JAEA-Data/Code
2006-005

JP0650290

大洗鉛直アレー観測地震動の位相特性の分析

Analysis of Phase Property of Earthquakes Observed by Vertical Instrument Arrays at JAEA Oarai Site

杉野 英治* 鬼沢 邦雄

Hideharu SUGINO* and Kunio ONIZAWA

安全研究センター
機器・構造信頼性評価研究グループ
Reactor Component Reliability Research Group
Nuclear Safety Research Center

March 2006

Japan Atomic Energy Agency 日本原子力研究開発機構

JAEA-Data/Code

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に刊行している研究開発報告書です。
本レポートの全部または一部を複写・複製・転載する場合は下記にお問い合わせ下さい。
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
Tel.029-282-6387, Fax.029-282-5920

This report was issued subject to the copyright of Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about the copyright and reproduction should be addressed to :
Intellectual Resources Section,
Intellectual Resources Department
2-4, Shirakata-shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, JAPAN
Tel.029-282-6387, Fax.029-282-5920

©日本原子力研究開発機構, Japan Atomic Energy Agency, 2006

JAEA-Data/Code 2006-005

大洗鉛直アレー観測地震動の位相特性の分析

日本原子力研究開発機構安全研究センター
原子炉施設安全評価研究ユニット
杉野　英治*・鬼沢　邦雄

(2006年1月20日受理)

日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター敷地（大洗サイト）内において実施されている鉛直アレー地震観測記録を用い，位相特性の分析を行って群遅延時間の回帰モデルを作成した．フーリエ位相スペクトルの角振動数領域での傾きとして定義される群遅延時間は，その平均値と標準偏差が時間領域における地震動の重心位置とその広がり（継続時間）を表現できる．このことに着目し，観測記録から抽出した群遅延時間の平均値と標準偏差をマグニチュードと震央距離の関数で表した回帰モデルを作成した．この回帰モデルは，サイト周辺の地震動の震源特性や伝播特性を含んでいる．このためサイト固有の位相情報を用いた地震動評価手法や地震ハザード評価手法への応用が期待される．

原子力科学研究所（駐在）：〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根2-4
* 独立行政法人原子力安全基盤機構

JAEA-Data/Code 2006-005

Analysis of Phase Property of Earthquakes Observed by Vertical Instrument Arrays at JAEA Oarai Site

Hideharu SUGINO* and Kunio ONIZAWA

Reactor Safety Research Unit
Nuclear Safety Research Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 20, 2006)

Regression models of group delay time have been established by analyzing Earthquake Observation database obtained from Vertical Instrument Arrays at the Oarai Research and Development Center of Japan Atomic Energy Agency. It is known that the mean value and standard deviation of group delay time obtained by differentiating the Fourier phase spectrum show the center of gravity position and continuous time in earthquake time history. Therefore, the regression model of the mean value and standard deviation of group delay time was made as function of the magnitude and the epicentral distance. This model includes the source and propagation of earthquake around the site. It is expected that this regression model can be applied to the seismic motion prediction method considering the site's phase property.

Keywords: Phase Property, Group Delay Time, Earthquake Observation, Wavelet Analysis

* Japan Nuclear Energy Safety Organization, Incorporated Administrative Agency

目　次

1.　はじめに ····· 1
2.　大洗鉛直アレー観測データの選定 ····· 2
3.　群遅延時間の算定 ····· 9
4.　回帰モデルの作成 ····· 25
5.　おわりに ····· 43
謝辞 ····· 43
参考文献 ····· 43

Contents

1. Introduction ····· 1
2. Selection of Earthquakes Observation Database at JAEA Oarai Site ····· 2
3. Calculation of Group Delay Time ····· 9
4. Making of Regression Model ····· 25
5. Conclusion ····· 43
Acknowledgment ····· 43
References ····· 43

This is a blank page.

1. はじめに

構造物の耐震設計を行う上で，入力地震動の作成は重要な課題である．地震動の特性を周期領域で見た場合，フーリエ振幅スペクトルと位相スペクトルの２つで規定される．従来は，振幅特性に重点がおかれ，位相特性についてはあまり注目されず，耐震設計用の入力地震動の作成方法は，振幅特性に設計用振幅スペクトルを与え，時刻歴包絡形状を規定して，ランダム位相や実地震波の位相を用いるのが一般的である．しかし，これらの方法では，位相の持つ情報が不明瞭となる．最近では，位相特性についても適切にモデル化することが重要であるとの認識から，位相スペクトルのモデル化に関する研究が進められている．

地震動の位相特性のモデル化に関する研究としては，佐藤らの研究[1)]がある．この研究で彼らは，フーリエ位相スペクトルの角振動数領域での傾きとして定義される群遅延時間の平均値と標準偏差が，時間領域における地震動の重心位置と広がり（継続時間）を表現できることに着目し，観測記録から抽出した群遅延時間の平均値と標準偏差をマグニチュードと震央距離で表した回帰モデルの作成手法を提案している．この知見は鉄道構造物の設計をはじめ広く利用されている．

本報では，佐藤らの研究に基づき，日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター敷地内において実施されている鉛直アレー観測（以下，大洗鉛直アレー観測）による中小地震観測記録[2)]を用いて，群遅延時間の回帰モデルを作成したので，その方法および結果について報告する．

2. 大洗鉛直アレー観測データの選定

分析に用いる大洗鉛直アレー観測データの諸元を表1に，震源位置を図1にそれぞれ示す．また，マグニチュードと震央距離，及びマグニチュードと震源深さとの関係をそれぞれ図 2，及び図3に示す．

分析は，新第三紀層（中新統）上面である GL.-173m の観測データ（水平・上下）に対して行うこととし，以下の手順で鉛直アレー観測データを選定・整理した．

① 鉛直アレー観測データから GL.-173m の観測データ（水平2成分・上下成分）を取り出す．
② SN 比が小さい記録は除くこととし，NS 成分の最大加速度を参照し，4gal 以下となる記録は全て取り除く．
③ 地震発生時刻を時刻0として観測データをシフトする．
④ 計器劣化によるノイズ部分を削除する．
⑤ データの平均値が0となるようにデータをシフトする．
⑥ データの後に0を付け加え，データ数Nを 131072 個（$=2^{17}$ 個）にする．

なお，条件②については，佐藤・室野・西村らの強震記録による検討では最大加速度が 30gal 以下の記録を取り除いているが，本検討で同条件を適用すると記録数が極めて少なくなるため，記録波形を眺めて設定したものである．条件②による選定により，分析を行う大洗鉛直アレー観測データは 119 地震のうち 43 地震となる．

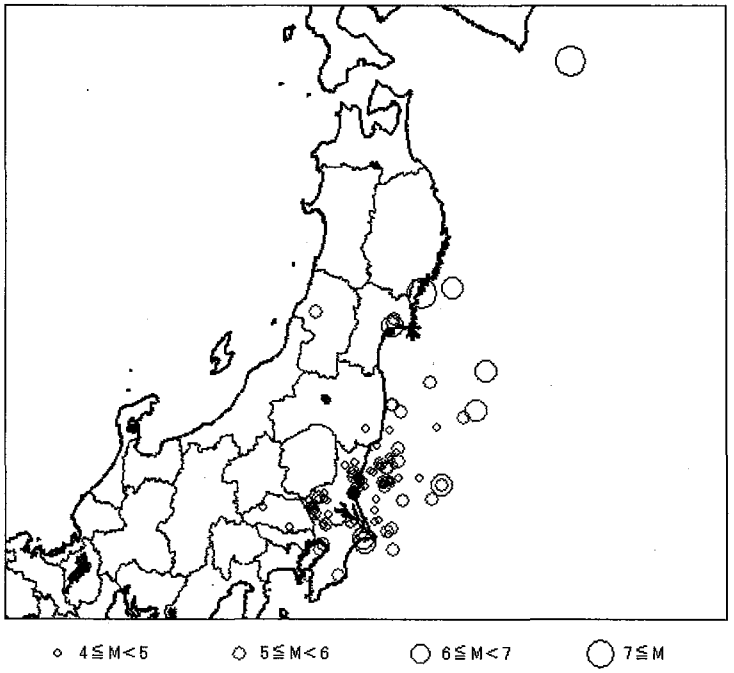
43 地震の諸元を表2に，震源位置を図4にそれぞれまとめる．また，マグニチュードと震央距離，及びマグニチュードと震源深さとの関係を図5，及び図6に示す．

表1　大洗鉛直アレー観測データの諸元（全地震）

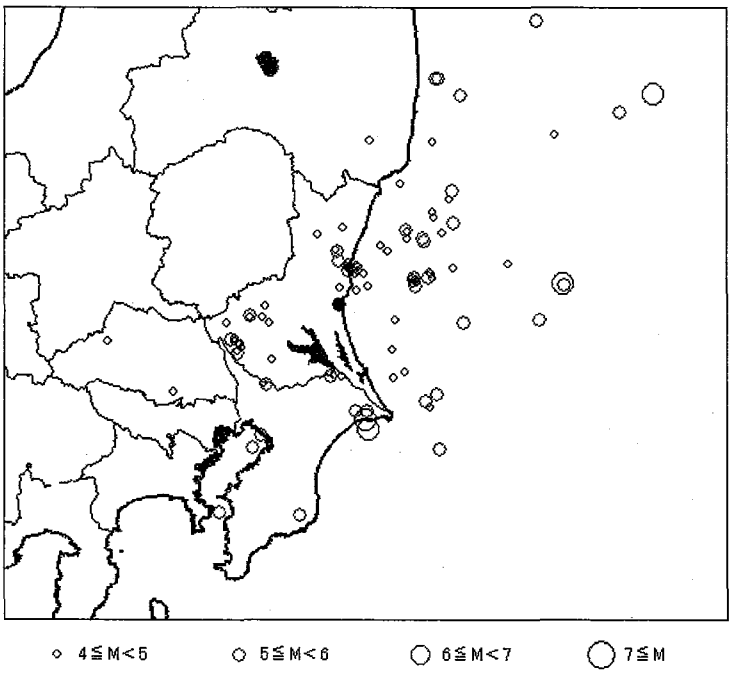
	ファイル名	地震位置			マグニチュード	震央距離 (km)
		北緯（度）	東経（度）	震源深さ (km)		
1	EQ000051	36.620	140.413	52	4.2	41.4
2	EQ000052	36.728	141.135	45	4.0	73.6
3	EQ000053	37.115	141.902	60	4.6	153.5
4	EQ000054	36.260	140.080	59	4.4	42.1
5	EQ000055	36.330	140.623	62	3.6	10.0
6	EQ000056	36.200	140.067	61	4.5	43.9
7	EQ000057	35.542	141.182	36	5.8	98.3
8	EQ000058	36.068	139.918	56	4.3	60.7
9	EQ000059	36.367	141.963	34	5.6	127.5
10	EQ000060	36.458	140.668	50	4.4	24.2
11	EQ000061	37.310	141.317	61	5.4	134.9
12	EQ000062	36.018	139.908	55	5.6	63.7
13	EQ000063	35.693	140.713	56	6.0	64.9
14	EQ000064	36.368	141.013	41	4.6	43.3
15	EQ000065	35.908	140.562	45	4.9	39.4
16	EQ000066	35.732	140.728	51	5.2	61.1
17	EQ000067	35.910	140.493	65	5.4	39.5
18	EQ000068	36.872	140.935	88	4.7	75.9
19	EQ000069	31.890	138.345	385	6.8	526.0
20	EQ000071	37.088	140.742	78	4.6	93.2
21	EQ000072	36.453	140.690	51	3.8	24.6
22	EQ000073	36.378	140.613	59	3.8	14.0
23	EQ000074	36.398	141.015	41	4.1	44.5
24	EQ000075	36.595	141.075	46	5.6	59.9
25	EQ000076	36.452	141.270	43	4.5	68.0
26	EQ000077	36.425	141.120	40	4.8	54.3
27	EQ000078	36.390	141.010	34	4.5	43.7
28	EQ000079	36.465	140.590	55	4.3	22.7
29	EQ000080	36.402	141.020	38	5.3	45.0
30	EQ000081	36.490	140.593	53	3.8	25.5
31	EQ000082	36.433	140.613	58	5.2	19.8
32	EQ000083	36.542	140.533	52	4.1	31.0
33	EQ000084	35.642	140.730	59	6.0	70.8
34	EQ000085	36.172	141.328	34	5.0	70.8
35	EQ000086	36.402	141.110	39	5.8	52.7
36	EQ000087	36.485	140.549	51	5.0	25.3
37	EQ000088	36.347	140.560	100	4.6	9.3
38	EQ000089	36.338	140.662	98	4.7	13.1
39	EQ000090	36.645	140.897	51	3.6	52.6
40	EQ000091	36.640	140.972	49	5.1	56.4
41	EQ000092	35.815	141.160	43	5.9	74.2
42	EQ000093	36.582	140.833	49	3.9	43.6
43	EQ000094	36.632	140.978	47	4.3	56.2
44	EQ000095	36.083	139.083	59	4.3	60.0
45	EQ000096	36.462	140.662	48	4.6	24.3
46	EQ000097	36.048	139.933	56	4.1	60.3
47	EQ000098	35.227	139.792	92	5.9	133.8
48	EQ000101	36.175	139.833	62	4.9	65.1
49	EQ000102	36.095	139.887	58	4.3	62.4
50	EQ000103	36.530	140.540	56	5.6	29.6
51	EQ000104	35.903	140.888	45	4.3	50.3
52	EQ000105	36.670	141.273	44	5.7	79.1
53	EQ000108	36.433	140.667	55	4.0	21.7
54	EQ000109	35.928	140.958	43	4.3	52.3
55	EQ000110	36.597	140.975	45	4.6	53.2
56	EQ000112	36.475	140.608	52	4.1	24.1
57	EQ000113	36.083	139.885	60	4.7	63.0
58	EQ000121	37.317	142.533	51	6.6	212.2
59	EQ000122	36.467	141.617	49	4.8	98.4
60	EQ000123	35.750	141.117	64	4.5	76.5
61	EQ000124	36.483	140.667	64	3.8	26.6
62	EQ000125	37.398	141.177	86.3	5.3	137.9
63	EQ000126	35.828	139.503	67.7	4.7	105.9
64	EQ000127	35.547	140.000	107.7	5.1	93.7
65	EQ000201	36.378	141.042	46	4.4	46.1
66	EQ000202	36.392	141.032	47	4.0	45.7
67	EQ000203	36.173	140.922	43	3.9	35.0
68	EQ000204	36.177	140.108	69	4.5	40.8
69	EQ000205	35.782	141.092	35	5.2	72.4
70	EQ000206	36.585	141.085	48	5.7	59.9
71	EQ000207	36.360	140.732	85	4.7	19.6
72	EQ000208	36.703	141.143	43	4.1	72.2
73	EQ000209	36.447	140.617	57	3.8	21.3
74	EQ000210	36.073	139.887	55	3.8	63.2
75	EQ000211	36.212	139.980	57	5.1	51.5
76	EQ000212	36.623	141.200	45	4.4	70.7
77	EQ000213	36.517	140.587	60	3.6	28.4
78	EQ000214	36.188	141.807	58	5.4	113.4
79	EQ000215	36.432	141.005	47	3.8	45.0
80	EQ000216	35.995	140.127	65	4.8	48.2
81	EQ000217	37.228	142.318	30	5.9	190.8
82	EQ000218	36.453	140.620	58	4.4	22.0
83	EQ000219	38.893	142.142	46	6.3	324.0
84	EQ000220	36.200	139.987	55	4.2	51.0
85	EQ000221	36.417	141.132	47	4.7	55.1
86	EQ000222	36.043	140.883	43	4.1	38.7
87	EQ000223	36.360	141.032	47	5.1	44.7
88	EQ000224	36.422	140.653	55	4.2	20.0
89	EQ000225	37.398	141.152	63	5.2	137.0
90	EQ000226	37.683	141.787	41	5.9	192.3
91	EQ000227	36.087	139.858	47	5.0	65.2
92	EQ000228	36.370	141.960	24	6.0	127.3
93	EQ000229	36.068	139.912	47	4.6	61.3
94	EQ000230	36.535	140.852	53	4.4	40.6
95	EQ000231	36.400	141.142	50	4.7	55.4
96	EQ000232	36.517	140.715	56	3.8	31.9
97	EQ000233	36.032	139.907	46	4.2	63.2
98	EQ000234	36.558	140.810	54	4.2	40.2
99	EQ000235	35.865	140.088	47	5.3	60.6
100	EQ000236	35.872	140.072	50	4.6	61.1
101	EQ000237	35.735	140.653	47	5.3	59.3
102	EQ000238	36.652	140.572	98	4.0	43.2
103	EQ000239	38.817	141.653	72	7.1	299.7
104	EQ000240	36.418	140.705	54	4.7	22.2
105	EQ000241	36.838	141.265	77	5.1	90.4
106	EQ000242	38.430	141.167	12	5.6	246.6
107	EQ000243	38.402	141.173	12	6.4	243.7
108	EQ000244	38.497	141.192	12	5.5	254.4
109	EQ000245	36.790	141.247	53	4.6	85.6
110	EQ000246	36.438	140.615	58	4.9	20.3
111	EQ000247	36.188	140.898	45	4.0	32.5
112	EQ000248	35.215	140.303	70	5.8	118.4
113	EQ000249	36.390	141.027	47	3.8	45.2
114	EQ000250	41.778	144.078	42	8.0	683.8
115	EQ000251	35.610	140.052	74	5.1	85.2
116	EQ000252	37.078	141.137	86	4.3	104.6
117	EQ000253	37.828	142.698	33	6.8	258.3
118	EQ000254	38.575	139.937	158	5.1	262.2
119	EQ000255	36.453	140.605	56	4.1	21.7

