

## 「全国地震動予測地図と今後の課題」



東京工業大学大学院総合理工学研究科教授  
(地震災害予測研究会副委員長)

翠川 三郎 (みどりかわ さぶろう)

---

### 要旨

2005年に作成された「全国を概観する地震動予測地図」の高度化版として、2009年7月に「全国地震動予測地図」が公表された。ここでは全国地震動予測地図のうちの確率論的地震動予測地図について説明する。第一の改良点は、地盤の増幅率を評価するメッシュサイズを1 km四方から250m四方に変更し、それぞれの地点での揺れやすさをよりきめ細かく評価したことである。地盤の増幅率の評価方法もデータを追加・検討して修正し、最大地動速度から計測震度への換算式も最新のデータに基づいて改良された。これらの改良により、よりきめ細かく震度分布を評価できるようになり、従来震度6強以上と表示されていたものが震度6強と7の領域について分けて表示されるようになった。また、地震動の距離減衰式のバラツキに関するモデル化も最新の観測結果や地震動シミュレーション結果に基づいて見直され、内陸地殻内地震については新たなモデルが用いられた。これにより、活動度の高い活断層が存在する地域では地震ハザードはやや大きくなった。今後の課題として、活断層の評価や距離減衰式、地盤増幅率の評価などのさらなる技術的な改良に加えて、地震の危険度を社会によりわかりやすく伝えるというリスクコミュニケーションの面についても検討されるべきであろう。

---

ただ今ご紹介いただきました東京工業大学の翠川でございます。先ほど遠田先生から、活断層評価から見た地震動予測地図の問題点をお話しいただきましたが、その地震動予測地図というものはどのようなものか、ということをご紹介したいと思います。

1995年に兵庫県南部地震が発生し、活断層の評価や地震の調査・研究が重要であるという観点から、地震調査研究推進本部というものが国の機関として設置され、活断層調査や地震発生の長期予測、それから地下構造調査などが進められてきました。そして、こういった調査結果を統合して、日本ではどのような揺れがどのくらいの頻度で起こるのかを表すいわゆる地震ハザードマップを作成するため、1999年に地震動予

測地図作成プロジェクトが開始され、2005年、ちょうど兵庫県南部地震の10年後に、「全国を概観する地震動予測地図」が発表されました（スライド2）。

地震動予測地図には「震源断層を特定した地震動予測地図」と、「確率論的地震動予測地図」の2種類がございます。前者はある活断層なり震源断層が動いたらどのような震度分布になるのかというものですし、後者は、どのくらいの頻度でどのくらい強い揺れがやってくるのかということを表現するものです。今日は後者の「確率論的地震動予測地図」についてお話をさせていただきたいと思います。

スライド3は、損保料率機構が、2005年に「確率論的地震動予測地図」を利用してリスクを計算しなおして、2007年に地震保険料率の改定を行ったということを示したものです。中央の地震ハザードマップの分布を見ますとやはり南海トラフ沿いでリスクが大きく、保険料も南海トラフ沿いで若干高くなっています。

地震動予測地図はそのほかにどのように利用されているのかインターネットで調べてみますと、例えば耐震リフォーム、要するに「あなたのところは結構地震の揺れに見舞われる確率が高いから耐震リフォームしましょうね」というものとか、賃貸住宅用の地震保険の宣伝、オフィスの地震対策に使われています。それから、保管庫で「わが社の保管庫は、リスクの小さい、ハザードの小さいところにあるから安心ですよ」というものとか、データセンターで「データセンターはリスクの小さいところにわが社は置いてあるからわが社のデータセンターは安心です」とか、自治体で「私の町は地震ハザード、要するに揺れの危険度が小さいから、安心して工場を建ててください」というものなどにも利用されています。

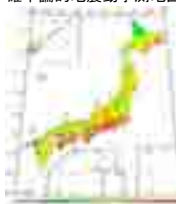
2005年に出された「確率論的地震動予測地図」は、その翌年に若干更新されています（スライド4）。内容的には

**スライド 2**

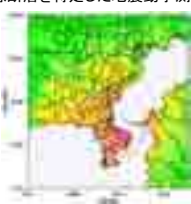
**全国を概観する地震動予測地図(2005)**

1995年に地震調査研究推進本部が設置。活断層調査、地震発生長期予測、地下構造調査などが進められた。  
1999年に地震動予測地図作成プロジェクトが開始。  
2005年に全国を概観する地震動予測地図が発表。

