

事情聴取書

平成27年 11 月 9 日

福井地方裁判所 民事第2部 御中

弁護士 甫守 一樹



当職が、内山成樹弁護士とともに、平成27年10月17日午後3時頃より、東京大学地震研究所の瀨瀬一起教授の研究室において、瀨瀬一起氏と面談したところ、瀨瀬氏は以下のように話した。

1 添付の資料は、私が2015年地球惑星科学連合大会の講演で、主に2014年（平成26年）5月の大飯原発差止判決の、科学に係る問題についてコメントしたものです。

2 若干補足しますと、6ページ目に「標準的な想定において1260ガルあるいは700ガルを超える地震動を生成するような活断層も発見されていない」とありますが、あくまで「標準的な想定」ですので、既知の活断層からもこれらを超える地震動が発生する可能性は否定できません。その可能性がどれ位かというのを科学的観点から申し上げることは困難です。

「震源を特定して策定する地震動」で用いられている耐専式や強震動予測レシピ等については、倍半分程度の誤差は不可避です。この「倍半分の誤差」については、地震学者の経験的、感覚的なものなので、文献にはあまり書いていないと思いますが、例えば、お渡しした「強震動予測レシピに基づく予測結果のバラツキ評価の検討～逆断層と横ずれ断層の比較」（添付）という論文110頁左段中ほどには、「全パラメータの対数標準偏差はもともと値が大きい0.5sと1.0sの応答スペクトルで0.33～0.36の値となっている」と書いてあります。対数値ですので、 $10^{+0.33}$ とすると2.14倍、 $10^{-0.33}$ は1/2.14ですから、ほぼ倍半分です。この論文の筆者である山田雅行氏が所属するニュージェックは、原発関係の仕事を請け負う土木系コンサルタント会社ですから、強震動予測結果のばらつきを過大評価するということはほとんど考えられません。

「倍半分の誤差」については8、9割程度の地震学者の間では共有されている感覚だと思っています。

関電が主張しているという「不確かさの考慮」についてですが、地震については分からないことが多いので、無理をしても値を出すということを前提に「エイヤツ」で決めたものだと思います。

実際に起きた地震の地震動について、地震後判明したパラメータを用いても観測記録を完璧には再現出来ず、倍半分程度の誤差が生じるのが通常です。地震が起きる前では、個々のパラメータすべてが不確実ですので、倍半分程度の誤差に加えて、このパラメータが不確実なことによる誤差が加わり、地震動予測の不確かさはさらに大きくなります。

3 さらに大きな問題は、現状で分かっている敷地付近の活断層以外に活断層が存在しないということは、現在の科学のレベルでは断定することができないということです。大もとの活断層が想定できなければ、いくら地震動予測の精度を上げてもどうしようもありません。地震調査研究推進本部の2012年報告書に書かれている通り、2005年以降東日本大震災までに発生した被害地震のうち活断層型の地震は5件ありましたが、そのすべてが未知の活断層で発生しました。過去に原発で基準地震動を超過した5事例についても、平成17年の宮城県沖地震以外はすべて想定していなかった活断層または海溝型震源で生じた地震でした。(宮城県沖地震では震源の性質が想定外でした。)

4 「震源を特定せず策定する地震動」として、関電は、留萌支庁南部地震のHKD020観測点の実観測記録をほぼそのまま採用しているそうですが、それは起こったことをまとめるという意味では、リーズナブルでないとは言えないと思います。しかし、住民側が主張している通り、この地震の解析結果から判明した当該地震が生じさせた最大の地震動を「震源を特定せず…」とすることも、科学的、合理的と言えらると思います。審査ガイドが認識論的不確かさを考慮することをも定めているのだとしたら、解析結果から判明した最大の地震動を考慮するという審査ガイドの解釈も、十分成り立ちうるでしょう。

5 基準地震動の超過確率を考慮すれば、上記3の問題は解決するとする議論が行われていると仄聞しています。しかし、想定できない活断層や海溝型震源による地震動の確率を計算できるわけではありませんから、こうした議論は馬鹿げたことだと思います。現在、算出されている超過確率には想定外の地震の影響は含まれていません。また、超過確率を求める際のロジックツリー

での確率配分は、科学者のアンケート、すなわち主観で決まるわけですから、超過確率の算出方法自体も、完璧に科学的とは言えないと思います。

民間の保険会社は、地震保険を自立して営むことが出来ず、政府の再保険によって成り立っています。それだけ地震に関する確率の合理的な算出は難しく誤差が大きいということです。

6 高浜原発の仮処分決定は、少し筆が走り過ぎて、あたかも規制基準が科学的ではないかのようなことを書いてあり、科学者の無用な反発を買ったところがよくなかったと思います。基準地震動は、分かる範囲で、それなりに科学的な方法で、それなりに安全側に決められています。ただ、何とか耐震安全性評価を行わなければならないという前提で、割り切りを行って決めているのが現在の基準地震動ですから、原発の特別なリスクを考えると、それでいいのかという問題は当然ある訳です。これは科学で決められる問題ではありません。地震については分かっていないことが多く、地震動予測を行う力は限られているものですので、見方によっては地震動に関する適合性審査はすべて科学的に不十分ということになります。

7 福井地裁の高浜原発の決定と、鹿児島地裁の川内原発の決定を比べると、裁判官の科学についての理解度にずいぶん差があるように思います。福井地裁高浜原発の決定について若干批判的なことも言いましたが、現在の地震の科学における地震動予測の限界については、きちんと理解されているように思われます。よく勉強すると、福井地裁の裁判官のように、科学に限界があるということは分かるはずですが、鹿児島地裁の裁判官はその点の理解が足りないように見えました。

以上の内容で間違いありません。

綴 綴 一 起





大飯原発運転差止判決における 科学の問題

こうけつ かずき
瀬瀬 一起

東京大学 地震研究所

1

判決要旨

大飯原発3、4号機運転差止請求事件判決要旨

主 文

- 1 被告は、別紙原告目録1記載の各原告（大飯原発から250キロメートル圏内に居住する166名）に対する関係で、福井県大飯郡おおい町大島1字吉見1-1において、大飯発電所3号機及び4号機の原子炉を運転してはならない。
- 2 別紙原告目録2記載の各原告（大飯原発から250キロメートル圏外に居住する23名）の請求をいずれも棄却する。
- 3 訴訟費用は、第2項の各原告について生じたものを同原告らの負担とし、その余を被告の負担とする。

理 由

1 はじめに

ひとたび深刻な事故が起これば多くの人の生命、身体やその生活基盤に重大な被害を及ぼす事業に関わる組織には、その被害の大きさ、程度に応じた安全性と高度の信頼性が求められて然るべきである。このことは、当然の社会的要請であるとともに、生存を基礎とする人格権が公法、私法を問わず、すべての法分野において、最高の価値を持つとされている以上、本件訴訟においてもよって立つべき解釈上の指針である。

個人の生命、身体、精神及び生活に関する利益は、各人の人格に本質的なものであって、その総体が人格権であるといえる。人格権は憲法上の権利であり（13条、25条）、また人の生命を基礎とするものであるがゆえに、我が国の法制下においてはこれを超える価値を他に見出すことはできない。したがって、この人格権とりわけ生命を守り生活を維持するという人格権の根幹部分に対する具体的侵害のおそれがあるときは、人格権そのものに基づいて侵害行為の差止めを請求できることになる。人格権は各個人に由来するものであるが、その侵害形態が多数人の人格権を同時に侵害する性質を有するとき、その差止めの要請が強く働くのは理の当然である。

2

判決骨子

大飯原発3、4号機運転禁止請求事件判決骨子

- 1 原子炉で発生するエネルギーは極めて巨大であるため、運転停止後においても電気と水で原子炉の冷却を継続しなければならず、その間に何時間が電源が失われるだけで事故につながり、いったん発生した事故は時の経過に従って拡大していく。このことは、他の技術の多くが運転の停止という単純な操作によって、その被害の拡大の要因の多くが除去されるのとは異なる原子力発電に内在する本質的な危険である。しかも、大飯原発には地震の際の揺れやすさという機組及び閉じ込めるといった構造において次のような欠陥がある。
- 2 冷却機組の確保について
 - (1) 1260ガルを超える地震によって上記冷却システムは破損するが、地震の発生機序の分析は仮説に依拠せざるを得ないから大飯原発に1260ガルを超える地震が来ないという確たる根拠はない。
 - (2) 大飯原発に到来する危険性のある地震が基準地震動である700ガルをやや上回るものであり1260ガルに達しない場合、被告は適切な手段を打てばメルトダウンには至らないと主張する。しかし、適切な対応策をとるためにはいかなる事象が起きているのかを把握できていることが前提になるが、この把握自体が困難であることは福島原発事故の原因が未だに特定できていないことに照らしても明らかであること、仮に、事象を把握できたとしても、外部電源が断たれると同時に多量蒸気発生などに対処すべき事象は極めて多いのに対し、全交流電源喪失からメルトダウンまでは10時間もなく渡されている時間は限られていること等からすると、被告の主張は採用できない。
 - (3) これらに加えて、大飯原発においては基準地震動である700ガルを下回る地震によっても外部電源と供給水がともに断たれるおそれがある。
 - (4) 地震大国日本において基準地震動を超える地震が大飯原発に来ないという根拠はない上、基準地震動に満たない地震によっても重大な事故が生じ得る。こ

