

兵庫県北部の地震（2001年1月12日， $M_j = 5.4$ ）と一連の地震活動について

中尾節郎・片尾 浩・澁谷拓郎・渡辺邦彦

要 旨

2001年1月12日，兵庫県北部の地震（気象庁マグニチュード $M_j=5.4$ ）が発生した。一連の地震活動の範囲は東西に約6km，南北に約7kmに及んだ。震源分布は，時間的、空間的かつ発震機構的に四つないし五つのクラスターに分けることができる。本報告は，今までのこの地域での地震活動の特徴を述べ，今回の地震活動および発震機構の特徴について比較し考察する。

キーワード：兵庫県北部の地震，地震活動，時空間分布，発震機構，クラスター

1. はじめに

兵庫県北部の地震（以後，主震と略す）は，2001年1月12日08時00分04.6秒，扇ノ山北東断層東側で発生し，その後の活発な地震活動の範囲は東西に約6km，南北に約7kmに及んだ。

主震発生前の2000年12月から前震活動があった。前震活動の発生場所は主震のすぐ北東で，2000年12月4日に始まり， $M_{3.2}$ を最大とする約90個の地震が発生した。京大防災研究所付属地震予知研究センター（以後，単に京大地震予知センターと略す）では，2001年12月31日までに6639個の一連の地震活動が観測され解析を行った。

また，約3カ月前の2000年10月6日に鳥取県西部地震（ $M_j=7.3$ ）が発生し，一連の余震活動が継続中であった。なぜこのように，ほぼ鳥取県の両端，いわゆる鳥取県西部地震，兵庫県北部の地震が，3カ月の短期間の間に発生したのか不明だが，鳥取県西部地震に励起されたかのように兵庫県北部の地震が発生したことは興味深いことである（渡辺，2001）。

2. 観測装置の概要と処理方法

京大地震予知センターは，1月末に震源に近い兵庫県温泉町霧滝地区に臨時観測点「霧滝」（KRTT）を設置し，地震活動の推移を詳細に観測することにした。

地震計は，固有周期1Hzのマークプロダクト社製L-4C-3Dを使用し，地中約30cmに埋設した。地震計信号は，データ変換装置LT8500を介してAD変換され，観測点コード番号(VSAT324)，観測点名(KRTT)をつけて9600ボーで衛星モデムへ送り，直接通信衛星にリアルタイムで送信された。なお，設置場所である兵庫県温泉町霧滝地区は，設置当時積雪が約2mあり，パラボラアンテナに融雪装置を付加した。KRTTの地震データは，気象庁が設置した臨時観測点「美方」(MKAT)のデータとともに京大地震予知センターの微小地震観測網（SATARNシステム：大見ほか，1999）に組み込まれ，鳥取観測所において震源決定等の処理を行っている。

蛇足ながら，従来は教官の下で指示を受けながら観測点を設置するのが常であったが，今回の衛星装置設置作業は技官3名で行った。その理由の一つは，約3カ月前に発生した鳥取県西部地震の臨時観測に全勢力が注がれていて，教官の手が余っていないことであった。二つ目の理由は，京大地震予知センター内で技術研修を受けていたので，技官だけでも問題なく設置することが可能であったからである。

3. 周辺の地震活動の特徴

Fig.1(a)に1977年から2001年までの鳥取県周辺の $M \geq 0.0$ ，(b)に $M \geq 5.0$ の震央分布図を示す。Fig.2(a)～(b)に

