

3. 確率論的地震動予測地図におけるパラメータの不確定性の影響について

確率論的地震動予測地図の作成に用いている種々のパラメータは、専門家の審議を経て、現時点の知見に照らして最もあり得ると考えられるものを採用している。しかしながら、現実には、知識やデータの不足から、パラメータに大きな幅が存在するものも含まれており、それらが予測地図の作成結果に及ぼす影響について検討することは重要である。本章では、その代表的なものとして、活断層の地震発生確率と距離減衰式のばらつきを取り上げ、パラメータの不確定性の影響を検討する。

3.1 主要 98 断層帯の地震発生確率に幅がある場合の代表値のとり方

主要 98 断層帯の長期評価において、平均活動間隔と最新活動時期の評価に幅があつて地震の発生確率に幅があるとき、ここで作成する確率論的地震動予測地図では、平均活動間隔と最新活動時期の幅の代表値として、それぞれ中央値をとって発生確率を算定している（平均ケース）。この代表値を選ぶにあたっては、過去 200 年間の主要 98 断層帯に発生したと考えられる地震の発生数との整合性も考慮している。一方、強震動評価では、主要 98 断層帯のうち発生確率が高いものについて詳細な強震動評価を行っているが、発生確率に幅がある場合にはその最大値によって強震動評価の対象とするかどうかの判断をしている。例えば布田川・日奈久断層帯（中部、ケース 1）は平均活動間隔が約 3500 年～約 11000 年、最新活動時期が約 7500 年前～2200 年前で 30 年発生確率はほぼ 0%～6%と評価されている。これにもとづき地震調査委員会(2003d)はこの断層帯に発生する地震を想定した強震動評価を実施した。確率論的地震動予測地図においては平均活動間隔の中央値 7250 年、最新活動時期の中央値 4850 年前として 30 年発生確率を 0.33%と評価し（表 2.2.1-2 参照）、これにもとづいて地震ハザードカーブを算出している。

本節では、平均ケースと、確率の幅のうち最大値をとった場合（最大ケース）との比較を行う。参考として、主要 98 断層帯の固有地震に対する確率論的地震動予測地図について、最大ケースの確率論的地震動予測地図を示し、平均ケースと最大ケースの地図の比較をする。

図 3.1-1 と図 3.1-2 はそれぞれ今後 30 年以内に震度 6 弱以上の揺れに見舞われる確率、今後 30 年以内に 3%の確率で一定の震度以上になる領域の図である。図 3.1-1 では、平均ケースに比べて最大ケースでは震度 6 弱以上になる確率が近畿地方で高くなっているほか、熊本県西部の布田川・日奈久断層帯でも 3%以上の高い領域が見える。また、四国北部では中央構造線断層帯の影響も見られる。中日本地域では、富山県、石川県で森本・富樫断層帯、高山・大原断層帯、長野県では伊那谷断層帯、静岡県富士川河口断層帯で大きく確率が変わっている。北日本地域では、山形盆地断層帯周辺や北海道の石狩低地東縁断層帯周辺で最大ケースでの確率が高くなっている。同様に、図 3.1-2 では、最大ケースにおいて近畿、中国、四国、九州のほぼ全域でやや高い震度となっており、特に近畿地方では震度 6 弱以上の領域が広がり震度 6 強以上の地域も見られるほか、熊本県西部の布田川・日奈久断層帯でも震度 6 弱以上および震度 6 強以上の地域が見られる。中日本地域でも震度 5 強から 6 弱以上の地域が最大ケースでは拡大している。北日本地域では、最大ケースで新潟平野において震度 6 弱以上になるほか、北海道の石狩低地東縁断層帯の周辺で震度 6 弱以上の地域が見られるようになる。このような違いは、発生確率が高いと評価された活断層のうち最大ケースと平均ケースとで発生確率の差が大きなものによってもたらされている。

上記のように、地震発生確率に大きな幅がある場合、地震動予測の評価結果に幅が生じることになる。しかしながら、確率の幅が大きい活断層についての有用な知見が将来得られることによって活動間隔や最新活動時期の幅を狭めることができれば、ここでとり上げた不確定性は小さくなり、地震動予測地図の精度が向上する。したがって、特に確率の幅が大きい活断層については、さらに詳細な調査を行ってその幅を狭める努力を続けることが重要である。

確率論的地震動予測地図

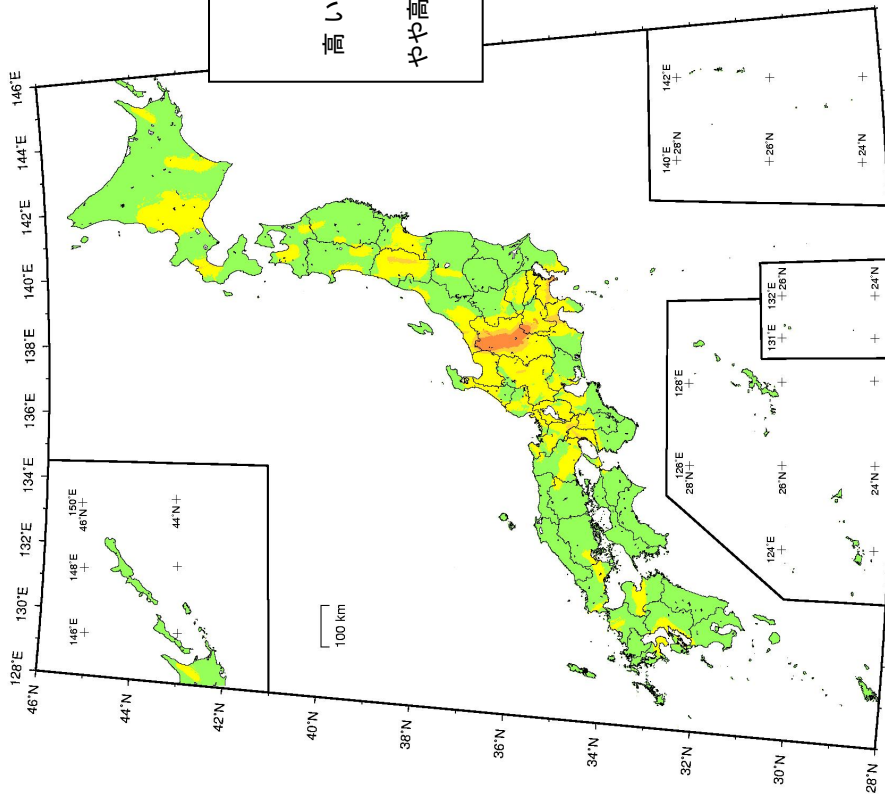


図 3.1-1 (a) 今後 30 年以内に震度 6 弱以上の揺れに見舞われる
確率の分布図 (平均ケース、主要 98 断層帯のみ)
(基準日：2005 年 1 月 1 日)

確率論的地震動予測地図

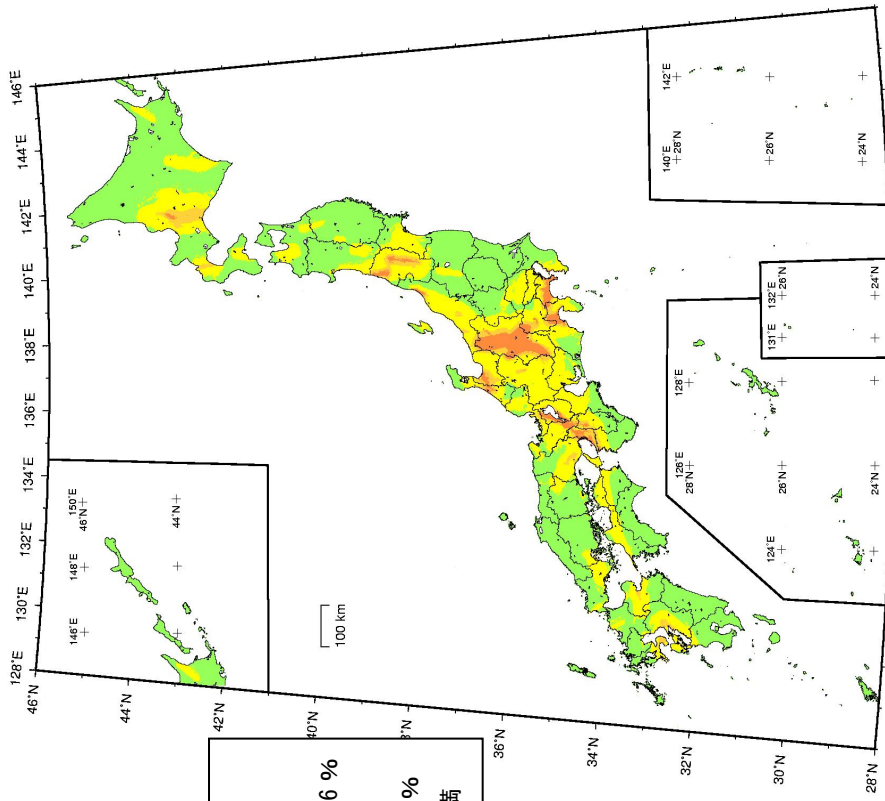


図 3.1-1 (b) 今後 30 年以内に震度 6 弱以上の揺れに見舞われる
確率の分布図 (最大ケース、主要 98 断層帯のみ)
(基準日：2005 年 1 月 1 日)

