

### 3.4.3 想定首都直下地震に関する強震観測研究

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

高精度な強震動予測を実現するためには、離散的に配置された観測点で得られた地震記録から面的な地震動分布を精度良く推定することが重要である。一方、観測点で得られる地震記録は、設置環境や周辺の地盤の影響を強く受けるため、それらデータから面的地震動分布を推定するためには、観測点周辺の地盤・設置環境の評価が重要となる。本研究では、観測点の地盤・設置環境調査を実施することにより、面的な地震動分布の推定精度向上のための調査を実施する。さらに、自然地震観測によるプレート構造調査のために設置される中感度地震観測網と、既存の K-NET、KiK-net、自治体震度計等のデータを併合処理することにより、強震動の面的分布を高精度に推定するための研究を実施する。

##### (b) 平成22年度業務目的

平成21年度までに実施した、千葉県における単点による微動観測結果および既往の微動アレイ観測結果を踏まえ、微動アレイ観測等を追加実施し、既存の強震観測点に基づく面的な地震動分布の推定精度の高度化について検討を行う。

##### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
独立行政法人防災科学技術研究所	プロジェクトディレクター	藤原広行	
同	主任研究員	河合伸一	
同	主任研究員	青井 真	
同	主任研究員	功刀 卓	
同	研究員	中村洋光	
同	任期付研究員	森川信之	
同	契約研究員	長谷川信介	
同	契約研究員	内藤昌平	
同	契約研究員	八才憲生	

#### (2) 平成22年度の成果

##### (a) 業務の要約

千葉県内の主に震度観測点において微動アレイ（L字アレイ）による常時微動調査を実施した。調査した結果（観測位相速度・微動観測生データ・現場写真・H/Vスペクトル等）について、データの解析等の利活用をスムーズに行うため、データベース<sup>1)</sup>に納め整理した。観測結果を用い、観測位相速度と地震観測結果のR/Vスペクトル比を用い、ジョイント面的な地盤増幅率分布を推定するため、微地形区分毎にスペクトルを分けて、千葉県全域のスペクトル増幅率を作成した。また、SK-NET観測点を中心に微動アレイ探査を行い、位相速度を計算し、これも微動データベースに収めた。

今までに作成された関東地域の地盤モデル<sup>2),3)</sup>による、理論 H/V スペクトルの計算を、微動アレイ観測地点全点で行い、観測データによる位相速度と地震記録から得られる R/V スペクトル比とのジョイントインバージョン処理による S 波速度構造結果より、現状の地盤のモデルとの比較と検証を実施した。

#### (b) 業務の成果

##### 1) 千葉県全域における微動アレイ探査（L字アレイ）における微動観測の概要と実績

平成 21 年度に微動アレイ観測を実施した千葉県内の震度観測点および小・中・高等学校において、L 字アレイによる常時微動調査を 60 箇所にて実施した（図 1）。今回観測した微動アレイは、昨年度実施したアレイサイズよりも小さな L 字型のアレイを展開し、昨年度取得した既往の微動アレイの周期帯域（5～0.5 秒）よりも短周期側で、昨年度の結果と接続できるように、対象周期 1 秒～0.1 秒程度を想定した微動アレイ観測を行った（図 2 参照）。これらの観測は、平成 22 年 7 月 7 日～平成 22 年 8 月 7 日にかけて全ての観測点において観測を実施し、既往の微動アレイ観測記録と合わせた解析処理による観測位相速度を求めた。なお、面的推定精度向上のため、本検討では、図 3 に示す手法を用いて、2 秒から 0.5 秒程度の周期範囲について主に検討した。

##### 2) 微動観測データの解析結果と地震動データの解析結果の比較

理論位相速度と地震動の R/V スペクトル比によるジョイントインバージョン処理を行い、推定 S 波速度構造モデルを求めた（図 4(a)、図 4(b)）。その結果による理論 H/V スペクトル比と地震動の R/V スペクトル比を比較すると、広帯域での周期特性について、既往の地盤モデル<sup>2),3)</sup>に対して、飛躍的に精度が良くなっているといえる（図 5）。

##### 3) S 波増幅特性と Q 値の推定

2)で示した S 波速度構造を正しいと仮定したうえで、推定された速度構造モデルの増幅度の検証として、地表地震記録によるスペクトルインバージョンと、Q 値と S 波増幅構造について、図 6 に示す流れで検討を行った。スペクトルインバージョンでは、千葉県周辺で発生した地震を用いた（図 7、表 1）。震源スペクトルの結果とモデル化したものを図 8 に示す。解析された地震モーメントは、F-net による地震モーメントに比べやや小さめに推定された（図 9(a)）。その傾向は、野津・長尾(2005)<sup>4)</sup>（図 9(b)）でも見られる。Tsuda *et al.*(2010)<sup>5)</sup>によるモーメントとの関係（図 9(c)）では、概ね両者は良く対応している。伝播経路の Q 値は、山中ほか(2010)<sup>6)</sup>による値とほぼ同じ値を示している（図 10）。既往の増幅特性との比較では、野津・長尾(2005)による増幅特性と良く対応しているが、Tsuda *et al.*(2010)によるものと比べると高周波数側で小さな値を示している（図 11）。求められたサイト増幅特性と地盤モデルから計算された理論増幅率(SH)は、全体的に良く対応しているといえる（図 12）。

