

臨時稠密余震観測

合同稠密余震観測グループ

1. はじめに

我々は、鳥取県西部地震のほぼ1週間後の2000年10月13日から余震域およびその周辺域において70余点からなる稠密余震観測を行った。観測は12月初めまで約1か月半続けられた。11月末にはパイプロサイスによる構造探査が行われ、その発振波形も収録された。

我々はこの観測研究により、以下のような基本的な問題を解明することを目標としたいと考えている。

- ・ なぜ、この地震がこの地域に発生したのか？
- ・ 地震発生に関係した、地殻構造やひずみ場・応力場が存在したのか？
- ・ 地殻流体は、地震発生にどのような役割を果たしたのか？
- ・ その地殻流体は、地震の前後でどのように動いたのか？
- ・ 断層面の強度は強いのか、弱いのか？それは時間変化するのか？また、その空間分布は？
- ・ 本震の破壊過程をコントロールしたのは、何か？
- ・ なぜ、地表まで大きなすべりが達しなかったのか？
- ・ 余震の発生と本震の破壊過程の関係は？

今回の稠密観測では、余震の震源とメカニズム解、ならびに震源域の3次元速度構造を非常に精度良く決定できると考えられる。このことをふまえて、上に掲げた問題を解明するために、つぎのような具体的アプローチから攻めていきたいと思う。

- ・ 精密余震分布と本震の震源過程との関係
- ・ 精密3次元速度構造と本震の震源過程との関係
- ・ 余震メカニズムの精密決定と本震の震源過程との関係
- ・ 反射波や変換波による地殻流体のイメージング
- ・ 速度構造の時間変化と地殻流体の動きの検出

上記の問題すべてに完全な回答を出すことは難しいと思われるが、多くの研究者の英知を集めて、少しでも本質に迫る答えを出していきたいと考えている。

2. 観測概要

図1に広域の観測点分布を示す。図2は余震域を中心に拡大したものである。観測点は、主断層に沿う余震域をカバーするように稠密に配置されていて、その平均間隔は4~5kmと小さい。

表1に観測点リストを示す。今回の稠密観測は、現地収録式の57臨時観測点(wt01~wt57)とテレメータによるオンライン収録式の15観測点(そのうちSMNKとMTCは臨時観測点)から構成された。現地収録式の観測点では、地震計には主としてレナーツ社のフィードバック式1Hz計(LE3D)が用いられ、データロガーには主としてクローバテック社のDAT型レコーダ(16ビットA/D, 100Hzサンプリング, 連続収録)が用いられた。時刻は、GPS時刻データを用いて補正される。

観測のスケジュールは下表のようであった。

期間 (2000年)	作業内容
10月 9日 ~ 10月12日	衛星テレメータ臨時観測点設置 (京大)。
10月 11日 ~ 10月15日	現地収録式観測点展開。観測開始。
10月 30日 ~ 11月 2日	メンテナンス (東北大, 愛媛大, 山形大)。
11月 6日 ~ 11月 8日	メンテナンス (京大・東大)。
11月 27日 ~ 11月29日	メンテナンス (京大, 東北大, 愛媛大, 山形大)。
11月 29日 ~ 11月30日	パイプロサイス発震 (夜間)。
12月 1日 ~ 12月 3日	撤収 (東北大, 愛媛大, 山形大, 京大)。
12月 4日 ~ 12月 6日	撤収 (東大, 北大)。

参加機関および参加者は以下の通りである。

《愛媛大学》

浅森浩一, 越智富美子, 小野 剛, 黒木 文, 趙 大鵬, 中村美加子, 西野敏幸, 三田亮平,
O. P. Mishra, Mohamed Salah, Inma Serrano

《九州大学》

植平賢司, 松島 健

《京都大学》

板場智史, 伊藤 潔, 伊藤武男, 梅田康弘, 大見士朗, 尾上謙介, 加瀬祐子, 片尾 浩,
加納靖之, 小泉 誠, 志藤あずさ, 澁谷拓郎, 竹内文朗, 中尾節郎, 西上欽也, 平野憲雄,
藤澤洋輔, 藤田安良, 藤原 了, 前田好晃, 水野高志, 山下 太, 行竹洋平, 吉井弘治

