

# 原発耐震性安全審査の新・旧審査指針の破綻を明らかにし始めた新潟県中越沖地震の真相

## 事前に予知できなかったM6.8の直下地震

新潟県中越沖地震をもたらした震源断層の実態は未だ明らかではありません。しかし、昨年12月17日、原子力安全委員会のプロジェクトチーム会合で報告された資料(下図)によれば、震源断層は海底活断層F-Bより5km以上海岸よりの位置で、断層の上端が5kmほど地下深くに存在している可能性が高いのです。活断層調査からでは事前に全く予知できそうもない断層であった可能性が強まりました。

これは極めて重大な事態です。

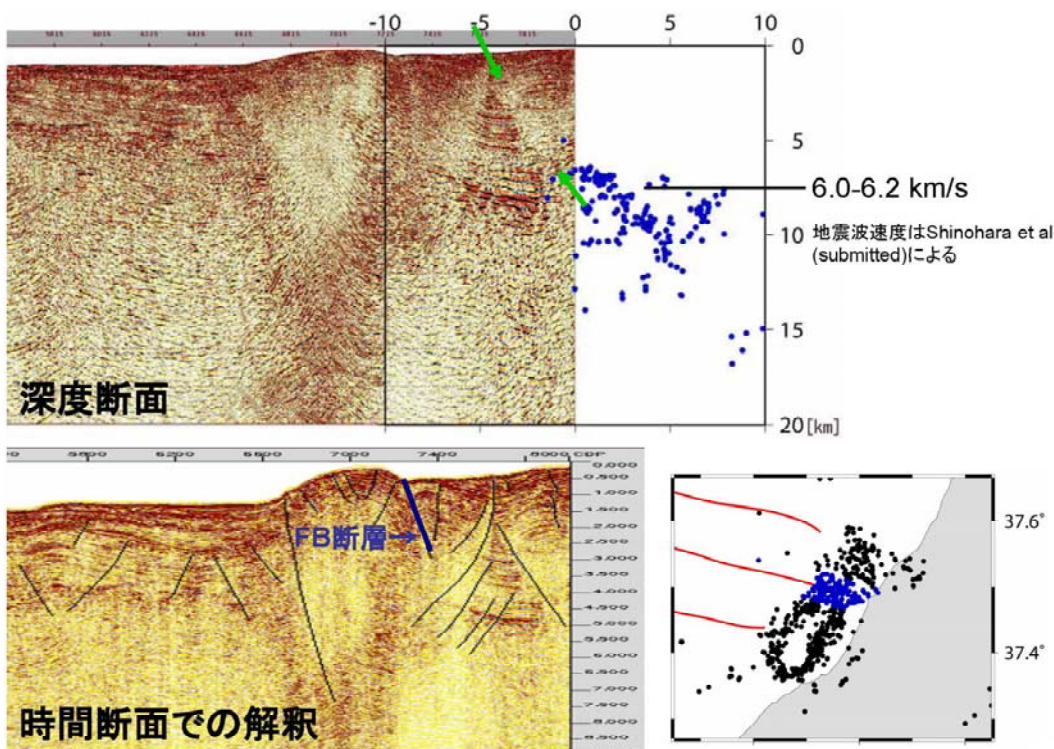
この評価が確定すれば、「詳細な活断層調査で震源断層は特定できる」と頑固に言い張ってきた電力会社の主張が根底から崩れます。原発直下でM6.8の直下地震が起きることを全く予想できず、その震源断層を事前に発見することもできなかったのですから。「当時の最新の知見でも予見できなかった。」という言い訳では逃げられない事態です。地元

市民団体から粘り強く何度も出された活断層による直下地震の警告をはねつけてきたのは他ならぬ東京電力なのですから。M6.8の直下地震すら予知できず、その対策もとらず、「安全審査の要である設計用地震動」を超える地震を被災してなお、運転再開を口にするような電力会社には、これ以上危険な原発を運転する資格はありません。柏崎刈羽原発を全面的に閉鎖し、強烈な地震動を受けた原発の構造や材料がどのような状態になっているのかを、破壊試験を含めて徹底的かつ詳細に研究する素材として世に提供すべきです。