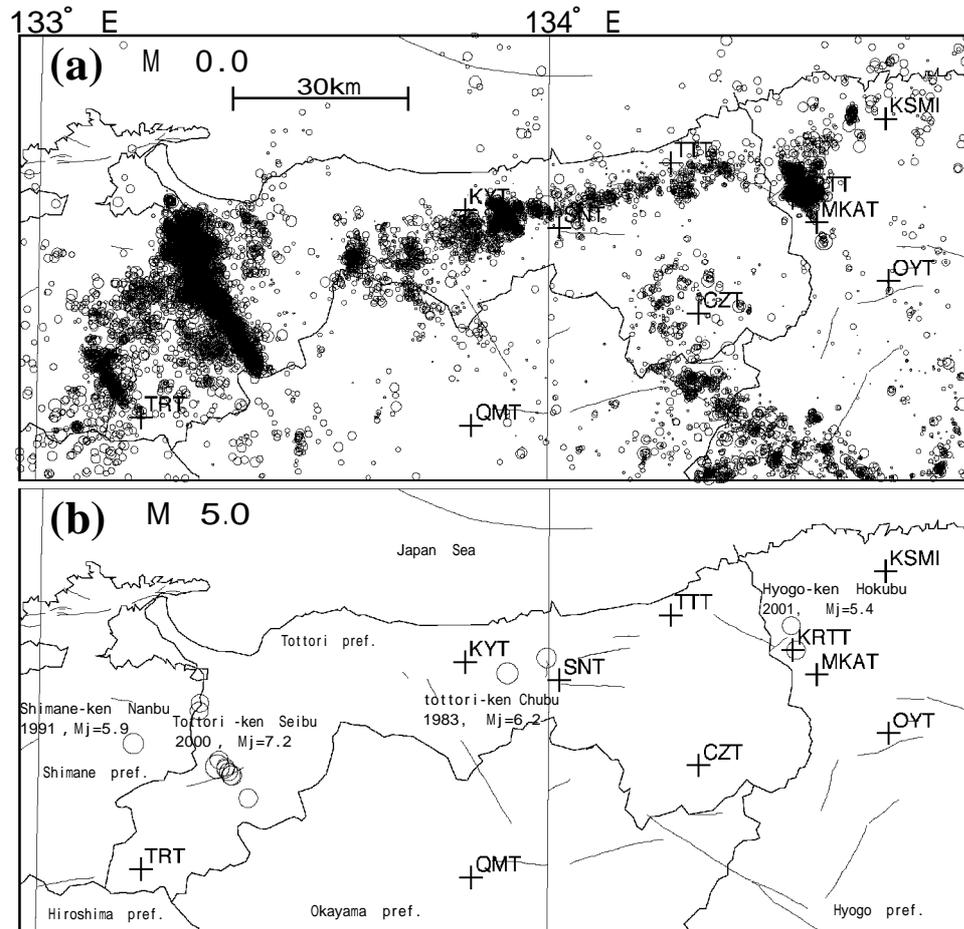


Fig. 1 (a) Seismicity around Tottori Prefecture (1997-2001, $M > 0.0$). (b) Earthquakes larger than $M 5.0$.

1977年1月から2000年11月までの兵庫県北部の地震発生前の地震活動を示す。この地域周辺の地震活動は比較的低活動の領域として注目していた(中尾ほか, 1996)。この地域には、鳥取県東部から南東方向にのびる確実度の雨滝・釜戸断層(鳥取県, 2000)と、その南東端から共役に北東方向にのびる確実度の扇ノ山北東断層があり、さらにその北北東から北東に湯村地質断層がのびている。

この地域周辺での最大地震は、1949年1月20日浜坂地震($M=6.3$)である。そして1954年3月15日に $M4.8$ の地震があり、1965年6月15日には $M4.1$ の地震が発生している。1976年1月から2000年11月末までの地震活動の時系列をFig.2(b)に示す。図に示すように、1977・1978年は湯村地質断層南西端よりも南に発生し、1982年の地震活動は湯村温泉付近に発生し、1990年は湯村地質断層の北東域で発生した。その後1994年地震活動の活発化があり、F1(3月~4月)、F2(5月)、F3(12月)と、湯村地質断層の北東域から扇ノ山北東断層の東側に地震活動が移動した。1977年から1990年まで湯村地質断層に沿って南西から北東へと10年間以上をかけて移動している。これに対して、1994年3月から12月の1年間という短期間で逆の方向に移動し、この地域の地殻応力が急激に変化したことが地震活動のパターンの変化として現われたと推定された

