

I 地盤モデル・想定地震について

1. 福島県の地形・地質

1.1 地形・地質の概要¹⁻¹⁾

福島県において人口、産業が集積する平野部は主に次のように区分される。

- ◇ 太平洋と阿武隈山地に挟まれた「浜通り」：相馬・双葉・いわきなどの地域
- ◇ 阿武隈山地と奥羽山脈に挟まれた「中通り」：福島・郡山・白河などの地域
- ◇ 奥羽山脈と越後山脈に挟まれた「会津」：会津若松と周辺

浜通りと中通りに挟まれた阿武隈山地は、広大な範囲に花崗岩類と変成岩類、中・古生代の古い堆積岩類等が分布している。標高 400 ～ 1000m の比較的平坦な高原状山地を呈している。

浜通り地域は、南北に走る双葉断層によって阿武隈山地と境され、中生層・古第三系の地層を基盤としてその上に、比較的軟質な新第三系、さらに未固結の第四系の地層が分布している。

中通り地域は、阿武隈川流域に沿った細長い低地であり、主として新第三系、第四系、および第四紀の火山噴出物によって覆われている。白河周辺には、第四紀初期に活動した白河火砕流が広く分布している。福島盆地の西縁は、活断層である「福島盆地西縁断層帯」で西方の山地を限られている。

会津地方と中通りの間には、北から延びる奥羽山脈の中に吾妻山、安達太良山、磐梯山などの第四紀火山が分布する。南方の栃木県との境界部も、沼沢火山や奥日光の火山群に連なる。会津若松とその周辺は、会津盆地を形成しており、東部は、猪苗代湖となっている。新しい火山噴出物の下には、厚い火山岩類・堆積岩類から成る新第三系が広く分布する。第四紀火山や新第三系の基盤としては、中生代の古い地層（付加体）が県の南西部に広く分布する。会津盆地の東縁と西縁は、活断層で山地と限られる（会津盆地西縁断層帯および東縁断層帯）。

さらに、南の茨城県から福島県のほぼ中央にかけては、北北西-南南東方向に「棚倉構造線」が走っている。これは、白亜紀およびそれ以前の東北日本と西南日本を分ける重要な構造帯である。

地盤の地質構成と地震時に想定される災害事象の点からみると、平野と盆地には、比較的軟質な地層が厚く堆積しており、建物被害につながる特性をもつ揺れが生じやすい。また、液状化による被害が発生する可能性もある。

一方、山地では地表直下から比較的硬い地層が分布しており、建物被害を生じるような揺れは生じにくい。が、斜面崩壊や地すべりが発生する可能性が考えられる。特に、阿武隈山地では、もともとは硬い地層であったものが、深層風化により表層部で強度の小さい、緩い地盤となっている場合が多い。被害想定にあたっては、このような地盤特性について実証的なデータを収集し、それをもとに地盤の揺れやすさを示す地盤モデルを作成する必要がある。

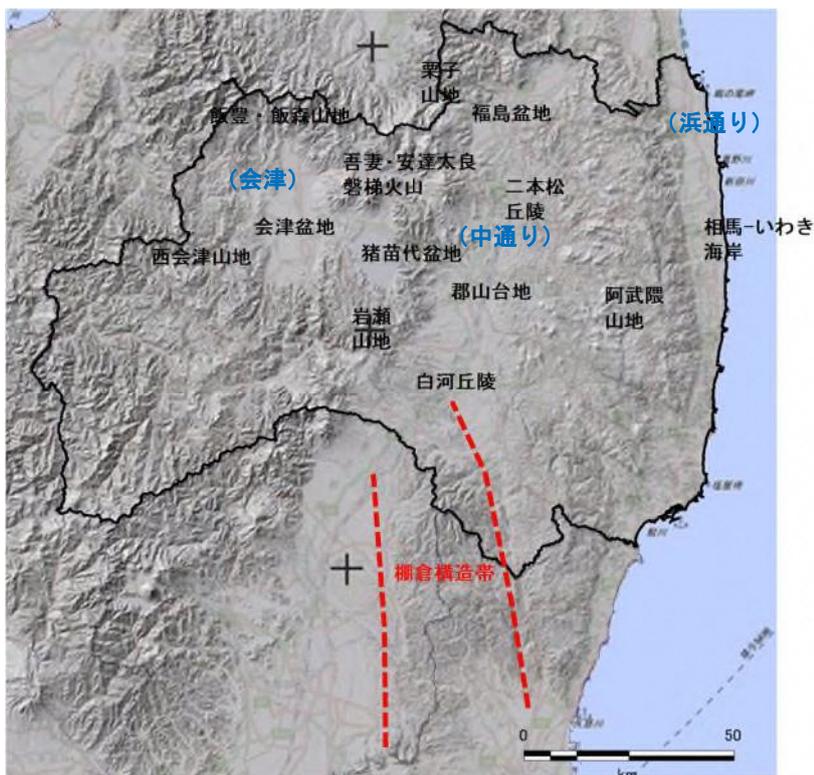


図 I-1.1-1 福島県内の地形概要（国土地理院による陰影起伏図）

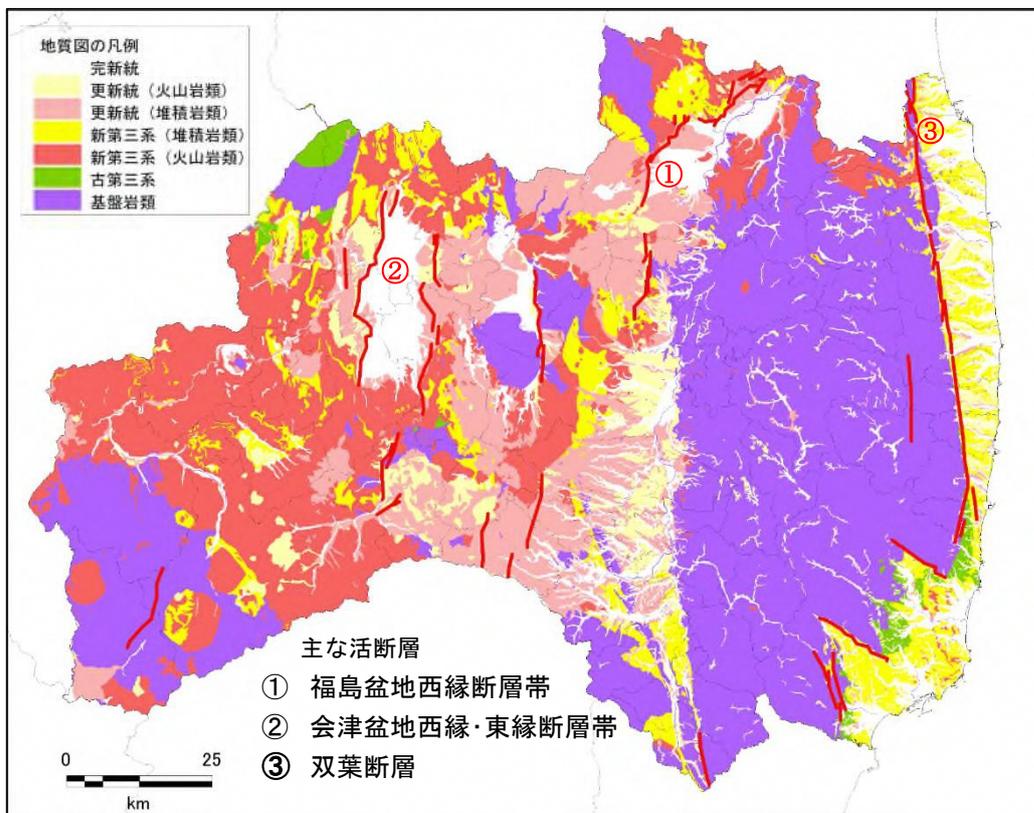


図 I-1.1-2 福島県内の地質分布（産業技術総合研究所の「シームレス地質図」を簡略化）

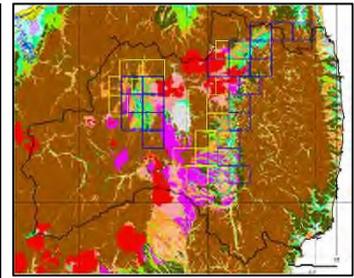
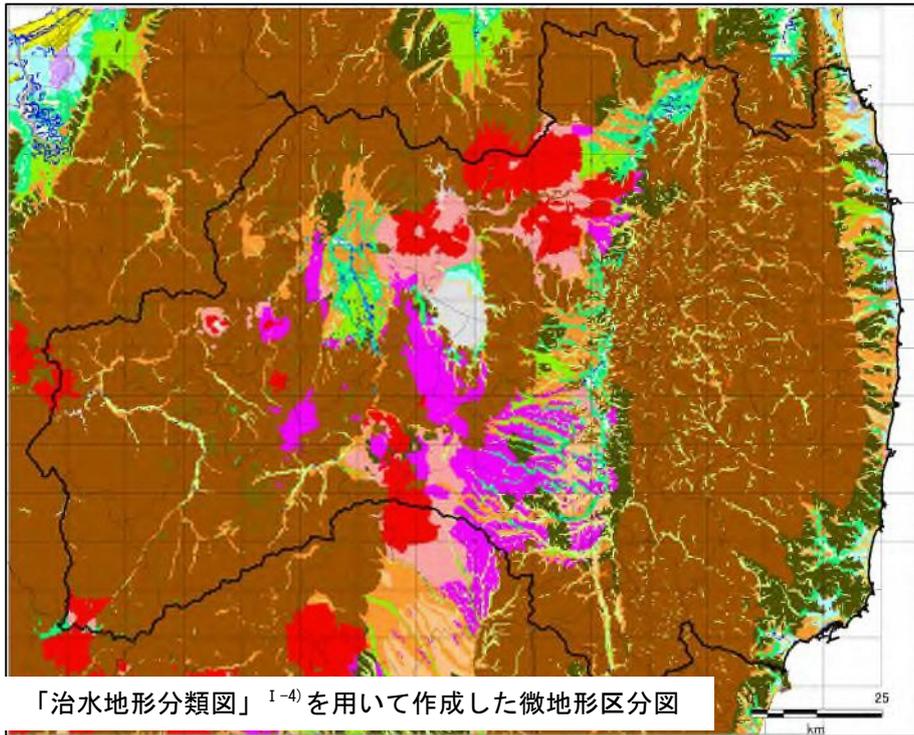
1.2 微地形区分

地盤に起因する地震時の被害は、地下の深部・浅部の地盤状況に大きく影響される。その中でも表層部の地盤は、ごく狭い範囲でも変化が大きく、場所により地震時の揺れとそれによる被害様相が変化する。被害想定では、このような地盤の変化に対応した被害予測が求められる。

一方、地震の揺れや被害に影響する地下の地盤についての直接的な情報は、ボーリングや今回の想定で採用した微動探査などの物理探査によってしか得ることは難しいが、このような情報は、量・分布密度からみると、広域の地震動予測・被害想定に用いる地盤モデルを作成するには十分ではない。この難点を克服する方法として、限られた地盤情報を日本全国を網羅する微地形のデータを用いて補間して地盤モデルを作成し、これを用いて地震動の予測を行うという方法が採用されている（地震調査委員会・「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」¹⁻²⁾など）。

このような微地形区分の250mメッシュ単位の情報は、防災科学技術研究所の地震ハザードステーション（J-SHIS）¹⁻³⁾で公開されている。今回の被害想定では、2020年7月に更新された最新のJ-SHISのデータを用い、さらにこれを、国土地理院から公開されている、より詳細な「治水地形分類図」¹⁻⁴⁾のデータで修正して福島県被害想定用の微地形区分図を作成して地震動予測に用いた。作成した図を最新のJ-SHISの微地形区分と合わせて図I-1.2-1に示す。

I 地盤モデル・想定地震について
 1. 福島県の地形・地質



青図郭：「治水地形分類図」¹⁻⁴⁾を用いて新たに作成
 黄図郭：作成した図郭と周辺部の調整範囲

- 微地形区分
 若松・松岡 (2020) I-5)
- 1_山地
 - 2_山麓地
 - 3_丘陵
 - 4_火山地
 - 5_火山山麓地
 - 6_火山性丘陵
 - 7_岩石台地
 - 8_砂礫質台地
 - 9_火山灰台地
 - 10_谷底低地
 - 11_扇状地
 - 12_自然堤防
 - 13_後背湿地
 - 14_旧河道・旧池沼
 - 15_三角洲・海岸低地
 - 16_砂州・砂礫州
 - 17_砂丘
 - 18_砂州・砂丘間低地
 - 19_干拓地
 - 20_埋立地
 - 21_磯・岩礁
 - 22_河原
 - 23_河道
 - 24_湖沼

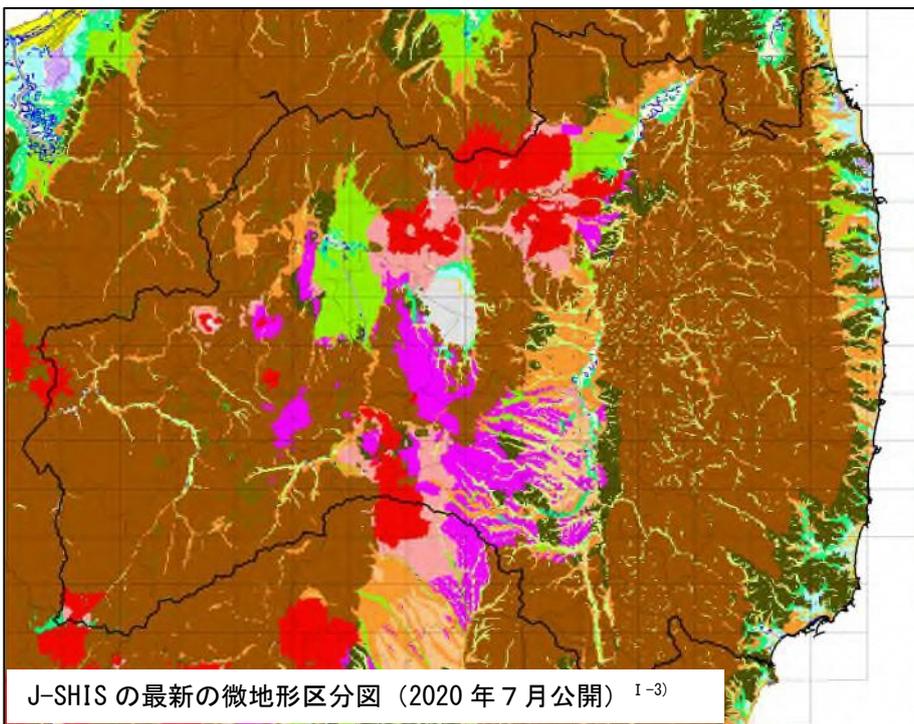


図 I-1.2-1 福島県の微地形区分図 (250mメッシュ)

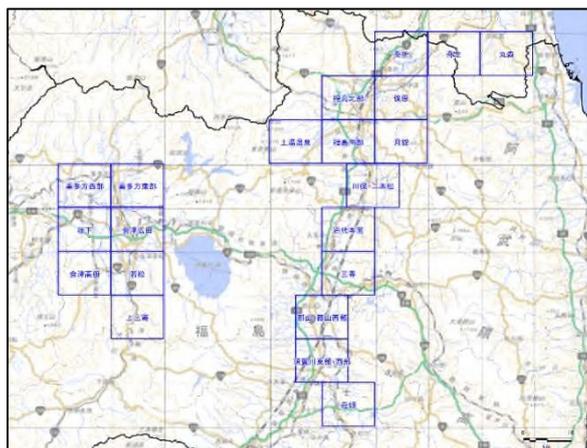
補足：「治水地形分類図」による微地形区分作成の考え方と作成方法

● 「治水地形分類図」と J-SHIS の微地形区分の比較

最近、国土地理院により、全国の主要な河川と流域の平野部において「治水地形分類図」（以下、分類図）が整備されつつあり、福島県内の阿武隈川流域と会津盆地の分類図が公開されている（補足図-1）。

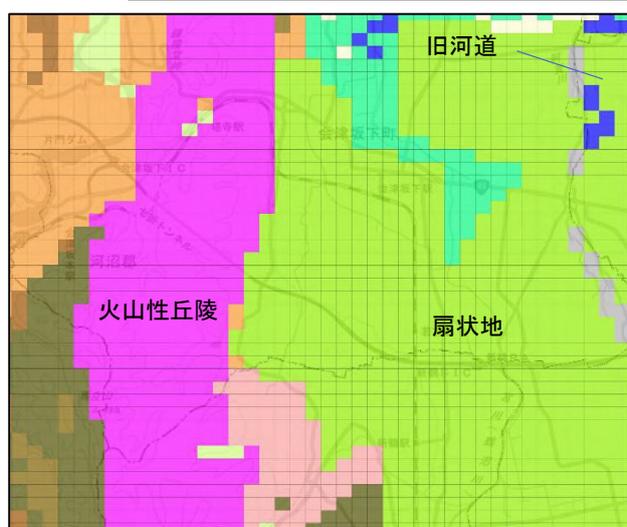
この「分類図」と J-SHIS の微地形区分を比較すると、次のような違いがある。

- ・ 台地・低地の区分において、内陸盆地の J-SHIS の微地形区分データはやや粗い（例：自然堤防・後背湿地・旧河川流路の分布など）。
- ・ J-SHIS の区分の最新の解説文献では、「治水地形分類図更新版（2007～2018）国土地理院」をもとに旧河道分布の高度化」を行い、対応するメッシュが2倍に増加した、と記載しているが、それ以上の参照については言及されていない。これから推測すると、最新の治水地形分類図等の知見、特に旧河道以外の平野部の微地形区分の情報はあまり取り入れられていないようである。
- ・ 1/5 万図幅範囲で詳細に比較すると、旧河道を含めて低地部の区分が、かなり異なっている（補足図-2）。



※各図郭の全域ではない図郭もある。

補足・図-1 国土地理院の「治水地形分類図」¹⁻⁴⁾の福島県にかかる図郭



J-SHIS の微地形区分



「治水地形分類図」の微地形区分

補足・図-2 「分類図」と J-SHIS の微地形区分の比較（5 万分の 1「坂下」図郭範囲）

● 「治水地形分類図」を用いた微地形区分データの作成作業

① J-SHIS の区分との対応付け

「分類図」は、県内の全域を網羅していないので、図の周辺では J-SHIS の微地形区分の合うように調整する必要がある。そこで、補足・図-3 に示す方針で両者の区分の対応付けを行った。

大分類	中分類	小分類	細分類	記号	J-SHISの区分(番号)	
山地					1~6	
台地・段丘		段丘面			8ないし9 } 付近の区分と同様として対応付ける、	
		崖(段丘崖)				
		浅い谷			線状の侵食地形,無視する。 付近の区分に対応付ける。	
低地	山麓堆積地形				3	
	扇状地				11	
	氾濫平野				10,13(内陸)・15(沿岸平野)	
	氾濫平野	後背湿地			13,18 分布地域で区分,	
	扇状地, 氾濫平野	微高地(自然堤防)				12
		旧河道	旧河道(明瞭)			14
	旧河道(不明瞭)				14	
	落堀				-	
	砂州・砂丘				16,17	
	人工改変地形	干拓地				19
盛土地・埋立地				20,10		
切土地				1~6 付近の区分に対応付ける。		
連続盛土				-		
その他の地形等	天井川の区間				線状の地形,無視する。	
	現河道・水面				23	
	旧流路	S.30年代後半~S.40年代前半				沖積低地以外の古い地形面上の場合が主。堆積物の性格付けができないので、基本的に付近の地形区分と同一とする。250mメッシュ内で無視できない面積となる場合はほとんどない。
		S.20年代				
		T.末期~S.初期				
M.末期~T.初期						

補足・図-3 「分類図」の微地形区分と J-SHIS の区分との対応付け

※なお、「分類図」における「河川管理施設等」は、250mメッシュ微地形区分としては採用しない。理由は、一般に250mメッシュ内で50%以上を占めることはないこと、このような構造物の地震動は、現状では「広域地盤モデル」による評価対象ではないことによる。

②メッシュ毎の地形区分の作成

- ・原則としてメッシュ内で50%以上を占める地形区分でそのメッシュを代表させた。
- ・低地の区分(区分番号11以上)とそれ以外が混在する場合、台地の区分(8, 9)と区分1~6が混在する場合には、それぞれ低地ないし台地が面積30~40%以上であれば、低地ないし台地の区分で代表させた。

J-SHIS 区分番号 「治水地形分類図」の区分との対応付け

- ・1~6 : 「分類図」の範囲内で「山地」に対応させたメッシュは、それを優先し、付近の微地形区分と同様として1~6に区分。
- ・7 : J-SHISの区分を採用。
- ・8, 9 : 「分類図」の「台地」について、付近の区分と同様の区分とする。
- ・10 : 「分類図」の範囲内で「山地」内で「氾濫平野」ないし「微高地」が含まれるメッシュのうち、これらの分布面積が広く(目安30%以上)、メッシュを横断している場合には、10に区分。谷埋めの「盛土地・埋立地」は、元地形を10と判断。

- ・ 12 : 「分類図」の「微高地」
- ・ 13, 15, 18 : 「分類図」の「氾濫原」「後背湿地」を分布域により 13, 15, 18 に区分
- ・ 14 : 「分類図」の「旧河道」
- ・ 16, 17 : 「分類図」では「砂州・砂丘」。分布域を考慮して区分。
- ・ 20 : 「盛土地・埋立地」のうち、海岸部のもの。
- ・ 21 : 「分類図」の区分とは対応しない。J-SHIS 区分を採用。
- ・ 23 : J-SHIS 区分では 22 と区別されているが、「分類図」内では明確に区別できないので同じ 23 として扱う。

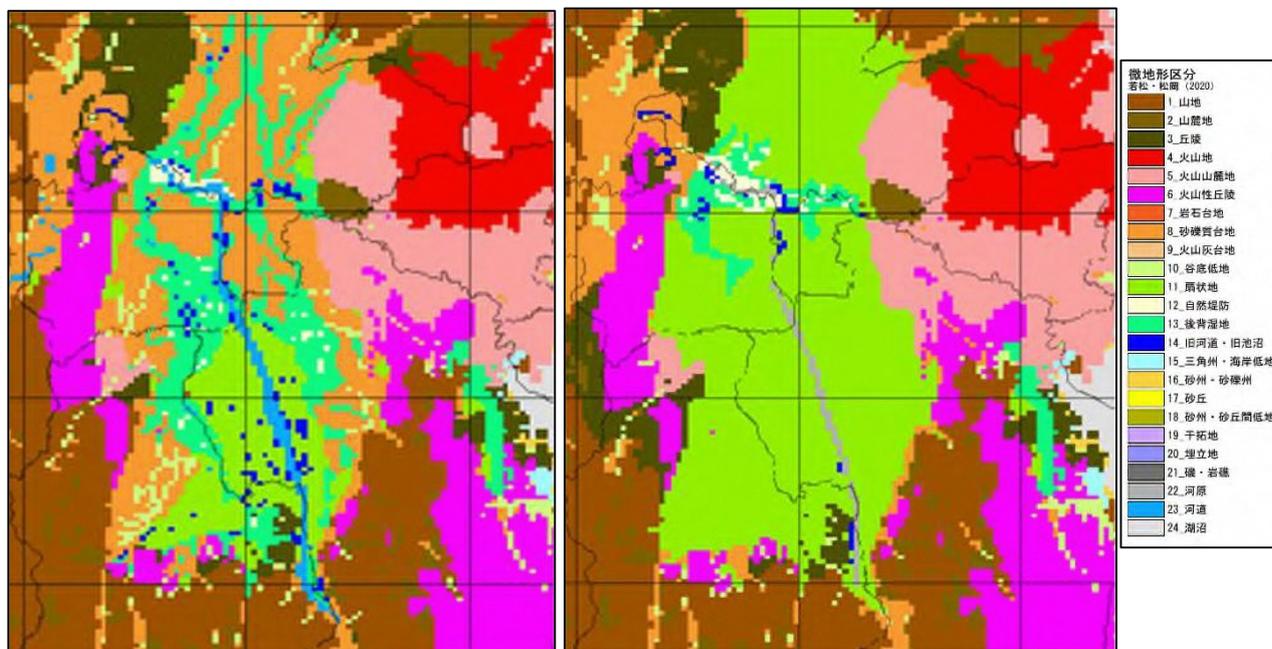
③ 面的な広がりを持つ人工改変地の扱い

- ・ 盛土地においては、周辺に比べて地震動が増幅される可能性がある。「分類図」では、添付の地域に、かなりの規模の「盛土地・埋立地」が示されており、都市部ではない地域にも存在する。このような地域は、微地形区分図では、自然地形の谷底低地として整理したが、別途「大規模盛土地」等のデータと合わせて評価する作業も行った(後述)。
- ・ 「分類図」における「切土地」は、山地等の中にあるので、周辺の微地形に対応させることが妥当と考える。侵食によって形成された「浅い谷」も同様である。

④ 「分類図」の地域に接する「分類図」がない地域の扱い

- ・ 微地形区分作成における参照元データ(地形図・地質図)をもとに、特に低地部(山地内の谷底低地など)の分布を読み直して調整した。

今回作成した微地形区分の例を補足・図-4 に示す。



補足・図-4 「治水分類図」をもとに作成した微地形区分図(左)と J-SHIS の微地形区分図(右)(会津盆地と周辺部)

2. 地盤モデルの作成

2.1 地盤モデル作成の概要

震動の伝播・増幅の予測計算のためには、震源モデルに加えて、最新の科学的知見とデータにもとづいた地盤モデル（速度構造モデル）の作成が必要になる。本調査では、地盤構造を大きく深部地盤と浅部地盤との2つに分けて、それぞれについてモデルを作成した。図 I-2.1-1 に地震動計算の概念図を示し、図 I-2.1-2 に地盤モデル作成のフロー図を示す。

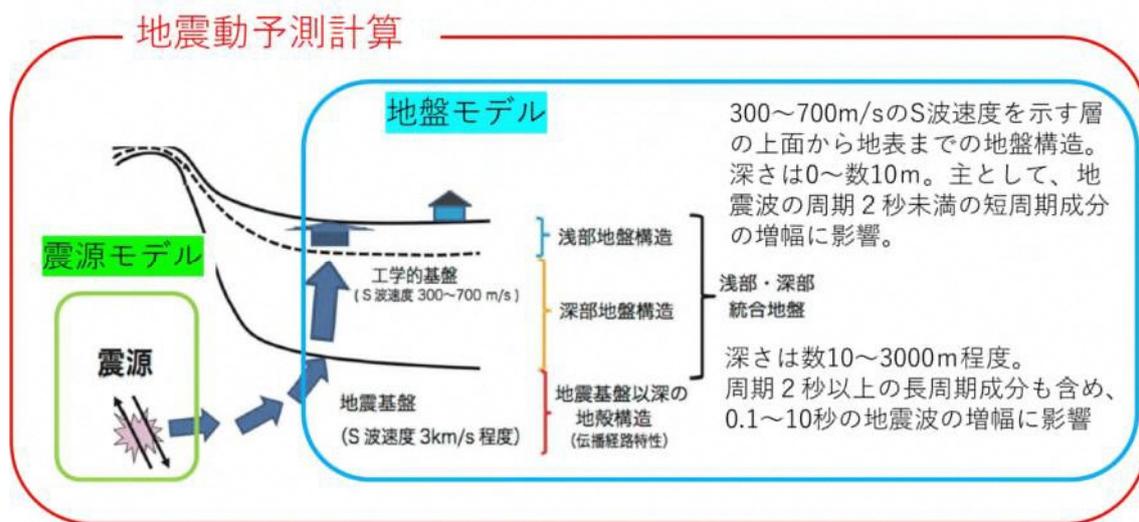


図 I-2.1-1 地震動計算の概念図

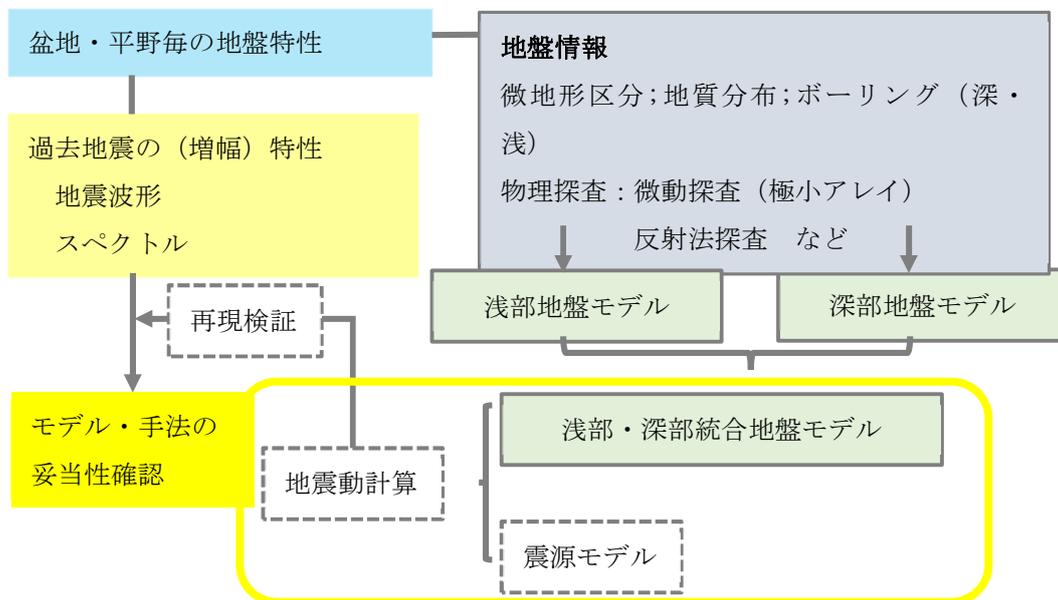


図 I-2.1-2 地盤モデル作成のフロー図

2.2 浅部・深部統合地盤モデルの作成

2.2.1 深部地盤モデルの作成

深部地盤は、地震基盤（S波速度 3.1km/s）から工学的基盤（S波速度 350m/s）までの地盤をいう。深部地盤モデルの構造は、特に長周期地震動の大きさに影響する。

(1) 深部地盤モデルの作成手法

深部地盤モデル作成のフロー図を図 I -2.2-1 に示す。まず、J-SHIS (<https://www.jshis.bosai.go.jp/>) で公開されている、2011 年版以後の震源断層を特定した地震動予測地図の計算に使用した深部地盤モデル（以下、J-SHIS V2）¹⁻⁶⁾を初期モデルとして、強震観測点ごとに初期モデルから計算される理論 H/V スペクトルと地震波形から計算される R/V スペクトルとを比較し、両者が整合するように初期モデルの速度層を修正した。その後、修正した地盤モデルを用いて、速度層の上面深度を補間することにより、三次元の地盤モデルを作成した。

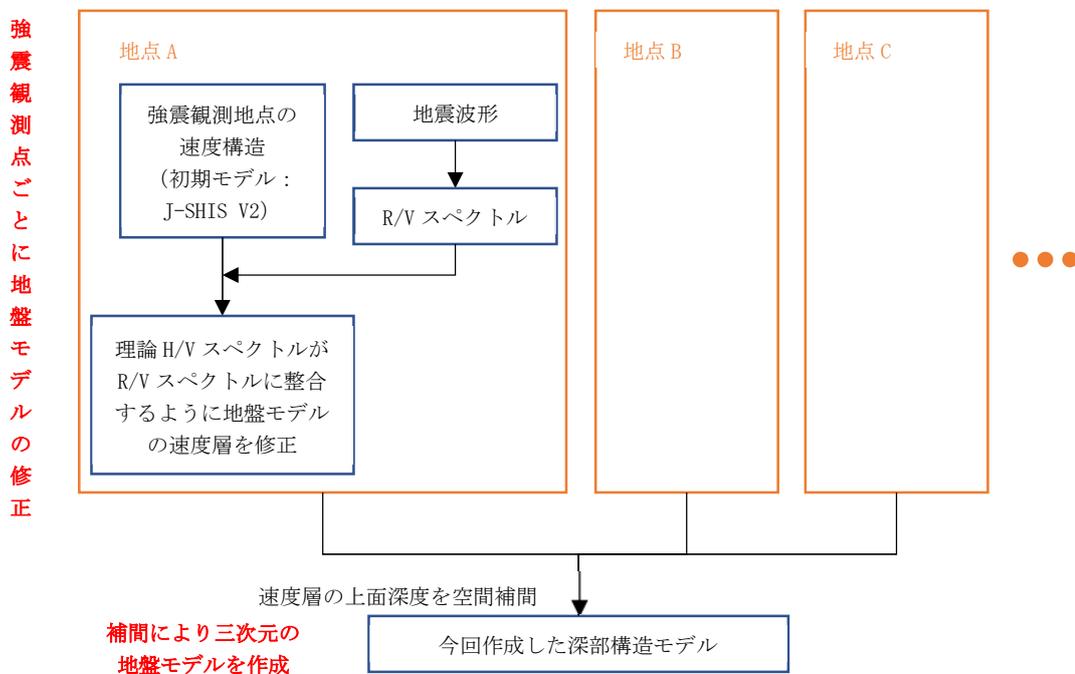


図 I -2.2-1 深部地盤モデル作成のフロー図

(2) 地震記録を用いた地盤モデルの修正

a) 地震記録の収集

観測記録を用いて深部地盤モデルの修正を行うために、強震観測点における観測地震波形を収集した。地震波形として、気象庁のデジタル波形データ、防災科研により公開されているK-NET、KiK-net¹⁻⁷⁾、および自治体から提供されたデータを収集した。収集した地点を図 I-2.2-2 に示す。深部地盤モデルの修正に用いた地震記録の諸元を表 I-2.2-1 に、震源位置を図 I-2.2-2 に示す。

