

## 7. 地震動の評価方法

### 7.1 表層地盤モデル

確率論的地震動ハザード評価では、工学的基盤以浅の表層地盤による地震動の増幅特性を評価するために、微地形分類、およびそれに基づく表層 30m の平均 S 波速度(以降、*AVS30*)の全国マップ(若松・松岡, 2008)を用いてきた。

2014 年版では、新たな研究成果やボーリングデータ等を参照することにより地域の地形発達(地形が形成された過程)を詳細に検討し、大幅な見直しが行なわれた Wakamatsu and Matsuoka(2013)を用いた。Wakamatsu and Matsuoka(2013)では、例えば、以下の改良が行われている。

○若松・松岡(2008)で「後背湿地」としていたものを「三角州・海岸低地」に変更。

日本の沿岸地域では、縄文海進極大期(約 6000 年前)には、現在よりも 3~5m ほど海面が高かったと言われている。このときに海であり、従来「後背湿地」と評価されていた地域のうち、海成層がより卓越していると思われる地域について、縄文海進の影響が強く認められる標高がおおむね 5m 以下の海岸に近い地域を「三角州・海岸低地」に変更した。

○関東地方の「旧河道・旧湖沼」、「干拓地」、「埋立地」を正確に抽出。

明治期の 5 万分の 1 地形図画像との重ね合わせが可能となったことにより、明治期の水域を「旧河道・旧湖沼」や「干拓地」、「埋立地」として正確に抽出した。

微地形分類から表層 30m の平均 S 波速度(*AVS30*)を求める際の手法は従来と同じ Matsuoka *et al.* (2006) であるが、新たに

- ①「磯・岩礁」の *AVS30* は「丘陵」の値を仮定
- ②「河原」の *AVS30* は周囲の値から推定
- ③山地・丘陵地の無い離島の「埋立地」の *AVS30* は、全国の埋立地の平均値を仮定

を追加した。①、②はこれまで陸地でありながら *AVS30* が求められておらず、地表の地震動が評価されていなかったことを改善するもの、③は埋立地の *AVS30* の算出において、「山地・丘陵地」からの距離がパラメータとなっているが、それらの微地形分類が無い離島において値が極端に小さく評価されていたことを修正するものである。

また、これまで微地形分類および *AVS30* のデータは日本測地系で作成されており、このため全国地震動予測地図も日本測地系で作成されてきたが、これらをすべて世界測地系に変更した。これは、2002 年より改正測量法が施行されたことにより、現在公開されているほとんどの地図情報や位置情報が世界測地系に移行している(例えば、地震本部でも主要活断層帯などの活断層の長期評価で示される断層の位置情報は既に世界測地系での表記となっている)ことを受けたものである。

図 7.1-1 に 2014 年版の確率論的地震動予測地図の作成に用いた微地形分類を、図 7.1-2 には、微地形分類より求められた  $AVS30$  の分布について、2014 年版で用いているものと 2013 年まで用いてきたものを示す。図 7.1-3 には、工学的基盤（S 波速度 400m/s 相当）から地表に至る表層地盤による最大速度増幅率の分布について、2014 年版で用いているものと 2013 年まで用いてきたものの比較を示す。2014 年版で用いたものと、2013 年まで用いてきたものとのメッシュの境界位置が異なるため、両者を直接比較することはできないが、参考のため世界測地系の各メッシュの中心位置で比較した最大速度の増幅率の比を図 7.1-4 に示す。

これまで全国の代表地点での「今後 30 年間に震度 6 弱以上の揺れに見舞われる確率」などの確率を示す際に、都道府県庁所在地の市役所と北海道の地域振興局の位置が含まれるメッシュにおける値を示してきた。それらの位置における  $AVS30$  の比較を表 7.1-1 に、工学的基盤（S 波速度 400m/s 相当）から地表に至る表層地盤による最大速度増幅率の比較を表 7.1-2 に示す。

なお、ここに示した微地形分類はあくまで約 250m 四方のメッシュ（「統計に用いる標準地域メッシュ・コード」（行政管理庁，1973）に示される 1/4 地域メッシュ）ごとに、そのメッシュに占める面積が最も大きな微地形を調べたものであり、実際には、250m のメッシュの内部でも、地点によって微地形が異なることがある。これは、微地形分類に基づいて求められる、表 7.1-2 に示す  $AVS30$ 、表 7.1-2 に示す最大速度増幅率についても同様である。

