

釧路市における共同強震動観測

坂 上 実*

A Cooperative Strong Motion Observation in Kushiro City, Hokkaido

Minoru SAKAUE*

Abstract

A cooperative strong motion observation was carried out in Kushiro city during the period from August, 1993 to March, 1995. This was a part of cooperative observations at 23 sites organized by the Japanese Working Group on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion with contributions from 16 organizations. This paper reports the observation environments and the strong motion records obtained by the Strong Motion Observation Laboratory, Earthquake Research Institute. Preliminary analyses of the significant records from the 1994 Hokkaido Toho Oki earthquake are also presented.

Key words : strong motion observation, seismic hazard, Kushiro.

はじめに

1993年1月15日（20時06分）に発生した釧路沖地震（M7.8）では、釧路市を中心として、港湾施設、土木施設、ライフライン施設などに大きな被害が生じた。釧路市の震度はVIであった。釧路市に設置されていた強震計の全ての観測点で貴重な記録が得られたが、とくに丘陵部に位置する釧路地方気象台（JMA）に設置されていた87型電磁式強震計ではEW成分の最大加速度919galの大きな加速度が観測された。一方、低地部（砂地盤）に設置されていた運輸省釧路港湾建設事務所（PHRI）のNS成分では469galの加速度が観測された。ちなみにPHRIのEW成分は344galである。この地震で観測された観測波形や最大加速度・速度については、強震観測事業推進連絡会（1993）から出版されている。上記の釧路沖地震は地震災害にとどまらず、観測された強震動記録も「表層地質が地震動に及ぼす影響（ESG*）」に関する多くの研究課題を提起した。これらの課題を究明する目的で、日本学術会議地震工学研究連絡会議地震動小委員会の支援の下に、震災予防協会に設けられたESG*研究委員会が釧路市内に高密度強震動観

測の共同観測網を展開することとなった。ESGとは、Effects of Surface Geology on Seismic Motionの頭文字をとってESG研究と略称している。我々もその共同強震動観測の呼びかけに応じ、5観測点を設置することとした。

共同強震動観測の主な目的として、次の課題があげられた（笹谷，1994）。1）低地部と丘陵部で観測された強震動に大きな差異がみられたが、この原因を定量的に明らかにする。2）釧路市の地質構造は東西方向に大きく変化しているが、南北断面については緩やかに（南側）傾斜している。これらの地質構造が地震動に影響を及ぼしている。この地域で高密度強震動観測を実施し、得られた観測記録から地震動に与える影響を定量的に明らかにする。3）地盤の非線形応答特性と関連して、弱震動と強震動とで地盤応答にどのような差異があるかを明らかにする。また、かねてより釧路市で得られる大加速度記録が、その最大加速度値に比べて構造物被害が少ないという特徴あるいは疑問に答えることも、観測目的の一つであった。本報告は、その共同観測における分担の形で実施した地震研究所強震観測室の観測点に限って、観測概要・記録の特徴等を記したものである。全観測記録は共同研究の一環として整理中であり、全体の記録への解析結果については機会を改めて報告したい。

共同強震動観測の概要

図1にESG共同強震動観測点の分布、他の機関による

1996年5月15日受付，1996年9月26日受理。

*地震地殻変動観測センター強震観測室，（東京大学地震研究所）。

*Strong Motion Observation Laboratory, Earthquake Observation Center, (Earthquake Research Institute, University of Tokyo).



図 1. ESG 共同強震動観測点の分布：●印, 他の機関による観測点：■印 JMA, BRI, PHRI

定常観測点 (JMA, BRI, PHRI) を示す。建設省建築研究所 (BRI) の観測点は釧路地方気象台の構内に設置されており、気象台観測点とは隣接している。共同強震動観測網の各観測点の選定は、ESG 研究委員会 (座長・北海道大学岡田 廣) によって決定された。観測点は、図 1 に示したように、丘陵部の JMA から低地部の PHRI の側線を基本とした配置である。全 23 観測点中、丘陵部は 8 ヶ所、低地部は 15 ヶ所である。また、観測点の間隔は殆どの場合 1 km 以内である。表 1 に ESG 共同強震動観測地点の一覧を示す。参加機関の構成は、大学・建設企業の研究所からなる 16 機関で発足した。但し、観測に必要な観測機器や経費、旅費などは全て担当機関の自己負担である。ESG 共同強震動観測は、1993 年 8 月中頃より開始され、1995 年 3 月 31 日をもって終了した。

釧路市とその周辺の地形・地質について概観する。釧路市街は、背後に釧路湿原を有する砂丘上に位置している。その地形・地質は、この釧路湿原の形成に深いかかわりを持っている (釧路市史編さん事務局, 1992)。釧路湿原は、その形成を 2 万年前の水河期における海面低下から始まり、その後の地学環境の変遷を経て、図 2 に示す現在の姿になったと言われている。図 3 に示す釧路湿原下の地質構造は、ボーリング調査をもとにして推定されている。また、図 3 の地質の東西断面で読み取れるが、東西方向に地質構造が大きく変化している。一方、図 4 の沖積層の南北断面は緩やかに南側に傾斜している。これが地震動に大きな影響を及ぼしていると推定される。

地震研究所担当の観測概要

我々の観測点は図 1 で示すように、旧釧路川を挟んで東側 (丘陵部) に北海道教育大学釧路分校 (HEU)、釧路支庁 (KBO)、釧路市立東栄小学校 (TEP)、釧路市立柏木小学校 (KKP)、4 ヶ所である。西側 (低地部) に釧路市役所 (KCH) 1 ヶ所である。HEU、KBO、TEP 各観測点は釧路段丘上に位置し、KCH 観測点は砂丘上に位置する。KKP 観測点は春採湖の湖畔に位置し、観測点の一部は湖の埋め立て地である。また、観測点周囲の斜面には浦幌層 (雄別層, 古第三紀) の砂岩が露出している。ちなみに JMA、BRI は段丘上に位置し、PHRI は砂丘上に位置する。我々の観測開始は、他の機関より半月ほど遅れた。1993 年 7 月 12 日に発生した北海道南西沖地震の余震を 3 大学 (北海道大学理学部・京都大学防災研究所・東京大学地震研究所) 共同余震観測のために、使用予定の観測計器を渡島半島を中心に設置していたことによる。

強震計の設置を 9 月 3 日から開始し、5 日夕刻には全 (5 ヶ所) てに設置することができた。観測開始当初は強震計の誤動作等により、欠測することが度々発生した。原因としては、設置した強震計 (SMAD-2 型) は 1980 年頃に開

発された計器であるため、停電・復電時が原因と思われる電源部の故障が一部に発生した。また、観測点近傍での工事振動などで誤動作が発生し、記録媒体のカセット MT が全部巻き取られる等の不具合があった。遠隔地での観測とメンテナンスの難しさを痛感した。その後、計器の調整と統一を計り、全て SMAD-1, 2 型に置き換え、正常な観測体制に入った。但し、データ収録は全て現地収録方式である。共同観測期間中に釧路市で 211 回の有感地震があった。観測中に取得された地震記録で特筆すべきは、1994 年 8 月 31 日に発生した国後島付近の地震 (M6.5, 釧路震度 V) と 1994 年 10 月 4 日の北海道東方沖地震 (M8.1, 釧路震度 VI) 等である。国後島付近の地震、北海道東方沖地震の本震と最大余震では 4 観測点については良好な観測記録が得られたが、1 観測点は計器不良で欠測した。共同強震動観測は 1995 年 3 月 31 日をもって終了したが、現在でも数機関で観測を継続している。強震観測室では 1995 年 7 月下旬に観測点を一部変更し、北海道大学理学部と共同で釧路市内に 3 継続観測点 (KCH, HEU, KKP) および新設の釧路公立大学、北大理学部地震予知観測地域センター北海道地殻活動観測線・弟子屈観測点 (壕内) に 1 台、計 5 ヶ所で観測を続けている。

観測点および使用計器

我々が担当した 5 観測点の設置環境と計器仕様を以下に示す。KCH 観測点は釧路市役所 (RC 造 (*) 5 階建て) (RC 造 (*) は鉄筋コンクリート構造を示す。) の地下 1 階階段室 (庁舎ほぼ中央部)、HEU 観測点は北海道教育大学釧路分校の玄関前車庫 (RC1 階建て)、KBO 観測点は釧路支庁舎 (RC3 階建て) の地下 1 階会議室、TEP 観測点は釧路市立東栄小学校 (RC3 階建て) の 1 階ボイラー室、KKP 観測点は釧路市立柏木小学校 (RC3 階建て、一部 2 階) の 2 階建て 1 階電気室である。使用した強震計は、SMAD-1, SMAD-2 であり、V401 サーボ型加速度計が組み込まれた一体型の強震計であり、記録媒体はカセット MT である。A/D 変換は、12 bit であるが、1 サンプル毎の AGC (3 成分同時; 1×1 , $\times 1/4$: SMAD-1; $\times 1$, $\times 1/4$, $\times 1/16$: SMAD-2) が付加されており、フルスケールに関しては、SMAD-1 が 1g (g: 重力加速度) および SMAD-2 が 2g で、そのサンプリングは 100 p/s 固定の使用である。また、0.03 Hz をカットオフ周波数とする high-pass filter と 30 Hz の anti-alias filter を用いている。HEU, KKP で SMAD-1 を、KCH, KBO, TEP では SMAD-2 を使用している。全ての観測点において、計器本体をコンクリート床にアンカーボルトで固定した。

地震観測結果 (観測記録スコア)

我々担当の 5 観測点でトリガーされた地震 (103 個) の

表 1. ESG 研究委員会共同観測地点の一覧

台帳番号	コード	観測担当機関名	観測地点名	記録器	検出器
01	KTC	北海道大学工学部	釧路工業高等専門学校	SSA - 2 型 (一体)	
02	KOS	北海道大学工学部	釧路市大楽毛処理場	SSA - 2 型 (一体)	
03	KJM	鹿島建設技術研究所	鹿島建設釧路営業所	SAMTAC-17S型 (一体)	
04	TTR	八戸工業大学	釧路市鳥取神社	PC-98EX型	JA-5V/C-2
05	JSI	大林組技術研究所	大林組釧路営業所	SS-1 型	CV - 701
06	TIS	北海道大学理学部	大成建設釧路営業所	PDAS-100型	VS - 1
07	SMZ	清水建設技術研究所	清水建設釧路営業所	SD-203 型	DATOL-100
08	TBS	飛島建設技術本部	近海郵船・釧路ミナ事務所	SAMTAC-17 型 (一体)	
09	KMB	佐藤工業中央技術研究所	釧路市立駒場小学校	CV - 901N 型 (一体)	
10	KTA	佐藤工業中央技術研究所	釧路市立北中学校	CV - 901N 型 (一体)	
11	KTS	前田建設工業技術研究所	釧路市立寿小学校	SAMTAC-17S型 (一体)	
12	KAI	京都大学防災研究所	釧路海員会館	DR-M2a 型	VSE11・12
13	NSM	西松建設技術研究所	西松建設釧路営業所	SPC-35F型	VSE - 15
14	ASH	竹中工務店技術研究所	釧路市立旭小学校	CV-901N型	SV - 901N
15	KCH	東京大学地震研究所	釧路市役所	SMAD - 2 型 (一体)	
16	TQH	東急建設技術研究所	釧路北陽高等学校	SV-555 型	SV - 901
17	HEU	東京大学地震研究所	北海道教育大学釧路分校	PDR - 1 型	FBA - 13
18	KBO	東京大学地震研究所	北海道釧路支庁	SMAD - 2 型 (一体)	
19	TEP	東京大学地震研究所	釧路市立東栄小学校	SMAD - 2 型 (一体)	
20	KKP	東京大学地震研究所	釧路市立柏木小学校	PDR - 1 型	FBA - 13
21	SSK	東京電力原子力研究所	釧路市青少年科学館	SAMTAC-15X	SS - 1
22	KRK	北海道大学理学部	釧路湖陵高等学校	PDAS-100型	VS - 3
23	TYR	足利工業大学	つたや旅館 (NHK 北側崖下)	SPC - 35E 型 (一体)	