## 電力会社も国も過小評価の責任をとれ

原発の耐震性の安全審査を行ってきた原子力安全・保安院や原子力安全委員会の責任も重大です。「活断層調査で震源断層を見逃すことはない」という電力会社の主張を鵜呑みにし、「M6.5の直下地震を考慮すれば万万が一にも大丈夫だ」と居直り、

## 新潟県中越沖地震の震源断層は、海底活断層F-Bの下にはなかった！



「M7.3までの直下地震はどこで起きても不思議ではないから、M7.3の直下地震を想定すべき」との市民の警告を一貫して退けてきたからです。その意味では、原子力安全規制当局の「重大な瑕疵(かし)」とも言えます。このような瑕疵を犯しながら、国は新指針の重大な欠陥を見直そうともしていません。

### 新潟県中越沖地震は「震源を特定せず策定する地震動」として評価すべき

本来なら、新潟県中越沖地震は事前の活断層調査ではわからないため、「震源を特定して策定する地震動」としては策定できないと判断し、「震源を特定せず策定する地震動」に位置づけるべきです。そして、柏崎刈羽原発の解放基盤表面相当位置での地震波(はぎとり波)を速やかに評価・公表し、その地震動の応答スペクトルを包絡するように「震源を特定せず策定する地震動」を策定し直すべきです。

さらに、今回のような直下地震の過小評価を再び繰り返さないため、地表地震断層の有無や震源断層の事前予見可能性の有無にかかわらず、鳥取県西部地震(M7.3、2000年10月6日)などM7.3以下の地震の岩盤での観測波(はぎとり波)の応答スペクトル

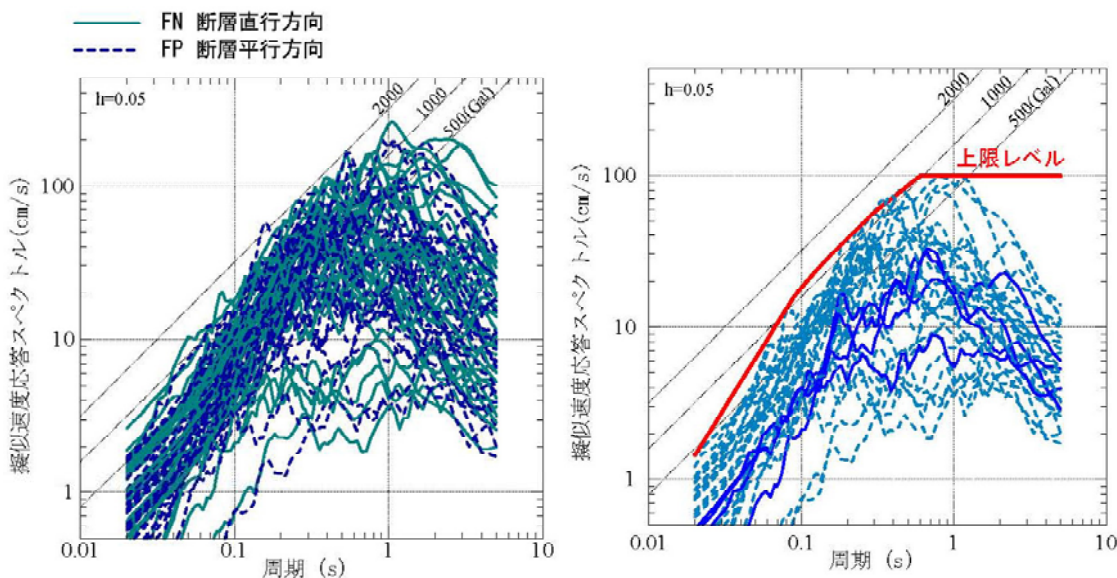
をすべて包絡するように「震源を特定せず策定する地震動」を策定し直すべきです。そうでなければ、同じ瑕疵を繰り返すことになるでしょう。早く手を打たないと手遅れになるかもしれません。その危機感を国は持つべきです。「我々は専門委員会という場において、法律に定められた手続きで審査をした、過去において。それらに対する疑問点をすべてにおいていろいろ承って、我々が答えるだけの人的キャパシティを、原子力安全委員会も原子力安全・保安院も持ってはおりません。」(原子力安全委員会事務局、2006年2月10日宮城県沖地震と女川原発耐震設計に関する市民との話し合いの場で)と嘆くことだけが能ではないはずで

