれが小さくなるという両方の効果の結果として、こんなに速い流れの地下水と、こんなに遅い流れの地下水というのが地球上にはあるということが、もう一つ私たちが知っておくべきことだと思います。

そういう中で、地下水の流れというのはいつも同じように流れているのではなくて、先ほどの山崎委員のお話にもありましたけれども、地球というのはすごくダイナミックに動いていて、暖かくなったり寒くなったりしますし、寒くなると海面が今よりも100m以上低くなるということも起こります。その結果として地下水の流れ方は影響を受けます。

ここからは地下水の流れに影響を与える重要な事象ということで、3つの話をさせていただきます。1つは、地球の表層環境が変わる、暖かくなったり寒くなったりするということがあるということ。もう一つは、地震が発生したり断層が動くことによって、地下水の状態がどれぐらい変わるのかということ。もう一つは、私たちが地層処分を考えると考えると、地面の中に穴を掘って入っていくわけですが、それ自体が地下水の挙動にどういう影響を与え得るかという話でございます。

まず1つは、地表環境変動、特に10万年程度の周期で発生する寒冷化と温暖化のサイクルがどのように影響を与えるかということです。なぜこういう長い時間スケールの話が重要になるかというと、先ほど申し上げましたように、短い周期のシグナルは地面の下に入っていくとどんどん減衰していってしまうので、全く問題ないというわけではないですけれども、主要な問題の一つではなくなってくるということです。

約10万年程度で暖かくなったり寒くなったりするというのは、地下水の観点から言うとうどういう変化があるかということ、先ほど申し上げましたように、海面の高さが100mぐらい上下するということは、地下水の出口の高さが100mぐらい変わるということです。もう一つは、雨の降り方とか、地表面の状態が変わってきます。それが地下水の流れ方に影響を与える。この変化を将来に向かってこうなるに違いないということを言うのは非常に難しい。想像していただければわかると思います。私たちは過去のことを読み解くことはできますが、将来そうなりますと言うのは、できないわけです。

もう一つ重要なことは、地表面環境が変化すると、先ほどの山崎委員の話にありましたが、地面が削れてしまったり、削れたものが海の底にたまったりするということが起こります。それも地下水の流れ方に影響を与えます。ただし、それがどの場所で具体的にどんなふうに浸食していつて、どこでどんなふうにたまるかということを述べることも非常に難しい。

なので、私たちはどういうアプローチをしてその議論をするかということ、過去に起こってきたことを明らかにするという能力を我々は持っていますので、結果としてどういうことが起こってきたかということを明らかにして、その幅を示して、これぐらいの変化が起こり得るということに基づいて、将来こういうことを考えないといけないという問題を設定して、その影響を議論していくということをします。下を書いてあることも同じことでございます。

これは、地表環境変動の影響が地下水の挙動に影響を与えている事例として有名なものですが、南アメリカのスリナムという国の沖合です。この図はややわかりにくいですが、ここに書いてある数字は水の中に溶けている塩素イオンの濃度、どれぐらい塩辛いかということをいっています。海岸がここで、海岸から海の中の地下を見ているわけですが、1万5,000とか1万8,000というのは海水と同じぐらいの濃さです。

ところが、海の底を掘っていくと、海水よりもとても薄い、この数字で言うと500ですね、1万5,000が海水ぐらいだと言いますから、1万5,000を500で割ったぐらいの薄さの水が地下にはあり得るということです。これをどういうふうに理解するかというと、地球の長い時間の中で起こってきたものと理解すると非常にわかりやすく、今から1万8000年ぐらい、もしくは2万年ぐらい前の地球が寒いときには、今よりも百数十メートルぐらい海水が下がっていたということで

す。大陸棚と言われているところは、その時代は陸だったわけですね。そこに雨が降って、その雨が浸透して行って、それに伴う淡水の地下水の流れが発生するわけです。ところが、1万8000年前から現在までの間に、海面が100mぐらいから現在の位置まで地学の世界で言うすごく速い速度で上がってくるわけです。そうすると、地下にあった水は、海の水のほうが淡水よりも重たいですから、ひっくり返ろうとするんですが、それが間に合わなくて、現在もこういう形で甘い水が残っているということがあります。

違う言い方をすると、地下の水が動く速度というのはそれぐらい遅いということです。地球が10万年スケールで起こっているものに追従できないようなことが起こっているということです。これは日本の国内にも幾つかの事例があって、有名なものは、例えば本州と北海道の間をつなぐ青函トンネルを抜いたときに、自分は海の底にいるはずなのに、トンネルの中に出てくる水が甘い水の場合があったということはよく知られています。それから、海底石炭鉱山からもしばしば淡水が出てくるということも起こっていて、日本でもある事例だと言われています。

これは事例としてわかっているんですけども、これを将来に向かってどうするかというのは極めて難しく、不確実性の一つになっていて、昔からずっと考えているんですけども、さらに考えていけないといけなことです。スウェーデンの検討の事例をお持ちしましたが、スウェーデンで問題になるのは、あそこは寒くなると、地盤の上に氷が2kmとか3kmの厚さで乗るということがあって、それが将来のシステムにどういう影響があるかということが議論の対象になります。

そのときに彼らのやっているアプローチは、先ほど申し上げたとおり、過去12万年間ぐらいにどういうことが起こってきたかということはかなりよくわかる能力を私たちは持っているので、仮にそれと同じことが今後起こったとすれば、どういう影響があるかということを基本のシナリオとして考える。例えば、100万年を考えるのだとすれば、これが8回繰り返すというようなシナリオを1個考えるわけです。

それをやったときに、ここにあるように、3kmぐらいの厚さで氷が乗るというのが地下のある部分にすごく影響があるという結果が出た場合には、これの影響をさらに厳しい状態にしたシナリオをつくって、その結果としてどういう影響が出るのかということの評価していくということをし、安全性を検討するということをしています。彼らは結果としてこの基本のシナリオ以外に、ほかに5つの環境変動シナリオを設定して安全性の評価をするというアプローチをしています。