《東京大学》

飯尾能久, 一ノ瀬洋一郎, 井出 哲, 井上義弘, 荻野 泉, 蔵下英司, 呉 長江, 酒井 要,
中川茂樹, 平田 直

《東北大学》

浅野陽一, 上田英樹, 氏川尚子, 海野徳仁, 岡田知己, 河野俊夫, 斉藤竜彦, 諏訪謡子,
高橋 努, 中島淳一, 中村綾子, 仁田交市, 弘瀬冬樹, 堀修一郎, 前田拓人, 松田優美

《鳥取大学》

西田良平

《北海道大学》

勝俣 啓, 和田直人

《山形大学》

渋谷健雄, 瀧澤 薫, 長谷見晶子

(50音順)

なお、ここに挙げた参加者は観測などによりデータ生産に関係したものである。本研究では今後、解析に関する個人またはグループの研究テーマを募集し、参加を広く呼びかける予定である。

3. 波形例

観測初期に記録された波形を2例紹介する。図3は、10月14日20時05分(JST)に発生したM2.0の余震(35.3100°N, 133.3303°E, 4.5km)の波形、図4は、同日20時39分(JST)に発生したM1.7の余震(35.2753°N, 133.3568°E, 7.2km)の波形である。ほとんどの観測点においてS/N比の良好な波形が記録されている。すべての点で3成分観測を行っているので、S波の読み取りも精度良く行うことができる。

図3と図4には、観測点wt22の3成分波形を拡大表示してある。両イベントにおいて、上下動(U)成分のP波とS波の間に顕著なフェーズが見られる。このような後続波は、反射波または変換波である可能性が高く、震源域の地殻構造についての重要な情報を引き出すことができる。

4. データ処理・解析の予定

データ処理および解析の今後のスケジュールを下表に示す。

オリジナルデータは連続収録であるので、必要な地震(イベント)に対応する部分の切り出しを行う必要がある。選択した地震(イベント)は、観測期間中に、余震域およびその周辺部で発生した地震6,427個、国内で発生したMj≥4.0の地震86個、国外で発生したM≥5.8の地震51個、およびバイプロサイス発震時のイベント680個である。

作業内容	担当	期限
DAT テープの再生とイベントデータの切り出し	北大, 東北大, 東大, 京大	2001年3月
波形データ編集とCD-ROMの作成	東大	2001年4月
基本読み取りおよび基本解析	京大	2001年6月
個人またはグループの研究テーマの募集		
2次読み取りおよび2次解析	参加者全員	

このうち厳選された余震1,000個(予定)について、P波とS波の到着時刻および極性の読み取り(基本読み取り)を行い、精密余震分布、メカニズムの精密決定、3次元速度構造についての解析(基本解析)の結果を速報的に発表する予定である。

その後、個人またはグループの研究テーマに関する2次読み取りや解析が行われる。この段階では多くの研究者(グループ)の参加が期待される。

5. 謝辞

鳥取県西部総合事務所には、会議室の一角を観測機材置き場として使用させていただいたり、観測資材の荷受をしていただいたり、観測班の集合場所として利用させていただくなど、本観測に対して種々の便宜を図っていただいた。

余震域およびその周辺部の市町村には、この稠密観測へのご理解とご協力を賜った。この観測を支障なく、スムーズに行うことができたのは、そのお陰である。

表1の観測点リストに載せた臨時観測点の多くでは、地震計またはデータロガーなどの観測装置を個人宅などに設置させていただいた。

MTCとSMNKに設置した短周期地震計(L4C)と衛星テレメータ装置は、それぞれ九州大学大学院理学研究院地震火山観測研究センターおよび東京大学地震研究所和歌山観測所から借用させていただいたものである。

稠密観測データに組み込んだ観測点のうち、IKUM, JKR, SAIJは気象庁の定常点、HINH, HKTH, MZKH, NITH, SGOHは防災科学技術研究所の定常点(Hi-net), NKRIは東京大学地震研究所の定常点、KYT, QMT, SNT, TRTは京都大学防災研究所の定常点である。

ここに感謝の意を表したい。

報告書担当：澁谷拓郎(京大防災研), 飯尾能久(東大地震研)

