

# 美浜原発・敦賀原発・もんじゅの耐震安全性評価は M7クラスの直下地震とM8クラスの大地震を過小評価している

大阪府立大学名誉教授 長沢啓行 (生産管理システム)

H21.11.19

関西電力、日本原子力発電、日本原子力研究開発機構の3社は、今年11月16日に開かれた原子力安全委員会のワーキンググループ会合で、美浜原発、敦賀原発、もんじゅの基準地震動策定結果を報告した[1][2][3]。これは耐震設計審査指針の改定(2006年9月)に伴う新しい基準地震動Ssではあるが、原子炉設置許可当時とは全く異なる。たとえば、昨年3月の中間報告時[4][5][6]の図1および今回の11月報告における図2のように、これまで短く切り離され、小さな地震しかもたらさないと評価されていた活断層が、「一体の断層帯として活動」し、表1のように、「より大きな地震を引き起こす」と評価された。設置許可時と比較すれば、基準地震動の最大加速度は美浜原発で1.9倍、敦賀原発で1.5倍、もんじゅで1.6倍にもなる。原子炉設置許可時の安全審査では、活断層と地震動を大幅に過小評価していたということになる。

しかも、「原子力村にしか通用しない活断層評価の方法」や地震動の過小評価については、原子炉設置許可直後からことあるごとに指摘されてきた。ところが、電力会社も規制当局もこれらを一貫して握りつぶしてきたという暗い歴史がある。

日本原子力研究開発機構は言う。「海域につきましては、30年前と現在では大分、探査技術が進んでいますので、その結果、海域の断層が増えている…陸域につきましては、当時、短い断層ということにつきましては、地表に出ている断層が短くて、地下にはもうちょっと長いがあるんだと、そういう発想がありませんでした」[7]と。しかし、「発想」がなかったのではなく、中央防災会議や地震調査研究推進本部が現に用いていた一連の断層帯の評価法や地震規模の推定法は「詳細な調査に基づかないものだから原発に適用する必要はない」と頑強にはねつけてきたのではなかったか。

電力会社と規制当局は、なぜこのような理不尽なことが長く続いてきたのかを深く反省し、その責任の所在を明らかにし、同様の過ちを繰り返さ

ないための方針を明確に打ち出すべきである。今回の基準地震動についても、本当にこれで過小評価していないと言えるのかを検証するため、広く国民から意見を聞くべきである。

とくに、美浜原発、敦賀原発、もんじゅにおいては、いずれもM7(マグニチュード7)クラスの直下地震に襲われる可能性があり、近距離でM8クラスの大地震に見舞われる可能性がある。これらは極めて強い地震動を各サイトにもたらすため、原子炉本体をはじめ建屋・構築物、機器・配管類が地震動に耐えられず、重大事故を引き起こす危険性がある。11月報告で出された基準地震動では、依然としてこれらの地震動が過小評価されていると私は考える。この小論ではこれを具体的に示し、関係者の真摯な検討に期待したい。

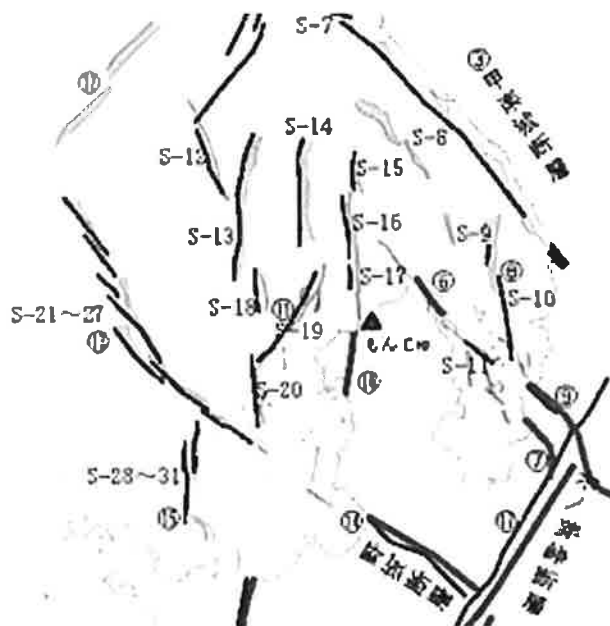


図1:もんじゅの設置許可時の活断層評価(黒)と3月中間報告での評価(海:薄紫,陸:濃紫太線)(設置許可当時、「C断層」はS-13(8.3km),S-14(6km),S-19(6km),S-18-20(6km)とバラバラに評価され、「白木-丹生断層」は海側ではS-16-17(5.1km)と短く評価され、陸側では活断層と評価されなかった[7]。今回の11月報告では、3月報告でもバラバラに評価されていた海域断層と野坂断層が図2のように、「大陸棚外縁~B~野坂断層」として一体の断層帯と評価された。浦底断層も湾内のS-11断層および内池見断層または池河内断層との一体性が評価された[2]

表 1: 各原発の解放基盤表面位置, せん断波速度および基準地震動の水平動(鉛直動)の最大加速度の推移

原発名	解放基盤表面の位置	せん断波速度 $V_s$ m/s	設置許可時の限界地震 $S_2$	2008年3月中間報告基準地震動 $S_s$	2009年11月現在基準地震動 $S_s$
もんじゅ	EL.+8.5m	1900 m/s	466 gal	600 (400) gal	760 (507) gal
敦賀原発	EL.-10m	1600 m/s	532 gal	650 (433) gal	800 (533) gal
美浜原発	EL.-10m	1650 m/s	405 gal	600 (400) gal	750 (500) gal
大飯原発	EL.+3.9m	2240 m/s	405 gal	600 (400) gal	700 (467) gal
高浜原発	EL.+1.0m	2240 m/s	370 gal	550 (367) gal	550 (367) gal

注: 美浜は 1 号 EL.-14.0m, 2 号 EL.-15.5m, 3 号 EL.+1.0m の平均, 大飯は 1-2 号 EL.+3.9m, 3-4 号 EL.+6.0m の平均, 高浜は 1-2 号 EL.+1.0m, 3-4 号 EL.+1.5m の平均である (EL: 標高) (gal =  $\text{cm/s}^2$ )