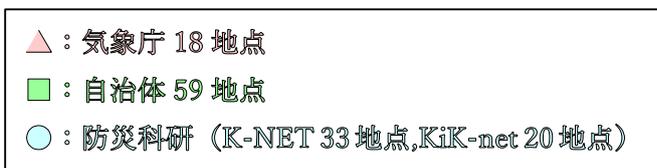
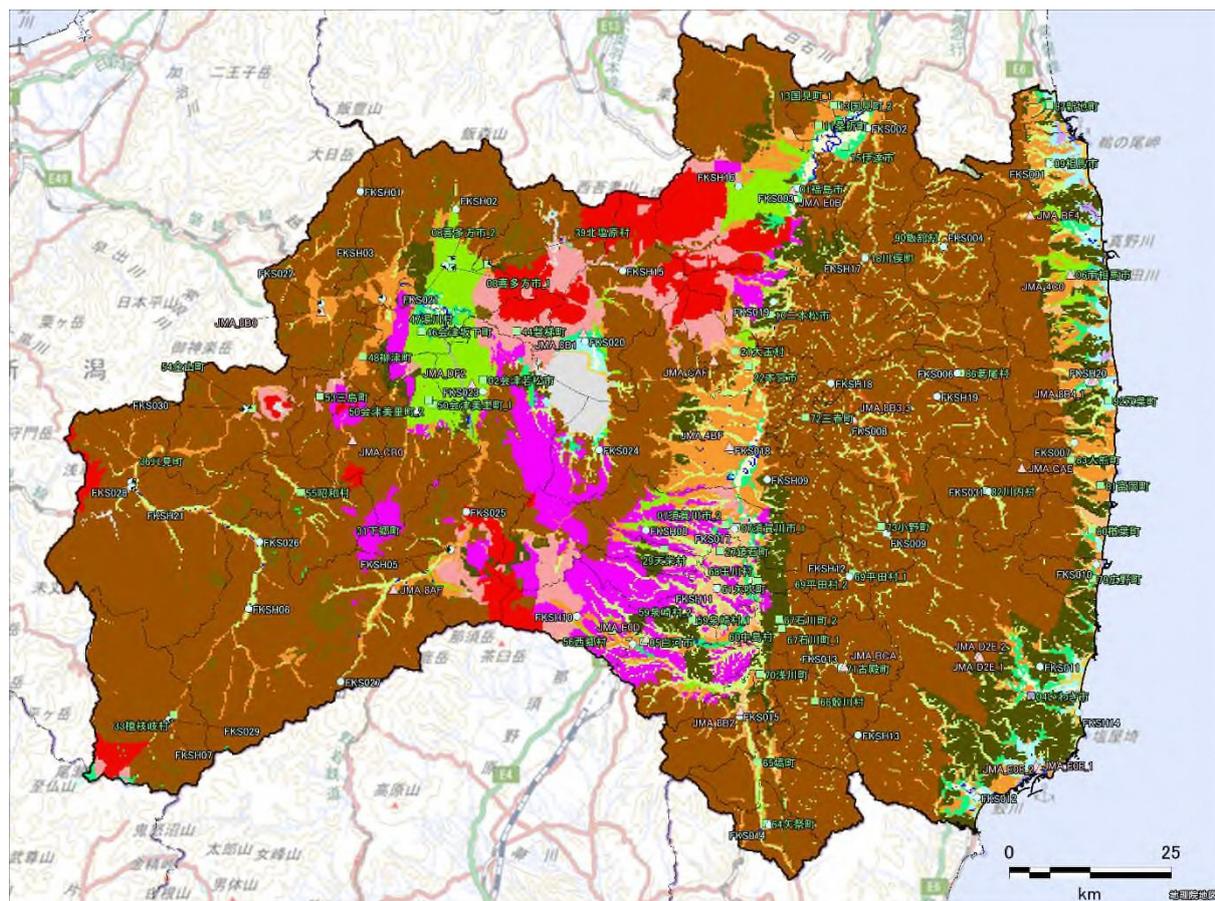


図 I-2.2-2 地震波形を収集した地点

表 I-2.2-1 深部地盤モデルの修正に用いた地震記録の諸元一覧

No.	日付	時刻	緯度	経度	深さ (m)	Mj	Region
1	2003/5/26	18:24:33	38.821	141.651	72	7.1	NORTHERN MIYAGI PREF K
2	2005/12/2	22:13:08	38.073	142.353	40.3	6.6	E OFF MIYAGI PREF K
3	2008/5/8	1:45:19	36.228	141.608	50.6	7	FAR E OFF IBARAKI PREF K
4	2008/6/14	8:43:45	39.03	140.881	7.8	7.2	SOUTHERN IWATE PREF K
5	2008/7/19	11:39:29	37.521	142.264	31.6	6.9	E OFF FUKUSHIMA PREF K
6	2008/7/24	0:26:20	39.732	141.635	108.1	6.8	NORTHERN IWATE PREF K
7	2009/8/9	19:55:52	33.128	138.404	332.9	6.8	FAR S OFF TOKAI DISTRICT K
8	2010/3/14	17:08:04	37.724	141.818	39.8	6.7	E OFF FUKUSHIMA PREF K
9	2011/3/11	14:46:18	38.103	142.861	23.7	9	FAR E OFF MIYAGI PREF K
10	2011/3/11	15:15:34	36.108	141.265	43.2	7.6	FAR E OFF IBARAKI PREF K
11	2011/3/11	15:25:44	37.837	144.894	34	7.5	FAR E OFF NORTH HONSHU K
12	2011/3/19	18:56:48	36.784	140.571	5.4	6.1	NORTHERN IBARAKI PREF K
13	2011/3/24	17:20:59	39.077	142.358	33.7	6.2	E OFF IWATE PREF K
14	2011/3/28	7:23:57	38.384	142.346	31.7	6.5	E OFF MIYAGI PREF K
15	2011/4/7	23:32:43	38.204	141.92	65.9	7.2	E OFF MIYAGI PREF K
16	2011/7/31	3:53:51	36.903	141.221	57.3	6.5	E OFF FUKUSHIMA PREF K
17	2012/4/13	19:10:00	36.947	141.422	31.5	6	E OFF FUKUSHIMA PREF K
18	2012/12/7	17:18:31	38.02	143.867	49	7.3	FAR E OFF MIYAGI PREF K
19	2013/10/26	2:10:18	37.196	144.569	56	7.1	FAR E OFF NORTH HONSHU K
20	2014/7/12	4:22:00	37.05	142.321	33	7	E OFF FUKUSHIMA PREF K
21	2015/5/13	6:12:58	38.863	142.15	46.2	6.8	E OFF MIYAGI PREF K
22	2016/11/22	5:59:47	37.355	141.604	24.5	7.4	E OFF FUKUSHIMA PREF K
23	2016/11/24	6:23:36	37.175	141.346	23.8	6.2	E OFF FUKUSHIMA PREF K
24	2016/12/28	21:38:49	36.72	140.574	10.8	6.3	NORTHERN IBARAKI PREF K
25	2019/6/18	22:22:20	38.608	139.479	14	6.7	W OFF YAMAGATA PREF K

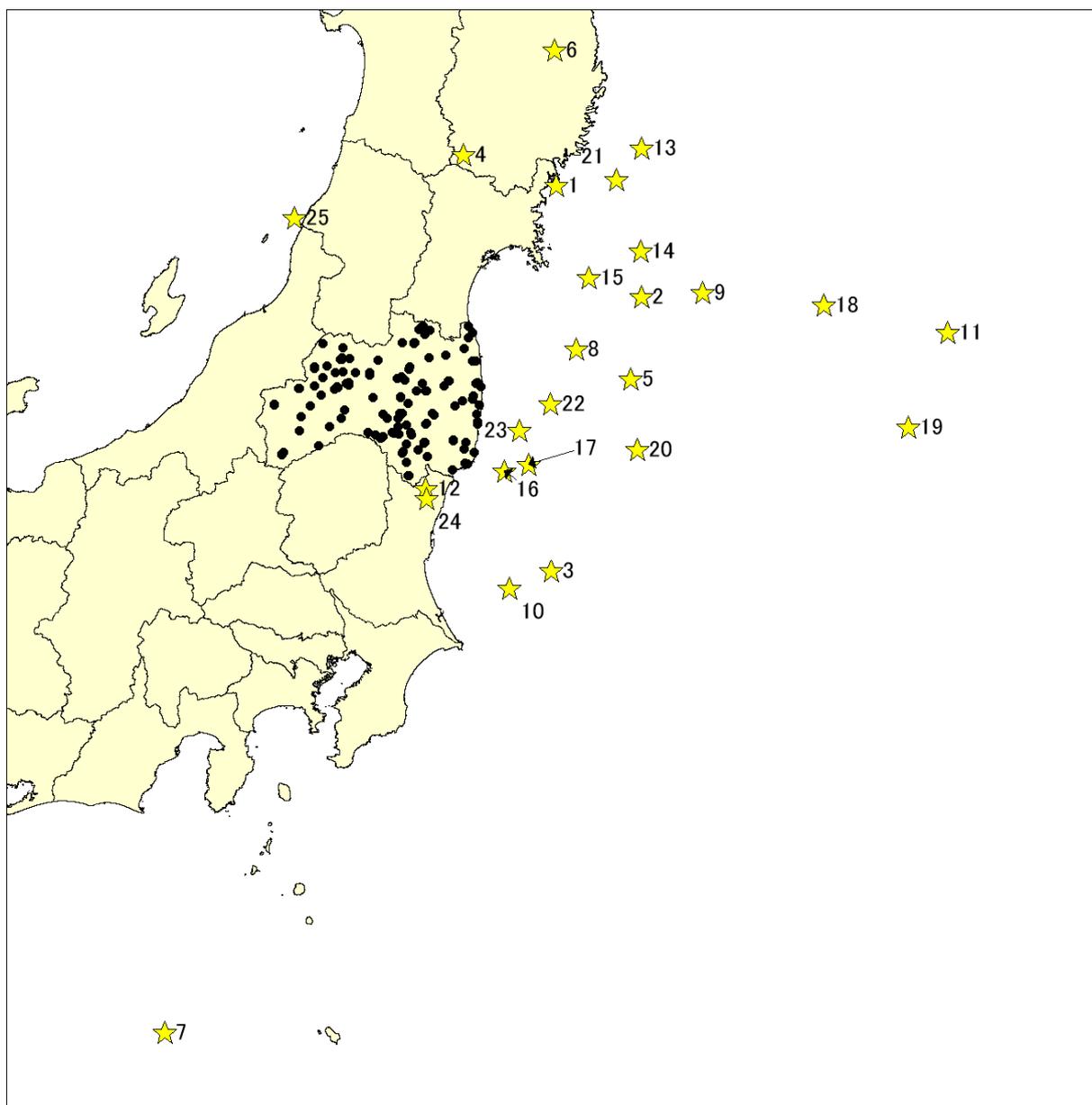
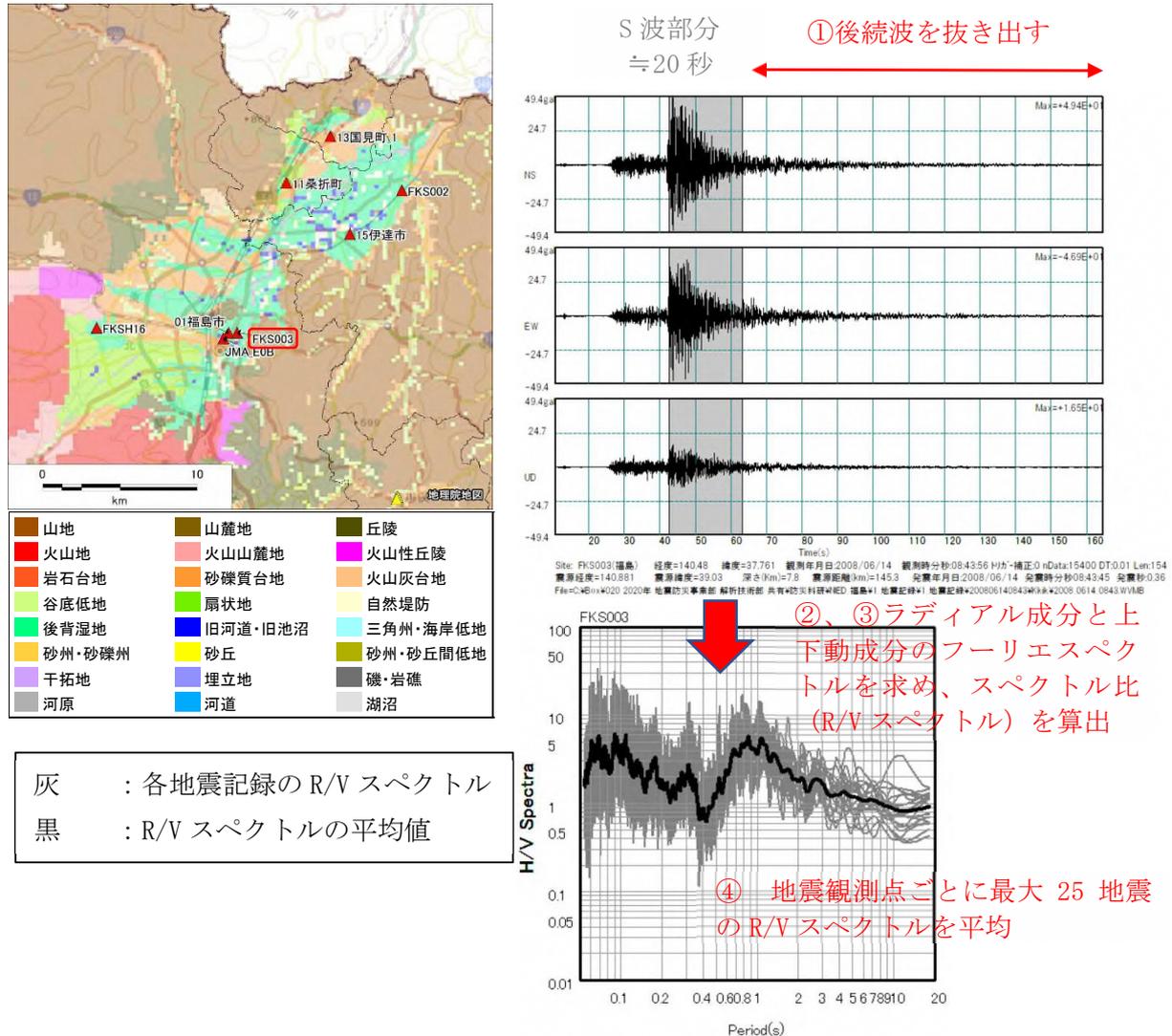


図 I-2.2-3 震源位置 (★) と観測点位置 (●)
数字は表 I-2.2-1 と対応

b) 地震記録を用いた R/V スペクトルの算出

地震記録を用いて、R/V スペクトルを算出した。R/V スペクトルはラディアル成分（震央方向の成分）のスペクトルを上下成分のスペクトルで除したスペクトルであり、地盤の S 波増幅特性、特にその卓越周期を推定することができる。R/V スペクトルの求め方を図 I-2.2-4 に示す。求めた R/V スペクトルの例を図 I-2.2-5 に示す。

なお、県内における R/V スペクトルの特徴と地盤構成については、1章で説明している。



- ① S 波初動から約 20 秒以降の波形を抜き出した。
- ② 抜き出した波形のラディアル成分と上下動成分のフーリエスペクトルを求めた。その際、バンド幅 0.05 Hz の Parzen Window により平滑化を行った。
- ③ ラディアル成分と上下動成分のスペクトル比 (R/V スペクトル) を求めた。
- ④ 地震観測地点毎に最大 25 地震の R/V スペクトルを計算し、その平均を算出した。

図 I-2.2-4 R/V スペクトルの求め方 : FKS003 (福島) 地点

左上: FKS003 (福島) の位置図

右上: 2008 年 6 月 14 日岩手・宮城内陸地震における地震記録

下 : 全地震の R/V スペクトルおよびその平均

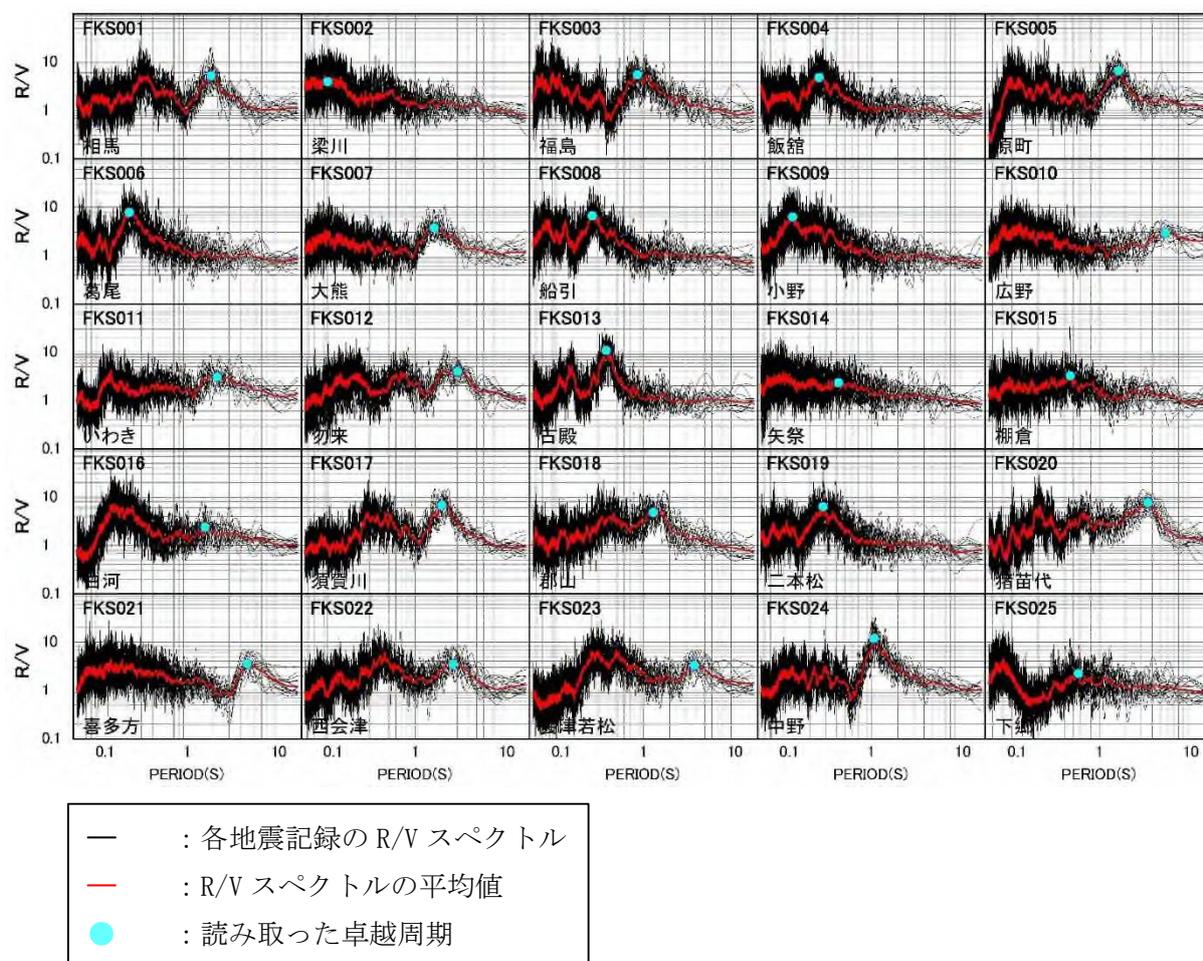


図 I-2.2-5 求めた R/V スペクトルの例

c) R/V スペクトルを用いた深部地盤モデルの調整

地震記録から算出した R/V スペクトルを用いてインバージョン解析を行うことにより初期モデルの速度構造を修正した。インバージョン解析には、山中・石田（1995）¹⁻⁸⁾による遺伝的アルゴリズムを参考にした。インバージョンのフローを図 I-2.2-6 に示す。初期モデル（J-SHIS V2）を基に、理論 H/V スペクトルを計算し、観測 R/V スペクトルと整合するように初期モデルの修正を行った。

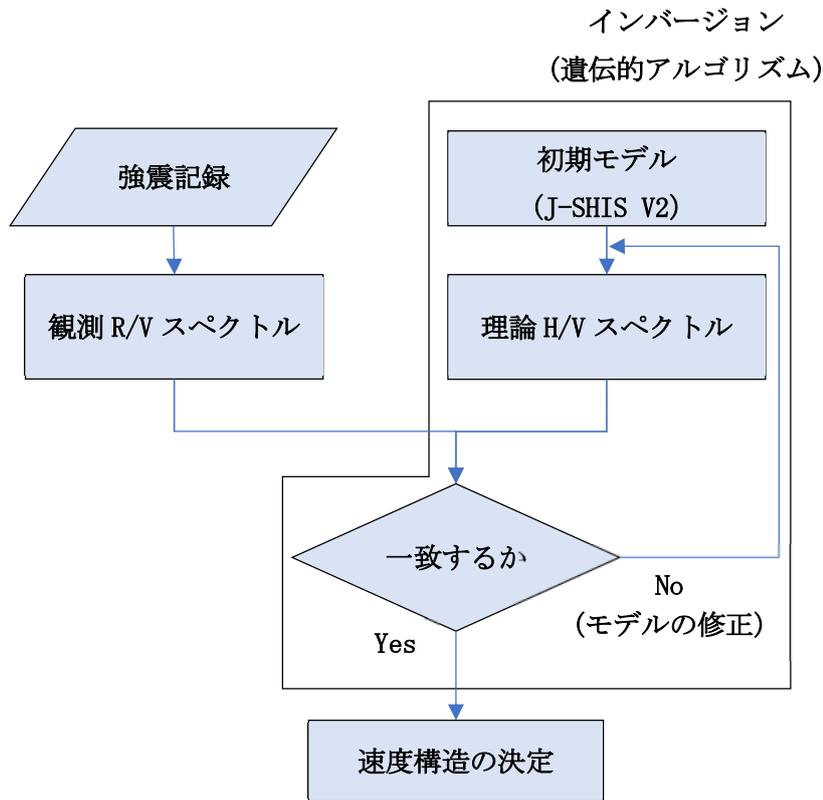


図 I-2.2-6 インバージョンのフロー図

理論 R/V スペクトルを観測 R/V スペクトルの一致度 E_{RV} は以下のように計算した。

$$E_{RV} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\left(\frac{RV^o(f_j)}{RV_{max}^o} - \frac{HV^c(f_j)}{HV_{max}^c} \right) \right]^2$$

ここで、 RV^o 、 RV_{max}^o 、 HV^c 、 HV_{max}^c 、 N はそれぞれ、観測 R/V スペクトル、観測 R/V スペクトルのピーク値、レイリー波の理論 H/V スペクトル、レイリー波の理論 H/V スペクトルのピーク値、観測 R/V スペクトルのデータ数である。レイリー波の理論 H/V スペクトルは基本モードから 4 次モードまでを考慮して求めた。

遺伝的アルゴリズムのパラメータとして、個体数 100、世代数 100 として初期乱数を 10 回変えて計算した。計算されたモデルの一致度の高い順に上から 10 個のモデルを平均したモデルをその地点の計算結果とした。ただし、目視により観測記録と一致していないと判断した場合には、再度初期モデルを見直してインバージョン解析を行った。

初期モデルの深部地盤モデルとして、J-SHIS V2 を使用した。福島県内における J-SHIS V2 の主な速度層は V_s600 m/s、 V_s1100 m/s、 V_s2100 m/s、 V_s3100 m/s である (表 I-2.2-2)。観測 R/V スペクトルを用いた調整の際には、J-SHIS V2 の各速度層の速度値は変えずに層厚を調整した。

ここで、J-SHIS V2 は V_s350 m/s 以深の工学的基盤以深の地盤モデルであるため、極小アレイ探査により作成した浅部地盤モデル (仮) を J-SHIS V2 に接合したモデルを初期モデルとした。

インバージョンにより修正した福島市の速度構造および H/V スペクトルを図 I-2.2-7 に示す。インバージョンにより修正した速度構造は、初期モデルと比較して V_s2100 m/s 層や V_s3100 m/s 層が深くなっていることがわかる。修正した速度構造を用いて計算した理論 H/V スペクトルは J-SHIS V2 を用いて計算した理論 H/V スペクトルよりも低周波数で卓越しており (図 I-2.2-7)、観測記録と整合的である。

表 I-2.2-2 福島県内における J-SHIS V2 の速度層

層番号	V_p (m/s)	V_s (m/s)	ρ (g/cm ³)	層番号	V_p (m/s)	V_s (m/s)	ρ (g/cm ³)
1	1600	350	1.85	16	2600	1200	2.15
2	1600	400	1.85	17	2700	1300	2.2
3	1700	450	1.9	18	3000	1400	2.25
4	1800	500	1.9	19	3200	1500	2.25
5	1800	550	1.9	20	3400	1600	2.3
6	2000	600	1.9	21	3500	1700	2.3
7	2000	650	1.95	22	3600	1800	2.35
8	2100	700	2	23	3700	1900	2.35
9	2100	750	2	24	3800	2000	2.4
10	2200	800	2	25	4000	2100	2.4
11	2300	850	2.05	26	4000	2100	2.4
12	2400	900	2.05	27	5000	2700	2.5
13	2400	950	2.1	28	4600	2900	2.55
14	2500	1000	2.1	29	5000	2700	2.5
15	2500	1100	2.15	30	5500	3100	2.6

1部エリアに層あり
主な速度層
PS検層結果より挿入した層

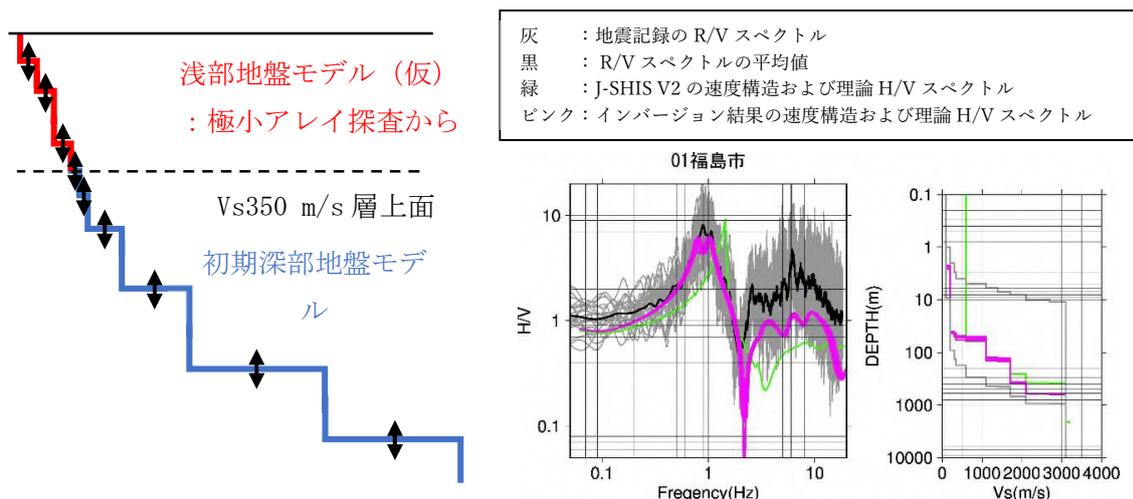


図 I-2.2-7 インバージョンの層構造修正の概念図とインバージョン結果例 (福島市)

作成した深部地盤モデルの主な速度層の上面深度を図 I-2.2-8～図 I-2.2-11 に示す。全体的 (特に会津地域) に、今回作成した地盤モデルは J-SHIS V2 よりも深くなるように修正されている。 $V_s 3100$ m/s (地震基盤相当) 層を見ると、会津地域で最も深く 3000 m 程度である。