コード	地名	緯度	経度	高さ	地震計	ロガー
wt01	島根県八束郡美保関町菅浦	35.5572	133.1755	10	L28B	DAT
wt02	島根県松江市新庄町	35.4912	133.1326	20	L28B	DAT
wt03	島根県安来市飯生町宗見寺	35.3791	133.2236	60	LE3D	DAT
wt04	島根県能義郡広瀬町菅原鍛冶屋谷	35.3353	133.1984	660	LE3D	DAT
wt05	島根県能義郡八雲村星上山	35.3844	133.1366	400	LE3D	DAT
wt06	島根県能義郡伯太町峠之内大谷大郷公民館	35.3007	133.2325	190	LE3D	HDD
wt07	鳥取県日野郡日南町阿毘縁	35.1893	133.2123	680	LE3D/20	LS8K
wt08	鳥取県西伯郡西伯町武信	35.3179	133.3127	120	L22D	DAT
wt09-1	島根県仁多郡仁多町横田町五反田	35.1995	133.1121	460	L28B	DAT
wt09-2	島根県能義郡広瀬町前谷	35.2701	133.1836	340	L28B	DAT
wt10	鳥取県日野郡日南町木谷	35.1415	133.2238	545	LE3D	DAT
wt11	島根県安来市大塚町殿河内善福寺	35.3634	133.2591	40	LE3D	HDD
wt12	鳥取県西伯郡西伯町谷川	35.3702	133.3320	180	L15	DAT
wt13	島根県能義郡伯太町卯月	35.3342	133.2502	140	LE3D	DAT
wt14	鳥取県西伯郡西伯町猪小路	35.3500	133.3076	70	L22D	DAT
wt15	鳥取県西伯郡西伯町下阿賀	35.3527	133.3430	80	L22D	DAT
wt16	鳥取県西伯郡岸本町半川	35.3921	133.4555	185	LE3D	DAT
wt17	鳥取県西伯郡会見町池野	35.3371	133.4079	140	LE3D/20	LS8K
wt18	鳥取県日野郡溝口町大原大倉	35.3279	133.4668	300	LE3D	DAT
wt19	鳥取県西伯郡西伯町馬佐良	35.3224	133.3649	110	L22D	DAT
wt20	鳥取県西伯郡西伯町口絹屋	35.3389	133.3214	70	L22D	DAT
wt21	鳥取県日野郡溝口町二部間地	35.2940	133.4145	140	LE3D	DAT
wt22	鳥取県西伯郡西伯町東上金山	35.2723	133.3634	330	LE3D	DAT
wt23	島根県能義郡伯太町久之谷鷹入の滝	35.2638	133.2764	360	LE3D	DAT
wt24	鳥取県日野郡日野町鶴ノ池	35.2274	133.4002	410	LE3D	DAT
wt25	鳥取県日野郡江府町下安井	35.2600	133.4695	190	LE3D	DAT
wt26	鳥取県日野郡日野町本郷安原	35.2275	133.4233	230	LE3D	DAT
wt27	鳥取県日野郡日野町久住	35.2337	133.3708	550	LE3D	DAT
wt28	鳥取県日野郡日南町呼子	35.2557	133.3142	460	L22D	DAT
wt29	鳥取県日野郡日野町大木屋	35.2474	133.3539	405	LE3D	DAT
wt30	岡山県真庭郡新庄村土用ダム	35.2269	133.5426	760	LE3D	DAT
wt31	鳥取県日野郡日野町板井原	35.2020	133.4969	420	LE3D	DAT
wt32	鳥取県日野郡日野町金持	35.2150	133.4582	260	LE3D	DAT
wt33	岡山県新見市千屋実	35.1256	133.4739	660	L15	DAT
wt34	鳥取県日野郡日野町櫛原	35.1923	133.3522	260	LE3D	DAT
wt35	鳥取県日野郡日南町福万来尾郷	35.1787	133.2856	380	LE3D	DAT
wt36	鳥取県日野郡日南町下花口	35.1676	133.3759	445	LE3D	DAT
wt37	岡山県新見市千屋花見小原田	35.1554	133.4302	610	LE3D	DAT
wt38	岡山県新見市千屋井原市倉峠	35.1406	133.4813	770	LE3D	HDD
wt39	岡山県新見市千屋実樋谷	35.1233	133.4370	520	LE3D	DAT
wt40	岡山県阿哲郡大佐町伏谷	35.1554	133.5130	620	LE3D	DAT
wt41	岡山県新見市馬塚矢谷	35.0271	133.4303	360	LE3D	DAT
wt42	鳥取県西伯郡中山町桶谷	35.4736	133.5761	115	LE3D	DAT
wt43	鳥取県日野郡江府町御机	35.3234	133.5695	725	LE3D	DAT
wt44	岡山県真庭郡八束村塩釜	35.3015	133.6839	560	L28B	DAT
wt45	鳥取県日野郡江府町尾の上原	35.2543	133.5287	335	LE3D	DAT
wt46	岡山県真庭郡美甘村小松	35.2319	133.6311	600	LE3D	DAT
wt47	岡山県真庭郡美甘村浦手	35.1901	133.5844	550	LE3D	DAT
wt48	岡山県真庭郡美甘村大庵	35.1476	133.5956	525	LE3D	DAT
wt49	岡山県阿哲郡大佐町赤松	35.1359	133.5353	520	LE3D	DAT
wt50	岡山県新見市奥谷	35.0643	133.5481	420	LE3D	HDD
wt51	鳥取県西伯郡西伯町中谷オートキャンプ場	35.2966	133.3242	170	LE3D	DAT
wt52	鳥取県西伯郡西伯町大河内	35.2826	133.3455	190	LE3D	DAT

