

4 . 地震動の予測

4.1 地震動の予測の流れ

次の2つのステップによって、地震動の予測計算を行った。ステップ1は、県全域に影響をもたらすと考えられる想定地震により、簡易法を用いて震度分布を予測し、その影響人口(曝露人口)を予測する。これらの結果から、秋田県にとって影響の大きい震源域を10パターン抽出し、ステップ2の詳細法による地震動計算を行う。

以下に地震動予測手法の流れを示す。

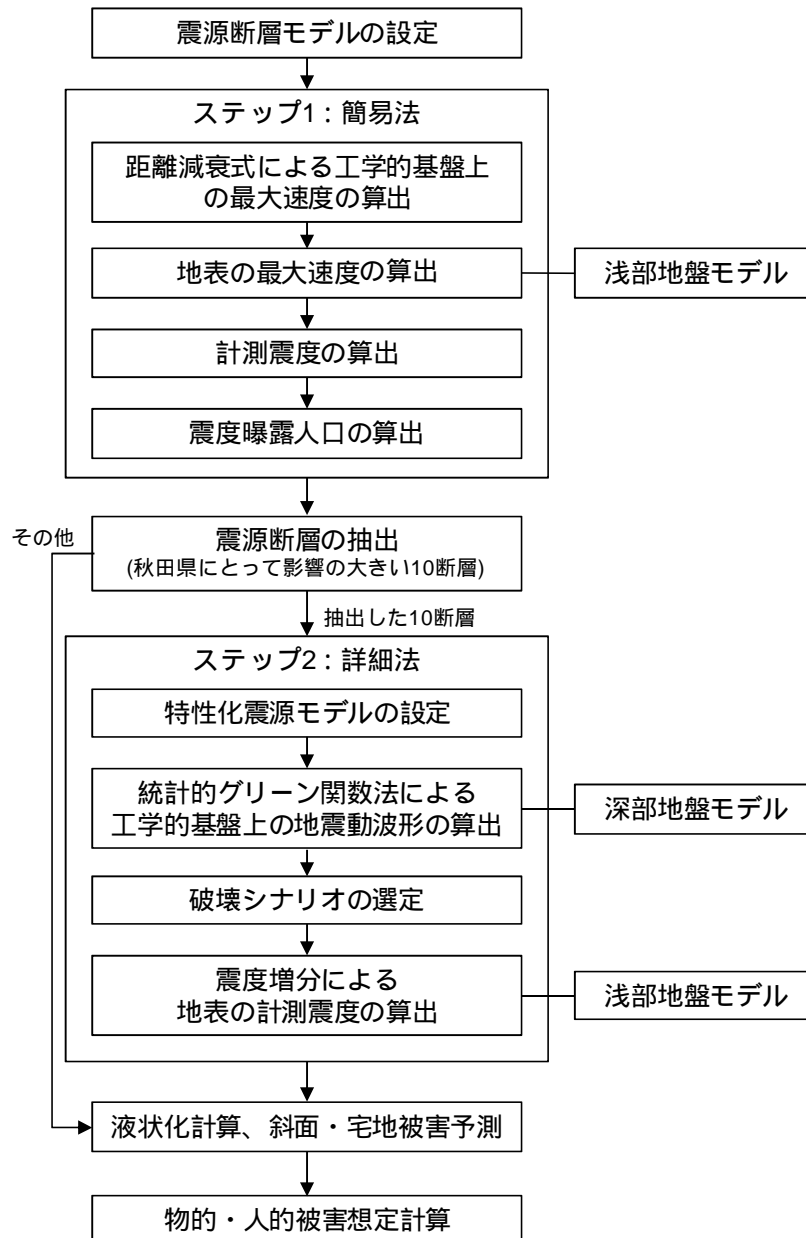


図-4.1.1 地震動予測手法の流れ

前回(H8 年度)と今回(H24 年度)の地震動予測手法の違いを以下の表に示す。

表-4.1.1 地震予測手法の前回と今回の違い

項目	前回(H8 年度)	今回(H24 年度)	
地震動の評価	・ 加速度応答スペクトル ・ 経験的手法により震度、 最大加速度に変換。	ステップ 1	・ 最大速度、震度
		ステップ 2	・ 地震動波形(3 成分) ・ 波形から震度を算出
断層モデル	・ 均質なモデル	・ 不均質なモデル(アスペリティ考慮)	
工学的基盤までの地震動予測手法	・ 翠川・小林の手法	ステップ 1	・ 距離減衰式
		ステップ 2	・ 統計的グリーン関数法
工学的基盤～地表での地震動予測手法	・ 既往観測波形による地震 応答解析より、浅部地盤 の増幅特性を算出し、工 学的基盤のスペクトルに 乗じること地表の応答 スペクトルを予測する。	ステップ 1	・ 速度増幅率を工学的基盤の 最大速度に乗じる。
		ステップ 2	・ 工学的基盤の地震波形から 気象庁(1996)の定義に従っ て詳細法工学的基盤上の計 測震度を算出し、速度増幅 率から求めた震度増分を加 える。

【留意事項】

- ・ 詳細法による地震動の計算において、浅部地盤の増幅は、震度増分法を採用して地表の計測震度を算出している。浅部地盤の地震応答解析も実施したが、ボーリング情報が限られており適切な応答値が得られなかった地点が多かったため、今回は採用を見送ることとした。したがって、地表の計測震度は、地震波形から求めたものではない。
- ・ 地震動の計算手法は統計的グリーン関数法を採用しているため、表面波による長い震動継続時間や長周期地震動(周期が概ね 2 秒以上)は表現できていない。長周期地震動は、高層ビルの揺れや大型石油タンクのスロッシング火災に影響すると言われているが、このような被害については考慮できていない。

4.2 ステップ1：簡易法による地震動予測計算

簡易法による地震動予測計算は、距離減衰式を用いて、マグニチュードなどの震源特性と震源断層までの距離から評価される。具体的には、工学的基盤までの最大速度を評価した後、表層地盤による最大速度の増幅率を乗じることによって、地表での最大速度を評価する。計測震度は、地表の最大速度から経験的關係式を用いて評価する。

(1) 震源～深部地盤の地震動予測計算

工学的基盤までの地震動予測計算は、司・翠川(1999)による距離減衰式を用いて、最大速度を予測した。司・翠川(1999)は断層面からの距離の取り方として、断層最短距離と等価震源距離を用いた2つの式を求めているが、ここでは断層最短距離を用いた式を採用する。

【司・翠川(1999)の距離減衰式】

本経験式の作成に使用した強震動データベースの特徴を以下に示す。

- 1) 震源近傍の強震記録が観測されている地震
- 2) 地震のモーメントマグニチュード 5.8~8.3
- 3) 地震の断層タイプが様々である
- 4) 震源の深さ 6~120km

$$\log PGV = 0.58 \cdot Mw + 0.0038 \cdot D + d - 1.29 - \log(X + 0.0028 \times 10^{0.50Mw}) - 0.002X \quad (4.1)$$

$$d = \begin{cases} 0.0 & \text{地殻内地震} \\ -0.02 & \text{プレート間地震} \\ 0.12 & \text{プレート内地震} \end{cases}$$

ここで、 PGV は基準地盤($V_s = 600\text{m/s}$ 相当)における最大速度、 M_w はモーメントマグニチュード、 D は震源深さ、 X は断層最短距離を示す。なお、震源深さは、断層面の平均的な深さと定義している。

司宏俊・翠川三郎：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集，第523号，pp.63-70，1999.

(2) 浅部地盤の地震動予測計算

浅部地盤モデルを基に、地表から地下 30m までの平均 S 波速度($AVS30$)を求め、 $AVS30$ と速度の増幅倍率(ARV)の関係から、 ARV を求める。次に、工学的基盤の最大速度に ARV を乗じて地表の最大速度を求め、震度に変換する。

【速度増幅率】

浅部地盤モデルから得られた深度 30m までの平均 S 波速度($AVS30$)より、工学的基盤から地表に増幅させる最大速度増幅率を求める。藤本・翠川(2006) による最大速度増幅率 ARV を以下の式より算出する。

$$\log ARV = 2.367 - 0.852 \log AVS30 \pm 0.166 \quad (4.2)$$

ここに、 ARV は $V_s = 600\text{m/s}$ 相当を基準地盤としたときの速度増幅率、 $AVS30$ は深度 30m までの平均 S 波速度(m/s)、右辺最後の数値は標準偏差を示す。

今回作成した秋田県全体の速度増幅率を図-4.2.1 に示す。

藤本一雄・翠川三郎：近接観測点ペアの地震記録に基づく JMA 観測点における地盤の平均 S 波速度の推定，第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 250-253, 2006.

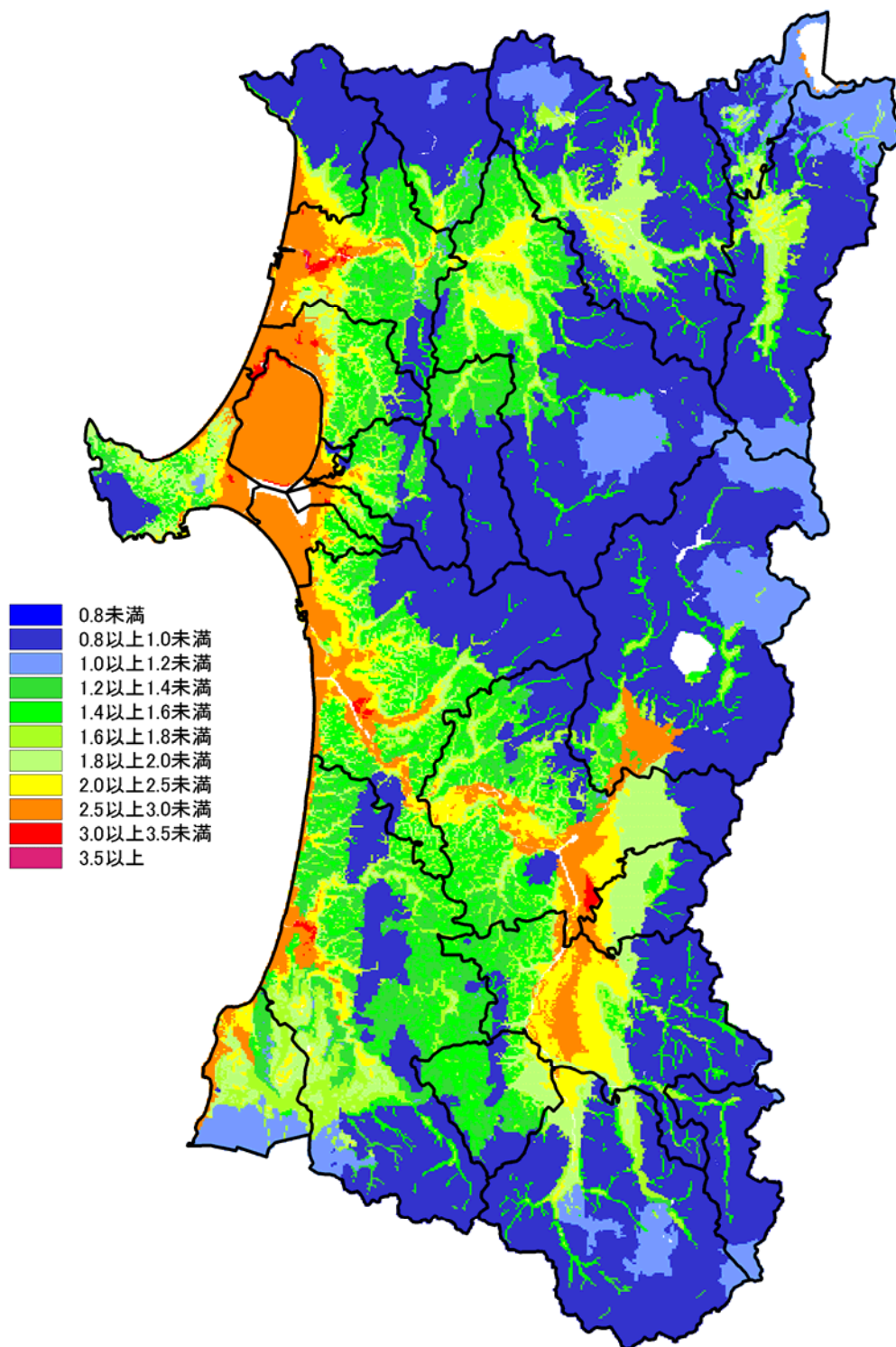


図-4.2.1 速度増幅率

(3) 地表における計測震度

最大速度から震度への変換は、次式の地表最大速度と計測震度との経験式を用いて算定した。既存の経験式としては、幾つかの式が提案されているが、中央防災会議「東南海・南海地震等に関する専門調査会」では童・山崎(1996)の式が用いられているため、本検討でも童・山崎(1996)の式を採用した。

$$I = a + b \cdot \log V \quad (4.3)$$

ここに、 I は計測震度、 V は地表最大速度、 a, b は係数であり $a = 2.30$ 、 $b = 2.01$ とする。

表-4.2.1 計測震度と震度階の関係

震度階級	計測震度	震度階級	計測震度
0	0.5 未満	5 弱	4.5 以上 5.0 未満
1	0.5 以上 1.5 未満	5 強	5.0 以上 5.5 未満
2	1.5 以上 2.5 未満	6 弱	5.5 以上 6.0 未満
3	2.5 以上 3.5 未満	6 強	6.0 以上 6.5 未満
4	3.5 以上 4.5 未満	7	6.5 以上

4.3 ステップ1に基づく震度曝露人口の算出と詳細法を行う震源の選定

震度分布と人口分布を重ね合わせて震度6弱以上の震度曝露人口を算出した。震度曝露人口とは、地震が発生した時に各震度にさらされる人口のことである。震度曝露人口は、震度分布と人口分布の重ね合わせ効果を考慮したマクロ的な震災ポテンシャル指標で、特定の被害指標と直結するものではないが、揺れの面的広がりを人口規模で表現したものである。

4.3.1 人口データの整理

平成22年度国勢調査の町丁字別の人口集計データについて、各町丁字内に含まれる建物位置情報(市販)に配分する。次に、個々の建物位置情報に割り当てられた人口集計データを250mメッシュごとに再集計する。図-4.3.1.1に作成した250mメッシュ人口分布データを示す。

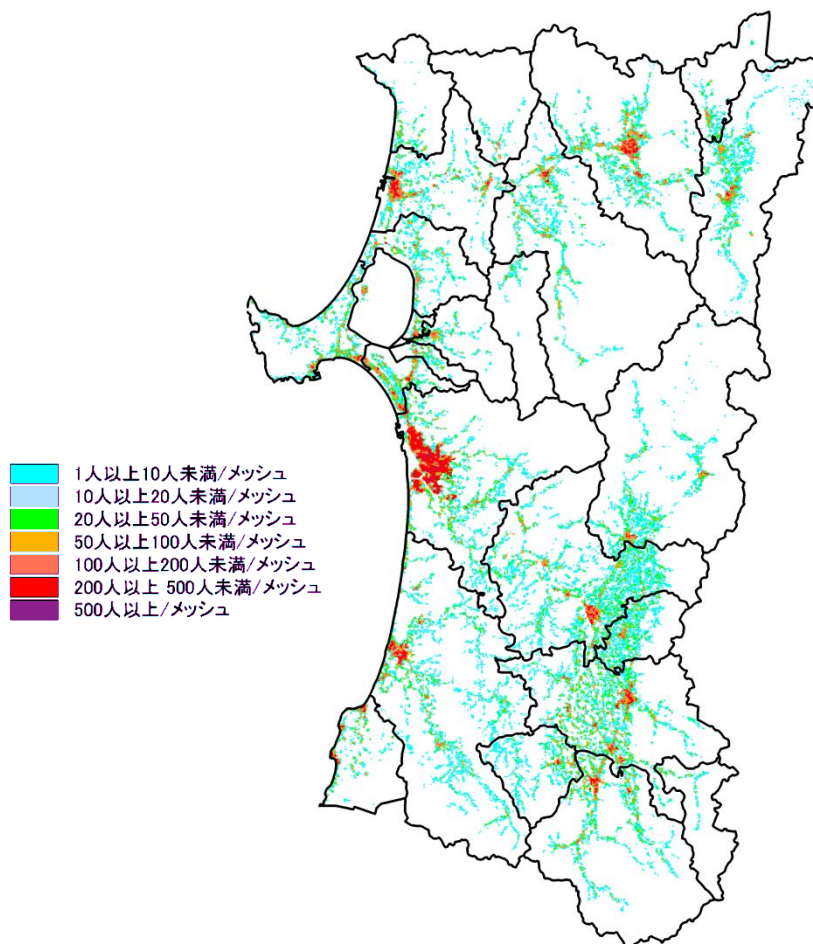


図-4.3.1.1 250mメッシュ人口分布データ(平成22年度国勢調査結果)
(秋田県全域：約1,086,000人)

4.3.2 震度曝露人口の算出結果と詳細法を行う震源の選定

図-4.3.2.1 に震度曝露人口の算出結果を示す。これは、各想定地震が発生した場合の震度 6 弱以上の揺れに曝される人口を県全体で示したものである。

この震度曝露人口より、秋田県全域に大きな被害を及ぼす震源断層を 10 抽出して、ステップ 2 に示す詳細法による地震動予測計算を実施する。

なお、秋田県全域に大きな被害を及ぼす震源断層の選定は、以下の方針で行った。

陸域地震について

- ・連動地震を選定した場合は、それを構成する単独地震は選定しないこととした。
- ・曝露人口だけでは県南部の断層に偏ってしまうため、秋田県全域を網羅できるように断層の分布状況を考慮した。

海域地震について

- ・単独地震と連動地震でそれぞれ 1 つずつを選定することとした。

以上の方針から表-4.3.2.1 に示す 10 の震源断層を選定した。また、選定した震源断層を図-4.3.2.2 及び図-4.3.2.3 に示す。

秋田県全体

震度6弱以上の震度曝露人口

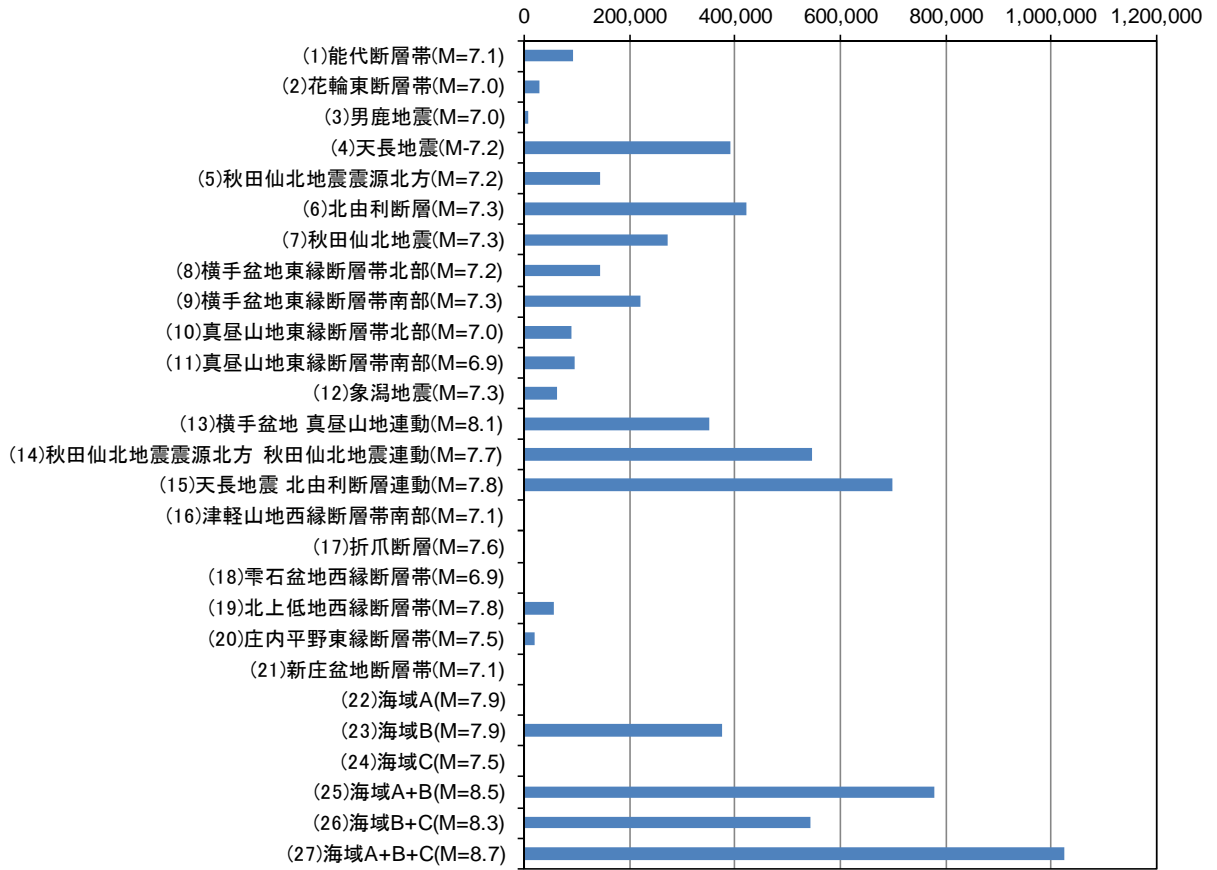


図-4.3.2.1 震度6弱以上の震度曝露人口の算定結果

表-4.3.2.1(a) 震度6弱以上の震度曝露人口の算定結果と
詳細法を行う震源の選定結果(を選定)