一方、先ほどの繰り返しなんですが、地下には昔の時代に起こったことの影響がそのまま残っているという場所が幾つかあります。これはスイスのウェレンベルグというところでやった研究

で、非常に興味深いものだと思っているものですが、濃い灰色のところは水を通しにくい地層です。泥岩、泥からできている岩石です。これは、横軸は水が持っている圧力、もしくは水が持っている地下水を動かせる能力と言ってもいいかもしれない、それをかいていて、ここは非常に低くなっています。

なぜ低くなっているかという、ややわかりにくいかもしれませんが、ウェレンベルグというところの上に1万8000年前ぐらいに何キロもの氷が乗っていたのが、急激に氷が取り去られてしまうとちょっと圧力が下がるんですね。圧力の下がったやつがずっと解消されないまま、そこに圧力が低いまま残っているということです。水を通しにくい地層というのは、過去の地質現象の影響が残されていることを我々は知ることができますし。もう一つ、そういう場所にその結果があること自体が、地下水が非常に動きにくいんだという情報を私たちに与えてくれることになります。なので、こういう場所を適切に選んでいくという作業が、ひとつ重要な私たちがやるべきことになるのではないかと考えています。

もう一つ、非常に難しい問題は地震に関わる話です。地下水は流れやすさと流す力によって流れる量が決まるという話をしましたけれども、地震というのはどちらにも影響を与えます。地震は割れ目の性質を少し変える。吉田委員の話にあった割れ目の性質というのは地震が起こるとちょっと変わったりします。そうすると、水が非常に流れやすくなったりするということが起こりますが、これを予測するのはそんなに簡単ではありません。非常に難しい。

一方、地震というのは断層が動くことによってひずみが解消されたり再配分されたりするということが起こりますが、そうやって地面の一部がひずんだりすると、それで圧力が発生して水が動くということが起こります。ですから、地震はどちらにも影響を与えてしまいます。こちら側の水を動かす力の大きさを変化させることについてはいろいろな研究がなされてきていて、それなりによく推定できると考えられています。もう一つ、駆動力の変化は、地下水が流れていくことによってそれが解消されていきます。だから、時間がたつとその影響はなくなってしまう。ところが、こちら側は、亀裂の性状が時間的にどう変わっていくかというのは非常に難しい問題で、それがもう一つ、私たちにとって大きな不確実性をもたらします。

この2つの図はカリフォルニアであったロマプリエタ地震の事例ですが、雨の降り方が全然変わらないのに、地震が起こった直後に川の流れ方が、これも縦軸が対数軸ですけども、10倍ぐらい増えるということが起こった事例が知られています。これは、山が揺すられることによって水の通しやすさが場合によっては10倍高くなったということを言っている。こういうことが起こり得ます。

もう一つ、こちら側は、先ほど山崎委員の資料に写真が出ていましたが、兵庫県南部地震のと

きに動いた野島断層で、産業総合技術研究所の小泉さんのグループが、断層の水の通しやすさが時間とともにどう小さくなっていくかという、非常にユニークな研究を行っており、おもしろい事例です。地震が起こったところはここなので、これがどれぐらい高くなっていたかということがわからないんですが、少なくとも彼らが研究を始めた1997年から10年ぐらいの間に、断層の水の通しやすさは少しずつ小さくなってきて大体一定の値になる。こういう時間スケールで水の通しやすさは変わっていくということがわかってきています。こういうのは引き続き研究をやっつけていかないといけないテーマだと思います。

なので、評価をするときに、朽山委員の話にもありましたけれども、私たちは運命をそのまま言い当てるとするようなアプローチはできません。運命をそのまま言い当てようというのは、事象をそのとおりに追跡するという方法なんですけど、それを将来に対して言うことは非常に難しいので、私たちは考えられる中でも極めて不利な条件を設定して、その中で評価を行って、その影響を議論するということをします。ただ、これは極めて不利な条件というところにややあいまいなものが残っていて、場合によってはそれが残余のリスクと言われるもので、私たちがもう一つ丁寧に取り扱いなければいけないことであると僕は認識しています。

この場合、これは第2次レポートと言われるものですが、第2次レポートは、処分場の下流側に断層があって、そこでは常に水が動いているというふうに保守側に設定して検討しているという位置づけです。彼らが言うリファレンスケースでは、1年間に1 m³当たり1 tの水がこの断層を通して動いていきます。地下の非常に深いところでは現実的にはそういうことはほとんど起こらない、もしくは、地層処分をすればそういうところを我々は選ばないというのが前提なんですけど、そうであっても、こういう極めて不利な条件での評価を行ったときにどういう影響があるかというアプローチを今までやってきているということでもあります。ただし、繰り返しですが、それは私たちが考える極めて不利な条件での評価なので、そこには残余のリスクがあり得るということは忘れないようにしないといけないということだと思います。

もう一つ、地下水の流れに影響を与える事象は、地下に処分場をつくることによって発生します。掘削をすると岩を傷めます。この図にありますように、掘削した穴が開いていて、ここに処分をするということを考えると、掘削したところの下に、「掘削影響領域」と私たちはよく言いますが、そこに割れ目が比較的にたくさんできてしまうということが起こります。

こういうものをどう扱うかとか、地下に人が入っていくということは、そこには空気を送りますから、そこを酸化的な環境にするわけです。吉田委員の話にありましたように、酸化的な環境では核種は相対的に動きやすくなってしまいますし、還元的な環境を私たちは地下に期待しているので、数万年という時間から比べると非常に短い時間ですが、そうは言っても掘削をしたとき

に例えば地下環境の変化がどういう影響を与えるかというのが一つ課題になってくる。

もう一つ忘れていけないのは、地下を知るために私たちは地下を乱すんですね。地面の下のことを知りたければ私たちは穴を掘るわけです。その穴をどういうふうに丁寧に手当をするかということが重要なことで、それも当然技術開発がなされていますけれども、具体的にどうやって穴を埋め戻して、今まで以上に水がそこを通らないようにするかということは丁寧にやっていかなければいけない。こういうようなことが地下の環境に対して影響を与えるということです。