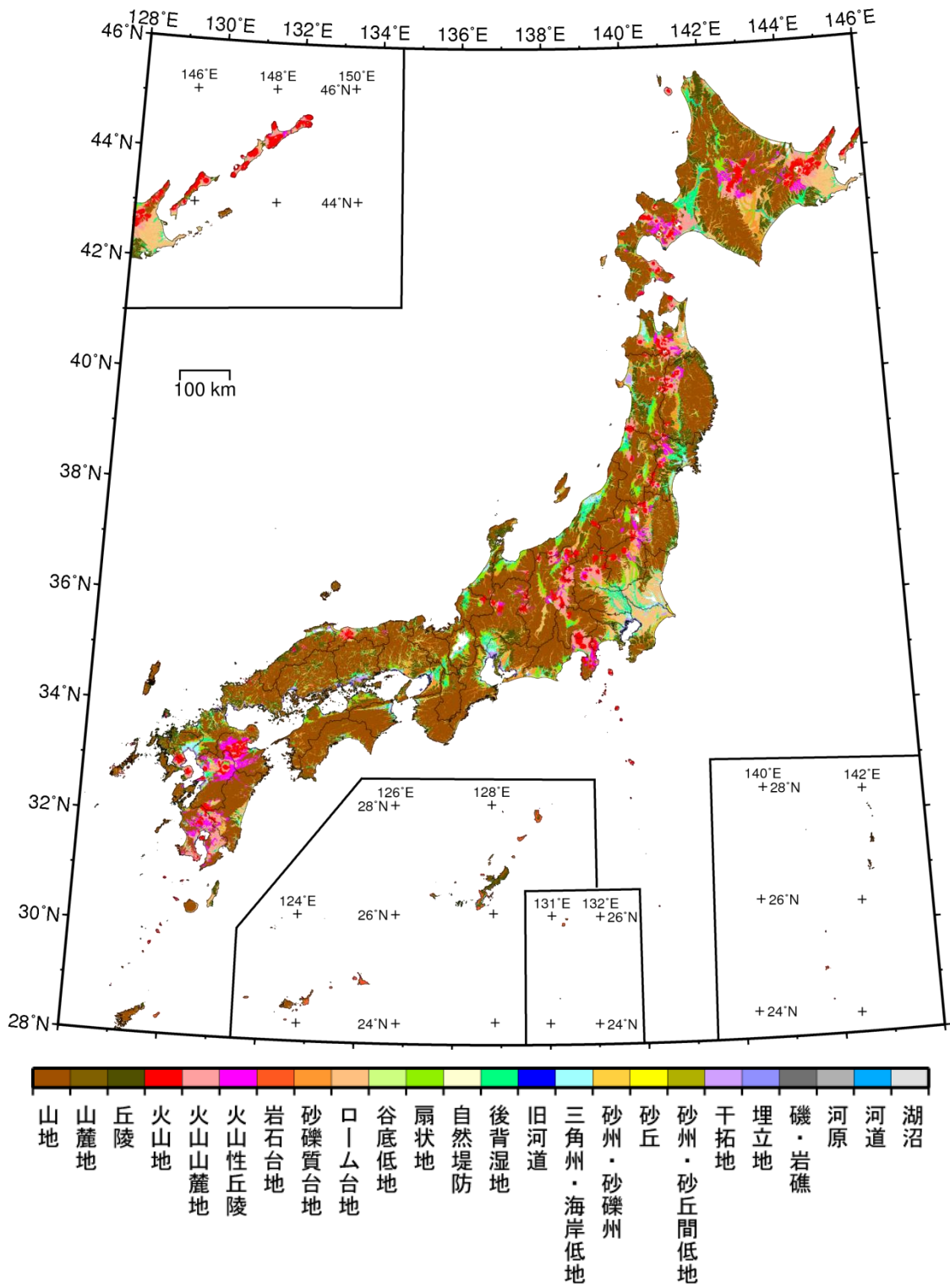
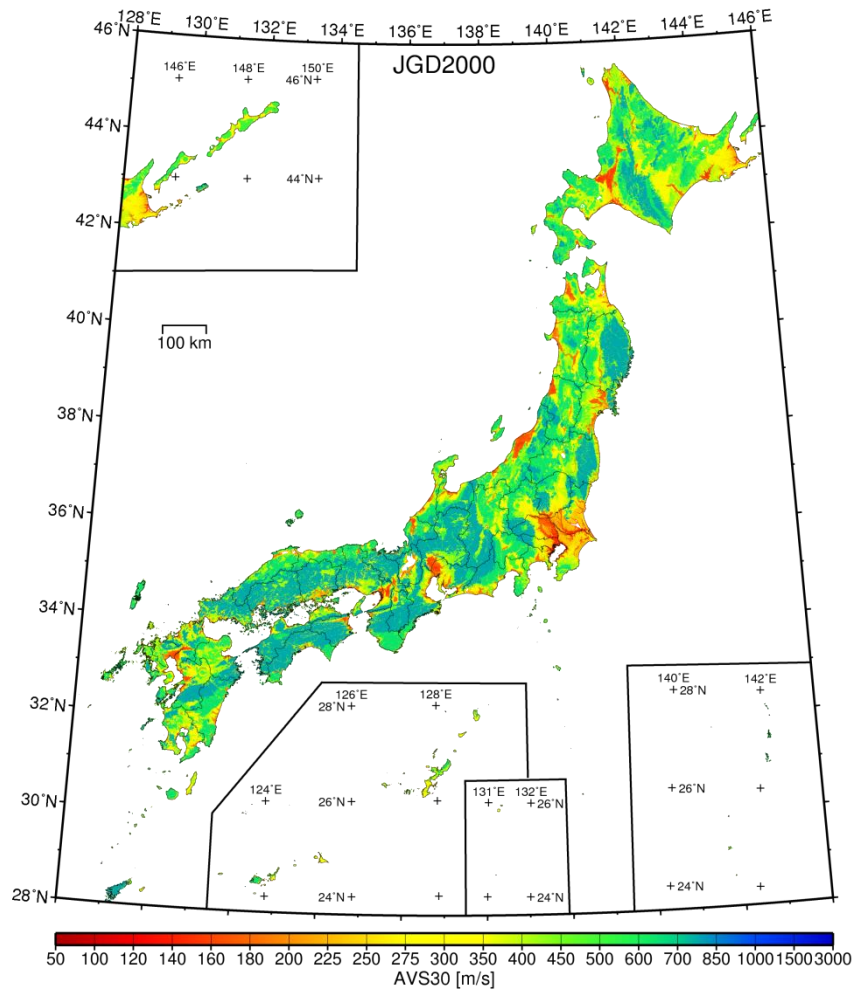