のような施設のあり方は原子力発電所が有する前記の本質的な危険性についてあまりにも単純である。

- 3 閉じ込め構造について
使用済み核燃料は使用済み核燃料プールと呼ばれる大槽内に置かれており、ここから放射性物質が漏れ出さないように閉じ込めておく堅固な設備は存在しない。福島原発事故においては、使用済み核燃料プールが危険な状況に陥り、この危険性ゆえに福島第一原発から250キロメートル圏内の住民に避難を勧告する可能性が検討された。震災事故はめったに起きないだろうという見通しのもとに上記の欠陥が成り立っているといわざるを得ない。
- 4 以上のとおり、大飯原発に係る安全技術及び設備は、確たる根拠のない楽観的な見通しのもとに初めて成り立ち得る脆弱なものである。
- 5 被告は大飯原発の稼働がコストの低減等になると主張するが、極めて多数の人の生存そのものに関わる権利と電気代の高い低いの問題等とを並べて論じるような議論に加わること自体、法的には許されないことである。また、被告は、原子力発電所の稼働が二酸化炭素の排出削減に資する旨主張するが、福島原発事故は我が国始まって以来最大の環境汚染であることに照らすと、環境問題を原子力発電所の運転継続の根拠とすることは甚だしい窮乏である。
- 6 以上の次第であり、原告らのうち、大飯原発から250キロメートル圏内に居住する者は、大飯原発の運転によって人格権が侵害される具体的な危険があると認められるから、これらの原告らの請求を認容する。

骨子1~4

- 骨子1~4で示されているのは、福島原発事故のような原発災害の「具体的な危険性が万が一でもあるのか」(判決全文より)についての裁判所の判断である。
- 「万が一の危険性」が判断の対象であることの根拠として、判決要旨及び全文では国民の人格権が挙げられている。
- 伊方原発最高裁判決における、原子炉規制法旧24条の趣旨に関する「放射性物質による災害が万が一にも起こらないようにするため」という判示も、別の根拠として挙げられている。
- これらは科学・技術的な問題ではないが、倫理的な問題でもなく、あえて言えば法理論的な問題である。
- これらにおいては緻密な議論を回避して結論を急いでしまっているという法律専門家の意見もある。

裁判所の判断が示された科学・技術的問題

- (1) ストレストテストで得られたクリフエッジ(それを超える地震動が来れば原発全体の安全機能が喪失するレベル)である1260ガルを超える地震動が万が一にも来ないと、確実な科学的根拠に基づいて想定することは不可能である。
- (2) ストレストテストの際に新たに算出された基準地震動(Sクラスの重要施設・設備の安全機能が保持されるレベル)である700ガルから、1260ガルまでの地震動が来る危険性があり、これに対して確実に対応策が取れるか否かについては、事象の把握困難・同時多発・訓練不能などの理由で万が一の危険性が存在する。
- (3) 耐震設計審査指針ではB・Cクラスの施設・設備に対して基準地震動で安全機能が保持されることを要求していない。従って、700ガル未満の地震動が来た場合でも、Sクラスに入っていない外部電源や主給水の設備の安全機能が失われる危険性がある。
- (4) 使用済み核燃料が置かれた使用済み核燃料プールは、原子炉に対する原子炉格納容器のような、放射性物質が漏れ出さないように閉じ込めておく堅固な設備が存在しないので、事故時に放射性物質が放出される危険性がある。

5

科学・技術的問題(1)と(2)

これらのうち(1)と(2)は万が一の危険性であり、大飯原発の敷地でそれらのレベルの地震動がこれまで観測されたことも、古文書などの記述があるということもない。また、標準的な想定において1260ガルあるいは700ガルを超える地震動を生成するような活断層も発見されていない。

しかし、それまで未知だった活断層が強い地震動を発生させた国内の例は、最近でも2003年宮城県北部地震、2004年中越地震、2005年福岡県西方沖地震、2007年能登半島地震、2007年中越沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震などが挙げられる。

これらの地震の中には震源域近傍で(1)のレベルの地震動を発生させたものもあるし、大飯原発以外の原発の敷地でその原発の基準地震動を超える地震動、つまり大飯原発の(2)に相当する地震動を発生させたものもある(能登半島地震・志賀原発)。

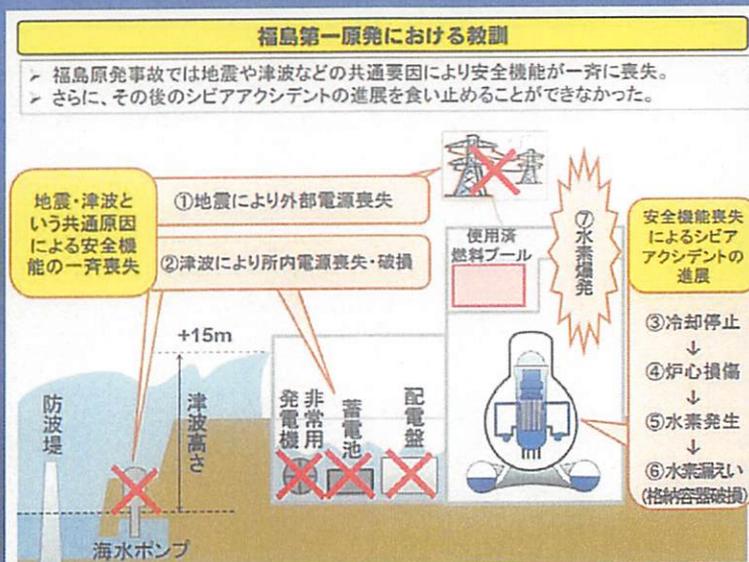
従って、たぶん経験科学的な類推ではあるが、(1)や(2)が起きないと科学的に否定することはできない。

しかし、確実にいつかは起こると科学的に立証することもできないから、結局、科学では決着が付けられない問題ではあるが、「危険を科学的に否定できない」=「万が一の危険性がある」と定義するならば、判決の根拠となり得るであろう。

6

科学・技術的問題(3)と(4)

- これに対して(3), (4)にはかなり確実な危険性があると考えられる。
- たとえば, (3)において700ガル未満の地震動が発生することはかなりの確率で起こり得ることであり, 外部電源の設備がそれにより被災することは同じくかなりの確率で起こり得ることである。
- 外部電源設備の被災は福島原発事故の原因のひとつであった。



7

科学・技術的問題(3)と(4)

この問題に関して, 規制委員会が行ったことは以下のことである。

自然現象以外の事象による共通要因故障への対策(その1)

➢ 自然現象以外に共通要因による安全機能の一斉喪失を引き起こす事象として、停電(電源喪失)への対策を抜本的に強化。

新基準と従来の基準との比較(電源)

	従来	新基準
外部電源	2回線(独立性の要求なし)	2回線(独立したものを要求)
所内交流電源	恒設2台(非常用ディーゼル発電機)	左記に加え、恒設1台追加、可搬式(電源車)2台追加、7日分の燃料を備蓄
所内直流電源	恒設1系統(容量は30分)	左記の容量増加(24時間)、可搬式1系統及び恒設1系統を追加(いずれも24時間分)

※上記の他、電源盤等についても共通要因で機能喪失しないことを要求

高台への電源車の配備(可搬式交流電源)

外部電源系の強化(独立した異なる2以上の変電所等に2回線以上の送電線により接続)

変電所 C

変電所 A

変電所 B

原子力発電所

変電所 D

変電所 E

変電所 A

変電所 B

原子力発電所

規制委員会の公開資料より

15

8

科学・技術的問題(3)と(4)

仮に600ガルの地震動が将来起こり得るとして、それにより外部電源設備が被災する確率が80%とすると、この設備を独立した2系統にしたとしても、それらが同時に被災する確率は $0.8 \times 0.8 = 0.64 = 64\%$ にしか減少しない。これに比べ、独立性のない2系統のままSクラスに格上げして0%に近い被災確率にする方がずっと危険性は小さい。従って、その判断は科学的に正しいように見える。

- このことを考えれば、これをもって大飯原発が事故を起こす危険性があるとすることは科学的に妥当であるように見える。
- 原子力規制委員会による新規制基準で、この問題に対して外部電源設備の重要度分類をSクラスに格上げするのではなく、Bクラスのままに独立した2系統の外部電源を用意させるとしていることは適切ではないと判断されていることになる。

高浜判決(仮処分要旨)(1)

平成26年(ワ)第31号 高浜原発3、4号機運転差し止め処分命令申立事件

主 文

- 1 債務者は、福井県大飯郡高浜町田ノ浦1において、高浜原発3号機及び4号機の原子炉を運転してはならない。
- 2 甲立費用は債務者の負担とする。

理 由 の 要 旨

1 基準地震動である700ガルを超える地震について

基準地震動は原発に発生することが想定できる最大の地震動であり、基準地震動を適切に想定することは、原発の耐震安全性確保の基礎であり、基準地震動を超える地震はあってはならないはずである。

しかし、全国で20箇所にも満たない原発のうち4つの原発に5回にわたり想定した地震動を超える地震が平成17年以後10年足らずの間に発生している。本件原発の地震想定が基本的には上記4つの原発におけるのと同様、過去における地震の記録と周辺の活断層の調査分析という手法に基づいてなされ、活断層の観測方法にも大きな違いはないにもかかわらず債務者の本件原発の地震想定だけが信頼に値するという根拠は見いだせない。

加えて、活断層の状況から地震動の強さを推定する方式の担当者である入会孝次郎教授は、新聞記者の取材に対して、「基準地震動は計算で出た一番大きな揺れの値のように思われることがあるが、そうではない。」「私は科学的な式を使って計算方法を提案してきたが、平均からずれた地震はいくらでもあり、観測そのものが間違っていることもある。」と答えている。地震の平均値を基礎として万一の事故に備えなければならない原子力発電所の基準地震動を算定することに合理性は見出し難いから、基準地震動はその実績のみならず理論面でも信頼性を失っていることになる。