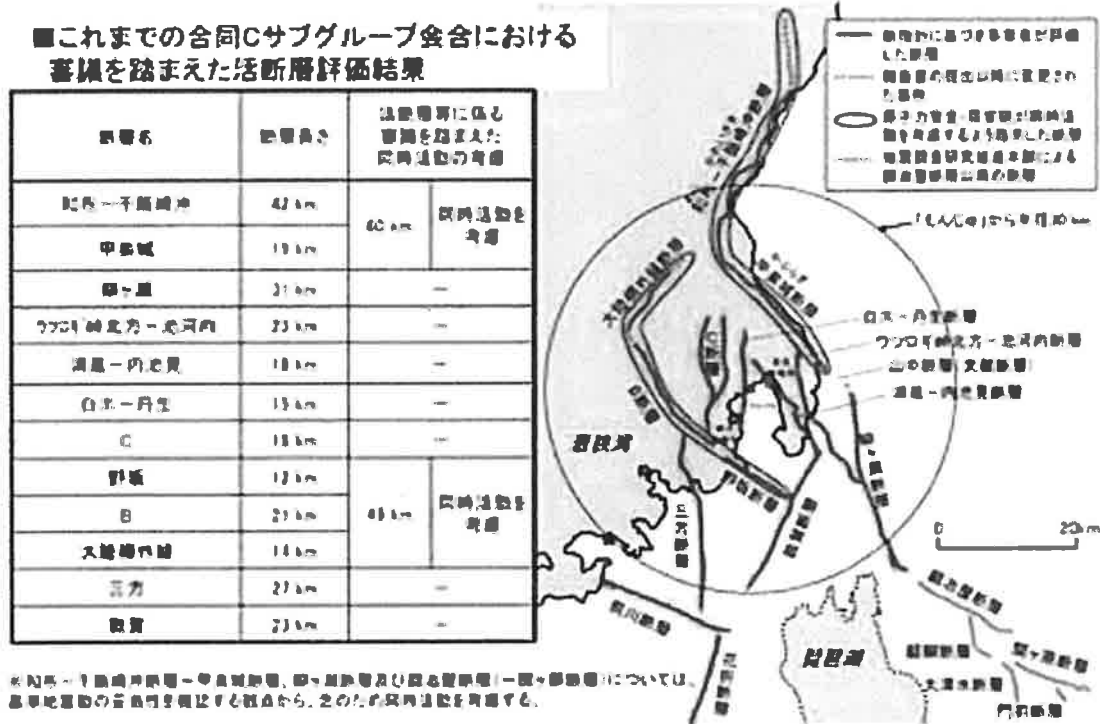


図 2: 3 社による敦賀半島周辺の活断層に関する評価結果 [2]

### 敦賀半島の 3 原発を襲う M7 クラスの直下地震

関西電力, 日本原子力発電, 日本原子力研究開発機構の 3 社による 11 月報告では, 敦賀半島の 3 原発はいずれも M7 クラスの直下地震に襲われる。美浜原発は C 断層, もんじゅは C 断層と白木-丹生断層, 敦賀原発は浦底-内池見断層および浦底-池河内断層による直下地震であり, 表 2 のように, いずれも M7 クラスの地震である。

3 社は C 断層の断層上端長さを 18km と評価し, 耐専スペクトルを求めるための地震規模を松田式から M6.9 と推定している。ところが, 断層モデルでは, C 断層が図 14 のように地下で 2 つの断層面が交差することから, 台形断面積より M6.9~M7.0 としている。原子力安全委員会は 1995 年の

阪神・淡路大震災後の検討の結果, 松田式を「震源断層の長さ」と見なし, 地表で確認される活断層の長さではなく地下に広がる震源断層の長さを松田式に適用すべきであるとの見解に変わった [8]。したがって, 松田式を適用する際には断層上端長さではなく震源断層の長さ, たとえば, 台形断面の中央長さをを用いるべきであり, そうすれば, 表 2 のように M7.0~M7.1 になる。この地震規模で耐専スペクトルを評価し直し, 断層モデルについても M7.0~M7.1 で地震動評価をやり直すべきであろう。そうすれば, 表 3 の「松田式で M7.0 とした場合」のように断層モデルの地震動評価結果も変わり, 図 4 (美浜原発), 図 5 (もんじゅ), 図 6 (敦賀原発) の基準地震動  $S_s$  も影響を受けることになる。

表 2: 美浜原発・敦賀原発・もんじゅで基準地震動策定のために検討された活断層（検討用地震）および将来起こりうると推定された地震規模（気象庁マグニチュード表示）の比較 [1]～[3]

活断層	関連原発	3社の評価	耐専スペクトル	断層モデル	備考
C断層	美浜・敦賀 ・もんじゅ	長さ 18km 60° 傾斜	M6.9 * <sup>1</sup> (18km)	M6.9, M6.9, M7.0 * <sup>1</sup> (335.34, 355.52, 365.94km <sup>2</sup> )	台形断層面の中央長さ からは M7.0～M7.1
白木一 丹生断層	美浜・敦賀 ・もんじゅ	長さ 15km 60° 傾斜	M6.8, M6.9 * <sup>2</sup> (16.2, 17.3km)	M6.9, M6.9 * <sup>2</sup> (324, 346km <sup>2</sup> )	孤立した断層の長さ 20km からは M7.0
浦底一 内池見断層	敦賀 ・もんじゅ	長さ 18km 90° 垂直	M6.9 * <sup>3</sup> (18km)	M6.9, M6.9 * <sup>3</sup> (320, 340km <sup>2</sup> )	孤立した断層の長さ 20km からは M7.0
浦底一 池河内断層	敦賀 ・もんじゅ	長さ 25km 90° 垂直	M7.2 * <sup>4</sup> (25km)	M6.9 * <sup>4</sup> (341.6km <sup>2</sup> )	
ウツロギー 池河内断層	敦賀	長さ 23km 90° 垂直 * <sup>6</sup>	M7.1 * <sup>5</sup> (23km)	M6.9, M6.9, M6.9 * <sup>5</sup> (319.2, 342.0, 328.47km <sup>2</sup> )	
三方断層	美浜	長さ 27km 60° 傾斜	M7.2 (26.2km)	M7.1 (424.4km <sup>2</sup> )	
大陸棚外縁～ B～野坂断層	美浜・敦賀 ・もんじゅ	長さ 49km 北 60° 南 90°	M7.7 * <sup>6</sup> (49km)	M7.3, M7.4 * <sup>6</sup> (598.79, 647.46km <sup>2</sup> )	断層中央長さ 40km からは M7.5
和布一干飯崎 沖～甲楽城	美浜・敦賀 ・もんじゅ	長さ 60km 北 45° 南 90°	M7.8 * <sup>7</sup> (60km)	M7.7, M7.8 * <sup>7</sup> (1043.58, 1117.62km <sup>2</sup> )	Fujii-Matsu'ura(2000) では、60km より M7.9
和布一干飯崎 沖～関ヶ原	美浜・敦賀 ・もんじゅ	長さ 119.2km 北 45° 南 90°	— * <sup>8</sup> (—)	M8.2 * <sup>8</sup> (1872.38km <sup>2</sup> )	Fujii-Matsu'ura(2000) と松田式では M8.3

注：3社は、耐専スペクトルの地震規模を下段括弧内の活断層の長さ（断層上端長さ）から松田式で気象庁マグニチュードを求めており、断層モデルの地震規模を下段括弧内の断層面積から入倉らの式で地震モーメントを求めている。ここでは、それを武村（1990）の換算式で気象庁マグニチュードに直した（地震モーメント等の詳細は表3～表11を参照されたい）。

