

第2回専門家フォーラム

日時：平成25年12月21日（土）13時～16時30分

場所：東京大学農学部キャンパス ファカルティハウス セミナールーム

テーマ：原子力発電所に影響を及ぼす断層とそれによる揺れ・変位はどう推定されているのか？

内容

話題提供1：原子力施設に対する地震動評価の方法とその不確実性	2
1. 原子力発電所の耐震安全性評価の流れ	2
2. 地震・津波に関する新規規制基準の主なポイント	3
3. 検討用地震の選択と設定	3
4. 地震動（揺れ）を構成する要因：震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性	4
5. 地震動の予測方法	4
6. 過去の地震から学んだこと	5
7. 強震動予測の方法と不確実性	6
8. 地震動評価の不確かさの考慮について	7
9. 震源を特定せず策定する地震動の問題	7
話題提供2：断層認定の方法とその不確実性	9
1. 活断層とは	9
2. 断層認定の問題	10
3. 科学的判断ということ	11
4. 破碎帯問題	11
5. なぜ断層の見直しが行われているのか	12
専門家間の議論	14
地震動評価と活断層情報のつながり	14
構造物への影響	20
地震発生メカニズムのなぞ	20
変位の予測可能性	22
知見の不足と見落とし	23
分からないことにどう対応するのか	24
全体討議	28
断層認定と専門家判断～科学か主張か～	28
誰が何をどう決めたのか、誰が関わるべきか	30
科学技術の知見不足に専門家はどうか対処してきたのか	33
社会とのコミュニケーションに向けて	35
リスク論はどう使えるか	37

土屋：今日も冬晴れのよいお天気の日、お集まりいただきましてありがとうございます。

第2回目の専門家フォーラムを始めたいと思います。第1回目のアンケートで、いろいろご意見をいただき、また反省点がたくさんありまして、最初に私のほうから、前回の反省点も含めて、今日の進め方についてお話をしたいと思います。

まず、今回やろうとしているのは、地震・津波リスクに関わる様々な専門領域をつないでいくということを中心としています。ですから、それぞれのところでわかっていること、確実にできることと、まだ課題であること、知見が不十分なところなどを、肩の力を抜いて率直に議論をしていただきたいと思います。その点について、ぜひ、ご協力いただければと思います。

(ここで進行役の土屋より、第1回専門家フォーラムの概要を説明しています。その内容については、第1回専門家フォーラムの議事録を参照ください。)

時間が限られている中で、いろんな議論があつて、とりとめもない議論だったのが第1回目で、それを大いに反省いたしまして、第2回目として、地震動の話と、それから断層認定のお話をさせていただきますが、最初に、一体どういうことをやっているのか、そこには不確実性としてどんなものがあるのかを、それぞれ20分ぐらいお話いただいて、基礎的な知識を共有することをまずやりたいと思います。その後、大きく2つのテーマでディスカッションをしたいと思います。

特にこの今日のディスカッションでは、専門家フォーラムメンバーとして呼び出している先生方の中で、断層認定の不確実性が地震動評価であるとか、あるいは耐震性ということにどんなインパクトがあるのかというのが一つ。これは揺れの問題ですけれども、もう一つ変位のほうの問題はどういうふうに関係しているのかというのを、議論していただきたいと思います。その後、フロアも交えて、自由に討論をしていただく時間にしたいと思っております。

それではよろしく願いいたします。

P：話題提供者 E：専門家フォーラムメンバー A：プロジェクトメンバー

話題提供1：原子力施設に対する地震動評価の方法とその不確実性

P1 原子力施設に対する地震動評価の方法とその不確実性ということで簡単にお話したいと思います。

1. 原子力発電所の耐震安全性評価の流れ

原子力発電所の耐震安全性評価というのは、まず、いわゆる対象となる震源像（どういう地震か）を想定し、その地震が発生した時にどういう揺れが生じるかを地震動として評価します。その地震動

は基準地震動 S_s と言われていますけども、この考え方は新規制基準でも 2006 年に改訂された耐震設計指針の流れをくんでいるわけです。

ここでは、2つの地震動が考えられています。1つは、「震源を特定して策定する地震動」です。活断層があって、そこで地震が起こればどうなるか、どんな揺れが出るかという、いわばシナリオがあって、それをもとに揺れを評価する。プレート境界やプレート内の地震、いろんな地震の中から検討用地震を選ぶわけです。もう一つは、「震源を特定せず策定する地震動」。そういう2つの地震動を評価して、最終的には基準地震動 S_s というものをサイトごとに決めるという、これが大きな流れです。

2. 地震・津波に関する新規制基準の主なポイント

今回の新規制基準で、どういうところが 2006 年の改訂耐震指針と変わったかと言いますと、大きく変わったのは津波に対する基準が厳格化されたということです。最大の津波を想定し、そのための防護施設や設備の設置と、その耐震性が求められることになりました。

活断層の認定については、12～13 万年前以降の活動が否定できないときは、もう少し昔に遡って活動性を評価することになりました。以前の指針にも、そういうことが書いていましたが、今回、より明確に 40 万年前まで遡ることになりました。

地震動のほうでは、サイト敷地の地下構造の話ができました。これは後でお話ししますが、中越沖地震での柏崎刈羽原子力発電所の揺れもそうですし、駿河湾の地震による浜岡 5 号機の揺れもそうですが、地下構造の地震動への影響が大きかったことを受けて、より正確に地下構造を評価し、地震動予測につなげるということが求められています。もう一つ、これは浦底断層と原電との関係だけではないとは思いますが、震源が非常に近い場合にはより不確かさを考慮した地震動を策定し、裕度の向上を図ることが、少しクローズアップされています。

地下で起こった地震によって、地震波がでるわけですけど、これが地下をとおり、サイトのこういう地盤の中を伝播してきて、ものを揺するわけです。その伝播の過程で地下構造によって揺れが増幅したり、減衰したりする。同じ敷地の中でも、地盤構造の不均質によって波が変わるというようなこともあって、基準地震動を予測するときには、そういう影響も考えるべきであるとなっています。特に、複数基の原子炉がある場合には、それぞれについての基準地震動を評価する必要性が出る場合もあるということで、地震動評価は複雑です。今回は特に、いろんな地盤調査をしろということが言われています。

3. 検討用地震の選択と設定

耐震設計のもとになる地震というのは、活断層の地震と、プレートの境界で起こる地震と、プレートの中で起こる地震（スラブ内地震とも言われている）、この3種類の地震を、サイトごとに影響を考慮して選びなさいとなっています。

我々が基準地震動を予測するためには、まずは、活断層情報から震源断層はどうなっているのかを考えます。震源断層というのは、地震波を出す食い違いを起こす場所で、断層の長さや幅で定義します。その大きさから地震の規模を評価して震源像を決めます。ですから、初期情報としては、やはり、

そこに断層があって、この断層の長さはいくらかをもとに、震源断層を想定し、評価します。そこから出てくる地震波を考えることが「震源を特定して策定する地震動」です。地震を起こす震源があるという前提であるわけです。

活断層が動くことで食い違いが出てきて、それが累積されて、地形に残ったりということで、ここに活断層があると認定できるわけです。しかし、そうではない地震もあるわけですね。ある規模の断層の動きであれば、地殻の中で起こるけども、規模が小さいと地表面までズレが出てこない。こういう地震はどこでも起こりうるということで、こういう地震にも原子力発電所は備えなさいというのが、「震源を特定せず策定する地震動」として決められています。この両方の地震動をもとに、最終的に基準地震動を予測して決めるというふうになっています。

活断層の長さと震源断層の幅がほぼ一致する場合には、活断層情報に基づいて我々は震源断層を想定して基準地震動を評価しているので、非常にクリアですけども、短い断層から震源断層の情報をどう評価するかということが非常に難しい場合が多いというのが現状だと思います。

4. 地震動（揺れ）を構成する要因：震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性

もう一つ地震のほうで大事なのは、地殻内の不均質ということですね。この前少しお話がありましたが、我々は、M7、8クラスだと、全体の震源域の中で、よく地震波を出す部分があって、昔は滑りが大きいところという定義だったんです。我々も、M7 クラスだと、そういう場所と強震動をたくさん出す領域、最近では強震動生成域と呼んでいますけど、そういう場所とよく整合していたというのもあって、アスペリティという言葉を使いながら、不均質性を表現していました。

東日本大震災でも、大津波を生成したずれが大きいところと、強震動を出した、もう少し陸に近いところが、異なっていたことが分かっています。つまり、今回の地震によって、アスペリティという非常に滑りの大きいところと強震動生成域が区別されたと思います。

地震動というのは、地下深くの震源域での破壊から生成されます。こういう不均質も含めて、そこから出てくる地震波が、地殻を通り、最終的には原発に到達して影響を及ぼす。原発サイトではありませんけども関東平野も大阪平野も、こういう盆地のような地下構造があると揺れが増幅したりする。そういうところで地震が起きたときには揺れ方が異なるので、サイトの地盤の情報が必要になります。震源の情報をもとに地震動は予測されていますが、中越沖地震での柏崎刈羽や浜岡の場合などのデータを集めて、そういう地下構造の三次元的な影響があるのかないのか、あるいは、そういうことを考慮しながら、基準地震動をつくるということになっております。

5. 地震動の予測方法

地震動の予測の方法にはいくつかありまして、最近では、断層モデルによる方法ということが重要視されています。経験的グリーン関数法も、これまでどおり併用しなさいということになっています。特に、震源が近い場合は、断層のモデルによる方法を重視しなさいということになっています。

断層モデルによる地震動評価というのは、震源断層があったときに、破壊開始点から破壊が面的に伝播して、それによって地震波が出て、到達した場所で地震動として観測されるわけです。従来の経験的な手法というのは、地震を一つの点として考えているわけですけど、断層モデルは面的な広がり

をもった震源断層と仮定して、そこから地震波が伝播することによって、何がどうなるかということが取り込まれます。

そういう意味で、特に震源近傍で、破壊がどっちに広がるかとか、そういうことが断層モデルには入るので、この方法は非常にいい方法であるということで使われているわけです。

6. 過去の地震から学んだこと

①兵庫県南部地震

神戸の地震のときにどういうことが起こったかというと、断層破壊が明石海峡下から始まり、破壊が神戸側と、淡路側に進行したんですけど、そのときに、神戸側で非常に大きな揺れが起きました。これは、断層破壊が伝播することによる指向性効果ということで、キラールパルスという形でよく報道されました。これが有名な「震災の帯」の領域で、この破壊の進行側で波が重なってきて、最終的に、非常に大きな振幅のパルス波になりました。伝播する方向とそうではない方向とでは、非常に波の大きさが違うということで、これによって、破壊の進行方向が非常に重要であることが認識されました。逆に破壊がどこから始まるかということが、非常に地震動を規定してしまうということですので、こういう断層モデルの方法を使うと、そういうことも表現できるということになっています。それと、こういう地下構造の影響も、当然、神戸の地震のときには、いろいろとあったということです。

②新潟県中越沖地震

新潟県中越沖地震とき、1号機と5号機での観測地震動の大きさが違いました。特に、この最後のパルス波ですね。これがなぜ生成されたのか、震源はサイトの北東なのに、なぜ南西方向にある1号機の方が振幅が大きかったのか。振幅がだいぶ違います。1号機東西方向680ガルで、5号機は300ガルぐらいということで、倍、半分くらい違う。なぜこういうことが起こったのかということもその当時問題になりました。この原因の一つが、中越地方の三次元的な地下構造の影響であることがその後の研究で明らかになっています。

中越沖地震の場合は3つの要因があったががあったわけです。深い地下構造の影響（褶曲構造）、浅い地下構造の影響（褶曲構造）、それから震源での破壊伝播等の影響です。こういう影響によって1号機側で振幅の大きいパルス波が生成されたということです。こういうことも含めて、三次元的な地下構造の影響を考慮しないと、より強く言われるようになったと思います。

③駿河湾地震

浜岡でも、5号機側で短周期の地震波が、ほかの号機に比べて、倍ぐらい大きくなりました。これもいろいろな分析をすると、均質だと思っていたところに低速度層があって、そこを波が通ってくる過程で振幅が大きくなったということです。特に波が来る方向によって、そういう現象が起こったり起こらなかったりすることが分かりました。非常に狭い領域の不均質さが影響を与えるということで、こういうことを事前に評価に反映できなかった。今後は事前に調査をして見つけるということも大事だろうというふうに思います。

④東北地方太平洋沖地震

東日本大震災も、非常に複雑な破壊過程を示しました。非常に広い領域が壊れたわけですけど、その中に、過去の地震と同じようにこういう不均質があったということ、すなわち5つぐらいの強震動生成域があつて、そこから強い、短周期の地震波が出たということです。我々は、この5つの強震動生成域を配置したモデルで、宮城、福島、茨城の3つのサイトでのそれぞれの特徴的な波を再現しています。宮城側は2つの波群が明瞭にあり、福島は非常に複雑になって、茨城ではほぼ一つの大きな波群だけが見えます。サイトに影響するのはそれぞれの強震動生成域からの地震動になります。非常に大きな領域が破壊され、M9 という非常に大きな規模になりましたけど、それぞれのサイトに影響した地震の規模としてはM8 クラスであつたと推定しています。

先ほどアスペリティと強震動生成域との関係について述べましたが、これが我々のモデルと津波から推定したモデルとの関係です。津波を出したのは、海溝付近で非常に大きなすべりを起こした部分ですけども、強震動を出したのは少し内陸側の領域でした。アスペリティと強震動生成域が混在するような、これが本来のM9の震源の姿だと思っています。

ただ、M7 クラスだと、すべりの大きいところと強震動を出したところがあまり違わなかったということで、我々は今までその場所をアスペリティという言い方をしながら、こういう強震動を出すモデルをつくってきたわけですけど、M9 ぐらいになるとそうではないということが、こういうデータからはっきりと言えます。

実は事前に、女川、福島、東海では、それぞれプレート境界地震を検討用地震として位置づけ、地震動の評価をやっていたわけです。女川については、宮城県沖の、いくつかの地震が連動するというようなことを想定しモデルをたてながら、基準地震動を決めた。福島に関しては、仮想（塩屋崎沖）地震ということで、過去に何度も起こっているプレート境界地震を想定して地震動をつくっている。東海は、もう少し南の鹿島灘のプレート境界地震を検討するというので、それぞれはM8.5とか、M8 クラスの地震を予測しながら地震動をつくっていたわけです。ところが今回のように、それらの複数の領域が同時に動くという想定ではなかった。ただ、そうした想定をしていなかったにもかかわらず最終的に想定を若干上回ったのは女川と福島第一だけでした。逆に、福島第二や東海、東通というのは、かなりSsを大きく見積もっているということで、それぞれのプレート境界地震の予測としては、そう悪くはなかったのではないかなというふうには思っています。

7. 強震動予測の方法と不確実性

強震動予測の方法は、強震動予測レシピという形でまとめられて、そういうものに従って、基準地震動Ssはつくられているわけです。たとえば、震源断層がどうなのかとか、アスペリティはどこか、そこではどの程度の応力降下があり、どれだけの地震波を出すかという、パラメータ、そういうものを震源パラメータといいます。破壊に関してもどこから破壊するか、またどのように広がるかということと、その破壊速度はどの程度かということ、そういうパラメータも含めて地震動が計算されるわけです。実際の震度分布からすべり分布が得られるわけですけど、そこからアスペリティを抽出して非常にシンプルなモデルをつくります。これを特性化震源モデルと呼びます。実際はもっと複雑な壊れ方をするわけですけど、それを少し単純化したモデルで計算をしているのが現状です。