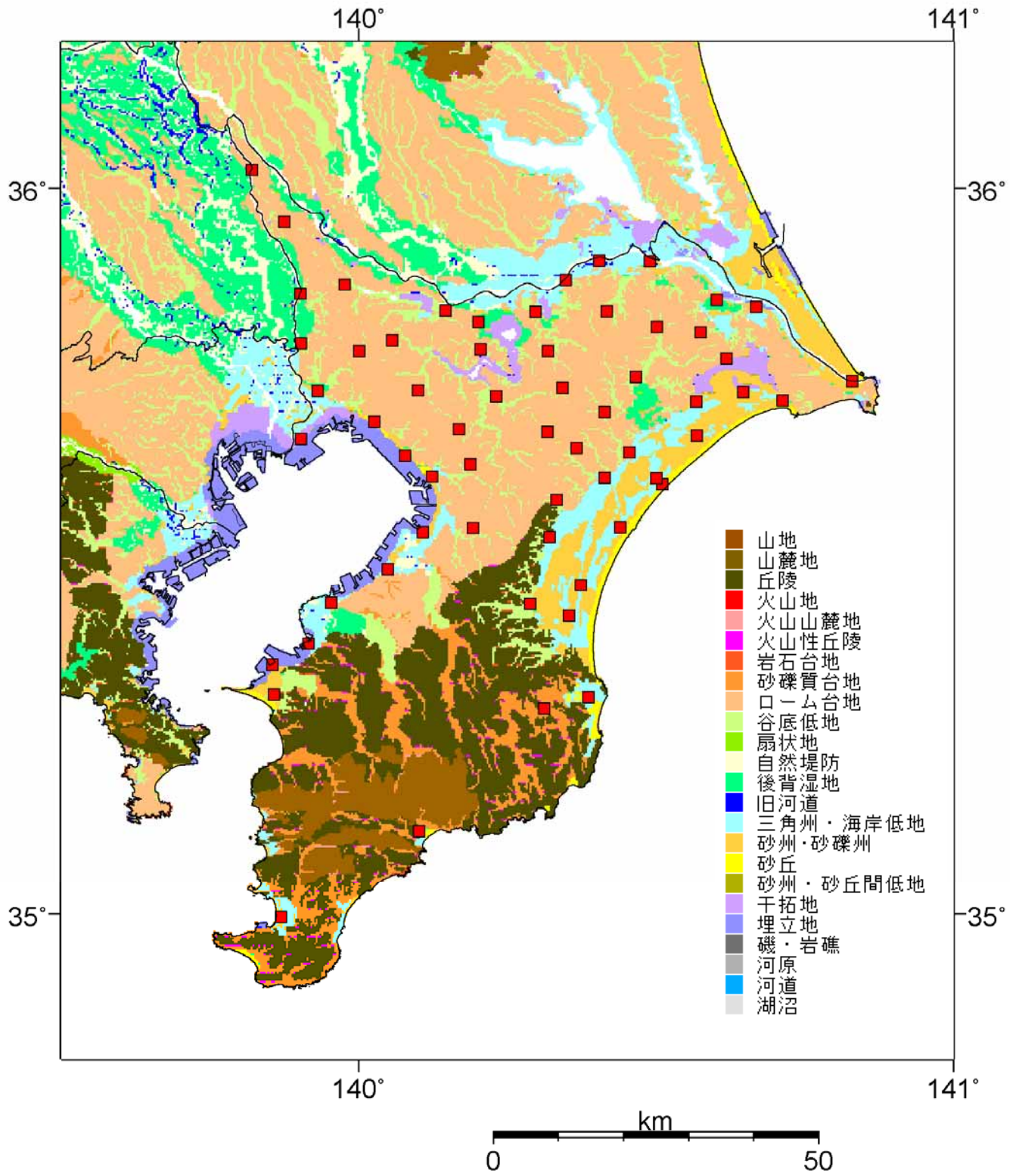


図1 . 千葉県の微動アレイ観測点位置 ( ■ : 60地点 )

< L字アレイ >

CHBA28 下総町役場



図2. 千葉県の微動アレイ (L字アレイ) 観測点位置 (●: 60地点)

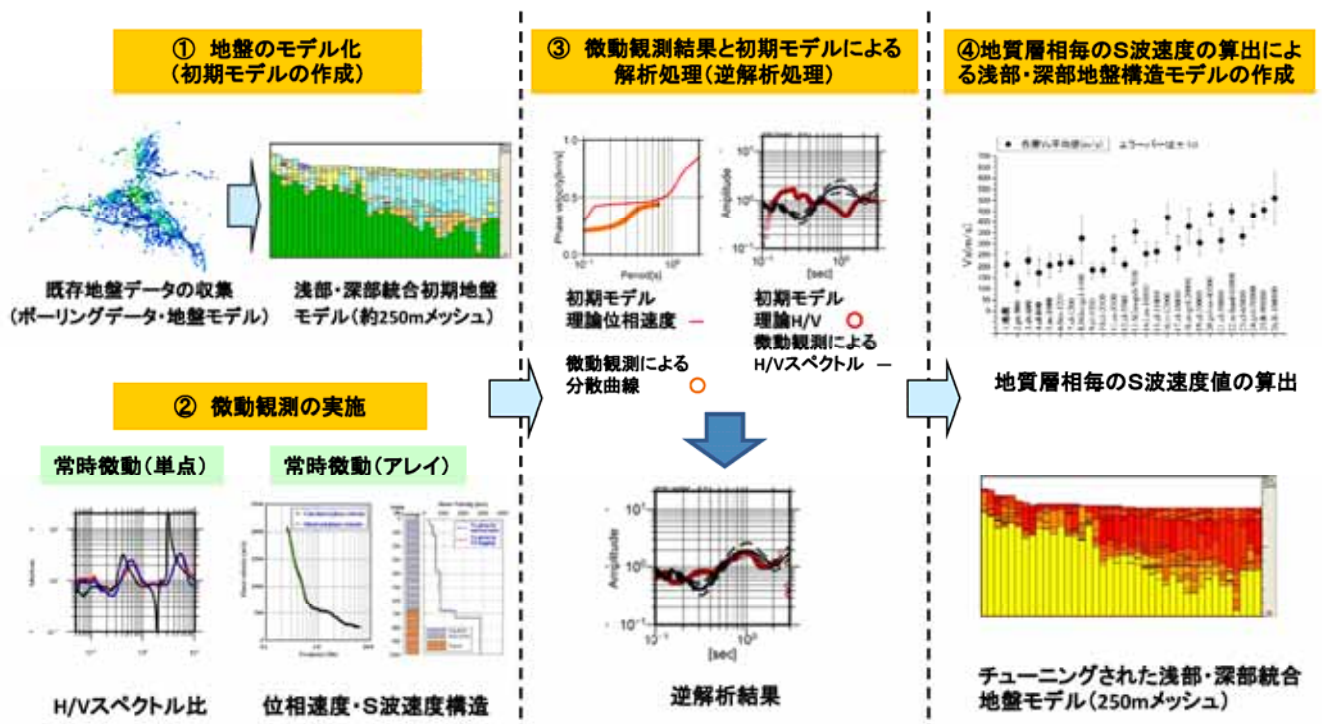
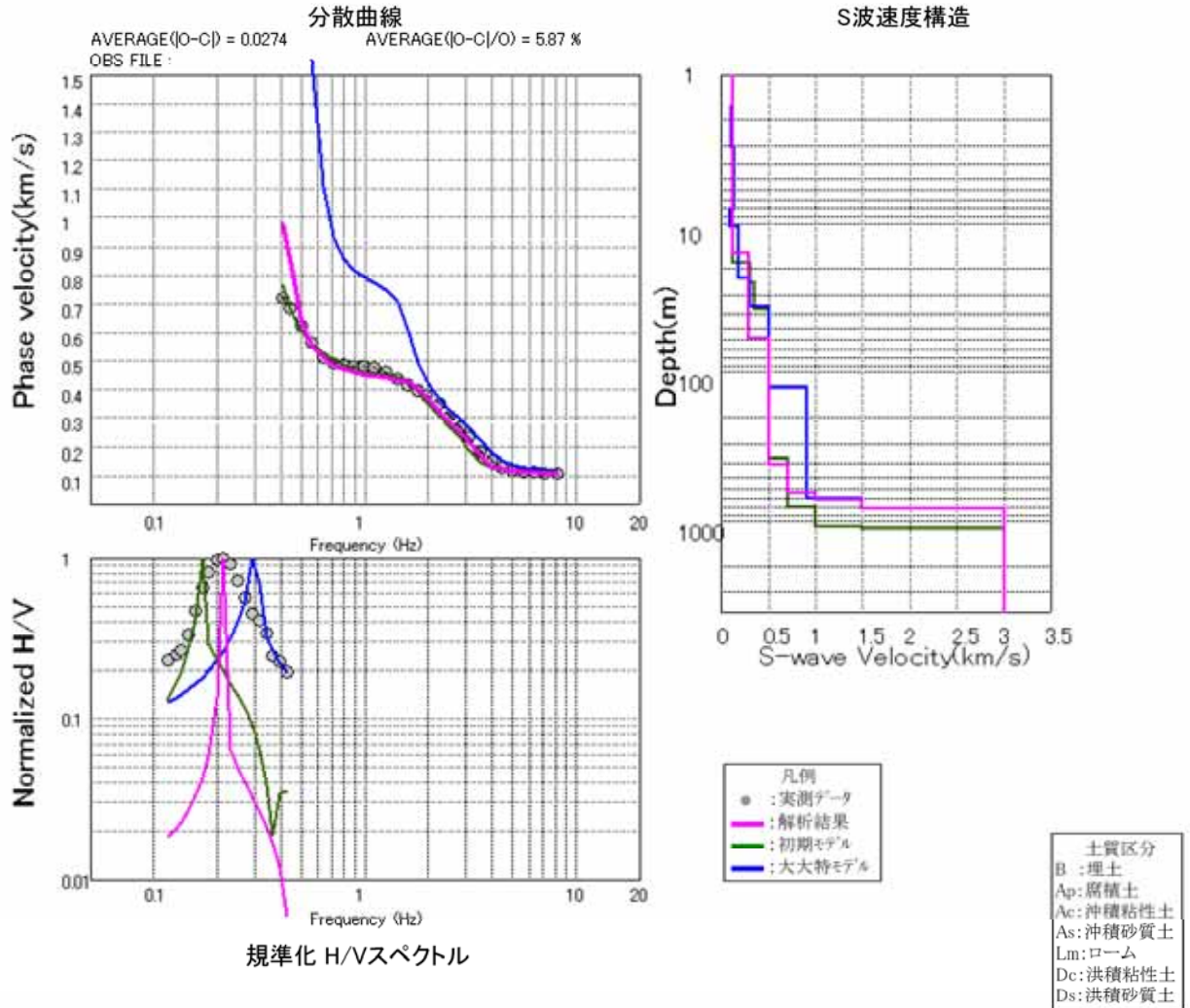