### 松田式による地震の過小評価はやめたが今度は断層モデルに逃げ込もうとしている

原子力安全・保安院は2007年12月25日、「新潟県中越沖地震を踏まえ原子力発電所等の耐震バックチェックに反映すべき事項の中間取りまとめについて」を公表し、電力各社に通知しました。

そこでは、活断層による地震動の評価に当たっては巨視的・微視的断層パラメーターの不確かさを考

### 「震源を特定せず策定する地震動」は、M7.3以下の岩盤での観測地震波を包絡させるべきだ！



新指針の「震源を特定せず策定する地震動」は、左図のM7.3以下の地震観測記録(応答スペクトル)から「事前に予知可能な地震」を削除し、残りを包絡するよう策定された「上限レベル」として策定された。

左図:震源近傍硬質岩盤で観測されたM7.3以下の地震動(水平動)の疑似速度応答スペクトル

右図:震源を事前に特定できない地震による震源近傍の観測記録の水平動応答スペクトルとその上限レベル

(右図の実線は1997年鹿児島県北西部地震の鶴田ダムのスペクトル、破線はスケーリングの観点から確実に事前の震源を特定できるとは断定できないと判断したMj6.5(Mw6.2)以下の米国の7地震のスペクトル)

(出典:加藤・宮腰・武村・井上・上田・壇:日本地震工学会論文集、第4巻、第4号、pp.46-86(2004))

慮して震源断層モデルを設定するよう指示し、「孤立した短い活断層による地震の想定に当たっては、当該地域の地震発生層、活断層の性質等を考慮して想定するものとするが、少なくともマグニチュード6.8相当の地震規模を想定すること」としています。

これまでは活断層の長さを機械的に松田式(活断層の長さを $L$  気象庁マグニチュードを $M$ として $\log_{10}L = 0.6M - 2.9$ )に当てはめて地震の規模を設定していましたが、今後は短い活断層でも15km(M6.8相当)以上に評価することが求められるわけです。その意味では非常に大きな一歩前進だと言えます。

しかし、内閣総理大臣を会長として全閣僚・指定公共機関の長・学識経験者で構成される中央防災会議は、「内陸部で発生する被害地震のうち、M7.3以下の地震は、活断層が地表に見られていない潜在的な断層によるものも少なくないことから、どこでもこのような規模の被害地震が発生する可能性があると考えられる。」(第5回東南海・南海地震専門調査会2002.6.12)とし、「活断層が地表で認められない地震規模の上限については、今後の学術的な議論を待つ必要もあるが、防災上の観点から、今回の検討では、M6台の最大であるM6.9の地震を想定する。」(第18回東南海・南海地震専門調査会2005.2.18)としています。したがって、孤立した短い活断層に対して、なぜ、M7.3(断層長さ30km相当)やM6.9(同17km相当)ではなくM6.8なのか、原子力安全・保安院にその根拠の説明を求めていく必要があります。

原子力安全・保安院は同時に、「なお、詳細な調査によりマグニチュード6.8以上の地震が起こらないことが明らかな場合は、調査結果に基づき適切な地震規模を想定すること」と逃げ道を用意していることにも注意しなければなりません。この点では、新潟県中越沖地震が地表地震断層の現れない地下深くの震源断層で起きたという教訓、および東京電力が海底断層F-Bの活動度を過小評価していたことの教訓から、「活断層や活構造の評価に際し、最終間氷期に形成された地形面や地層に変位・変形が認められないことをもって後期更新世以降の活動性を否定する場合には、その根拠を明確にすること」、「褶

曲構造の評価に当たっては、断層関連褶曲の考え方を適用して地下の断層を推定するとともに、褶曲構造の形成・発達時期は背斜構造両翼の地層の変形パターンに基づいて判断すること」としている点は重要だと思われます。とくに、褶曲構造のある地層では、これまでのように地層を切っているかどうかだけで活動度を判断してはならないということであり、一歩前進ですが、褶曲構造の形成・発達時期が過小評価されないよう注意する必要があります。