パラメータには当然不確実性があり、ばらつきもあります。今は、こういうパラメータを、将来の地震に対して理論的に求める、物理的に求めることは非常に難しいということで、過去の地震の経験をもとに、スケーリング則と呼ばれるパラメータ間の関係式を使っています。たとえば、全体の面積と地震モーメントとの関係、アスペリティの全面積と地震モーメントとの関係や全体の面積の中でどれくらい強震動生成域（アスペリティ）の面積があるか（アスペリティの面積比）というデータも使っています。その面積比は内陸地殻内地震では大体2割ぐらい、プレート境界地震では少し大きくて2割5分ぐらいらしいと言われています。こういうスケーリング則を使いながら特性化震源モデルを構築する。そういう意味では、スケーリング則のばらつきを、今後は積極的に考えながら、基準地震動のばらつきも考えていかなければいけないということもあります。

もう一つ大事なことは短周期レベルです。ある地震の規模に対して、原子力発電所に影響するような短周期の地震波をどの程度出すかということも、過去のいろんな地震からスケーリングをされています。（短周期レベルと地震モーメントの関係で）平均値がこれで、多くの地震がある範囲の中に入っていますけども、結構ばらついている。こういうものが、当然、最終的に評価した基準地震動に影響しますので、こういうばらつきをどうするかということが大事なんです。新潟県中越沖地震では、この平均値よりも1.5倍ぐらい大きかったということで、今、短周期レベルを1.5倍ぐらい大きく想定して基準地震動を策定しています。実際に、このばらつきをどう見るかですが、1.5でいいのか、もっと大きく2倍を見なきゃいけないのかという議論もあります。こういうばらつきをもう少し考えていかないといけない。

短周期レベルに関しては、プレート境界地震とか、スラブ内地震によっても、少し違います。内陸の活断層による地震の場合は、こういう関係でいいのですが、スラブ内地震（プレートの中で起こる地震）では非常に高いということで、そういうものは我々も経験的にわかっていますので、それぞれの検討用地震のための地震動を予測しています。

8. 地震動評価の不確かさの考慮について

不確かさについて、我々が地震動を予測するときに考慮していることをご紹介します。まず、震源像を定めるためには、震源の断層面の長さであるとか、幅であるとか、強震動生成域がいくつぐらい、どこにできるのか、どれぐらい大きなものなのか、その応力降下量はどれぐらいなのかとかに不確かさがあります。地震が起こる領域は地震発生層といわれています。厚さは場所によって違いますけども、上端は2kmから3kmぐらい、下端は20kmぐらいと言われています。ここで応力降下が起こって揺れを出すわけですけども、当然この深さも影響しますし、断層面の傾きでありますとか、いろんな不確かさが当然あります。これは、活断層調査から、そういうものが確定論的にちゃんと得られていれば、そういうものを使うでしょうけど、やはり、実際は数キロから十数キロの深いところの問題ですから、その辺をどう評価に取り入れるかという問題になります。調査から得られるかということも、一つの大きな不確かさとして残ると思います。

9. 震源を特定せず策定する地震動の問題

「震源を特定せず策定する地震動」も今、議論になっています。昔は、先ほども言いましたように、“特定せず”というのは、要するに断層が存在しない場合でも最低の地震動を予測しておこうと言うもので、昔の耐震指針では、M6.5 という規模の地震をサイトの直下に想定しながら、その揺れを求めています。しかし、地震の規模と、その結果として断層が出るか出ないかという、その境目がなかなか難しいということで、2006 年の改訂耐震指針では、地震の規模ではなくて、震源近傍の地震動の観測記録を集め、その結果を“特定せず”としての最低レベルの地震動としようということになりました。どんな記録かというのは、実際起こった地震で、震源と活断層を関連づけることが困難な、過去に起きた地震、しかも震源近傍で得られた記録です。だから、非常に限定される。ですから、そういう記録を集めて、そこから評価された地震動レベルを使って評価をしましょうというふうに 2006 年に変わりました。新規制基準も同じですけども、2006 年以後、沢山の新たな記録も蓄積されているということで、その新見も新規制基準では考慮するように規定されています。

2006 年のときには、該当する記録はほとんどがアメリカの記録でした。震源近傍という拘束条件から、なかなか日本ではそういうデータがなく、日本の記録としては鹿児島県北西部地震だけでした。該当するいろんなデータを集めて（ただし距離も規模も違います）地震動レベルをプロットし、それを包絡する地震動レベル（加藤スペクトルと呼ばれる）を「震源を特定せず策定する地震動」として使ってきたわけです。これが、大体 450 ガルぐらいでした。これについては非常に過小評価であるなど、当時も議論があったわけですけど、その後、日本でも、K-NET や KiK-net などの地震観測網が整備されたことで、たくさん記録が得られるようになっていきます。特に、震源近傍の記録が得られるようになりました。

事前にはそこに活断層があるということが（特定）できなかった可能性があるということで、岩手・宮城内陸地震や鳥取県西部地震、こういうものも少し考えましょうという中で、今、一番問題になっているのは留萌の地震です。マグニチュード 5.7、モーメントマグニチュードで 6.1 ぐらいなんですけども、そういう地震が起こって、そこで非常に大きな（揺れの）記録が取れたということです。1120 ガルという揺れでした。地表面ですから、そんなに固いところではないんですけども、こういう記録が取れたということで、この地震も、事前にはここに断層があるといえなかった、規模が非常に小さくこの規模の地震はどこでも起こりえるということで、これは、当然“特定せず策定する地震動”の中に入れなきゃいけないとなって、今、一生懸命やっているわけです。ただ、こういう地震のデータが採れたとしても、その場所での詳細な地盤の情報がなかなかないんですね。記録が取れたとしても、それがどういう場所で取れたのか、原発で言う、解放基盤相当の地盤で取れたのかどうかということは、なかなか容易にわかりません。したがって、ここでは、電力中央研究所と防災科学技術研究所が共同でボーリング（300m ぐらい）を掘って、地盤のかたさ等を調べています。そうすると、40m ぐらいのところで、それより浅い部分の地盤の影響を剥ぎ取ると、得られた応答スペクトルを“特定せず”の地震動として適用でき、今までの“特定せず”の地震動が過小評価であったということになります。

今後はこういうものを使うべきという話になるんですけども、現実的にはサイトごとの解放基盤面の硬さに応じた評価が必要だと思います。この“特定せず”は、少し私自身の問題意識として注目しています。これから観測網も整備されれば、たくさん震源近郊でのデータが得られる可能性も増え、

一方で日本では硬いところの観測点が非常に少ないということで、留萌もそうですけども、そういう場所での観測記録を原発という解放基盤の基準地震動に持ってくるためには、当然地盤構造のデータも必要ですし、それを分析する時間もいりますし、いろんな制約条件があります。地盤構造の調査がすぐにできない場所で大きな揺れの記録が取れたときに、それをどう分析していくのかというところが、非常に問題だろうと思っています。規模の評価から記録の評価に変えたということは、非常に斬新であって、非常にスマートに見えたわけですけど、だんだんとデータが増えてくると、そのデータの分析をいかにするか、地盤の構造を含めてそういうのをどう調査をして、それをどう基準地震動に持っていくかという、そのハードルが非常に高くなったんじゃないか。地震が起こるたびに、この基準地震動を変えていく必要はあるんじゃないかなというようなこともあって、“特定せず”の地震動評価のあり方の見直しも必要ではないかと思います。

我々は、こういう断層ありきで、そこでパラメータをもとに、震源断層を考慮して強震動のモデル化をするわけですけど、非常に短い断層であったり、活動性の低い断層であったり、現在話題になっている東通での破碎帯がもし断層だとすると、どのようにモデル化し、地震動を予測したらいいのか。活断層の情報から、いかに震源断層の姿にもっていくかという、その辺をあとでいろいろ教えていただきたいと思っています。

土屋：はい。ありがとうございます。たくさん不確実性もあるし、データが得られて情報が増えた反面、問題もあるということで、不確実性が減ればうまくいくかということ、そうでもないというお話をいただきました。

それでは、頭の中が飽和状態になってるかもしれませんが、引き続き、一番ホットな断層認定のお話をさせていただければと思います。よろしくお願いいたします。

話題提供 2：断層認定の方法とその不確実性

P2：今、土屋さんがホットな話題とおっしゃっていたような、活断層があるのかないのか、これは活断層なのかどうか、という断層認定の話を主にします。さっき期待されたような、不連続な断層、短い断層をどう評価するかという話は、またあとの議論となってくると思います。

1. 活断層とは

活断層の定義は、最近数 10 万年～200 万年の間に繰り返し動いているということが学術的な定義になっています。原子力に関する定義では、これが 12、3 万年前ということです。活断層の定義のこの根拠は、この新たな層が繰り返し動いたということだけです。ですから、将来も活動を繰り返すということは、これは単なる推測、あるいは帰納的な憶測であって証明されたことではありません。このようなものを活断層としています。

それをどう認定するかというのは、地震のときに何が起こるかを考えるのが一番いいわけです。例えば、台湾の地震（1999 年集集地震）では、陸上トラックの左側の地面が 2m 上がって 5m ぐらい前

にきています。それが繰り返されると、これは伊那谷断層帯ですが、川がつくった扇状地を横切って、断層のつくった食い違いができます。さっきの台湾の食い違いは 2m でしたけど、これは 100m。さらにそれが繰り返されると、大体 100 万年で 1000m ぐらいの山ができる。地震が数十回起きている。ですから、例えば山を見て、その山のふもとに、繰り返し地盤が食い違っているのを見たら、これは活断層です。

トルコの 1999 年の Kocaeli 地震では、線路が約 3m ずれました。そのようなものが地形にあるかな、と思ってみると、例えば、姫路の北の山崎断層では、すべての川がこの線上で左に曲がっています。これを見ると、ここで繰り返しトルコで起きたような出来事が起きていることがわかります。川が曲がっているから、ここに繰り返し地震が起きているところまではわかる。過去 100 万年間ぐらい繰り返し動いてきたのだから、また一定の期間を置いて動く可能性が高いので、これを活断層とする、ということを、我々は言っているわけです。

活断層が動くとき、例えばトルコの例にしても、台湾の例にしても、マグニチュード 7 以上の大きな地震が起きます。こういった地震が起きる地殻は、大体、上部地殻の地震発生層、地表から 15 から 20 km ぐらいのところ。それが全部割れて、明瞭な食い違いがあれば誰にもわかるし、見誤りはしない。ところが、M7 以下だと、地下の食い違いだけでまかなえてしまうので、地表に出なかったり、出たとしても不鮮明になる。10 年後にみても痕跡が分からない。1000 年後はもちろん分からない。だから、こういう不鮮明なものをどうするかというのが認定上の最大の問題で、その認定が人によって非常に違ってきます。

2. 断層認定の問題

どういう問題が起きるかといいますと、そういう不鮮明なものを見ると、客観的に証明ができるものだけを活断層と呼ぶ人もいますが、実際は、変動地形屋さんと呼ばれる人の多くは、主観と信念で断層を書いています。その結果、実態のない断層が非常に多く存在することになります。なぜかという、明瞭で活発な断層は、大体、過去 50 年間で全部記載されつくして、誰が見ても、これが断層である、動く可能性がある、と合意できるものは、新しく発見されることはほとんどありません。では、発見したい人が何をしているかというと、原子炉の下に断層を発見しているのが、今の状況です。

主観と信念にもとづいて、不鮮明で不確実な断層を記載する以外に仕事がないんです。50 年前と同じ夢を追っている人が未だにいて、そういう人たちが断層を書いている。そういう不鮮明、不確実なもので、さっき言ったように、10 年前のかすり傷ですから、どんな調査をしても確認できません。確認ができないので、やっぱり主観と信念で、この地形は断層だと言う。しかもその人たちは、断層があるということだけを言えればいいという人たちです。

1981 年に出版した有名な『日本の活断層』ですが、これが活断層の黄金時代とすると、その後、だんだん青銅時代になって、もう新しい断層を見つけて何か確実なことを言える機会が非常になくなってきました。ところが、変動地形学者というのは、ここでもわかるように活断層図ばかり出し続けているんです。空中写真を見て、「ここが断層に違いない。このような専門的な判断は、我々のように専門家しかできない」と平気で言っています。ですが、私にすれば、空中写真において、ある可能

性が認められたら、野外に行ったり、あるいはさまざまな探査、調査をして存在することを証明したりすることが認定であり、活断層の実質的な研究であるはずですが、この人たちは、写真を見て線を引く。私はこれを引き逃げと呼んでいます。本来、なぜ我々が活断層の調査をするかというと、そこからどんな地震が起きるかを合理的に予想するために、評価をするためにするのですが、大体 2000 年になってから一切評価が何もありません。産業技術総合研究所はちょっと立場が違いますが。発見なき時代に何をするかと言いますと、繰り返しになりますが、原子炉の下に断層を引く、ということが行われています。

3. 科学的判断ということ

例えば、これは私が北海道で調査をしたものです。ここに川があって、段丘といいますけれども、川沿いにだんだん低くなる階段状の地形があります。現場に行ってみると、高いところは古く、昔できたので、昔の古い火山灰でできています。若いほうに行くとだんだん新しい火山灰しか掘れなくなり、これは時代を異にする河原だということがわかります。ところが、ある研究者は、この段丘の段々を全部断層だというふうに言い張るわけですね。それは違うんですよ、違うと立証できていますよ、と言っても、もう信念に反証は出せないのもこれで通ってしまいます。

こういう不毛な議論を私はもう 15 年以上やって、もう辟易しています。結局、写真を見て主観的な判断、でとまってしまう。そういう大変弱い科学ですね。私は、断層認定に関わる学問は地震災害に関して、非常に重要な科学だと思うのですが、そういう科学的に弱い側面を持っている。その一つは、地理学者といって、地球の中身を見られない人たちです。見られないことがむしろ、誇りだと思っているのですね。見えたらわからなくなる。そういった人たちが活断層をネタにしていますが、これは、学問としての弱さを利用しているのですね。弱さを利用して自分のやりたいことをやるのは、これは社会害悪ですね。

そういうことで、「無いことの証明を求められる」が、無いことの証明はできない。あるいは、「間違い・憶測・想像」が、多くの原子力の破砕帯の調査で、「否定できない可能性」という言葉にすりかえられて、活断層があるとされる。私自身のバイアスを除いて話しても、現実として、学問として、あるいは技術として、弱いことは違いないと思うのです。そして、その弱さを知らない人たちがいろいろと主張をしていることがあります。

4. 破砕帯問題

一方、現在、原子力規制委員会の有識者たちが調査している原子力施設の敷地内のものは、断層ではなくて破砕帯です。破砕帯が変位を起こすかどうかというのが、本来の話なのですが、これが活断層問題にすりかえられています。

破砕帯というものは、岩の中にある不連続面です。主に断層の場合ですが、それに伴って岩が割れたり、すりつぶされたりしたものを意味します。日本は、過去 10 億年ぐらいずっと断層運動が起きていましたから、ほとんどの岩盤にはこういう破砕帯が存在します。破砕帯を避けてものをつくるのは、ほとんど不可能な場合もあります。

これは、インドのヒマラヤで、たぶん 500 年前に地震が起きたときの活断層、地表の断層です。泥と泥の間に不連続面があって、左側がユーラシア、右側がインドで、この線に沿ってのし上がっている、カミソリで切ったような線が見えます。岩がすりつぶされたり、壊されたりしておらず、ゆるやかに流れています。これが活断層です。これは、敦賀湾の K 断層といわれる、かなり活断層に近い地表でできたものですが、きれいな切れ目が入っていて、周りの岩は壊れていない。