地震(震源)	陸域地震(県内:単独地震)												陸域地震(県内:連動地震)		
	(1) 能代 断層帯 (M=7.1)	(2) 花輪東 断層帯 (M=7.0)	(3) 男鹿地震 (M=7.0)	(4) 天長地震 (M=7.2)	(5) 秋田仙北 地震震源 北方 (M=7.2)	(6) 北由利 断層 (M=7.3)	(7) 秋田仙北 地震 (M=7.3)	(8) 横手盆地 東縁断層 帯北部 (M=7.2)	(9) 横手盆地 東縁断層 帯南部 (M=7.3)	(10) 真昼山地 東縁断層 帯北部 (M=7.0)	(11) 真昼山地 東縁断層 帯南部 (M=6.9)	(12) 象潟地震 (M=7.3)	(13) 横手盆地 真昼山地 連動 (M=8.1)	(14) 秋田仙北 地震震源 北方 秋田仙北 地震連動 (M=7.7)	(15) 天長地震 北由利 断層連動 (M=7.8)
市町村名															
秋田市				305,412	2,088	<u>315,277</u>	5,497						21,284	175,526	<u>321,913</u>
能代市	<u>51,114</u>			49											<u>51,551</u>
横手市					19,185		79,347	46,575	91,393	520	46,414		<u>97,607</u>	<u>93,171</u>	28,134
大館市		<u>219</u>													
男鹿市	5,731		8,100	<u>13,273</u>											<u>25,630</u>
湯沢市							25,565		<u>41,541</u>				<u>49,416</u>	38,062	187
鹿角市		<u>30,024</u>													
由利本荘市				513		68,079	27,135					34,609	33,782	<u>71,383</u>	<u>77,625</u>
潟上市	686			<u>34,615</u>		20,375								1	<u>34,615</u>
大仙市					80,597	5,238	80,064	58,371	53,174	55,609	31,473		<u>83,662</u>	<u>87,404</u>	60,687
北秋田市															<u>9,961</u>
にかほ市						13,470						<u>27,225</u>	69	17,260	<u>25,296</u>
仙北市					21,899		17,500	19,625	7,379	17,956			<u>27,991</u>	<u>26,733</u>	15,287
小坂町		<u>100</u>													
上小阿仁村				2											<u>2,575</u>
藤里町															
三種町	<u>17,803</u>			12,529											<u>18,831</u>
八峰町	<u>6,774</u>														<u>829</u>
五城目町	973			<u>10,352</u>											<u>10,594</u>
八郎潟町	5,446			<u>6,433</u>											<u>6,494</u>
井川町	1,081			<u>5,336</u>		594									<u>5,336</u>
大潟村	<u>3,188</u>			3,188											<u>3,188</u>
美郷町					20,721		20,661	21,814	<u>21,899</u>	16,693	17,572		<u>21,924</u>	21,814	1,444
羽後町							<u>16,145</u>		3,383				13,614	<u>16,684</u>	497
東成瀬村									<u>2,775</u>				<u>2,903</u>		
県全体	<u>92,797</u>	<u>30,344</u>	<u>8,100</u>	<u>391,702</u>	<u>144,491</u>	<u>423,033</u>	<u>271,914</u>	<u>146,384</u>	<u>221,545</u>	<u>90,778</u>	<u>95,459</u>	<u>61,834</u>	<u>352,252</u>	<u>548,039</u>	<u>700,674</u>
県全体での 順位	4	7	9									5	3	2	1
詳細法を 実施する地震	◎	◎	◎									◎	◎	◎	◎

赤の下線は、各市町村における震度曝露人口の最大値、青の下線は同2位の値を示しており、陸域の地震、海域の地震各々について設定している。

表-4.3.2.1(b) 震度6弱以上の震度曝露人口の算定結果と
詳細法を行う震源の選定結果(を選定)

地震(震源)	陸域地震(隣接地域)						海域地震(単独地震)			海域地震(運動地震)		
	(16) 津軽山地 西縁断層帯 南部 (M=7.1)	(17) 折爪断層 (M=7.6)	(18) 零石盆地 西縁断層帯 (M=6.9)	(19) 北上低地 西縁断層帯 (M=7.8)	(20) 庄内平野 東縁断層帯 (M=7.5)	(21) 新庄盆地 断層帯 (M=7.1)	(22) 海域A (M=7.9)	(23) 海域B (M=7.9)	(24) 海域C (M=7.5)	(25) 海域A+B (M=8.5)	(26) 海域B+C (M=8.3)	(27) 海域A+B+C (M=8.7)
市町村名												
秋田市								171,861		<u>318,556</u>	284,754	<u>321,933</u>
能代市							56	48,521		<u>58,653</u>	54,891	<u>58,836</u>
横手市				4,519						<u>22,082</u>		<u>82,055</u>
大館市										<u>54,931</u>		<u>77,505</u>
男鹿市							149	28,601		<u>31,822</u>	31,441	<u>31,779</u>
湯沢市				1						<u>424</u>		<u>35,525</u>
鹿角市										<u>34</u>		<u>27,291</u>
由利本荘市					29			42,757		<u>71,192</u>	50,729	<u>83,799</u>
湯上市								32,897		<u>34,615</u>	34,069	<u>34,615</u>
大仙市				32,352						<u>52,586</u>	2,395	<u>86,236</u>
北秋田市										<u>30,428</u>	13,703	<u>35,918</u>
にかほ市					20,938			17,155		<u>26,900</u>	23,887	<u>27,526</u>
仙北市				17,872						<u>16,137</u>		<u>21,837</u>
小坂町	71	<u>157</u>								<u>157</u>		<u>5,480</u>
上小阿仁村										<u>2,472</u>		<u>2,719</u>
藤里町										<u>3,490</u>	1,176	<u>3,591</u>
三種町								13,528		<u>18,830</u>	18,246	<u>18,831</u>
八峰町								5,193		<u>7,563</u>	7,511	<u>7,785</u>
五城目町								4,580		<u>10,217</u>	8,389	<u>10,303</u>
八郎潟町								5,662		<u>6,433</u>	6,340	<u>6,433</u>
井川町								3,439		<u>5,336</u>	4,477	<u>5,336</u>
大潟村								3,188		<u>3,188</u>	3,188	<u>3,188</u>
美郷町				1,444						<u>1,444</u>		<u>21,027</u>
羽後町										<u>804</u>		<u>15,139</u>
東成瀬村				864								
県全体	71	157	0	57,052	20,966	0	205	377,383	0	778,094	545,196	1,024,687
県全体での 順位	11	10	12	6	8	12	5	4	6	2	3	1
詳細法を 実施する地震		◎						◎				◎

赤の下線は、各市町村における震度曝露人口の最大値、青の下線は同2位の値を示しており、陸域の地震、海域の地震各々について設定している。

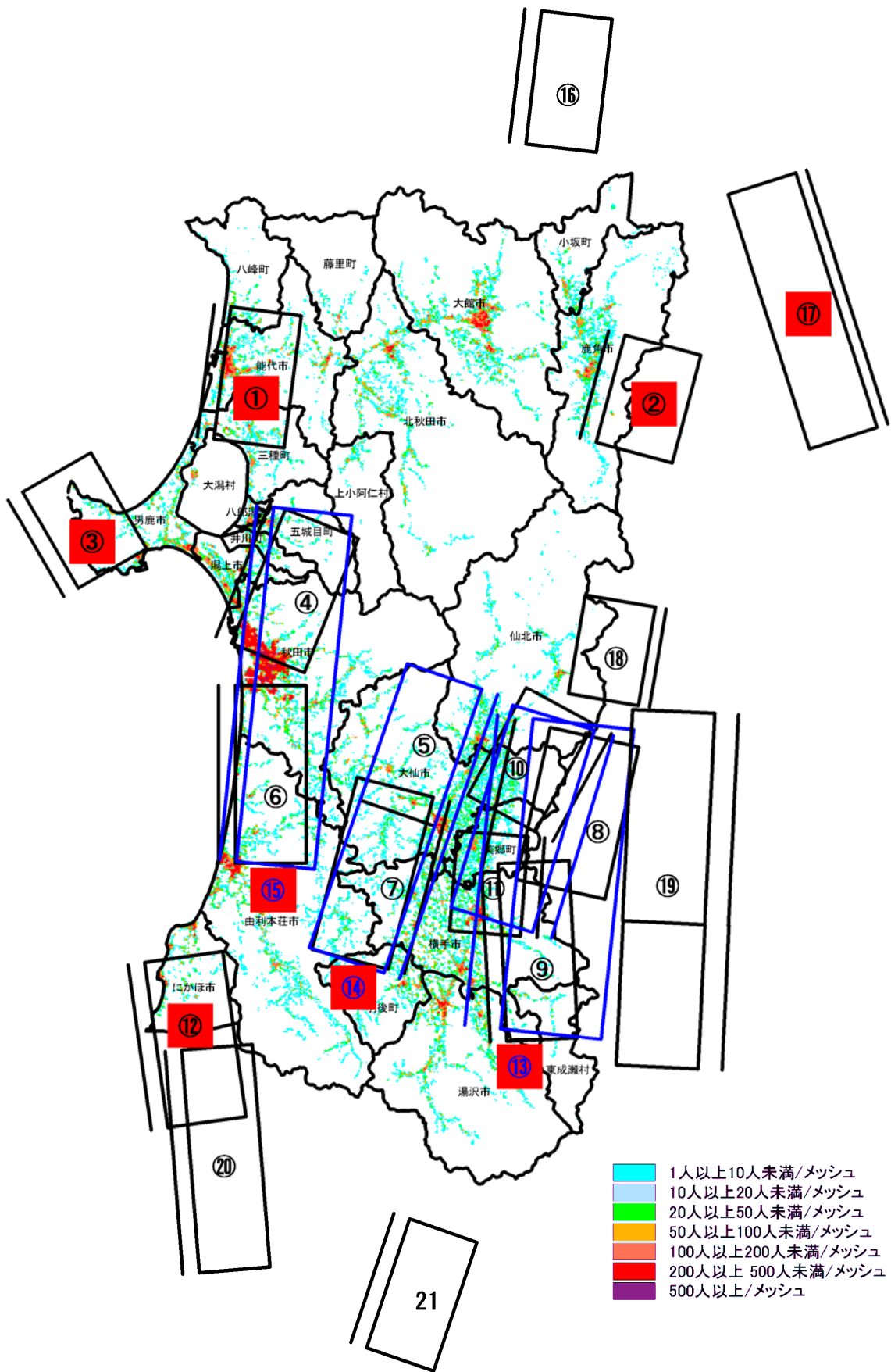


図-4.3.2.2 陸域の震源断層位置図(青色：連動地震)と人口分布
(赤枠：詳細法を実施する陸域の震源断層)

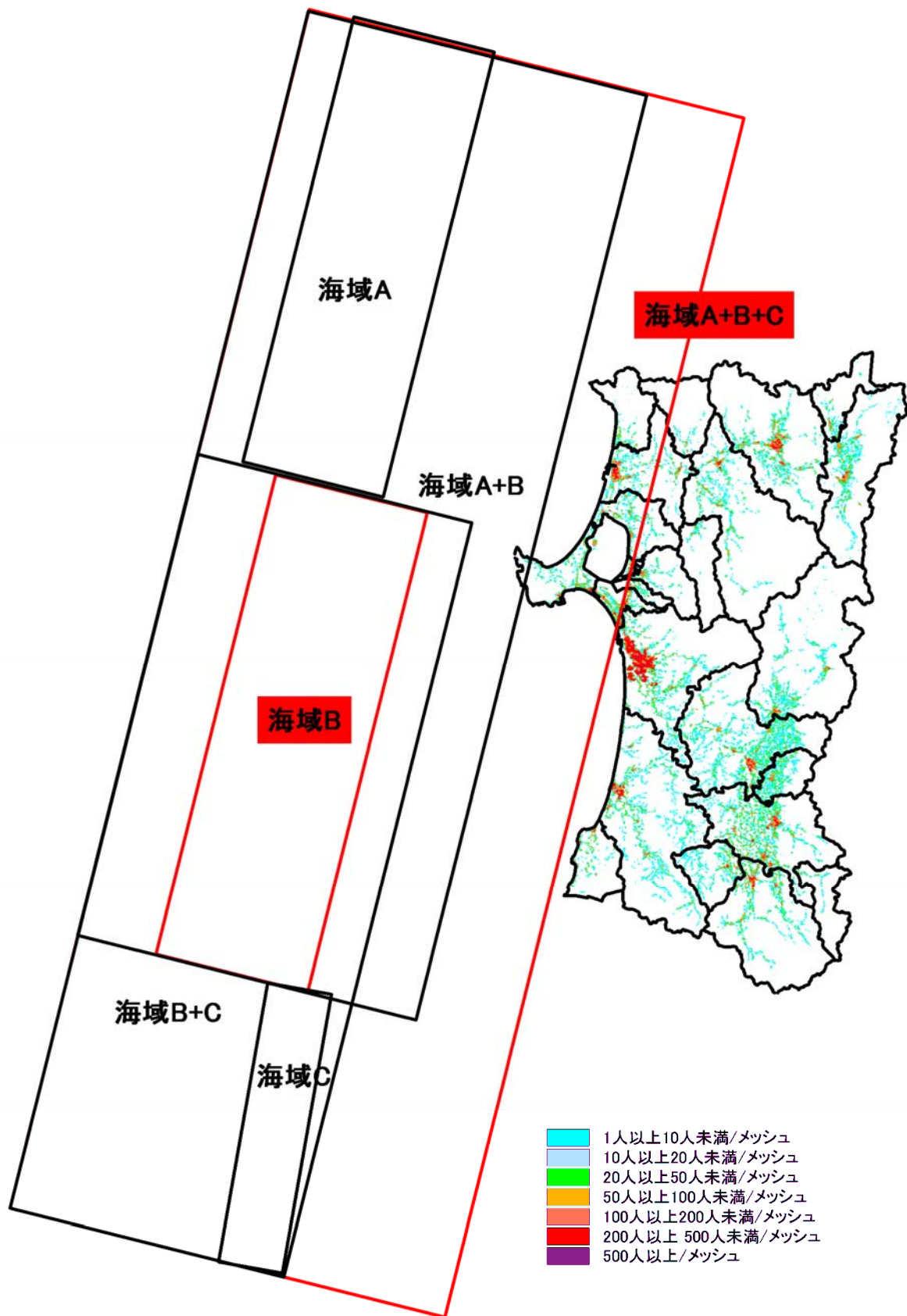


図-4.3.2.3 海域の震源断層位置図と人口分布
 (赤枠：詳細法を実施する海域の震源断層)

4.4 ステップ2：詳細法による地震動予測計算

(1) 震源～深部地盤の地震動予測計算

工学的基盤までの地震動予測計算は、原則として統計的グリーン関数法により行うものとする。想定地震ごとに工学的基盤における3成分(水平2成分及び上下成分)の地震動波形(時刻歴加速度波形)を予測する。

地震動予測手法には、一般的に以下の表に示す手法があるが、ここでは統計的グリーン関数法を採用する。

経験的グリーン関数法は、大地震と同じ伝播経路を通過してきた小地震の観測記録をその伝播経路特性を評価したグリーン関数と考え、これを大地震の破壊過程に応じて足し合わせることで大地震の地震動を評価するものである。この方法は、Hartzellによって提案された。その後、Kanamoriによって大地震と小地震の地震モーメント比を小地震の観測記録の重ね合わせ数として用いる改良がなされ、さらにIrikuraによって大地震と小地震の断層面の長さ、幅、すべり量などの断層パラメータ間に相似則を仮定する改良が加えられた。その後、Irikura、Takemura and Irikura、Dan et al.などから、小地震の観測記録の重ね合わせ方法がそれぞれ提案されている。

ただし、経験的グリーン関数法はグリーン関数として適切な中・小地震記録が必要であり、実際に適用するには困難な場合が多い。特に内陸地震の場合には、小地震も発生しない空白域である場合が多いので、対象となる断層の観測記録を得ることは困難である。そこで、Boore、釜江他は、グリーン関数として、統計的シミュレーション波形を使う方法を提案した。この方法は、統計的グリーン関数法と呼ばれる方法で、適切な中・小地震記録がない場合でも適用可能である。

表-4.4.1 一般的な地震動予測手法の概要

手 法	長 所	短 所
A. 経験的グリーン関数法	地震動評価の3特性のうち ・伝播経路特性 ・サイト特性 を特別に考慮する必要がなく、最適の地震動評価方法	検討対象地点において、想定する震源域で、想定する震源と同じ特性を持つ地震による地震動(小地震動)記録が必要
B. 統計的グリーン関数法	上記手法のように想定する震源の地震動記録がなくても波形合成が可能	地盤は水平成層を仮定しているため、堆積層表面波のような深い地盤構造により二次的に生成される表面波(主に長周期成分)は再現できない
C. ハイブリッド法 統計的グリーン関数法 + 三次元理論計算法	堆積層表面波を含む長周期領域までの地震動評価が可能	地盤の三次元モデルの構築が困難である。また、広い領域を解析するためには、大型のコンピュータが必要であり、かつかなりの解析時間を要する

統計的グリーン関数による波形の合成は、図に示すように震源断層を要素断層に分割し、小地震動をグリーン関数として断層全体で合成するものである。以下にその概要を記す。

- ・要素地震波の作成：低振動数領域の位相を揃えるため、Hisada(2008) ¹の手法を用いる。
- ・放射特性：釜江他(1990) ²の手法を用いる。

表-4.4.2 ラディエーション係数

振動数 f	ラディエーション係数
f < 0.5Hz	理論的放射特性
0.5 f 5Hz	理論的放射特性と等方的放射特性の線形補間による
f > 5Hz	等方的放射特性

- ・破壊伝播形式：同心円状破壊とする。
- ・高周波遮断振動数：陸域地震 6.0Hz ³
 海域地震 13.5Hz ⁴

フィルター特性は、Boore(1983) ⁵の式を用いる。

$$P(f) = 1 / \left\{ 1 + (f/f_{max})^2 \right\}^{1/2} \quad (4.4)$$

ここで、fは振動数、f_{max}は高周波遮断振動数である。

- ・3成分地震動合成法：大西・堀家 ⁶の手法を用いる。

1 Hisada, Y., Broadband strong motion simulation in layered half-space using stochastic Green's function technique, Journal of Seismology, Vol.12, No.2, pp.265-279, 2008.
 2 釜江克宏, 入倉孝次郎, 福知保長: 地域的な震源スケーリング則を用いた大地震(M7級)のための設計用地震動予測, 日本建築学会構造系論文報告集, No.416, pp.57-70, 1990.
 3 日本建築学会: 最新の地盤震動研究を活かした強震波形の作成法, 2009.
 4 佐藤智美, 川瀬博, 佐藤俊明: 表層地盤の影響を取り除いた工学的基盤波の統計的スペクトル特性、仙台地域のポアホールで観測された多数の中小地震記録を用いた解析, 日本建築学会構造系論文集, 462, pp.79-89, 1994.
 5 Boore, D.M., 1983, Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bull. Seism. Soc. Amer., 73, 1865-1894.
 6 大西良広, 堀家正則: 震源近傍での地震動予測のための拡張統計的グリーン関数法とそのハイブリッド法への適用に関するコメント, 日本建築学会構造系論文集, 586, pp.37-44, 2004.

- ・波形合成(スケーリング)：横井・入倉(1991)⁷の手法を用いる。

$$U_L(\omega) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{r}{r_{ij}} F(\omega) \cdot \{c \cdot U_S(\omega)\} \cdot \exp(i\omega \cdot t_{ij}) \quad (4.5)$$

ここで、 U は予測地震動(添字 L は大地震、 S は小地震の場合)、 ω は角振動数である。また、 r は単位距離(1km)、 r_{ij}, t_{ij} は小断層 ij の代表点から観測点までの距離と破壊開始時間、 c は大地震と小地震の応力降下量の比である。

なお、変換関数 $F(\omega)$ は、落ち込みがない関数として大西・堀家⁶を用いる。

$$F(\omega) = N \cdot \frac{1 - i\omega\tau_S / \alpha}{1 - i\omega\tau_L / \alpha} = 1 + (N-1) \frac{1}{1 - i\omega\tau_L / \alpha} \quad (4.6)$$

ここで、 τ はライズタイム、 α は係数で $\tau_L / \alpha = 0.2 \sim 1.0$ とする。

- ・地震発生層から工学的基盤までの増幅特性：HaskellMatrix法を用いる。

7 横井俊明, 入倉幸次郎: 震源スペクトルの Scaling 則と経験的 Green 関数法, 地震 2, 44, pp. 109-122, 1991.

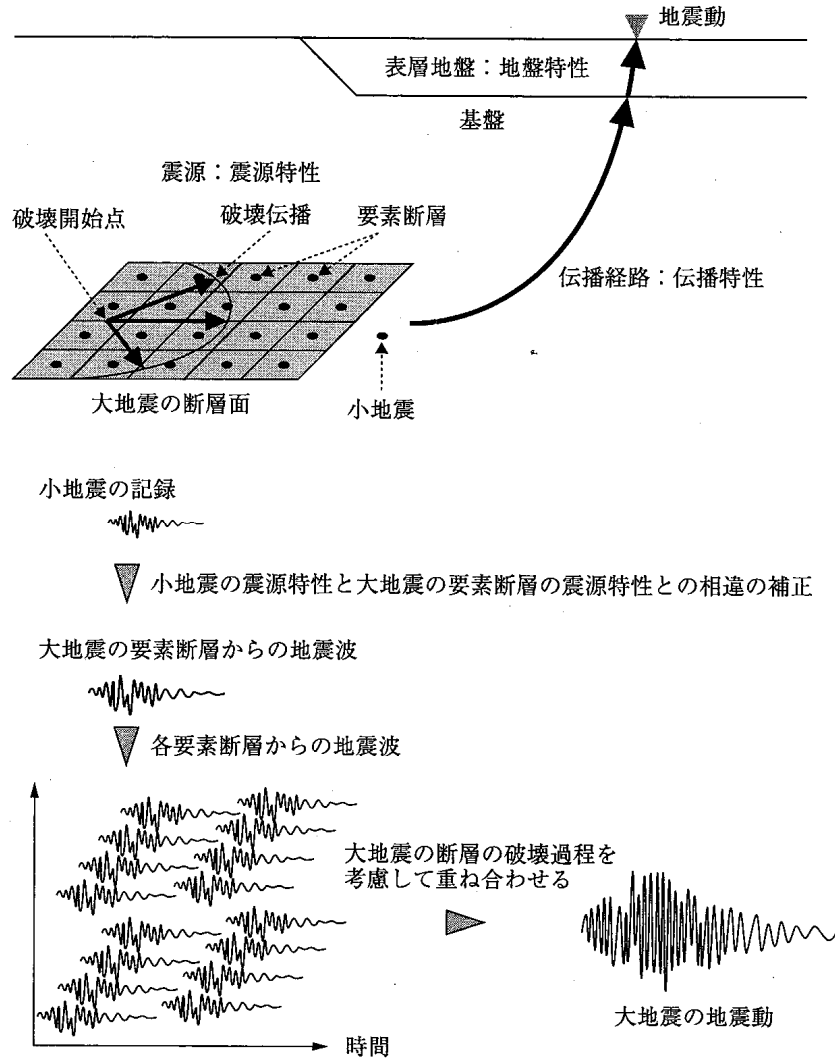


図-4.4.1 波形合成の概念図

(出典：山中浩明，入倉孝次郎，岩田知孝，香川敬生，佐藤俊明，
地震の揺れを科学する 見えてきた強震動の姿，東京大学出版，p.151pp,2006.)

