

準備書面(28)への反論

第1 「震源を特定せず策定する地震動」について

1 「震源を特定せず策定する地震動」の評価に関する主張について

1 審被告は、「新規規制基準における『震源を特定せず策定する地震動』は、過去に観測された『地震動』のレベルから直接策定すること(具体的には、震源と活断層を関連づけることが困難な内陸地殻内地震について、地震動の観測記録を収集し、それをもとにして地震動を策定すること)を予定しているものであって、シミュレーションや解析等によって得られた地震動をもとに策定すべきものではない。」と主張する。しかし、原子力規制委員会の「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」(2013.6)には「『震源を特定せず策定する地震動』は、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に各種の不確かさを考慮して、敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定されていること。」とされており、「各種の不確かさを考慮」するように指示されている。観測記録は地震計が設置された観測点にしか存在しないが、地震計がもし周辺に存在していれば観測されたであろう地震動について考慮するのはこの不確かさの考慮の範囲内である。また、実際の地震観測記録を良く再現できる断層モデルによって震源近傍の地震動解析手法が発達してきており、これらが地震計の不足を補う役割を果たせるまでに信頼性を高めてきており、最新の知見として活用可能な段階にある。原子力規制委員会や電力会社にはこれらを積極的に活用すべき義務がある。その意味で、これらの活用を全否定する1審被告の姿勢は、250km圏もの広大な範囲に深刻な原子力災害をもたらしかねない重大な危険性をはらんだ原子力発電において最新知見の取り入れを拒否するものであり、福島第一原発重大事故から何も学ばないに等しく、万が一にもこのような危険を冒して人格権を侵害してはならないとする判例にも背く。以下では、1審被告の反論に個々、具体的に再反論するが、基本姿勢において「各種の不確かさ」や「十二分の余裕」を積極的に考慮しようとしない1審被告の姿勢は看過できず、耐震安全性確保の観点から極めて問題であり、真摯にこれを反省し、改めるべきである。

2 地震観測記録に関する主張について

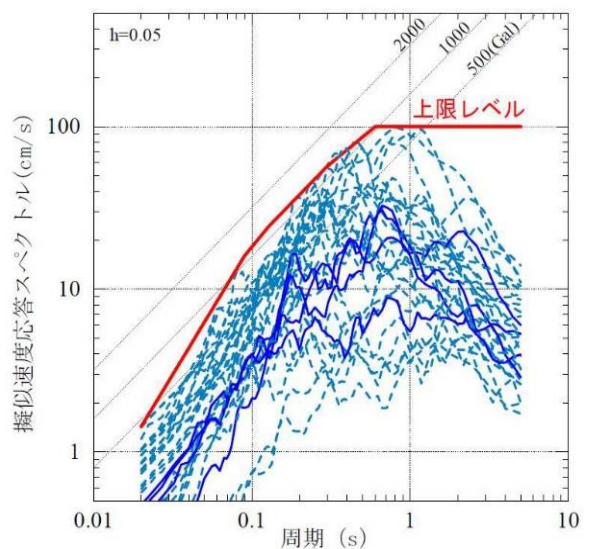
1 審被告は、加藤ほか(2004)で示されている応答スペクトルも検討しているから「検討対象とした観測記録が16地震の観測記録のみであるかのように述べる1審原告らの主張は不適切である」(p.8)と主張する。しかし、加藤ほか(2004)の応答スペクトルは大飯3・4号の基準地震動には採用されていない。その理由は基準地震動 Ss-1 と比べて全周期で応答スペクトルの値が小さいからである。「震源を特定せず策定する地震動」として採用されているのは、16地震のうち「2000年鳥取県西部地震・賀祥ダム」の記録」と「2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動」の2つである。これらは周期によっては Ss-1 を超えるため基準地震動として採用されている。このうち、後者の北海道留萌支庁南部地震については震源の再現解析が行われており、地震計の不足を補う「不確かさの考慮」が可能であり、そうすれば、北海道留萌支庁南部地震の地震動として約1.8倍の応答スペクトルが採用されうるのである。この決定的に重要な「不確かさの考慮」を理由もなく行わないでにおいて、基準地震動に採用されようもない小さな応答スペクトルを考慮しているからといって、「1審原告らの主張は不適切である」と主張するのは見当違いも甚だしい。

加藤ほか(2004)で示されている応答スペクトル(図Aの「上限レベル」と呼ばれる応答スペクトル)について、1審被告は「日本や米国のカリフォルニアで発生した合計41の内陸地殻内地震を対象として、文献調査、空中写真判読によるリニアメント調査、地表踏査等の詳細な地質学的調査によってもなお、震源位置と地震規模を前もって特定できなかつたと考えられる地震を選定し、選定された地震の震源近

傍の観測記録等を概ね上回るような地震動の応答スペクトルが示されている」(p. 8)と主張する。しかし、応答スペクトル（上限レベル）の作成に実際に用いられたのは 41 地震の極一部にすぎず、上限レベルの設定根拠が必ずしも明確でないこと等については全く触れていない。上限レベルの策定に係る真相は次の通りである。加藤ほか(2004)によれば、震源断層最短距離 20km 以内の第三紀以前の硬質地盤で観測された 16 地震 (M6.2~7.3 の国内 5 地震と Mw5.8~7.0 のカリフォルニア 11 地震) の観測記録をわざわざ収集しながら、「地表地震断層が現れた地震」や「周辺の活断層や活褶曲構造などから起こりうると思われる地震」を次々と除外し、残ったのは「1997 年 3 月 26 日と 5 月 13 日の鹿児島県北西部地震 (M6.6 と M6.4 の 2 地震)」だけだった。図 A の青実線 (波線) がこれら 2 地震の鶴田ダムでの地震観測記録の応答スペクトルだが、非常に小さく、これを包絡するように「上限レベル」を設定したのでは余りにも説得力がない。そこで、「事前に震源の位置と規模を評価できた可能性がある」として除外した地震のうち M6.5 未満 (Mw6.2 未満) のカリフォルニア 7 地震については、「M6.8 を境に断層パラメータのスケールリングが変わることから確実に事前に震源を特定できるとは断定できない」(これ自身は正しいが、最初からこの方針のもとでカリフォルニア 7 地震に限らず M6.8 以下の全地震観測記録を系統的に収集して包絡させるべきである) として「最初の除外方針」を変更し、これらで「記録の少なさを補う方針とし」、図 A の青破線 (波線) のように追加した。こうして 41 地震中わずか 9 地震、事実上、カリフォルニア 7 地震の応答スペクトルを包絡するように作られたのが図 A の応答スペクトル (上限レベル) なのである。

このような経緯から、原子力安全基盤機構 JNES は 2009 年 3 月の「震源を特定せず策定する地震動の設定に係る検討に関する報告書」で「加藤ほか(2004)の手法の主な課題として、調査した震源を事前に特定できるとした地震の周辺活断層との関連付けの根拠が明確でない、対象とした地震及び震源近傍の地震動観測記録数が少なく、地震動の上限レベルの規定の根拠が明確でない等が挙げられる。」と厳しく批判している。JNES はこのような地震観測記録の不足を補うために独自の断層モデルの構築と震源近傍での地震動評価を行ってきたのである。その結果として「M6.5 の横ずれ断層で 1,340 ガルの地震動がもたらされる」ことが明らかにされた。

1 審被告は、加藤ほか(2004)を持ち上げる一方、それを批判し成果をあげた JNES の報告書については全否定しているが、これについては以下で詳細に反論する。 図A 加藤ほか(2004)の応答スペクトル(上限レベル)



3 地震動評価結果の報告書に関する主張について

(1) 財団法人地域地盤環境研究所の報告書について

1 審被告らは、財団法人地域地盤環境研究所の報告書(2011 年 3 月)に記載された地震動解析は 2004 年北海道留萌支庁南部地震における「実際の地震動を再現したものではない」(p.9)と主張する。その根拠は「留萌周辺における地盤の増幅特法(サイト特性)が十分反映されているとは言い難い仮定のモデル」(p.10)だということに尽きる。

では、地域地盤環境研究所の報告書は、1 審被告の主張するような仮定のモデルによる、実際の地震動とは無関係の仮定の計算にすぎず、全く使い物にならない代物なのであろうか。当該報告書は原子力安全委員会が地域地盤環境研究所へ 2009 年度から 3 年間連続して委託した業務のうちの 1 つであり、「地震動評価に係る請負業務成果等の報告書について」と題して、今でも旧組織のホームページに掲載され

ており (<http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9483636/www.nsr.go.jp/archive/nsc/taishinkojo/>), 原子力規制委員会の「発電用軽水型原子炉施設の地震・津波に関わる新安全設計基準に関する検討チーム第10回会合」でも「震源を特定せず策定する地震動について」(震基 10-3)の中で原子力規制庁によって紹介され、新規基準策定の際の検討用資料として活用されている。当該報告書は2010年度の計算業務結果をまとめたものであり、翌年度にはその検討結果を用いて「東北地方太平洋沖地震の誘発地震と考えられる2011年3月15日に静岡県東部で発生したMj6.4の地震」との比較検討を継続して行うよう原子力安全委員会から業務委託されている。さらに、2012年9月に原子力規制委員会が発足した後も、地域地盤環境研究所は「平成24年度震源を特定せず策定する地震動レベルに関する既存資料の整理業務報告書」(2013年3月)をとりまとめ、原子力規制委員会へ提出している。もし、地域地盤環境研究所による2010年度報告書が1審被告の主張するように全く使い物にならないような代物であるとすれば、それを業務委託した原子力安全委員会は地域地盤環境研究所の解析能力のなさを判断できないほど無能な組織であったことになる。また、当該報告書の成果を新規基準の策定のための検討用資料として無批判的に用いた原子力規制庁および原子力規制委員会もやはり無能だということになる。果たしてそうであろうか。

1審被告は、地震動評価がもっぱらサイト特性に依存して大きく変わるかのように主張しており、また、北海道留萌支庁南部地震のHKD0202観測点での地震観測記録については、サイト特性の影響は小さく震源特性や破壊伝播効果の影響が大きいという事実(これは1審被告が引用した佐藤らの文献にも明記されている)を無視した主張であり、失当である。以下、それを具体的に述べる。

地震動は震源特性、伝播経路特性、サイト特性の3要素によってその平均像が左右される。1審被告らはこのうちサイト特性だけに拘って「仮定のモデル」だと主張しているが、このような主張は、難癖を付けたいがための方便にすぎず、根本的な反論には到底なり得ない。