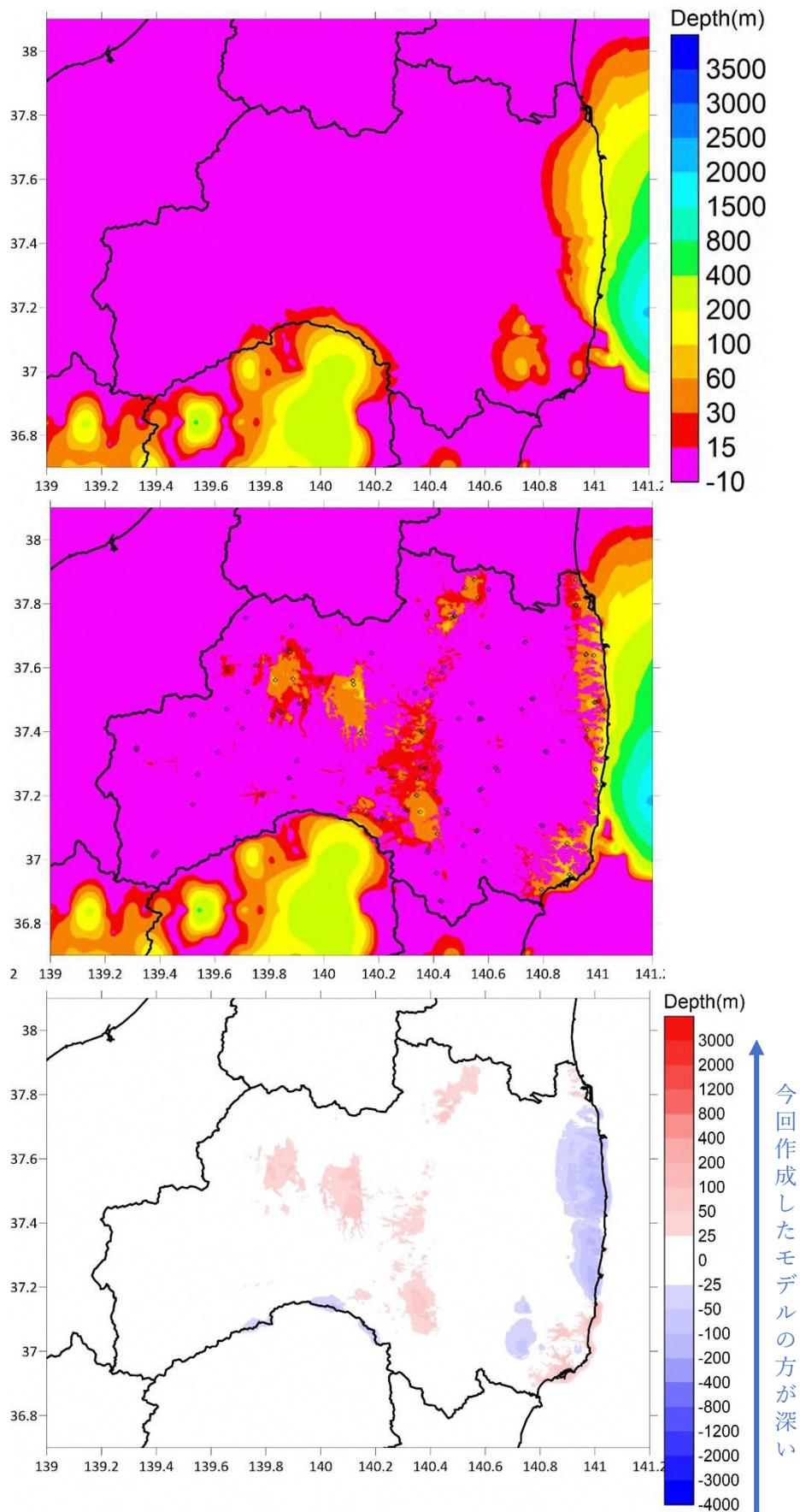


図 I-2.2-8 速度層の上面深度 : Vs 600 m/s 層

上 : J-SHIS V2 中 : 修正した地盤モデル 下 : 修正した地盤モデル - J-SHIS V2

I 地盤モデル・想定地震について
2. 地震モデルの作成

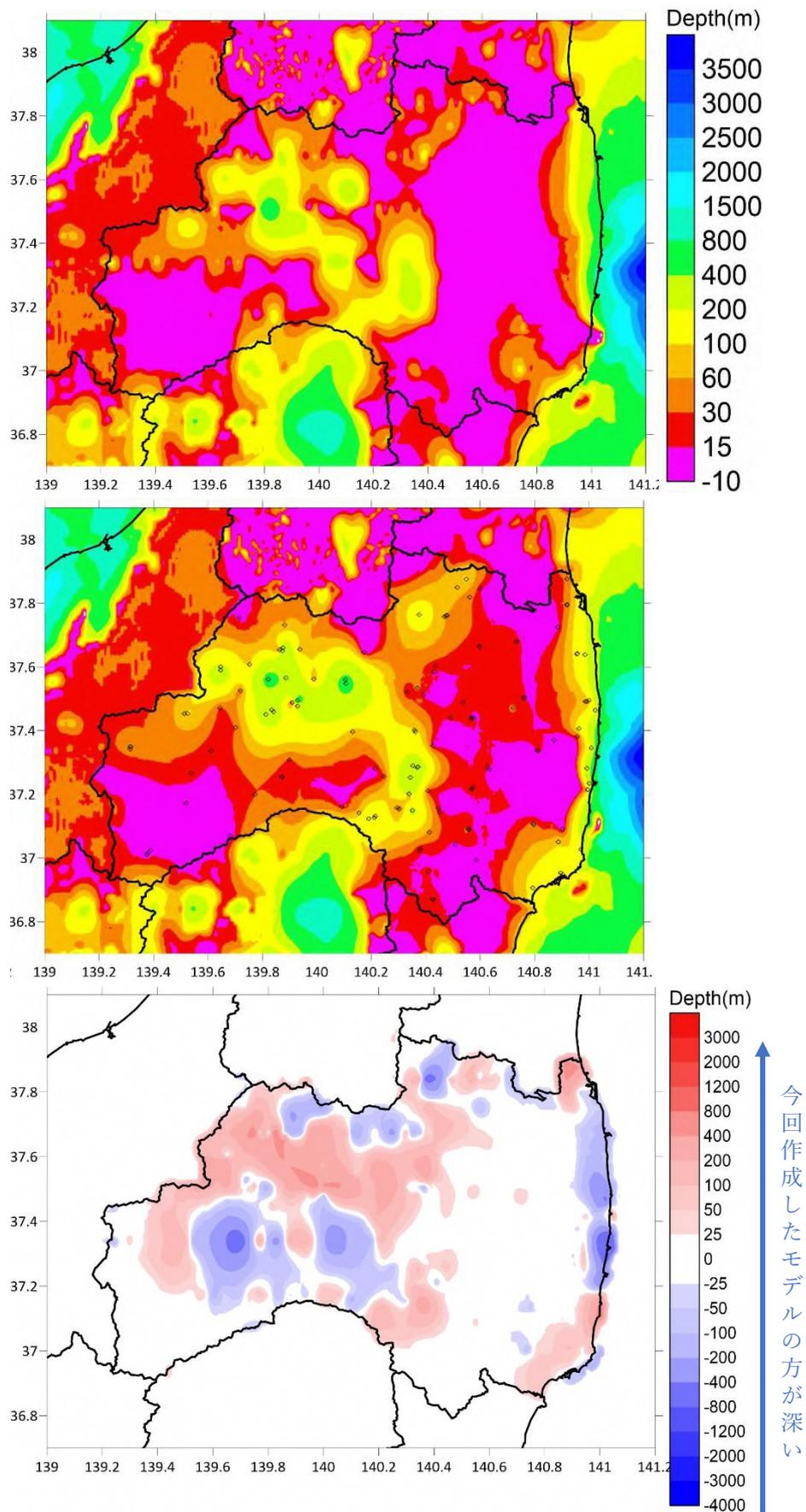


図 I-2.2-9 速度層の上面深度 : Vs 1100 m/s 層

上 : J-SHIS V2 中 : 修正した地盤モデル 下 : 修正した地盤モデル - J-SHIS V2

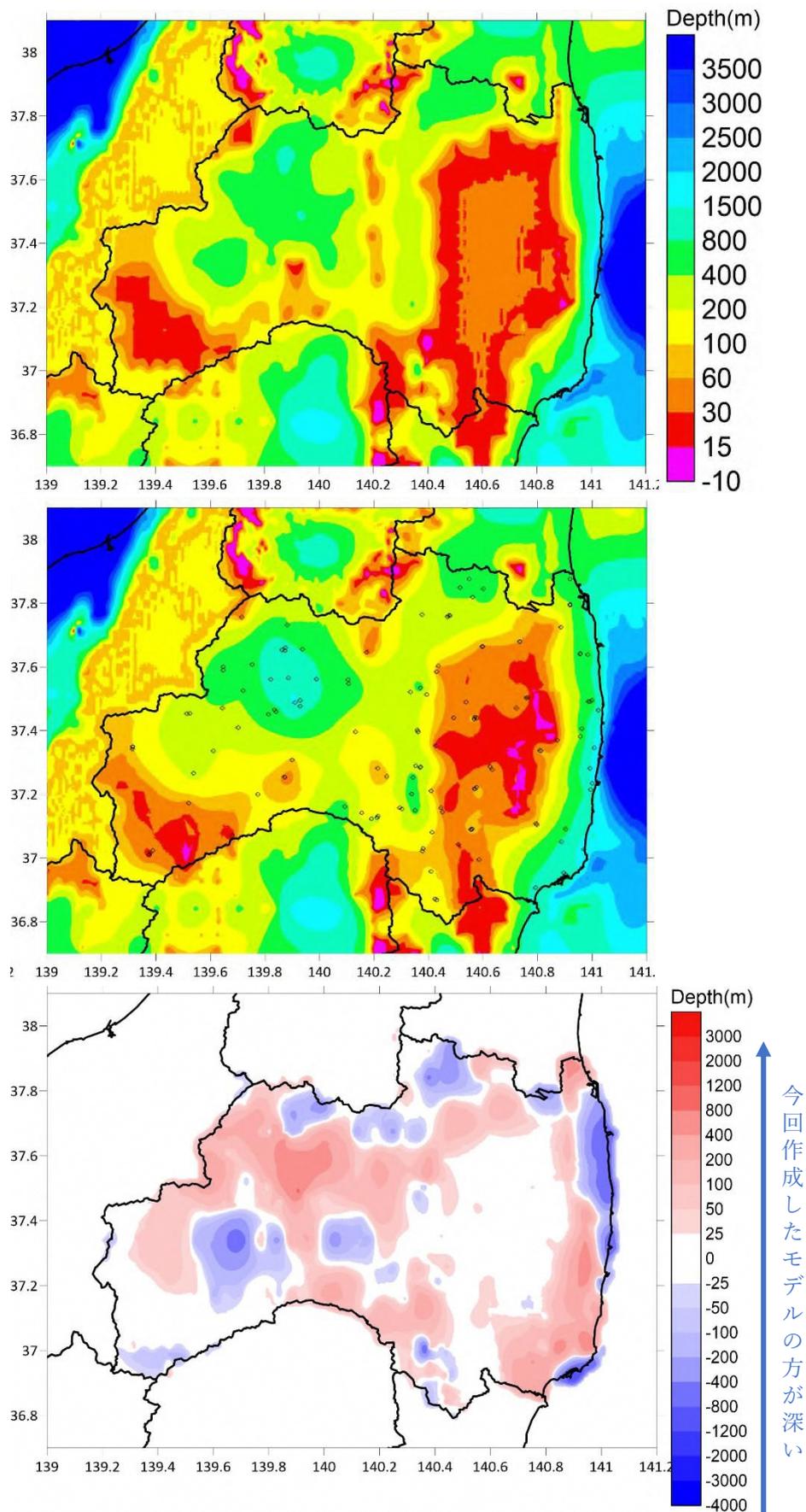


図 I-2.2-10 速度層の上面深度 : Vs 2100 m/s 層

上 : J-SHIS V2 中 : 修正した地盤モデル 下 : 修正した地盤モデル - J-SHIS V2

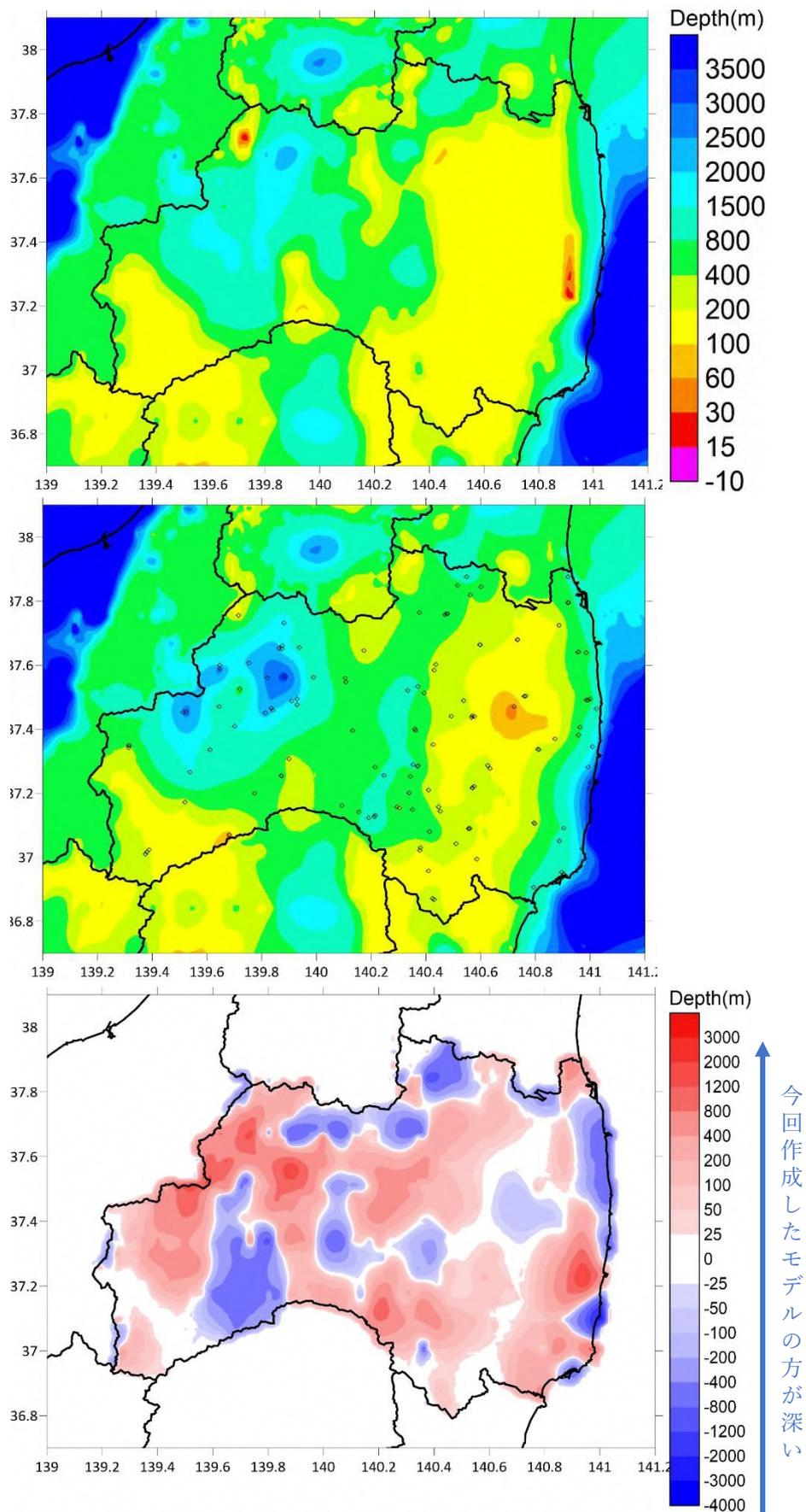


図 I -2. 2-11 速度層の上面深度 : Vs 3100 m/s 層
上 : J-SHIS V2 中 : 修正した地盤モデル 下 : 修正した地盤モデル - J-SHIS V2

2.2.2 浅部地盤モデルの作成

浅部地盤モデルは工学的基盤（S波速度 350m/s）面から地表までの地盤をいう。浅部地盤の構造は、特に短周期地震動の大きさに影響する。浅部地盤モデルの作成のフローを図 I-2.2-12 に示す。主にボーリングデータと極小アレイ探査データおよび若松・松岡（2020）による 250m メッシュ世界測地系微地形区分データを用いて浅部地盤モデルを作成した。ただし、250m メッシュ世界測地系微地形区分データについては治水地形分類図をもとに一部改定したものを作成した。

なお、本節で述べている微地形区分について、および、ボーリングデータと極小アレイ探査データから読み取れる福島県地域の地盤については、別途本報告書の 1 章で記述している。

(1) 浅部地盤モデルの作成手法

浅部地盤モデルは、使用できるデータの種別、密度に応じて、以下のエリアに区分し、それぞれに対応したモデル設定方法を採用した。

- ① 低地や台地のうちで、微動探査（極小アレイ）が行われていない地域
ボーリングデータによるモデル化
- ② 低地や台地のうちで、微動探査（極小アレイ）が行われている地域
ボーリングデータによるモデル化
+ 極小アレイ探査による工学的基盤深度、S波速度値の調整
- ③ 山地・山麓地・丘陵・火山地・火山山麓地・火山性丘陵：ボーリング、微動探査ともにデータがない（ごく少ない）

KiK-netのPS検層データに基づき風化層を一律に設定

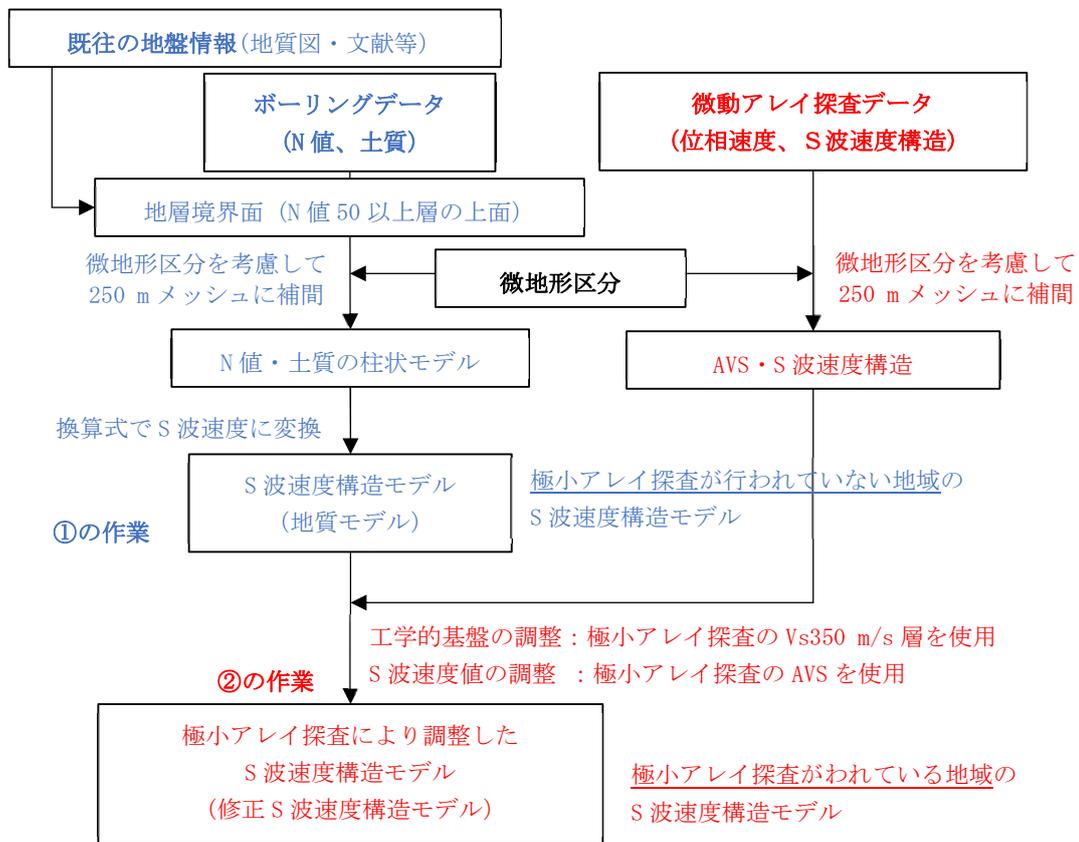


図 I -2. 2-12 浅部地盤モデルの作成フロー

(2) 収集したデータ

a) ボーリングデータ

浅部地盤モデル作成のためにボーリングデータを計 8,364 本収集した (図 I-2.2-13)。ボーリングデータは、福島・郡山・会津の各盆地や海岸沿いの平野部(いわきなど) に集中している。収集したボーリングデータを参照して土質、N値を設定した。

ボーリングデータ
(本数)

- みちのくGIDAS福島県 (636)
- 防災科研提供 (3076)
- K-NET, KiK-net (52)
- Kunijiban福島県 (1299)
- 福島県提供 (866)
- 市町村提供 (2454)

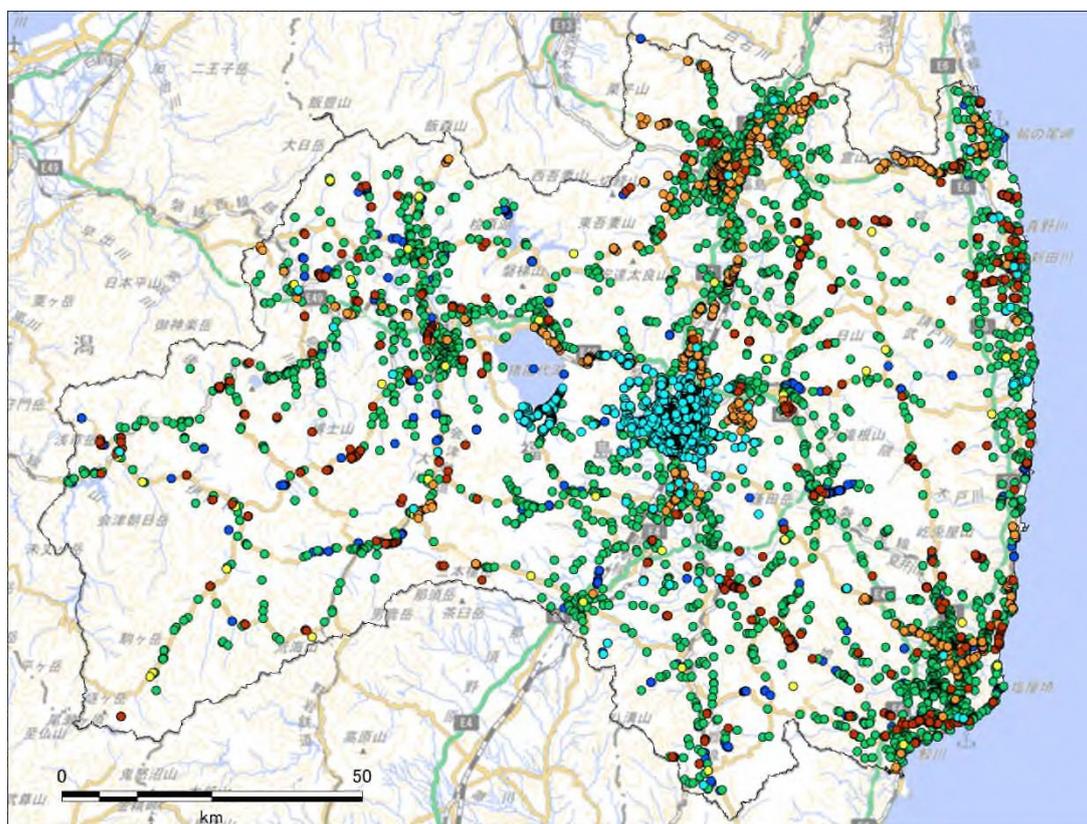


図 I-2.2-13 収集したボーリングデータ

b) 極小アレイ探査データ

微動探査は、自然ないし人間活動に由来して常時生じている地盤中の微小な揺れを精密に観測し、それをもとに地盤の S 波速度構造を推定する手法である。微動計を複数組み合わせ、定型（アレイ）で配置して観測することでより推定精度が高まる。防災科研・福島大学により実施された極小アレイ探査（図 I-2.2-14）の提供を受け、浅部地盤モデルの S 波速度構造の作成に使用した。

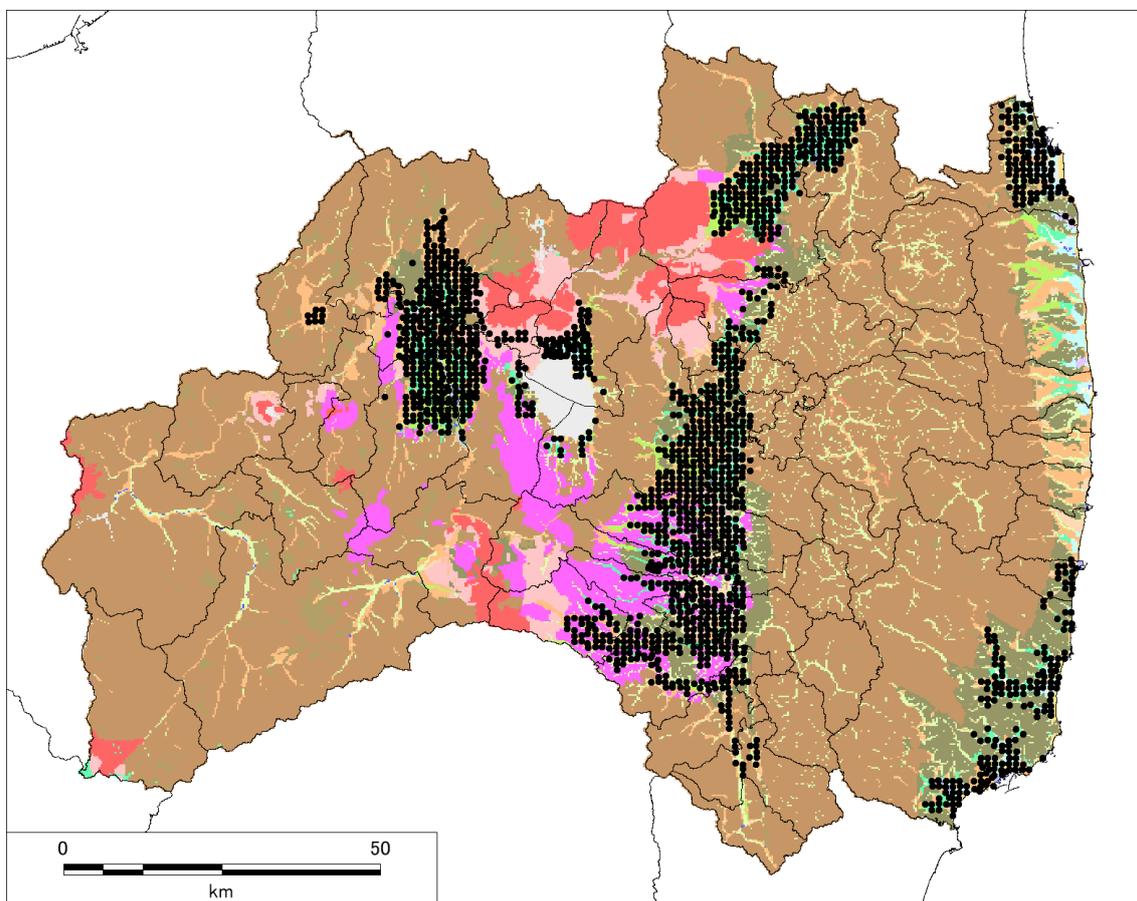
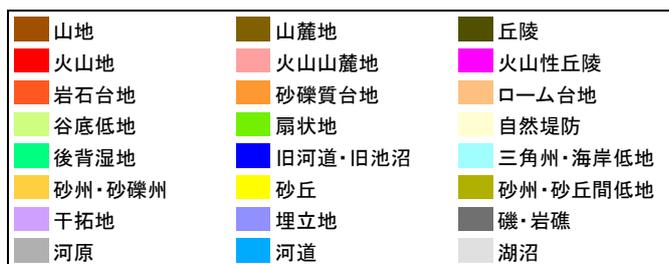


図 I-2.2-14 モデル作成に使用した極小アレイ探査データ

c) 微地形区分データの収集及び見直し

点状に分布する地盤データ（ボーリングデータ、極小アレイ探査データ）から水平方向の地盤状況を推定する作業では、微地形区分の情報が必要となる。原則として、J-SHIS で公開されている、若松・松岡（2020）の微地形区分データを使用した。

ただし、福島県内においてJ-SHISの微地形区分と国土地理院「治水地形分類図」（以下、「分類図」）を比較すると、特に台地・低地の区分（扇状地・後背湿地・旧河道の分布など）において、前者の微地形区分データはやや粗い。これをふまえて、今回の作業では、県内の主要河川域（阿武隈川、阿賀川-只見川-阿賀野川）の主に低地と台地部については、「分類図」を参照して微地形区分を修正した。「分類図」の地域に接する「分類図」がない地域については、微地形区分作成における参照元データ（地形図・地質図）をもとに、特に低地部（山地内の谷底低地など）の分布を読み直して調整した（この作業については、1章に詳述した）

(3) 浅部地盤モデルの作成

a) ボーリングデータを用いた N 値と土質モデルの作成

ボーリングデータを用いて、初期浅部地盤モデルを作成した。まず、各メッシュでボーリングの有無を確認した。メッシュ内にボーリングが 1 本あればそのボーリングを、複数あれば最も掘進長が大きいボーリングを 250 m メッシュにおける代表ボーリングとした。次に代表ボーリングの検層結果をもとに、土質区分ごとに N 値を整理した。

ボーリングが存在しないメッシュのモデル化のイメージ図を図 I-2.2-15 に示す。ボーリングが存在するメッシュについては、代表ボーリングをもとに土質、N 値モデルを作成した。ボーリングが存在しないメッシュについては、最も近い代表ボーリングを用いて土質、N 値モデルを作成した。この作業に関しては、最初に、基盤 (N 値 50 以上) に達している代表ボーリングのみを使用してモデル化を行った。次に、表層の浅部地盤モデルの解像度向上のために、基盤に達していないボーリングデータを含むすべてのボーリングを使用してモデルを再作成した。

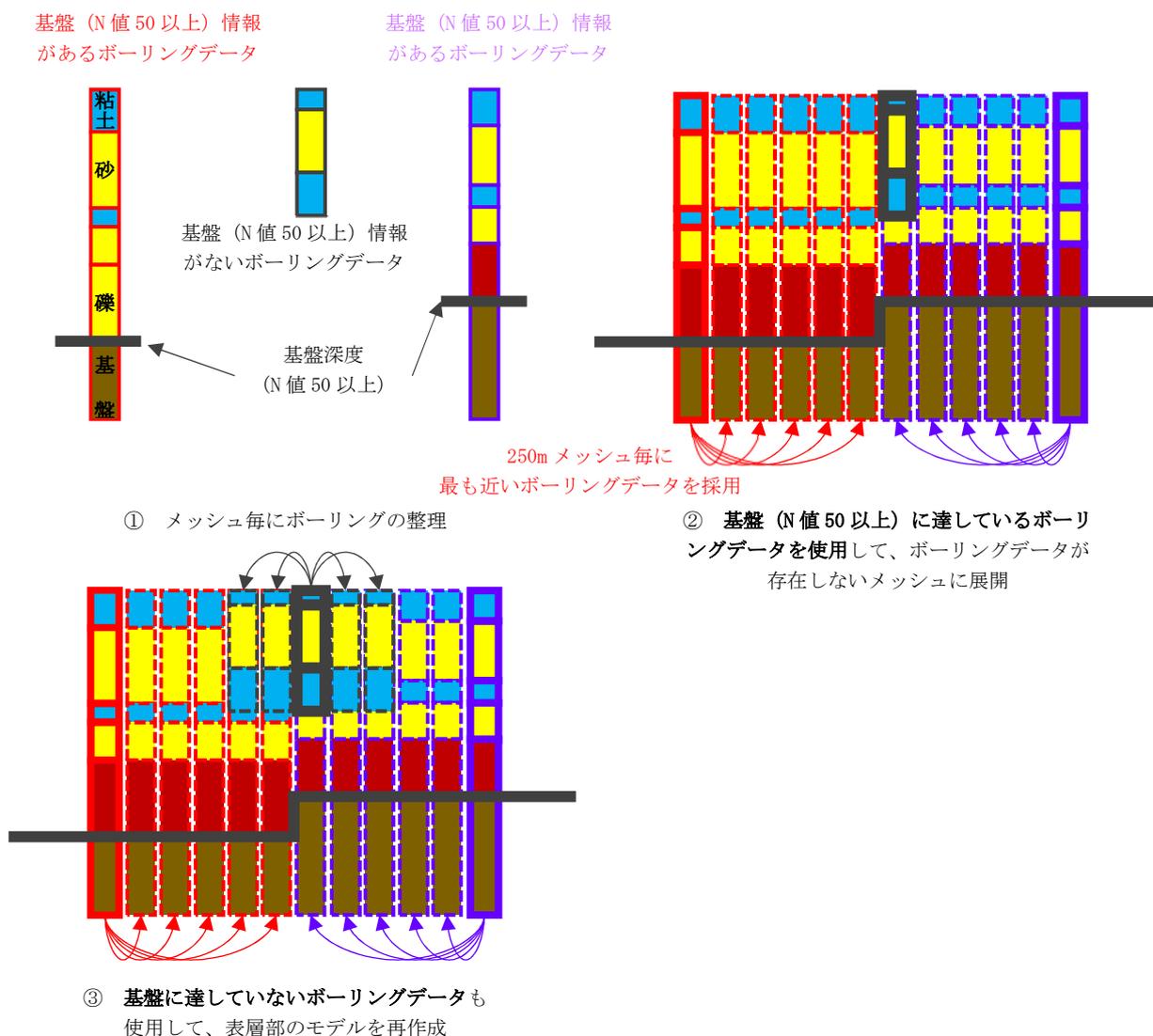


図 I-2.2-15 ボーリングデータが存在しないメッシュのモデル化のイメージ図

基盤（N 値 50 以上）深度の分布図を図 I-2.2-16 に示す。基盤（N 値 50 以上）深度が 100 m 以上の箇所も存在しているが、周辺ボーリングデータや PS 検層結果および極小アレイ探査の結果と比較して明らかに深い。このような地点に関しては後述するように、近傍に極小アレイ探査がある箇所についてはその結果を用いて、無い箇所については地震記録により作成した深部地盤モデルとの接合の際に修正を行った。