(2) 詳細法による震源モデル

詳細法における震源モデルは、震源破壊プロセスの不均質性を反映させ、最も重要な特徴を単純化した「特性化震源モデル」を採用する。このモデルは、地震調査研究推進本部が公表している震源モデルと同じ考え方である。

特性化震源モデルは、震源断層面上で特にすべりの大きい「アスペリティ」と呼ばれる領域とそれ以外のすべりの小さい「背景領域」と呼ばれる領域でモデル化される。

詳細法による地震動予測は、アスペリティの位置や数及び地震が発生する破壊開始点の影響が顕著に現れる方法である。具体的には、断層の破壊進行方向に存在する地点で地震動が大きくなる一方、断層の破壊進行方向と逆の地点では地震動が小さくなる傾向がみられる。(この現象をディレクティビティ効果という。)

破壊シナリオの設定は任意性が残っているため、今回はアスペリティの位置や数及び地震が発生する破壊開始点を複数の組み合わせで想定することとする。

【破壊シナリオの決め方】

- 1) 想定断層周辺に存在する主要都市に、最も影響を及ぼすようにアスペリティと破壊開始点を配置する。
- 2) 規模の大きな断層(例えば、連動地震)の場合は、断層の面積が大きく影響範囲も広いため、標準的なアスペリティと破壊開始点の配置を採用する。

【破壊シナリオの選定方法】

- 1) 各震源断層に対して、アスペリティや破壊開始点の位置を変更した複数の破壊シナリオを想定する。
- 2) 破壊シナリオを検討する段階では浅部地盤で簡易計算手法(速度増幅率)を採用する。
- 3) 各シナリオの予測結果から曝露人口を算出し、秋田県に最も影響が大きいと考えられる破壊シナリオを選定する。

(3) 浅部地盤の地震動予測計算

選定した破壊シナリオに対して、浅部地盤の地震動予測計算を実施した。

【浅部地盤の地震応答解析】

詳細計算用の浅部地盤モデルを基に、地盤の非線形性を考慮した応答計算を行い、地表の地震動波形を計算する。この地震動波形から、気象庁による定義に従って、地表での計測震度を算出する。

具体的には、統計的グリーン関数法により求められた工学的基盤上の地震動波形と詳細計算用の浅部地盤モデルを用いて、地震応答解析を実施する。地震応答解析は、地盤の非線形性を考慮するために、一次元の等価線形法を用いることとする。プログラムは、等価線形でひずみ周波数依存を考慮できる「DYNEQ(吉田 2008) ¹」を使用する。

【浅部地盤の震度増分法】

浅部地盤の地震応答解析と比較のために地震調査委員会(2008) ² の「レシピ」の予測手法も実施した。この方法は、詳細法で得られた工学的基盤上の地震波形から、気象庁(1996) ³ の定義に従って算定した計測震度に浅部地盤での震度増分を加算する方法であり、工学的基盤上で地震波形の周期特性を活かすことができる。ここでは、この方法を「震度増分法」と称する。

なお、地震調査研究推進本部(詳細法)による震度分布図はこの方法を採用している。

$$\begin{aligned} \Delta I = & 2.603 \cdot \log(ARV) - 0.203 \cdot \{\log(ARV)\}^2 \\ & - 0.426 \cdot \log(PGV_b) \cdot \log(ARV) \end{aligned} \quad (4.7)$$

ここで、 ΔI は震度増分、 ARV は速度増幅率、 PGV_b は S 波速度 600m/s の工学的基盤上の最大速度である。

1 吉田望(2008) : DYNEQ A computer program for DYNAMIC response analysis of level ground by Equivalent linear method, 東北学院大学工学部, <http://www.civil.tohoku-gakuin.ac.jp/yoshida-j.html>

2 地震調査委員会 : 「全国を概観した地震動予測地図」2008年版

3 気象庁 : 気象庁告示第4号, 1996.

【解析結果の比較】

地震応答解析と震度増分法について、震度分布図を比較した結果、全体的に震度増分法の方が大きく評価される結果となった。この理由については、以下のようなことが考えられる。

- 1) 地震応答解析には、ボーリング柱状図が必須であるが、ボーリング柱状図の存在しないメッシュが大半であり、実情にあった地層構成の地盤モデル作成が困難である。
- 2) 地震応答解析の初期状態の V_s は、N 値から推定しており、N 値が小さい地盤では、実情よりも過小に V_s が見積もられ、せん断ひずみが発生しやすいモデルになっている可能性がある。そのため、初期剛性が低下して、せん断応力が下方から上方に伝播しにくくなり、地表での加速度がほとんど増幅しない結果となった。
- 3) 地震応答解析では、工学基盤での加速度振幅がかなり大きいと、浅部地盤の非線型性が強く出すぎる結果、数%オーダーのせん断ひずみが発生(初期剛性が低下)して、地表での加速度がほとんど増幅しない結果となった。

通常、地震動による揺れは、浅部地盤の下方から上方に向かって大きくなる(増幅する)傾向にあるが、ここでは、その傾向が小さく、地表面での揺れが大きくなる結果となった。

以上のことから、地震応答解析は、地盤のモデル化における精度の影響が大きいと考え、「震度増分法」の予測結果を本検討の震度分布図として採用することとした。

4.5 全 27 パターンの地震動予測結果

4.4 節までに示した想定地震全 27 パターン(陸域 21 パターン+海域 6 パターン、表-4.5.1、表-4.5.2 参照)について、各市町村における最大震度及び震度分布図の最終結果を以下に示す。

表-4.5.1 陸域の想定地震(全 21 パターン)

区分	ID	震源、想定地震	推本 長期評価	推本長期評価あるいは 想定した地震規模		傾斜角		すべり角 (°)	断層モデル 上端深さ Hs(km)	断層 モデル長さ L _{model} (km)	断層 モデル幅 W _{model} (km)	断層 モデル面積 S _{model} (km ²)	断層モデル 下端深さ Hd(km)	地震モーメント M ₀ (Nm)	モーメント マグニチュード M _w	静的 応力降下量 (MPa)	平均 すべり量 D _{model} (m)	平成 8 年度調査		
				断層長さL(km)	マグニチュード M _j	傾斜方向	(°)											対象	M _j	L(km)
県内単独地震	1	能代断層帯		22	7.1	東傾斜	45	90	3	24	18	432	16	9.83E+18	6.6	2.7	0.7	地震B	7.0	32
	2	花輪東断層帯		19	7.0	東傾斜	45	90	3	20	20	400	17	7.39E+18	6.5	2.2	0.6			
	3	男鹿地震		20	7.0	東傾斜	45	90	3	20	20	400	17	8.17E+18	6.5	2.5	0.7			
	4	天長地震		26	7.2	東傾斜	45	90	3	26	20	520	17	1.36E+19	6.7	2.8	0.8	地震A	7.2	40
	5	秋田仙北地震震源北方		26	7.2	西傾斜	45	90	3	26	20	520	17	1.36E+19	6.7	2.8	0.8			
	6	北由利断層		30	7.3	東傾斜	45	90	3	32	18	576	16	1.80E+19	6.8	3.2	1.0			
	7	秋田仙北地震		32	7.3	西傾斜	45	90	3	32	20	640	17	2.04E+19	6.8	3.1	1.0	地震D	7.1	35
	8	横手盆地東縁断層帯北部		26	7.2	東傾斜	25	90	3	28	18	504	11	1.36E+19	6.7	2.9	0.9	地震C	7.2	40
	9	横手盆地東縁断層帯南部		30	7.3	東傾斜	45	90	3	32	18	576	16	1.80E+19	6.8	3.2	1.0			
	10	真昼山地東縁断層帯北部		21	7.0	西傾斜	40	90	3	22	18	396	15	8.98E+18	6.6	2.8	0.7			
	11	真昼山地東縁断層帯南部		17	6.9	西傾斜	45	90	3	18	18	324	16	5.95E+18	6.4	2.5	0.6			
	12	象潟地震		30	7.3	東傾斜	45	90	3	30	20	600	17	1.80E+19	6.8	3.0	1.0			
県内連動地震	13	横手盆地 真昼山地連動		94	8.1	-	-	-	3	94	-	1880	-	1.67E+20	7.4	-	-			
		横手盆地東縁断層帯セグメント		56	7.7	東傾斜	25	90	3	56	20	1120	11	6.08E+19	7.1	4.0	1.7			
		真昼山地東縁断層帯セグメント		38	7.5	西傾斜	40	90	3	38	20	760	16	2.85E+19	6.9	3.3	1.2			
	14	秋田仙北地震震源北方 秋田仙北地震連動		54	7.7	西傾斜	45	90	3	54	20	1080	17	5.66E+19	7.1	3.9	1.7			
	15	天長地震 北由利断層連動		64	7.8	東傾斜	45	90	3	64	20	1280	17	7.89E+19	7.2	4.2	2.0			
隣接地域単独地震	16	津軽山地西縁断層帯南部		23	7.1	東傾斜	45	90	3	24	18	432	16	1.07E+19	6.6	2.9	0.8			
	17	折爪断層		47	7.6	西傾斜	45	90	2	48	18	864	15	4.32E+19	7.0	4.1	1.6			
	18	雫石盆地西縁断層帯		17	6.9	西傾斜	45	90	2	18	18	324	15	5.95E+18	6.4	2.5	0.6			
	19	北上低地西縁断層帯(北側)		62	7.8	西傾斜	35	90	3	38	18	1152	13	7.42E+19	7.2	4.6	2.1			
		北上低地西縁断層帯(南側)	35				90	3	26	18	13									
	20	庄内平野東縁断層帯		38	7.5	東傾斜	45	90	3	40	18	720	16	2.85E+19	6.9	3.6	1.3			
21	新庄盆地断層帯		23	7.1	東傾斜	45	90	3	24	18	432	16	1.07E+19	6.6	2.9	0.8				

表-4.5.2 海域の想定地震(全 6 パターン)

区分	ID	震源、想定地震	関連震源	想定した地震規模		傾斜角		すべり角 (°)	断層モデル 上端深さ Hs(km)	断層 モデル長さ L _{model} (km)	断層 モデル幅 W _{model} (km)	断層 モデル面積 S _{model} (km ²)	断層モデル 下端深さ Hd(km)	地震モーメント M ₀ (Nm)	モーメント マグニチュード M _w	平均 すべり量 D _{model} (m)	備考
				断層長さL(km)	マグニチュード M _j	(°)	(°)										
単独地震	22	海域A	日本海中部	130	7.9	東傾斜	35	90	0	130	50	6,500	29	6.85E+20	7.82	3.0	
	23	海域B	佐渡北方沖、秋田沖、山形県沖	140	7.9	東傾斜	35	90	0	140	54	7,560	31	8.59E+20	7.89	3.2	小断層を2km×2kmでモデル化
	24	海域C	新潟県北部沖、山形県沖	80	7.5	西傾斜	55	90	0	80	32	2,560	26	1.69E+20	7.42	1.9	
連動地震	25	海域A+B	新潟県北部沖、山形県沖	270	8.5	東傾斜	20	90	0	270	105	28,350	36	6.24E+21	8.46	6.3	
	26	海域B+C	佐渡北方沖、秋田沖、山形県沖	220	8.3	東傾斜	20	90	0	220	85	18,700	29	3.34E+21	8.28	5.1	小断層を5km×5kmでモデル化
	27	海域A+B+C	新潟県北部沖、山形県沖	350	8.7	東傾斜	20	90	0	350	135	47,250	46	1.34E+22	8.69	8.1	

表-4.5.3(1) 各市町村における最大震度（その1）

市町村名	(1)能代断層帯 (M=7.1)	(2)花輪東断層 帯(M=7.0)	(3)男鹿地震 (M=7.0)	(4)天長地震 (M=7.2)	(5)秋田仙北地 震震源北方 (M=7.2)	(6)北由利断層 (M=7.3)	(7)秋田仙北地 震(M=7.3)	(8)横手盆地東 縁断層帯北部 (M=7.2)	(9)横手盆地東 縁断層帯南部 (M=7.3)
最大震度	7	7	6強	7	7	7	7	6強	6強
秋田市	5強	4	6弱	7	6弱	7	6弱	5強	5強
能代市	7	5弱	6弱	6弱	5弱	5弱	5弱	4	4
横手市	4	4	4	5弱	6強	5強	7	6強	6強
大館市	5強	6弱	4	5弱	5弱	5弱	4	5弱	4
男鹿市	6強	4	6強	6弱	5弱	5強	5弱	4	4
湯沢市	4	4	4	4	5強	5強	6強	5強	6強
鹿角市	5弱	7	4	5弱	4	4	4	4	4
由利本荘市	4	4	5弱	6弱	6弱	7	6弱	5弱	5強
潟上市	5強	4	6強	7	5強	6弱	5強	5弱	5弱
大仙市	5弱	4	5弱	5強	7	6弱	7	6強	6強
北秋田市	6強	5強	5弱	5強	5弱	5弱	5弱	5弱	4
にかほ市	4	4	4	5弱	5弱	6弱	5強	5弱	5弱
仙北市	5弱	4	5弱	5強	7	5強	6強	6強	6弱
小坂町	5弱	6弱	4	4	4	4	4	4	4
上小阿仁村	5強	5弱	5弱	6弱	5弱	5弱	4	4	4
藤里町	6弱	5弱	5弱	5弱	4	4	4	4	4
三種町	7	5弱	6弱	6強	5弱	5強	5弱	4	4
八峰町	6強	4	5強	5強	4	5弱	4	4	4
五城目町	6弱	4	6弱	6強	5弱	5強	5弱	5弱	4
八郎潟町	6弱	4	6弱	6強	5弱	5強	5弱	4	4
井川町	6弱	5弱	6弱	6強	5強	6弱	5弱	5弱	5弱
大湯村	6強	4	6弱	6強	5弱	5強	5弱	4	4
美郷町	5弱	4	4	5弱	6強	5強	6強	6強	6強
羽後町	4	3	4	4	5強	5強	6強	5強	6弱
東成瀬村	4	3	3	4	5弱	5弱	5強	5強	6強

表-4.5.3(2) 各市町村における最大震度（その2）

市町村名	(10)真屋山地 東縁断層帯北 部(M=7.0)	(11)真屋山地 東縁断層帯南 部(M=8.9)	(12)象潟地震 (M=7.3)	(13)横手盆地 真屋山地運動 (M=8.1)	(14)秋田仙北地 震震源北方 秋田 仙北地震運動 (M=7.7)	(15)天長地震 北由利断層運 動(M=7.8)	(16)津軽山地 西縁断層帯南 部(M=7.1)	(17)折爪断層 (M=7.6)	(18)磐石盆地 西縁断層帯 (M=6.9)
最大震度	6弱	6弱	7	7	7	7	6弱	6強	5強
能代市	4	4	4	5強	5強	5強	5弱	5弱	4
横手市	6弱	6弱	5強	7	7	6強	4	5弱	5弱
大館市	5弱	4	4	5強	5弱	5強	5強	5強	5弱
男鹿市	4	4	5弱	5強	5強	6弱	4	4	4
湯沢市	5強	5強	5強	7	6強	6弱	3	4	4
鹿角市	4	4	4	5弱	4	5弱	5弱	6強	5弱
由利本荘市	5強	5弱	6強	6弱	6強	7	4	5弱	4
潟上市	5弱	4	5弱	5強	6弱	6強	4	4	4
大仙市	6弱	6弱	5強	7	7	7	4	5弱	5強
北秋田市	5弱	4	4	5強	5弱	5強	5弱	5弱	4
にかほ市	5弱	4	7	6弱	6弱	6弱	3	4	4
仙北市	6弱	5強	5強	7	6強	6弱	4	5弱	5強
小坂町	4	4	4	5弱	4	5弱	6弱	6強	4
上小阿仁村	4	4	4	5強	5弱	5強	4	4	4
藤里町	4	4	4	5強	5弱	5弱	5弱	5弱	4
三種町	4	4	4	5強	5強	6弱	4	5弱	4
八峰町	4	4	4	5強	5弱	5強	4	5弱	4
五城目町	5弱	4	5弱	6弱	6弱	6強	4	4	4
八郎潟町	4	4	5弱	6弱	6弱	6強	4	4	4
井川町	5弱	4	5弱	6弱	6弱	6強	4	5弱	4
大湯村	4	4	5弱	6弱	6弱	6強	4	4	4
美郷町	6弱	6弱	5強	7	7	6強	4	5弱	5弱
羽後町	5弱	5強	5強	6強	7	6弱	3	4	4
東成瀬村	5弱	5強	4	7	5強	5弱	3	4	4

表-4.5.3(3) 各市町村における最大震度（その3）

市町村名	(19)北上低地 西縁断層帯 (M=7.8)	(20)庄内平野 東縁断層帯 (M=7.5)	(21)新庄盆地 断層帯 (M=7.1)	(22)海域A (M=7.9)	(23)海域B (M=7.9)	(24)海域C (M=7.5)	(25)海域A+B (M=8.5)	(26)海域B+C (M=8.3)	(27)海域A+B +C(M=8.7)
最大震度	6弱	6強	5強	6弱	6強	5強	6強	6強	7
秋田市	5強	5弱	4	5強	6弱	5弱	6強	6弱	6強
能代市	5弱	4	4	6弱	6弱	4	6強	6強	6強
横手市	6弱	5強	5弱	5弱	5強	5弱	6弱	5強	6弱
大館市	5強	4	3	5弱	5強	4	6弱	5強	6弱
男鹿市	5弱	5弱	4	6弱	6強	5弱	6強	6強	7
湯沢市	6弱	5強	5強	5弱	5弱	5弱	5強	5強	5強
鹿角市	5弱	4	3	5弱	5弱	4	6弱	5強	6弱
由利本荘市	5強	6弱	5弱	5強	5強	5弱	6弱	6弱	6弱
潟上市	5弱	4	4	6弱	6弱	4	6強	6強	6強
大崎市	6弱	5強	4	5強	5強	5弱	6弱	6弱	6弱
北秋田市	5弱	4	3	5強	5強	4	6弱	6弱	6弱
にかほ市	5弱	6強	5弱	5強	6弱	5強	6弱	6弱	6弱
仙北市	6弱	5弱	4	5弱	5強	4	6弱	5強	6弱
小坂町	5弱	4	3	5弱	5強	4	6弱	5強	6弱
上小阿仁村	5弱	4	3	5弱	5強	4	5強	5強	6弱
藤里町	5弱	4	3	5強	5強	4	6弱	6弱	6弱
三種町	5弱	4	4	6弱	6弱	4	6強	6強	7
八峰町	5弱	4	3	6弱	6弱	4	6強	6弱	6強
五城目町	5弱	4	4	5強	6弱	4	6強	6弱	6強
八郎潟町	5弱	4	4	5強	6弱	4	6強	6弱	6強
井川町	5弱	4	4	6弱	6弱	4	6強	6強	6強
大湯村	5弱	4	4	6弱	6弱	4	6強	6強	6強
美郷町	6弱	5強	4	5弱	5強	4	6弱	5強	6弱
羽後町	5強	5強	5弱	5弱	5弱	4	5強	5強	5強
東成瀬村	6弱	5弱	4	4	4	4	5弱	5弱	5弱