図 7.1-1 2014年版で用いた微地形分類

(a) 2014年版



(b) 2013年

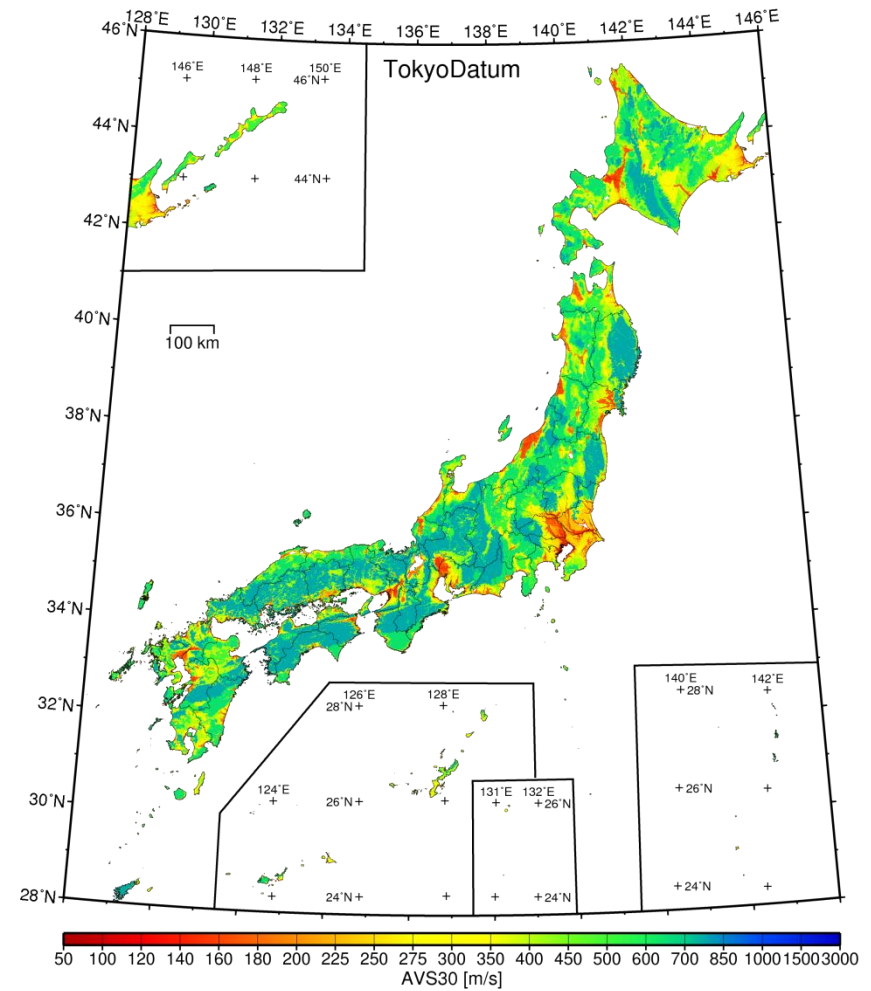


図 7.1-2 微地形分類より求められた表層 30m の平均 S 波速度 (AVS30) の分布

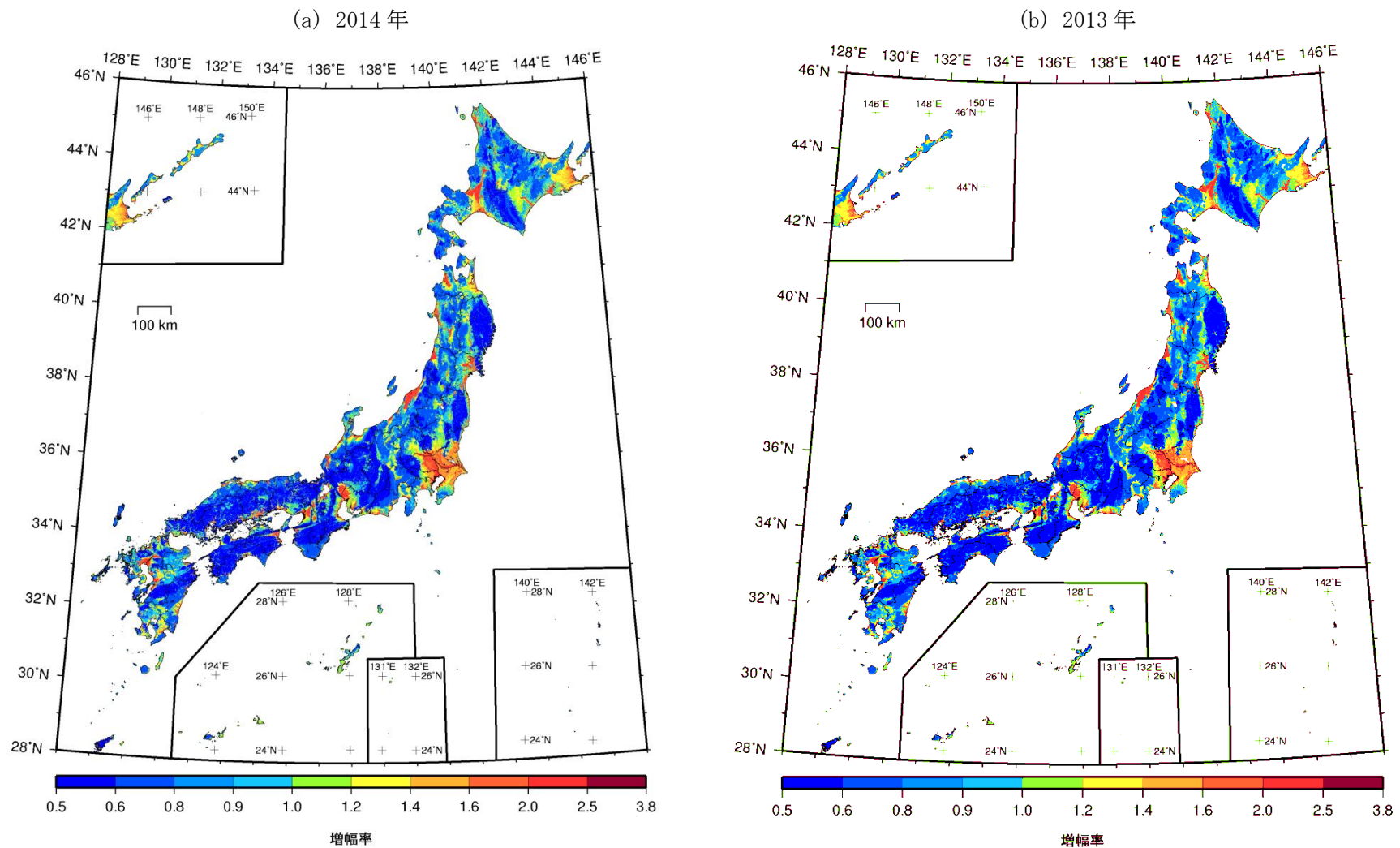