\*1：3社は、耐専スペクトルでは、C断層の断層上端長さ 18km から松田式で地震規模を求めている。断層モデルでは、断層面積を 335.34km<sup>2</sup>（断層上端深さ 4km）、355.52km<sup>2</sup>（同 3km）、365.94km<sup>2</sup>（同 4km で傾斜角 55°）として入倉らの式を適用している。耐専スペクトルでは、これらの不確かさを考慮する際に、断層長さを変えず、等価震源距離の変化としてしか反映させていない。そのため、断層モデルより地震規模が小さくなっている。ところが、C断層は末広がりの台形断層になっており、これらの不確かさに対応する断層平均長さはそれぞれ 20.7、20.6、21.4km である。これらを松田式に適用すると M7.0、M7.0、M7.1 になる。耐専スペクトルではこれらを用いるべきであり、断層モデルでもそうすべきである。

\*2：3社は、耐専スペクトルでは、白木一丹生断層の幅が 16.2km（断層上端深さ 4km）および 17.3km（同 3km：不確かさの考慮）と断層長さより大きい場合、断層長さを断層幅に合わせて松田式を適用している。ところが、断層モデルでは、孤立した断層として断層長さを 20km とし、両断層幅を掛けて断層面積を求め、入倉らの式を適用している。なぜ、両方とも一貫して「長さ 20km の孤立した断層」として扱わないのか、疑問である。

\*3：3社は、耐専スペクトルでは、浦底一内池見断層の断層上端長さ 18km から松田式で地震規模を求めている。ところが、断層モデルでは、白木一丹生断層と同様に孤立した断層として断層長さを 20km とし、断層幅 16km（断層上端深さ 4km）、17km（同 3km）を掛けて断層面積を求め、入倉らの式を適用している。なぜ、両方とも一貫して「長さ 20km の孤立した断層」として扱わないのか、疑問である。

\*4：3社は、浦底一内池見断層の不確かさの考慮として浦底一池河内断層を検討しているが、断層下端深さを後者の 20km から 18km へ浅くしている。そのため、断層長さが 18km から 25km へ伸びたにもかかわらず、断層面積は浦底一内池見断層とほとんど変わらない。浦底断層の下端深さが都合良く浅く設定されているのである。耐専スペクトルでは、浦底一池河内断層の断層上端長さ 25km から松田式で M7.2 と算定しており、断層モデルより大きくなっている。

\*5：3社は、耐専スペクトルでは、ウツロギー池河内断層の断層上端長さ 23km から松田式で地震規模を求めている。断層モデルでは、断層面積を 319.2km<sup>2</sup>（断層上端深さ 4km）、342.0km<sup>2</sup>（同 3km）、328.47km<sup>2</sup>（同 4km で北部 70° 南部 90°）として入倉らの式を適用しており、耐専スペクトルより小さくなっている。

\*6：3社は、耐専スペクトルでは、大陸棚外縁～B～野坂断層の断層上端長さ 49km から松田式で地震規模を求めている。ただし、美浜原発ともんじゅでは「等価震源距離が極近距離よりかなり小さい」ため「適用範囲外」として耐専スペクトルを求めている。断層モデルでは、断層面積を 598.79km<sup>2</sup>（断層上端深さ 4km）、647.46km<sup>2</sup>（同 3km）として入倉らの式を適用している。北部 60° 傾斜ではふたつの断層が交差する逆さの台形断層となっており、全断層の中央長さはそれぞれ 40.0km、40.4km になる。松田式からはいずれも M7.5 になる。

\*7：3社は、耐専スペクトルでは、和布一干飯崎沖～甲楽城断層の断層上端長さ 60km から松田式で地震規模を求めている。断層モデルでは、断層面積を 1043.58km<sup>2</sup>（断層上端深さ 4km）、1117.62km<sup>2</sup>（同 3km）として入倉らの式を適用している。この場合は、北部断層が 45° 傾斜になっているため断層面積が大きくなり、断層上端 3km モデルでは地震規模が耐専スペクトルと同等になっている。3社は和布一干飯崎沖～甲楽城断層における断層モデルの応力降下量を Fujii-Matsu'ura(2000) から引用しているが、断層長さから地震規模を求める彼らの式を採用していない。そこで、Fujii-Matsu'ura(2000) の式を使って断層長さ 60km から地震規模を求めると M7.9 となり、松田式よりさらに大きくなる。

\*8：3社は、和布一干飯崎沖～甲楽城、柳ヶ瀬および鍛冶屋断層（から関ヶ原断層）の同時活動を念のため考慮しているが、耐専スペクトルは求めず、断層モデルによる地震動評価しか行っていない。確かに、M8 以上の耐専スペクトルは観測記録に基づかない外挿によるものであり、M8.3 では等価震源距離が「極近距離」33km（M8.0 で 25km、M8.5 で 40km）よりかなり小さければ「適用範囲外」になるかもしれない。しかし、「参考」として求めるべきであろう。Fujii-Matsu'ura(2000) の式を使って断層長さ 119.2km から地震規模を求めると M8.3 となり、松田式と同じになる。

白木一丹生断層と浦底一内池見断層については、耐専スペクトルにおける地震規模を求める際、表2のように活断層長さをベースにして(断層幅より短い場合には断層長さ=断層幅として)松田式を適用している。しかし、断層モデルでは、これらの断層を「孤立した断層」と見なして断層長さを20kmと評価し、断層面積からM6.9と推定している。20kmの断層長さは松田式ではM7.0に相当するから、耐専スペクトルの地震規模はM7.0とすべきであり、断層モデルでも表4および表5のようにM7.0として地震動評価をやり直すべきである。

「孤立した活断層」の長さを20kmにしている理由は、「Stirling et al.(2002)により整理された地表地震断層長さ $L$ と震源断層長さ $L_{sub}$ の関係から、 $L$ が小さくなくても $L_{sub}$ は約20km付近に漸近し、それ以上は小さくならないことから、震源断層長さを20kmとする」(p.II-13[6])というものである。これは不確かさを考慮しているのではなく、活断層の長さが地表で認められた場合には地下で少なくとも20kmの震源断層が存在するという知見に基づくものであり、20kmに留まるという根拠もない。なぜなら、もんじゅ等の地下は花崗岩で形成されており、音波探査などでは地下の断層が見えないからである。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。」[9]としている。地表に活断層が認められない場所ですらM7.3を想定すべきところ、地表に活断層が認められるC断層、白木一丹生断層、浦底一内池見断層では、不確かさを考慮してM7.3の震源断層を想定すべきであろう。

さらに、島崎(2008)[10]によれば、M7.5未満の地震をもたらす活断層では震源断層の長さが活断層の長さより長い可能性があり、「短い活断層で発生する地震の最大規模はM7.4程度と予想される」としている。このような可能性も念頭に置き、安全側に立って評価し直すべきであろう。

