

## 2. 今後の地震動ハザード評価に向けた検討

### 2.1 手法の有効性に関する検討

検討すべき原因の第一の候補である確率論的地震動ハザード評価手法の基本的枠組みの有効性について検討するため、以下の事項について比較・検討を行った。1) 過去のある時点からの各30年間について、確率論的地震動予測地図で用いられた手法により予測されたある震度以上の揺れに見舞われる確率の分布と、同期間に実際に発生した地震により、ある震度以上の揺れに見舞われた地域の分布の地図を比較し、両者が調和的であるかどうかを検討する。2) 確率論的地震動予測地図により特定の期間にある強さ以上のゆれに見舞われると予想されるメッシュ数期待値と、実際に過去に発生した地震によるメッシュ数期待値を比較し、両者が調和的であるかどうかを検討する。これらにより、確率論的地震動予測地図の確からしさを示し、確率論的地震動ハザード評価手法が有効であることを確認する。なお、全国を250 m四方のメッシュで分割し、各メッシュにおける地震動ハザードを評価した場合に、30年間にある震度以上の揺れに見舞われると予測されるメッシュの数を、「メッシュ数期待値」と呼ぶことにする。ここで、全国の総メッシュ数は約596万である。

ここでは、石川・他(2011)による検討結果を引用し、1890年、1920年、1950年、1980年の4つの時点からの30年間について、確率論的地震動予測地図により予測された、ある震度以上の揺れに見舞われる確率の分布の地図と、同期間に実際に発生した地震によりある震度以上の揺れに見舞われた確率相当値の分布の地図を示す。これにより、確率論的地震動予測地図の特徴を示すととともに、通常地震動ハザードマップが対象とする30年間という期間と比較して平均活動間隔が長い地震については、その地震動ハザードがとらえにくいことを指摘する。また、確率論的地震動予測地図により予想されるメッシュ数期待値が、実際に過去に発生した地震によるメッシュ数期待値と調和的であること、さらには、海溝型地震による影響が最大となる地域においては、確率論的地震動予測地図により予想される地震動ハザードが高いほど、実際に強い揺れに見舞われていることを示し、確率論的地震動予測地図の基本的枠組みの有効性を示す。

#### 2.1.1 「予測」と「実績」の比較

確率論的地震動予測地図では、全国を250 m四方のメッシュで分割し、各メッシュにおける地震動ハザードを評価している。ここでは、確率論的地震動予測地図により予測された、ある震度以上の揺れに見舞われる確率を「予測」、実際に発生した地震により、ある震度以上の揺れに見舞われた確率を、以降「実績」と呼ぶ。実績の計算は、実際に発生した地震の震源の情報等に基づいて、地震動の強さを全国の250 mメッシュごとに計算して求めた。より具体的には、対象期間に発生した主な地震を用いて、その発生確率を100%とした上で、距離減衰式のばらつきを考慮して各メッシュでのハザード曲線を計算し、計算されたハザード曲線からある震度以上となる確率を計算した。図3～図6には、それぞれ1890年、1920年、1950年、1980年からの各30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布の「予測」(左図)と「実績」(右図)を示す(石川・他(2011)より引用)。

まず、「予測」の地図は、どの時点の地図であるかにより様子が大きく異なる(図3～図6の左図)。これは、非定常な活動(時間の経過とともに発生確率が変化する)の地震による地震動ハザードの影響である。例えば、南関東から四国にかけての太平洋側の地域での確率の違いは、カテゴリーIの地震(海溝型地震のうち震源断層を特定できる地震)である関東地震や、東海地震、南海地震、東南海地震といった南海トラフ沿いの地震の発生確率が、時間の経過に伴って変化するような確率分布を用いてモデル化されているためである。定常ポアソン過程でモデル化されて

いる地震については、時間軸の起点に関係なく同じ発生確率となる。内陸地域および日本海側の地域での「予測」は、非定常で活発な活動の地震の影響をそれほど受けないため、時間軸の起点の違いによる「予測」の変化は小さい。一方「実績」では、図3～図6の右図に示すように、各地で発生した地震の震源域周辺で確率値が高く、時間軸の起点の違いによる変化が大きい。なお、「実績」の図には白色の領域が存在するが、これらは、該当期間に周辺で地震が発生しなかったために確率相当値が0%と評価されたメッシュに対応している。

次に、各時点での「予測」と「実績」とを比較する。いずれの時点においても、確率値の大きい領域の分布は、「予測」と「実績」とがおおよそ対応しており、特に、北海道の根室～十勝地方に至る領域、宮城県、関東地方、東海地方～紀伊半島～四国地方に至る領域においては、よく一致している。これは、確率論的地震動予測地図において、カテゴリーⅠの地震である、根室半島沖の地震、十勝沖地震、宮城県沖地震、関東地震、東海地震、東南海地震、南海地震、あるいは、発生頻度の高いカテゴリーⅡの地震（海溝型地震のうち震源断層をあらかじめ特定しにくい地震）などによる地震動ハザードが反映されているためである。例えば、1890年時点からの30年間の「予測」（図3左）では、北海道根室地方、山形県北西部、関東地方などで確率が高くなっており、これは「実績」（図3右）と共通している。これは、カテゴリーⅠの地震である、1894年に発生した根室半島沖地震、カテゴリーⅡの地震である、明治東京地震が地震活動モデルに反映されているためである。

これに対し、いずれの時点においても、内陸ないし沿岸海域の活断層で発生する地震については、予測の難しさが現れている。例えば、1890年時点からの30年間の「予測」（図3左）では、岐阜県南西部、愛知県北部、山形県北西部、秋田県南部、福井県、四国西部、九州中部～南部にかけて確率が低く、「実績」（図3右）では確率が高くなっている。これは、1891年濃尾地震、1894年庄内地震、1896年陸羽地震、1909年姉川地震などの、活断層で発生した地震が反映されているためである。

内陸ないし沿岸海域の活断層で発生する地震について、予測が難しく地震動ハザードの影響が捉えにくくなっている理由の1つとして、活断層の平均活動間隔は数千年から数万年であるのに対し、地震動予測地図では主に、このような活断層の平均活動間隔と比較して一瞬とも言える30年間を対象としているため、地震の発生確率が低くなってしまふことが挙げられる。また、まだ見つかっていない活断層で地震が発生することもある。確率論的地震動予測地図では、まだ見つかっていない内陸や沿岸域の活断層の地震や、発生頻度が低く長期評価から漏れた地震を、「震源を特定しにくい地震」として考慮している。この場合、震源を特定しにくい地震は、ある広さの領域に分布する地震群として扱われる。震源を特定できない地震をある広さを持った領域に分布させることにより、地震の確率値がさらに小さな確率値として薄く広く分布することになり、低頻度の地震による影響はさらに捉えにくくなってしまふ。

このような問題を改善するための一つの方法として、「2.4 表現方法の問題の検討」で示すように、再現期間を長くとした確率論的地震動予測地図を作成し、長い時間で見た場合の平均像を示すことが挙げられる。再現期間を十分に長くすることにより、30年間の地図では見えにくくなっている内陸や沿岸海域の活断層の地震による影響が見えやすくなる。

ところで、「予測」と「実績」とを比較すると、全体的に「実績」の地図の方が濃淡のメリハリが効いた鮮明な像となっている。これは、「予測」による確率値は、評価対象地点に影響するすべての地震について、「地震の発生確率」と「地震動の強さがある閾値以上になる確率」とを掛け算して求められているのに対し、「実績」による確率値は、「実際に発生した地震の発生確率を100%としたもの」に「地震動の強さがある閾値以上になる確率」とを掛け算して求められているためである。「予測」で用いる地震の発生確率はあくまで予測値であり、100%になることはないが、「実

績」では実際に発生した地震を計算の対象としているため、地震の発生確率は100%となる。このため、常に地震の発生確率については、「予測」よりも「実績」の方が大きくなる。また「予測」は、評価対象地点に影響を及ぼすすべての地震を考慮した“確率分布”であるのに対し、「実績」は、そのような確率分布からの一つの“実現値”を示している。

なお、「実績」と「予測」とを比較すると、地震が発生していない場所、つまり「実績」の確率値が低いところでも「予測」では確率値0%ではなく、小さな確率値を示している。これは、注目した30年間にたまたま地震が起らなかったことにより「実績」では確率値が0%になっているが、30年間で平均的には確率論的地震動予測地図による予測値に示されるだけの地震動ハザードが見込まれていたということである。注意が必要なのは、たとえ地震動予測地図による予測の確率値が低くても、それは地震が起きないことを意味するものではないということである。1995年兵庫県南部地震を例にとると、主な震源断層である六甲・淡路島断層帯主部の淡路島西岸区間の平均活動間隔は1,700年～3,500年と、地震動予測地図が対象とする典型的な期間である30年と比較して非常に長いため、活断層で発生する地震の発生確率は低くなり、兵庫県南部地震の発生直前における地震発生確率は、0.02-8%であった。また、地震発生確率が低い領域であっても、その領域の面積が広ければ、領域全体としての地震発生確率は高くなり、地震が発生することになる。つまり、地震動予測地図による予測の確率値が低くても、それは地震が起きないということの意味するものではなく、ひとたび地震が発生すれば、地震の規模が大きな場合、大きな被害を生じることには注意が必要である。

ここに示す「予測」と「実績」の比較の結果から、確率論的地震動予測地図による確率値がどの程度低いところでどの程度地震が発生しているかを確認することができ、確率論的地震動予測地図による確率値が低いところについても、地震に備えなければならないことが分かる。ここに示した比較は、確率論的地震動予測地図で、どの程度確率が低いところまで考慮して地震対策を行うべきか、個々のユーザーが判断する際に参考とし得る情報である。

### 2.1.2 確率論的地震動予測地図の有効性






次に、確率論的地震動予測地図により予測されるメッシュ数期待値が、実際に発生している地震による地震動ハザードとおおむね調和的であることを示す。






石川・他（2011）は、確率論的地震動予測地図により予測されるメッシュ数期待値と、実際に発生した地震によるメッシュ数期待値とを、ある震度以上となるメッシュ数期待値をとることにより比較し、確率論的地震動予測地図の基本的枠組みの有効性について検討した。図7の(a)、(b)、(c)は、それぞれ30年間に、震度6弱以上、震度5強以上、震度6強以上の揺れに見舞われるメッシュ数期待値である。それぞれ、左から全国の結果、最大影響カテゴリーがⅠの地域、最大影響カテゴリーがⅡの地域、最大影響カテゴリーがⅢの地域での結果である。ここで、最大影響カテゴリーがⅠの地域とは、その地域の地震動ハザードに与える影響が最も大きい地震がカテゴリーⅠの地震であるような地域のことである。最大影響カテゴリーがⅡの地域、Ⅲの地域も同様であるが、ここでカテゴリーⅡの地震とは、海溝型地震のうち震源断層を特定しにくい地震のことであり、カテゴリーⅢの地震とは、活断層などで発生する陸域と海域の浅い地震のことである。

例えば、南海地方の地震動ハザードには、カテゴリーⅠの地震である南海トラフの地震による影響が最も大きいため、南海地方は最大影響カテゴリーがⅠの地域である。ただし、発生確率が時間的に変化し活動が活発な地震による影響が大きい地域では、注目する期間によって最大影響カテゴリーが変わる可能性があることに注意する必要がある。横軸は1890年、1920年、1950年、1980年から30年間の「予測」による期待値（○）、「実績」による期待値（●）である。図7

の最左列の全国の図には、右側の軸に、左側の軸の値を日本の総メッシュ数で除した値を示す。これは、各震度階に対する超過確率の全国平均を示している。「予測」(○)と「実績」(●)を比較すると、全国の結果、カテゴリ別の結果ともに「予測」と「実績」はおおよそ対応している。このことから、確率論的地震動予測地図による全国のメッシュ数期待値は、総量としてはおおむね実績と調和的であると評価できる。なお、1890年からの30年間において、最大影響カテゴリがⅢの地域で、「実績」が「予測」を上回っているが、これは内陸の活断層を震源とする大きな地震(1891年濃尾地震や1896年陸羽地震など)が発生した影響によるものである。