みについて、記録スコアを表2に示す。表2から分かるように、震度Iでは殆どトリガーしていない。全ての観測点が市街地に設けられているため、工事振動などの誤動作を

避ける関係上、トリガーレベルを1~5galに設定していたことによる。また、釧路気象台が他の地点よりも揺れ易いため有感回数が多かったことも理由の一つであろう。観測

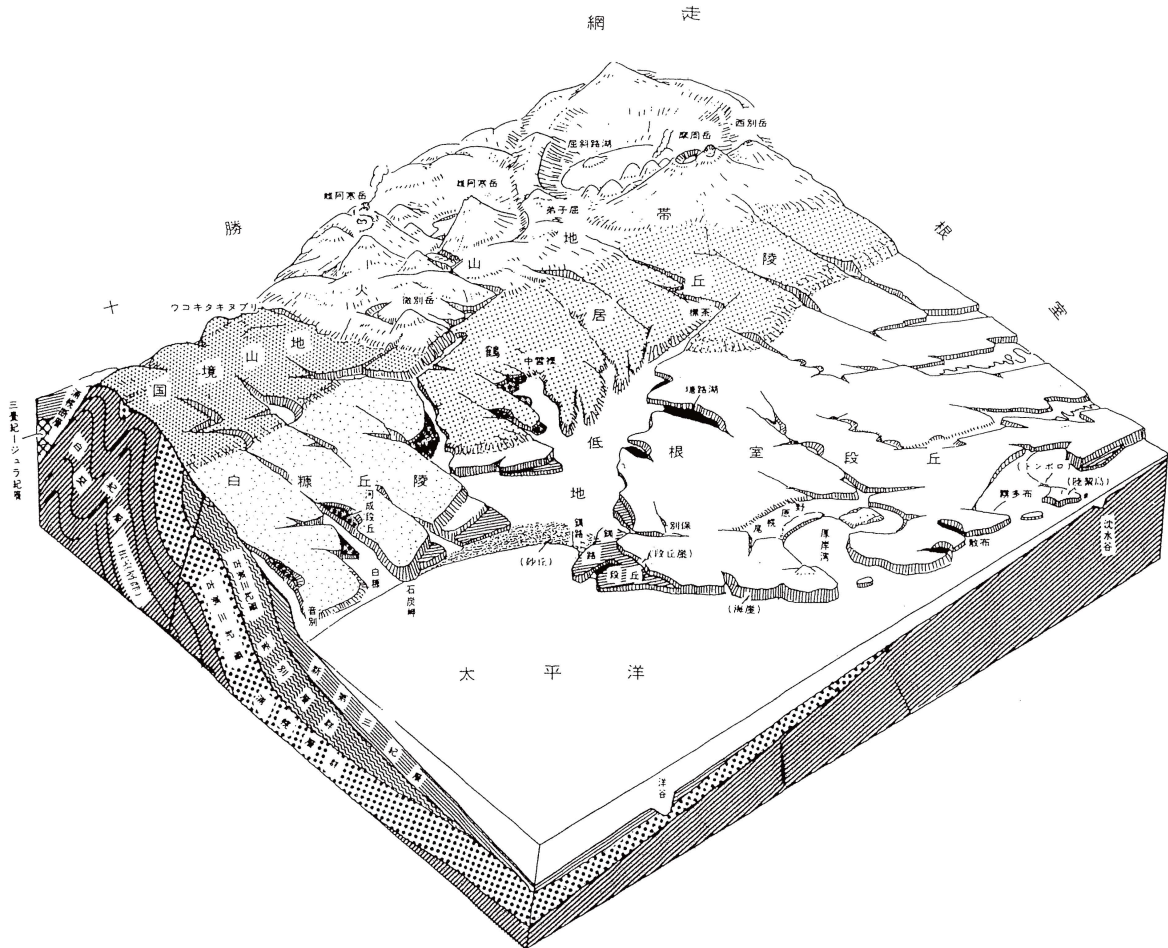


図 2. 釧路地方の地形模式ダイアグラム (岡崎, 1966).

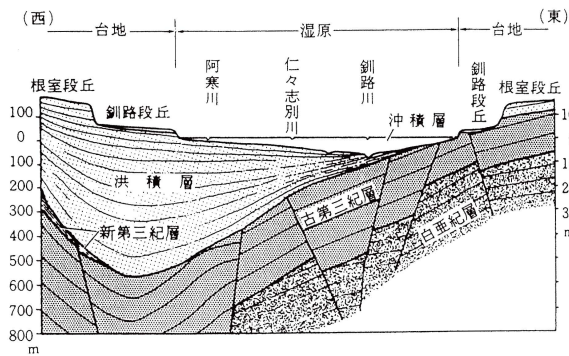


図 3. 釧路湿原下の地質の東西断面 (釧路市史編さん事務局, 1992).

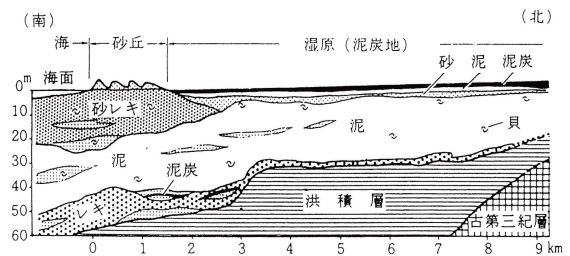


図 4. 釧路湿原下の沖積層の南北断面 (釧路市史編さん事務局, 1992).

表 2. 釧路市における強震観測スコア表, Date: 年・月・日, Time: 時・分・秒, Lon: 経度, Lat: 緯度, Dep: 深さ (Km), Mag: 地震規模, C: 最大震度.

No	Date	Time	Lon	Lat	Dep	Mag	C	KCH	HEU	KBO	TEP	KKP
001	1993 0905	2241 55.9	144.410E	42.802N	97.5		3	-	o	-	o	o
002	1993 1001	1045 9.2	144.897E	42.982N	59.2	4.0	2	-	o	-	-	-
003	1994 0218	2002 54.5	142.578E	42.590N	106.9	5.1	3	-	-	-	o	-
004	1994 0305	1702 42.3	144.190E	42.747N	100.6	4.0	2	-	-	-	o	-
005	1994 0412	0917 20.4	146.707E	44.218N	133.0	5.9	2	-	-	-	-	o
006	1994 0420	1700 28.1	143.653E	42.865N	91.5	4.0	1	-	-	-	-	o
007	1994 0429	2238 25.4	142.868E	42.983N	126.8	5.0	2	-	-	-	-	o
008	1994 0502	0522 28.6	146.077E	43.328N	59.0	4.4	2	-	-	-	-	o
009	1994 0505	1508 44.4	145.255E	43.253N	69.9	4.7	2	-	-	-	-	o
010	1994 0518	1254 00.3	149.752E	44.810N	27.0	5.9	1	-	-	-	-	o
011	1994 0625	1738 9.3	147.230E	43.643N	70.3	5.4	2	o	-	-	-	-
012	1994 0706	0127 33.3	143.975E	42.750N	107.7	4.8	3	o	-	-	-	-
013	1994 0722	0336 31.5	133.550E	42.277N	551.6	7.6	2	o	-	-	-	-
014	1994 0825	1024 47.3	145.165E	42.748N	65.1	5.3	4	o	o	o	-	o
015	1994 0825	1924 29.2	144.293E	42.285N	66.5		3	-	o	o	-	o
016	1994 0829	0337 16.7	150.858E	44.915N	45.0	6.3	1	-	-	-	-	o
017	1994 0831	1807 29.0	146.068E	43.490N	83.6	6.5	5	o	o	o	-	o
018	1994 1004	2222 56.3	147.708E	43.372N	23.0	8.1	6	o	o	-	o	o
019	1994 1004	2242 51.8	147.022E	43.632N	4.0	6.3	3	o	o	-	o	o
020	1994 1004	2312 6.6	147.092E	43.547N	7.0	5.5	2	o	-	-	-	o
021	1994 1005	0024 08.9	148.492E	43.227N	0.0	6.7	3	o	o	-	o	o
022	1994 1005	0035 0.6	146.955E	43.453N	69.0	5.8	3	o	o	-	o	o
023	1994 1005	0055 17.1	146.678E	43.232N	39.5	5.0	1	-	-	-	-	o
024	1994 1005	0100 58.8	148.370E	43.322N	6.0	6.4	2	o	-	-	-	-
025	1994 1005	0124 37.2	146.478E	43.148N	42.1	5.3	2	o	o	-	-	o
026	1994 1005	0207 11.1	147.367E	43.427N	14.0	5.0	1	-	-	-	-	o
027	1994 1005	0256 10.2	147.175E	43.622N	48.5	5.1	1	-	-	-	-	o
028	1994 1005	0309 39.9	147.410E	43.458N	16.0	5.8	3	o	o	-	o	o
029	1994 1005	0416 32.5	147.208E	43.638N	22.0	5.8	3	o	o	-	o	o
030	1994 1005	0501 11.3	147.238E	43.588N	59.3	5.9	3	o	o	-	o	o
031	1994 1005	0639 31.7	147.092E	43.507N	37.2	5.3	2	-	-	-	-	o
032	1994 1005	0756 29.6	147.417E	43.362N	18.0	5.6	1	-	-	-	-	o
033	1994 1005	0935 4.2	147.015E	43.563N	39.0	5.2	2	-	-	-	-	o
034	1994 1005	0945 22.2	145.975E	43.223N	77.4	5.0	3	o	o	-	o	o
035	1994 1005	1026 48.0	147.438E	43.727N	21.0	5.0	1	-	-	-	-	o
036	1994 1005	1114 16.8	147.180E	43.635N	40.0	5.6	2	o	-	-	-	o
037	1994 1005	2134 44.6	147.232E	43.023N	46.0	5.5	2	-	o	-	-	o
038	1994 1006	0539 51.3	147.170E	43.682N	30.0	6.2	3	o	o	-	o	o
039	1994 1007	1136 11.7	147.195E	43.337N	45.6	5.8	3	o	o	o	o	o
040	1994 1007	1600 54.0	146.760E	42.948N	45.8	5.6	2	o	-	o	-	o

表 2. 釧路市における強震観測スコア表 (つづき).

