

大震災、M9.0)、1793年(寛政5年、M7.9※)や1978年(昭和53年、M7.4)などの宮城県沖地震、1896年(明治29年)明治三陸地震などがある。明治三陸地震は海溝寄りのプレート間地震であり、地震動の割に大きな津波を伴ったため「津波地震」であったと考えられている。

※出典によってマグニチュードが異なる場合があることに注意。

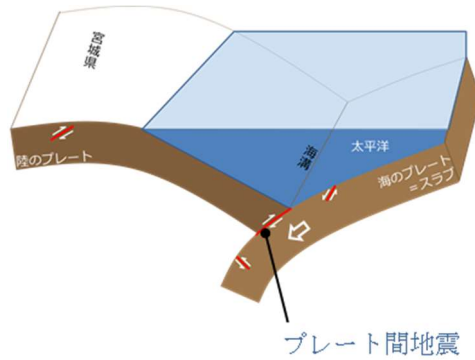


図 24 プレート間地震の模式図

後者のプレート内地震はさらに「沈み込んだプレート内の地震」と「海溝軸外側の地震」に分類され、地震学では一般に沈み込んだプレート内の地震を「スラブ内地震」と、海溝軸外側の地震を「アウターライズ地震」と呼ぶ(本報告書でも以降「スラブ内地震」「アウターライズ地震」と表記する)。過去に発生した例としてスラブ内地震では2011年(平成23年)4月宮城県沖、2021年(令和3年)2月福島県沖、2022年(令和4年)3月福島県沖などがあり、東日本大震災後頻度が高まっている。アウターライズ地震の例としては、1933年(昭和8年)昭和三陸地震がある。プレート間地震の後にはアウターライズ地震が発生しやすくなるが、東日本大震災以降いまだ昭和三陸地震のようなM8級の地震が発生しておらず注意が必要である。

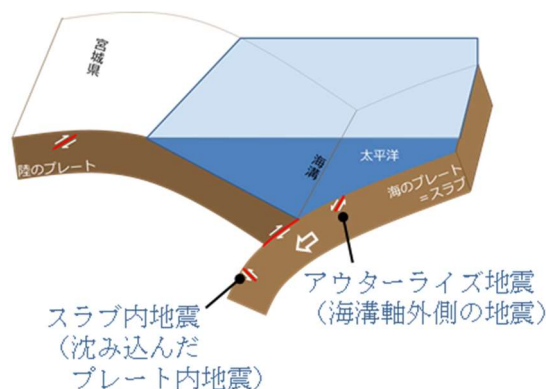


図 25 プレート内地震の模式図

内陸地震は活断層により発生する地震である（図 26）。長期評価の対象となっている県内の断層は長町 - 利府線断層帯、福島盆地西縁断層帯、双葉断層の 3 つであり、本県では長町 - 利府線断層帯による地震を第二次調査から対象としている。ただし、2003 年（平成 15 年）宮城県北部※の地震、2008 年（平成 20 年）岩手・宮城内陸地震など、長期評価に含まれておらず、それまで知られていなかった断層による地震も発生していることに注意が必要である。

※気象庁は 2006 年（平成 18 年）10 月 2 日に震央地名の一部を見直しており、この地震の現在の震央地名は「宮城県中部」である。

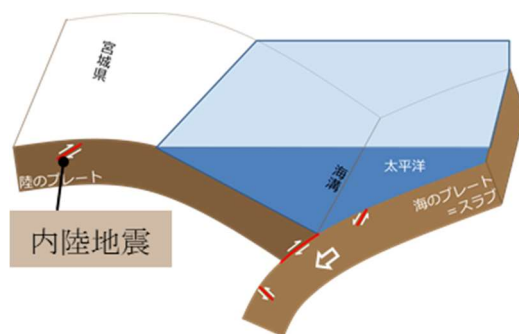


図 26 内陸地震の模式図

2.2.3. 国による検討

日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会では、過去約 6 千年間における津波堆積物資料を基本に巨大地震を推定（図 27）し、岩手県から北海道の日高支庁以西の海岸領域及び北海道の十勝支庁から根室支庁にかけての海岸領域でそれぞれ最大クラスの地震・津波の発生が切迫している状況にあると判断している。