(次頁に続く)

コード	地名	緯度	経度	高さ	地震計	ロガー
wt53	鳥取県西伯郡西伯町大木屋	35.2366	133.3389	430	LE3D	DAT
wt54	鳥取県日野郡日野町黒坂	35.2116	133.3818	255	LE3D	DAT
wt55	鳥取県日野郡日野町別所倉谷	35.2144	133.4439	260	LE3D	DAT
wt56	鳥取県日野郡溝口町福岡	35.2590	133.3980	240	L28B	DAT
wt57	鳥取県日野郡溝口町間地峠	35.2709	133.4364	360	L28B	DAT
MTC	京大防災研臨時	35.1890	133.4724	430	L4C/STS2	テレメータ
SMNK	京大防災研臨時	35.2924	133.3136	210	L4C/STS2	テレメータ
KYT	京大防災研定常	35.4392	133.8338	100		テレメータ
QMT	京大防災研定常	35.0885	133.8491	330		テレメータ
SNT	京大防災研定常	35.4105	134.0203	200		テレメータ
TRT	京大防災研定常	35.1022	133.2016	480		テレメータ
NKR1	東大地震研定常	34.9410	132.8228	330		テレメータ
IKUM	気象庁定常	35.4967	133.0300	20		テレメータ
JKR	気象庁定常	35.3783	133.8200	180		テレメータ
SAIJ	気象庁定常	34.9983	133.1150	480		テレメータ
HINH	防災科技研定常(Hi-net)	35.2278	133.3936	308		テレメータ
HKTH	防災科技研定常(Hi-net)	35.2931	133.2628	54		テレメータ
MZKH	防災科技研定常(Hi-net)	35.3522	133.4942	222		テレメータ
NITH	防災科技研定常(Hi-net)	35.2203	133.0883	239		テレメータ
SGOH	防災科技研定常(Hi-net)	35.0461	133.3196	461		テレメータ

表1 観測点リスト。地図上の位置は図1および図2を参照のこと。現地収録式の臨時観測点(wt01~wt57)の位置は暫定値であり、今後のデータ処理の過程で改定される可能性がある。地震計およびデータロガーの詳細は下表の通りである。

《地震計》

記号	メーカー・形式	固有周波数(Hz)	感度 (V/(m/s))
LE3D	レナーツ・フィードバック式速度計	1.0	400
LE3D/20	レナーツ・フィードバック式速度計	0.05	1000
L28B	マークプロダクツ・速度計	4.5	98
L15	マークプロダクツ・速度計	4.5	30
L22D	マークプロダクツ・速度計	2.0	56
L4C	マークプロダクツ・速度計	1.0	168
STS2	ストレッカイセン・フィードバック式速度計	0.0083	1500

