

# 札幌都市域における強震動観測

## Strong Motion Observations in Sapporo Urban Districts

北海道大学大学院理学研究科

笹谷 努・吉田邦一

Graduate School of Science, Hokkaido University  
Tsutomu SASATANI and Kunikazu YOSHIDA

### Abstract

Strong motion observations are necessary to evaluate a seismic response of a given district. We have carried out strong motion observations at 15 sites in Sapporo urban districts to evaluate the seismic response. At 5 sites among them we have borehole seismometers at a depth of about 500 m. In this report we show a preliminary result of spatial variation of site amplifications in Sapporo urban districts.

We used strong motion records observed at all sites during an intermediate-depth earthquake (May, 13, 1999 ; H=104 km, M=6.4) near Kushiro. The epicentral distance to Sapporo is about 200 km. We calculated various band-pass filtered records to evaluate spatial variation of site amplifications as a function of periods. At the northern part, long-period seismic waves (about 5 sec) are strongly amplified, while at the central part, short-period seismic waves (about 1 sec) are strongly amplified. There are attributed to different underground structures between the northern and central parts.

### 1. はじめに

ある地震による、ある地域の地震動の強さ分布は、詳細なアンケート調査による震度分布をもとに考察されてきた（鏡味・他、1994）。この方法は、高密度に地震動分布を把握できる利点を有しているが、即時的には対応できない。さらに、地震動と地下構造との関係を定量的に理解するためには、やはり、強震動観測が欠かせない。最近、横浜市において高密度強震計ネット（約150ヶ所、約2.0 km 間隔）が構築され、地震動分布の即時把握、地震時の救援初動体制の立ち上げ等に活用されつつある。一方、札幌市においても震度計ネット（市内12ヶ所）が本年度中に整備されると聞いている。

本報告は、札幌都市域に展開されている、国、市、大学、民間企業による強震観測網で得られた記録をもとに、本都市域での地震応答の分布の例を示す。これは、地震動災害評価の基礎資料となるものである。

### 2. 強震動観測網

1995年兵庫県南部地震による大震災以降、札幌都市域における強震動観測網は、関係諸機関の努力により、徐々にその数を増していく。図1に、現在我々が利用できる強震動観測点（15点）の分布を示す。

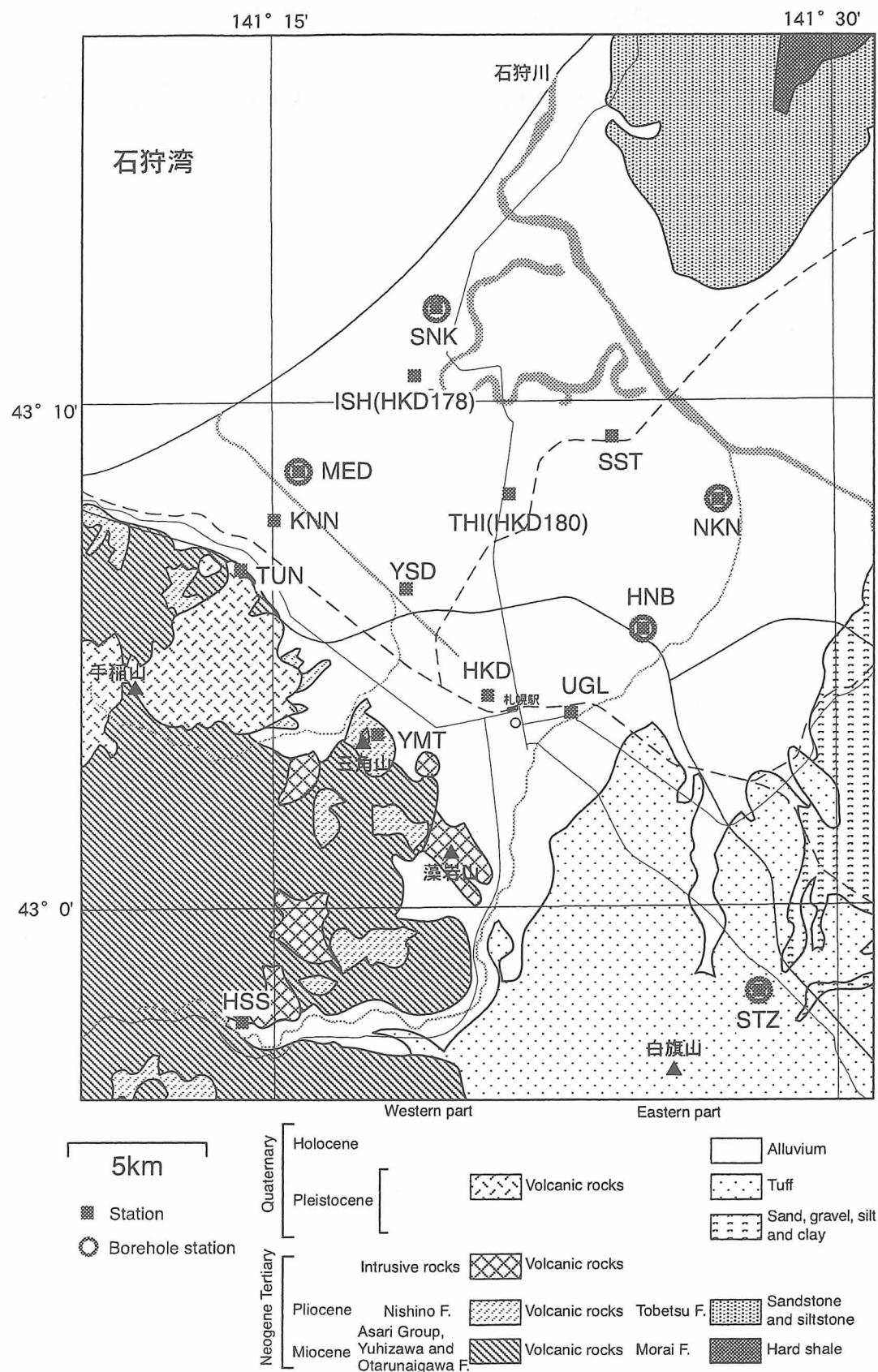


図1. 札幌都市域の強震動観測点 (■)。○印はボアホール観測点を示す。地質情報も示してある。  
石田正夫・曾屋龍典 (1980) に加筆・修正。

これらの観測点は、以下に示す諸機関に属するものである。ISHとTHIは、防災科学技術研究所のK-NET (HKD178, HKD180; Kinoshita, 1998) 観測点である。HSSは、北海道大学大学院理学研究科、地震火山観測研究センターに属しているが、そこには、防災科学技術研究所の Freesia Net (福山・他、1996) の地震計も配置されている。MED, NKN, STZは札幌市のボアホール観測点で、その坑口には地表地震計も設置されている。一方、SNK, HNB, UGLは、民間企業（上山試錐工業（株）、（株）勝島製作所）と大学（北海道大学理学研究科、工学研究科）が共同で観測している点である。残りの6観測点は、我々が独自に設置したものである。我々の観測点の多くは、一般市民の協力により、住宅（ガレージ）の一部を借用して設置されている。

図1には、地質図も同時に示してある。上記観測点の内で、HSS, YMT, TUNは、岩盤上と見なせる観測点である。ただし、HSSは、中新世の岩盤上にあるが、YMT, TUNは、山際の崖錐堆積物の上にあると考えられる。また、HKDとUGLは、豊平川の扇状地端部に位置している。その他は厚い堆積層の上にある観測点である。

札幌市の観測点 (MED, NKN, STZ) および民間と大学の共同観測点 (SNK, HNB) には、約500 mの深さにボアホール地震計が設置されている。これらの地震計は、S波速度750から1020 m/sの層に設置されている。また、UGL観測点には、地震動による建物の挙動を調べる目的で、建物外の地表とともに建物の1Fと7Fにも地震計が設置されている。