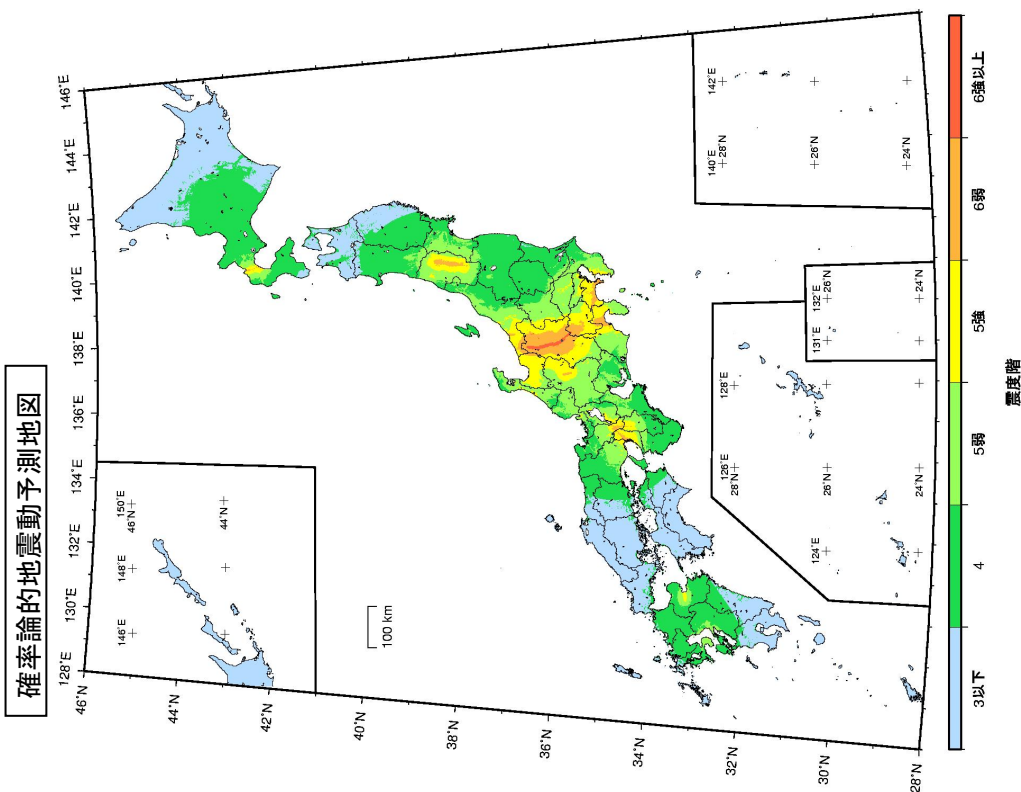


図 3.1-2 (a) 今後 30 年以内に 3% の確率で一定の震度以上の揺れに見舞われる領域（平均ケース、主要 98 断層帯のみの場合）
 ※震度 6 強以上には震度 7 の可能性が含まれる。

（基準日：2005 年 1 月 1 日）

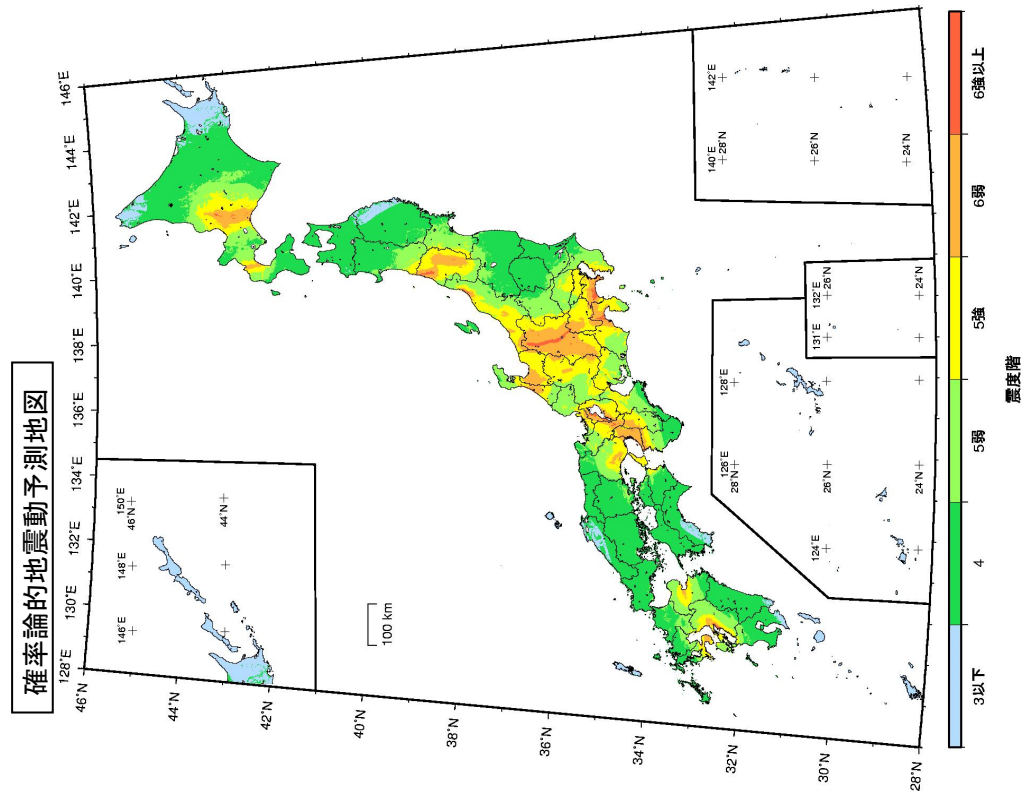


図 3.1-2 (b) 今後 30 年以内に 3% の確率で一定の震度以上の揺れに見舞われる領域（最大ケース、主要 98 断層帯のみの場合）
 ※震度 6 強以上には震度 7 の可能性が含まれる。

（基準日：2005 年 1 月 1 日）

3.2 地震動強さのばらつきの取扱い

確率論的な地震ハザード評価では、地震動強さの不確定性を確率モデルで扱う。ある評価対象地点において、特定の地震Aに対して予測される地震動強さのばらつきは、本来であればその地震Aが何度も繰り返し発生したときに評価対象地点で観測される地震動強さに基づいて評価されるものである。さらに、ハザード評価にあたっては評価対象地点に影響を及ぼす全ての地震を考慮するが、地震が繰り返し発生したときの地震動強さに基づくばらつきは、それぞれの地震に対して独立に評価されるべきものである。しかしながら実際には、地震動強さのばらつきを統計的に扱えるほど地震Aに対する評価地点の記録が数多く得られているわけではないし、全ての地震について、それぞれの地震に対する地震動強さのばらつきを独立に評価するだけのデータを得ることは困難である。そこで現状では、地震動強さの不確定性の確率モデルとして、距離減衰式による地震動強さの予測値のばらつきを全ての地震に対して適用している。

本来ならば、地震Aに対する評価対象地点の地震動強さのばらつきは、震源と対象地点が固定されることから、震源特性によるばらつきが支配的であり、震源から対象地点までの伝播経路特性と評価対象地点のサイト特性によるばらつきは相対的に小さいと考えられる。一方、距離減衰式は様々な場所で発生した地震と数多くの観測点の組み合わせから回帰されているため、そのばらつきには、本来ハザード解析に用いるべきばらつき以外の要因として、震源から各観測点までの伝播経路特性、そして各観測点のサイト特性の影響が含まれている。したがって、距離減衰式を用いたハザード評価の場合、大き目のばらつきを用いて地震動強さを評価していると考えられる。

現在の距離減衰式を用いた確率論的な地震ハザードの解析において、超過確率の小さな地震動の強さは、解析に用いる地震動強さのばらつきの大きさに支配される。距離減衰式による地震動強さ予測値のばらつきは対数正規分布で評価されており、超過確率が小さい場合にはその分布の裾で地震動強さが評価されるため、ばらつきの大きさは地震動の予測結果に大きく影響する。特に、海溝型地震のように発生確率が高くマグニチュードが大きい地震では強い地震動が予測されることから、ばらつきに関する検討は重要である。

今回の地震動強さの不確定性の扱いは、距離減衰式を用いるという現在の枠組みの中で、地震動強さのばらつきをハザード評価で扱うべきばらつきに近づけることを目的として行ったものである。

地震動強さの不確定性には、本質的なばらつきが支配的なものと、情報不足によって値を一意に決められないことによるばらつきが支配的なものに区別ができると考えられる⁵。確率論的な地震ハザード評価では、本来、本質的なばらつきを確率モデルで表現して取り扱うべきであり、この2種類の不確定性を分類して評価することが重要である。奥村・他(2004)は、十勝沖地震の本震・余震記録のばらつきを現状の評価手法の枠内で検討した結果、地点特性の推定に関わる不確定性は情報不足によるものとして、これを除去した不確定性が0.2程度になるという結論を得た。

距離減衰式による地震動強さのばらつきに関して、最近の研究としては、翠川・大竹(2003)はマグニチュード、震源距離、振幅レベルとの関係を整理した結果、マグニチュードが大きくなるほど、距離が小さくなるほど、また振幅が大きくなるほどばらつきが小さくなる傾向があることを指摘した。さらにこれらのうちで振幅レベルとの相関が最も強いことを示した。ばらつきの距離依存性については伝播経路での地震波の散乱や減衰の影響で説明が可能であり、振幅依存性については距離依存性とマグニチュード依存性などの相乗効果の結果で説明が可能であるとしている。また、個別の地震毎に回帰した距離減衰式について、地震毎の式とデータの差(地震内ばらつき)と、全データを用いた平均的な式と各地震で得られた式の差(地震間ばらつき)とを比較したときに、地震間よりも地震内のばらつきが大きいことを示した。ばらつきの大きさが振幅レベルに依存し、大振幅

⁵ 前者のばらつきは「偶然的な不確定性」、後者のばらつきは「認識論的な不確定性」とも呼ばれる。

ではばらつきが小さくなるという研究には Donovan and Bornstein(1978)や Campbell and Bozorgnia(1994)がある。前者はその理由として地盤の非線形応答によって加速度の増幅が抑えられることを挙げている。また、ばらつきのマグニチュード依存性については Campbell and Bozorgnia(1994)、Idriss(1985)、Youngs et al.(1995)、Douglas and Smit(2001)が指摘している。