《データロガー》

記号	メーカー・形式	A/Dビット数	サンプリング (Hz)	記録媒体
DAT	クローバテック・DAT型	16	100	DATテープ
HDD	クローバテック・長時間HDD型	16	100	ハードディスク
LS8K	白山工業・LS-8000WD	24	100	ハードディスク

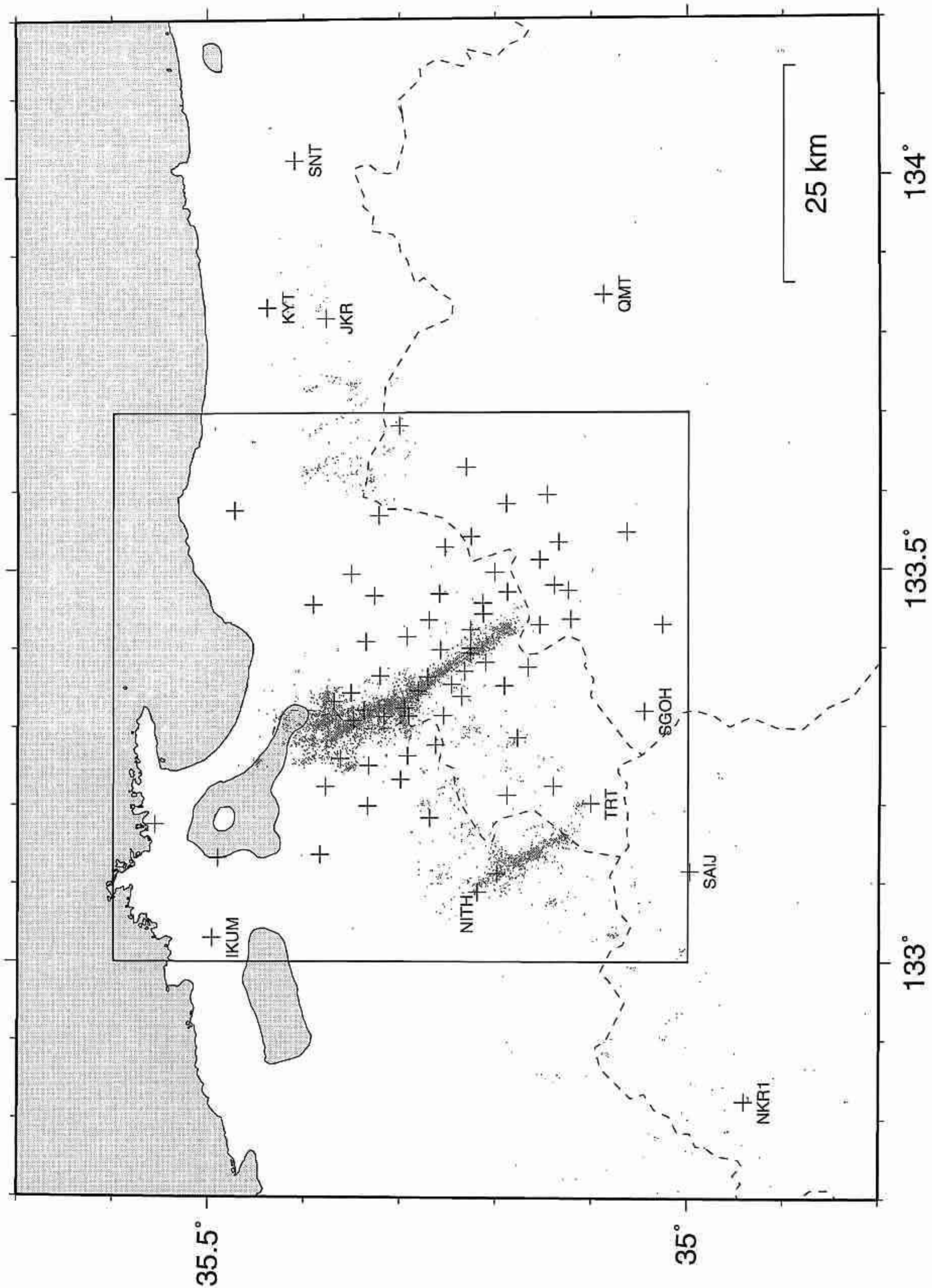


図1 稠密余震観測点 (+) の分布. 灰色のドットはイベント切り出しリストに含まれる地震分布である. 四角内の拡大図を図2に示す. 表1に観測点リストを示す.