続いて、海溝型地震による影響が最大である地域においては、確率論的地震動予測地図により予想される確率値が高いほど実際に強い揺れに見舞われていることを示す。

確率論的地震動予測地図では、確率値を0~0.1%、0.1~3%、3~6%、6~26%の5つの階級に分け、それぞれ, , , , で表示している。ここでは、

- 30年超過確率0~0.1% = 「階級1 
- 30年超過確率0.1~3% = 「階級2 
- 30年超過確率3~6% = 「階級3 
- 30年超過確率6~26% = 「階級4 
- 30年超過確率26~100% = 「階級5 

と呼び、「予測」に基づく階級を「予測階級」と呼ぶ。図8に、確率論的地震動予測地図による30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率値に基づく「予測階級」ごとに、実際にどれ位の割合(相対頻度)で震度6弱以上の揺れに見舞われたのかを示す。1890年、1920年、1950年、1980年からの各30年間について、全国、最大影響カテゴリⅠ、最大影響カテゴリⅡ、最大影響カテゴリⅢの領域での結果が示されている(赤色が実際に震度6弱以上の揺れに見舞われた割合、青色が震度6弱以上の揺れに見舞われなかった割合)。図8の最左列の全国の結果を見ると、「予測階級」の数字が大きく(確率値が高い)、確率論的地震動予測地図により地震動ハザードが高いとされている領域ほど、実際に震度6弱以上に見舞われた割合が多いことが分かる。また、最大影響カテゴリⅠとⅡの地域では、「予測階級4、5」で実際に震度6弱以上の揺れに見舞われた割合が大きく、確率論的地震動予測地図による確率が高い地点ほど、実際に震度6弱以上の揺れに見舞われた割合が多いことが分かる。これらのことは、確率論的地震動予測地図の基本的枠組みの有効性を示すものである。

他方で図9を見ると、最大影響カテゴリがⅢの地域については、必ずしも「予測階級」の数字が大き(「予測」の超過確率が高い)ほど、実際に震度6弱以上の揺れに見舞われたメッシュ数が多い訳ではない。つまり、最大影響カテゴリⅢの地域では、図7で示したようにメッシュ数期待値は「予測」と「実績」とがおおむね整合しているものの、震度6弱以上を受ける具体的な地域を事前の確率の高低から予測することは難しいとすることができる。

以上の検討より、確率論的地震動予測地図は、全国のメッシュ数期待値から見ると実績値とおおむね調和的であり、確率論的地震動ハザード評価手法の基本的枠組みの有用性を支持する結果が得られた。ただし、最大影響カテゴリがⅢの領域では、実績値との対応は劣る。これは、カテゴリⅢの地震の発生頻度が低く、この地域では超過確率が高くないために、その影響が捉えられにくくなるためと考えられ、この点は課題として残る。

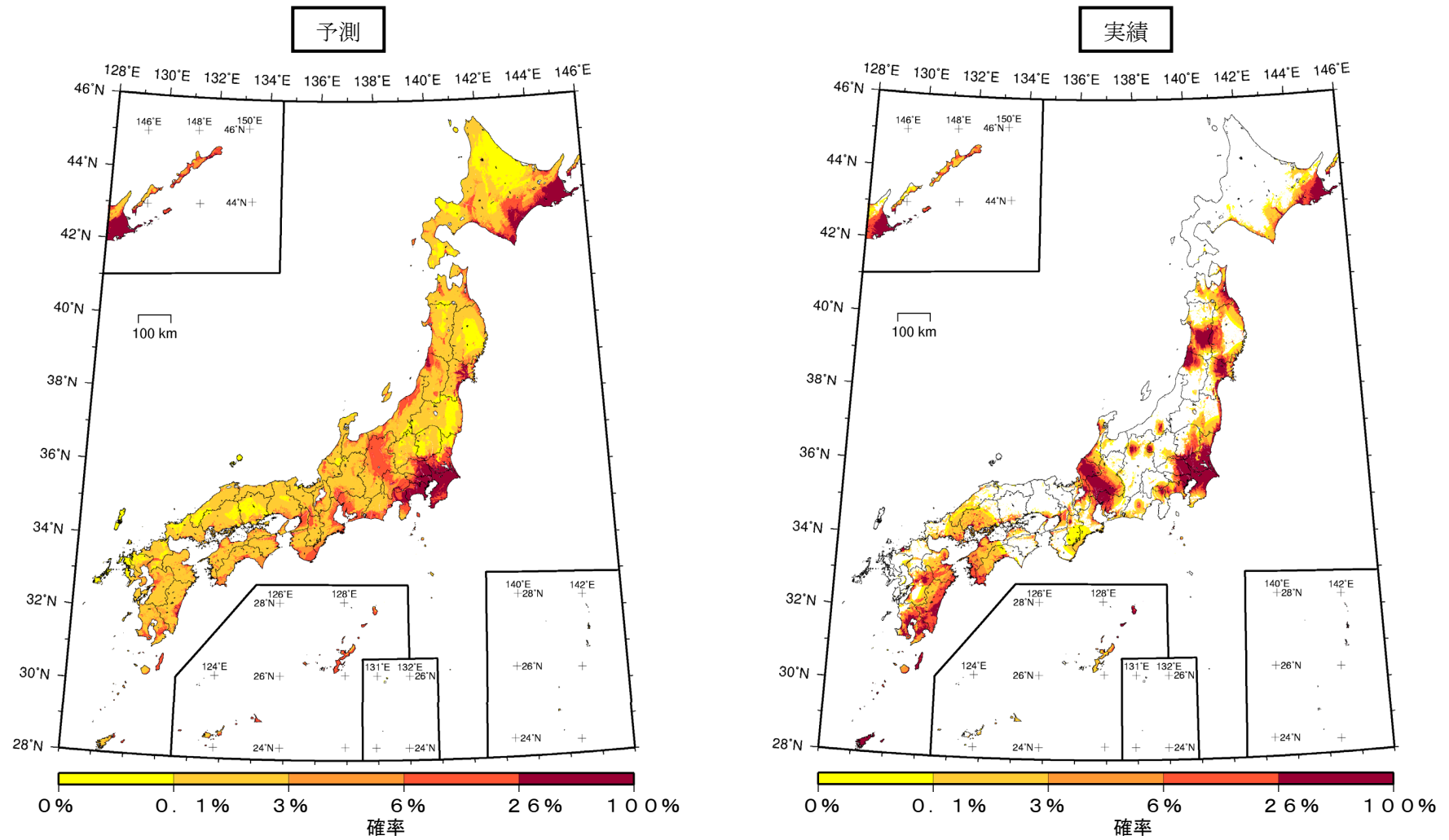


図3 1890年から30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布(左)と同期間に実際に発生した地震による震度の確率相当値の分布(右)  
(石川・他、2011による)

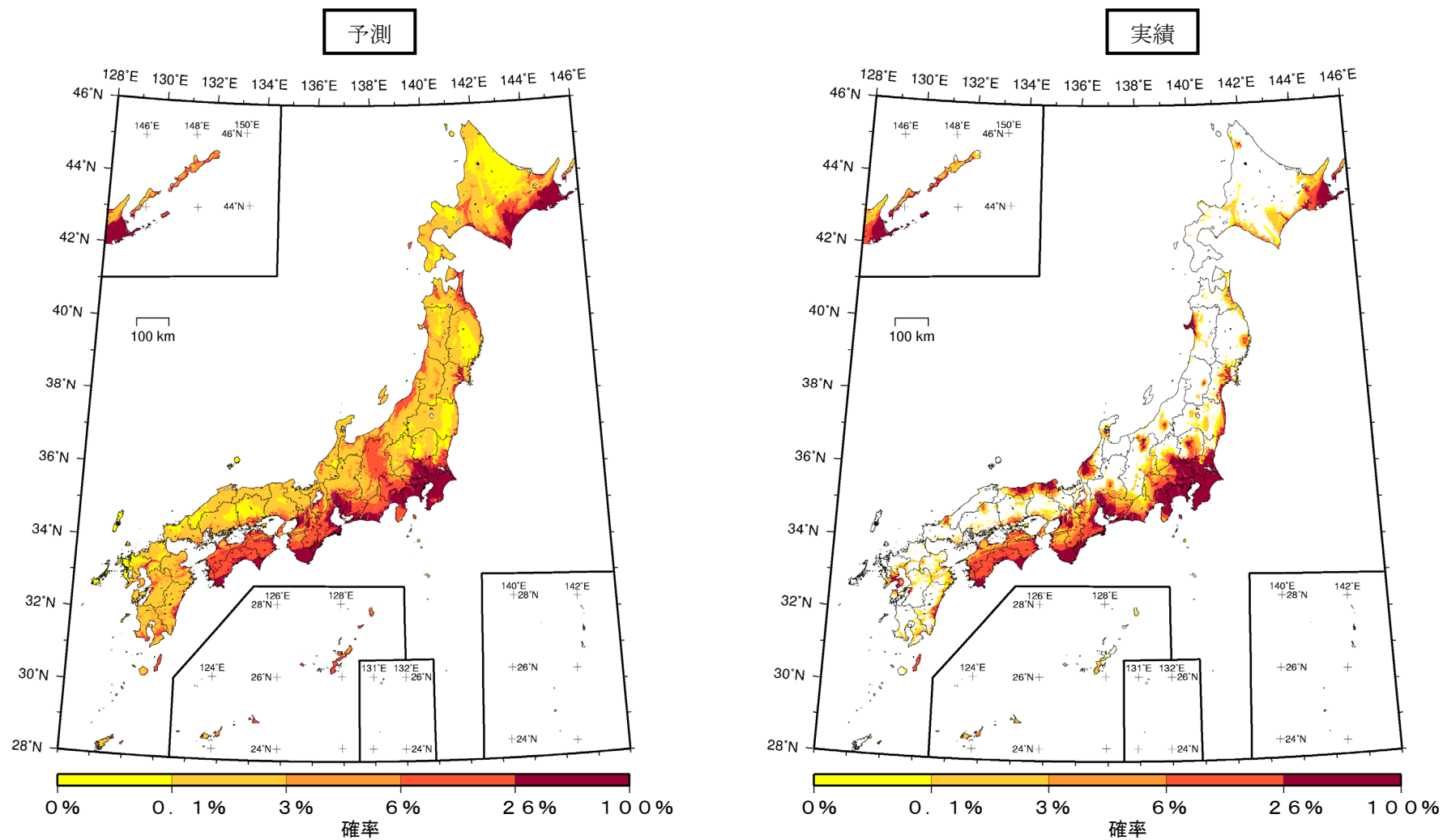


図4 1920年から30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布(左)と同期間に実際に発生した地震による震度の確率相当値の分布(右)(石川・他、2011による)