確率論的地震動予測地図

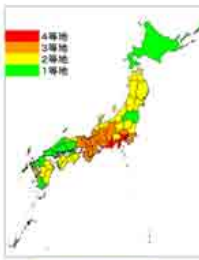


震源断層を特定した地震動予測地図

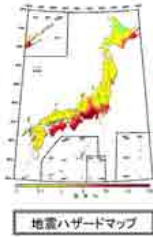


**スライド 3**

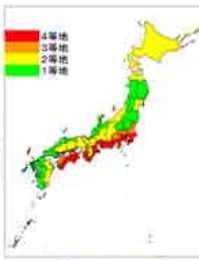
**地震保険の保険料の改定(2007年10月1日～)**



改定前



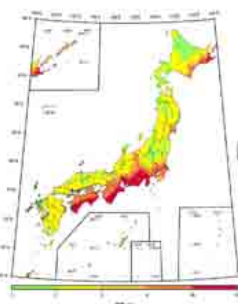
地震ハザードマップ



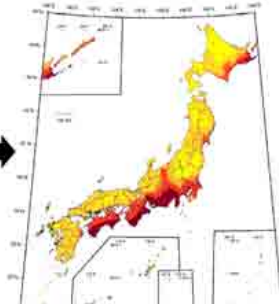
改定後

**スライド 4**

**地震動予測地図の更新**



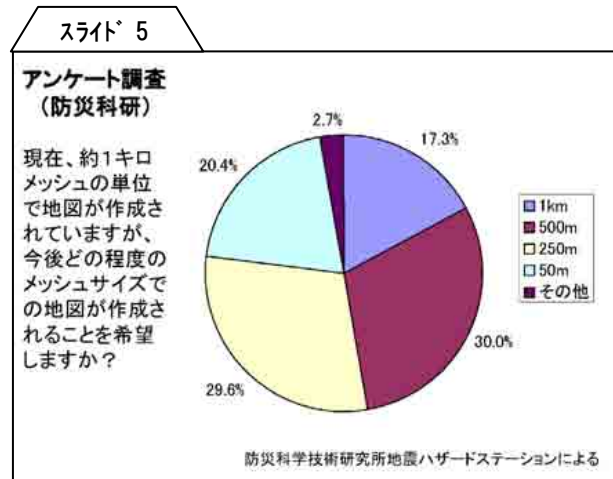
2005年版



2006年版  
色の使い方を変更  
高い、やや高いを表記

ほとんど変わっていないのですが、色遣いを変えています。更新前の絵は緑を使っていたのですが、緑は安全というイメージがあるため、地震国である日本では安全なところはどこにもないだろう、ということで、一番ハザードの小さいところも黄色に変更になりました。また、確率についても、3%以上を「高い」と表記して、0.1%以上3%未満は「やや高い」という表記に変更になりました。

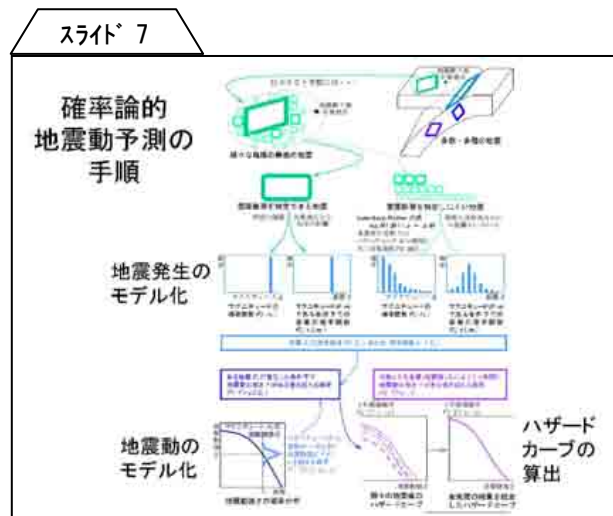
スライド5は、防災科学技術研究所がユーザーを対象に行ったアンケート調査の結果です。2005年に発表した地図は1kmメッシュ単位に地震の揺れの危険度を計算していますが、「どのくらいのメッシュサイズがいいですか」とお伺いすると、「1km」という方が約17%、「500m」というもう少し細かいものが約30%、「250m」が約30%、「50m」という非常に細かいものが約20%ということで、やはりもう少し細かいメッシュ単位で評価することがどうも望まれているということもわかってまいりました。



こういった背景から、地震動予測地図をさらに高度化しましょう、ということで、確率論的地震動予測地図の高度化ワーキンググループが設置され、これについて検討してまいりました。長期評価部会、強震動評価部会等他の部会でも検討した結果を総合して、今年7月に地震動予測地図が更新されました。名前が「全国を概観する地震動予測地図」から「全国地震動予測地図」ということで、若干力強くなったわけがあります。

主な改良点をこれからご説明しますが、250mメッシュ単位で計算を行うとか、距離減衰式のばらつきモデルを見直す、そういったことが主な改良点となっています。細かい点は他にも幾つかありますが、時間の関係で今日ご紹介できません。