図 27 千島海溝モデルと日本海溝モデル（内閣府資料）

2.2.4. 宮城県に大きな被害をもたらす地震

地震本部等の評価をもとに、本県に大きな被害をもたらさうる地震を整理したのが表 9 である。

表 9 宮城県に大きな被害をもたらさうる地震

海溝型地震	
	プレート間地震（海のプレートと陸のプレートとの間のずれによって生じる地震）
	東北地方太平洋沖地震型 超巨大地震 M=9.0 程度 今後 30 年以内の地震発生確率：ほぼ 0%
	日本海溝モデル Mw=9.1 切迫性が高まっている(内閣府)
	千島海溝モデル Mw=9.3 切迫性が高まっている(内閣府) 今後 30 年以内の地震発生確率：7~40% (M8.8 程度以上)
	宮城県沖地震 今後 30 年以内の地震発生確率：20%程度 (M7.9 程度) 90%程度 (M7.0~7.5 程度) 70~80% (M7.4 前後、陸寄り)
	津波地震等 Mt8.6~9.0 今後 30 年以内の地震発生確率：30%程度 (津波マグニチュード)
	スラブ内地震 M7.0~7.5 程度 今後 30 年以内の地震発生確率：60~70% ※2011.4、2021.2、2022.3 など震災後頻発
	アウターライズ地震 M8.2 前後 今後 30 年以内の地震発生確率：7%
内陸地震（地震本部が長期評価している 3 つの地震を記載）	
	長町 - 利府線断層帯 M7.0~7.5 程度 今後 30 年以内の発生確率：1%以下
	福島盆地西縁断層帯 M7.8 程度 今後 30 年以内の発生確率：ほぼ 0%
	双葉断層 M6.8~7.5 程度 今後 30 年以内の発生確率：ほぼ 0%

※この表に記載している確率は地震本部によるもので、令和 5 年 1 月 1 日現在。
東北地方太平洋沖地震による影響などによりこの数値よりも高い可能性がある。

最大クラスの地震は日本海溝モデル、千島海溝モデル、東北地方太平洋沖地震の 3 つがあり、宮城県にとって最も大きい被害をもたらすものは震源が近い東北地方太平洋沖地震であると想定される。一方、日本海溝モデル・千島海溝モデルは発生間隔・最後の津波発生時期等を勘案すると切迫性が高いと考えられており、法律改正をはじめとした各種対策が講じられている最中である。

これら3つの地震は津波に関しては最大クラスであるが、震度については必ずしも最大とは言えない。東日本大震災後発生頻度が高まっているスラブ内地震や内陸地震はマグニチュードが7クラスであっても、震源が近いことから強い揺れを起こしうる。

2.3. 被害想定の対象とする地震の選定

2.3.1. 基本的な考え方

防災基本計画によれば、被害想定は被害の全体像の明確化及び広域的な防災対策の立案の基礎のために具体的な被害を算定するもの（①）とされている。また、対象となる地震・津波については科学的知見を踏まえ、あらゆる可能性を考慮した最大クラスのもの（②）及びその他様々なもの（③）を対象とすることとなっている。

このことから今回の被害想定の対象とする地震は、まず②の観点から、最大クラスの地震として海溝型地震、内陸地震からそれぞれ一つずつ選定する。次に③のその他の地震についてであるが、①の観点から最大クラスよりも比較的規模が小さく、しかし頻度が高い地震に対しても防災対策立案に資する調査となるよう M8 クラス、M7 クラスの地震をそれぞれ一つずつ選定する。

2.3.2. 最大クラスの地震

海溝型地震としては、本県にとって最大の津波被害をもたらす東北地方太平洋沖地震を選定する。なお、津波計算については 2022 年（令和 4 年）5 月に公表した最大クラスの津波浸水想定 の検討結果を活用するが、強震動計算を行っていないため強震動計算は本調査にて新規に実施する。