基準地震動を超える地震が到来すれば、施設が破損するおそれがあり、その場合、甚悪の把握の困難性や時間的・制約の下、収束を図るには多くの困難が

伴い、炉心損傷に至る危険が認められる。

2 基準地震動である700ガル未満の地震について

本件原発の運転開始時の基準地震動は370ガルであったところ、安全余裕があるとの理由で根本的な耐震補強工事がなされることがないまま、550ガルに引き上げられ、更に新規制基準の実施を機に700ガルにまで引き上げられた。原発の耐震安全性確保の基礎となるべき基準地震動の数値だけを上げるという対応は社会的に許容できることではないし、債務者のいう安全設計思想と相容れないものと思われる。

基準地震動である700ガルを下回る地震によって外部電源が断たれ、かつ主給水ポンプが破損し主給水が断たれるおそれがあることは債務者においてこれを自認しているところである。外部電源と主給水によって冷却機能を維持するのが原子炉の本来的な姿である。安全確保の上で不可欠な役割を第1次的に担う設備はこれを安全上重要な設備であるとして、その役割にふさわしい耐震性を求めるのが健全な社会通念であると考えられる。このような設備を安全上重要な設備でないとする債務者の主張は理解に苦しむ。債務者は本件原発の安全設備は多重防護の考えに基づき安全性を確保する設計となっていると主張しているところ、多重防護とは堅固な第1層が突破されたとしてもなお第2層、第3層が控えているという備えの在り方を指すと解されるのであって、第1層の備えが脆弱なため、いまだり背水の陣となるような備えの在り方は多重防護の意義からはずれるものと思われる。

基準地震動である700ガル未満の地震によっても冷却機能喪失による炉心損傷に至る危険が認められる。

3 冷却機能の維持についての小括

日本列島は4つのプレートの境目に位置しており、全世界の地震の1割が我が国の国土で発生し、日本国内に地震の空白地帯は存在しない。債務者は基準地震動を超える地震が到来してしまった他の原発敷地についての地域的特性や

高浜判決(仮処分要旨)(2)

高浜原発との地域差を強調しているが、これらはそれ自体確たるものではないし、我が国全体が置かれている上記のような厳然たる事実の前では大きな意味を持つこともないと考えられる。各地の原発敷地外に幾たびか到来した激しい地震や各地の原発敷地に5回にわたり到来した基準地震動を超える地震が高浜原発には到来しないというのは根拠に乏しい楽観的見通しにしかすぎない上、基準地震動に満たない地震によっても冷却機能喪失による重大な事故が生じ得るというのであれば、そこでの危険は、万が一の危険という領域をはるかに超える現実的で切迫した危険である。

4 使用済み核燃料について

使用済み核燃料は我が国の存続に関わるほどの被害を及ぼす可能性があるが、格納容器のような堅固な施設によって閉じ込められていない。使用済み核燃料を閉じ込めておくための堅固な設備を設けるためには膨大な費用を要することに加え、国民の安全が何よりも優先されるべきであるとの見識つのではなく、深刻な事故はめったに起きないだろうという見通しのもとような対応が成り立っているといわざるを得ない。また、使用済み核燃料の給水設備の耐震性もBクラスである。

原子力規制委員会が設置変更許可をするためには、申請に係る原子炉施設が新規制基準に適合するとの専門技術的な見地からする合理的な審査を経なければならないし、新規制基準自体も合理的なものでなければならないが、その趣旨は、当該原子炉施設の周辺住民の生命、身体に重大な危害を及ぼす等の深刻な災害が万が一にも起こらないようにするため、原発設備の安全性につき十分な審査を行わせることにある(最高裁判所平成4年10月29日第一小法廷判決、伊方最高裁判決)。そうすると、新規制基準に求められるべき合理性とは、原発の設備が基準に適合すれば深刻な災害を引き起こすおそれが万が一にもないといえるような厳格な内容を備えていることであると解すべきことになる。しかるに、新規制基準は上記のとおり、緩やかにすぎ、これに適合しても本件原発の安全性は確保されていない。新規制基準は合理性を欠くものである。そうである以上、その新規制基準に本件原発施設が適合するか否かについて判断するまでもなく債権者が人格権を侵害される具体的危険性即ち被保全債権の存在が認められる。

11

川内判決 (仮処分骨子)

平成26年(簡第36号) 川内原発稼働等差止仮処分申立事件
決定骨子

- 1 川内原子力発電所1号機及び2号機(本件原子炉施設)の運転差止めを命ずる仮処分命令の申立てを却下する。
- 2 原子炉施設の安全性に関する判断の適否が争われる運転差止仮処分申立事件における裁判所の審理・判断は、福島第一原発における事故の経験をも踏まえた最新の科学的知見及び原子力規制委員会が作成した安全目標に照らし、同委員会が策定した新規制基準の内容及び同委員会が示した当該原子炉施設に係る新規制基準への適合性判断に不合理な点があるか否かという観点から行われるべきである。
- 3 新規制基準は、最新の調査・研究を踏まえ、専門的知見を有する原子力規制委員会が相当期間・多数回にわたる審議を行うなどして定められたものであり、最新の科学的知見等に照らし、その内容に不合理な点は認められない。
- 4 債務者は、新規制基準に従って、敷地周辺の地震・地質等に関する詳細な調査を実施した上で、将来の自然現象の予測に伴う「不確かさ」を相当程度考慮して基準地震動を定め、本件原子炉施設の耐震設計を行っているものと認められるから、原子力規制委員会が示した新規制基準への適合性判断に不合理な点は認められない。
債権者は、耐震設計等で安全上の余裕を確保するとともに、多重防護の考え方に基づく安全確保対策や福島第一原発における事故を踏まえた重大事故対策を施しており、これらの債務者の取組等も本件原子炉施設の耐震安全性の確保に寄与するものと評価できる。
債権者は、本件原子炉施設には大規模な地震が発生した場合の「冷やす」機能及び「閉じ込める」機能の維持について重大な欠陥があると主張するが、このような欠陥に基づく事故の発生が避けられないと認めるに足りる的確な確拠はないといわざるを得ない。
- 5 債務者は、新規制基準に従って、各種調査を実施した上で、火山事象により本件原子炉施設が受ける影響を評価していることが認められ、その評価は火山学の知見により一定程度裏付けられているといえるから、原子力規制委員会が示した新規制基準への適合性判断に不合理な点は認められない。
- 6 本件原子炉施設周辺の地方公共団体が策定した避難計画を含む緊急時対応は、現時点において一応の合理性、実効性を備えているものと認められる。
- 7 以上のとおり、債権者が本件原子炉施設の運転に当たって具体的危険性があると主張する点を検討しても、債権者らの人格権が侵害され又はそのおそれがあると認めることはできないから、本件仮処分命令の申立てには理由がない。

以上

12

強震動予測レシピに基づく 予測結果のバラツキ評価の検討 ～逆断層と横ずれ断層の比較～

山田 雅行¹・先名 重樹²・藤原 広行³

¹株式会社 ニュージェック 技術開発グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東二丁目3番20号)

²独立行政法人 防災科学技術研究所 防災システム研究センター (〒305-0006 つくば市天王台3番1号)

³独立行政法人 防災科学技術研究所 防災システム研究センター (〒305-0006 つくば市天王台3番1号)

レシピに基づいて強震動予測を行う場合、予測結果が震源パラメータのバラツキによってどの程度のバラツキを有するのかを評価する手法について検討を行った。「バラツキ」を考慮するパラメータとして、アスペリティの位置と破壊開始点、アスペリティの強度(平均すべり量の比)、アスペリティの強度(応力降下量)、破壊伝播速度を考慮した。特定サイト、空間分布ともにアスペリティの強度(応力降下量)によるバラツキが大きな値となることがわかったが、逆断層、横ずれ断層の結果において大きな差異は見られなかった。

Key Words : *Recipe for Strong-motion Prediction, Predicted Ground Motions, Stochastic Green's Function Method, Attenuation Relation*

1. はじめに

経験的グリーン関数法、統計的グリーン関数法、ハイブリッド法といった、震源・伝播経路・サイトの影響を物理的に考慮して、将来発生する地震の強震動を予測する(「断層モデルを用いた強震動予測」と呼ばれる場合もあるが、以下では簡単のため「強震動予測」と略す)方法は、平成7年兵庫県南部地震を契機として、急速に研究が進められてきた。今日では、このような強震動予測は土木・建築構造物に対する設計入力地震動の評価^{1,2)}、国や自治体の被害想定^{3,4)}など、広く利用される傾向にある。

この強震動予測を精度よく行うには、震源・伝播経路・サイトの影響を精度よくモデル化しなければならない。伝播経路⁵⁾、サイト⁶⁾および既往地震の震源⁷⁾については、地震観測データに基づいて、その特性が詳細に求められているものも見られる。しかし、近代の地震観測によって精緻な地震記録が得られていない地震の震源については、その地表近くでの位置、大きさ、

変位量が明らかにされている程度で、強震動予測を行うための詳細な震源パラメータの設定には多くの不明確な要素が残存している。こうした状況下で、強震動予測手法の標準化を目指し、「強震動予測レシピ」^{8,9)}(以下、「レシピ」と略す)が提案されている。「レシピ」では、震源の面積と地震モーメントの関係や短周期レベルと地震モーメントの関係など、主要な部分に経験式が用いられており、その経験式は過去の観測データの回帰により求められていることが多い。このため、「レシピ」にしたがって設定した震源パラメータは「平均的な」値となり、その値に対するバラツキを有していることになる。すなわち、設定した震源パラメータによって予測された地震動も「平均的な」値となり、その値に対するバラツキを有しているということになる。このように強震動予測では、設定する震源パラメータが一意的に決定できるものではないため、そのバラツキのために予測された地震動もバラツキを生じることがわかる^{例えば、10)}。