表２　大洗鉛直アレー観測データの諸元（分析対象地震）

	ファイル名	地震位置			マグニチュード	震央距離 (km)
		北緯（度）	東経（度）	震源深さ (km)		
1	EQ000055	36.330	140.623	62	3.6	10.0
2	EQ000060	36.458	140.668	50	4.4	24.2
3	EQ000062	36.018	139.908	55	5.6	63.7
4	EQ000065	35.908	140.562	45	4.9	39.4
5	EQ000068	36.872	140.935	88	4.7	75.9
6	EQ000072	36.453	140.690	51	3.8	24.6
7	EQ000073	36.378	140.613	59	3.8	14.0
8	EQ000074	36.398	141.015	41	4.1	44.5
9	EQ000075	36.595	141.075	46	5.6	59.9
10	EQ000076	36.452	141.270	43	4.5	68.0
11	EQ000077	36.425	141.120	40	4.8	54.3
12	EQ000078	36.390	141.010	34	4.5	43.7
13	EQ000080	36.402	141.020	38	5.3	45.0
14	EQ000081	36.490	140.593	53	3.8	25.5
15	EQ000082	36.433	140.613	58	5.2	19.8
16	EQ000083	36.542	140.533	52	4.1	31.0
17	EQ000086	36.402	141.110	39	5.8	52.7
18	EQ000087	36.485	140.549	51	5.0	25.3
19	EQ000088	36.347	140.560	100	4.6	9.3
20	EQ000089	36.338	140.662	98	4.7	13.1
21	EQ000091	36.640	140.972	49	5.1	56.4
22	EQ000095	36.083	139.083	59	4.3	60.0
23	EQ000096	36.462	140.662	48	4.6	24.3
24	EQ000101	36.175	139.833	62	4.9	65.1
25	EQ000102	36.095	139.887	58	4.3	62.4
26	EQ000103	36.530	140.540	56	5.6	29.6
27	EQ000105	36.670	141.273	44	5.7	79.1
28	EQ000108	36.433	140.667	55	4.0	21.7
29	EQ000109	35.928	140.958	43	4.3	52.3
30	EQ000110	36.597	140.975	45	4.6	53.2
31	EQ000112	36.475	140.608	52	4.1	24.1
32	EQ000113	36.083	139.885	60	4.7	63.0
33	EQ000121	37.317	142.533	51	6.6	212.2
34	EQ000125	37.398	141.177	86.3	5.3	137.9
35	EQ000206	36.585	141.085	48	5.7	59.9
36	EQ000211	36.212	139.980	57	5.1	51.5
37	EQ000221	36.417	141.132	47	4.7	55.1
38	EQ000227	36.087	139.858	47	5.0	65.2
39	EQ000230	36.535	140.852	53	4.4	40.6
40	EQ000231	36.400	141.142	50	4.7	55.4
41	EQ000239	38.817	141.653	72	7.1	299.7
42	EQ000240	36.418	140.705	54	4.7	22.2
43	EQ000246	36.438	140.615	58	4.9	20.3



(a) 全域



(b) 観測サイト周辺

図1　大洗鉛直アレー観測データの震源位置（全地震）

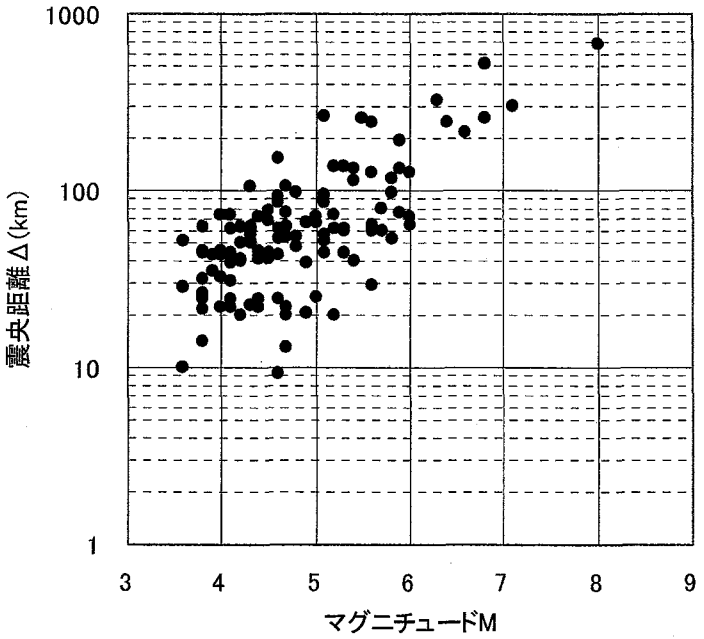


図2　全地震のマグニチュードと震央距離の関係

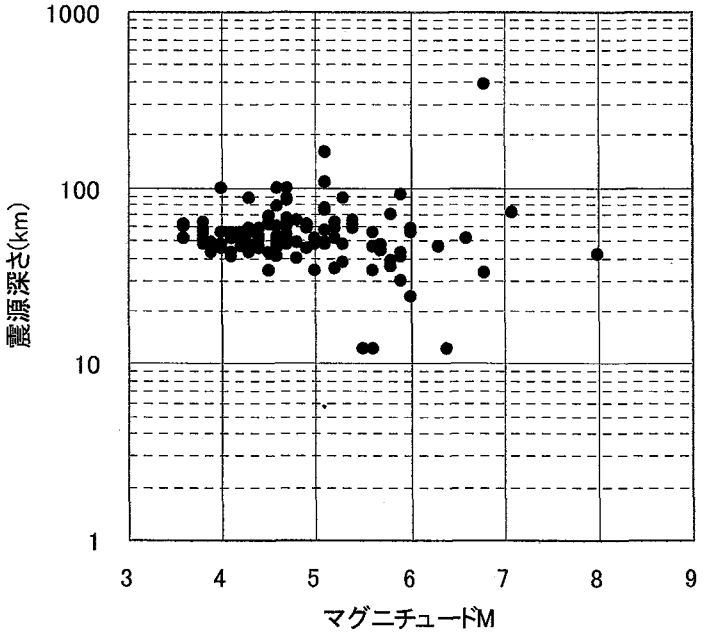
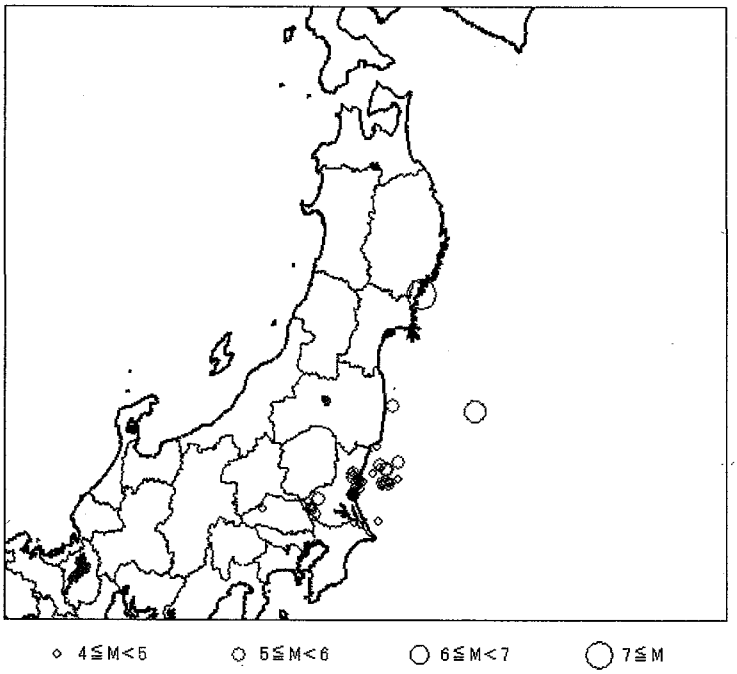
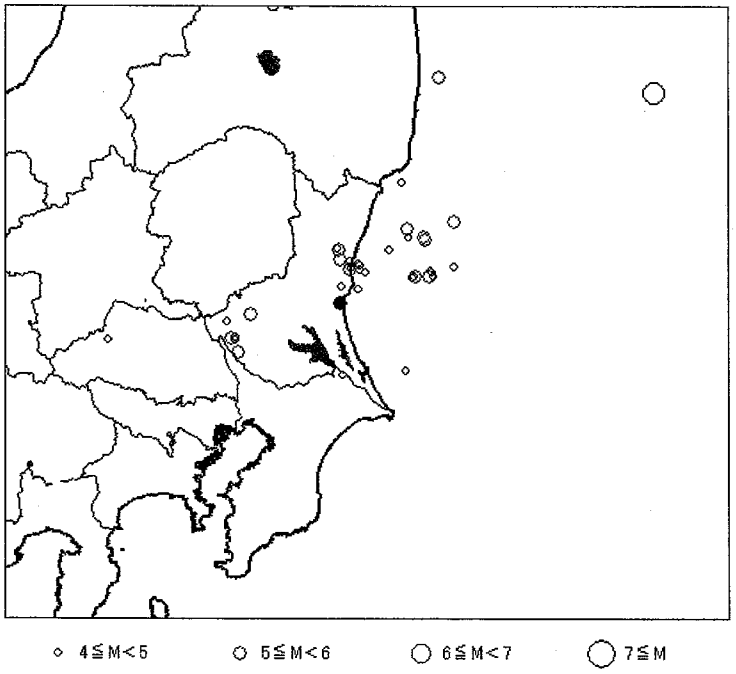


図3　全地震のマグニチュードと震源深さの関係



(a) 全域



(b) 観測サイト周辺

図４　大洗鉛直アレー観測データの震源位置（分析対象地震）

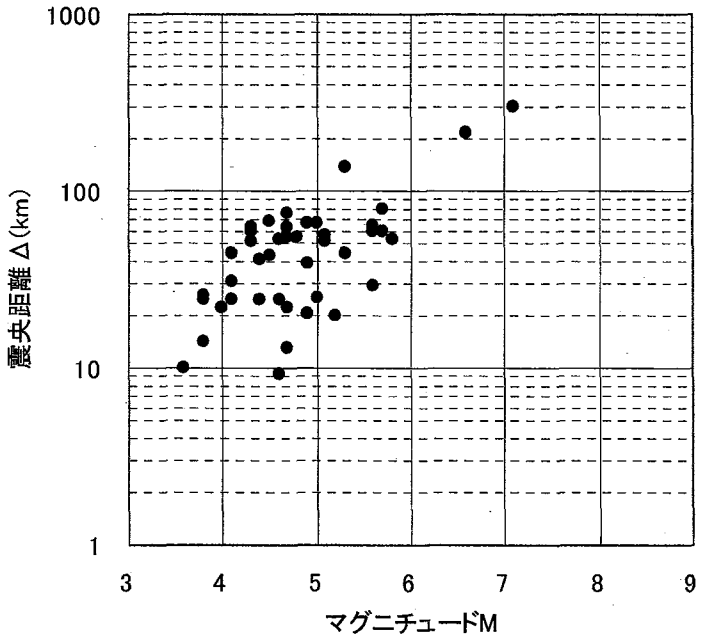


図5　分析対象地震のマグニチュードと震央距離の関係

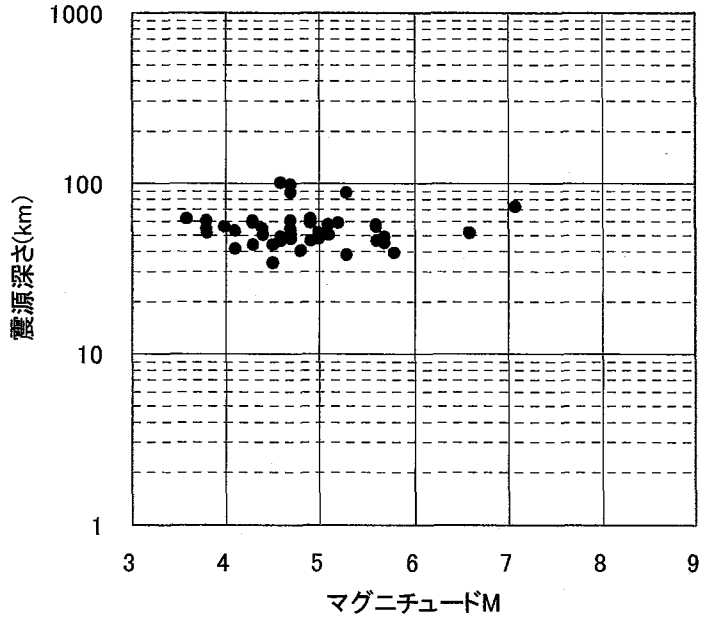


図6　分析対象地震のマグニチュードと震源深さの関係

3. 群遅延時間の算定

佐藤・室野・西村らの手法に基づき，以下の手順で鉛直アレー観測データから群遅延時間の平均値および標準偏差を水平成分，上下成分それぞれについて算定する．

① ウェブレット逆変換を行い，j ごとの成分波 $x^{(j)}(t)$ を求める．

Meyer のウェブレット変換では，関数 $x(t)$ の離散ウェブレット変換・逆変換は次式で与えられる．

$$a_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_{j,k}^{*} \cdot x(t)dt$$

$$x(t) = \sum_{j} x^{(j)}(t) = \sum_{j}\sum_{k} a_{j,k} \cdot \varphi_{j,k}(t)$$

ここに，$\varphi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \cdot \varphi(2^{j}t - k)$

j ：周波数帯の大きさを表すスケールファクター（整数）

k ：位置（時刻）を表すファクター（整数）

* ：複素共役

Meyer による方法で定義された $\varphi(t)$ のフーリエ変換 $\psi(\omega)$ は，振動数領域でコンパクトサポート（有限領域に収束する）となっており，その区間は下記のとおりである．

$2^{j}/3T_d \le f \le 2^{j+2}/3T_d$ または $3T_d/2^{j} \ge T \ge 3T_d/2^{j+2}$

ここに，T_d ：地震波の全継続時間（$T_d = N\Delta t$）

$N = 131072$（$= 2^{17}$）とするとき，スケールファクター j は1～17 となり，j が大きいほど高振動数を表すことになる．

以後の計算は，佐藤らの文献を参考に $j = 7$（サポート振動数 0.0326～0.1302Hz）～ $j = 16$（サポート振動数 16.67～66.67Hz）の 10 個のサポート区間に対して行う．

② 成分波のフーリエ変換を行い，サポート振動数内の群遅延時間を求める．

$$t_{gr}{}^{(j)}(\omega_i) = -\frac{d\phi}{d\omega} = \frac{\phi(\omega_i) - \phi(\omega_{i+1})}{\Delta\omega}$$

なお，$\phi(\omega_i) - \phi(\omega_{i+1})$ は $\pm\pi$ 以内とする．

③ $t_{gr}{}^{(j)}(\omega_i)$ について，j ごとの群遅延時間の平均値 $\mu_{tgr}^{(j)}$ および標準偏差 $\sigma_{tgr}^{(j)}$ を求める．

その際に，$t_{gr}{}^{(j)}(\omega_i)$ が $\mu_{tgr}^{(j)} \pm 2\sigma_{tgr}^{(j)}$ の範囲を越えないデータを用いて $t_{gr}{}^{(j)}(\omega_i)$ の平均値 $\mu_{tgr}^{(j)}$ および標準偏差 $\sigma_{tgr}^{(j)}$ を再度算定し，最終的な平均値 $\mu_{tgr}^{(j)}$ および標準偏差 $\sigma_{tgr}^{(j)}$ とする．

大洗鉛直アレー観測データのウェブレット変換結果および群遅延時間算出結果を，観測データ EQ000103 を例として図 7～図 12 に示す．なお，図 10～図 12 において，破線で表示されている群遅延時間は，前述の手順③により統計量の算定対象からはずしたものである．

分析の対象とした観測データの群遅延時間の平均値および標準偏差を表 3～表 6 に示す．

表３　分析対象地震の群遅延時間の平均値（水平成分）その１

波形ファイル名	成分	J= 7	J= 8	J= 9	J=10	J=11	J=12	J=13	J=14	J=15	J=16
EQ000055	EW	36.0	38.5	39.8	40.3	40.0	40.2	40.1	40.0	40.0	40.0
EQ000055	NS	35.9	38.5	39.8	40.3	39.6	40.2	40.1	40.0	40.0	40.0
EQ000060	EW	25.3	18.0	20.9	18.7	19.3	12.4	12.9	11.3	11.5	11.1
EQ000060	NS	26.6	13.1	13.4	13.0	11.3	13.6	12.4	10.7	11.5	11.1
EQ000062	EW	36.1	24.8	21.8	28.1	24.4	20.4	16.6	15.3	15.0	15.5
EQ000062	NS	20.8	18.1	21.8	28.3	21.4	16.2	14.4	15.8	15.1	16.0
EQ000065	EW	10.2	12.0	11.8	19.2	18.6	16.3	14.5	12.0	11.9	11.7
EQ000065	NS	36.3	29.3	20.5	21.3	17.8	14.3	14.8	12.0	11.6	11.8
EQ000068	EW	36.2	25.0	21.1	26.5	16.7	12.4	13.1	11.5	12.5	12.3
EQ000068	NS	32.1	24.9	15.7	18.8	14.8	13.1	14.5	12.2	13.1	12.6
EQ000072	EW	8.3	8.5	11.5	15.8	12.3	12.1	11.7	10.7	10.9	10.8
EQ000072	NS	12.4	10.5	16.6	19.4	13.2	15.5	13.4	11.0	10.8	10.9
EQ000073	EW	36.7	11.7	12.3	19.0	11.3	11.0	11.3	10.9	11.1	10.7
EQ000073	NS	16.3	22.3	21.2	21.0	14.9	14.1	11.4	10.8	10.7	10.8
EQ000074	EW	13.0	14.9	10.7	13.5	10.5	16.2	12.6	11.9	11.7	10.5
EQ000074	NS	37.2	14.2	16.7	17.2	12.5	12.3	12.5	10.8	11.8	12.1
EQ000075	EW	33.3	18.2	23.6	28.0	25.5	26.5	23.5	20.0	20.0	18.8
EQ000075	NS	66.5	21.5	35.0	38.5	32.3	28.7	22.8	20.9	19.2	19.3
EQ000076	EW	26.7	29.6	17.8	15.4	15.7	16.1	12.7	12.3	12.1	11.3
EQ000076	NS	32.0	25.0	14.0	16.8	15.0	15.3	13.4	11.8	12.0	12.0
EQ000077	EW	34.6	36.2	24.3	28.8	20.6	23.8	19.4	18.5	18.7	18.1
EQ000077	NS	17.4	22.8	19.4	22.5	20.8	21.1	19.4	18.8	19.4	19.0
EQ000078	EW	31.1	39.3	22.8	18.3	16.8	14.9	12.7	11.2	11.3	10.1
EQ000078	NS	26.0	21.0	12.0	13.4	12.1	15.7	13.4	13.0	11.5	11.3
EQ000080	EW	56.2	58.7	57.5	58.3	57.9	58.1	58.0	58.0	58.0	58.0
EQ000080	NS	56.2	58.7	57.5	58.3	57.9	58.1	58.0	58.0	58.0	58.0
EQ000081	EW	13.4	18.3	11.6	16.0	12.3	10.9	12.7	11.2	10.9	10.1
EQ000081	NS	16.5	18.4	24.9	17.3	17.6	13.9	12.0	11.3	10.9	10.7
EQ000082	EW	66.9	63.9	62.8	63.4	63.1	62.9	62.9	62.9	63.0	63.0
EQ000082	NS	66.8	64.0	62.8	63.4	63.1	62.9	63.0	63.0	63.0	63.0
EQ000083	EW	23.4	10.0	12.7	20.8	11.1	11.7	12.2	11.7	11.6	11.1
EQ000083	NS	14.9	20.2	18.2	15.8	15.4	11.4	11.8	11.2	11.3	11.4
EQ000086	EW	28.3	32.7	30.6	27.0	24.0	25.7	24.1	20.6	20.8	19.2
EQ000086	NS	17.6	18.1	20.1	28.6	20.2	22.6	23.8	21.0	20.4	20.0
EQ000087	EW	56.2	58.7	57.5	58.3	57.9	58.1	58.0	58.0	58.0	58.0
EQ000087	NS	56.2	58.7	57.5	58.3	57.9	58.1	58.0	58.0	58.0	58.0
EQ000088	EW	16.5	18.0	16.0	18.6	18.4	15.3	13.6	11.7	12.1	12.5
EQ000088	NS	13.7	18.4	19.2	14.8	13.9	11.8	12.2	11.8	12.8	13.0
EQ000089	EW	24.8	13.6	12.4	20.0	15.0	13.6	12.9	11.8	12.8	12.1
EQ000089	NS	12.4	10.0	15.3	17.8	14.0	12.3	11.9	10.8	12.3	12.6
EQ000091	EW	23.2	20.0	23.5	32.4	22.0	18.2	18.1	17.1	17.3	16.3
EQ000091	NS	37.7	14.3	27.3	31.3	25.3	21.3	19.8	17.2	17.4	17.1
EQ000095	EW	15.1	10.4	16.9	19.9	19.1	18.0	14.2	13.1	11.8	12.6
EQ000095	NS	7.6	9.9	20.6	21.1	13.4	16.4	13.2	12.6	12.9	12.9
EQ000096	EW	27.1	14.9	13.5	14.9	13.4	12.3	11.7	11.7	12.0	11.2
EQ000096	NS	20.2	16.0	21.1	23.4	15.8	17.0	11.8	11.4	11.6	11.3
EQ000101	EW	24.3	30.7	21.6	28.8	26.5	23.8	21.5	21.2	21.8	20.8
EQ000101	NS	28.4	34.5	29.5	29.3	23.2	24.3	22.1	21.7	22.3	21.9
EQ000102	EW	9.3	17.0	19.7	15.7	14.9	17.7	14.9	15.3	13.5	13.4
EQ000102	NS	8.5	27.5	19.5	16.7	12.9	17.8	12.1	15.2	13.3	13.7
EQ000103	EW	35.2	18.1	17.1	26.4	21.3	19.3	19.8	19.3	19.0	18.4
EQ000103	NS	24.8	23.7	19.1	23.9	18.6	21.3	20.5	19.2	19.4	19.1