内陸地震としては、地震本部が長期評価を行っている 3 つの地震のうち、以下の観点から長町 - 利府線断層帯地震を選定する。

- ① 仙台都市圏に存在する断層であり、県内に最も大きな強震動被害をもたらすと予想される。また、県庁など災害対策の拠点となる地域も強震動を受ける。
- ② 都市部・地方部と広域に多様な被害が発生することが予想され、県の今後の防災対策立案に最も資すると考えられる。

ただし、県内には確認されているものだけでも多くの活断層が分布しており、内陸地震により被害を受ける可能性は県内全域にある。M6.5 程度の内陸地震はどこで発生しても不思議ではないため、防災対策を行う際は注意する必要がある。

2.3.3. その他の地震

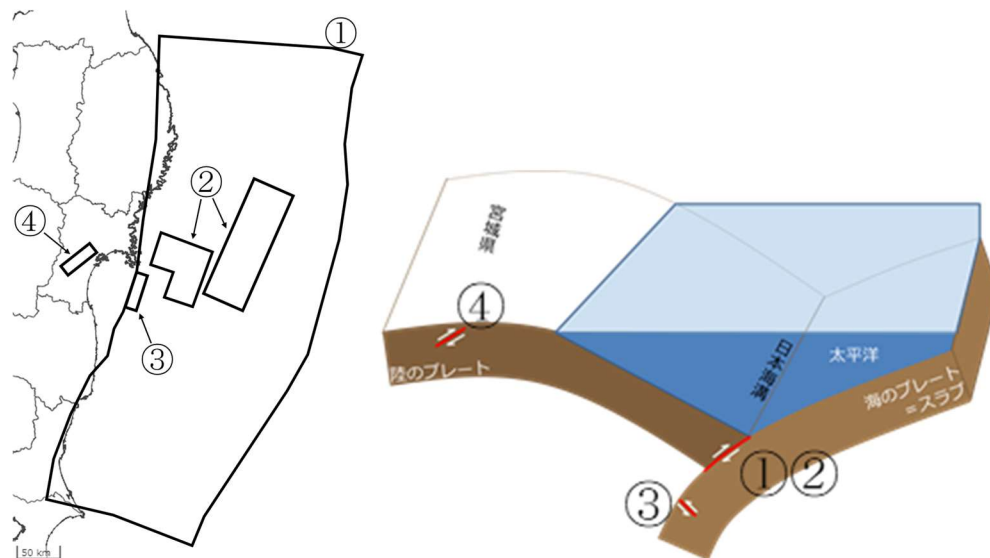
M8 クラスの地震として、地震動・津波両面の被害が想定されることや、本県にとって象徴的な地震であるという理由から宮城県沖地震（連動型）を選定する。これまでの調査では宮城県沖地震は単独型と連動型の 2 つを対象としていたが、単独型に対する防災対策はより規模の大きい連動型の被害想定に基づいた防災対策によってカバーできるため、本調査では宮城県沖地震（連動型）のみを選定する。地震本部が評価している M8 クラスの地震にはほかに昭和三陸地震のようなアウトターライズ地震、明治三陸地震のような津波地震があり、いずれも大きな津波が想定されるものの、最大クラスの津波を超えるものではないため本調査では選定しない（最大クラスの地震被害想定に基づいた防災対策によってカバーされる）。

M7 クラスの地震としては、東日本大震災後頻度が高まっていることやすでに選定した宮城県沖地震（連動型）と異なるタイプであるといった観点からスラブ内地震を選定する。地震本部が評価しているその他の M7 クラスの地震には宮城県沖地震（単独型）のようなプレート間地震があるが、前述のとおり本調査ではこれよりも規模が大きい宮城県沖地震（連動型）を選定していることから選定しない。