会津坂下町周辺や福島市周辺、郡山市周辺で基盤（N 値 50 以上）深度が深く 30~40 m 以上である。

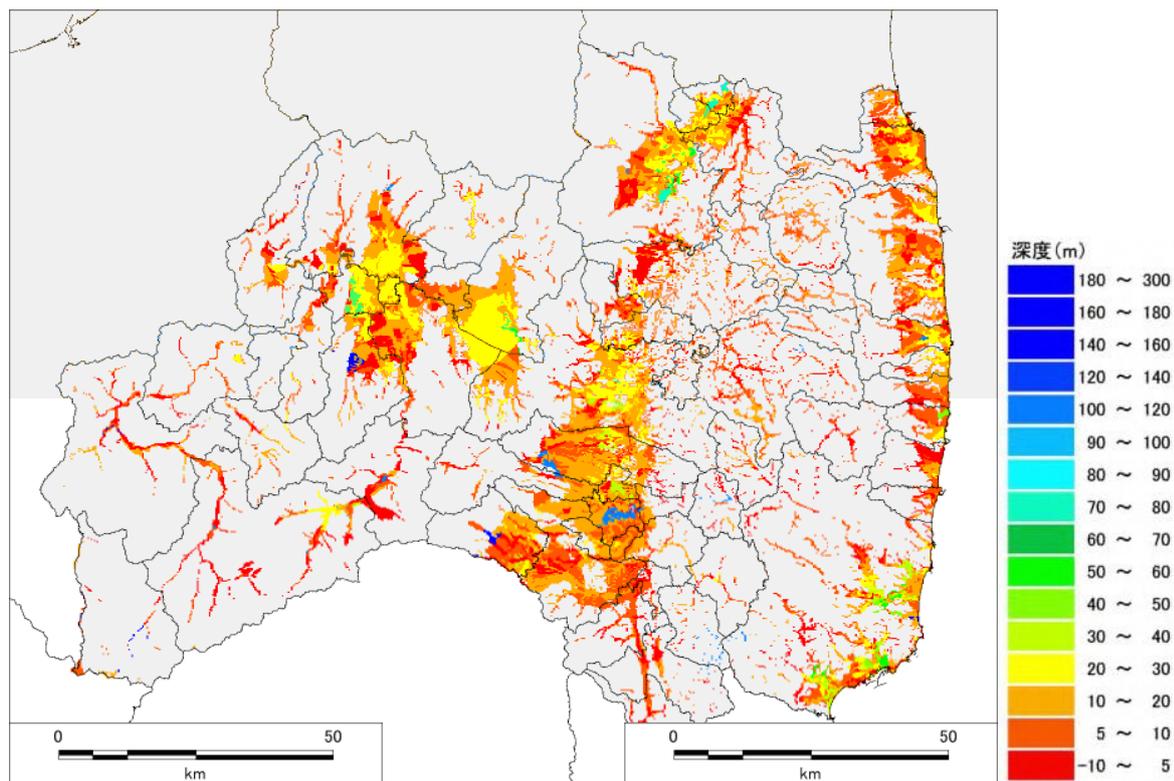


図 I-2.2-16 ボーリングデータにより作成した基盤（N 値 50 以上）深度

b) 初期 S 波速度の設定

基盤（N 値 50 以上）深度以浅の初期 S 波速度に関しては、中央防災会議（2003）の沖積層対応の式を用いて土質区分及び N 値から計算した。ただし、極小アレイ探査がある箇所については、極小アレイ探査の結果に基づき S 波速度の調整を行う。基盤（N 値 50 以上）深度以深の S 波速度は極小アレイ探査データを用いて検討した。極小アレイ探査がない領域はここで求めた S 波速度を最終的なモデルとして地震動の計算に用いるが、近傍に極小アレイ探査がある領域については、その結果を用いて S 波速度値の調整を行った。

$$V_S = 112.73 \cdot a \cdot N^{0.256}$$

V_S : S 波速度 (m/s)

N : N 値

a : 土質係数 (粘土 : 1、砂 : 0.885、礫 : 0.9)

密度については、中央防災会議（2003）より土質ごとに設定した。

d) ボーリングにより作成した基盤（N値 50 以上）の S 波速度の設定

極小アレイ探査も考慮した基盤（N値 50 以上）の S 波速度設定のイメージ図を図 I -2. 2-17 に示す。まず、極小アレイ探査データを用いて、Kriging 法による補間により Vs350 m/s 層の上面深度を作成し、ボーリングにより作成した基盤（N値 50 以上）深度と比較した。極小アレイ探査による Vs350 m/s 層の上面深度がボーリングにより作成した基盤（N値 50 以上）深度より浅い箇所（図 I -2. 2-17 の A の領域）では、ボーリングにより作成した基盤（N値 50 以上）は極小アレイ探査による Vs350 m/s 層に含まれると考え、S 波速度として Vs350 m/s とした。極小アレイ探査による Vs350 m/s 層の上面深度がボーリングにより作成した基盤（N値 50 以上）深度より深い箇所（図 I -2. 2-17 の B の領域）では、ボーリングにより作成した基盤（N値 50 以上）は、極小アレイ探査による Vs350 m/s 層の上面の S 波速度を与えた。

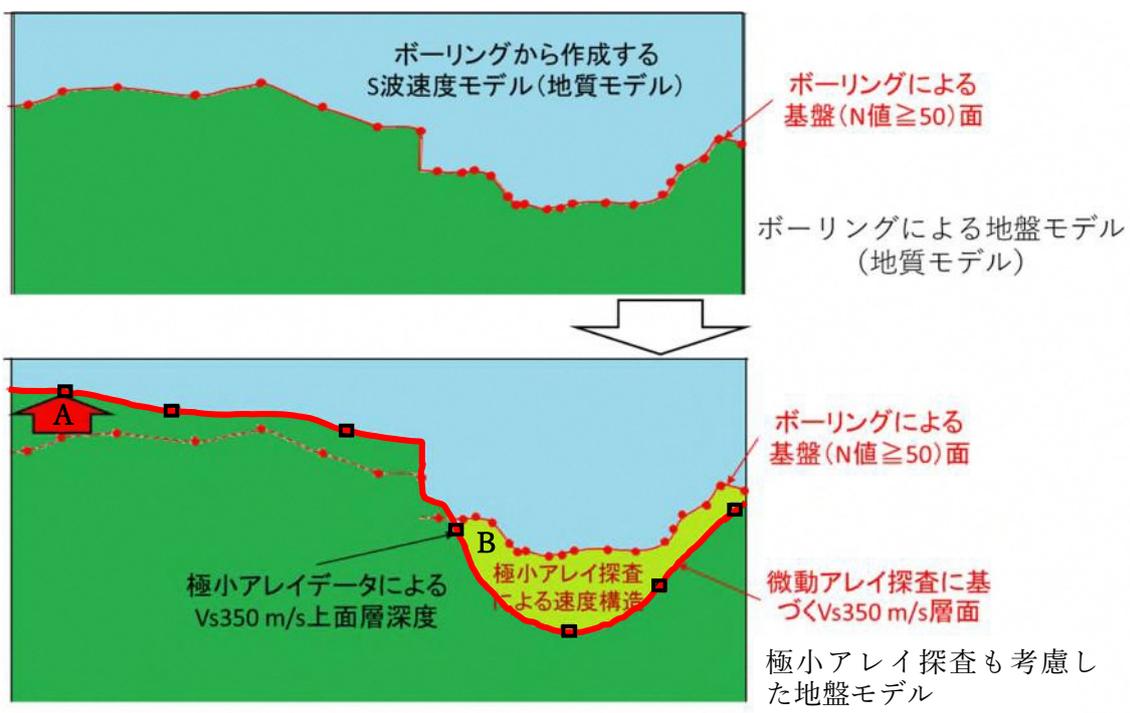


図 I -2. 2-17 極小アレイ探査結果も考慮した基盤（N値 50 以上）の S 波速度設定のイメージ図

Vs350 m/s 層上面深度について、会津地域、福島地域、郡山・白河地域、相馬地域、いわき地域に分けて作成した。さらに、微地形区分を考慮して、空間補間領域、補間データを設定した。図 I-2.2-18～図 I-2.2-22 に、補間領域と補間に用いるデータを設定した。ここで、火山山麓地と火山性丘陵のような類似している微地形区分では補間データセットをまとめて補間を行った。

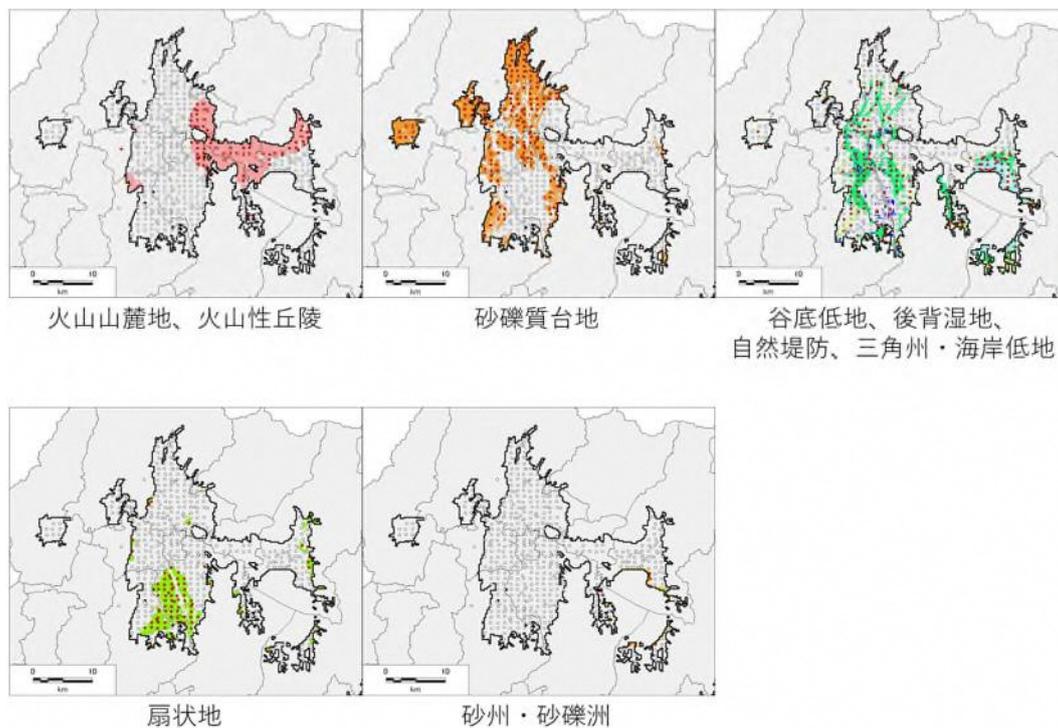


図 I-2.2-18 極小アレイ探査の補間領域と補間に用いるデータ（赤丸）：会津地域
※例えば、砂礫質台地のメッシュの補間には砂礫質台地に位置する極小アレイ探査データを用いた。

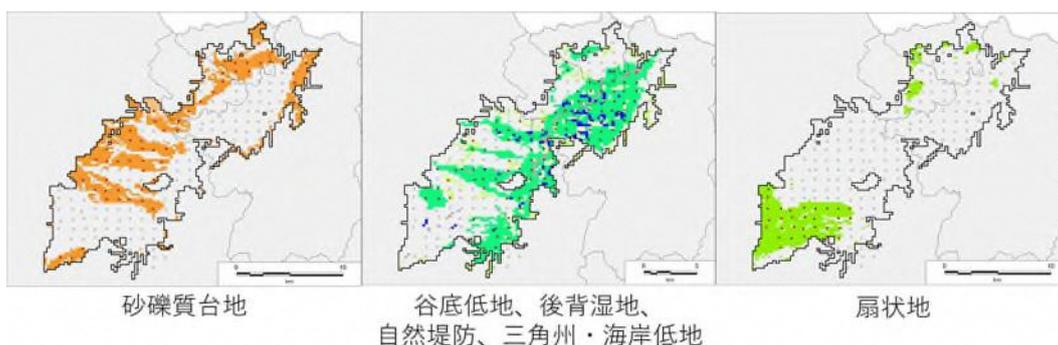


図 I-2.2-19 極小アレイ探査の補間領域と補間に用いるデータ（赤丸）：福島地域

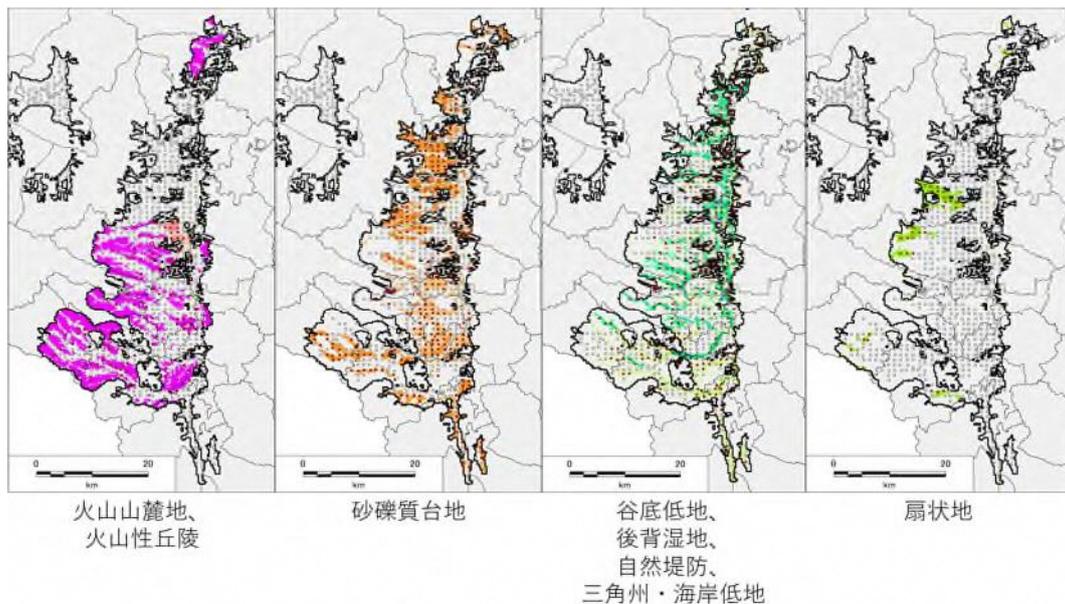


図 I-2.2-20 極小アレイ探査の補間領域と補間に用いるデータ（赤丸）：郡山・白河地域

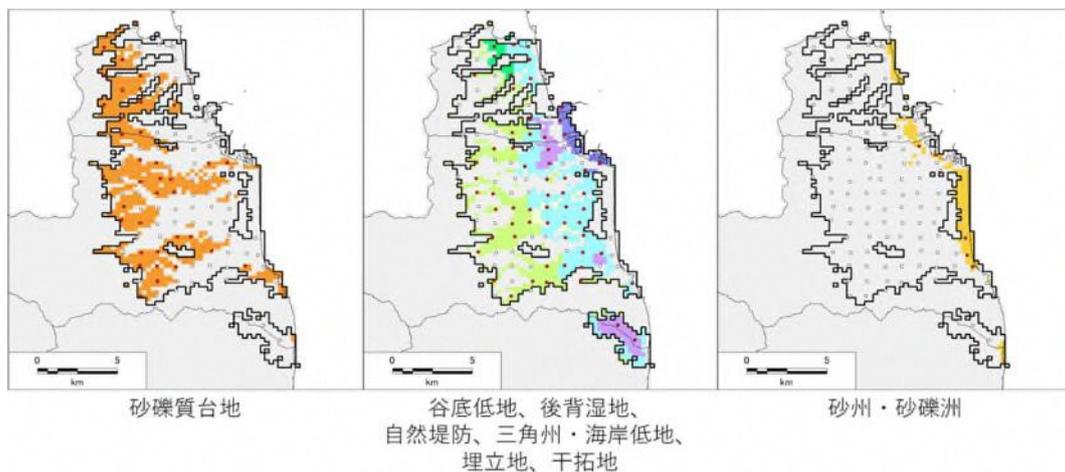


図 I-2.2-21 極小アレイ探査の補間領域と補間に用いるデータ（赤丸）：相馬地域

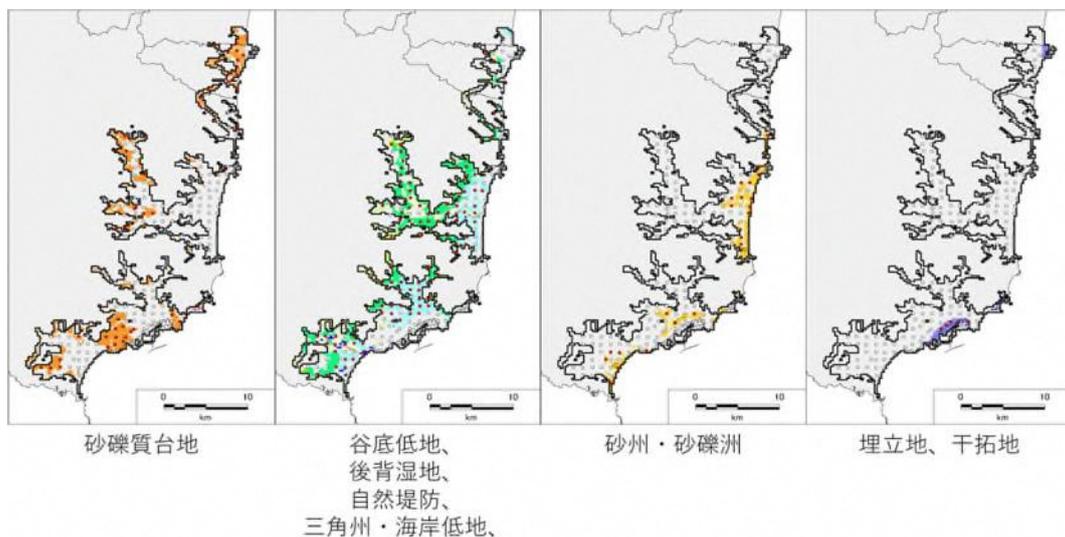


図 I-2.2-22 極小アレイ探査の補間領域と補間に用いるデータ（赤丸）：いわき地域

極小アレイ探査データを用いて作成した Vs350 m/s 層上面深度分布図を図 I-2.2-23 に示す。ボーリングデータにより作成した基盤 (N 値 50 以上) 深度との差分を図 I-2.2-24 に示す。ここで、差分が負の領域が図 I-2.2-17 の A の領域である。Vs350 m/s 層の上面深度がボーリングデータにより作成した基盤 (N 値 50 以上) 深度より深い箇所 (図 I-2.2-17 の B の領域) について、ボーリングデータにより作成した基盤 (N 値 50 以上) 深度より深い箇所の速度構造の検討を行った。

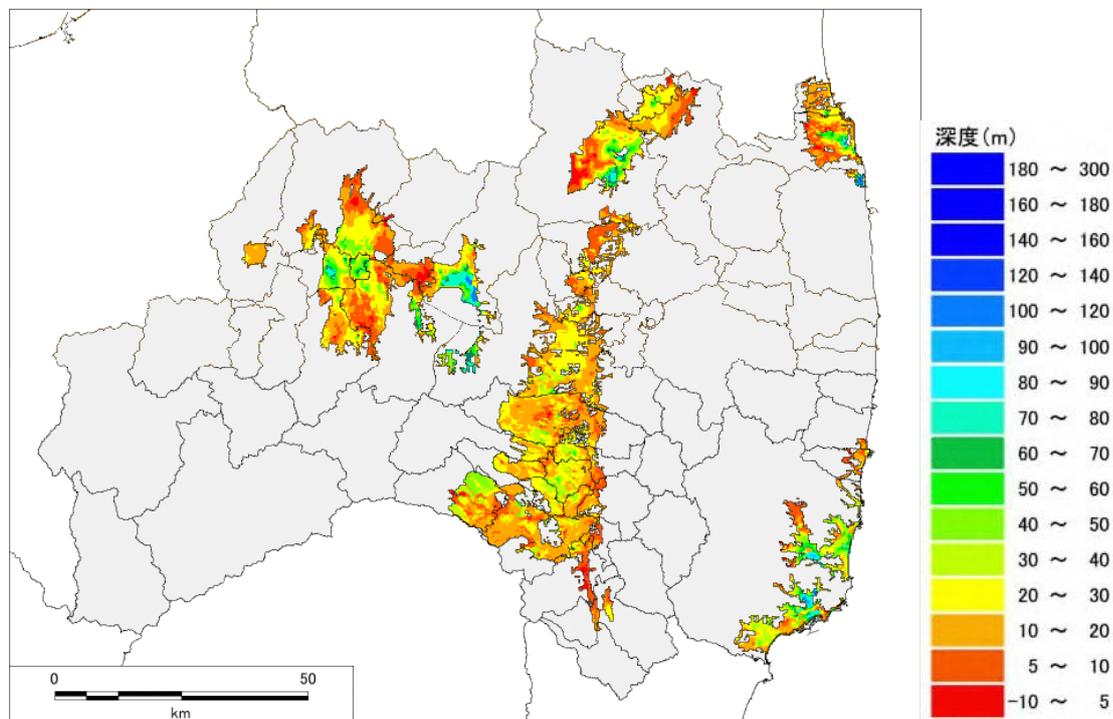


図 I-2.2-23 極小アレイ探査データを用いて作成した Vs350 m/s 層上面深度

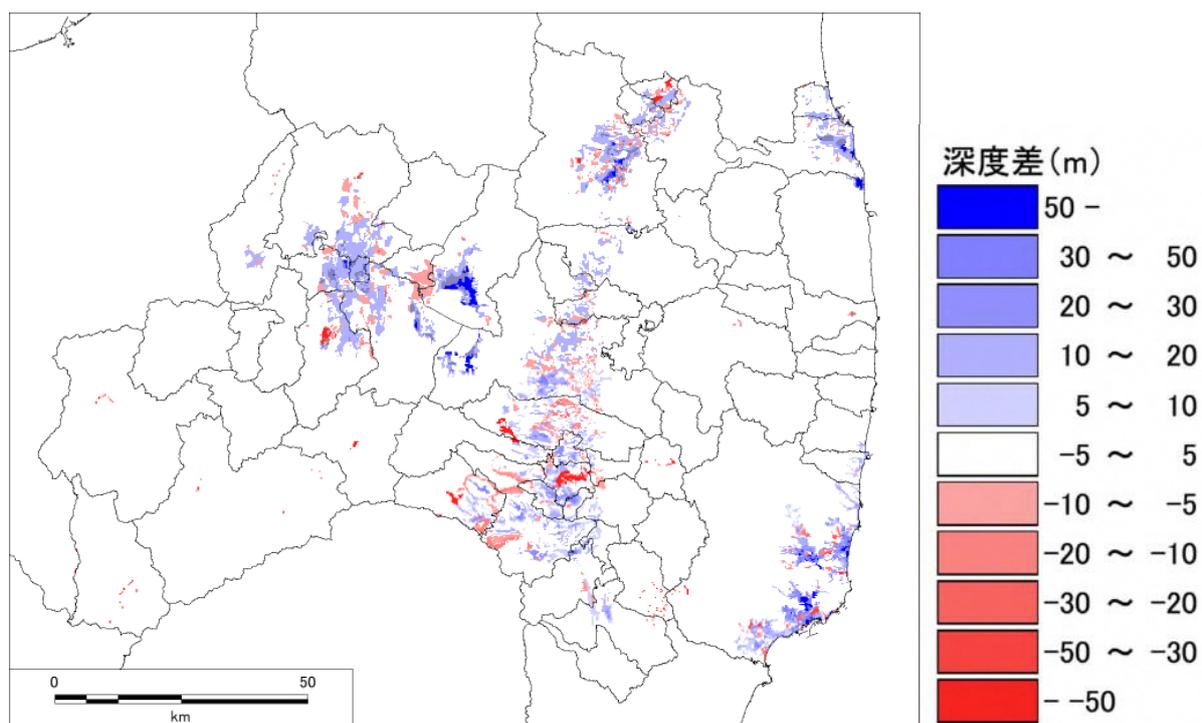


図 I-2.2-24 Vs350 m/s 層上面深度-ボーリングデータにより作成した基盤 (N 値 50 以上) 深度

ボーリングにより作成した基盤（N値 50 以上）深度がどの S 波速度層に対応するか極小アレイ探査を用いて検討した。まず、極小アレイ探査を用いて Vs200 m/s 層上面深度、Vs300 m/s 層上面深度（図 I-2.2-25、図 I-2.2-26）を作成した。

極小アレイ探査により作成した各 S 波速度の上面深度とボーリングにより作成した基盤（N値 50 以上）深度と比較し、最も相関が良い層を N値 50 以上の層の速度層とした。ただし、地形的に妥当ではないと考えられる S 波速度は適宜修正した。図 I-2.2-27 に、会津地域の砂礫質台地における、ボーリングにより作成した基盤（N値 50 以上）深度と極小アレイ探査による速度層上面深度の比較を示す。この例では、ボーリングにより作成した基盤（N値 50 以上）深度は Vs300 m/s 層の上面深度と最も相関がよい。このような検討を他の微地形区分、地域に対して行い、N値 50 以上の層の速度層を設定した。表 I-2.2-3 に設定した基盤（N値 50 以上）層の速度値を示す。会津地域や相馬地域、いわき地域における低地の微地形区分では、基盤（N値 50 以上）の S 波速度の設定値が小さく、Vs200 m/s ないしは Vs250 m/s であった。

図 I-2.2-28 に修正した基盤（N値 50 以上）上面深度と、図 I-2.2-29 に表 I-2.2-3 をもとに設定した基盤（N値 50 以上）層の速度値の分布を示す。

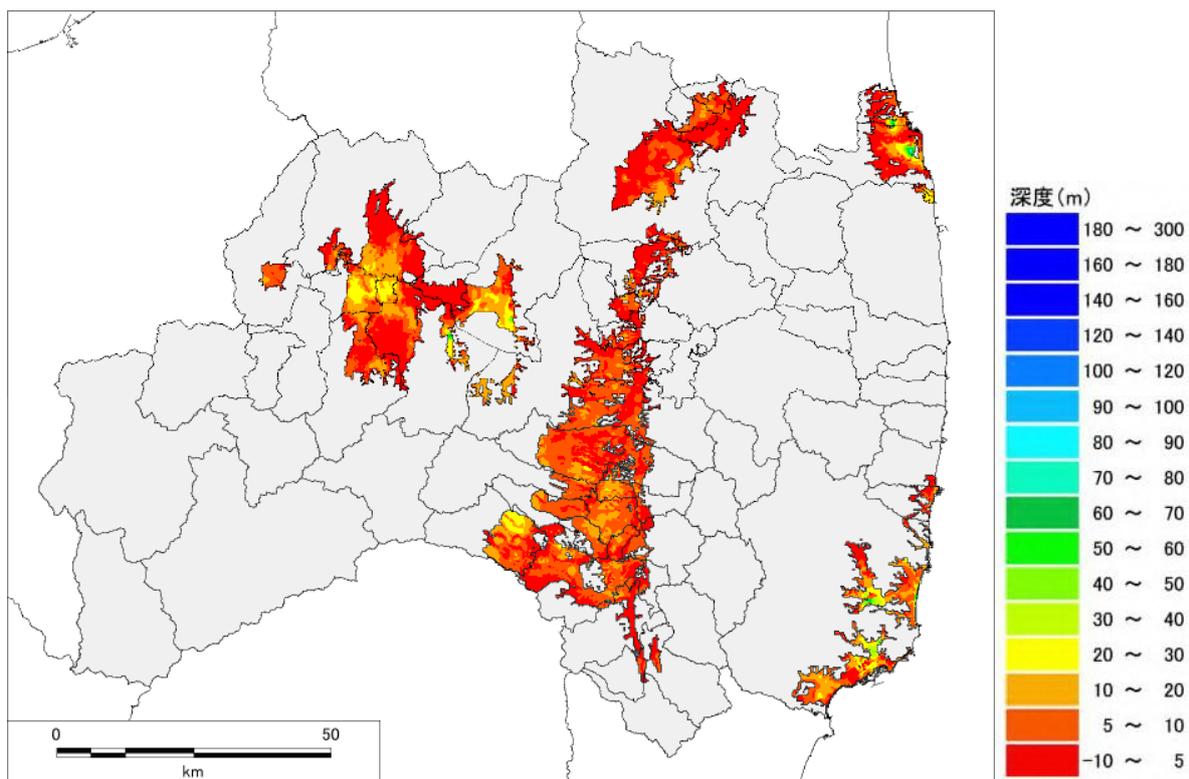


図 I-2.2-25 極小アレイ探査データを用いて作成した Vs200 m/s 層上面深度

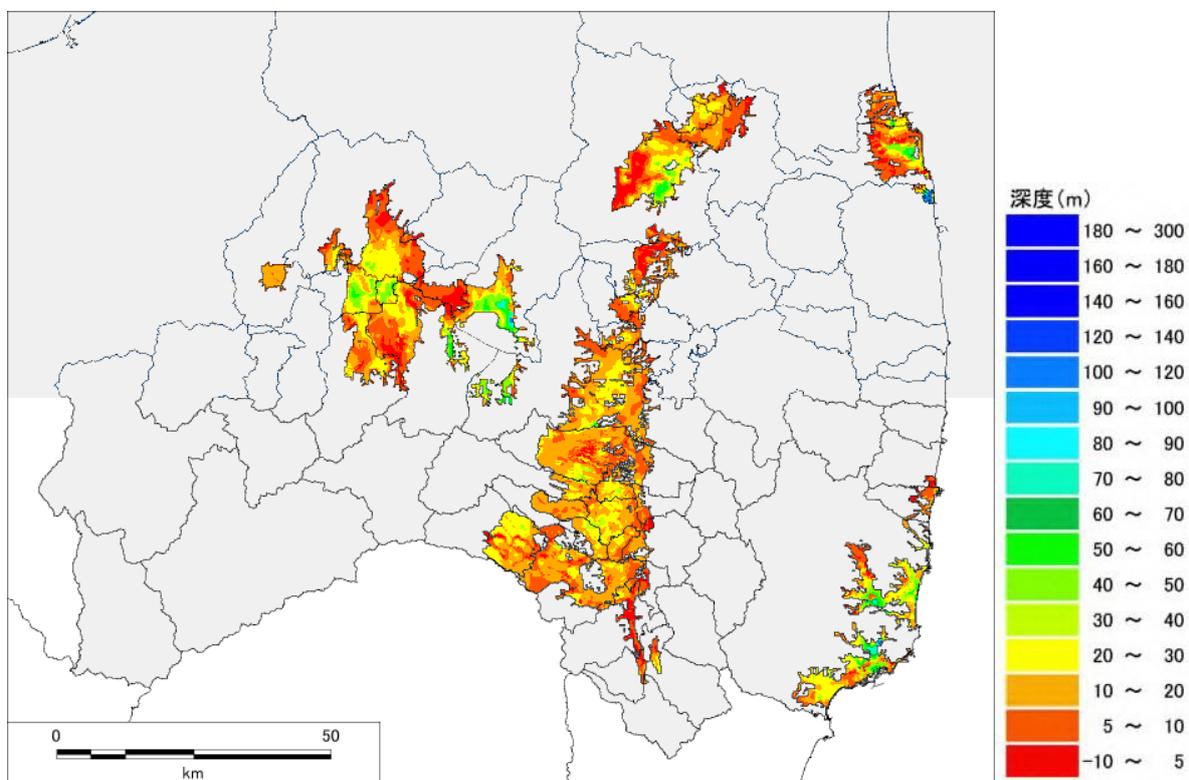


図 I-2.2-26 極小アレイ探査データを用いて作成した Vs300 m/s 層上面深度

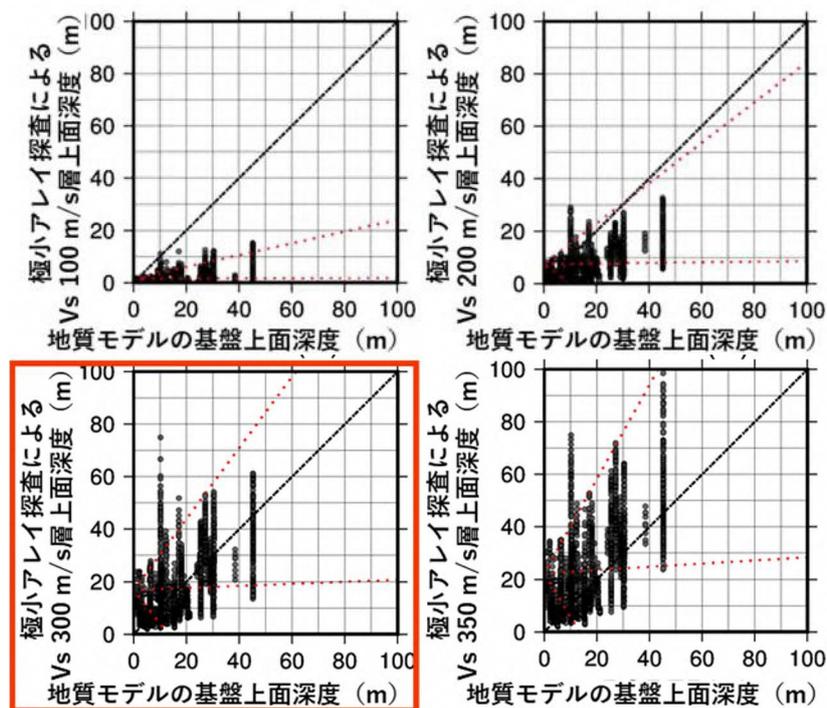


図 I-2.2-27 地質モデルの基底面と極小アレイ探査による速度層上面深度の比較の例：
会津地域－砂礫質台地（赤枠は最も地質モデルの基底上面深度と相関が良い速度層）