表３　分析対象地震の群遅延時間の平均値（水平成分）その２

波形ファイル名	成分	J= 7	J= 8	J= 9	J=10	J=11	J=12	J=13	J=14	J=15	J=16
EQ000105	EW	27.7	22.9	30.5	30.8	23.1	19.5	16.3	13.9	13.0	12.0
EQ000105	NS	46.3	27.6	15.4	28.2	21.7	20.4	17.2	14.7	12.8	12.8
EQ000108	EW	12.5	10.8	13.5	20.9	14.7	11.7	13.1	11.1	11.6	11.4
EQ000108	NS	15.8	22.9	27.5	25.3	18.3	15.7	12.0	10.9	11.2	12.0
EQ000109	EW	7.8	23.1	11.6	15.5	13.4	11.8	13.6	11.0	10.8	14.2
EQ000109	NS	7.3	27.9	22.5	18.2	17.1	15.6	13.0	11.3	11.0	14.0
EQ000110	EW	14.1	15.3	21.7	20.2	16.9	12.9	11.7	10.4	10.6	9.2
EQ000110	NS	25.5	32.4	19.0	19.7	14.2	15.1	11.0	11.3	11.2	10.4
EQ000112	EW	19.8	17.8	11.9	19.8	10.6	11.2	12.8	12.2	11.9	10.9
EQ000112	NS	18.4	19.1	25.9	18.7	21.8	13.0	11.1	11.9	11.6	11.7
EQ000113	EW	5.5	12.9	18.9	14.7	18.6	17.8	15.4	14.3	12.9	12.6
EQ000113	NS	5.3	7.7	18.6	20.8	13.0	18.2	14.6	14.6	13.0	12.4
EQ000121	EW	87.2	57.8	56.9	65.8	44.5	39.4	34.9	34.8	34.1	32.1
EQ000121	NS	61.5	43.6	59.2	66.5	51.5	40.0	34.2	34.0	34.3	34.1
EQ000125	EW	40.7	41.9	55.4	52.7	41.2	32.2	31.9	30.2	29.4	38.2
EQ000125	NS	46.3	48.5	47.8	53.5	36.0	32.5	30.9	30.0	28.6	36.8
EQ000206	EW	67.3	41.1	45.5	41.6	32.6	25.7	23.5	20.1	19.9	39.1
EQ000206	NS	35.6	21.1	33.4	38.5	22.9	21.9	23.1	20.8	20.1	39.5
EQ000211	EW	45.8	35.6	38.6	43.2	23.4	22.4	21.1	19.7	20.1	44.8
EQ000211	NS	67.2	42.3	41.7	44.1	30.6	25.2	22.0	19.0	20.0	43.2
EQ000221	EW	17.0	18.8	20.8	23.4	25.2	21.5	20.2	19.8	19.7	20.5
EQ000221	NS	79.5	30.9	26.6	25.5	33.8	25.1	20.2	20.1	22.6	39.0
EQ000227	EW	62.5	48.3	49.0	42.8	28.3	32.2	22.8	23.4	23.5	53.7
EQ000227	NS	66.1	57.9	51.4	58.5	38.2	36.2	23.4	22.4	22.2	47.8
EQ000230	EW	75.4	72.8	72.5	39.9	22.5	19.3	19.3	17.1	18.3	46.4
EQ000230	NS	73.4	65.3	54.8	33.8	19.1	20.1	18.1	16.8	17.9	42.0
EQ000231	EW	59.0	54.7	64.5	51.4	34.9	24.6	23.2	20.9	25.9	54.0
EQ000231	NS	83.2	69.7	48.3	43.4	36.0	21.6	21.8	21.5	23.9	54.5
EQ000239	EW	100.7	98.8	113.2	100.2	65.6	56.2	51.5	47.3	46.4	91.8
EQ000239	NS	106.3	140.8	129.6	85.2	64.8	56.3	50.4	46.9	44.2	96.8
EQ000240	EW	99.2	64.0	52.2	48.2	29.1	28.1	18.6	14.9	17.7	47.2
EQ000240	NS	92.8	59.8	31.4	45.8	18.8	19.8	15.7	16.0	16.9	46.4
EQ000246	EW	36.5	73.8	52.5	40.3	26.3	24.7	17.2	17.9	18.5	35.9
EQ000246	NS	71.7	64.1	21.3	45.7	21.4	18.4	18.4	17.7	18.7	35.1

表４　分析対象地震の群遅延時間の標準偏差（水平成分）その１

波形ファイル名	成分	J= 7	J= 8	J= 9	J=10	J=11	J=12	J=13	J=14	J=15	J=16
EQ000055	EW	5.5	4.1	3.5	1.1	1.9	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0
EQ000055	NS	5.5	4.3	3.9	1.6	5.2	1.7	1.4	1.3	1.3	1.2
EQ000060	EW	17.2	16.7	10.0	6.5	6.6	4.7	4.7	2.9	4.0	4.4
EQ000060	NS	26.1	6.1	6.2	6.5	3.5	5.3	3.8	2.6	3.5	4.4
EQ000062	EW	20.5	12.4	10.7	12.5	9.7	5.9	5.3	4.5	5.1	6.8
EQ000062	NS	10.4	10.6	11.0	14.6	10.3	5.2	3.4	5.2	4.9	6.6
EQ000065	EW	11.6	6.6	6.0	8.6	8.1	7.6	5.0	3.9	4.1	5.0
EQ000065	NS	12.3	13.5	13.4	8.5	8.3	6.0	5.2	3.1	3.6	5.2
EQ000068	EW	21.6	13.5	10.4	7.7	7.3	5.2	4.7	2.7	4.7	5.9
EQ000068	NS	17.2	13.5	9.9	8.5	6.3	4.9	4.6	3.5	5.2	5.8
EQ000072	EW	5.4	7.0	3.0	6.8	5.5	5.9	3.3	2.6	3.1	4.5
EQ000072	NS	9.4	8.8	9.2	9.2	5.6	6.0	4.5	2.6	2.9	4.5
EQ000073	EW	23.0	5.8	8.6	7.4	3.9	3.7	2.4	2.1	2.5	3.7
EQ000073	NS	12.6	12.3	11.4	9.2	6.3	5.2	2.7	2.2	2.1	3.8
EQ000074	EW	9.5	12.6	6.1	5.5	4.2	6.1	4.5	3.8	4.7	5.3
EQ000074	NS	20.1	11.9	9.7	7.9	4.6	4.4	4.2	3.2	4.1	5.7
EQ000075	EW	23.0	4.8	12.5	11.3	10.1	9.5	7.8	5.3	5.6	6.8
EQ000075	NS	19.0	9.3	12.2	14.0	10.5	10.7	6.8	5.1	4.8	7.1
EQ000076	EW	17.7	11.6	8.4	7.5	7.9	7.1	5.0	4.9	5.4	6.5
EQ000076	NS	18.9	18.0	6.1	7.9	7.1	7.4	4.8	4.1	4.5	6.9
EQ000077	EW	20.7	22.3	13.6	11.4	6.6	7.3	4.9	6.0	5.9	6.2
EQ000077	NS	10.0	9.3	6.3	7.6	6.0	5.3	3.8	3.0	4.8	6.4
EQ000078	EW	13.7	14.6	10.8	6.3	8.1	6.1	4.9	4.4	4.3	4.9
EQ000078	NS	16.6	13.4	5.8	6.1	3.6	6.6	4.6	4.9	3.7	5.4
EQ000080	EW	9.9	6.3	2.3	1.3	0.8	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1
EQ000080	NS	9.9	6.3	2.3	1.3	0.8	0.4	0.8	0.4	0.4	0.3
EQ000081	EW	9.0	16.7	5.0	8.4	5.3	3.5	5.6	3.9	3.3	3.8
EQ000081	NS	13.4	10.6	10.3	7.7	6.6	5.3	4.1	3.3	3.5	4.0
EQ000082	EW	8.6	7.0	3.4	2.0	3.5	1.9	1.6	2.3	1.7	1.6
EQ000082	NS	8.7	6.7	2.9	0.8	1.2	0.5	0.4	0.7	0.4	0.4
EQ000083	EW	18.8	9.8	5.7	9.2	3.9	4.0	3.5	3.3	3.4	4.1
EQ000083	NS	7.2	10.0	10.8	7.7	6.9	3.5	3.1	2.4	2.9	4.0
EQ000086	EW	11.4	15.5	17.2	7.8	9.6	9.1	8.2	6.9	6.8	7.5
EQ000086	NS	8.7	9.7	8.2	13.9	6.7	7.5	6.9	6.2	5.7	7.8
EQ000087	EW	9.9	6.3	2.4	1.6	1.2	0.9	1.4	0.8	0.8	0.7
EQ000087	NS	9.9	6.3	2.4	1.6	1.2	0.9	1.4	0.8	0.8	0.7
EQ000088	EW	14.5	13.3	7.3	9.6	7.4	6.5	4.8	4.2	5.4	6.3
EQ000088	NS	9.7	7.3	9.5	6.2	5.8	4.6	4.3	4.2	5.2	6.2
EQ000089	EW	13.4	10.4	5.0	8.5	6.6	5.5	4.5	4.0	5.5	6.4
EQ000089	NS	12.7	7.0	8.9	7.0	6.1	4.3	4.2	2.5	5.1	6.2
EQ000091	EW	20.0	11.5	10.3	15.5	9.5	6.4	5.1	3.7	5.3	6.4
EQ000091	NS	22.2	7.3	13.9	13.1	10.3	8.5	6.3	3.7	4.8	6.3
EQ000095	EW	6.5	5.8	9.6	7.6	7.6	7.8	5.6	6.1	5.4	6.0
EQ000095	NS	5.6	6.4	14.5	8.9	6.1	6.3	5.1	5.4	5.1	6.1
EQ000096	EW	18.5	14.1	10.6	6.1	5.9	5.1	3.2	3.8	4.2	4.5
EQ000096	NS	15.4	11.3	10.8	10.3	7.1	6.4	3.8	2.7	3.4	4.4
EQ000101	EW	12.5	12.1	7.8	9.7	9.8	7.5	5.8	7.0	6.5	7.4
EQ000101	NS	15.0	17.7	10.1	10.9	8.8	7.7	6.6	5.7	5.8	7.6
EQ000102	EW	8.1	10.8	9.2	6.7	5.6	6.5	6.5	6.1	5.1	6.0
EQ000102	NS	5.8	18.9	12.9	7.2	6.2	6.7	4.3	6.2	4.7	5.9
EQ000103	EW	21.0	6.8	5.6	11.9	8.3	5.7	7.0	4.9	4.7	5.7
EQ000103	NS	11.2	17.2	8.2	10.5	7.0	6.8	6.1	4.7	5.1	5.8

表４　分析対象地震の群遅延時間の標準偏差（水平成分）その２

波形ファイル名	成分	J= 7	J= 8	J= 9	J=10	J=11	J=12	J=13	J=14	J=15	J=16
EQ000105	EW	11.6	12.6	14.2	12.2	10.6	9.2	6.5	5.5	6.0	7.7
EQ000105	NS	13.8	17.6	9.1	14.7	10.4	8.6	6.5	5.9	5.5	7.4
EQ000108	EW	12.1	10.6	5.9	8.2	7.2	4.1	4.3	2.3	4.1	5.0
EQ000108	NS	10.0	15.6	12.9	10.8	7.8	6.4	3.5	2.1	3.4	4.9
EQ000109	EW	4.9	10.7	4.9	7.2	5.9	4.0	5.3	4.5	5.6	8.6
EQ000109	NS	5.4	15.8	11.4	7.0	6.0	5.3	5.2	4.5	6.0	8.6
EQ000110	EW	10.0	11.1	11.0	9.5	8.0	5.1	4.1	3.1	4.6	5.7
EQ000110	NS	19.2	18.7	11.5	9.2	7.1	6.7	3.3	3.5	4.7	6.1
EQ000112	EW	15.3	11.7	6.3	9.8	3.5	3.8	4.1	4.6	4.2	4.4
EQ000112	NS	16.0	12.7	8.7	8.1	7.5	5.3	3.1	4.2	3.8	4.6
EQ000113	EW	5.0	7.2	9.5	7.5	7.0	8.2	6.8	5.9	4.7	6.1
EQ000113	NS	4.4	4.3	9.5	9.6	6.2	6.1	6.1	5.7	4.8	5.4
EQ000121	EW	29.2	21.7	21.7	17.8	15.3	12.8	7.9	9.4	10.2	12.4
EQ000121	NS	20.9	15.0	21.4	14.6	15.8	12.3	8.9	8.3	10.0	12.3
EQ000125	EW	28.2	24.5	22.7	17.7	15.2	10.5	9.1	8.0	10.1	19.8
EQ000125	NS	17.6	23.2	19.7	18.0	14.5	10.9	6.8	7.3	8.4	18.3
EQ000206	EW	43.7	24.3	24.2	19.4	14.1	10.0	8.5	5.0	5.9	27.3
EQ000206	NS	24.0	13.4	21.0	19.6	10.2	9.6	7.3	5.5	6.1	28.2
EQ000211	EW	26.5	21.5	19.8	24.8	10.1	8.7	4.5	4.8	8.3	29.8
EQ000211	NS	48.4	23.0	24.6	24.2	14.6	8.3	6.3	4.5	8.3	29.5
EQ000221	EW	10.8	8.0	8.9	12.5	12.4	8.3	7.8	6.8	8.5	10.6
EQ000221	NS	45.3	22.2	17.0	14.5	18.7	10.5	8.1	7.0	11.4	28.5
EQ000227	EW	41.8	27.9	25.6	22.2	14.2	14.1	8.6	9.4	11.3	32.7
EQ000227	NS	39.1	32.4	30.1	25.9	18.2	17.6	9.4	8.6	9.8	30.5
EQ000230	EW	36.2	39.5	40.1	24.3	11.9	7.0	6.2	4.3	7.6	32.2
EQ000230	NS	40.3	36.2	31.9	21.5	9.8	8.2	5.8	3.9	7.1	30.2
EQ000231	EW	44.1	30.0	36.4	27.4	17.3	11.2	8.6	7.7	14.3	32.9
EQ000231	NS	61.3	42.6	34.7	25.0	17.9	8.5	8.0	7.7	13.1	32.7
EQ000239	EW	63.6	41.6	47.3	38.3	20.4	15.7	14.0	14.5	21.2	53.3
EQ000239	NS	70.0	53.9	49.8	33.7	22.0	15.7	14.4	16.6	19.7	62.2
EQ000240	EW	34.6	39.0	33.1	30.6	16.6	12.2	8.7	5.6	9.2	33.1
EQ000240	NS	48.4	33.4	23.0	22.6	10.0	10.4	5.9	7.3	8.5	32.9
EQ000246	EW	26.4	37.7	31.3	20.4	12.8	11.2	2.8	4.7	6.1	26.3
EQ000246	NS	37.9	37.1	15.2	24.6	9.9	6.2	4.8	4.1	6.7	25.6