観測点の一覧は、表1にまとめてある。それぞれの機関がそれぞれの目的で設置しているので、地震計および記録計はまちまちである。また、記録の収録方法も、連続とイベント・トリガーとが混在している。さらに、4観測点では、時計の精度に問題がある。しかし、これらによって得られた地震記録は、次に示すように、札幌都市域の地震応答に関するきわめて重要な情報をもたらす。図1の全観測点が稼動するようになつたのは、1999年の1月である。観測された地震に関する情報（星取表）は一部未整理であるが、1999年5月13日に釧路中南部で発生したやや深発地震 ( $H=104$  km,  $M=6.4$ ) による地震動を図1の全点で記録した。

表1 観測点一覧 (1999年12月現在)

観測点	センサー	収録装置	時刻較正	ビット数	収録方式	表層地質	観測開始時期
HKD	VS-1*	PDAS100	手動	16	トリガー	第四紀堆積物	1997年1月
KNN	VSE-11/12	LS8000WD	GPS	24		第四紀堆積物	1998年6月
SST	VSE-11/12	PDAS100	手動	16		第四紀堆積物	1996年5月
TUN	JEP-6A3**	LS8000WD	GPS	24		第四紀火山岩類	1998年9月
YMT	JEP-6A3**	LS8000WD	手動	24		新第三紀貫入火山岩	1996年9月
YSD	VS-1*	PDAS100	手動	16		第四紀堆積物	1997年7月
SNK	SD-112-3, SD-112-3SP	DATOL2001	GPS	16		第四紀堆積物	1998年7月
HNB			GPS	24		第四紀堆積物	1999年1月
UGL	SD-203G	DATOL100	GPS	16		第四紀堆積物	1996年1月
MED	JEP-6A3, ME-95STV	-	GPS	22	連続	第四紀堆積物	1997年5月
NKN		-	GPS	22		第四紀堆積物	1997年4月
STZ		-	GPS	22		第四紀火山碎屑岩類	1997年5月
HSS	STS-1, VSE-311, PK110	-	GPS	24	トリガー	新第三紀火山岩類	1973年7月 (Freesia: 1996年9月)
THI	K-NET95***		GPS	24		第四紀堆積物	1996年6月
ISH			GPS	24		第四紀堆積物	1996年6月

\*村松(1977, 1995); \*\*工藤・他(1998); \*\*\*Kinoshita(1998);

### 3. 地震応答の空間変動

ここでは、地表15点、ボアホール（約500 m）5点で観測された記録（ただし、KNN点での水平動1成分は欠測）を基に、札幌都市域での地震応答のより詳しい空間変動について検討する。記録の得られた地震は、1999年5月13日2時59分に釧路中南部で発生したやや深発地震 ( $H=104\text{ km}$ ,  $M=6.4$ ) である。図2にその震央を示す。震央に近い釧路、帯広で震度4を観測している。また、札幌までの震央距離は約200 kmである。

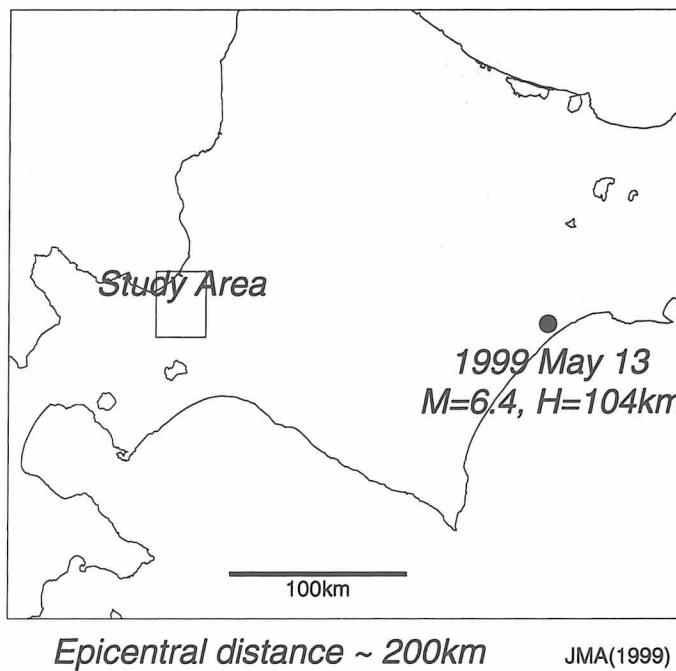


図2. 札幌都市域で記録の得られた地震の震央  
(May 13, 1999;  $M=6.4$ ,  $H=104\text{ km}$ )。

#### 3.1 観測波形の特徴

表1に示すように、観測点毎に地震計が異なっているため、まず、すべての計器特性をそろえて解析を行なった。図3に観測波形(NS成分速度波形)の例を示す。この図面には、地表観測点の記録みならずボアホール観測点の記録(成分を表わす記号の前にDと付いているもの)も含まれている。記録はおおむね南の観測点から北の観測点へと並べてある。

まず、地表の観測記録について検討する。岩盤上と考えられる観測点(HSS, YMT, TUN)では、ほぼ同じ最大速度値(PGV)を示す。これに対して、豊平川の扇状地端部(UGL, HKD)では約2倍、さらに北部に行くほど振幅が大きくなり、最大で約7倍ほど増幅している。ただし、北部の観測点の中でも約2倍ほどの相違がある。また、平野内の記録において、最大振幅のみならず、含まれている周波数成分の違いにも気づく。これを容易に理解するために、図4にSNKとSSTの拡大波形を示す。SNKの波形においては、SSTに比べてより低周波数成分が優性である。海岸に近いISHとMEDの波形はSNKと似ており、平野中央部のTHI, NKN, HNBの波形はSSTと似ている。さらに、S波で最大振幅となる記録と、後続波によって最大振幅となる記録とがある。

次に、ボアホール観測点の記録について検討する。これらの観測点のPGVには約2倍ほどの相違がある。また、岩盤上の記録と比べると、これらはほぼ同じPGVか、やや大き目の値を有している。