表 I-2.2-3 ボーリングにより作成した基底（N値 50 以上）の速度層の設定
（赤枠は図 I-2.2-27 の赤枠と対応）

微地形区分	会津	福島	郡山・白河	相馬	いわき
火山山麓地	300	—	350	—	—
火山性丘陵	—	—	350	—	—
岩石台地	300	—	—	—	—
砂礫質台地	300	300	300	300	300
火山灰台地	300	300	300	—	300
谷底低地	250	300	300	300	200
扇状地	300	300	300	—	300
自然堤防	250	300	300	200	250
後背湿地	250	300	300	200	250
旧河道	250	300	300	—	250
三角洲・海岸低地	250	—	—	200	250
砂州・砂礫洲	250	—	—	200	250
砂丘	—	—	—	—	250
砂州・砂丘間低地	—	—	—	—	250
干拓地	—	—	—	200	—
埋立地	—	—	—	200	250
河原	250	300	300	—	250

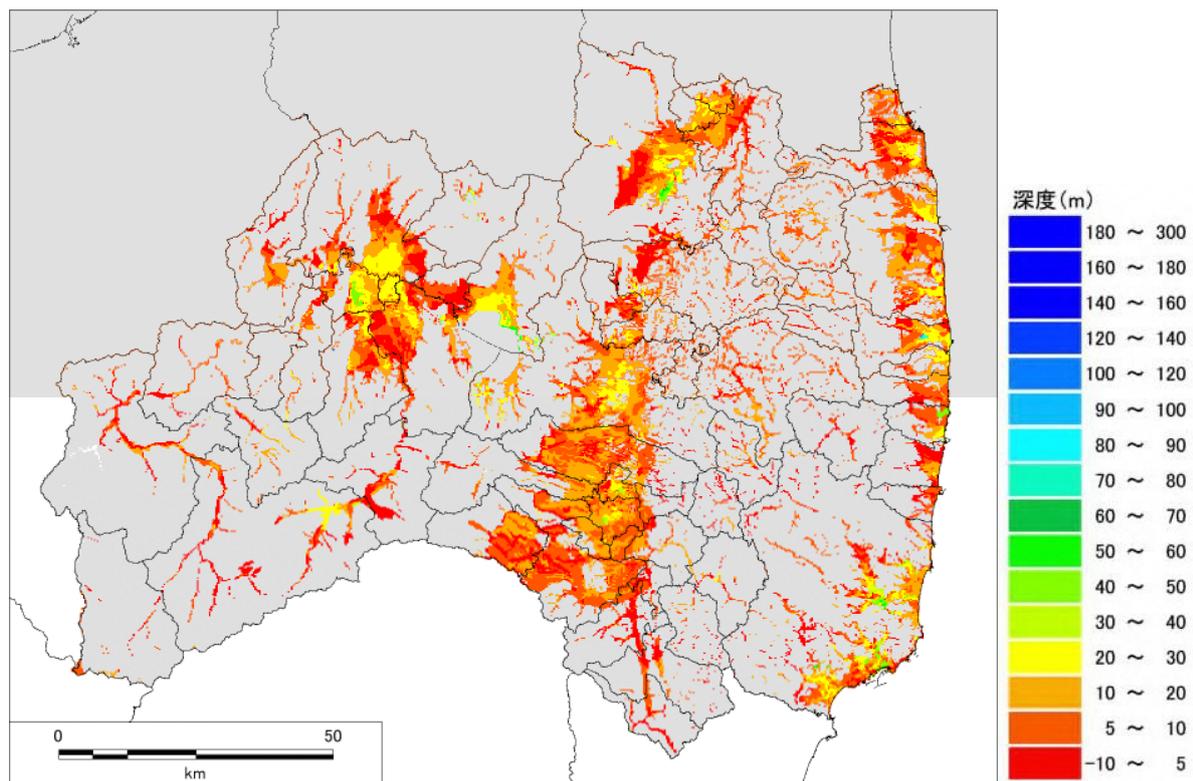


図 I-2.2-28 修正した地質モデルの基盤上面深度

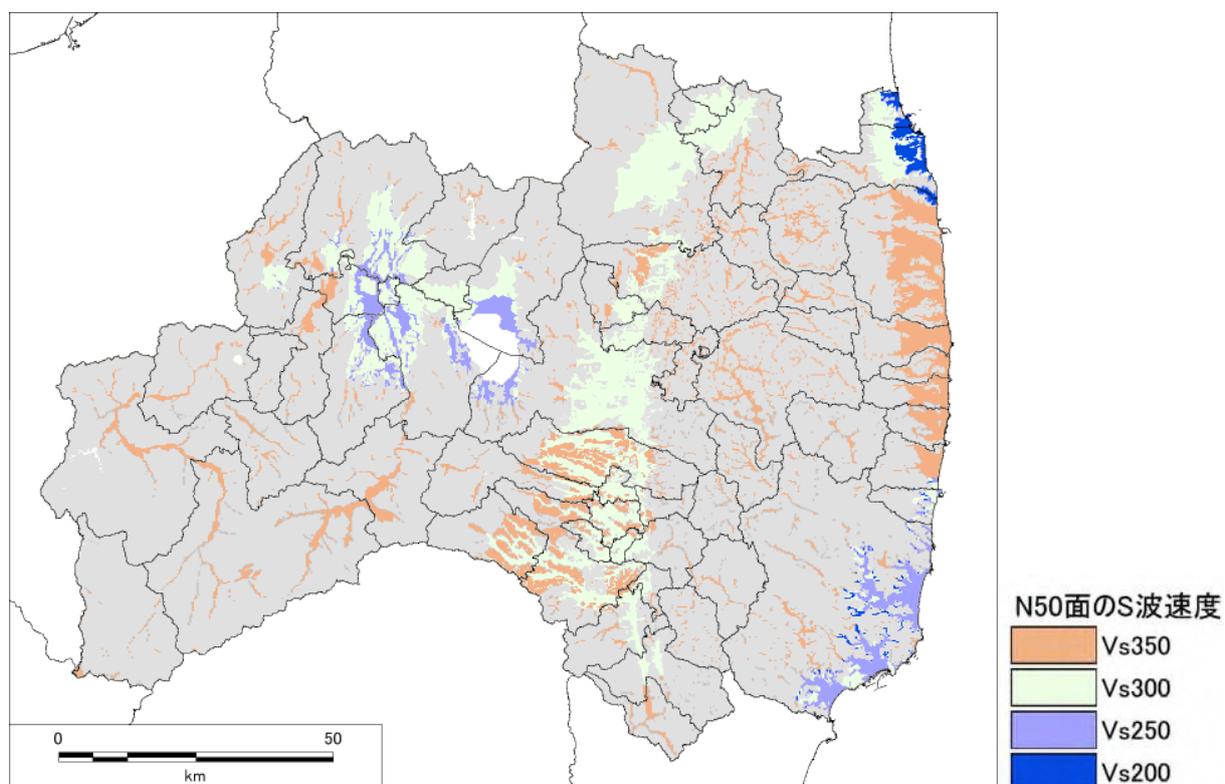


図 I-2.2-29 修正した地質モデルの基盤の S 波速度

d) 極小アレイ探査を用いた浅部地盤モデルのS波速度の調整

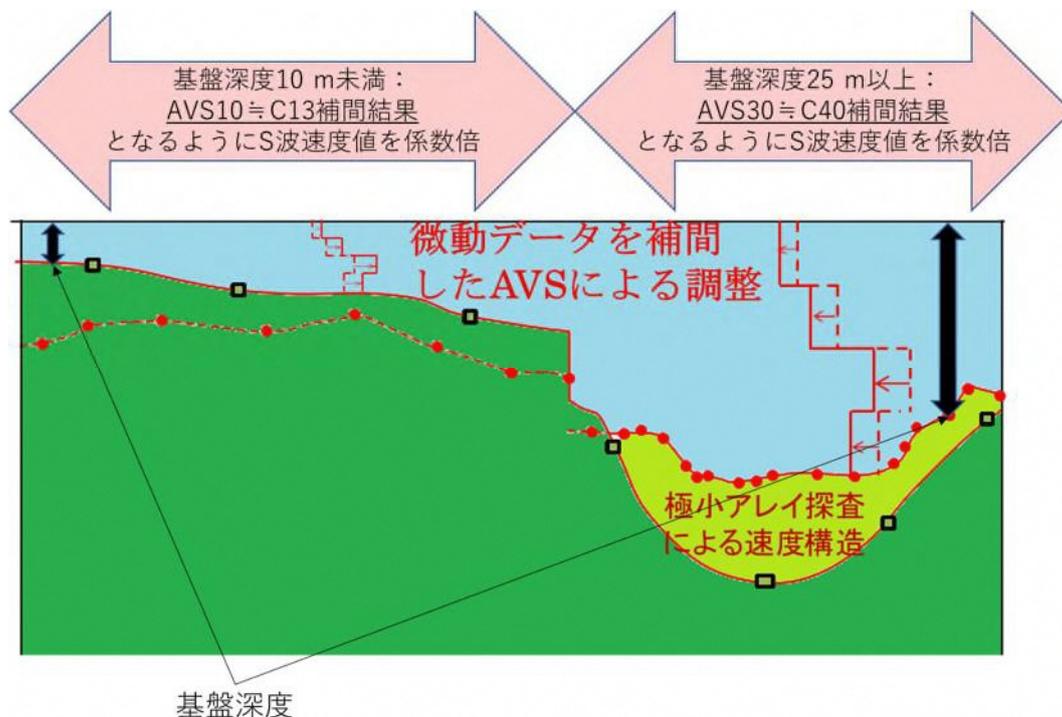
微動アレイ探査の位相速度から、波長に応じた位相速度を読み取ることで、地盤の平均的なS波速度を推定することができる。今回は、波長13mの位相速度（以下、C13）、波長20mの位相速度（以下、C20）、波長25mの位相速度（以下、C25）、波長35mの位相速度（以下、C35）、波長40mの位相速度（以下、C40）を用いた。それぞれ、AVS10、AVS15、AVS20、AVS25、AVS30に相当する。従来の微動アレイ探査調査では、得られた位相速度やH/Vスペクトルに整合するようにインバージョン解析を行うが、この手法では微動アレイ探査が実施された地点しか修正ができない。

ボーリング探査による浅部地盤モデルのAVS10～AVS30が極小アレイ探査により得られるC13～C40の面的な補間結果に整合するように、初期モデルのS波速度値を係数倍することにより、初期S波速度値を調整した（図I-2.2-30）。

基盤深度に応じて調整するAVSを表I-2.2-4のように設定した。

表I-2.2-4 基盤深度に応じた調整方法

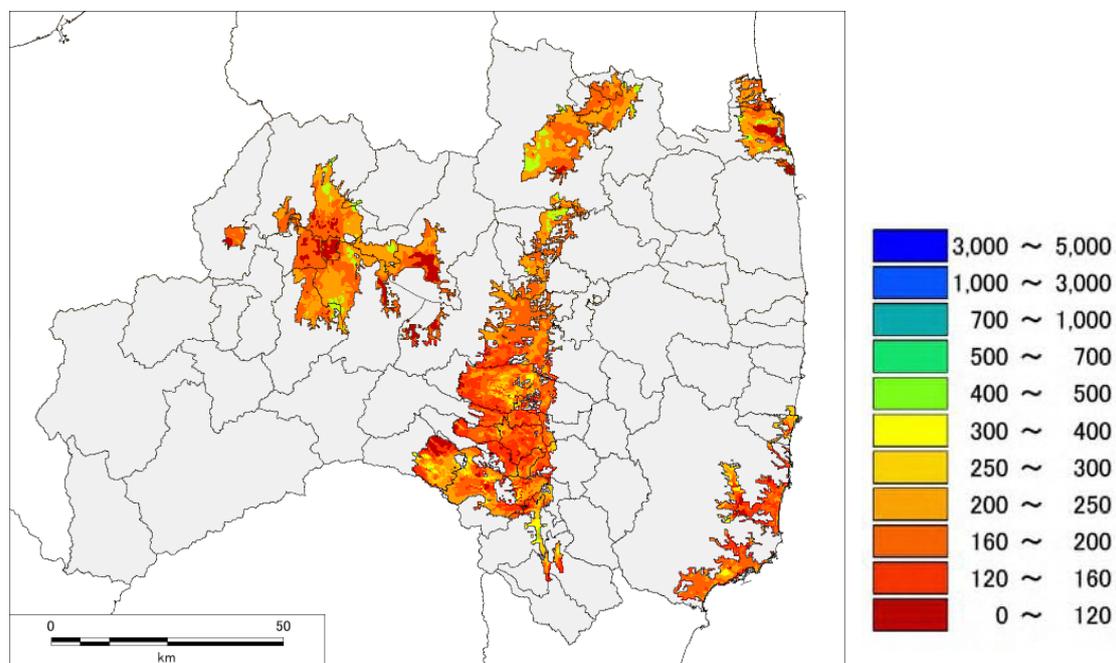
基盤深度	調整方法
10 m 未満	地盤モデルの AVS10 を C13 に合わせる
10 m ≤ 基盤深度 < 15 m	地盤モデルの AVS15 を C20 に合わせる
15 m ≤ 基盤深度 < 20 m	地盤モデルの AVS20 を C25 に合わせる
20 m ≤ 基盤深度 < 25 m	地盤モデルの AVS25 を C35 に合わせる
25 m ≤ 基盤深度	地盤モデルの AVS30 を C40 に合わせる



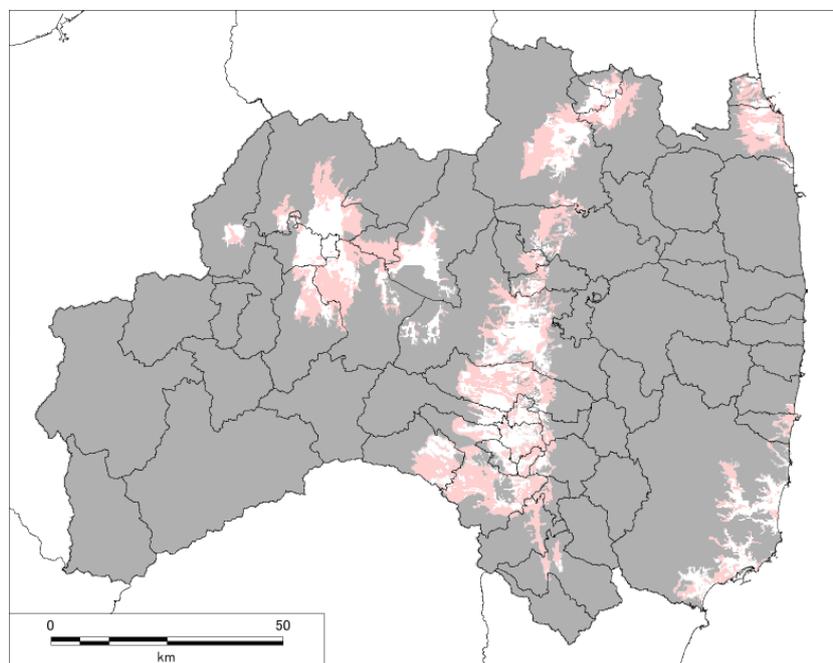
図I-2.2-30 極小アレイ探査データによるS波速度値の調整のイメージ図

まず、C13～C40を面的に補間した（図I-2.2-31～図I-2.2-35）。補間領域と、補間に用いるデータについてはVs350 m/s層上面深度の作成時と同様である（図I-2.2-18～図I-2.2-22）。

C13～C40の補間結果および調整エリアを示す。ほとんどの地域でボーリングにより作成した基盤（N値50以上）深度が10m以下であり、AVS10をC13に整合するように浅部地盤モデルのS波速度値を係数倍した。会津美里町などの一部地域では基盤深度が25m以上であり、AVS30をC40に整合するように、浅部地盤モデルのS波速度値を係数倍した。

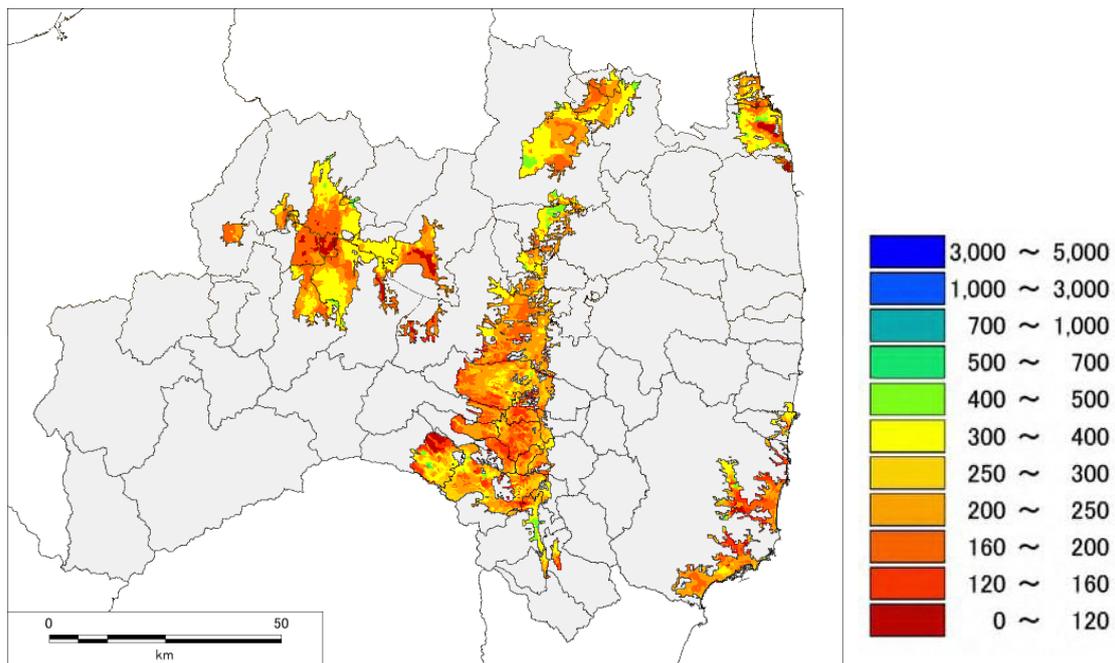


(a) 微動探査のC13の補間結果

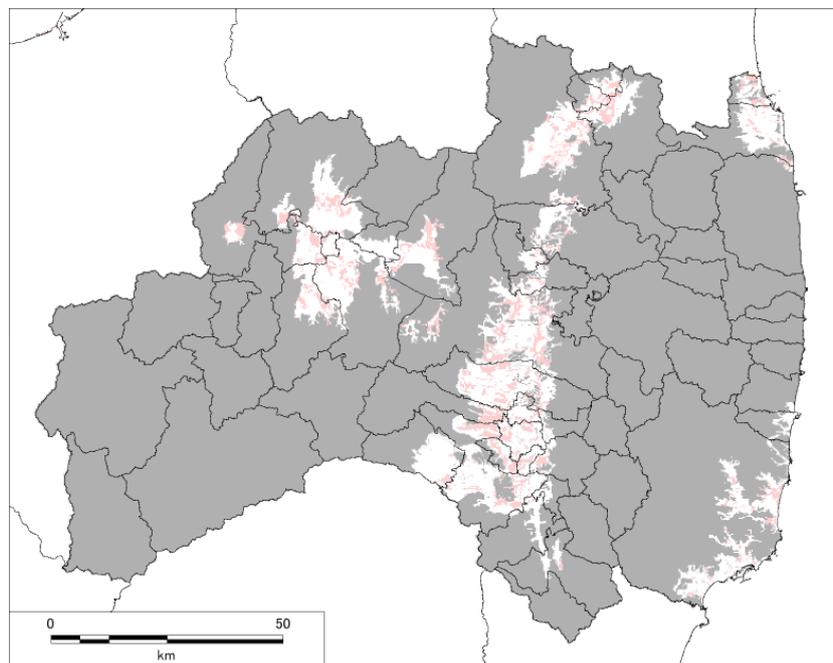


(b) AVS10をC13補間結果に合わせるエリア：基盤深度<10m

図 I-2.2-31 極小アレイ探査によるC13の補間結果およびその調整エリア

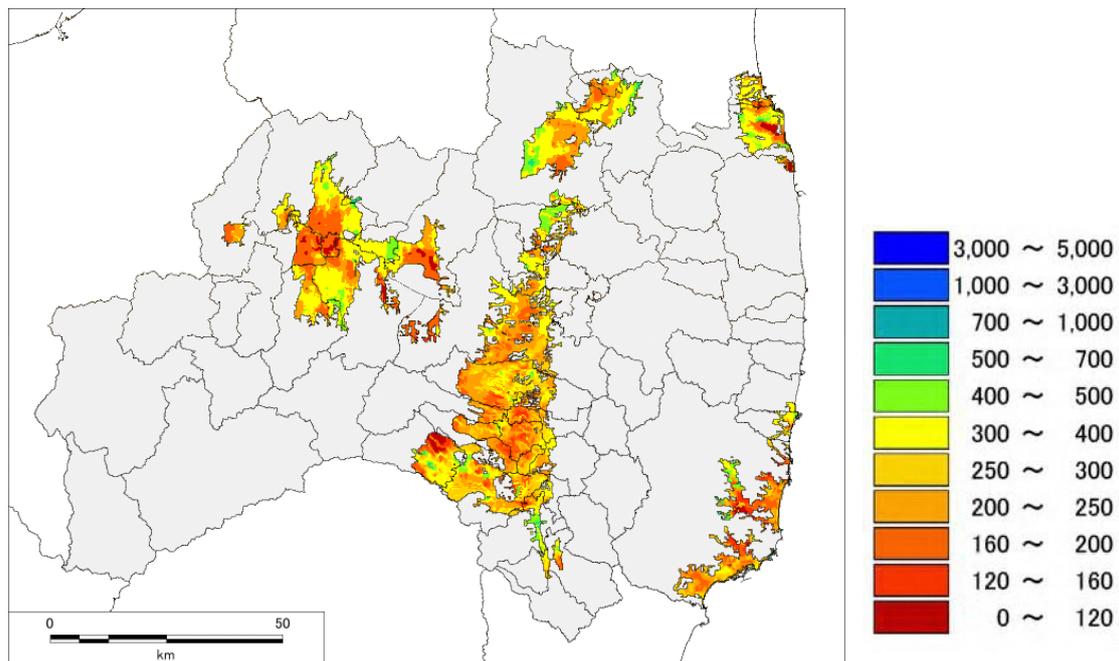


(a) 微動探査の C20 の補間結果

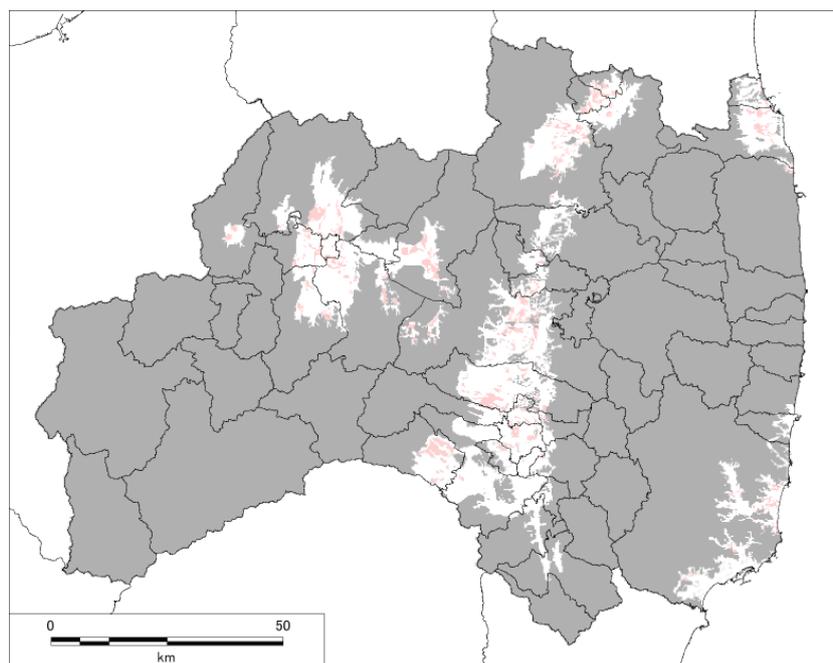


(b) AVS15 を C20 補間結果に合わせるエリア : $10 \text{ m} \leq \text{基盤深度} < 15 \text{ m}$

図 I -2. 2-32 極小アレイ探査による C20 の補間結果およびその調整エリア

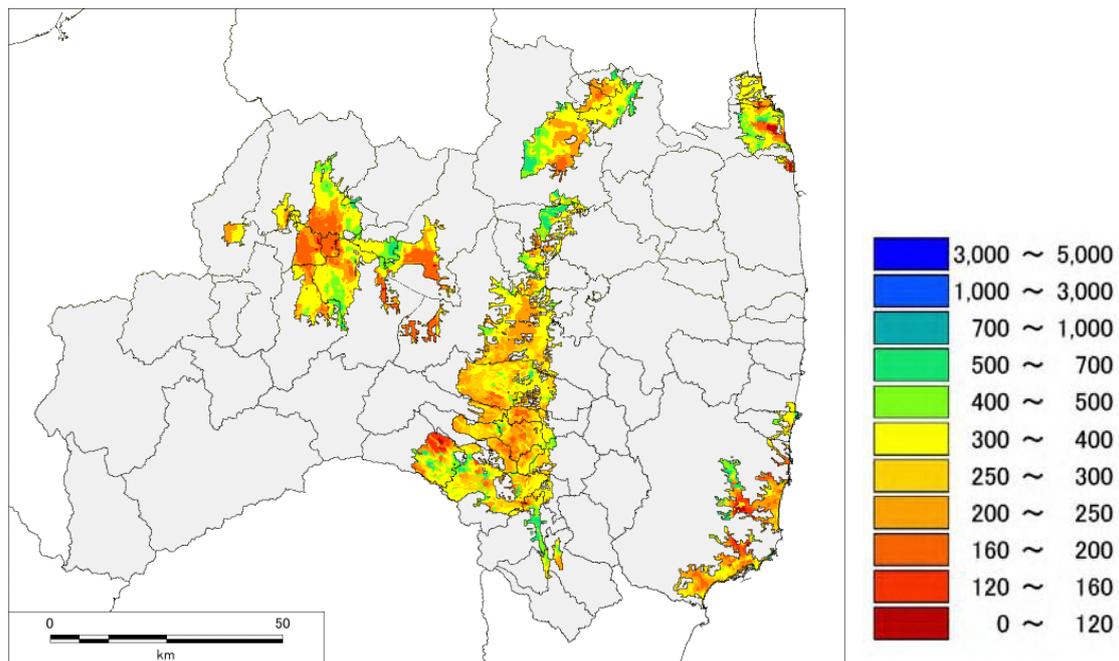


(a) 微動探査の C25 の補間結果

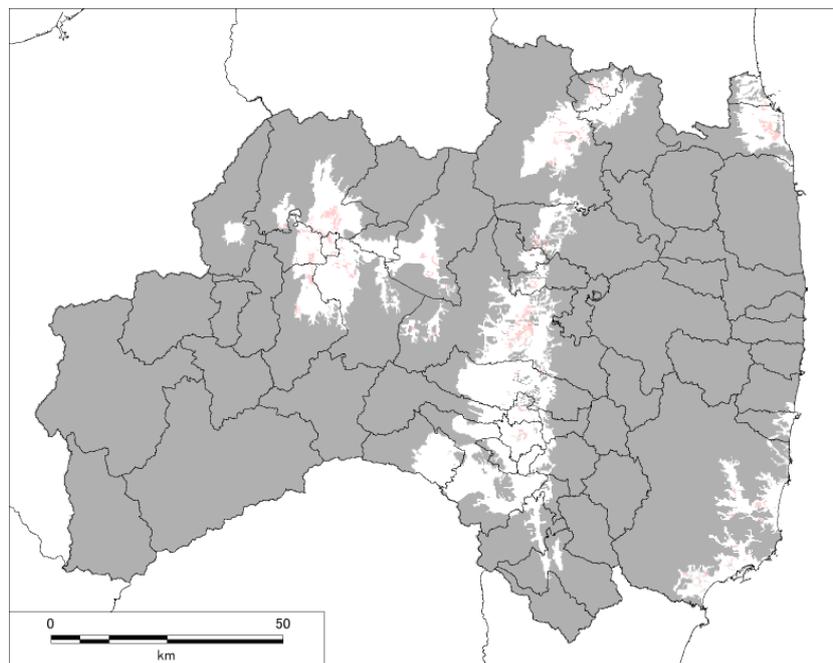


(b) AVS20 を C25 補間結果に合わせるエリア : $15 \text{ m} \leq \text{基盤深度} < 20 \text{ m}$

図 I -2. 2-33 極小アレイ探査による C25 の補間結果およびその調整エリア

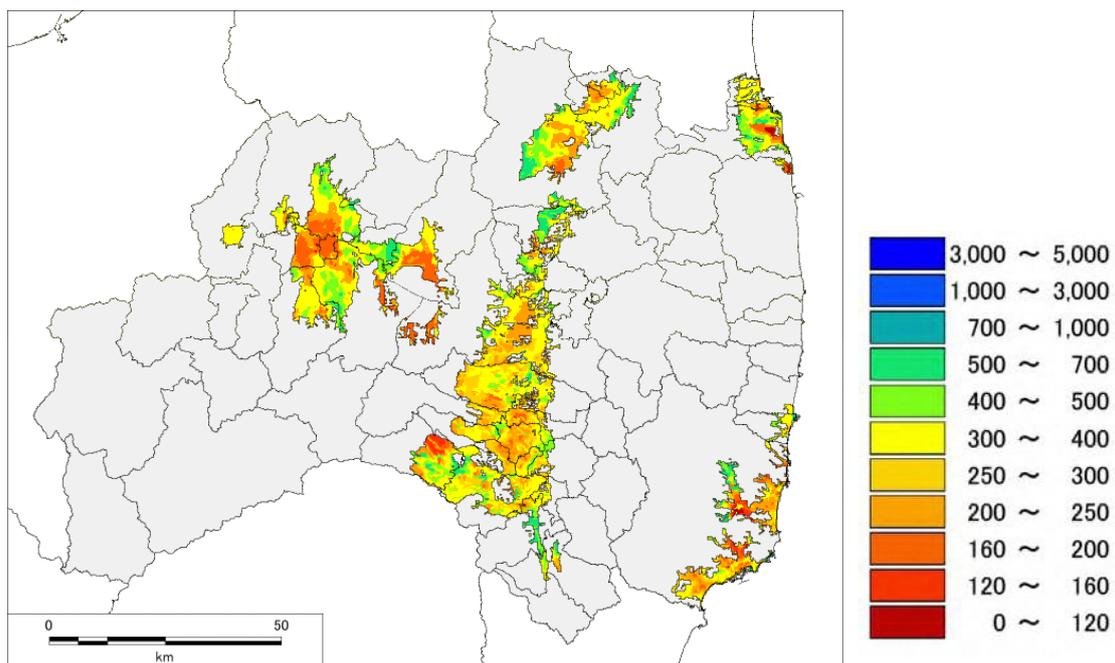


(a) 微動探査の C35 の補間結果

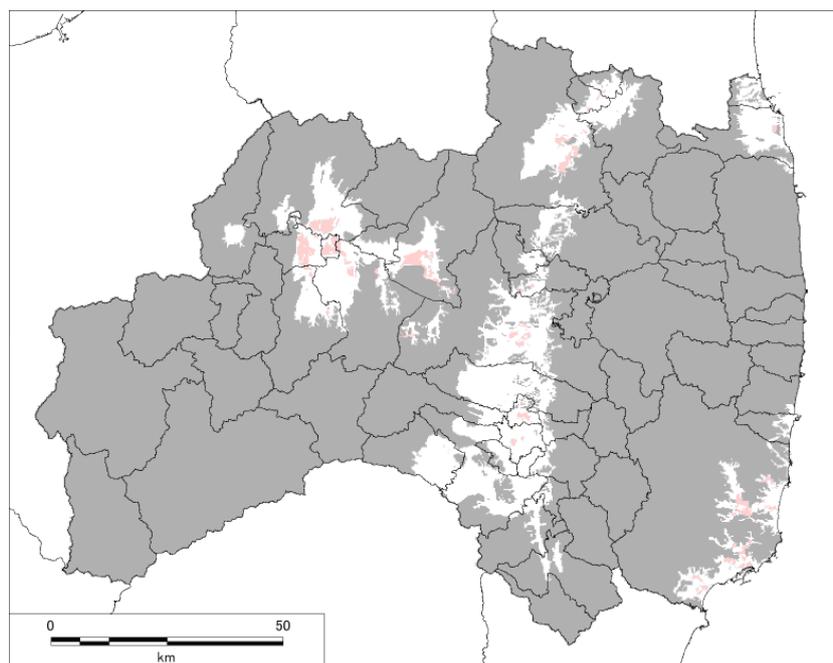


(b) AVS25 を C35 補間結果に合わせるエリア : $20 \text{ m} \leq \text{基盤深度} < 25 \text{ m}$

図 I -2. 2-34 極小アレイ探査による C35 の補間結果およびその調整エリア



(a) 微動探査の C40 の補間結果



(b) AVS30 を C40 補間結果に合わせるエリア : $25 \text{ m} \leq$ 基盤深度

図 I-2.2-35 極小アレイ探査による C40 の補間結果およびその調整エリア

図 I-2.2-36 に初期浅部地盤モデルの AVS20 を、図 I-2.2-37 に修正 S 波速度構造モデルの AVS20 を示す。図 I-2.2-38 に初期浅部地盤モデルの AVS30 を、図 I-2.2-39 に修正 S 波速度構造モデルの AVS30 を示す。ボーリング等で作成された地質モデルよりも、極小アレイ探査により調整されたモデル（修正 S 波速度構造モデル）の方が AVS が小さい