地震動強さの上限値に関する検討も数多く行われてきたが、非常に強い地震動のデータが乏しいこともあり、現在も明確な結論が出されていない(例えば Bommer et al., 2004)。距離減衰式による地震動強さのばらつきは対数正規分布を仮定していることから、分布の裾を打ち切らない限り、地震動強さは無限大まで大きくなる。そのような非現実的な地震動強さを回避するために、専門家の判断によってばらつきの裾を打ち切る取扱いがなされる例が多い。

今回の取扱いは、上記の検討結果に基づくものであるが、必ずしも十分なデータに基づいたものではないので、暫定的なものである。しかし、この分野における今後の研究の方向性を示す上で、新たな知見を積極的に取り入れることが重要であるとの判断で、今回の取扱いを決定した。したがって、今後より詳細な検討が必要であり、研究の進展によって適切な不確定性の取扱いに関する知見が得られれば、その成果を導入していくべきものである。今回の取扱いが無条件に他にも適用できるわけではないということには十分な注意が必要である。

図 3.2-1～図 3.2-3 に、南海トラフの地震を対象として、今後 50 年以内にそれぞれ 39%、10%、5%の確率で一定の震度以上の揺れに見舞われる領域の地図を示す。(a)は今回のばらつきの取扱いによるモデル(今回のモデル)、(b)は司・翠川(1999)の距離減衰式で従来用いられている常用対数標準偏差 0.23 のばらつき(従来モデル)である。図 3.2-1 では距離減衰式の中央値に近いところで地震動強さを評価しているために差はほとんど見られないが、図 3.2-2、3 と低確率になるにつれて差が現れることがわかる。震源域に近いところでは今回のモデルで導入したばらつきの大きさの振幅依存性の影響で(a)の震度の値が小さくなる。また、震源域から離れたところでの震度分布、例えば震度 5 強の分布範囲は(a)の方が狭くなっている。今回のモデルのばらつきの常用対数標準偏差が 0.2 で従来モデルに比べて小さいことにより、全体的に地震動レベルが低く抑えられているためである。図 3.2-4 に鳥取市(鳥取県)と高知市(高知県)における南海トラフの地震に対するハザードカーブの比較を示す。南海～東南海～想定東海地震の断層面に近いほどモデル化の影響(地震動強さのばらつきの振幅依存性の影響)を強く受けることがわかる。

以上のように、距離減衰式で予測される地震動強さのばらつきの大きさ、とりわけ発生確率の高い海溝型の大地震による地震動評価におけるばらつきの大きさが評価結果に及ぼす影響が大きいことがわかる。今後、観測記録の充実とその解析や理論的な検討などによって地震動強さのばらつきに関する調査研究が進展し、ばらつきの要因のうち確定的に扱える部分に関する知見が増せば、それを取り込むことによりばらつきを小さくすることができると考えられる。したがって、距離減衰式とその予測値のばらつきは今後の重要な検討課題と言える。また、強い地震動レベルの頭打ち(ばらつきの打ち切り)についても検討をすることが重要である。

確率論的地震動予測地図

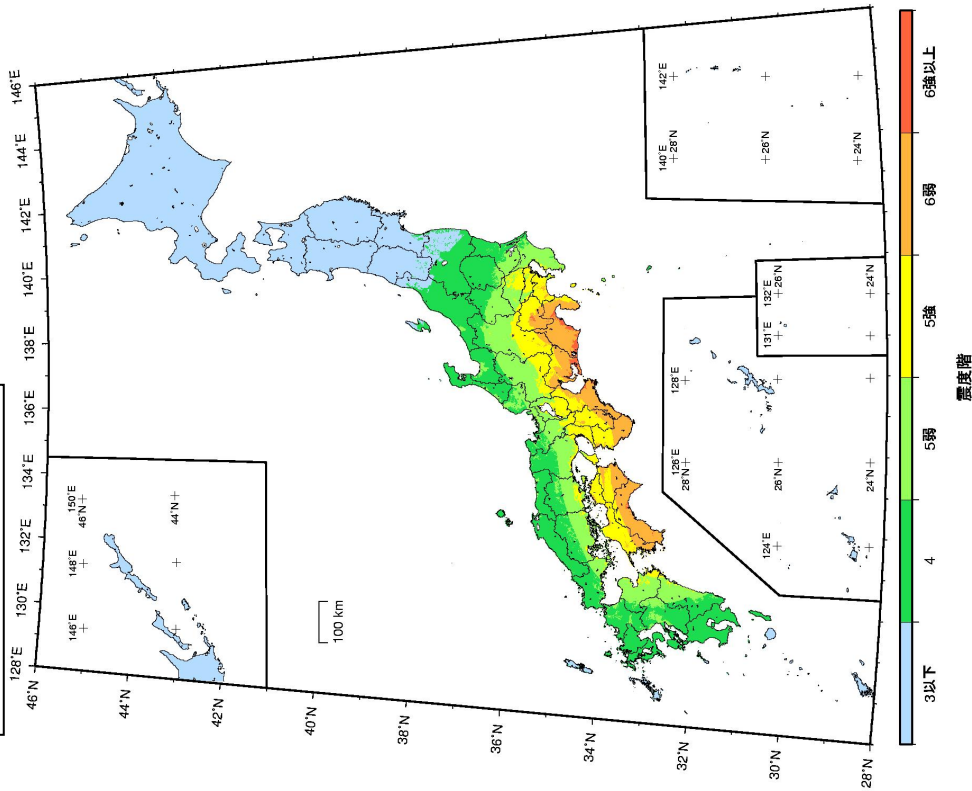


図 3.2-1 (a) 今後 50 年以内に 39% の確率で一定の震度以上の揺れに見舞われる領域

(今回のモデル、南海～東南海～想定東海地震のみ)

※震度 6 強以上には震度 7 の可能性が含まれる。

(基準日：2005 年 1 月 1 日)

確率論的地震動予測地図

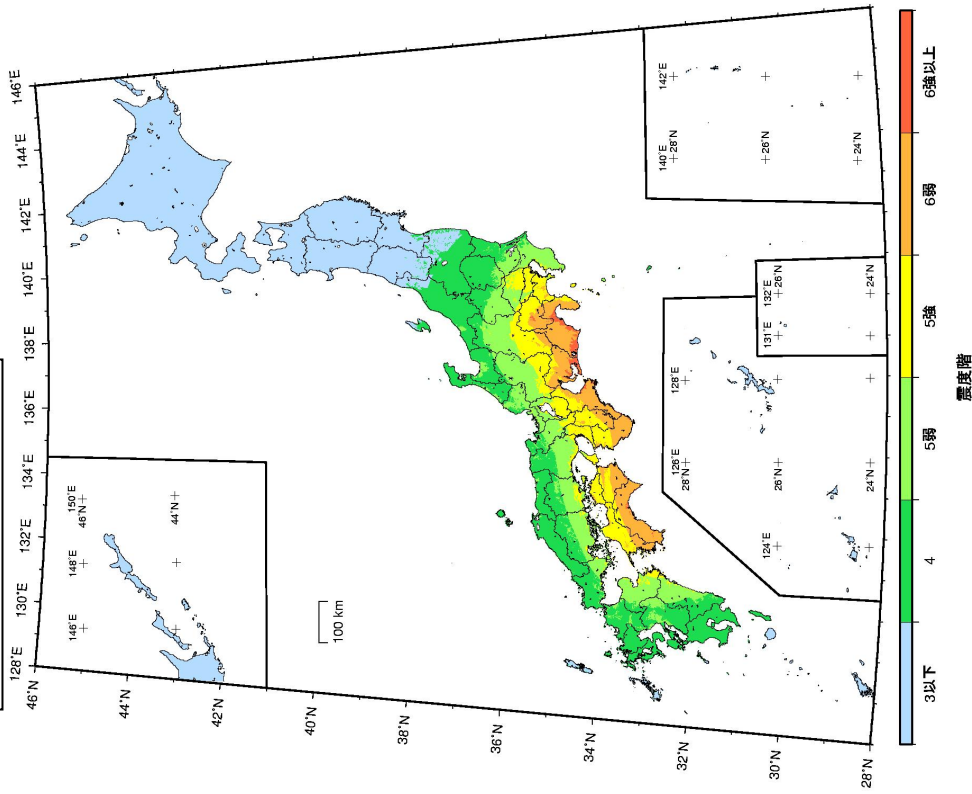


図 3.2-1 (b) 今後 50 年以内に 39% の確率で一定の震度以上の揺れに見舞われる領域

(従来のモデル、南海～東南海～想定東海地震のみ)

※震度 6 強以上には震度 7 の可能性が含まれる。

(基準日：2005 年 1 月 1 日)

確率論的地震動予測地図

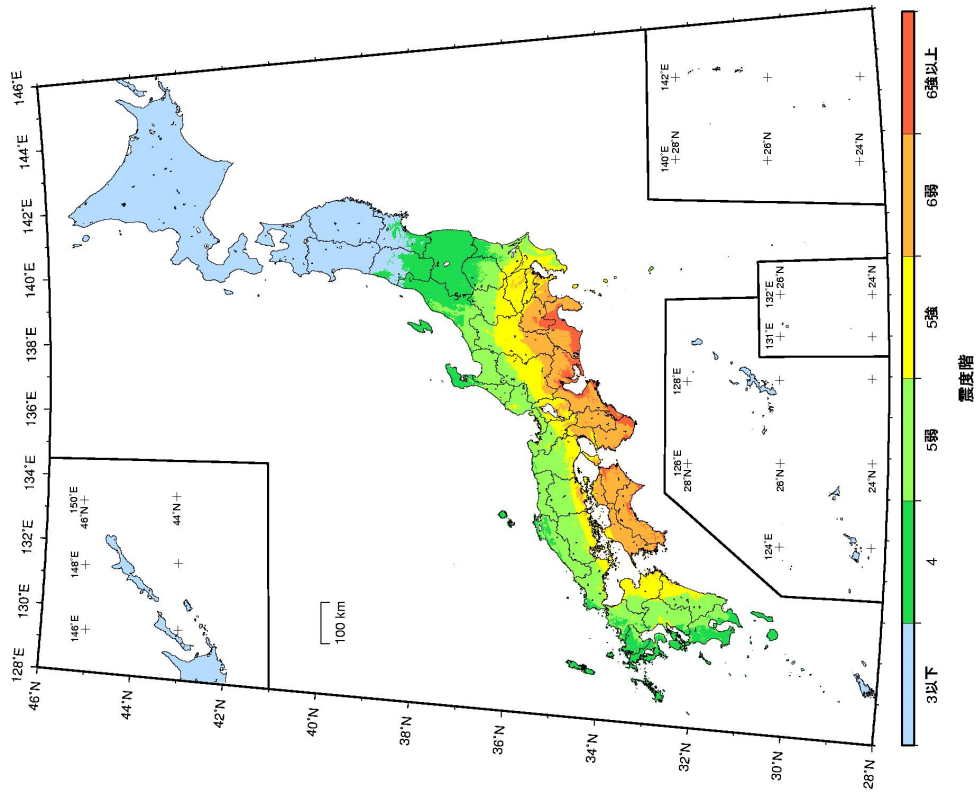


図 3.2-2(a) 今後 50 年以内に 10%の確率で一定の震度以上の揺れに見舞われる領域

(今回のモデル、南海～東南海～想定東海地震のみ)