図3. 本研究が目指す観測記録を浅部・深部統合地盤構造モデルの手法検討の概念図

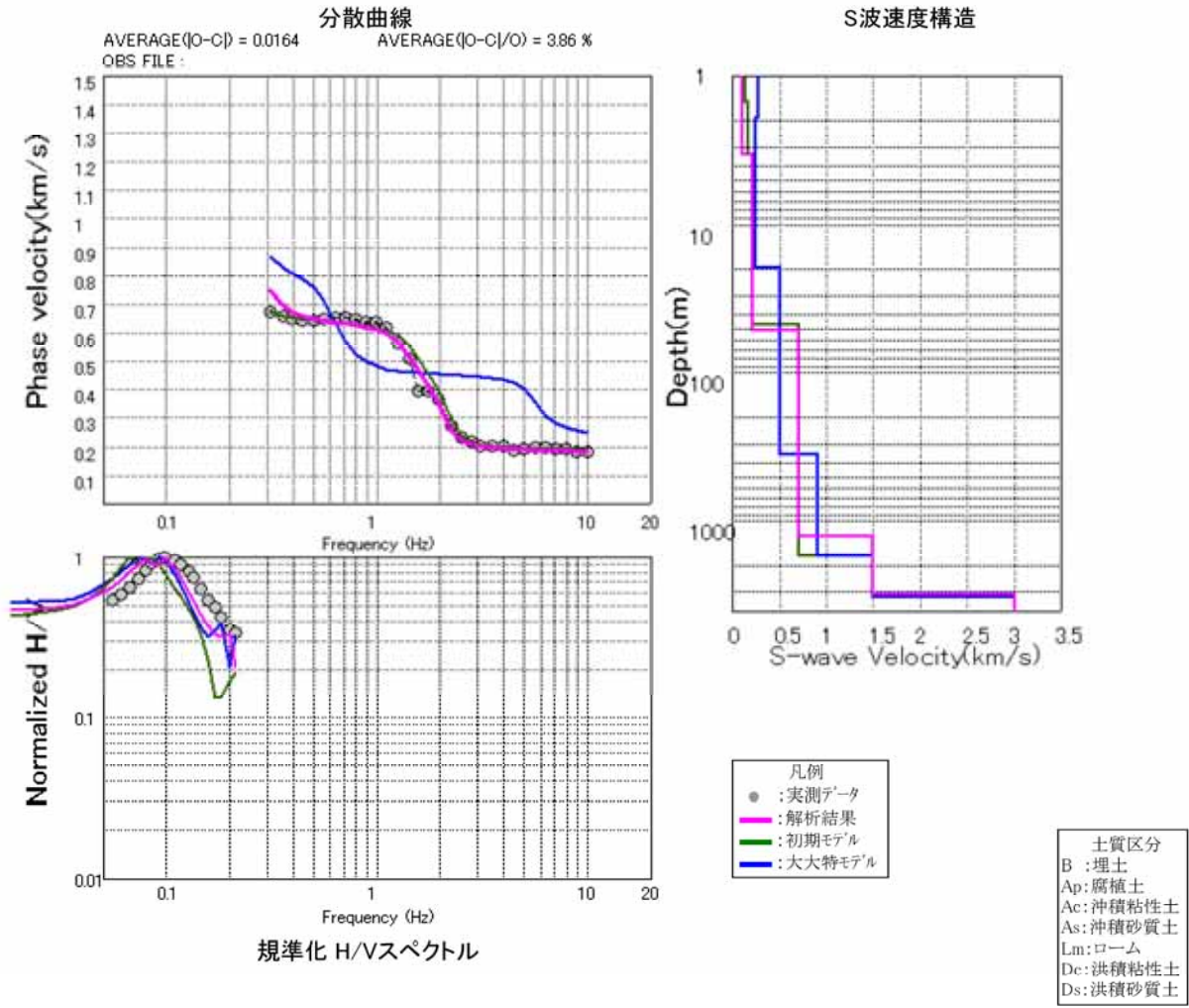
千葉県 微動探査(アレイ) 解析結果



大大特モデル						初期モデル						解析結果モデル					
下面深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	土質区分	下面深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	土質区分	下面深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	土質区分
1.6	1.6	593	116	1.6	B	18.3	18.3	620	120	1.4	Ac/B	15.8	15.8	620	120	1.4	Ac/B
3.1	1.5	568	111	1.4	Ac	24.6	6.3	1600	310	1.9	Ds	21.8	6.0	1600	290	1.9	Ds
8.1	5.0	687	135	1.4	Ac	37.7	13.1	1800	350	1.9	Ds	58.6	36.8	1800	290	1.9	Ds
10.6	2.5	456	90	1.4	Ac	378.3	340.6	1800	500	1.9	—	411.6	353.0	1800	500	1.9	—
35.9	25.3	955	187	1.8	As	788.2	409.9	2100	700	2.0	—	635.6	224.0	2100	700	2.0	—
125.3	89.4	1850	500	1.9	—	1080.0	291.8	2400	1000	2.1	—	717.6	82.0	2400	1000	2.1	—
694.9	569.6	2350	900	2.2	—	1105.6	25.6	3000	1500	2.2	—	810.6	93.0	3000	1500	2.2	—
806.9	112.0	3000	1500	2.3	—	—	—	5600	3000	2.5	—	—	—	5600	3000	2.5	—
810.3	3.4	3200	1700	2.4	—												
—	—	5800	3000	2.7	—												

図4(a) . 微動アレイ観測結果 ( 大大特モデルとの位相速度と本研究の解析結果との比較 )  
( CHBA43 : 小見川町役場 )

千葉県 微動探査(アレイ) 解析結果



大大特モデル							初期モデル							解析結果モデル						
下面深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	土質区分		下面深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	土質区分		下面深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	土質区分	
1.9	1.9	1383	271	1.3	Ap		1.5	1.5	640	130	1.7	B		1.3	1.3	640	100	1.7	B	
19.7	17.8	1264	248	1.9	As		3.4	1.9	790	160	1.9	As		3.4	2.1	790	100	1.9	As	
354.1	334.4	1850	500	1.9	-		47.0	43.6	1100	210	1.8	As/Ac		50.9	47.5	1100	210	1.8	As/Ac	
1728.9	1374.8	2350	900	2.2	-		1700.0	1653.0	2100	700	2.0	-		1250.9	1200.0	2100	700	2.0	-	
3243.7	1514.8	3000	1500	2.3	-		3073.5	1373.5	3000	1500	2.2	-		3084.9	1834.0	3000	1500	2.2	-	
-	-	5800	3000	2.7	-		-	-	5600	3000	2.5	-		-	-	5600	3000	2.5	-	