これが地下水の話の最後ですけれども、地下の理解に向けては様々なことがやられていて、その事例です。例えば、地下水が、もしくは地面の下に水が入ってから、私たちが水をとるまでにどれぐらいの時間がかかるかということを知るツールをどんどん開発してきていて、かなりよいものができつつあるというのが、ひとつ研究が進んでいるということです。

もう一つは、地球が行っていることを丁寧に見てあげると、ヘリウムという元素のヘリウム3とヘリウム4という同位体の比を見ると、こんなふうに空間的にバラツキがあります。読み方はなかなか難しいところがあるんですけども、丸が大きいものはかなり地下の深いところから、多分亀裂沿いだと思いますけれども、ガスが上がっている。どのぐらい深いかというと、地震が発生しているところよりももっと深いところだと思ってください。そういうところから上がってきているだろうということがあるんですけども、こちら側はそういう亀裂であっても、そんなものはない、このような空間的な分布を知るような能力もできてきています。

もう一つすごく大事なことは、朽山委員の話にありましたけれども、空洞周りの環境を正確に知ることが大事なんです。それは今はできないけれども、私たちは坑道を掘削し、処分坑道をつくっていくという作業をして、その間ずっと情報を手に入れ続けるわけです。ですから、最後の最後にどの場所に、例えば縦置きで処分をしていくかというぐらいまで調査をすると、このあたりは私たちが非常に多くの情報を得ることができるということになります。この前の段階で一回議論をして、調査を始めていって、入っていったところでまた議論をするということを繰り返していくことが、地層処分の最終的な安全性に対する技術的な信頼性とか、情報を理解していくという意味では非常に大事になってくるということでございます。

ここから先は2つ目のお題の話で、私より朽山委員のほうが適切に説明されると思いますが、これまでにどんな放射性物質の地層処分の概念が検討されてきたかということです。地層処分と言われるものが主に考えられてきているんですけども、その中でもいろいろバラエティがあって、例えば坑道を掘って置くとか、最初のこの委員会でも議論がありましたけれども、超深孔処分というものも考えられています。4kmとか5kmという穴を掘るということです。

それから、島というのは特徴に水が動きにくいような環境があり得て、そういうところを考え

るとか、熱いままのものをに入れてあげて、周りの岩石と一緒に溶かしてマグマみたいにして、それを固めてあげるというふうにすると安定なんだという考え方がなされていたり、井戸に高レベル廃液のまま処分することによっても地層処分ができるかもしれないというような議論が過去からなされてきています。そういう経緯を私たちは正確に知っておくことが必要であると思います。

地層処分以外にも、海洋底上に処分していくという議論がなされていたり、海の上というのはやや問題があるかもしれないので、海の底にたまっている堆積物の中に入れるという処分も考えられています。日本のようにプレートが沈み込むことがわかっているところであれば、沈み込んでいくプレートの上うまく置いてあげると、プレートと一緒に地面の下に沈み込んでいってくれれば、これもオプションの一つであります。

それ以外に、皆さんよくご存じだと思いますが、最近幾つかの概念があるというのでよく出てくる氷床に処分するというもの。自分が熱を持っているので、これが落ちていって来て、氷床の一番底にたどりつくということとか、宇宙に処分するとか、核種分離・変換というような考え方、それから、長期貯蔵というような様々なオプションが70年代ぐらいからずっと議論されてきているということです。

もう一つ重要なのは、地層処分一つをとってもバラエティはいろいろあり得て、これはNUMOさんのレポートに基づいて整理をし直していただいたものですけれども、自分たちが処分をするという場所を正確に理解して、その地質環境の場に応じたバリエーションの処分をするというのが、地下をうまく使っていくという意味での大事な考え方ではないかなと思っているということです。

少し長くなりましたが、以上でございます。ありがとうございました。

○増田委員長

4人の方からプレゼンをしていただきました。それぞれの皆さん方の内容は半年ぐらいずっとやらなければいけないぐらいの中身の濃いものを、20分ぐらいという短時間でお願いしたわけですが、非常にわかりやすくご説明いただいたかと思います。

それでは、今のご説明に対してご質問などございましたら、ご発言をお願いしたいと思います。ご発言のある方はネームプレートを立ててお願いします。

それでは、小林委員、それから崎田委員、お願いします。

○小林委員

大変勉強になりました。集中講義を受けたような気分になりました。それぞれの方に細かい論点でいろいろお聞きしたいことは幾つもあるんですが、時間もありますので、抽象的というかー

一般的な質問をしたいと思います。

一般に地層処分というのは国際的に認められた方法であるという言い方がされてきたわけですが、今のお話を伺っていると、日本の地質特性に見合った技術開発をすることが大事だというご指摘が大分あったと思います。そういう意味では、一番最後の徳永委員もおっしゃっていましたが、結局のところ現場合わせのような調査を毎回細かく、今日お話しいただいたような論点についてやっていくということ以外に、処分地というのは決められないという理解でよろしいのかということ。つまり、一般化可能な形で日本全体で探すときに、大体こういうふうな条件ですよという形で設定できるのか、それとも、かなり固有性が強いものだと考えたほうがいいのかというポイントが1つです。

もう一つは、山崎さんの議論は非常に大事な問題で、理学から工学への変換をしたというので、松田さんの経験式の話がされたと思います。この経験式は現在もまだ生きているというか、その経験式の評価というか、信頼度と言うんですかね、これはどういうものなのか。しかも、「工学的」という言い方をあえてされたというところがポイントだったと思うんですが、そのニュアンスがちょっととりきれなくて。一番最後のところで「わからないから活断層とみなすのは、科学ではなく政治的判断だ」という言い方をされているんですが、政治判断かどうか、私は政治判断が入るべきだと思っているんですが、少なくとも理学からは安全とかいった判断は自動的に出てこないし、不確実性は不確実性として語る以外に手はないと、こういうご主張かと思います。