No	Date	Time	Lon	Lat	Dep	Mag	C	KCH	HEU	KBO	TEP	KKP		
041	1994	1008	0024	2.7	146.145E	42.873N	31.8	5.6	2	o	o	o	-	o
042	1994	1008	1428	29.0	146.532E	43.082N	36.4	5.4	1	-	o	-	-	-
043	1994	1008	1928	42.8	147.325E	42.867N	40.0	5.1	1	-	o	-	-	-
044	1994	1008	2113	49.1	147.513E	43.012N	34.0	5.4	1	-	o	-	-	-
045	1994	1009	1655	39.0	147.807E	43.555N	0.0	7.0	4	o	o	o	-	o
046	1994	1009	1748	56.2	147.763E	43.573N	0.0	6.0	2	o	o	o	-	o
047	1994	1009	2124	25.4	147.228E	43.597N	42.0	5.7	3	o	o	o	-	o
048	1994	1012	1850	46.9	146.842E	43.242N	37.0	4.9	1					o
049	1994	1016	1410	07.9	149.083E	44.962N	144.0	7.0	3	o	o	o	o	o
050	1994	1019	0212	54.1	147.057E	43.323N	66.3	6.2	3	o	o	o	o	o
051	1994	1025	0426	29.4	146.930E	42.933N	50.4	5.6	2	o	-	o	o	o
052	1994	1025	2230	26.5	147.588E	43.537N	5.5	5.2	1	-	-	-	-	o
053	1994	1110	0321	5.6	147.053E	43.265N	56.1	5.8	2	o	-	o	-	o
054	1994	1120	0646	52.7	146.798E	43.038N	43.5	5.4	2	o	o	-	-	o
055	1994	1120	1730	14.5	146.827E	43.032N	49.3	5.1	1	-	-	-	-	o
056	1994	1121	2055	33.8	145.575E	42.933N	54.8	5.0	3	o	o	o	o	o
057	1994	1122	2011	59.9	147.218E	43.668N	44.0	5.8	3	o	o	o	o	o
058	1994	1124	0956	30.6	144.385E	42.528N	80.3		3	-	-	o	o	o
059	1994	1130	1006	40.6	143.135E	42.858N	115.9	4.6	2	-	-	-	-	o
060	1994	1205	0221	25.6	145.002E	41.985N	50.0	4.4	2	-	-	-	-	o
061	1994	1220	1416	56.7	147.628E	43.553N	15.0	5.1	1	-	-	-	-	o
062	1994	1228	2119	20.9	143.748E	40.427N	0.0	7.5	3	o	o	o	o	o
063	1994	1229	0552	26.3	143.022E	40.115N	0.0	6.4	1	-	-	-	-	o
064	1994	1229	0629	49.7	142.963E	40.082N	0.0	5.1	1	-	-	-	-	o
065	1994	1229	0754	44.9	143.902E	40.258N	0.0	5.9	1	-	-	-	-	o
066	1994	1230	0029	29.1	142.183E	40.730N	52.5	5.6	1	-	-	-	-	o
067	1995	0101	1559	55.7	143.845E	40.603N	0.0	6.4	2	-	-	-	-	o
068	1995	0107	0737	37.1	142.308E	40.220N	47.8	7.2	3	o	o	o	o	o
069	1995	0107	1136	8.7	142.425E	40.277N	38.0	6.2	2	-	-	-	-	o
070	1995	0111	1648	23.7	142.593E	41.842N	56.1	5.1	2	-	o	-	-	o
071	1995	0112	1926	48.3	147.333E	43.733N	37.0	6.0	3	o	o	o	o	o
072	1995	0113	1213	0.5	147.065E	42.975N	37.9	5.7	2	-	-	-	-	o
073	1995	0120	1235	48.6	146.737E	43.153N	61.0	5.5	2	o	-	o	-	o
074	1995	0121	1747	31.5	146.735E	43.152N	59.9	6.1	4	o	o	o	o	o
075	1995	0206	2251	34.3	142.272E	41.137N	56.0	5.5	2	-	-	-	-	o
076	1995	0215	0855	32.2	144.845E	42.503N	45.3	4.7	4	o	o	o	o	o
077	1995	0215	0956	43.2	144.833E	42.515N	46.0	4.5	3	o	o	o	o	o
078	1995	0217	0916	31.5	141.765E	42.552N	133.6	4.4	2	-	-	-	-	o
079	1995	0218	2229	08.9	146.025E	46.190N	353.0	5.7	2	-	-	-	-	o
080	1995	0219	1345	54.6	146.675E	43.042N	49.5	5.4	2	o	-	o	o	o

表 2. 釧路市における強震観測スコア表 (つづき).

No	Date	Time	Lon	Lat	Dep	Mag	C	KCH	HEU	KBO	TEP	KKP
081	1995 0310	1422	21.2	143.523E	45.905N	368.5	5.8	3	0	-	-	0
082	1995 0312	0021	10.6	148.047E	43.765N	6.0	5.8	2	0	-	0	0
083	1995 0331	2301	40.9	135.395E	38.108N	390.1	6.4	2	-	0	-	0
084	1995 0414	0843	54.1	147.292E	43.575N	38.0	5.3	2	0	-	-	0
085	1995 0415	1436	34.8	147.287E	43.650N	45.0	5.5	2	0	-	0	0
086	1995 0418	0828	06.7	151.838E	46.130N	59.0	6.9	2	0	-	0	0
087	1995 0419	0717	52.0	144.225E	43.017N	93.1		2	-	0	-	0
088	1995 0419	1250	04.2	148.112E	43.775N	1.0	5.6	1	-	-	-	0
089	1995 0421	0915	1.1	146.197E	43.125N	58.8	4.6	1	-	-	-	0
090	1995 0425	1904	29.1	145.512E	42.903N	47.9	4.2	1	-	-	-	0
091	1995 0429	0130	0.8	147.887E	43.707N	3.0	6.5	3	0	-	0	0
092	1995 0429	0208	41.9	148.012E	43.723N	3.0	6.0	2	0	-	0	0
093	1995 0502	1254	9.6	147.255E	43.152N	46.0	5.4	2	-	-	-	0
094	1995 0509	2339	19.1	146.222E	43.288N	83.4		2	-	-	-	0
095	1995 0518	2331	15.6	147.575E	43.957N	102.0	5.6	2	0	-	0	0
096	1995 0525	1359	49.6	147.280E	43.640N	30.0	5.7	3	0	0	0	0
097	1995 0605	0012	3.4	145.250E	42.962N	85.4	4.2	2	-	-	-	0
098	1995 0608	0823	21.1	147.053E	43.388N	80.5	5.0	2	-	-	-	0
099	1995 0609	1710	41.9	147.333E	43.662N	25.0	5.1	2	-	-	-	0
100	1995 0625	1703	31.4	146.490E	43.157N	44.0	4.9	1	-	-	-	0
101	1995 0627	0557	25.0	144.425E	42.550N	54.0	3.8	2	-	-	-	0
102	1995 0704	0628	3.0	145.877E	43.067N	75.2	4.4	1	-	-	-	0
103	1995 0723	0339	41.9	144.357E	43.317N	106.7	4.0	3	0	0	0	0

点の地盤条件にもよるが、確実にトリガー(5点)が掛かるのは震度Ⅲ以上からである。なお、スコア表で表示した0は観測記録が得られていることを示す。スコア表の作成には、気象庁データを用いて吉井・瀧による Seis View を利用した。

1994年10月4日北海道東方沖地震(M8.1)による強震動データ

図5に強震観測事業推進連絡会議(1994)のまとめた、1994年北海道東方沖地震の強震動データから得た水平加速度最大値の距離減衰を示す。この地震の震央から釧路市までの距離は、約270kmである。我々担当の観測点は、約1.5km四方の範囲に含まれるので、観測点間で震央距離の差はほとんど無視できる。図1に示した共同観測網の23観測点の内、17観測点で北海道東方沖地震の強震動記録が観測された。この地震で観測された最大加速度は、JMA

における475galに対して、我々の観測点の最小値はKKPにおける138galであり、約3倍強の開きがある。丘陵部においても、HEU、TEP観測点の加速度値は大きな差が生じた。差の要因としては、表層地質の影響が考えられる。図5に示したように、低地部の小さな加速度でも、距離減衰の経験式による値よりもはるかに大きい。最大加速度をJMAからの距離の関数として示したのが図6である。但し、図6には強震動記録が得られている共同強震動観測点と、他の機関(JMA, BRI, PHRI)による最大加速度値も示した。丘陵部の観測値を●印で、低地部の観測値を■印で示してある。この図から、上述の特徴を、より明確に理解することができる。この図には、1993年釧路沖地震(M7.8)のデータも◇印で示している。最大加速度は地震によって不安定な量として考えられがちだが、最大加速度の相対関係は釧路沖地震と北海道東方沖地震で同じ傾向を示している。

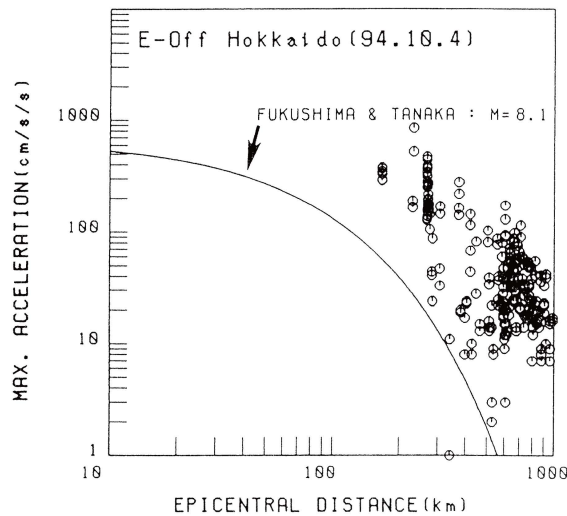


図 5. 1994 年北海道東方沖地震の水平動最大加速度の距離減衰。データは強震観測事業推進連絡会議（1994）による。

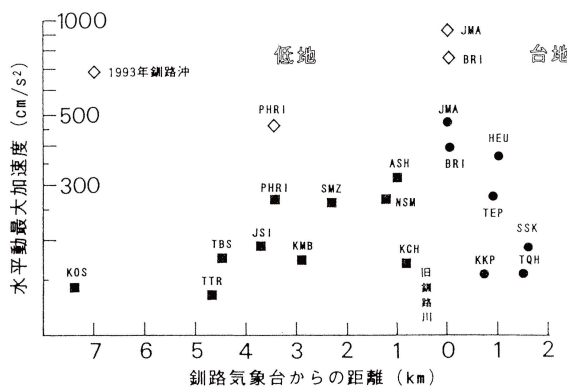


図 6. 釧路地方気象台 (JMA) からの距離を関数として見た釧路市内の 1994 年北海道東方沖地震、1993 年釧路沖地震による水平動最大加速度の分布。

この地震で観測された加速度波形、応答スペクトル、数値積分によって求めた速度・変位波形を観測点ごとに示す。KCH 観測点を図 7、HEU 観測点を図 8、TEP 観測点を図 9、KKP 観測点を図 10 に示す。同図には、加速度記象 (a)、応答スペクトル (b)、速度記象 (c)、変位記象 (d) を表す。速度、変位波形の解析は、0.05 Hz のカットオフ周波数とする Butterworth filter を共通に用いた。

また、数値積分は時間領域での直接積分法を用いた。図 11 に我々の 4 観測点の加速度周波数スペクトルを比較した。上下動は観測点間の差は僅少である。一方、水平動は 1 Hz による低周波ではほぼ均質な値を示しているが、高周波で大きな差が生じている。とくに HEU では 3~4 Hz に大きな振幅を示しており、加速度が大きくなった原因である。KKP では 4 Hz より高周波で減衰が著しいが、加速度が小さかったことの要因であろう。KKP での加速度は他

の丘陵部の観測点に比べて小さかったが、建物周辺地盤にわずかであるが沈下が見られた。ごく表層 (1~2 m 程度) は盛土であり、N 値 (標準貫入試験) が 10 以下の軟弱層が 10 m 程度 (観測点直下) であり、地盤の非線形性の影響が伺われる。最大加速度は HEU の 374 gal から KKP の 153 gal と 2 倍強の違いが生じている。一方、最大速度・最大変位については 2 割程度の差に留まっている。この事情は対象とする周波数帯域に異存するが、EW・UD 成分に顕著な 5~6 秒の波動成分が大きく寄与していると考えられる。