(1) 能代断層帯(M=7.1) 詳細法

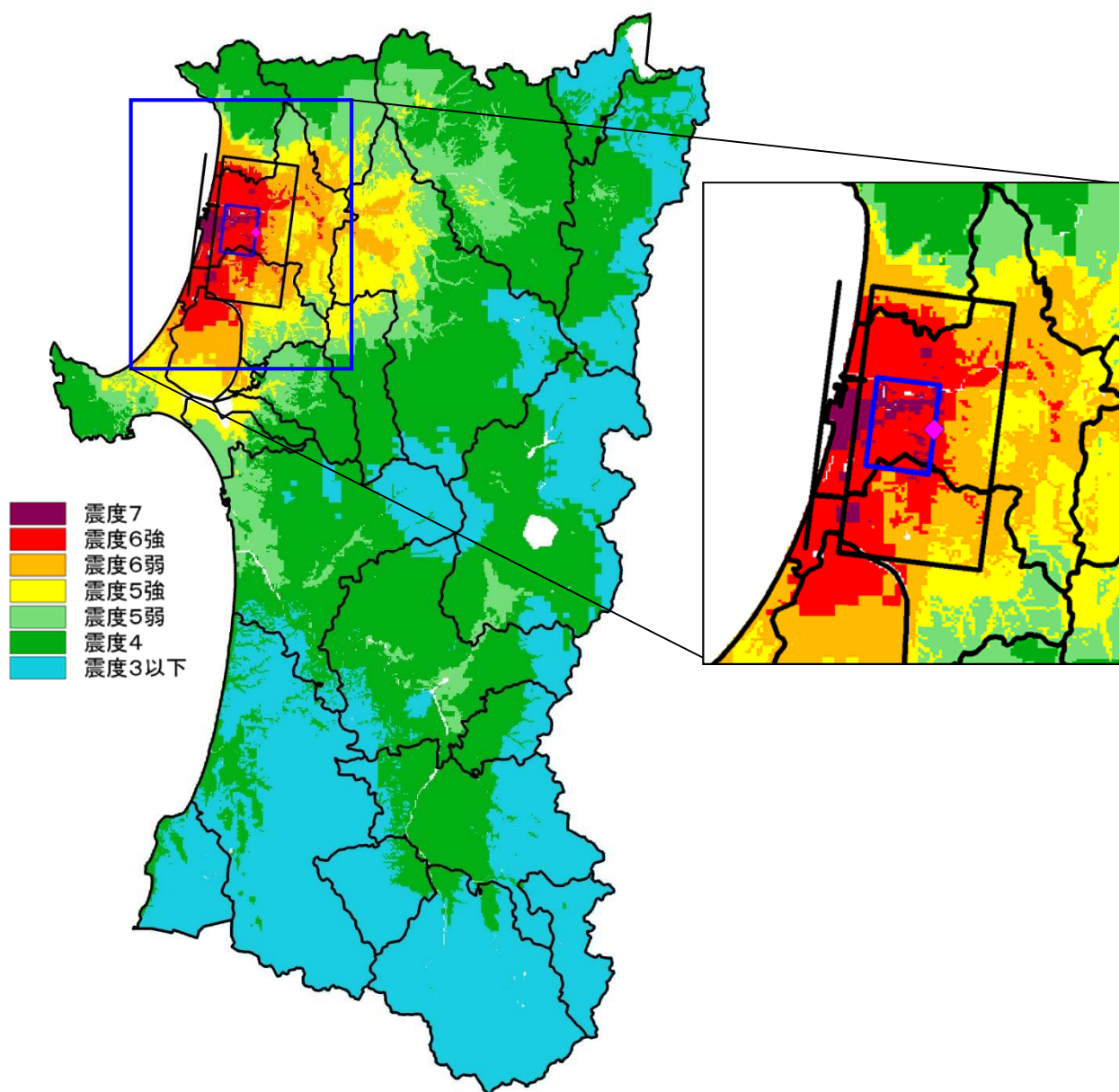


図-4.5.1 震度分布図(詳細法)
(青枠：アスペリティの位置、ひし形：破壊開始点の位置)

(2) 花輪東断層帯(M=7.0) 詳細法

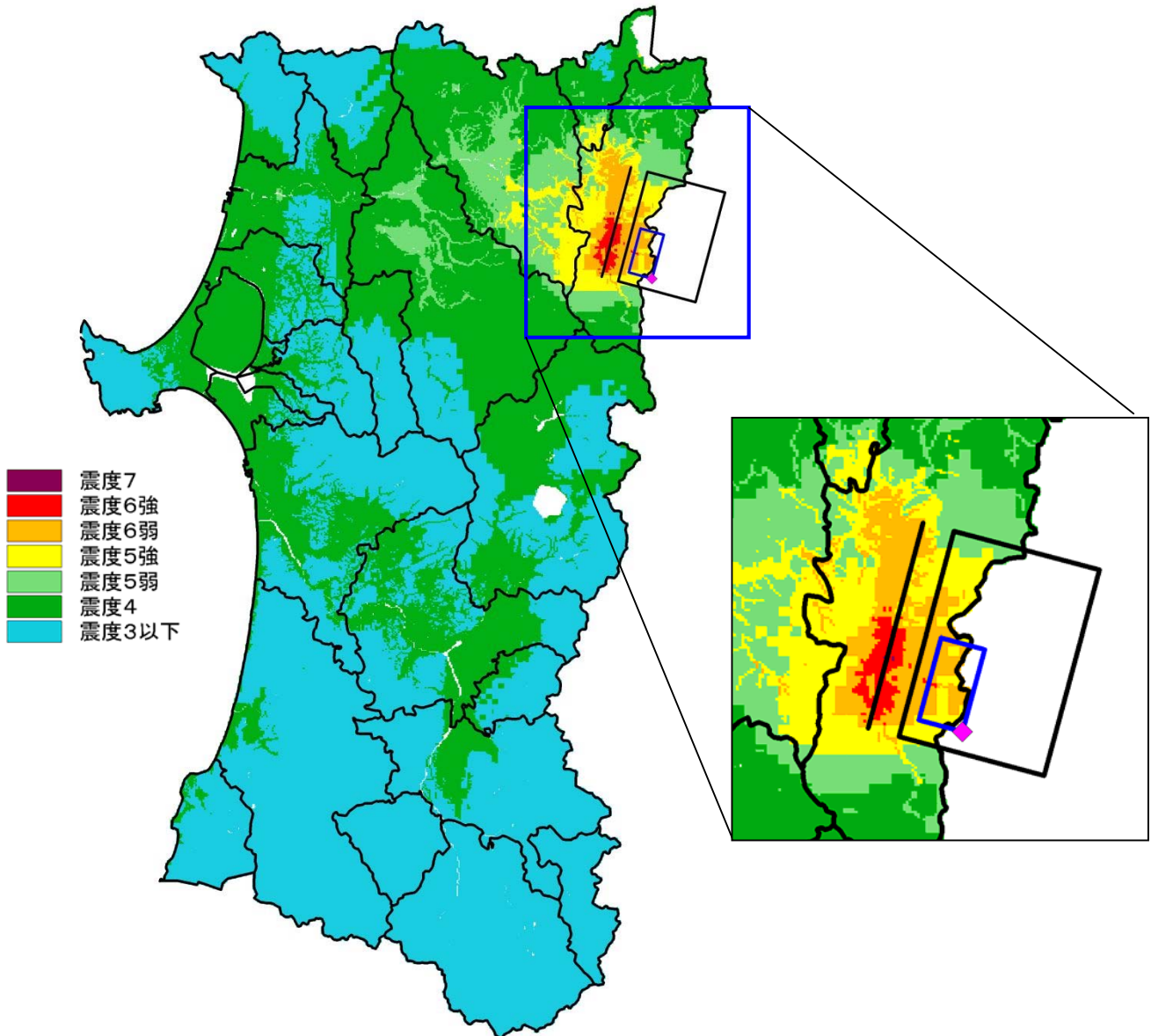


図-4.5.2 震度分布図(詳細法)

(青枠：アスペリティの位置、ひし形：破壊開始点の位置)

(3) 男鹿地震(M=7.0) 詳細法

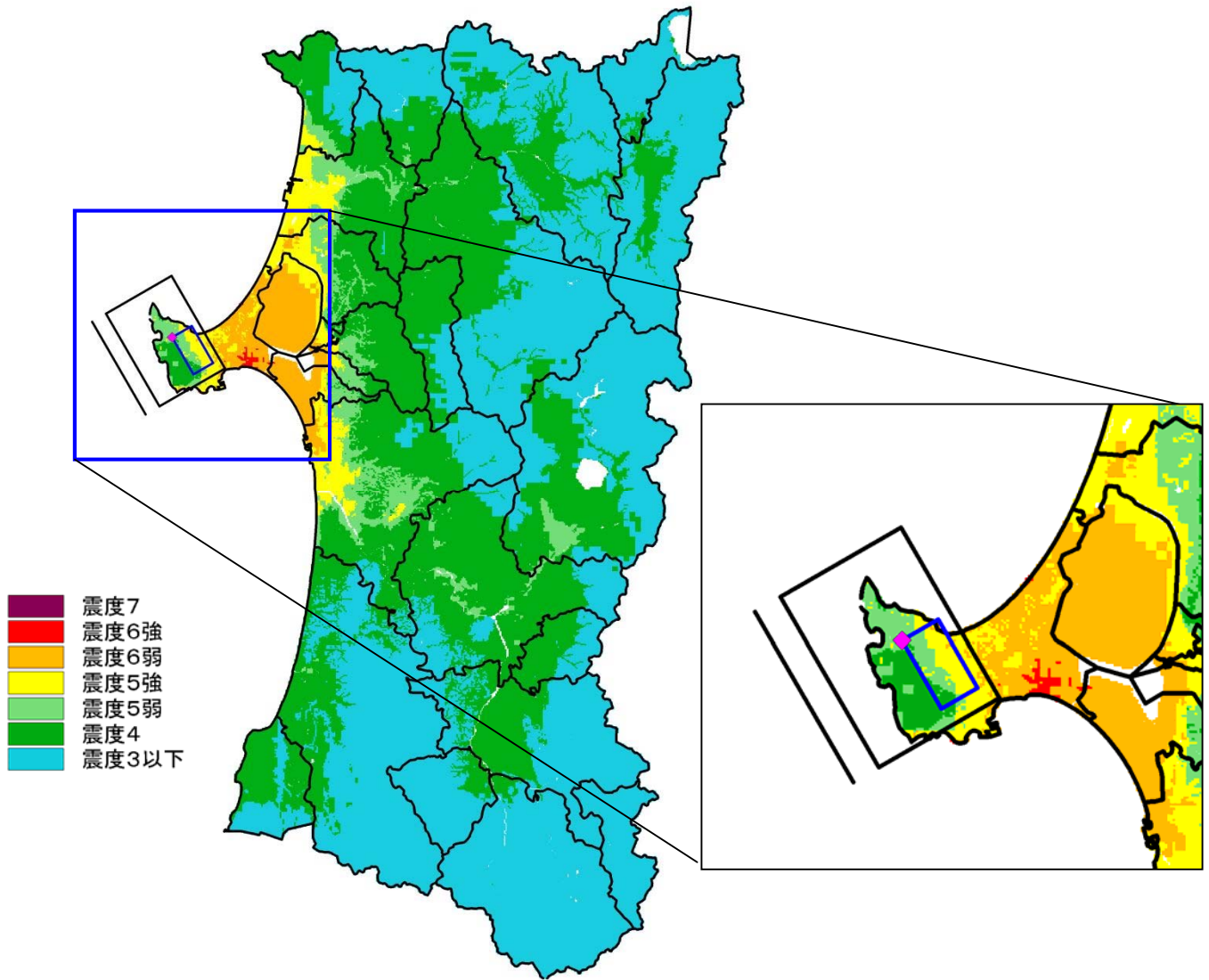


図-4.5.3 震度分布図(詳細法)
(青枠：アスペリティの位置、ひし形：破壊開始点の位置)

(4) 天長地震(M=7.2) 簡易法

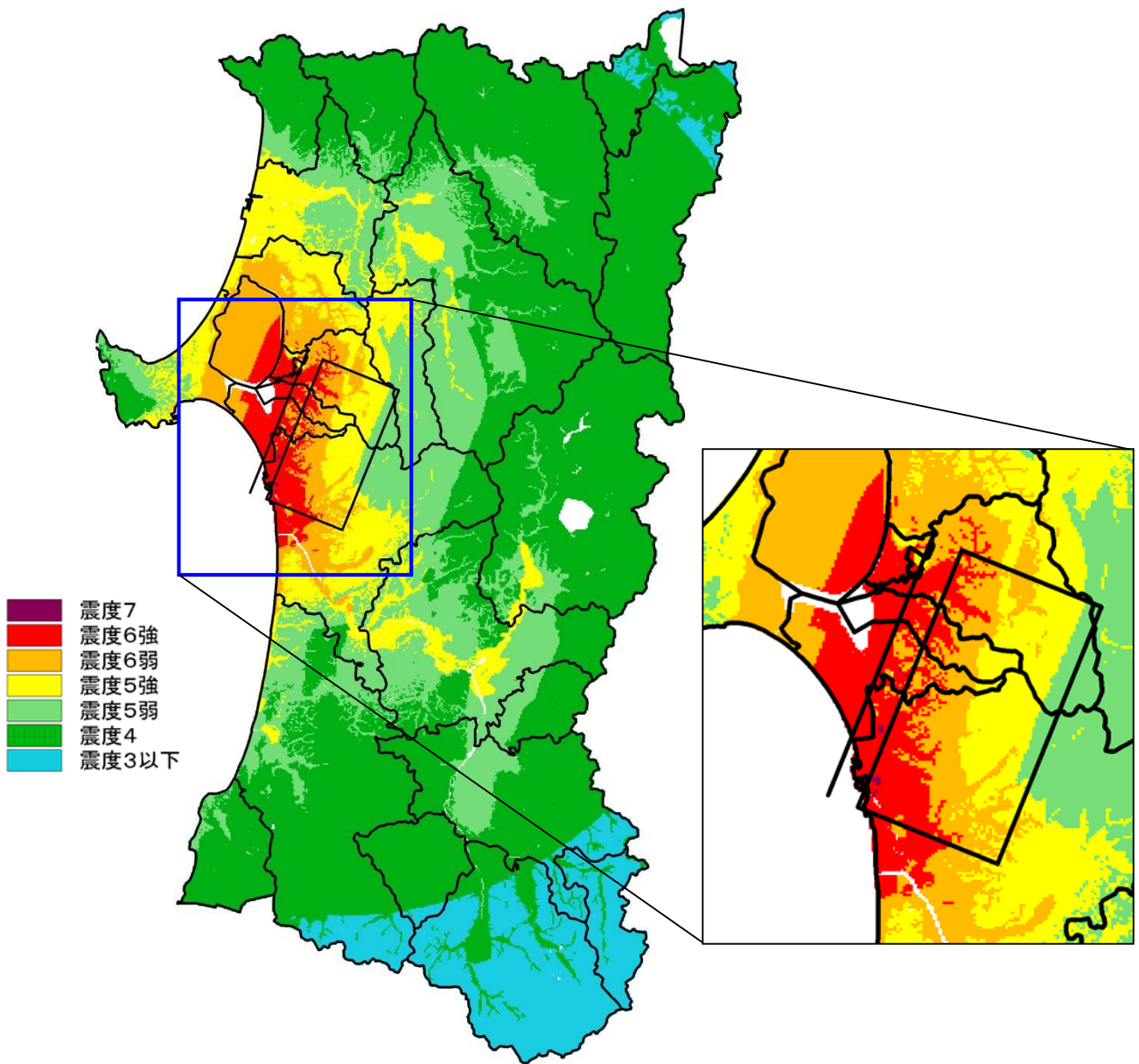


図-4.5.4 震度分布図(簡易法)

(5) 秋田仙北地震震源北方(M=7.2) 簡易法

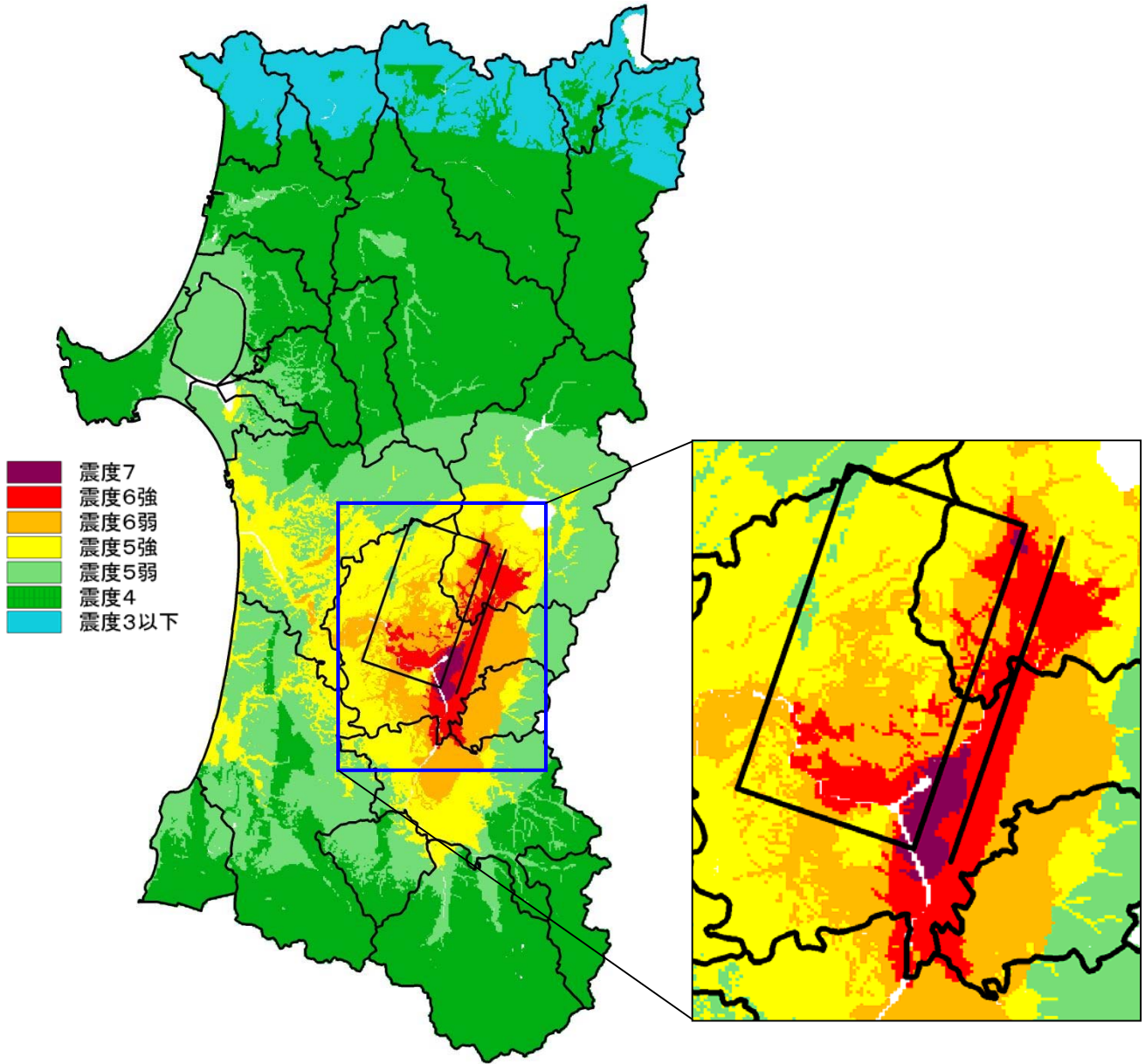


図-4.5.5 震度分布図(簡易法)

(6) 北由利断層(M=7.3) 簡易法

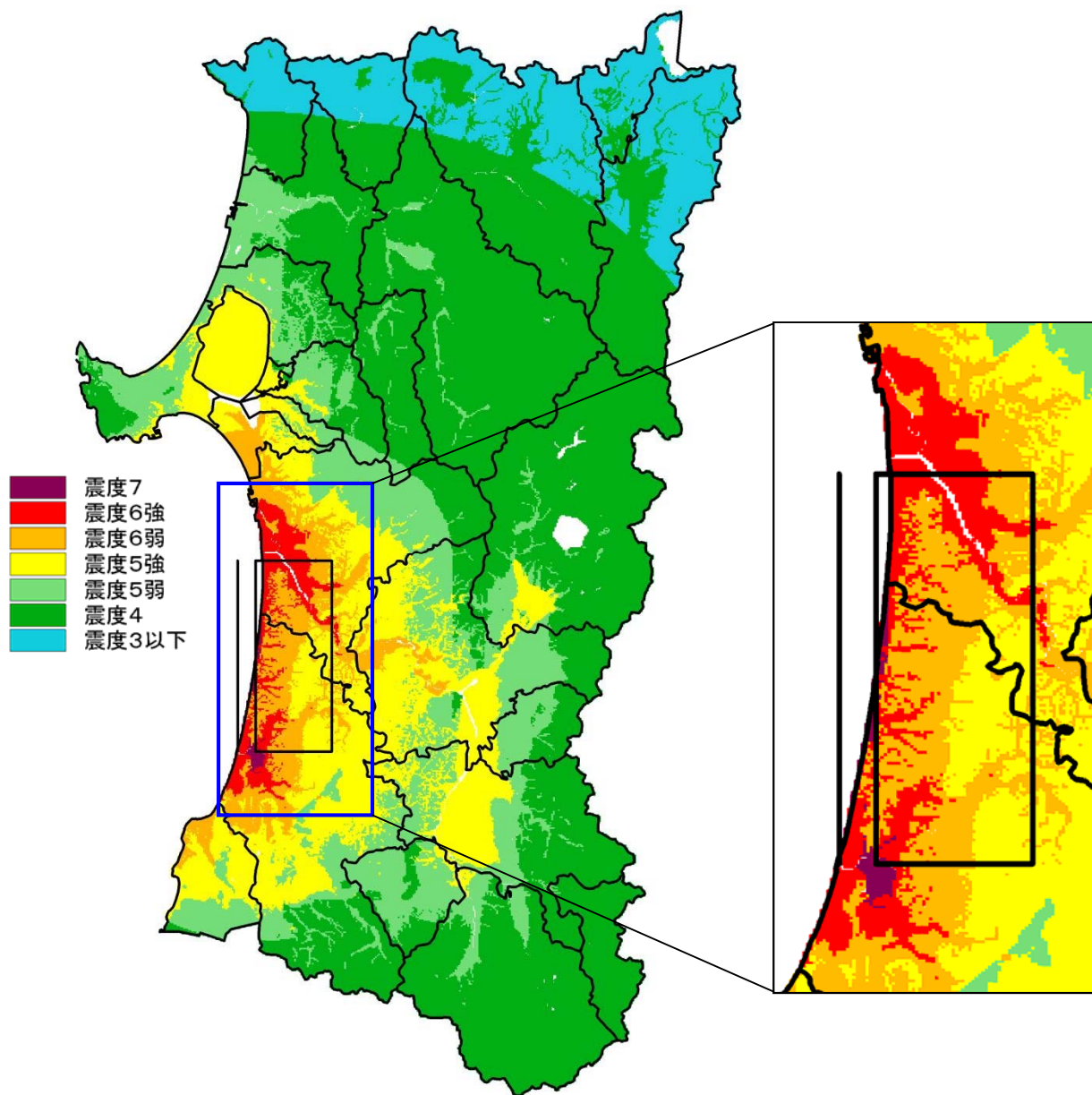


図-4.5.6 震度分布図(簡易法)