また、5km以内に隣接する断層は一連の断層帯とみなすべきとする「松田の基準による起震断層」について、電力各社はこれまで「詳細な調査によって活断層の連続性を評価できるから、松田の基準を用いる必要はない」としていました。しかし、今回の原子力安全・保安院の中間報告によって、孤立した活断層自身が15km以上に長く評価されるため、結果として隣接した活断層が一連の活断層帯として評価されることになる可能性がありますし、そうさせねばなりません。

新潟県中越沖地震は、活断層による地震動評価を巡る「電力会社、国、御用学者」と「市民グループ、良心的地質・地盤・地震学者」の間の論点をクローズアップさせ、国の安全審査の方針を市民側に有利に変えさせたと言えます。ところが、一筋縄では行かないのが現実です。松田式による活断層の過小評価が難しくなると、今度は「断層モデルによる過小評価」を目論んできました。断層モデルは、波動理論を駆使し、複雑なコンピュータ解析を行うため、私たち市民には非常にわかりにくく、取っつきにくく思われがちです。ところが、実際にやっていることは極めて単純であり、「断層モデルのレシピ(調理法)」に従っているだけです。過小評価の仕組みは、むしろ、原発にとって不利になるような「レシピから外れる複雑な解析をしない」ことにあつたのです。

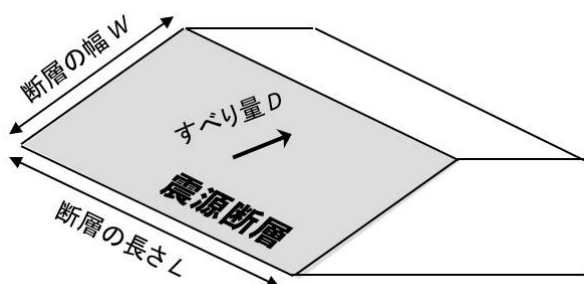
### 断層モデルによる地震動の過小評価を許すな

断層モデルのレシピでは入倉氏等の論文がよく引用されますが、それを含めて断層モデルに関するさまざまな研究をふまえて、国の地震調査研究推進本部(略称「推本」)が「震源断層を特定した地震の強

震動予測手法(「レシピ」)をまとめています(「全国を概観した地震動予測地図」報告書2006年版分冊2「震源断層を特定した地震動予測地図の説明」、2005年3月23日、2006年9月25日改訂、2007年5月28日一部修正)。推本は、阪神・淡路大震災(1995.1.17)を契機に地震防災対策特別措置法(1995.7)が制定され、これに基づき文部科学大臣を本部長として設置された委員会です。推本が作成した「強震動予測手法(レシピ)」は本来、国や自治体が地震防災の施策を立案・実施することを目的として、将来起こりうる強震動を広域に渡って大まかに予測し、どの地域にどの程度の震度を想定すればよいか、震災の帯など強震動に襲われる可能性のある地域はどこかを検討するためのものです。したがって、原発サイトのように特定の観測点における強震動を正確に予測することを直接の目的とはしていません。にもかかわらず、電力各社は原子力発電所の周辺に存在する活断層やプレートなどによる地震の強震動予測に、このレシピをそのまま用いて良しとしています。

では、「レシピとはどういうものか」について簡単に紹介しましょう。

レシピでは、震源断層の長さ $L$ と幅 $W$ を決めます。これで、震源断層の面積 $S$ が求められます。すると、過去の地震観測記録から求めたスケール則により、この震源断層によって引き起こされる地震の規模 $M_0$ (地震モーメント)が求められます。断層面積 $S$ が $291\text{km}^2$ のとき $M_0 = 4.71 \times 10^{25}$  [Nm]となり、モーメントマグニチュード $M_w$ 6.4、気象庁マグニチュード $M$ 6.8に相当します。断層面積 $S$ が $291\text{km}^2$ より小さければ、 $M_0 = 4.71 \times 10^{25} (S/291)^{1.5}$  [Nm]、 $291\text{km}^2$ より大きければ、 $M_0 = 4.71 \times 10^{25} (S/291)^2$  [Nm]になります。断層のすべり量 $D$ は、剛性率(基盤の密度×S波速度の二乗)を $\mu$ として、 $D = M_0 / (\mu S)$ より求