北海道留萌支庁南部地震の場合には、地域地盤環境研究所報告書(2013)[A]に記載されているように、震源インバージョンが行われていないため、震源断層面内のすべり量・すべり方向等の詳細な情報が得られていない。そのため、Maeda and Sasatani(2009)[B]は、本震と余震の地震観測波による経験的グリーン関数法によるフォワードモデリング震源解析を4サイト(K-NetのHKD020とHKD019, KiK-NetのRMIH04とRMIH05)に適用して本震の地震観測波を近似的に良く再現できる強震動生成領域SMGAの震源特性を求めている。その際に用いられた各サイトの1次元地盤構造モデルは、表A-1および表A-2のように深さ1km以深では等しいが、0~1kmではサイト毎に異なっている。こうして各サイトでの本震の地震観測記録を比較的良く再現できる2つのアスペリティをもつ震源断層を表A-1右下付図のように導出している。その際の判断基準は、地盤構造の異なる4サイトで地震観測記録を良く再現できるかどうかである。そして、HKD020観測点での大きな強震観測記録は、サイトの増幅特性によるものではなく、主に震源特性によることをデータ解析によって示し、観測点が強震動生成領域に近く、破壊伝播方向に観測点が位置するためフォワードディレクティブ効果(破壊伝播方向にアスペリティが2つ並び、観測点が破壊進行方向に位置するため地震波が重なり合って増幅する効果)が生じた結論づけている[B]。

他方、地域地盤環境研究所報告書(2011)[C]は、HKD020観測点周辺の地震動を解析することによって、北海道留萌支庁南部地震による最大地震動がどこでどのような値になるのかを特定するために、短周期側で統計的グリーン関数法、長周期側で理論的方法という2つを組み合わせたハイブリッド手法による地震動解析を試みている。これは地震観測記録のない地点での地震動を面的に評価する目的のためには経験的グリーン関数法(各地点で地震観測記録が必要)が使えないためである。また、HKD020観測点周辺の地盤構造モデルが存在しないのであるから、HKD020観測点での地盤構造モデルを周辺に拡張適用するのは第1次近似としてやむを得ない(その解析の結果、必要であれば、例えば、最大地震動の得

られた地点における地盤構造モデルを詳細に求めて、より高精度の地震動解析を行えば済む)。この場合も解析手法の妥当性は、HKD020 観測点での地震観測記録を良く再現できるかどうかで判断されるのであり、地域地盤環境研究所は Maeda and Sasatani(2009)[B]の震源モデルと地盤構造モデルを参照しながら、これらに少し修正を加えたモデルを採用し、得られた地震動解析結果の応答スペクトルと地震観測記録の応答スペクトルを比較した図 C で明らかなように、周期 0.1 秒付近でやや過小評価のみではあるが、HKD020 観測点での地震観測記録を比較的良く再現できることを確かめている。その限りにおいて、地域地盤環境研究所の解析モデル（震源特性、伝播経路特性、サイト特性の全部を合わせたもの）は、HKD020 観測点における「実際の地震動をよく再現したもの」であり、1 審被告の主張するような全く「仮定のモデル」であって使い物にならないという代物ではない。また、Maeda and Sasatani[B]によれば、HKD020 観測点の地震観測記録においてはサイト増幅特性の影響は小さく、震源特性の影響が支配的であったことから、HKD020 観測点周辺の地盤構造モデルを HKD020 のそれと同じと仮定しても第 1 近似としては十分妥当だと言える。つまり、地域地盤環境研究所の解析モデルは HKD020 観測点周辺での地震動評価結果がどの程度の地震動になるのかを評価する目的として十分使えるモデルであり、意味のあるモデルである。しかも、最大地震動は HKD020 観測点からわずか数 km 南東側の地点で得られており、表 A-1 および表 A-2（表 A-1 の HKD020 観測点について S 波速度構造を図示したものが表 A-2 の右側の図 B）における HKD020 とその南東約 17km に位置する RMIH05 とのサイト特性の比較からも、そこでの 1 次元地盤構造モデルが HKD020 からかけ離れているとは考えられない。また、地域地盤環境研究所の解析モデルが意味のあるものでなければ、原子力規制委員会が第 10 回発電用軽水型原子炉施設の地震・津波に関わる新安全設計基準に関する検討チーム会合(2013.3.22)において、この地域地盤環境研究所報告書(2011)[C]を検討することもなかったであろう。したがって、1 審被告が、もしこの問題で異論を主張するのであれば、地域地盤環境研究所の解析モデルが使い物にならない代物であることを定量的な地震動解析により、例えば図 C のような応答スペクトルと比較検討するなどして具体的に示すべきであり、少なくとも、図 C を見る限りにおいては、周期 0.1 秒付近でやや過小評価であるとはいえ、実際の地震観測記録から大きく乖離しているとは言えない。また、1 審被告は、破壊開始点をアスペリティ下端に設定した解析によって得られる約 2000 ガル(東西方向)の地震動が過大評価であると主張したいのであろうが、抽象的な言いがかりに留まるのではなく、その地点での地盤構造モデルを別のものに置換えれば〇〇〇ガルに小さくなるという、根拠ある定量的な主張及び疎明をこそ行うべきである。ところが、以下に述べるとおり、1 審被告による主張に基づいて地盤構造モデルを地表付近で修正すれば、地盤構造モデルによると推定される最大加速度の若干の過小評価が是正されるため、約 2000 ガルの地震動が逆により大きくなる可能性すら存在するのである。

1 審被告は、「佐藤ほか(2013)では、HKD020 (港町観測点)において実施した PS 検層等の詳細な調査を踏まえた地盤構造モデルが提案されているところ、両者のモデルの数値は異なっている」(p.10)と主張しているが、表 A-1 および表 A-2 に示すとおり、両者の数値の差は微少なものにすぎない。しかも、どちらかが系統的に大きいという関係にはなく、図 B のように、深さによって数値の大小が互いに交叉する関係にある。これでは、両方で地震動評価結果が大きく異なると主張することはできないし、佐藤ほか(2013)[E]はそもそも HKD020 観測点の地盤構造モデルを修正して断層モデルによる地震動評価を行っているわけでもない。佐藤ほか(2013)は、地表観測記録の地震波を基盤波へ換算しているだけである。これを目的として、S 波速度 V_s が 700m/s 以上となる明確な速度境界としての基盤層である $V_s=938\text{m/s}$ となる深さ 41m までの詳細な地盤構造モデルを設定しているのであり、表 A-1 および表 A-2 で明らかなように、それより深いところの地盤構造モデルは設定していない。つまり、彼らの地盤構造モデルは地震動解析には不十分であり、この地盤構造モデルだけでは断層モデルによる地震動解析は行えない。1 審被告は鬼の首でも取ったかのように、「上記報告書が示す地盤構造モデルは、留萌周辺における地盤の増

幅特性(サイト特性)に関する最新の知見を反映したものではない仮定のものに過ぎない。」(p.11)と主張するが、「最新の知見」とされる地盤構造モデルは地表から深さ 41m までの地盤構造モデルだけであり、それより深いところでの「最新の地盤構造モデル」は提示されておらず、「最新の知見を用いた地震動解析ではない」と主張するのは筋違いである。しかも、HKD020 観測点での地震観測記録へのサイト増幅特性の影響は小さいことがわかっており[B]、佐藤ほか(2013)もそれを十分承知した上で、「(Maeda and Sasdatani[B]による)震源モデルに基づく計算結果は、最大速度については良好な再現性が確認できるが、1g を超える高加速度については、若干過小な部分も見受けられることから、サイト特性による影響の可能性も考えられる。」とし、表層 6m の非線形性を考慮した解析で地表地震波を基盤波に換算し、基盤波の最大速度が地表の 4/5 に留まる(地表地震波の最大速度は基盤波の 1.25 倍に増幅される)のに対し、最大加速度は地表の 1/2 になり(地表地震波の最大加速度は基盤波の 2 倍に増幅され、最大速度より最大加速度の増幅度がより大きい)、「HKD020 のサイト特性が地表での高加速度の生成に寄与したことを示唆する。」と結論づけている。このように、地盤構造モデルを詳細に分析することによって地震動解析結果をより観測記録に近づける、すなわち、「若干」ではあるが、より大きな加速度を再現できるように解析モデルを修正できる可能性に言及している。つまり、Maeda and Sasdatani[B]や地域地盤環境研究所[C]の解析モデルによる地震動解析結果は、最大速度については良好だが、最大加速度についてはまだ「若干過小」に評価しているため、地盤構造モデルをより精緻にすれば、計算結果を「若干」大きくする方向に修正でき、地震観測記録をよりよく再現できると主張しているのである。これは、Maeda and Sasdatani[B]や地域地盤環境研究所[C]の解析モデルは仮定のもので全く使い物にならないとする 1 審被告の主張とは似て非なるものである。これでは、1 審被告は地盤構造モデルの小さな差を殊更に強調することによって難癖を付けているだけだとみられても仕方がないであろう。地域地盤環境研究所報告書[C]によれば「620 ガルの地震動ではなく 1100 ガル(佐藤ら[E]によれば、より大きくなる可能性もある)の地震動が原発を襲う危険性がある」と 1 審原告から具体的に指摘されているのであるから、1 審被告は、震源特性、伝播経路特性、サイト特性の全体を評価して「それは起こりえない」と具体的かつ定量的に主張及び疎明を尽くすべきであり、それができない限り、この警告を素直に受け入れるべきであろう。

参考文献

- [A] 一般財団法人 地域地盤環境研究所, 平成 24 年度震源を特定せず策定する地震動レベルに関する既存資料の整理業務報告書(2013 年 3 月)
- [B] Maeda. T. and T. Sasatani(2009), Strong ground motions from an Mj 6.1 inland crustal earthquake in Hokkaido, Japan: the 2004 Rumoi earthquake, Earth Planets Space, 61, 689-701.
- [C] (財) 地域地盤環境研究所, 震源を特定せず策定する地震動レベルに関する計算業務報告書(2011 年 3 月)
- [D] (財) 地域地盤環境研究所, 震源を特定せず策定する地震動レベルに関する計算業務報告書(2012 年 1 月)
- [E] 佐藤浩章・芝 昭和・東 貞成・功刀 卓・前田宜浩・藤原広行, 物理探査・室内試験に基づく 2004 年留萌支庁南部の地震による K-NET 港町観測点(HKD020)の基盤地震動とサイト特性評価電力中央研究所報告 N13007(2013 年 12 月)

表 A-1. 北海道留萌支庁南部地震観測地点 HKD020 および周辺観測点の地盤構造モデルの比較

S 波速度 Vs [km/s]					P 波速度 Vp [km/s]				
深さ [km]	佐藤ら (2013) HKD020	Maeda and Sasatani(2009)			深さ [km]	佐藤ら (2013) HKD020	Maeda and Sasatani(2009)		
		HKD020 (K-NET, LD 10m)	RMIH04 (KiK-net, LD 103m)	RMIH05 (KiK-net, LD 108m)			HKD020 (K-NET, LD 10m)	RMIH04 (KiK-net, LD 103m)	RMIH05 (KiK-net, LD 108m)
0.000	0.200	0.160	0.310	0.150	0.000	0.200	0.380	2.060	0.360
0.0005					0.0005				
0.001	0.290	0.300	0.510		0.001	0.952	0.740		1.740
0.0015					0.0015				
0.002					0.002				
0.003	0.370	0.500			0.003	1.380			
0.004					0.004				
0.005	0.400				0.005				
0.006	0.473				0.006				
0.007	0.549	0.710	0.690	0.390	0.007	1.722	2.000		
0.016	0.604				0.016				
0.018						0.018			
0.023	0.653				0.023				
0.024					0.024				
0.034					0.034				
0.036					0.036				
0.038		0.830	0.920		0.038	2.215			
0.041	0.938	0.041							
0.084	評価対象外		0.950	1.180	0.084	評価対象外		2.510	
0.086			0.086						
1.000	評価対象外	1.850	1.850	1.850	1.000	評価対象外	3.500	3.500	3.500
2.000		2.567	2.567	2.567	2.000		4.493	4.493	4.493
4.000		2.831	2.831	2.831	4.000		4.955	4.955	4.955