(西田ほか, 1998)。

図中に赤色で示す今回の地震の震源域は、それまでの地震活動の南西端で発生し、以前の地震活動と重ね合わせてみると低活動域、いわゆる空白域で発生していることが分かる。このことは、中尾ほか(1991)が地震活動の活発な地域を活動帯と定義し、その中の $M4$ 以上の地震発生前後の地震活動を解析の結果、「活動帯の中や活動帯に隣接する非活動域の空白域(先駆的地震活動)本震(群発地震)発生」というパターンがあると指摘したことと一致する。

4. 時間・空間的地震活動の特徴

今回の地震活動は大きく5つのクラスターに分けることができる(Fig.3(a)~(b))。図に示すように西北西-東南東走向の主震を含む地震活動(図中?)が、西から東へ移動(?、?)し、新たに北側部分の地震活動が?で始まり南東方向へ拡大、さらにその東側で?から南南東へ拡大する地震活動が加わった。主震を含むクラスター?の地震活動は、前震・本震・余震パターンで発生したが、地震活動域は群発的に東へ、さらに北へ移動拡大し全体の群発地震活動域を形成した。各クラスター内での震央分布ののびは概ね北西-南東走向だが、クラスター毎

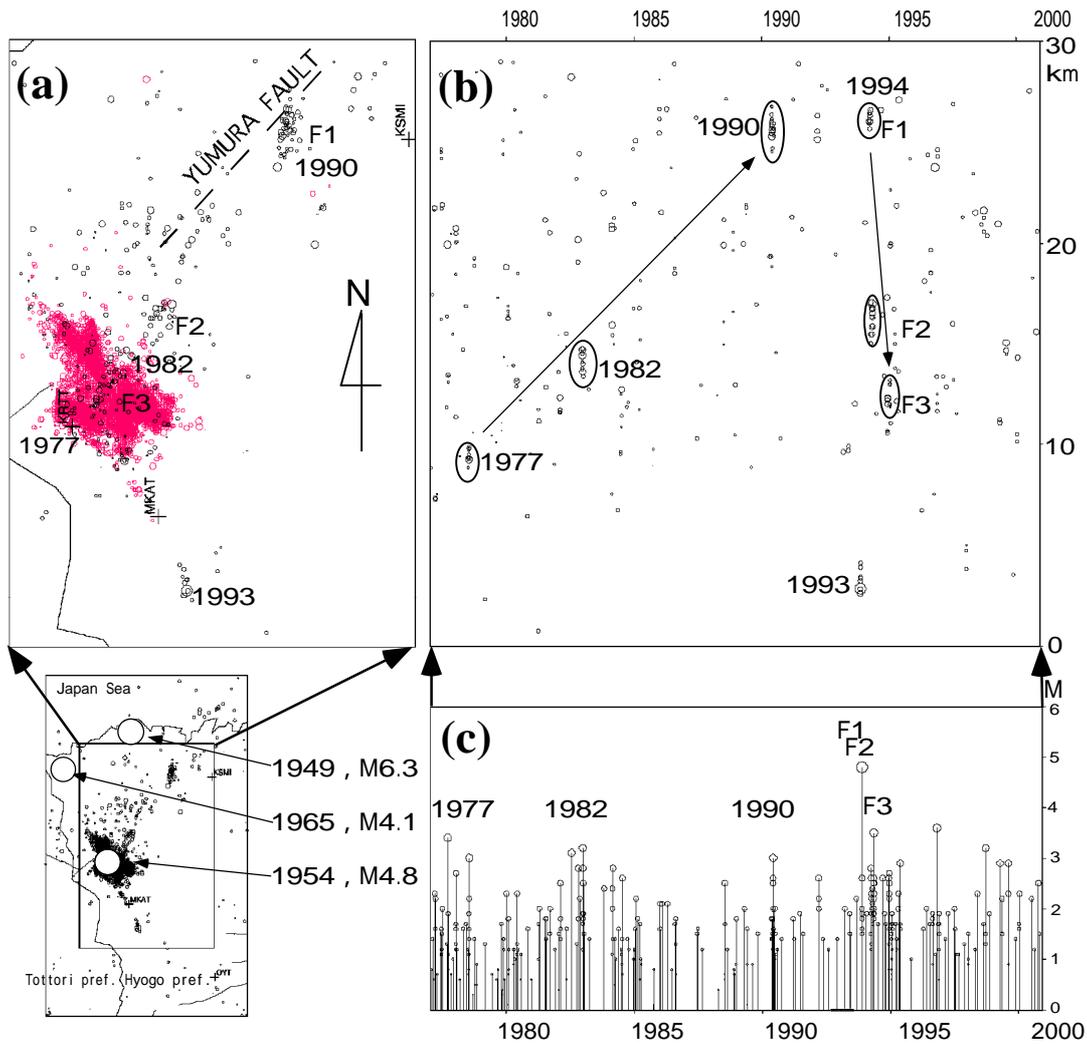


Fig. 2 Seismicity in the Northern Hyogo area before 2001 (JAN1,1977-NOV30, 2000). (a) Epicenter distribution. (b) Space-time distribution. (c) Magnitude-time diagram.

に走行が異なる。

地震活動の特徴をみるため、1から12まで期間で区切り震央分布および時系列で示した (Fig.4)。それぞれの期間中に発生した比較的大きな地震を記載した。また、それぞれの図に主震の位置をXで示し、時間・空間的な地震活動の推移をみるため、Fig.4 (2)以降の震央分布図にそれぞれ直前の期間の分布を赤色で重ね合わせた。