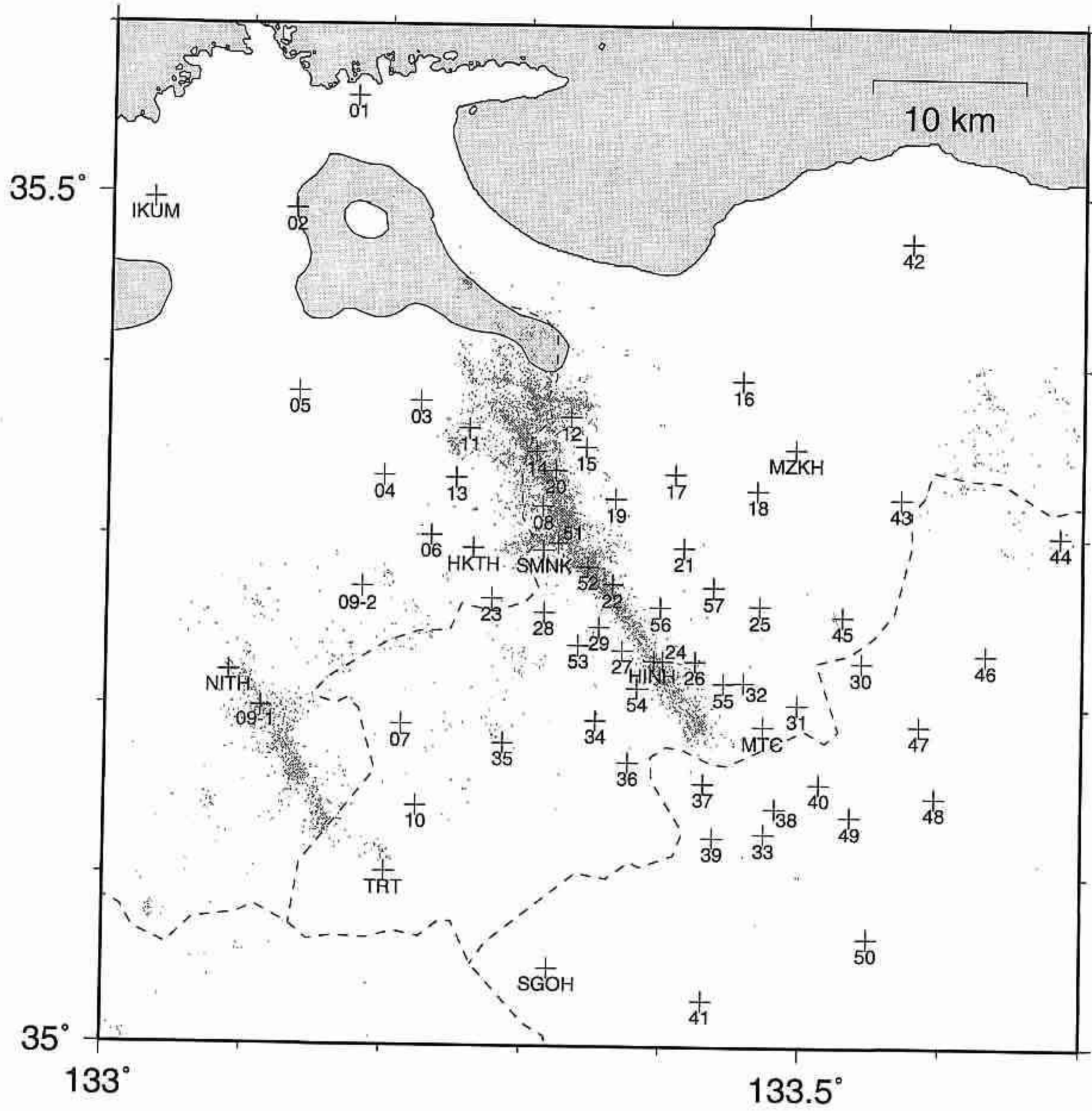


図2 稠密余震観測点 (+) の分布. 図1の四角内の拡大表示. 灰色のドットはイベント切り出しリストに含まれる地震分布である. 表1に観測点リストを示す.