これまで、著者らは森本・富樫断層帯を例にレシピ

表-1 “バラツキ”の分類

	Aleatory variability (偶発的バラツキ)		Epistemic uncertainty (認識論的不確定性)	
	定義	具体化表現	定義	具体化表現
Modeling モデル化	①モデル化しない(できない)ことによって生じる偶発的バラツキ	震源特性、伝播経路特性、サイト特性のモデル化がどれだけ適切かということになる。距離減衰式による強震動予測と比べて影響は比較的小さいものと考えられる。	③モデル化の違いによる認識論的不確定性	判断の違い、用いる手法、用いる経験式の違いなどを意味し、確率論的な地震動評価ではロジックツリーとして表現されることが多い。
Parametric パラメータ設定	②真値が存在しない(地震発生までわからない)ことによる偶発的バラツキ	強震動予測における入力パラメータ値の“バラツキ”であり、一般に言われる“バラツキ”はこれを指すことが多い。通常、予測モデルにおいては確率変数により表現され、確率論的な地震動評価におけるハザードカーブの計算に用いられる。	④知識やデータが不足していることに起因する認識論的不確定性	例えば、震源パラメータでは断層の位置、走向、傾斜で、地質調査・地質解析データの多少によって、その精度は異なったものとなる。また、本論文では検討対象としていないが、地下構造に関する不確定性もここに含まれる。

表-2 震源パラメータ一覧

巨視的震源パラメータ	微視的震源パラメータ	その他のパラメータ
基準点位置(緯度・経度)	アスペリティの数 ②③	破壊伝播速度 ②③
走向・傾斜	アスペリティの位置 ②③	破壊開始点 ②③
長さ・幅(面積)	アスペリティの面積 ②③	破壊形態 ②③
断層上端深さ (地震モーメント (平均すべり量) (平均応力降下量)	アスペリティの地震モーメント ②③ (アスペリティの平均すべり量) アスペリティの平均応力降下量 ②③ (背景領域の地震モーメント) (背景領域の平均すべり量) (背景領域の平均応力降下量) f_{max} ②③ (ライズタイム)	

※ ②: パラメータ設定における偶発的バラツキ, ③: モデル化における認識論的不確定性
 ※※0: レンビにおいて他のパラメータに連動して変化するパラメータ

表-3 短周期レベルのバラツキを算定した地震一覧

内陸地震	M_0 (dyne·cm)	A (dyne·cm/s ²)
1992 Landers	7.50E+26	1.15E+26
1978 Tabas	5.80E+26	1.45E+26
1989 Loma Prieta	3.00E+26	1.70E+26
1995 Hyogo-Ken Nambu	2.40E+26	6.20E+25
1983 Borah Peak	2.30E+26	2.81E+26
1985 Nahanni	1.50E+26	1.81E+26
1994 Northridge	1.10E+26	1.80E+26
1985 Nahanni	1.00E+26	2.81E+26
1979 Imperial Valley	5.00E+25	3.77E+25
1986 North Palm Springs	1.80E+25	7.40E+25
1987 Whittier Narrows	1.00E+25	9.88E+25
1979 Coyote Lakes	3.50E+24	2.84E+25

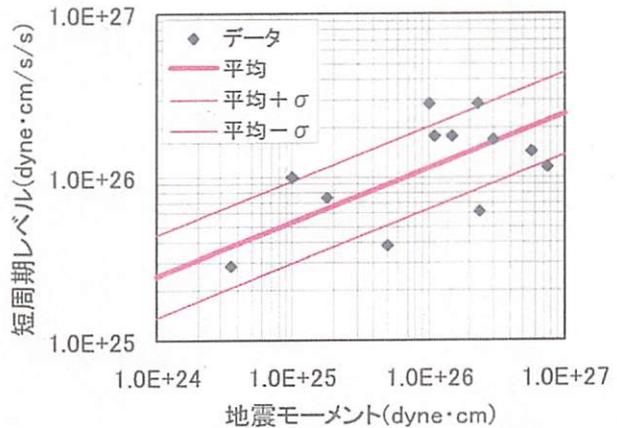


図-1 短周期レベルのバラツキの算定結果

に基づいた強震動予測におけるバラツキの評価手法について検討を行ってきた。本稿では、地震基盤における地震動の比較を行うことから、森本・富樫断層帯を参考に仮定の逆断層と横ずれ断層を想定し、そのバラ

ツキの違いについて検討を行った。なお、ここでは「バラツキ」を考慮するパラメータとして、アスペリティの強度(応力降下量)を追加するものとし、統計的グリーン関数法について述べることにした。

2. 震源パラメータのバラツキ評価

(1) “バラツキ” の分類

強震動予測における“バラツキ”は既往の研究¹¹⁾によって偶発的バラツキと認識論的不確定性に分類されている。さらに、それぞれをモデル化とパラメータ設定に分類し、表-1に示すように4種類に分類されている。

これは、距離減衰式を基本とする確率論的ハザード解析を念頭に分類されたものであるが、震源・伝播経路・サイトの影響を物理的に考慮した強震動予測に対しても適用することができる。強震動予測を念頭において、具体化を行った結果を表-1に併記した。

(2) バラツキ評価の対象とする震源パラメータの選定

強震動予測を行う場合に設定しなければならない震源パラメータを、「地震調査研究推進本部地震調査委員会：森本・富樫断層帯の地震を想定した強震動評価について¹²⁾」に倣って整理した結果を表-2に示す(カッコは他のパラメータに連動して変化するパラメータを示す)。ただし、応力降下量に関しては、短周期帯域の検討において地震モーメントと独立と考えて、連動しないパラメータに見直した。

ここでは、レシピに基づいた強震動予測について検討を行うことから、モデル化に関しては「レシピ¹⁰⁾に従う」という前提条件を設けることができる。これより、分類①の偶発的バラツキと微視的パラメータおよびその他のパラメータの分類④の認識論的不確定性については無視するものとした。一方、巨視的震源パラメータに関しては、活断層の長期評価¹³⁾に従って設定しているため、これも前提条件と考えることができる。すなわち、巨視的震源パラメータに対して支配的と考えられる分類④の認識論的不確定性を無視するという判断を行い、巨視的震源パラメータに関しては、“バラツキ”を考慮しないものとした。これらの前提条件に基づいて、各震源パラメータを表-1の分類に従って分類した結果(①~④)を表-2に併記した。なお、レシピにおいて他のパラメータに連動して変化するパラメータは分類をしなかった。さらに、表-1の微視的震源パラメータのうち、アスペリティの数、アスペリティの面積は、本来自然現象としては分類②の偶発的バラツキとして分類される“バラツキ”を含んでいると考えられる。しかし、レシピに従ったパラメータ設定では、アスペリティの数は1個または2個とされ、“バラツキ”を表現することができないことに加え、アスペリティの面積は後述のように短周期レベルの関数とされており、その“バラツキ”は短周期レベルとトレ

ードオフを生じることになることから、ここでは分類③の認識論的不確定性が支配的であるものと考えた。また、その他のパラメータのうち、破壊形態についても同様であると考えられる。

本論文ではレシピに基づく強震動予測を用いて確率論的評価を行うことを念頭におき、そのハザードカーブの計算に用いる「パラメータ設定における偶発的バラツキ」に主眼をおいている。したがって、分類③に位置付けられたアスペリティの数、アスペリティの面積、破壊形態といった本来ロジックツリーとして取り扱うパラメータについては、本論文で扱うバラツキ評価の対象とせず、アスペリティの位置、アスペリティの強度(アスペリティの地震モーメントなど)、破壊伝播速度、破壊開始点を対象として選定するものとした。

なお、 f_{max} については、“バラツキ”の分類は②が支配的であると考えられるが、その値自体が研究途上であることから、ここではその取り扱いについて言及しないこととした。また、アスペリティの数は1個、アスペリティの面積は短周期レベルより求まる値、破壊形態は同心円状に設定して検討を行うこととした。

(3) 震源パラメータのバラツキの評価

(2)節で選定した震源パラメータのバラツキの評価は、大きく2種類のパラメータ群に分けて行った。1つ目は、震源パラメータの設定値に明確な根拠が与えられず、かつ設定値がある範囲に限定されるアスペリティの位置と破壊開始点で、震源断層内に一律な確率で存在するものと考えた。ただし、破壊開始点はアスペリティよりも深部に存在するという既往の研究結果^{14), 15)}に基づいて、ここでは破壊開始点はアスペリティ位置とは無関係に、断層下端の3箇所(両端と中央)にランダムに配置するものとした。2つ目は、震源パラメータの設定値がレシピの経験式によって与えられるアスペリティの強度と破壊伝播速度で、これらは経験式が求められた際のバラツキを震源パラメータのバラツキとして与えることとした。

レシピによると、短周期レベルからアスペリティの面積を求め、断層全体とアスペリティの平均すべり量の比からアスペリティの地震モーメント、一方、短周期レベルとアスペリティの面積からアスペリティの応力降下量が決定される。アスペリティ強度はアスペリティの地震モーメント、応力降下量の2つのパラメータで規定され、山田ら¹⁶⁾ではアスペリティの面積を対象外と判断したため、アスペリティの地震モーメントのみと考えた。本論文では、アスペリティの地震モーメントすなわち平均すべり量の比は石井ほか¹⁷⁾に記されている平均値(2.0)および標準偏差(0.6)を用いる

表-4 バラツキを与える震源パラメータ

パラメータ	記号	平均値の設定方法	バラツキの設定方法
アスペリティの位置	—	活断層で発生する地震の場合、活断層の変位量の分布をもとに「推定」または「仮定」	一様分布
アスペリティの強度 (平均すべり量の比)	D_a/D	$D_a/D=2.0$ (石井ほか, 2000) ¹⁵⁾	正規分布, 標準偏差 0.6 (石井ほか, 2000) ¹⁵⁾
アスペリティの強度 (短周期レベル)	$\log(A/(M_0^{1/3}))$	$\log(A/(M_0^{1/3}))=17.391$ (壇ほか, 2001) ¹⁶⁾	正規分布, 標準偏差 0.254
破壊伝播速度 (V_r と V_s の比)	V_r/V_s	$V_r/V_s=0.694$ (宮腰ほか, 2005) ¹⁷⁾	正規分布, 標準偏差 0.078 (宮腰ほか, 2005) ¹⁷⁾
破壊開始点	—	アスペリティ下端とすることが多い	アスペリティの位置と連動 ^{18), 19)} (アスペリティ下端に固定)