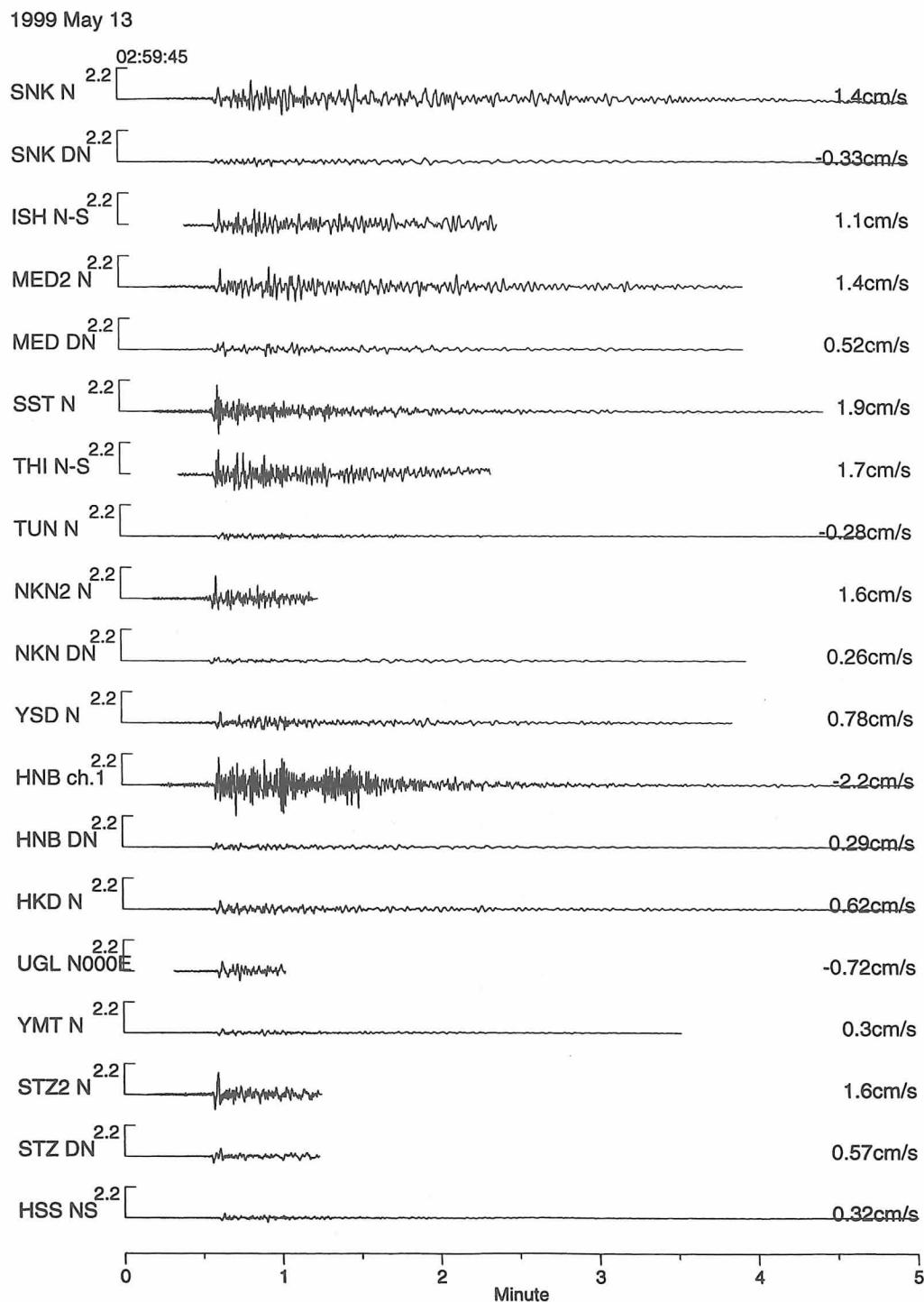


図3. 観測された記録の速度波形 (NS成分)。成分の前に付したDは、  
ボアホール観測点での記録を示す。

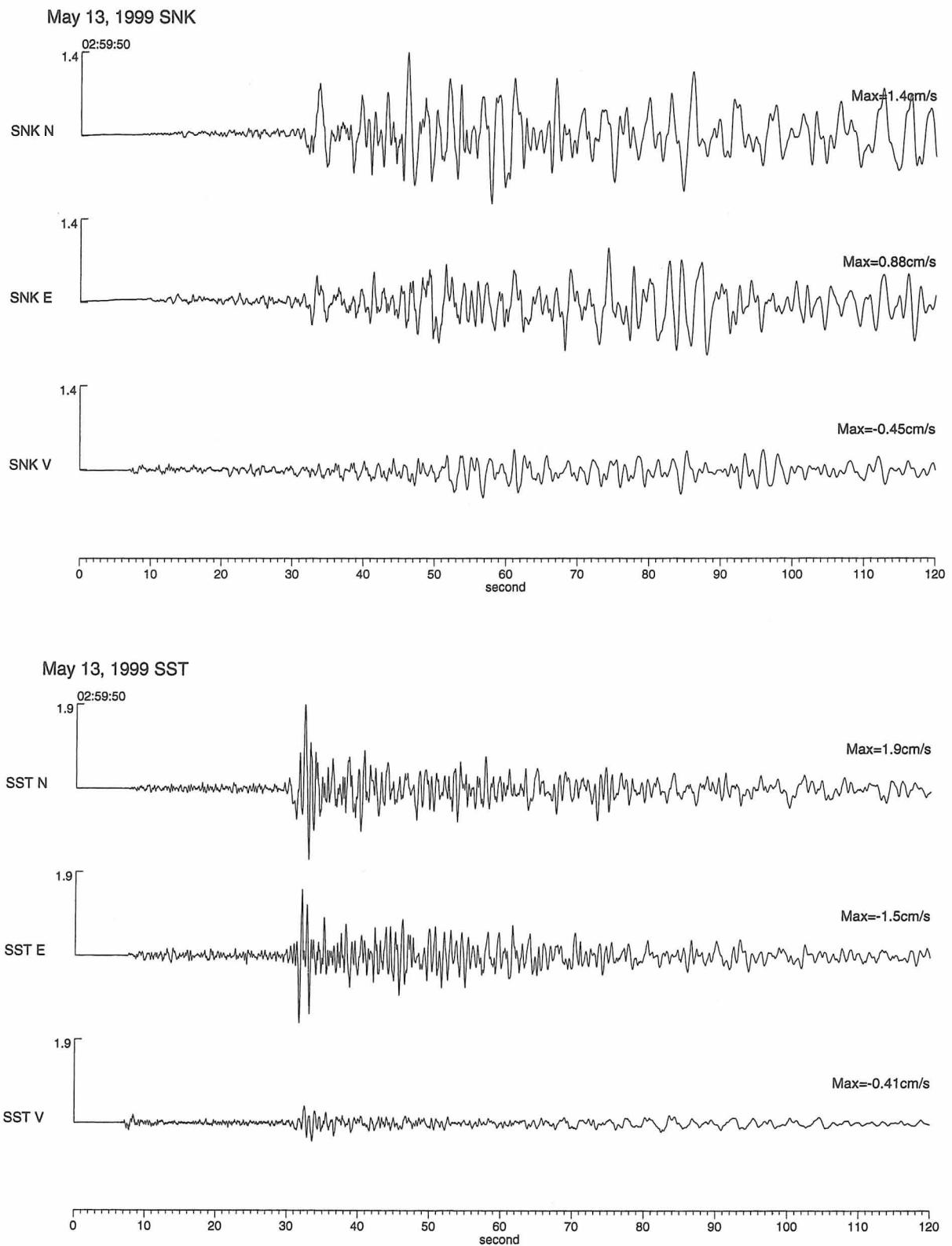


図4. SNKとSSTでの拡大波形。両波形の周波数成分の違いに注目。

### 3.2 バンドパスフィルター解析

上記の特徴をより簡単に理解するために、Butterworth型のバンドパスフィルターを通した波形を作成した。それぞれのパスバンドは、0.1~0.2 Hz, 0.2~0.5 Hz, 0.5~1.0 Hz, 1.0~2.0 Hzである。バンドパスフィルターを通した波形の例を図5に示す。これらの波形の相違は、各点でのスペクトル構造の相違を表わしている。