表 5　分析対象地震の群遅延時間の平均値（上下成分）

波形ファイル名	成分	J= 7	J= 8	J= 9	J=10	J=11	J=12	J=13	J=14	J=15	J=16
EQ000055	UD	36.1	38.5	39.8	40.3	40.0	40.1	40.1	40.0	40.0	40.0
EQ000060	UD	14.6	8.7	11.2	15.4	19.9	18.1	13.4	8.8	11.2	10.7
EQ000062	UD	51.4	42.4	30.7	27.2	27.1	21.5	17.0	15.4	14.9	15.0
EQ000065	UD	35.6	37.2	25.9	21.6	18.8	20.0	15.5	12.2	10.9	11.0
EQ000068	UD	14.9	19.4	17.9	18.6	22.3	15.5	13.1	12.1	11.4	11.8
EQ000072	UD	9.5	7.4	16.9	16.4	16.9	17.1	12.3	11.0	10.4	10.6
EQ000073	UD	9.7	4.5	18.1	15.8	18.4	16.3	12.4	11.1	9.9	10.1
EQ000074	UD	18.9	7.8	18.3	13.0	15.3	15.6	12.3	10.8	10.4	9.7
EQ000075	UD	56.2	43.4	42.2	34.6	28.8	28.5	22.1	20.0	18.2	17.5
EQ000076	UD	26.6	21.1	20.9	17.7	16.7	15.9	12.2	11.3	9.3	9.7
EQ000077	UD	16.4	17.7	18.0	20.3	22.3	23.0	18.4	15.9	15.8	17.4
EQ000078	UD	35.8	27.6	21.7	18.1	18.1	15.3	13.9	10.6	8.9	9.6
EQ000080	UD	56.4	58.8	57.4	58.1	57.4	57.7	55.7	57.8	57.6	58.0
EQ000081	UD	15.3	22.2	14.1	15.7	14.2	15.2	11.5	9.7	9.9	9.8
EQ000082	UD	67.3	64.1	62.4	62.8	60.0	62.3	62.4	60.3	62.5	62.8
EQ000083	UD	28.4	33.5	22.4	19.4	17.5	15.1	11.8	11.2	11.6	10.7
EQ000086	UD	27.5	28.5	25.9	24.7	29.3	25.4	21.8	19.0	17.1	17.6
EQ000087	UD	56.2	58.7	57.5	58.3	57.9	58.1	58.0	58.0	58.0	58.0
EQ000088	UD	11.1	11.4	16.7	11.8	18.5	17.5	13.7	11.3	10.5	11.8
EQ000089	UD	36.7	25.8	35.5	16.8	20.1	18.3	13.9	12.2	10.8	11.4
EQ000091	UD	20.1	42.9	37.4	31.9	31.0	21.3	19.7	17.7	15.7	15.7
EQ000095	UD	37.2	11.5	16.5	21.8	17.7	16.7	12.8	9.8	12.0	12.0
EQ000096	UD	38.9	43.0	36.9	20.9	21.1	19.1	13.8	11.7	11.4	11.0
EQ000101	UD	30.9	35.8	30.4	27.2	21.3	25.4	18.5	19.9	20.8	20.4
EQ000102	UD	7.1	15.3	14.3	16.6	15.3	14.4	12.9	13.0	13.5	12.1
EQ000103	UD	55.4	53.9	25.2	24.0	30.7	21.4	20.4	19.7	18.9	18.5
EQ000105	UD	10.2	11.3	17.0	25.8	25.6	21.6	17.1	14.1	10.6	10.9
EQ000108	UD	13.8	16.7	23.1	16.6	16.9	19.2	13.7	10.3	10.8	11.0
EQ000109	UD	25.3	27.8	23.0	16.8	12.7	13.8	12.5	9.6	6.1	10.5
EQ000110	UD	8.8	6.4	12.1	18.4	18.2	15.6	12.9	9.8	6.4	8.4
EQ000112	UD	22.8	12.5	18.0	17.1	14.2	16.0	12.8	12.4	11.1	10.1
EQ000113	UD	17.1	27.5	18.1	17.2	15.4	16.7	13.3	12.9	11.9	11.5
EQ000121	UD	64.3	43.3	66.2	59.4	44.7	41.7	33.1	32.6	30.6	30.5
EQ000125	UD	61.8	47.5	45.7	46.5	42.7	36.0	30.3	29.4	26.3	34.8
EQ000206	UD	65.0	62.5	49.4	38.6	32.1	24.2	21.6	20.1	19.0	34.6
EQ000211	UD	65.4	68.1	35.6	39.2	38.3	27.7	19.0	18.7	20.5	42.4
EQ000221	UD	66.8	50.6	63.5	58.1	31.6	25.4	18.4	20.8	22.5	50.5
EQ000227	UD	70.2	50.4	68.6	50.4	38.4	36.3	24.0	20.7	23.6	47.0
EQ000230	UD	83.2	83.3	63.8	48.9	31.0	23.3	20.1	17.4	17.3	40.0
EQ000231	UD	64.0	83.7	59.0	48.0	43.7	30.5	22.8	24.2	23.3	52.2
EQ000239	UD	91.6	130.1	94.8	85.8	68.2	57.6	45.9	44.0	38.2	89.7
EQ000240	UD	69.8	67.6	65.6	38.0	35.4	28.8	19.2	18.8	16.8	40.8
EQ000246	UD	78.9	64.6	42.5	33.3	29.7	28.7	18.5	17.5	18.6	30.4

表６　分析対象地震の群遅延時間の標準偏差（上下成分）

波形ファイル名	成分	J= 7	J= 8	J= 9	J=10	J=11	J=12	J=13	J=14	J=15	J=16
EQ000055	UD	5.7	4.2	3.8	1.6	3.7	1.6	1.2	1.1	1.1	1.1
EQ000060	UD	13.5	5.9	7.9	6.7	6.3	6.5	4.7	4.5	4.4	4.9
EQ000062	UD	27.7	21.1	18.3	11.4	12.1	7.4	5.2	5.3	5.8	6.6
EQ000065	UD	14.8	10.4	15.0	10.4	9.1	7.8	6.5	4.5	4.3	5.1
EQ000068	UD	13.8	15.6	14.0	8.5	8.9	5.5	4.5	4.9	5.1	5.8
EQ000072	UD	10.1	6.4	9.9	6.8	6.9	6.5	5.0	4.1	3.7	4.4
EQ000073	UD	13.6	3.6	14.0	7.1	7.5	6.3	4.0	3.7	2.9	4.1
EQ000074	UD	15.7	5.0	10.9	4.3	5.9	6.1	4.5	4.2	4.7	4.8
EQ000075	UD	21.9	23.8	16.5	15.8	11.5	11.2	7.8	6.2	6.1	6.5
EQ000076	UD	14.9	13.3	12.3	9.8	7.1	6.9	7.4	5.4	5.7	5.8
EQ000077	UD	12.5	9.4	10.2	8.9	9.5	7.3	6.3	6.0	6.2	6.0
EQ000078	UD	25.1	16.7	12.9	11.2	8.3	6.6	6.8	4.6	4.2	5.0
EQ000080	UD	12.1	10.9	7.6	7.1	7.2	6.2	11.1	6.2	6.4	5.8
EQ000081	UD	7.7	14.6	8.8	6.9	6.1	6.6	4.8	4.1	4.0	4.0
EQ000082	UD	12.4	12.4	12.6	8.9	14.0	8.5	8.5	13.9	9.2	8.9
EQ000083	UD	25.0	11.1	9.1	6.7	7.0	4.7	3.6	3.5	4.1	4.1
EQ000086	UD	18.9	19.5	14.2	13.4	13.8	8.6	8.7	7.3	6.3	6.7
EQ000087	UD	9.9	6.3	2.4	1.5	1.0	0.7	1.1	0.6	0.6	0.6
EQ000088	UD	6.0	7.9	9.7	9.0	10.7	7.6	6.1	5.3	6.2	6.6
EQ000089	UD	18.3	14.6	15.9	9.6	8.2	7.0	5.7	5.2	6.0	6.3
EQ000091	UD	13.2	20.1	15.5	12.8	11.8	7.9	7.5	4.1	5.7	6.6
EQ000095	UD	16.7	9.4	12.6	9.4	8.2	7.3	6.4	5.8	6.2	6.2
EQ000096	UD	17.5	14.1	9.7	8.3	8.0	8.2	5.4	4.0	4.2	4.6
EQ000101	UD	26.2	19.3	14.3	9.8	11.3	8.7	8.1	7.8	7.1	7.6
EQ000102	UD	3.8	10.6	9.0	7.6	8.2	6.4	6.4	6.6	6.0	6.0
EQ000103	UD	15.8	14.1	13.0	8.8	11.7	6.7	6.6	6.0	5.2	6.2
EQ000105	UD	7.7	8.0	10.2	12.9	10.7	9.7	7.2	6.1	5.8	6.7
EQ000108	UD	12.6	11.3	14.8	7.3	7.9	6.8	4.6	4.1	4.6	4.8
EQ000109	UD	9.3	9.5	9.9	11.2	7.7	5.8	6.5	5.3	4.0	7.3
EQ000110	UD	4.4	5.7	7.7	9.4	10.0	6.4	4.3	4.5	4.3	5.2
EQ000112	UD	18.6	12.9	11.5	5.2	6.5	6.8	4.6	5.6	4.6	4.3
EQ000113	UD	10.6	9.3	9.5	7.8	8.7	6.1	7.3	6.5	5.0	6.0
EQ000121	UD	35.9	30.2	28.4	19.8	19.3	13.7	9.2	11.0	11.6	12.1
EQ000125	UD	27.4	24.4	17.4	19.6	17.1	13.5	9.6	10.6	11.5	17.8
EQ000206	UD	41.2	28.2	28.6	19.0	14.3	9.5	5.9	7.2	7.9	26.1
EQ000211	UD	33.1	39.9	21.8	22.7	17.4	10.2	6.7	6.6	11.5	29.5
EQ000221	UD	36.6	30.3	35.0	31.6	19.7	12.4	8.9	11.2	14.6	32.8
EQ000227	UD	39.9	27.0	32.8	25.4	20.3	19.5	10.4	9.8	12.8	30.5
EQ000230	UD	43.1	41.3	30.9	29.9	17.3	10.8	7.8	6.4	8.4	29.7
EQ000231	UD	36.6	36.9	34.3	33.4	23.6	15.9	10.0	13.3	15.8	33.5
EQ000239	UD	50.1	62.9	42.9	29.4	26.8	13.7	17.0	19.9	20.8	61.4
EQ000240	UD	41.5	40.8	33.0	22.7	18.2	14.8	10.0	11.2	9.2	30.5
EQ000246	UD	47.8	36.1	27.6	20.0	15.6	14.8	6.7	5.5	8.8	22.8