スライド7は、確率論的地震動予測をどのように行うのか、手順を書いたものですが、例えば震源断層を特定できる地震については、先ほど遠田先生がおっしゃったように、活断層の調査をして、どのくらいの頻度でどのくらいの規模の地震が起こるか、というのをモデル化します。震源を特定しにくい地震についても、過去の地震の起こり方を調べると、Mが小さい地震がたくさん起こっていて、Mが大きくなるとだんだん起こり



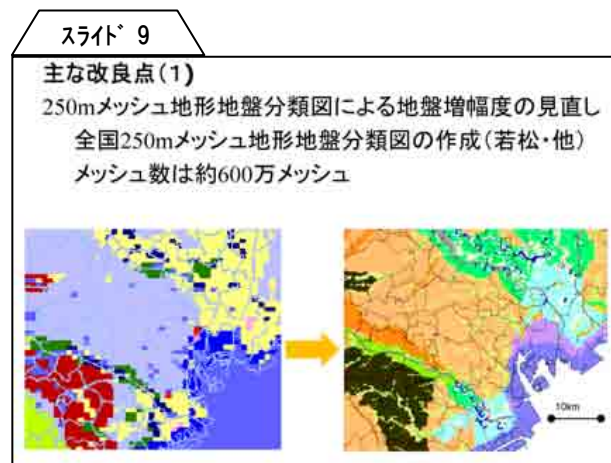
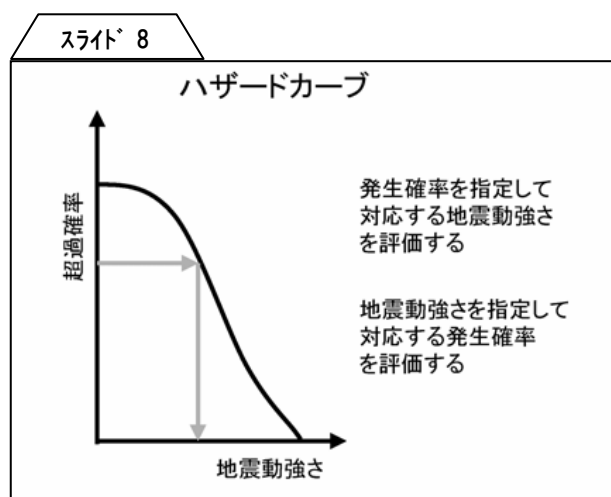
にくくなるということが当然わかりますから、それを使ってモデル化します。例えば確率とMの関係で、Mが小さい地震は発生確率が高いし、大きくなるとだんだん小さくなってきます。先ほどグーテンベルク・リヒターの関係というお話がありました、こういったもののことです。起こる場所も、地震が起こりやすいエリアごとに区切るわけですが、地震の起こりやすい場所とそうでないところがありますから、ある対象地点から見てどのくらいの距離にあるかという、距離の分布も確率分布で与えるわけです。

このようにして、確率モデルで地震発生をモデル化し、これを使って地震動を計算します。スライド7左下図(地震動のモデル化)は距離減衰式といたしまして、横軸に距離、縦軸が地震動強さを表しますが、距離が近づくにつれて地震の揺れは当然、強くなります。Mがいくつだったら距離と地震動強さの間にこのような関係が平均的にあります、というのが距離減衰式なわけです。ただし、実際にはデータにはばらつきがあるのでこんなに一直線にはなりません。平均からのばらつきをもって揺れの大きさは決まっていくので、このばらつきのモデル化もしてやります。

この地震発生モデル化と距離減衰式から、個々の地震毎のハザードカーブを算出し、これらを足し合わせて、全地震の結果を統合したハザードカーブを計算します(スライド7右下図(ハザードカーブの算出))。ハザードカーブでは、横軸に地震動強さ、縦軸にその地震動強さを超えるような揺れが発生する確率をとります(スライド8)。そうすると、小さい揺れは発生確率が大きいし、大きな揺れは発生確率が小さくなっていくわけです。

例えば、今後30年に3%の確率で発生するような揺れの強さはどうか見たい場合、縦軸が3%となる位置に対応する横軸、地震動強さの値を見れば良いわけです。逆に、震度5になるような揺れが来る確率を見たい場合は、今度は横軸が震度5のところに対応する縦軸、超過確率を見ます。こういったものを各地点で計算してマップにしたものが確率論的地震動予測地図なわけです。

今回の全国地震動予測地図での主な改良点の一つに、250mメッシュ地形地盤分類を使っている点があります。スライド9左図は東京周辺の1kmメッシュ地形地盤分類ですが、これが250mメッシュになると右図のよう