注:LD は地震計の設置深さ(K-Net の地震計はほぼ地表に設置してあるが, KiK-Net では地下深くに設置してある。)

右図[B]のように, RMIH05 は HKD020 の南東約 17km, RMIH04 は HKD020 の東約 24km に位置する。HKD019 は HKD020 の北約 24km に位置するが, Maeda and Sasatani(2009)[B]にその地盤構造モデルは記されていない。地域地盤環境研究所報告書(2011)[C]では, Maeda and Sasatani(2009)[B]の地盤構造モデルをほぼそのまま用いているが, 深さを「4km」ではなく「3.8km」としている。

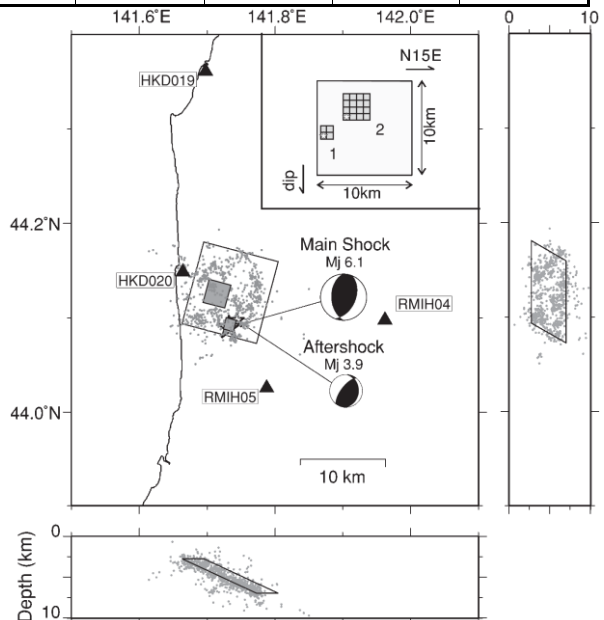


表 A-2. 北海道留萌支庁南部地震観測地点 HKD020 および周辺観測点の地盤構造モデルの比較

密度 ρ [g/cm ³]				
深さ [km]	佐藤ら (2013) HKD020	Maeda and Sasatani(2009)		
		HKD020 (K-NET, LD 10m)	RMIH04 (KiK-net, LD 103m)	RMIH05 (KiK-net, LD 108m)
0.000	1.90	1.6	2.0	1.6
0.0005	2.00	2.0	2.0	2.0
0.001				
0.0015				
0.002				
0.003	2.06	2.0	2.0	2.0
0.004				
0.005				
0.006				
0.007				
0.016				
0.018	2.13	2.1	2.1	2.1
0.023				
0.024				
0.034				
0.036	評価対象外	2.2	2.2	2.2
0.038				
0.041				
0.084				
0.086	評価対象外	2.3	2.3	2.3
1.000				
2.000				
4.000	評価対象外	2.7	2.7	2.7
		2.7	2.7	2.7

注: LD は地震計の設置深さ(K-Net の地震計はほぼ地表に設置してあるが, KiK-Net では地下深くに設置してある。) RMIH05 は HKD020 の南東約 17km, RMIH04 は HKD020 の東約 24km に位置する。HKD019 は HKD020 の北約 24km に位置するが, Maeda and Sasatani(2009)[B]にその地盤構造モデルは記されていない。地域地盤環境研究所報告書(2011)[C]では, Maeda and Sasatani(2009)[B]の地盤構造モデルをほぼそのまま用いているが, 深さを「4km」ではなく「3.8km」としている。

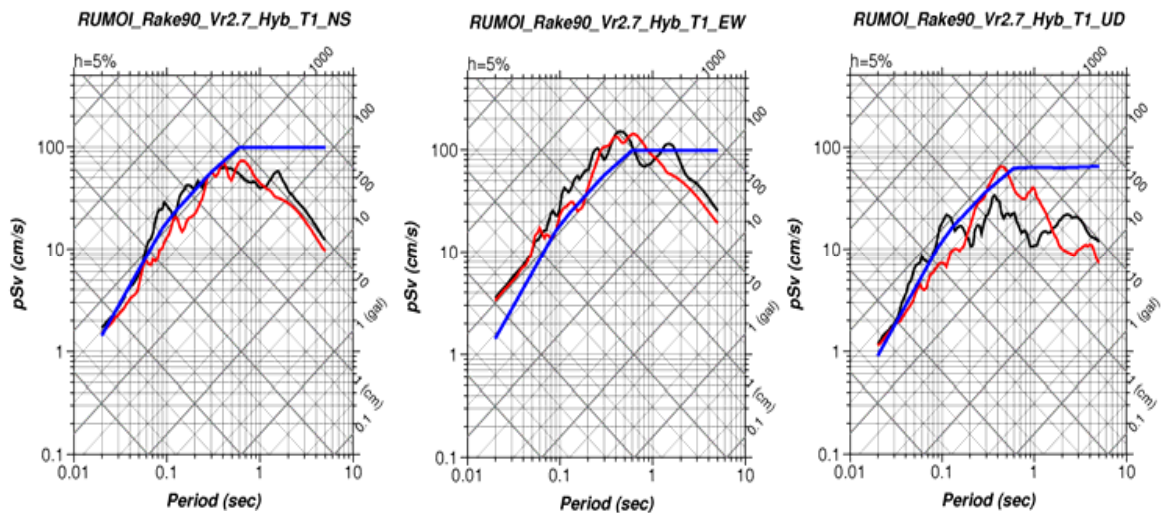
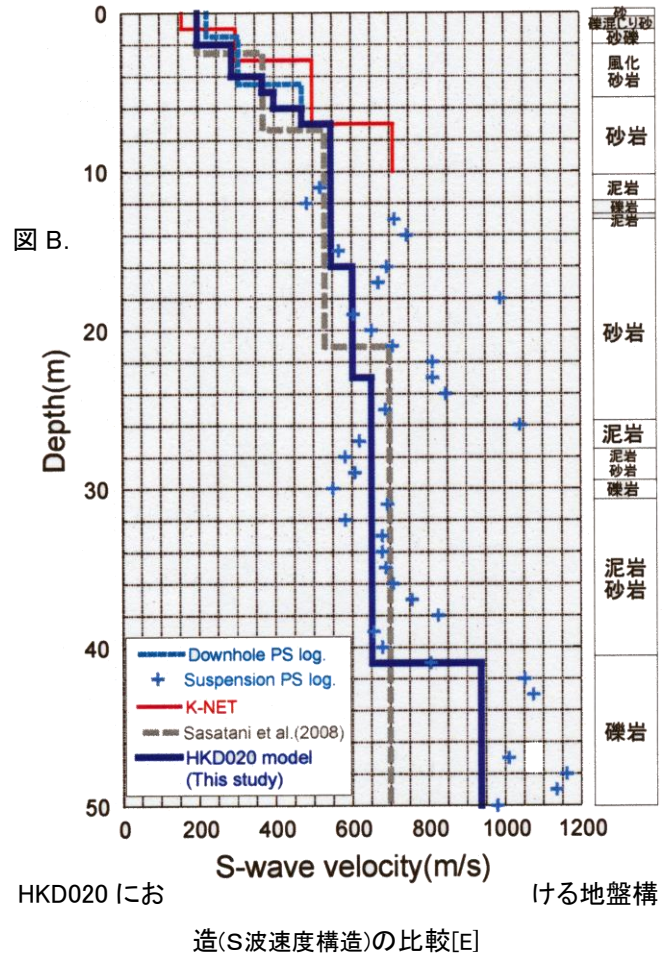


図 C. HKD020 におけるハイブリッド波形(赤)と観測波形(黒)による疑似速度応答スペクトルの比較[C]
(青:加藤スペクトル, 左:NS, 中:EW, 右:UD)

(2)独立行政法人原子力安全基盤機構の報告書について

1 審被告は、独立行政法人原子力安全基盤機構 JNES の報告書が示した M6.5 (1 審被告は「Mw6.5」としているが、正しくは「気象庁マグニチュード M6.5」である) の横ずれ断層による 1,340 ガルの地震動について、「地震動と年超過確率との関係性を評価する目的の下、仮想の断層モデルに種々の仮定的条件を与えて解析による計算値を算出し、その結果に考察を加えたもの」であり、「本件発電所の地震動評価に適用されるべきものではない」と主張する。この点については、すでに原子力規制委員会・原子力規制庁と市民団体との 2 回の話し合いの場 (2014 年 7 月 29 日と 2015 年 1 月 16 日) で結論が出ている。

これらの話し合いの場で、原子力規制庁は 1 審被告の主張と同様に、「JNES の報告書は年超過確率曲線を求めるためのものであり、仮想の地盤での仮想の地震発生による地震動評価だ」と主張していたが、「地震動評価結果が仮想のもので使い物にならないのであれば、その結果として得られる超過確率も役に立たないではないか」と批判されると反論できずに困った挙げ句、「実効応力が大、高周波遮断特性が平均 + 標準偏差というかなり起こりにくいものを想定している」と解析モデルのパラメータ設定に難癖を付けた。しかし、JNES による「M6.0 の縦ずれ断層による地震動評価結果の最大値」と北海道留萌支庁南部地震の観測記録とは大体合っているという図を具体的に示されると、「仮想のモデル」だとの非難を撤回し、原子力規制委員会による地元説明会やパブコメでの回答で「(JNES のモデルは) 厳しいパラメータを設定して評価した結果」としたのは「書きすぎている可能性がある」と認め、高浜 3・4 号審査書へのパブコメに対する回答以降は、「厳しい」という表現を削除している。その上で、JNES による解析モデルを「実際の発電所の評価などに適用すべきかどうか、地震のモデルとしての再現性という点で妥当かどうかを専門家も含めて改めて検討する必要がある。」と認めている。しかし、その後、原子力規制委員会・規制庁がこれを検討した形跡はなく、サボタージュし続けている。