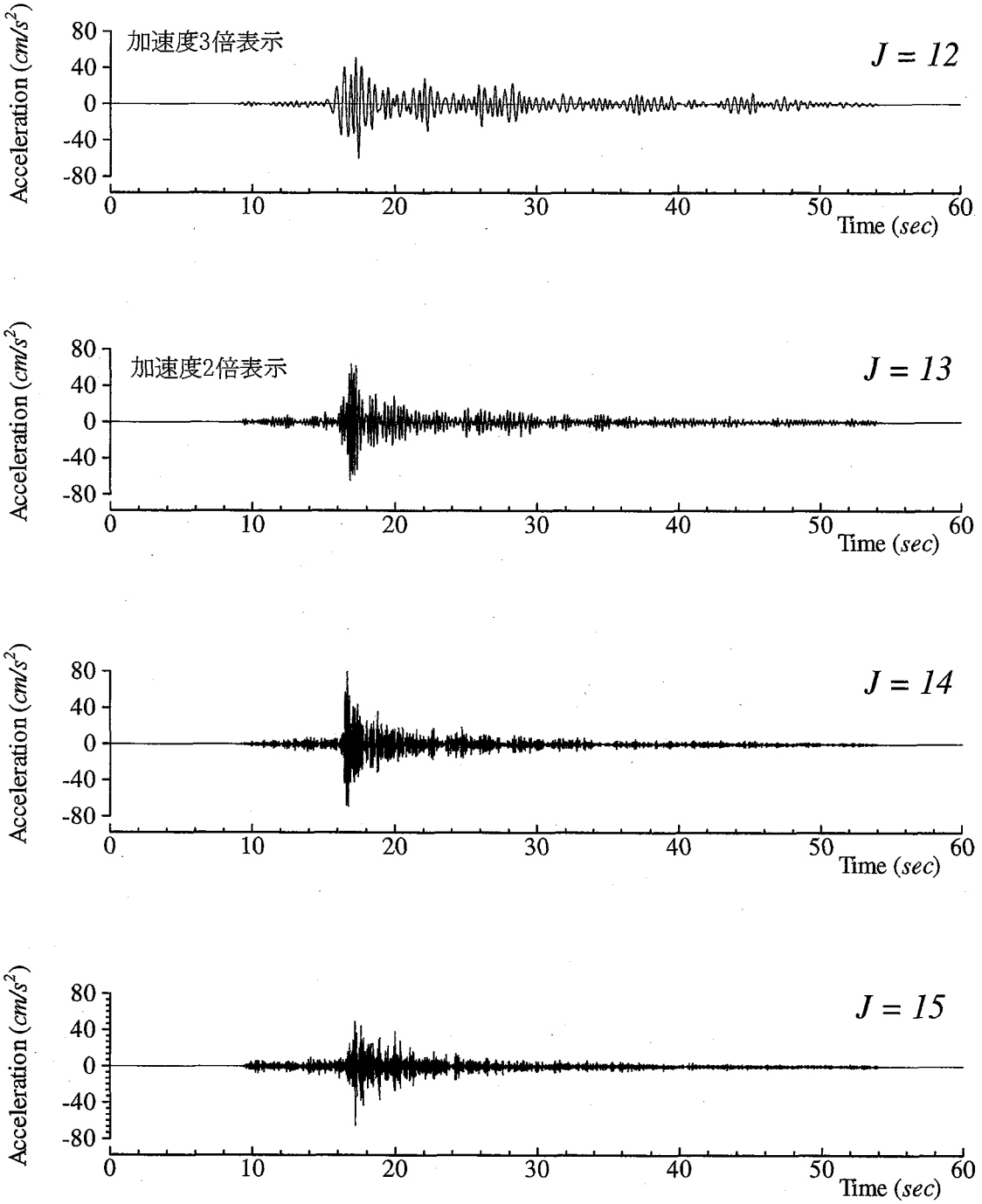


図7　EQ000103のウェブレット変換結果（NS成分）

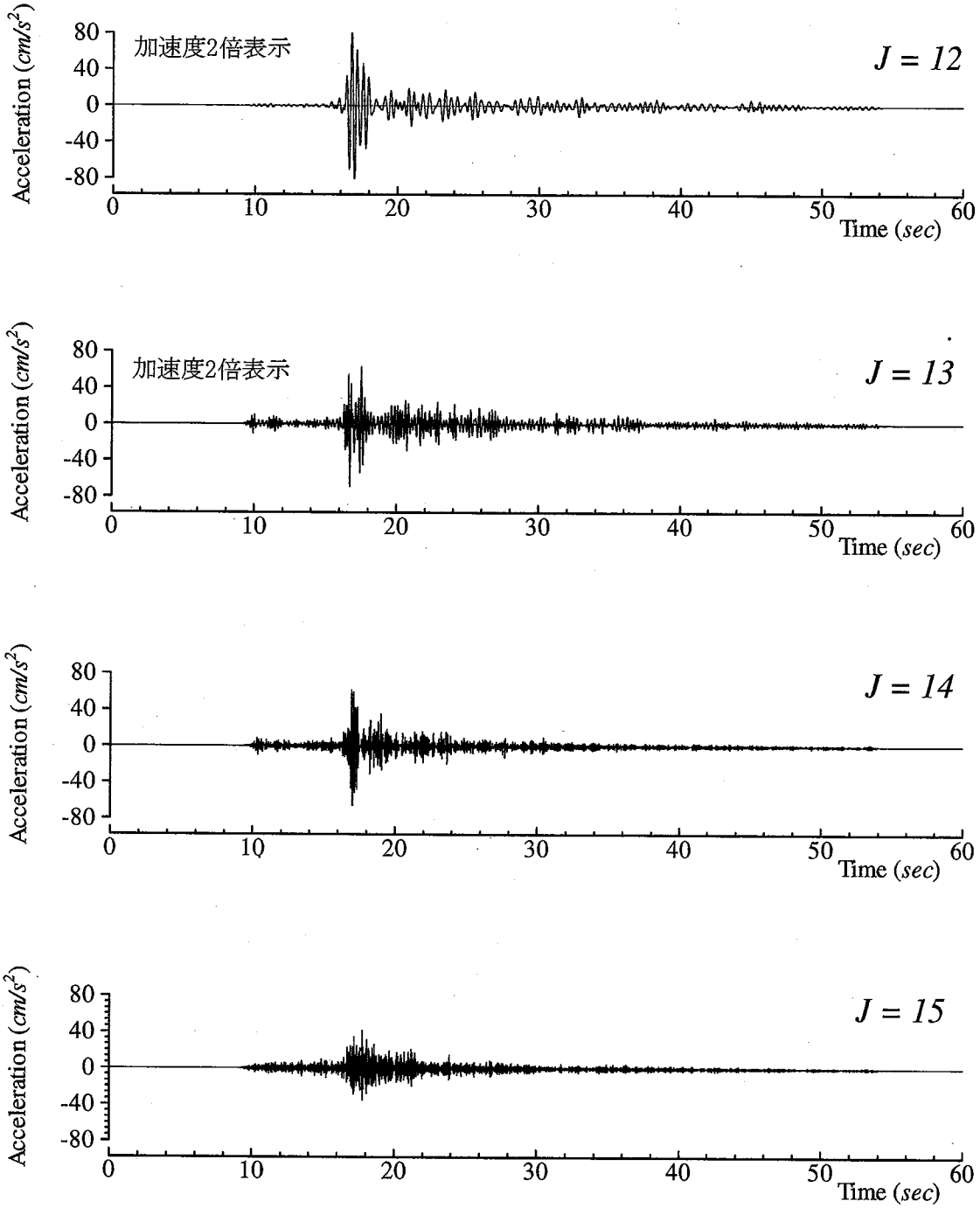


図8　EQ000103のウェブレット変換結果（EW成分）

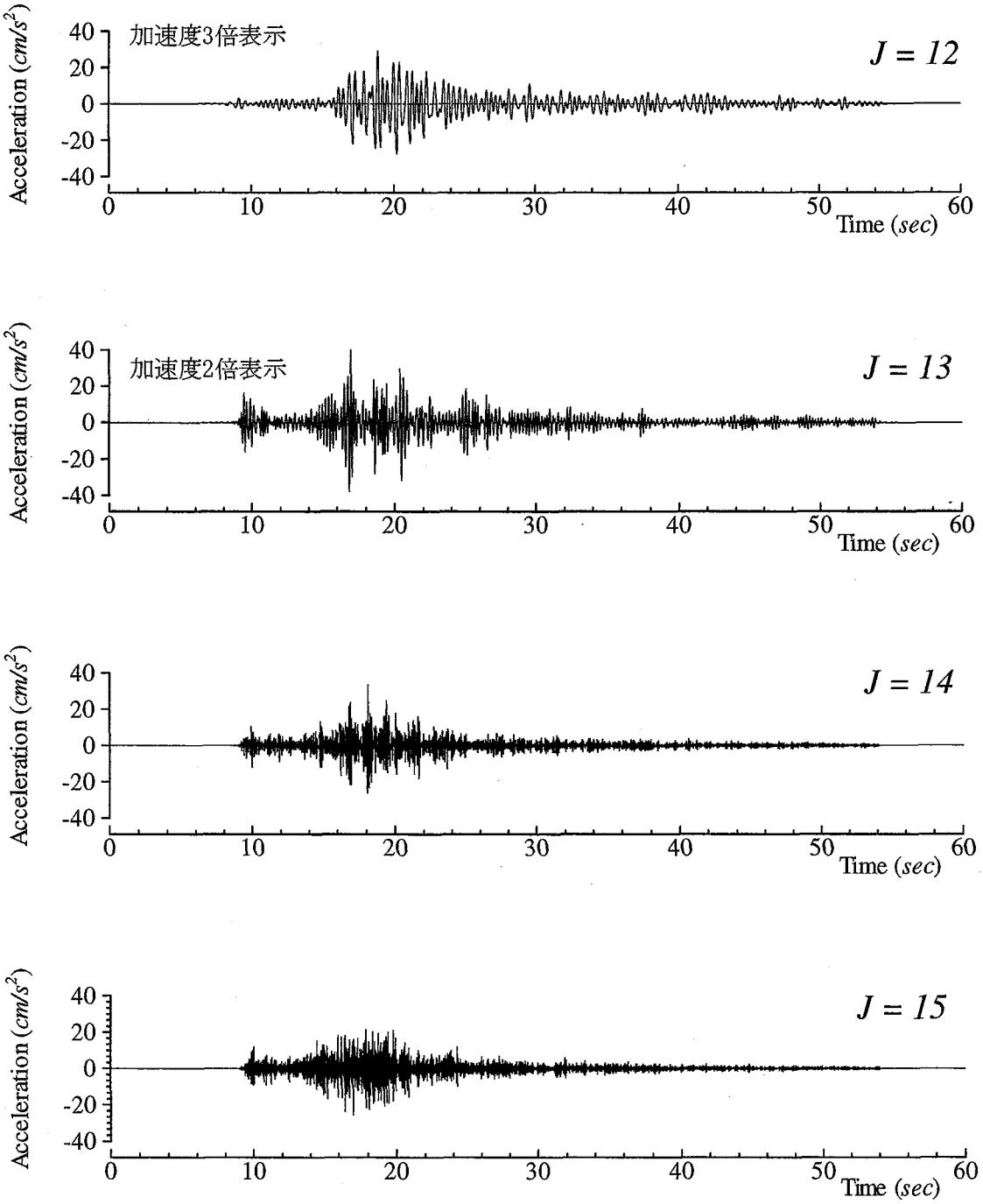


図9　EQ000103 のウェブレット変換結果（UD 成分）

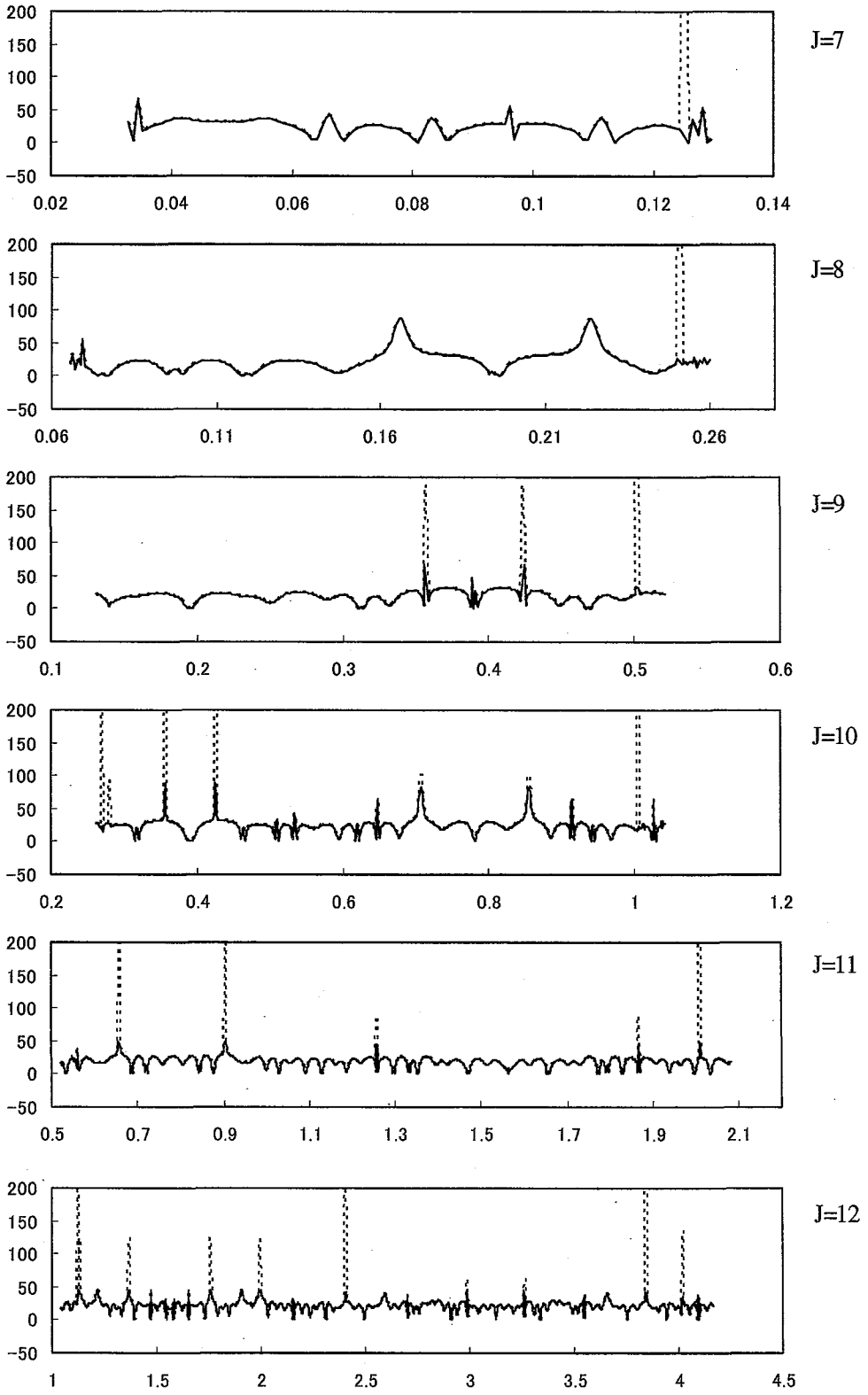


図 10　EQ000103 の群遅延時間算出結果（NS 成分）その 1

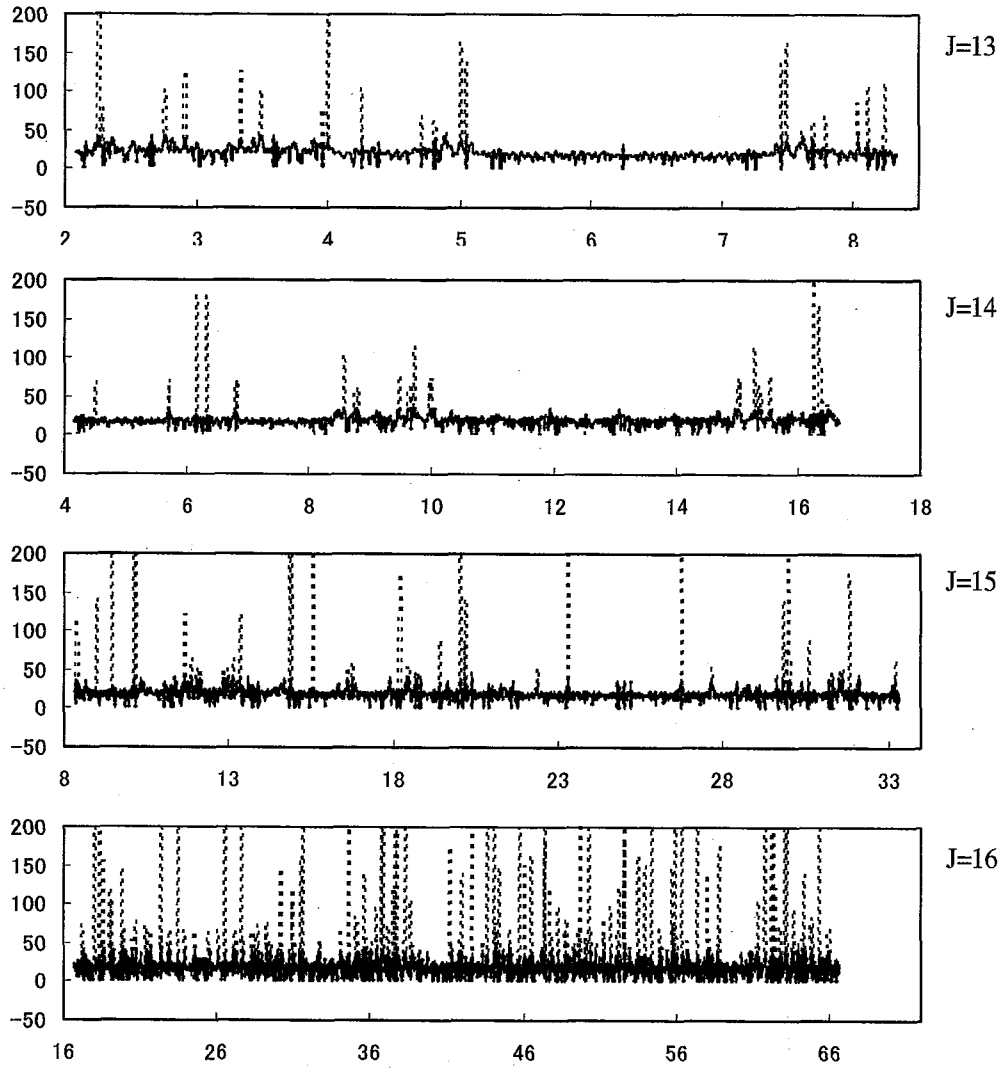


図 10　EQ000103 の群遅延時間算出結果（NS 成分）その 2

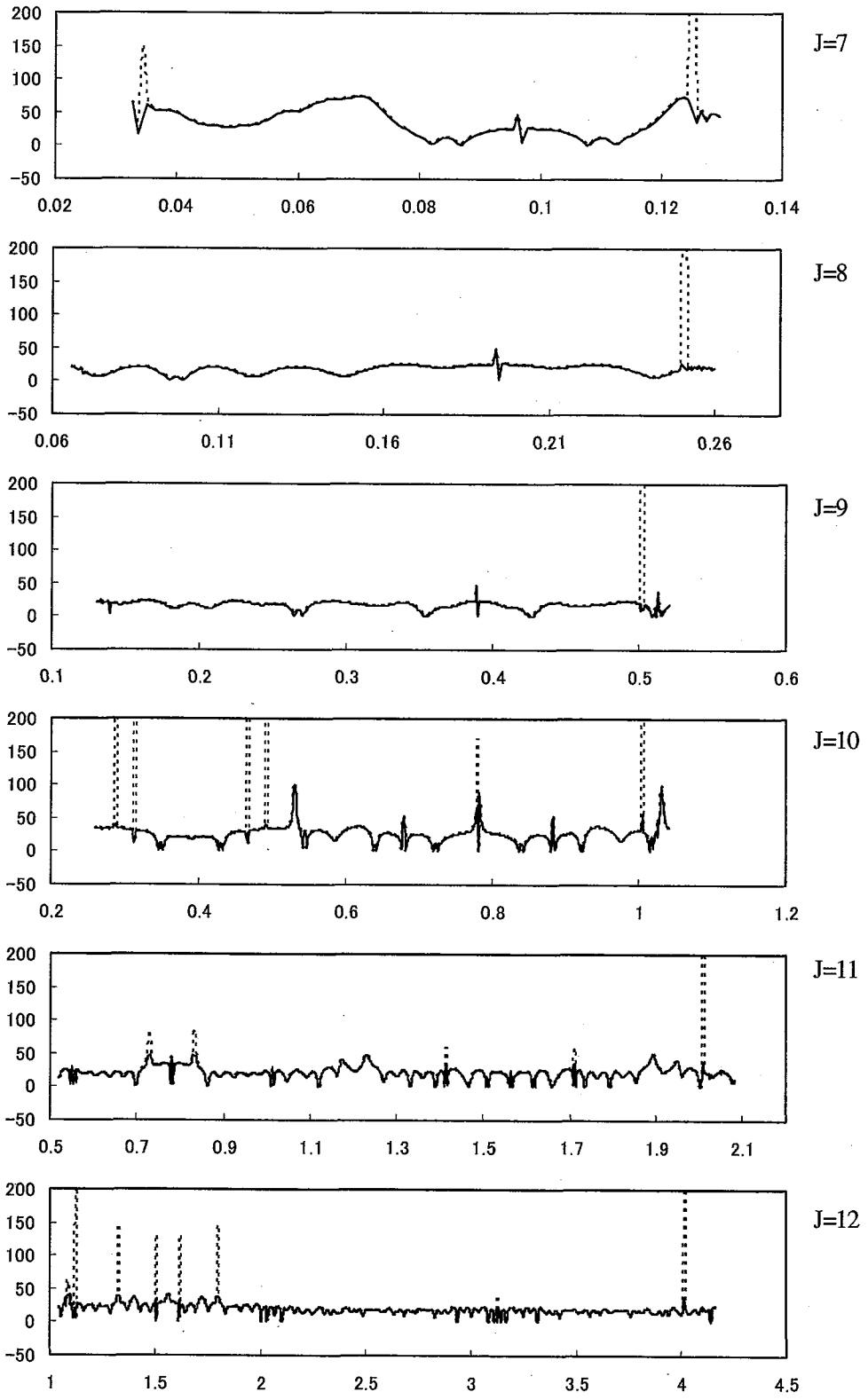


図 11　EQ000103 の群遅延時間算出結果（EW 成分）その 1

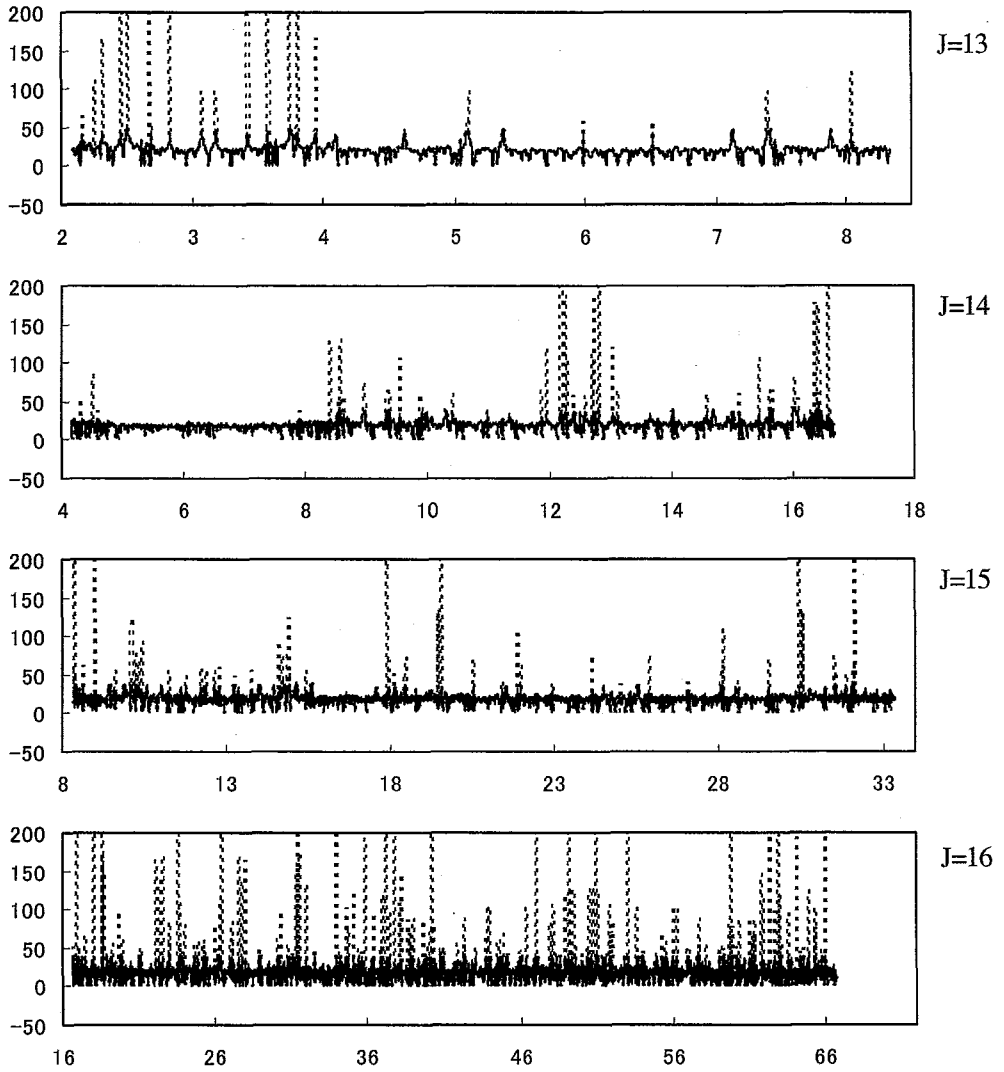


図 11　EQ000103 の群遅延時間算出結果（EW 成分）その２

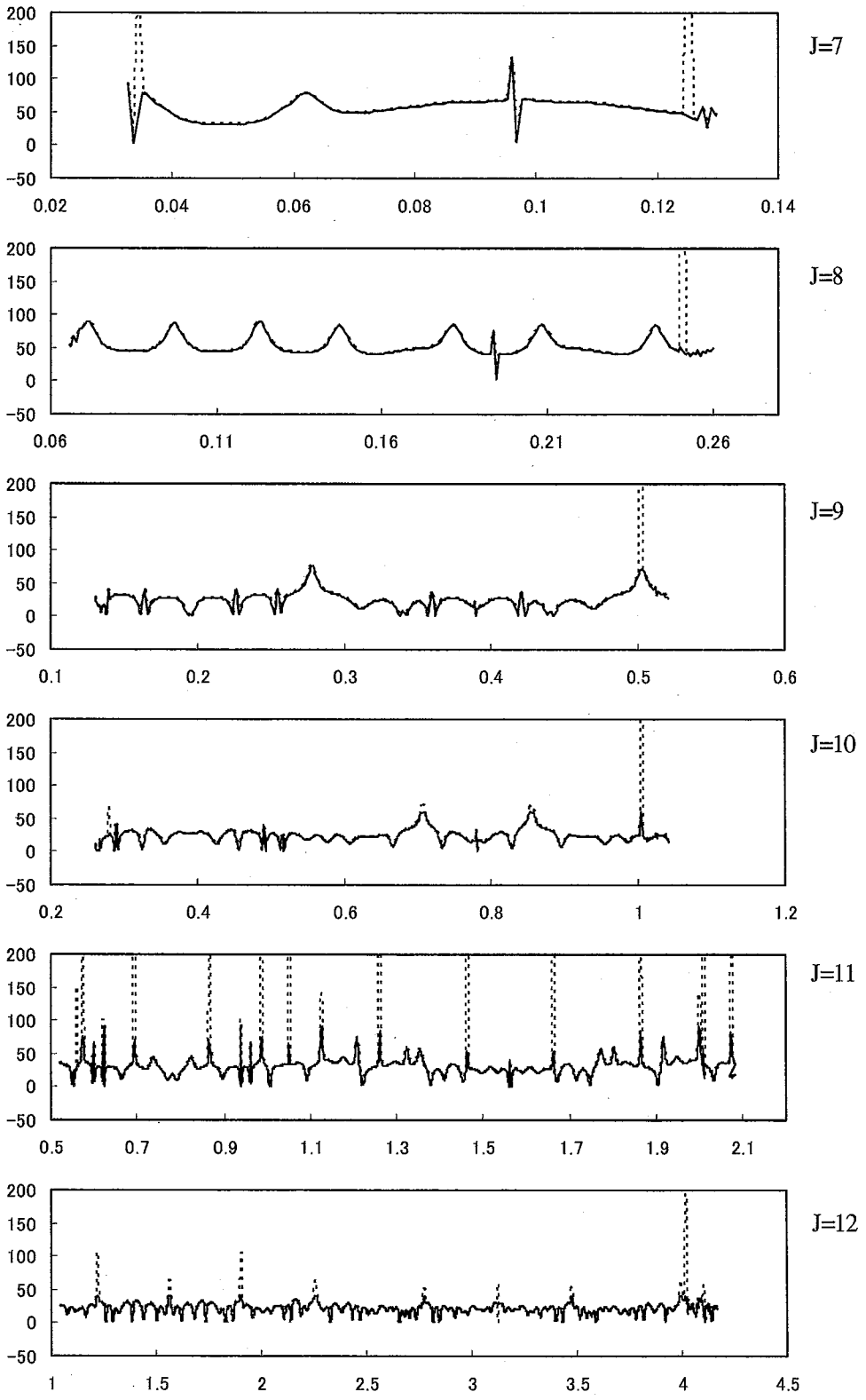


図 12　EQ000103 の群遅延時間算出結果（UD 成分）その 1

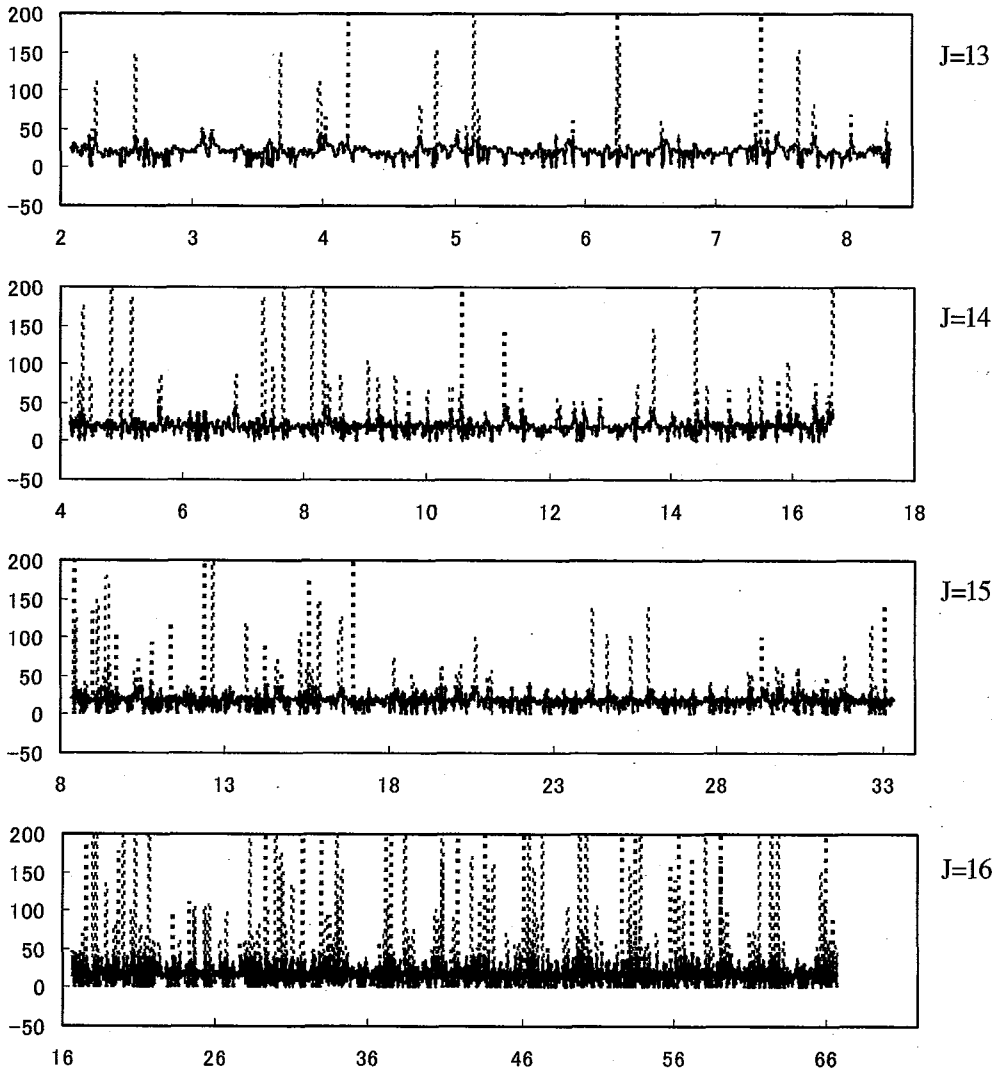


図 12　EQ000103 の群遅延時間算出結果（UD 成分）その 2

4. 回帰モデルの作成

前節で求めた群遅延時間の平均値$\mu_{tgr}^{(j)}$と標準偏差$\sigma_{tgr}^{(j)}$を，マグニチュードMと震央距離Δを説明変数として重回帰分析を行う．回帰モデルは，佐藤・室野・西村らの研究に倣い以下のとおりとする．

・全43波について，マグニチュードMと震央距離Δを説明変数とした回帰モデル

$$\mu_{tgr}^{(j)} = \alpha_1^{(j)} \times 10^{\beta_1^{(j)} M} \times \Delta^{\gamma_1^{(j)}}$$

$$\sigma_{tgr}^{(j)} = \alpha_2^{(j)} \times 10^{\beta_2^{(j)} M} \times \Delta^{\gamma_2^{(j)}}$$

回帰分析を行い算出された水平成分および上下成分の各重回帰係数を表7および表8に示す．スケーリングファクターj=7～16に関する回帰分析結果を図13～図16に示す．

平均値$\mu_{tgr}^{(j)}$は震央距離Δとともに大きくなっており，伝播距離が長くなるほど波群の到達時間が遅れることを表現できている．標準偏差$\sigma_{tgr}^{(j)}$は佐藤・室野・西村らの研究と同様にばらつきが目立つ結果となった．

本検討の重回帰係数の特徴を把握するために既往の回帰モデルとの比較を行った．水平成分については表9に示す佐藤・室野・西村らの研究，上下成分については表10に示す川西・室野らの研究[3)]による重回帰係数と比較した．なお，既往の研究に用いられた地震は，マグニチュードがM=6.3～8.1，震央距離がΔ=10～1000km程度であるため，本検討と既往の研究の両者が重なる適用範囲（M=6，震央距離Δ=50kmおよび100km）の条件下で比較した．比較結果を図17～図20に示す．

図17，図19に示されるように，本検討による回帰モデルについても，jにより$\mu_{tgr}^{(j)}$そのものの値が異なり，地震波の伝播速度が周波数依存性を有していることが確認された．震央距離Δ=100kmにおいては，本検討の回帰モデルと既往の回帰モデルの$\mu_{tgr}^{(j)}$が，ほぼ同様の傾向を示すことが確認された．

一方，$\sigma_{tgr}^{(j)}$についても図18，図20に示されるように，jが小さい範囲を除き，本検討の回帰モデルと既往の回帰モデルがほぼ同様の傾向を示すことが確認された．jが小さい範囲で両者の差が顕著となるのは，本検討モデルの分析対象地震が中小規模であり，長周期成分が卓越するような大地震が含まれていなかったことが原因と考えられる．

図17～図20に見られる傾向の差違に，大洗サイト固有の特性が潜んでいると考えられるが，分析対象地震数が少なかったこともあり，本検討では明確な傾向を見いだすことができなかった．この点については，観測記録をさらに蓄積した上での回帰モデルの再分析が必要と思われる．