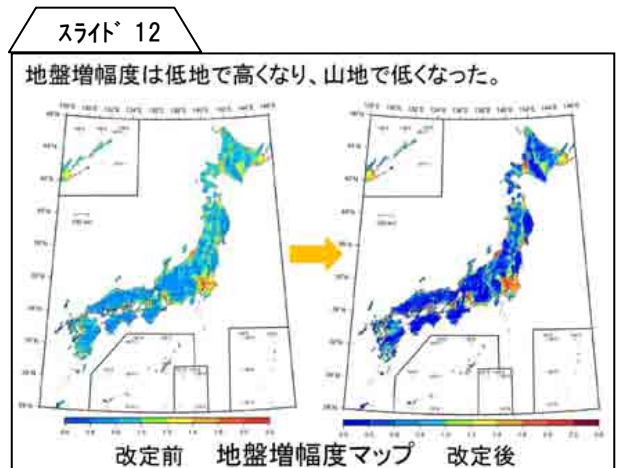
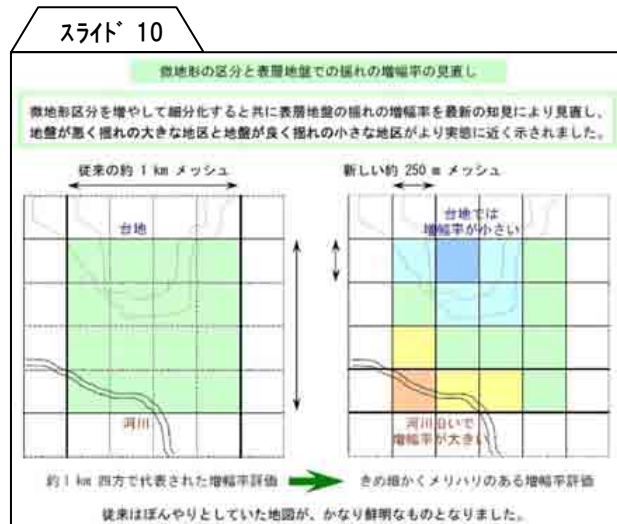


に細かくなります。こちらが東京の下町で、こちらが東京の台地の方ですけれども、非常に細かい地形の変化が表現できています。これは、現在関東学院大学にいらっしゃる若松加寿江先生が中心になってつくられたメッシュデータで、250mメッシュで全国を覆うという約600万メッシュですので、約600万メッシュのデータをおつくりになったわけです。それによって、よりきめ細かい評価ができるようになりました。

1kmメッシュと250mメッシュでどう違うのかということですが、**スライド10**のように、1kmメッシュの中に河川があつて柔らかい地盤があり、同時に台地の固い地盤もあるとします。これを1kmメッシュで評価してしまうと、特徴が潰れてしまって全部低地と評価されてしまうわけですが、250mメッシュで評価すれば、台地の部分は台地と評価されて地盤が揺れにくくなり、低地の方は低地、特に河川沿いでは地盤が悪いということも評価できて、地盤による揺れの違いをよりきめ細かく評価できるようになったわけです。

この地形地盤分類図からどのように揺れやすさを計算するかといいますと、この分類図から深さ30mまでの地盤の平均S波速度を推定します（**スライド11**）。どういう地形地盤分類だったらどのくらいの地盤の平均S波速度なのかを推定するわけです。この関係式も、以前は関東平野のデータに基づいた式を使用していましたが、全国のデータに基づいた式に改定しております。それから、地盤の平均S波速度から揺れやすさ、地盤増幅度を推定する関係式も、近年の強震記録に基づいて関係式を改定しております。その結果、低地ではより揺れやすいという評価、山地ではより揺れにくい評価になって、地盤による揺れやすさにメリハリがついたといえます。

**スライド12**が結果です。赤いところ

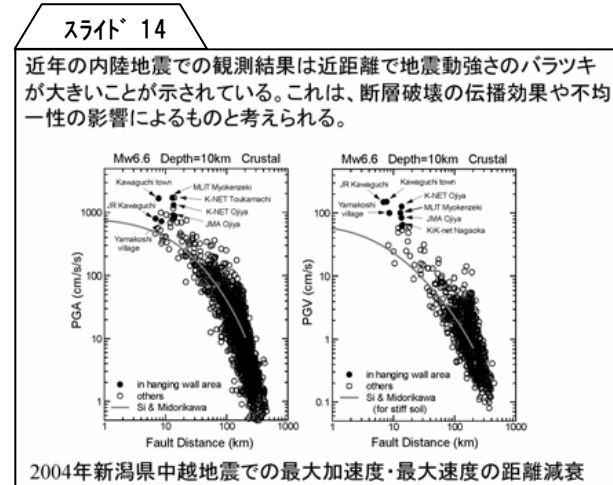
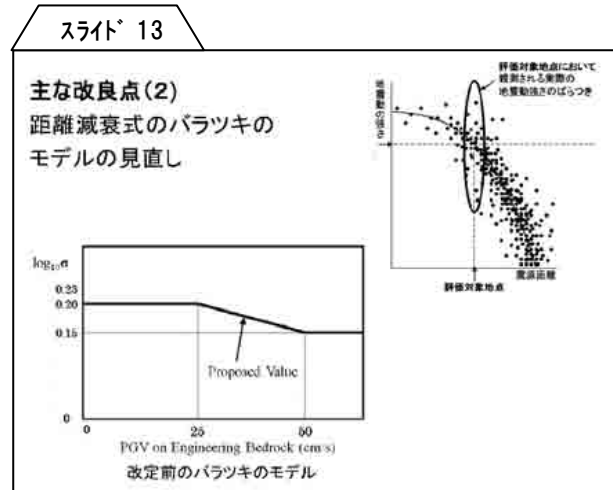