以上の選定結果を整理したのが表 10 であり、この 4 つの地震に対する被害想定を本調査で行う。今回選定した地震は、今後被害想定を行い、防災対策立案の基礎とするために選定した「県内の代表的な地震」である。これまでの整理のように、これ以外にも大きな被害をもたらす地震が発生しうること十分に留意する必要がある。

表 10 被害想定の対象地震と震源概要

	第四次調査 (H22～H23)		本調査 (R3～R5)	
対	宮城県沖地震 (連動型)	M8.0	①東北地方太平洋沖地震	M9.0
象	宮城県沖地震 (単独型)	M7.5	②宮城県沖地震 (連動型)	M8.0
地	長町 - 利府線断層帯地震	M7.5	③スラブ内地震	M7.5
震	明治三陸地震 (津波計算のみ)	M8.6	④長町 - 利府線断層帯地震	M7.5



2.4. 地震動・液状化の予測

2.4.1. 地震動の予測

2.4.1.1. 検討の流れ

検討の流れは以下のとおりである（図 28～図 36、表 11）。

- ① 予測評価では 250m メッシュを採用する。
 - ② 地震本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」で説明のある強震動計算のうち、国や自治体の被害想定で広く採用されている以下の方法を用いる。
 - ・ 工学的基盤まで：統計的グリーン関数法による波形計算
 - ・ 地表震度の算出：工学的基盤最大速度と AVS30（地表から深さ 30m までの平均 S 波速度）による増幅率から最大地表速度を算出し、最大地表速度と地表震度の関係式から算出
- ※ 長周期地震動、断層による地表のずれやたわみ地形については過去の事例をもとに定性的に想定する。
- ③ 地盤モデルは浅部・深部ともに地震本部（J-SHIS）モデルを採用する。

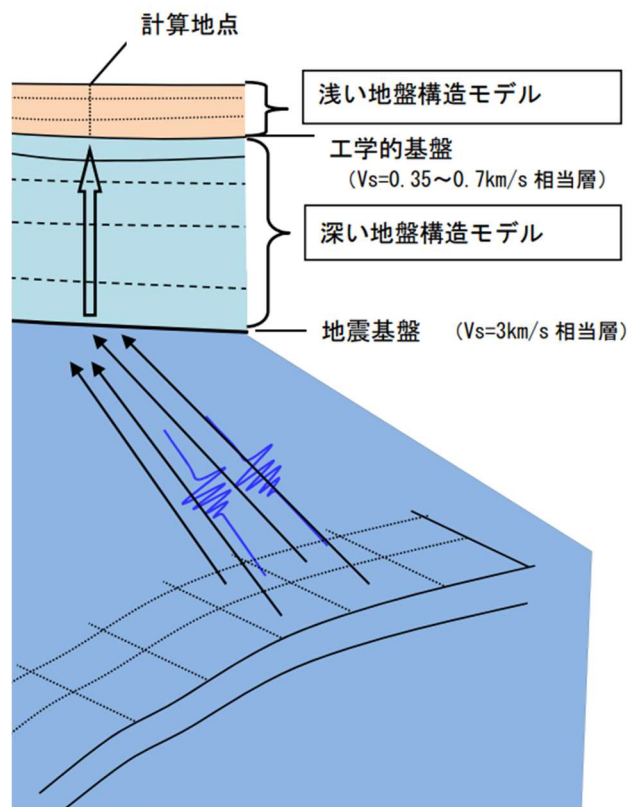


図 28 強震動計算の概念図

2.4.1.2. 震源～工学的基盤までの地震動予測手法

本調査では、統計的グリーン関数法の計算方法として釜江ほか(1991)による波形合成法を用いることとした。統計的グリーン関数法を用いた模擬地震波作成の流れを図 29 に示す。この方法は、中小規模地震を要素地震としてその記録に含まれている震源から観測点にいたる地震動の伝播経路の特性を利用し、震源での断層理論に基づく記録の重ね合わせによって大地震の地震動を作成しようとする経験的グリーン関数法の考え方に基づくものである。経験的グリーン関数法の計算方法としては、Irikura(1986)のものが良く知られている。