(7) 秋田仙北地震(M=7.3) 簡易法

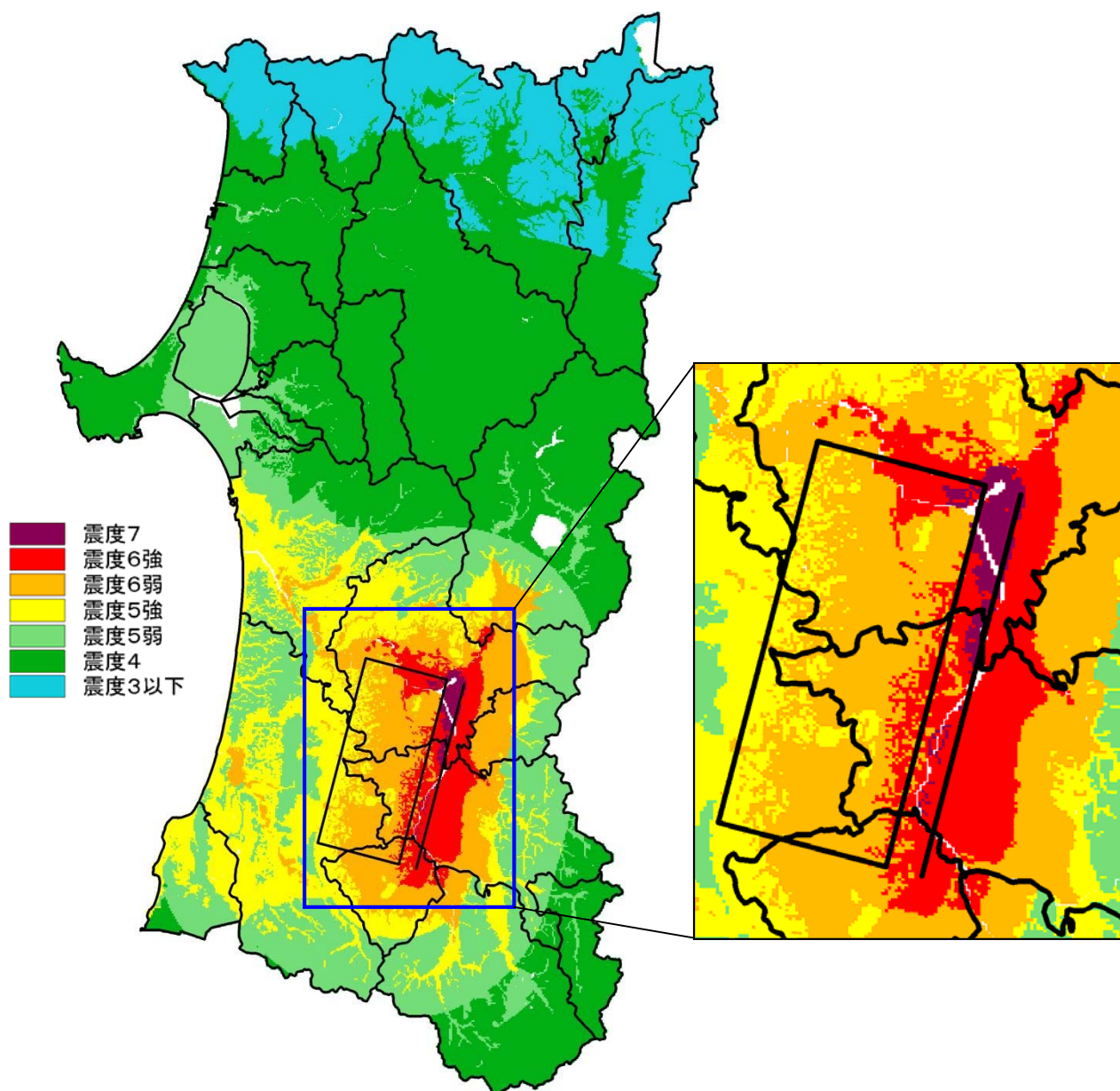


図-4.5.7 震度分布図(簡易法)

(8) 横手盆地東縁断層帯北部(M=7.2) 簡易法

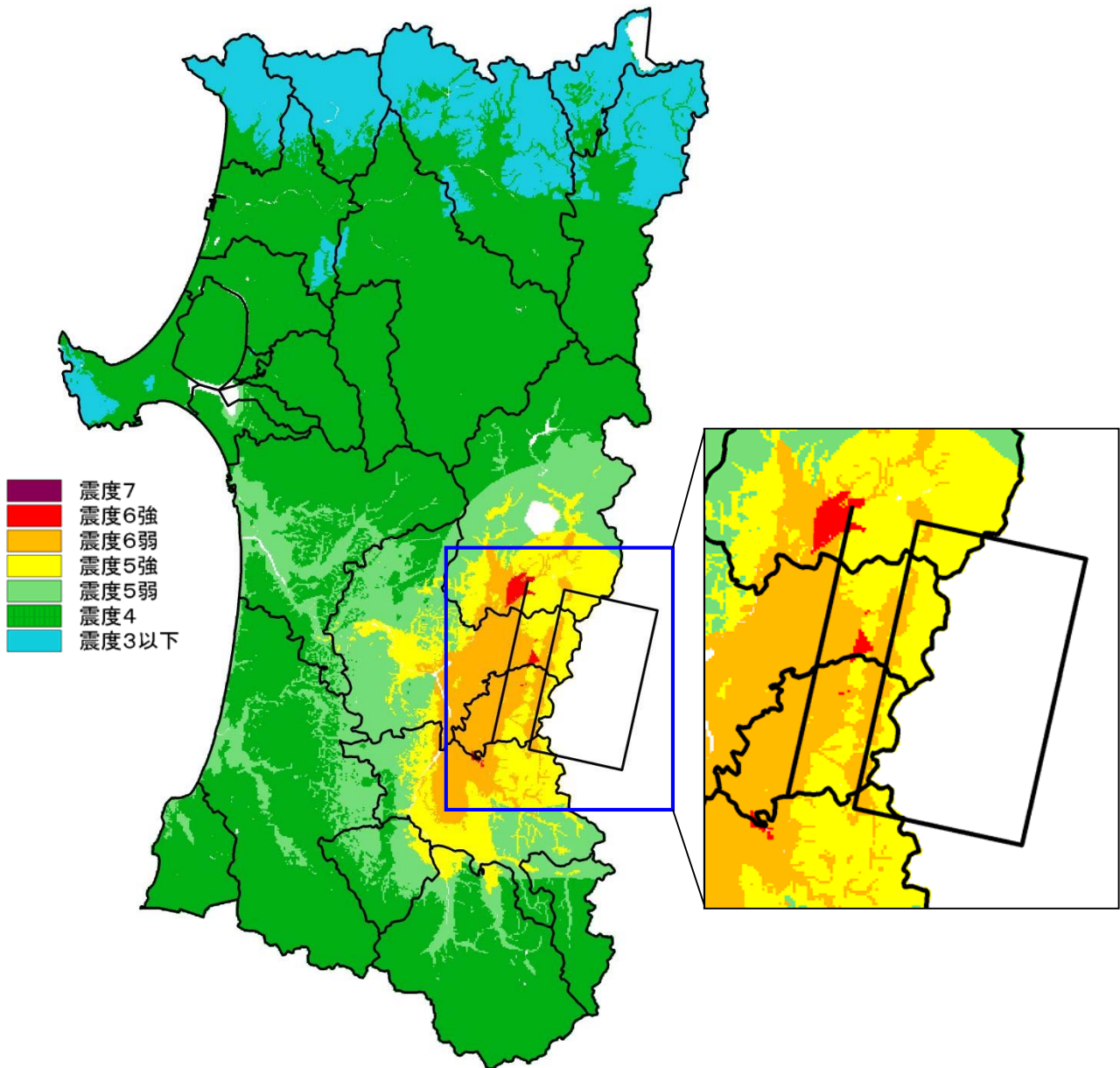


図-4.5.8 震度分布図(簡易法)

(9) 横手盆地東縁断層帯南部(M = 7.3) 簡易法

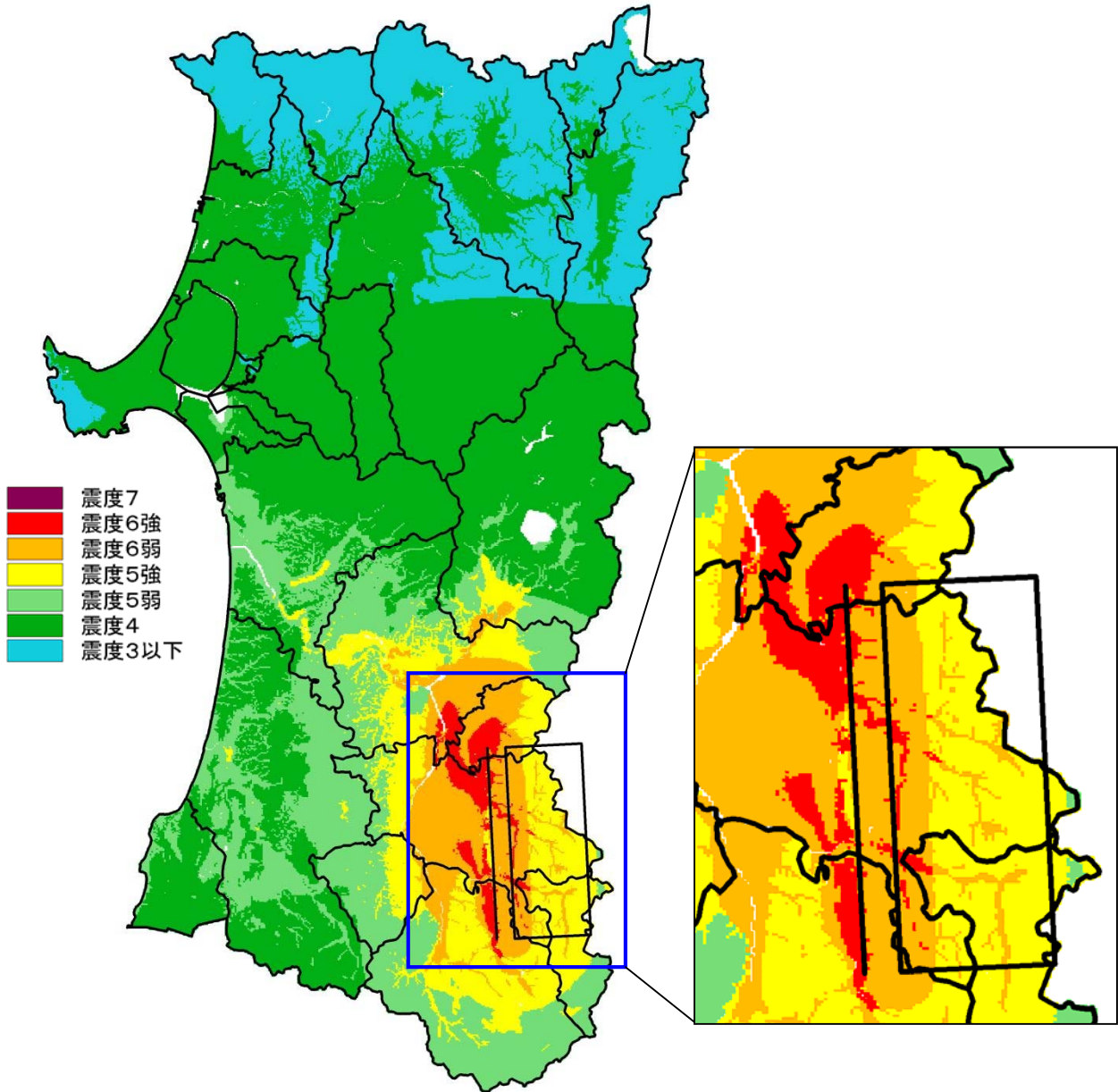


図-4.5.9 震度分布図(簡易法)

(10) 真昼山地東縁断層帯北部(M = 7.0) 簡易法

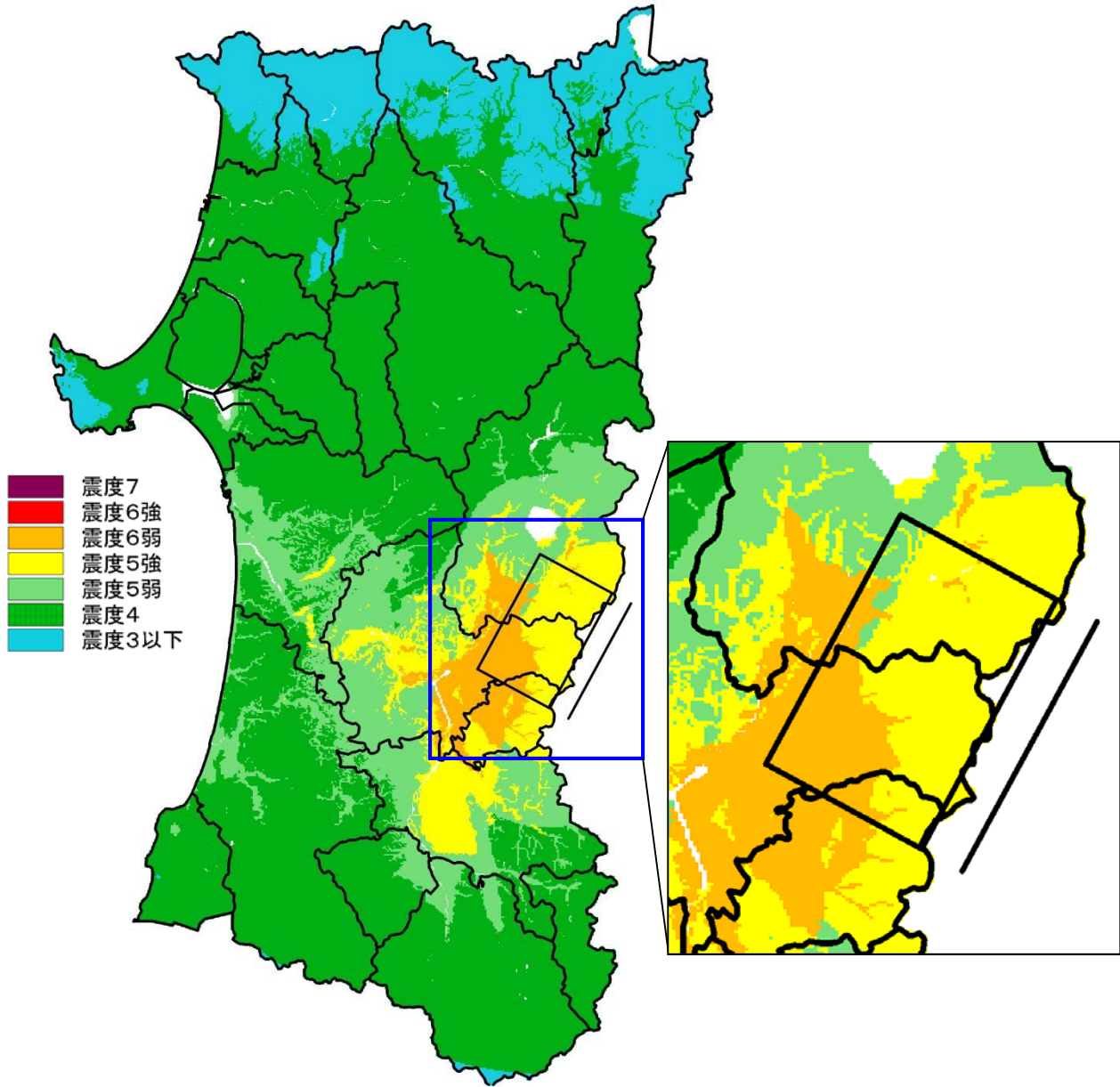


图-4.5.10 震度分布图(簡易法)

(11) 真昼山地東縁断層帯南部(M = 6.9) 簡易法

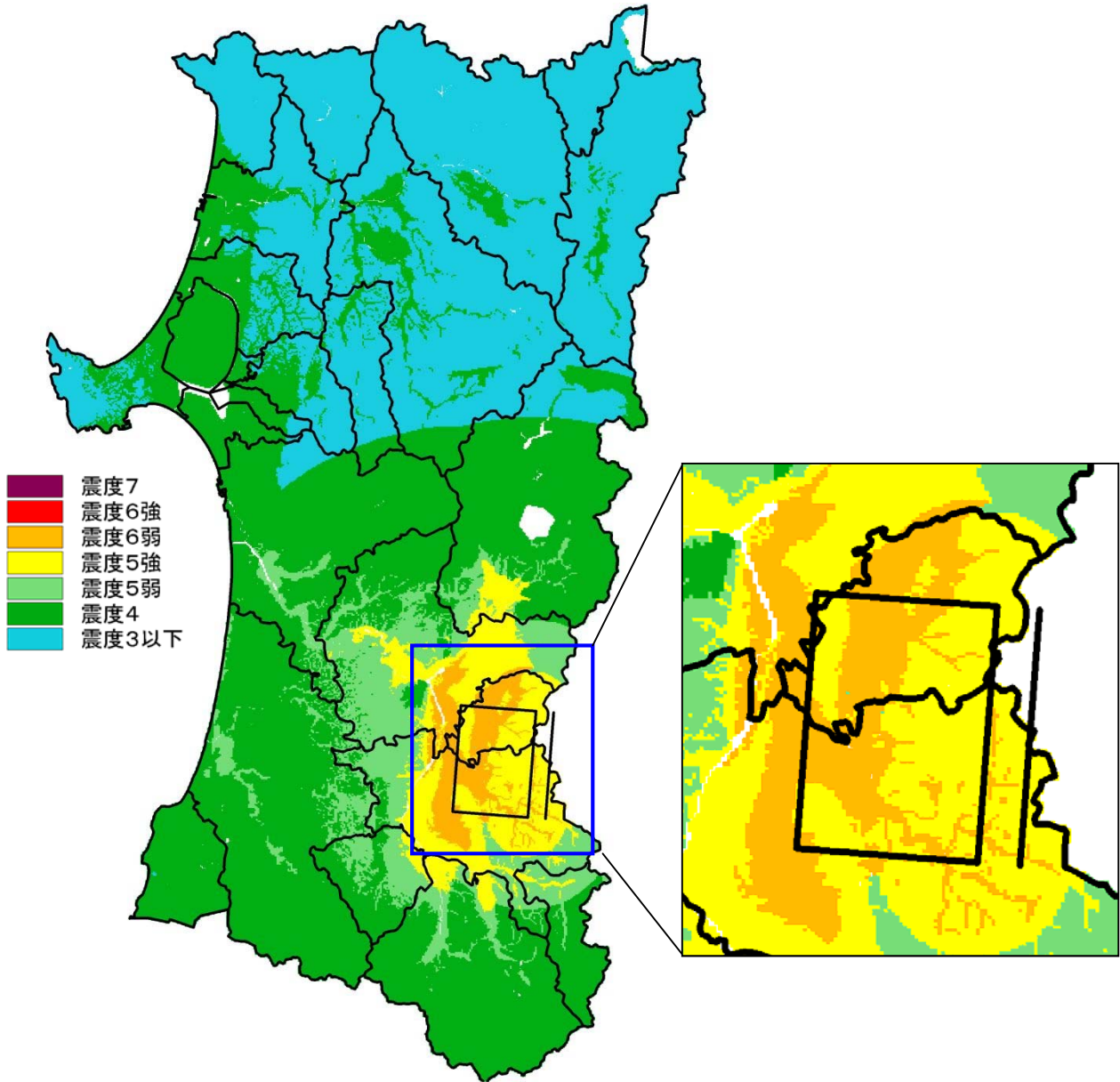


図-4.5.11 震度分布図(簡易法)

(12) 象潟地震(M=7.3) 詳細法

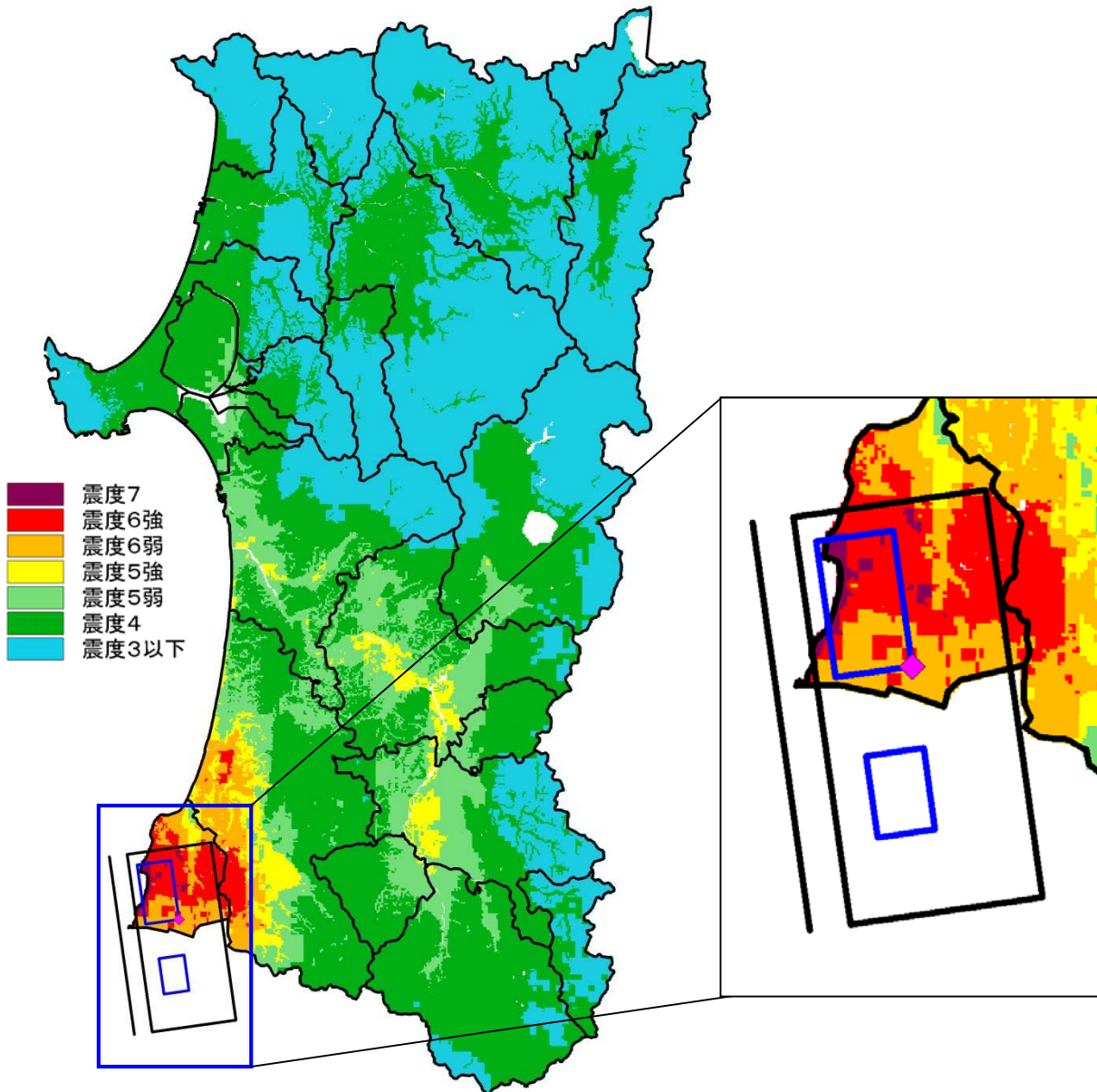


図-4.5.12 震度分布図(詳細法)
(青枠：アスペリティの位置、ひし形：破壊開始点の位置)