一方、これは破砕帯の最も典型的な例ですが、インドヒマラヤの、主衝上断層 (Main Boundary Thrust)) といって、ユーラシアとヒマラヤが、数千万年前からぶつかっている境界です。ご覧のように、こっち側は硬い岩でできていますが、この間の部分はもう完全に岩がすりつぶされていたり、細長い、何回も揉んだパイ生地のパイ生地のようになっていたりします。これが破砕帯です。こういったものは地下数 km あるいはインドの場合数十 km ぐらいでできます。

これが敦賀 D1 と呼んでいる 2 号炉の下にある破砕帯の例です。今問題になっているのは、これが将来地震とともに動くかどうか、ということです。この割れ目だけを見てそれが答えられるかという、答えはノーです。誰にも、そんなことは答えられません。唯一答えられる可能性があるのは、例えば、日本原電側は正断層という、引っ張って伸ばすような力でしか動いていないという記録を書いている。近くの浦底断層は、押し縮める断層であるが、ここに、押し縮めて動いた証拠は認められないので、これは最近動いてないというのが、唯一、原電が主張している内容です。それ以外で、ここには、一切証拠はなく、議論の材料がありません。ただ分かるのは、こういう割れ目に沿って、いくつも、ちょっと斜めに線が入っている。さらに、この部分がカタクレーサイト (破砕岩) ということになります。もう岩盤がほとんどこなごなになっています。角礫岩というのは、こういう割れ目に挟まれたところが小さな角ばった礫になっているものです。こういった、岩を砕いて、すりつぶすということは、深い地下でしかおそらく起こっていない。地表では起こらないので、これは、たぶん 5 km とか 10 km の地下で、地震発生層になった岩盤が、だんだん隆起していったことを示しています。特に、最近 100 万年ぐらいで、1 km か 2 km の地下で深い岩盤が出てきます。それは確かにあります。ですが、とにかく年代はわからないし、運動様式もほんのちょっとしかわからない。連続性もわからない。活断層である証拠はありませんが、さっきも言いましたように、可能性が否定できない、だから、危ないからやめましょうということになっています。近くの浦底断層から割れ目が来るんじゃないかということが理由になっています。

同じような話で、関西電力の大飯発電所の問題です。この辺に重要な水路があって、もう少し先に炉があります。「活断層がある」と言う主張があったので、それが無いことを証明するために、関西電力が深さ 40m の穴を掘りました。25 万年前の火山灰や破砕帯から動いた形跡がないから、最終的に、ここには活断層は無い、ということになりました。しかし、このトレンチだけで、20 億円かかったことになります。建設時の地層スケッチ図を見て、ある研究者が、「これは活断層だ、危ない」と解釈した。見る人が見たら、これは、もともとあった破砕帯を削って川が流れたときに、たまたまこの面が出て砂利がかぶったという説明で十分です。これを活断層だと認定する信念を持った人がいると、その信念のもとに、数十億、お金を無駄に使わなくてはいけないことが起こっています。

5. なぜ断層の見直しが行われているのか

今問題になっているのは、こういう古い破碎帯が、実際に食い違いを起こすのかどうかという変位問題です。敦賀の2号炉に、浦底断層という、過去1万年間に、2、3回動いたという、間違いのない確実な断層があります。敦賀の岩盤というのは、もう破碎帯のネットワークの形で、至るところが割れています。岩盤がどのくらいしっかりしているかも調べられており、やや弱い所もあるけれども、原子炉を支えるのに問題はない岩盤もあると、こういう検討はされていたわけです。

ところが、2010年、さらに言うと、2011年の東北の地震の後、こういった破碎帯が、また地震を起こして動くのではないかと言われています。その根拠の一つとしては、東北の地震で、日本列島は大きく引き伸ばされた。さらに、もう一つの根拠が、4月11日、3.11のひと月後に、福島県浜通りで地震が起きて、地表に数10cmから2mぐらいの食い違いが出てきた。見事な断層が出たわけです。それは、東北のマグニチュード9が起きた結果、従来では起こらない、動けない断層が動いたのではないかということが、まことしやかに言われた。実は、よく調べてみると、これは、繰り返し動いている断層が同じ動きをしたものであり、何も東北の地震のために、天変地異が起きているということではありません。たまたま、引っ張る時間に、タイミングが合って動いたというだけのものです。どうも、先ほどの原子炉の下にあるような古い断層のように、そういうものが動くような天変地異、大地動乱の時代が来るのではないかと、多くの人が信じたわけですね。それは違うと言っているのですが、僕は、これは東北の震災後の心理的状态だと思っています。このような内容がプリンティングされてしまい、頭から出ていけない人がたくさんいます。

敦賀に関して言いますと、浦底断層というのは、実は、2004年には、日本原電は無いと言っていました。原子力安全・保安院も、「無いと認めていいであろう」と言っていました。ところが、2006年の新基準と、それから柏崎などのバックチェックで、初めて認められました。だから、電力会社が隠していた、うそつきだという、典型的な例だと思います。仮にそれが隠されていようが、うそをついていようが、一応、2007年からバックチェックで、従来の指標による地震動の確認を完了しております。

さらに、浦底断層が活動したらどういいう変位が起きるかという検証を、従来の指標から始めていました。例えば、食い違い弾性論モデルを利用し、断層を食い違わせて、変位、つまりどのくらい地面が傾いたり、力が加わったりするのかをみました。これを見てわかりますように、一番大きな、変形が起きるのは、断層の端が施設の真横にあるとき、ということになります。だから、断層の端の位置を変えていって、施設の一番傍で断層を止めて、どういいう変位があるかを求めた結果がこれです。ほとんど、傾斜、変位量をみても、施設に影響はないということになります。

あるいは、せん断ひずみにしても、岩盤に、新たな破壊をもたらすものではないという結果が、2010年の10月には検討されていました。これに、まだまだ改良して、色々な知見を入れていけないと言っているところで、東北の地震が起きてしまい、それっきりになってしまっています。二次元有限要素法でやってみますと、浦底断層は、これが地震を起こす活動ですからここで動く。そうすると、ひずみの集中が起きてくるけれど、施設のところまでは、大きなひずみの集中は起きないであろう、となります。

最近、こういう計算は無意味で現実を表していないと言われているのですが、これが現実を表している例があります。今年、敦賀の調査をやりましたら、ここにK断層というのが出てきました。まさ

に、この位置です。こういう断層の一つは、浦底断層の動きによって、実際に動いている。まさに、これは、K断層の存在を見せてくれたものだと、僕は解釈をしています。だから、ある意味、実証されたモデルかもしれません。

問題は、例えば、浦底断層で2mなり、3m動いて、離れたところでも同じように、2mも、3mも動くのかということ、それはおそらく、我々の知っている岩盤の性質や、こういったモデルで否定できません。活断層であるかどうかを認定することと、動いた場合にどれだけ動くのかというのは、全く別な話になります。しかし今、敦賀では、離れていても同じように3m動く、というような話になってしまっているのが困っています。少し雑駁になりましたが、ひととおり、お伝えしました。

土屋：はい。ありがとうございます。少し皆さんも、頭を整理する時間が必要だと思いますし、短くて申しわけないんですが、20分まで休憩してから、議論をしていただこうと思います。

専門家間の議論

土屋：それでは、引き続き、議論をしていきたいと思うんですけども、最初は、地震の揺れの問題を議論してみたいと思います。

皆さんのお手元に配布してありますが、地震動に関して原子力施設の問題で議論になっているものとしては、たとえば、連動するののかどうかという、最近では3連動を検討しなさいというような話があります。先ほど、基本的には、平均的な、地震の規模と揺れの関係という、スケーリング則で評価しているということがありましたが、ばらつきはどう考慮するのか。あとは、断層の近くの問題が論点になってくると思います。ほかにも論点があると思いますが、少し揺れの話をしていただければと思うんですが、いかがでしょうか。

地震動評価と活断層情報のつながり

P1：先ほど、少し端折ったんですけど、これからの議論の中では、非常に大事な話なので、もう一度、繰り返しもふくめて申し上げます。

私も、これまでいろいろな審査に関わったんですけど、我々のように、震源が分かって、そこから出てくる地震動を予測する場合には、いくつかの情報が当然いるわけです。

たとえば、内陸地殻内地震をターゲットにすると、どれぐらいの領域から地震が起こるのかが重要になります。地震は、地震発生層という、ある硬さの中で起きるわけです。上層にいくと、少し軟らかくなっているので、硬度度が下がるということで、そこで食い違いが起こっても、あまり地震波は出しません。強い地震波を出すのは地震発生層の中、地殻の中の、大体2~3kmから、十数kmいう中で議論しているわけです。

そのときに、先ほど言いましたけども、断層の長さから規模を決めます。非常に長い断層の場合には、その下が震源断層だろうということで扱っています。断層が短いときにはどうするのか。今は短い断層であるけども、その下には、しっかりとした震源断層があって残っているわけです。

そうすると、最大、この四角の中で破壊がすべて終わっているだけです。こういうものが、最低、この断層があるところの震源断層と考えます。それ以外は、地震発生層の中で収まってしまっていることで、規模の小さい地震となります。ただ、この辺の、オーバーラップする状況ですね。たとえば、地震の規模という意味では、非常にあいまいな場所だと思うんです。ですから、我々は、断層の情報から、いかに震源断層に持っていくかというところで、非常に考えるわけですね。そのときに、やはり断層の端点が問題になります。断層調査をすると、どこにその端点があるのか、これが伸びるとどうなるかという議論が、宍道断層にしり、いろんな断層のところで、断層の端点について、いろんな議論がありました。最近では、連動という形でより長いものを扱う流れになっているわけです。

議論というのは当時もあったわけですけど、5 km というルール（断層間の距離が 5 km 以下なら連動すると想定するというもの）はありましたが、あまり連動というのは大きな議論はなかったわけです。それよりも端点をどうするかということです。基準地震動を決めるためには、当然、最低長さの情報が必要ですが、ある領域からエネルギーを出すということで、長さよりは面積が重要です。第二に大事なのが不均質性です。強震動生成域がどれぐらいの大きさで、どこにできるのかということです。その場所に関しては、今のところ、残念ながら不確かさがあります。本来は、活断層情報から、すべりの大きい場所がわかったら、それは繰り返すということで、そのすべりの大きいところの下にアスペリティを置くということが、非常に物理的な話としてはよろしいと思うんですけど、なかなか地表の変位から、そういう場所を今の時点で決めるのは難しいということで、その場所についてはサイトへの影響がもっとも厳しい場所を考えるということで対応しています。

三番目は、ばらつきです。これは、先ほど言いましたように、データの規模とデータの領域に関して、かなりばらついている。倍半分のばらつきで、非常にばらつきます。ただ、全体の規模と全体の領域というのは、強震動にそんなに大きな影響を及ぼさないですけど、サイトとアスペリティの場所と大きさがどうか影響を与えます。

四つ目は短周期レベル。規模としては同じなんだけれども、強く短周期を、出すか、出さないかで異なります。これは、内陸型地震でもばらつきます。先ほど言いましたけれども、プレート境界の地震でも、宮城沖地震のような非常に短周期を出すという地震もありますし、スラブの中、プレートの中で起こる地震は、もっと出すということです。最近のデータでは、かなりこういう一般の内陸地殻内地震に比べれば倍半分ですから、より大きな高周波を出すという、そういうスケーリング則を使っていますが、その中でも、まだばらつきます。今は、そういうばらつきを考慮せずに、平均的なもので、内陸地殻内地震とスラブ内地震、プレート境界地震は少し大きいという形で使いながら、特性化震源モデルをつくっているわけです。

短周期レベルは非常に大事です。中越沖地震のときに、平均値よりも大きな、1.5 倍ぐらい大きくなりました。バックチェックときにも短周期レベルを、兵庫県南部地震よりも少し大きくということで、やられていたわけです。やはり、もう少し、すべりのばらつきを考えながら、経験的ですけども考えていく必要があるというのは、先ほど申し上げたところです。

あとは、断層の調査からいくと傾斜ですね。断層が傾斜するとサイトに近くなるということで、ほとんど距離がきくということです。地震波は、当然距離とともに減衰するわけですので、当然、震源断層からの距離が近いということは、強い波がくるということで、これも大事。

この断層の上端の深さは、断層調査とは別の地球物理学的な調査だと思うんですけど、物理的に、浅いところで本当にそういう応力降下があって、それが波を出すのかどうか。それによつては断層の上端の深さを浅くするということは、距離が近くなりますから、より強い波になるということで、特に震源に近いところでは、非常に大きく効くということです。距離が半分になれば倍になるということですから、アメリカでは非常に重要だとされています。

ですから今は、こういう傾斜角にしろ、上端下端にしろ、長さにしろ、面積にしろ、こういうところを、より安全側にするということで、不確かさを考慮しながらモデル化をしていくというのが現状です。

ただ、そういうものを活断層情報から、何とかもう少し拘束できるのか、その可能性があるのか。それはもう無理なのか、ということ、少し教えていただきたい。

それと連動の問題ですね。今、大飯にしても、海域の断層と陸域の断層が小浜をはさんであるわけですが、地質学的には連動しないという情報もありますけども、規制委員会の中では形を見て、これは連動させるべきだと言うような議論もあります。いろんな意味で、連動問題は、北海道から九州まで、あちらこちらで出てきています。そういうものをどう考えているか。ただ、地震動から言いますと、連動しても、地震動そのものはあんまり大きくなりません。断層が5km、10km伸びたからって、地震動が倍、3倍ってなるわけではなくて、そこは少し、一般の方にもたぶんうまく伝わってないと思うんです。ですから、断層の長さを長くしろ長くしろって話になるんですけども、実際、地震動として効くのはリニアに効きませんので、10kmが、15kmになったからといって、地震動は1.5倍になりません。そういうところも踏まえて、本当は地震動予測しなきゃいけないんですけども、その前にやはり、そういうモデルは、活断層情報、活断層調査からどの程度確からしく、しかも、系統的にいけるのかっていうところを、少し教えていただきたい。

土屋：地震動評価をするためには、沢山情報が必要なので、その部分を断層のほうからどこまで言えますかという、一番大きなご質問ですね。

P2：要は、地震発生層で活断層がどうなっているかを知りたいとおっしゃるわけですが、そんなものは分かるわけがない。なぜかと言うと、特に西日本だと、地震発生層は（地下）1~2kmで花崗岩になっています。どんな手法をもっても、花崗岩の中の断層を見ることはできない。

たとえば、柏崎の中越沖地震のときは、堆積層が7、8kmあるんで、ぼんやりとなんとなく海底の活断層から地震が実際起きた深さまで断層がつながりうるものが見えたと言われましたが、まあ、そういう場所であれば例外的に使えるかもしれない。日本で言うと、新潟県信越地域と、北海道の一番北のほうとか、堆積層が10kmあるような場所でなら可能でしょうが、それ以外ではほとんどもう、わかりようがないと思います。ですから、浅いところで見えている活断層、あとは、もし地震活動があるなら、微小地震を手がかりにその場所を求めていくぐらいしかすることがないですから、なかなかその答えがはっきりしない。

連動の問題は、これもバックチェックのときから結構やっていて、かなり前広にどんどんつなげろというのは昔からよく言われていて、3.11の後、さらにもっとつなげろ、もっとつなげろと言っていますが、これも結局連動するかしらないかを演繹的に証明してみろといっても、決して証明できるものではないんです。結局、その不確かさを考えるということで、連動した場合どうなるか、考えてみましょう、という方法しかないと思いますね。