ろが揺れやすく、青いところが揺れにくいわけですが、右側の改定後では色が濃い青や濃い赤が出てきていて、より揺れやすいところ、より揺れにくいところが評価できています。山地ではより揺れにくいという評価になって、低地ではより揺れやすいという評価になりました。

もう一つの改良点は、距離減衰式のバラツキのモデルです（スライド13）。距離減衰式は、先ほどご紹介したように「あるマグニチュードの地震である距離離れたところがこのぐらいの揺れの大きさになる」というのを表す式ですが、それは平均値を与えているわけで、その平均値からのデータのバラツキが存在します。そこでこのバラツキも一緒に評価して確率を計算しているわけですが、このバラツキの大きさによって、特に低い確率での結果はかなり左右されます。

従来のモデルではこのバラツキは、揺れが小さいときにやや大きく、揺れが大きいときにやや小さく設定されていました。いろいろな強震記録、観測記録の統計解析結果から、こういうモデルを使っていたわけです。要するに、例えばある地震で、いろいろなところで取れた記録をプロットするとスライド13右図のような点が得られるわけです。横軸が震源からの距離で、縦軸が地震動の強さです。この平均的な線が実線のもので、これが距離減衰式なのですが、当然バラツキがあります。今までの記録を整理するとそのバラツキは、震源に近づくにつれて小さくなり、遠くなるとやや大きくなるというので、左図のようなモデルをつかっていったわけです。

ただ、最近の地震の記録を見ると、距離が近いところで標準的な線から大きく外れるものが見られるということがわかりました。例えばスライド14に示した2004年新潟県中越地震での観測結果がそうです。これはおそらく、断層破壊の伝播効果や不均一性の影響によるものだと考えられます。つまり、断層の近くでは、断層の破壊伝播効果というのがありますから、距離が同じでも破壊が近づいてくる方には地震動が強くなってきますし、破壊が遠ざかる方には地震動が小さくなります。これはジェット機の騒音と一緒に、ジェット機が近づいてくれば騒音がうるさいし、ジェット機が遠ざかれば騒音が小さくなるのと同じような効果です。それから、断層といってもたくさん滑るところ、アスペリティといいますが、それとあまり滑らないところがあります。断層からの距離が同じでもア



スペリシティに近いと揺れが大きくなって、アスペリシティから遠いと揺れが小さくなる、ということがあります。

こういった理由から、断層からの距離と地震動の揺れの関係には近いところでかなりバラツキがどうも出るようだ、ということで、観測結果だけではなく数値シミュレーションも行って、活断層による地震のみバラツキのモデルを変えました（スライド15）。つまり、距離が小さいところではばらつきが大きくて、距離が離れるとばらつきがやや小さくなるというモデルを設定しました。これによって、活断層近傍での地震動の予測値がやや大きくなりました。

スライド16が結果で、今後30年間に震度6弱ないしそれ以上の揺れに見舞われる確率を表しています。改定前と改定後だとやや違いがあって、やはり先ほど申し上げたように、大都市が位置するような低地、要するに東京とか名古屋とか大阪辺りでは確率が大きくなっています。これは地盤がより揺れやすいという評価をしたからです。一方、山地に位置する四国の辺りではより揺れにくいという評価をしましたので、確率がやや小さくなっています。

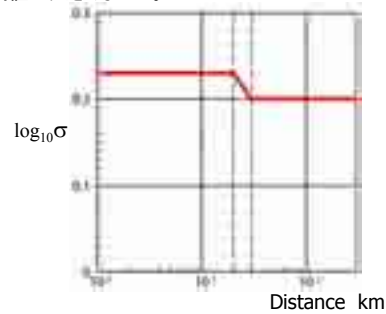
それから、今までは「震度6強ないしそれ以上」という表示をして、震度6強と震度7の境目の表示を分けていませんでしたが、今回、250mメッシュを使ってきめ細かい評価をしたということで、震度7の表示もするようになりました（スライド17）。