図4(b) . 微動アレイ観測結果 ( 大大特モデルとの位相速度と本研究の解析結果との比較 )  
 ( CHBA45 : 長生村役場 )

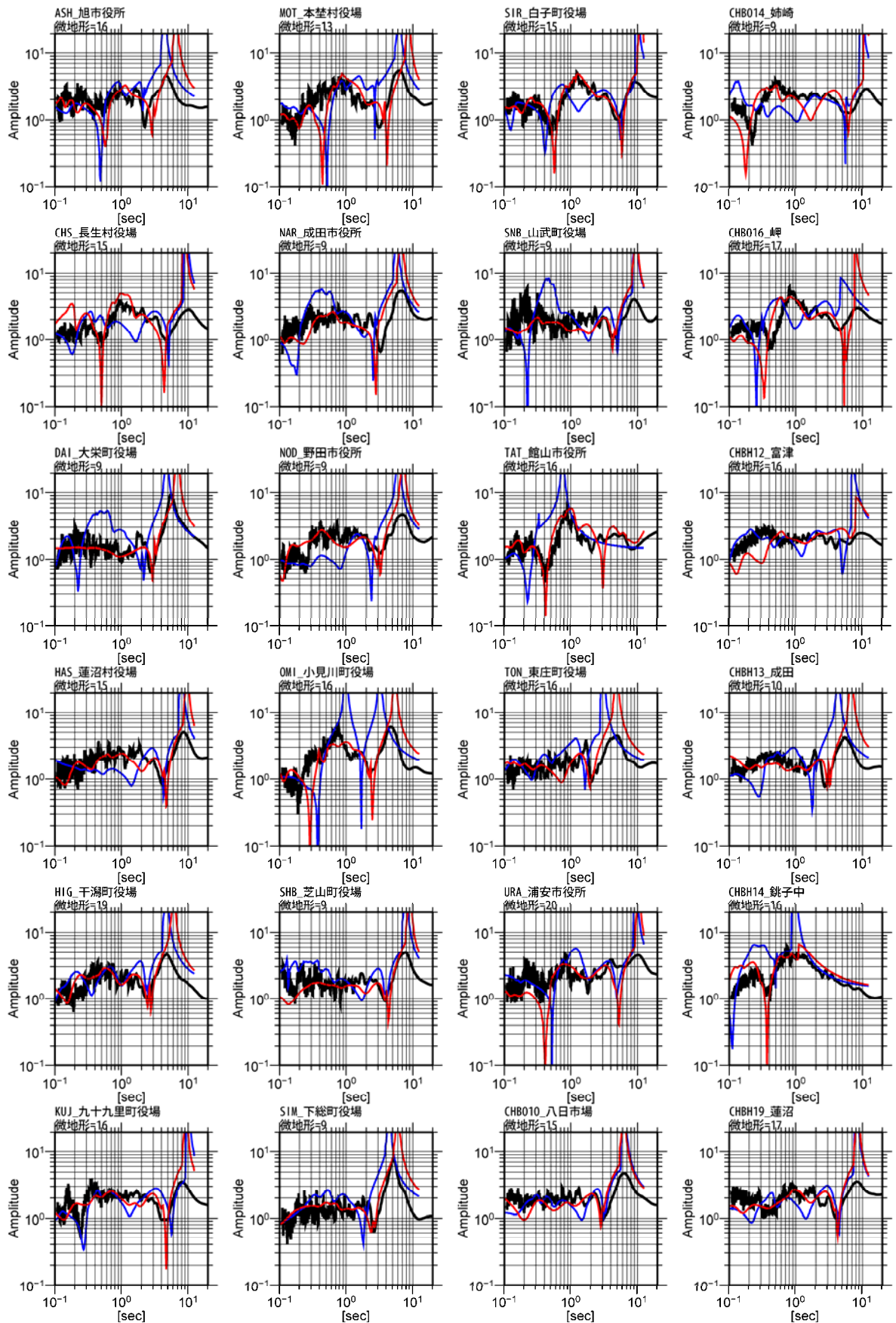


図5. 地盤モデルによる理論 H/V と地震動 R/V スペクトル比

との比較。黒線：地震記録による H/V スペクトル比(R/V スペクトル比)