(13) 横手盆地 真昼山地運動(M=8.1) 詳細法

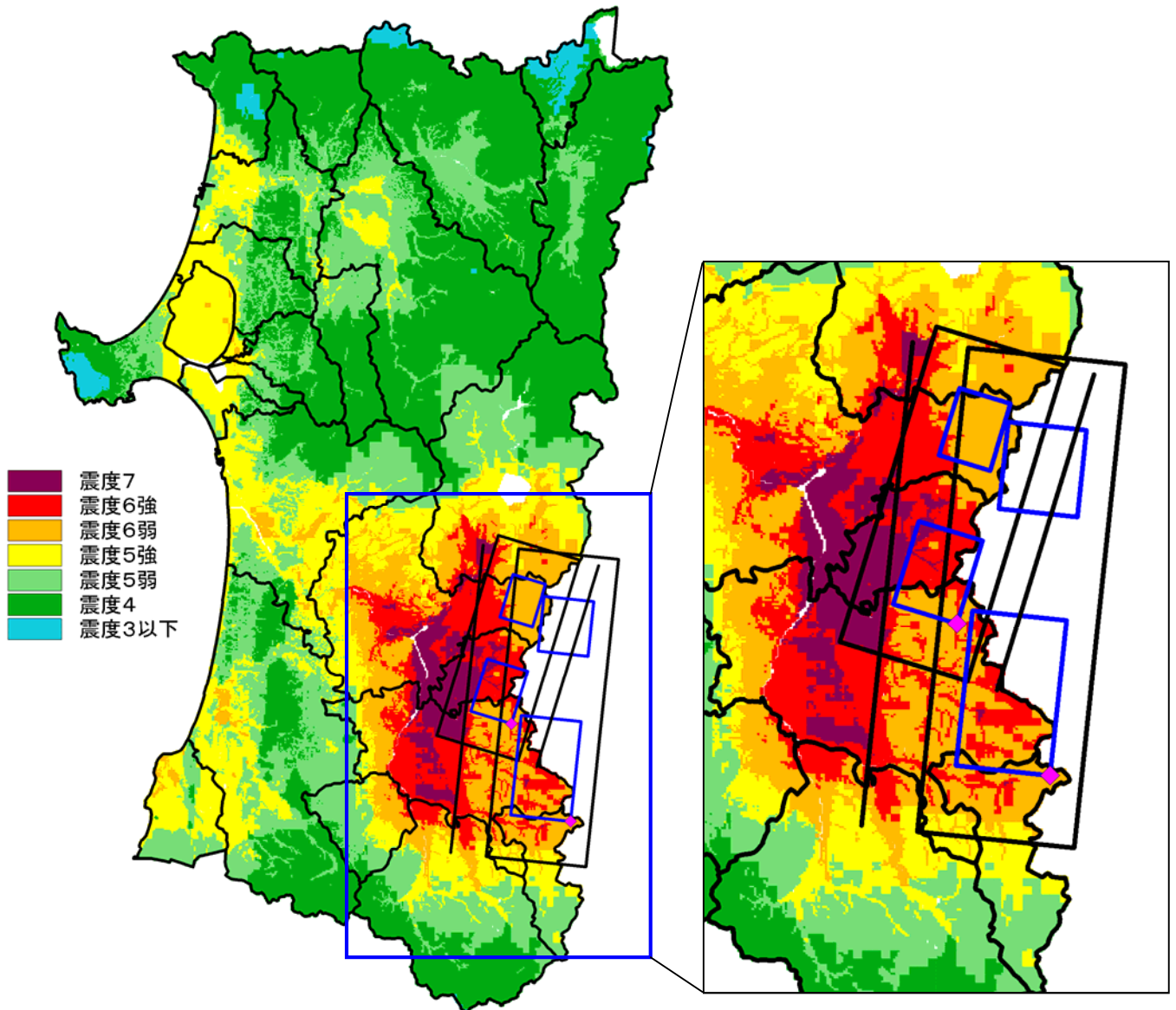


図-4.5.13 震度分布図(詳細法)

(青枠：アスペリティの位置、ひし形：破壊開始点の位置)

(14) 秋田仙北地震震源北方 秋田仙北地震連動(M=7.7) 詳細法

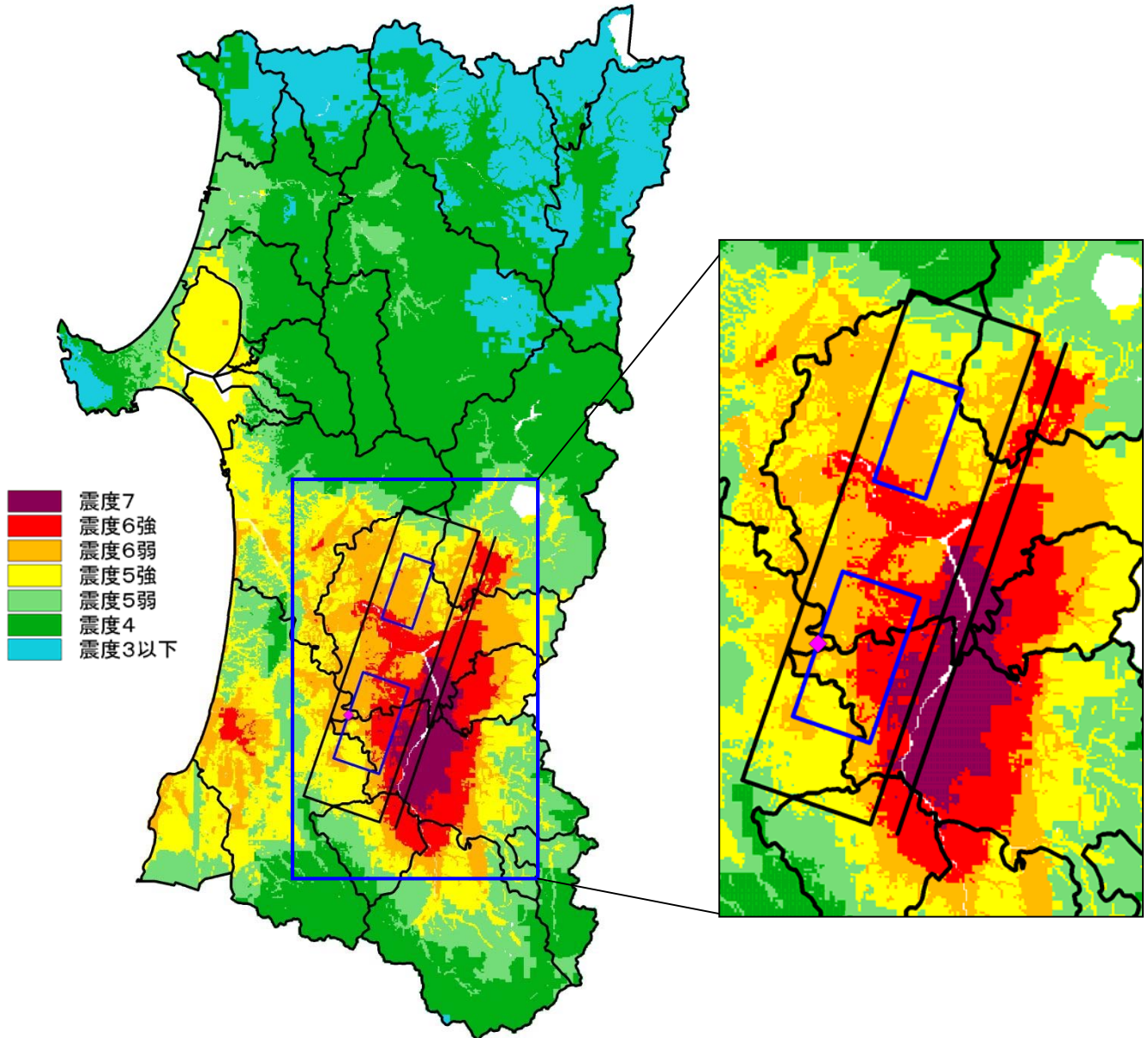


図-4.5.14 震度分布図(詳細法)
(青枠：アスペリティの位置、ひし形：破壊開始点の位置)

(15) 天長地震 北由利断層連動(M=7.8) 詳細法

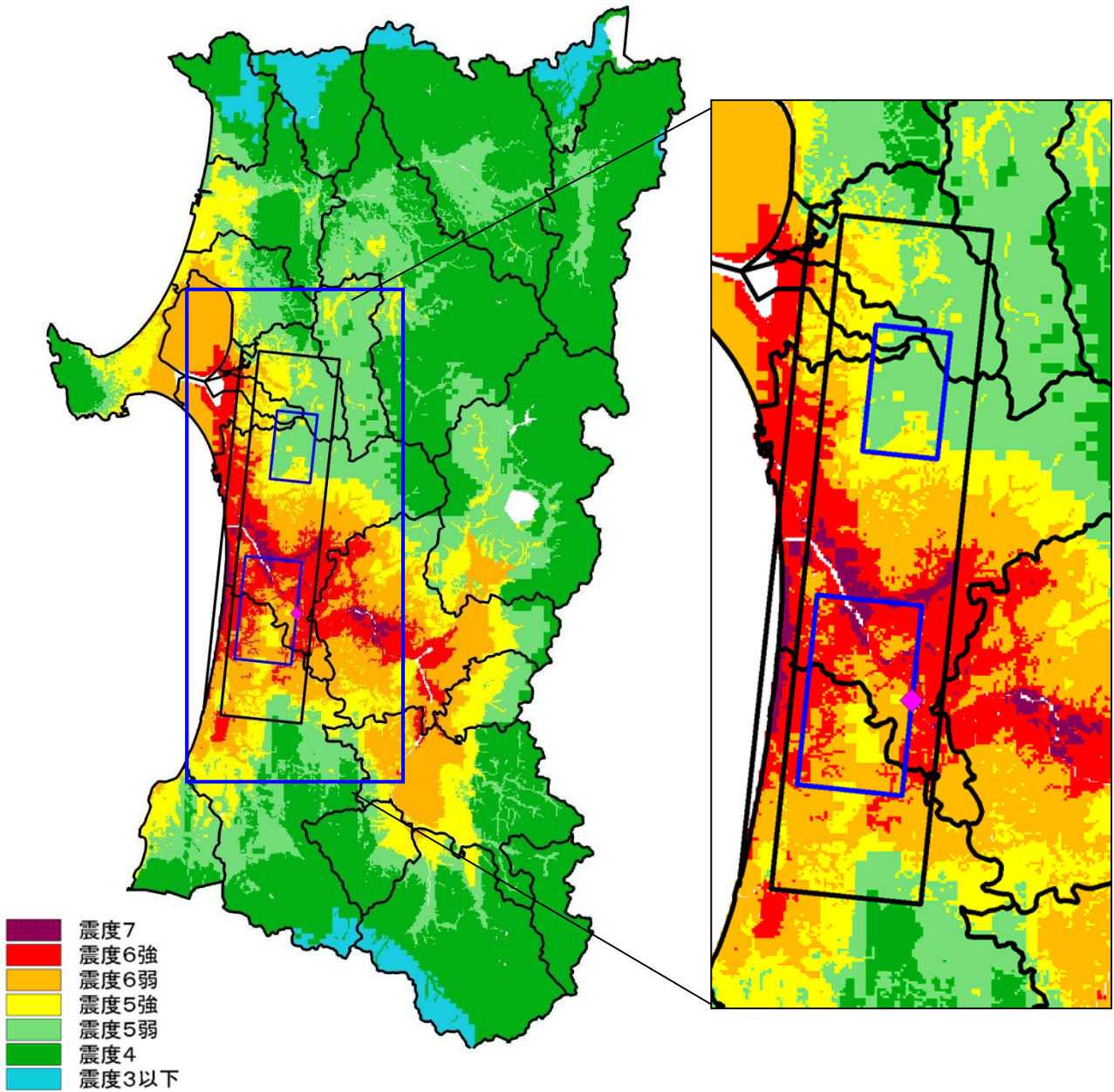


図-4.5.15 震度分布図(詳細法)
(青枠：アスペリティの位置、ひし形：破壊開始点の位置)

(16) 津軽山地西縁断層帯南部(M = 7.1) 簡易法

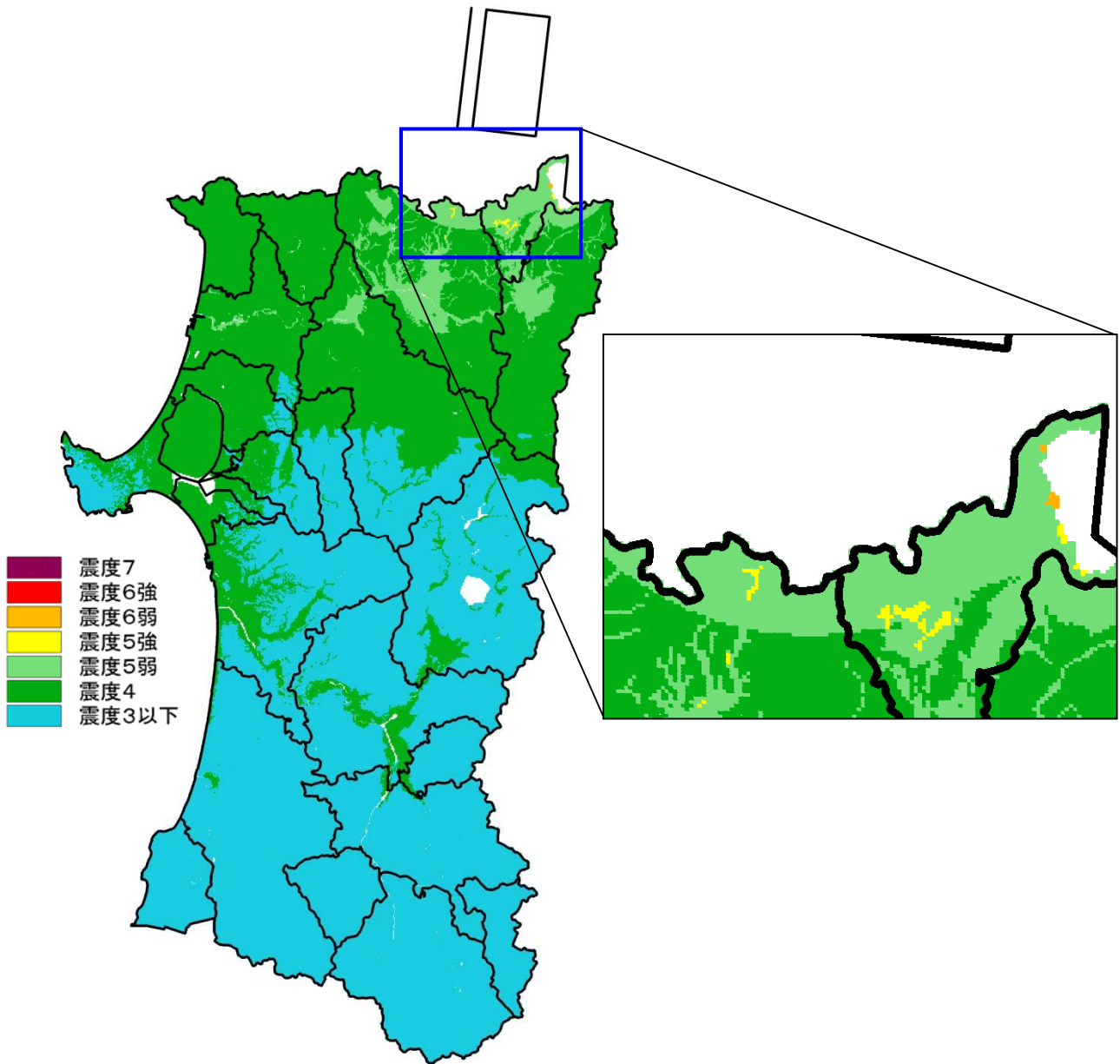


図-4.5.16 震度分布図(簡易法)

(17) 折爪断層(M=7.6) 詳細法

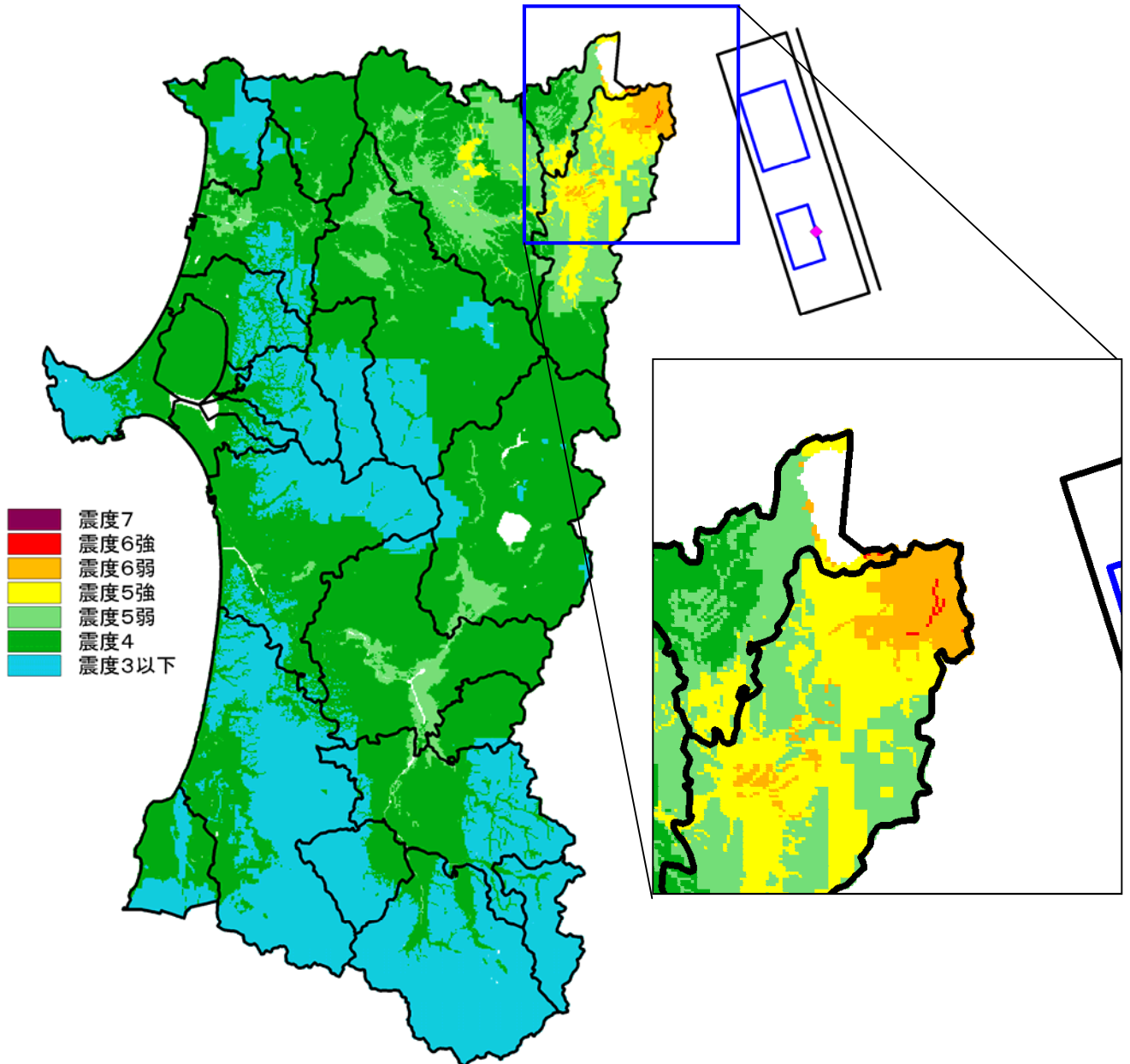


図-4.5.17 震度分布図(詳細法)
(青枠：アスペリティの位置、ひし形：破壊開始点の位置)