図 7.1-3 工学的基盤（S波速度 400m/s 相当）から地表に至る表層地盤による最大速度増幅率の分布

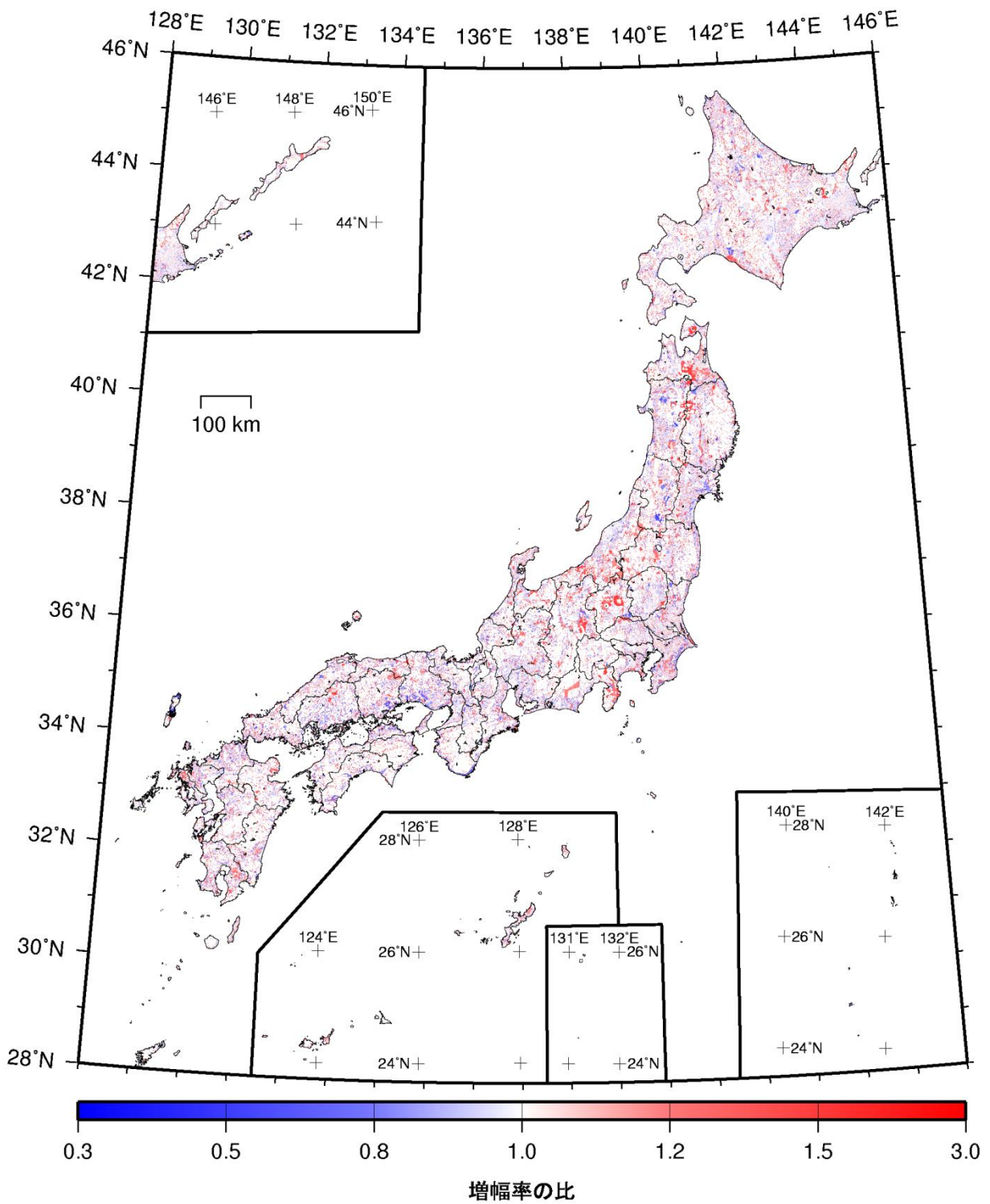


図 7.1-4 世界測地系のメッシュ中心位置で比較した 2014 年版と従来版の表層地盤による最大速度の増幅率の比 (2014 年版/従来版)