1 審被告は「最大加速度 1,340 ガルの地震動は、年超過確率が 10^{-6} よりも更に小さい確率となり、現実にはまず考えられない」と主張するが、原子力規制庁は 2014 年 7 月 29 日の話し合いの場で、「(JNES の) 計算のモデル自体ではなくて、ここに出てきた超過確率自体が妥当かどうか、実際に現実とどのぐらい合っているかは正直に言って良くわからない。そういうこともあるので、確率論的な評価は日本では適用ができていない。」と回答しているとおり、日本では地震動の年超過確率等については審査ガイドにおいても参考の域を出ないのである。ちなみに、北海道留萌支庁南部地震で観測された HKD020 観測点での 1,127 ガルの大きな地震動についても、それが起きる前に試算される年超過確率は同様に小さいと考えられるが、「現実にはまず考えられない」はずの地震動が実際に観測されたのである。しかも、地表に地震断層が現れない M6.5 の地震については、地表からいくら精査してもその震源断層の有無を把握することができない。だからこそ、高浜 3・4 号や大飯 3・4 号においても北海道留萌支庁南部地震の基盤波が「震源を特定せず策定する地震動」として基準地震動に加えられているのであり、年超過確率の大小で基準地震動に加えるかどうか判断されているのではない。

また、1 審被告は、JNES の解析モデルでは「アスベリティの上限深さが浅く (2km) 設定されたものである一方、本件発電所周辺での地震発生層は上限深さが保守的に余裕を見て評価した場合でも 3km であって、条件が全く異なる」と主張する。地震発生層の上端深さには不確実さが伴うことから、1 審被告も原子力規制委員会の審査会合では当初 4km と主張していたものが 3km へ浅く設定された経緯もあり、M6.5 の小さな地震をもたらす断層上端深さを 2km とみるか 3km とみるかの議論は、余裕をどのように考えるのかという議論に帰着され、結局のところ、実際に M6.5 の地震が起こるまで誰にも分からない。しかし、百歩譲って、JNES 報告書の解析モデルで断層上端深さを 3km とした場合でも、最大加速度は 1,098 ガルであり (JNES の 2003 年度報告書 p. 4-35 の図 4.21)、高浜 3・4 号のクリフエッジ (973 ガル) を超え、大

飯3・4号についても周期0.02秒ではクリフエッジ(1,260ガル)を超えないが、周期0.05～0.07秒や0.1秒付近ではクリフエッジの応答スペクトルを超える可能性がある。当然のことではあるが、1,098ガルであっても、大飯3・4号の基準地震動Ss-1(700ガル)やSs-4(856ガル)をかなり超えるため、基準地震動を根本的に設定し直す必要が生じる。その意味において、「条件が全く異なる」との主張は全くあたらず、JNES報告書で明らかにされたM6.5の横ずれ断層による大飯・高浜原発の基準地震動をはるかに超える地震動評価結果を無視することは許されない。

第2 応答スペクトルに基づく地震動評価について

1審被告は、F0-A～F0-B～熊川断層(M7.8)による地震の地震動評価に「耐専式を用いるのは適当ではない」と判断した根拠は、同断層の等価震源距離(11.0km)が「極近距離」(M8の場合なら25km, M7なら12km等)よりも著しく短く、「耐専式による地震動評価の信頼性は高くない。」ということに尽きる。これに対して、1審原告は、等価震源距離が「極近距離」より短い「2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの記録」が耐専式に良く適合しているという事実を挙げ、また、最近20年間の地震観測記録には極近距離より著しく短い地震観測記録が多く存在するためこれらを耐専式に反映させるべきであると主張した。これらに対する1審被告の反論は反論にすらなっておらず、積極的な主張及び疎明にはほど遠い。以下、それを具体的に述べる。

1審被告は、2000年鳥取県西部地震(M7.3)・賀祥ダム(等価震源距離6km)の記録は「等価震源距離が『極近距離』より短い地震において、耐専式による評価結果が観測記録を上回るものの概ね対応していたという単なる例に過ぎず、」(p.14)と主張することによって、逆に、極近距離より著しく短い「2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの記録」が「耐専式に概ね対応」することを認めている。その上で、「この例をもって、等価震源距離が『極近距離』より短い地震全般に耐専式が有効に適用できると結論づけることはできない。」(p.14)とし、「その適用性を個別に判断すべき」(p.15)と逃げている。つまり、個別には適用性を認めながら、地震全般に適用できるかどうかは「地震ごとの個別判断」だと主張する。しかし、F0-A～F0-B～熊川断層(M7.8)の大飯原発(等価震源距離11.0km)への適用性については「極近距離から乖離している」というだけであり、なぜ適用できないのかという具体的な主張及び疎明は全くなされていない。さらに、個別ではなく地震全般への適用性を確認するために必要な地震観測記録はこの20年間に数多くとられており、それを耐専式に反映させれば、1審被告の主張は根本から覆されるであろう。

これに対して、1審被告は「確かに、設置許可基準規則解釈別記2第4条5項は、基準地震動の策定にあたって最新の科学的・技術的知見を踏まえることを求めている」が、「最新の科学的・技術的知見をどのように踏まえるか等については具体的には明示していない。」(p.17)「原子力規制委員会が設置許可基準規則解釈とともに制定した審査ガイドにおいても、」「距離減衰式そのものに最新の地震動データを反映させることを求めるような記載はない。したがって、基準地震動の策定にあたって最新の科学的・技術的知見を踏まえるべきではあるものの、設置許可基準規則解釈別記2第4条5項から、少なくとも1審原告らのいうように耐専式そのものに最新の地震動データを反映させなければならないという結論を一義的に導くことはできないのである。」(p.17)と主張し、最新の知見取り入れを拒否し、地震観測記録を耐専式に反映させることを拒むのである。このような屁理屈がまかり通るのはまさに原子力内部においてだけではなかろうか。

最新の知見取り入れを無碍に拒否しているのではないことを装うため、1審被告は、最新の知見として独立行政法人原子力安全基盤機構による「平成18年度原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 活断層及び地震動特性に関する調査・解析に係る報告書、07基構報-0004(平成19年7月)」(以下、「07基構報」と略す)を大きく取り上げ、「耐専式が実際に発生する地震への適用性を有していることが確認されている」と主張する。ところが、これによって1審被告は墓穴を掘っている。第1に、「07基構

報」で耐専式と比較している地震は2006年に発生したM5.5～M5.9の3地震だが、すべてプレート間地震または海洋プレート内地震であり、内陸地殻内地震ではない。第2に、この3地震に関する8つの地震観測記録は、震源距離が111～171kmと遠く離れた観測点での記録であり、解放基盤表面はざり波で最大加速度が2.7～11.0ガルと極めて小さい。これらによっては、M7クラスの内陸地殻内地震に関する極近距離内での耐専式の適用性を検討することができないのは明白であり、1審被告がそのように判断する能力もないとは直ちには信じ難い。2006年以降にM7クラスの内陸地殻内地震に関する震源域内での地震観測記録はいくつも取られているが、これらに関する耐専式との比較検討は未だになされていない。原子力規制庁によれば、日本電気協会において見直し作業中とのことだが、どのような見直し作業が行われているのかについて。日本電気協会の会員である1審被告はその詳細を説明すべきであろう。

1審被告は、「07基構報」を最新の知見であると持ち上げながら、そのまとめに相当する「今後の課題」を意図的に無視していると思われるが、そこには次のように書かれている。

「本業務により、地震基盤における設計用標準応答スペクトルとしては、新しく提案されている耐専スペクトルが平均的な地震動特性を評価するのに適切な評価法であることが分かった。しかしながら、設計用標準応答スペクトルの適用性検討で示されたように、耐専スペクトルはあくまで平均スペクトルであり、実際の適用にあたっては地震動のばらつきを考慮して設計用標準応答スペクトルを定めていく必要がある。耐専スペクトルの策定において、地震観測記録を回帰分析する際に平均からの残差、つまりばらつきが計算される。これらのばらつきは、地震動を地震規模(マグニチュード)・等価震源距離・地盤の硬さ(V_p , V_s)の少ないパラメータで予測すること、すなわちモデルの単純化によって生じたもの

である。少ないパラメータで地震動を簡便に評価できることは経験的手法の優れた点であるが、ばらつきが内在することは避けられないといえる。今後、地震動により影響を与えるパラメータを更に導入する、あるいは敷地における地震観測データ等を用いることにより、これらのばらつきを更に小さくすることができるものと考えられる。」(07基構報 p.5.49, 下線は引用者)

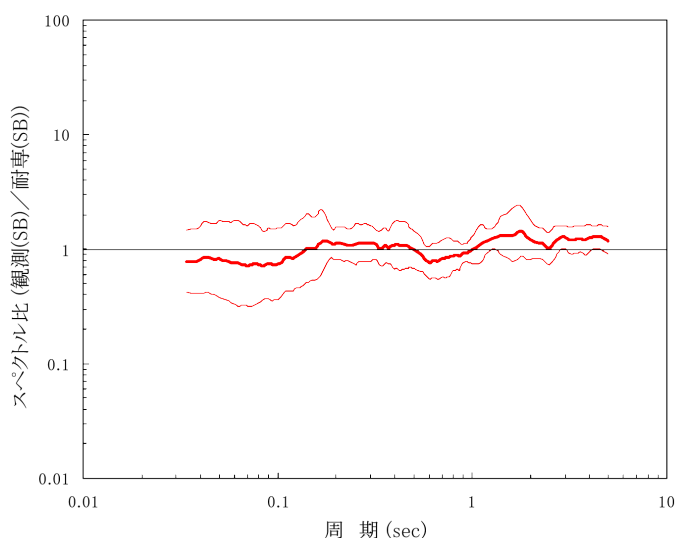
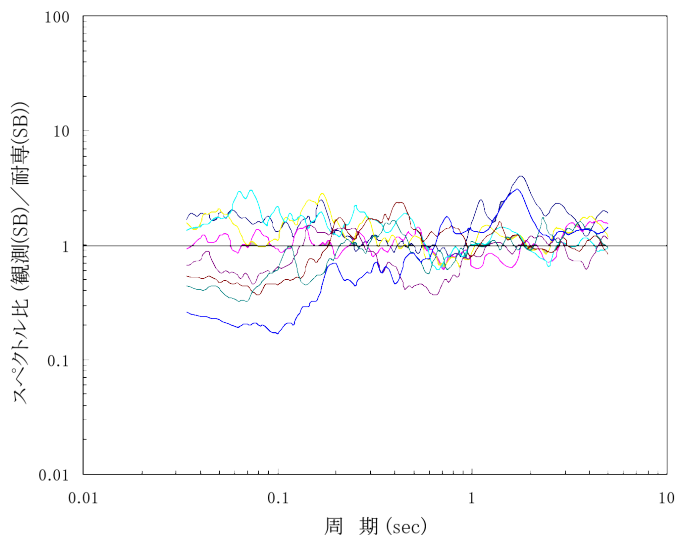
図Dが07基構報に掲載されている耐専式とのスペクトル比だが、短周期側では平均と平均±標準偏差(1σ)の差はほぼ2～1/2倍＝「倍半分」の差がある。耐専式を用いる際にはこのバラツキを考慮する必要があるとJNESは指摘しているのである。この指摘は、内陸地殻内地震についても成り立ち、1審原告の指摘とも整合する。1審被告は、このように「最新の知見を正しく理解」し、上記指摘をこそ正しく「踏まえる」べきであった。