#### 柏崎刈羽原発を襲った新潟県中越沖地震

2007年7月に起きた新潟県中越沖地震は、地震規模がM6.8とごくありふれた地震であった

が、柏崎刈羽原発1~4号敷地内解放基盤表面で東京電力が推定したはざとり波は、最大加速度が1011~1699gal( $\text{cm/s}^2$ )と極めて大きく、施設の固有周期ごとの応答速度(または応答加速度)を表す応答スペクトルも図7のように極めて大きかった[13]。これを図4~図6と比較すれば、美浜原発、敦賀原発、もんじゅのいずれの基準地震動 $S_s$ をも軽く超えていることがわかる。柏崎刈羽原発では伝播経路で地震動が4倍も増幅されるという地下構造があったとはいえ、3社はこの事実を真摯に受け止めるべきである。とくに、新潟県中越沖地震は震源深さ17kmであり、柏崎刈羽原発は震央距離16km、震源距離23kmと少し離れていたが、耐専スペクトルの等価震源距離で見ると、美浜電発ではC断層M6.9が7.5km、白木一丹生断層M6.9が8.8km、もんじゅでは白木一丹生断層M6.9が7.5km、C断層M6.9が7.6km、敦賀原発では浦底一内池見断層M6.9が7.5km、浦底一池河内断層M7.2が9.1km、白木一丹生断層M6.9が7.3km、C断層が8.5kmと極近距離の直下地震そのものである(浦底一池河内断層以外はすべて上端3kmの場合)。M7クラスの地震観測記録でこれほど近距離のものはほとんど存在しない。幸いにも6月14日の岩手・宮城地震M7.2では、柏崎刈羽原発で観測された新潟県中越沖地震と同程度またはそれ以上の極めて大きな地震動が観測されており、これを重視すべきである。

#### 岩手・宮城内陸地震の極めて大きな地震動

岩手・宮城内陸地震の震源ごく近傍で逆断層の上盤直上に位置する一関西(いちのせきにし)では最大加速度が地表で4022gal( $\text{cm/s}^2$ )、地下で1078gal(いずれも3成分合成)という極めて大きな地震動が観測された[11]。しかも、上下動が極めて大きく、図3のように、地表では3866galで水平動の約3倍、周期0.06秒における加速度応答スペクトルは上下UDで9853galにも達した。入倉ら[12]は、P波速度を1/2以下に小さくして短周期地震波を大きくし、Q値を「劇的に小さく」して振幅を抑え、上下動の非対称性についてトランポリン効果等を考えれば、極めて大きな地表地震動の生成メカニズムを一応説明できるとしている。しかし、地下で

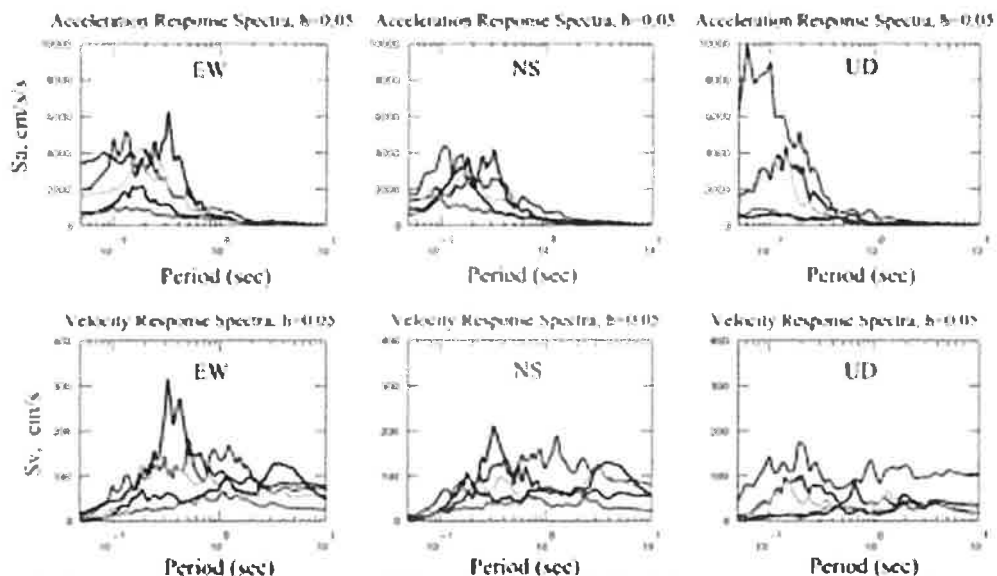


図 3: 岩手・宮城内陸地震 M7.2 で観測された地震観測記録(地表)の応答スペクトル [11]  
 (赤: 一関西 IWTH25, 青: 東成瀬 AKTH04, 緑: IWTH26, 黒: MYG004, 紫: ATK023)

観測点	3成分合成	東西	南北	上下
一関西(地表)	4022 gal	1143	1433	3866
(地下)	1078 gal	1036	748	640
一関西(地表)	100.1 cm/s	71.0	61.5	84.7
(地下)	73.2 cm/s	42.2	37.2	68.5

も、3成分合成最大加速度は1078galに達し、上下動の最大速度は68.5cm/sで水平動42.2cm/s(EW)の1.5倍を超えた。この生成原因については不明なままである。一関西の地下地震計は深さ260m、S波速度1810m/sの岩盤に設置されており、表1の美浜原発・もんじゅ・敦賀原発の解放基盤表面位置のせん断波(S波)速度と同等と言える。この地下地震動を「解放基盤表面位置ではぎとり波」に換算すれば、図4～図6の美浜原発、もんじゅ、敦賀原発の基準地震動Ssを遥かに超えるであろう。

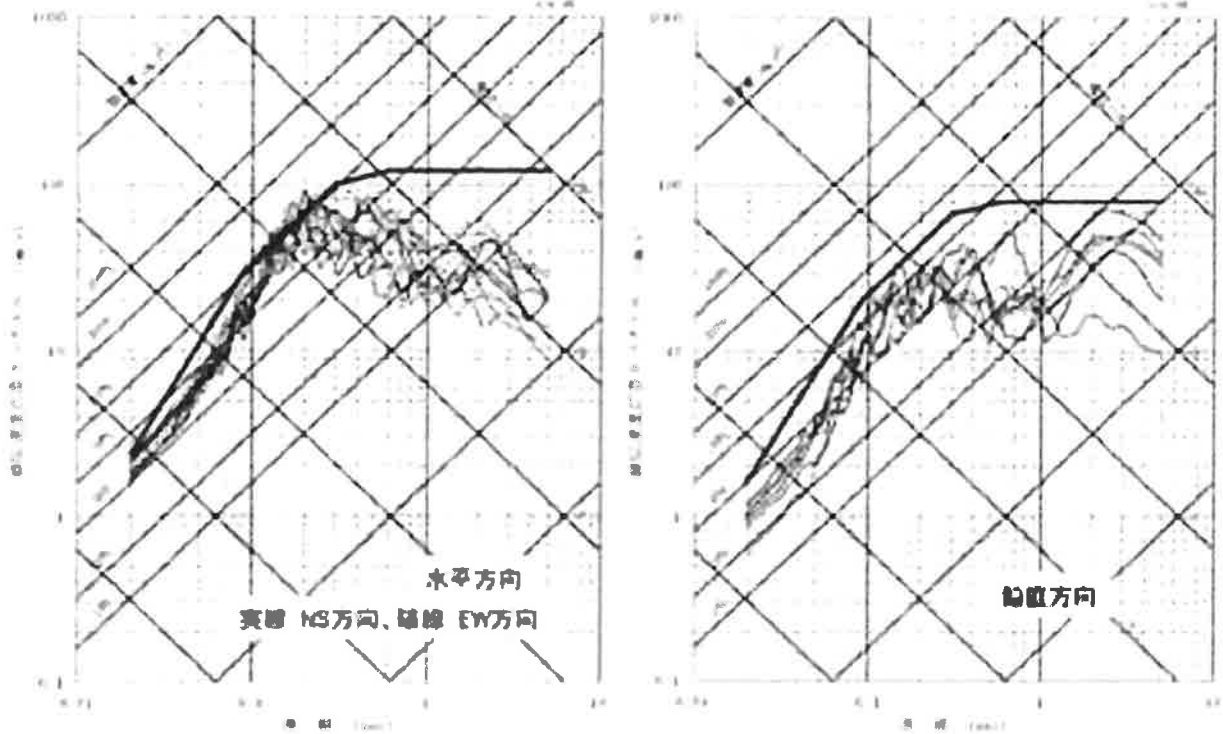
さらに、C断層や白木一丹生断層は東側へ傾斜する逆断層であり、美浜原発はC断層の、もんじゅはC断層と白木一丹生断層の上盤側に位置するため、より大きな地震動(上盤効果)と地盤の隆起が伴う。この地盤の変形や敷地内に存在する断層または破碎帯の挙動によっては建屋が基礎ごと破壊され、一層甚大な影響をもたらされる。