表 7.1-1 都道府県庁所在地の市役所と北海道の地域振興局が位置するメッシュにおける  
表層 30m の平均 S 波速度 (AVS30) の比較

	AVS30 [m/s]			AVS30 [m/s]	
	2014 年	2013 年		2014 年	2013 年
札幌市	295.6	292.2	福井市	168.7	159.0
石狩 (札幌)	291.7	288.1	甲府市	371.3	372.8
渡島 (函館)	367.5	367.8	長野市	381.0	381.1
檜山 (江差)	374.0	451.1	岐阜市	284.4	323.6
後志 (倶知安)	181.1	179.8	静岡市	300.3	297.7
空知 (岩見沢)	169.8	170.1	名古屋市	293.2	298.2
上川 (旭川)	346.0	344.5	津市	260.2	157.6
留萌 (留萌)	252.3	307.6	大津市	350.3	357.8
宗谷 (稚内)	239.4	245.6	京都市	318.9	317.6
オホーツク (網走)	345.0	352.4	大阪市	165.6	162.6
胆振 (室蘭)	207.5	207.5	神戸市	192.3	269.8
日高 (浦河)	194.5	405.6	奈良市	178.5	172.4
十勝 (帯広)	309.8	307.2	和歌山市	260.2	260.2
釧路 (釧路)	255.2	257.7	鳥取市	207.5	207.5
根室 (根室)	272.7	262.8	松江市	260.2	260.2
青森市	260.2	260.2	岡山市	199.1	199.1
盛岡市	343.9	345.6	広島市	216.9	213.8
仙台市	388.3	385.1	山口市	313.2	313.9
秋田市	193.2	157.5	徳島市	207.5	207.5
山形市	356.3	356.0	高松市	207.5	207.5
福島市	326.8	327.5	松山市	298.6	311.7
水戸市	157.2	193.4	高知市	183.8	160.4
宇都宮市	295.1	293.7	福岡市	194.5	199.1
前橋市	319.2	326.9	佐賀市	172.6	172.6
さいたま市	206.4	225.9	長崎市	410.6	411.9
千葉市	155.8	156.3	熊本市	300.3	283.1
東京都	249.9	261.0	大分市	170.5	154.3
横浜市	159.4	159.4	宮崎市	207.5	164.7
新潟市	156.8	194.5	鹿児島市	173.4	172.6
富山市	272.2	268.8	那覇市	207.5	351.4
金沢市	341.1	349.2			

表 7.1-2 都道府県庁所在地の市役所と北海道の地域振興局が位置するメッシュにおける工学的基盤（S波速度 400m/s 相当）から地表に至る表層地盤による最大速度の増幅率の比較

	増幅率			増幅率	
	2014 年	2013 年		2014 年	2013 年
札幌市	1.3	1.3	福井市	2.1	2.2
石狩（札幌）	1.3	1.3	甲府市	1.1	1.1
渡島（函館）	1.1	1.1	長野市	1.0	1.0
檜山（江差）	1.1	0.9	岐阜市	1.3	1.2
後志（倶知安）	2.0	2.0	静岡市	1.3	1.3
空知（岩見沢）	2.1	2.1	名古屋市	1.3	1.3
上川（旭川）	1.1	1.1	津市	1.4	2.2
留萌（留萌）	1.5	1.3	大津市	1.1	1.1
宗谷（稚内）	1.5	1.5	京都市	1.2	1.2
オホーツク（網走）	1.1	1.1	大阪市	2.1	2.2
胆振（室蘭）	1.7	1.7	神戸市	1.9	1.4
日高（浦河）	1.8	1.0	奈良市	2.0	2.0
十勝（帯広）	1.2	1.3	和歌山市	1.4	1.4
釧路（釧路）	1.5	1.5	鳥取市	1.7	1.7
根室（根室）	1.4	1.4	松江市	1.4	1.4
青森市	1.4	1.4	岡山市	1.8	1.8
盛岡市	1.1	1.1	広島市	1.7	1.7
仙台市	1.0	1.0	山口市	1.2	1.2
秋田市	1.9	2.2	徳島市	1.7	1.7
山形市	1.1	1.1	高松市	1.7	1.7
福島市	1.2	1.2	松山市	1.3	1.2
水戸市	2.2	1.9	高知市	1.9	2.2
宇都宮市	1.3	1.3	福岡市	1.8	1.8
前橋市	1.2	1.2	佐賀市	2.0	2.0
さいたま市	1.8	1.6	長崎市	1.0	1.0
千葉市	2.2	2.2	熊本市	1.3	1.3
東京都	1.5	1.4	大分市	2.1	2.3
横浜市	2.2	2.2	宮崎市	1.7	2.1
新潟市	2.2	1.8	鹿児島市	2.0	2.0
富山市	1.4	1.4	那覇市	1.1	1.8
金沢市	1.1	1.4			



## 7.2 地震動予測式

確率論的地震動ハザード評価においては、地震の規模（マグニチュード）が大きいほど、距離が近いほど地震動振幅が大きくなることを表現した「距離減衰式」をはじめとして、表層地盤による最大速度の増幅率や最大速度と計測震度など、複数の経験的な関係式を組み合わせて用いている。ここでは、地表あるいは工学的基盤上の地震動を評価するためのこれらの経験式をまとめて「地震動予測式」と呼ぶことにする。

全国地震動予測地図で用いてきた司・翠川（1999）の距離減衰式はモーメントマグニチュード（ $M_w$ ）8.3までの地震による記録が用いられており、それより大きな規模の地震に対する適用性について検証ができていなかったが、最大速度は $M_w$ 8.3で頭打ちすると仮定して適用されてきた。ただし、全国地震動予測地図 2010年版までの地震活動モデルにおいて $M_w$ 8.3を超える地震は、南海トラフで発生する巨大地震のみであった（最大 $M_w$ 8.6）。