連動が流行っているのはカリフォルニアも同じで、サンフランシスコからロサンジェルスまで一気に割れるんじゃないかっていうような話も出ていて、この傾向は止まらないと思うけれど、おっしゃったように、連動してトータルの断層長が長くなったから、地震が強くなるわけではない。

もう一つ、スケーリングかカスケードかという問題があります。スケーリングというのは、たとえば、長さが10倍になると地震動は3、4倍になるというふうに、断層の長さを伸ばしていくと、どんどんマグニチュードが大きくなる。どんどんマグニチュードが大きくなって、地震による1回の食い違いも大きくなるというのが、スケーリングなんですけれども、ただそれをやっていくと、巨大な地震ほど地殻の奥まで破壊するという地震の理解と繰り返しモデルを合わせると、1回の地震がとてつもなく大きくなる。つまり、断層を長くすればするほど、地震の発生回数を減らさなきゃいけないことになります。ところが、実際に起きている地震を見るとそんなことはなくて、たとえば、北アナトリア断層が、200 km割れても、1000 km割れても同じ場所で観測すると、二、三百年に1回地震が起きている。1000 kmまで地震が起きているときは、地殻内のずれが3倍になるから、地震の発生間隔が3倍になるとかそういうことはありません。この現象を説明するためには、長大な断層というのは、いくつもの、それぞれ固有の性質をもった断層に別れていて、その組み合わせで地震が起きている、という考えに立てば、その連動している長大断層が動いても、それぞれの部分の割れ方は同じなので強くない。ただ、いくつもの部分が一緒に割れたときには地震波が次々にやってきますから、それが重なり合ったらどうなるかということを、モデルで考えなくっちゃいけないということになっています。

E1: ちょっとだけ補足します。今回の地震と過去の宮城県沖地震の揺れの比較でおっしゃられた点ですが、マグニチュード9と7の地震のエネルギーはものすごく、全然違うんですけど、最大加速度を見ていただくと、251ガルと318ガルの違いしかない。これは近地でみたときの加速度の典型的な例だと思うんです。気をつけていただきたいのは、非常に長周期の波、これに関しては、もう巨大になればなる程、振幅がどんどんでかくなっていくんですね。その話と、こういう近地での加速度の振幅の話って、確におっしゃる通り、ごっちゃにされているところがあって、近地ではある程度振幅は飽和してしまって、その代わり継続時間がすごく長くなっていますよね。それによる影響をちゃんと評価していれば、そう問題になることはないだろうと思います。いわゆる応答スペクトルって、そういう継続時間を含めて全部評価していますよね。ですので、正しく評価されているわけなので、それに関して心配することはないかと思います。

先ほどおっしゃったカスケードモデルとスケーリングモデルっていうのは、簡単に言うと、断層の長さが2倍になった場合、モーメントが2倍になるのがカスケードモデルで、この場合はマグニチュードは0.2変わるだけです。この時の仮定は断層の長さ変っても、断層の幅もすべり量は変わらないということです。一方、スケーリング則では断層の幅もすべり量も断層の長さに比例する

ので、モーメントは断層の長さの3乗で効いてきますので、マグニチュードの変化はその0.3倍の0.6になります。つまり、M8.0の地震を起こす断層の長さが2倍になったときM8.6になるっていうがスケーリング則で、M8.2になるのがカスケードモデルです。

そののどっちをとるかという、これがまだ議論があります。でも、おそらく非常に大きな地震は、たぶんカスケード的であろうというふうに我々も考えています。ただ若干、多少勘違いしていたのが、プレート境界地震の場合でもマグニチュード8ぐらいで、すべり量も断層の幅も飽和するだろうと思っていたんですけども、実はマグニチュード9でも、まだ飽和していないということがわかってきて、プレート境界に関しては、どの辺で飽和するのか、どの辺でカスケード的になるのかについて、まだ議論あるのだと思います。

土屋：もう一つ、断層調査をされたときに、はっきりどこからどこまでというようなことは、なかなか難しいわけですね。

P2：それは難しいですね。特に、孤立した短い断層、たとえば、1kmの断層が、この地震発生層全体ということは考えにくいことです。大体、この図にあるように、縦横にも一対一、やや横が長いというのが普通に起こりそうなんです。たまたま、細長い縦につながる地震もあるんですけど。実際には、やっぱり、こういう縦横が一対一か、全部割れたときはそれより大きい所が動く。だから1kmの短い断層の下にあったときも、もしそこで繰り返し地震が起きている、その度にずれている部分があれば、やっぱり、それなりの規模のものを考えたほうがいいということがあります。あとは、そういう、地下のほうがおそらく地表の断層よりは長いだろうということは皆考えているみたいですが、それをどうやって定量的に扱うかというのはわからないので、多くの場合、不確かさとして扱うということになるわけです。短い断層のときは、とにかく地震発生層と同じ長さのものを考えていくほうがいいのではないかな。それ以下のものは、震源を特定できない地震に落とし込む。

土屋：地震動評価では、どういうふうに震源断層の長さとか、傾きとかを推定されるんですか。

P1：これは先ほど申し上げましたが、震源断層という意味では、地球物理学的にも、活断層調査的にも、なかなか傾斜角っていうのは見えない。特に、横ずれの場合は特に見えないですね。逆断層の場合は見える可能性もあると思います。

ただ、だからって、10km、15kmという世界ではないわけです。今は、地震調査研究推進本部もそうですけど、逆断層の場合は、当然、傾きを考える。横ずれの場合は90度。その中でも、やはり不確かさということで、純粋な横ずれでも、少しサイトのほうに傾けて、たとえば、80度の傾きを設定します。60度、50度じゃなくて、80度にする。それも特に、何か根拠があるわけではありませんが、そういう安全サイドにやりながら、傾斜角度で、ものをつくっています。

断層のアスペリティの位置というのも、本当はどこにできるかっていうのは、活断層情報から得られれば、そういうところに多くというのを考えるべきだと思うんですけど。なかなか確定論的には難しいということなので、今は、どのサイトも敷地に一番近いところにおいてというようなことで、一番強い波が出る場所をサイトの近くに置いて評価しています。

もう一つ大事なのは破壊開始点ですね。たとえば、破壊開始点というのは、神戸のときもそうですけど、明石海峡から始まって神戸のほうに落斜が進んだということで、非常にパルス的な波が出て、しかも1秒ぐらいの波が出たということで、被害を起こしたというふうに言われています。周

期帯、加速度もあり、速度もありということで、神戸のときには、1秒という周期の波が、ものを壊す破壊力があつた。そのパルス波はなんでできたのかというと、アスペリティの大きさと、破壊が明石海峡から神戸のほうに走ったということでできたと言われています。

逆に、淡路側の被害も、たぶんその影響でしょう。なぜなら、淡路側であまりデータがなかったので、あまり詳しくは言えないんです。ただ、被害があつたのも、明石海峡から淡路側のほうにも走ったからで、バイラテラルで破壊が走ったということで、破壊の伝播の方向というのは非常に大事だということです。これは不確かさというよりも、複数、いろんな場合を想定しています。ですから、あるサイトでは Ss が沢山できている。何パターンもやられているということですね。その辺の不確かさは、考慮されています。

最後に、極近傍の問題ですね。我々は、地震発生層とそうじゃないところってということで、非常に地震波が出るところと出ないところで分けていますけれども、最近は浅いところ、特に極近傍のときには、当然距離が近くなるということで、そこから、もし応力降下があれば、波が出れば、当然強い波が出るわけです。そういうことを考えるべきだというような話もあります。

その元になっているのは、震源断層の不均質性です。強震動生成域も同様としてやっていますが、実際は不均質ですね。それが遠ければ、当然問題ないんでしょうけど、近い場合は、その中の不均質がかなり効くんじゃないかというんで、そういう2つの問題ですね。浅いところでも、少し応力降下があるんじゃないかということと、より、その不均質性が、近いところでは影響するんじゃないかということです。そういう意味の、特性化震源モデルそのものの、モデル化の良し悪し。そういうところも、今、議論されています。

ただ、なかなか、それを、物理的にもそうですし、観測事実として、今は示すことはできないということで、モデルとしては、ありえるかもしれませんが、それが妥当なのかどうかということろまでは、なかなか踏み込めないということです。議論は始まっていますけど、それを実務に使えるかということですね。いくら原発を安全にと言えども、そこをどう考えるのかっていうことが、非常に、今、問われていることです。まだ、それを実務には、なかなか反映できないんじゃないか。その辺を少し物理学的に、地震学的に、地震発生層よりも浅いところで、そういうところでの、応力降下、応力解放みたいなものを、やっぱり考えなきゃいけないのかという点についてはいかがでしょうか？

E1：たぶん、短周期の弾性波みたいなものは出さないだろうと思うんですね。むしろ、それよりは軟弱地盤の液状化とか、他の要因の方が被害に影響を与えたのではないのでしょうか。だから、短周期じゃないけれども、増幅はするっていうことを考える必要がありますね。

P1：そうですね。不均質性は、遠くで見ているといいけど、近くで見ると、アスペリティ（強震動生成域）の中でも非常に不均質である。そういうものが、距離の近い地震に対してモデル化ということろまでいかないと思うんだけど、そういうのは、私としては、全体としての短周期レベルということで抑えていけば、そこを少し安全側で抑えていけば、その中の不均質は包絡されてしまうんじゃないかなと気がする。そこまで、なんていうんでしょう、短周期のレベルじゃなくて、時系列ですね。共振するような波まで、実際、そこまでは考えなければいけないのか。構造物側として、どこまでも、高周波な波を制御するために予測しなきゃいけないのか。これはもう、前から

言っているように、地震の波だけじゃなくて、構造物側の、しかも機器の揺れている側の、そういうトータルで、たぶん考えていかないといけないと思うんです。ただ、地震学的には、そういうものっていうのはありえるのか。ありえると言え、ありえるのかもしれませんが、実務にどう扱っていけばよいのか。

構造物への影響

E1: いや、あの、短周期のほうの問題って、やっぱり、すごく難しくて。あと、そういうキラーパルス的なものを心配されているのか、あるいは、より継続時間が長い短周期のものが効くのかとか、その辺はどうなんですか。

P1: そうですね。受ける側の話ですよ。

E2: 機器にはやはり一番、振動数という点では高いところが問題なんです。20 ヘルツから 30 ヘルツぐらいが重要だとされています。建物の振動のフィルターを介してってということなんですけども、そのあたりが、機器系の主要振動数範囲です。

E1: そのときに、一発のキラーパルスが来るのが怖いのか、短周期の地震動が長時間続くのが怖いのか。

E2: 機器の設計は、たぶん最大応力ですから一発ですね。それでやっていますけれども、こういうふうに、何度も起こる、繰り返すようなものっていうのも重要で、考えなきゃいけないよねっていうようなことは、3.11 後から言われています。

地震発生メカニズムのなぞ

E1: いわゆるアスペリティの研究がちゃんと進んでくると、キラーパルス的なものがどこで発生するかっていうことが、もしかしたら予測できるようになるかもしれません。残念ながら、今のところ、短周期の励起がなぜ作られているのかということに関して、まだ十分な説明ができるほどにはなっていない。たとえば地震波のスペクトルは、高周波側で周波数の二乗に反比例して落ちてくる、いわゆる ω^{-2} モデルで説明できることが多いですが、地震学者が使っている ω^{-2} モデルでは、単純に地震波初動が不連続と言っているのに等しいのです。一方、地震工学の方々のモデルでは、初動ではなくて、波の後ろの部分で短周期が出ているんですよ。それも ω^{-2} モデルと言っている。僕らも ω^{-2} モデルというのを考えているんですけど、実は全然違うモデルをみている。僕らは、どっちかというと、決定論的な話をやっているし、地震工学の方々はどうしても統計論的な、断層内に不均質性を入れなくては行けなくて、そこに対して、パラメータをどう入れればいいのかっていうのが、正直なところ、よくわかっていないんです。先ほど言ったみたいに、データを一生懸命蓄積しているという、そういう状況なんですね。それに対して、何ができるのかっていうと、なかなか難しい。

あと、もう一つ、応力集中の問題があります。たとえば、何の傷も無い紙を引っ張っても簡単には破れないけど、少し切れ目を入れた紙を引っ張ると、その切れ目の先端から破れてしまいますよね。これが応力集中と呼ばれている現象です。工学の方々は機械の設計のときに、ものすごく神経を使っていらっしゃると思うんですけど、地震学的にも、こういう問題が起こるはずなんです。つまり、一度地震が起こった場所は「切れ目」に相当していて、その次は隣が一番壊れやすいはずで

す。実際、最大余震とかも、そういう所で起こるんですね。3.11の地震も、その、北側の端と南側の端で、次に大きな余震が起こるんじゃないかということを、僕はすごく恐れているんです。

一方で、活断層の中のどこかで地震が起こったとして、次は、その隣が壊れそうに思うのですが、実際はまた同じ場所で大きくすべったりする。これが、僕は未だに説明できてないんですね。そういう脆性的な性質の隣に、柔らかくて塑性変形してしまう場所があって、そこが全部吸収しちゃうんだろうという仮説はあります。でも、それは決着ついてないんですね。地震発生層の、地表から深いところまで全部断ち切るような地震であって、その下側に何か駆動力があれば、特定の場所だけ繰り返し壊すようなモデルがつくれます。いわゆる活断層で繰り返し発生する地震というのは、そういうメカニズムであり、深部から地表に突き抜けるくらいの巨大なスケールの破壊現象を見ているのだと理解すればある程度は説明できます。ただ、長さ方向でいつも同じ場所で止まる理由はまだ十分には説明できてないので、やはり完全ではない。

何が言いたかったかという、そういう状況があるので、柔らかい部分っていうのは、もしかしたら、そういう地震発生において破壊を停止させるバリアになるという意味で、非常にマクロに地震発生に関わっているかもしれないんですけど、地震動評価で心配されている短周期の問題に関しては、たぶん効かないだろうと思いますね。

土屋：大きな範囲では、ある程度説明ができる考え方もあるけれど、非常に小さな、あるサイトにどうという影響が及ぶかというのをやっていっちゃるとすると、そこについては、まだデータを集めている状況というふうにお考えでしょうか。

E1：そうですね。もう全くわからないという状況です。たとえば、M6の地震が起こったとします。そうすると、よくマスコミでは、未知の活断層が動いたって書かれるんだけど、地表にも出てこない地震で、活断層の定義が繰り返し地震を起こす断層とするならば、誰がそれを証明するんだという話です。そんな深いところで、繰り返し地震を起こすモデルをつくるのも大変なんですよ。どうやったら、そんなのができるか。いくつものアイデアあって、そのうち、どれだかわからない、ということじゃなくて、今のところ全くモデルがないんです、正直。そういうところが、非常に困っているっていう状況なんです。

P2：それは、相似地震の話ではない？

E1：プレート境界（地震）ならいいんです。プレート境界がずっとつながっているから。だけど、内陸（型地震）に関して、スラブ内とか、内陸の地震でもって、繰り返し起こすっていうのは、非常に難しい。プレート境界地震は、プレート境界が一枚面があって、ほかは非地震的にズルズルすべっていて、あるところは地震でパチパチ壊れると考えれば説明できるわけですよ。でも、内陸の活断層は、地震を起こすところ以外は、全部、ズルズル滑っているというのならわかるんだけど、そういう証拠はないわけです。