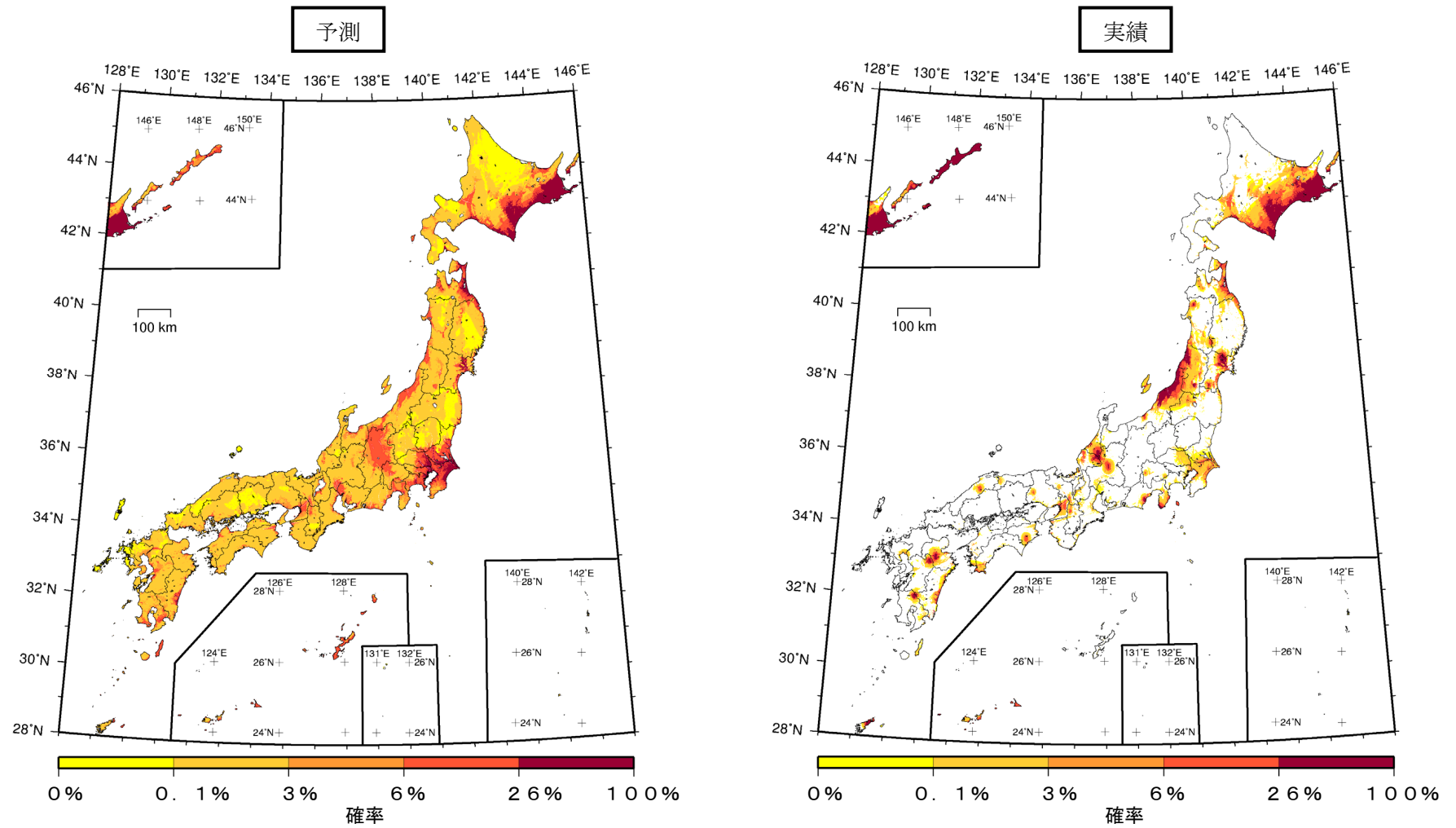


図5 1950年から30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布（左）と同期間に実際に発生した地震による震度の確率相当値の分布（右）（石川・他、2011による）

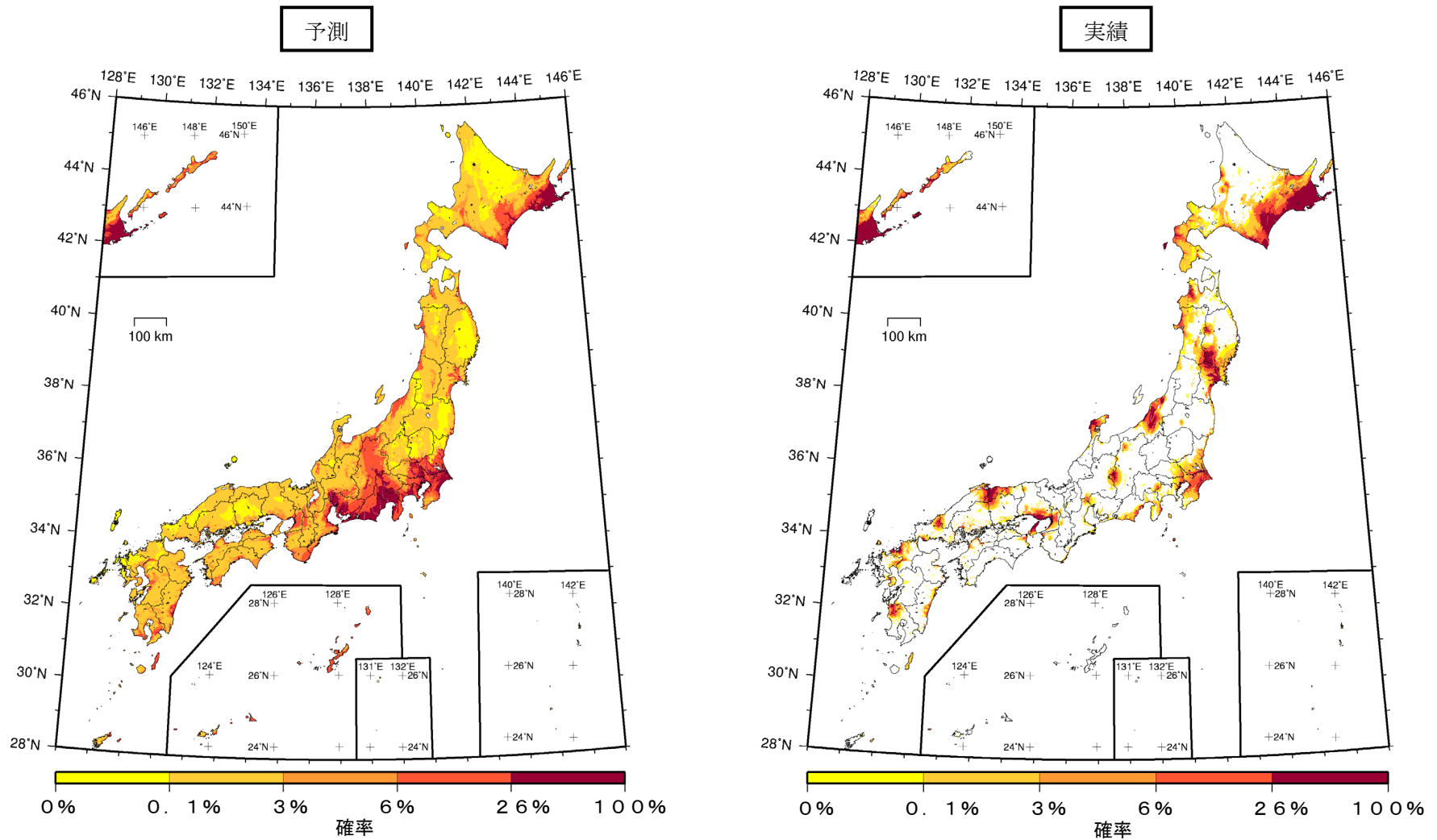


図6 1980年から30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布(左)と同期間に実際に発生した地震による震度の確率相当値の分布(右)  
(石川・他、2011による)



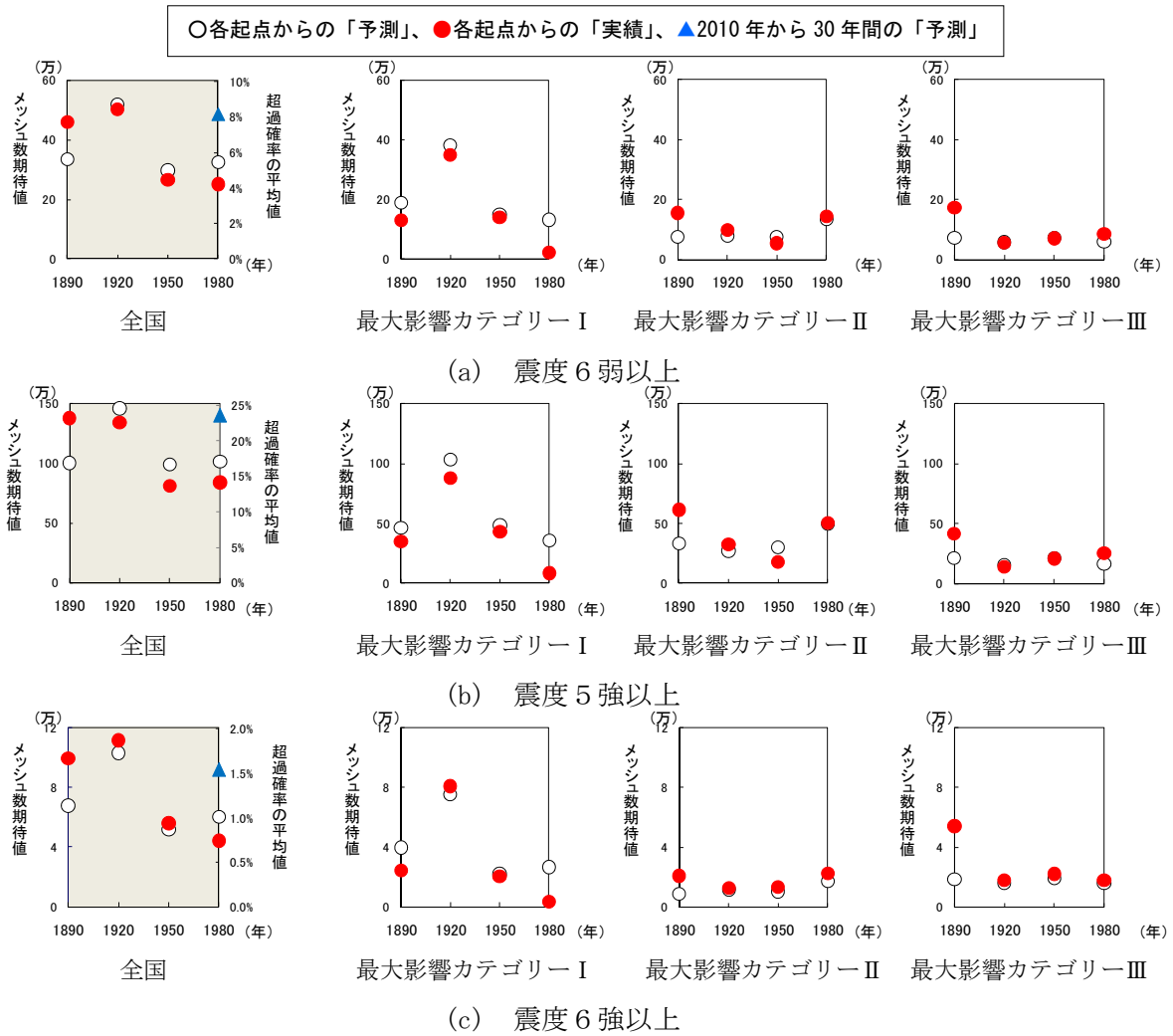
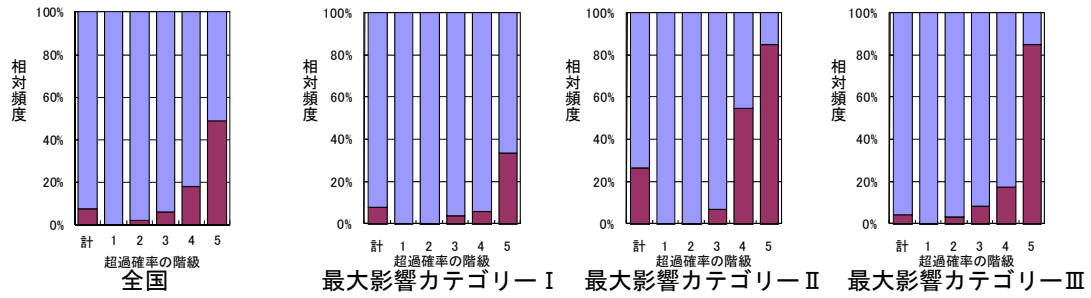
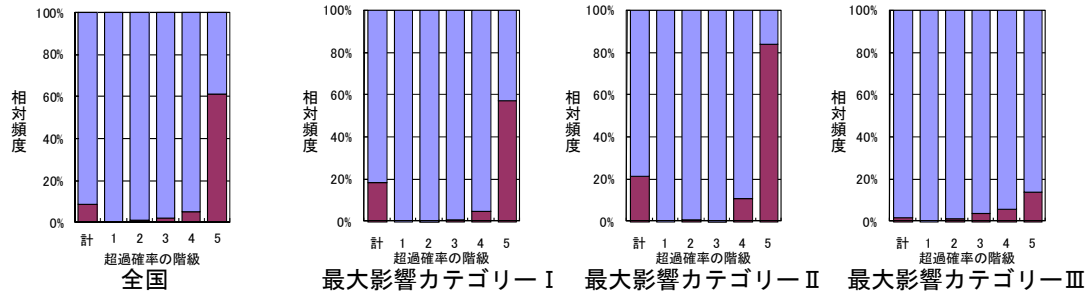


図7 30年間に震度6弱以上(a)、震度5強以上(b)、震度6強以上(c)の揺れに見舞われるメッシュ数の期待値(石川・他、2011による)