本検討に用いられた地震の震央距離とマグニチュードの関係が図5に示すような分布であることを考慮すると，回帰モデルの適用範囲は，マグニチュードがM=4～6，震央距離がΔ=10～100km程度であると考えられる．また，図17～図20での既往の回帰モデルとの比較においても明らかにノイズと見られるような傾向は確認されなかった．

表 7　大洗鉛直アレー観測データの水平成分の重回帰係数

j	$\alpha_1^{(j)}$	$\alpha_2^{(j)}$	$\beta_1^{(j)}$	$\beta_2^{(j)}$	$\gamma_1^{(j)}$	$\gamma_2^{(j)}$
7	2.063	2.210	0.159	0.164	0.236	0.037
8	3.218	2.184	0.105	0.107	0.255	0.159
9	2.700	0.793	0.108	0.153	0.284	0.237
10	2.919	0.625	0.123	0.159	0.239	0.252
11	2.603	0.652	0.119	0.139	0.217	0.229
12	2.857	0.408	0.110	0.134	0.203	0.307
13	2.732	0.260	0.115	0.152	0.173	0.310
14	2.562	0.148	0.115	0.175	0.173	0.346
15	2.782	0.175	0.117	0.171	0.147	0.356
16	1.962	0.097	0.136	0.240	0.223	0.415

表 8　大洗鉛直アレー観測データの上下成分の重回帰係数

j	$\alpha_1^{(j)}$	$\alpha_2^{(j)}$	$\beta_1^{(j)}$	$\beta_2^{(j)}$	$\gamma_1^{(j)}$	$\gamma_2^{(j)}$
7	2.310	2.062	0.153	0.170	0.244	0.060
8	1.403	0.740	0.169	0.232	0.310	0.105
9	3.583	1.672	0.126	0.153	0.193	0.112
10	2.861	0.621	0.106	0.196	0.285	0.176
11	3.469	1.056	0.125	0.168	0.165	0.104
12	4.399	1.187	0.111	0.126	0.117	0.121
13	3.220	0.656	0.118	0.156	0.119	0.137
14	2.406	0.452	0.126	0.174	0.145	0.160
15	2.618	0.395	0.125	0.184	0.113	0.172
16	1.828	0.243	0.138	0.243	0.217	0.206

表9　佐藤・室野・西村(2000)の重回帰係数

j	$\alpha_1^{(j)}$	$\alpha_2^{(j)}$	$\beta_1^{(j)}$	$\beta_2^{(j)}$	$\gamma_1^{(j)}$	$\gamma_2^{(j)}$
7	1.011	27.708	0.0	0.0	0.864	0.203
8	0.830	14.584	0.040	0.0	0.790	0.337
9	0.543	17.968	0.086	-0.030※	0.700	0.344
10	0.806	8.451	0.060	-0.005※	0.686	0.321
11	0.850	2.970	0.026	0.016	0.764	0.366
12	0.511	0.392	0.058	0.143	0.744	0.295
13	0.367	0.0790	0.077	0.267	0.739	0.201
14	0.330	0.0572	0.081	0.287	0.742	0.239

※物理的意味に反するため，β=0.0 としている．

表10　川西・室野(2003)の重回帰係数

j	$\alpha_1^{(j)}$	$\alpha_2^{(j)}$	$\beta_1^{(j)}$	$\beta_2^{(j)}$	$\gamma_1^{(j)}$	$\gamma_2^{(j)}$
7	0.612	8.596	0.031	0.0	0.871	0.440
8	0.339	1.215	0.105	0.133	0.748	0.357
9	0.582	0.458	0.112	0.232	0.616	0.175
10	0.799	1.765	0.085	0.108	0.622	0.255
11	1.226	1.450	0.020	0.098	0.723	0.365
12	0.745	0.587	0.041	0.125	0.730	0.317
13	0.493	0.264	0.055	0.160	0.750	0.350
14	0.369	0.152	0.063	0.184	0.769	0.396