### M8クラスの近距離大地震にも襲われる危険性

敦賀半島の3原発サイトはM7クラスの直下地震だけでなく、M8クラスの大地震に襲われる危険性がある。図2の「大陸棚外縁～B～野坂断層」M7.7と「和布一干飯崎沖～甲楽城断層」M7.8お

よびその関ヶ原断層までの延長断層帯M8.2がそれである。耐専スペクトルの等価震源距離で見ると「大陸棚外縁～B～野坂断層」M7.7が美浜原発まで約8km、もんじゅまで約13km、敦賀原発まで15.4km、「和布一干飯崎沖～甲楽城断層」M7.8が敦賀原発まで19.5km、もんじゅまで21.9km、美浜原発まで約27kmと非常に近い(すべて上端3kmの場合)。ただし、「大陸棚外縁～B～野坂断層」については美浜原発ともんじゅが近すぎるため、これらでは耐専スペクトルを求めていない。正確に言えば、「耐専スペクトルが余りにも大きくなりすぎたので、採用していない」のである。その代わりに他の距離減衰式で応答スペクトルを求め耐専スペクトルの代用としている。

では、敦賀原発の「大陸棚外縁～B～野坂断層」に対する耐専スペクトルはどうなっているか、見てみよう。図8がそれである。この図には、断層モデルによる地震動評価も重ねて示しているが、図7の破線と「はぎとり波」との関係のように、両者がかなり離れていることがわかる。実際に、図8では、断層モデルによる地震動評価の応答スペクトルは耐専スペクトルの1/4～1/3でしかない。なぜ、こうなっているのか?それは、表2に示されるとおり、耐専スペクトルの地震規模がM7.7であるのに対し、断層モデルの地震規模がM7.3(上端4km)、地震エネルギーではほぼ1/4と小さいことに起因する。ただし、「断層モデル」にもいろいろな種類があり、ここで用いているのは断層面積

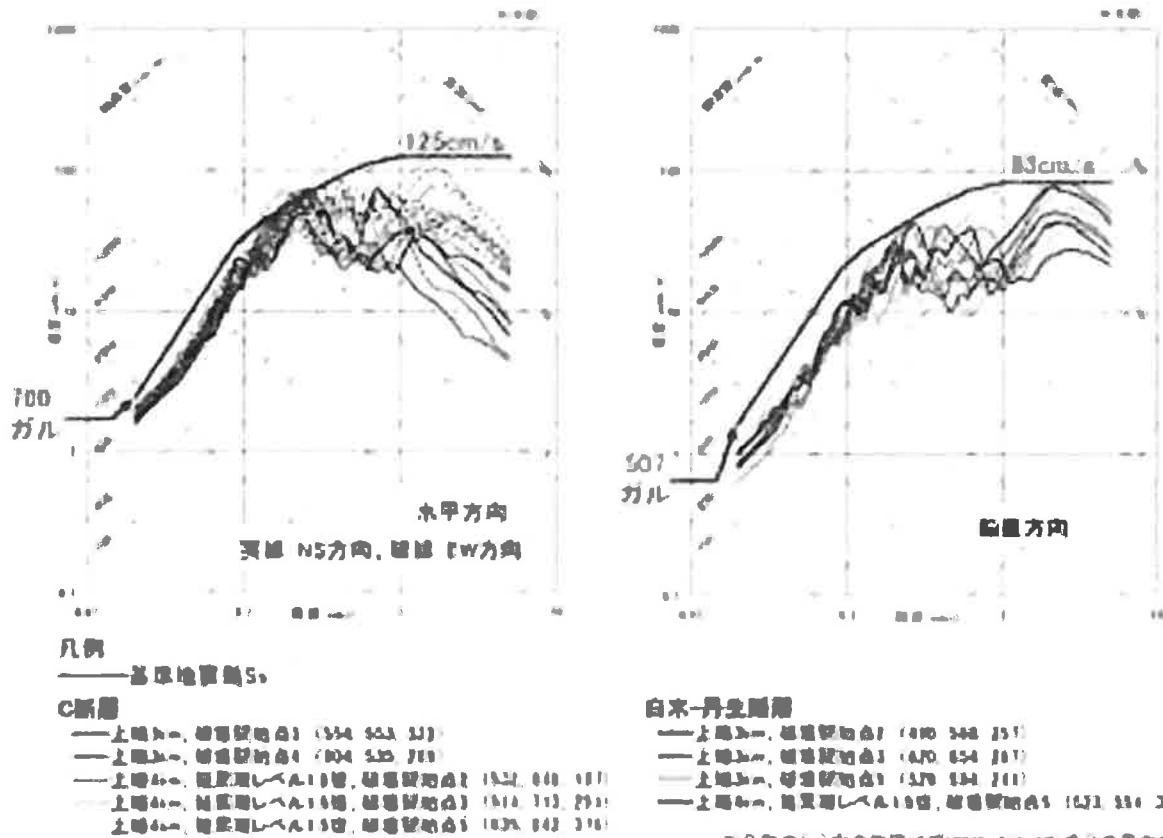


凡例  
 ——基準地震動 Ss  
 大陸棚外縁～D～野坂断層  
 ——上層 4km, 伝達率レベル 1.5倍, 破壊開始地点 (1620, 477, 350)  
 ——上層 4km, 伝達率レベル 1.5倍, 破壊開始地点 (1734, 517, 360)  
 ——上層 4km, 伝達率レベル 1.5倍, 破壊開始地点 (1875, 385, 370)

C断層  
 ——上層 3km, 破壊開始地点 (1560, 664, 271)  
 ——上層 4km, 伝達率レベル 1.5倍, 破壊開始地点 (1647, 658, 294)  
 ——上層 4km, 伝達率レベル 1.5倍, 破壊開始地点 (1729, 888, 274)  
 ——上層 4km, 伝達率レベル 1.5倍, 破壊開始地点 (1664, 905, 181)