P2：まあ、そういう証拠もないよね（笑）。プレート境界は、きれいに説明できる。だけど、繰り返し。

E1：そうなんです。それがいつも混乱のもとで。

土屋：小さいのも繰り返し起きて、ある程度重なると、地形に影響の及ぼす場合もある。あと、もう一つは、小さいのだと、浸食によって消えてしまうんで、地形に残っていないというような感じなんじゃないかな。

P2：まあ、そうですね。ということは、そこでは、それよりも大きいものは起きていない。一方で、それより大きい地表まで、繰り返し動かすものがあると、やっぱり繰り返し動いているものがある。これは、やっぱり事実として、認めてもらわないとね。そういう意味では、どうして大陸の活断層が動くかを専門家は知らない？

E1：知らないです。それが今の地震科学の現状なんです。一つわかっているのは、こういう非常に巨大な断層があって、両側から押していったらば、その活断層スケールよりも小さい地震は起こるかもしれないけど、活断層スケールの地震を起こそうと思えば、大規模な弱面があるところが優先的にすべると考えるのが自然ですから、ある程度の地震、たとえば、先ほど言った M7 を十分超えるような地震に関しては、僕も活断層以外には起こらないだろうと思っています。一方、先ほど言った、震源を特定しにくい地震はもう、どこで起こってもいいということは、逆に言えると思います。

変位の予測可能性

土屋：ちょっと揺れの話から、変位の話にも、持っていきたいと思います。先ほど規制委員会で議論されている問題について、お話がありましたけれども、変位については、何かご質問とか、ありませんでしょうか。

E3：前回、建屋と設備の設計についてリスクの概念が重要であるとお話されました。土屋さんも、異なる分野を貫いたコミュニケーションをするときのキーワードとしてリスクが大事だと指摘されています。リスクは、確率と考えているイベントによって生じる損害や被害の大きさの掛け算で表現されますから、どの位の変位ということと、その変位が生じる確率の2つを議論すべきだと思います。活断層の認定ばかり議論していて、つまり、変位を生じる確率がゼロか否かのみを議論しているのは正しくないと思います。変位の大きさや、変位を生じる確率は議論できないのでしょうか？

P2：うん、あると思うから。東通でも、敦賀でも、こんなに動くと、根拠もなく言われている。

E3：変位の大きさを想定する際の根拠も大事ですよ。

P2：原子炉の近くで2mも動くとか、言っている。活断層の人たちは、たとえば、台湾のダムの下でずれた写真を見て、こんなに動くと主張するわけです。なぜそういうことを言わなきゃいけないのか。それに対して、ずれは予測できるんだって、いろんな人が言っています。アメリカの地震工学者も、予測できるずれは制御できるという考え方が主流になりつつあるよね。むしろ、規制委員会はそのような大きなずれを強調するだけで、実際には評価できていない。対応ができるということを認めたくないのだろう。そういうことを僕は感じています。いい答えになっているかどうか。おたずねになったのは、予測する方法があるのか、ないのかということですか？

E3：予測するとき、常に、このぐらいの大きさの変位が起きるということと、それが起きる確率はどれぐらいかというのをセットでいつも議論するべきじゃないかと思う。それがリスクの評価につながると思うのです。

P2：規制基準の1の1の1番が、それを考えてはいけないというか、考えないと、あったらおしまいという基準になっているから。

E3：それが問題ですね。

P2：それが間違っているっていうことは、みんなパブリックコメントで言っているんだけど、それは一切顧みられていない。そういうのが現状です。だから、あの規制基準をつくった人はそういうことが可能であることを考えたこともないし、認めたくもないんだと思います。（起きる確率も考慮すべき）おっしゃることは当然のことです。

土屋：たとえば、変位というのは予測できるという知見があるのでしょうか？ この間は比較的ばらつきが大きいという話がありました。

E3：難しいのですが、上限と下限で表現するように、幅を持って表現や議論したら良いと思っています。狭い幅で、一定の数値では言えません。

P2：この絵がよいですけど、たとえば、地下深く地震発生層の先から地表まで来るような断層がここにあって、その下でM7の地震が起きたときに何mもずれますよ、だから危ないですよ、ということを、今、島崎さんたちは言っているわけです。それに対して、僕がさっき見せたモデルなんかでは、実は主断層は地下20kmだけど、副断層っていうのは、そんなに深くまでいかないし、独自に地震を起こす根っこをもっているわけではない。そうすると、なぜ副断層が出るかっていうと、地下で断層が折れ曲がったりして、その周りの岩盤に力を加える。それは、実際にいろんなところで、構造地質学で実証されているので、その場合だったら主断層がこれぐらい動いて、ここにこれだけ力がたまったら、どれだけ食い違うかっていうのは、たぶん、求めることはできる。

ですから、その大きさを考えるより、とにかく大きく動くんだっていうのは、すべての副断層を左の絵のようなものにみなして、活断層と呼ぼうとしている。だけど、実際にはそうじゃなくて、調査してみると、たとえば東通なんかは根っこは全然ない。浦底断層っていうこういう傾斜をした断層で、その一つ向こうに行くと白木丹生断層がこういう傾きをしている。こういう逆断層にもそれなりに意味があるわけですね。そういう場所で、地下深くまで別の断層を切って動くということとはまずありえない。やっぱり、こういうモデルで、たとえば、これが地下50m、100mの話。だけど、大体、この距離に比例した深さにあるわけです。そういったものが主断層並みに動くか？ もし動いていれば、地形に残っている、主断層と同じように。ところがそういうところが一切ないものが、ある日突然主断層並みに動くという現象を、我々は実際には地質学的には知らない。だけれど、我々の知らない天変地異が起こる、と言われれば否定できますか。そういう議論になりますね。

知見の不足と見落とし

土屋：破砕帯のことにについて、何か、ご質問はありませんか。確かに破砕帯は動かないんだと思うんですが、先ほどご紹介があった4月11日の地震は、ある意味、電力会社が今まで、正断層は活断層じゃなくて動かないと言い張っていたんですけれども、やっぱり正断層も動くことを示したものでした。別に、3.11があったからではなく、正断層も日本の応力場の中でも動きうることが分かった。あと、東京電力は確か破砕帯が見つかってそこが非常にかたく固まっているので「動かない」と主張していたわけですけど、それがちゃんと動いてしまったというようなことから、これまで見

落としがあったんじゃないかという議論が巻き起こったという説明をされる先生もおられるんです。正断層の話だとか、あるいは、破碎帯も岩石的にいくらしまっているけど動けば、そこがずれるというようなことについてはどのようにお考えでしょうか。

P2: だから、実際に我々が地下をすべて透視できるわけではないので、見落としはあっても当然。特に、4月11日に動いた断層の話は、今おっしゃったように、正断層だから動かない過去の断層だという判断が間違っているということが後の調査でわかったのです。実際に地震が起きてからもっと調べてみると、同じ場所で繰り返し正断層で動いている。ということは、日本の陸上でも正断層が動くことはあることがわかったんだけど、わかってから調べてみると、過去にあそこの地下では、正断層の地震が繰り返し起きている。さらに福島県南部沖とか、海底の従来の地質調査を見ると、最近まで正断層の大きな断層は活動していて、逆断層がほとんどない。だから、そういう、ある意味調査不足。それと、正断層だけ動かないという偏見が、先入観があったということだと思います。だからといって、どこでも正断層が動くかということ、それはなさそうである。なぜかということ、今も言ったように、あの地域はもともと引っ張る力が働く場所だったらしいし、何万年間もそういう状況にあった。ほかの場所はそうじゃなくて、たとえば敦賀でも、常にこれは押す力ということで、それ以外では、もう数万年、10年以上動いてないです。そこでこういうものが逆に引っ張って伸ばすような地震を起こすことがありえない。それは事情が違うんだけど、その辺をきちんと切り分けられてない人が多いように見受けられます。

P1: 応力場はよく東日本では東西圧縮という話を聞いていたんだけど、そういう中でも、引っ張り場があったりだとか、そういう初期応力というか、今の応力というのは、何か、測ったりはできないのかもしれないけど、そういう情報っていうのは、どのくらい分かっているものでしょうか？ 今のどのくらい応力がかかっているか。当然そういうことがわかればいつ地震が起こるかっていうのがわかるかもしれないんだけど、なかなかそういうものっていうのは得られていないということでしょうか？

P2: 福島に関しては、少し測地学的に、過去10年とか、100年、GPS、三角測量でどうだったかはちょっと確認してませんけども、一番簡便な方法としては、測地学のデータがあれば、それが一番でしょう。

P1: それがあればということですね。

P2: まあ、あとは、実際に岩盤をくりぬいて、どういう応力がかかっているかを計測する方法がありますが、それはなかなか大変らしいし、あんまりデータはない。方法がないことはないですね。

分からないことにどう対応するのか

E1: 応力に関してはほとんどわからないと思っていただいてよいです。歪みから確かに換算はできるんですけど、我々が計算できるのは歪みレートでしかないんですね。かける何年、ずっと歪みが蓄積しているかっていうことを知らないとうしようもない。我々もずっと、東北は当然圧縮場だと思ったんですけど、今おっしゃったように、福島のほうで地震が起こった後、過去の地震を探してみると、あそこで起こる地震って確かにメカニズムが変なんですね。どうも、あの付近一帯は例外的に正断層型の地震が昔からあったらしい。内陸の他のところももしかしたら、ほとんど東西圧

縮の応力は働いていなくて、ちょっとしたことで応力場が変化するんじゃないかなって話をしている人もいますし、それは違っていて人もいますし、まだ、議論が分かれている段階。

土屋：地面の下は複雑ですね。この間のお話でも、すごく複雑だという印象をもちました。

E1：ですので、先ほどリスクの話あったんですけど、じゃあ、どのぐらいの確率かと問われても、僕はなかなか答えられない。むしろ社会がどのぐらいに、何万年に一度のイベントだったら許容できるのか、そういうふうに議論していただかないと。そのレベルまで、確率が高いか低いかぐらいの議論なら、もしかしたらできるかもしれない。だけど、研究者同士で、いや、1万年に1回だ、10万年に1回だ、千年に1回だみたいなくらいに意見が分かれるときに、なかなか議論を収束するのは難しいと思います。

E2：考えさせることを言っていたんだと思うんだけど。設計で使う地震動を作成するときに、震源の評価から、地震動の評価をやって、最後、建物の応答評価までやって、機器は大丈夫かとかやってやるわけですけども、そのときに、地震動をつくる人たちにですね、どれくらい要求がされているのか、あるいはどういうふうなアウトプットを出してもらいたいのかっていうような、はっきりしたものはないと思うんですよ、今。で、工学からそれは言わなきゃいけない。たとえば、それは10万年に1回なのか、千年に1回のものなのか。つまり、いろんなところでいろんな不確実さがいっぱいあってですね、不確実さを言いだしたらきりがありませんよね。そういうところで、やはり言われたようにですね、これくらいの程度の地震動、シビアリティっていうのかな、そういうふうな地震動をつくってくださいと。それで、原子力プラントを設計するですよっていうようなステートメントがないがゆえにですね、どんどん、どんどん大きな地震動をつくっていくということになっているんです。確かに例外は山ほどあるように今、聞いて思ったんですけど、非常に我々は評価の難しい地面の下の問題を扱っているということで、いろんな例外がある。これは、これが成り立つけど、これは成り立たない。これが本当に検証されたモデルでやっているのかというと、全然そういうのをやれていないようなところもあると。非常になんていうか、ものすごく今こんなに進んでいるんだけど、やっぱり、わからないことだらけだな、っていう感じがしています。いろいろ科学者、それから、地震学者の人に聞くと、「よくわからん」とかって言われるんです。

「わからんからを研究しているんじゃないか」とかって言われるんだけど。わからんでは、やっぱり、ここは困ってしまっていて、我々も。

ものづくりということからするならば、先ほども不確かさの程度っていう話もありましたけれど、この問題はこれくらいわかっていて、これくらいわからないのか。例外は、千個の事例の中で、まあ10個ぐらいはありますよとかですね。なんか、そういうふうな、いろいろ、今までの経験、それから過去の知識を積み重ねていくと、なんとなく、まあ、このモデルでいいだろうとか、これくらい幅を認めたらいいだろうみたいな、なんていうか、そういうのをもちだすと思うんですよね。だけど、全然駄目だというやつもあるかもしれないんですけど、そのあたりをこう、いろいろ、言っていたといいのかな。まあ、工学者が、これくらいほしいっていうのを本当にきっちり、まず、言わないといけないんですけども。それが今、あきらかになくなって、それが規制基準っていうことになるのかもしれないけれども、あれだって非常に幅が多いんですよ。書いてはあるんだけど、断層モデルも、いろいろパラメータを振ってやってみて、一番厳しいのを取りま

しょうとかやっているわけですね。その振り方もいろいろありそうなんですけれども、そのあたりが、どんなもんなのかなということをちょっと聞いてみたいですね。やはり、研究をやらないとわからないこと、千年たってもわからんこともあるのかもしれないんですけども、その辺はいかがでしょうかね。

P2: だから、たとえば、さっき応力はわからないんだということだったけれども、シミュレートはわかる。

E2: ああ、そういうことですね。

P2: だけど、そういう場所で、たとえば、地下に伏在している断層の歪みレートは案外分かる。そうすると、レートがわかれば、たとえば、この断層は500年間動いていないっていう一つの仮定をすると、今度地震が起きたら、スリップがどのくらいか、ある意味わかるわけです。そういう考え方が有効であれば、たとえば、サンアンドレアス断層に起こる地震など、ある程度、実証されているわけです。だから、全く手がかりがないわけではないです。だから、我々としてはやっぱり、実証的になるべく仮定を少なくして物事を知りたいって思うと、理学者としてはわからないな、難しいなということになっちゃうです。だけど、結局、そのパラメータを仮定して、そのパラメータの確からしさを考えていくと、結局確率論のロジックツリー、ああいったもので、リスクを評価するっていうのが、合理的だったと思うんですね。だから、今行われているのは、そのロジックツリーを立てる前に根っこは切っちゃうという話ですね。

E2: そうですね。ロジックツリーもやればやるほど、大きなものが出てくる可能性がありますから、あんまり出たくないわけですね。

P2: たぶん、僕が言うことでもないけど、原子力だったら10のマイナス5乗か、10のマイナス6乗あたりで、従来残余のリスクを、まあよからうとしてましたね。だからもう、リスクの存在を認めて、リスクを確率論的に評価してみるという方向に行くしか僕はないと思いますけど。それを実際にやっている人もいるし、多くの国で、それを優先的にやっていますから。

E3: 多くの人は同意していると思いますよ。情報量の多い分野では、かなり精度の高い議論ができると思います。前回話のあった設備の分野では、振動台実験で性能を確認していますからね、残余のリスクも議論しやすいでしょう。活断層の認定や地震動や変位の議論は不確かさが大きいので精度が高い議論はしにくいですが、議論の枠組みは同じで良いと思います。

P2: だから、認定も含めて確率論。断層変位なんかは確率論的にやれるし、副断層に起こる小さな変位の問題なんかは、確率論的にやるしかないの。

E3: どうして確率の議論に入って来ないのでしょうかね。

E2: 昔、議論したことがあるんですけども、そうしたら、こういうふうに言われましたね。わからないことは調べればわかる。だから、いろいろ調査をしましょうって、言われました。わからないことがなくなるまで調べる。断層はどこまで行ってもわからないから調べましょう。こんな感じなんですよ。