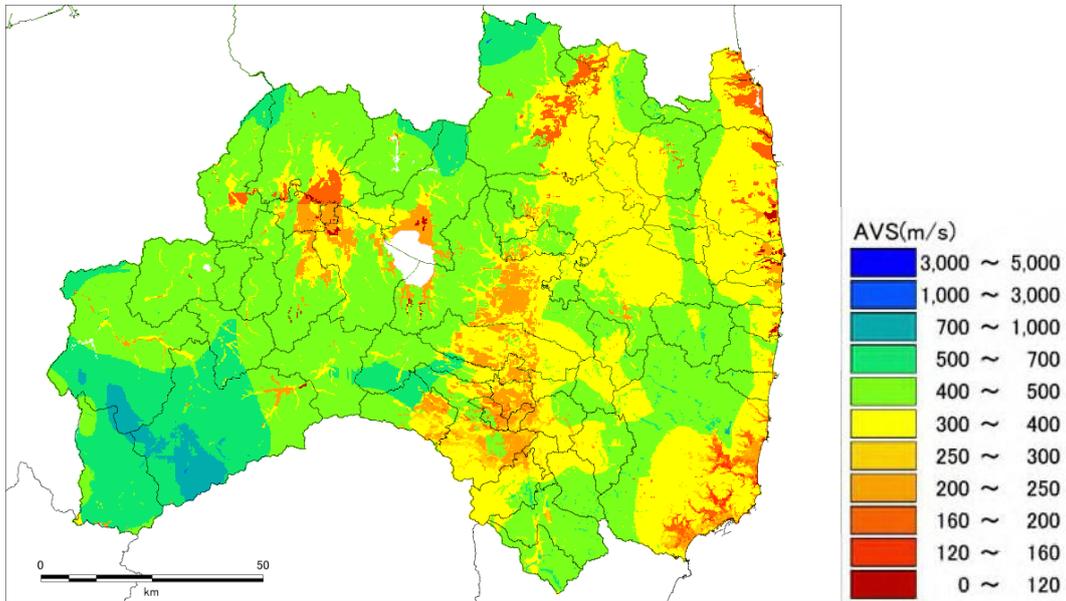


図 I-2.2-36 初期浅部地盤モデルの AVS20

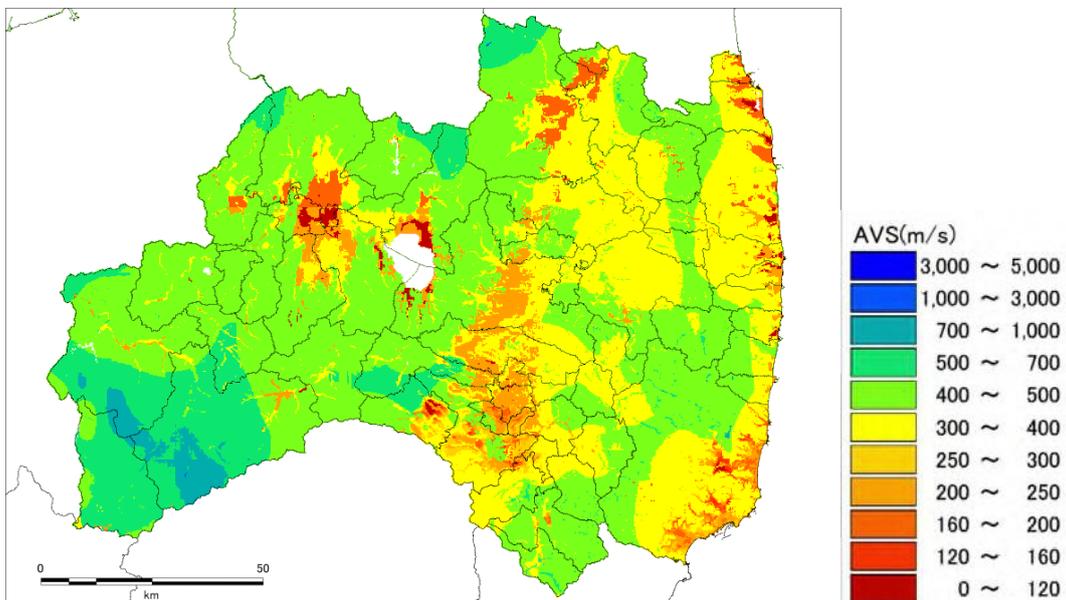


図 I-2.2-37 修正 S 波速度構造モデルの AVS20

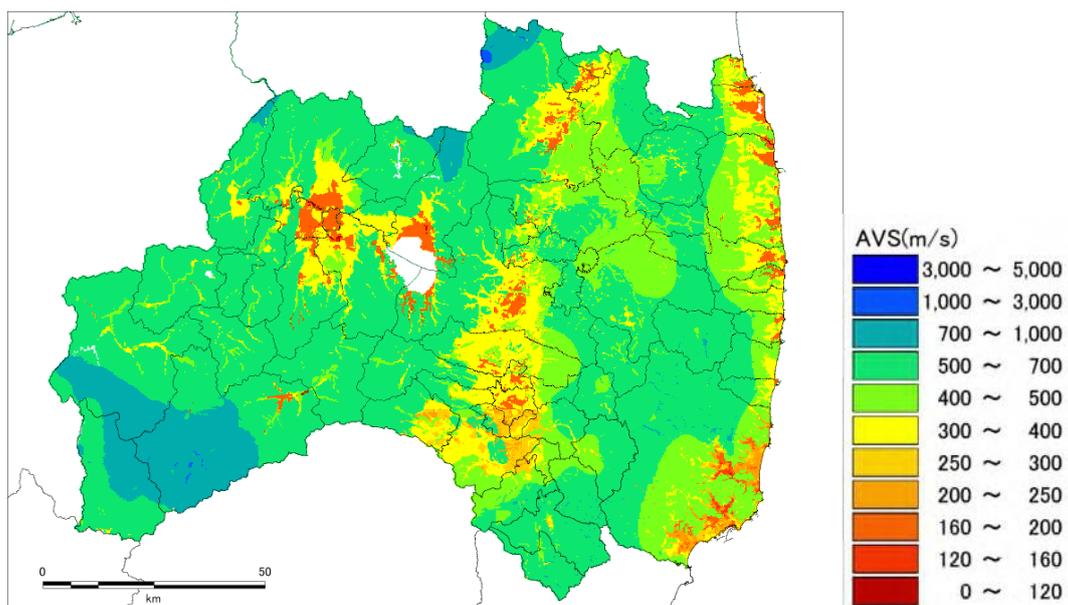


図 I -2. 2-38 初期浅部地盤モデルの AVS30

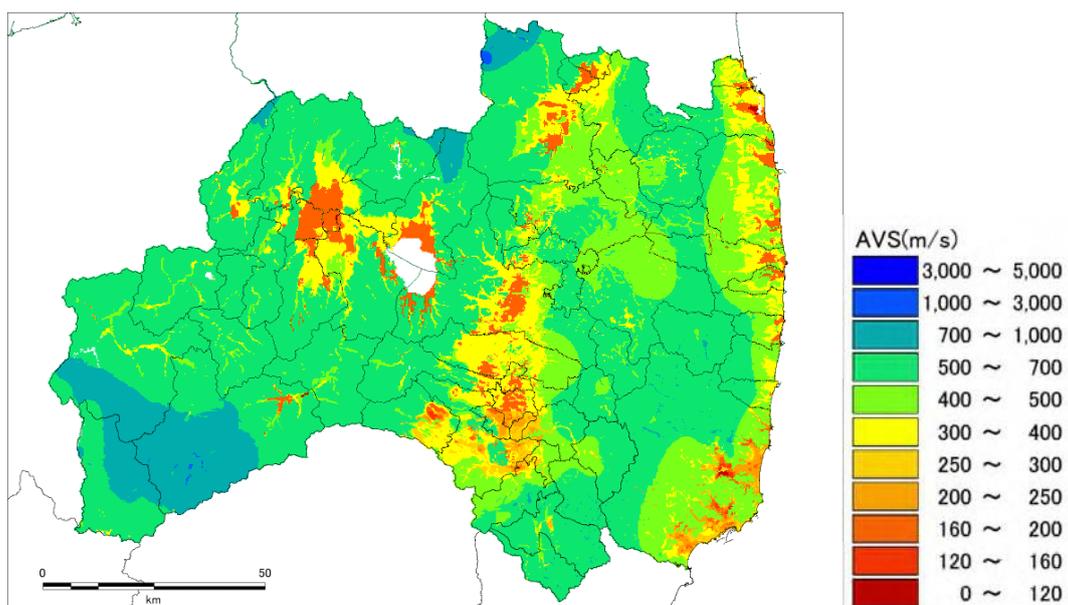


図 I -2. 2-39 修正 S 波速度構造モデルの AVS30

e) 山地部のモデル化

山地については、浅部地盤モデルとして風化層を仮定してモデル化を行った。PS 検層をもとに風化層の層厚、S 波速度値、および基盤の S 波速度値を設定した。

以下の特性を考慮し、エリアを分けてモデル化を行った

- ① 西会津山地：グリーンタフ地域。
- ② 阿武隈山地：花崗岩類から成り、深層風化が顕著。
⇒工学的基盤を深く設定

図 I -2. 2-40 に山間部の KiK-net 地点における PS 検層の速度構造を示す。PS 検層結果を 1 m 毎に平均をとった結果を赤線で示している。西会津山地+第四紀火山地域は阿武隈山地よりも全体的に速い傾向があることがわかる。さらに、平均された 1m 毎の S 波速度値（赤線）から層厚 5m 単位で速度走時を平均し、値を丸めた速度構造を青線で示している。設定した山地部の速度構造を表 I -2. 2-5 に示す。

表 I -2. 2-5 PS 検層をもとに設定した山地の地盤モデル

	西会津山地+第四紀火山地域	阿武隈山地
0~5 m	Vs 300 m/s (Vs 255 m/s)	Vs 200 m/s (Vs 222 m/s)
5~10 m	Vs 600 m/s (Vs 611 m/s)	Vs 400 m/s (Vs 396 m/s)
10 m~		Vs 600 m/s (Vs 590 m/s)

※ () 内は層厚 5m 単位で速度走時を平均値

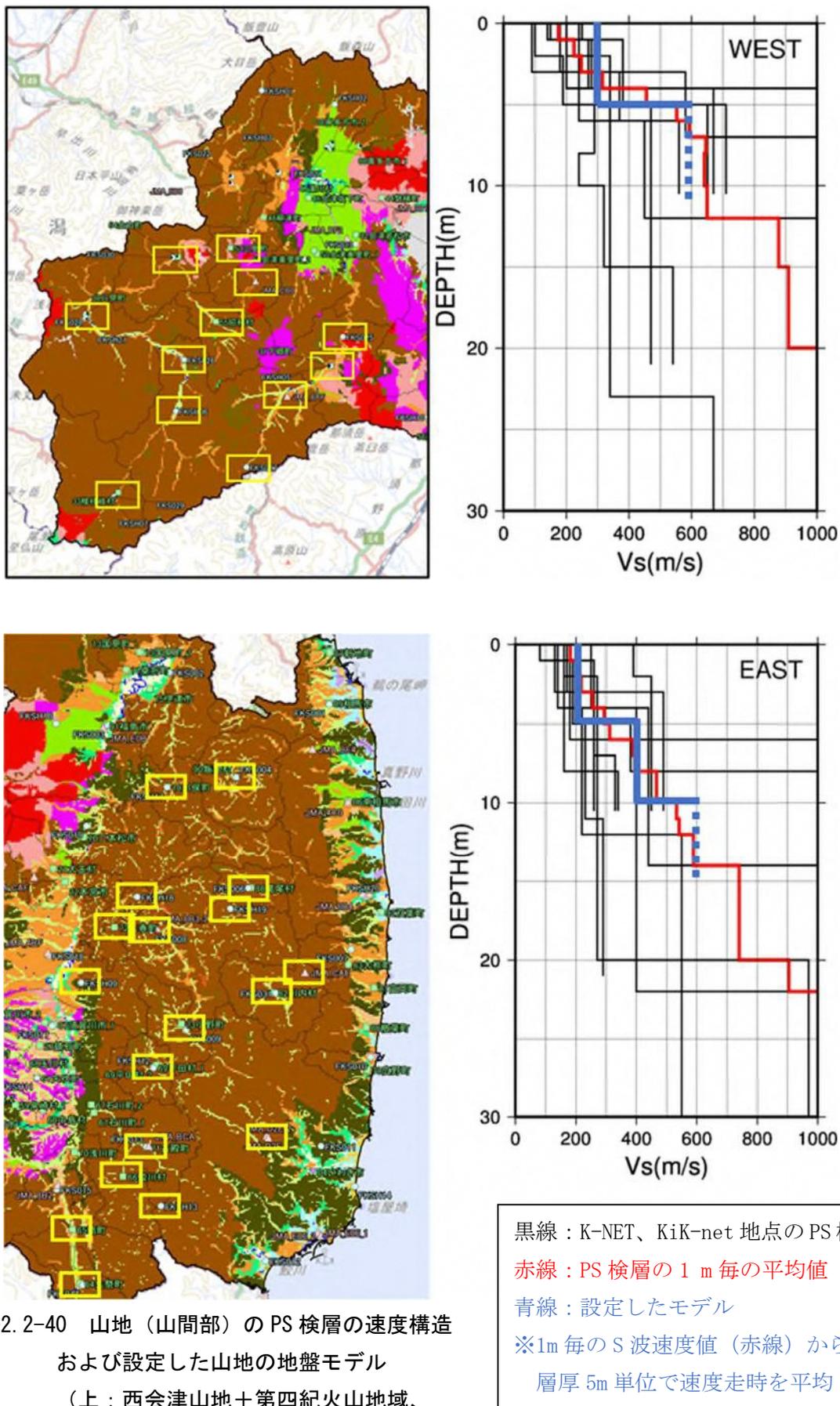


図 I-2.2-40 山地（山間部）の PS 検層の速度構造
および設定した山地の地盤モデル
（上：西会津山地+第四紀火山地域、
下：阿武隈山地）

黒線：K-NET、KiK-net 地点の PS 検層
赤線：PS 検層の 1 m 毎の平均値
青線：設定したモデル
※1m 毎の S 波速度値（赤線）から
層厚 5m 単位で速度走時を平均

2.2.3 差分法に基づく中小地震を用いた深部地盤モデルの妥当性の検証

中小地震のシミュレーションを行い、深部地盤モデルの妥当性を検証した。図 I-2.2-41 に計算に用いた地震の緒元を示す。表 I-2.2-6 に計算緒元を示す。計算ケースは今回作成した深部地盤モデルを用いた計算の他に、比較のために J-SHIS V2 を用いた計算を行った。

基本となる差分スキームは、速度一応力スタガード・グリッド (Virieux, 1986)¹⁻⁹⁾ であり、時間方向に 2 次、空間方向に 4 次の精度 (Levander, 1988)¹⁻¹⁰⁾ で計算を行っている。速度一応力スタガード・グリッドに対する震源の導入には、モーメント・テンソルを等価な体積力として表現する方法 (Graves, 1996)¹⁻¹¹⁾ を用いた。吸収境界条件は、Cerjan (1985)¹⁻¹²⁾ による方法を用いた。厚さ 20 格子分を吸収境界とした。粘弾性条件は、メモリバリアブルによる方法 (Robertsson, 1994)¹⁻¹³⁾ を用い、基準周期は 4 秒とした。

図 I-2.2-42～図 I-2.2-44 に差分法計算結果を示す。観測及び計算速度波形には、周期 2 秒のハイカットフィルターを施している。今回作成したモデルおよび J-SHIS V2 の計算結果の最大速度や波形の継続時間、速度フーリエスペクトルは観測データを概ね説明できている。特に、FKS012 や FKS020 では、J-SHIS V2 の計算結果より今回作成したモデルの計算結果の方が観測記録と整合的である。ただし、FKS016 の NS 方向等、今回作成したモデルの計算結果は観測記録を再現できていない地点もある。深部地盤モデルを改良できるような大アレイ探査を加えたモデル化を行うことで、より観測記録を再現できる地盤モデルを作成できる可能性がある。

観測記録および J-SHIS V2、今回作成したモデルを用いた計算結果の最大速度を比較した (図 I-2.2-45)。バンドパスフィルターにより、2-4 秒、4-6 秒、6-8 秒、8-10 秒、2-10 秒 (全周期) の計算結果を算出したが、全ての周期帯で J-SHIS V2 の計算結果より今回作成したモデルの計算結果の方が観測記録と整合的である。また、別の指標として、ANDERSON(2004)¹⁻¹⁴⁾ に基づき、観測記録との合致度を算出した。以下の式により各観測点の合致度を計算し、全ての観測点で合致度を平均した (図 I-2.2-46)。この指標を用いても、全ての周期帯で J-SHIS V2 の計算結果より今回作成したモデルの計算結果の方が観測記録と整合的である。

$$S(p_1, p_2) = 10 \exp \left\{ \left[\frac{(p_1 - p_2)}{\min(p_1, p_2)} \right]^2 \right\}$$

p_1 : 観測最大速度 (EW, NS のうち最大)

p_2 : 差分法計算結果の最大速度 (EW, NS のうち最大)

I 地盤モデル・想定地震について
2. 地震モデルの作成

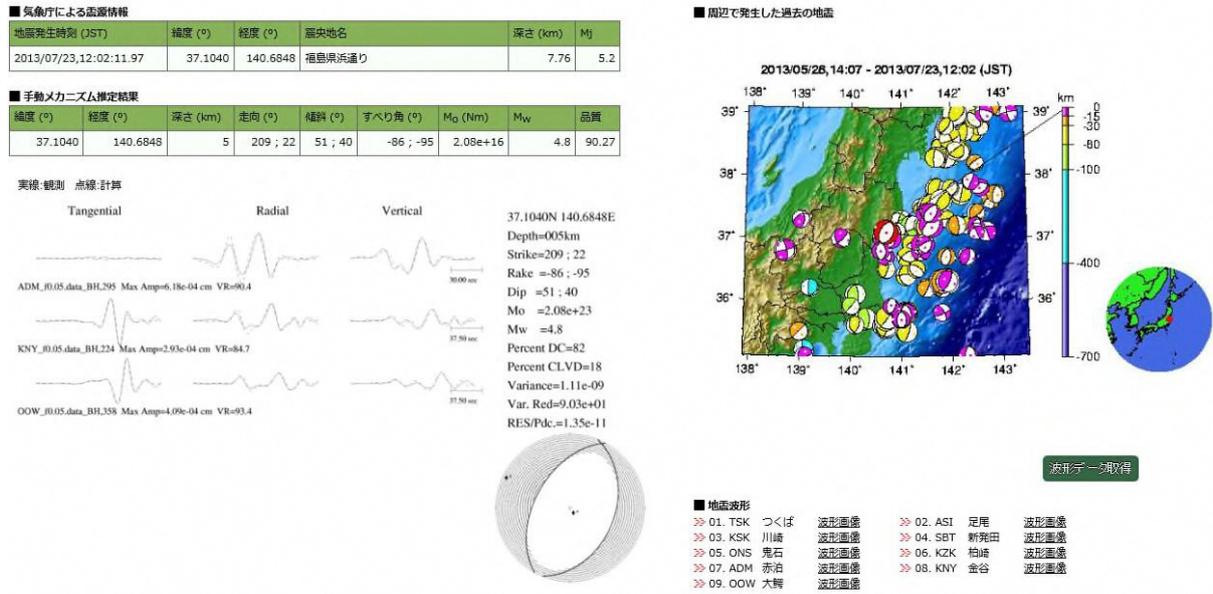
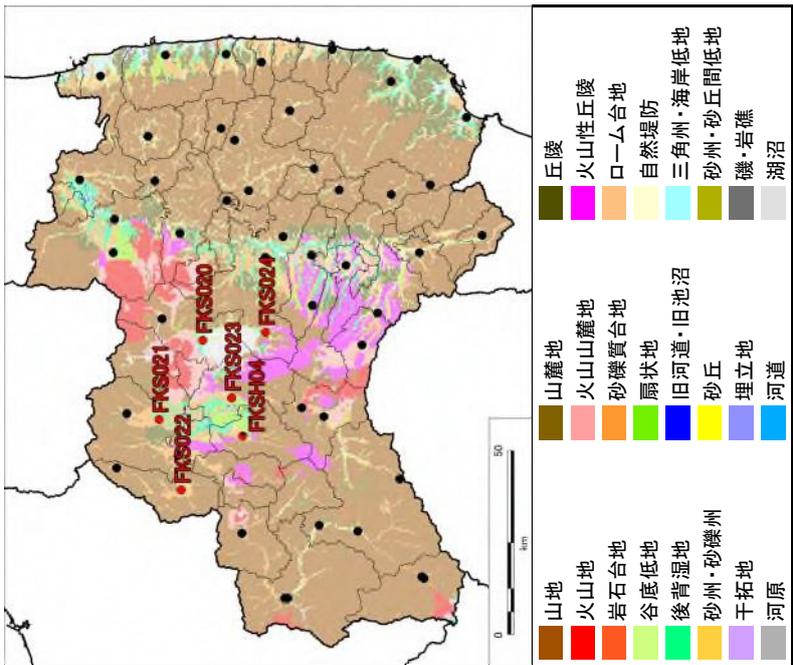
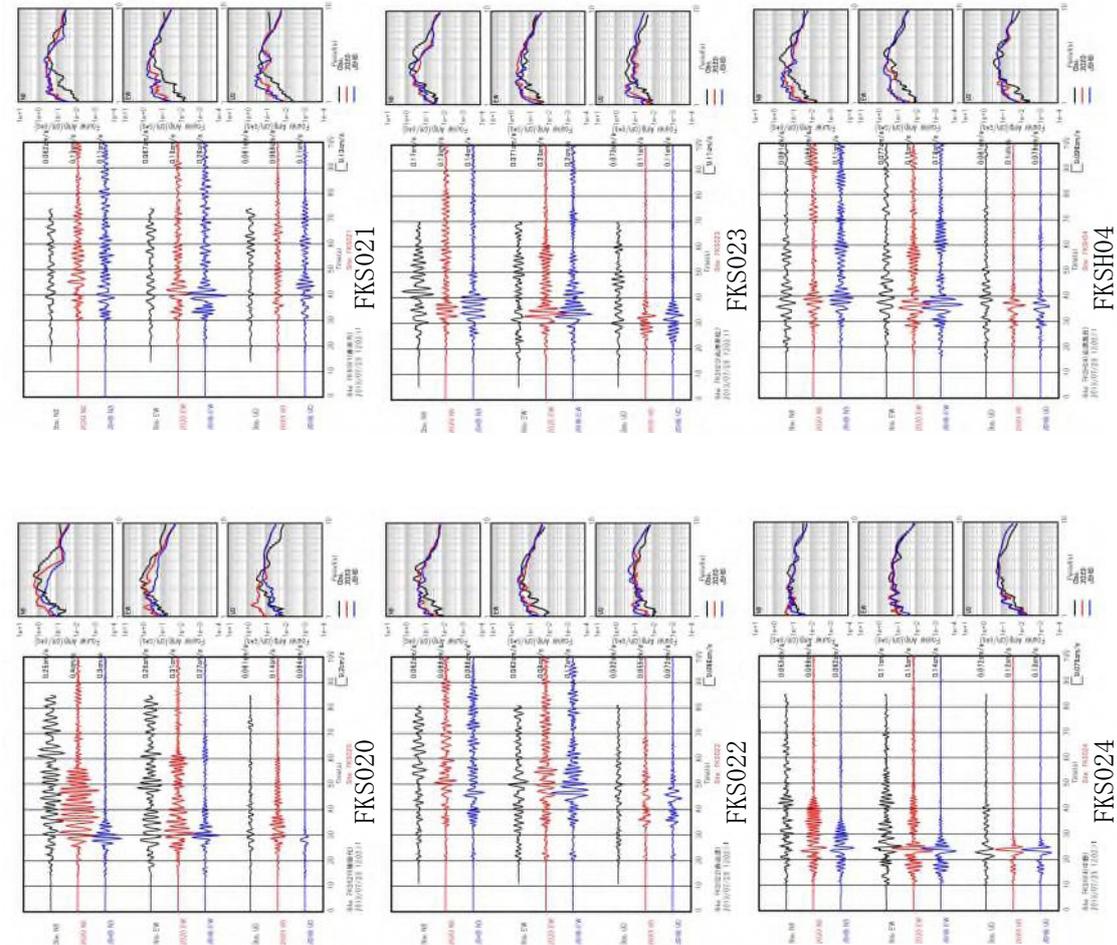


図 I-2.2-41 計算に用いた地震の緒元 : F-NET のメカニズム解

表 I-2.2-6 差分法の計算条件

グリッドサイズ(m)	120	
経度方向距離(km)	205	グリッド数1708
緯度方向距離(km)	202	グリッド数1683
	120	深さ0 km~0.96 km
深度方向	240	深さ0.96km~3.36 km
グリッドサイズ(m)	480	深さ3.36km~8.16 km
	720	深さ8.16km~44.16 km
		吸収境界を除いた深度
計算間隔(秒)	0.0050	
ステップ数	20,000	計算時間 100 (s)
左下隅の座標	EW:-75000m	NS:68000m
右上隅の座標	EW:130000m	NS:270000m
計算最小周期(秒)	1.714	

I 地盤モデル・想定地震について
 2. 地震モデルの作成



黒：観測速度波形
 赤：今回作成したモデル（差分法）
 青：J-SHIS V2（差分法）
 ※周期2秒のハイカットフィルターを施している

図 I -2. 2-42 差分法計算結果（1）

I 地盤モデル・想定地震について
 2. 地震モデルの作成

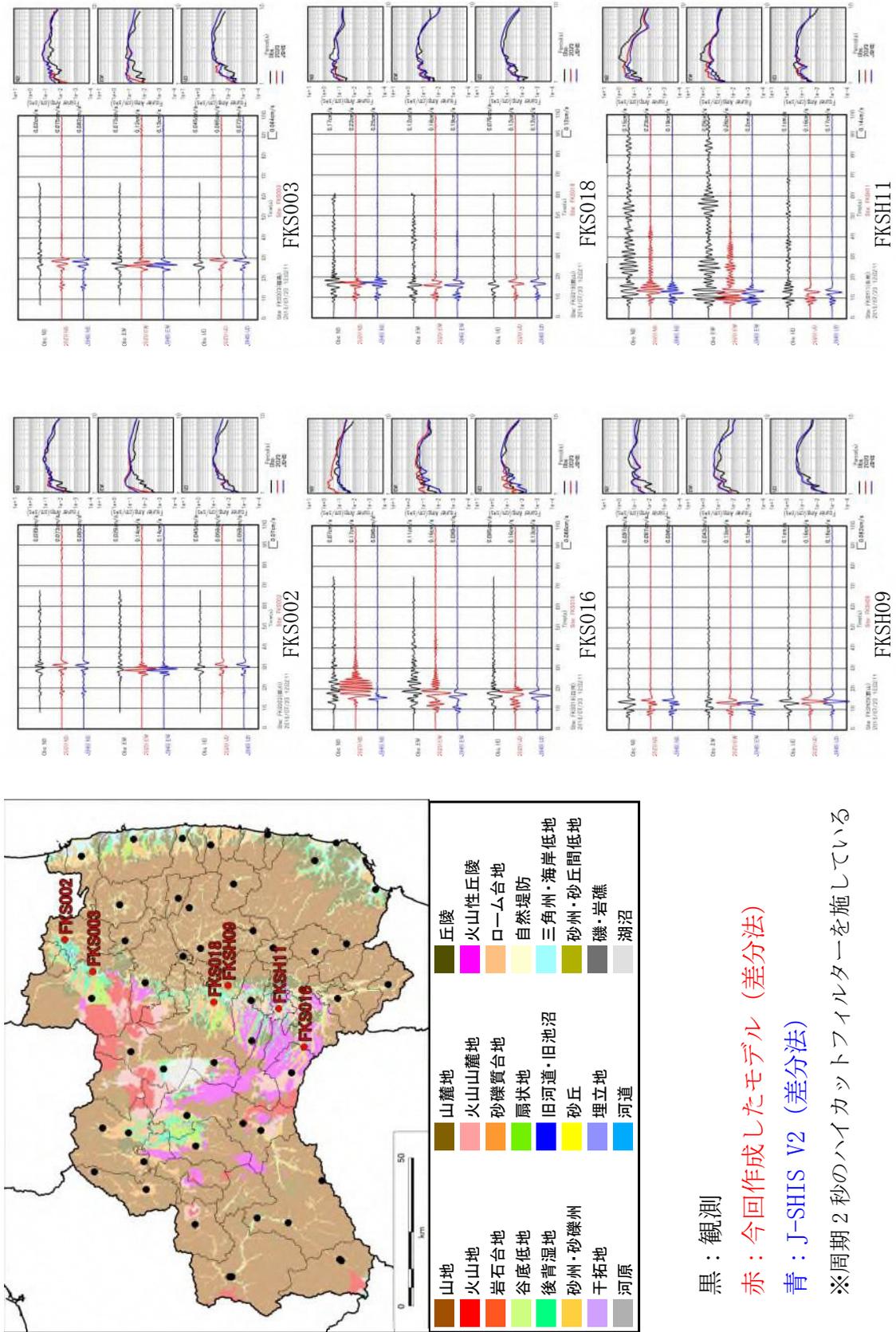
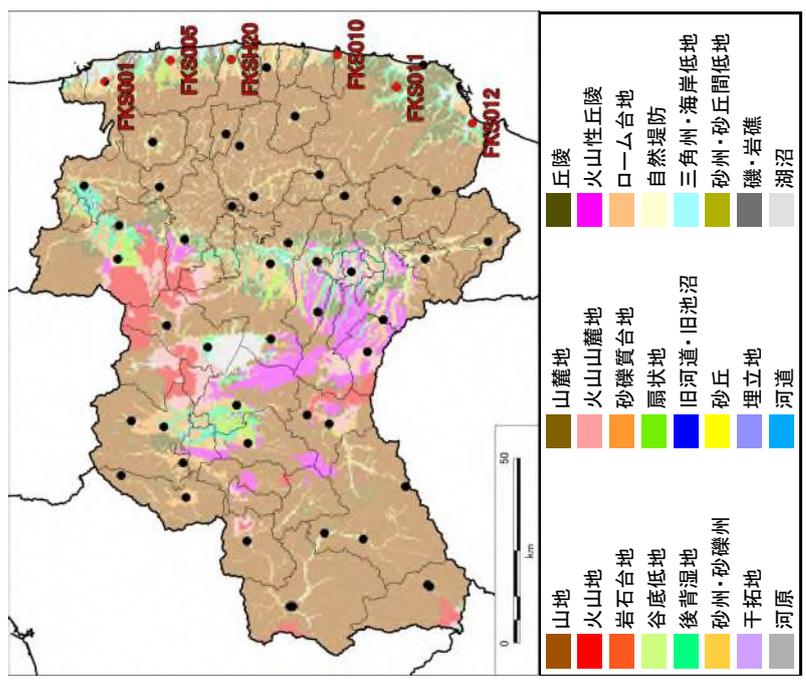
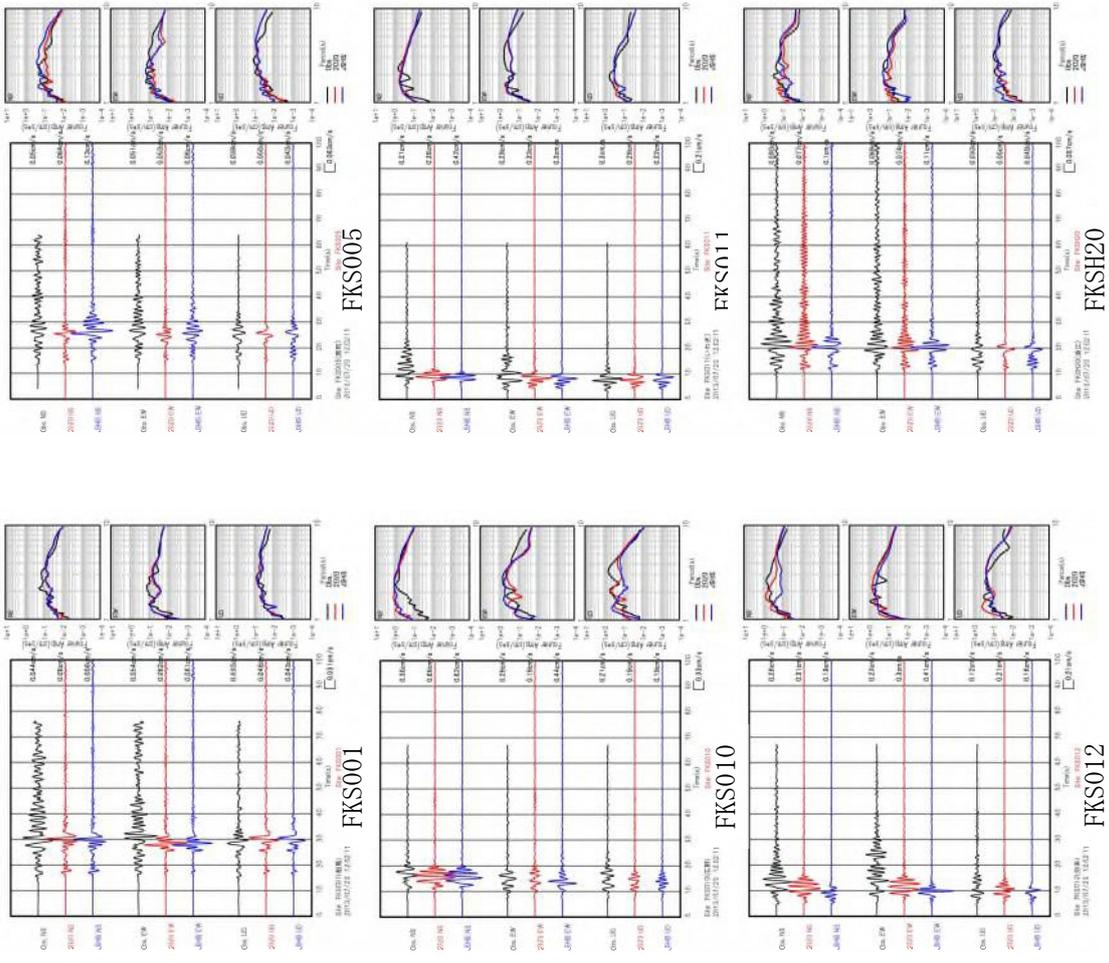