※凡例の( )内の数値は断りにNS (W, E)成分の最大加速度値 (ガル)

図 4: 美浜原発の基準地震動 Ss(2009年11月現在)[1] (基準地震動 Ssと書かれているのは、正確には耐専スペクトルによる基準地震動であり、断層モデルによる「大陸棚外縁～B～野坂断層」および「白木-丹生断層」の地震動評価結果がこれを部分的に越えたため、7波を基準地震動として追加している)



凡例  
 ——基準地震動 Ss  
 C断層  
 ——上層 3km, 破壊開始地点 (1554, 653, 271)  
 ——上層 3km, 破壊開始地点 (1604, 525, 279)  
 ——上層 4km, 伝達率レベル 1.5倍, 破壊開始地点 (1522, 610, 187)  
 ——上層 4km, 伝達率レベル 1.5倍, 破壊開始地点 (1614, 713, 273)  
 ——上層 4km, 伝達率レベル 1.5倍, 破壊開始地点 (1839, 643, 276)

白木-丹生断層  
 ——上層 3km, 破壊開始地点 (1410, 348, 251)  
 ——上層 3km, 破壊開始地点 (1470, 654, 287)  
 ——上層 4km, 破壊開始地点 (1570, 334, 211)  
 ——上層 4km, 伝達率レベル 1.5倍, 破壊開始地点 (1623, 334, 210)

※凡例の( )内の数値は断りにNS (W, E)成分の最大加速度値 (ガル)

図 5: もんじゅの基準地震動 Ss(2009年11月現在)[3] (基準地震動 Ssと書かれているのは、正確には耐専スペクトルによる基準地震動であり、断層モデルによる「C断層」および「白木-丹生断層」の地震動評価結果がこれを部分的に越えたため、9波を基準地震動として追加している)



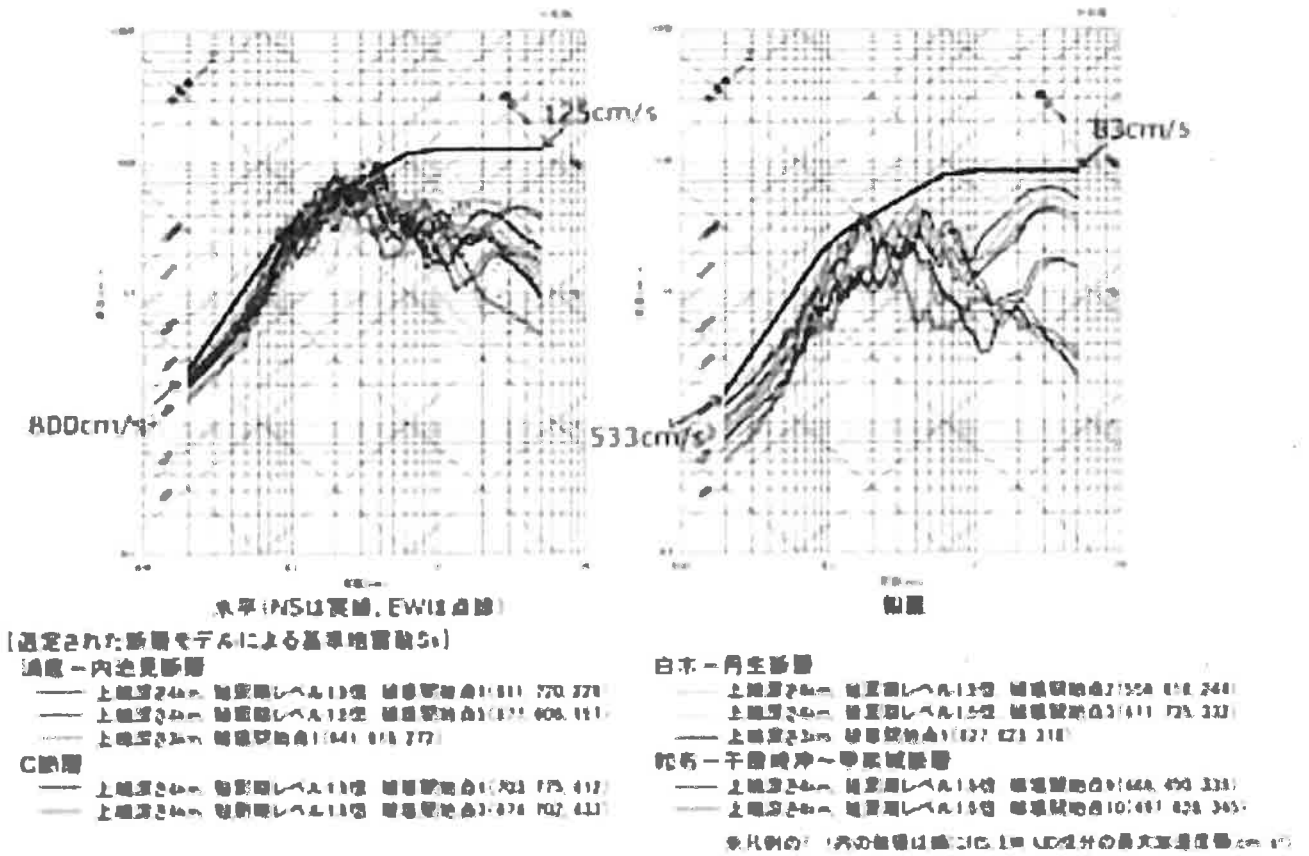


図 6: 敦賀原発の基準地震動 Ss(2009年11月現在)[2] (基準地震動 Ssと書かれているのは、正確には耐専スペクトルによる基準地震動であり、断層モデルによる「浦底-内池見断層」、「C断層」、「白木-丹生断層」、「和布-干飯崎沖~甲楽城断層」の地震動評価結果がこれを部分的に越えたため、10波を基準地震動として追加している)