図D. はざり取り解析結果と耐専スペクトルとの比較

<解放基盤 EB>

上図: 応答スペクトル比の重ね書き(8記録, 7観測点)

下図: 応答スペクトル比の平均及び平均±標準偏差(1σ)



第3 断層モデルを用いた手法による地震動評価について

1 入倉・三宅(2001)に関する主張について

1 審被告は、中央防災会議が示した下記の図Eの左図について「各関係式は、各々、異なる観点から、異なる既往の研究結果等进行分析して得られた式である。したがって、同じ震源断層モデルに関する評価であっても、各関係式の算定結果は異なり得るのであり、同図に並べられた各関係式の算定結果を単純に比較して、いずれの関係式が合理的かを論じられるものではない」(p. 21)としているが、この指摘は正しい。ただし、「各式がどのように異なっており、その差異によってなぜ図E(左)のような差異が生じるのか」について何も述べていないのが最大の問題点である。その解答は単純明快である。これらの式の間での差異は、元になった地震データが異なるということであり、北米を中心とする地震データに基づく入倉式「Irikura et al.」を、それとは性質の異なる日本国内の主な活断層にそのまま適用すると地震規模が過小評価されるのである。入倉式は北米の活断層には適合していても、日本国内の活断層には適合していない。図E(右)には入倉式と武村式「武村(断層面積)」の用いたデータが震源断層面積と地震モーメントの関係図として示されているが、 7.5×10^{25} dyne 未満の未飽和断層(地震断層の現れない小地震をもたらす)では両者にほとんど差がないのに対し、 7.5×10^{25} dyne 以上の飽和断層(地震断層が現れて活断層を形成する)では両者が明瞭にずれているのが分かる。このように地震データの性質が異なるために各式の間で大きな差が生じたのである。現に、図E(左)では入倉式と武村式以外の4式でほとんど同じ結果が得られている。入倉式と武村式の差異をさらに詳説すると図F～図Iのようになる。図Fと図Gを比べると断層長さ¹⁾と地震モーメントの関係では両者のデータ間に大差はないが、図Hと図Iを比べると断層幅²⁾が入倉式の16.59mに対し、武村式では13kmと小さい。つまり、同じ地震規模でも入倉式のデータでは断層面積がより大きいのである。逆に、同じ断層面積でも入倉式では地震規模が小さくなる(過小評価される)。図E(左)の「武村(断層面積)」でときどき他の4つの式から大きくずれているのは、「武村(断層長さ)」を基にしなから「断層長さ」に、固定値であると仮定した断層幅を掛けて算出した断層面積を用いて「武村(断層面積)」を導いているため、実際の断層幅が平均(13km)以上の活断層に対しては断層面積が過大評価され地震規模が大きくなってしまふからである。入倉式では逆に断層面積が平均(16.59km)に近づくため他の4式に近づくが、ほとんどの場合、過小評価される。

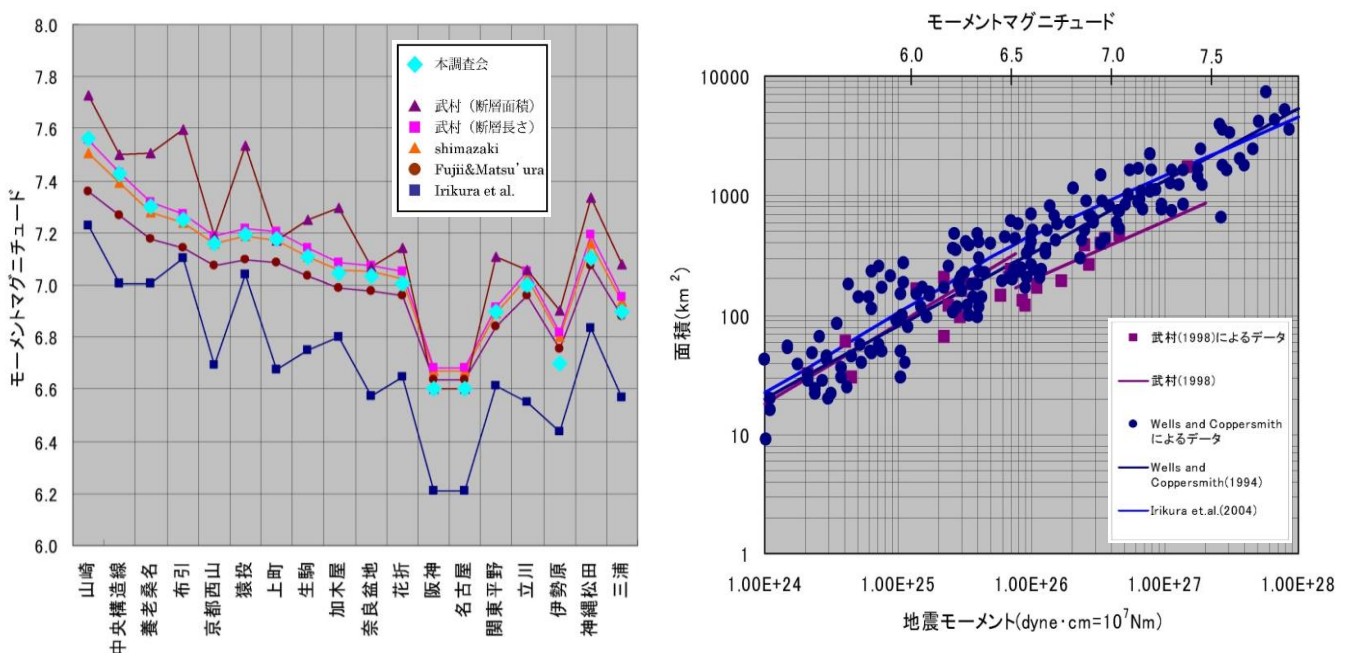


図 E. 中央防災会議が国内の主な活断層について各種関係式を用いて試算したモーメントマグニチュード(左)および断層面積と地震モーメントの関係(右)(出典:中央防災会議第26回「東南海、南海地震等に関する専門調査会」参考資料:中部圏・近畿圏の内陸地震の震度分布の検討資料集, 図 2.3.2 および図 2.3.5(2006.12.7))

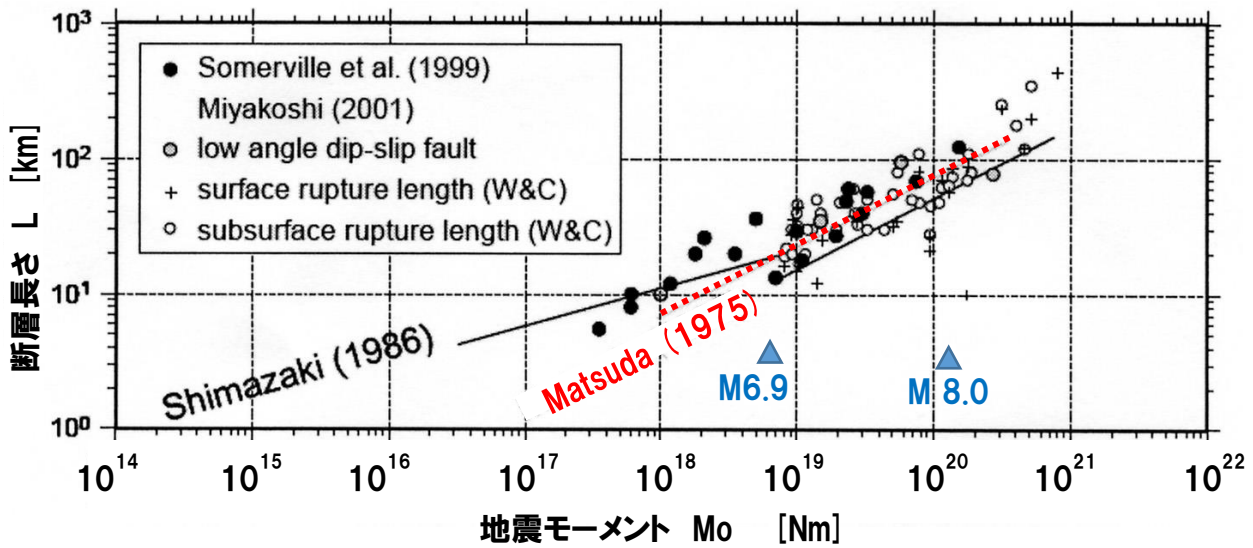


図 F. 入倉らの用いたデータによる断層長さと地震モーメントの関係図 (赤字と青字は引用者が追記)
 (出典: 入倉孝次郎・三宅弘恵 (2001), シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110, 849-875)

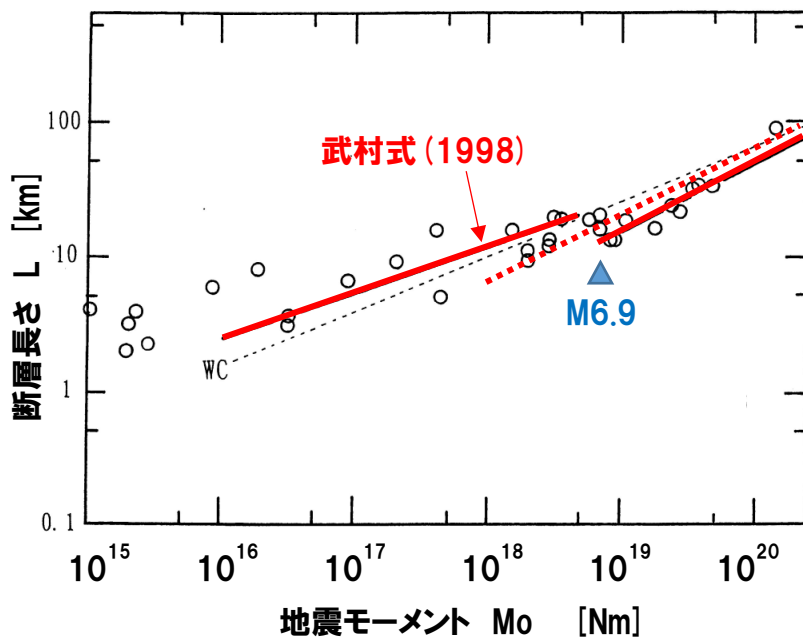


図 G. 武村の用いたデータによる断層長さと地震モーメントの関係図 (赤字と青字は引用者が追記)
 (出典: 武村雅之(1998), 日本列島における地殻内地震のスケールリング則——地震断層の影響および地震被害との関連——, 地震第2輯, 51, 211-228)