(18) 雫石盆地西縁断層帯(M=6.9) 簡易法

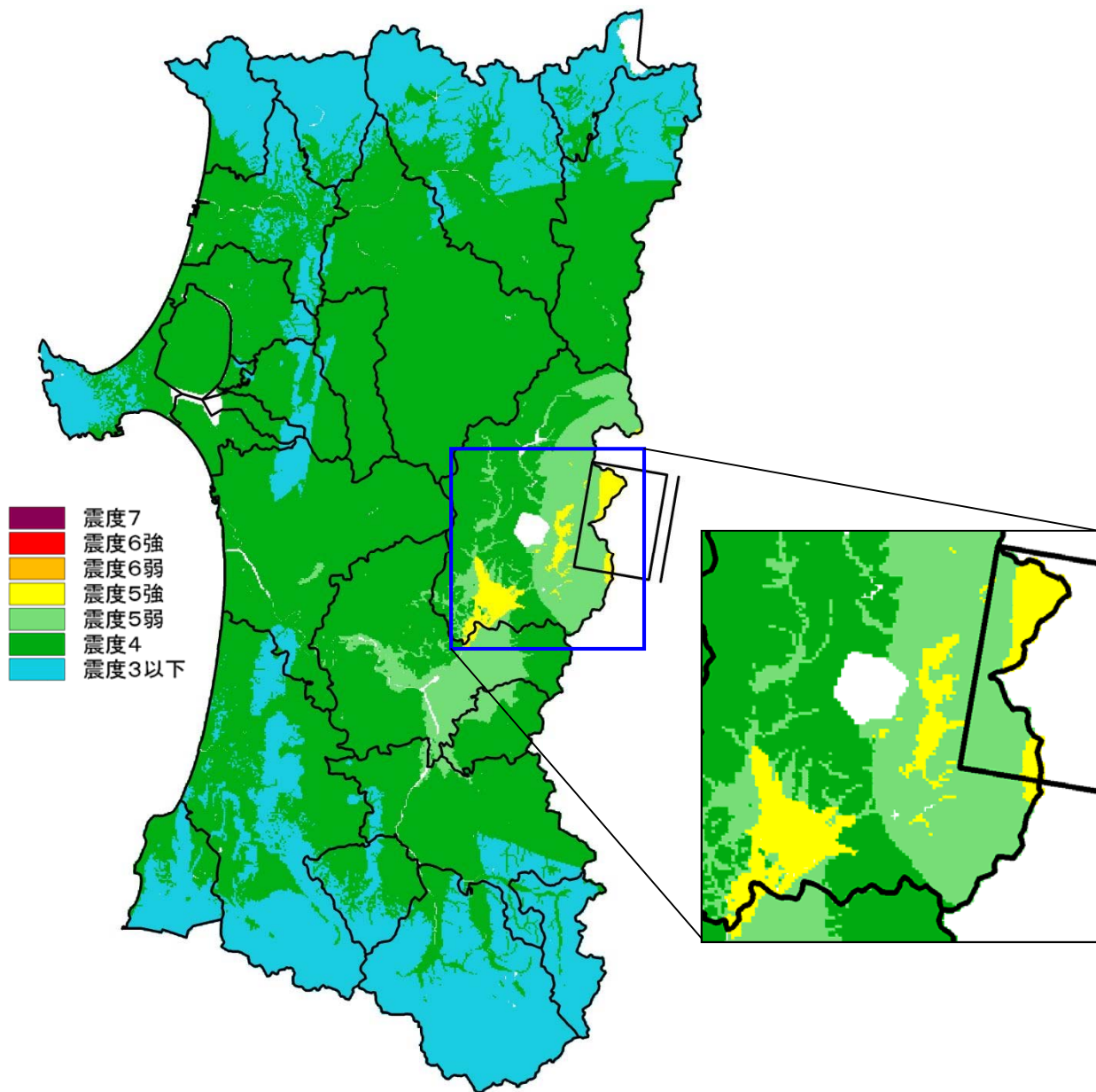


図-4.5.18 震度分布図(簡易法)

(19) 北上低地西縁断層帯(M=7.8) 簡易法

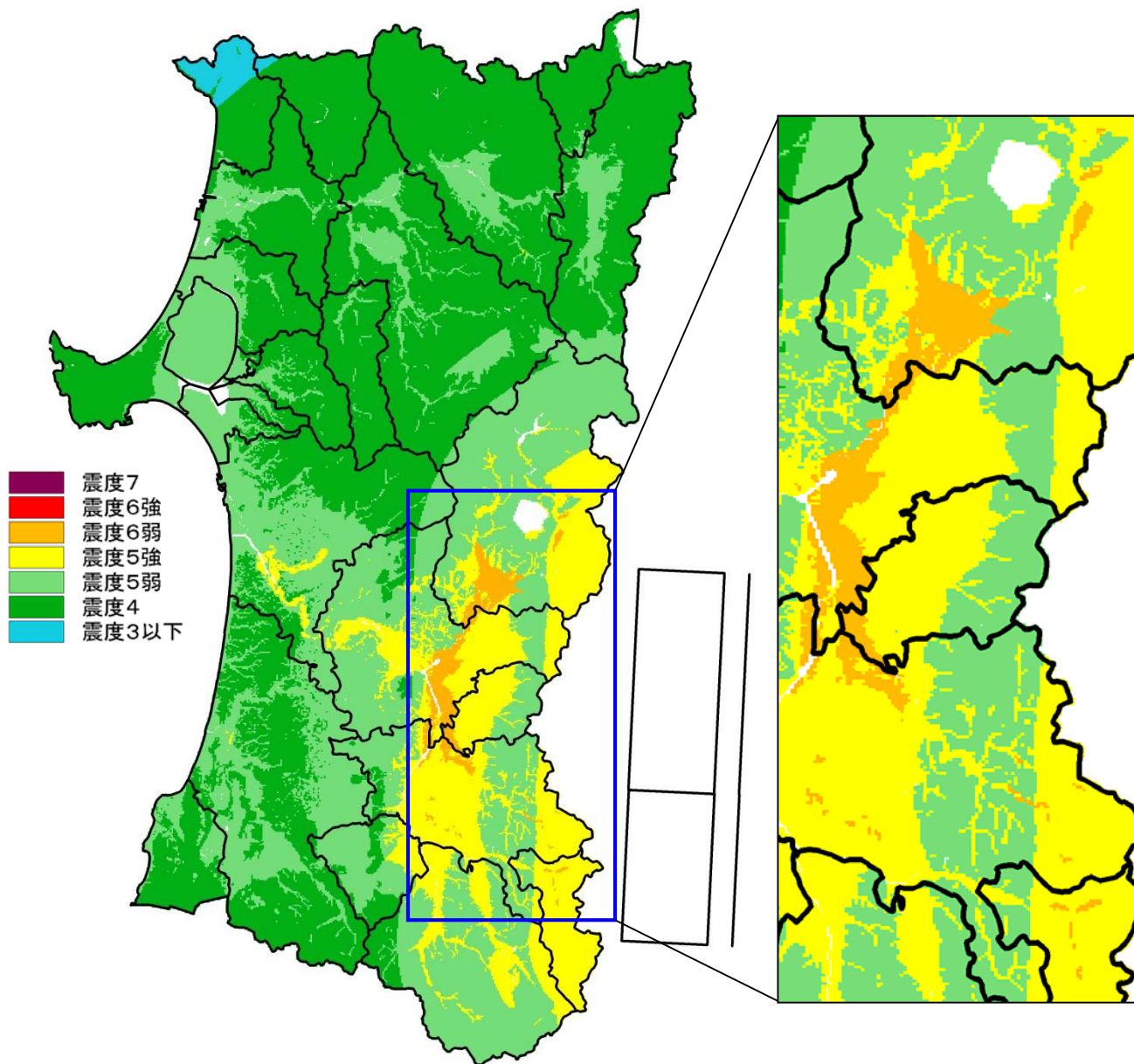


図-4.5.19 震度分布図(簡易法)

(20) 庄内平野東縁断層帯(M=7.5) 簡易法

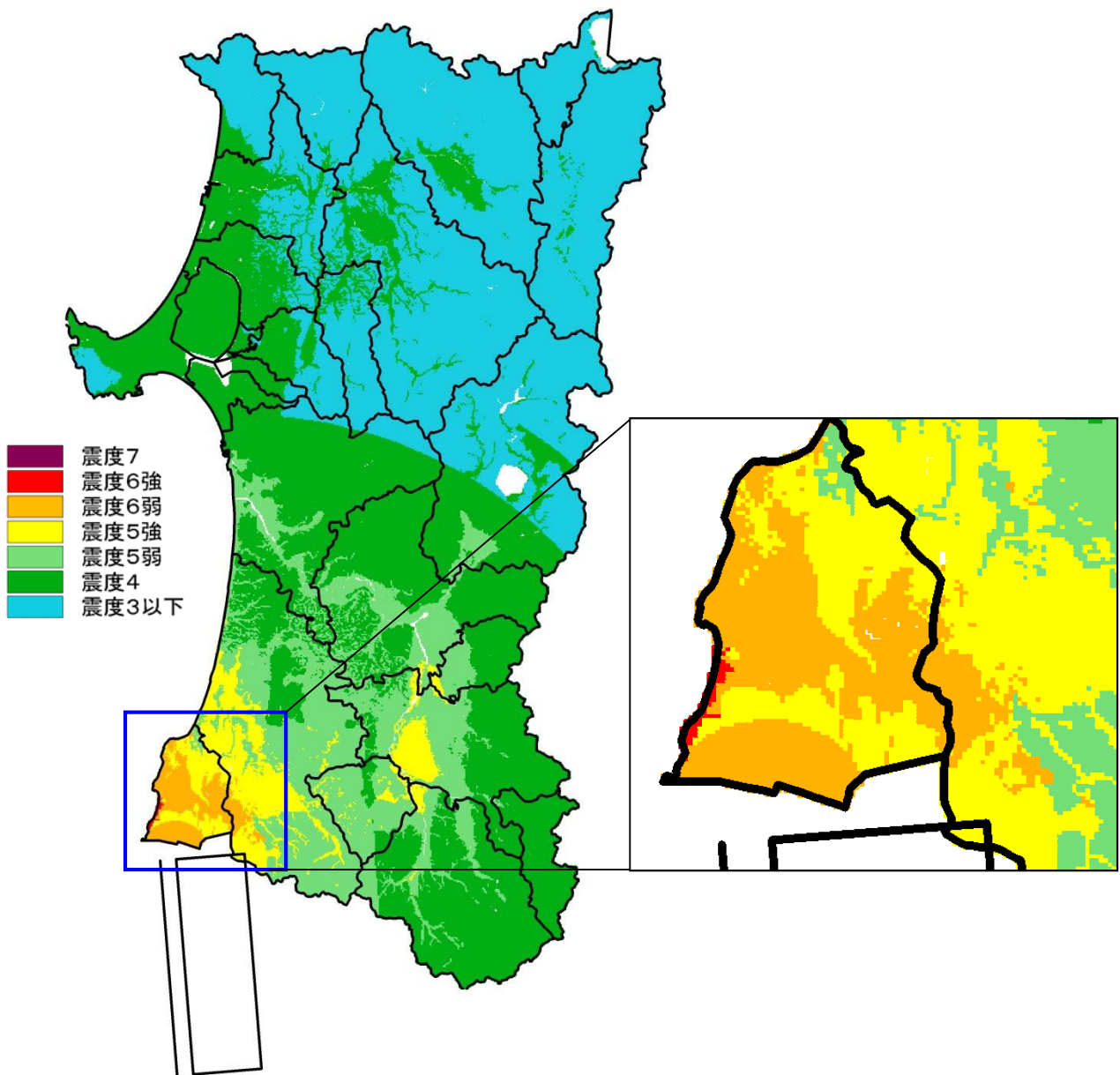


図-4.5.20 簡易法による震度分布図(簡易法)

(21) 新庄盆地断層帯(M=7.1) 簡易法

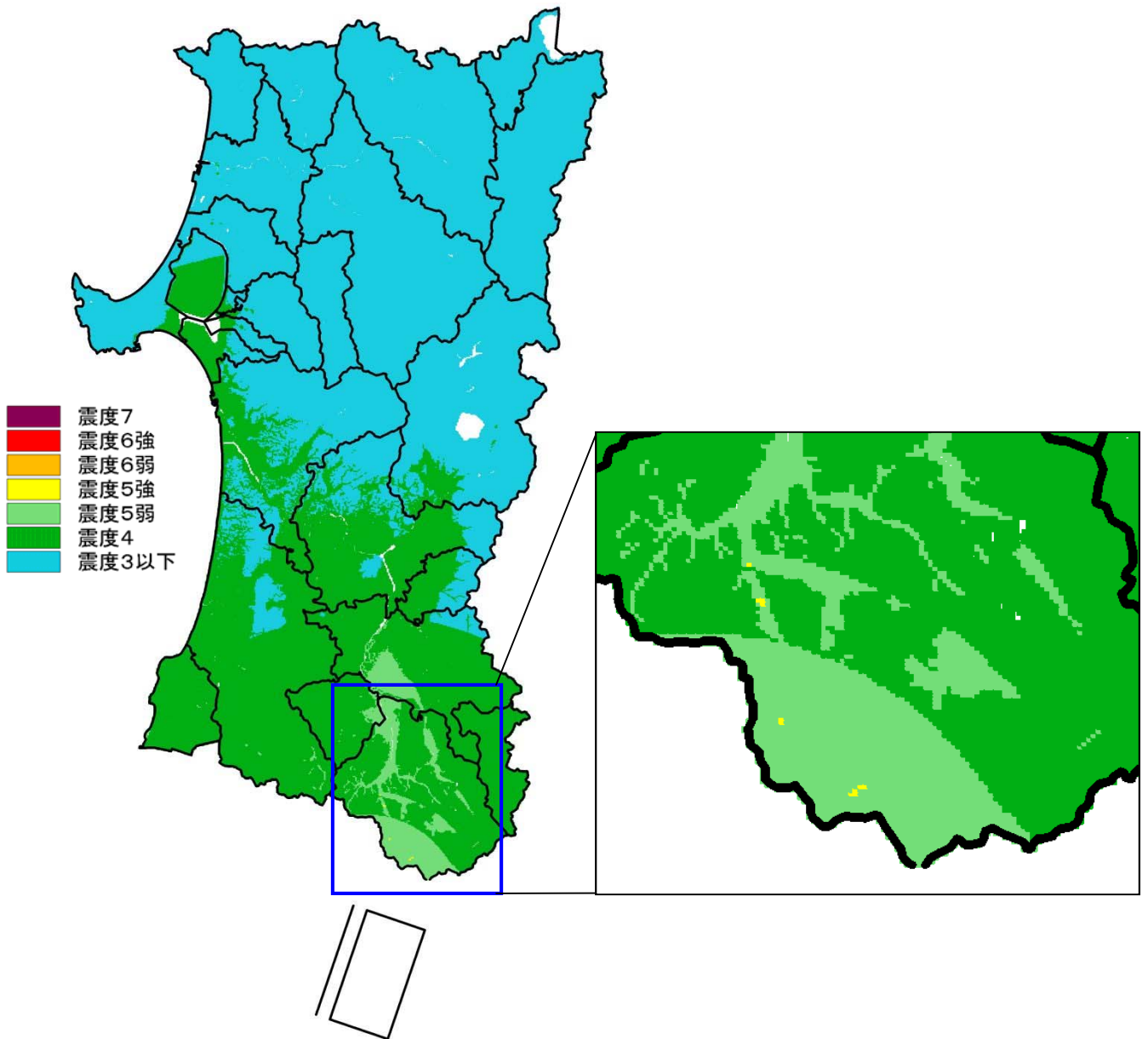


図-4.5.21 震度分布図(簡易法)

(22) 海域 A(M=7.9) 簡易法

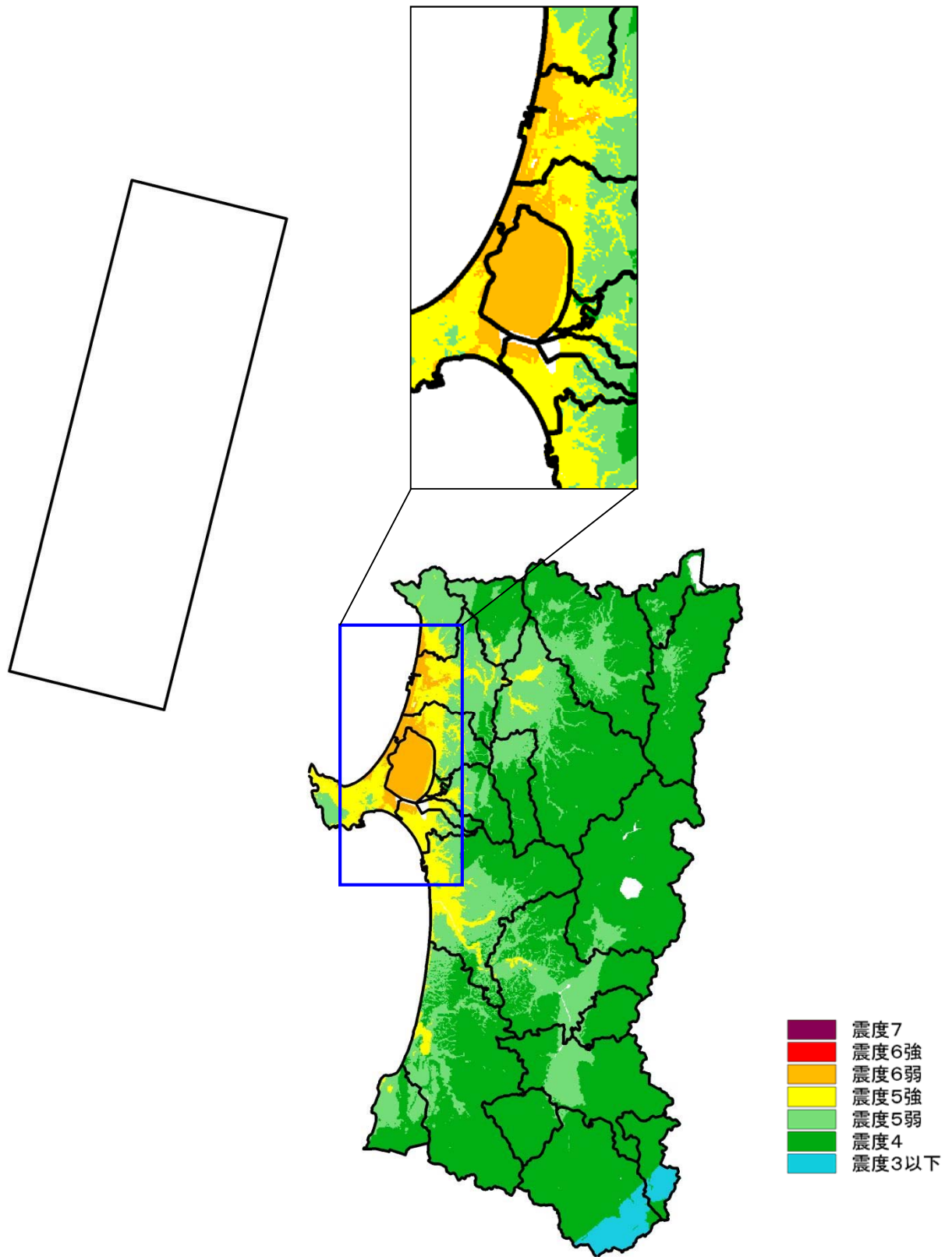


図-4.5.22 震度分布図(簡易法)

(23) 海域 B(M=8.0) 詳細法

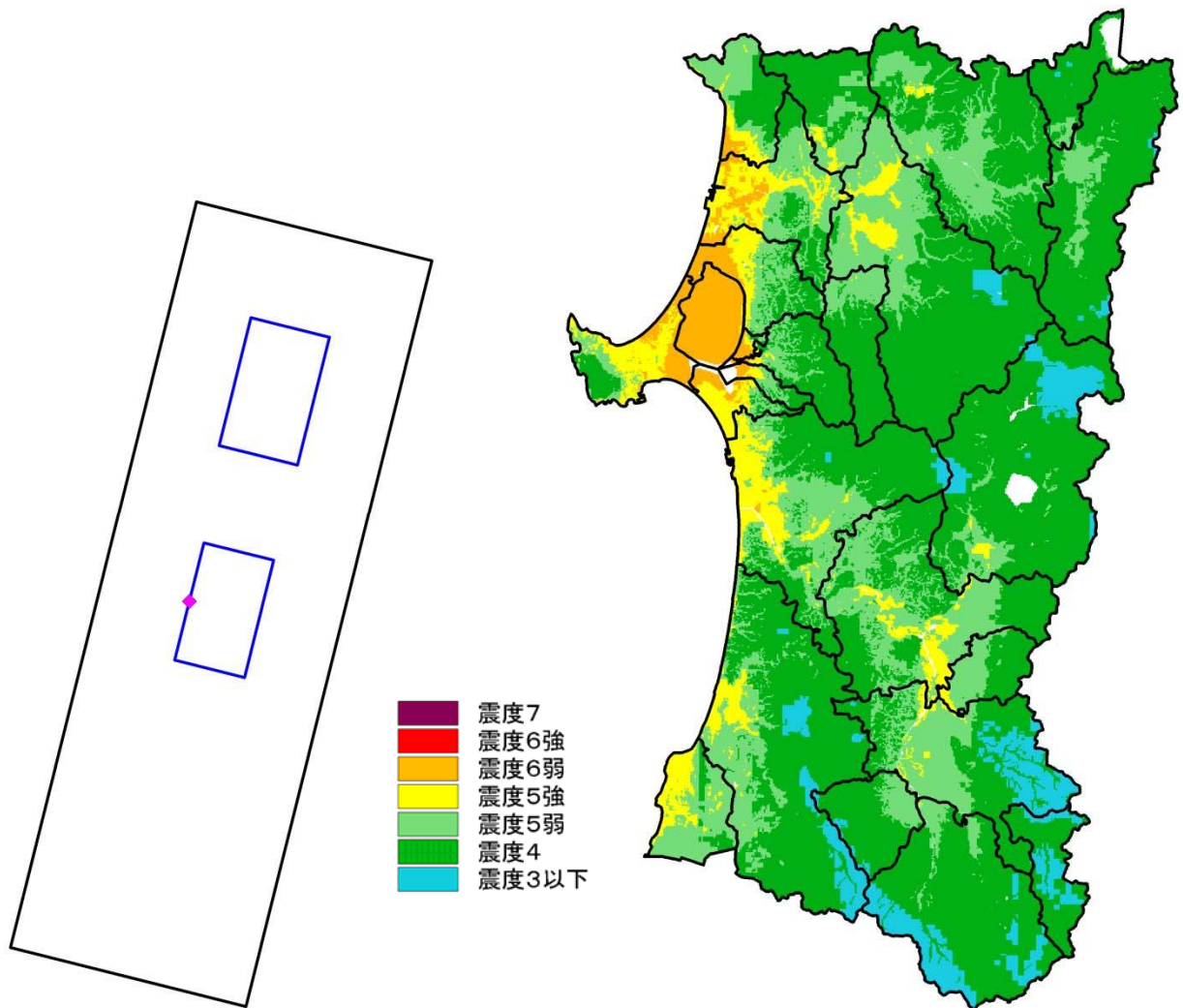


図-4.5.23 震度分布図(詳細法)