さらに、スライド18のようにカテゴリ別の確率表示もするようになりました。地震の確率というのはいろいろ

地震から出てきた揺れの確率を総合しているわけで、先ほど遠田先生がおっしゃったように海溝型の地震の発生確率が大きく、活断層による地震の影響が見えに

#### スライド 15

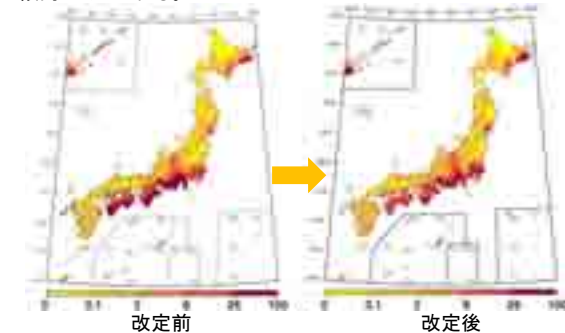
観測結果やシミュレーション結果から地殻内地震に対しては、距離依存性のバラツキのモデルを用いる。これにより、活断層近傍での地震動の予測値が大きくなった。



地殻内地震に対するバラツキのモデル

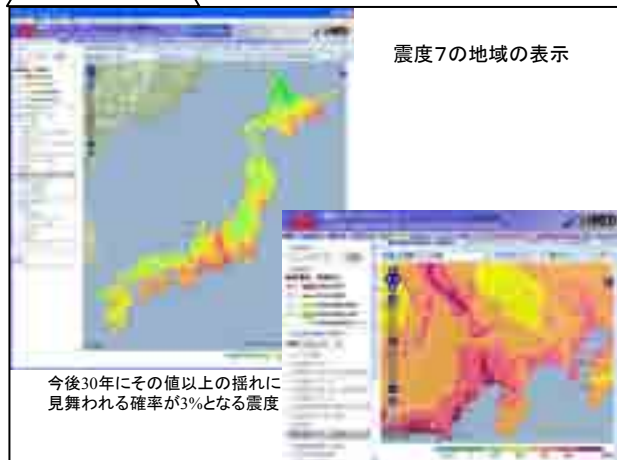
#### スライド 16

大都市が位置する低地で、増幅度が大きくなり、確率が大きくなった傾向がみとれる。



今後30年間に震度6弱ないしそれ以上の揺れに見舞われる確率

#### スライド 17



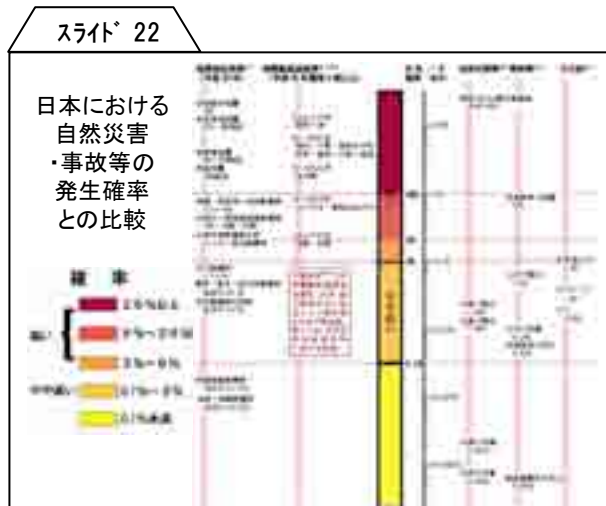
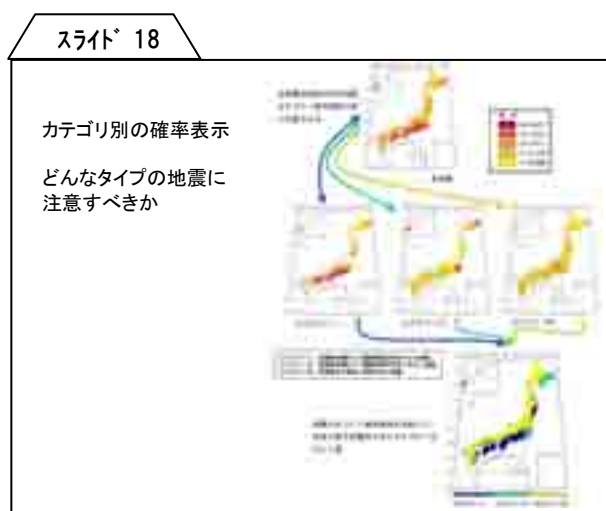
くくなっているといったこともあります。そこで、カテゴリーに分けて地震ハザードの大きさをそれぞれ示しています。カテゴリーⅠというのは、海溝型地震のうち震源断層を特定できる地震です。東海地震、東南海地震、南海地震といった地震があてはまります。カテゴリーⅡというのは、海溝型地震のうち震源断層を特定できない地震ですから、例えば東京の首都直下地震などがこれにあてはまります。カテゴリーⅢは、活断層などの陸域と海域の浅い地震です。カテゴリーⅠだけで計算すると、やはり当然南海トラフ沿いに大きな確率が計算されますし、カテゴリーⅡだと東京の直下の辺りが大きくなります。カテゴリーⅢでは、糸魚川・静岡構造線断層帯の確率が12%と大きいですから、こういったところが浮き上がってきます。このように地震のタイプを分解することによって、それぞれの地震のタイプでどのような確率で揺れがやってくるのかがわかります。