経験的グリーン関数法は、想定地震の震源域で発生した中小規模地震の観測波形が調査地で観測されている場合に適用可能である。しかし実際には、そのような条件に合った地震記録が観測されていることはまれである。そのため、釜江ほか(1991)は、観測波形の代わりに、Boore(1983)による確率的地震動波形を地震基盤 ($V_s=3000\text{m/s}$ 程度の層) での波形として作成し、これを要素波として用いて Irikura(1986)による波形合成を行う方法を提案した。このとき、地震動の伝播経路の評価は、調査によって明らかになった深部・浅部の地盤構造を使用して理論的方法により行っている。具体的には、以下の手順に基づき、計算を行っている。

- ① 対象とする断層面を小断層に分割し、小断層毎に、Boore(1983)の手法により ω^{-2} を満たす要素波形の振幅スペクトルの形状を求める。この加速度振幅スペクトル形状は以下の通りである。

$$S_A(\omega) = \frac{R_{\phi\theta}}{4\pi\rho\beta^3} M_0 \cdot \frac{\omega^2}{1 + (\omega/\omega_c)^2} \cdot \frac{1}{1 + (\omega/\omega_{\max})^2} \cdot \frac{e^{-\frac{\omega R}{2Q\beta}}}{R + C} \quad (1-1)$$

$\omega_c = 2\pi f_c$ 、 $f_c = 0.49\beta(\Delta\sigma/M_0)^{1/3}$ 、 $\omega_{\max} = 2\pi f_{\max}$ 、 $f_{\max} = 6\text{Hz}$ (鶴来ほか(1997)、兵庫県南部地震の解析値)

M_0 は地震モーメント、 ρ は密度、 β は媒質の S 波速度、 $\Delta\sigma$ は応力降下量、 R は震源距離、 Q : 地盤の Q 値である。

なお、観測点が震源近傍にある場合、統計的グリーン関数法の地震動振幅が過大評価されることから幾何減衰として $1/(R + C)$ を導入した。

- ② 要素波形の位相スペクトルは、Boore(1983)に従ってホワイトノイズに包絡形を施した波形のスペクトルをかけ合わせて設定する。位相を与える場合には乱数を用いるが、長周期成分まで考慮できるように香川(2004)に基づき、長周期 (変位波形) でコヒーレントな統計的グリーン関数を生成できるように乱数を設定する。また、長周期側で各要素断層の波形の位相を揃えるため、アスペリティ、背景領域毎に小断層に対して共通の位相を使用する。
- ③ 上式中の $R_{\phi\theta}$ はラディエーション係数であるが、これは、各小断層から計算地点への方位角、射出角により計算する。この時、Kamae and Irikura(1992)と同様に、周波数依存型の放射特性を導入した。これは、周波数 0.25Hz 以下では理論的放射特性に従い、2.0Hz 以上では等方的な放射特性となるものである。ここでは S 波のみを考えているため、SH 波、SV 波毎に振幅スペクトルを求める。
- ④ 小断層毎にすべり量・応力降下量が異なる場合は、それに応じて各小断層の M_0 、 $\Delta\sigma$ を設定する。

- ⑤ 伝播経路の減衰特性 Q 値は、内閣府(2021)による次式の周波数依存の値を設定する。なお、周波数 $f = 1.0\text{Hz}$ 以下では、周波数 $f = 1.0\text{Hz}$ の値を用いることとした。

$$Q = 130f^{0.77} \quad (1-2)$$

- ⑥ 上記手法で作成した計算地点での地震基盤におけるスペクトルに対して、地表までの地盤構造による増幅を考慮するため、SH 波については斜め入射の SH 波動場を、SV 波については、P-SV 波動場の応答計算を行う。
- ⑦ 求められた工学的基盤での Transverse、Radial、UD 波形を NS、EW、UD に射影する。
- ⑧ 工学的基盤での各小断層からの波形を Irikura(1986)および入倉ほか(1997)に従って、震源断層内の破壊伝播に応じて、それぞれの成分毎に足し合わせる。これより、工学的基盤での 3 成分波形を求めることができる。