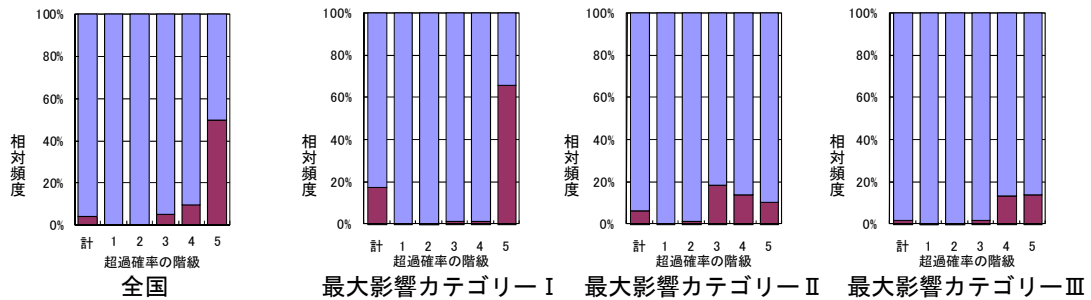
■震度6弱以上を経験、■震度6弱以上を未経験



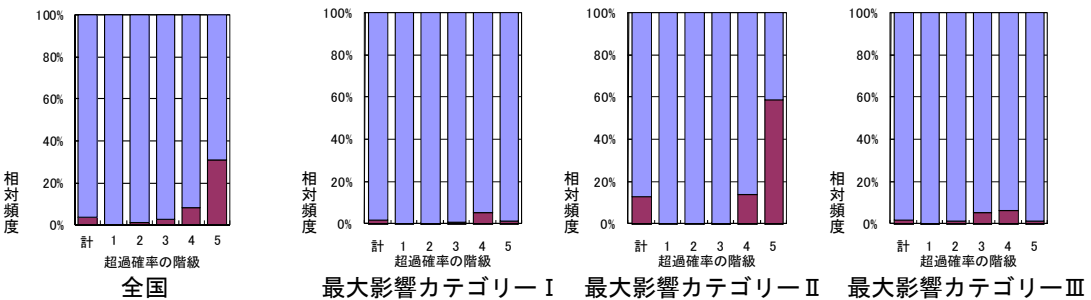
(a) 1890年起点



(b) 1920年起点



(c) 1950年起点



(d) 1980年起点

30年超過確率の「予測階級」 階級1：0～0.1%， 階級2：0.1～3%， 階級3：3～6%，  
階級4：6～26%， 階級5：26～100%

図8 超過確率の「予測階級」ごとの震度6弱以上の揺れに見舞われた割合  
(各階級のメッシュ数期待値を全国の総メッシュ数で除したもの)  
(石川・他、2011による)

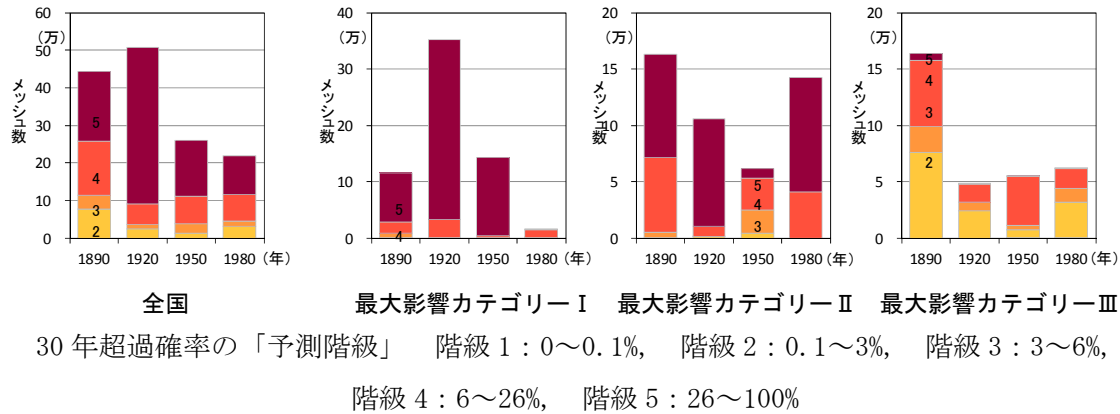


図9 超過確率の「予測階級」ごとの震度6弱以上の揺れに見舞われたメッシュ数 (石川・他、2011による)

## 2.2 震源断層を特定できなかった地震の問題の検討

続いて、検討すべき原因の第二の候補である、震源断層を特定できなかった地震の問題について検討する。1章では東北地方太平洋沖型の地震の震源断層と、被害地震を発生させた活断層について、この問題を指摘した。例えば、前者に関して、宮城県中南部から福島県中部にかけての沿岸では、過去2,500年間で貞観地震を含め4回の巨大津波に襲われていたこと、最新の津波は西暦1,500年頃であること等が明らかになっていたものの、これらの知見を含めた長期評価の改訂については、東北地方太平洋沖地震が発生した時点で審議中であった。そのため、それまでに公表された確率論的地震動予測地図には、東北地方太平洋沖型地震は考慮されていなかった。

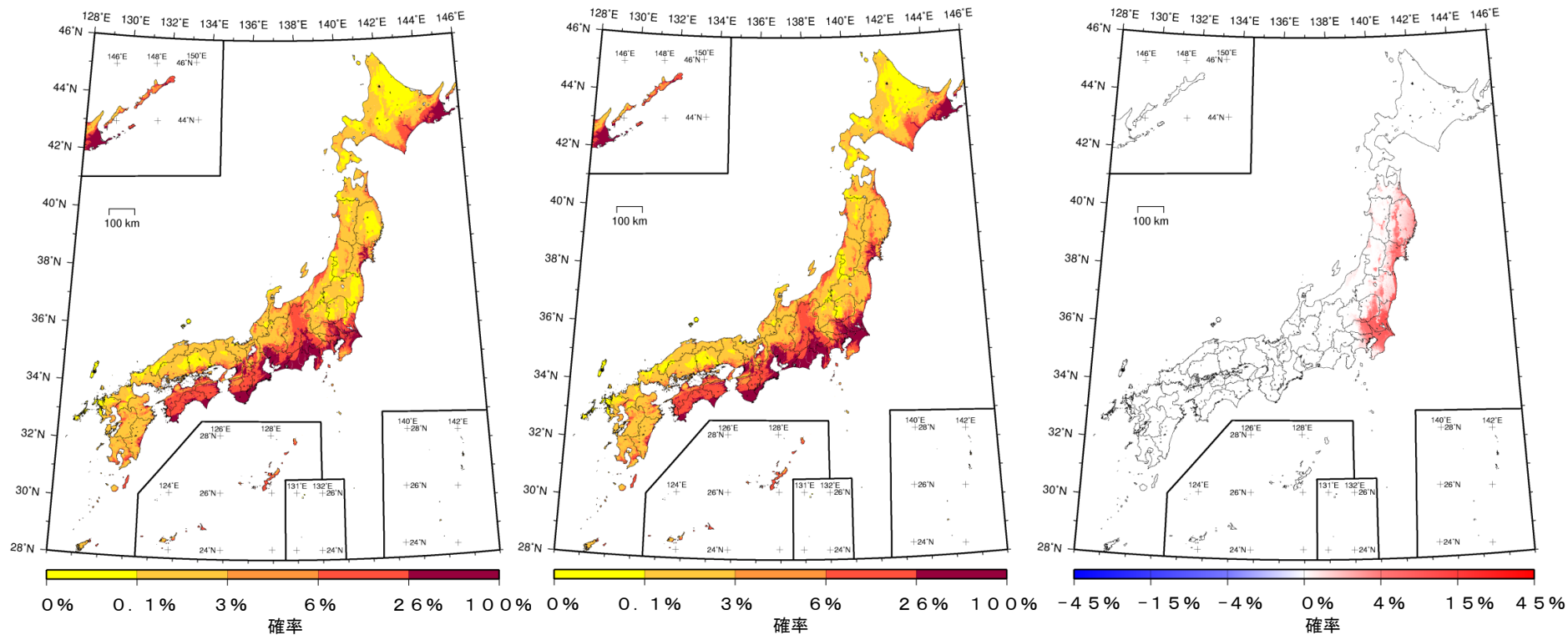
東北地方太平洋沖地震の発生を受け、平成23年11月25日公表された「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)」(以後、長期評価第2版)では、暫定的な評価として、東北地方太平洋沖型の地震は $M$ 9.0、繰り返し間隔が約600年の地震であるとされた。本検討では、東北地方太平洋沖型の地震を考慮した場合と考慮しなかった場合の2011年から30年間の確率論的地震動予測地図の比較を示す。この比較により、東北地方太平洋沖地震の発生前に確率論的地震動予測地図による東北地方の地震動ハザードが過小評価となっていた問題が、東北地方太平洋沖型の地震を考慮することで改善されることを示す。なお、ここでの検討に用いた東北地方太平洋沖型の地震を考慮しなかった場合の地震活動モデルは、表1の従来モデルである。一方、東北地方太平洋沖型の地震を考慮した場合の地震活動モデルは、従来モデルの中で「(なし)」となっている東北地方太平洋沖型に対して $M=8.4\sim 9.0$ 、30年間の地震発生確率(P30)として15.4%を与えたものであり、このP30の値は長期評価第2版に基づき、最新活動時期を561年前(15世紀)として計算されている。

図10(a)には、東北地方太平洋沖型の地震を考慮した場合の2011年から30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布を、図10(b)には、東北地方太平洋沖型の地震を考慮しない場合の2011年から30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布を示し、図10(c)には、両者の差の分布を示した。なお、確率論的地震動予測地図では震度6弱以上という震度階級を多く用いているが、それは「揺れの強さとして震度6弱以上という数値(震度階級)を取り上げたのは、震度6弱の地震が発生したとき、人的被害及び物的被害の発生する可能性が極めて高まることを考慮したことによる(地震調査研究推進本部政策委員会成果を社会に活かす部会報告—地震動予測地図を防災対策等に活用していくために—、平成17年3月23日)。

図 10(a)、図 10 (b)、図 10 (c)から、東北地方太平洋沖型の地震を考慮しない場合と比べ、東北地方太平洋沖型の地震を考慮した場合に 2011 年から 30 年間に震度 6 弱以上の揺れに見舞われる確率は、東北地方の主に太平洋側と関東地方の太平洋側などにおいて上昇していることが分かる。内陸の岩手県中央部、福島県東部、栃木県中央部、茨城県北部などにおいても、東北地方太平洋沖型の地震を考慮しない場合の確率は 0~0.1%であったが、東北地方太平洋沖型の地震を考慮した場合の確率は 1~6%となり、上昇していることが分かる。

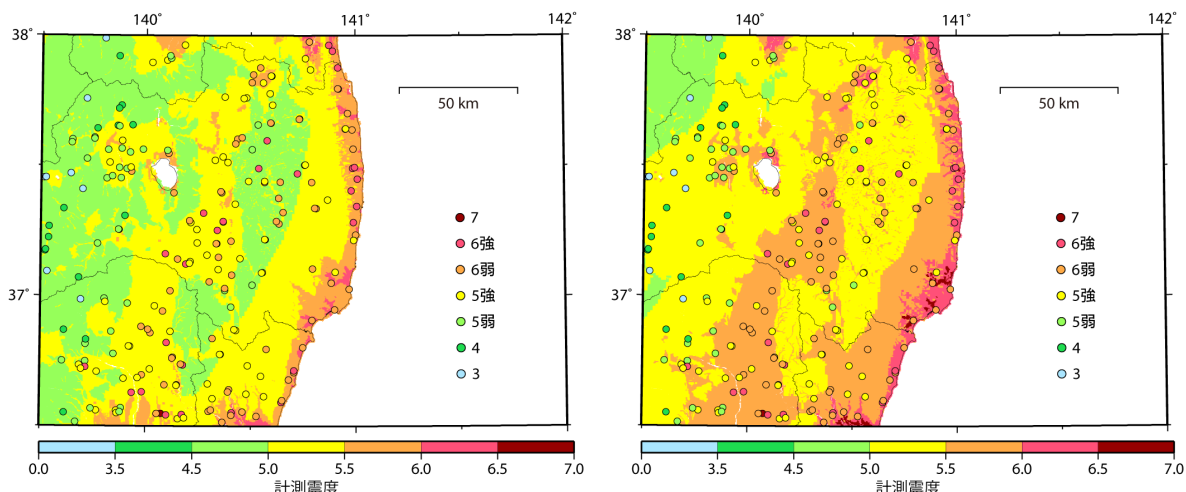
図 11(a)と図 11 (b)には、東北地方太平洋沖型の地震を考慮した場合と、考慮しなかった場合の、2011 年から 50 年間に 2%以上の確率で見舞われる可能性のある地震動の震度の分布を、東北地方太平洋沖地震の際の実際の震度分布と比較した結果を示す。図 11 (a)と図 11 (b)から、東北地方太平洋沖型の地震を考慮しない場合と比べ、東北地方の主に太平洋側や関東地方などにおいて予測震度が上昇し、東北地方太平洋沖地震の際に実際に観測された震度と調和的になっていることが分かる。なお、50 年間に 2%以上の確率で見舞われる可能性のある地震動の震度は、再現期間 2,500 年に相当する震度である（長期評価第 2 版では、東北地方太平洋沖型地震の平均発生間隔は 600 年程度）。なお、ここに示す確率論的地震動予測地図の震度分布は期待値であるのに対し、実際に東北地方太平洋沖地震の際に観測された震度は一つの実現値であるため、あくまで参考として比較を示したものである。