さらに、スライド18の一番下の図は、ある地域ではどのタイプが一番確率が大きいのかを表した図です。青はカテゴリーⅠ、緑はカテゴリーⅡ、黄色はカテゴリーⅢによる影響が一番大きいということです。

このほかに、都道府県ごとの表示もごさいますし、どういうふうにご利用したらいいかの例示もあって、非常にわかりやすいものなのですが、時間の関係で省かせていただきます。

さて、こういった確率をどのように理解するかということですが、先ほど3%以上を「高い」としていました。これは、例えば交通事故で負傷する確率が今後30年間で24%とか、空き巣狙いに入られるのが3%とか、火災で死傷するのが0.24%といった日常のリスクと比べて、大体3%以上は「高い」、0.1%以上は「やや高い」としています（スライド22）。けれども、実際に本当に皆さんが3%という確率を「高い」と思われているのか、私は疑問を持っています。

スライド23、24は、大学生100名を対象に行ったアンケート調査とその結果です。「あなたの住んでいる地域は、今後30年以内に震度6弱以上に見舞われる確率が〇%です」と言われたとして、例えば「5%と言われたときと、0%と言われたとき、5%の方が何





倍くらい危険に感じますか」といった形でアンケート調査をしました。

10%と言われたときと1%と言われたときでは、10%の方が単純に10倍になるはずなのですが、本当に10倍と感じているかというところではなく、例えば0%に対して0.1%や1%はほとんど変わりません、という結果です。2%だと1.5倍ぐらいの差しかない、5%だと2倍、10%だと10倍、20%なら20倍となっています（スライド24）。

こういうものの幾何平均を見ますと、この値は2%くらいまであまり変わりません。5%になるとこの値が2%の2倍弱ぐらいになります。5%と10%だと2.5倍ぐらいになります。なので、2%ぐらいまではあまり危機感を感じていらっしやらない。5%ぐらいになると危険を感じ始めてきて、10%になるとそれなりに危険を感じるということが言えると思います。これは結局、リスク認知の問題になるわけですが、こういったことも考慮に入れて、どういうリスクコミュニケーションをしたらいいのかを考えた方が良いのではないかと思います。

最後に、今後の課題についてですが、一つ目は「正確さ」です（スライド26）。今までは微地形区分を使っていますが、より詳細な地盤情報に基づいたより正確な方法も考えられます。そのためには地盤データを集めなければいけません。それから、今は震度や最大速度振幅の評価ですが、それだけでなくスペクトルを評価しましょう、とか、また、距離減衰式だけではなくて、地震動シミュレーション、地震学的なモデルで地震動を計算して、それで確率論的な評価をしましょう、既に原子力の世界ではこのようなこ

### スライド 23

#### 大学生100名へのアンケート調査（翠川、2009）

1. ある信頼できる機関から、「あなたの住んでいる地域は、今後30年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率が〇%です」と言われたとします。このとき、2つの確率の値（〇%の部分）を比べて、前者の方が後者に比べて、どのくらい（何倍くらい）危険に感じるかを下線部に回答して下さい。なお、「ほとんど同じくらい危険」と感じれば、「1倍」と記入することになります。また、小数点で回答してもかまいません（例えば、「2.4倍」など）。

- 5% と 0% を比べると、5%の方が \_\_\_ 倍くらい危険に感じる。
- 2% と 0.1% を比べると、2%の方が \_\_\_ 倍くらい危険に感じる。
- 10% と 1% を比べると、10%の方が \_\_\_ 倍くらい危険に感じる。