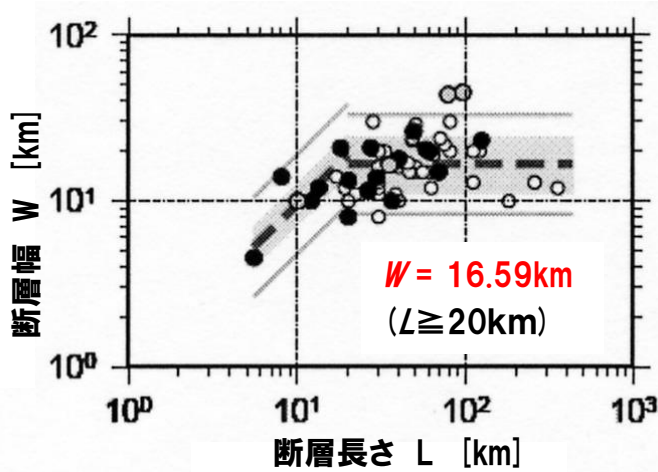


図 H. 入倉らのデータによる断層幅と断層長さの関係図 (出典: 図 F と同じ)

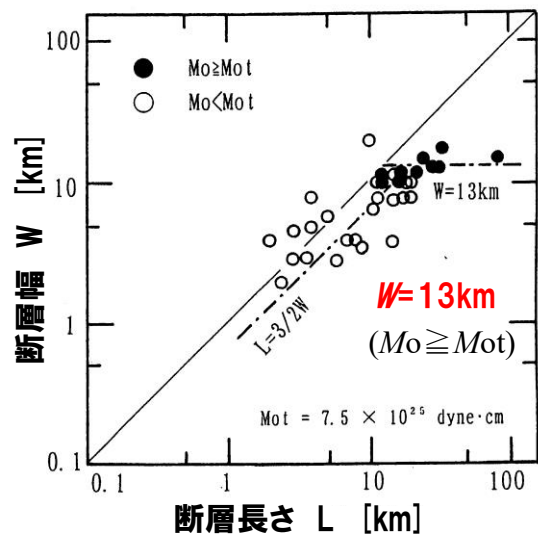


図 I. 武村のデータによる断層幅と断層長さの関係図 (出典: 図 F と同じ)

このように、断層面積と地震モーメントの関係式を導く元になる地震データが異なるために、入倉式を日本国内の活断層にそのまま適用すると過小評価になるのであり、1 審被告が言うような「レシピを用いた地震動評価にあたって、個々の活断層ごとに震源断層面の大きさ(長さ・幅)・深さ・傾斜を設定して震源断層面積を算定し、震源パラメータを設定する場合に適している。」(p. 20)とか、「一連の地震動評価手法というレシピの特徴を踏まえず、入倉・三宅(2001)の関係式のみを取り上げて、その妥当性を論じることは適切でない」(p. 20)とかの主張は、元データの違いを理解しない、的を外れた言い分に過ぎない。レシピでは、まず、震源断層面積と地震モーメントというマクロな震源パラメータを求めるが、地震モーメントが過小評価されていれば、レシピの一連の手順に沿って他の短周期レベルや断層平均応力降下量などのマクロなパラメータが過小評価され、アスペリティの面積・応力降下量などマイクロなパラメータも過小評価されてしまう。その意味において、「一連のパラメータ設定における過小評価」につながる根幹の式が入倉式なのであり、入倉式の導出された経緯を理解しない1 審被告の主張及び疎明は、全くとんちんかんな代物であり、とんでもない的外れの虚言に過ぎない。

1 審被告は、前原子力規制委員長代理の島崎邦彦氏が学会発表で入倉式を過小評価だと批判したことについて「明確なデータや根拠等が示されておらず、その正確な内容は明らかではない。したがって、現時点においてその正確な内容を踏まえた反論は困難である。」(p. 22)と逃げる一方、「(4)の式は、断層幅を仮定的に固定して断層長さ(L)と地震モーメント(M_0)との関係式としたものであり、詳細な調査等に基づき、具体的な震源断層の位置・構造を想定した上で、断層長さ、断層幅、断層傾斜角等をそれぞれ個別に設定して求める震源断層の面積(S)と地震モーメント(M_0)の関係を示す本来の入倉・三宅(2001)の関係式とは、断層の捉え方が全く異なるものなのである。」(p. 23)と批判している。島崎氏の示した L- M_0 関係式のうち式(3)は松田式 $\log L = 0.6M - 2.9$ (L [km]) に $M = (\log M_0 - 17.72)/1.17$ (M_0 [dyn cm]) を代入して得た式(変数の単位を L [m] と M_0 [Nm] に置換)であり、基本的に地震調査研究推進本部の地震調査委員会が震源断層の長さから平均的な地震規模を算定するため一般に使われている松田式である(ただし、全国地震動予測地図 2014 年版付録-1 の p.385 で「松田式を用いて地震規模を設定する際には、少なくとも松田式を導出する際に用いられたデータに含まれるばらつき程度の不確実性が予想される。…将来的には活断層で発生する地震の規模に関しても、不確実性を考慮することが望ましい」と指摘されていることを付言しておく)。これ以外の L- M_0 関係式(1)(2)および(4)では飽和断層($L \geq W_{max}$)に関する元の S- M_0 関係式において $S = L \times W = 14L$ [km²] (断層幅 $W = 14$ km と設定)としたものであり、この 14 km は国内横ずれ断層の平均断層幅に近い値であり、国内活断層に対する平均的な傾向を求めるのに適した関係式といえる。これに対して「断層の捉え方が全く異なる」と主張するのは、国内活断層の平均的な特徴を理解しない者による言いがかりに過ぎない。入倉式が国内活断層にそのまま適用された場合に地震規模が過小評価される理由は上述したように地震データが異なるためであり、北米等で有効な関係式であってもデータの母集団が異なる日本国内で有用とは限らない。島崎氏の学会発表は、これが一見して明らかになるよう、国内活断層の平均像を念頭に置き「わかりやすさを重視して表現」したのであり、1 審被告だけがこれを理解できないとしても、それは島崎氏の責任ではない。ちなみに、島崎氏は、日本地球惑星科学連合大会(2015. 5. 28)に続き、日本地震学会 2015 年度秋季大会(2015. 10. 28)、日本活断層学会 2015 年度秋季学術大会(2015. 11. 27-28)の合計 3 つの学会で同様の発表を行い、入倉式による地震規模の過小評価について警告している。1 審被告はこの警告を真摯に受け止めるべきではなからうか。

島崎氏は、これら 3 つの学会発表で「地震本部の強震動予測では、いわゆる改正レシピが使われており、(3)によって地震モーメントが予測され、(4)のもととなる入倉・三宅(2001)の式から断層面積が推定されている。」と指摘している。ここに「(3)」は上述した松田式であり、「改正レシピ」とは 2008 年に地震調査研究推進本部地震調査委員会が公表した「修正レシピ」(「全国を概観した地震動予測地図」2008 年版、付録 3. 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)(平成 20 年 4 月 11 日改訂)、

46-74) のことである。この修正レシピでは、国内の活断層による地震動を評価する際、断層面積から入倉式で地震規模を算出すると地震規模が過小評価されてしまうため、断層長さから平均的な地震規模を求め、この地震規模に合わせて断層面積をやや大きくするようにレシピを修正している。つまり、入倉式で地震規模を算出する旧来のレシピをそのまま用いると地震動が過小評価されてしまうのである。この修正レシピを初めて適用した結果が「警固断層帯(南東部)の地震を想定した強震動評価について」(地震調査研究推進本部地震調査委員会 2008. 4. 11)に報告され、修正レシピについて詳しく解説されている。その説明の「6.1 問題点とその対応策」には次のように書かれている。

「強震動評価においては、震源断層形状(長さ L (km), 幅 W (km))を設定してから地震モーメント M_0 ($N \cdot m$)を求め、 M_0 と気象庁マグニチュード(M)の関係から M を求めている。一方、長期評価においては、地表地震断層の長さ L (km)(繰り返し活動して形成された活断層を1回の活動でできた活断層とみなす)と M の関係から M を求めている。これらの M は、設定方法が異なることから、必ずしも同じ値とはならないでいた。そこで、ここでは長期評価で設定されている M を固定パラメータとして、他の断層パラメータを設定した。」(同上の説明 p. 15)

具体的には次の通りである。警固断層は断層長さ $L=27$ km, 断層幅 $W=14$ km, 断層面積 $S=378$ km²と評価されており、地震規模は断層長さから松田式で $M7.2$ ($M_0=1.47 \times 10^{19}$ Nm)となるが、断層面積から入倉式で求めると $M_0=7.95 \times 10^{18}$ Nm ($M7.0$)となり、ほぼ半分に過小評価される。このため M_0 を松田式から得た 1.47×10^{19} Nmに固定し、この地震規模に相当する断層面積を入倉式から 513 km²と逆算する。この断層面積に近づくように断層長さ L_{model} と断層幅 W_{model} を $L_{model} \leq L+5$ kmと $W_{model} \leq W+2$ kmの範囲内で調整し、 $L_{model}=32$ km, $W_{model}=16$ km, $S_{model}=512$ km²とする。この断層の長さ、幅、面積を用いて従来のレシピに沿ってパラメータ設定を続け、地震動評価を行っている。修正レシピではこのように入倉式による地震規模の過小評価を是正する手順を追加して地震動が過小評価されないように工夫しているのである。島崎氏による3度にわたる学会発表は、地震調査研究推進本部による活断層の長期評価ではすでに常識となっている「古いレシピに残る問題点」をわかりやすく問題提起したものである。

1審被告は『平成12年(2000年)鳥取県西部地震、平成15年(2003年)十勝沖地震、2005年福岡県西方沖の地震の・・・観測記録を用いた強震動予測手法の検証』が実施されており、実際に発生した地震との比較において、適切に確認されている。すなわち、レシピという一連の地震動評価手法が実際の地震動を精度良く再現できるものとして、その有効性・信頼性が確認されている」(p. 19)と主張するが、その後、2008年に修正レシピが提出され、これ以降の活断層長期評価ではこの修正レシピがもっぱら用いられているという現状とその意味をよく理解すべきである。かつての原子カムラにしか通用しない考え方に固執しては、地震動を過小評価してしまい、原発の耐震性は確保できないことを認識すべきである。

ちなみに、1審被告は、「本件発電所敷地周辺の地質・地質構造、敷地及び敷地周辺の地下構造の詳細な調査」を行っていることから、簡便な手法とされている『(イ)地表の活断層の情報をもとに簡便化した方法で震源断層を推定する方法』ではなく、『(ア)過去の地震記録などに差つき震源断層を推定する場合や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合』による手法を採用している。」(p. 25)としているが、この(イ)が修正レシピによる方法であり、(ア)が旧来のレシピによる方法に相当する。(イ)の修正レシピが導入された経緯は、「入倉式では国内活断層の地震規模が過小評価される」という国内活断層の長期評価で経験されてきた事実に基づいており、活断層の調査を詳細に行っている、過去の地震記録などで地震規模が明確に推定されるのでない限り、入倉式では地震規模が過小評価される恐れがある。「1審原告らの主張は、レシピを曲解し、また、1審被告が複数の特定震源化モデルを設定して保守的な地震動評価を行っていることを理解せずなされたものであり、明らかに誤りである」(p. 26)とする1審被告の主張は、こうした修正レシピの成立経緯を理解せず、1審原告の主張を曲解するものであり、失当であ