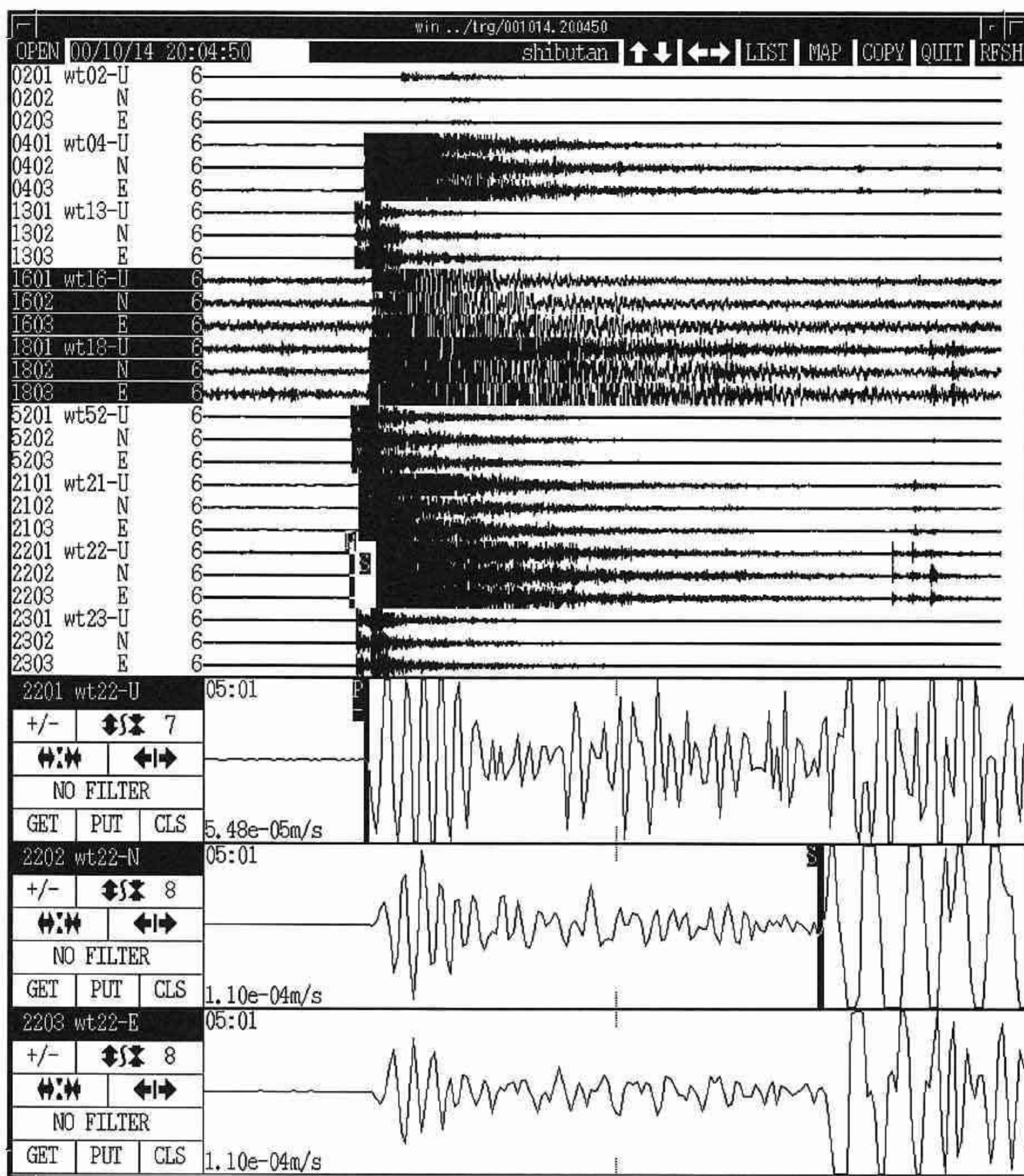


図3 2000年10月14日20時05分(JST)に発生したM2.0の余震(35.3100°N, 133.3303°E, 4.5km)の波形例. 観測点wt22の3成分波形を拡大して示してある.