北海道東方沖地震、KKP 観測点での余震観測

1994 年 10 月 4 日に発生した北海道東方沖地震では、北海道大学理学部と東京大学地震研究所強震観測室で急遽共同余震観測を実施することになった。観測場所は、ESG 共同強震動観測で既に観測を実施していた KKP 観測点である。余震観測の目的は、表層地盤および建物による地盤との相互作用の影響を究明することにあつた。我々は、余震観測に必要な観測器材を急遽整え、5 日夕刻には釧路空港へ向け発送した。10 月 6 日 11 時頃、釧路空港で観測器材を受け取り、午後には KKP 観測点で北大観測班と合流した。最初の作業は基準点における地震計の設置であり、校舎前春採湖遊歩道脇に砂岩が露出していたので、遊歩道保護防止用コンクリートブロック上に決定した (保護壁の基礎部は露頭砂岩に密着している)。収録部は所要電源の関係と保安上の問題等で校舎内電気室に設置した。地震計設置点まで約 140 m のケーブルを引き、夕刻には観測体制に入った。翌日には校舎 1 階床と 3 階床に地震計を設置した。校舎敷地内で、休祭日 (9、10 日) を利用して図 12 に示したアレー観測を展開することになった。

地震計設置は、敷地内に多数の信号ケーブルを引く関係と人的振動ノイズ源を避ける意味で、8 日 (土曜日) の生徒下校後に設置作業を進め、夕刻には観測体制に入ることができた。また、アレー観測点の地震計配置は図 12 に示したように、A1-A4 および D は Free-field に設置した。D は遊歩道脇コンクリートブロック上の基準点である。C は共同観測の観測点である。B1、B2 は校内の 1 階および 3 階の床に設置した。A1-A4 は直接地表に、東西に 15 m 間隔で設置した。使用した観測計器は、A1-A4、B1、B2、D では可動コイル型・固有周期 1 秒のセンサー 3 成分 (ただし、B2 は上下動なし) をダンピング: $h=6.5$ で使用しており、0.1-10 Hz の範囲でほぼ平坦な加速度出力が得られる。C は共同観測の KKP 観測点で、SMAD-1 型の強震計である。観測は学校の利用が可能なわずかな期間 (8~10 日) であったが、9 日 (16 時 56 分) に M7.0 の東方沖地震の最大余震が発生し、貴重な観測記録を得ることに成功した。また相当数の余震記録が得られており、今後検討を深めた

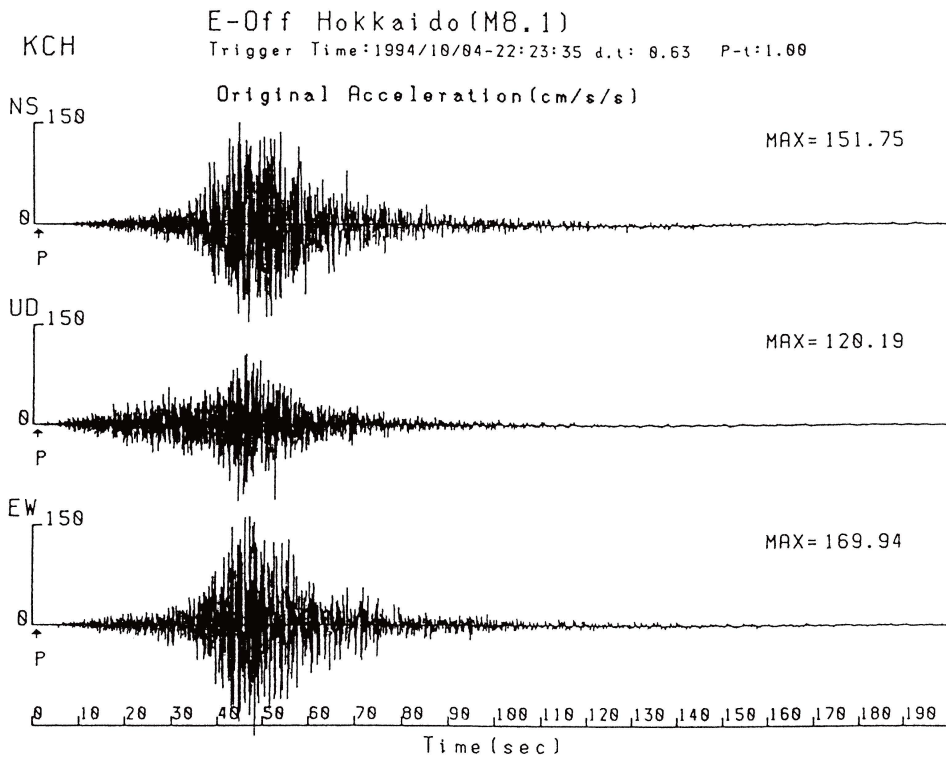


図 7 (a). 北海道東方沖地震 (1994 年 10 月 4 日, M8.1)
KCH 観測点 (北海道教育大学釧路分校) の加速度記象 (3 成分)

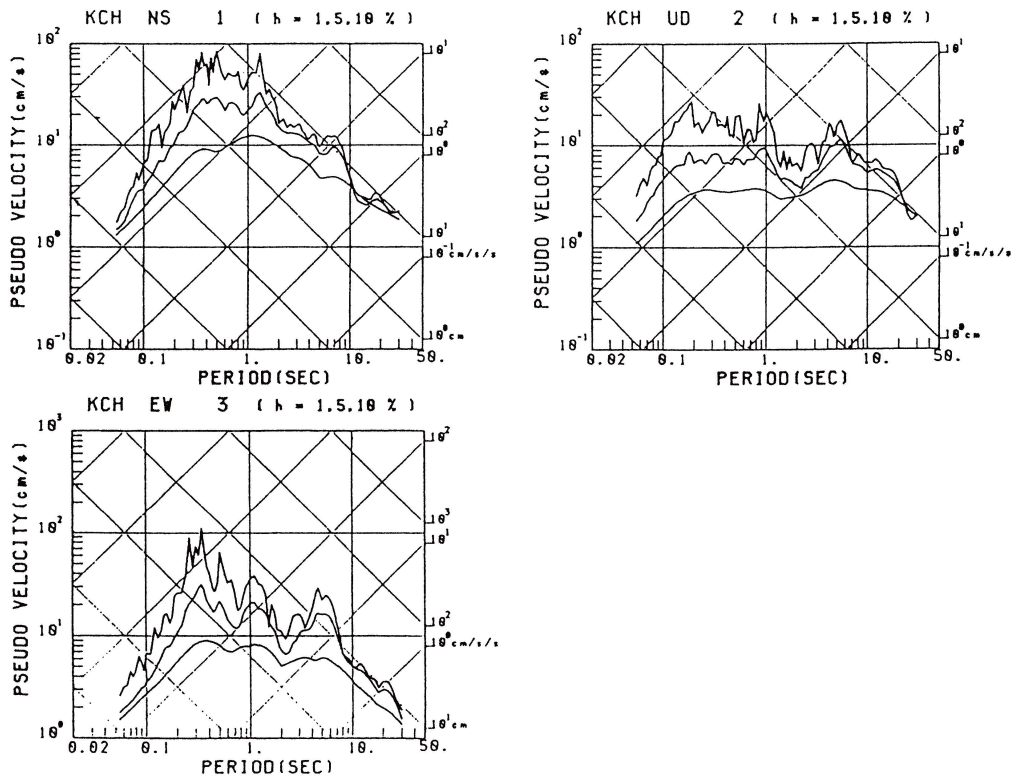


図 7 (b). 応答スペクトル damping values : 1.5 and 10%

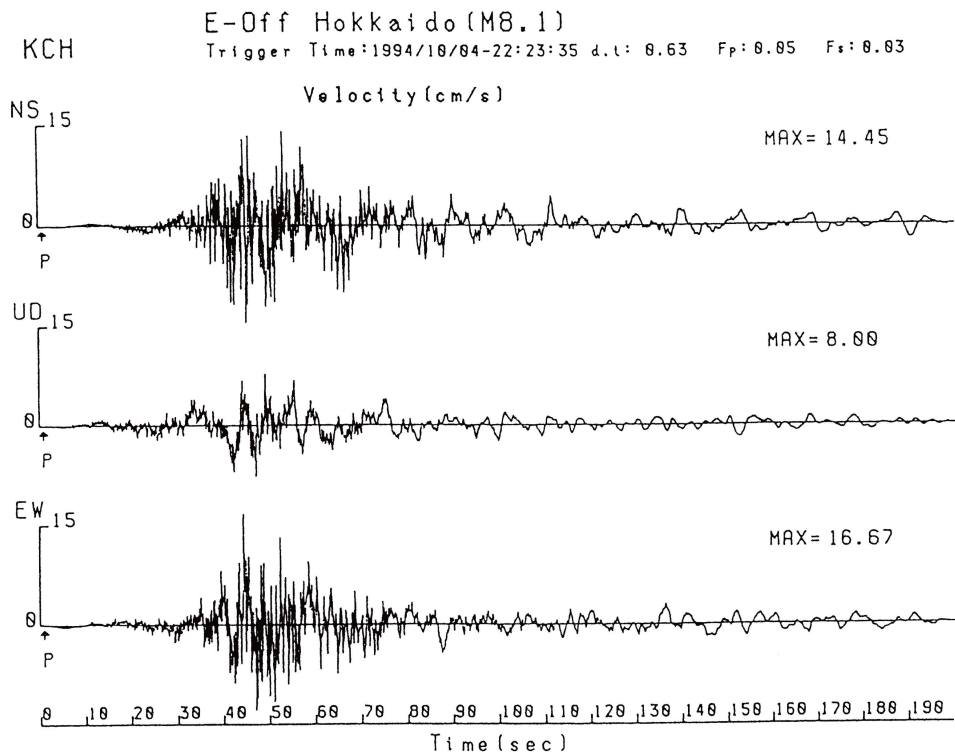


図 7 (c). 北海道東方沖地震 (1994 年 10 月 4 日, M8.1)
 KCH 観測点 (釧路市役所) の数値積分による速度記象 (3 成分)

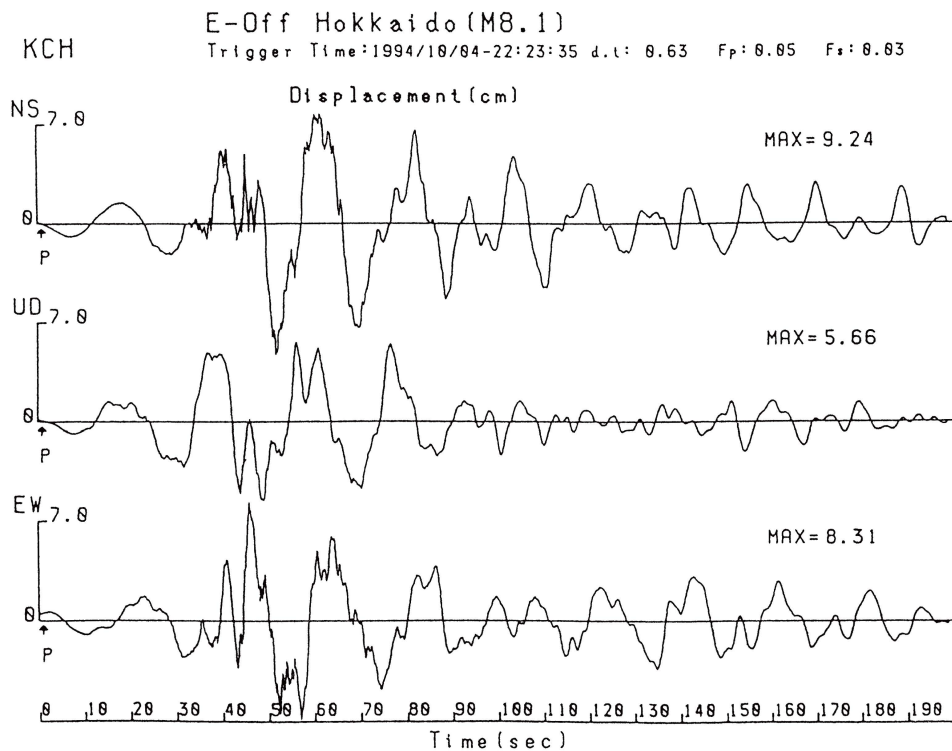


図 7 (d). 北海道東方沖地震 (1994 年 10 月 4 日, M8.1)
 KCH 観測点 (釧路市役所) の数値積分による変位記象 (3 成分)