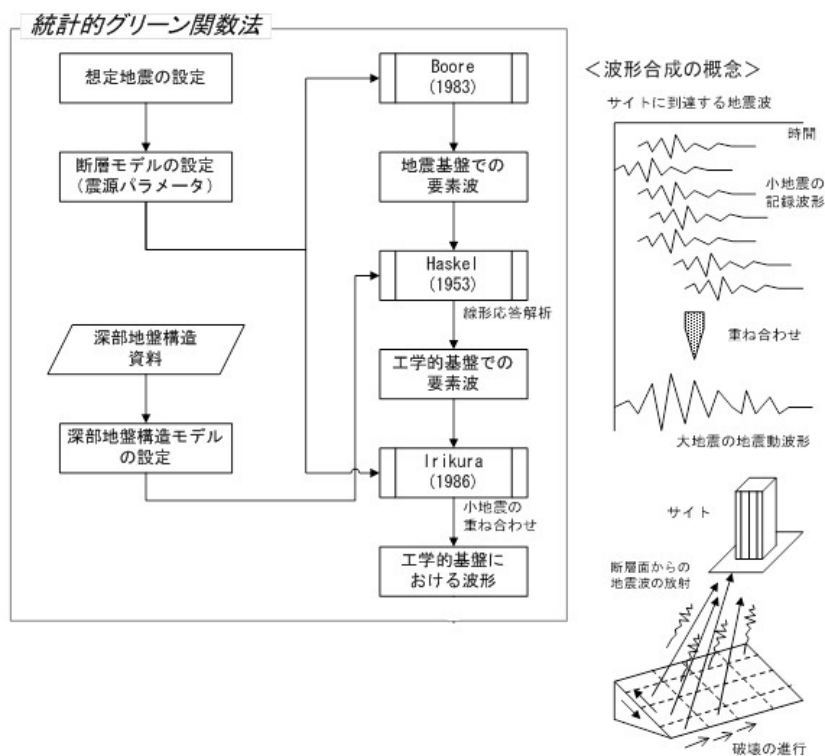


図 29 統計的グリーン関数法を用いたサイト波作成の流れ

2.4.1.3. 地表震度の算定

本調査では、工学的基盤～地表までの地震動予測手法として、「工学的基盤における計測震度+レシピに基づく震度増分（以下、SGF+レシピ震度増分）」により算出した。SGF+レシピ震度増分の算出方法を以下に示す。

- ① 工学的基盤上面から地表への最大速度の増幅率 amp を求める。増幅率 amp については、表層 30m の平均 S 波速度 $AVS30$ との相関性が認められることが分かっている。本調査では、地震ハザードステーション（以下、J-SHIS）で公開されている各メッシュの $AVS30$ を用いて、以下の式で増幅率 amp を算出する。

$$\log_{10} amp = 2.367 - 0.852 \cdot \log_{10} AVS30 \quad (1-3)$$

- ② 工学的基盤上面から地表への震度増分 ΔI を以下の式で算出する。

$$\Delta I = 2.603 \cdot \log_{10} amp - 0.213 \cdot \{\log_{10} amp\}^2 - 0.426 \cdot \log_{10} PGV_b \cdot \log_{10} amp \quad (1-4)$$

PGV_b : 工学的基盤上面における最大速度

- ③ 統計的グリーン関数法により算出した工学的基盤上面における計測震度 I_b に上式で求めた ΔI を足し合わせることで、地表地震動を算定する。

$$I = I_b + \Delta I \quad (1-5)$$

2.4.1.4. 地盤モデル

地盤モデルは、浅部モデル、深部モデルともに地震本部（J-SHIS）モデルを採用する（図 30～図 36）。第四次調査時に用いていたモデルは深部構造が第三次調査以前のものであり、その後の知見が反映されていない。一方、今回採用する地震本部（J-SHIS）モデルは最新の知見が反映されており、かつ、本県の特性も反映されていることから適切と判断した（表 11）。