赤線：本研究における地盤モデルによる理論H/Vスペクトル比（4次モード合成R/L比=0.58）

青線：大々特地盤モデルによる理論H/Vスペクトル比（4次モード合成R/L比=0.58）



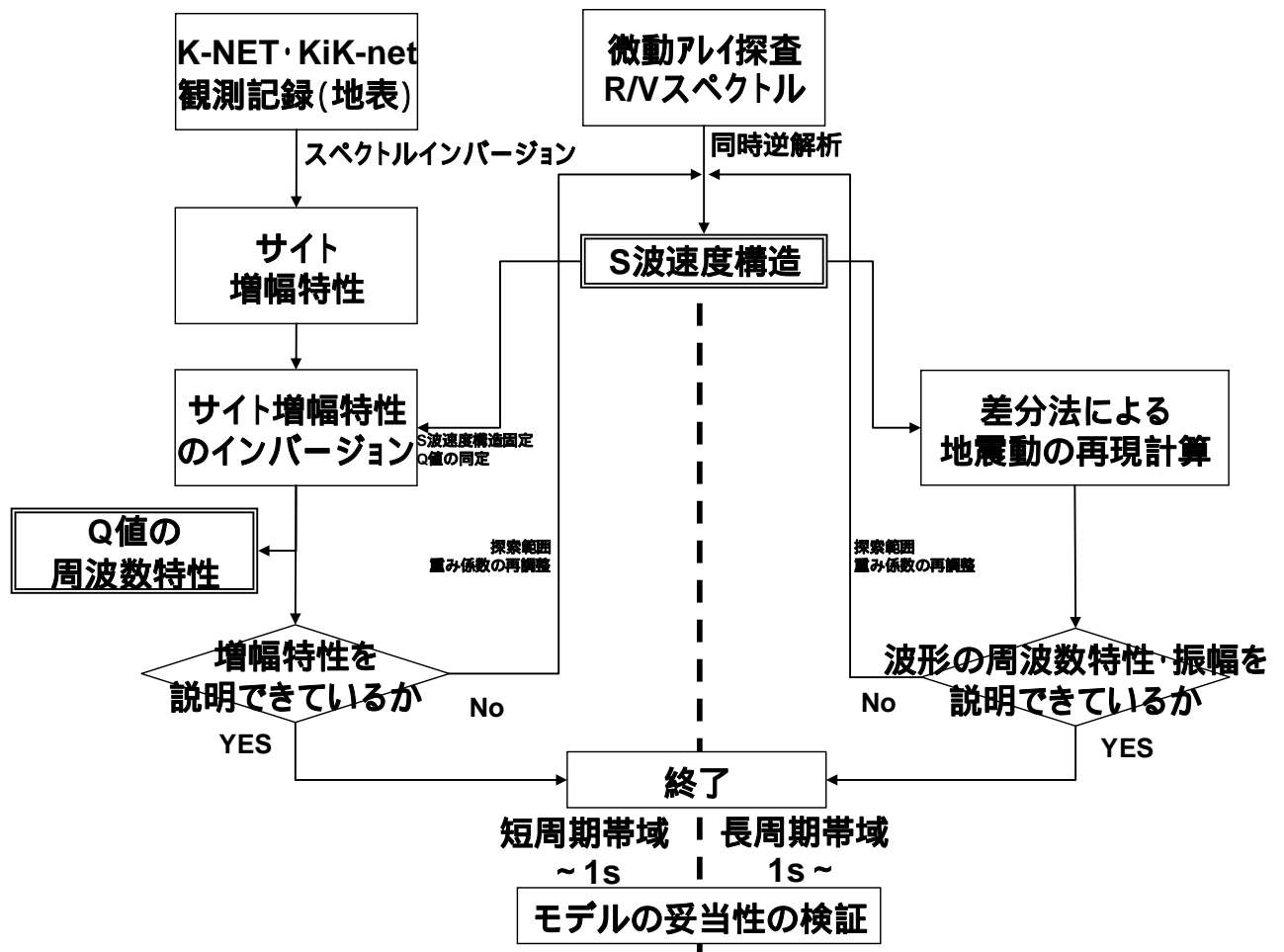


図 6 . 地震観測点におけるスペクトル増幅率と浅部・深部統合地盤構造モデルによる増幅  
度解析方法の検討フロー

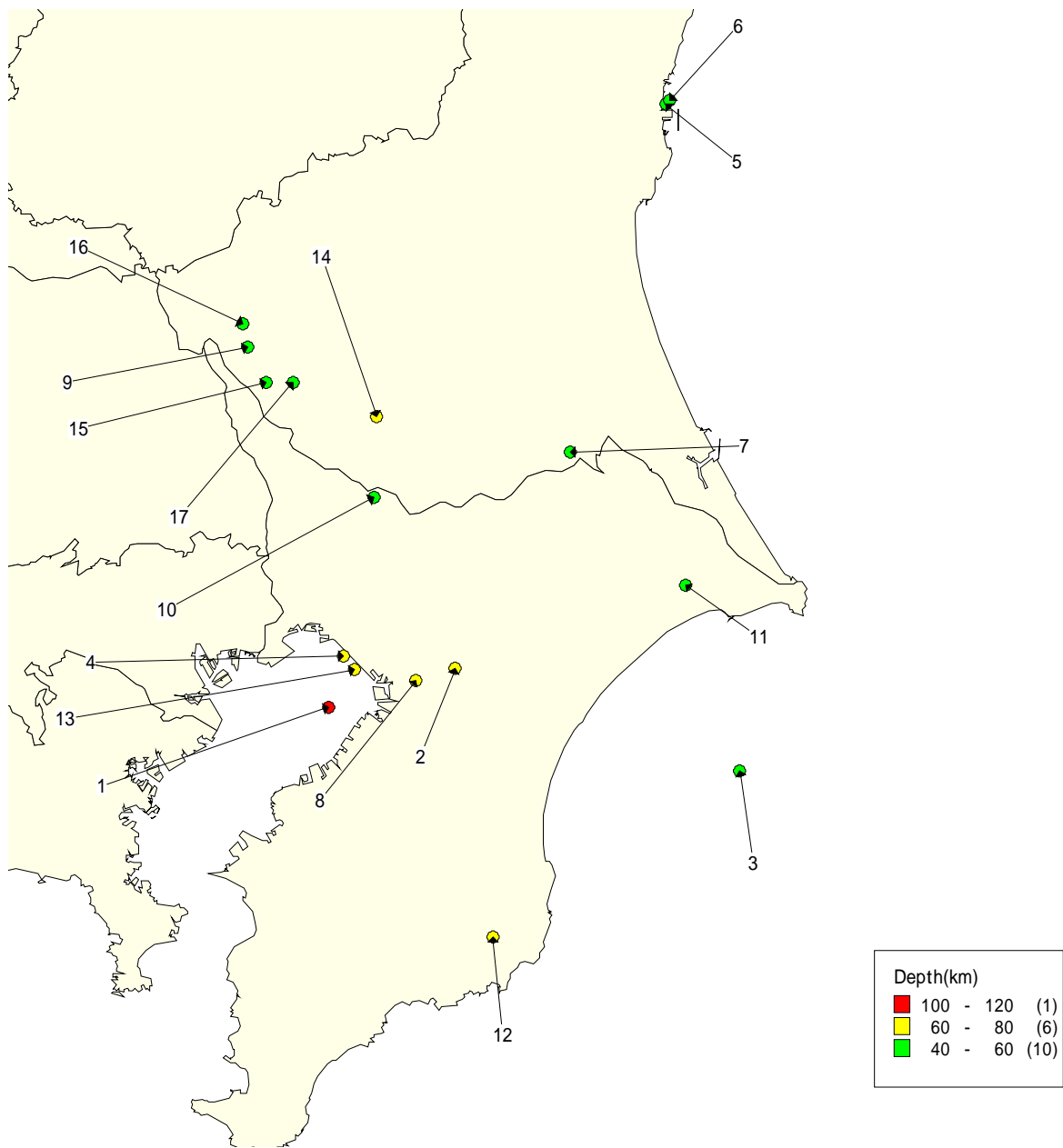


図 7. スペクトルインバージョンに用いた地震の震央位置

表 1 地震の諸元

No.	Year	Month	Day	Hour	Minutes	Sec	Latitude	Longitude	Depth(km)	Mj	Epicenter
1	1997	9	8	8	40	38.47	35.5580	140.0022	108.59	5.1	CENTRAL CHIBA PREF
2	1998	1	14	2	17	7.88	35.6165	140.2328	77.98	5	CENTRAL CHIBA PREF
3	1998	6	14	22	17	6.19	35.4645	140.7490	46.43	5.7	KUJUKURI COAST BOSO PEN
4	1998	8	29	8	46	42.35	35.6330	140.0293	64.60	5.3	CENTRAL CHIBA PREF
5	1999	3	26	8	31	9.38	36.4507	140.6155	59.04	5	NORTHERN IBARAKI PREF
6	1999	4	25	21	27	2.95	36.4560	140.6220	59.47	5.2	NORTHERN IBARAKI PREF
7	1999	7	15	7	56	21.89	35.9357	140.4410	49.64	5	SOUTHERN IBARAKI PREF
8	1999	9	13	7	56	46.82	35.5977	140.1598	75.81	5.1	CENTRAL CHIBA PREF
9	2003	3	13	12	12	58	36.0902	139.8557	47.26	5	SW IBARAKI PREF
10	2003	5	12	0	57	6.08	35.8688	140.0857	46.87	5.3	SOUTHERN IBARAKI PREF
11	2003	5	17	23	33	10.79	35.7385	140.6507	47.29	5.3	NEAR CHOSHI CITY
12	2003	9	20	12	54	52.2	35.2188	140.3003	69.96	5.8	KUJUKURI COAST BOSO PEN
13	2003	10	15	16	30	35.79	35.6137	140.0498	73.90	5.1	CENTRAL CHIBA PREF
14	2004	10	6	23	40	40.16	35.9888	140.0898	65.97	5.7	SOUTHERN IBARAKI PREF
15	2005	2	16	4	46	36.13	36.0385	139.8888	46.15	5.3	SW IBARAKI PREF
16	2005	7	28	19	15	35.01	36.1262	139.8463	51.12	5	SW IBARAKI PREF
17	2005	10	16	16	5	42.6	36.0393	139.9375	47.12	5.1	SW IBARAKI PREF