地震の規模を表す気象庁マグニチュード $M$ と地震マグニチュード $M_0$ (単位は $\text{N}\cdot\text{m}$ )およびモーメントマグニチュード $M_w$ の関係は、目盛が違うだけで、お互いに次式で換算可能です。

$$M_w = (2/3)(\log_{10} M_0 - 9.1)$$

$$M = (1/1.17)(\log_{10} M_0 - 10.72)$$

たとえば、 $M_0 = 4.71 \times 10^{25}$  [Nm]は、 $M_w$ 6.4および $M$ 6.8に相当します。

められます。アスペリティ(すべり量が大きく、特に強い地震波を出すところ)の面積は断層面積の22%、アスペリティのすべり量は断層全体のすべり量の2倍と過去のデータから見積もられています。つまり、震源断層の長さ $L$ と幅 $W$ が決まれば、主な断層パラメータの値が自動的に決まってしまうのです。

原発にとって最も重要なのは短周期地震動ですが、これに関係しているのが応力降下量 $\Delta\sigma$ (地震発生前・後のせん断応力の差)です。これは、断層面積が $291\text{km}^2$ ( $M$ 6.8相当)以下の場合、断層平均で $\Delta\sigma = 2.31\text{MPa}$ 、アスペリティ平均で $\Delta\sigma_a = 10.5\text{MPa}$ と一定値になり、断層面積や地震の規模に関係なく決まってしまう。断層面積が $291\text{km}^2$ 以上の大地震では、 $\Delta\sigma = 2.31(S/291)^{0.5}\text{MPa}$  および $\Delta\sigma_a = 10.5(S/291)^{0.5}\text{MPa}$ とされていますが、実際には、アスペリティの応力降下量はこれらの値の2倍以上の $20\sim 30\text{MPa}$ になり、震源の近くでは強い短周期地震動が観測されているのです。

### ライズタイムが長いとすべり速度が小さくなる

破壊伝播速度 $V_r$ は、S波速度の72%と小さく評価され、ライズタイムと呼ばれる「断層面上の各点で、ずれ破壊が始まってからほぼ止まるまでの時間」は、断層幅 $W$ (またはアスペリティ幅 $W_a$ )と破壊伝播速度 $V_r$ から $0.5W/V_r$ (または $0.5W_a/V_r$ )と大きめに算定されています。このため、すべり速度が緩やかになり、震源近くで強い地震動を再現できないケースが生じています。これでは批判に耐えられないと判断したためか、中国電力などではライズタイムを $2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$  [sec]とする経験式で求めています。

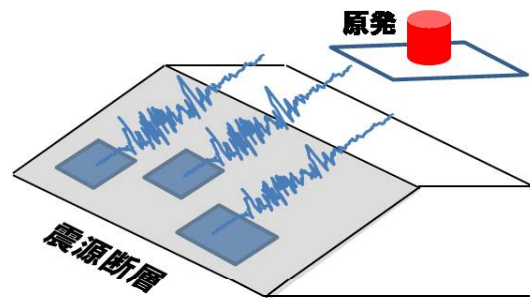
それでもやや大きめに算定されるため、すべり速度が小さく見積もられ、地震動が小さく評価されてしまうのです。

### 単純な破壊伝播では地震波は小さくなる

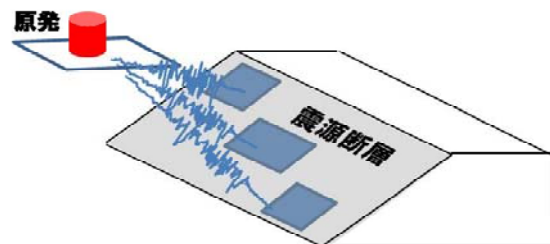
レシピでは破壊開始点を断層やアスペリティの下端に置き、そこから破壊が放射状(同心円状)に破壊伝播速度一定で一様に広がると仮定しています。しかし、実際の破壊伝播はもっと複雑です。それを表すため、最近では、アスペリティの中に破壊開始点を置いたり、破壊伝播速度をアスペリティごとに変えたり、アスペリティごとに破壊開始点を置いて、破壊がそこに到達した時点からそこを新たな始点として同心円状に破壊が伝播すると仮定したりしています。このような工夫がされているのは、広域の平均的な評価を行うためのレシピでは、特定の観測点に対する実際の地震動をうまく再現できないからです。にもかかわらず、電力会社や国はレシピ通りに断層モデルを作っていればそれで良いことにしようとしています。これは松田式の適用で犯した過ちを断層モデルで繰り返すことに他なりません。