E3: そういうことかな。

P2: たぶん文化ですね。特に、活断層をやっている人が確率を誤解して拒否しているんですね。原子力学会誌に、「確率論的地震動予測で、東北の地震動を予測できなかった。だから、原子力に確率

は役にたたない」ということを書いています。それがまさに、私のバックグラウンドと違うところで、特に数学のわからない、物理のわからない人が、大真面目にそれを信じてですね、みんな口をそろえて、確率論的地震動予測は駄目だと。だから、確率は駄目なんだということを言ってます。文化です。

土屋：文化で終わると議論が続かなくなってしまうですね。工学のほうから地震の評価にある程度要求を出すべきだというお話に対して、ご意見はありますか。

P1：強震動予測で、こういうことができましたっていうのは、そんなに難しいことではないんですけども、そういう意味では、データ、かなりデータに頼っているところがあります。その中でも、ばらつきが当然ある。それで、我々も、工学にこれをつなげるためには、当然ある幅でないと設計ということができない。そういう意味で、いろんなバラツキがなるべく少なくなるようにということで、いろんな観測だけでなく理論も含めて、最近はいろんなことをやっています。それも、まだまだデータがないと、インプットデータがないということでまだまだですけど、少しずつバラツキを小さくするというところでやっています。ただ、やっぱり現状では、当然限度があります。そういうものを、やはり工学のほうというか、受ける側で、先ほど私ちょっと申し上げた、やっぱり裕度の中で、解決することも考える必要がある。原子力規制委員会の議論では、「この数年間で基準地震動を何回も超えた、けしからん」という話をされるんだけど、基準地震動って、そのつくり方からしてそういうものじゃない。私が今日説明したように、ああいう形でつくっているとすれば、やはり、それを超えるものっていうのは否定できない。そういうものはやはり工学の中でこう吸収されるっていうことで、我々も、そういう審査をしてきましたし、やってきたわけです。それを超えないようなものについて話になるともう、これは全く工学的に、例の 3G みたいに、何かの 5 倍とか、10 倍とかっていう、そういうエイヤの世界でやらざるを得ないかなという気がするんですけどね。だけど、それでは、やはり物事が成り立たないということで、今、申し上げたように、基準地震動のほうは、なるべく科学的に幅をだす。でも、それを超える可能性は 0 じゃないですので、そこはやはり、工学、ものづくりのほうで吸収するというようなところで最終的にはリスクが決まると思うんです。だから、その辺のバランスを、前に申し上げたように、やっぱり、すべてに不確かさがあるし、裕度もあるし、逆に、構造物のほうでしっかりと裕度を取っていただけると、そういうものが解消されるということです。やっぱり、その辺のバランスを考えるべきだと思いますが、今は入り口で物事が止まっている感がありますね。そこだと、ものを壊さないっていうことで。わからんことで止まるっていうのは、当たり前のことかもしれませんが、そこを一つ超えてですね、トータルとして物事を考えていく中で、強震動予測を評価していく。非常に、わからん中でも、保守的にやっているというところで。それと当然、過去の記録が再現されているという前提でできているので、まだまだやらなければいけないことが当然ありますけども。やっぱり、そういうものに対してはやはり、裕度で少しかカバーしていただくという、そういう話が、今、できる最大限かなと思います。

土屋：すいません。今日、設計とシステム安全の専門家の先生がご欠席なので、「大丈夫、裕度はあります」と言っていたことはできないんですけど、こういう議論がありましたということを

お伝えしたいと思います。あの、これからちょっと、10分ぐらい休憩を取ってから、ぜひ、今までずっと聞いておられた皆さんから議論を、質問を投げかけていただきたいと思います。

全体討議

土屋：ちょうど、ざっくばらんな議論が始まっていてといところなんですけれども、たぶん聞いておられて、いろいろ質問をしたいという方もおられると思いますし、今までの話と少し違っても最後のほうでリスクの問題をどう扱うかという議論が出てきました。断層や地震動にこだわらず、リスクの問題についても議論したいと思います。皆さんのほうからも、あるいは先生方からも、今日は話題提供していただいた先生からもほかの先生に聞いてみたいことというのがあれば、出していただきたいと思うんです。

口火を切るということで、できればちょっと違う立場の先生からのお話を少しお聞きしたいと思うんです。私は、変動地形学について、工学系の研究者から、写真だけで判断して占みたいだという話を聞いていたわけなんですけれども、専門家の先生方にお話を聞きに行ったときに、空中写真で確認した後で、やっぱりちゃんと調査をしておられるというところで、決して地図上だけの話をしておられるわけではないというふうに思いましたし、あと、よく出てくるのは中国電力が否定していた糸道断層を変動地形学の先生がきちっと発見されたということもあったわけですが。

断層認定と専門家判断～科学が主張か～

P2：あれは長さの記録。実は彼は、長い期間、ある程度、長い断層を見ていつて延びる延びると言っていて、一部は正しかった。けれど長いからといってですね、地震動には関係ない。

土屋：そうですね、地震動には影響はないと思います。それと、浦底断層はかなり確実な活断層という話だったんですが、なかなか日本原電は認めませんでしたね。認めた背景には知見が変化したなど、何かがあったんですか。

P2：90年に『新編日本の活断層』で浦底断層はランク1になっています。日本原電でさっき2007年に認めたっていいましたが、なぜそれまで認められなかったのかっていうのは1号炉、2号炉の審査のときにはないことになっていた。ところが3号炉を新規に申請して、その申請のときにありましたといったら1号炉、2号炉も見直さなければいけないですね。おそらく当時は保安院でしょ。「もうないことにしとけ」とでも言ったと思います（笑）。だけれど、新指針ができて、中越沖地震による柏崎刈羽の被災が起きたことによって、やっぱりこれはもうあしたままでは通らないから2007年に3号機も再申請をした。そのときに初めて認めたんだと思います。だから、電力うそつきの典型的な例なんだけど。あとは、これ、行政のうそつきも実はあるんじゃないかと。ないはずはないと思います。

土屋：国は認めているわけですからね。結局、何か新しい知見が出てきて、変わったわけではないと？

P2：むしろ知見からみれば間違いないので、認めるのに時間はかかっていますが、原子力の安全審査に対しては悪くないし、リスクの上では問題ない。

土屋：ほかの方からご質問はありませんでしょうか。

E2: ちょっとお聞きしたいんですけども、活断層の認定だとか、要するに、ものを最後、決めなきゃいけないんですよね、これぐらいにしましょうっていうのを。その決めるロジックのルールが議論されていませんね。ルールが決められてない中でもものが決まっていくような気がしていて、私は非常に怖いなと思っています。たとえば、先ほどの、ないことを否定できなければ考慮しようっていうルールでやるなら、それでやればいいんだけど、そんなの誰もみんな考えてない、思ってないですよ。要するに、ものを決めるロジック、専門家の間で、あるいはある会合で、この会合はこういうふうなルールに基づいて、こういうふうな事実と、それから各専門家の推量と、それからいろんな根拠を並べて、データベースも事実かも知れませんが、そこから判断して、こういうふうなルールで決めようっていうのならまだわかるんだけど、そのルールが全然はつきりしないところで、最後はしゅんしゅんと決まってしまう。あるいは、はずみで決まるみたいな感じもあるように思うんです。新規基準を決めるときも、そんなことを感じました。

要するに、ものの決め方っていうものに関して、工学的な要素もありますし、それから理学者の今までの経験、知識っていうのが相当ベースにあるかもしれないし、さらにもう一つ言うと、たとえば原子力に対する自分の気持ち、あるいは信念、いろんなことがあると思うんですけども、その辺のルール、決め方のルールについて何か聞かせていただければ。

P2: 学術的な活断層の認定に関していうと、たとえば『日本の活断層』を見てもらうと、イントロダクションのほとんどは認定の問題、どのようにして活断層を認定するかです。それはみんな意識をして、まじめに考えてきた。ですが、こと、今の原子力の安全になると、おっしゃるようにルールがない。ルールがないところでどういうふうにやってきたかっていうと、たとえば、東北の地震以前でも、島根や柏崎では活断層があることが問題になっていて、その「ある」というほうにいわゆる反対派に組みしている研究者が当時からいるわけです。その人たちは、明らかに一旦「ある」と言ったら、二度と「ない」と言えないわけですよね。ああいう人たちは、もともとそういう反原発訴訟に組みしていた人です。ですから、ルールも何もないわけです。反対派のルールがあるだけです。それがどうも活断層の標準的な認定のように言われたら、私は怒る（笑）。答えにならないけど。

今一番問題なのが、有識者会議でも、たとえば敦賀でも積極的な証拠は一つもないわけです。そういうときに、たとえば、活断層に近いものということで K 断層というのがあるんですけども、それが同じ方向にのびていて、連続しているか、連続していないかっていうことになったら、連続しているという主張を否定できますかという議論になっちゃいますよね。それを報告書では「可能性が高い」と表現している。だから、少なくともおっしゃる通り安全サイドなので可能性を否定できません。それはそうかもしれない。だけれど、変位を起こすような断層の存在を断定してはいけないと思うんですね。それはもう完全に、有識者として動く場合の、情報や知識や判断力を逸脱した判断だと僕は思います。だから具体的にどういう手続きで決めろということまでは、なかなか言えないが、もう無法者の世界ですよ。少なくとも根拠のない断定はやめてほしいというぐらいの合意は、どうかでしないといけないんじゃないかと思います。

E2: 3.11以降は特にですけれども、要するに、安全側の発言をする、安全側寄りの発言をするのは正しい方向であって、そうじゃない発言をすると、「3.11が起きたじゃないか」という形で批判されてしまい、非常に発言しづらいような状況になっているように思いました。

P2: その通りです(笑)。だから、私のように、有識者の安全側の判断に表立って批判する人は、ほとんど未だにいないですね。

土屋: ちょっと私から反論していいでしょうか。まず、断層の存在を主張しておられる先生方は、決して原子力には反対ではない、と明言しておられます。安全な原子力発電所は動かしてもいいけれど、危険なところは止めるべきというご意見で、ただ危険か否かという判断が難しいわけですけど。あと、活断層の定義そのものが問題なのではなく、学術的な定義に従って、今、規制委員会は判断しているのではないですと。先ほどもたくさんの不確実性があったので、それを考慮して、いわゆる明確な活断層以外のものも考慮しましょうというルールをつくって、それに従ってやると、そう判断せざるを得ないものが、いろんなサイトにありますという、そういう主張をされておられます。ですから、向こうは向こうとして、規制委員会がつくったルールそのものが問題であれば、そこはきちんと議論すべきだと思うんですが、規制委員会のルールに従って、明確な活断層と定義されない「将来活動する可能性のある断層等」も考慮しなくてはいけない、その認定についてもルールに従ってやっていますというのが、別の立場の方の主張だと思います。

P2: だからその論理だと、ある専門家が見て、ここにあやしいものがあると言ったら、それで原子炉を止めますと言っているようなものです。科学的な根拠がなくても。それは許せない。

誰が何をどう決めたのか、誰が関わるべきか

A1: ちょっといいですか。今日の話はやたら難しく、半分居眠りしていた部分もあるので、それを前提にお話をしますけれども。まず、そもそも原発の安全ということに関わって、活断層ということで問題を考えなきゃいけないというお話ですけど、これは誰がそういうふうに考えたかですよ。地震は確かに危ない。だから考えなきゃいけないと、これはわかる。そのときに活断層ということでこの問題を考えるんだと、それでいいんだと、あるいはそうしなきゃいけないというのが、どこで合意が得られたんでしょうか。それとも専門家が、そういう専門家がいて、そういうふうにしたんでしょうかっていうのが一つです。

もう一つ、さっきからいろいろお話を聞いて気になるのは、どんな分野の専門家であろうと、我々の生活に関わる、あるいは命に関わる、あるいは人生に関わる事実について、それぞれ立場をもっていますよね。原発についてであれ、遺伝子組み換え食品であれ、立場を持っています。ただ、その立場と専門とが近かったり、遠かったりします。そうすると、立場と専門とが近いとかかなりの影響力を持ちえますね。遠いとそれほどではない。地震学の専門家が遺伝子組み換え食品について発言しても、それほど大した発言にはならない。だけど、地震学の人がこういうような問題に発言をすれば相当な影響力はある。しかもそれが、原発を動かしていく、あるいはそれをどうしようかという公的な機関や委員会に参加すれば大いにそうなわけですよ。というようなことで、私としては、一体、誰が関わるのかが疑問だった。

さらに、もう一つは、その人自身は当然のことながら、さまざまな課題について個人的な意見を持っている。それは、専門家としてみんなが合意していることではない可能性もあるわけですよ。今の話の場合は、大いに合意してない話をしているわけですよ。そうですね。そうすると、それぞれの立場でそれぞれが言うということだけでは、たぶん議論は進まないだろうと思ったわけです。私としてはこのことをちょっと申し上げてみたいと思いました。

E2：最初の、原発と活断層のお話ですけども、あれはちょっと私を感じるんですけども、おそらく反原発の人がいらっしやったと。で、原発をなんとか止めたいと。その止めたい、なかなか理屈が見つからない、ということで、結局、安全の話を問題にしたかったということだと思うんです。だから、原発をすすめていくか否かというような、大きな政策決定というんですか、そういう大きな問題を安全問題にすりかえて、社会に訴え出るんじゃないかなと思っているんです。その安全問題の最たるものは地震であるっていうようなことを、ああいう場で言っているのではないかなという、これは私の想像ですけども、そういう気がします。いろんな考えの方いらっしやいますから。

P2：どんな地震が起こりうるかを考える上で、活断層というのは、歴史記録や地震に関する記録を補う重要なものであるというのは、これは、1978年の耐震設計審査指針以来一貫しています。常に活断層を議論しないと、安全は議論できないということが。

A1：いや、学問の話と、それから規制なんていうのは、これは政治だっていう、そういう話になるわけでしょう。そここのところが微妙に、あるときにはこっちに重心があり、あるときにはあっちに重心がありというように聞こえる。あるときは規制の側、あるいは、運営の側と行政とか、そういう話になり、あるときは専門的な議論の話になっている。そここのところが我々が外から見ていると、何ともはや、都合のいい議論をしているんじゃないのって思えるときもあるんですよ。それを僕は言いたかった。

P2：だから、活断層っていうのは、都合のいい議論のできるネタなんですよ。だから、裁判の道具にされる。裁判の道具にしている人たちが今、規制庁を牛耳っているから、僕は怒っている。そういうものじゃないよ、科学って。2つ目の合意していないと言う話の方が難しい。

E2：先ほどもちょっと言ったんですけども合意していない専門家がたくさんいらっしやいます、集団で。地震学会で、ワンボイスで一つの意見が出てくるかという、出てきません。いろんな意見の方がいる。その意見が違うということが、自分の存在感みたいところがあるのかもしれないんですけど、それで、なかなか合意は得られないし、学会というのは、自由な思想のもとに自由な研究を何にも妨げられずにやる、やれるっていうところではないかなと思うんですけども。

日本の問題なのかもしれませんが、何かものを決めていくのに合意が得られない中で、どういうふうに決めるかっていうルールがないところが、一番問題なのかなというふうに思うんです。先ほどの規制基準などを作成したときには、その中で一番安全側になるような発言をする人が、ピックアップされてくるというか、結果に与える影響が一番大きくなる。なぜならば、安全側の発言がされるから。こういうふうになっちゃうんですね。これが怖いなと僕は思っているんです。