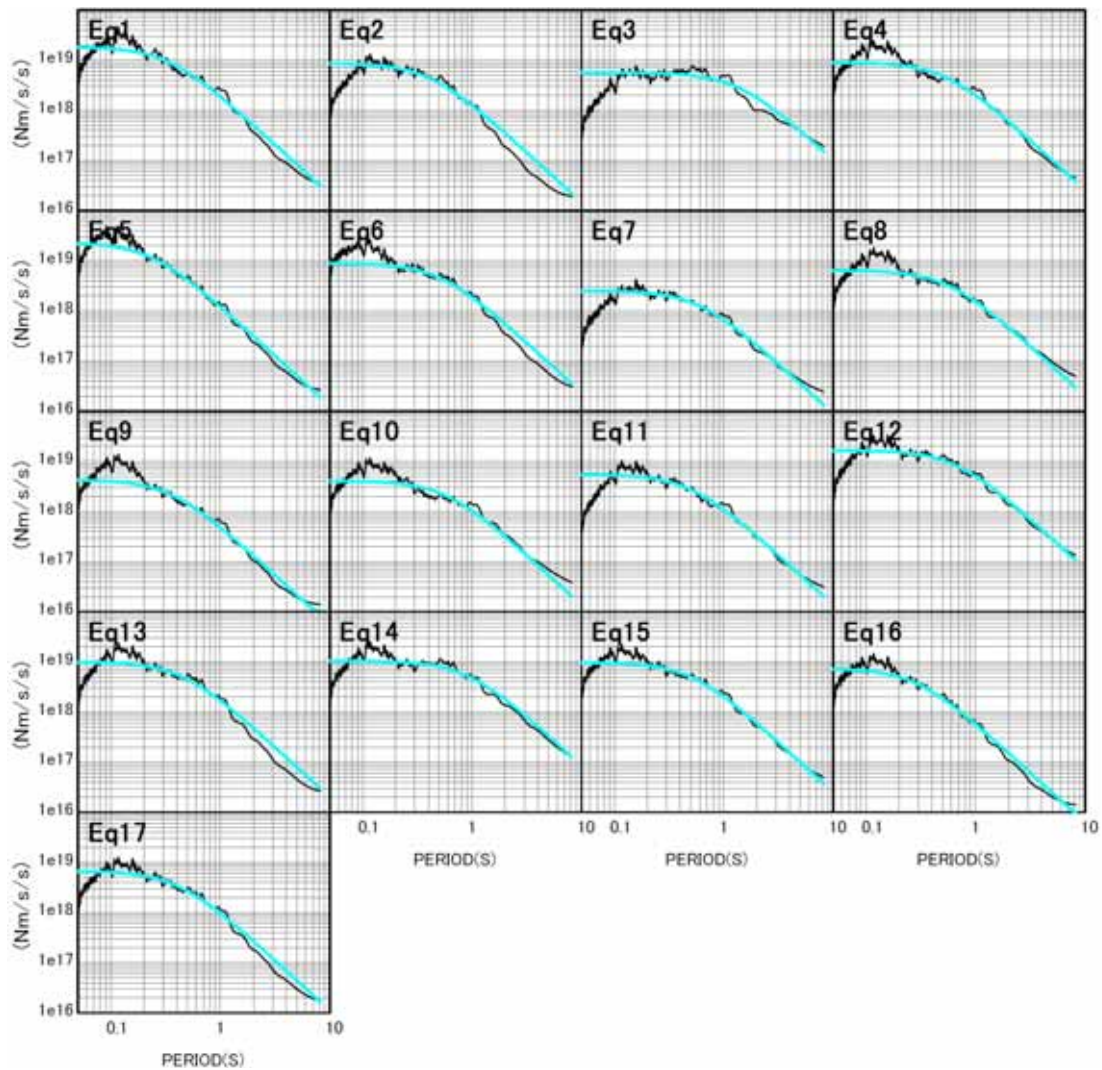


図 8 . 震源スペクトルと  $\omega^{-2}$  モデル

周波数 0.5-5Hz のデータを使用して、非線形最小二乗法により推定  
初期値は、F-net のモーメント、 $f_0$  の初期値は 3Hz とした。

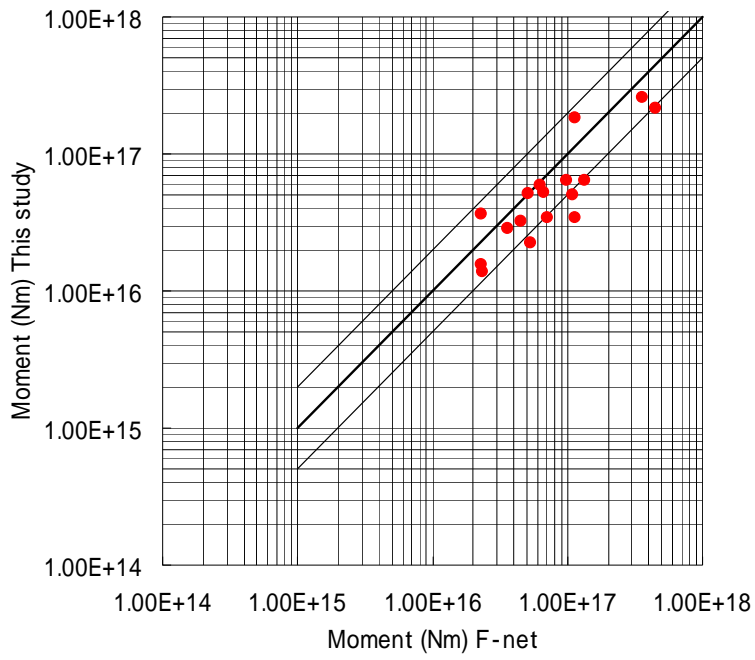


図 9(a) . F-net によるモーメントとの関係

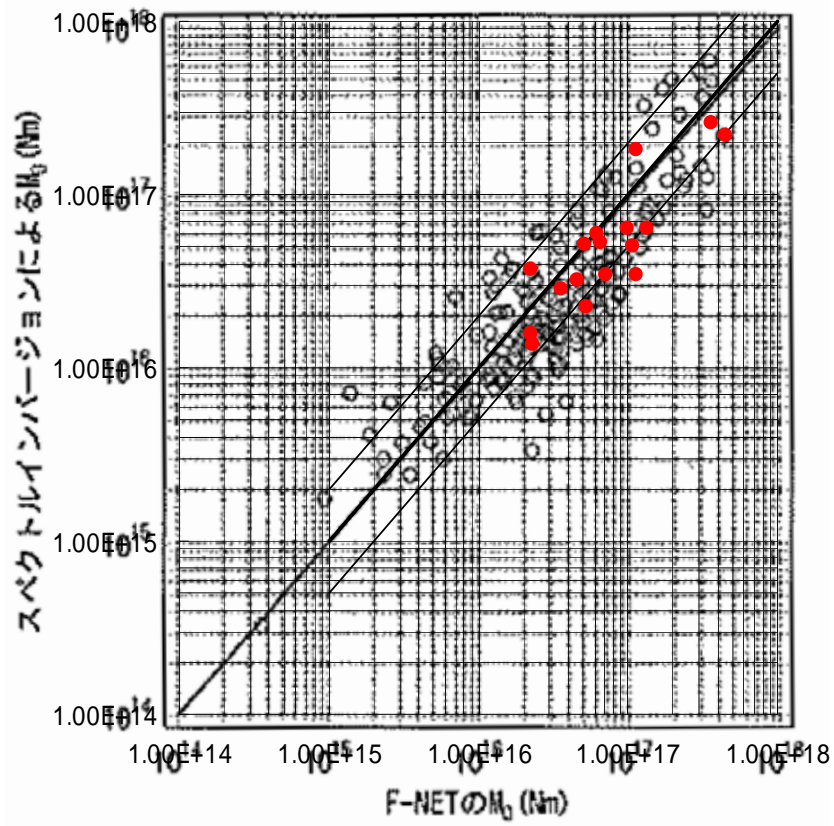


図 9(b) . 野津・長尾(2005)による結果との比較