他方、それを踏まえた上である種の判断をするのが工学だという理解を私はしているんですね。そういう意味では、本来、工学は理学的な基盤に立った上で、社会的な、あるいは現実的な、あるいはコスト的な様々な価値判断を入れた上で、保守的な評価をすることが工学の仕事という議論になると理解するんですが。その場合に、ほとんどの場面は工学系の方の判断にお任せしていいと思います。事と次第によっては工学の専門家がその判断の責任をすべて本当に負われるんでしょうかという問題が残ります。それは、「残余のリスクが残っているんだから慎重に」と徳永さんがおっしゃったこととも絡んでいまして。

ご存じかどうか、班目原子力安全委員会委員長が国会で追及されたときに、「すべての可能性を考慮に入れたら物をつくることはできません」とおっしゃったんですね。私はそれは正しいと思うんです。どこかでみなしとか、割り切りとかいう形の線引きをせざるを得ないのだと。その線引きに失敗したところは反省しておりますと、班目さんはおっしゃったわけですね。ですから、工学的判断というのは、残余のリスクがあって保守的にやっています。しかし、これはある種の判断ですということになりますが、この部分の責任を重要な案件に関して工学者だけに任せてよいというふうにお考えなのか。それとも、そこに関しては、それこそ山崎さんがおっしゃったよ

うに政治的判断のような観点がそこには入るべきなのではないかと。そうすると、それは工学者だけではなくて、もっと多様なレベルでの判断を入れるという議論になると思うんですね。そのあたりのお考えをお聞かせ願えたらと思います。

特定のどなたかということはございませんので、どなたでもレスポンスいただければと思います。

○増田委員長

それでは、3人の方の札が上がっていますので、3人の方にまずご質問をしていただいて、それからまとめて委員の先生方に応えていただくということにしたいと思います。

崎田委員、お願いします。

○崎田委員

私は、この分野は市民も一生懸命勉強しないと思っていっている学んできたんですが、今日は短期集中講座でいろいろとお話を伺って大変ありがたいと思っています。そこで、それぞれ、一点ずつぜひ教えていただきたいことがあるんです。いろいろなところで勉強会などをやって、必ず疑問として多くの方がおっしゃることの解決に向けて伺いたいと思うんです。

まず、朽山先生に伺いたいのは、徳永委員が処分のいろいろな概念を最後のほうでお話してくださったんですけれども、多様な処分方法の中で、日本としても今の地層処分を選んだという、そのポイントを教えていただければありがたいと思います。

次に、山崎先生には、19ページの最後に、被害を最少にする様々な対応・対策が必要で、深層防護というような、断層が動くかもしれないことに対応してそういうことが必要だと伺いました。断層があるからすべてが駄目というよりは、断層の中に破碎帯とか小さいところがあるので、そういうところが動くことを想定していろいろな防護をするという道があるんだと、そういうふう理解したんですけれども、一体どういう防護ができるのか。その辺をもう少し教えていただければありがたいと思いました。

次に、吉田先生は、23ページに日本の地下環境に合致した技術の整備というお話の中で、火成岩、変質岩と堆積岩質と両方あって、それぞれに性格が違うけれども、その性格を生かしてきちんと技術を整備するのであれば、日本はどの岩盤というか、地質であっても、それに応じた対処をすれば処分地の候補となり得るというお話でしたが、その辺をもう少し教えていただければありがたいなと思いました。

徳永先生は、地下の水ということで、私はいろいろな学び合いの現場でずっと地下水の質問ばかり受けてきた経験があります。一番気になったのは12ページの、例えば調査用ボーリングをしたときの埋め戻しとか、ふだんは非常に動きが少ないけれど、そこに何か影響を与えてしまった

ときにはそれをもう一回戻すのが大変とのことですが、この辺に関して今どういう技術がどこまで進んでいるのかというようなお話をしていただければありがたいなと思いました。

お願いします。

○増田委員長

それでは、伴委員、お願いします。

○伴委員

4人の方々、どうもありがとうございました。

一度には頭に入ってこないんですけども、まず確認ですが。

今ある処分の方法、例えば19cmの肉厚のオーバーパック、70cmのベントナイトがひとつモデルとして出されているんですが、それは可變的であって、場所が決まったらそういったところも変わってくるものと、僕はきょう4人の方々のお話を聞いてそう受け取ったのですけれども、そういうふう to 受け取っていいんでしょうか。

2つ目は、参考資料に関係してくる話なんです、「我が国の高レベル放射性廃棄物の地層処分の技術的信頼性第2次取りまとめ」というレポートは、花崗岩1,000m、堆積岩500mというところで評価をされているんですが、いろいろ調べていってもどうしてこの数字が出てきたのかというのがよくわからないんですね。あれは99年に発表されているのですけれども、相当前から、少なくとも94、5年のころにはそういう形で見えていくということがほぼ決まっていたような印象なんですけれども、それもよくわからないんです。第1次取りまとめは、深さ1,000mでオーバーパック肉厚30cmということを考えていて、それは内圧との関係でこういうふうになってきているということが書いてあるんですけども、安全評価はしていない。どういう経緯で1,000とか500が出てきたのかということについて教えていただきたいと思っています。

ここから先は前と同じことを言うことになるかもしれませんが、法律で300m以深となっているので、僕は法律のほうを500とか1,000に変えてほしいと思っています。いずれにしても、恐らく場所は政治的に決まっていく可能性が高い。国のほうがいろいろ地質環境を調べて、ここだということをピンポイントで適地として出すということを除いては、今のシステムだと政治的に決まってしまう。そうすると、法律で300以深となっていて、わざわざ500mとか1,000mとかは掘らないでしょう、それこそ300m付近のところで工学的な対応策を取ってよし、とされていくのではないかなと思うんですね。