以上のことから、東北地方太平洋沖型の地震は長期評価されておらず、確率論的地震動予測地図において考慮されていなかったために、福島県や茨城県北部において地震動ハザードが過小評価されていたものの、東北地方太平洋沖型の地震を考慮することにより、福島県や茨城県北部の過小評価が改善されることが分かった。つまり、福島県や茨城県北部における地震動ハザードの過小評価の原因は、東北地方太平洋沖型の地震が長期評価に盛り込まれていなかった点にあり、適切な地震活動モデルが与えられれば、現在の確率論的地震動ハザード評価の基本的枠組みで適切な地震動ハザード評価が可能であることを示している。この点に関しては、被害地震を発生させた活断層についても同様であると考えられる。ここに示した東北地方太平洋沖地震の例のような地震動ハザードの過小評価の問題を避けるためには、今後も活断層等の調査・観測を継続的に行い、できるだけ多くの地震についての情報を収集していくことが重要である。しかしながら、全ての地震について常に適切にモデル化することができるとは限らない。そのような地震を地震動ハザード評価において考慮する問題については、次小節に示す。



(a) 東北地方太平洋沖型の地震を考慮しない場合 (b) 東北地方太平洋沖型の地震を考慮した場合 (c) 東北地方太平洋沖型の地震を考慮した場合としない場合の確率の差の分布

図 10 2011 年から 30 年間に震度 6 弱以上の揺れに見舞われる確率の分布



(a) 東北地方太平洋沖型の地震を考慮しない場合 (b) 東北地方太平洋沖型の地震を考慮した場合

図 11 2011 年から 50 年間に 2%以上の確率で見舞われる可能性のある震度の分布と  
東北地方太平洋沖地震の際の実際の震度分布

### 2.3 「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」のモデル化の検討

ここでは、検討すべき原因の第三の候補である、震源を特定しにくい地震のモデル化の影響について検討する。東北地方太平洋沖地震の教訓を踏まえ、長期評価手法の見直しが進められている。これまでの長期評価では、観測記録、歴史記録や地形・地質学的調査の成果に基づき、同じ領域で同等の規模の地震が繰り返し発生するという考え方で評価が行われてきたが、今後の長期評価においては、各領域について過去に発生した地震のデータから想定した最も起こり得る地震のみならず、史料や観測記録で発生が確認されていない地震についても、科学的根拠に基づいて想定できるように、評価手法の改善を図るとしている。

一方で、過去の観測記録、歴史記録や地形・地質学的調査の成果に基づいた科学的知見と科学的方法論に立脚して進められている長期評価だけでは、将来発生し得るすべての地震を評価することが、短期的には困難である可能性が残る。地震動ハザード評価では、こうした科学的知見の限界や現象そのものの不確実性などを考慮するための枠組みが確率・統計的手法を用いて準備されている。こうした枠組みを効果的に機能させることができるかどうか問題となる。

地震動ハザード評価においては、将来起こる可能性のあるすべての地震をモデル化する必要があり、モデル化の基本は長期評価である。しかし、東北地方太平洋沖地震以前の長期評価では、一般的な防災活動に用いられることを目的として、最も起こり得る地震を評価することに重点が置かれていた。このため、長期評価がなされた地震は、将来発生する可能性のある地震の一部に過ぎない。地震動ハザード評価に必要な地震活動モデルを構築するためには、長期評価から漏れた地震を考慮する必要がある。そのために、地震動ハザード評価においては、「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」のモデル化が長期評価とは別になされてきた。東北地方太平洋沖地震以前の地震動ハザード評価における「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」のモデル化では、地震が発生する領域を区分し、それぞれの区分された領域ごとに、過去に発生した地震の規模の最大値を将来その領域で発生する地震の規模の最大値とし、それ以下の規模の地震を G-R 則(ゲーテンベルク-リヒター則：地震のマグニチュードと発生個数との間の統計的な関係)に基づいてモデル化する手法が採用されてきた。

以下では、東北地方太平洋沖地震の発生を受け、平成 23 年 11 月 25 日に公表された長期評価第

2 版を踏まえ、当該地域における「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」のモデル化について検討を行った。なお、その他の地域での地震活動のモデル化に関しては、従来のものを用いている。

具体的には、以下に示すモデル 1、モデル 2 を作成し、それぞれのモデルに基づいて計算した地震動ハザードを比較した。モデルで用いたパラメータを表 1 に示す。なお、モデル化の詳細に関しては、「付録 従来の方法による全国地震動予測地図 2012 年版」の確率論的地震動予測地図の部分参照されたい。

モデル 1 及びモデル 2 では、「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」のモデル化において、従来の手法、つまり各領域の既往最大の地震の規模を根拠として最大規模を設定することを改め、より規模の大きな地震までが考慮できるモデル化を試みている。これは、東北地方太平洋沖の地震の発生を踏まえると、これまでの考え方に基づいた地震活動モデルには大きな不確実性が残存している可能性があるためである。ただし、規模の上限値の設定においては、その定量化が困難であるためモデル 1 とモデル 2 でその上限値を変え、その影響を検討した。

モデル 1 では、改訂された長期評価にできるだけ準拠してモデル化した地震に加え、「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」に関しては、三陸沖北部を除く領域について、東北地方太平洋沖地震の最大余震規模を包含する値としてプレート間地震の最大マグニチュードを 8.0 に、プレート内地震の最大マグニチュードを 7.5 に、それぞれ設定している。一方、モデル 2 では、地域区分を単純化するとともに、プレート間地震の最大マグニチュードを区分された各領域の面積から算定される最大のマグニチュードに設定し、プレート内地震の最大マグニチュードは、長期評価で新たに可能性が示された値を用いて 8.2 と設定している。モデル 2 はモデル 1 と比較してより大きな不確実性を地震活動モデルの中で考慮している。

これらモデルに基づいて計算した東北地方から関東地方にかけての主要都市におけるハザードカーブの比較を図 12 に示す。図 12 では、モデル 1 によるハザードカーブを青線、モデル 2 によるハザードカーブを赤線、また、参考値として、東北地方太平洋沖型地震を考慮した 2011 年版を黒線、東北地方太平洋沖型地震を考慮していない 2011 年版を破線で示している。青線と赤線を比較することにより、モデル 1 よりもモデル 2 の方が低確率の部分でハザードが大きくなっていることがわかる。このように地震活動モデルに含まれる不確実性を大きくとることは、低確率のハザードレベルを増加させることになることがわかる。ただし、実際に地震動ハザード評価を行う際にどの程度まで不確実性を考慮するかについては、今後の課題であり検討を行う必要がある。なお、仙台市や秋田市において低確率部分でモデル間の差がほとんどなくなっているのは、今回のモデル改良に向けての検討対象から外した内陸の活断層に関する地震の影響が強く表れているためである。

図 13(a)、(b)には、それぞれ地震活動モデルとしてモデル 1 を用いた場合、モデル 2 を用いた場合の、2011 年から 30 年間に震度 6 弱以上の揺れに見舞われる確率の分布（すべての地震を考慮した場合）を示す。図 13(c)には、地震活動モデルとしてモデル 1 を用いた場合、モデル 2 を用いた場合の 30 年間に震度 6 弱以上の揺れに見舞われる確率の差の分布（すべての地震を考慮した場合）を示す。なお、すべての地震を考慮した場合の確率の計算は、「平均ケース」を仮定している。

本検討では、長期評価第 2 版で対象とされた地域における海溝型地震に限定して、地震活動モデルに含まれる不確実性を大きめに取り込む形で「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」をモデル化することを試みた。現状では、すべての地震が長期評価ではカバーしきれていないため、ハザード評価のための対処療法として「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」のモデル化を行う必要があり、その妥当性について、本検討で実施した地域や海溝型地震以外についても順次

検討を進めていく必要がある。

「全国を概観した地震動予測地図」が2005年に公開された後、日本海側の各地で内陸地殻内の地震が相次いで発生し、各地に地震被害をもたらした。こうした地震は、あらかじめ長期評価では捉えきれてはいなかったが、地震動ハザード評価では、「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」としてかろうじて地震活動モデルの中でモデル化されていた。地震学的な知見を補完する地震動ハザード評価の枠組みが最低限機能していたといえる。ただし、これらのモデル化は「地域ごとの既往最大」の考え方に基づいており、その妥当性については今後の検討課題と考えられる。また、こうした地震の多くは、年頻度  $10^{-4}$ ~ $10^{-5}$  の低頻度な事象としてモデル化されているため、それらの情報を可視化することが難しく、地震動ハザード情報の表現法の課題となっている。



表1 長期評価の改訂に対応した地震動ハザード評価のためのモデル

| 領域番号                 | 領域・地震         | 従来モデル                   | 評価第二版                        | モデル1               | モデル2        |
|----------------------|---------------|-------------------------|------------------------------|--------------------|-------------|
| ① 東北地方太平洋沖型          | (1) 繰返し       | (なし)                    | M=8.4~9.0<br>P30=0           | 同左                 | 同左          |
| ①三陸沖北部               | (1) 繰返し       | M=8.0<br>P30=6.3        | M=8.0<br>P30=7.3             | 同左                 | 同左          |
|                      | (2) 繰返し以外     | M=7.1~7.6<br>P30=93(P)  | M=7.1~7.6<br>P30=88(P)       | 同左                 | 同左          |
|                      | (3) 震源不特定     | Mu=7.0                  |                              | 変更なし               | 変更なし        |
| ②三陸沖中部               | (1) 繰返し       | (なし)                    | (なし)                         | (なし)               | (なし)        |
|                      | (2) 繰返し以外     | (なし)                    | (なし)                         | (なし)               | (なし)        |
|                      | (3) 震源不特定     | Mu=7.0                  |                              | Mu=8.0/7.5         | Mu=8.2/8.2  |
| ③宮城県沖                | (1) 繰返し       | M=7.5<br>P30=100        | M=7.4<br>P30=不明              | M=7.4<br>P30=55(P) | (なし)        |
|                      | (2) 繰返し以外     | (なし)                    | M=7.0~7.3<br>P30=61(P)       | 同左                 | (なし)        |
|                      | (3) 震源不特定     | Mu=7.2                  |                              | Mu=8.0/7.5         | Mu=8.4/8.2  |
| ④三陸沖南部海溝寄り           | (1) 繰返し       | M=7.7<br>P30=81         | M=7.9<br>P30=0               | 同左                 | 宮城県沖と<br>統合 |
|                      | (2) 繰返し以外     | (なし)                    | M=7.2~7.6<br>P30=51(P)       | 同左                 |             |
|                      | (3) 震源不特定     | Mu=7.5                  |                              | Mu=8.0/7.5         |             |
| ⑤三陸沖北部から房総沖の<br>海溝寄り | (1) 繰返し (津波)  | M=8.2(6.8)<br>P30=20(P) | Mt=8.6~9.0<br>P30=25(P)      | 同左                 | 同左          |
|                      | (1) 繰返し (正断層) | M=8.2<br>P30=5.1(P)     | M=8.2<br>P30=5.1(P)          | 同左                 | 同左          |
|                      | (2) 繰返し以外     | (なし)                    | (なし)                         | (なし)               | (なし)        |
|                      | (3) 震源不特定     | Mu=7.5                  |                              | Mu=8.0/-           | Mu=8.0/-    |
| ⑥福島県沖                | (1) 繰返し       | M=7.4<br>P30=7.2(P)     | M=7.4<br>P30=14(P)           | 同左                 | (なし)        |
|                      | (2) 繰返し以外     | (なし)                    | (なし)                         | (なし)               | (なし)        |
|                      | (3) 震源不特定     | Mu=7.1                  |                              | Mu=8.0/7.5         | Mu=8.2/8.2  |
| ⑦茨城県沖                | (1) 繰返し       | M=7.0<br>P30=99         | M=7.0<br>(6.7~7.2)<br>P30=95 | 同左                 | (なし)        |
|                      | (2) 繰返し以外     | (なし)                    | M=6.9~7.6<br>P30=69(P)       | 同左                 | (なし)        |
|                      | (3) 震源不特定     | Mu=7.3                  |                              | Mu=8.0/7.5         | Mu=8.3/8.2  |
| ⑧房総沖                 | (1) 繰返し       | (なし)                    | (なし)                         | (なし)               | (なし)        |
|                      | (2) 繰返し以外     | (なし)                    | (なし)                         | (なし)               | (なし)        |
|                      | (3) 震源不特定     | Mu=7.0                  |                              | Mu=8.0/7.5         | Mu=8.3/8.2  |
| ⑨陸側                  | (3) 震源不特定     | Mu=7.1                  |                              | Mu= /7.5           | Mu= /8.2    |