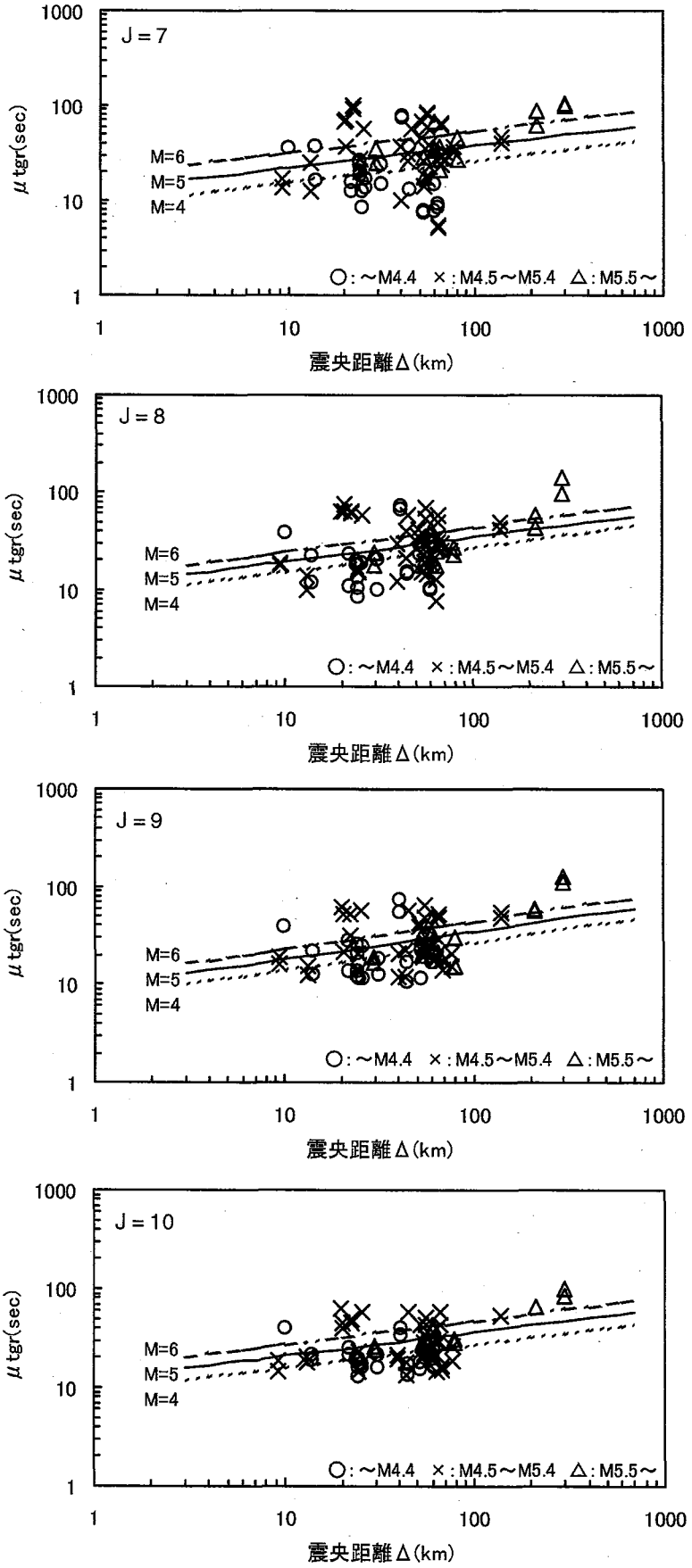


図 13　群遅延時間の平均値 μ_{tgr}（水平成分）その１

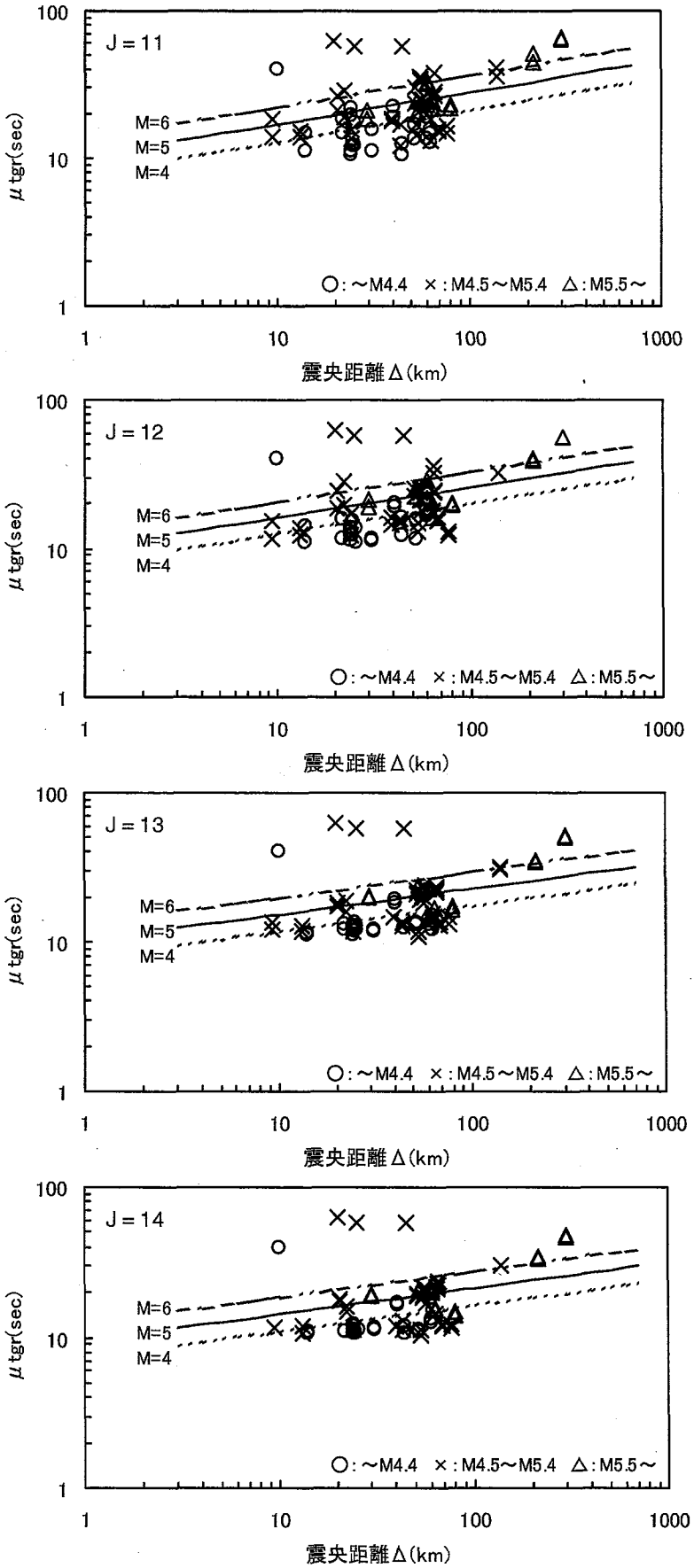


図 13　群遅延時間の平均値 μ_{tgr} （水平成分）その２

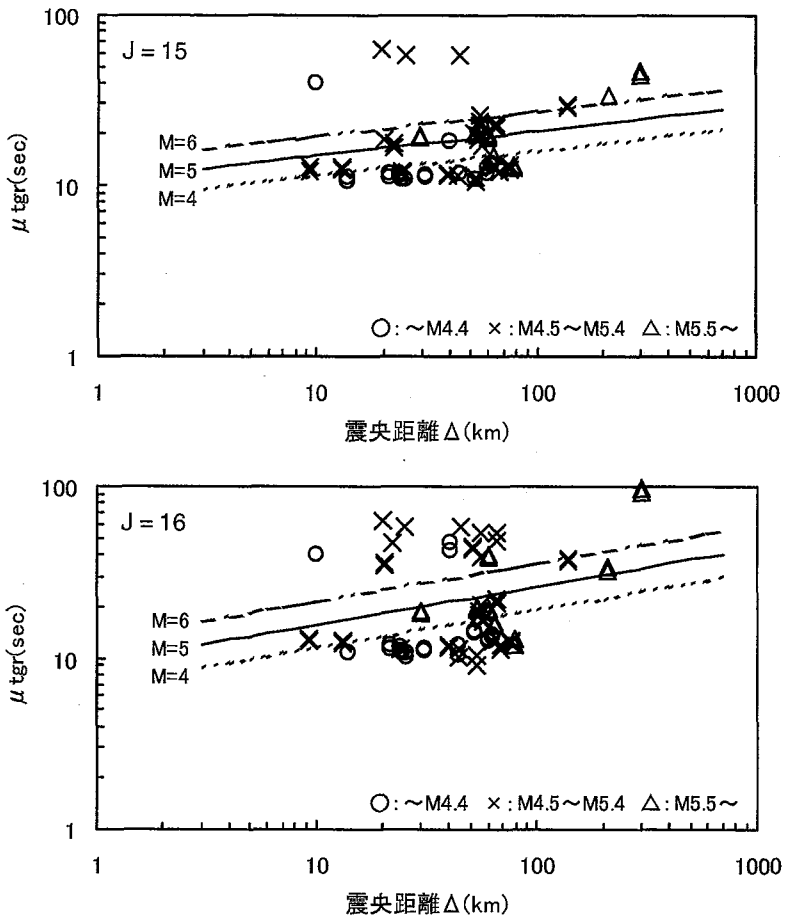


図 13　群遅延時間の平均値 μ_{tgr}（水平成分）その３

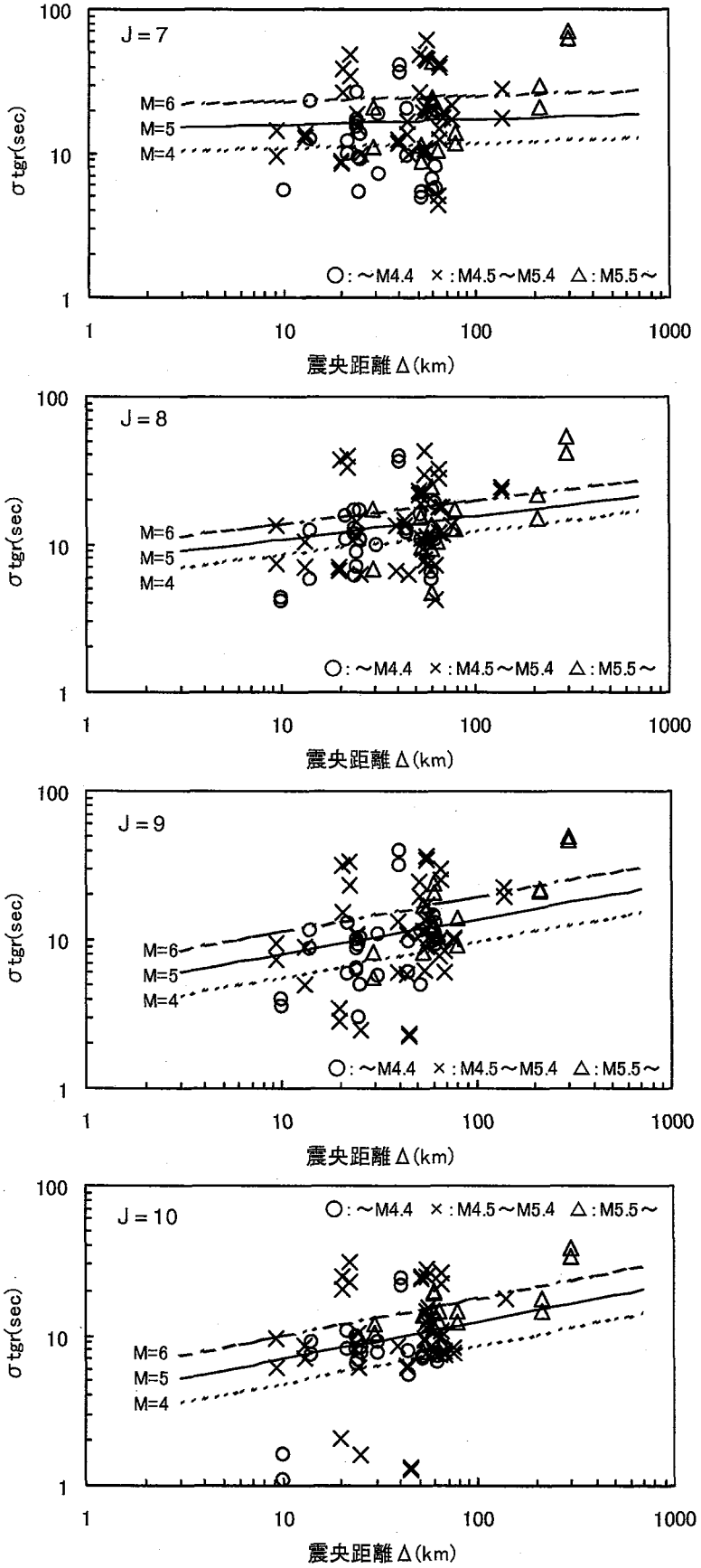


図 14　群遅延時間の標準偏差σ_{tgr}（水平成分）その１

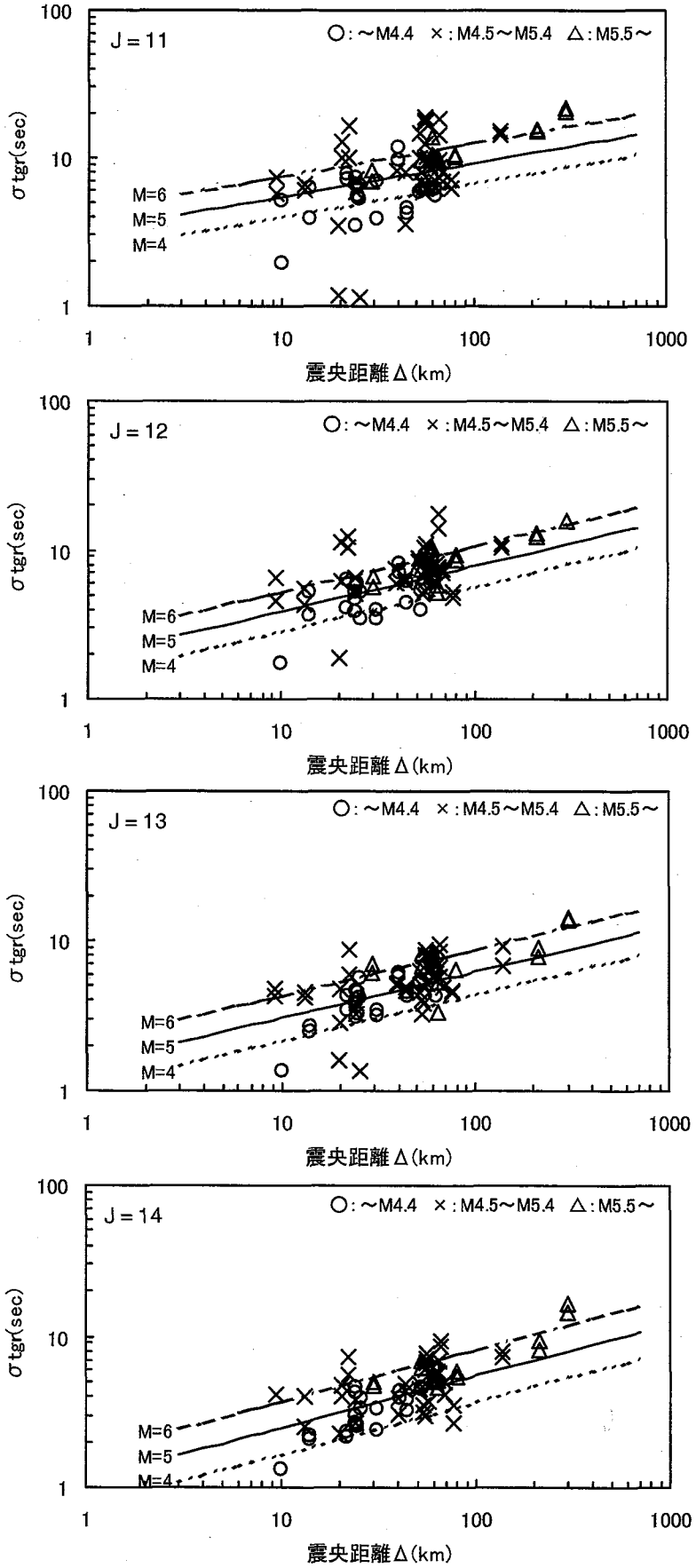
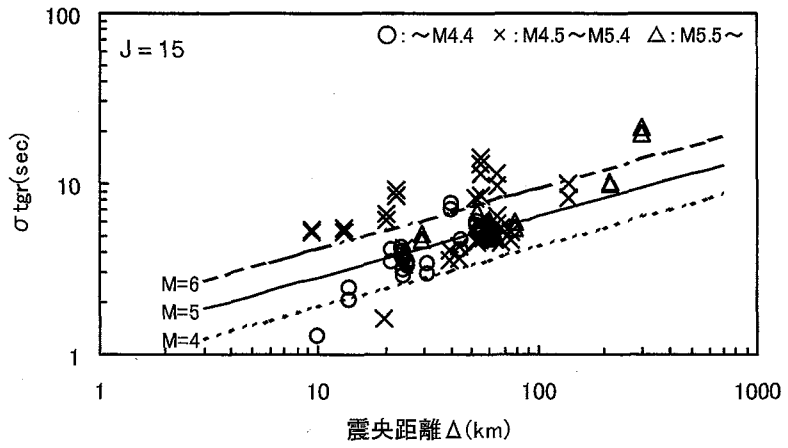