そういうふうなことを考えていくと、2000年レポートと同じような形で300mというところでも安全評価をしないといけないのではないかなと思います。そのときには、きょうお話にありましたように幅を示すということ。そして、東北地方太平洋沖地震という巨大な地震と福島原発事故を

受けた後としては最悪のケースも示すべきではないか。つまり、幾つかの悪い要因が全部重なったときにどうなるのかという、そのことも幅の中に組み込んで示すべきではないかと思っています。今はTRU廃棄物も、一部のものは一緒に処分することになっていますので、そのTRUの影響ということも加味して、300mのところで安全評価をやり直さないといけないのではないかと考えています。これは前の主張の繰り返しです。

それから、細かい質問なんですが、吉田先生のレポートの8ページで岩石マトリクスの話があって、下のほうの右の図では、鉄とかカルシウムについては酸化物として書いてあって、ウランはUとしかかいていないのですが、このときどういう化学形態でなっているのかということをお聞かせ願えれば。つまり、ウランが水と一緒に運ばれていくのはどういう形で運ばれていくのかということがよくわからなかったので教えてほしいということ。

同じように、10ページもセシウムについて言うと、セシウムという形になっていて、あとはみんな化学記号で書いてあるんだけど、セシウムはどのような化学形態なのかというのがちょっと見えないので、そこを教えてください。

○増田委員長

それでは、4人の委員の先生方にお答えいただきたいと思います。今、山崎委員から手が挙がりましたので、山崎委員からお願いしたいと思います。

○山崎委員

私、出かけなければいけないことがありますので、先に答えさせていただきます。

まず、小林先生のほうから松田式の話がありまして、これは使われています。使われているんですけども、もともと松田式というのは厳密なデータが出ているわけではなくて、かなりバラツキの多いデータを「えい、やあ」と引いたものですから、あくまでも目安なんです。それですべて目安にするわけで、その例えば何倍にするとか、安全係数をかけるとか、いろいろなことで判断するしか実際には使えない。でも、とにかく断層の長さがわかると、起きる地震がこの程度だろうということがわかったのが大きな意味があるということです。

それまでは、活断層はあるというだけであって、あるいは、地震を起こすというだけであって、どんな地震を起こすかと言われたときに答えられなかった。それが答えられるようになったということが大きい。改良された式はいっぱいあるんですけども、それぞれみんなバラツキがありますので、結局、従来どおりの松田式が使われているということです。

○小林委員

過去のデータに合わせているだけですね。

○山崎委員

そうですね。ですから、データが増えればもちろん式は変わってくるんですけども、そんなに大きな違いはないということです。

それからもう一つは科学的な判断で、正直、科学を詰めていってもわからないことはわからないと思うんですね。だから、どこかで決めなければいけない。政治的という意味はいろいろあって、個人のレベルでも政治的な判断というのはあるだろうし、国としても社会としてもいろいろな面で政治的な判断はあるんだろうと思いますけれども、政治的判断をしなくてはいけないだろうと。ただ、誰が責任を持つのかと言われると難しい話で、今日は勘弁していただきたいと思います。

それからもう一つ、崎田先生のほうから小さい割れ目に対しての深層防護の話があったんですけども、これも同じでありまして、科学では幾ら頑張っても小さいものが将来ずれるかどうかということはわからないんです。12万5000年がずれていなければいいというのは、ある意味での政治的判断をして基準をつくっているわけですね。ですから、確率的には12万5000年よりも前のものが動く確率ももちろんあるんです。そこはどうかという問題で、これもまた判断をしているんですね。

小さいずれに対して深層防護で何とかクリアできないだろうかということは、現実問題としていろいろなことが動かなくなってしまう可能性がありますので、工学的なシミュレーション等を行って、ここまでは大丈夫だという数字を出していくしかないのかなと思っています。それを私にやれと言われても、私はできませんので、工学の方をお願いするしかないんですけども、例えば大きな地震があったときに、離れたところにある小さな断層がどのぐらいずれるのかと。これもたくさんデータをとっていくとある程度頻度分布が出まして、ピークは出るんですけども、これもどこで切るかというのは無限に数値が出てしまいますから、正直言ってまだまだこれから。でも、この方向でやらなければ社会は動いていかないと私は思っています。

答えたかわかりませんが。

○崎田委員

ありがとうございます。

○増田委員長

それでは、次は吉田委員、それから、朽山委員、お願いします。

○吉田委員

まず、伴委員からウランとセシウムの形態についてということで。ウランのほうは天然の岩石の中にあるもので、酸化している、つまり、ウランは還元状態だと4価イオンプラスで、酸化すると6価をとるんですが、天然の状態では厳密な元素状態を同定することはほとんど不可能です。

多分いろいろな形をとっていると思いますので、酸化している状態ということで、ここはウランという形であらわしています。実際、分析するときも熱したり溶かしたりしてしまいますので、それを厳密にウラン1個1個がどういう形態をとっているかというのはわかりにくいということで、こういう形をとらせていると。

あと、セシウムのほうも、この下にある溶液、ナトリウムとか炭酸、硫酸とかいろいろ混ざった状態でセシウムの濃度をコントロールしているということで、こういうイオンと錯体、錯体というのは化合物ですね、をつくっているということです、一義的にはこれも元素形態は決められないということで、セシウムという形の丸めた表現をとらせてもらっているというのが実情です。

次に、崎田委員からは日本の地下環境に合致した技術ということで対処可能かというお話をいただきましたが、今の状況で徐々に、日本の花崗岩の特徴とか堆積岩の特徴、今日はあまりお話しませんでした、例えば付加体と言われている、日本は変動帯のプレート運動で運ばれてきた岩石の特徴とか、そういう付加体の堆積物は大陸とかほかのところではあまりない岩石ですので、地下の状態をもう少し具体的に調べる必要があるんですが、そういった情報が得られた後に、どういう工学で例えば割れ目に対して対処すればいいのかというのは蓄積があります。