一方、東北地方太平洋沖地震で観測された強震動記録の最大加速度や最大速度について、司・翠川（1999）の断層最短距離を指標とした距離減衰式において、 $M_w$ 9.0とした場合には過大評価となり $M_w$ 8.3相当であったことが示されている（司・他，2011）。観測記録の得られている $M_w$ 8.5以上の地震は世界的にもほとんど無いため、この値（ $M_w$ 8.3）に関する検証はまだ十分とは言えないが、確率論的地震動ハザード評価に適用する地震動予測式は $M_w$ 8.3での頭打ちも含めて従来通りとした。すなわち、

○硬質地盤（ $V_s=600\text{m/s}$ ）上の最大速度  $PGV$ （ $\text{cm/s}$ ）：司・翠川（1999）

$$\log PGV = 0.58 M_w + 0.0038 H + d - 1.29 - \log (X + 0.0028 \times 10^{0.5M_w}) - 0.002 X \quad (7.2-1)$$

$$d = \begin{cases} 0.00 & \text{地殻内地震} \\ -0.02 & \text{プレート間地震} \\ 0.12 & \text{プレート内地震} \end{cases}$$

ただし、 $M_w$ は8.3を上限値とする

○ $AVS30$ に基づく最大速度増幅率  $amp$ ：藤本・翠川（2006）

$$\log amp = 2.367 - 0.852 \cdot \log AVS30 \quad (7.2-2)$$

○東北日本の異常震域補正  $V_1$ ,  $V_2$ ：森川・他（2003）

$$\begin{aligned} \log V_1 &= (-4.021 \times 10^{-5} \times X_{tr} + 9.905 \times 10^{-3}) \times \{\max(0, H-30)\} \\ V_2 &= \max\{1.0, (X/300)^{2.064} \times 10^{-0.012}\} \end{aligned} \quad (7.2-3)$$

○西南日本の異常震域補正  $V_3$ ：森川・他（2006）

$$\log V_3 = -4.28 \times 10^{-5} \times \min(X_{vf}, 75) \times \{\max(0, H-30)\} \quad (7.2-4)$$

である。ここで  $\log$  は常用対数であり、 $X$  は断層最短距離（ $\text{km}$ ）、 $H$  は震源断層の中心深さ（ $\text{km}$ ）、 $X_{tr}$  は海溝軸から評価地点までの最短距離（ $\text{km}$ ）、 $X_{vf}$  は火山フロントから評価地点までの最短距離（ $\text{km}$ ）である。海溝軸および火山フロントの位置は、それぞれ表 7.2-1 および表 7.2-2 に示す点を直線で結ぶ（森川・他，2003、2006；図 7.2-1）。

工学的基盤（ $V_s=400\text{m/s}$ ）上の最大速度（ $PGV_{b400}$ ）は、(7.2-2) 式に  $AVS30=400\text{m/s}$  を代入することにより得られる係数 1.41 を用いて、

$$PGV_{b400} = \begin{cases} PGV \times 1.41 \times V_1 \times V_2 & \text{太平洋プレートの地震・浦河沖の地震} \\ PGV \times 1.41 \times V_3 & \text{フィリピン海プレート の深さ60km以深の地震} \\ PGV \times 1.41 & \text{上記以外のすべての地震} \end{cases}$$

(7.2-5)

と求められ、地表の最大速度 ( $PGV_s$ ) は、すべての地震について

$$PGV_s = PGV \times amp \quad (=PGV_{b400} \times amp / 1.41) \quad (7.2-6)$$

より得られる。また、地表の計測震度 ( $I$ ) についても従来と同様に、

$$I = \begin{cases} 2.68 + 1.72 \log PGV_s & \text{地震カテゴリー I、II} \\ 2.002 + 2.603 \log PGV_s - 0.213 \times (\log PGV_s)^2 & \text{地震カテゴリー III} \end{cases} \quad (7.2-7)$$

を用いて地表の最大速度より求める (翠川・他, 1999、藤本・翠川, 2005; 図 7.2-2)。なお、(7.2-7) 式はいずれも震度 4 以上の記録から求められている関係式ではあるが、ここでは 4 未満となる場合であってもそのまま外挿して適用している。

表 7.2-1 東北日本の異常震域補正に用いる海溝軸位置の基準点

緯度 [° N]	45.50	42.00	41.00	40.10	39.20	37.70
経度 [° E]	153.00	146.80	144.65	144.30	144.20	143.80
緯度 [° N]	36.55	35.80	33.80	29.00	24.00	
経度 [° E]	143.25	142.40	141.90	143.00	143.50	

表 7.2-2 西南日本の異常震域補正に用いる火山フロント位置の基準点

緯度	36.2	35.3	35.3	34.9	33.4	31.5	29.5	27.9	24.5	24.5
経度	136.9	134.9	133.7	132.0	131.6	130.8	129.7	128.3	124.0	122.0