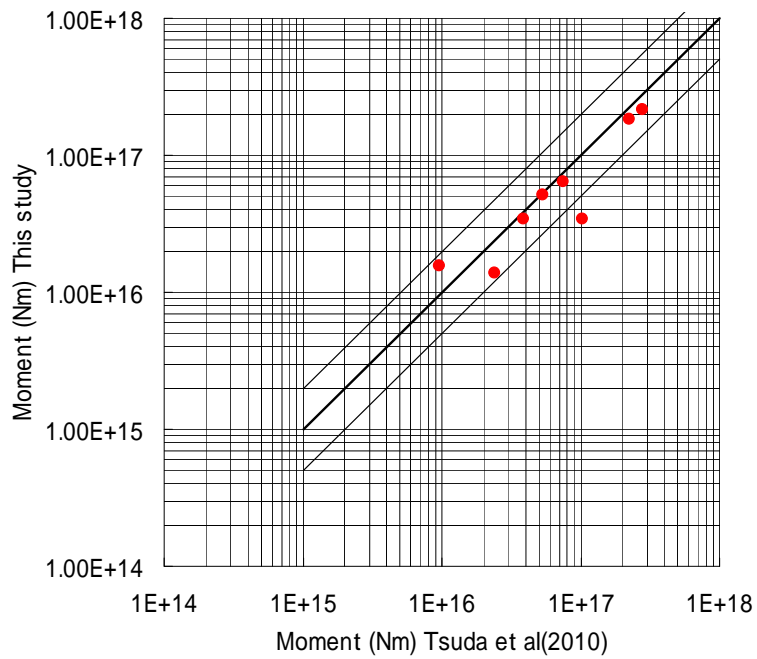


図 9(c) . Tsuda *et al.*(2010)によるモーメントとの関係

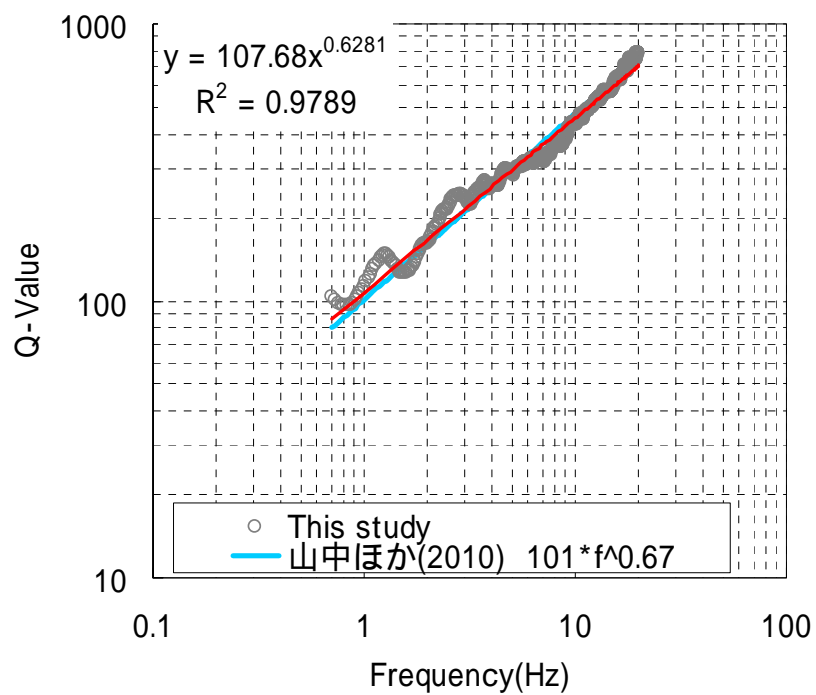


図 10 . 伝播経路の Q 値

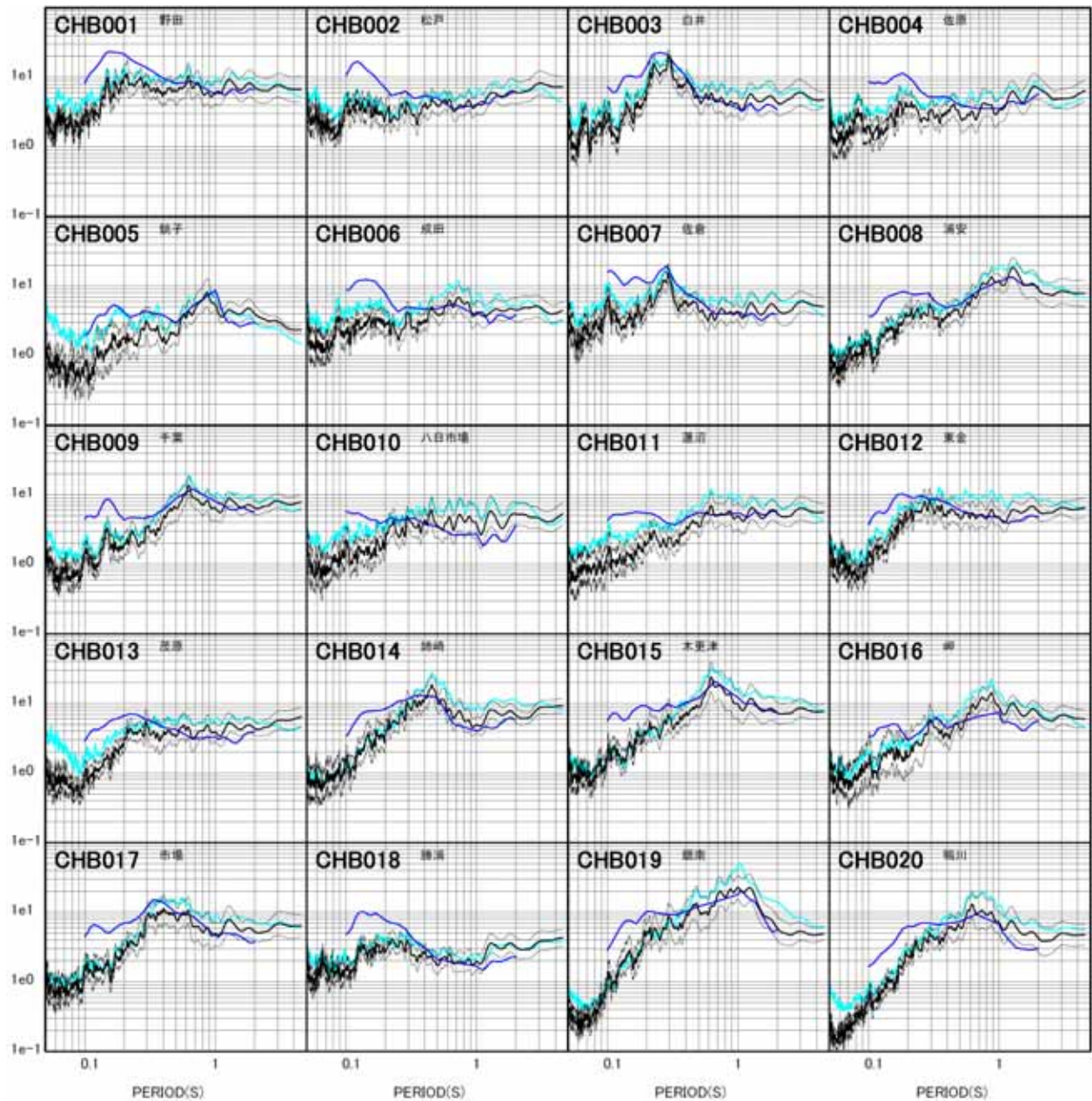


図 11 . スペクトルインバージョンによって求められた増幅特性の比較

野津・長尾(2005)と本研究との比較

黒：本検討 水色：野津・長尾(2005)・青：Tsuda *et al.*(2010)