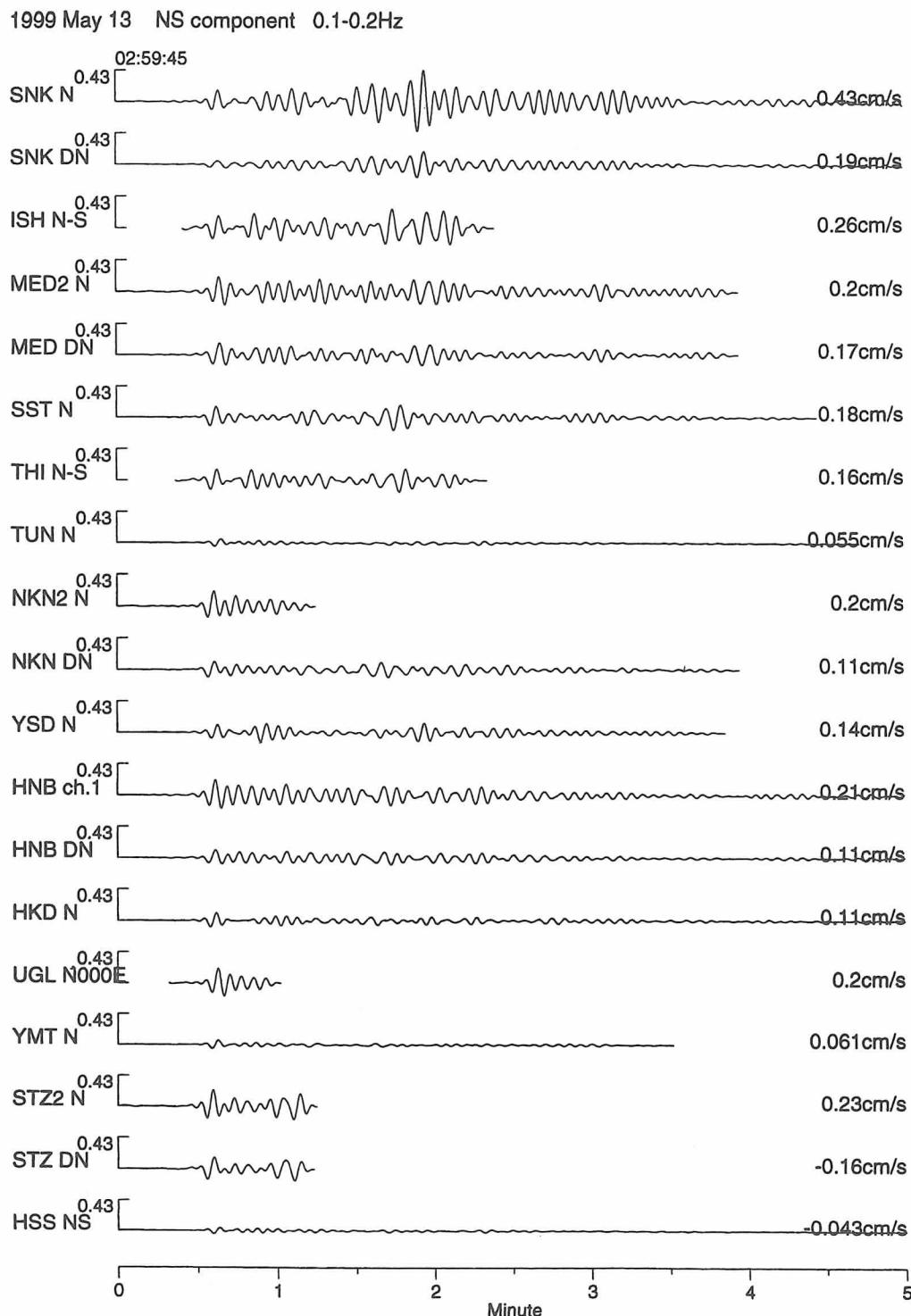


図5a. バンドパスフィルター波形の例 (NS成分)。

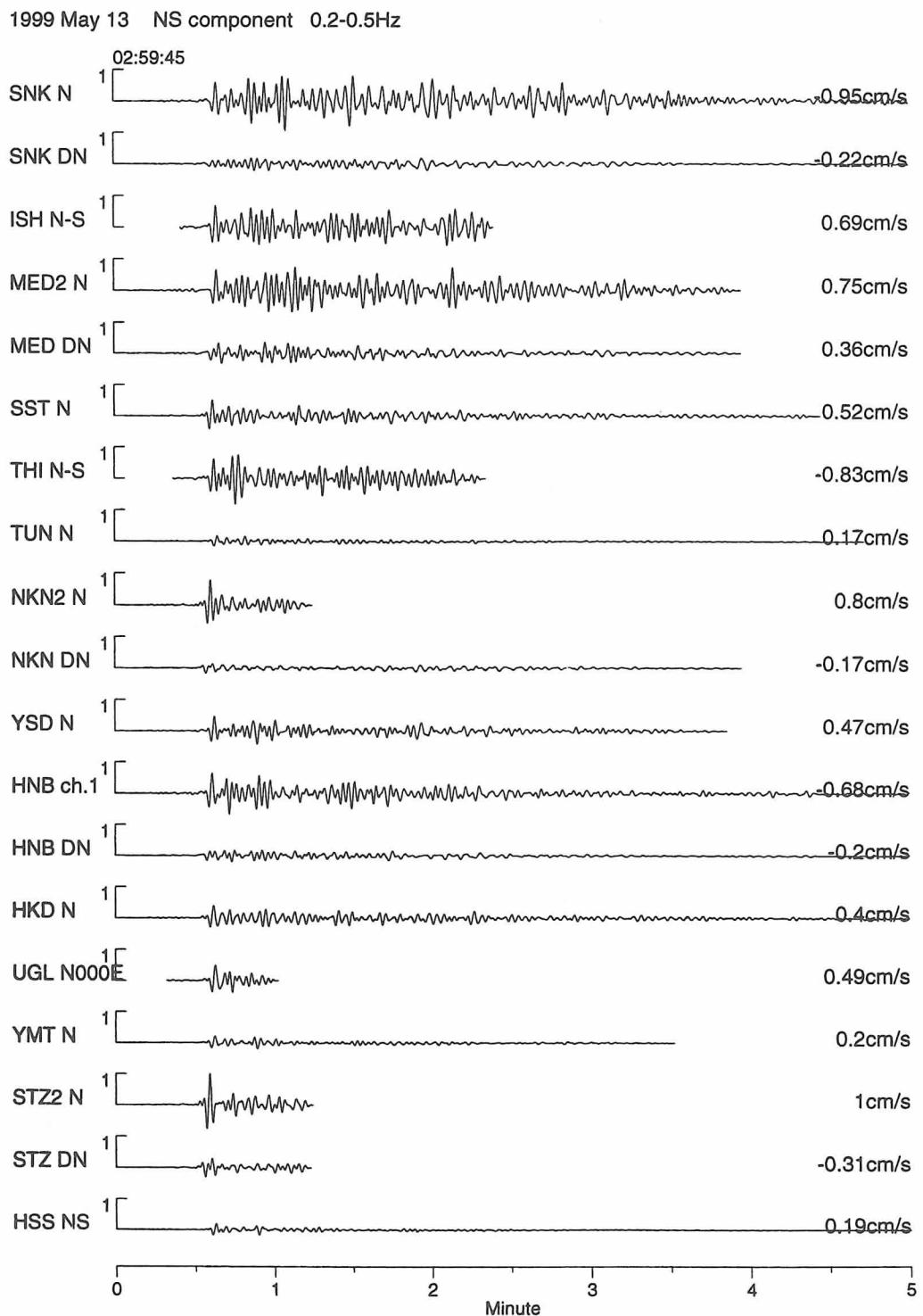


図 5b. 続き：バンドパスフィルター波形の例（NS 成分）。

1999 May 13 NS component 0.5-1.0Hz

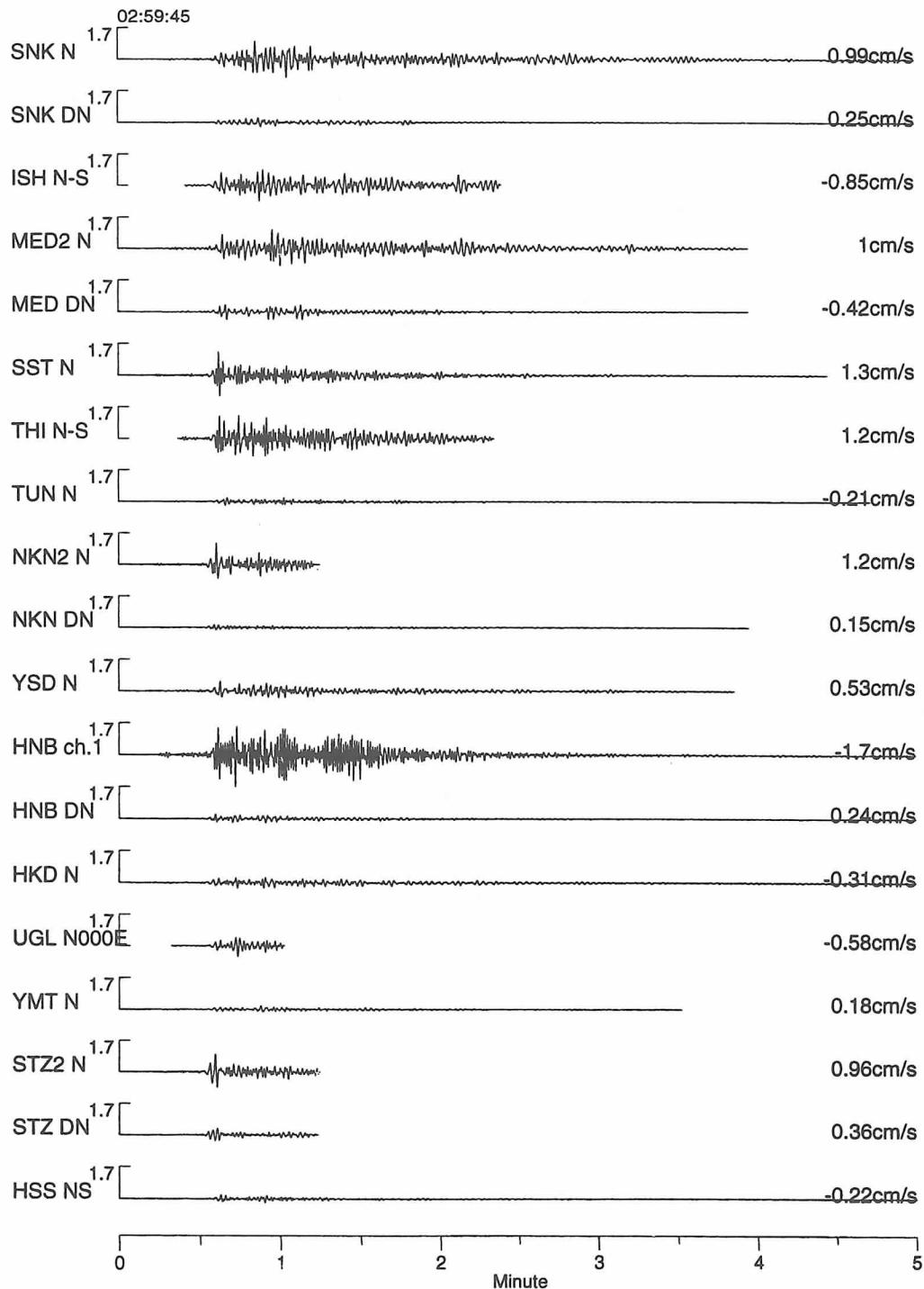


図 5c. 続き：バンドパスフィルター波形の例（NS 成分）。

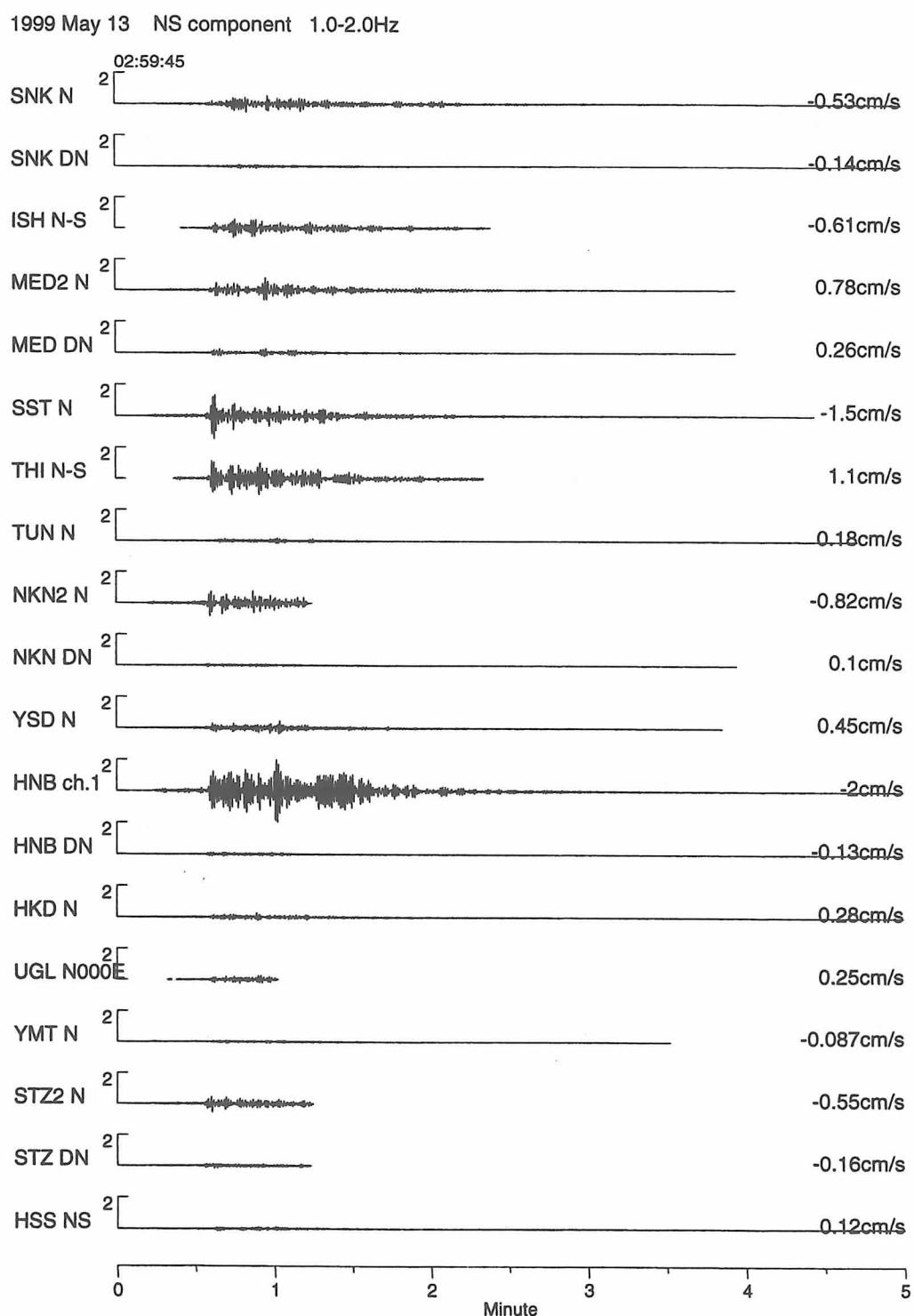


図 5d. 続き：バンドパスフィルター波形の例（NS 成分）。

ここでは、簡単に、それぞれの観測点においてパスバンドごとに最大振幅を測定し、それをもとにパスバンドごとに最大振幅の空間分布を調べた。その結果を図 6a, b, c に示す。これらの図は多くの情報を含んでいる。まず、a, b, c は、それぞれ NS, EW, UD 成分の結果である。また、それぞれのパネルにおいて、上段は地表観測点での最大振幅の空間分布、下段はボアホール観測点での空間分布である。さらに、一番左は、オリジナル波形についての結果、そして、その右 4 つがそれぞれのパスバンドに対する結果である。丸の大きさは、岩盤観測点 HSS に対する振幅比に比例して描いてある。