もちろん、私はエンジニア系ではないんですが、先ほどお示しした地下備蓄の話ですね、ああいう地下備蓄は数十年から100年ぐらい液体を地下に保存しようというのがあるんですが、それは地下の割れ目の状態といったものを逆手に利用して、それと工学的技術とかね合わせて安全性も含めて対応できるという技術がありますので、ある場所、岩石とか、そういったものが見えてくれば、それに適合した技術を整備するのは日本のトンネル技術とかを含めて対応できるであろうと。

ただ、最初に小林委員からありましたが、どういう形でどれくらいで一般化できるかということと関連してしまっていて、ある程度のくくり、岩種とか性質のくくりというのは一般化できていると思うんですが、最終的にそれは内陸なのか、あるいは海岸なのか、海底なのか、あるいは、高い山が後ろに控えるとかそうでないとかで、導水勾配が変わってくるとか、そういうある程度のスケールでのローカル的な情報とかみ合わせてセッティングをする必要があるだろうと。

また、今回は全然触れていませんが、地下の温度ですね、地温勾配とかいったもので、例えば地下も最初に行ったときにいきなり60度、70度みたいな状況の中で、操業期間を何百年もとか何十年もとかいうのは、物質の劣化もありますので、日本の地下環境の不均一性とかみ合わせて、最初に山崎委員も言われましたが、隆起とか沈降とセットにして考えていくことはあるということですね。

○崎田委員

ありがとうございます。

○増田委員長

それでは、朽山委員、お願いします。

○朽山委員

今の吉田委員のお話で伴さんの質問があったんですけど、私が一番最初に説明したように、ほとんどの放射性物質というか元素は水に溶けにくいので、そこで沈殿してしまうんですね。非常に薄いものだけが動いていってしまう。ところが、今みたいに地質環境に出てしまったとき、地下水の中に溶けていくんですけども、非常に溶解度が低いですから、自分自身で集まるほどの濃度はないんですが、しょうがないからというので何をするかという、いろいろな岩石の表面にくっついてしまう。そういうことが実際にたくさん起こりますから、ああいう環境でもいろいろなことでとまってしまうよという話を吉田先生がおっしゃったということです。

それから、小林委員の安定な地質環境の選び方ですが、最初に申しあげましたように、溶解度制限がきちんと成り立つということがあれば、あとは隔離さえされていれば本来の安全はそれで担保されるので、それに対してより確実にするために、地下水が流れにくいようなところを探そうというのが本質的な問題です。活断層とか断層の話も、そういうところは水が流れやすいだろうということと、断層が運動してしまうと廃棄体をひよっとしたら壊すかもしれない。壊したとしても固体が壊れるだけですから、それが溶けて出てくるということにはならないんですが、表面積が大きくなりますから、少し溶けやすくなる。それはあまりよくないから、そういうところを避けようとしているんですね。

それを安全評価だけでやって、そういう場所があったとしても危ない結果は出てこないものだから、伴委員がおっしゃったようにもっと極端に危ないところはないのかという話がいつも出てくるといことなんですね。かなり保守的なことを考えてもそういうことだと。しかし、そういうことまで考えて、石橋を叩いてでも安全なところを探そうというのが、今まで我々が努力しようとしていることなんですね。

そのために、安定な地質環境を選んでいくときに、1回ずつやるのはとても大変ですので、まず隔離環境がちゃんとできること、それから、亀裂などが非常に多い場所とか、地下水が極端に動いているような場所はまず避けましょうということで、最初の調査段階では概要調査、文献調査がその前にあるんですけども、そういうところで火山とか何かを避けて、次は概要調査という段階で地表からの調査、地表からトレンチとかボーリングを掘ったりして、本当にそういうところは大丈夫ですねということをやって、今度は精密調査で地下に施設をつくって三次元的なも

のを調べてやると。そして、断層の密度が少なければ、断層を避けて工事をしながらトンネルをつくっていくことができるだろうというのが今の全体のやり方で、その段階、段階、文献調査、概要調査、精密調査を経てやることで、安定な地質環境を探そうとしているわけです。

ただ、もともとが結構安全にできているものですから、評価をやって、少々危険なところ、危険というか、今のより確かでないようなところがあったとしても、安全という結果が出てしまうので、それが非常に判断が難しいところで、そういう中でもより安定でいいところを探そうということをやろうとしているのが、地層処分の今の全体の計画だご理解いただければと思います。

それから、崎田委員のおっしゃった処分概念の選択ですが、これは、今、徳永委員がおっしゃったようなこと、いろいろなアイデアは出てきているんですね。一番初期にはいろいろな国が軍事用の再処理をしていて、液体のまま再処理の溶液を持っていて、それで事故を起こしたりしていましたので、それは具合が悪いだろうと。まずは固体にしないといけないうことだったんですが、その後いろいろなことをやっていると、コントロールしながらきちんと隔離・処分ができるような格好は地層処分しかない。

日本の場合も、一番最初考えたときは、日本は変動帯にあるからあまりよろしくないのではないかとということで、海洋底下処分というのを考えていたんですね。高レベル廃棄物についてはなかなか難しいので、低レベルだけでもそういうことをやろうということになったんですが、その中でも海洋にそういうことをして汚してしまつては具合悪いのではないかとということで、ロンドン条約ができて、国際的にはそういうことは許しませんということになりましたので、きちんとしたことを考えたら、日本でもそういうことをやりましょうと。

地層処分が受け入れられた画期的なことは、一番最初は何となく安定なところを選んで、そこに埋めればいいのかということをやっていたんですが、そうではなくて、きちんとした工学バリアをつくって、その中にそれが安定に置かれるような場所を探しましょうというふうに、工学バリアと天然の地質環境をセットで考えるという考え方をしたところで、地層処分が主流になったということでございます。