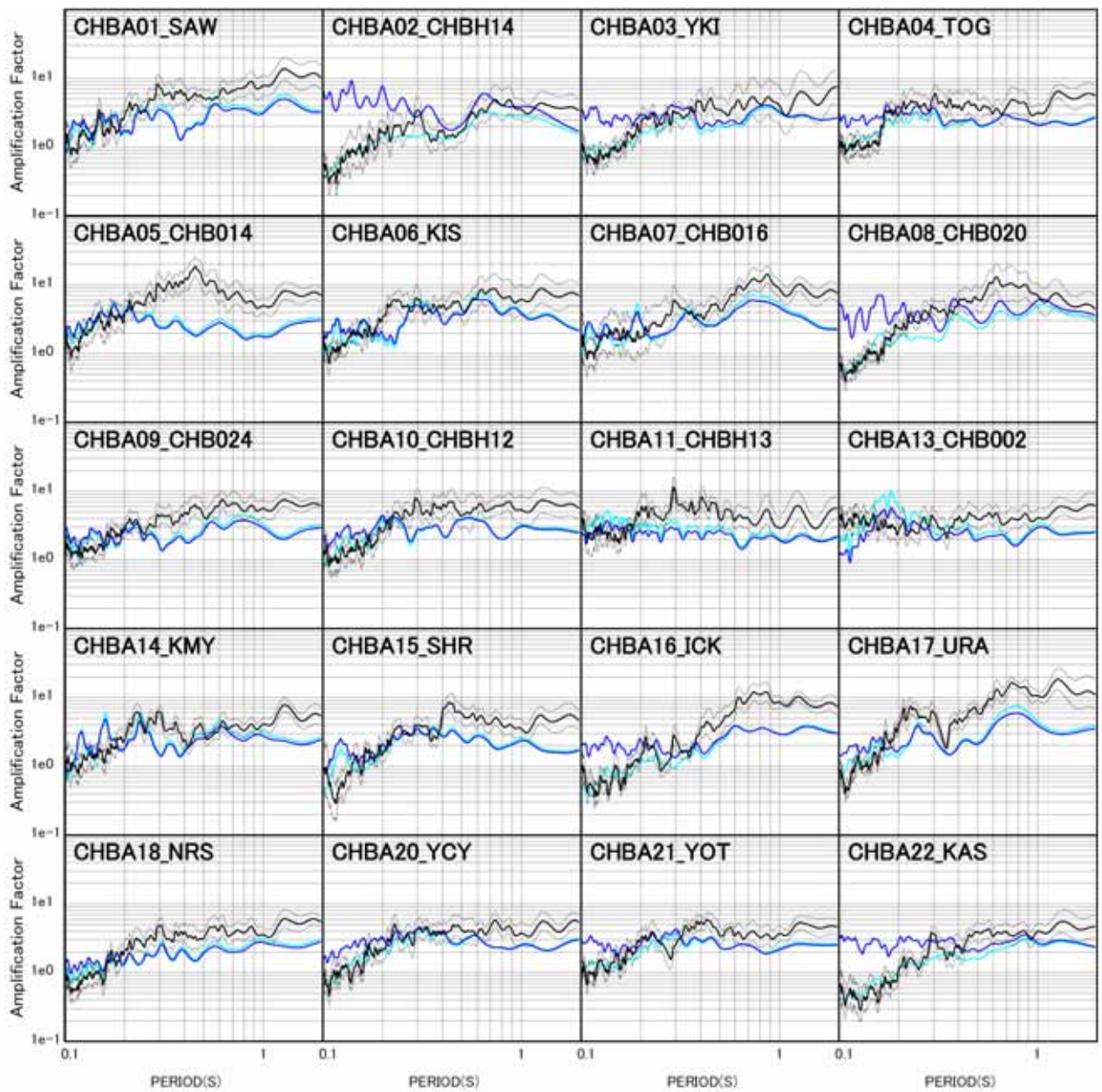


図 12 . 各地震観測点におけるサイト増幅特性と本検討でモデル化した地盤モデルの地震基盤からの理論増幅率（水色）との比較、山中・他 Q 値 ( $Q=(V_s/16.4)*f^{0.44}$ ) (青)

(c) 結論ならびに今後の課題

本研究において、得られた微動アレイ観測結果による位相速度と地震動の R/V スペクトル比とのジョイントインバージョン結果による S 地盤構造モデルは、0.1～10Hz における広帯域の周期特性の精度について飛躍的に向上したと言える。また、推定された S 波速度構造モデルにおける増幅特性については、既往の研究による Q 値や増幅特性との関係において、概ね良く対応していることが分かった。

これらのことより、本研究においては 0.2Hz より短周期側で小さな値を示している等、解決すべき問題点もあるが、全体的には増幅特性・周期特性ともに、既往の研究よりも精度の高い結果を得ることが出来たといえる。

今後、これらの結果を用いて、さらなる地震動分布の面的な推定精度の向上について検討を行う。

(d) 引用文献

- 1) 先名重樹, 大井昌弘, 藤原広行 : 微動探査データの収集管理とデータベースシステムの構築, 2007年地球惑星合同大会,150-P010, 2007.
- 2) 藤原広行, 河合伸一, 青井 真, 森川信之, 先名重樹, 工藤暢章, 大井昌弘, はお憲生, 早川 讓, 遠山信彦, 松山尚典, 岩本鋼司, 鈴木晴彦, 劉瑛 : 強震動評価のための全国深部地盤構造モデル作成手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料, 337, 2009.
- 3) 三宅弘恵, 瀨瀬一起, 古村孝志, 稲垣賢亮, 増田徹, 翠川三郎 : 首都圏の強震動予測のための浅層地盤構造モデルの構築, 第12回日本地震工学シンポジウム論文集, 214-217, 2006.
- 4) 野津 厚, 長尾 毅 : スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等におけるサイト増幅特性, 港湾空港技術研究所資料, 1112, pp.56, 2005.
- 5) Tsuda K., Koketsu, K., Hisada, Y., and Hayakawa, T. : Inversion analysis of site response in the Kanto basin using data from a dense strong motion seismograph array, Bull. Seismol. Soc. Am. 100, 1276-1287, 2010.
- 6) 山中浩明, 大堀道広, 翠川三郎 : 地震記録に基づく地盤増幅特性の逆解析による関東平野のシームレス S 波速度構造モデルの推定, 日本建築学会, 2010.

(e) 学会等発表実績

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国内・外の別
千葉県における常時微動観測による S 波速度構造モデルの推定ポスター発表	先名重樹, 森川信之, 河合伸一, 大井昌弘, 藤原広行	日本地震学会2010年度秋季大会, 学術講演会論文集, P2-75	2010年10月	国内

(f) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし



2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

**(3) 平成23年度業務計画案**

平成22年度までに実施した、千葉県北部、茨城県南部地域における単点による微動観測や微動アレイ観測結果、既往の地盤モデル等をもとに、既存の強震観測点に基づく面的な地震動分布の推定精度の高度化について検討を行う。