※震度 6 強以上には震度 7 の可能性が含まれる。

(基準日：2005 年 1 月 1 日)

確率論的地震動予測地図

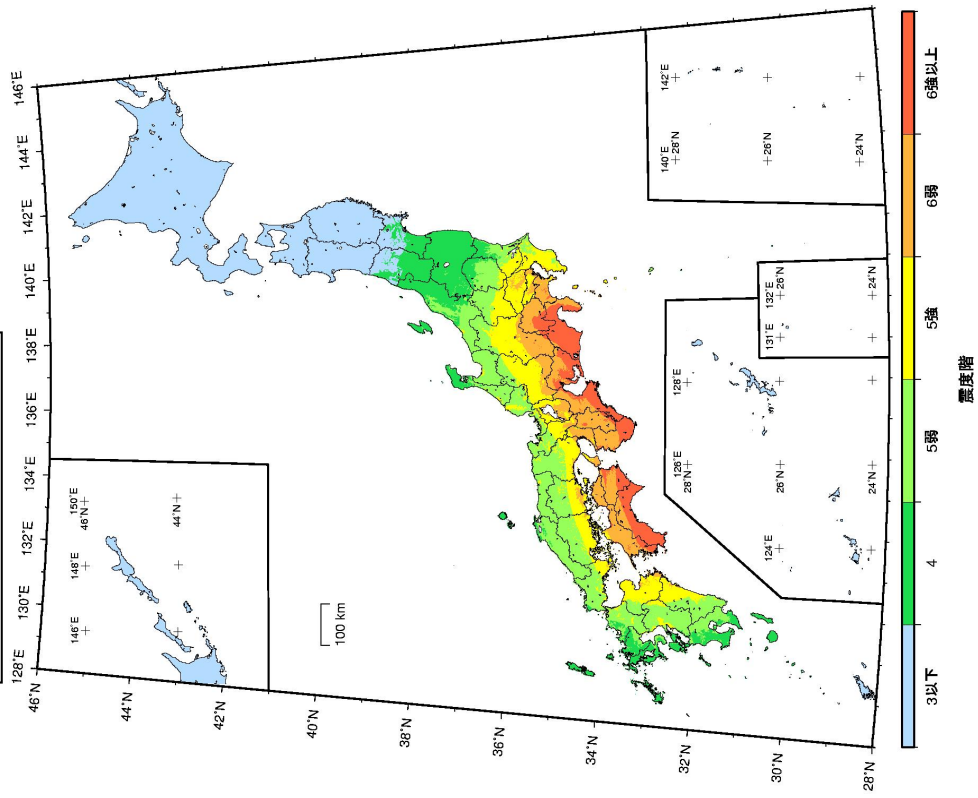


図 3.2-2(b) 今後 50 年以内に 10%の確率で一定の震度以上の揺れに見舞われる領域

(従来のモデル、南海～東南海～想定東海地震のみ)

※震度 6 強以上には震度 7 の可能性が含まれる。

(基準日：2005 年 1 月 1 日)

確率論的地震動予測地図

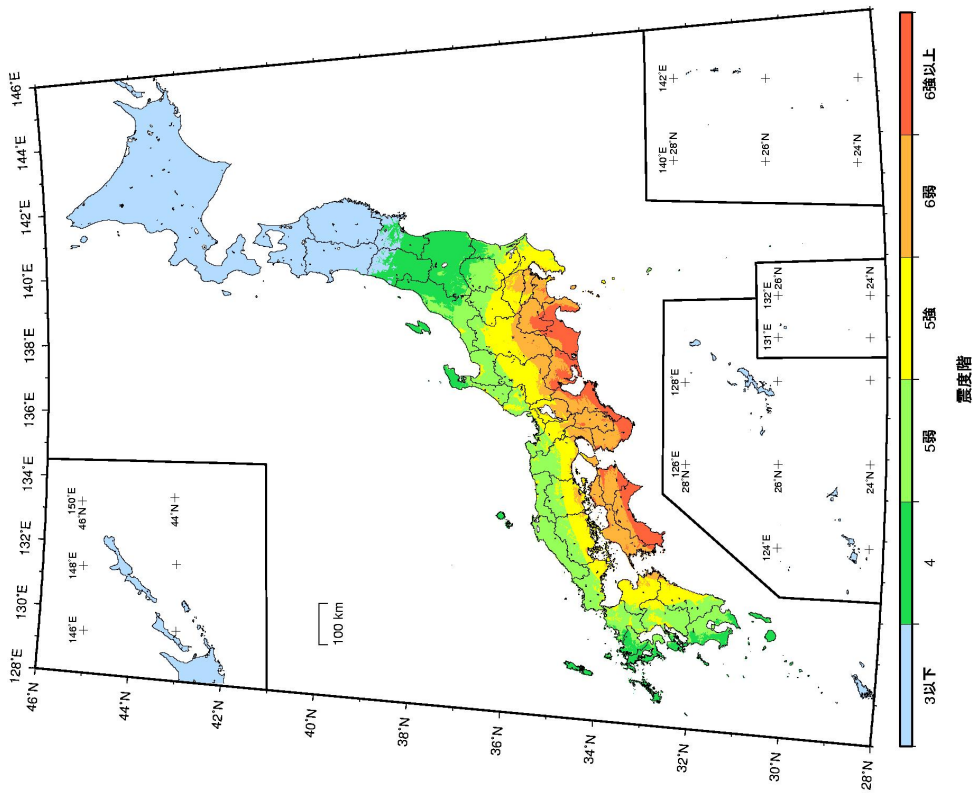


図 3.2-3(a) 今後 50 年以内に 5% の確率で一定の震度以上の揺れに見舞われる領域
(今回のモデル、南海～東南海～想定東海地震のみ)
※震度 6 強以上には震度 7 の可能性が含まれる。
(基準日：2005 年 1 月 1 日)

確率論的地震動予測地図

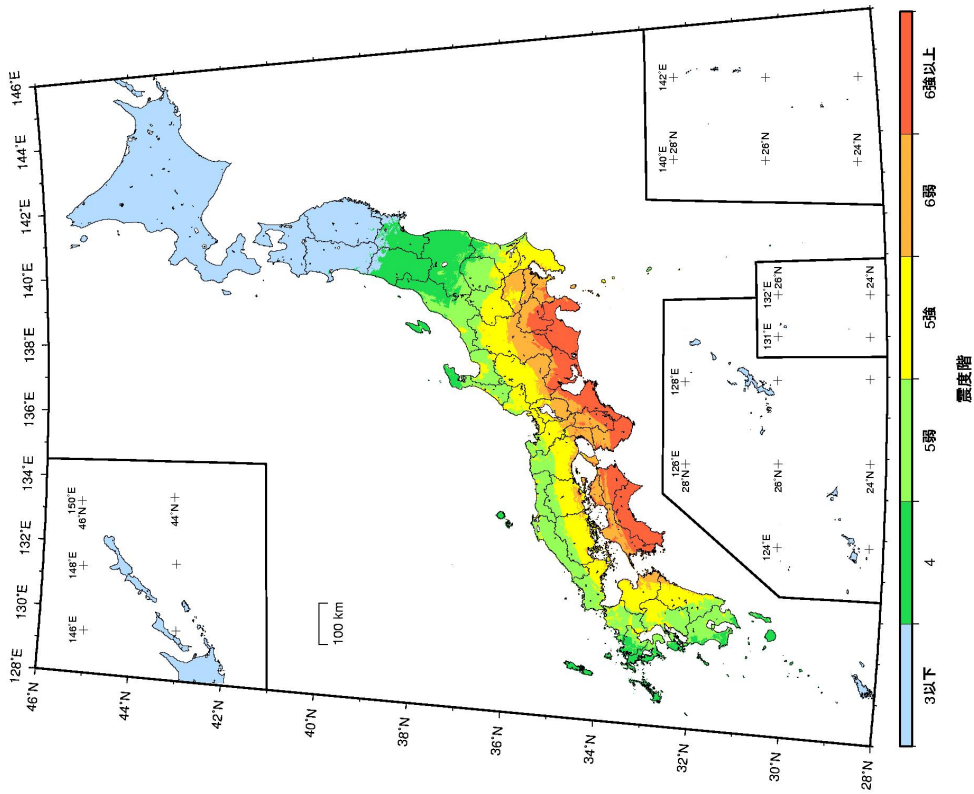


図 3.2-3(b) 今後 50 年以内に 5% の確率で一定の震度以上の揺れに見舞われる領域
(従来のモデル、南海～東南海～想定東海地震のみ)
※震度 6 強以上には震度 7 の可能性が含まれる。
(基準日：2005 年 1 月 1 日)