それから、伴委員がおっしゃった安全評価の問題ですね、300mで安全評価をなぜしないんだと。もともと地質環境というのは非常に不均質ですから、300mでは駄目で、500mではいいとかいう話ではなくて、地質環境として溶解度制限が成立するような還元雰囲気確保できるような場所がいい。それから、安定な地質でないといけませんので、先ほど山崎委員が対象にされていた、260万年ぐらいまでの後からできた地層の第四紀は避けて、それ以前の地層を選びましょうということをやって、安定な岩盤を選ぶということがあって、深度が幾らというのはそれから後の問題としてあります。ですから、場所が決まって、深度が決まれば、それに対して安全評価をすると

いうことになります。

2000年レポートでやっているのは、日本で地層処分ができるかどうかのおおよその見当をつけましょうということでやったものですから、500mとか1,000m。500m、1,000mというのは軟岩、硬岩、堆積岩系と結晶質岩系とありまして、そういうものを地下でトンネルを掘ったり空洞をつくったりしたときの安定性から考えて、堆積岩なら500mぐらいだろうし、花崗岩系のものでしたら1,000mぐらいでもいいでしょうと。できるだけ深いほうがいいんでしょうけれども、深くなればなるほど地温勾配があつて、だんだん温度が上がってきたりする条件もありますので、そういうことを考えて、500m、1,000mが典型的に選ばれて、それを見ながら少なくとも300m以深にしてくださいという形で法律が決まったということで、300m以深ならいいとか悪いとかではなくて、あくまでもその深さを場所によってきちんと評価して、その場所を選んで、そのときにきちんとした安全評価をするという格好になっております。

以上です。

○増田委員長

それでは、徳永委員、お願いします。

○徳永委員

最初的小林委員のご質問に関しては、先ほどの杢山委員のお答えのとおり、一般的な理解という意味での地層処分の考え方はかなりエスタブリッシュされていて。その上で、一方でそうはいっても場にバリエーションがあることが想定されるのではという観点からのお話がきょうは多かったので、小林委員がご懸念なされたように個別になるのかということになったということです。そういう意味では我々の説明の仕方がやや偏っていたかなと思います。そこはご容赦ください。

それから、私がスウェーデンへ行っていたときには、例えば小さな断層は動くということは、それを含めての安全評価を彼らはやっています。ですから、工学的にはそれをやるための技術을 リサーチしていくということになり得るので、断層は絶対動いてはいけませんと言う必要はないのかもしれないですね。スウェーデンの場合は、放射性廃棄物を定置する孔の壁の亀裂が5 cm動くということに関しては、工学的な対処ができて、それで十分に安全を評価できますということを言っていて、逆に言うとそれはそういうスペックでものをつくりますということになるので。

先ほどの工学が全部責任をとってやるんですかというのは、今申し上げたような事例もありますが、こういうことがあり得ます。個々にこういう対処ができますということは我々のご提示できて、その中で、どういうオプションを考えるのが最も適切であるかという話は、工学技術とはやや違うところで議論されるべきことなのかなと。一方で、工学というのはこういうことができます、こういうことは極めて難しい、そういうような話をご提示して議論していただくというこ

と、少なくとも今の段階はそういうことなのかなと私は認識しています。

それから、その話にかかわりますけれども、処分の技術とかモデルは可変なんですかという伴委員のご質問がありましたが、それはこの委員会の議論で今までありましたけれども、社会の考え方が将来的に変わっていき得るので、そういう意味での可変性というのはあり得ると思っています。一方で、物事を進めるといえるときには、その目標に向かってやる必要があるのも、そこは可変とはやや違う、物事を進めていきますというアプローチがあつて。一方で全体の地層処分、もしくは放射性廃棄物処分を考えるというグループの中では、様々な柔軟性があり得て、こういうことも考えられます、こういうことが考えられますと言うことができる環境をつくっておくことが重要なかなと。その結果として、将来的な社会の人たちがモデルを変えるほうがいいということを判断すれば、それに対して反応することができると、そこがすごく重要なかなと個人的には思っています。

それから、最悪のケースということですが、後で事務局の方がお話されるのかもしれませんが、きょう見せていただいた参考資料1を見ると、天然バリアが全く存在しない、すなわち人工バリアから出たものがすぐ生物圏に来るというモデルだとどれぐらいの影響がありますかというような評価もされているので、何をもって最悪というかというのはよくわかりませんが、極めて厳しいケースでの評価も今までやってきているということとはご理解いただくと、なぜ地層処分を技術的に選んできたのかということがわかっていただけるのかなという気がします。

崎田委員のご質問の埋戻し技術に関しては、絵でお見せしましたが、それはスウェーデンの事例でございますが、そういう部分の技術はかなりきっちりやっている。逆に言うと、きっちりやらなかったことによる問題が他の分野でいろいろとあったということを我々は知っていて、それに対応する形で技術は進んできているので、そのあたりは時代が進むとまたよりよいものになっていくと思いますし、そういう意味での技術というのは丁寧にやっております。ご理解いただければと思います。

○増田委員長

朽山委員、追加の説明ですね。

○朽山委員

今の徳永委員のお話の補足なんですが、小林委員がおっしゃった工学的判断と政治的判断の話です。我々がやろうとしている工学的判断は政治的判断とは異なるものです。我々はあくまでもこういう評価をしたらこういう結果が出ますよということだけをやっているのであつて、無理やりやるために安全の評価を出しているのではないということなんです。

それから、非常に危ないケースについて出さないじゃないかということがありますけれども、

できるだけそういう場合も考えないといけないというのは当然のことですし、そういうところで安全でないシナリオも出てくる可能性があります。私がさっき最終的に放射能の減衰を考えたときに、幾らたってもなかなかありませんと、それに無理やり人が近づいたら駄目ですよという話をしました。

そういう意味では、幾ら深く掘って人間がアクセスしにくいようにしても、直接そこにボーリングをして、それを観察するということをしますと、その人は事故的に被ばくするという欠陥もあります。それはどうするかということを考えていただくのは皆さんに社会的に判断していただかないといけないという意味で、我々はそういうものもきちんと出さないといけないと思うんですね。その中でいろいろなことを考えなければいけないということだと思います。