期間区分およびその期間の地震活動の特徴は以下に述べる。

(1) 主震発生前、2000年12月1日から2001年1月11日までの41日間

2000年12月4日に始まり、同月12日M3.2を最大とする地震活動が主震の北東で発生。北西-南東走向のびをもつ地震活動である。

(2) 主震発生当日、2001年1月12日から1日間

2001年1月12日07時台に直前の前震発生後、同日08時00分に主震が発生。(1)の活動領域から東側

に地震活動が移動拡大し、さらに東へ地震活動が移動拡大。

(3) 主震発生後、2001年1月13日から1月16日までの4日間

(2)の活動領域からしみだすように地震活動が拡大。

(4) 2001年1月17日から1月19日までの3日間

(3)の活動領域の空白域を埋めるように発生し、北西端に地震活動が移動。

(5) 2001年1月20日から1月21日までの2日間

(4)の活動領域で発生した北西端の地震の北西-南東に地震活動が移動、拡大。

(6) 2001年1月22日から1月31日までの10日間

(5)の活動領域の空白域を埋めるように発生し、南側部分の活動領域の西に地震活動が拡大。

(7) 2001年2月1日から4月15日までの74日間

(6)の活動領域の空白域を埋めるように発生し、北側部分の活動領域から東に移動拡大し、南側部分

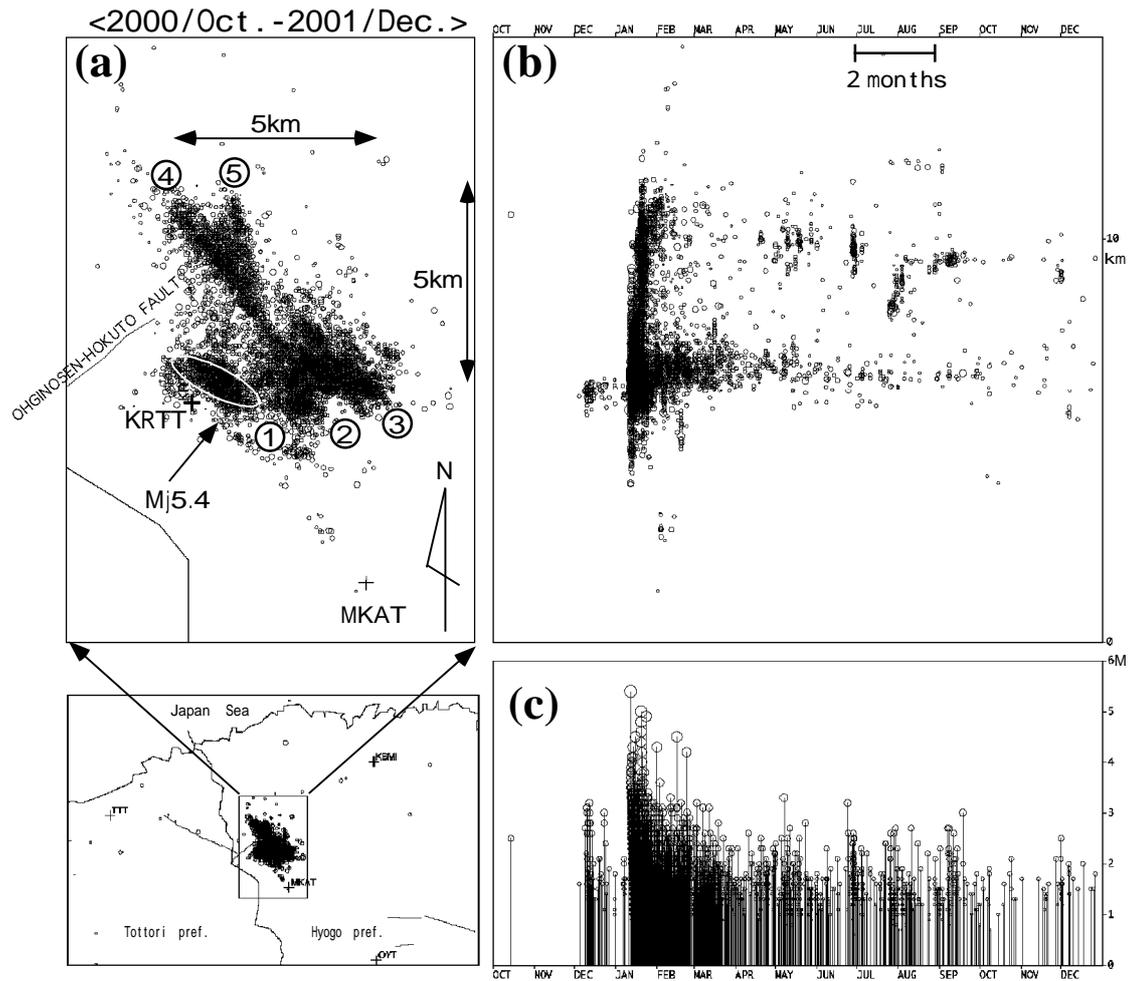


Fig. 3 Seismicity in the Northern Hyogo area (OCT1, 2000-DEC31, 2001). (a)Epicenter distribution. (b) Space-time distribution . (c) Magnitude-time diagram