注：東経 136.9° 以東の評価地点では  $X_{vf} = 0$  とする

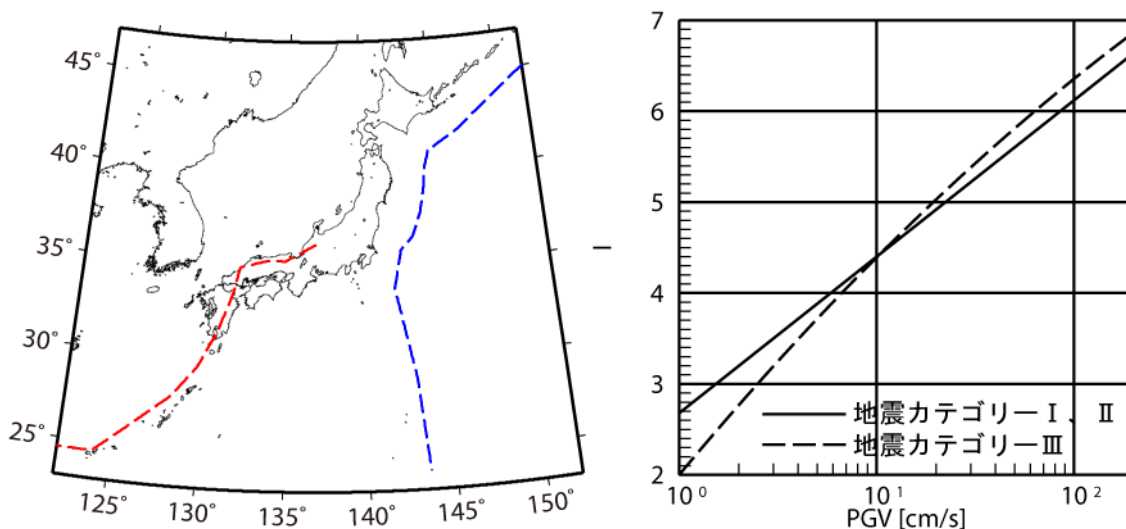


図 7.2-1 海溝軸 (青) および火山フロント (赤) 図 7.2-2 最大速度と計測震度の関係

### 7.3 地震動予測式のばらつき

確率論的地震動ハザード評価においてこれまでに地震動の評価で適用してきたばらつき ( $\sigma$ ) は、研究途上の段階であることもあり暫定的なものとなっている。しかしながら、最近の研究等においても、暫定的に与えているばらつきから変更できる新たな知見が得られていないこともあり、従来と同じままとする。すなわち、地震カテゴリー I、II に対しては振幅に依存する

$$\sigma = \begin{cases} 0.20 & PGV \leq 25\text{cm/s} \\ 0.20 - 0.05 \frac{PGV - 25}{25} & 25\text{cm/s} < PGV \leq 50\text{cm/s} \\ 0.15 & 50\text{cm/s} < PGV \end{cases} \quad (7.3-1)$$

を、地震カテゴリー III に対しては震源距離に依存する

$$\sigma = \begin{cases} 0.23 & X \leq 20\text{km} \\ 0.23 - 0.03 \frac{\log(X/20)}{\log(30/20)} & 20\text{km} < X \leq 30\text{km} \\ 0.20 & 30\text{km} < X \end{cases} \quad (7.3-2)$$

を常用対数標準偏差として適用する (図 7.3-1)。ただし、これまでと同様に無限大の地震動強さが生じることを避けるため、分布の裾において、対数標準偏差の 3 倍 ( $\pm 3\sigma$ ) より外側を打ち切っている。

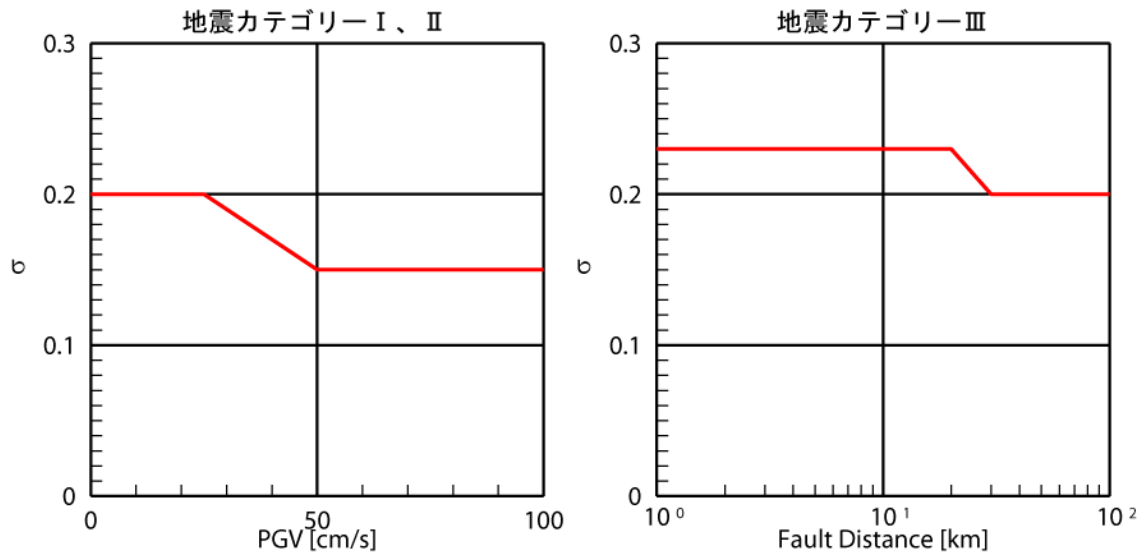


図 7.3-1 地震動評価に適用するばらつき ( $\sigma$  ; 常用対数標準偏差) の値

#### 7.4 2014年版で用いた地震動評価手法

確率論的地震動ハザード評価において考慮する地震（群）ごとに適用する地震動評価手法を整理して表 7.4-1 に示す。従来から変更となったのは以下の点である。

##### ○海溝軸より沖合の地震（アウターライズ地震）

この地震は、今回新たにモデル化された海洋プレート内で発生する地震である。アウターライズ地震は震源が浅いものの、沈み込んだ海洋プレート内の地震（スラブ内地震）と同様に短周期地震動を強く励起することが最近の研究において示されている（例えば、川端・他，2010）。このことから、司・翠川（1999）の距離減衰式を用いて強震動評価を行う際はプレート内地震の係数を適用することとする。