- ・ P30 は 30 年間の発生確率 (%) で、(P) はポアソン過程で計算されたことを示す。なお、従来モデルは 2011 年 1 月、その他は 2012 年 1 月時点での値である。
- ・ Mu は震源不特定の地震 (震源断層をあらかじめ特定しにくい地震) に G-R 式を適用する際の最大マグニチュードで、値の左側はプレート間地震、右側はプレート内地震に対するものである。
- ・ モデル 2 の震源不特定のプレート間地震の Mu は、その領域全体の大きさに基づき設定された値。
- ・ ①と⑤を除く領域のプレート内地震の Mu は、モデル 1 では 7.5、モデル 2 では 8.2 とする。
- ・ 三陸沖北部から房総沖の海溝沖で評価されているプレート間地震 (津波地震) のマグニチュード Mt は、強震動を生じる場合 (M=8.0) と生じない場合 (M=6.8) にそれぞれ 0.5 の確率を付与する。

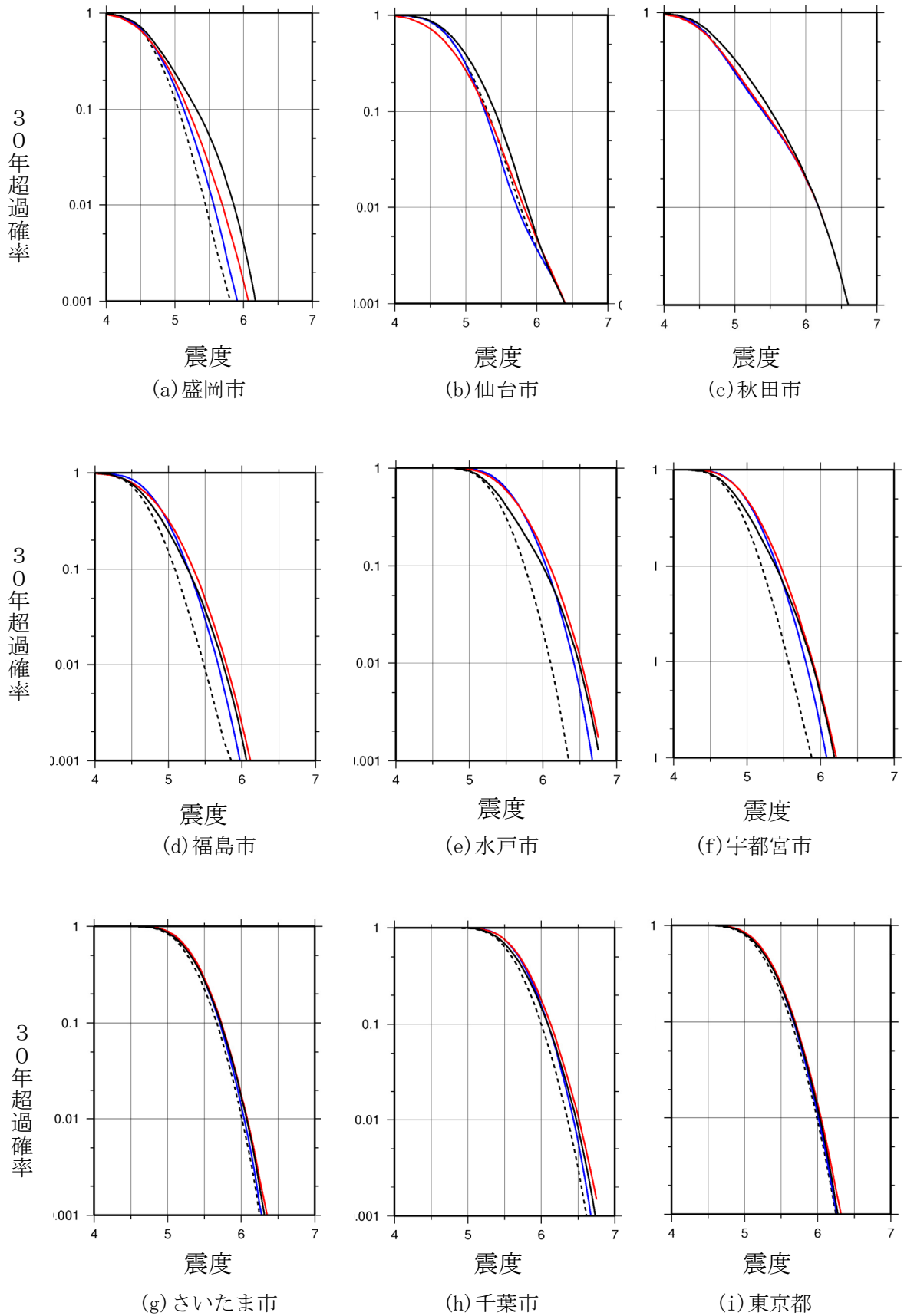
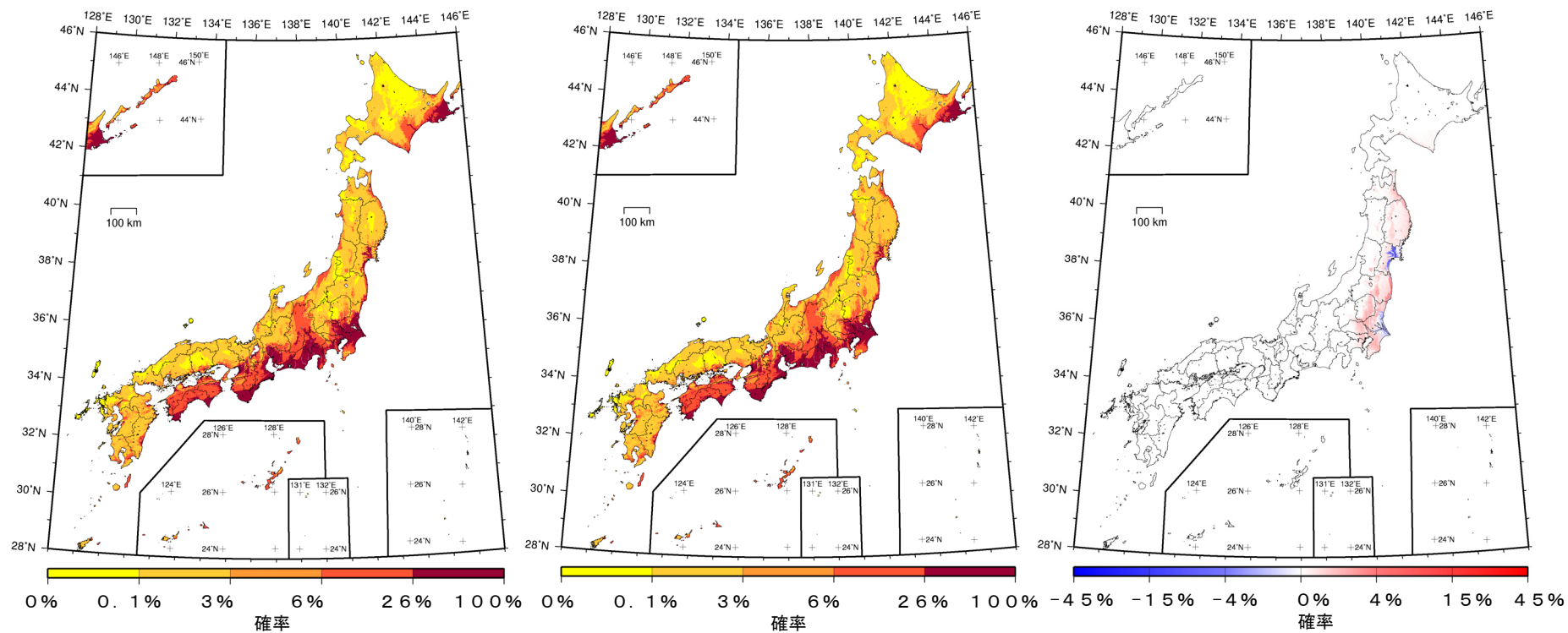


図 12 ハザードカーブの比較 黒破線：2011年版（東北地方太平洋沖型の地震を含まない）、黒実線：2011年版（東北地方太平洋沖型の地震を含む）、（青線：2012年版モデル1、赤線：2012年版モデル2）



(a)モデル1

(b)モデル2

(c)モデル2とモデル1との差

図13 モデル1とモデル2の比較  
 2012年から30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布  
 (すべての地震を考慮した場合の確率分布 (平均ケース))

## 2.4 表現方法の問題の検討

以上の検討から、確率論的地震動ハザード評価手法の基本的枠組みについては有効性が支持され、適切な地震発生モデルが与えられれば、東北地方太平洋沖地震を契機に地震動予測地図に対して指摘された課題の多くは改善できる可能性が示された。しかしながら、2.1で示したように、発生頻度の低い地震（例えば、活断層など陸域と海域の浅い地震）による地震動ハザードの超過確率は高くないために、その影響が捉えにくいという問題が残されている。ここでは、1章で挙げた課題の4つの原因のうち、低頻度の地震による地震動ハザードの表現方法の問題について検討する。

これまで公表されてきた確率論的地震動予測地図は、主に30年間という期間を対象としたものである。30年という期間は、「政策委員会成果を社会に活かす部会報告―地震調査研究における長期評価を社会に活かしていくために―中間報告―」（平成12年8月23日）において、「確率評価の対象期間は、身近な情報として受け取られるようにするため、一般国民が人生設計を検討するに对象とするであろう期間を考慮して、30年間における確率評価を基本とすることが適当である。また、建築物の耐用年数は50年間あるいはそれ以上の長期のものが出てきていることや、地方自治体や国などでは防災対策、都市計画等の相当な長期間にわたる取り組みを必要とするものがあるため、50年間及び100年間にわたる確率評価も併せて行うことが適当である。」としていることを受けて設定されたものである。

しかしながら、個々の地震について、海溝型地震は主に数十年～数百年程度、沿岸海域や内陸の活断層による地震は主に数千年～数万年程度の間隔で発生している。海溝型地震のうち、平均活動間隔が長い地震や活断層で発生する地震の発生間隔と比較すると、30年間という期間は相対的に短い。このため、30年間を対象とした確率分布には、内陸や沿岸海域の活断層や発生間隔が長い海溝型地震による確率はかなり小さくなってしまう。従来切迫性の高い地震を強調し、30年間の高確率の地震動ハザードを示した確率論的地震動予測地図では見えにくくなっていた、低確率の海溝型地震や内陸および沿岸海域の活断層を震源とする地震による地震動ハザードも、非常に長期間の確率論的地震動予測地図を作成し、長期間の平均像としての確率論的地震動予測地図を見ることにより、よりよく表現することができると考えられる。

また、数十年単位での地震動ハザードを考える通常の場合と異なり、構造物によっては数百年～数千年の単位での地震動ハザードを考慮しなければならないものもある。確率論的地震動予測地図の使い手の多様な需要に応えるという意味でも、そのような長期間についての地震動ハザードを示すことは有意義であると考えられる。

以下には、長期間に対応する揺れの大きさを示す。図14の左図、図14の右図、図15の左図、図15の右図、図16の左図、図16の右図に、それぞれ再現期間500年、1,000年、5,000年、10,000年、50,000年、100,000年に対応した震度を計算した結果を示す。複数の異なる再現期間に対応した確率論的地震動予測地図を比較することにより、どの程度の再現期間で、海溝型地震や活断層による地震の影響がどの程度現れてくるのかを理解することができる。なお、低頻度の地震動ハザードの計算結果には大きな不確実性が含まれており、ここで示した超過確率の低い震度の定量的な値については検討の余地が大きい。