E1：どこから話したらいいのかな。僕が言ったように、地震学者はそういったことでは無力です。自分は高々数百年ぐらいのことしかわかりません。地震動予測マップに関しても、グレーさんらが批判していた海外のマップというのは、日本でいえば昔、河角マップが間違えたことを未だに繰り返

していて、確かに問題があるものですが、ようやく最近、見直しが進んでいます。そのことに触れないで、地震動予測マップすべてが間違いだと批判するのはおかしいと思います。

一方、日本は地形学の知見を取り入れているので、河角マップのような問題はないのですが、限界はいっぱいあります。今朝のNHKのニュースみたいに確率がちょっと上がったからっていつて、あんな大々的にニュースになるほどの精度はないんです。地震学会の中でも、たぶん2つの極端に分かれていて、「そんな精度がないんだったら、えらそうなことを言うな。だから、もう、社会に対しては、ある程度線を引いて出しゃばるな」みたいな言い方をする先生方もいらっしゃるし、一方で、やっぱり専門家として社会の責任を果たさなきゃいけないだろうと考える先生もいる。結局、確率で言っているかどうかすら怪しいぐらい幅のある話を僕はせざるを得なくて、そのときにどうやったら社会に生かせるかっていう、そこがまだはっきりしないというのが問題なんです。

原発に関しては、原発と活断層とか、地震帯とかという議論だけをしていても、たぶんまとまらなくて、原発に代わるエネルギー源として何があって、それにはどういう欠点があって、原発だったらこういうリスクがあるけども、こういうメリットもある、というようなことを並列に取り扱って議論していつて、最終的にリスクを掛け算していった上で、原発のほうがいいかどうかの選択をしていくしかないと思うんですよね。その話を一切しないで、原発は安全か、安全じゃないかなんて議論をしているから、いつまでたっても結論が出ない。この間小説を読んだんですけど、3.11の後、原発がこのまま止まってしまっただけで経済的に日本が立ちいかなくなる未来と、原発を継続していく未来と、どちらも展望が持てないという話が出ていました。実際、どっちが僕らの子孫に対して負の遺産になるのかという、その辺の議論をちゃんとしていかなきゃたぶんいけないんだろうと思うんです。

正直、私もできるなら原発を止めたいほうです。自分の子どもたちのことを考えると。それは個人としての意見です。だけれども、一方でエネルギーがなくなってしまうと、それはそれで子どもたちにとって明るい未来になるのかということを考えると、そう気楽に原発反対とも言えないっていうこともある。そうすると、僕らは何を考えなきゃいけないかというと、ちゃんとリスクをまじめに考えていかなきゃいけない。規制委員会のほうで活断層認定として、時間スケールをすごく長くしたんですよ。現在の人類が生まれた頃から一回だけ断層が動けば、それでも活断層と認定するようなスケールのわけですよ。それは、本当にいいのかっていうのは、やっぱり議論があってしかるべきだと思うんです。

一方でいざ事が起これば、今、放射性廃棄物を1万年とか、10万年とかをずっと格納してなきゃいけないっていう、この同じくらいの時間スケールのことを未来に対して言っているわけですよ。それをどう思うかっていうことは、たぶんトータルで議論しないと、どのくらいの確率まで許容できるかっていうのは、そこで決まると思うんですよ。万年スケールを考えるのはナンセンスだっていう人がいるけれども、じゃあ、ここから先、万年スケールで保管しなきゃいけないことをどう考えるのか、という問題があります。それも議論の対象にしなきゃいけないのに、そっちの未来のことに限っては言わないで、過去のことを話すときだけ万年スケールはナンセンスだっていうのは、僕はちょっとおかしいんじゃないかっていうことを日頃感じています。

科学技術の知見不足に専門家はどのように対処してきたのか

土屋：ありがとうございます。エネルギー政策論が別途あるべきですけど、安全の問題に戻すと、そういう原子力に対するお考えとは別に、おそらくここにお集まりの先生方は、そして、私の感触からは、ほかの立場の先生も、学問的な発言をされておられる。専門家として、ここまでは言える、ここまで言えないということを発言しておられるような気はするんです。なかなか、そうは思えない方もおられるのかなとは思いますが、それでも。

あとは、活断層については、先ほどおっしゃっていたんですけど、やっぱりどこで起きるかの情報を一番持っているのは変動地形学で、断層の認定をするところだというのをおうかがいしたことがあって、やっぱり、そこに相当、責任が重くのしかかっているような気がします。

P2：別に責任ではなくて、我々の知識というのは、やっぱり歴史的に発展してくるんで、兵庫県南部地震が起きるまで、実際に変動地形学者が言っているものが動いて、人が何千人も死ぬなんていうのは、多くの地震学者は真剣には考えてなかったんですね。それを経て、やっと、さっきおっしゃったように、地質や地形の情報も入れて災害予測がきちんとできるようになってきた。

これは、まだ発展していくんだけど、それには方法論的にいくつか決定的な限界がある。たとえば、活断層屋がわからない地下にある断層、しかも地表に出てない断層のことは、僕は永遠に評価できないわけです。むしろ、それは歴史記録とか、実際観測したことのほうが重要なわけですね。東京直下型の安政タイプの地震なんていうのは、活断層屋は死んでも分からない。分かるわけがない。だから、活断層は地震を考える上での一つの方法で、それが認められて我々はよかったけれど、よりよいものをつくって、限界を少しでも押していく努力をしなきゃいけない。それは、何も活断層研究者だけがやるんじゃなくて、すべての地球科学者、歴史学者と一緒にやるべきだと思うんです。だから、そういう理解をしてほしいですね。その活断層に対して何かを言う前に。

原子力の安全も、地震災害に対しての安全も、極めてトータルなことですから、その一部で、自分がどう貢献していて、それを何によって補えるかを、常に探さなきゃいけないと思っています。僕は、そういう発想は、今後、大事だと思います。

さらに、ちょっとハザードマップを使った話をすると、今日の新聞で確率の値が変わった。あれは、自分の住んでいる場所の確率が6であろうと、2であろうと、10であろうと、実は関係ないんですよ。ほとんど無意味。あれが一番役に立つのは、たとえば、投資をする人が、リスクの高い場所と低い場所で投資をするときに、どういうバランスをするとか、固定資産を置く人が、リスクをどう考えるか。問題的には一番それが重要で、個々の人のリスクっていうのは、そんな問題じゃないんですよ。それを、あたかも、あなたは16%から20%に上がったからとても危なくなりました、みたいな全く浅い理解しかしていない。それは、文科省も、ずいぶんわかってないんですよ。

E1：いや、ずいぶんと、その問題に関して、私たちもすごくいろいろ議論がありました。あの地震動予測マップの出し方に関しても、いろいろ問題があったことはわかっていて、去年、自己点検して中間報告を出したんだけど、中間報告のときに、仮に今までと同じ予測したらどうなりますかっていう、そのマップもつけたらば、そっちはやっぱり質問が来ました。地震調査研究推進本部のほうで、自己点検で何を反省したかっていうことは、一切ニュースにならなかったというのは、僕らにとってはものすごくショックだったんです。

P1：原発の利用についてはもう全く同じく、リスクをどう考えるかだけでなくで、いるか、いないかという問題も考える必要があると思っています。

私のところには研究炉があるんですけども、そこで働いていて、当然原子炉ですから、リスクとしては原発に比べれば非常に低いんですけど、もし何かが起これば、対策が必要なレベルではあるわけです。そのときに、やっぱり、当然、なければリスクはないんですけど、現状は、エネルギーと違って、まだいろんな研究とか、医療とか、そういうもので非常に役割を果たしているんで、その中で、やっぱりリスクを減らすということで一生懸命頑張ってるわけなんです。そういうものだと思うんですね。だから、やっぱり原発もそうだと思うので、そこは同じようなところで、なくてすむならない方がいい。

ということと、地震動のほうも、もともとは関東大震災での被害を調査して、今の建築基準の枠組みができた。それから、いろんな地震観測がはじまって、それで、規模と距離の関係とか、経験的なものができてきて、そういうものを工学的に利用していたわけです。

ところが、だんだんと記録が取れだすと、それでは説明できないことが出てくる。ばらつきも、非常に大きいということで、だんだんと、やっぱり震源に立ち返ろう、要するに理学的に立ち返ろうということで、点ではなくて面で考えとかして、神戸の地震にしろ、いろんな地震が、総合的にでも再現できるものを次の予測につなげようということやってきたわけです。

幅を出そうということと、一番厳しい揺れてどうなのかというようなところも考えながら、地震動予測をやってきたわけです。我々は、別に原発のために、そういうものを開発してきたわけじゃなくて、やっぱり一般防災ですね。今回、津波でたくさん亡くなりましたけど、やっぱり地震の揺れによる被害を減らすために、耐震補強などに、そういう結果を使っていたと考えているわけです。なかなか、今はそこまではいってない。まあ、重要構造物とか、少しそういうところで試み的に使っていたり、そういう配慮はされてきていて、少しずつ、耐震性が上がっているとは思んですけども。

まあ、そういう学問も、なかなか一般の防災で、震度7出るといったら、すぐこれは対応できないとなりますよね、おそらく。そこが、原発の場合は、当然安全重視ということで、すごくゆれることを考える。そうすると、それがまた進歩するということで、たぶん原子力発電所のおかげでと言ったらおかしいんですけど、観測もそうですし、シミュレーション手法もそうですが、いろんなものが発展してきた。

本当は、そういうものを、一般防災などにもつなげていくような話をしなきゃいけない。どうも、どこに行っても、あれは原発だけにやってくるものだと、そのそばの町にはそんな揺れは来ないんだという、そんな感じで皆さん思われるんですけども、本当はそうじゃなくて、そういうもので地域防災にも貢献できるような形でしていかなきゃいけない。そういうところをトータルに考えていただくとということが、非常に大事ですね。

なかなか今は、原発ばかりが大事だということで、なるべく予測を、今までのような経験的な、ばらつきのない平均値ではなくて、より詳細にする方向になっています。そのためにはいろんなデータが当然いるんですけども、なかなか、すべてをとることはできていません。一般防災での啓発も含めて、その被害を軽減しようという、その中での原発だと、私は思っているんです。

その中で、やはり分らんようなところは、昔の3Ciのように工学的な判断も当然あると思うんですけども、それを越えるものも出るわけですから、なるべく科学的にそういうもので予測をしていく。

あとは、コンセンサスですね。やっぱりものづくりですから、たぶんどこかでコンセンサスがあると思うんですけども、それは、一般防災と原子力では当然違う。そこには、たぶん裏にあるリスクが異なっているからだろうと思います。

ちょっと変な話になりましたけど、地震動の予測も、そういう意味で発展したということと、安全というのは、ハザードだけじゃない。やっぱり、リスクはどうかという、トータルで物事を考えながら、バランスよく、リスクを避けていくということが、結局大事なんじゃないかなと思います。

社会とのコミュニケーションに向けて

土屋：ほかの方で何か質問とか、ご意見とかありますか。ご意見じゃなくても、聞きそびれて、わからない部分というのはありますか。いかがですか。ありませんか。すみません。先ほどの質問には、まだあまり答えていただけていないような気はしますよね。

A1：私が、さっきから発言しているのは、土屋さんが私をここのグループに入れたのは、私が、ある種社会的な意思決定をするときに、特に意思決定をするときの方法、市民参加の専門家ということで、今までの経験から言って、ここに座っている。そういう立場から、ものを見ると、実はここでの議論っていうのは、それを、最終的には一人一人の国民というか、人々のところまでおりていって意思決定をするとしたら、いったい、この議論はどうやって、そこに持っていけるか、と僕は考えるわけですよ。

今、ここで議論していたようなことを、一般の人のところに持って行って、こういう問題だから考えて、意思決定に参加しろと言っても、到底、僕は理解できないと思うんですよ。皆さんだって、たとえば、医学的な技術の、あるいは判断のかなり難しい問題が起こっていて、現実には、それを判断しろと言われたら、大変難しいと思うんですよ。

しかしながら、そうは言いながらも、私たちは、何らか、その意思決定に参加していくっていう、そういう社会で、今、私たちは生きているわけだし、そういう社会になりたいというふうに、とりあえず言っていると、私は理解していたんですよ。

じゃあ、この話を、どうやったら、そういう一般社会のところ、さっき朝日新聞うんぬんという話もありましたけど、たとえばそういうところで書いてもらうとか、あるいは、そこで議論してもらうとか、それを、いったい、どうやったら、今の議論を整理して、持ち込めるかっていうふうにならずと考えるながら、半分居眠りしながら聞いていたわけです。

土屋：それは、私の責任でもあります。

A1：いや、ぜひ、こういう専門家の議論、あるいは、専門家、あるいは行政の人にも関わるかもしれないけれども、どうやったら、そこに持っていくのかを考えてほしい。もちろん「持っていく必要はない」と言う人もいるかもしれない。「専門家で意見を決めればいい」と言う人も、もちろんあり得ると思う。だから、その区分けは、また別だと思うけど、たぶんこの問題は、一般の人のところ

まで持ってかないと、一般の人たちは、たぶん認めてくれないだろうというふうに、私は思います。
というわけで、とても難しく、私も答えがないけど、ぜひ、これは言っておきたいと。

P2: だから、ある専門家が、「活断層があつて、危険性があります。そういう危険性があるものを存続させられますか」と言って、一般に通っているわけですね。朝日新聞なんかまさにそうです。そう聞かれたら、みんな危ないのは嫌だから、危険なものはやめましょうという感じになりますよね。だけど、それは、おかしいんじゃないか。

A1: いや、だから、そこら辺の議論になると、ちょっとあなたの意見が、原発に関わる、あるいは、原発のエネルギーに関わる意見と、考え方と、そういう専門家としての立場が、微妙にミックスしてくるんですよ。さっきから聞いていると。

P2: だから今言っているのは、たとえば、マスコミが、「危険だ」と言われたら、過剰に反応して、活断層の報道を、ネガティブな報道しかしてないんです。そういう状況はまずいんじゃないのかということですよ。

そういうところで、僕は、何かこういう発言をしようと言っているわけではなくて、どうすればいいかということ、さっきからほかの方がおっしゃっているように、トータルなリスクをきちんと述べて、リスクを理解してもらえないんですよ。確率論的であろうと。たとえば、たばこを吸えば、死亡率がどれだけ増えるという数字を見せられるようになれば、納得するわけですから。

A1: いや、納得するのは、先生だけでしょ。

今の話で言うと、リスクを考えるとかなきゃいけないということは、この世界で生きている人たち一人一人に向かって、「あなたは、どう生きたいですか」と言うことなわけですよ。そのときに、リスクっていうことで考えましょうという考え方はもちろんあるけど、それ以外のいろんな生き方があり得るわけです、社会の中には。社会で何か決めるときに、「リスクをもっと考えて、やりましょう」って言う立場もあるし、そうじゃなくてやる立場、いろんな立場が、あり得るわけです。しかも、それは 이슈ごとに変わっている可能性もあるわけですよ。そうすると、こういう専門的な知識と、それから社会的な意思決定をするところをどうつなぐかっていうことは、やっぱり相当難しいことで、それは、もう少しこういうフォーラムにたくさんいろんな人が出てきて議論しないといけないことになっているんじゃないかと、僕は、特に言いたいわけなんですよ、実は。

P2: ここに来る前に、科学的・技術的に、何がより正しいかということ、一生懸命やっていますけれども、伝え方の問題は、これからということで許していただきたい。

A1: もう一つ率直に言うと、科学の中に、実は「本当にそうなの？」というような、さっきの活断層の話でも、かつてこう思われていた、こういうふうに言っていた人がいたけど、変わってきたとかあって、そういうことで言えば、ずいぶん変わり得る 이슈 だったりするでしょう？ だから、そういうことを「学問です」と言うときに、社会に向かって「この時点における学問です」と言うのはいいけど、「全部正しい」みたいに言われると、ちょっと待ってねと思う。ちょっと待ってねということは、僕はあと思っていますけどね。