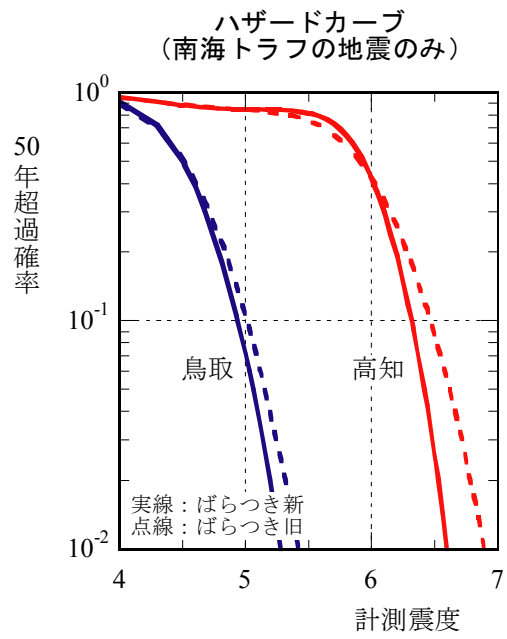


図 3.2-4 距離減衰式のばらつきの違いによるハザードカーブの比較

4. 確率論的地震動予測地図と実地震による震度の比較

ここでは、最近発生した被害地震が、確率論的地震動予測地図の中でどのように考慮されていたかについて述べる。

平成 15 年(2003 年)十勝沖地震は長期評価がなされていた地震で、30 年間に 60%程度という確率で想定地震の発生が評価されていたのに対して、発生後には 0.02~0.5%という低い発生確率となった。その結果、十勝沖地震発生後の現在、北海道南東部の地域での強い揺れに見舞われる可能性は地震発生前に比べて低くなっている(主文図 3.5-2 参照)。

一方、2003 年に発生した宮城県沖および宮城県北部の 2 地震は、震源断層を予め特定しにくい地震であった。確率論的地震動予測地図においては、宮城県沖の地震については沈み込むプレート内の地震、宮城県北部の地震については陸域に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として評価していた。このように、震源断層を特定した地震動予測地図の対象とはなりにくいこれらの地震についても考慮の対象にしているという点で、確率論的地震動予測地図は重要であると言えよう。ただし、震度 6 弱以上の揺れに見舞われると評価された地域は、30 年間に 99%という高い発生確率の想定宮城県沖地震の影響が高く、確率論的地震動予測地図ではこの地域は全体的に揺れの確率が高く評価されている。

震源断層を予め特定しにくい地震としては、平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震も挙げられる。この地震は、確率論的地震動予測地図では、陸域に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として評価していた。また、震度 7 の揺れに見舞われた川口町を含む地域では、震度 6 弱以上の揺れの可能性はやや高いと評価されていた。この地域では海溝型地震の影響はほとんどなく、太平洋側に比べると強い揺れの確率は相対的に低いが、この結果は、このような地域でも震度 6 弱以上の揺れに見舞われる可能性があることを示している。地震動強さが震度 7 程度になるかどうかについては、約 1 km 四方の評価領域では表現できない局所的な地盤条件の影響や、地盤の軟化による増幅率の変化(非線形地盤応答)があるほか、最大速度から計測震度への経験的な変換式においてデータの少ない強震動時での信頼性の検討など、検討課題がある。

なお、上記のような震源断層を予め特定しにくい地震については、確率論的地震動予測地図では、2002 年までのデータを用いて当該地域に発生する地震のマグニチュード別発生頻度を求め、それに基づいて地震発生確率を評価している。

5. 地震動予測地図の融合

「確率論的地震動予測地図」では、「震源断層を特定した地震」についてその長期的な発生確率と地震動レベルを合わせて評価するとともに、「震源断層を予め特定しにくい地震」を統計的に評価し、その上でこれら全てを「統合」することで作成することとしている。

「震源断層を特定した地震動予測地図」は、特定の震源断層を想定し、それが動いた場合の破壊過程を設定して、震源断層周辺の地震動を計算したものである。これにも、いくつかの震源破壊過程が想定され、それぞれについての発生確率を取り込むことが想定される。また、震源断層を想定した地震動予測地図を参照することで、地震動の大きさだけでなく地震波形を利用することが可能となる。

現時点では、「震源断層を特定した地震動予測地図」と「確率論的地震動予測地図」は、相互に補う関係を持っており、それぞれの特長に応じて使い分けることが考えられる(奥村・石川, 2000)。ここでは「融合」について、その組み合わせ方法、さらに両地図の関連を明確にした上で使い分けを提示することも含めて総称して呼ぶこととする。

5.1 融合の考え方

地震動予測地図の融合については現時点で次の2つの考え方が提示されている。ここでは「融合の考え方1」として、確率論的地震動予測地図における「震源断層を特定した地震」を想定した地震動予測の位置づけについて検討する。

- 融合の考え方1：2種類の地図は独立に作成されるが、それぞれの位置づけを解説し、相互に関連づける。2種類の地図を関連づけるために、確率論的想定地震の概念を用いるという考え方。この考え方で、各震源断層を特定した地震を確率論的地震動予測地図の中で位置づける。
- 融合の考え方2：震源断層を特定した地震に対する詳細法による強震動予測の結果を用いて、確率論的地震動予測地図に取込むという考え方。

考え方1において確率論的地震動予測地図における震源断層を特定した地震の位置づけとは、対象地点におけるハザードに影響が大きい地震は何か、および震源断層を特定した地震による地震動評価がその地点の地震ハザードにおいてどのような位置付けにあるか、という点を明確にすることにある。

また、確率論的想定地震(亀田・他, 1997; 石川・奥村, 2001)とは、対象とする確率レベルに対応するような強さの地震動を起こし得る可能性が高い地震を「震源断層を特定した地震」(想定地震)として選定するための方法論であり、その際、そのような地震動をもたらし得るような地震の相対的な出現可能性を表わす指標として各地震の「貢献度(影響度)」を定義している。貢献度(影響度)は対象とするハザードレベルや周期帯域に応じて変化する指標であり、貢献度(影響度)が大きい地震ほど震源断層を特定した地震を選定するにあたって重要視すべきと評価される。なお、米国でも類似の考え方として、ハザードレベルごとに支配的な地震のマグニチュードと距離を分解して評価する「deaggregation」の概念が提唱されているが(McGuire, 1995; Boissonnade et al., 1995; Bazzurro and Cornell, 1999)、確率論的想定地震の概念では個々の地震ごとの貢献度(報告書ではこれを「個々の地震毎の影響度」と呼ぶ)を定量化して示すことに特徴がある。

5.2 融合の方法

融合の考え方1の手順は次のとおりである。

- ①注目地点における確率論的想定地震の影響度（貢献度）による重要な「震源断層を特定した地震」の選定
- ②①で選定された震源断層を特定した地震による地震動強さとハザードカーブの関係の明確化

このうち、①は注目地点において確率論的想定地震の貢献度を評価することにより、対象とする確率レベルのハザードに強く影響を及ぼす地震を選定するものである。確率論的想定地震の影響度（貢献度）とは、注目地点において対象とする確率レベルに対応する地震動強さ以上の揺れを受けた場合に、その地震動をもたらした地震がどの地震である可能性が高いかを相対確率(%)で表わした指標であり、確率レベルごとに全地震の影響度（貢献度）の総和は100%となる。同じ地震の影響度（貢献度）であっても確率レベルによって値は変化することになる。なお影響度（貢献度）の定式化については文献（亀田・他，1997；石川・奥村，2001）を参照されたい。

一方、②は①で選ばれた震源断層を特定した地震による地震動が当該地点のハザードとどのような関係にあるかを明確にするもので、融合の考え方2の理解の助けとなるものである。具体的には、震源断層を特定した地震が発生したと想定した場合の「別途評価された地震動強さ（震源断層を特定した地震地図）」が当該地点におけるハザードレベルといかなる関係にあるか、について考察することができる。

5.3 検討例

ここでは、前節の①で示す影響度（貢献度）の検討例を示す。

確率論的地震動予測地図において評価した東京都庁と大阪府庁を含む評価領域を検討対象とする。

図5.3-1に評価対象領域における地震分類毎の影響度（貢献度）を示す。各地震の分類毎に示された値が、当該地点に震度6弱以上をもたらす相対的な可能性を示した影響度（貢献度）である。

東京では、図5.3-1(左)より今後50年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率は20%程度であり、この原因となっている主な地震とその重み（影響度）を評価した結果を図5.3-1(右)に示す。今後50年以内に震度6弱以上をもたらす可能性が最も高い地震は、南関東で発生するM7程度の地震である。次いで南海トラフの地震、太平洋プレート内の震源を予め特定しにくい地震の順になっている。この領域では主要98断層帯の影響はあまり見られない。また、低確率になると、相対的に大正型関東地震の影響度が高くなっていく。

大阪では、今後50年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率は30%程度であり、この原因となっている主な地震は南海トラフの地震である。次いで上町断層をはじめとする主要98断層帯の地震の影響度が高い。低確率になると、南海トラフの地震と主要98断層帯の地震の影響度の高さが逆転し、主要98断層帯の影響が高くなる。

このように、対象とする地震動強さ、あるいは確率（再現期間）によって、どの地震の影響度が高いかを分析することができる。この分析結果をもとに、影響度の高い地震について、効率的に震源断層を特定した地震動予測地図を用いた検討を行うことができる。また、特定のシナリオ地震に対する地震動予測結果に対しては、その地域のハザードへの貢献度を示すことができる。