る。

2 応力降下量に関する主張について

1 審被告は、地震調査研究推進本部の長期評価部会が作成した『活断層の長期評価手法』報告書において『長大な断層』とは長さが100kmを超える断層を指すと記載されていることについて、「同報告書では、松田(1975)の関係式は長さがほぼ20kmから80kmの断層に基づいて設定されているとして、断層長さから地震の規模を求める同関係式の適用性の観点から、100kmを超える断層を「長大な断層」と表現しているのである。」(pp. 26-27)としている。しかし、地震調査研究推進本部は松田式の適用範囲というよりも、特性化震源モデルの作成との関連で「長大な断層」を定義している。地震調査研究推進本部地震調査委員会による「全国地震動予測地図 2014年版～全国の地震動ハザードを概観して～」(平成26年(2014年)12月)の付録-1「10. 今後の課題と展望」「10.1.2 活断層で発生する地震のモデル化」の中(p. 385)では、次のように書かれている。

「さらに、長大断層(おおむね長さが80kmを超える断層)の震源のモデル化に関する検討も必要である。長大断層については、一般的なパラメータ設定法を用いると背景領域のすべり量が負になってしまうため、強震動予測レシピ(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2008c)では暫定的に平均応力降下量とアスペリティ面積比を固定している(引用者注: レシピでは $S_a/S=0.22$ としている)。中央構造線や糸魚川-静岡構造線といった長大断層で発生する地震の強震動予測を行うためには、長大断層に対しても背景領域のすべり量が負とならないことも含め、震源モデル作成のための枠組みが必要であり、そのような枠組みを作るための検討が必要である。近年の観測データの蓄積により、長さの短い断層から長大断層に至るまでの断層面積と地震モーメントの関係が報告されており(例えば, Murotani et al., 2010), これによれば、断層面積と地震モーメントの関係式は、地震の規模に従って3段階で変化する。また、観測データから得られる、震源モデル作成に必要な物理量の間関係式として、短周期レベル(加速度震源スペクトルの短周期側におけるスペクトルの振幅)と地震モーメントの関係式(例えば, 壇・他, 2001)がある。長大断層の震源モデル作成については、このような観測データから得られた知見に基づき、応力降下量の適切な設定方法も含めた、新たな枠組みを示す必要がある。また、アスペリティの個数や大きさ、断層面上の分布等は、強震動に大きな影響を与える重要な要素であり、長周期帯域だけでなく広帯域にわたって強震動を予測可能な震源モデル設定の枠組みが求められる。」(下線は引用者)

ここで重要なことは、「震源のモデル化」との関連で「長大断層(おおむね長さが80kmを超える断層)」が定義されており、3段階で変化するスケーリング則の3番目の段階と結びつけられていることである。ここにスケーリング則とは「断層面積と地震モーメントの関係」のことであり、未飽和断層に対応する $Mo \leq 7.5 \times 10^{18} \text{Nm}$ では $Mo \propto S^2$ (Mo が断層面積の2乗に比例)、飽和断層で長大な断層になるまでの $7.5 \times 10^{18} \text{Nm} < Mo \leq 1.8 \times 10^{20} \text{Nm}$ で $Mo \propto S^{3/2}$ (Mo が断層面積の1.5乗に比例)、長大な断層に相当する $1.8 \times 10^{20} \text{Nm} \leq Mo$ で $Mo \propto S$ (Mo が断層面積に比例)となる関係のことを指す。ただし、長大断層の Mo 下限値 $1.8 \times 10^{20} \text{Nm}$ はMurotani et al. (2010)が示した値をここでは仮に引用しているが、Murotaniらは100kmを超える断層では地表最大変位量が10mで飽和することを示し、地震モーメントが $1.8 \times 10^{20} \text{Nm}$ 以上の断層に対して、スケーリング則が $S[\text{km}^2] = 1.0 \times 10^{-17} Mo[\text{Nm}]$ となることを示している。この式によれば、 $Mo = 1.8 \times 10^{20} \text{Nm}$ では $S = 1800 \text{km}^2$ になり、断層幅が15kmでは断層長さが120kmになる。

長大断層が「おおむね長さが80kmを超える断層」と曖昧な表現になっているのは、断層幅によって断層長さが変わるからであり、松田式の適用上限とされる80km、またはこれに対応するM8($Mo = 1.2 \times 10^{20} \text{Nm}$ に相当する)を超える領域に長大断層の下限があると見なされているからである。その意味では、長大断層の定義が「松田式の適用範囲」と関連していても別段不思議ではない。1 審被告は長大断層と「100km」との関係切り離すために、「松田式の適用範囲」にすぎないとの詭弁を弄しているが、上記のように、

長大断層は震源のモデル化，すなわち，スケーリング則の3番目の段階との関連で定義されており，「おおむね長さが80kmを超える断層」もしくは「100kmを超える断層」とされているのである。したがって，長大な断層に適用されるべき応力降下量の設定法がF0-A～F0-B～熊川断層に適用されてはならないのである。

1審被告は「アスペリティ面積比(震源断層全体に占めるアスペリティの面積)が30%を超えたため，F0-A～F0-B～熊川断層を長大な断層として評価した」としているが，このような「長大な断層の評価法」は1審被告が勝手に独断で導入したものであり，地震調査研究推進本部や地震学界で広く認められたものでは決してない。むしろ，このような評価によれば，非常に短い断層ですら長大な断層になってしまうという非常に大きな矛盾が生じざるを得ない。表BにF0-A～F0-B～熊川断層と同じ条件でアスペリティ面積比が $S_a/S=0.30$ となる断層長さ L と断層幅 W の試算値を示す。F0-A～F0-B～熊川断層は長さ63.4kmの横ずれ断層(傾斜角 90°)であり，1審被告はこれを長大な断層だとしているが，これと同じ断層幅15kmでは断層長さ47km以上で $S_a/S \geq 0.30$ の条件を満たしてしまう。もし，断層が傾斜していれば， 60° 傾斜で40.7km以上， 30° 傾斜では断層長さが23.5km以上と断層幅30kmより短くなり，飽和断層の条件(断層長さのほうが断層幅より長い)すら満たさなくなる。この矛盾を1審被告はどのように説明するつもりであろうか。また，このような長大断層のご都合主義的な評価法を示された原子力規制委員会がこのような矛盾に気付かなかつたとすれば基本的な審査能力に疑問が生じ，気付きながら認めたのであれば地震動の過小評価を黙認する重大な過誤だと言える。

表B. アスペリティ面積比 $S_a/S=0.30$ となる断層長さ L と断層幅 W [km]

			地震発生層厚さ [km]			
			12	13	14	15
傾 斜 角 [$^\circ$]	90	L [km]	58.8	54.2	50.4	47.0
		W [km]	12.0	13.0	14.0	15.0
	60	L [km]	50.9	47.0	43.6	40.7
		W [km]	13.9	15.0	16.2	17.3
	30	L [km]	29.4	27.1	25.2	23.5
		W [km]	24.0	26.0	28.0	30.0

注:F0-A～F0-B～熊川断層と同じ地震基盤条件($\beta=3.6\text{km/s}$, $\mu=3.5 \times 10^{10}\text{Nm}$)で地震モーメント M_0 は飽和断層に対する入倉式を用い，短周期レベルはレシピに従って M_0 から算出し，アスペリティ面積は円形クラックに関する式(壇らの式およびBroatwrightの式の組合せ)を用いた。その結果， $S_a/S=0.30$ となる条件は， $S=705\text{km}^2$ ， $M_0=2.76 \times 10^{19}\text{Nm}$ (M7.5, Mw6.9に相当する)， $A=1.60 \times 10^{19}\text{Nm/s}^2$ ， $S_a=212\text{km}^2$ となった。傾斜角 30° では $L \geq W$ とならない場合が生じ，飽和断層の条件と矛盾するが，そのまま掲載した。

第4 「偶然変動等によるバラツキ」に関する主張について

1審被告は「全国共通の一般的・普遍的な法則の適用を基礎としつつ，当該地点周辺の詳細な調査結果を踏まえ，その地域の特性，すなわち，地震動に影響を与える特性である『震源特性』『伝播特性』『地盤の増幅特性(サイト特性)』に係る，『最も確からしい姿』(『標準的・平均的な姿』)との差異の有無やその程度等を考慮するのが最新の地震動評価手法なのである。しかるに，ある地点の地震動が，過去の多数の地震動の『標準的・平均的な姿』よりも大きくなる(1審原告らのいう『国内外の内陸地殻内地震による震源近傍の観測記録に・・・バラツキがある』)のは，当該地震が発生した各地域に係る『震源特性』『伝播特性』『地盤の増幅特性(サイト特性)』について，他の地域よりも大きくなるような地域性が存し，これが含まれているからに外ならない。これら3つの特性とは別に『偶然変動等によるバラツキ』という独自の概念を持ち出し，それを考慮すべきとする1審原告らの主張は，独自の見解に基づくもので科学的合理性を欠き，失当である。」(p.30)と主張する。

この主張の中にすでに混乱がある。1審被告は，①全国共通の標準的・平均的な姿と，②特定地域における地域の特性を反映した標準的・平均的な姿を区別し，①と②の「差異の有無やその程度等を考慮

するのが最新の地震動評価手法」だと主張するが、このような差異を評価してもなお、③実際に起こった個別の地震動の具体的な姿と②の間には差異が存在するし、④今後発生しうる個別の地震動の具体的な姿との間にも差異が生じうる。これが工学・地震学では一般に「偶然変動」と呼ばれており、決して1審原告による「独自の概念」ではない。地震データに対して回帰式を求める際、一般に残差平方和が最小になるように回帰式を求めるが、その際の残差がこの偶然変動に対応しているのであり、回帰式では説明できないデータのバラツキを表す。1審被告は②が明らかになれば③や④との差異は存在しない（偶然変動はない）と言うに等しいが、それは「将来発生する地震動を完全に予測することができる」と主張しているのと同じである。そのようなことは不可能であり、工学的、地震学的観点から見て全くありえない。地震動について、必然性の法則として明らかにできるのは、全国共通にせよ、地域特定にせよ、あくまでも「標準的・平均的な姿」（平均）であり、個々の具体的な姿（偶然変動によって平均の周りにばらつく実現値）までは定量的に説明することはできない。「データには誤差が伴う」というのが工学や地震学の一般常識であり、この誤差をできるだけ説明するために様々な説明変数が導入され、さまざまなモデルが提案され検証されてきているのである。それでも、誤差を小さくできるだけであり、誤差をなくすことはできない。地震動は、多くの要因が絡みあって生じる非常に複雑な確率的現象であり、それは確率分布という形式でしか表現できない。平均や標準偏差など確率分布のパラメータを予測することはできても個々の実現値を予測するのは不可能である。「標準的・平均的な姿」というのはこの確率分布の平均を意味するのであり、地震動の個々の具体的な姿（実現値）を予測する等というのは論外である。実現値の最も起こりうる範囲として「平均±標準偏差の範囲」を示すのがせいぜいであり、この範囲を超える可能性は決して小さくない（正規分布であれば平均+標準偏差を超える確率は約16%である）。1審原告は、少なくとも平均+標準偏差の余裕ある基準地震動を設定すべきだと極控えめに主張しているにすぎないが、これすらも満たせないのが大飯3・4号の耐震設計の現実なのである。