### 地震波のフォーカシング効果やディレクティビティ効果が軽視される

このほか、複数のアスペリティが原発と三角形になるように配置されるとフォーカシング効果が出ますし、断層の走行方向に原発があるとディレクティビティ効果が出ます。また、数km地下深くにある震源断層の傾斜角が、それに対応する活断層の地表での傾斜角より小さい場合などでは原発との位置関係が変わってきますので、断層モデルによる強震動予測が過小評価になる可能性もあります。さらに、経験的グリーン関数法では、余震や中小地震などの要素地震の地震波を重ね合わせていますが、要素地震が震源断層の上で起きた地震でない場合や、要素地震の特性がアスペリティの特性とは異なる場合などでは、地震動がうまく再現されません。統計的グリーン関数法では、この要素地震が観測地震波ではなく他の観測点での地震観測記録による平均的な特性を持った要素地震であるため、特定のサイト



断層のずれ方向に原発があると、進行方向に地震波が重なり、ディレクティビティ効果で地震動が強まる



断層面からの地震波の位相が原発サイトでちょうど合うと、フォーカシング(焦点)効果で地震動が強まる

での地震動が過小評価されるおそれがあります。

原子力安全・保安院は、昨年12月の通知で、「断層パラメータの不確かさを考慮すること」と電力会社に指示してはいますが、これまでから電力会社の行った評価を追認する程度のことしかやっていません。結局、「考慮が足りなかったのは電力会社の怠慢だ」とし、自らの瑕疵を棚上げにして逃げようとしているのです。

### 内陸地殻内地震では断層モデルを検証できない

プレート間地震や海洋プレート内地震など百年単位で繰り返される地震の場合には地震観測記録に基づいて断層モデルの妥当性を検証できますが、千年単位で繰り返される内陸地殻内地震の場合には、地震観測記録が存在しない場合が多く、歴史記録に残されている震度記録やその推定値を用いるしかないのが実情です。「検証なき断層モデル」は単なるモデルにすぎず、実際の強震動を過小評価する恐れがあります。たとえ過去の地震で検証された断層モデルであっても、将来起こりうる地震にもそのまま当てはまるかどうかには疑問が残ります。原発のように、ひとたび地震で炉心熔融事故が誘発されると、取り返しのつかないこととなりますから、レ

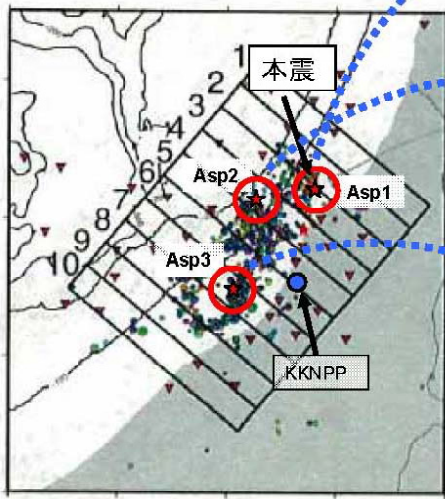
レシピの適用については、より慎重でなければならぬはずで

プレート境界で起きた宮城県沖地震(M7.2、2005年8月16日)では、1978年宮城県沖地震(M7.4)の地震観測記録に基づく推本の強震動予測が過小評価になっていましたし、1995年の女川3号安全審査(2次審査)で国が評価・検討した「M7.4の1978年宮城県沖地震に対する断層モデル」でも短周期地震動が過小評価されていました。地表地震断層が現れなかった内陸地殻内地震の鳥取県西部地震

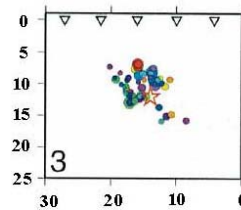
(M7.3、2000年10月6日)や新潟県中越沖地震(M6.8、2007年7月16日)では、特定の観測点における地震観測記録を再現するため、断層モデルのパラメータをレシピとは大きく異なる形で修正しなければなりません。