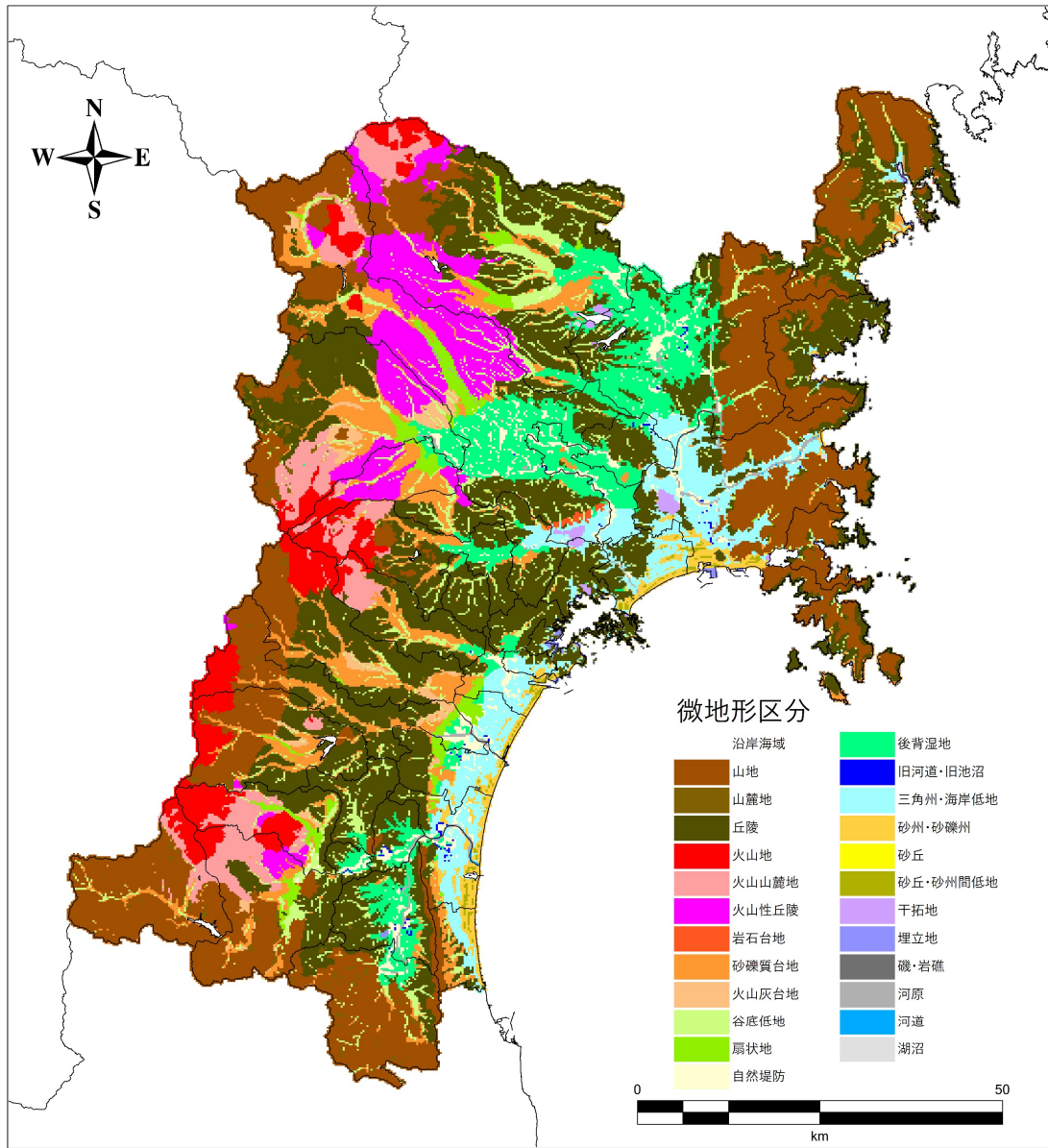


图 30 微地形区分（地震本部）