図 14　群遅延時間の標準偏差σ_{tgr}（水平成分）その２



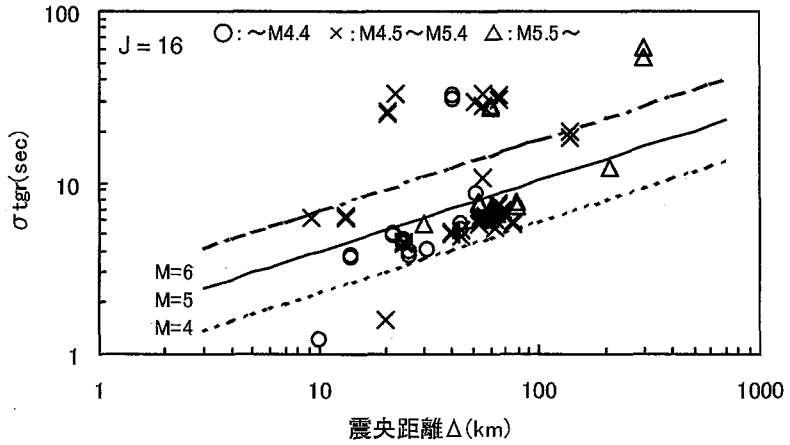


図 14　群遅延時間の標準偏差σ_{tgr}（水平成分）その３

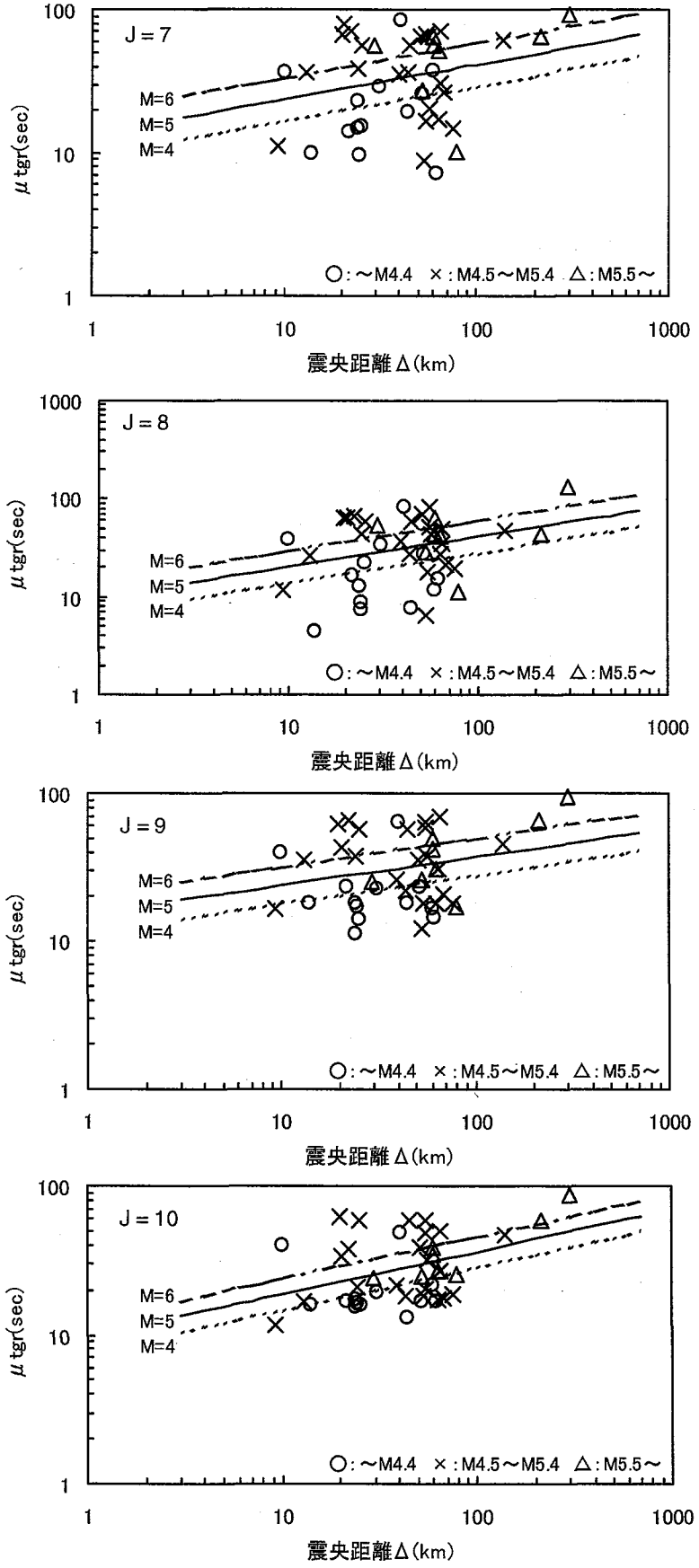


図 15　群遅延時間の平均値 μ_{tgr} （上下成分）その 1

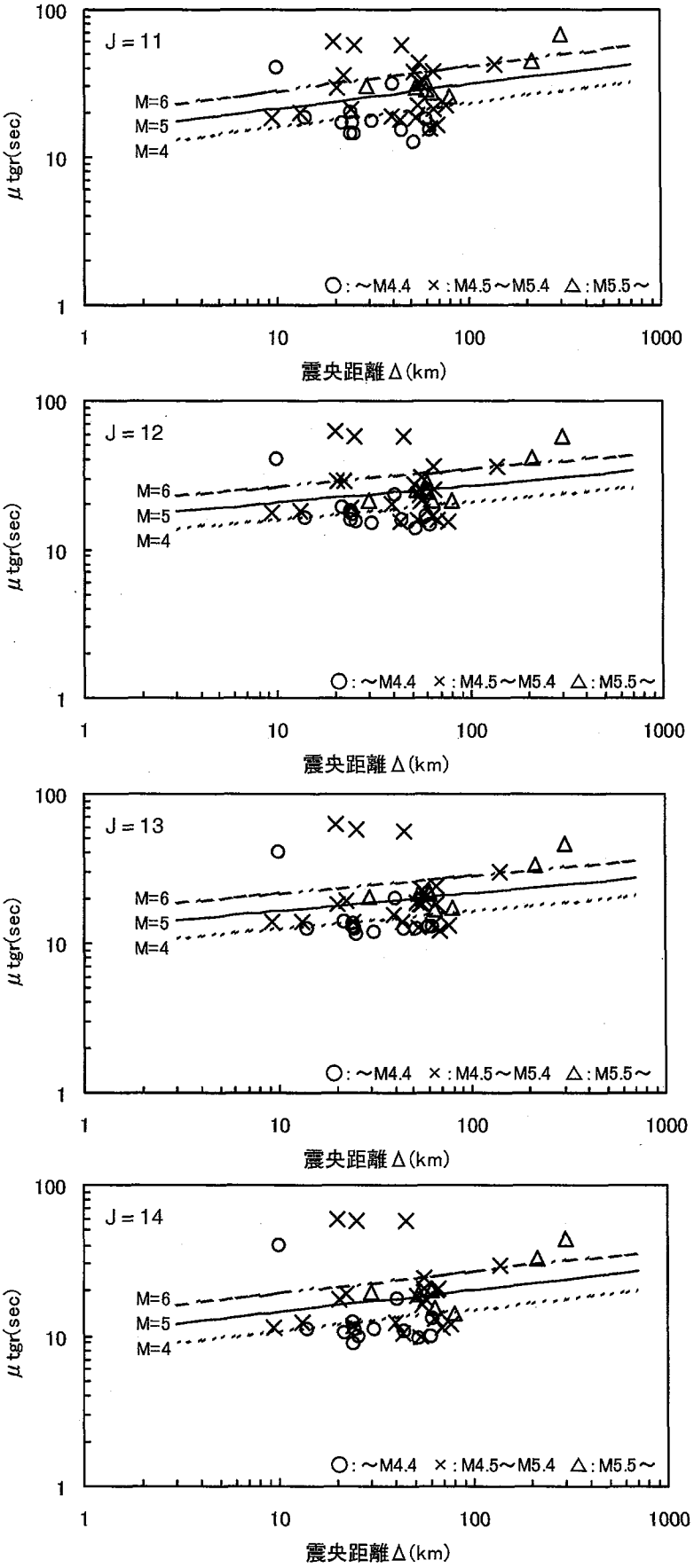


図 15　群遅延時間の平均値 μ_{tgr} （上下成分）その２

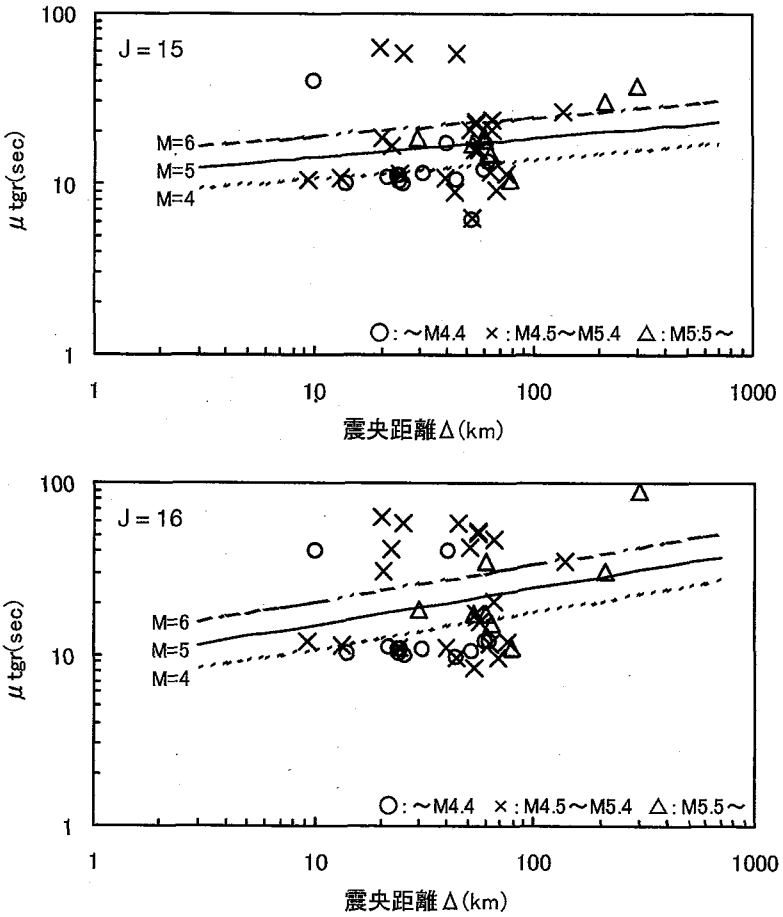


図 15　群遅延時間の平均値 μ_{tgr}（上下成分）その 3

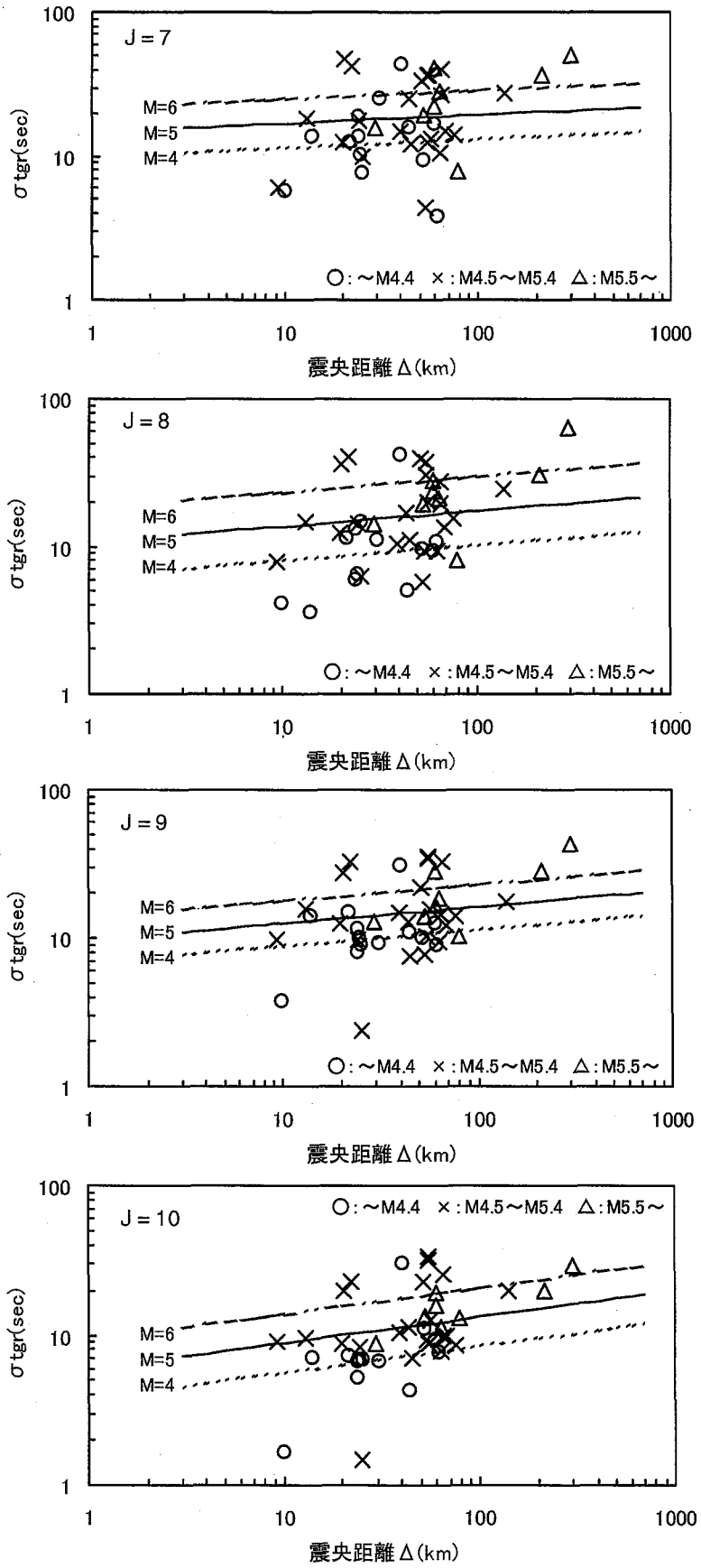


図 16　群遅延時間の標準偏差σ_{tgr}（上下成分）その 1

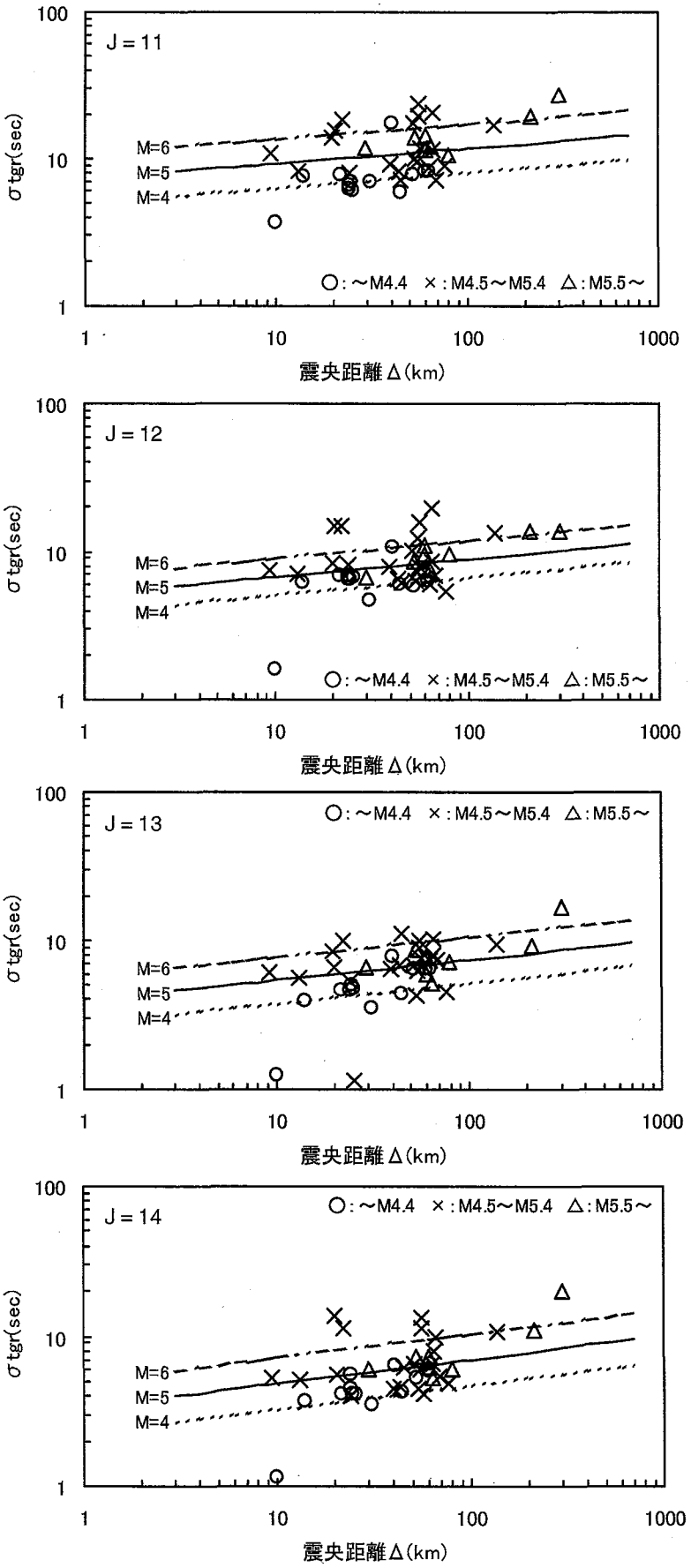


図 16　群遅延時間の標準偏差σ_{tgr}（上下成分）その２

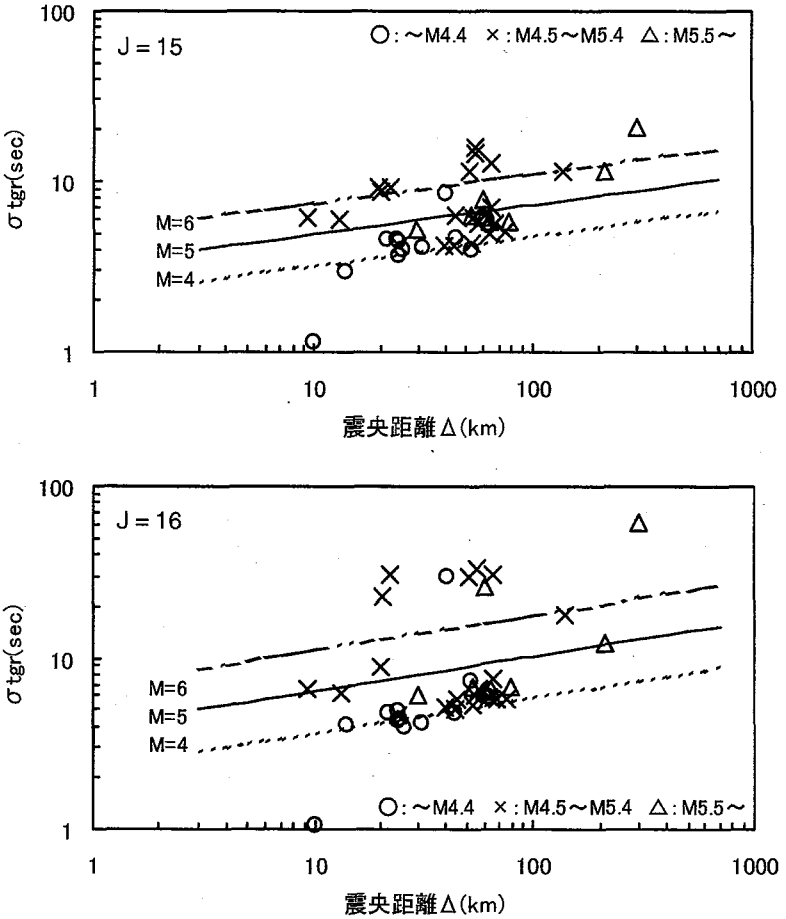


図 16　群遅延時間の標準偏差σ_{tgr}（上下成分）その３

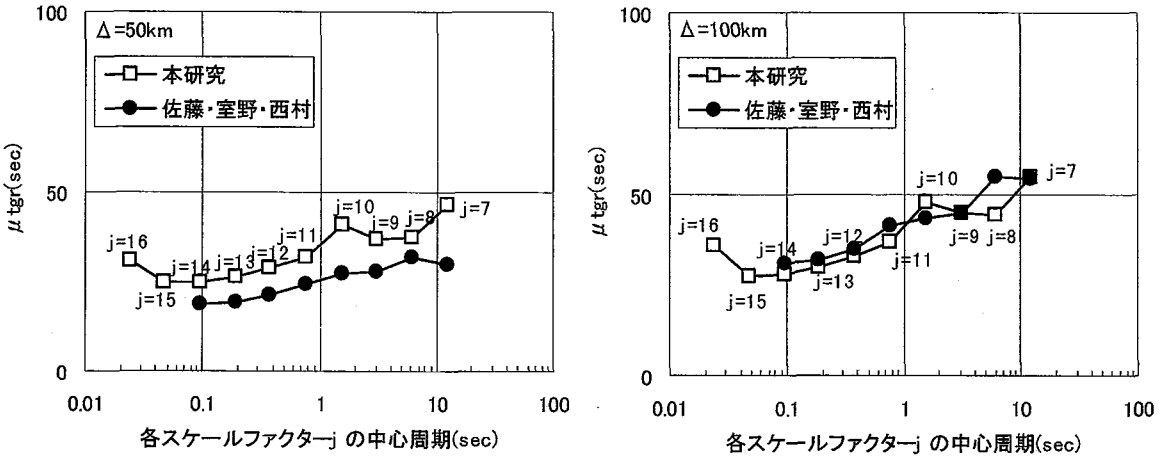


図 17　各 j 毎の群遅延時間の平均値 μ_{tgr} （水平成分）M=6

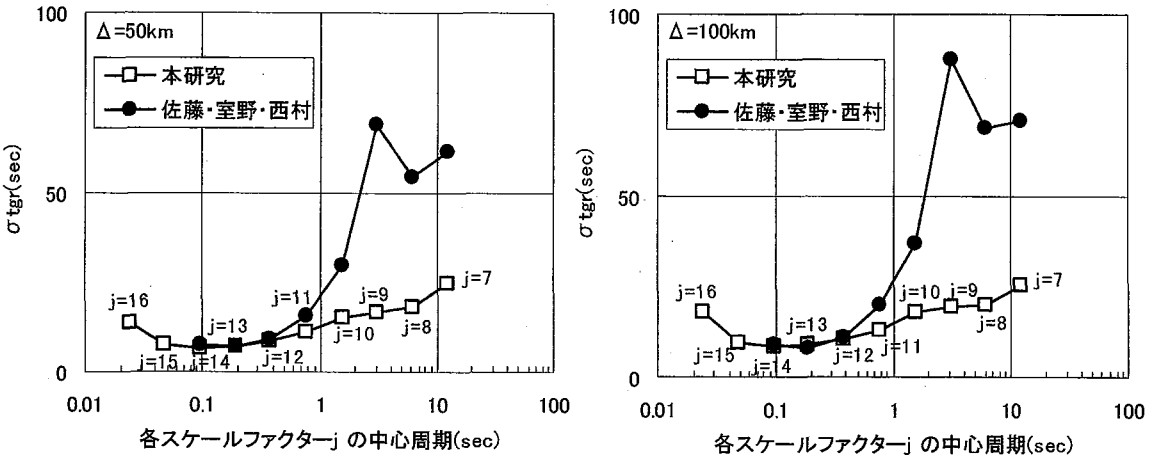


図 18　各 j 毎の群遅延時間の標準偏差 σ_{tgr} （水平成分）M=6

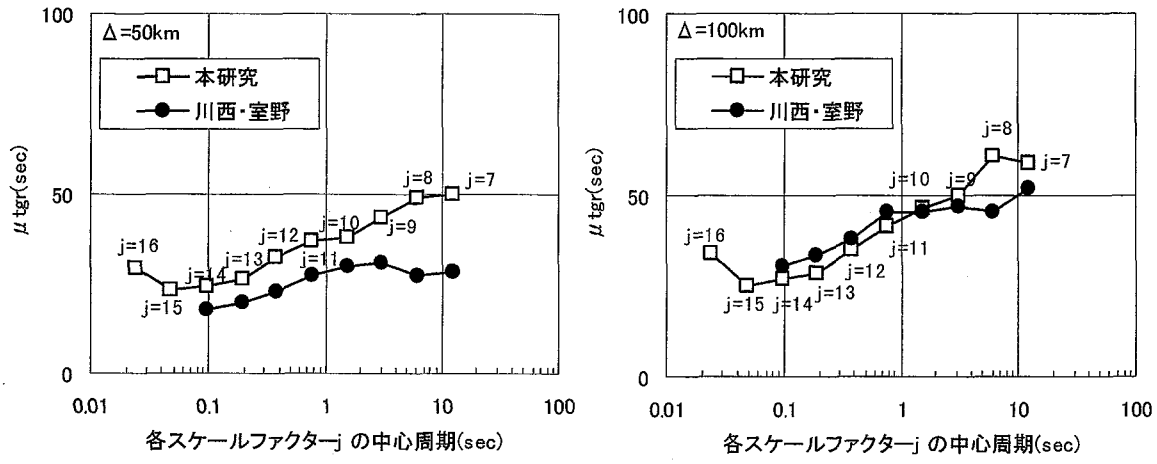


図 19　各 j 毎の群遅延時間の平均値 μ_{tgr} （上下成分）M=6

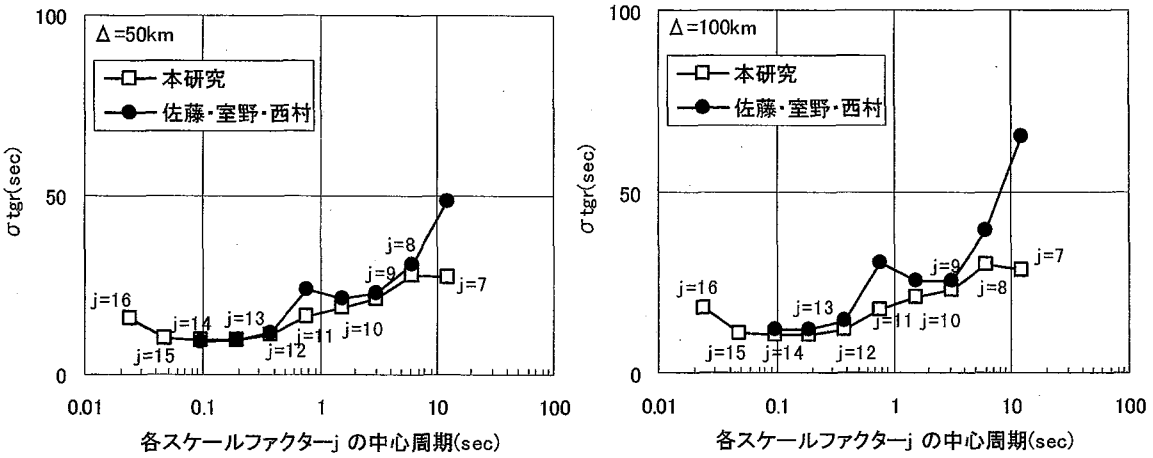


図 20　各 j 毎の群遅延時間の標準偏差 σ_{tgr} （上下成分）M=6

5. おわりに

本報では，大洗サイトで実施されている鉛直アレー観測により得られた中小地震記録を用いて，佐藤らの手法に基づき位相特性の分析を行い，群遅延時間の回帰モデルを作成した．この回帰モデルは，大洗地点での観測波を用いてモデル化したことから，大洗サイト周辺の地震動の震源特性や伝播特性が含まれているものと考えられる．この知見はサイト固有の情報を利用した地震動評価手法や地震ハザード評価手法への応用が期待される．

謝辞

本研究を進めるにあたり，（株）構造計画研究所の澤飯明広氏，坪田正紀氏よりご協力をいただきました．ここに記して感謝の意を表します．

参考文献

1) 佐藤忠信，室野剛隆，西村昭彦： 観測波に基づく地震動の位相スペクトルのモデル化，土木学会論文集, No.640/Ⅰ-50 pp.119-130, 2000.
2) 蛯沢勝三,山田博幸,堤英明,柴田勝之,安藤和博,馬場治,鈴木偉之：原研大洗サイトにおける鉛直アレー地震動観測データベース, JAERI-Data/Code 2001-009，日本原子力研究所, 2001.
3) 川西智浩，室野剛隆: 鉛直地震動の位相特性の経験的モデル化，第 27 回地震工学研究発表会論文集, 2003.