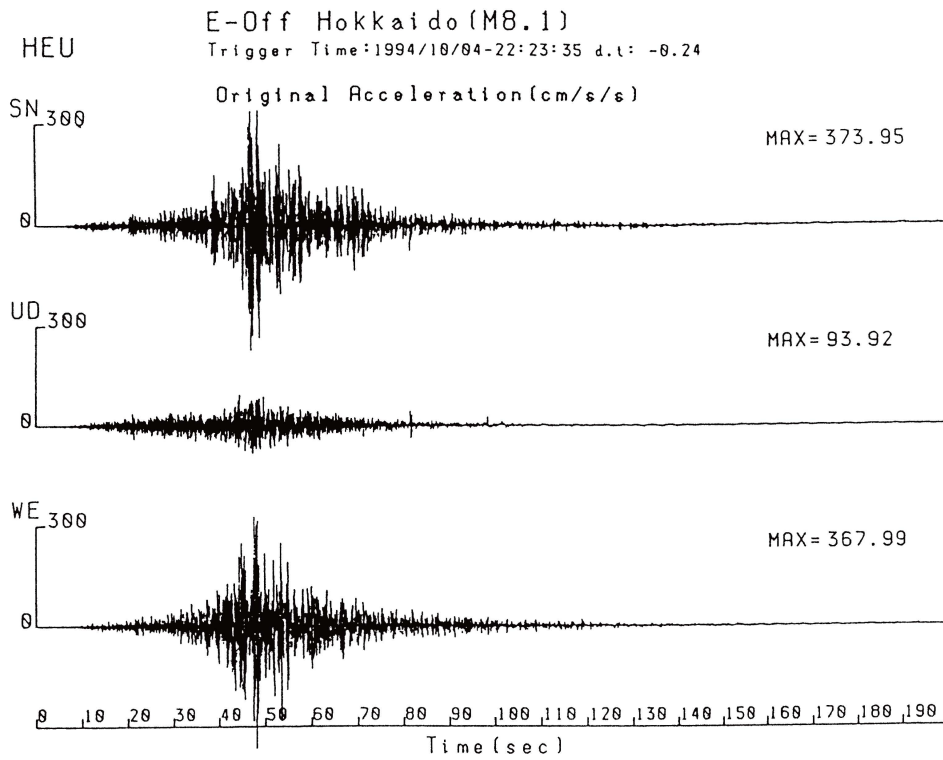


図 8 (a). 北海道東方沖地震 (1994 年 10 月 4 日, M8.1)
HEU 観測点 (北海道教育大学釧路分校) の加速度記象 (3 成分)

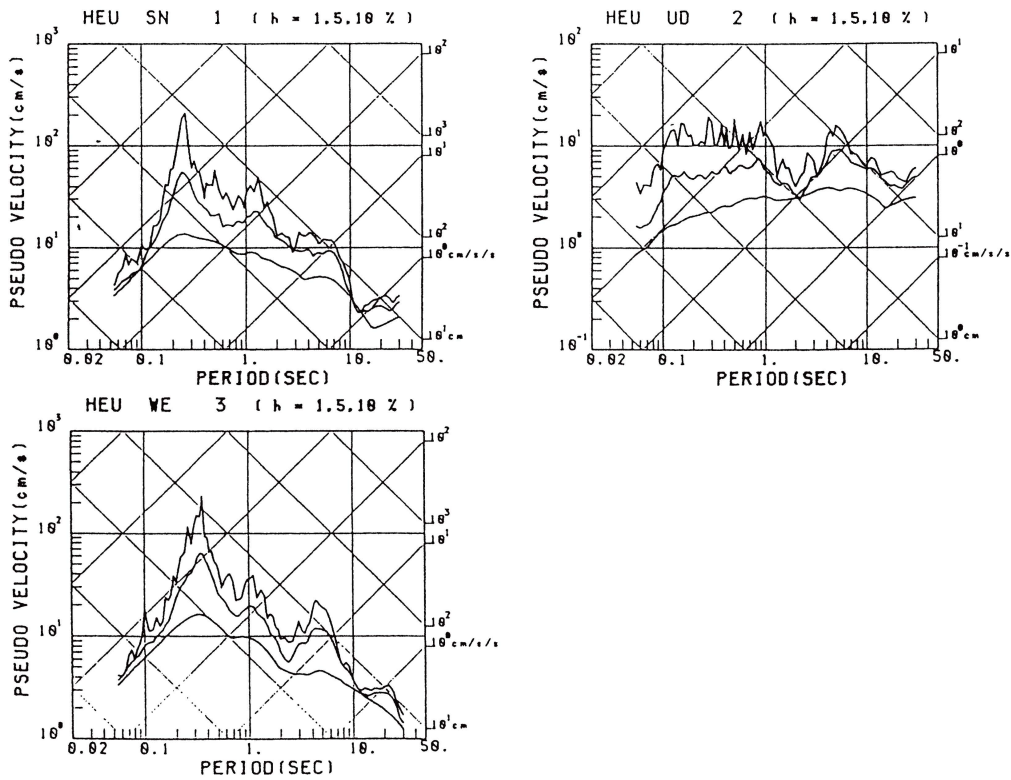


図 8 (b). 応答スペクトル damping values : 1.5 and 10%

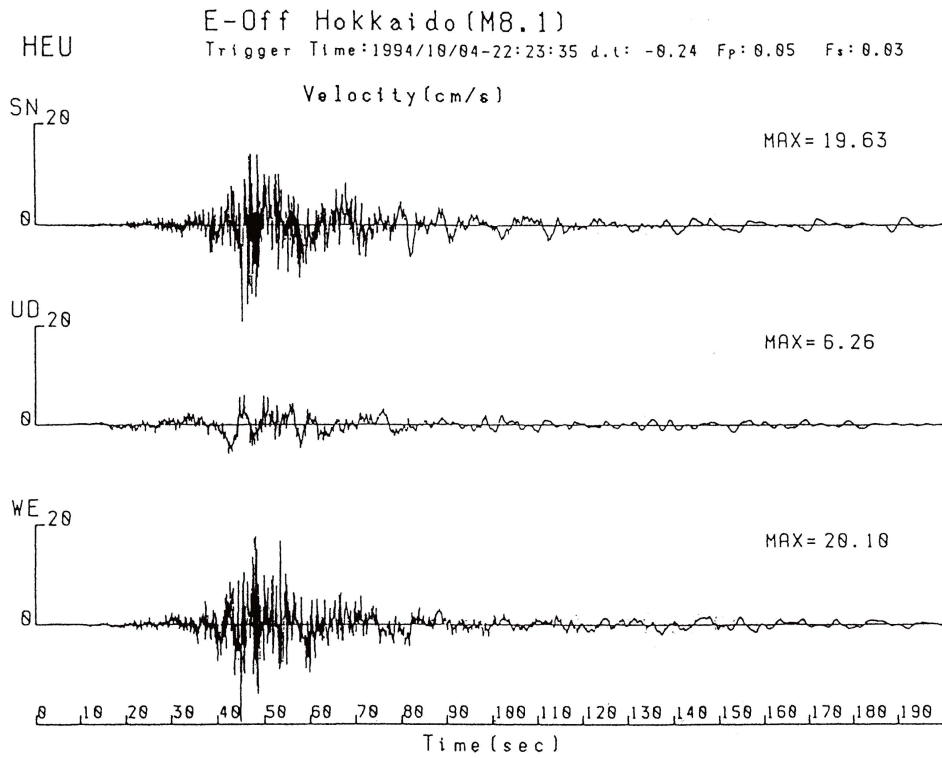


図 8 (c). 北海道東方沖地震 (1994 年 10 月 4 日, M8.1)
 HEU 観測点 (北海道教育大学釧路分校) の数値積分による速度記録 (3 成分)

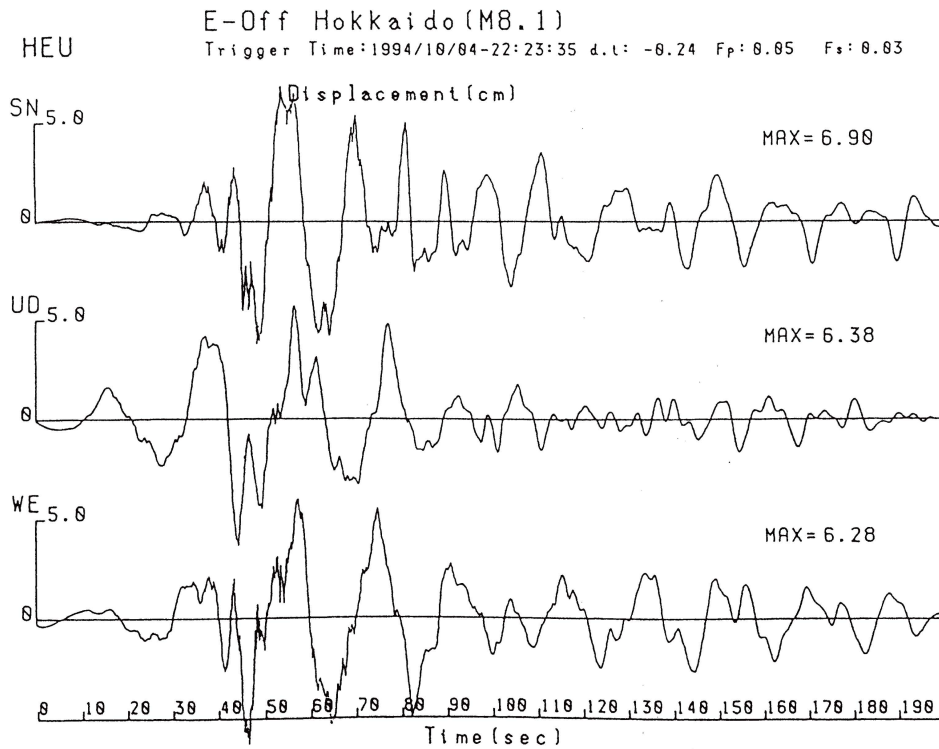


図 8 (d). 北海道東方沖地震 (1994 年 10 月 4 日, M8.1)
 HEU 観測点 (北海道教育大学釧路分校) の数値積分による変位記録 (3 成分)