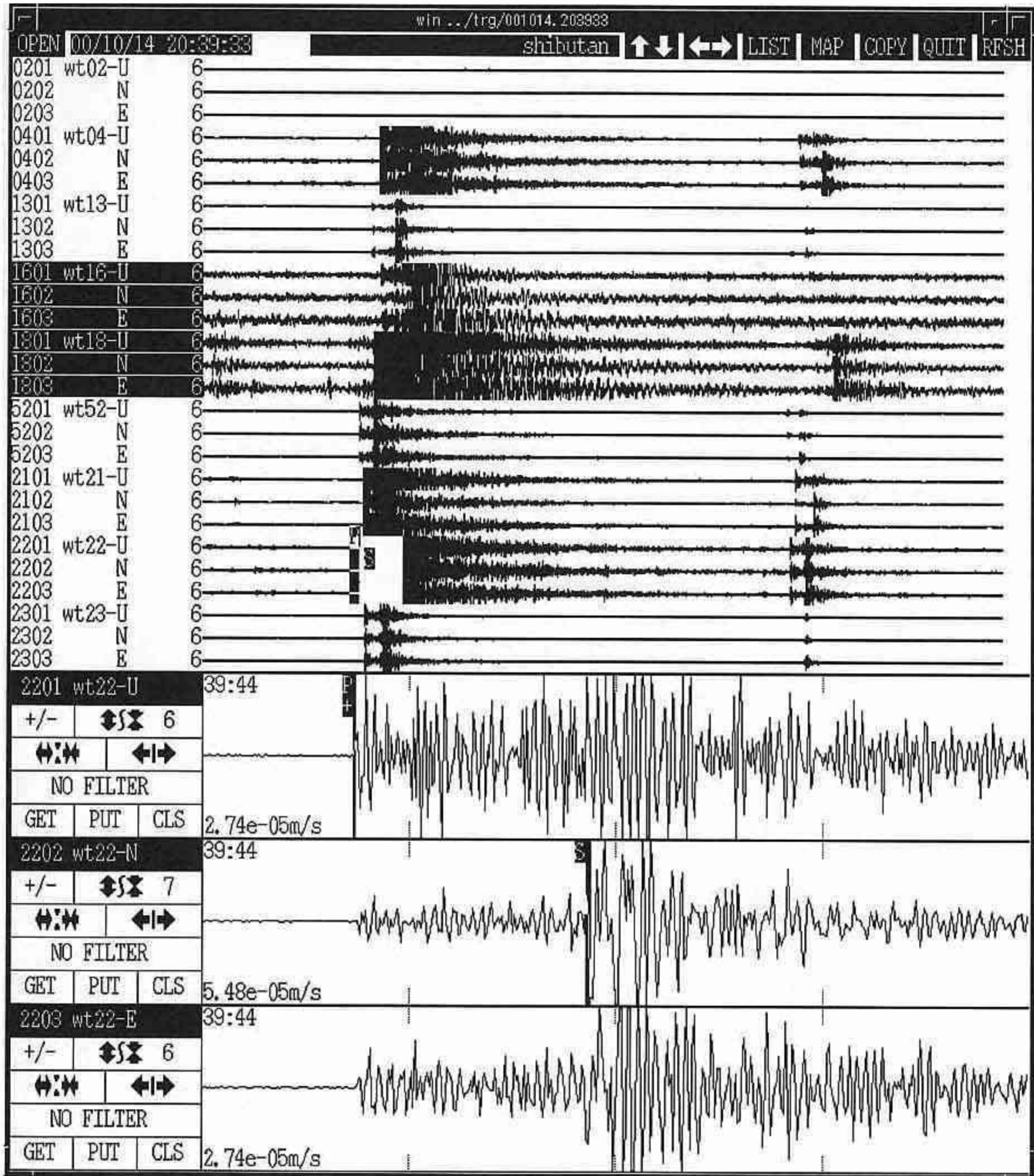


図4 2000年10月14日20時39分(JST)に発生したM1.7の余震(35.2753°N, 133.3568°E, 7.2km)の波形例. 観測点wt22の3成分波形を拡大して示してある.