D_a : アスペリティの平均すべり量 (cm), D : (震源全体の) 平均すべり量 (cm), V_s : S波速度 (km/s), V_r : 破壊伝播速度 (km/s)

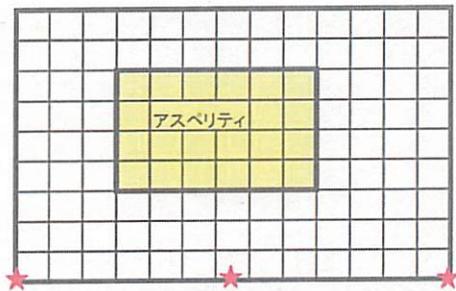


図-2 アスペリティの位置と破壊開始点

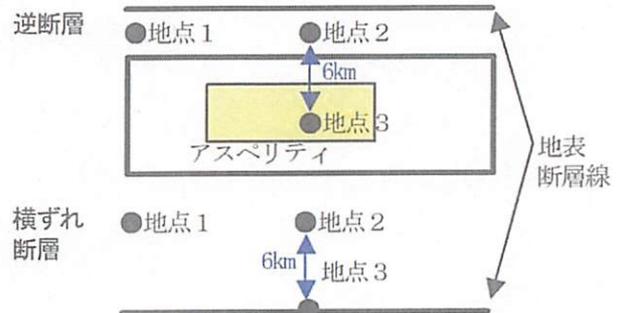


図-3 パイロットポイント(断層は地表に投影した図を示す)

こととし、アスペリティの応力降下量はアスペリティの面積は一定とみなして、短周期レベルによってバラツキを生じるものとして取扱うこととした。短周期レベルのバラツキは表-3¹⁸⁾の地震に対して、図-1のように標準偏差(0.254)を求めた。

一方、破壊伝播速度(V_r)に関して、S波速度(V_s)との比 V_r/V_s は、山田ら¹⁹⁾に示すように、その標準偏差を V_r/V_s のバラツキを表す値とした。表-4に各震源パラメータのバラツキ評価結果の一覧を示す。

(4) サンプリング方法

まず、アスペリティの位置と破壊開始点であるが、前節に示すように震源断層内に一様な確率で存在するものと考えたこととした。これには、一様乱数を用いてランダムサンプリングを行うのではなく、アスペリティの位置の考え得るケースを可能な限り均等にサンプルと考えるものとする。

今回の対象断層の震源モデルでは13×9分割の離散化したモデル化がなされている。アスペリティを1個と考えると、アスペリティの大きさは6×4分割分となり、図-2に示した位置を基本ケースとし、黄色で示したアスペリティを走向方向に8、傾斜方向に5通り移動させて、40通りのサンプルが可能となる。

次に、アスペリティの強度(平均すべり量の比、短周期レベル)および破壊伝播速度については、そのバラツキが平均値と標準偏差によって表され正規分布に従うと仮定されており、山田ら¹⁹⁾に従ってLHS(Latin Hypercube Sampling)²⁰⁾による100個のサンプリングが合理的であると判断した。

3. 強震動予測結果のバラツキ評価

強震動予測結果のバラツキ評価の検討を行った。ここでは、地震調査研究推進本部地震調査委員会から強震動評価が公開されている森本・富樫断層帯をモデルとした仮想の断層(逆断層、横ずれ断層)を対象に、2章に示したように震源パラメータのバラツキを与え、地震調査委員会の詳細法^{12), 21)}のうち短周期帯域(～1.0s)の統計的グリーン関数法を用いて $V_s=3000\text{m/s}$ の地震基盤における強震動予測を行い、それぞれの結果のバラツキの評価を行った。

表-5 基本震源パラメータ¹²⁾

パラメータ	記号	逆断層	横ずれ断層	単位	
巨視的震源特性	断層総面積	S	468	468 km ²	
	地震モーメント	M0	1.218E+19	1.218E+19 Nm	
	地震規模	Mw	6.66	6.66	
	短周期レベル	A	1.220E+19	1.220E+19 Nm/s ²	
	走向	str	N0.0° E	N0.0° E	
	傾斜角	dip	45° E	90° E	
	平均滑り量	D	80.54	80.54 cm	
	滑り方向	Rake	90.0°	0.0°	
	断層上端深さ	dep	3	3 km	
	断層面の長さ	L	26	26 km	
	断層面の幅	W	18	18 km	
	断層面積	S	468	468 km ²	
微視的震源特性	地震モーメント	M0a	4.747E+18	4.747E+18 Nm	
	面積	Sa	91.18	91.18 km ²	
	平均滑り量	Da	161.08	161.08 cm	
	静的応力降下量	$\Delta\sigma_a$	15.05	15.05 MPa	
	短周期レベル	A	1.220E+19	1.220E+19 Nm/s ²	
	地震モーメント	M0b	7.436E+18	7.436E+18 Nm	
	面積	Sb	376.82	376.82 km ²	
背景領域	平均滑り量	Db	61.05	61.05 cm	
	実効応力	$\Sigma\sigma_b$	3.025	3.025 MPa	
	その他の震源特性	アスペリティ位置	中央		
		アスペリティ深さ	上端		
		破壊開始点の深さ	アスペリティ下端中央		km
破壊様式		同心円上			
破壊伝播速度		2.4 ($\beta=3.46$ の69.4%)		km/s	
Fmax		6		Hz	
震源時間関数	中村・宮武(2000)による				

(1) 想定断層の基本震源パラメータ

地震調査委員会¹²⁾に倣って、想定断層(逆断層・横ずれ断層)の基本震源パラメータの設定を行った。基本震源パラメータの一覧を表-5に示す。なお、ここでは逆断層・横ずれ断層に対する予測結果の比較を容易にするため、両者の断層面積(幅)を等しく設定した。

(2) 特定サイトにおける強震動予測結果のバラツキ評価

通常、バラツキを有するデータの整理は、ヒストグラムを作成し、そのヒストグラムに例えば正規分布などの適当な分布形状を近似的にあてはめ、その分布形状を規定する値(正規分布の場合は平均値と標準偏差)によって行われる。選定したサイト(特定サイト)における強震動予測結果のバラツキ評価についても、強震動予測結果のヒストグラムを求め、それを近似する分布形状をあてはめ、その分布の特性値によって整理することを基本と考える。

しかしながら、強震動予測結果は時刻歴波形として

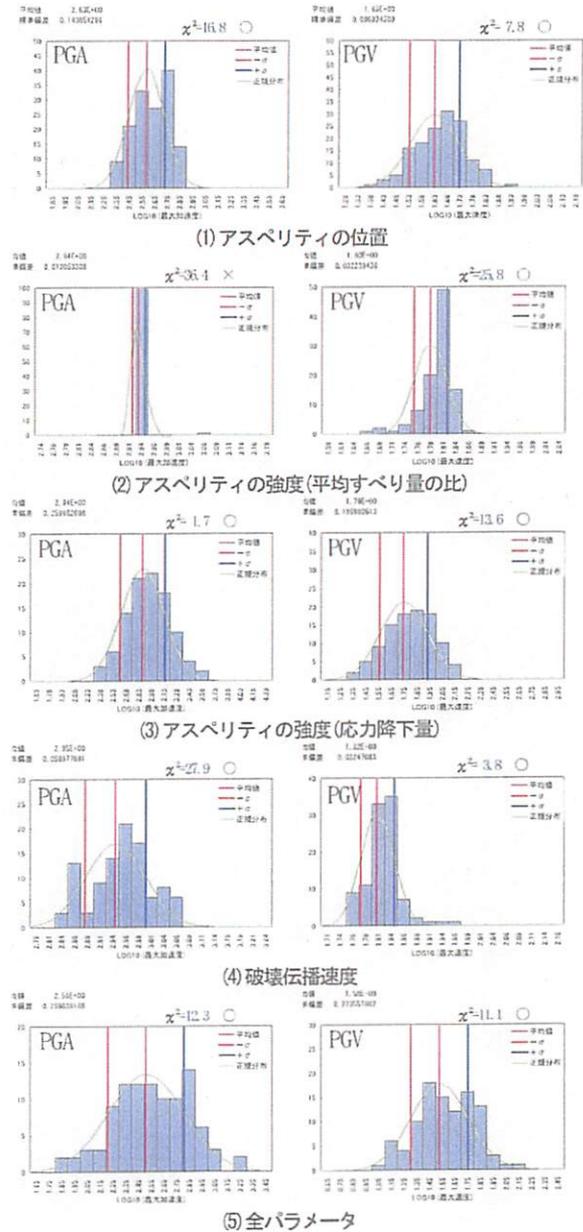


図-4 強震動予測結果のヒストグラム(逆断層)

得られており、ヒストグラムを作成する指標は、時刻歴波形を含め、PGA, PGV, 加速度応答スペクトル, フーリエスペクトルなどさまざまな指標が考えられる。ここでは、①時刻歴波形の代表値として一般に用いられており、②周波数別の特徴を表現することができ、③物理的意味の明確さ、という観点から、PGA, PGVを、ヒストグラムを作成する指標として選定した。