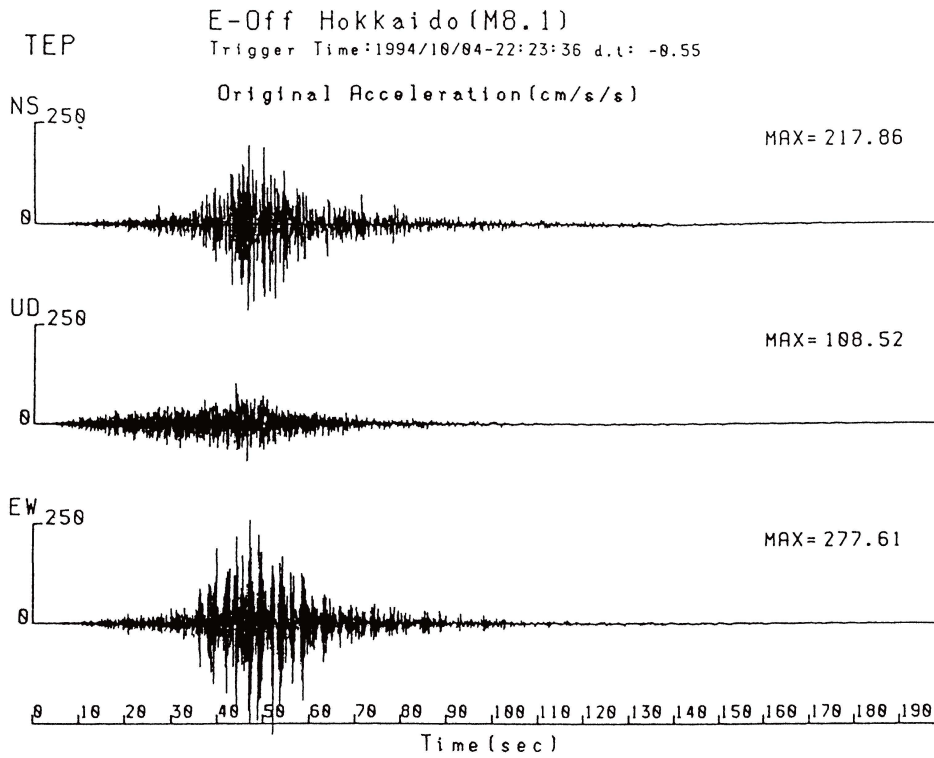


図 9 (a). 北海道東方沖地震 (1994 年 10 月 4 日, M8.1)
TEP 観測点 (市立東栄小学校) 加速度記象 (3 成分)

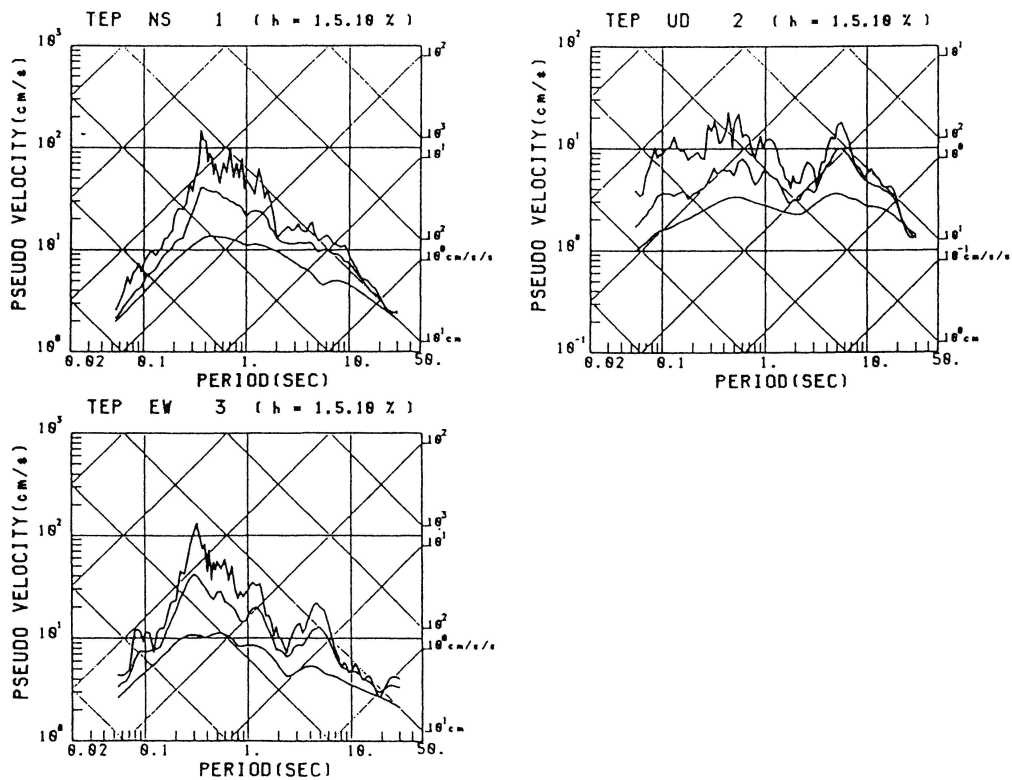


図 9 (b). 応答スペクトル damping values : 1.5 and 10%

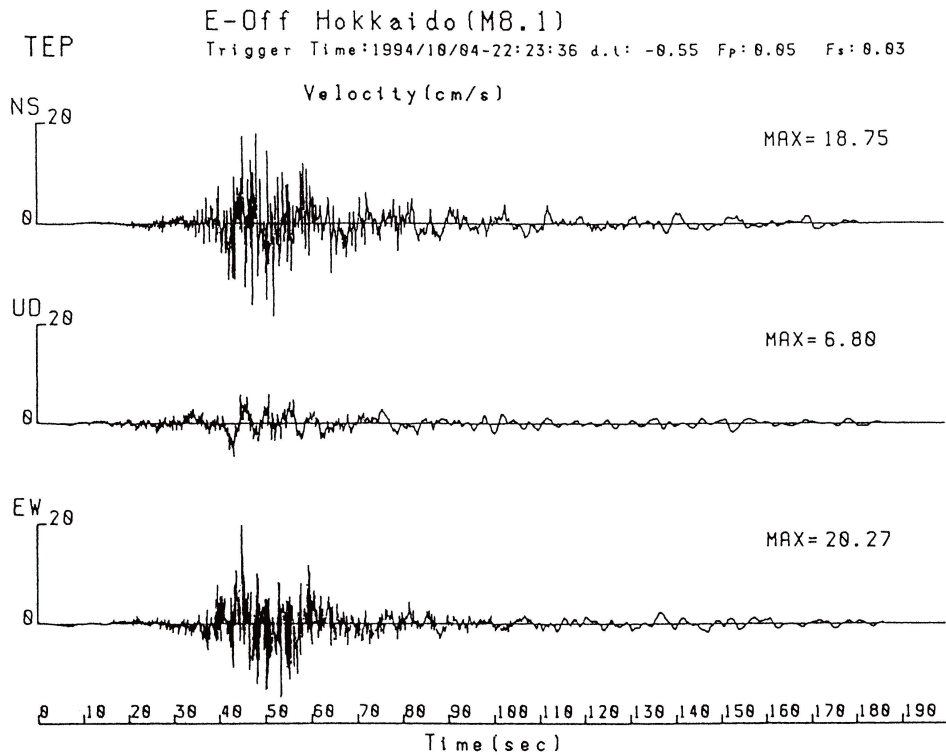


図 9 (c). 北海道東方沖地震 (1994 年 10 月 4 日, M8.1)
TEP 観測点 (市立東栄小学校) の数値積分による速度記録 (3 成分)

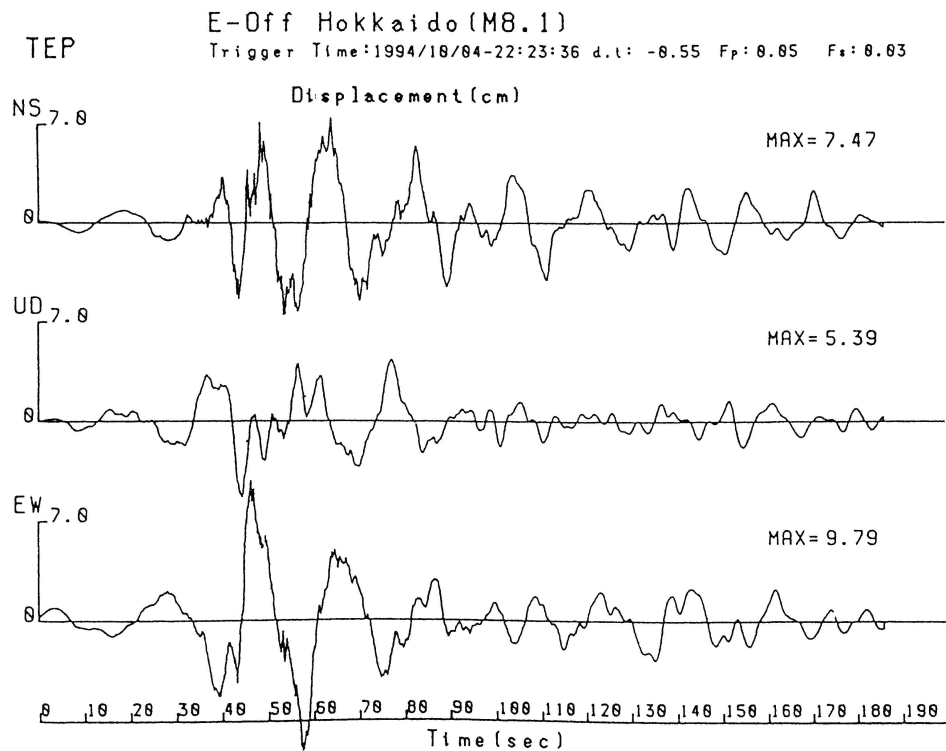


図 9 (d). 北海道東方沖地震 (1994 年 10 月 4 日, M8.1)
TEP 観測点 (市立東栄小学校) の数値積分による変位記録 (3 成分)

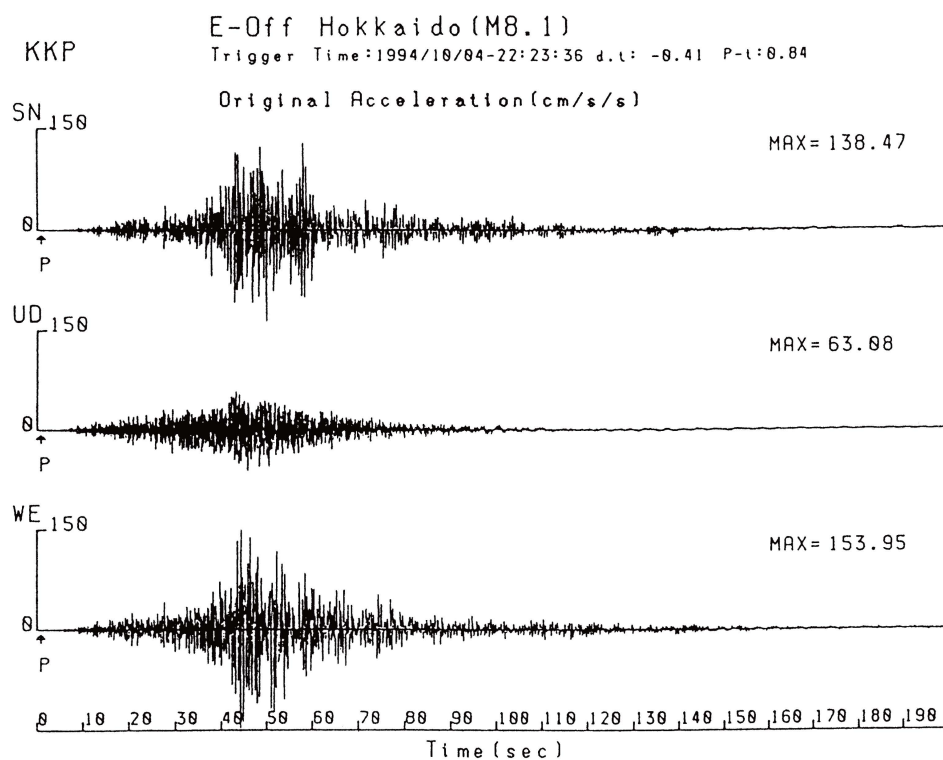


図 10 (a). 北海道東方沖地震 (1994 年 10 月 4 日, M8.1)
KKP 観測点 (市立柏木小学校) の加速度記象 (3 成分)