再現期間500年に対応した図14の左図を見ると、発生間隔の短い海溝型地震の影響が見える。例えば、北海道根室地方、福島県や宮城県の太平洋岸、関東地方、東海～東南海～南海に至る領域の震度が大きくなっている。これは、海溝型地震である十勝沖の地震（平均発生間隔約72年）、根室沖の地震（平均発生間隔約72年）、色丹島沖の地震（平均発生間隔約72年）、択捉島沖の地震（平均発生間隔約72年）、福島県沖地震（平均発生間隔約206年）、茨城県沖の地震（平均発生間隔約22年～26年）、大正型関東地震（平均発生間隔200～400年）、南海地震（平均発生間隔114

年)、東南海地震(平均発生間隔約112年)などの影響が現れていることによる。なお、仙台平野や越後平野で震度が大きくなっているが、これは、これらの平野における地盤による地震波の増幅特性が大きくなっているためである。

続いて、再現期間1,000年に対応した図14の右図や再現期間5,000年に対応した図15の左図を見ると、海溝型地震の影響だけでなく、内陸活断層による影響が見え始める。例えば、長野県中部地方の糸魚川-静岡構造線活断層系(平均活動間隔約700~1,700年)や、能登半島南部の森本・富樫断層帯(平均活動間隔約2,000年)、四国の讃岐山脈南縁-石鎚山脈北縁東部(平均活動間隔約1,000~1,600年)、中央構造線断層帯石鎚山脈北縁(平均活動間隔約1,000~2,500年)などの影響が現れ、各断層帯が浮かび上がっている。これに加え、再現期間500年の地図においても震度が大きくなっていた、関東地方や東海~東南海~南海に至る領域の震度が大きくなるのが分かる。

さらに再現期間が長くなり、再現期間が10,000年に対応した図15の右図、50,000年に対応した図16の左図では、さらに沿岸海域や内陸の活断層による影響が反映され、沿岸海域や内陸の活断層の近傍で震度が大きくなっている。例えば、兵庫県付近の山崎断層帯(平均活動間隔約1,800~5,000年)や北海道北西部のサロベツ断層帯(平均活動間隔約4,000~8,000年)、青森湾西岸断層帯(平均活動間隔約3,000~6,000年)、函館平野西縁断層帯(平均活動間隔約13,000~17,000年)、布田川・日奈久断層帯(平均活動間隔約11,000~27,000年)などによる影響が見える。

再現期間100,000年に対応した図16の右図では、海溝型の地震による影響による北海道根室~十勝地方、関東地方、東海~東南海~南海に至る領域に加え、内陸活断層による影響が明瞭に現れ、内陸の各活断層における震度が大きくなるのが分かる。

以上に示したとおり、対象とする期間を長くとした場合の震度分布により、500~1,000年間という再現期間では見えにくくなっている沿岸海域や内陸の活断層による地震のハザードが見やすくなり、低頻度の地震によるハザードが把握しやすくなるという利点がある。しかしながら、これにも限界はあり、期間を単に長くすればよいというわけではない。期間の長い確率論的地震動予測地図を作成することにより、より確率値の小さい低頻度の地震まで拾い上げることができ、“想定外”の地震を少なくすることはできる。しかし、低頻度の地震について考察する際には、地震活動モデルの誤差や、地震動の強さのばらつきなどによる影響に注意を払う必要がある。

ここでは、低頻度の地震による地震動ハザードの影響を捉えるために、低確率の地震動予測地図やその特徴を示した。低頻度の地震による地震動ハザードを表現するためには、この他にも、地域に影響のあるすべての地震の地震動予測結果を重ね合わせた最大地震動重ね合わせマップ(内閣府、2005)や確率論的地震動予測地図と震源断層を特定した地震動予測地図との融合(地震動予測地図技術報告書、2006)なども考えられ、今後の大きな検討課題の一つである。

ここでの検討は、長期間にわたる確率論的地震動予測地図を作成することにより、通常30年間の確率論的地震動予測地図では見ることのできない特徴を見ることを目的としている。このため、ここに示した長期間を対象とした確率論的地震動予測地図の作成条件は、通常30年間の確率論的地震動予測地図の作成条件とは、計算の便宜上一部異なっている。まず、すべての地震活動をポアソン過程としてモデル化した。具体的には、海溝型地震と活断層のうち更新過程が適用されているものについて、時系列モデルをポアソン過程に変更する。これら以外の地震はもともとすべてポアソン過程が適用されている。また、すべての地震の発生確率の計算では、「平均ケース」を仮定している。長期評価の結果では、「平均活動間隔」や「最新活動時期」の評価結果に幅がある場合が多い。このため、それらの中央の値を代表値として地震発生確率を計算するケースを「平均ケース」と呼んでいる(全国地震動予測地図 技術報告書(地震調査研究推進本部、2009))。ただし、ここでの検討では、地震発生確率の計算にはポアソン過程を用いているため、最新活動

時期は用いていない。

なお、従来のモデルでは、長期評価に基づいた時間予測モデルにより、南海地震と東南海地震の平均発生間隔をそれぞれ 90.1 年、86.4 年としていたが、明応以降の地震の平均発生間隔を採用した。このとき、長期評価では、南海地震 114.0 年、東南海地震 111.6 年となっているが、昭和の地震が南海地震（1946 年 12 月）および東南海地震（1944 年 12 月）の中間（1945 年 12 月）に発生したとして、ともに 111.8 年とした。

さらに、想定東海地震、東南海地震、南海地震について、連動パターンを単純化し、想定東海地震・東南海地震・南海地震が同時に発生するパターンのみを考え、 $1/111.8$  (回/年) の頻度で地震が発生することとし、ポアソン過程（頻度）を適用した。連動のモデルは、十勝沖～根室沖にも適用されているが、そこでの連動の確率の根拠が「発生間隔が 400～500 年に 1 回」と整合させるものであるため、連動地震の頻度 =  $1/450$  (回/年)、個々の地震の頻度 =  $1/72.2 - 1/450 = 1/86.0$  (回/年) とした。この他、主要活断層帯のうち、津軽山地西縁断層帯北部、同南部、福井平野東縁断層帯西部、花折断層帯北部、警固断層帯北西部と、その他の活断層のうち能登半島地震断層は、いずれも平均活動間隔が設定されていないため、平均変位速度を仮定し、平均活動間隔を設定した。その他の震源モデルは、表 1 のモデル 1 をベースとした。

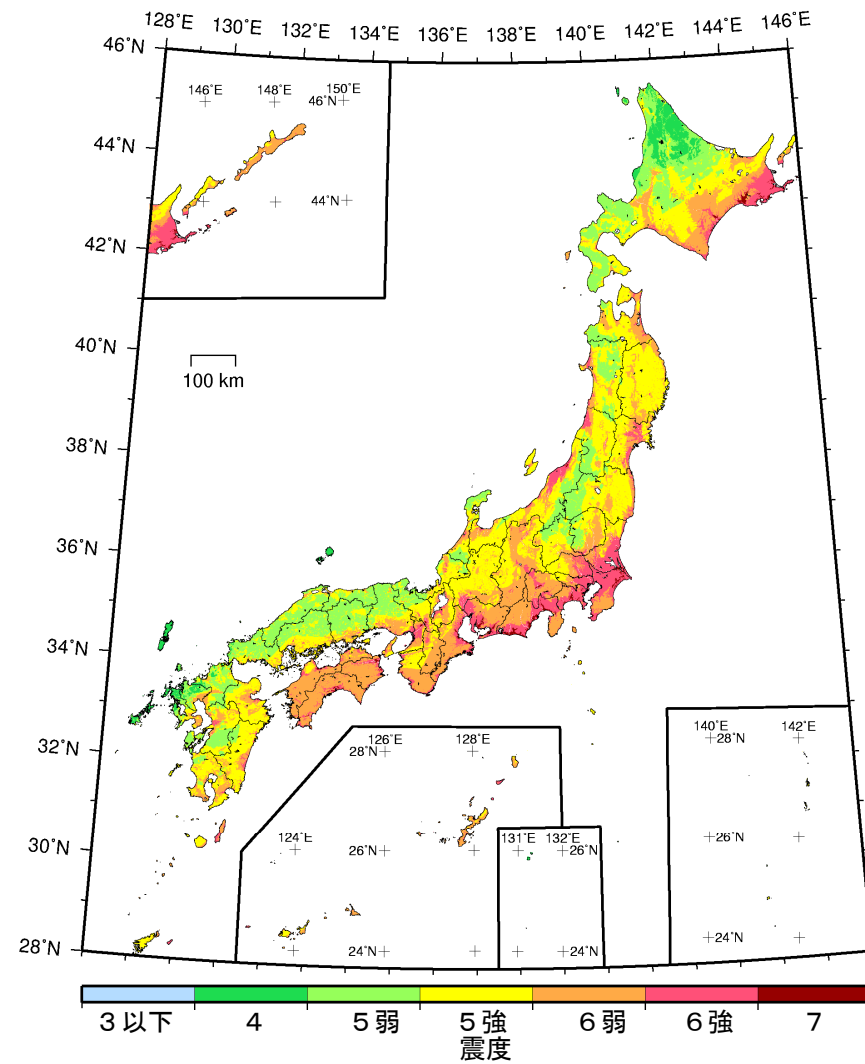
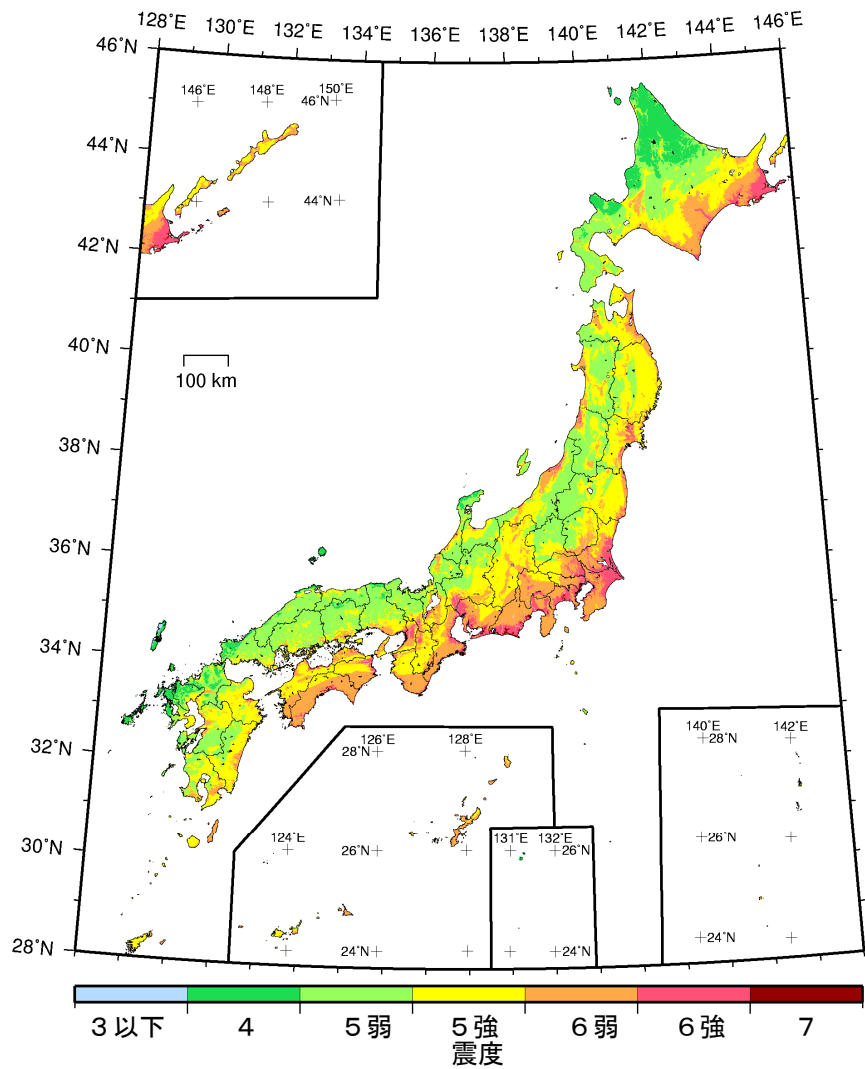