地表観測点の水平動について、パスバンドごとの図面を比べる。図 4 に示した SNK と SST とで含まれる波の周波数成分の違いを反映して、低周波数で海岸近くの大きな增幅、周波数が高くなるとともに平野中央部での大きな増幅を示している。特に、1 ~ 2 Hz の中央部での増幅は、最大で 16 倍にも達する。これに対して、上下動では海岸部で最大約 5 倍の増幅を示すが、その空間分布のパターンは水平動とは大きく異なっている。1 ~ 2 Hz の上下動において、水平動に見られた大きな増幅は見られない。

次に、ボアホール観測点について考察する。0.1 ~ 0.2 Hz の低周波数側で約数倍の増幅を示しているが、地表に比べて増幅度は全般にかなり小さい。この低周波数側の増幅に関しては、ボアホール地震計の特性を考慮すると、要検討課題である。

先に、最大振幅を示す波が S 波の場合と後続波の場合とがあることを述べた。そこで、図 7 に、S 波部分についての結果（水平動のみ）を示す。この図の地表観測点において、図 6 と比べると、NS 成分と EW 成分とでパターンの相違が顕著である。しかし、1 ~ 2 Hz において、平野中央部で大きく増幅することは保存されている。また、オリジナル波形についての結果にもそれがきれいに表れている。この図のボアホール観測点については、図 6 との相違は大きくない。