想定断層に対して、図-3に示したパイロットポイントのうち地点2を対象地点として、ヒストグラムの作成および正規分布による近似を試みた結果を図-4, 図-5に示す。図-4, 図-5の各ヒストグラムの右上には χ^2 の値を併記した。各ヒストグラムの χ^2 値が、データ区間(自由度)19, 有意水準5%の χ^2 の基準値30.1を下回れば(青字および○印), サンプルング(ヒストグラ

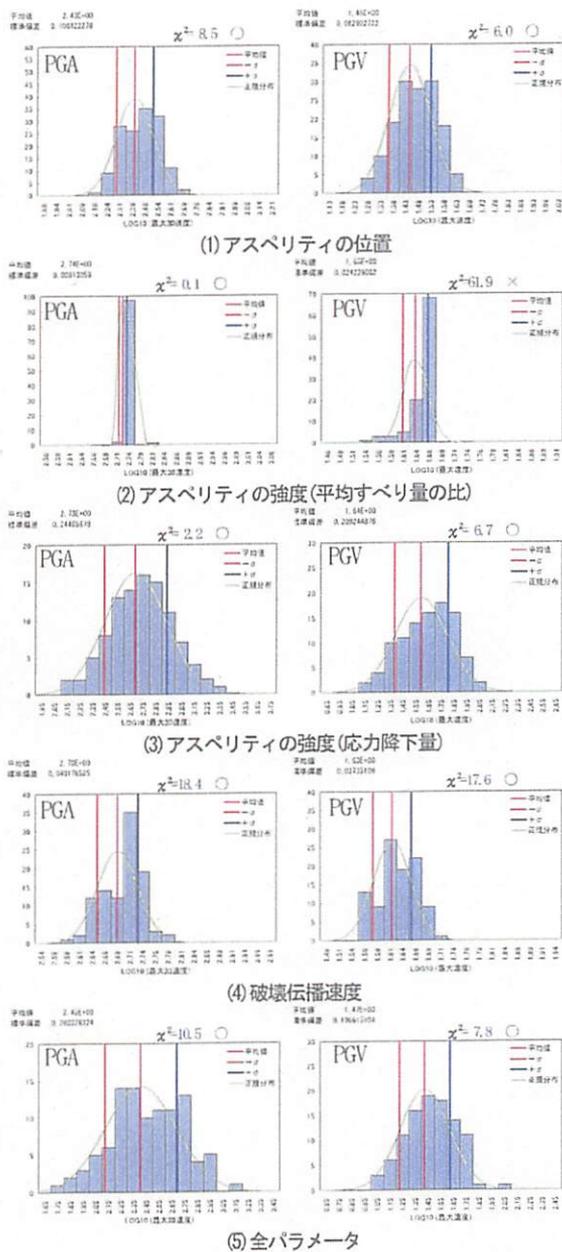


図-5 強震動予測結果のヒストグラム(横ずれ断層)
 (1)アスペリティの位置
 (2)アスペリティの強度(すべり量の比)
 (3)アスペリティの強度(応力降下量)
 (4)破壊伝播速度
 (5)全パラメータ

図-5 強震動予測結果のヒストグラム(横ずれ断層)が正規分布に一致するという帰無仮説が棄却されず、すなわち両者が一致していると判断できる。逆断層はアスペリティの強度(すべり量の比)のPGA、横ずれ断層はアスペリティの強度(すべり量の比)のPGVにおいて、 χ^2 の値が基準値を上回っているが、それ以外は χ^2 検定(5%水準)を用いて正規分布で近似できると判断できることがわかる。

(3) 面的な強震動予測結果のバラツキ評価

対象地点が面的に分布している場合は、強震動予測結果のバラツキを地点ごとに詳細に評価するだけでなく、そのバラツキの空間分布の傾向を視覚的に捉えることが重要であると考えられる。そこで、対象領域内におけるPGA、PGV、加速度応答スペクトル(0.2, 0.5,

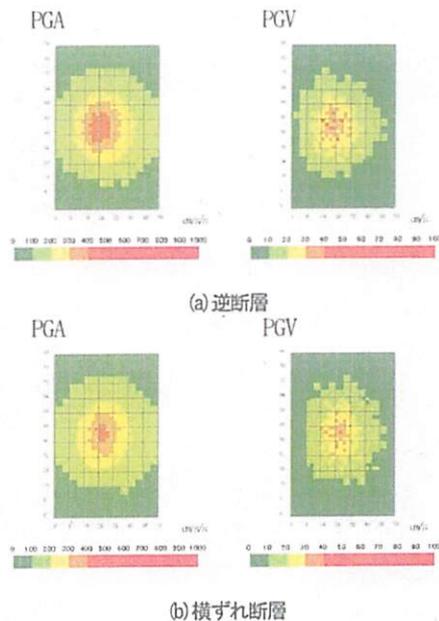


図-6 PGA、PGVの平均値の空間分布

1.0s)の対数標準偏差の空間分布図によって、評価することとする。また、バラツキの空間分布およびある閾値以上の面積に対してヒストグラムを作成し、さらにその平均値と標準偏差を求めることができる。これは、強震動予測対象エリア内を包括したバラツキの評価を定量的に行う際に用いることができる。

まず、逆断層、横ずれ断層に対して、強震動予測を行った結果のPGA、PGVの平均値の空間分布を図-6に示す。ここでは全パラメータを変化させた場合の平均値を表示した。次に、(1)アスペリティの位置と破壊開始点、(2)アスペリティの強度(すべり量の比)、(3)アスペリティの強度(応力降下量)、(4)破壊伝播速度、(5)全パラメータを変化させた場合について、地震動評価指標のバラツキの対数標準偏差(常用対数)の空間分布図を作成した(図-7、図-8)。図-9、図-10に空間分布から得られたPGA、PGVのヒストグラムを示す。図-11、図-12に空間分布から得られたPGA、PGVがそれぞれ150gal、15kineを超える面積のヒストグラムを示す。

逆断層、横ずれ断層に対する空間分布図からは、以下の点を読み取ることができる。

- ・逆断層と横ずれ断層のPGA、PGVの平均値の空間分布および対数標準偏差の分布は大局的にみるとよく似ていることがわかる。
- ・対数標準偏差の大きさは、アスペリティ強度(応力降下量)が最も大きく、アスペリティの位置と破壊開始点、破壊伝播速度と続いている。
- ・ただし、アスペリティ強度(応力降下量)の対数標準偏差の分布はサイトの位置によらず一定になっている。
- ・したがって、全パラメータの対数標準偏差の分布

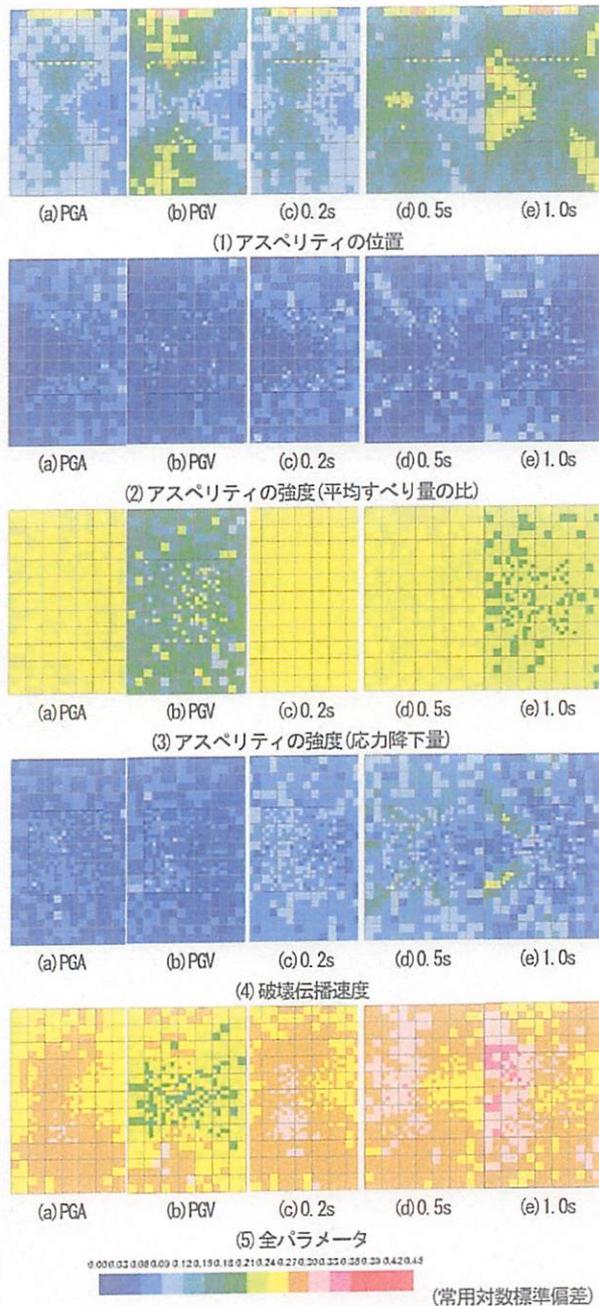


図-7 バラツキの対数標準偏差の空間分布(逆断層)