P2: だけど、待ってくれない判断もあるから。

E1: この辺、本当に難しく、私たちだって、地震が来るのが 100 パーセント正しいと言うつもりはないんだけど、あまりにも、それを僕らがへりくだってしまうと、完全に相対主義の世界になって

しまっ、もうトンデモものの話が次々と大量に出てきちゃうんですね。その辺を、僕はどのくらいのスタンスで社会に伝えればいいのかというのは、非常に難しい。少なくともここまでは言えるけど、ここから先はちょっとというのは、僕なんかは割と正直に言うほうだけど、強気な人はそんなことは気にしない。正直な人と、そういう強気な人が議論したら、強気のほうに押されちゃうので、ちょっとその辺がすごく難しい。

土屋：それが、誰からの情報かによって、ずいぶん議論の流れが変わってくるわけですね。

E1：今おっしゃった通り、社会に対して僕は、「このぐらいの不確実なことしかわからない。ここまではわかるけど、ここから先は分からない」としか言えない。だから0か1かの判断を求められても、専門家は答えられないというのが、正直なところなんですね。それを、今の法体制なんかや社会の側でも全部それを求めてくるので、それが一番の問題だっていうことを、ここで言いたいと思って。

土屋：というか、まさに、そうですね。

E1：そうなんです。成熟という言葉はよくないかもしれないけども、社会が科学をそういうものだというふうに思っていたかないと。最近よく地震学会で議論になっている問題について、地震学者で答えが出るかという、出ない問題ばかりなんですよ。地震予測もそうだし、原発の問題もそうだし。でも、地震学者でも、非常に良心的な人たちは、一生懸命考えて、頭抱えて、頭でっかちになっちゃって、苦しんでいるわけです。一方で、もう社会と関わりたくないって、サイエンスに閉じこもってしまう人たちもいる。結果的に一生懸命やって頑張ってきた人たちが、今すごく批判されているのは、すごく不幸な状態になっているんじゃないかな。それは何とかしたいんだけど、やっぱり1か0かで答えないといけない状況にある。「1か0かで聞かないでくださいよ」というのが、僕ら、今、一番言いたいことですね。

リスク論はどう使えるか

土屋：リスクの情報を提供するの、別にリスクのことだけ、確率論だけで考えましょうというのを強制しているわけではなくて、こういう情報も考慮して、どう決めるかという、社会へのつながりもあるのではないかなと思います。今は、何も考えるきっかけというか、手がかりがなかなかないような気がします。

E3：僕は、ある一定の信頼関係が社会と審査にたずさわる専門家の間にあって、判断を依頼されているのだと思います。依頼されている専門家が社会に対して説明するときに、リスクという概念は重要だと思います。

A1：プラスね。なるほど。

E3：ただし、依頼された人は、その信頼関係を保つための最大限の努力をするっていう責任が常にあって、そのために、使う用語とか言葉が非常に重要で、そのときに、私は、リスクという用語が多様な分野を貫いて共通に語られるべきものだと思います。例えば、原子力エネルギーと他のエネルギーを比較・検討するために、ベネフィットとリスクというフレームで議論するのが良いと思います。この技術は、選択すべきか、選択すべきでないとか、そのときに、ベネフィットとリス

クという言葉を使って語りかけると分かり易いと思います。それで、活断層の認定では確率が1か0で議論しているような感じになってしまい、リスクの議論がなかなかできないのですよね。

土屋：1、0でおっしゃられている方は、安全側の判断だと、おっしゃる傾向は強いですね。

E3：ちょっと極端ですね。

A2：そのリスクが数値化できれば美しいと思うんですけど、たとえば、地震動のほうだと経験を積んでいて、確率の幅が読めていて、ある程度数値出されても、まあまあだなって思うんです。じゃあ、今度、変位の問題のとき、リスクで数字を出されたときに、どこまで信頼できるかという、これは、地震動の問題とはずいぶん違うと思うんですよ。それは、もっている不確実さから。そこで「リスクを比べてください」って言われても、これまた、さらに難しい問題がある。そうすると、今みたいに、変位に関しては、1、0で、これは、あとはなしねという考え方もありだと思うんです。だから、リスクで比較できるのが、一番意思決定としては簡単というか楽なんですけども、何でもかんでも数字が出てきたときに、同じように信頼できるかといったら、また別問題の話になってくるんですよ。そこが、ややこしい。

E3：いい意見だと思います。簡単には結論は出ませんが、議論が始められます。

E2：まあ、経験の少ないものは、やはり分からない部分が多いというみたいになるし、経験が多いものはある程度の確率で示す。でも、ばらつきが、あることはあります。それはそのとおりです。

土屋：リスクも、1つの数値ではなく、その数値そのものがどのぐらい確かかというの、合わせて出すとか、もう少し複雑に、複雑になると相対化が非常に難しくなりますけれども、リスクを1つの性質だけではなくて、もっと違う性質も合わせて出すというのが、とても大事なことかなと思います。

E2：リスク論の問題点は何かという、やはりベネフィットの部分が出ないんですよね、それがよく言われることで。だから、ベネフィットとセットでリスクを考えないと、意思決定できないと思うんですよね。その大きな大枠を、やっぱり考えないといけないなと思います。

土屋：まあ、これもまたまた異論が。

E1：本来なら対案を示して、元の案と対案の両方の利点と欠点とを天秤にかけなければいけない。それなのに1つの 이슈だけしかやらないから、提案した側は批判される一方なんです。

E2：リスクは、ないほうがいいよねっていう感じになっちゃう。

E1：推本（地震調査研究推進本部）だって、すごく批判されるけど、その対案が出されれば、推本でのやり方と、こっちと、どっちがいいかっていう公平な議論になるんだけど、「推本のやり方はおかしい」と一方的に言っている。では「あんたは、どういう対案を出しているんだ」というと聞くと、何も無いんですね。僕らは、しょうがないから、ないよりはましだと思って動いているわけだけど。「いや、ないほうがましだ」といわれると、結構、つらいものがある。

A1：もう一つ、リスクっていう話は、今、天気予報が、確率予報でやっていて、我々は、ある種慣れてはいる。本当に確率を理解し信頼しているかどうかは別にして。

実は、「リスクで議論してください」と社会に向かって言ったときに、「あつ。わかりました。それで、議論しましょう」と、みんなが言うかどうかっていうのは、私は極めて疑問ですね。だから、そういうときに、リスクという言葉で社会に向かって議論するのはいいけれども、一方で、そ

れを社会に伝えていって判断をしてもらうときに、一体どういうふうに伝えるのがいいのかっていうことは考えるべきだし、リスク概念で迫っていく、ベネフィットを入れたとしても、それで本当に議論になるだろうか、っていうのは、ちょっと私は、まだわかりません。

E1: もうちょっと、その確率が世の中に出了ときにどうやって受け止められるかっていうことを、僕ら研究者自身がちゃんと気にしなきゃいけない、っていうのを感じたのが、「4年で首都直下地震70%」と出たときです。あれは確かに、ある仮定のもとに当時のデータを使えばそうなっちゃうんですよ。でも、それを、そのまま世に出ていったときに皆さんがどう思うか、といったら、天気予報で70%の降水確率っていったら、まず雨が降ると思っちゃいますよね。それと同じように受け止められた方が、かなり多かったようです。しかも首都直下と呼んでいる呼び方も悪くて、あれは首都圏に被害が出るような地震という意味でしかないんだけど、皆さん、神戸の地震のような直下型地震が4年で70%と思う人が結構いたらしい。ある高校生に、あれがあったから東京の大学あきらめましたって言われた。そういう人がいたぐらいだと思うので、ちょっと僕らも発表するときには考えなきゃいけない。このモデルを仮定すればこうなる、というのは科学の論理の進め方としては確かに間違っていないんですよ。そこまでは正しいけれども、社会に伝えるときにはそれは、やっぱり気をつけなきゃいけないということを非常に感じましたね。

P2: 出し方の問題と同様に受け止め方も問題です。これは、教育の問題なんです。

A3: その辺の考え方なんですけど、基本的に、私が思うに地震のリスクっていうのは、要するにメリットがないわけですね。

P2: そうです。

A3: ですから、要するに、メリットで比較できないんですよ。だから、そういう意味では、地震のリスクっていうのは、どうとらえるべきかということ、対策にどれぐらいつなげられるかっていうことの、そのメリットと、それが不可能なことのデメリットっていう判定をしないと、たぶん、意味がないと思うんです。

活断層の科学的判定に関して思ったんですけど、いろいろ議論していて、一つは活断層がここに「ある／ない」の科学的確証度、確からしさが、一般の人にとっては、たとえば今日のような議論、今日のような説明を受けても、おそらく理解するのは非常に難しいと思うんですね。そうなりますと、専門家の間でどれぐらい意見の幅があるかとか、たとえば大多数の専門家は学会レベルで議論した場合に、この活断層があるという断定は、たぶん非常にできないだろうとか、ここまでだったらできるだろうとかっていう幅をわかりやすく見せるということが、一つの目標になるかなと思うんですね。ですから、そういう意味で、たとえば、規制委員会の決定に対する批判というときに、原発存続うんぬんのことを出してしまうと、これはどう考えても科学じゃなくて政策のほうに、政策的決定のほうにシフトしていますから、そうじゃなくて、同じ学問領域の専門家が、そういう科学的不確かさがどれぐらいあって、これぐらい大きいのに、それを、要は飛躍させた結論に達しているということがあるとするなら、やっぱり、その部分をきちんと、学者の間でどれぐらい幅があるかっていうことを示していないと、一般の人には、もう理解できないような議論になっているっていう、これはあると思います。

土屋: たぶん、そういった努力をしておられるかと思います。

P1: 東通の破碎帯の、規制委員会の議事録を読んだんですが、私の専門は違うんですが、あれを見ると、やっぱり最後は否定できないっていう黒になったんだけど、結構、先生方によって幅があると思いますよね。あれは、あまり世の中に出てこない。議事録をちゃんと読めば出ているんだけども。

土屋: 全員一致だけがとりあげられてしまっている。

P1: そう。最後は全員一致でとなったけど、議事録を読んでも、結構、幅があつて、そういうことは、やっぱり、ちゃんと表に出していないと、なかなか難しいなと思いますね。

P2: あの中でも課題はあるし、議論の場から専門家が排除されている。従来原子力に携わった人たち、保安院や原子力安全委員会の人は全部外されています。

P1: それより、このデータでは分からないという先生もいるんですね。判断できない。でも、それも、可能性があるとってしまうんですね。科学的にはそれだけでは判断できないと言っている答えもそっちへ行ってしまうので、非常におかしな話なんですよ。

P2: だから、確率論の世界だとそういうエクスパートの意見分布というのも、やっぱり、ウェイト付けでロジックツリーでみて、そういった問題を止められるようにできている。そういういいシステムがあるのに、それをひたすら回避しているんですね。

土屋: まあ、確率論で考えられるかどうかも含めて、疑問を持っている人もいます。

P2: ベネフィットがないというのはまさにそうで、僕は地震の話一般の人にするときは、必ず宝くじだと説明します。なんで買うかっていったら、確率と当たりがある／ないは関係ないので、必ず当たりがあることを知っているから、宝くじを買うわけですよ。地震も同じわけです。確率が高いか低いかというのは、必ず地震が起こるわけで、それを我々は知っているから、こういうものをつくって皆さんに知らせたのに、ベネフィットがないから、確率が低い、起こらないと思う。それで、マグニチュード9が起きたら、もう全然確率の話ができない。もう非常に確率に対して心情的な反応しかできないんです。それは教育のせいだと思っています。

A1: まあ、ちょっとリスクという言葉については、私も言いたいことはあるんだけど。もともとリスクテイキングっていったら、利益があるっていうことを前提にしているんだっていうことですよ。だから、リスクっていうとらえ方自体はそういう意味でいうと、ベネフィットがないリスクは本来ないということなんですよ。ただ、だけど、そうは言っても、リスクという言葉が普通に危険っていう意味で使っている例はたくさんありますからね。

P2: でも、テロに対するリスクマネジメントっていう場合のリスクは？

A1: いや、それも、ベネフィットがないわけでしょう。だから、本来リスクという言葉は、ベネフィットがあることに対してリスクとっている。リスクテイキングという言葉は。英語の話だけれども。

E1: あえて言えば、日本に住むことというベネフィットですね。

A1: そうですね。しかし、それは英語でいうと、本当に danger に過ぎないわけです。危険ということ。ハザードまで行かないかもしれないけど、danger なんです、本来は。でも、リスクという言葉がカタカナで我々が使っているというときは、危険という意味で使っていますけどね。

E1: もう一つ確率の問題で、今回ハザードマップでいろいろ出てきてわかったんだけど、先ほどおっしゃったように、ロジックツリーが入ってきちゃっていますよね。そんなものを入れているのに、出てきた結果を「確率」と呼んでいいのですか、っていう批判があります。僕は、確率っていう言葉がやっぱり良くて、別の言葉を使ったほうがよかったんじゃないかと、最近思うようになっています。

土屋: あとは、工学が考えている確率と地震で出される確率があまりにも概念が違うので、受け止め方が問題だと思います。工学で考える確率というのは、どんなときでも、たとえば、千分の1だったら、いつも千分の1なんですけど、地震の発生確率は時間がたつと変わっていきますよね。

P2: いわゆるその不良品が発生する確率なんていうのは、時間と共に変わりますね。同じように time-dependent な確率を考えて、それを地震に置き換えたんです。

土屋: はい。それは、機械とか、自分たちの工学をやるときはそう考えているんですけど、地震の話になるといきなり素人になるので、何パーセントっていわれると、「ああ、そうなんだ」と考えてしまうというところは若干あるだろうと。そういうまさに受け止め方なので、分野が変わるとずいぶん違ってしまうということなんです。

E1: 震度6が起こる確率が30年に0.1%ということは、3万年に1回しか起こらないと推本は評価したのだと批判した専門家がいて、ああ普通はそう受け止めるんだなって思いました。完全にポアソン過程だけで確率が出されているのならそうなるけど、実際はそうではないわけです。その辺はやっぱり、ちゃんと説明しないとイケないですね。

土屋: 一般の人との確率のやり取りも、専門家の間での確率やリスクのやり取りも、結構、難しい問題を抱えていると思いました。

すいません。ちょっと時間が超過してしまいましたが、今日は、本当に専門家の間での議論になったな、というふうに思って、うれしく思います。リスクとか、確率の話は、来年度になるかもしれませんが、しっかり議論できるようにしたいと思います。それから、次回は、地震と津波のことについて話題提供をしていただきたいのですが。

E1: 20分です。

土屋: 30分です。地震のことを20分、津波10分でお願いできますか。

E1: 津波は、僕の専門ではないので、多くの方々が、誤解しているようなところをちょっと重点的にお話しさせてください。

土屋: はい。ということで、2月22日の土曜日に、お願いしようと思っていますので、お忙しい時期だと思いますが、ご都合がつけばお集まりください。原子力施設の津波対策が、ある意味不備だったというような問題も含めて議論をさせていただきたいと思っています。今日はどうもありがとうございました。それでは、いつものようにアンケートに厳しいご意見をいただければと思いますので、よろしくお願いいたします。