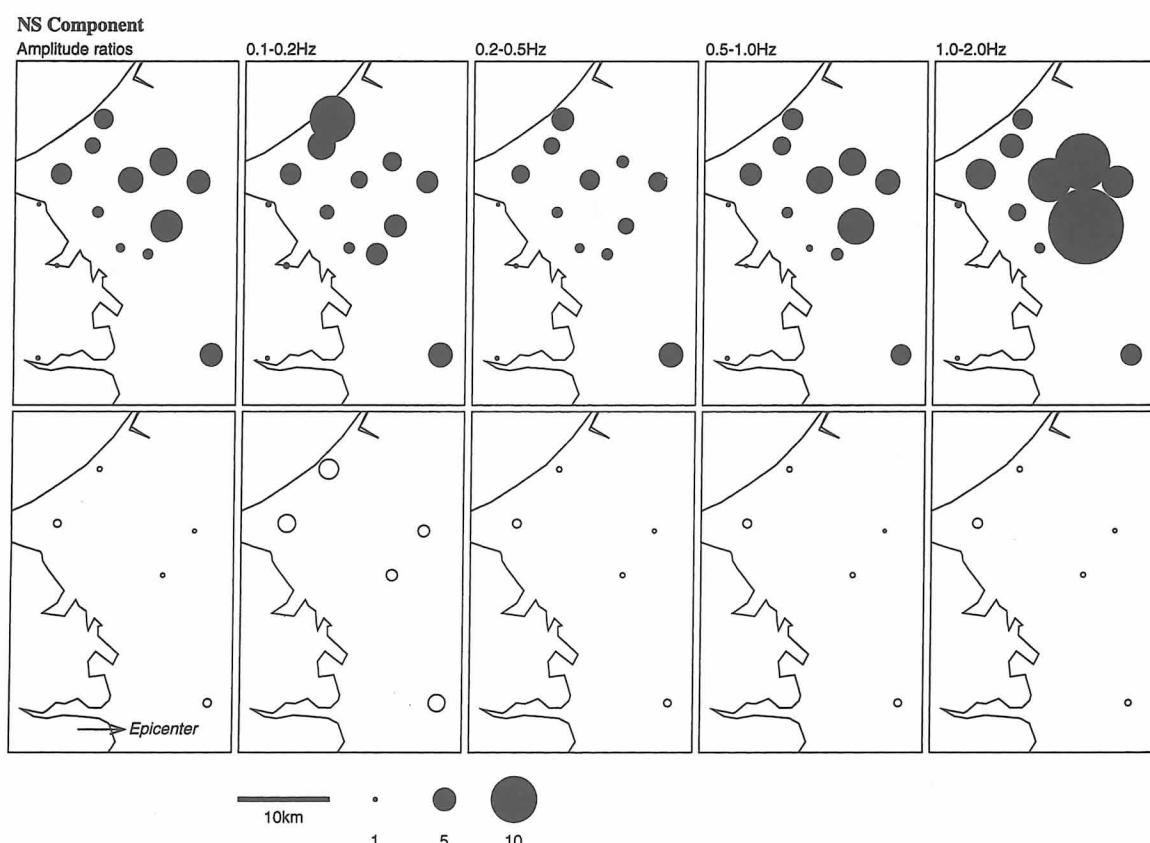


図 6a. 最大振幅の空間分布(NS 成分)。上段：地表観測点、下段：ボアホール観測点。

一番左：オリジナル波形の結果、そこから右に向かってそれぞれのバンドパスフィルター波形の結果。

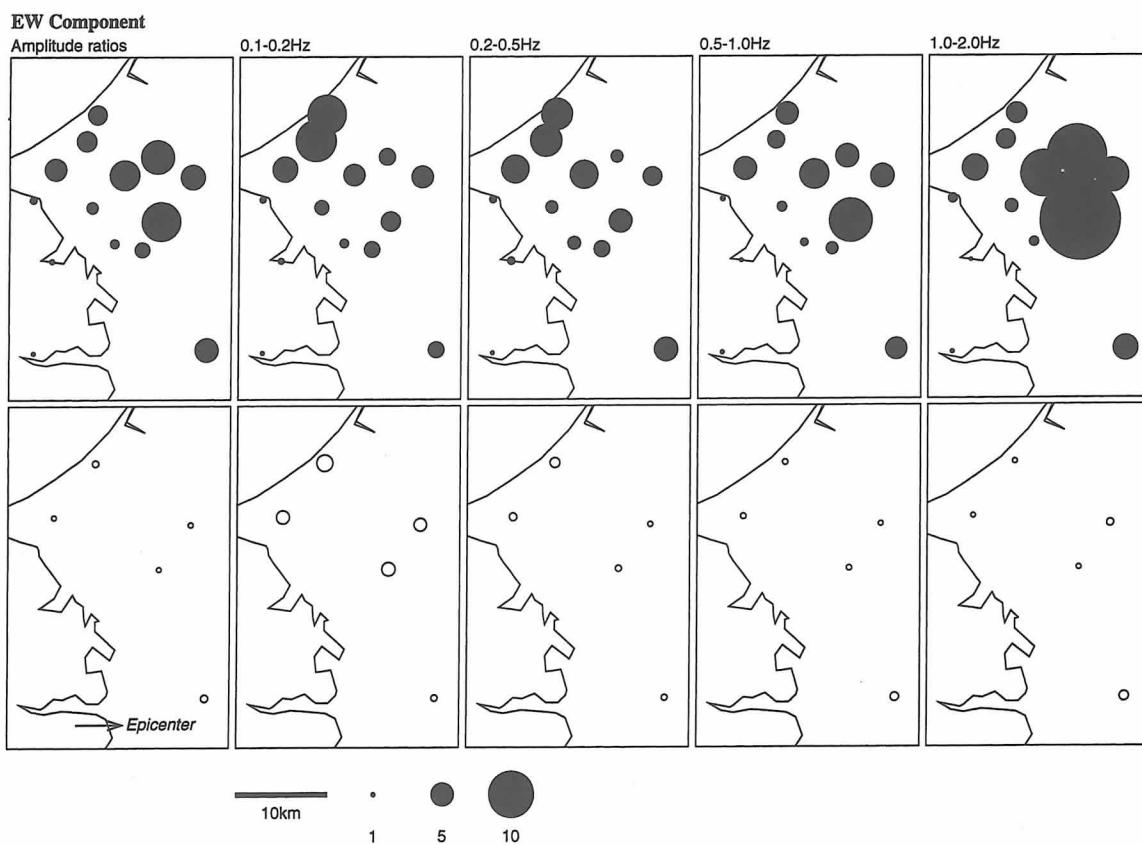


図 6b. 最大振幅の空間分布 (EW 成分)。

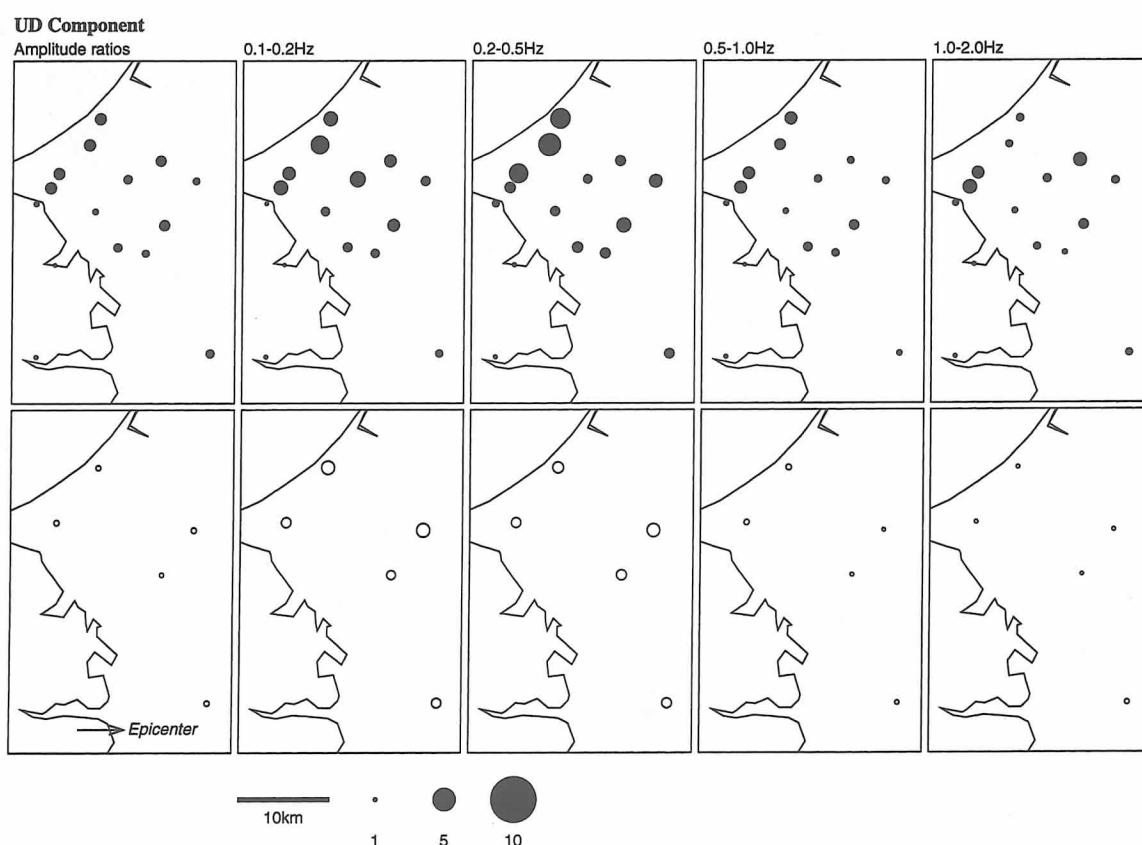


図 6c. 最大振幅の空間分布 (UD 成分)。

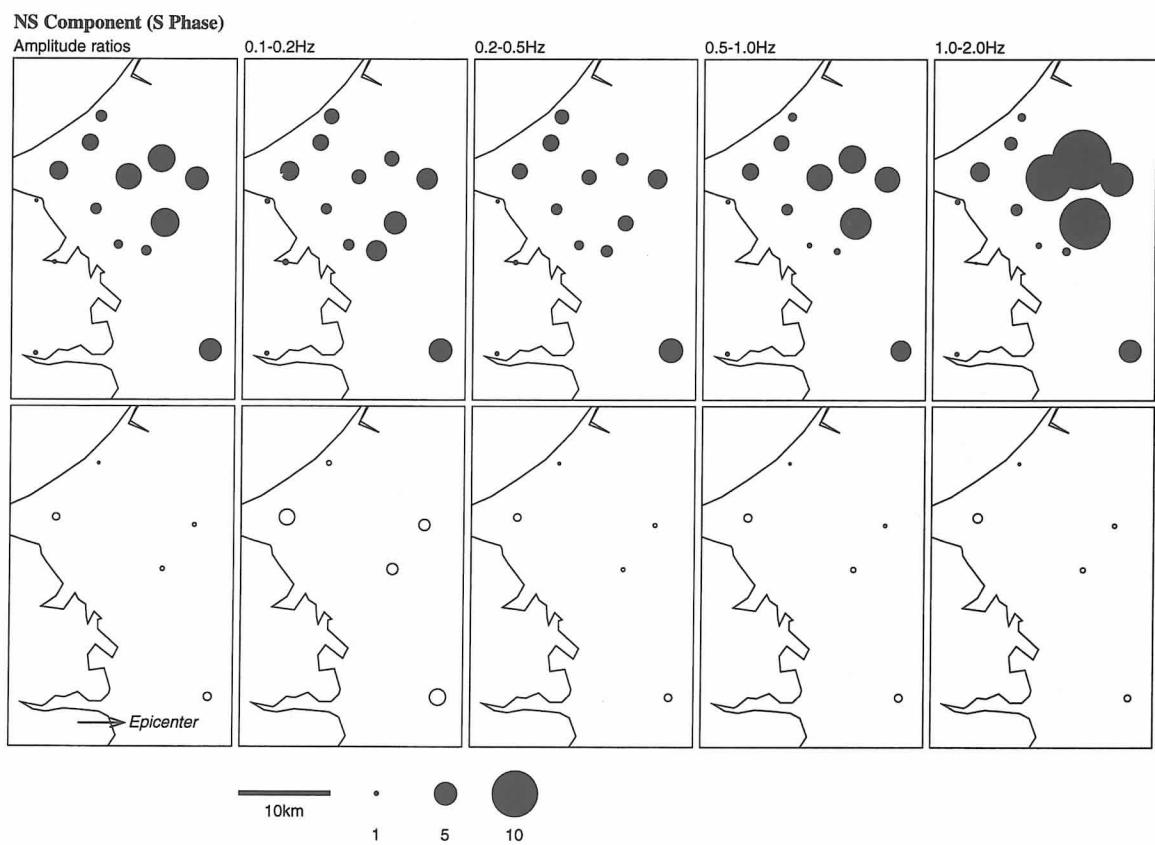


図 7a. S 波最大振幅の空間分布 (NS 成分)。図の見方は図5と同じ。

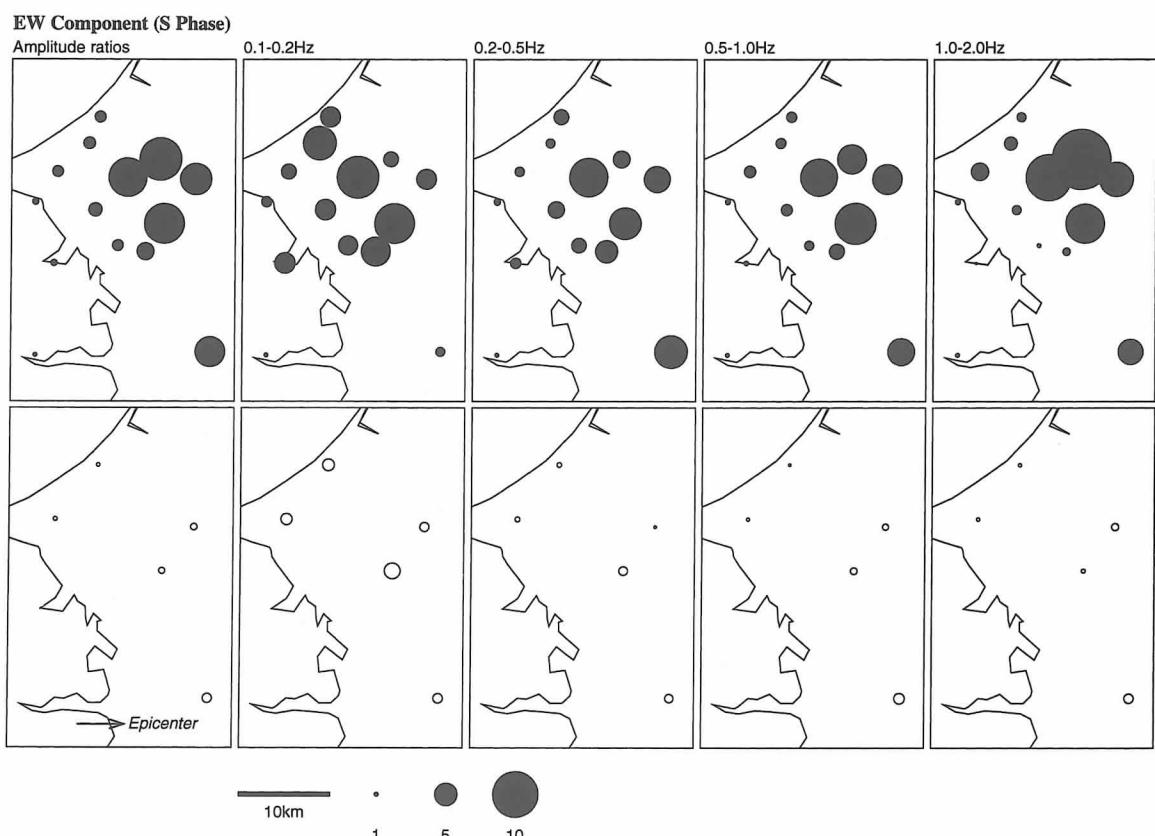


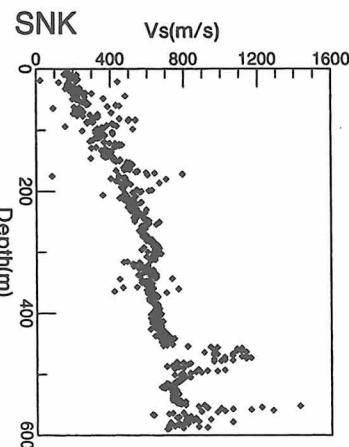
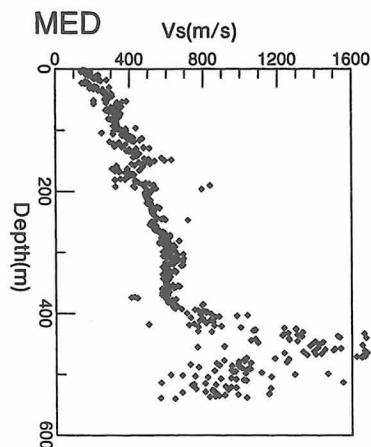
図 7b. 続き : S 波最大振幅の空間分布 (EW 成分)。

#### 4. 考 察

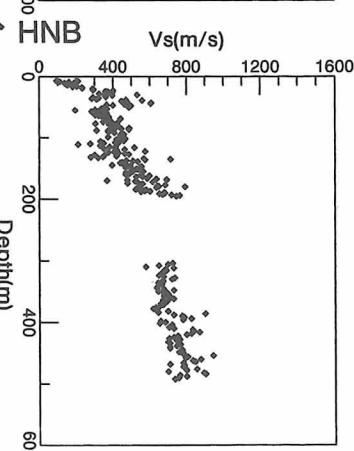
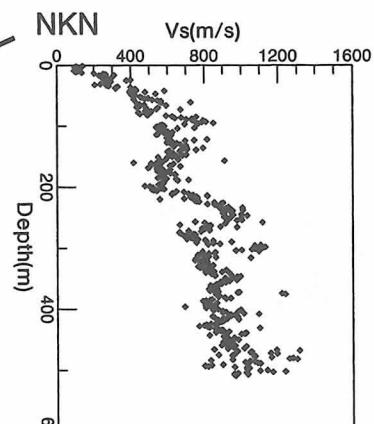
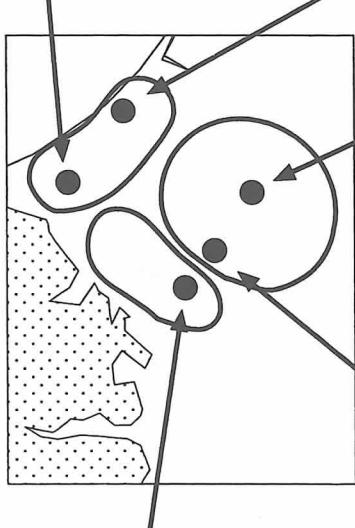
ここで、上記最大振幅の空間分布の要因について定性的に考察する。図8は、ボアホール観測点での速度検層結果(S波)を示したものである。上記空間分布の特徴を考慮して、図に示す(A), (B), (C)の領域に

##### PS検層によるS波速度

(A)沿岸部



(B)平野中央部



(C)平野西部

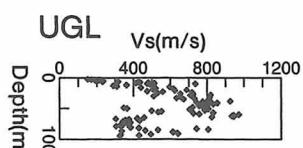