において、値はアスペリティ強度(応力降下量)とアスペリティの位置と破壊開始点に依存するが、分布形状はアスペリティの位置と破壊開始点が支配的である。

- ・全パラメータの対数標準偏差は最も値が大きい0.5sと1.0sの応答スペクトルで0.33~0.36の値となっている。

バラツキの空間分布に対するヒストグラムからは、次の点を読み取ることができる。

- ・PGAのバラツキは逆断層、横ずれ断層(全パラメータ)とも、0.26~0.31の範囲で分布しており、平均値はそれぞれ0.278, 0.276である。

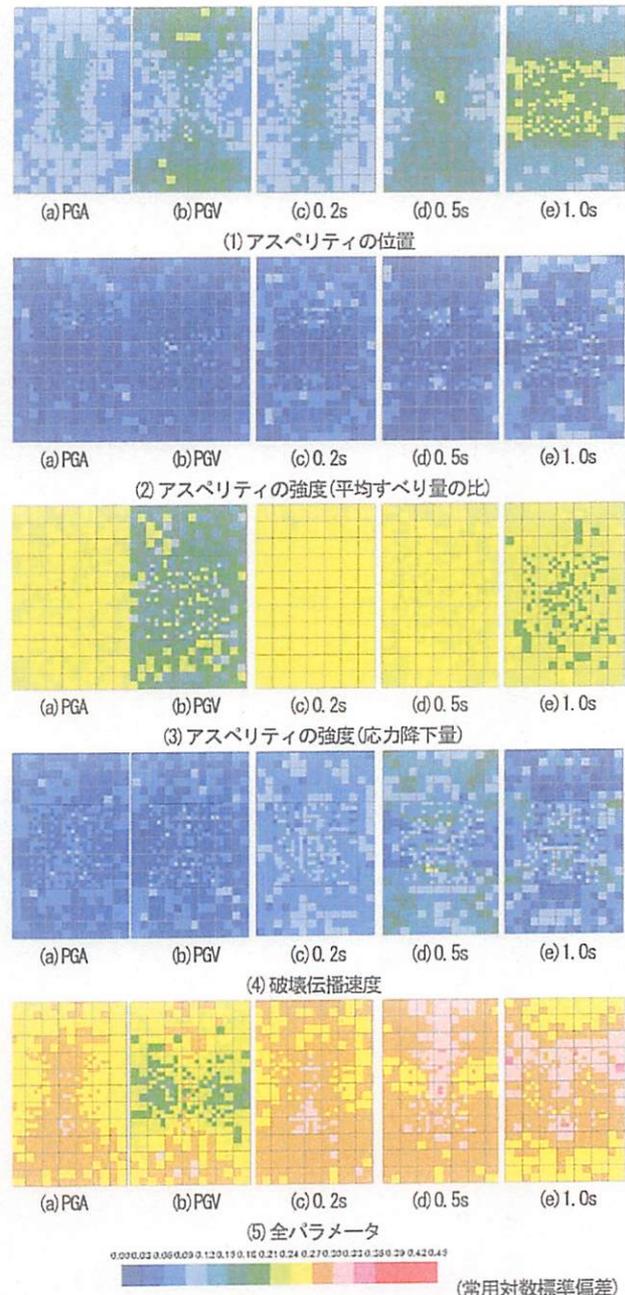
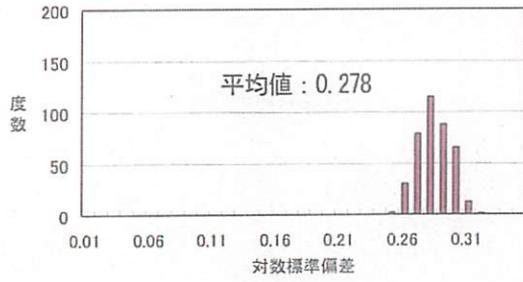


図-8 バラツキの対数標準偏差の空間分布(横ずれ断層)

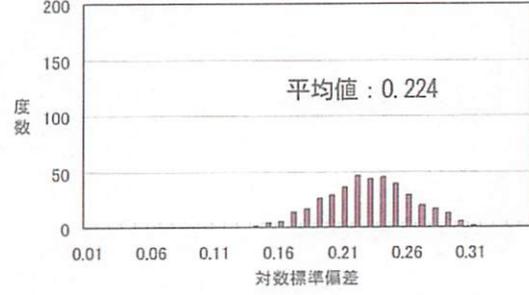
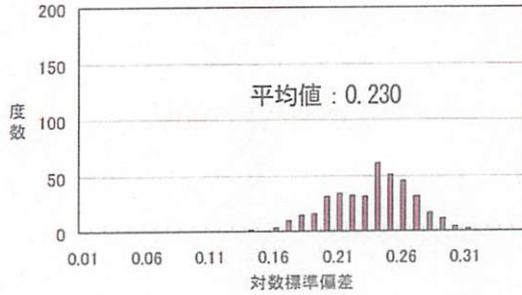
- ・PGVのバラツキは逆断層、横ずれ断層(全パラメータ)とも、0.16~0.31の範囲で分布し、平均値はそれぞれ0.230, 0.224となっている。

PGA, PGVがそれぞれ150gal, 15kineを超える面積のヒストグラムからは、次の点を読み取ることができる。

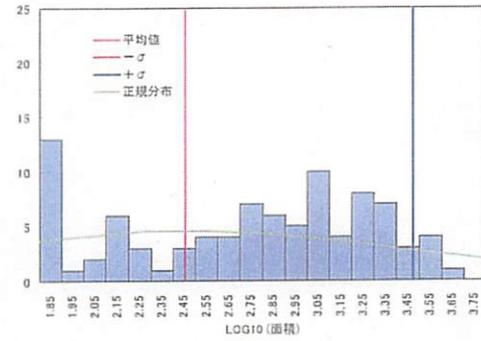
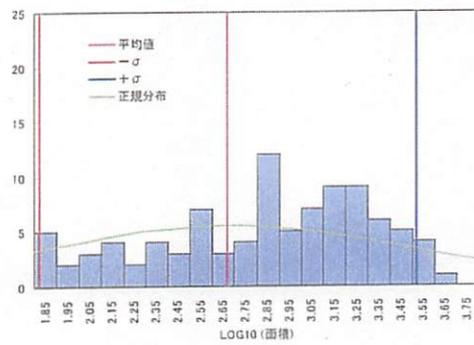
- ・PGAが150galを超える面積のバラツキは大きく、逆断層(全パラメータ)が平均値2.68(479km²)に対して標準偏差が0.80, 横ずれ断層(全パラメータ)が平均値2.47(295km²)に対して標準偏差が0.97となる。
- ・PGVが15kineを超える面積のバラツキは逆断層(全パラメータ)が平均値2.91(813km²)に対して標準偏



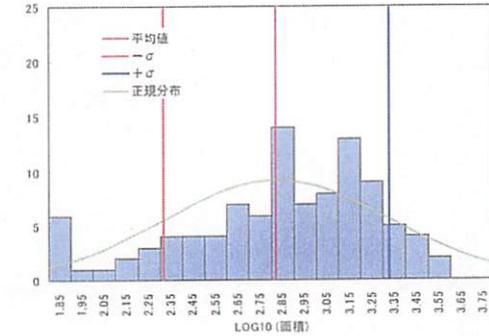
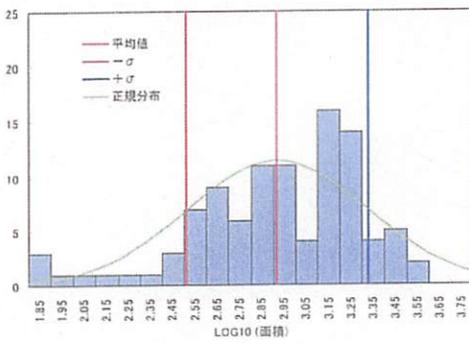
逆断層(全パラメータ) 横ずれ断層(全パラメータ)
 図-9 空間分布から得られたPGAのヒストグラム



逆断層(全パラメータ) 横ずれ断層(全パラメータ)
 図-10 空間分布から得られたPGVのヒストグラム



(a) 逆断層 (b) 横ずれ断層
 図-11 空間分布から得られたPGA ≥ 150galとなる面積のヒストグラム



(a) 逆断層 (b) 横ずれ断層
 図-12 空間分布から得られたPGV ≥ 15kineとなる面積のヒストグラム

差が 0.39, 横ずれ断層(全パラメータ)が平均値 2.82(661km²)に対して標準偏差が 0.48 となる。

4. おわりに

レシピに基づいて強震動予測を行う場合、予測結果が震源パラメータのバラツキによってどの程度のバラツキを有するのかを評価する手法について検討を行った。強震動予測において、重要となる震源パラメータ、伝播経路特性、サイト特性のうち、ここでは震源パラメータのバラツキによる影響について検討を行った。その結果を以下にまとめる。

①パラメータ設定における偶発的バラツキの評価を対象とする場合、「バラツキ」を考慮するパラメータは、

- アスペリティの位置と破壊開始点
- アスペリティの強度(平均すべり量の比)
- アスペリティの強度(応力降下量)
- 破壊伝播速度

とした。

②特定サイトにおける強震動予測結果に対して、PGA, PGV に対するヒストグラムを求め、それを近似する分布形状(正規分布)をあてはめ、その分布の特性値によってバラツキ評価を行うことができることを示した。アスペリティの強度(応力降下量)によるバラツキが大きな値となることがわかったが、逆断層、横ずれ断層の結果において大きな差異は見られなかった。

③面的な強震動予測結果に対して、地震動評価指標の対数標準偏差の空間分布図を作成すること、及びその空間分布のヒストグラムを作成することによってバラツキ評価を行った。特定サイトにおける検討と同様にアスペリティの強度(応力降下量)によるバラツキが大きな値となることがわかったが、逆断層、横ずれ断層の結果において大きな差異は見られなかった。

④空間分布に対するヒストグラムからバラツキの平均値は 0.278~0.276(PGA), 0.230~0.224(PGV)となった。アスペリティの強度(応力降下量)によってバラツキが大きな値となっているが、逆断層、横ずれ断層の結果において大きな差異は見られなかった。

⑤空間分布から PGA \geq 150gal, PGV \geq 15kine となる面積の分布を求めた。その結果、PGA, PGV ともに非常にバラツキが大きい結果となった。

今回、空間分布について、空間分布に対するヒストグラム、空間分布から PGA \geq 150gal, PGV \geq 15kine となる面積の分布といった定量的な評価を試みた。今後は