それから、確率の低いことを積み重ねてそういうことも考えなければいけないかというのは、またちょっと違う問題としてありますので、シナリオの評価とか、シナリオが全体として安全を担保するためのシナリオとしてうまく設定できているかどうか、そういう話はまた技術の問題としてあるということです、それを決して混同しないようにしていただきたいということと、非常に短絡して危なそうなことがたくさんありますので、それは違いますよということを我々は申し上げているだけです、誤解のないようにしてください。あくまでも最終的な判断は、そういうことを客観的な情報として聞いていただいて、社会的にいい判断をしていただきたいというのが、我々技術者の立場だということです。

○増田委員長

それでは、伴委員、追加の質問ですか。どうぞ。

○伴委員

枋山先生が溶解度が非常に低いとおっしゃる、溶解しているものについては岩にくっつくということではなくて、そのままずっと水みちに沿って流れていくのではないかなと思うんですが、アメリカウム半減期は短いんだけど、例えばアメリカウム6000Bq/ccというのは1 tにしたら9桁になるわけです。しかも、地下の環境はここでの想定だと水に満ちあふれているし、1つの処分のベントナイトを含めた穴も相当大きなものですから、そんなに低いとは僕には思えないんですね。これは半減期のことを考えれば、恐らく漏れ出てくるころはほとんど低くなっているだろうと思うんですけれども、中には溶解度が比較的高くて寿命の長いものはあるんじゃないかなと思います。

もう一つは、参考資料1は、300mは安全評価をしていないのではないかなということに対して回答があって、ケース37と書いていますけれども、第2次取りまとめの第3分冊の7章に6行ぐらいで書き込まれている。ここに書いてあるのは要約ですけれども、これをもって300mでも大丈夫

という安全評価をしたという、これはそういう回答なんですね。それはちょっと非現実的な想定で、これで安全評価だと言うとすれば普通の人は誰も納得しないのではないかなと思うわけです。そして、これは最悪の事態を想定しているんだという話でしたけれども、僕は最悪の事態で評価されているかどうかについては疑問があって、そういう意味で言うと幾つかの変動が同時に起こるということは考えておくべきではないか、幅の中の一つとして最悪のケースは考えておくべきではないかなと思います。

3つ目は、先ほど杓山先生が接近シナリオの話をされましたので、ちょっとお伺いしたいんですけれども、別の研究をしている人たちは、群分離の研究をしている人たちは、放射性廃棄物中の有用金属が利用できるんじゃないかと考えて研究をされているわけですよ。そういう意味合いも含めて研究されていると思います。そうなってくると、遠い将来に埋めたところに有用金属があるぞということにもなり兼ねない、10万後とか。フィンランドの映画に『10万年後の安全』というのがありましたけれども、映画の中で、有用金属を求めて処分場を掘り返すかもしれない、こういうことに対してどうやって「ノー」と、「ここは駄目ですよ」ということを伝えていけばいいのかと問題提起がありました。そういうことをどんなふうに議論されているのか。その辺をお伺いできればと思います。

○増田委員長

時間がきているので、次回以降にまたご質問あれば。それから、今ご質問ありましたが、それも次回以降にお答えいただくということにしたいと思いますが、よろしゅうございますか。

○伴委員

わかりました。

○増田委員長

では、また次回に今の点をお願いしたいと思います。

続いて、本日は、資料5を用意しております。この説明を事務局のほうから、簡単に説明いただいて、ご質問があれば次回をお願いしたいと思います。

○伊藤放射性廃棄物等対策室長

時間もおしており、恐れ入ります。簡単にご説明します。

前回、まずもって取り組むべき事項、国民の合意形成促進に向けた取り組みということで、「地層処分技術ワーキングの設置」、「使用済核燃料対策協議会の設置」、そして、「多段階的な討論の場の設置」、この資料を3つお出ししておりました。とりわけ3つ目の合意形成については、多くの委員の方から、目的があって方向性が決まって、その中で具体的なオペレーションがどう進んでいくんだという説明にしないと、少し整理が悪いのではないかといったご意見がありました。

これを受けまして資料を全面的に再構成しております。

ご説明すると、目的から入らせていただいて、1行目、「常に将来世代が振り返って取り組めるよう」としています。ここが一番のポイントで、すべての政策、この分野の判断の材料をしっかりと国民一人ひとりが認識・理解して、それについて意見を持てる形に、広報・コミュニケーションのとり方を我々が意識してやっていくことこそが、将来のオプションの選択をより豊かにするのではないかと。そういった観点から今後のコミュニケーションのとり方については、関心の度合いに応じて、1、2、3と書いていますけれども、それぞれ手段を分けて講じていく。あるいは、場合によってはそれは重ね合わせて効果的な運用を行っていくというふうに書かせていただいております。

1つ目は、関心がまだあまり高くない、惹起できていない方々、不特定多数に対する広報。2つ目は、既に関心をお持ちの方でより意見を深めあって、さらにそれぞれの活動というか、動きを活発化させていきたい方々向けの取組、それから、これは役所の側が一方的に情報を流すということではなくて、3つ目にございますように、各地あるいは日本全国で、オピニオンリーダーと言ってもいいんですけども、そういった方々がしっかりと動いていけるように我々は後押しをしていく。そういったことを中心的に25年度から改善できる事業は改善して取り組んでいきたいと思っております。

以上、ご報告でございます。

○増田委員長

この資料についてもご質問やご意見があれば、どうぞ事務局にお寄せいただきたいと思います。

大分時間を過ぎましたので、今日の議論はこれまでとさせていただきたいと思いますが、次の日程について、事務局から説明していただけますか。

○伊藤放射性廃棄物等対策室長

次回は9月の第3週で、委員の皆様が一番ご都合のよい日時に調整をさせていただきたいと思っております。具体的には事務的に調整をした上でご連絡をさせていただきます。

以上でございます。

○増田委員長

それでは、本日のワーキンググループは以上にさせていただきたいと思っております。大分時間を超過しました。熱心にご議論いただきまして、誠にありがとうございました。

—— 了 ——