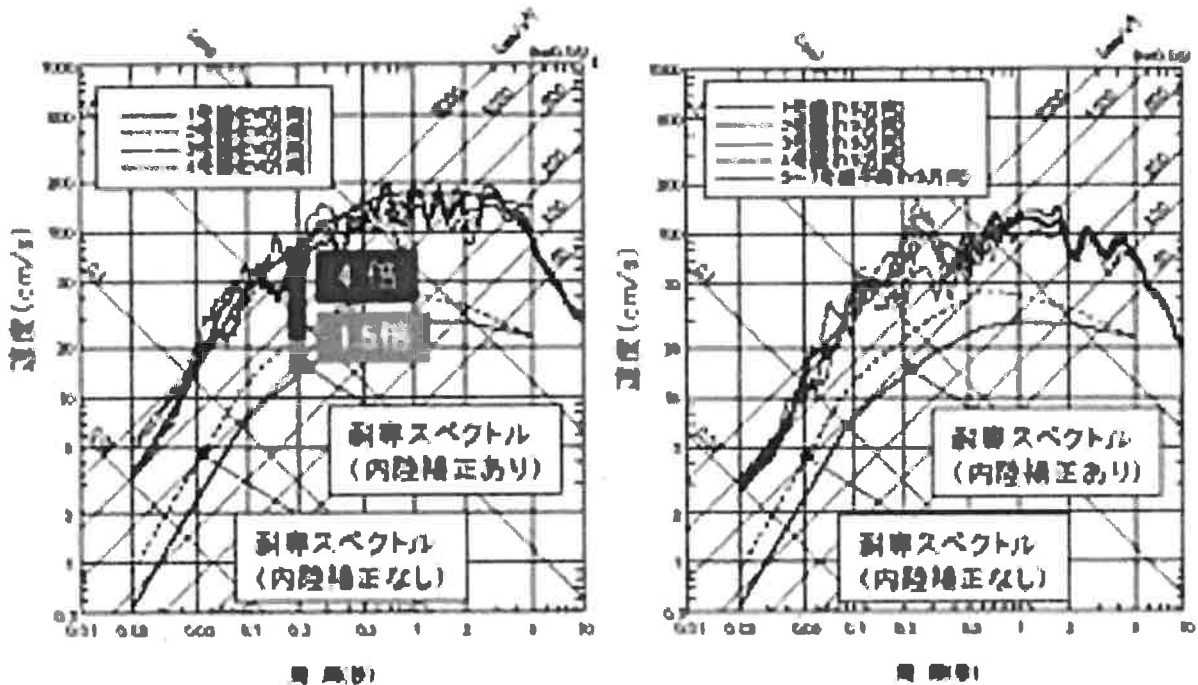


図 7: 柏崎刈羽原発 1~4号での新潟県中越地震時の解放基盤表面地震動はざとり波の応答スペクトル: (左) 東西 EW 方向, (右) 南北 NS 方向 [13] (東電が推定した解放基盤表面地震動 (はざとり波) の最大加速度 (上図で周期 0.02 秒における応答加速度に対応する) は, 1699gal(1号), 1011(2号), 1113(3号), 1478(4号), 766(5号), 539(6号), 613(7号) である。耐専スペクトルの「内陸補正あり」は海洋プレート間地震のデータ等の混在したデータによる耐専スペクトルを内陸地殻内地震のスペクトルに補正するもので、「内陸補正なし」を約 0.6 倍したものである。耐専スペクトルと地震波の重なりがこの程度であれば両者は対応していると考えられる。この図を図 4~図 6 と比較すれば、明らかにこの図の解放基盤表面はざとり波の応答スペクトルが美浜原発、もんじゅ、敦賀原発の基準地震動 Ss を軽く越えていることがわかる。)

から地震規模を求める入倉らによる断層モデルであり、その致命的な欠陥が出ているのである。表2に記載された他の断層で両者にそれほど差が出ていないのは、 $60^\circ$ に傾斜しているため断層下端までの断層幅が広がり、断層面積が大きくなっているからである。逆に、垂直横ずれ断層の部分が長い「大陸棚外縁～B～野坂断層」では断層面積が小さいため地震規模が小さくなり、断層長さから松田式で求めた耐専スペクトルの地震規模との差が開いたというわけである。したがって、断層モデルの地震規模を耐専スペクトルの地震規模 M7.7にあわせる以外に整合性を図る道はない。そうすれば、敦賀原発においては「大陸棚外縁～B～野坂断層」の断層モデルによる地震動評価、とくに不確実さを考慮して短周期レベルを1.5倍にするケースでは基準地震動を越えるであろう。

同様のことが美浜原発やもんじゅについても言える。美浜原発では、「大陸棚外縁～B～野坂断層」が等価震源距離で約8kmと近いため、図9のように他の距離減衰式で耐専スペクトルを置き替えている。同図には、同断層から等価震源距離15.4kmの敦賀原発における図8の耐専スペクトルを重ねて描いている。この図で明白だが、他の距離減衰式は、等価震源距離で2倍ほど遠い敦賀原発での耐専スペクトルと比べても1/2～1/3程度にすぎない。断層モデルによる地震動評価も0.1秒以下では1/2程度である。実際には、美浜原発における「大陸棚外縁～B～野坂断層」の応答スペクトルはもっと大きくなるはずであり、断層モデルの地震規模を M7.3 から M7.7へ引き上げて評価し直すべきである。そうすれば、図4の美浜原発の基準地震動  $S_s$  はもっと大きくならざるを得ないであろう。

もんじゅについても同様に、「大陸棚外縁～B～野坂断層」に対する断層モデルの地震規模を M7.7に引き上げて評価し直すべきであり、図5の基準地震動  $S_s$  を策定し直すべきである。

ちなみに、松田式を適用する際には地下の震源断層の広がりに基づいて断層長さを設定する必要がある。地震調査研究推進本部(推本)は、表13のように、断層面が交差しても、各断層がそのまま地下に伸びている場合を想定して断層長さを設定している。3社による「大陸棚外縁～B～野坂断

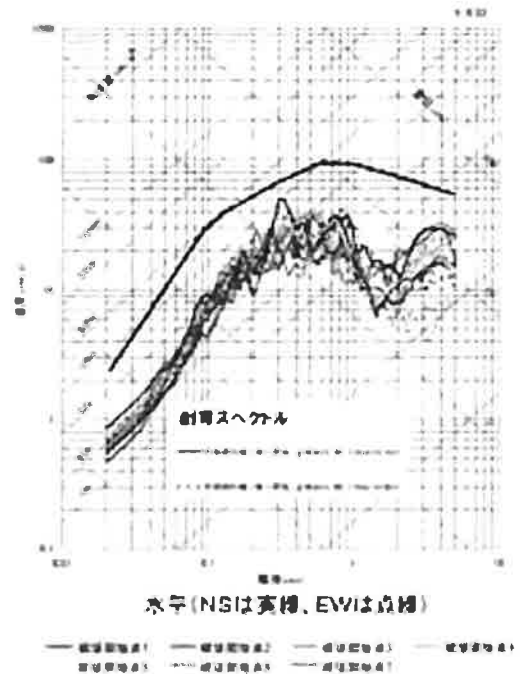


図8: 大陸棚外縁～B～野坂断層の敦賀原発での耐専スペクトルと断層モデル(断層上端4km)による地震動評価[2](表2に示したように、耐専スペクトルは M7.7、断層モデルは M7.3 の地震動評価になっており、両者で3～4倍の違いがある。これで同じ断層帯を評価したと言えるのであろうか)