原発サイトにおいて将来起こりうる強震動を過小評価しないためには、「広域にわたる平均的な地震動評価を行う」ための推本のレシピをベースにしたとしても、断層モデルのパラメータ設定を原発サイトにとって最も厳しい条件に設定し直さなければならぬ

### 震源断層面の設定

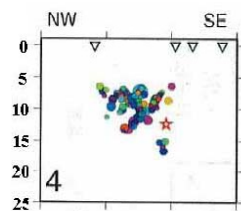


Asperity1付近の余震分布



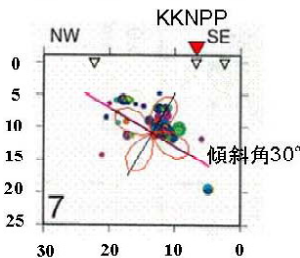
アスペリティの傾斜角は30°で解析しているが、ASP-1とASP-2の傾斜角を50°としないと南北地震波とNS地震波の大小関係を説明できない。

Asperity2付近の余震分布

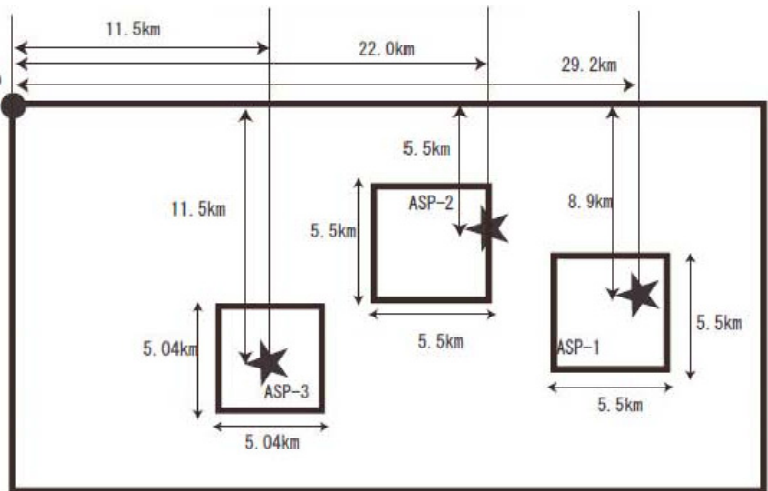
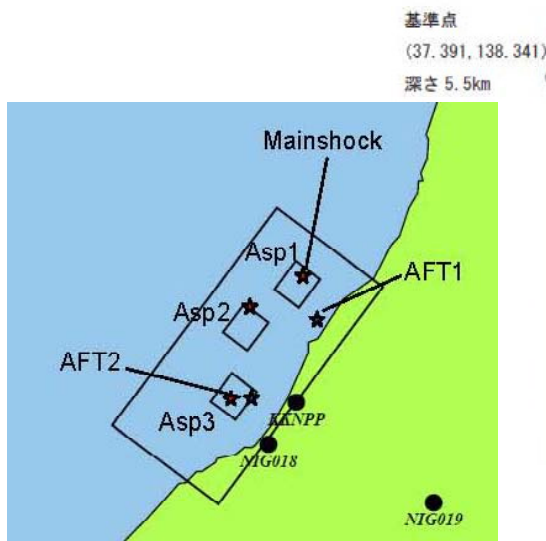


各アスペリティ内では各破壊開始点から同心円状に破壊が伝播するとされ、ASP-1からの破壊が破壊開始点に到達した時点から新たに同心円状に広がる。

Asperity3付近の余震分布



アスペリティ内に破壊開始点が設定されている。



アスペリティASP-1とASP-2には余震AFT1、ASP-3には余震AFT2を要素地震に用いている。

アスペリティ	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	ライズタイム
ASP-1	23.7MPa	0.5sec
ASP-2	23.7MPa	0.5sec
ASP-3	19.8MPa	0.45sec

(出典:入倉・香川・宮腰・倉橋「2007年新潟県中越沖地震の強震動--なぜ柏崎刈羽原子力発電所は想定以上の破壊的強震動に襲われたのか?--(2007年12月24日修正版 [http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/cyuetsu\\_071228.pdf](http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/cyuetsu_071228.pdf))

いのです。女川原発を襲った宮城県沖地震、志賀原発を襲った能登半島地震(M6.9、2007年3月25日)、柏崎刈羽原発を襲った新潟県中越沖地震は、それを警告していると言えます。