なお、確率論的想定地震の影響度（貢献度）を地図の形で表現する方法についても提唱されている（中島・他，2001；石川・他，2003）。

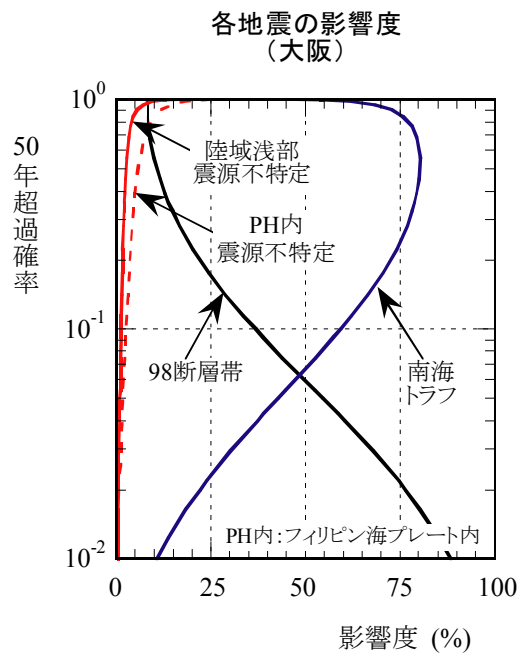
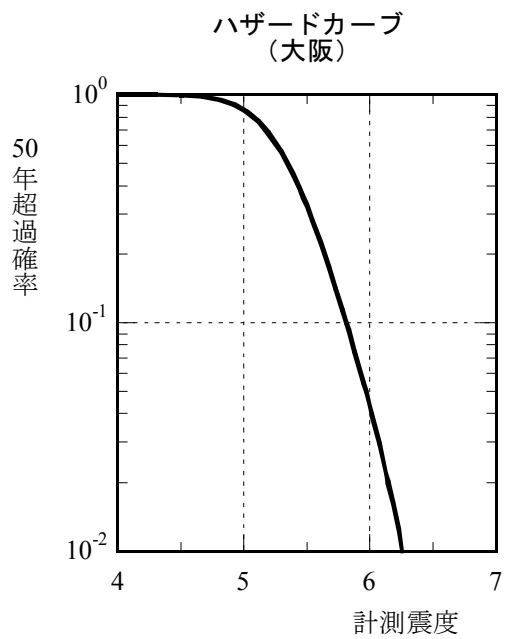
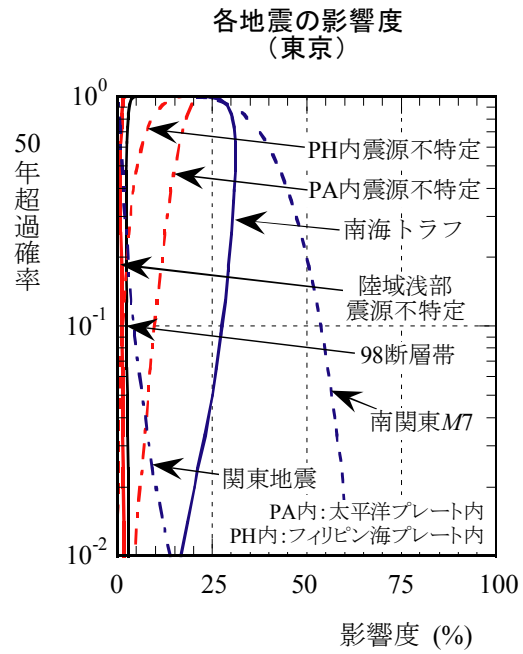
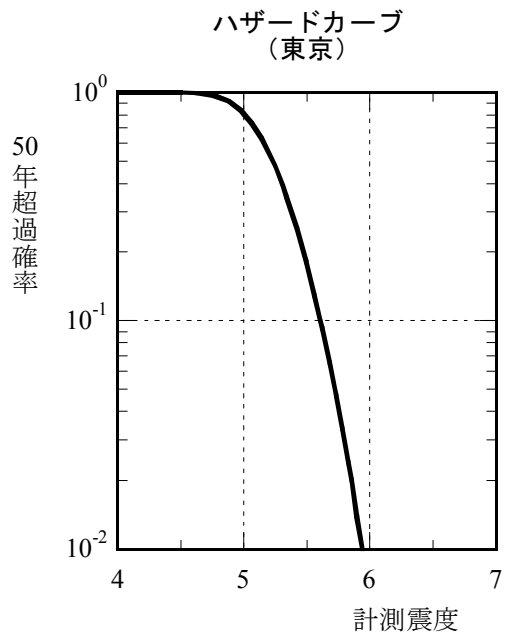


図 5.3-1 東京と大阪におけるハザードカーブと主な地震の影響度

6. 確率論的地震動予測地図の課題

- 「震源断層を予め特定しにくい地震」のモデル化手法の検討（余震の除去を含む）。
気象庁の地震カタログから大地震後の余震を除去するために建設省土木研究所(1983)の方法を用いているが、これ以外の手法や前震、余震、群発地震などの除去をこれまでの研究成果にもとづいて検討する必要がある。
- 「震源断層を特定した地震」の確率論的地震動予測地図への取込み手法の検討。
融合の考え方2のことを示すが、今後どのような手法が望ましいか十分に検討する必要がある。
- 想定震源域の範囲について様々考えられる場合の論理ツリー(地震調査委員会, 2002c)構築における重み付けの方法の検討。
「震源断層を特定した地震」の複数のシナリオを想定した場合、論理ツリーの構築が重要となり、今後の課題である。
- 地震動のばらつきの評価手法の検討。
現在、地震動のばらつきについては、距離減衰式とそのばらつきという簡便法によって評価しているが、「距離減衰式」のばらつきの大きさや分布の裾の打ち切りについては、確率論的地震動予測地図を作成する上で重要な検討項目である。また、上記の第2項とも関連するが、「強震動評価」に用いている詳細法による地震動のばらつき評価についても今後の課題である。
- 「主要 98 断層帯に発生する地震のうち固有地震以外の地震」の取扱い手法の検討。
- 「地図の公開方法」に関する検討。
- 長期評価の「信頼度」の確率論的地震動予測地図への反映の仕方についての検討。

引用文献（アルファベット順）

- Abe, K. (1975): Re-examination of the Fault Model for the Niigata Earthquake of 1964, *Journal of Physics of the Earth*, Vol.23, pp.349-366.
- 阿部邦昭(1987)：小地震の波源モデルと津波の性質—日本海中部地震の最大余震（1983年6月21日）に伴う津波，地震第2輯，第40巻，pp.349-363.
- 相田勇(1989)：天保四年の庄内沖地震による津波に関する数値実験，*続古地震—実像と虚像*（萩原尊禮編著），pp.204-213.
- Annaka, T. and Yashiro, H. (2000): Temporal dependence of seismic hazard in Japan, *Proceedings of the 12th World Conference of Earthquake Engineering*, Paper No.0316.
- Bazzurro, P. and Cornell, C.A. (1999): Deaggregation of seismic hazard, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.89, No.2, pp.501-520.
- Boissonnade, A., Chokshi, N., Bernreuter, D. and Murphy, A. (1995): Determination of controlling earthquakes from probabilistic seismic hazard analysis for nuclear reactor sites, *Transactions of the 13th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology*, Vol.4, pp.1771-776.
- Bommer, J.J., Abrahamson, N.A., Strasser, F.O., Pecker, A., Bard, P.-Y., Bungum, H., Cotton, F., Fäh, D., Sabetta, F., Scherbaum, F., and Studer, J. (2004): The challenge of defining upper bounds on earthquake ground motions, *Seismological Research Letters*, Vol.75, No.1, pp.82-95.
- 防災科学技術研究所(2003)：北日本地域を対象とした確率論的地震動予測地図作成手法の検討と試作例，*防災科学技術研究所研究資料*，第246号.
- Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y. (1994): Near-source attenuation of peak horizontal acceleration from worldwide accelerograms recorded from 1957 to 1993, *Proc. Fifth U.S. National Conf. on Earthquake Engineering*, Vol.3, pp.283-292.
- 中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」(2001)：中央防災会議東海地震に関する専門調査会報告，平成13年12月11日.
- Cornell, C.A.(1968): Engineering seismic risk analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.58, No.5, pp.1583-1606.
- Donovan, N.C. and Bornstein, A.E. (1978): Uncertainties in seismic risk procedures, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers*, 104, pp.869-887.
- Douglas, J. and Smit, P.M. (2001): How accurate can strong ground motion attenuation relations be?, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.91, pp.1917-1923.
- Frankel, A. (2000): USGS national seismic hazard maps, *Earthquake Spectra*, Vol. 16, No. 1, pp.1-19.
- Frankel, A., Mueller, C., Barnhard, T., Perkins, D., Leyendecker, E., Dickman, N., Hanson, S., and Hopper, M. (1996): National seismic-hazard maps: documentation June 1996, U.S. Geological Survey Open-File Report 96-532.
- Frankel, A., Petersen, M., Mueller, C., Haller, K., Wheeler, R., Leyendecker, E., Wesson, R., Harmsen, S., Cramer, C., Perkins, D., and Rukstales, K. (2002): Documentation for the 2002 update of the national seismic hazard maps, U.S. Geological Survey Open-File Report 02-420.
- 藤本一雄・翠川三郎(2003)：日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均 S 波速度分布の推定，*日本地震工学会論文集*，Vol.3, No.3, pp.13-27.
- 福島県(1999)：「平成10年度地震関係基礎調査交付金 双葉断層に関する調査成果報告書」.
- 岐阜県(2001)：「平成12年度地震関係基礎調査交付金 屏風山・恵那山断層帯に関する調査成果報告書」.
- 後藤尚男・亀田弘行(1968)：地震時における最大地動の確率論的研究，*土木学会論文集*，第159号.
- 服部定育(1977)：日本付近の地震危険度に関する考察—地震活動度、および地盤特性を考慮した地震危険度 map の提案—，*建築研究報告*，第81号.