##### ○三陸沖から房総沖にかけてのプレート内地震（正断層型）

これまで、海溝軸付近で発生するプレート内地震については、震源が陸域から遠く離れており、観測記録が得られている大地震の数も少なかったためにその地震動特性がほとんど知られていなかった。一方で、震源が浅くなることから、震源が深いプレート内地震（スラブ内地震）とは異なり、必ずしも地震動が大きくなるのではないのかという考えもあった。そのため、三陸沖から房総沖にかけてのプレート内地震（正断層型）に対しては、距離減衰式のプレート間地震の係数を適用してきた。しかしながら、上述のアウターライズ地震と同様に、海溝軸よりも陸側のプレート内地震（正断層型の地震）に対して司・翠川（1999）の距離減衰式を用いて強震動評価を行う際は、プレート内地震の係数を適用することとする。

表 7.4-1 確率論的地震動ハザード評価における地震と適用する地震動評価手法

地震	地震カテゴリー	係数 $d$	異常震域	ばらつき
南海トラフのプレート間地震	I	P 間	—	振幅
相模トラフ沿いの M8 クラスの地震	I	P 間	—	振幅
東北地方太平洋沖型の地震	I	P 間	東北日本	振幅
三陸沖北部のプレート間地震 (繰り返し発生する地震)	I	P 間	東北日本	振幅
三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの プレート間地震 (津波地震)	II	P 間	東北日本	振幅
三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの プレート内地震 (正断層型)	II	P 内	東北日本	振幅
十勝沖の地震・根室沖の地震	I	P 間	東北日本	振幅
色丹島沖の地震	I	P 間	東北日本	振幅
択捉島沖の地震	I	P 間	東北日本	振幅
海溝軸より沖合の地震 (アウターライズ地震)	II	P 内	東北日本	振幅
北海道北西沖の地震	III	P 間	—	距離
北海道西方沖の地震	III	P 間	—	距離
北海道南西沖の地震	III	P 間	—	距離
青森県西方沖の地震	III	P 間	—	距離
秋田県沖の地震	III	P 間	—	距離
山形県沖の地震	III	P 間	—	距離
新潟県北部沖の地震	III	P 間	—	距離
佐渡島北方沖の地震	III	P 間	—	距離
安芸灘～伊予灘～豊後水道のプレート内地震	II	P 内	—	振幅
日向灘のプレート間地震	II	P 間	—	振幅
日向灘のひとまわり小さいプレート間地震	II	P 間	—	振幅
与那国島周辺の地震	II	P 間	—	振幅
主要活断層帯に発生する固有地震 詳細な評価対象とする活断層の地震 (九州) 地表の証拠からは活動の痕跡を認めにくい地震	III	地殻内	—	距離
主要活断層帯以外の活断層に発生する地震 簡便な評価対象とする活断層の地震 (九州)	III	地殻内	—	距離

・赤字は全国地震動予測地図 2010 年版、2013 年における検討の検討モデルからの変更点

表 7.4-1 確率論的地震動予測地図における地震と適用する地震動評価手法（つづき）

地震	地震カテゴリー	係数 $d$	異常震域	ばらつき
太平洋プレートのプレート間の震源断層をあらかじめ特定しにくい地震	Ⅱ	P 間	東北日本	振幅
太平洋プレートのプレート内の震源断層をあらかじめ特定しにくい地震	Ⅱ	P 内	東北日本	振幅
フィリピン海プレートのプレート間の震源断層をあらかじめ特定しにくい地震	Ⅱ	P 間	—	振幅
フィリピン海プレートのプレート内の震源断層をあらかじめ特定しにくい地震	Ⅱ	P 内	西南日本 (一部)	振幅
陸域・沿岸域で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所で発生する地震	Ⅲ	地殻内	—	距離
浦河沖の震源断層をあらかじめ特定しにくい地震	Ⅱ	地殻内	東北日本	振幅
日本海東縁部の震源断層をあらかじめ特定しにくい地震	Ⅲ	地殻内	—	距離
伊豆諸島以南の震源断層をあらかじめ特定しにくい地震	Ⅲ	地殻内	—	距離

- ・赤字は全国地震動予測地図 2010 年版、2013 年起点「検討モデル」からの変更点
- ・表中の P 間、P 内は、それぞれプレート間地震、プレート内地震を表す。

注 1：あらかじめ繰り返し発生する地震（宮城県沖、三陸沖南部海溝寄り、福島県沖、茨城県沖）、あらかじめ繰り返し発生する地震以外の地震（三陸沖北部、宮城県沖、三陸沖南部海溝寄り、福島県沖、茨城県沖）、ひとまわり小さいプレート間地震（十勝沖、根室沖、色丹島沖、択捉島沖）は「太平洋プレートのプレート間の震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」に含まれる。

注 2：沈み込んだプレート内のやや浅い地震、沈み込んだプレート内のやや深い地震は「太平洋プレートのプレート内の震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」に含まれる。

注 3：プレートの沈み込みに伴う  $M7$  程度の地震は [フィリピン海プレート/太平洋プレート] の [プレート間/プレート内] の震源断層をあらかじめ特定しにくい地震に含まれる。

注 4：従来の南西諸島の震源断層を予め特定しにくい地震は「フィリピン海プレートの震源断層を予め特定しにくい地震」と「陸域・沿岸域で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所で発生する地震」に含まれる。