### 新潟県中越沖地震を教訓にせよ！

断層モデルのレシピによる地震動予測結果が、いかに現実の地震動とかけ離れているかは、新潟県中越沖地震の際、柏崎刈羽原発で観測された地震動をみれば一目瞭然です。

新潟県中越沖地震が2007年7月16日に発生した当初、その震源断層は北西傾斜の逆断層だと説明され、断層の走行方向に位置する柏崎刈羽原発をディレクティブティ効果によるキラパルスが襲ったと説明されました。ところが、その後の余震分布の観測結果から、全く逆方向に傾斜した南東傾斜の逆断層だということがわかり、昨年12月末にはフォーカシング効果による強震動が柏崎刈羽原発を襲ったという説明に変わりました。いずれも震源断層モデルによる地震動解析ですが、応力降下量、ライズタイム、破壊伝播速度、破壊開始点、破壊伝播方式など、レシピの根幹に関わる断層パラメータの値をかなり大胆に変更しています。つまり、レシピ通りでは震源近くの強震動を再現できないのです。逆に言えば、地震動を正しく評価するためには、レシピを大幅に修正しなければならないのです。

その意味で、新潟県中越沖地震の断層モデルをつぶさに検討し、レシピとの違いを知ることが大切です。ここでは、入倉孝次郎・香川敬生・宮腰研・倉橋奨による「2007年新潟県中越沖地震の強震動--なぜ柏崎刈羽原子力発電所は想定以上の破壊的強震動に襲われたのか? --(2007年12月24日修正版 [http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/cyuetsu\\_071228.pdf](http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/cyuetsu_071228.pdf)) を参照して、レシピとの違いを見てみましょう。

まず、アスペリティの面積ですが、レシピでは総断面積の22%としているのに対し、入倉氏らの断層モデルでは3つのアスペリティを想定し、その面積の和は22%より小さめです。日本原燃が、2007年11月に提出した「再処理施設の耐震安全性評価報告書」における新潟県中越沖地震を考慮した断層モデル

(アスペリティは一つだけ設定)では、13.5%としており、アスペリティの応力降下量も19.0MPaと大きめに設定しています。しかし、入倉氏らの南東傾斜断層モデルではさらに大きく、3つのアスペリティの応力降下量はそれぞれ23.7MPa、23.7MPa、19.8MPaと非常に大きくなっています。ところが、断層モデルのレシピでは、M6.8の場合の応力降下量は10.5MPaと小さく設定されますので、柏崎刈羽原発など震源近くの地震動は過小評価されてしまいます。

また、入倉氏らは、3つのアスペリティのそれぞれに破壊開始点を置き、アスペリティASP-1からズレ破壊が各アスペリティの破壊開始点に到達した時点から新たに同心円状に伝播するとしています。これは、断層面内を1カ所の破壊開始点から同心円状に広がるとしたレシピとは全く違うやり方です。レシピのような単純な破壊伝播を仮定すると地震動を再現できないのです。しかも、レシピではアスペリティの外に破壊開始点を置いています。入倉らはアスペリティの中に置いています。そうしないと地震動を再現できなかったのです。

また、経験的グリーン関数法による地震波の重ね合わせでは、その要素地震としてアスペリティASP-1とASP-2には余震AFT1(2007年7月16日21:08)を、ASP-3には余震AFT2(2007年8月4日00:16)を要素地震に用いています。レシピでは一つの要素地震を用いますが、個々のアスペリティの特性をうまく反映できるよう要素地震をアスペリティごとに変えないと地震波をうまく再現できなかったのです。

ライズタイムも各アスペリティで0.5sec、0.5sec、0.45secと小さく、レシピによる約1secの半分弱になっています。

このように、レシピに基づく断層モデルでは、震源近くの柏崎刈羽原発で実際に観測された地震動を再現できず、過小評価してしまいます。ということは、他の原発でもレシピによる断層モデルで直下地震や近距離地震を評価すると、その地震動を過小評価してしまうことになります。原子力安全・保安院は一体どのようにして断層パラメータの不確かさを電力会社に考慮させるのでしょうか。瑕疵を繰り返さないよう、厳しく問いただしていきたいと思います。