図14 2012年を起点とした再現期間500年の震度分布 (左)、再現期間1,000年の震度分布 (右)  
 (すべての地震を考慮した場合・平均活動間隔を評価結果の中央の値としたポアソン過程で計算)

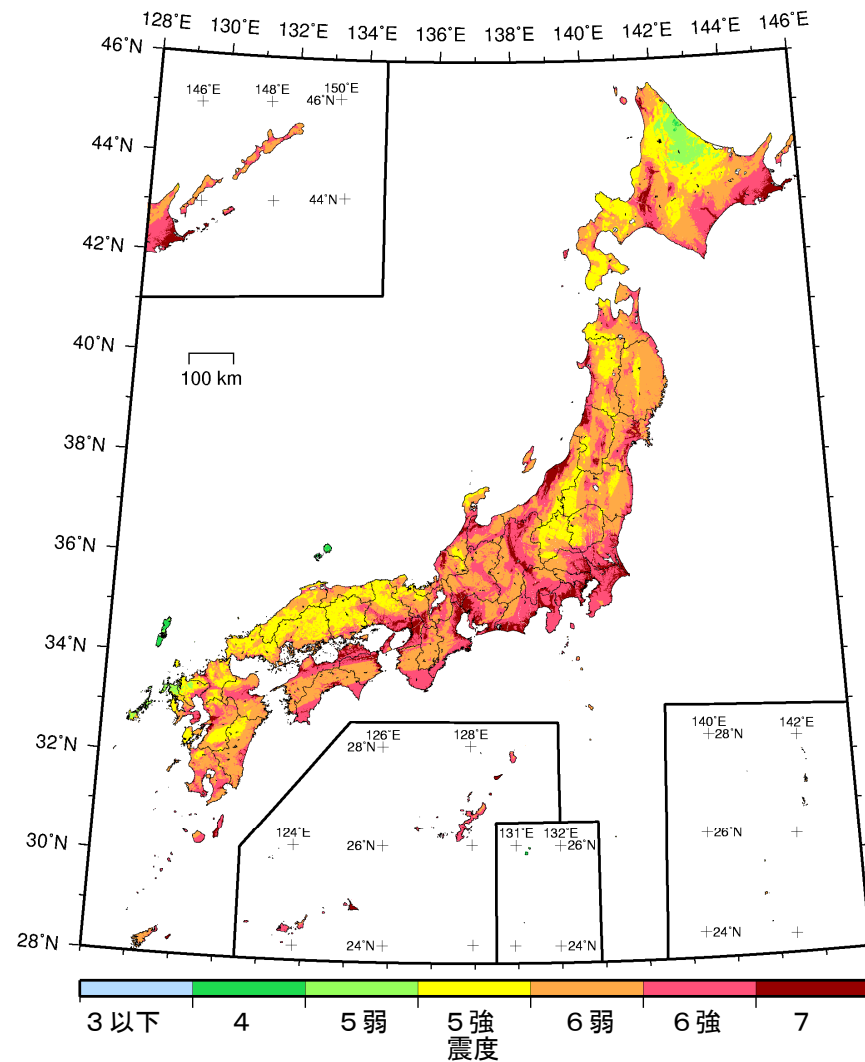
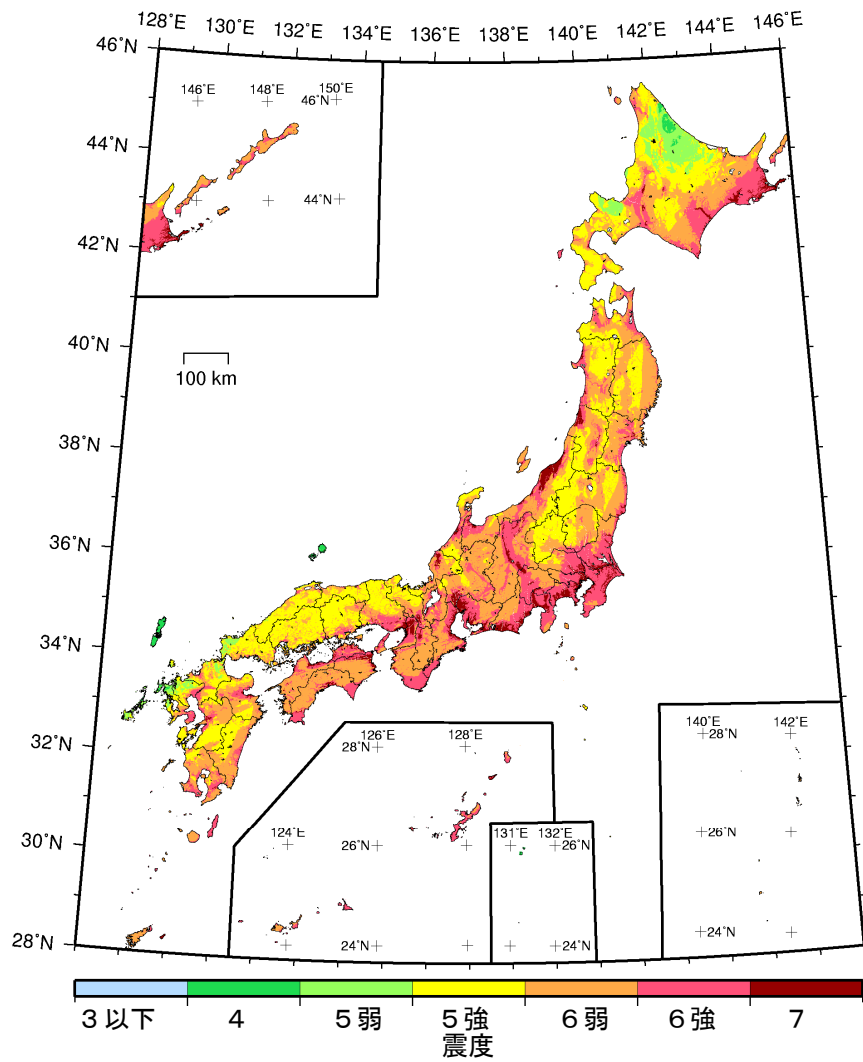


図 15 2012 年を起点とした再現期間 5,000 年の震度分布 (左)、再現期間 10,000 年の震度分布 (右)  
 (すべての地震を考慮した場合・平均活動間隔を評価結果の中央の値としたポアソン過程で計算)



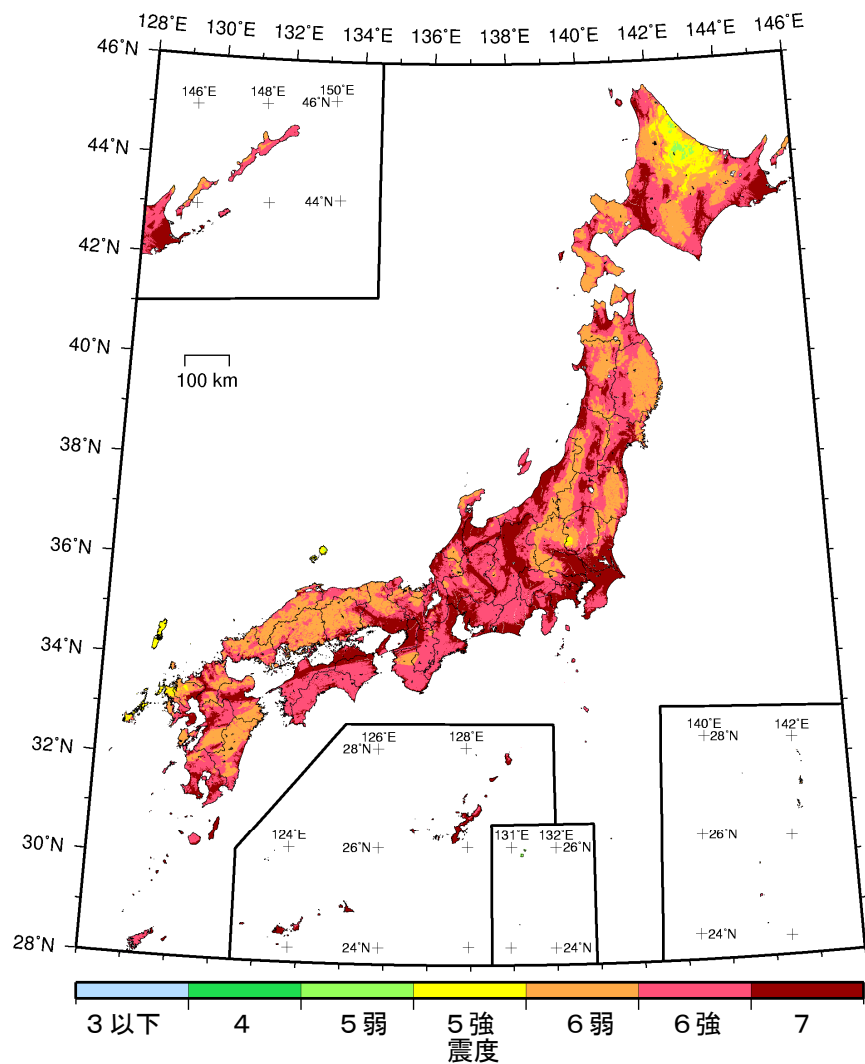
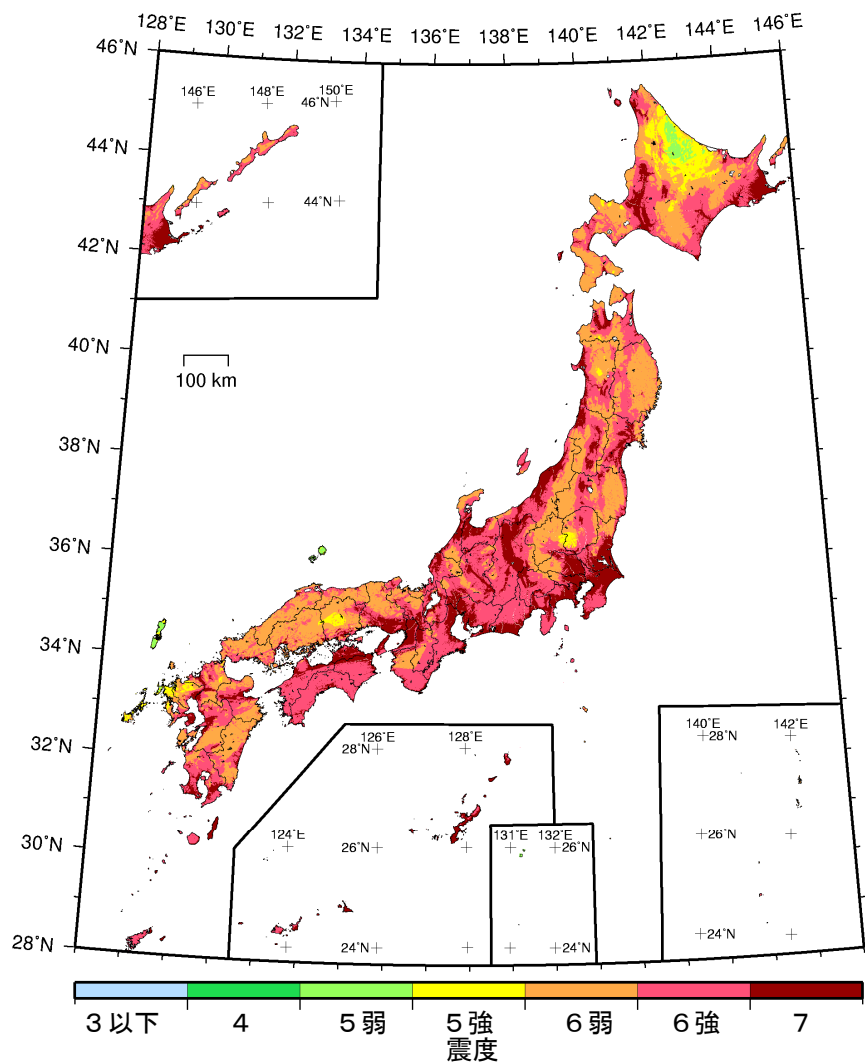


図 16 2012 年を起点とした再現期間 50,000 年の震度分布 (左)、再現期間 100,000 年の震度分布 (右)  
 (すべての地震を考慮した場合・平均活動間隔を評価結果の中央の値としたポアソン過程で計算)