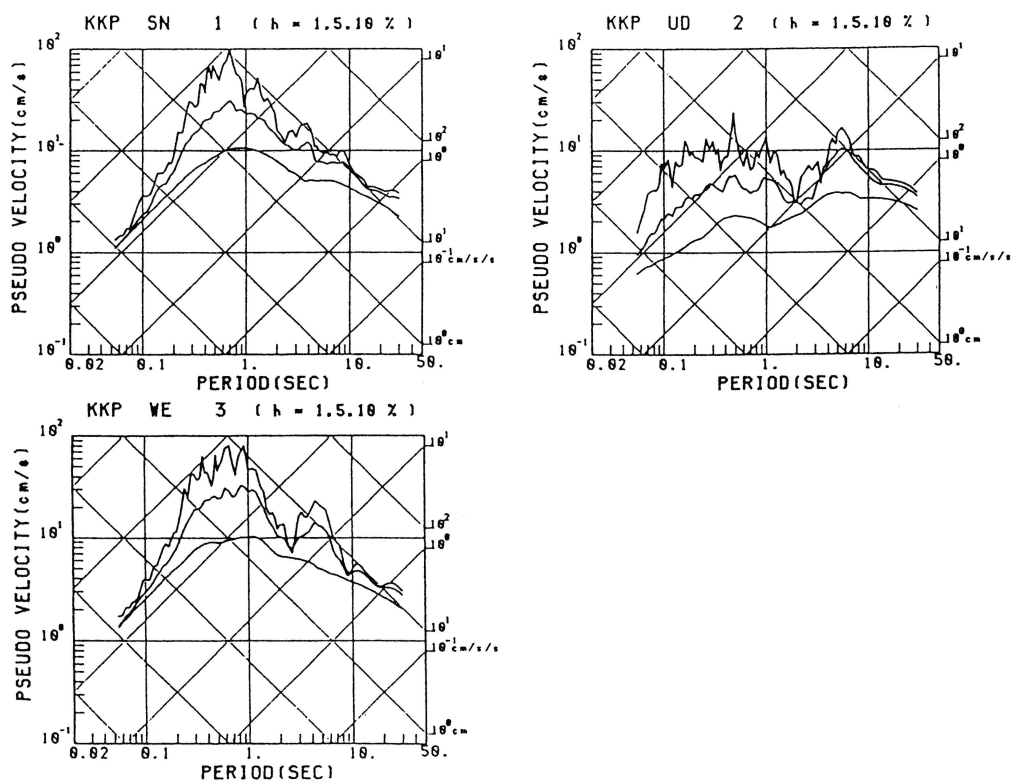


図 10 (b). 応答スペクトル damping values : 1.5 and 10%

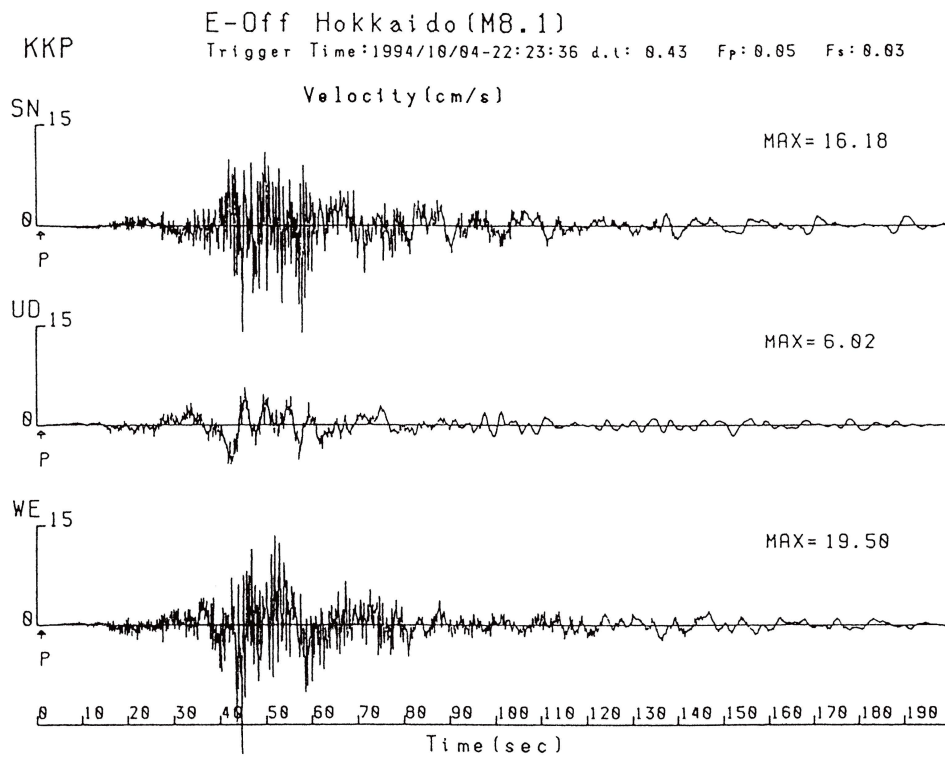


図 10 (c). 北海道東方沖地震 (1994 年 10 月 4 日, M8.1)
KKP 観測点 (市立柏木小学校) の数値積分による速度記象 (3 成分)

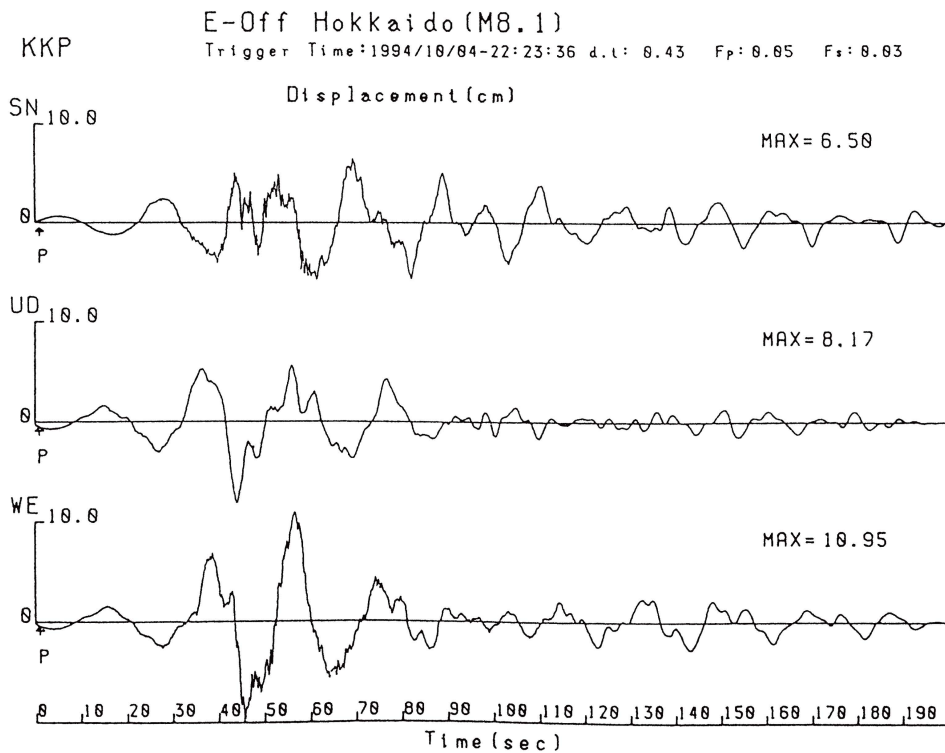


図 10 (d). 北海道東方沖地震 (1994 年 10 月 4 日, M8.1)
KKP 観測点 (市立柏木小学校) の数値積分による変位記象 (3 成分)