- Ide, S. and Takeo M. (1996): The dynamic rupture process of the 1993 Kushiro-oki earthquake, *Journal of Geophysical Research*, Vol.101, No.B3, pp.5661-5675.
- Idriss, I.M. (1985): Evaluating seismic risk in engineering practice, *Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco, pp.255-320.
- Ishida, M. (1992): Geometry and relative motion of the Philippine Sea plate and Pacific plate beneath the Kanto-Tokai district, Japan, *Journal of Geophysical Research*, Vol.97, pp.489-513.
- 石川裕・亀田弘行(1990): 地震危険度解析に基づく想定地震の設定法, 第8回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.79-84.
- 石川裕・奥村俊彦(2001): 地域の集積リスクを考慮した想定地震の選定方法, 地域安全学会論文集, No.3, pp.199-206.
- 石川裕・奥村俊彦・亀田弘行(1996): 活断層を考慮した神戸における地震危険度評価, 土木学会「阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集」, pp.61-68.
- 石川裕・奥村俊彦・斎藤知生(2002): 複数回の地震発生を考慮した地震ハザード評価, 土木学会第57回年次学術講演会, I-737, pp.1473-1474.
- 石川裕・奥村俊彦・宮腰淳一・能島暢呂・杉戸真太・久世益充(2003): 地震動予測マップの活用—その1: ハザード情報の利用—, 土木学会地震工学論文集 CD-ROM, No.36.
- 伊藤潔(1997): 地殻内地震の深さの上限, 日本地震学会 1997 年度秋季大会講演予稿集, P69.
- 地震調査委員会(2000): 宮城県沖地震の長期評価, 平成 12 年 11 月 27 日.
- 地震調査委員会(2001a): 長期的な地震発生確率の評価手法について, 平成 13 年 6 月 8 日.
- 地震調査委員会(2001b): 南海トラフの地震の長期評価, 平成 13 年 9 月 27 日.
- 地震調査委員会(2002a): 布田川・日奈久断層帯の評価, 平成 14 年 5 月 8 日.
- 地震調査委員会(2002b): 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価, 平成 14 年 7 月 31 日.
- 地震調査委員会(2002c): 糸魚川—静岡構造線断層帯(北部、中部)の地震を想定した強震動評価, 平成 14 年 10 月 31 日.
- 地震調査委員会(2003a): 千島海溝沿いの地震活動の長期評価, 平成 15 年 3 月 24 日.
- 地震調査委員会(2003b): 宮城県沖地震を想定した強震動評価, 平成 15 年 6 月 18 日.
- 地震調査委員会(2003c): 日本海東縁部の地震活動の長期評価, 平成 15 年 6 月 20 日.
- 地震調査委員会(2003d): 布田川・日奈久断層帯の地震を想定した強震動評価, 平成 15 年 7 月 31 日.
- 地震調査委員会(2004a): 日向灘および南西諸島海溝周辺の地震活動の長期評価, 平成 16 年 2 月 27 日.
- 地震調査委員会(2004b): 三陸沖北部の地震を想定した強震動評価, 平成 16 年 5 月 21 日.
- 地震調査委員会(2004c): 相模トラフ沿いの地震活動の長期評価, 平成 16 年 8 月 23 日.
- 地震調査委員会(2004d): 千島海溝沿いの地震活動の長期評価 (第二版), 平成 16 年 12 月 20 日.
- 地震調査委員会(2005): 長期評価における確率値の更新と活断層の地震規模の表記について, 平成 17 年 1 月 12 日.
- 地震調査委員会長期評価部会・強震動評価部会(2002): 確率論的地震動予測地図の試作版 (地域限定) について, 平成 14 年 5 月 29 日.
- 地震調査委員会長期評価部会・強震動評価部会(2003): 確率論的地震動予測地図の試作版 (地域限定—北日本), 平成 15 年 3 月 25 日.
- 地震調査委員会長期評価部会・強震動評価部会(2004): 確率論的地震動予測地図の試作版 (地域限定—西日本), 平成 16 年 3 月 25 日.
- 地震調査委員会長期評価部会(2002): 震源を予め特定しにくい地震等の評価手法について (中間報告), 平成 14 年 5 月 29 日.
- 地震調査委員会長期評価部会(2002): 次の宮城県沖地震の震源断層の形状評価について, 平成 14 年 10 月 15 日.
- 地震調査委員会強震動評価部会(2002): 宮城県沖地震を想定した強震動評価手法について (中間報告), 平成 14 年 10 月 15 日.

- 地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会(2003)：東南海・南海地震を対象とした調査観測の強化に関する計画（第一次報告），平成15年6月26日。
- 垣見俊弘・松田時彦・相田勇・衣笠善博(2003)：日本列島と周辺海域の地震地体構造区分，地震，第2輯，Vol.55, pp.389-406.
- 亀田弘行(1978)：地震危険度の解析における歴史地震資料の評価について，土木学会論文報告集，第273号（ノート），pp.135-138.
- 亀田弘行・奥村俊彦(1985)：活断層データと歴史地震データを組み合わせた地震危険度解析，土木学会論文集，第362号/I-4, pp.407-415.
- 亀田弘行・石川裕・奥村俊彦・中島正人(1997)：確率論的想定地震の概念と応用，土木学会論文集，第577号/I-41, pp.75-87.
- Kanai, K. and Suzuki, T. (1968): Expectancy of the maximum velocity amplitude of earthquake motions at bedrock, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 46, pp.663-666.
- Katayama, T. (1978): Engineering prediction of acceleration response spectra and its application to seismic risk analysis, Proc. 5th Japan Earthquake Engineering Symposium, pp.57-64.
- 活断層研究会編(1980)：日本の活断層-分布図と資料，東京大学出版会。
- 活断層研究会編(1991)：[新編] 日本の活断層-分布図と資料，東京大学出版会。
- 勝俣啓・笠原稔・和田直人(2002)：稠密地震観測網によって見えてきた太平洋プレート内十勝沖断裂帯，月刊地球, Vol.24, No.7, pp.499-503.
- Kawasumi, H. (1951): Measures of earthquake danger and expectancy of maximum intensity throughout Japan as inferred from the seismic activity in historical times, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 29, pp.469-482.
- Kosuga, M., Sato, T., Hasagawa, A., Matsuzawa, T., Suzuki, S. and Motoya, Y. (1996): Spatial distribution of intermediate depth earthquakes with horizontal or vertical nodal planes beneath northeastern Japan, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 93, pp.63-69.
- Leyendecker, E., Hunt, R., Frankel, A., Rukstales, K. (2000): Development of maximum considered earthquake ground motion maps, Earthquake Spectra, Vol. 16, pp.21-39.
- 建設省土木研究所地震防災部振動研究室(1981)：既往地震活動に基づく地震動強度の期待値推定法，土木研究所資料，第1696号。
- 建設省土木研究所地震防災部振動研究室(1983)：前・余震の頻度および規模に関する調査，土研資料，第1995号。
- 建設省土木研究所地震防災部振動研究室(1986)：確率論手法に基づく地震動強度の再現期待値の試算，土木研究所資料，第2419号。
- 菊地正幸・金森博雄(1995)：広帯域地震記録による1994年北海道東方沖地震の震源メカニズム，月刊地球, Vol.17, No.5, pp.322-328.
- 気象庁(2004)：地震年報2002年。
- 北澤壮介・上部達生・檜垣典弘(1984)：沿岸地域における基盤の最大加速度期待値の推定，港湾技研資料，第486号。
- 隈元崇(1999)：内陸地震の危険度を探る－活断層トレンチ調査の成果－，地震ジャーナル，第28号，pp.13-26.
- 松田時彦(1975)：活断層から発生する地震の規模と周期について，地震第2輯，第28巻，pp.269-283.
- 松田時彦・塚崎朋美・萩谷まり(2000)：日本陸域の主な起震断層と地震の表－断層と地震の地方別分布関係－，活断層研究, Vol.19, pp.33-54.
- 松村和雄・牧野稔(1978)：ポアソン確率モデルから求められる最大地動の極値分布－(その1)最大地動の極値分布における観測値と解析値の比較－，日本建築学会論文報告集，第273号，pp.55-62.
- 松岡昌志・翠川三郎(1994)：国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング，第22回地震震動シンポジウム，日本建築学会。