(青枠：SMGA(アスペリティ)の位置、ひし形：破壊開始点の位置)

(24) 海域 C(M=7.5) 簡易法

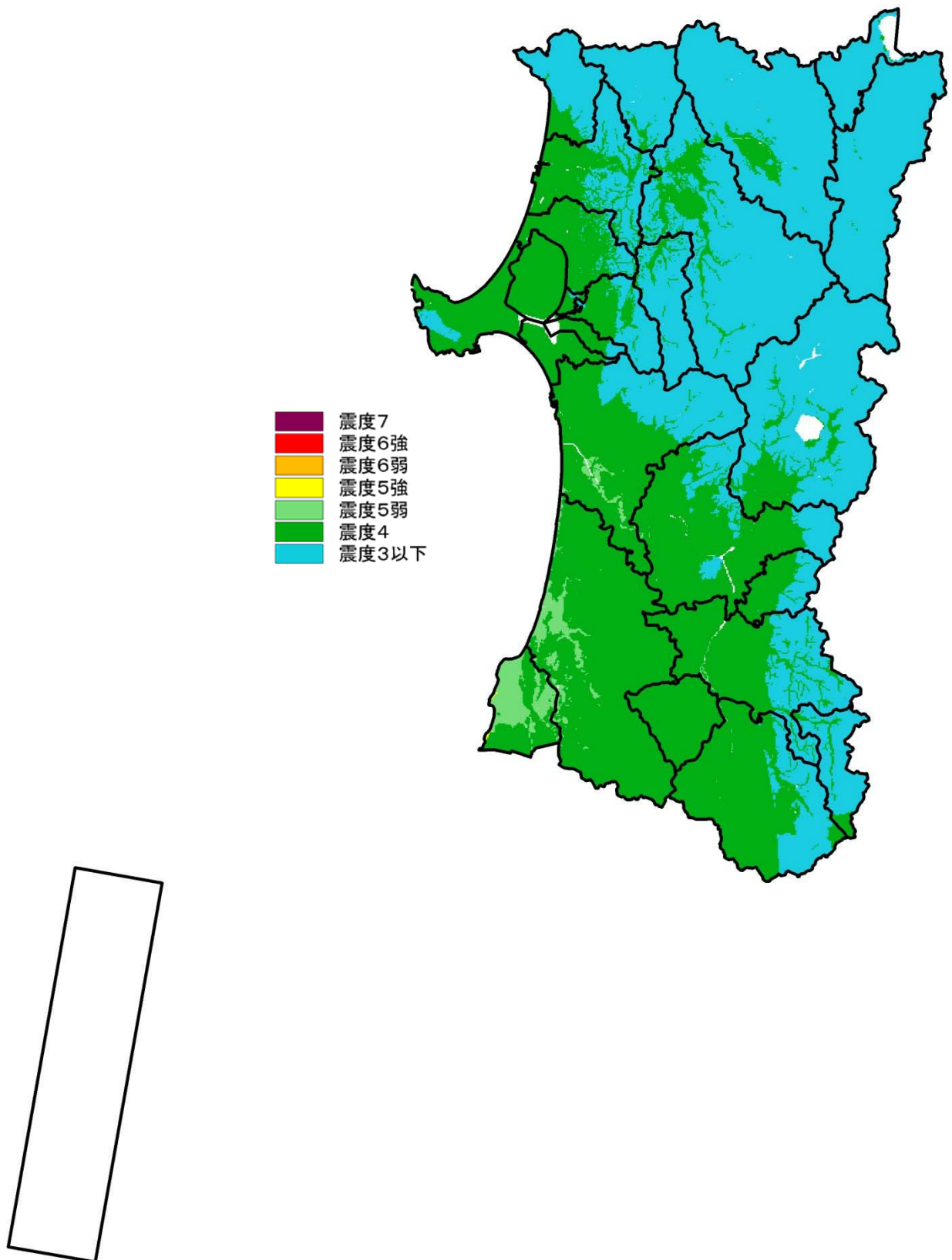


図-4.5.24 震度分布図(簡易法)

(25) 海域 A+B(M = 8.5) 詳細法

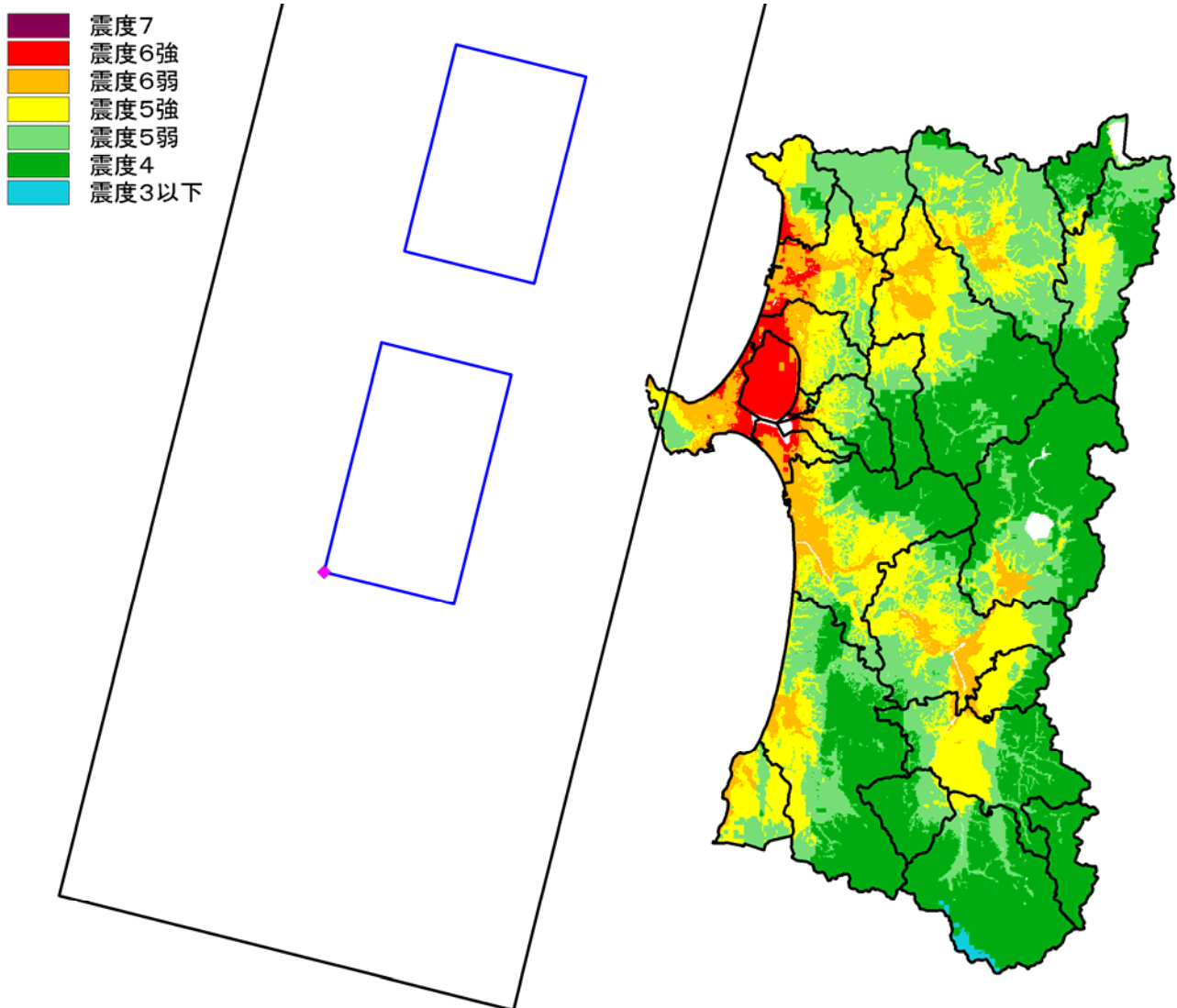


図-4.5.25 震度分布図(詳細法)

(青枠：SMGA(アスペリティ)の位置、ひし形：破壊開始点の位置)

海域 A+B は、震度曝露人口の算定結果から詳細法の選定 10 パターンには含まれなかったが、委員会における指摘から詳細法を実施することとした。

(26) 海域 B+C(M = 8.3(M_w = 8.0 で評価)) 簡易法

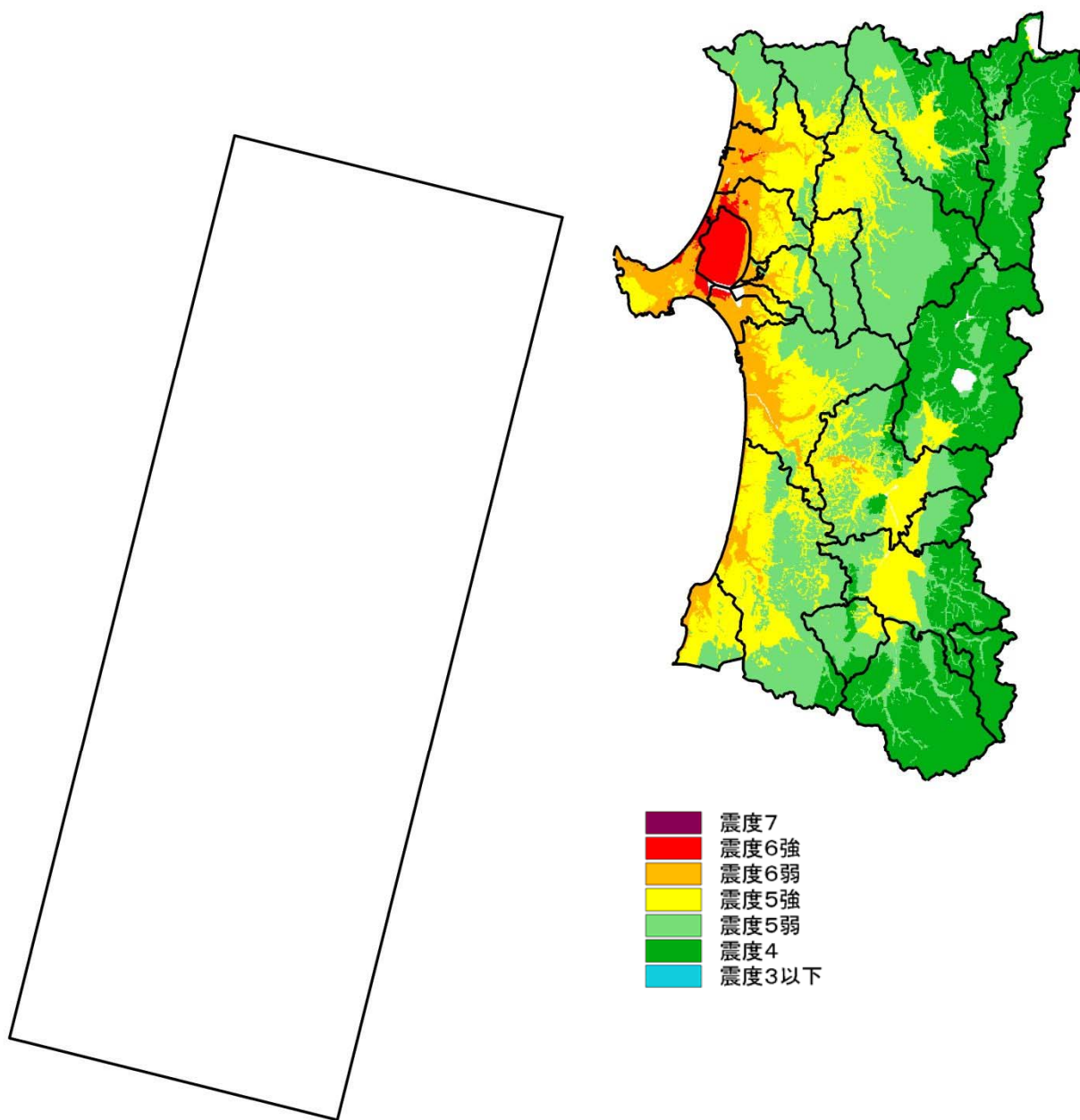


図-4.5.26 震度分布図(簡易法)

(27) 海域 A+B+C(M = 8.7) 詳細法

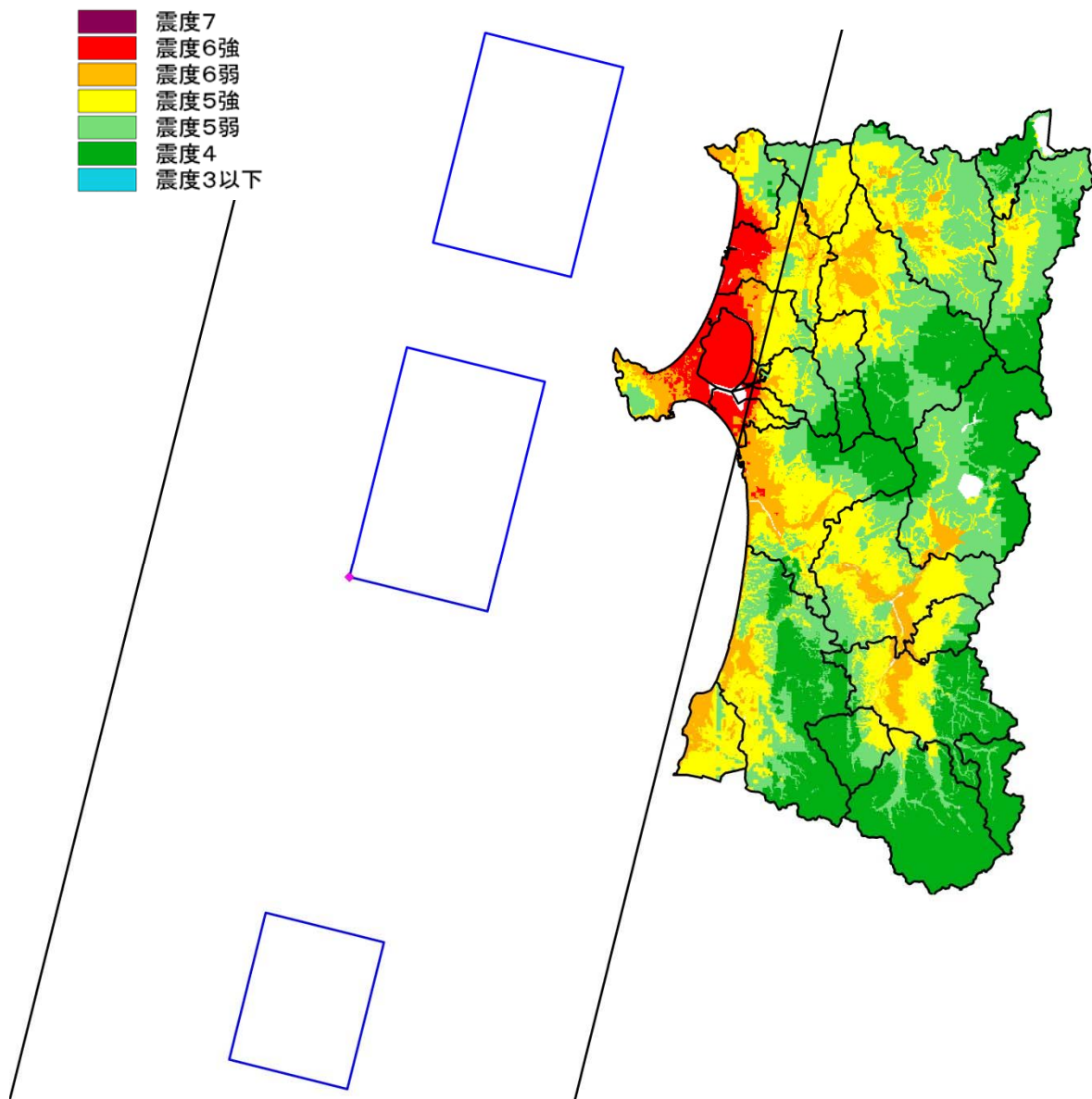


図-4.5.27 震度分布図(詳細法)

(青枠：SMGA(アスペリティ)の位置、ひし形：破壊開始点の位置)

4.6 秋田県の全ての場所に直下地震が発生した場合の震度分布

秋田県の全ての場所に直下地震(M6.9)が発生した場合の震度分布を簡易法(距離減衰式)により求めた結果を次ページに示す。この震度分布は、秋田県全域が同じ地震外力を受けている条件での結果であるため、どの地域が揺れやすいかを表現しているものである。

なお、直下地震の規模を M6.9 とした理由は、次のとおりである。

【直下地震を M6.9 とした理由】

地震を引き起こした活断層が地表で認められない地震の規模は、過去の事例をみると M6.5 以下がほとんどであるが、防災上の観点から中央防災会議では、M6 の最大である M6.9 の地震を想定することとしている。断層長さは 17.4km、断層幅は 8.7km(松田式より想定)とし、平均震源深さは 7.35km とした。

秋田県の全ての場所に直下地震(M=6.9)

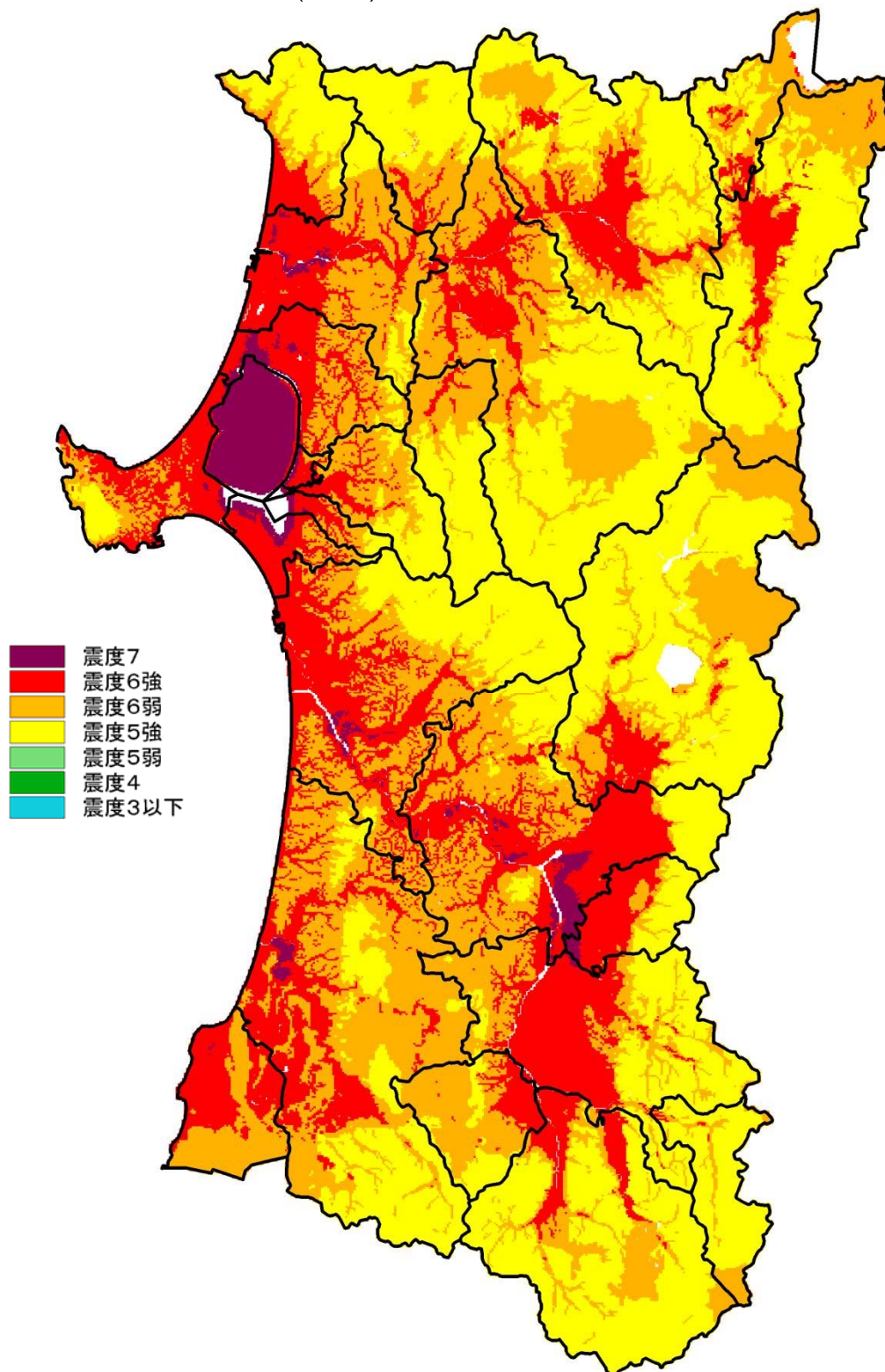


図-4.6.1 簡易法による震度分布図
(秋田県の全ての場所に直下地震 M6.9 を想定)