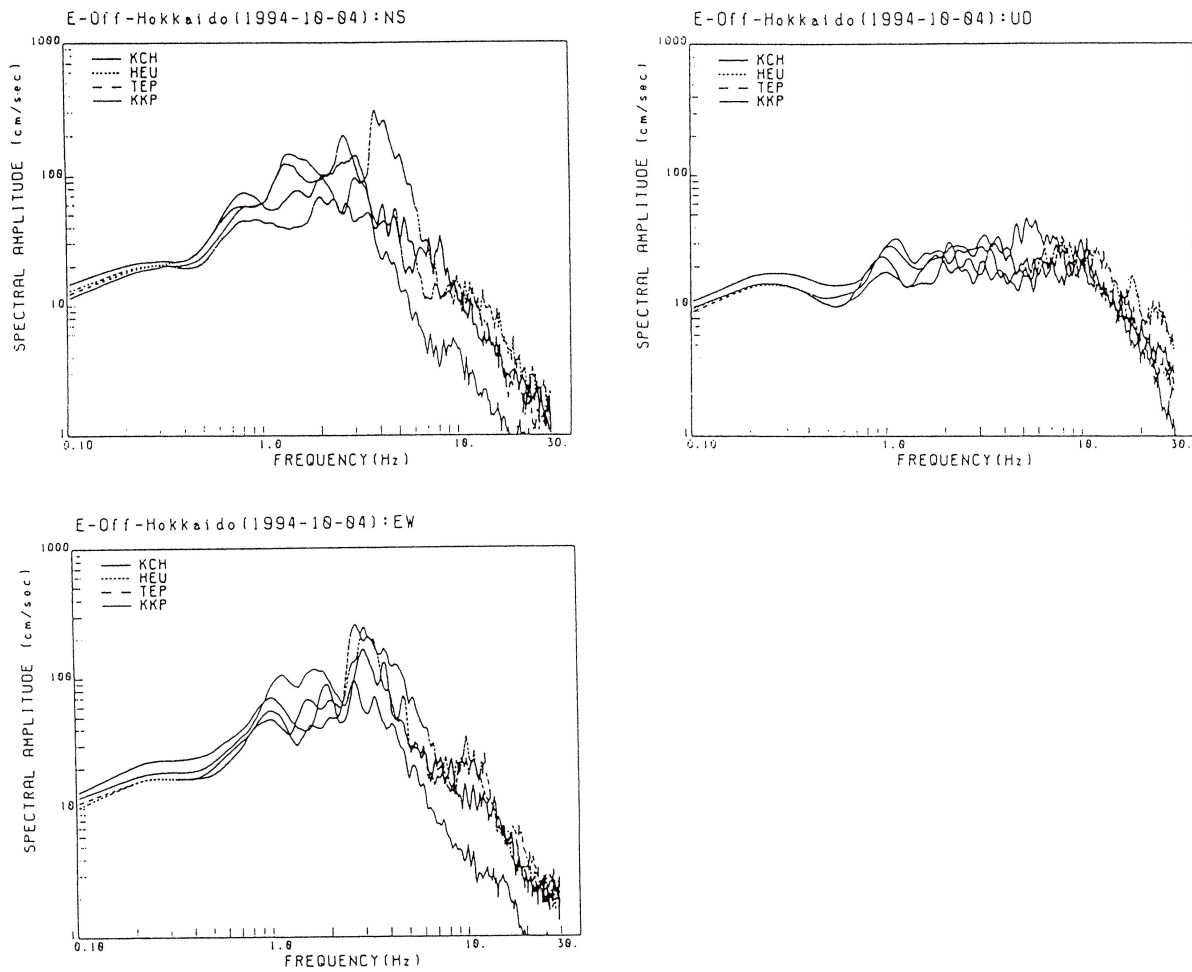


図 11. 4観測点 (KCH, HEU, TEP, KKP) 加速度フーリエスペクトル

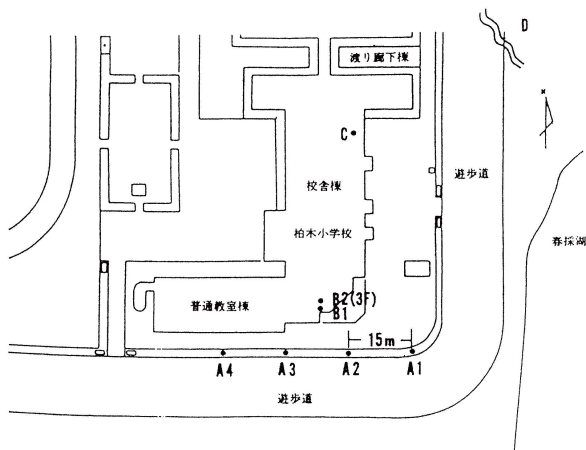


図 12. KKP 観測点 (柏木小学校) 周辺とアレー観測点の位置

い。また、建物との相互作用などの影響を含めた詳細な吟味も必要と考えている。図 13 に図 12 の B2 (3F) 観測点を除くアレー観測記録を示す。

全観測点の加速度記録の内、EW 成分の時刻を合わせ並べてある。アレー観測の水平距離が 200 m 以下にもかかわらず、最大加速度は 3 倍程度の差が生じた。また、A1-A4 の短いスパンでも 2 倍程度の差が生じている。記録は加速度記象 (a)、速度記象 (b)、変位記象 (c) の EW 成分である。とくに、変位記象では周期数秒の波が卓越し、振幅・位相とも相互に良く対応している。しかし、速度記象では加速度と同様に短周期地震動の設置箇所による違いが大きく、最大値のみに着目すれば約 3 倍の差が生じている。積分に関する解析方法は、北海道東方沖 (M8.1) 地震で用いた手法と同様である。

ま と め

本報告は釧路市での ESG 高密度強震動観測の共同強震動観測に参加した内容を主にまとめたものである。内容としては、観測実行計画から観測点配置、観測点状況 (設置計器)、釧路市周辺の地質、観測期間内で得られた地震記録の観測結果および解析結果等である。観測記録と解析結果

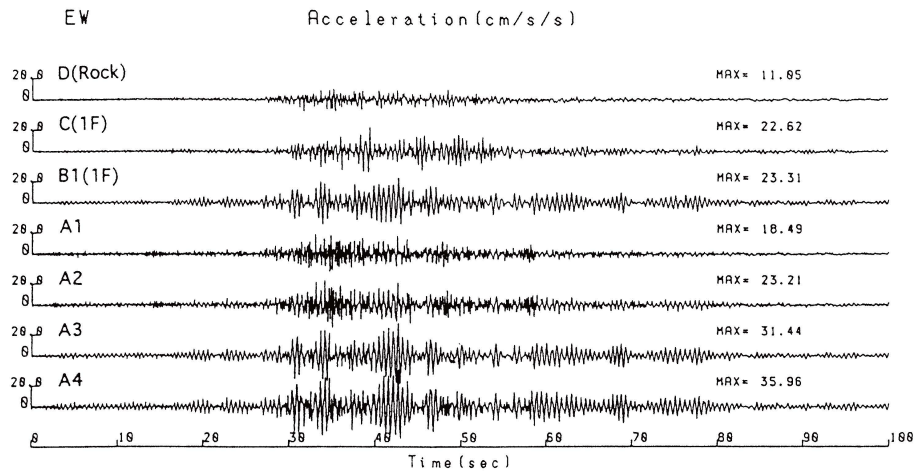


図 13 (a). 最大余震 (1994年10月9日, M7.0) によるアレー観測記録. 加速度記録. EW成分 (ほぼ Radial成分に相当)

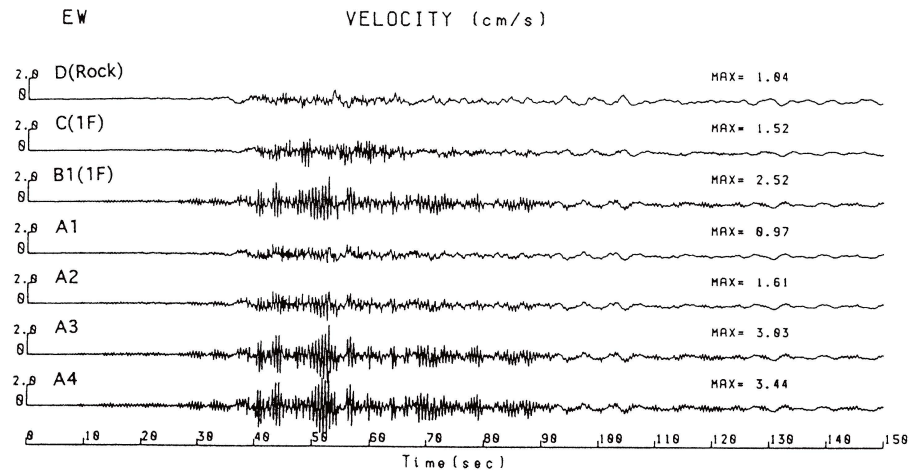


図 13 (b). 最大余震 (1994年10月9日, M7.0) によるアレー観測記録. 数値積分による速度記録. EW成分 (ほぼ Radial成分に相当)

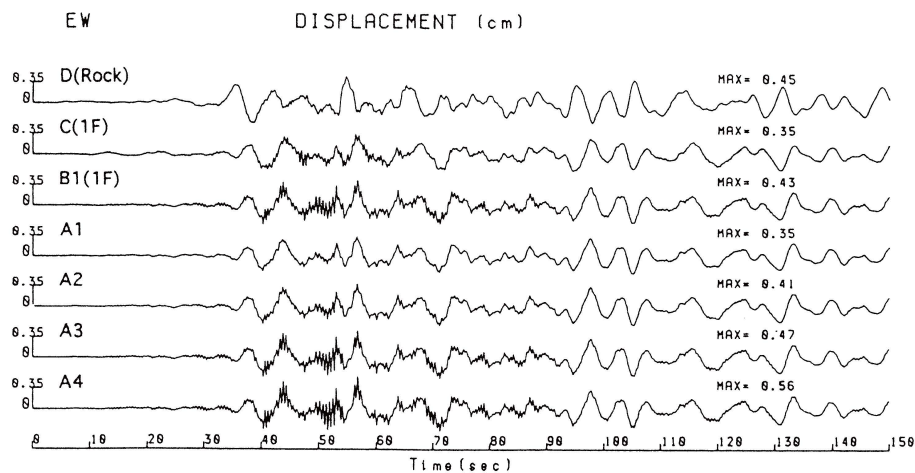


図 13 (c). 最大余震 (1994年10月9日, M7.0) によるアレー観測記録. 数値積分による変位記録. EW成分 (ほぼ Radial成分に相当)

は、北海道東方沖地震（M8.1）で得られた強震観測室担当の5観測点（KCH, HEU, KBO, TEP, KKP）に限定した。また、北海道東方沖地震発生に伴い行ったKKP観測点での余震アレー観測の結果についてもまとめた。今回実施した大規模な共同強震動観測は、今後の強震観測にとって貴重な試みであった。また、多数の機関が一同に参加しての観測は、これからの観測体制に新風を巻き起こした感じがする。共同強震動観測とはいえ、観測機器や経費など全て手弁当での実施は画期的なことであった。各観測点で得られた強震動データは、参加グループの共通の資料として各機関で幅広く利用され、地震工学や他の学問分野においても貴重な基礎データを提供できたと自負している。ESG共同強震動観測での強震動データは、(財)震災予防協会から配布されている（震災予防協会 ESG研究委員会, 1994, 1995）。ESG共同強震動観測に参加できた我々は、共同強震観測を通じ多くの研究者にお会いすることができ、多くの事について議論し、また学ばせて頂いた。この貴重な体験を今後の強震観測に生かす所存である。

謝辞：我々の担当観測点については、北海道大学理学部岡田 廣教授、同大・笹谷 努助教授、両先生が選定から折衝までして頂きました。とくに、笹谷先生には観測開始当初から広範囲にわたってご指導を頂き、厚く御礼申し上げます。また、笹谷先生はじめ、古村美津子博士、斎藤誠治博士、大学院生（D2）南雲秀樹氏、皆様には観測点のメンテナンスやデータ回収などで大変お世話になりました。強震計設置点の場所提供をして頂いた、北海道教育大学釧路分校、釧路支庁、釧路市役所、市立東栄小学校、市立柏木小学校の皆様には、長期にわたるご協力とご厚意に対し厚く御礼申し上げます。地震研究所受託研究員、植竹富一氏の集約された共同観測記録スコア表の一部を利用して頂きました。また、釧路市におけるESG共同強震動観測に参加の機会を与えて頂いた地震研究所工藤一嘉助教授には感謝を申し上げます。本報告書をまとめるにあたり、強震観測室、高橋正義助手には励ましと激励をして頂

きました。とくに、工藤先生には報告書の内容について、適切なアドバイスと強震記録の解析データはじめ、各種資料の引用について有益な助言を頂きました。ここに感謝と御礼を申し上げます。最後に、それぞれ事情の異なった各機関をまとめられた、ESG研究委員会、役員の皆様方に敬意を称します。

文 献

- ESG研究委員会, 1994, 釧路市における共同強震動観測。一データ集1一, (財)震災予防協会。
- ESG研究委員会強震動観測部会解析班, 1994, 初期解析結果。ESG研究委員会, 釧路市における共同強震動観測—1994年北海道東方沖地震—(財)震災予防協会。81-87。
- ESG研究委員会, 1995, 釧路市における共同強震動観測。1994年北海道東方沖地震, (財)震災予防協会。
- 工藤一嘉, 坂上 実, 高橋正義, ESG研究委員会, 1995, 1994, KCH, HEU, TEP, KKPにおける1994年北海道東方沖地震の記録について。釧路市における共同強震動観測—1994年北海道東方沖地震—(財)震災予防協会。57-68。
- 工藤一嘉・笹谷 努・岩田知孝・東 貞成, 1995, 1994年北海道東方沖地震による強震動—釧路市での高密度強震観測記録を中心として, 文部省科学研究費補助金, 研究代表者笠原 稔(北海道大学理学部)北海道東方沖地震およびその被害に関する調査研究。87-92。
- 工藤一嘉・笹谷 努・古村美津子・南雲秀樹・斎藤誠治・坂上 実・高橋正義, 1995, 釧路市における1994年北海道東方沖地震余震群アレー観測, 文部省科学研究費補助金, 研究代表者笠原 稔(北海道大学理学部)北海道東方沖地震およびその被害に関する調査研究。93-98。
- 釧路市史編さん事務局編, 1992, 釧路湿原, 釧路新書。
- 強震観測事業推進連絡会議, 1993, 強震速報 No. 41, 1993年1月15日釧路沖地震防災科学技術研究所強震観測事業推進連絡会議, 1994, 強震速報 No. 44, 1994年8月31日国後島付近の地震・1994年10月4日北海道東方沖地震。
- 笹谷 努, 1994, 共同強震動観測の目的。ESG研究委員会, 釧路市における共同強震動観測—データ集1一, (財)震災予防協会。5-13。
- 笹谷 努・古村美津子・南雲秀樹・斎藤誠治, 1995, 1994年北海道東方沖(M8.1)による強震動, 文部省科学研究費補助金, 研究代表者笠原 稔(北海道大学理学部)北海道東方沖地震およびその被害に関する調査研究。75-85。