図 I-2.2-43 差分法計算結果 (2)

I 地盤モデル・想定地震について
 2. 地震モデルの作成



黒：観測

赤：今回作成したモデル (差分法)

青：J-SHIS V2 (差分法)

※周期 2 秒のハイカットフィルターを施している

図 I -2- 2-44 差分法計算結果 (3)

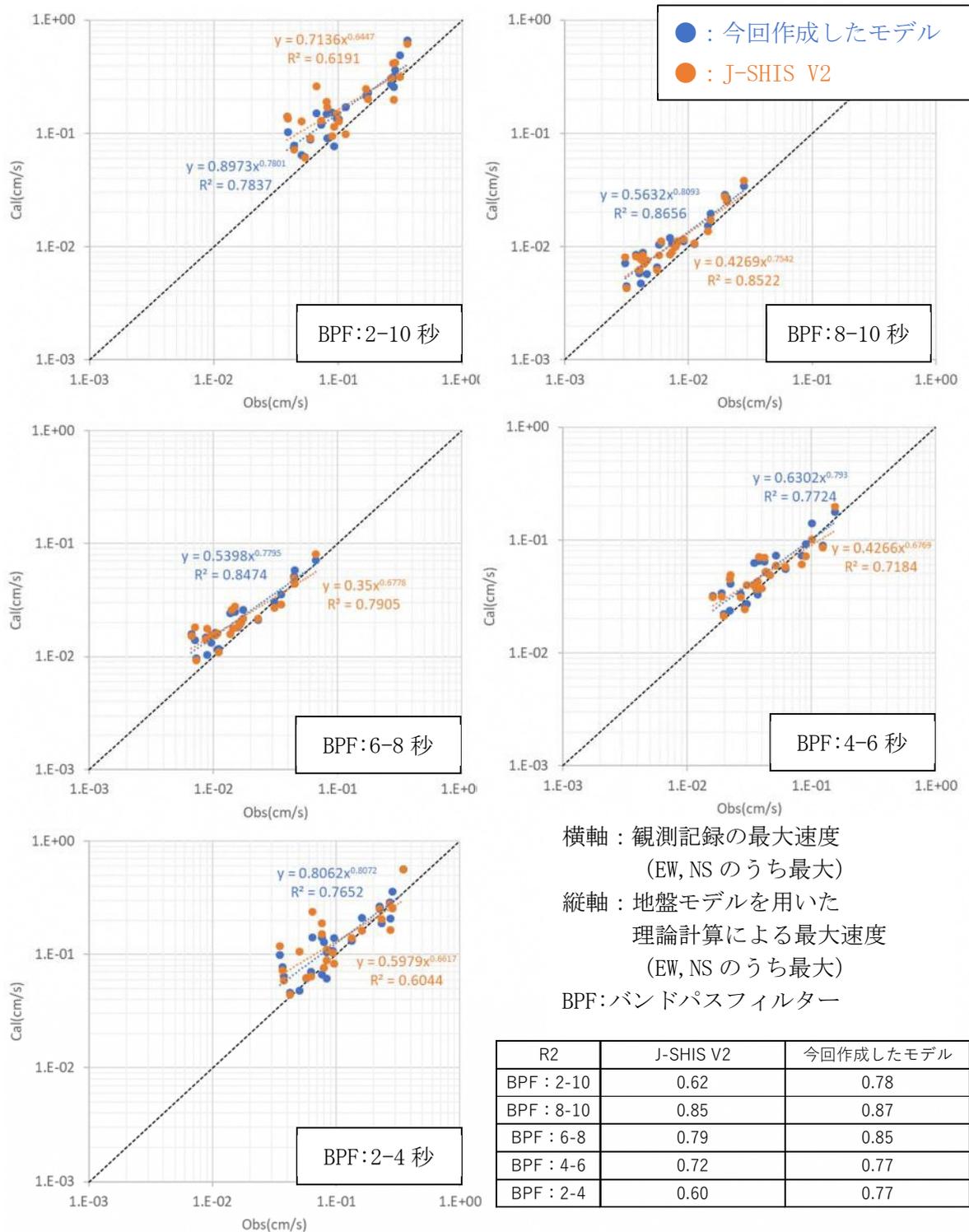


図 I -2. 2-45 差分法計算結果：最大速度の比較

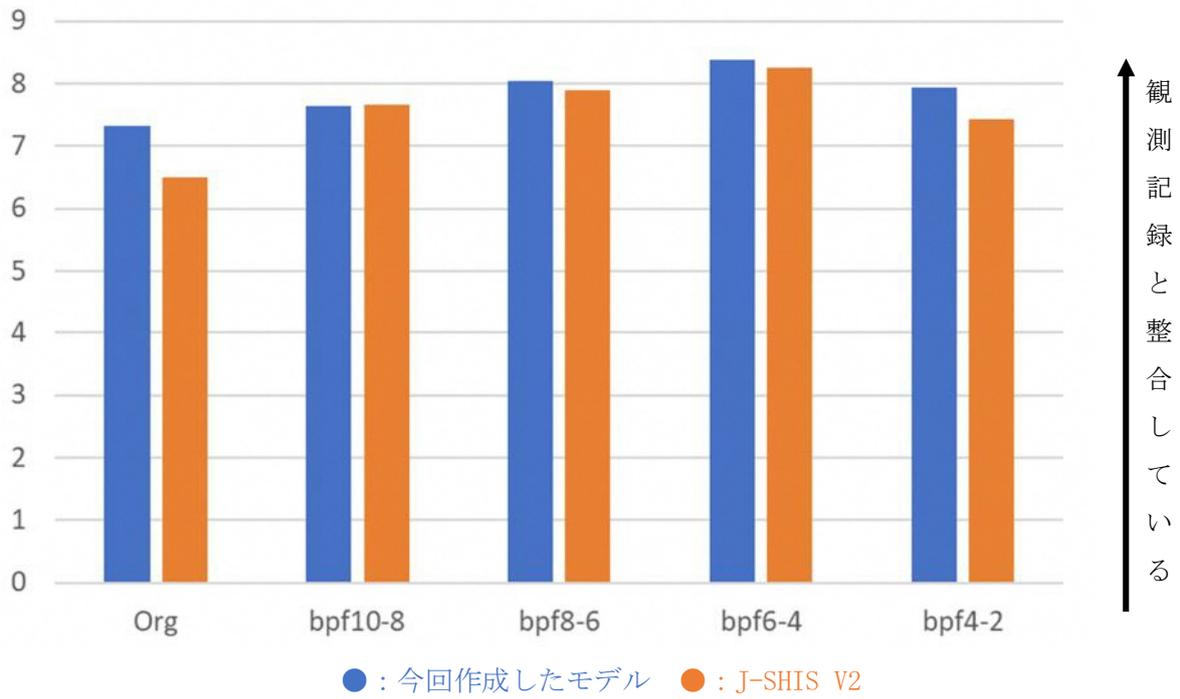


図 I -2. 2-46 差分法計算結果 : ANDERSON (2004) に基づく合致度

3. 想定地震の選定

3.1 福島県の地震活動

(1) 過去に福島県に影響を及ぼした地震

有史以来、福島県において影響を及ぼした地震を表 I-3.1-1 に示し、図 I-3.1-1 に震央分布を示す。福島県では、県に影響を及ぼした地震は福島県沖から宮城県沖で発生するマグニチュード7程度の地震が多く発生している。2011年3月11日に発生した $M_j9.0$ の東北地方太平洋沖地震では、福島県内で震度6強や6弱の揺れが広い範囲で観測され、揺れによる被害が多く発生した。さらに、福島県の沿岸を津波が襲い、相馬港で9.3mを超える津波が観測されるなど、津波による被害も多数発生した。福島県内では死者3,868人、行方不明者224人、負傷者183人、住家全壊15,435棟、半壊82,783棟（平成31年3月1日現在、消防庁調べ）の被害となった。令和3年2月13日には福島県沖で $M_j7.3$ の地震が発生し、さらに令和4年3月16日にも福島県沖で $M_j7.4$ の地震が発生し、県内で被害が発生している。福島県では福島県沖で発生する地震や、三陸沖北部から房総半島沖の海溝寄りにかけての太平洋沖合で発生する地震によっても被害を受けることがある。さらに、1960年の「チリ地震津波」のような外国の地震によっても津波被害を受けることがある。

内陸の地震では、会津付近、栃木県境、宮城県境などで、規模は小さいが直下の地震が発生している。

(2) 福島県及び周辺の活断層と被害地震

福島県及び周辺の主要活断層の分布と被害地震の分布を図 I-3.1-2 に示す。1731年の桑折付近の地震は福島盆地西縁断層帯付近で発生したが、断層帯の活動との関係は分かっていない。1611年の会津地震は会津盆地西縁断層帯で発生したと考えられている。一方、田島付近で発生した1659年や1943年の地震に対応した活断層は知られていない。県西部のところどころでは、群発地震が発生することがある。例えば、1936年に会津若松市付近で最大 $M_j4.1$ 、1979年に金山町付近で最大 $M_j4.4$ 、1985年に下郷町付近で最大 $M_j4.4$ の群発地震が発生した。特に、田島町（現在の南会津町）、下郷町周辺などでは活発な群発地震活動が時々発生している。県内で知られている群発地震の規模はほとんどが M_j4 程度以下で、継続期間は半年以下の場合が多い。

(3) 福島県及び周辺の主要活断層及び海溝で起こる地震の発生確率

福島県の主要な活断層は、阿武隈高地の東縁部に双葉断層、福島盆地と奥羽山脈との境目に福島盆地西縁断層帯、会津盆地の西側に会津盆地西縁断層帯、東側に会津盆地東縁断層帯がある。また、県内に被害を及ぼす可能性のある海溝型地震には、福島県沖、宮城県沖、茨城県沖、青森県東方沖から房総沖にかけての海溝寄り、超巨大地震（東北地方太平洋沖型）、青森県東方沖及び岩手県沖北部から茨城県沖の沈み込んだプレート内の地震がある。

県内の41市町村が、日本海溝・千島海溝周辺の海溝型地震によって被害が生じるおそれがあり、「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進地域」に指定されている。

地震調査研究推進本部地震調査委員会では、各地震の発生頻度を整理し、一定で時間が経過しても地震の起こりやすさが変わらないと仮定して地震発生確率を計算し、毎年、1月1日付けで公表している。表 I-3.1-2 に2022年1月1日現在の30年以内の地震発生確率を示す。

I 地盤モデル・想定地震について
3. 想定地震の選定

表 I -3.1-1 福島県に影響を及ぼした地震

西暦(和暦)	地域(名称)	深さ(km)	M	主な被害	福島県内の主な震度
869年7月13日 (貞観11)	三陸沿岸		8.3	(津波があり、圧死者多数、溺死者1,000人以上。)	
1611年9月27日 (慶長16)	会津		6.9	会津地方で被害。山崩れ、人家倒壊多数、死者3,700、山崎新湖を生ずる。	
1611年12月2日 (慶長16)	三陸沿岸および北海道東岸		8.1	津波があり、相馬領で死者700人。(伊達領で溺死者1,783人、南部、津軽で人馬の死3,999以上。)	
1659年4月21日 (万治2)	岩代・下野		6.3/4~7.0	会津、那須に被害。死者39人、住家倒壊409棟以上。	
1677年11月4日 (延宝5)	磐城・常陸・安房・上総・下総		8.0	(磐城から房総にかけて津波による被害。死者・行方不明者、家屋流出・同倒壊多数。)	
1683年10月20日 (天和3)	下野・岩代		7.0	南会津で山崩れにより、川を堰きとめる。	
1710年9月15日 (宝永7)	磐城		6.5	家屋倒壊9。	
1731年10月7日 (享保16)	岩代		6.5	住家全壊300棟以上。	
1821年12月13日 (文政4)	岩代		5.5~6.0	家屋倒壊130棟、死者あり。	
1927年8月6日 (昭和2)	宮城県沖	25	6.7	本宮町で土砂崩れにより死者4名(生き埋め)。桑折町で壁崩壊により重傷1名。	震度5：福島 震度4：いわき、猪苗代
1933年3月3日 (昭和8)	三陸沖	0	8.1	津波により相馬・双葉郡で漁船流失5隻、原釜で堤防40間決壊、床下浸水5棟。津波の高さ福浦1.7m、中村1m、磯部1~1.5m。	震度5：福島、猪苗代 震度4：いわき
1936年11月3日 (昭和11)	宮城県沖	61	7.4	県内各地で屋根瓦、土蔵壁のはく落、道路の亀裂。小津波あり。	震度5：いわき 震度4：福島、猪苗代
1938年5月23日 (昭和13)	茨城県沖	0	7.0	小名浜付近の海岸地帯と阿武隈川流域に被害多し。家、土蔵の壁はく落・亀裂250ヶ所、煙突の倒壊・折損7ヶ所。橋・堤防決壊6件、炭焼きかまど・瀬戸焼かまど破損96ヶ所、塩屋崎灯台のレンズ破損6枚。津波、小名浜41cm。	震度5：福島、いわき、猪苗代
1938年11月5日 (昭和13)	福島県沖 (福島県東方沖地震)	43	7.5	浜通りの所々で、崖崩れ、道路の亀裂、鉄道路線の小被害あり。死者1人、負傷者9人、住家全壊4棟、半壊29棟。小名浜で1m8cmの津波。	震度5：福島、いわき
1960年5月23日 (昭和35)	(チリ地震津波)	0	Mw9.5	死者4人、負傷者2人。	
1964年6月16日 (昭和39)	新潟県下越沖 (新潟地震)	34	7.5	会津坂下町、喜多方市周辺の被害。負傷者12人、住家全壊8棟。	震度5：只見 震度4：福島、郡山、白河、いわき、会津若松
1978年6月12日 (昭和53)	宮城県沖 (1978年宮城県沖地震)	40	7.4	中通り、浜通りの北部に被害。死者1人、負傷者41人、住家全壊3棟。	震度5：福島 震度4：会津若松、いわき、白河
1987年2月6日 (昭和62)	福島県沖	35	6.7	建物一部破損などの小被害	震度5：いわき、白河 震度4：会津若松
1987年4月7日 (昭和62)	福島県沖	44	6.6	負傷者1、建物一部破損194、塀の倒壊7	震度5：いわき 震度4：福島、白河
1987年4月23日 (昭和62)	福島県沖	47	6.5	ガラス損壊	震度5：白河 震度4：福島、いわき
2003年5月26日 (平成15)	宮城県沖	72	7.1	住家一部破損124、その他建物一部破損29。	震度5弱：相馬、南相馬、田村、富岡 震度4：福島、郡山、白河、いわき ほか
2004年10月23日 (平成16) (「平成16年(2004年)新潟県中越地震」)	新潟県中部地方	13	6.8	住家一部破損1、道路14ヶ所、学校1ヶ所。被害額6億1,300万円 ²⁾	震度5弱：只見、西会津、柳津 震度4：喜多方、須賀川、いわき ほか
2005年8月16日 (平成17)	宮城県沖	42	7.2	負傷者5人、住家一部損壊590棟 ²⁾	震度5弱：相馬、南相馬、新地、国見、川俣 震度4：福島、伊達、田村 ほか
2008年6月14日 (平成20)	岩手県内陸南部 (平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震)	8	7.2	死者1人、負傷者2人。	震度5弱：新地 震度4：福島、郡山、白河、二本松、須賀川、相馬、南相馬、いわき、猪苗代 ほか
2008年7月24日 (平成20)	岩手県中部(岩手県沿岸北部)	108	6.8	死者1人。	震度4：福島、須賀川、二本松、田村、相馬、南相馬、双葉、浪江、いわき ほか
2010年3月14日 (平成22)	福島県沖	40	6.7	負傷者1、住家一部破損2	震度5弱：柳葉 震度4：福島、郡山、白河、二本松、須賀川、相馬、南相馬、いわき、田村、伊達、本宮 ほか
2011年3月11日 (平成23)	三陸沖 (平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震)	24	9.0	死者4,164人、負傷者183人、住家全壊15,468棟、半壊83,309、一部損壊141,057棟(令和4年5月12日現在、福島県調べ)。	震度6強：白河、須賀川、国見、鏡石、天栄、柳葉、富岡、大熊、双葉、浪江、新地 震度6弱：福島、郡山、二本松、桑折、川俣、西郷、中島、矢吹、棚倉、玉川、浅川、小野、田村、伊達、本宮、いわき、相馬、広野、川内、飯館、南相馬、猪苗代
2021/2/13 (令和3)	福島県沖	55	7.3	死者2人、負傷者186人。住家全壊144棟、半壊3,065棟、一部破損34,752棟(令和4年3月25日現在、消防庁調べ)。福島県では死者2人、負傷者100人、住家全壊137棟、半壊2,785棟、一部破損20,614棟(令和4年3月8日現在、福島県調べ)	震度6強：相馬、国見、新地 震度6弱：福島、郡山、須賀川、南相馬、伊達、本宮、桑折、天栄、広野、柳葉、川内、大熊、双葉、浪江
2022/3/16 (令和4)	福島県沖	57	7.4	死者3人、負傷者247人。住家全壊204棟、半壊4,085棟、一部破損45,335棟(令和4年6月24日現在、消防庁調べ)。福島県では死者1人、負傷者101人、住家全壊164棟、半壊3,926棟、一部破損30,249棟(令和4年8月10日現在、福島県調べ)	震度6強：相馬、南相馬、国見 震度6弱：福島、二本松、田村、伊達、桑折、天栄、柳葉、富岡、大熊、双葉、浪江、新地、飯館

1) 地震調査研究推進本部：福島県の地震活動の特徴、https://www.jshin.go.jp/regional_seismicity/rs_tohoku/p07_fukushima/
2) 福島地方気象台：福島県内で震度5(弱)以上を観測した地震、https://www.jma-net.go.jp/fukushima/jshin/jshin_over5.html
3) 宇佐美龍夫、石井 寿、今井隆正、武村雅之、松浦律子：日本被害地震総覧 599-2012、東京大学出版会
4) 福島県危機管理防災対策課：平成23年東北地方太平洋沖地震による被害状況即報(第1788報)、令和4年5月12日、https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/620025_1725169_misc.pdf
5) 気象庁：2021年2月13日の震源リスト、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/daily_map/20210213.html
6) 消防庁災害対策本部：福島県沖を震源とする地震による被害及び消防機関等の対応状況(第19報)、令和4年3月25日、<https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/20210218fukushimakennok19.pdf>
7) 気象庁：2022年3月16日の震源リスト、https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/daily_map/20220316.html
8) 消防庁災害対策本部：福島県沖を震源とする地震による被害及び消防機関等の対応状況(第22報)、令和4年6月24日、<https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/8f74de5859b361472306c115a2fbd05386806.pdf>
9) 福島県危機管理防災対策課：令和3年2月13日震度6強及び2月15日大雨・洪水・暴風警報による被害状況即報(第55報)、令和4年3月8日、<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/498523.pdf>
10) 福島県危機管理防災対策課：令和4年3月16日 震度6強による被害状況即報(第48報)、令和4年8月10日、<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/527070.pdf>

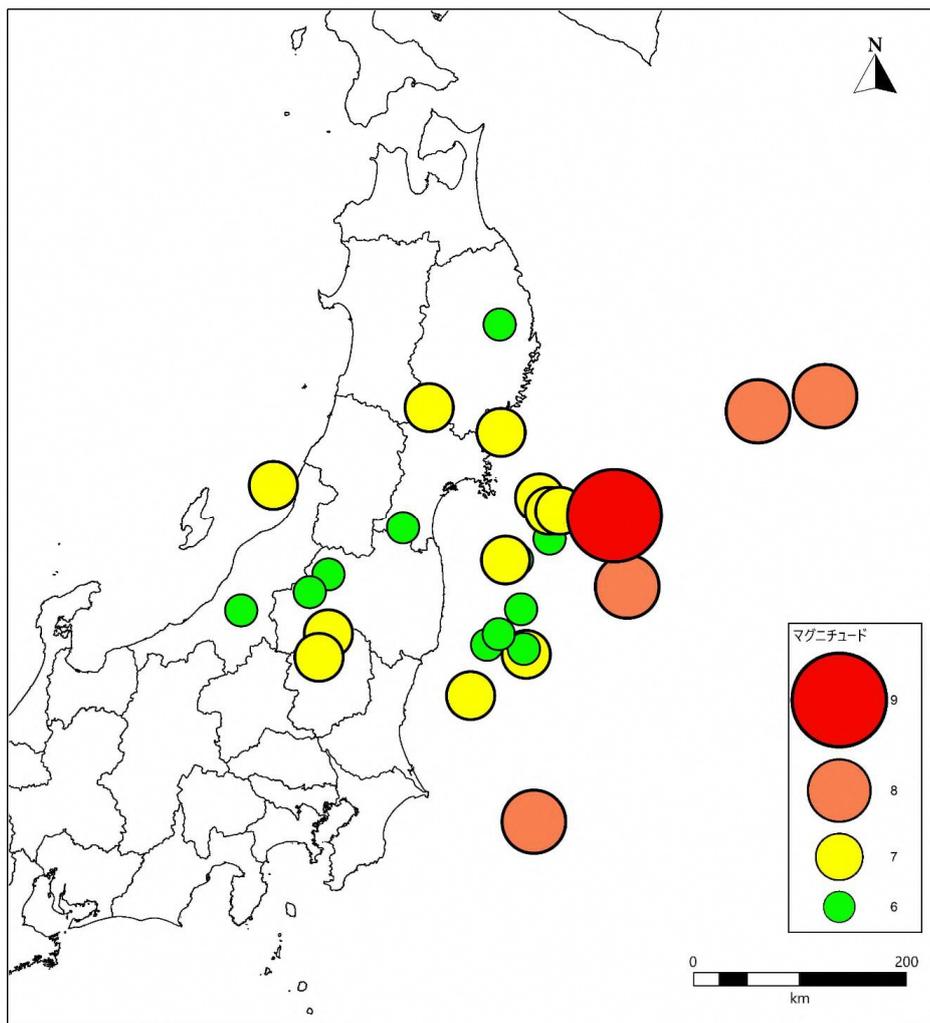


表 I-3.1-1 福島県に影響を及ぼした地震の震央分布

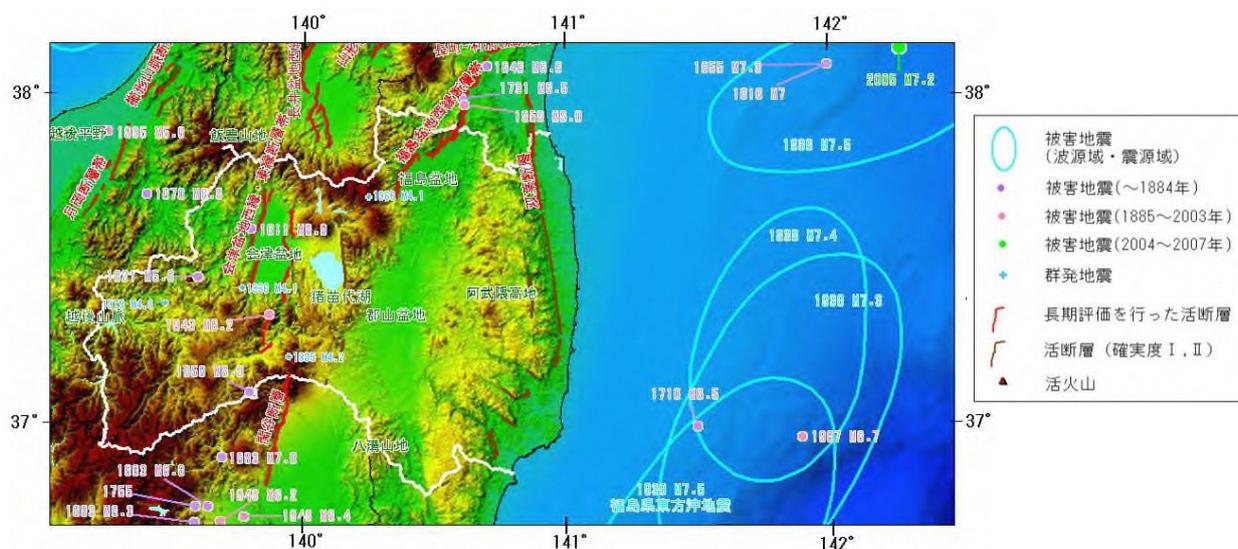


表 I-3.1-2 福島県及び周辺の活断層と被害地震（～2007年）
地震調査研究推進本部（2009）^{I-15}

表 I-3.1-2 福島県および周辺の主要活断層帯と海溝で起こる地震の発生確率

地震		マグニチュード (M_j)	地震発生確率 (30年以内)
海溝型地震			
日本海溝沿い	超巨大地震 (東北地方太平洋沖型)	9.0 程度	ほぼ 0%
	宮城県沖	7.9 程度	20%程度
	ひとまわり小さい プレート間地震	7.0~7.5 程度	90%程度
	宮城県沖の陸寄りの地震 (宮城県沖地震)	7.4 前後	70%~80%
	福島県沖	7.0~7.5 程度	50%程度
	茨城県沖	7.0~7.5 程度	80%程度
	海溝寄りのプレート間地震 (津波地震等)	M_t 8.6~9.0	30%程度
	沈み込んだプレート内の地震	7.0~7.5 程度	60%~70%
海溝軸外側	8.2 前後	7%	
日本海東縁部	山形県沖	7.7 前後	ほぼ 0%
	新潟県北部沖	7.5 前後	ほぼ 0%
内陸の活断層で発生する地震			
福島盆地西縁断層帯		7.8 程度	ほぼ 0%
長井盆地西縁断層帯		7.7 程度	0.02%以下
双葉断層		6.8~7.5 程度	ほぼ 0%
会津盆地西縁・東縁断層帯	会津盆地西縁断層帯	7.4 程度	ほぼ 0%
	会津盆地東縁断層帯	7.7 程度	ほぼ 0%~0.02%
月岡断層帯		7.3 程度	ほぼ 0%~1%
長岡平野西縁断層帯		8.0 程度	2%以下
関谷断層		7.5 程度	ほぼ 0%
十日町断層帯	西部	7.4 程度	3%以上
	東部	7.0 程度	0.4%~0.7%
六日町断層帯	北部 (ケース 1)	7.1 程度	0.4%~0.9%
	北部 (ケース 2)		ほぼ 0%
	南部	7.3 程度	ほぼ 0%~0.01%

地震調査研究推進本部ホームページより (算定基準日: 2022年1月1日) ¹⁻²⁴⁾

3.2 福島県およびその周辺で検討されている想定地震

(1) 平成8年度福島県地震・津波被害想定調査で想定された地震

福島県前回調査^{I-25)}においては、図 I-3.2-1に示すように、以下の4つの地震を想定した。

- ① 福島盆地西縁断層帯を震源とする地震 ($M_j7.0$)
- ② 会津盆地西縁南部断層帯を震源とする地震 ($M_j7.0$)
- ③ 双葉断層北部を震源とする地震 ($M_j7.0$)
- ④ 福島県沖を震源とする地震 ($M_j7.7$)



図 I-3.2-1 平成8年度福島県地震・津波被害想定調査の想定地震位置図^{I-25)}

(2) 隣県の地震被害想定で想定された想定地震

隣県の地震被害想定で想定された想定地震について調査した。調査を行ったのは、福島県に隣接する、宮城県、山形県、新潟県、群馬県、栃木県、茨城県の6県とした。

1) 宮城県^{I-26)}

宮城県では、平成22年度～平成23年度に第四次の地震被害想定調査を行う予定であったが、平成23年3月11日に東日本大震災が発生し、平成22年度調査時点の中間報告書をもって完了となった。平成22年度では地震動・液状化・津波の予測を行い、想定地震を設定している。平成22年度で想定された想定地震は、以下の3つで、これは、第三次被害想定調査と同じとしている。図 I-3.2-2に断層位置図を示す。

- ① 宮城県沖地震（単独） ($M_w7.6$)
- ② 宮城県沖地震（連動） ($M_w8.0$)
- ③ 長町－利府線断層帯の地震 ($M_w7.1$)