図8. S波速度検層結果とそれをもとにした地域分け。

分けて検討する。(A)の海岸部 MED, SNK の S 波速度は地表からだらだらと速度を増すのに対して、(B)の NKN, HNB では、深さ 100 m までの S 波速度の增加がより大である。この速度構造の相違が、海岸近くでの低周波数水平動の大きな增幅、逆に、中央部での 1 ~ 2 Hz の水平動の大きな增幅に関係していると考えられる。残念ながら、(C)の領域では深部までの情報がないが、表層付近 (100 m) でも速度変化は大である。

いずれにしても、增幅特性の空間分布の詳細な把握のためには、地下深部までの S 波速度構造の調査が必須と考える。

### 謝 辞

地震計設置のスペースを提供された、山本昭彦氏、今野重信氏、吉田紘一氏に感謝いたします。札幌市及び民間企業（上山試錐工業（株）、（株）勝島製作所）からデータの提供を受けました。また、防災科学技術研究所の K-NET, Freesia Net のデータを利用しました。記して感謝いたします。なお、本研究の費用の一部は、平成10, 11年度文部省科学研究費(基盤研究 (B) (2) 課題番号10480090；研究代表者、北海道大学理学研究科 笹谷 努)による。

### 参 考 文 献

- 福山英一・石田瑞穂・堀貞喜・関口涉次・綿田辰吾、1996. Freesia Project による広帯域地震観測、防災科学技術研究所研究報告、57, 23~31.
- 鏡味洋史・岡田成幸・村上公一・高井伸雄、1994. 1993年北海道南西沖地震の札幌都市圏の 詳細震度調査、平成 5 年北海道南西沖地震・津波とその被害に関する調査研究、文部省科学研究費、突発災害調査研究成果報告書(代表：石山祐二)。
- Kinoshita, S., 1998. Kyoshin Net, Seism. Res. Lett., 69, 309-332.