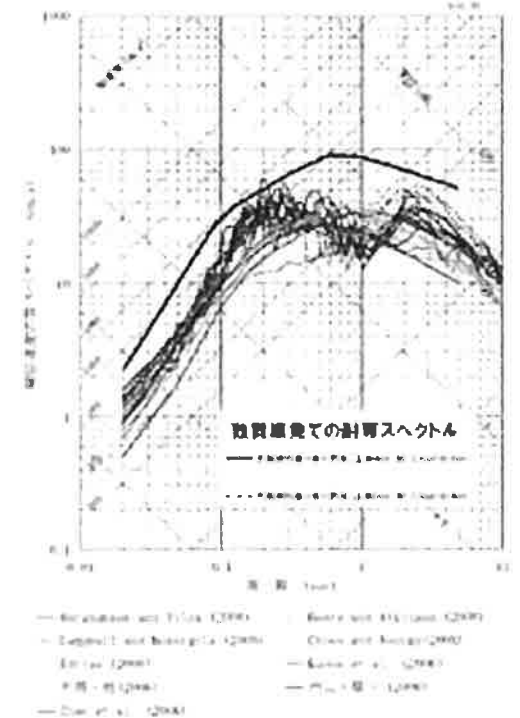


図9: 大陸棚外縁～B～野坂断層の「敦賀原発での耐専スペクトル」と「美浜原発での距離減衰式および断層モデル(断層上端4km)による地震動評価」の比較[1](距離減衰式は滑らかな山形曲線だが、波線の断層モデルより小さく、美浜原発から7km強離れた敦賀原発における耐専スペクトルよりかなり小さい。図8と同様に、敦賀原発の耐専スペクトルおよび距離減衰式は M7.7、断層モデルは M7.3 の地震動評価になっている。断層モデルによる地震動評価は敦賀原発での耐専スペクトルより1/2～1/3にすぎず、美浜原発での応答スペクトル評価を正しく行えば、図8と同様、1/3～1/4程度に差が開くと考えられる)



層」の断層長さ設定法はこれに対応するが、表2では、参考として断層中央長さを断層長さにとった場合を備考欄に記載し、表9にそのときの断層モデルのパラメータを求めた。推本は大陸棚外縁断層を除く断層帯を「野坂断層帯 M7.3」として評価し、表12のような断層モデルのパラメータを求めている。推本は、長期評価で1回のずれ量を「左横ずれ成分が約2~3m, 上下成分が約0.5m以下」と評価しているが、同表のパラメータでは110cmとやや小さい。3社による断層モデルは大陸棚外縁断層を含めてもM7.3の規模にとどまり、表9のようにすべり量は95.2cmとさらに小さい。この意味では、表9におけるM7.5の場合の149.2cmが推本の長期評価によりよく合うと言える。もっとも、M7.7で評価すれば、すべり量は250cm程度になり、長期評価に合致するが、推本の修正レシピ[14]に基づく断層面積の修正が必要になる。

#### M8クラスの地震動評価が過小評価されている

断層モデルによる地震動評価では、地震規模が過小評価されていることに加えて、「和布一干飯崎沖~甲斐城断層」M7.8およびその関ヶ原断層までの延長断層帯 M8.3 の地震動評価では応力降下量が過小評価されている。3社は表10~表11のように、これらの断層評価ではアスペリティ面積/断層面積比を22%に固定する方法を用いている。ところが、平均応力降下量についてだけ、断層平均で3.1MPa, アスペリティ平均で14.1MPaというFujii-Matsu'ura(2000)[15]の応力降下量を採用している。もっとも、推本のレシピでは、円形破壊面を仮定できない「内陸の長大な横ずれ断層」に対しては、「その適用範囲等については今後十分に検討していく必要がある」との条件付きで、「新たな知見が得られるまでは暫定値としては $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ を与えること」[14]としており、やむを得ないようにみえる。しかし、ここで根本的な疑問が浮上する。Fujii-Matsu'ura[15][16]は、断層幅より断層長さが十分長い中規模断層から長大断層を広く包含する $L - M_0$ 関係式(断層長さ $L$ と地震規模を表す地震モーメント $M_0$ の関係式)を「観測データに基づく回帰計算」から求めたものであり、応力降下量 $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ はそれに付

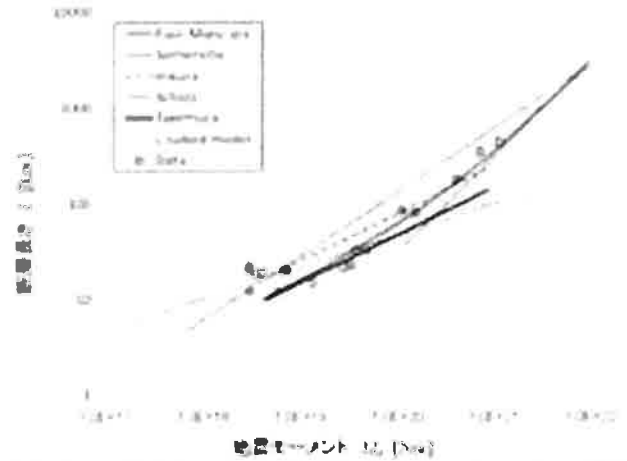


図10: Fujii-Matsu'ura[15]等によるスケーリング則の関係: Somerville(細線), 入倉(Irikura, 緑破線), Scholz(青太点線), 武村 Takemura(青太直線), L3 乗モデル(茶細点線), Fujii-Matsu'ura(赤太曲線). Fujii-Matsu'uraはTakemuraとScholzに漸近し国内地震データ(赤丸)にフィットしている

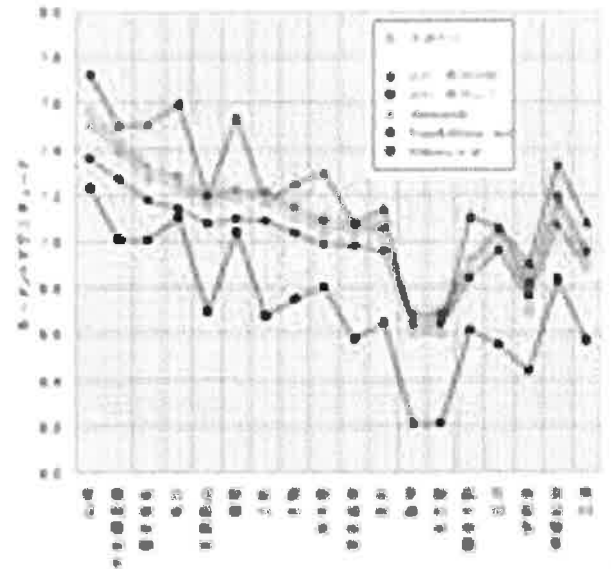


図11: 中央防災会議で検討された主な活断層による地震規模評価式[17]: 上から武村式(断層面積), 武村式(断層長さ), Shimazaki式, 中央防災会議による式, Fujii-Matsu'ura式, Irikura(入倉)式であり、日本の垂直横ずれ断層では、入倉式による地震規模が最も小さくなる

随して得られた値に過ぎない。しかも、彼らの用いた地震データは入倉らの用いた地震データとはかなり異なる武村のデータである。つまり、図10のように、Fujii-Matsu'uraは中規模断層に対しては武村式、長大断層に対してはScholzの式に漸近するように彼らの $L - M_0$ 関係式を導出している。したがって、彼らの応力降下量を用いるのであれば、彼らの $L - M_0$ 関係式を用いて地震規模を求めるべきであろう。都合の良いところだけこっそりつまみ食いするのは悪質である。中央防災会議による国内の主な活断層に対する地震規模を比較した図11によれば、推本レシピで採用さ