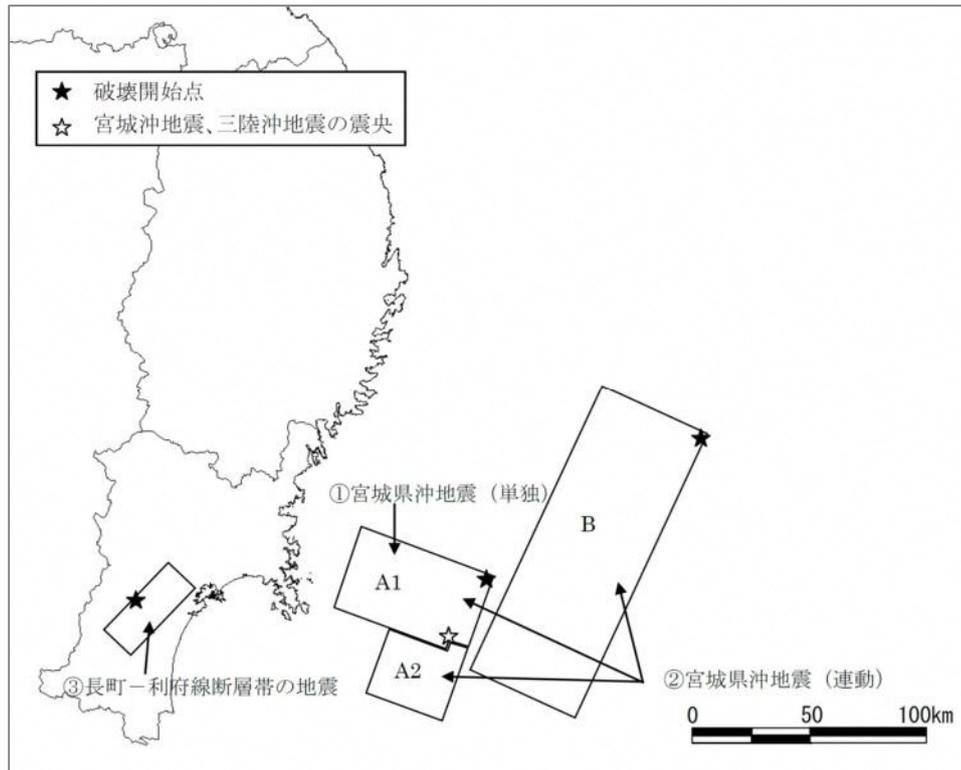


図 I-3.2-2 第四次宮城県地震被害想定調査の想定地震位置図^{I-26)}

2) 山形県^{I-27), I-28), I-29)}

山形県では、平成8年度～平成9年度にかけて地震被害想定の見直しを行い、平成10年3月に公表した。その後、地震調査研究推進本部地震調査委員会（以下、地震調査委員会という）が山形盆地断層帯の長期評価を発表したことから、この断層における被害想定の見直しを行い、平成14年12月に結果を公表した。さらに、地震調査委員会では長井盆地西縁断層帯及び庄内平野東縁断層帯の長期評価が発表され、これらの断層の被害想定を行い、平成18年3月に公表した。

A) 平成10年公表^{I-27)}

- ① 庄内平野東縁地震 (M_j7.2)
- ② 新庄盆地周辺地震 (M_j7.0)
- ③ 山形盆地西縁地震 (M_j7.2)
- ④ 長井盆地西縁地震 (M_j7.0)
- ⑤ 山形県西方沖地震 (M_j7.7)

B) 平成14年公表^{I-28)}

- ① 山形盆地断層帯地震 (M_j7.8)

C) 平成18年公表^{I-29)}

- ① 長井盆地西縁断層帯 (M_j7.7)
- ② 庄内平野東縁断層帯 (M_j7.5)

3) 新潟県^{I-30), I-31)}

新潟県では平成元年度～2年度にかけて新潟県地震被害想定調査を実施している。新潟県のホームページには、委員会の資料が掲載されており、想定地震(案)が以下のように設定されている。図なお、検討委員会の資料は途中経過のため、最終的には変更される可能性があることに注意がいる。

- ① 楡形山脈断層帯 (M_w6.4)
- ② 月岡断層帯 (M_w6.8)
- ③ 長岡平野西縁断層帯 (M_w7.5、7.5、7.5、7.5)
- ④ 十日町断層帯西部 (M_w6.8、6.8)
- ⑤ 高田平野西縁断層帯 (M_w6.8、6.8)
- ⑥ 六日町断層帯南部 (M_w6.8、6.8)
- ⑦ F34 (海域、M_w7.71、7.71)
- ⑧ F38 (海域、M_w7.46)
- ⑨ F41 (海域、M_w7.6、7.6)

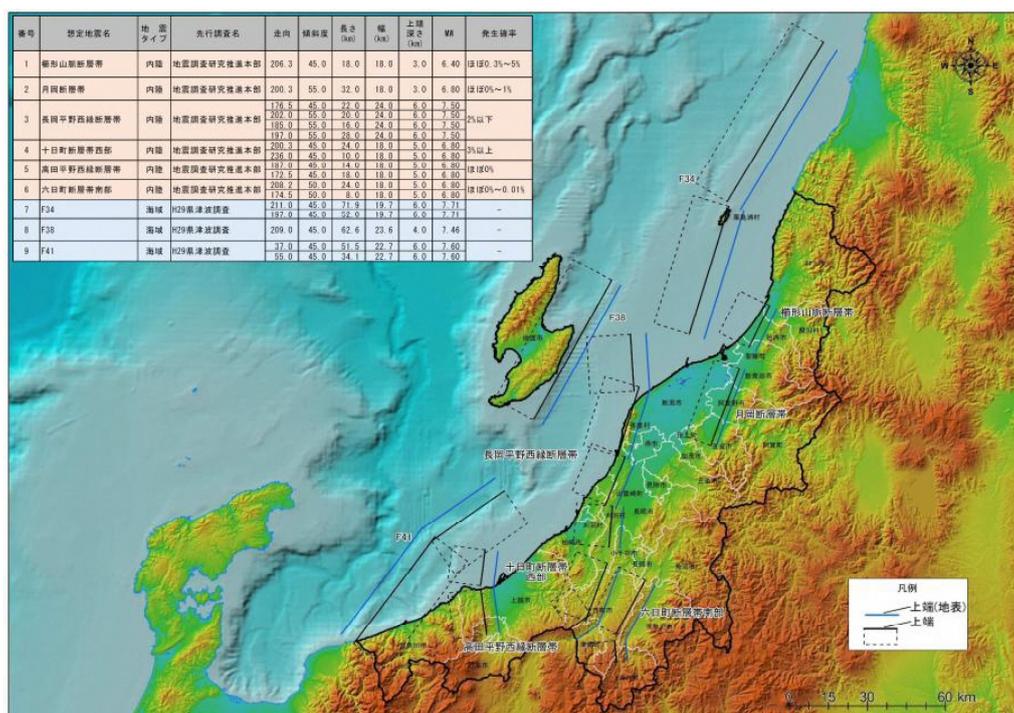


図 I-3.2-5 新潟県地震被害想定調査の想定地震位置図 (案) ^{I-31)}

4) 群馬県^{I-32)}

群馬県では、平成23年度に地震被害想定調査が行われ、平成24年6月に地震被害想定調査結果を公表している。群馬県の想定地震は以下の3地震となっている。図 I-3.2-5に想定地震の位置図を示す。

- ① 関東平野北西縁断層帯主部 (M_j8.1)

- ② 太田断層 (M_j7.1)
- ③ 片品川左岸断層 (M_j7.0)

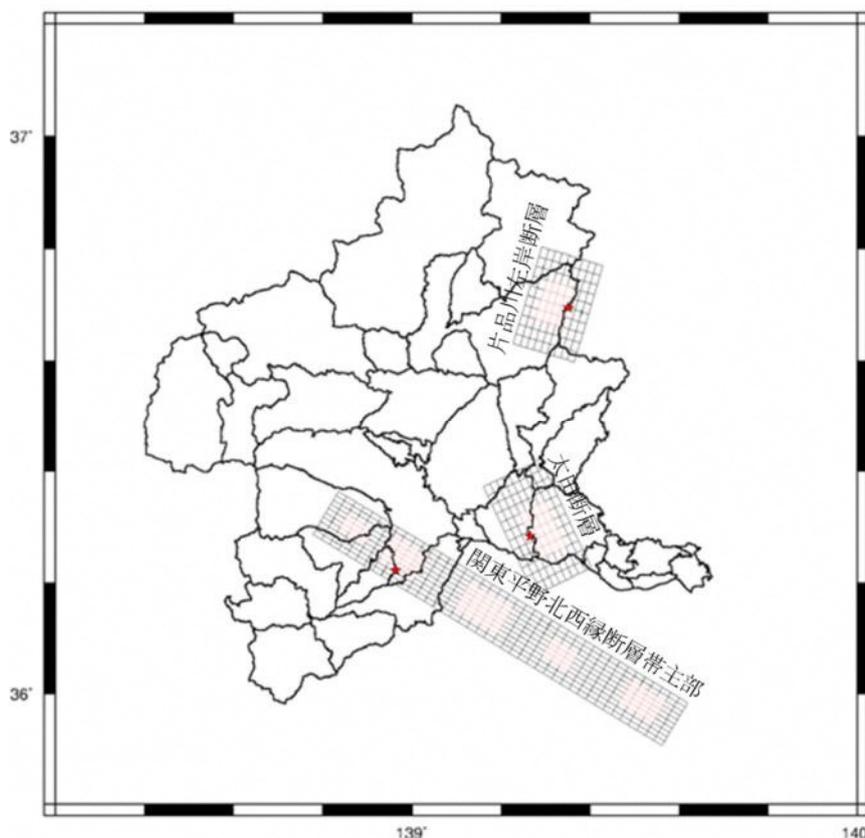


図 I -3. 2-6 群馬県地震被害想定調査の震源断層モデルの位置図^{I-32)}

5) 栃木県^{I-33)}

栃木県では、平成25年度に地震被害想定の見直しを行い、平成26年5月に公表された。栃木県では、以下の地震を想定地震としている。

A) 活断層等の地震

- ① 関谷断層を震源とする地震 (M_j7.5)
- ② 関東平野北西縁断層帯 (主部) を震源とする地震 (M_j8.0)
- ③ 東京湾北部を震源とする地震 (M_j7.3)
- ④ 茨城県南西部を震源とする地震 (M_j7.3)

B) どこでも起こり得る直下の地震

- ① 県庁直下に震源を仮定した地震 (M_j7.3)
- ② 市役所、町役場直下に震源を仮定した地震 (M_j6.9)

C) 調査の参考として被害想定を行う地震

- ① 東北地方太平洋沖地震 (M_w9.0)
- ② 県庁直下に震源を仮定した地震 (M_j8.0)

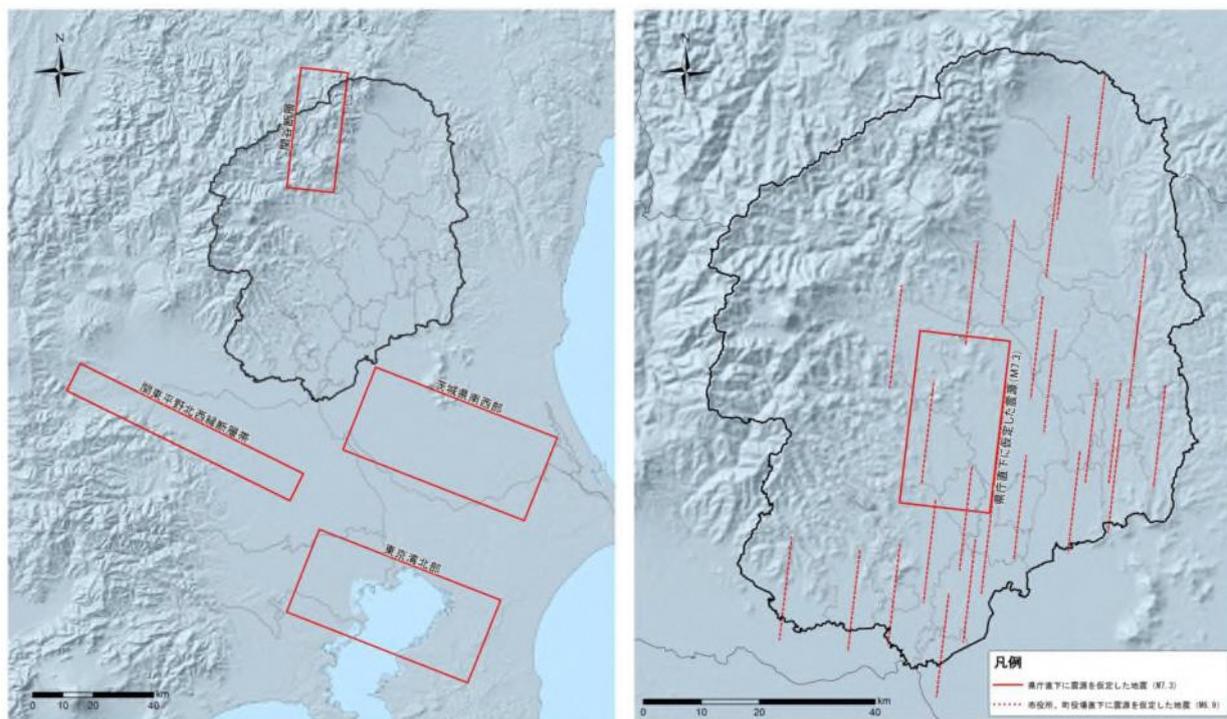


図 I-3.2-7 栃木県地震被害想定調査の想定地震位置図^{I-33)}
左：活断層等の地震、右：どこでも起こりうる直下の地震

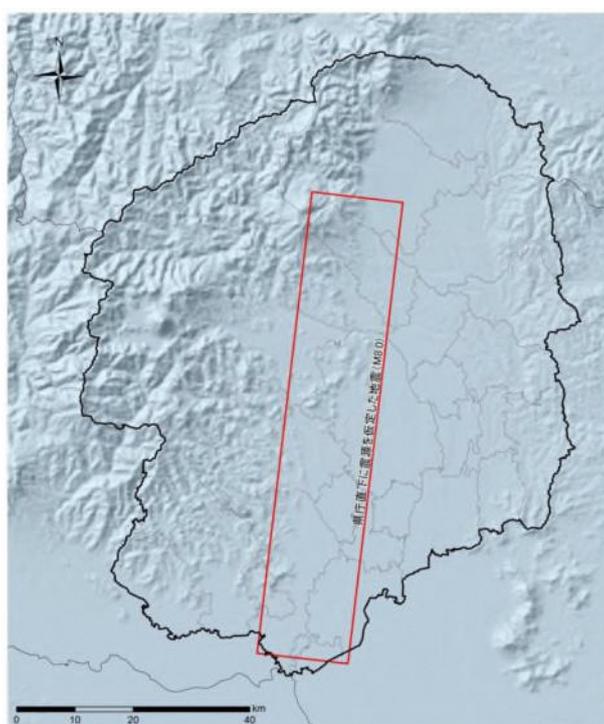


図 I-3.2-8 栃木県地震被害想定調査の想定地震位置図^{I-33)}
調査の参考として被害想定を行う地震

6) 茨城県^{I-34)}

茨城県では、平成28年度から平成30年度にかけて、地震被害想定の見直しを行った。茨城県の想定地震は以下の通りである。図 I-3.2-8～図 I-3.2-11に想定地震の位置図を示す。

- ① 茨城県南部の地震 (M_w7.3)
- ② 茨城・埼玉県境の地震 (M_w7.3)
- ③ F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震 (M_w7.1)
- ④ 棚倉破砕帯東縁断層、同西縁断層の連動による地震 (M_w7.0)
- ⑤ 太平洋プレート内の地震(北部) (M_w7.5)
- ⑥ 太平洋プレート内の地震(南部) (M_w7.5)
- ⑦ 茨城県沖から房総半島沖にかけての地震 (M_w8.4)



図 I-3.2-9 茨城県地震被害想定調査の想定地震位置図(1)^{I-34)}

左：茨城県南部の地震、右：茨城・埼玉県境の地震

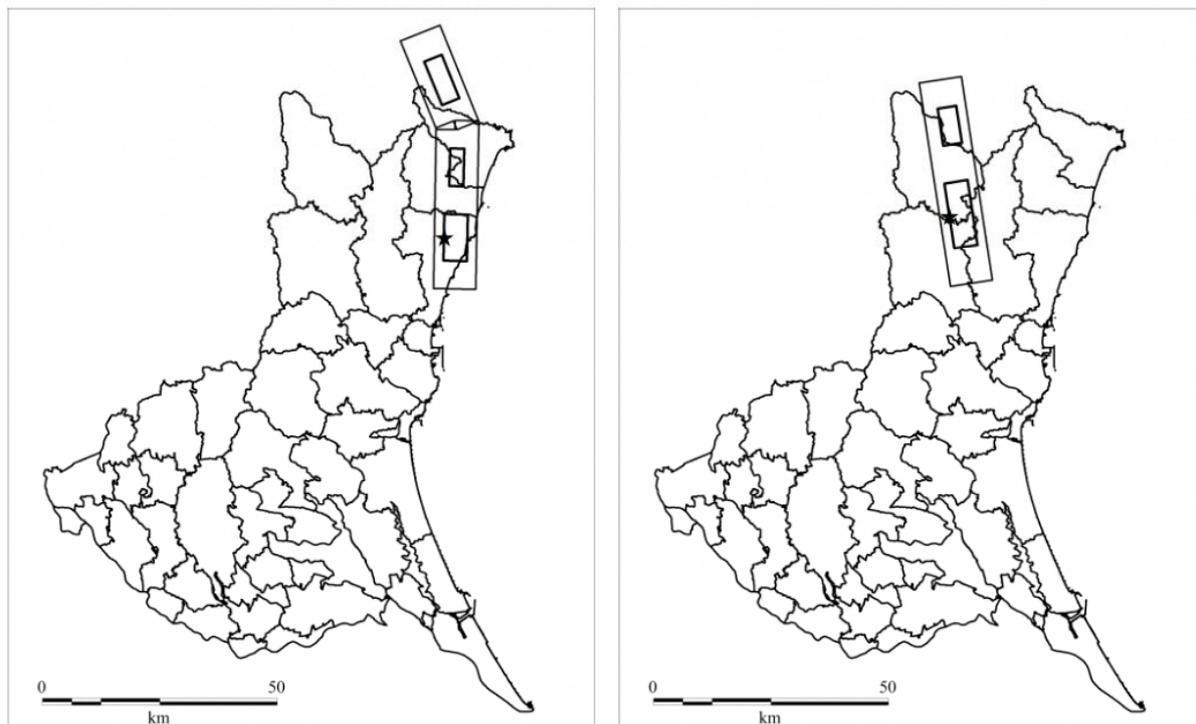


図 I-3.2-10 茨城県地震被害想定調査の想定地震位置図 (2) I-34)

左：F1断層などの連動の地震、右：棚倉破碎帯東縁断層などの連動の地震

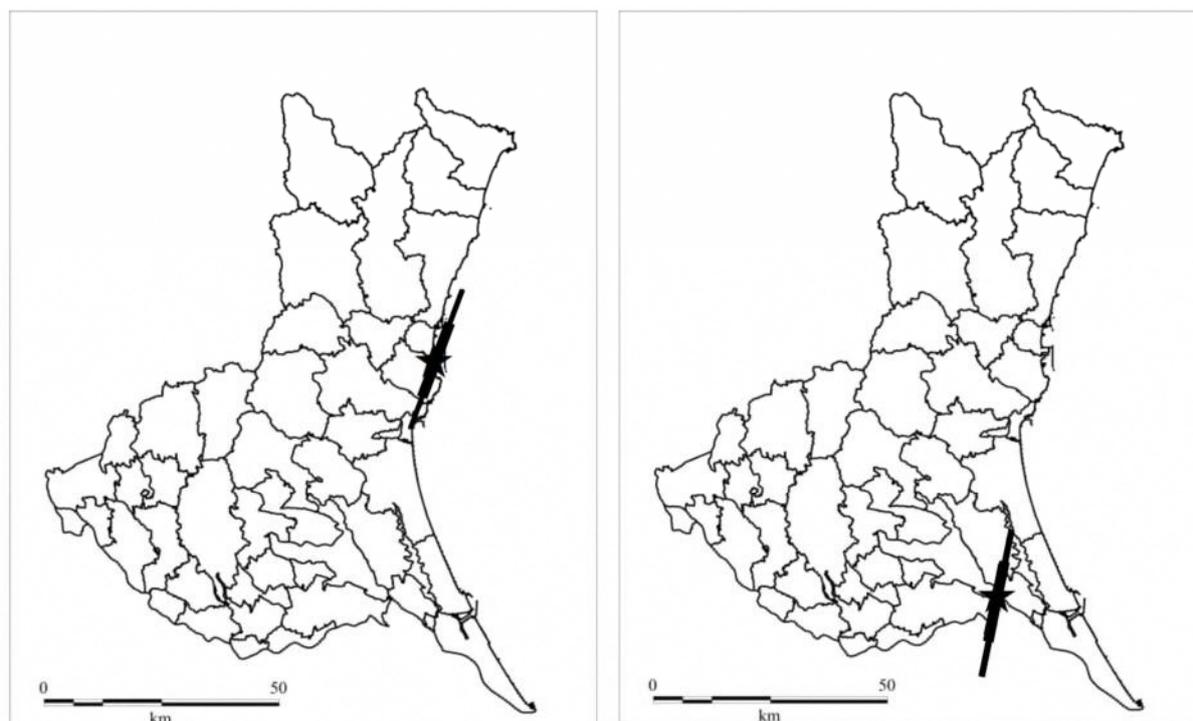


図 I-3.2-11 茨城県地震被害想定調査の想定地震位置図 (3) I-34)

左：太平洋プレート直の地震 (北部)、右：太平洋プレート直の地震 (南部)

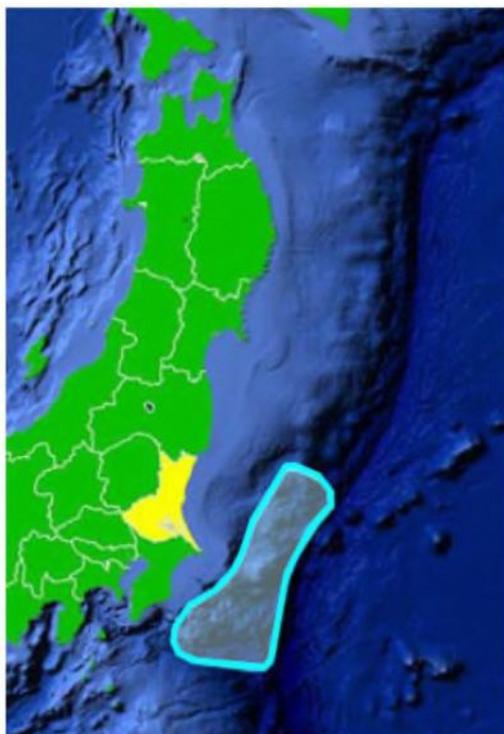


図 I-3.2-12 茨城県地震被害想定調査の想定地震位置図(4) ^{I-34)}
茨城県沖から房総半島沖にかけての地震

3.3 福島県で備えるべき想定地震

現行の想定地震、地震本部の長期評価結果、隣県の地震被害想定における想定地震の設定を踏まえ、以下の想定地震を設定した。

- ① 福島盆地西縁断層帯を震源とする地震 ($M_j7.8$ 、 $M_w7.1$)
- ② 会津盆地東縁断層帯を震源とする地震 ($M_j7.7$ 、 $M_w7.0$)
- ③ 想定東北地方太平洋沖地震 ($M_j9.0$ 、 $M_w9.0$)
- ④ 各市町村直下の地震 ($M_j7.3$ 、 $M_w6.8$)

福島盆地西縁断層帯及び会津盆地東縁断層帯については、地震調査研究推進本部の全国地震動予測地図のうち震源断層を特定した地震動予測地図で設定された震源モデルのうち、地震が発生した場合に影響が大きい震源モデルを設定した。図 I-3.3-1 に福島県周辺の主要活断層帯の中の福島盆地西縁断層帯及び会津盆地東縁断層帯の位置図を示し、図 I-3.3-2 に福島盆地西縁断層帯地震及び会津盆地東縁断層帯の地震の震源の位置図を示した。

想定東北地方太平洋沖地震については、現在の構造物や人口分布の状態、地震の再来による被害の状況を求めるために設定した。福島県内外で多くの震度が観測された(図 I-3.3-3)ことから、観測された震度を収集し、本調査で作成する地盤モデルの状況を加味して、地表の震度分布を求めることとした。地震動算定のための震源モデルの設定は行わない。津波については、津波浸水想定による最悪の状況を考慮した津波シミュレーション結果を用いる(図 I-3.3-4)。最

悪の状況を想定していることから、津波浸水分布は震災当時よりも広い範囲で浸水している結果となっている。

各市町村直下の地震は、近年発生した内陸の被害地震の多くが地表断層が不明瞭な場所で発生していることから、どこで起きてもおかしくない地震として、市役所や役場の直下に仮想の地震を設定したものである。地震の規模は、地表断層が不明瞭な場所として内閣府が設定している $M_w6.8$ とした。会津地域は会津盆地東縁断層帯、中通り地域は福島盆地西縁断層帯、浜通り地域は双葉断層を想定地震モデルとして設定した。図 I-3.3-5 に 3 地域の震源モデルの位置図の例を示した。

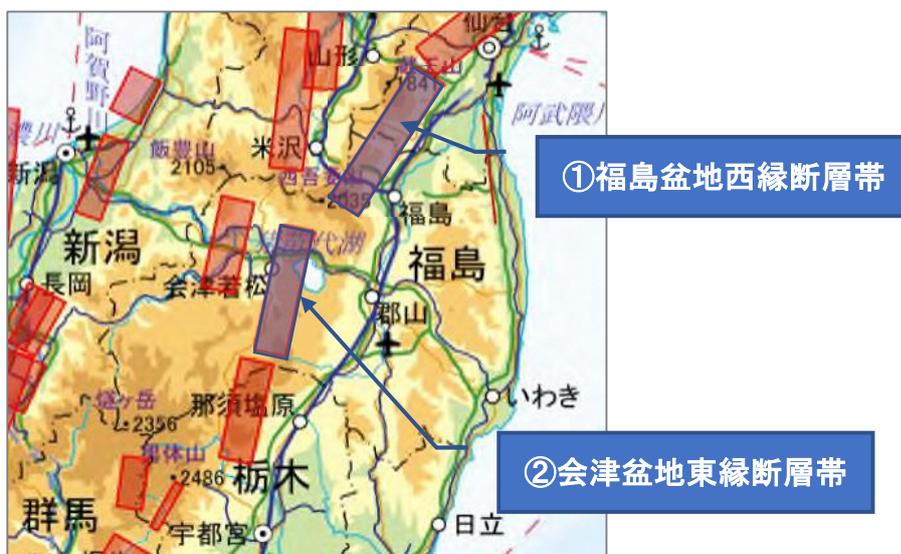


図 I-3.3-1 福島盆地西縁断層帯及び会津盆地東縁断層帯の位置図
J-SHIS (地震ハザードステーション) I-35) より

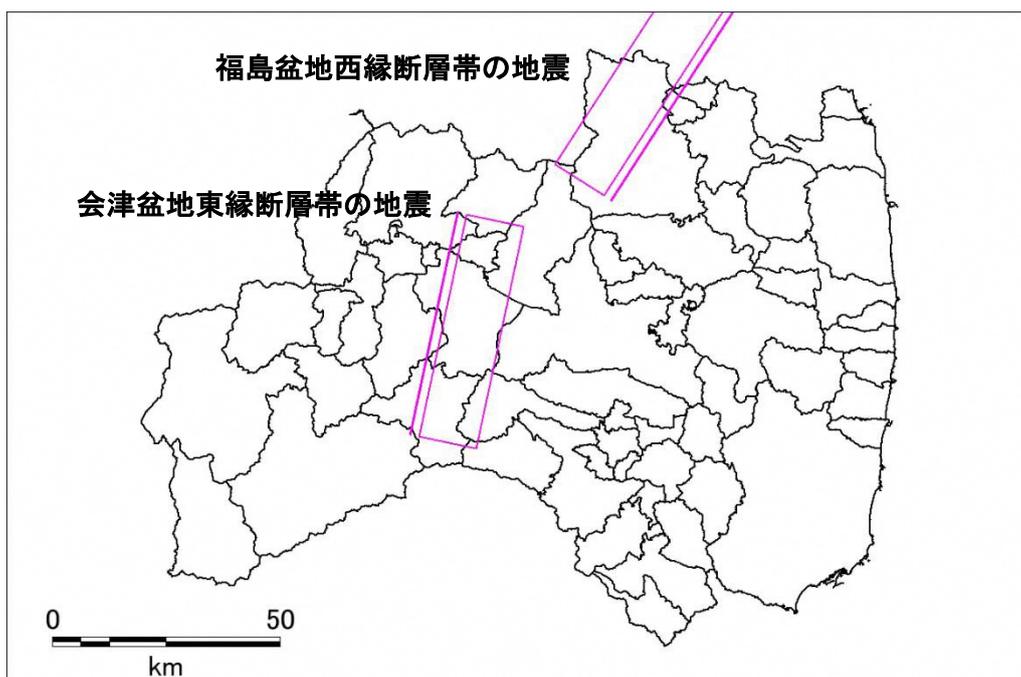


図 I-3.3-2 福島盆地西縁断層帯の地震及び会津盆地東縁断層帯に地震の震源位置図

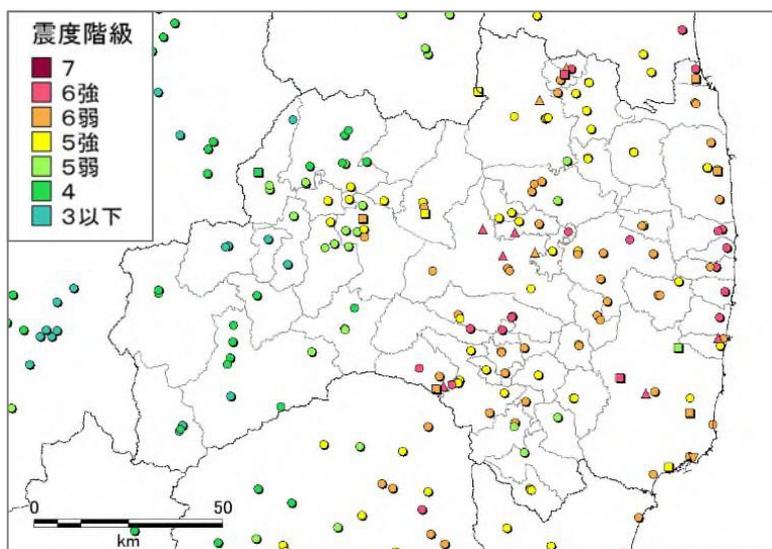


図 I -3. 3-3 東北地方太平洋沖地震の観測震度



図 I -3. 3-4 津波浸水想定で設定された東北地方太平洋沖地震津波の震源域福島県（令和4年8月31日）^{I-36)}

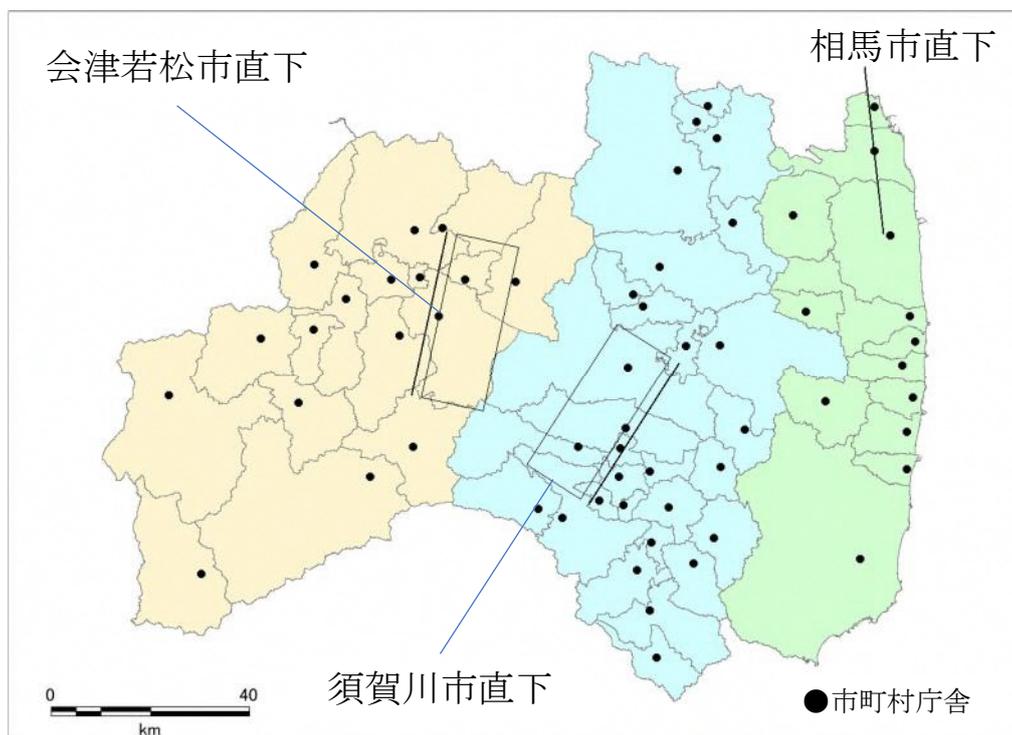


図 I -3. 3-5 市町村直下の地震の震源モデルの例

黄色は会津地方、青色は中通り地方、緑色は浜通り地方を表す。
会津地方は会津盆地東縁断層帯、中通り地方は福島盆地西縁断層帯、浜通り地方は双葉断層の震源断層モデルを参考に設定した。震源パラメータは、表 II-1. 1-5 に示す。