- McGuire, R. K. (1995): Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: Closing the loop, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.85, No.5, pp.1275-1284.
- 翠川三郎・藤本一雄・村松郁栄 (1999): 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係, *地域安全学会論文集*, Vol.1, pp. 51-56.
- 翠川三郎・大竹雄(2003): 地震動強さの距離減衰式に見られるバラツキに関する基礎的分析, *日本地震工学会論文集*, Vol.3, No.1, pp.59-70.
- 森川信之・神野達夫・成田章・藤原広行・福島美光(2003): 東北日本の異常震域に対応するための距離減衰式の補正係数, *日本地震工学会論文集*, Vol.3, No.4, 14-26.
- 村井芳夫・秋山 諭・勝俣 啓・高波鐵夫・山品匡史・渡辺智毅・長 郁夫・田中昌之・桑野亜佐子・和田直人・島村英紀・古屋逸夫・趙 大鵬・三田亮平(2002): 海底および陸上稠密地震観測から明らかになった日高衝突帯の地下構造, *月刊地球*, Vol.24, No.7, pp.495-498.
- 長橋純男・柴野謙太郎(1999): 歴史地震データ・活断層データ及び国土数値情報による地盤条件を考慮した日本列島の地震危険度マップ, *日本建築学会構造系論文集*, 第 516 号, pp.113-120.
- 名古屋市(1999): 「平成 10 年度地震関係基礎調査交付金 天白河口断層に関する調査」, 119p.
- 中島正人・石川裕・奥村俊彦 (2001) : 確率論的想定地震の貢献度を用いたハザードマップ, *土木学会第 26 回地震工学研究発表会講演論文集*, pp.121-124.
- 中田高・今泉俊文編(2002): 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会.
- 大崎順彦(1983): 地震と建築, 岩波新書.
- 奥村俊彦・石川裕(1998): 活断層の活動度から推定される平均変位速度に関する検討, *土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集*, 第 I 部 (B) , pp.554-555.
- 奥村俊彦・石川裕(2000): 地域地震防災のための地震動予測地図の考え方, 第 4 回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(JCOSSAR2000), 37-B, pp.225-228.
- 奥村俊彦・渡辺基史・藤原広行(2004): 2003 年十勝沖地震の本震・余震記録に基づく最大速度のばらつきの検討, *日本地震学会 2004 年秋季大会講演予稿集*, B26.
- Perkins, J.B. (2000): San Francisco Bay Area hazard mapping-ABAG's history, failure, successes, and future goals, *Proceedings of the Sixth International Conference on Seismic Zonation (CD-ROM)*.
- Satake, K. (1986): Re-examination of the 1940 Shakotan-oki earthquake and the fault parameters of the earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Vol.43, pp.137-147.
- 佐藤良輔編著(1989): 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, 鹿島出版会.
- Sato, T. (1985): Rupture characteristics of the 1983 Nihonkai-chubu (Japan Sea) earthquake as inferred from strong motion Accelerograms, *Journal of Physics of the Earth*, Vol.33, pp.525-557.
- 司宏俊・翠川三郎(1999): 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, *日本建築学会構造系論文報告集*, 第 523 号, pp.63-70.
- 損害保険料率算定会(2000): 活断層と歴史地震とを考慮した地震危険度評価の研究～地震ハザードマップの提案～, *地震保険調査研究* 47.
- 武村雅之(1990). 日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, *地震* 第 2 輯, 第 43 巻, pp.257-265.
- Tanioka, Y., Satake, K. and Ruff, L. (1995): Total Analysis of the 1993 Hokkaido Nansei-oki Earthquake Using Seismic Wave, Tsunami, and Geodetic Data, *Geophysical Research Letters*, Vol.22, No.1, pp.9-12.
- 植平賢司・清水洋・松尾紉道・後藤和彦(2001): 四国・中国西端から九州にかけての深発地震面の形状と発震機構, *月刊地球*, Vol.23, No.10, pp.669-673.
- 宇賀田健(2001): シナリオ地震による日本全国の地震危険度, *日本建築学会構造系論文集*, 第 541 号, pp.95-104.
- Umino, N., A. Hasegawa, and A. Takagi (1990) : The Relationship between Seismicity Patterns and Fracture

- Zones beneath Northeastern Japan, *Tohoku Geophys. Journ.*, Vol. 33, No. 2, pp.149-162.
- 宇佐美龍夫(1996) : 新編日本被害地震総覧 (増補改訂版) , 東京大学出版会.
- 宇津徳治・関彰(1955):余震区域の面積と本震のエネルギーとの関係, 地震,第2輯, 第7巻, pp.233-240.
- 宇津徳治(1982) : 日本付近の M6.0 以上の地震および被害地震の表(1885 年～1980 年), 地震研究所彙報, 57, pp.401-463.
- 宇津徳治(1985): 日本付近の M6.0 以上の地震および被害地震の表(1885 年～1980 年[訂正と追加]), 地震研究所彙報, 60, pp.639-642.
- 宇津徳治(2001) : 地震学, 共立出版.
- Wesnousky, S. G., C. H. Scholz, K. Shimazaki, and T. Matsuda (1984): Integration of geological and seismological data for the analysis of seismic hazard: A case study of Japan, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 74, No.2, pp.687-708.
- 吉田伸一・今塚善勝(1998) : ブロック構造に基づく震源領域モデルを用いた地震ハザード評価, 第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.438-488.
- Youngs R.R., Abrahamson, N., Mkdisi, F.I., and Sadigh, K.(1995): Magnitude dependence variance of peak ground acceleration, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.85, pp.1161-1176.

付録 1 試作版からの変更点について

地震調査委員会では、「確率論的地震動予測地図の試作版（地域限定－北日本）」（地震調査委員会長期評価部会・強震動評価部会，2003）および「確率論的地震動予測地図の試作版（地域限定－西日本）」（地震調査委員会長期評価部会・強震動評価部会，2004）での議論とその後の長期評価の進行を踏まえ、今回作成した確率論的地震動予測地図の計算パラメータを決定した。ここでは、それぞれの試作版からの変更点について簡単に列挙する。

■北日本試作版からの変更点

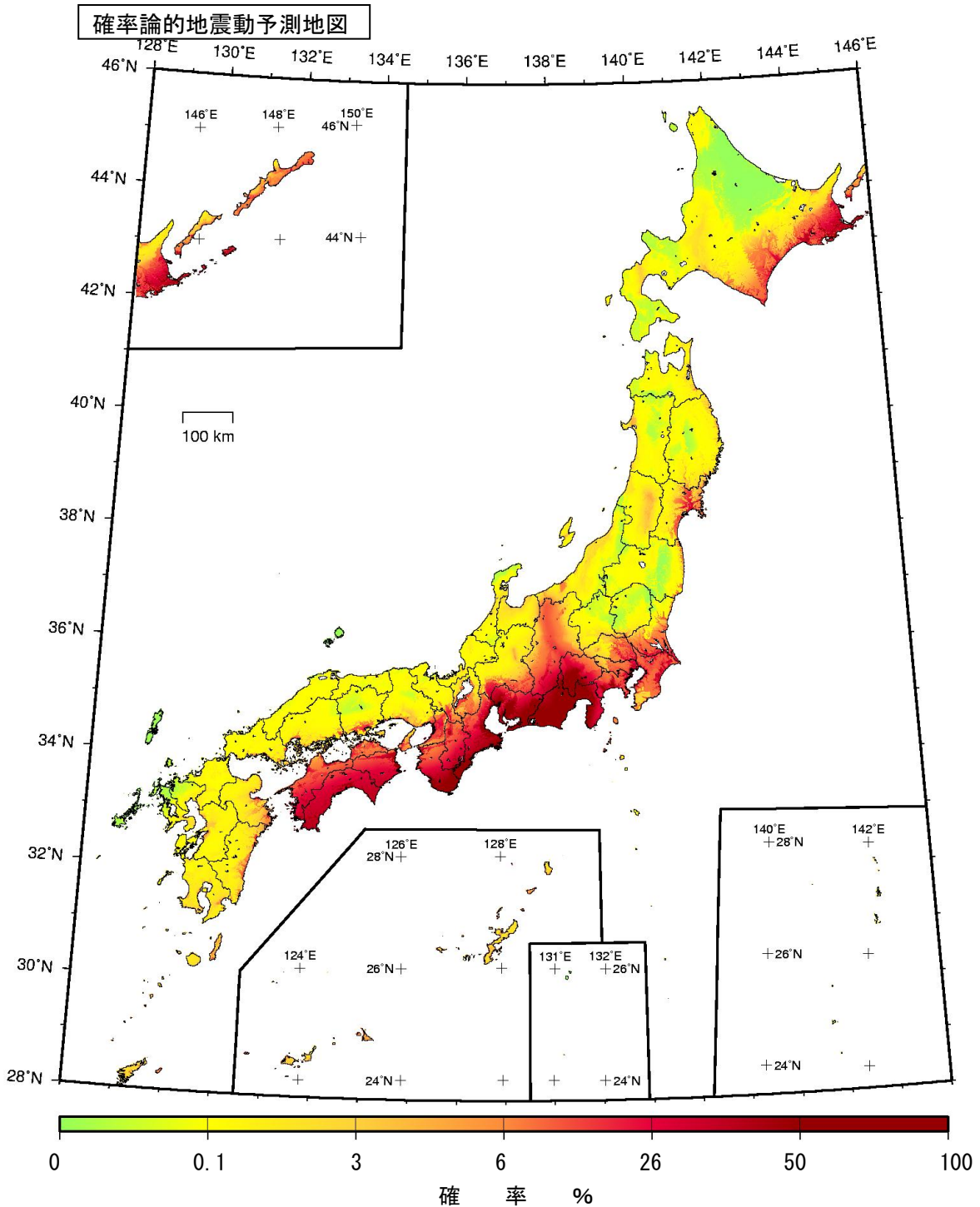
- 司・翠川（1999）の距離減衰式のばらつきの変更に伴う取扱いの変更
- 表層地盤増幅率の算出方法の変更： 松岡・翠川（1994） → 藤本・翠川（2003）
- 「陸域で発生する地震のうち活断層が特定されていない場所で発生する地震」の地域区分、最大地震規模の設定の変更： 損害保険料率算定会（2000） → 垣見・他（2003）
- 平成 15 年宮城県沖の地震（M7.1）発生による当該地域区分の最大地震規模の変更
- 平成 15 年（2003 年）十勝沖地震発生に伴う千島海溝沿いの地震の再評価、太平洋プレート等深線、浦河沖の地震の地域区分の見直し
- 南関東の M7 程度の地震の領域との整合性を図るため、三陸沖北部から房総沖の地震の領域変更
- 気象庁マグニチュード改訂に伴う、釧路沖地震タイプの「沈み込んだプレート内のやや深い地震」の再評価
- 日本海東縁部の地震の暫定版から公表版への更新
- 主要 98 断層帯の暫定版から公表版への更新
- 主要 98 断層帯以外の活断層の暫定評価（損害保険料率算定会，2000）から事務局評価に基づく審議結果への更新

■西日本試作版からの変更点

- 司・翠川（1999）の距離減衰式のばらつきの変更に伴う取扱いの変更
- 南海トラフの地震の BPT 分布のばらつき α の変更（3 領域とも $\alpha=0.20$ で統一）
- 平成 16 年紀伊半島南東沖の地震（M7.4）の発生に伴う南海トラフの領域の最大地震規模の変更
- 主要 98 断層帯の暫定版から公表版への更新
- 主要 98 断層帯以外の活断層の暫定評価（損害保険料率算定会，2000）から事務局評価に基づく審議結果への更新

付録2 今後30年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布図（連続表現）

ここでは、基本事例として示した「今後30年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率」について、確率値によるランク分けをしない地図を参考までに示す。確率の高低の地域的な違いをより詳細に見ることができる。



付図2-1 今後30年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布図（連続表現）
（基準日：2005年1月1日）