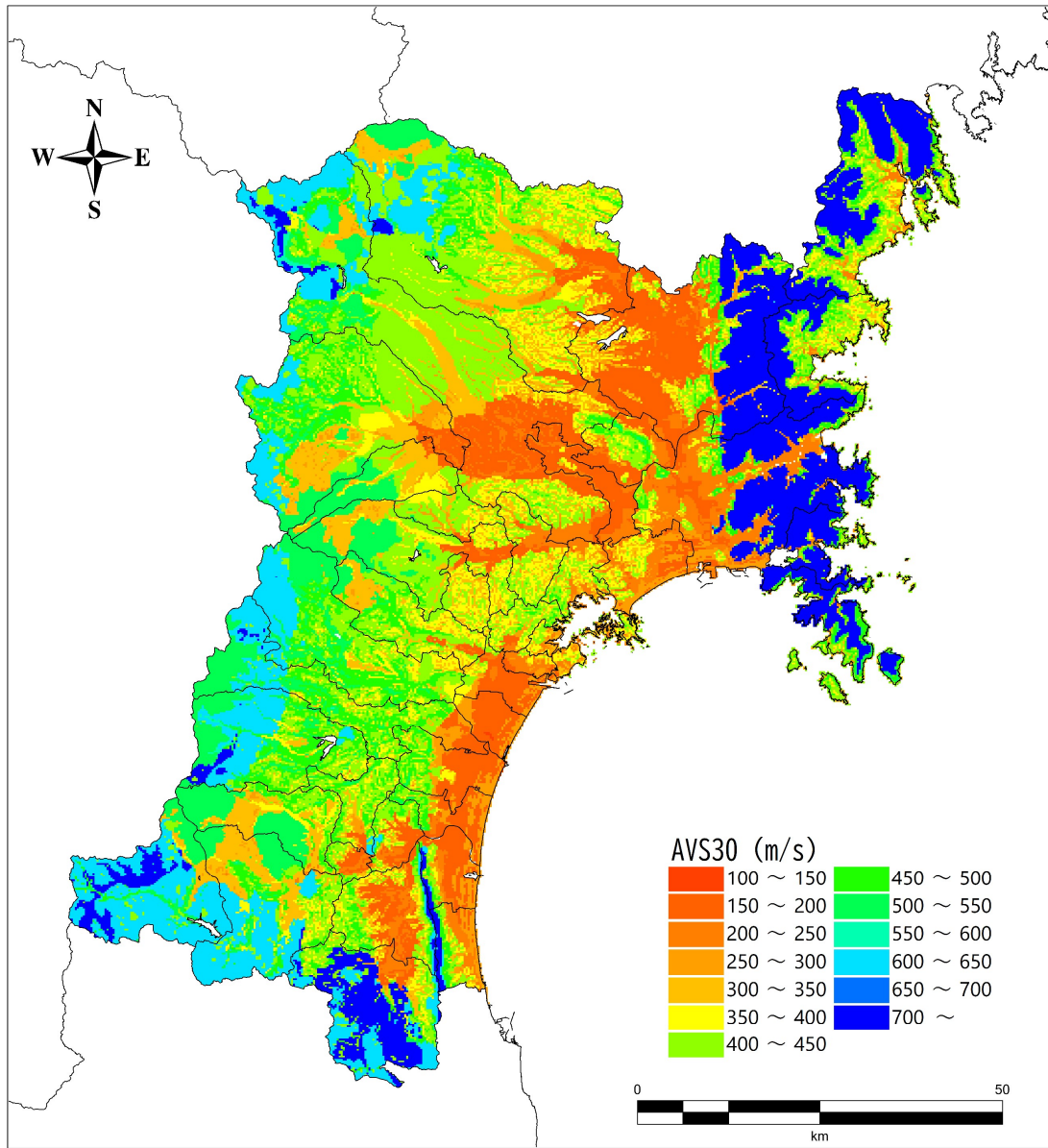


図 31 表層 30m 平均 S 波速度(AVS30) (地震本部)