各パラメータごとの整理、閾値の検討などをさらに進めていく予定である。また、今回は統計的グリーン関数法による短周期帯域のみの検討にとどめたが、差分法(理論計算)による長周期領域についても同様の検討を行っていく予定である。

さらに、本検討は、地震基盤相当におけるハザードカーブ作成の可能性を示唆できたと考えられる。しかしながら、レシピに基づく強震動予測を用いて確率論的評価を行うためには、認識論的不確定性と位置付けた巨視的パラメータやアスペリティの数、面積について、「ロジックツリー」等として取り扱うことを検討しなければならない。また、従来の距離減衰式のバラツキと比較を行うためには、伝播経路特性、サイト特性のバラツキも適切に評価することが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：地盤震動—現象と理論—, 2004.
- 2) 長尾毅・山田雅行・野津厚：フーリエ振幅と群遅延時間に着目した確率論的地震ハザード解析, 土木学会論文集, No. 801/I-73, pp. 141-158, 2005.
- 3) 中央防災会議,
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/>
- 4) 高知県津波防災アセスメント調査事業,
http://www.pref.kochi.jp/%7Eshoubou/kochi_index/2nd_map/index.html
- 5) 佐藤智美, 巽誉樹：全国の強震記録に基づく内陸地震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 556 号, pp. 15-24, 2002.
- 6) 岩田知孝, 入倉孝次郎：観測された地震波から、震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み, 地震 2, Vol. 39, No. 4, pp. 579-593, 1986.
- 7) Wald, D.J. and Somerville, P.G. : Variable-Slip Rupture Model of the Great 1923 Kanto, Japan, Earthquake: Geodetic and Body-Waveform Analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 85, pp. 159-177, 1995.
- 8) 入倉孝次郎, 三宅弘恵：予測のための震源のモデル化, 月刊地球号外, No. 37, pp. 62-77, 2002.
- 9) 付録 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」),
http://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/05jul_chuokozosen/furoku.pdf
- 10) 大塚久哲, Somerville, P.G., 佐藤俊明：断層パ

- ラメータの予測誤差を考慮した広帯域地震動の評価, 土木学会論文集, No. 584/I-42, pp.185-200, 1998.
- 11) Lawrence Livermore National Laboratory : Guidance for Performing Probabilistic Seismic Hazard Analysis for a Nuclear Plant Site: Example Application to the Southeastern United States, NUREG/CR-6607, UCRL-ID-133494, 2002.
 - 12) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 : 森本・富樫断層帯の地震を想定した強震動評価について, http://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/03mar_morimoto/index.htm, 2003.
 - 13) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 : 森本・富樫断層帯の評価, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/01dec_morimoto/index.htm, 2001.
 - 14) 山田雅行, 先名重樹, 藤原広行 : 強震動予測レシピに基づく予測結果のバラツキ評価の検討～震源パラメータのバラツキについて～, 日本地震工学会論文集, 第7巻, 第1号, pp.43-60, 2007.
 - 15) 石井透, 佐藤俊明, Paul G. Somerville : 強震動評価のための不均質断層モデルの主破壊領域の抽出, 日本建築学会構造系論文集, 第527号, pp.61-70, 2000.
 - 16) 壇一男, 渡辺基史, 佐藤俊明, 石井透 : 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 第545号, pp.51-62, 2001.
 - 17) 宮腰研, A. Petukhin : 内陸地震の震源インバージョン結果に基づいた破壊伝播速度の不均質性に関する検討, 地球惑星科学関連学会2005年合同大会, CD-ROM, 2005.
 - 18) Mai, P. M., P. Spudich and J. Boatwright : Hypocenter Locations in Finite-Source Rupture Models, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.95, pp.965-980, 2005.
 - 19) 菊地正幸, 山中佳子 : 『既往大地震の破壊過程=アスペリティの同定』, サイスマ, 5(7), 6-7, 2001.
 - 20) McKay, R. L., W. J. Conover, R. J. Beckman : A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code, *Technometrics*, Vol.21, pp.239-245, 1979.
 - 21) 先名重樹, 藤原広行, 河合伸一, 青井真, 功刀卓, 石井透, 早川譲, 森川信之, 本多亮, 小林京子, 大井昌弘, 八十島裕, 神野達夫, 奥村直子 : 森本・富樫断層帯の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料, 第255号, 2004.

(2007.4.6受付)

STATISTICAL ANALYSIS OF PREDICTED GROUND MOTIONS ON THE BASIS OF A RECIPE FOR STRONG-MOTION PREDICTION ～FOR DIP-SLIP FAULT and STRIKE SLIP FAULT～

Masayuki YAMADA, Shigeki SENNA and Hiroyuki FUJIWARA

We study variations of predicted ground motions on the basis of a recipe for strong-motion prediction and propose a technique for evaluation of variation in the predicted ground motions. In this article, we consider only aleatory variabilities in source parameters among all possible variabilities, such as, those in the source parameters, the propagation characteristics and the site characteristics. We estimate the variation of predicted ground motions in PGA, PGV and response spectrum at a specific site and calculate average and standard deviation of normal distribution, and also we evaluate the special variation in the area by using the space distribution maps of standard deviation.



原発の安全性担う国の委員を辞めた訳は？

震災で科学の限界痛感

KEY PERSON INTERVIEW

◆ 辞任した理由は、まずなぜ引き受けたかというところから話します。原発への批判が多いことは大震災前からわかっていました。ただ、作業部会の委員になった07年には国内4基全てが既に海られており、こうした原発の耐震安全性を改めて検討することは、税金で地震を研究する者の責務と考えました。引き受けるからには、科学的に正しい耐震安全性が適用されるよう信念の下、努力したつもりです。しかし、東日本の太平洋沖で全く想定外のマグニチュード(M)9.0の超巨大地震が発生し、信念の根拠となるべき科学に限界があることが明らかになった。この現実を考え、職を返すのが適当と思った次第です。

— 原発の「過小評価」は以前から指摘されてきました。チエック体制は健全だったと言えますか。

◆ 54基の原発が造られた当時の審査は記録を見ると正直、いいかげんだったと感じます。原発の耐震安全審査は、原子力安全・保安院の権限で行われ、必要に応じて招集される作業部会の意見は「審査の参考」という位置付けです。作業部会はこの位置付けの中で全力を尽くしました。例えば、福島原発の地震・津波対策について、09年6月に「(869年の)貞観地震を考慮すべきではないか」との当時としては非常に先進的な指摘が委員からありました。東電はいろいろと言いつつ、「考慮する」と答えませんでした。だが、保安院には貞観地震を審査で考慮することを認めさせず

した。その後、考慮した揺れの審査は行われましたが、2年近くたっても津波の審査は始まりませんでした。このように作業部会の意見を放置したことは保安院の責任です。

— 保安院はなぜそうしなかったのでしょうか。「やらせ」問題も表面化しました。

◆ 私が主査を務めた間、保安院の担当者は公正だったと思います。しかし、「院内には非常に保守的な(原発)推進派がいて大変だ」と愚言を聞いたことがあります。辞任後ですが、やらせのような問題も明らかになり、実態は分かりませんが覆切られた気持ちです。

— 貞観地震の想定規模はM8.4でした。福島原発で対策を取っていたとしても事故は起きたのではないのでしょうか。

◆ これこそ科学の限界です。もっとも最近の研究でM8.4とされたのですから、M9.0とは想定できなかった。しかも、M9.0の地震が今年3月に起きるとは地震学者を含めて誰も思っていなかった。

— 大震災を想定できなかったのは地震学の限界ですか。

◆ 地震学は実験ができない制約の大きい科学で、過去に起こったことが把握できていない事実の予測は困難なのが現状です。これが限界だと思えます。地震が起こる理論がきちんできていけば、こうした予測は可能になるはずですが、そのレベルに達していません。

— これからの地震研究はどうあるべきですか。

◆ この眼界をふまえ、古文書や津波堆積物を含む地質学的な調査など過去の地震の把握に注力すべきです。国の地震調査研究推進本部では、海底地震動の観測を優先する議論がありますが、それはそれで重要ですが、最優先は過去の地震の把握です。一方で、津波警報の改善に役立つような観測には同じ優先順位を与えたいと思います。



東京大地震研究所教授 額 一起さん(55)

こうけつ・かずき 東京大大学院理学系研究科は応用地震学。原発の耐震安全評価では07年から「地震・津波、地質、09年6月から同主査を務めた。一手塚耕一郎撮影

最大の揺れ・津波、考慮を

— 原発の耐震指針の改定も避けられないと思えますが、科学的に予測する最大の揺れ「基準地震動」とは別に、立地を問わず、過去最大の揺れと津波を同じ重みをもった安全性を考慮するよう改めるべきだと思えます。過去最大というものは、世界で観測された最大の記録を視野に入れることが重要で、ただそれに経済が耐えられるかは地震学者が述べることでないですが、重要な問題です。政治や行政、あるいは国民が直接決めることだと思います。

— 事故を受け、改めてこの国に原発は必要と考えますか。

◆ 基本的にはやめていくべきだと思います。世界最悪の地震国ですから、大震災の最大の

教訓は、とにかく一生懸命に科学的に耐震性を評価しても、それを上回るような現象が起こる園だと分かったことです。それを考えれば、これらから起こるすべての現象に備えられるような原発は造れないと思えます。

— 大震災と事故前後で、科学者の社会的責任について考え方はどう変わりましたか。

◆ 以前も内心は科学の限界に不安はありましたが、残念ながらあえて発言することはありませんでした。しかし、今回のような事態をふまれば、むしろ成果だけでなく限界も併せて伝えることが一層重要だと心算が変わりました。この教訓に基づけば、日本国内でも、今回の規模の地震が起きる可能性があることを伝えていかざるを得ません。