### スライド 24

表 リスク認知に関する一対比較行列

Total n=100	0%	0.1%	1%	2%	5%	10%	20%	幾何平均	ウェイト
0%	1	1	0.995	0.667	0.5	0.1	0.05	0.401	0.035
0.1%	1	1	0.909	0.667	0.25	0.182	0.1	0.431	0.038
1%	1.005	1.1	1	1	0.5	0.2	0.1	0.525	0.046
2%	1.5	1.5	1	1	0.667	0.222	0.1	0.615	0.054
5%	2	4	2	1.5	1	0.5	0.25	1.170	0.102
10%	10	5.5	5	4.5	2	1	0.5	2.766	0.242
20%	20	10	10	10	4	2	1	5.539	0.484
							計	11.45	1

2%までは0%に近い小さいリスクと捉えられている。確率が5%になると、2%の場合に比べてウェイトの値が1.9倍となり、リスクとして捉えられはじめています。確率が10%になると、5%の場合に比べてウェイトの値が2.4倍となり、さらに強くリスクとして捉えられている。

### スライド 26

#### 今後の課題(1)

##### 正確さ

- より詳細な地盤情報による地盤増幅度の評価
- 最大速度振幅や震度だけでなくスペクトルの評価
- 距離減衰式でなく地震動シミュレーションを用いた確率論的評価



JNES公開資料より

とが試みに行われていますが、こういったようなことが考えられます。

それから、これが大きな問題で「不確実さ」です（スライド27）。先ほど遠田先生もおっしゃったように、活断層の評価にはやはり不確実性がありますし、活断層の評価だけではなくても、いろいろな不確実性があります。ですから、それをどういうふうに取り扱うのかということです。一つにはロジックツリーという考え方があって、例えばこの活断層は300

年に1回起こるという評価もできるし、400年に1回起こるという評価もできるとします。今はそういった場合、350年という評価をしているわけですが、300年で起こる評価と400年で起こる評価をそれぞれ行って、そうしたさまざまなツリーについてハザードカーブを計算し、その平均的なものを計算する、こういったものも一つの不確実さを低減するやり方としてはあるでしょうし、他にもいろいろ考えていかなければいけないと思います。

最後に、「わかりやすさ」です（スライド28）。やはり確率というのはなかなかなじみがないものです。お天気でしたら学習ができて、大体、雨の確率が50%以上だったら「大きい傘を持っていきなさい」、30%なら「折りたたみ傘を持っていきなさい」とか、テレビのお天気お姉さんが言ってくれるわけです。これは、日常、毎日の体験で学習しているわけですがけれども、非常に低い確率の値は学習ができません。今は3%以上

を「高い」、0.1%を「やや高い」と言っていますが、先ほどのアンケートからいうと、2%ぐらいだと皆さんはそんなに危機感を感じていないようですね。ですから、どういう表現をするとより正確にリスクの大きさを伝えることができるのか、というその表現方法についても、やはりリスクコミュニケーションという面から考えていかなければいけないのではないかと思います。

これで私のお話を終わらせていただきます。ご清聴ありがとうございました。（拍手）

#### スライド 27

### 今後の課題(2)

#### 不確実さ

地震動予測地図は予想される地震動の平均像である。実際に起こるであろうものは、これにある幅をもったものであり、この不確実な部分をどのように評価していくか  
ロジックツリーの採用



坂本他(2006)より

#### スライド 28

### 今後の課題(3)

#### わかりやすさ

天気予報の確率なら毎日の体験で学習し理解できるが、低い確率の値の意味を理解することは難しい。  
地震動予測地図では、30年超過確率3%以上を高い、0.3%以上をやや高いとしているが、さらに分かり易い表現も必要であろう。



## 【質疑】

**質問者** 確率がなかなか直感的にわかりにくいというお話、まさに私も同感です。

私の専門は地震ではなくて河川なのですけれども、河川ではいわゆる国が管理している一級河川が109本あるわけですが、そこは100年確率で治水工事をやっています。1年に1回、どこかで切れてもおかしくないということなのですね。だけど、どこかで破堤すれば、新聞で大騒ぎになるわけです。けれども、私どもにいわせれば「ああ、確率どおりだったな」ということなのです。

ですから、確率というのはやはり非常にわかりにくい。特にこのように平面的に連続した土地に対する確率は、今の学生さんのアンケートもありましたし、私自身も非常にわかりにくいのですけれども、何かこのへんをもう少しわかりやすく表現する方法はないものかなと思って、今、お話を伺っていました。以上でございます。

**翠川** まさにそれが問題だということで、なかなかお答えしにくいのですが、例えば、確率の絶対値ではなく相対値を使う方法があります。この場所は別の場所よりも何倍危ない、といった言い方はよく使われます。例えば、たばこを吸っている人と吸わない人では、がんになる確率が何倍違うという話はよく出ますけれども、そこで確率の絶対値はあまり出てこないですね。ですから、そういう相対的な表現でリスクを喚起するというのも一つのやり方だと思いますし、その辺はこれからみんなで勉強していかなければいけないのではないかと思います。