以上の原告の主張が科学的に正しいことを示す最新の知見がある。内山泰生・翠川三郎による「距離減衰式における地震間のばらつきを偶然的・認識論的不確定性に分離する試み」（日本地震工学会論文集、第13巻、第1号、pp. 37-51, 2013）がそれである。

内山・翠川(2013)は、地震データのばらつきには「認識論的不確定性」と「偶然的な不確定性」の2種類があり、前者は低減可能だが、後者は低減不可能であり、本来、地震動評価では偶然的な不確定性のみを用いるべきであり、両者を定量的に分離することが重要だと指摘している。すなわち、「地震動強さのばらつきは、認識論的不確定性（epistemic uncertainty）と偶然的な不確定性（aleatory uncertainty）に分離することができる。認識論的不確定性は、より正確なモデル化や新しい知見・データを追加することで低減可能なばらつき、偶然的な不確定性は新しい知見・データが追加されても低減不可能なばらつきである。」「震源特性における震源メカニズムや破壊伝播方向、伝播経路における媒質（速度、減衰構造）の不均質性、サイト特性における地盤の不整形性や入射角などによる地震動強さの違いは予め想定することが困難であり、これらが地震間および地震内のばらつきにおける偶然的な不確定性の要因になっていると考えられる。」（下線は引用者）「地震間のばらつきは震源特性、地震内のばらつきは伝播経路・サイト特性がばらつきを与える主たる要因として指摘されている。」このような位置づけの下、内山・翠川(2013)は、防災科学研究所のK-NETおよびKiK-netを対象に、K-NETの運用が開始された1996年から2010年12月までに発生した $4.5 \leq M_w \leq 6.0$ かつ震源深さ100km以内の中小地震で得られた強震記録、756地震40,193データ（165内陸地殻内地震8,431データ、439プレート境界地震22,242データ、152スラブ内地震9,520データ）という膨大な量の国内地震データに基づいて、最大加速度または最大速度を求める距離減衰式を回帰させ、データのばらつきを分析している。その結果、最大加速度のばらつきは「平均値+標準偏差」が平均値の2.34倍になる大きさであること、地震間のばらつきの43%が偶然的な不確定性によるものであることを導出している。地震内のばらつきにおいても同様になるとすれば、たとえ、1審

被告が主張するように「不確かさの考慮」によって「認識論的不確定性によるばらつきをゼロにできた」としても、低減不可能な偶然的な不確定性によるばらつきは依然として存在するのであり、その大きさは「平均値+標準偏差」が平均値の1.75倍になる大きさだということになる。より詳細には、次の通りである。

内山・翠川(2013)は、最大加速度の距離減衰式に関する回帰誤差を分析した結果、地震間のばらつきの自然対数標準偏差を0.522(「平均値+標準偏差」は平均値の $e^{0.522}=1.69$ 倍になる)、地震内のばらつきの自然対数標準偏差を0.672($e^{0.672}=1.96$ 倍)と導いている。これより、全体のばらつきの自然対数標準偏差は $0.851(=[0.522^2+0.672^2]^{0.5}, e^{0.851}=2.34$ 倍)になる。内山・翠川(2013)はさらに、地震間のばらつきについて、認識論的不確定性によるばらつきと偶然的な不確定性によるばらつきに分離し、それぞれの自然対数標準偏差を0.361($e^{0.361}=1.43$ 倍)と0.315($e^{0.315}=1.37$ 倍)と求めている。したがって、地震間のばらつき全体の自然対数標準偏差は $0.479(=[0.361^2+0.315^2]^{0.5}, e^{0.479}=1.61$ 倍)となり、元の0.522($e^{0.522}=1.69$ 倍)より少し小さいが、これはばらつきを分離するための理論式に付随するやむを得ない誤差である。これより、地震間の自然対数分散の43%($0.315^2/[0.361^2+0.315^2]=0.432$)が偶然的な不確定性によるものだという結果が得られる。内山・翠川(2013)は今後、地震内のばらつきについても同様の分析を行う予定だが、地震内のばらつきについても自然対数分散の43%が偶然的な不確定性によるものだとすれば、地震間と地震内を合わせたばらつきのうち偶然的な不確定性によるばらつきは、自然対数分散で $0.559^2(=0.43 \times 0.522^2 + 0.43 \times 0.672^2)$ 、自然対数標準偏差で $0.559(e^{0.559}=1.75$ 倍)になる。

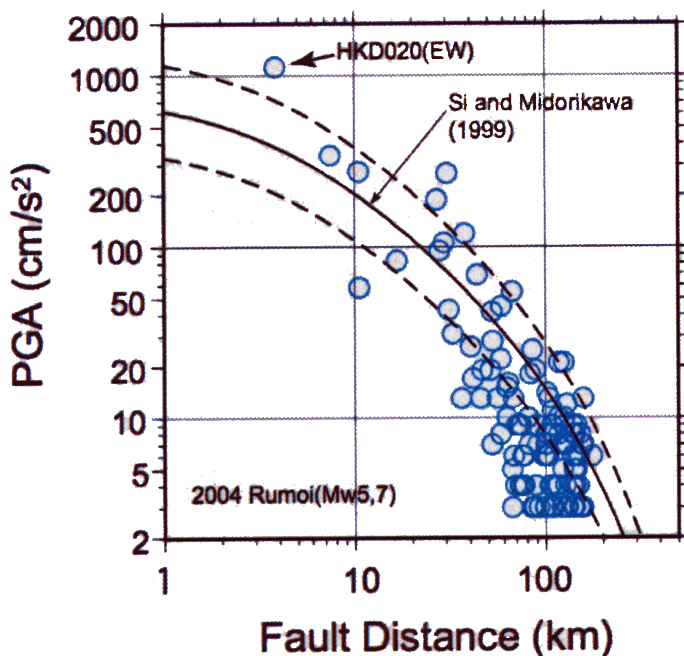
内山・翠川(2013)の地震データにはMw6.0を超える大地震のデータが含まれていないが、その理由はばらつきの分析精度を高めるためである。具体的には、次のように述べている。「大地震を対象にした場合には、中小地震に比べてその震源位置の空間分解能が疎になることにより、統計的に有意な解が得られない可能性が考えられる。また、規模の大きな地震を対象とした場合にはディレクティビティ効果など、ばらつきに影響を与える要因が中小地震よりも多くなると考えられることから、ばらつきに影響を与える要因を減らし、その解釈をより明確にするために中小地震($4.5 \leq Mw \leq 6.0$)を対象とした検討を行う。」したがって、大地震に対しては、ばらつきの要因が増えるため、一層複雑な検討が必要であり、認識論的不確定性についても、偶然的な不確定性についても、より大きなばらつきが伴うことを考慮しておく必要があると言える。

(出典：内山泰生・翠川三郎，距離減衰式における地震間のばらつきを偶然的・認識論的不確定性に分離する試み，日本地震工学会論文集，第13巻，第1号，pp.37-51(2013))

これを上述の①～④に即して言えば、①の全国的平均像から、震源特性・伝播経路特性・サイト増幅特性に関する地域性を考慮して②の地域性を反映させた平均像を求めるのが、認識論的不確定性をゼロにすることである。それでもなお②の平均像と③の実際に起きた地震の観測記録との間には偶然的な不確定性によるばらつきが存在するが、これを低減させることはできない。さらに、④の将来発生する地震については、平均像とばらつきの両面で②の平均像や③のばらつきより大きい可能性がある。つまり、認識論的不確定性をゼロにできるのは過去の記録に対してであって、将来発生する地震については認識論的不確定性を予めゼロにすることはできないし、偶然的な不確定性のばらつきについても定量的に求められるのは過去のばらつきであって、将来発生する地震が同じパターンになるとは限らないのである。実際には、過去の地震記録といえども認識論的不確定性をゼロにするなどということは不可能に近く、認識論的不確定性のばらつきが残るのは避けられない。ましてや、「地域性を考慮して平均像を求めたのだからばらつきは無視できる」などという1審被告の主張は論外であり、科学的合理性のかけらもない。

偶然的な不確定性によるばらつきと認識論的不確定性によるばらつきの残りとを合わせて、「平均値+標準偏差」が平均値の約2倍になるという程度のばらつきを最低限考慮すべきである。より具体的に言えば、耐専スペクトルや断層モデルによる地震動解析において、認識論的不確定性をゼロに近づける努力を徹底させることは元より、そうして導かれた地震動解析結果はあくまでも「地域性を考慮した平均像」にすぎないことから、さらに偶然的な不確定性や認識論的不確定性の残りを考慮し、少なくとも「平均値+標準偏差」に相当する約2倍への引上げを考慮すべきである。

ここで、参考になるのが、2004年北海道留萌支庁南部地震(M6.1, Mw5.7)のHKD020観測点での地震観測記録である。被告は、この基盤波に基づき、大飯3・4号の解放基盤表面はぎとり波に換算し「震源を特定せず策定する地震動」として基準地震動に取り入れているので、よく知っているはずである。図Aが同地震のK-NETおよびKiK-net観測点の最大加速度PGAの距離減衰と司・翠川(1999)による距離減衰式との比較である。この図より「HKD020(EW)」の最大加速度が「平均値+標準偏差」(平均値の約2倍)の破線をかかなり越え、「平均値の約3倍」になっているのが分かる。この地震が起こる前には距離減衰式の平均値の実線で予測されることになるが、それでは3倍も過小評価していることになる。また、認識論的不確定性によるばらつきを考慮して平均値を1.5倍に引上げる(耐専スペクトルで内陸補正をしない場合がこれに相当する)だけでは、まだ2倍の差が残る。したがって、偶然的な不確定性によるばらつきを考慮して、さらに2倍へ引上げることの重要さがこの例を通してよりよく理解されるのではないだろうか。



図A 2004年北海道留萌支庁南部地震のK-NETおよびKiK-net観測点の最大加速度の距離減衰と司・翠川(1999)による距離減衰式(実線が平均、破線が平均±標準偏差)との比較(出典:佐藤浩章・芝昭和・東貞成・功刀卓・前田宜浩・藤原広行, 物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部の地震によるK-NET港町観測点(HKD020)の基盤地震動とサイト特性評価電力中央研究所報告N13007(2013年12月))