の活動領域の東に拡大。

(8) 2001年4月16日から6月24日までの70日間

(7)の北側に発生した活動領域からさらに南側に移動拡大。

(9) 2001年6月25日から7月23日までの29日間

(8)の活動領域の北側部分で発生し、南側に少し移動拡大。

(10) 2001年7月24日から8月2日までの10日間

(9)の活動領域北側部分で発生し、さらに南に移動拡大。

(11) 2001年8月3日から9月30日までの59日間

(10)の活動領域の北側部分がさらに北側に移動拡大。

(12) 2001年10月1日から12月31日までの92日間

(11)の活動領域で発生するが全体的に低活動。

5. 発震機構

主震のマグニチュードから予想される地震断層の長さは数kmと推定され、主震の発震機構から推定した断層の走向及び地震活動の時間変化から、活動域の西側部分 (Fig.3 (a), 図中の○) だけが主震の直接の余震域であると考えられる。

主震とそれに続く主な地震のメカニズム解と、用いた震源要素をFig.5に示す。メカニズム解のほとんどは横ずれ断層型である。主震含めクラスターに属する地震は、北西-南東方向の主圧縮軸を示す。隣接するクラスターでも北西-南東の主圧縮軸方向だが、やや反時計廻りに回転している。東側のクラスターでは、北西-南東方向と東西に圧縮軸をもつものが混在しているようである。クラスター及びでは、主圧縮軸方向は東西に近い。

このように空間的に発震機構が明確にグループ化できることから、主震に誘発される形で走向の異なる複数の地下断層系が同時に活動していることが推測できる (中尾ほか, 2001)。

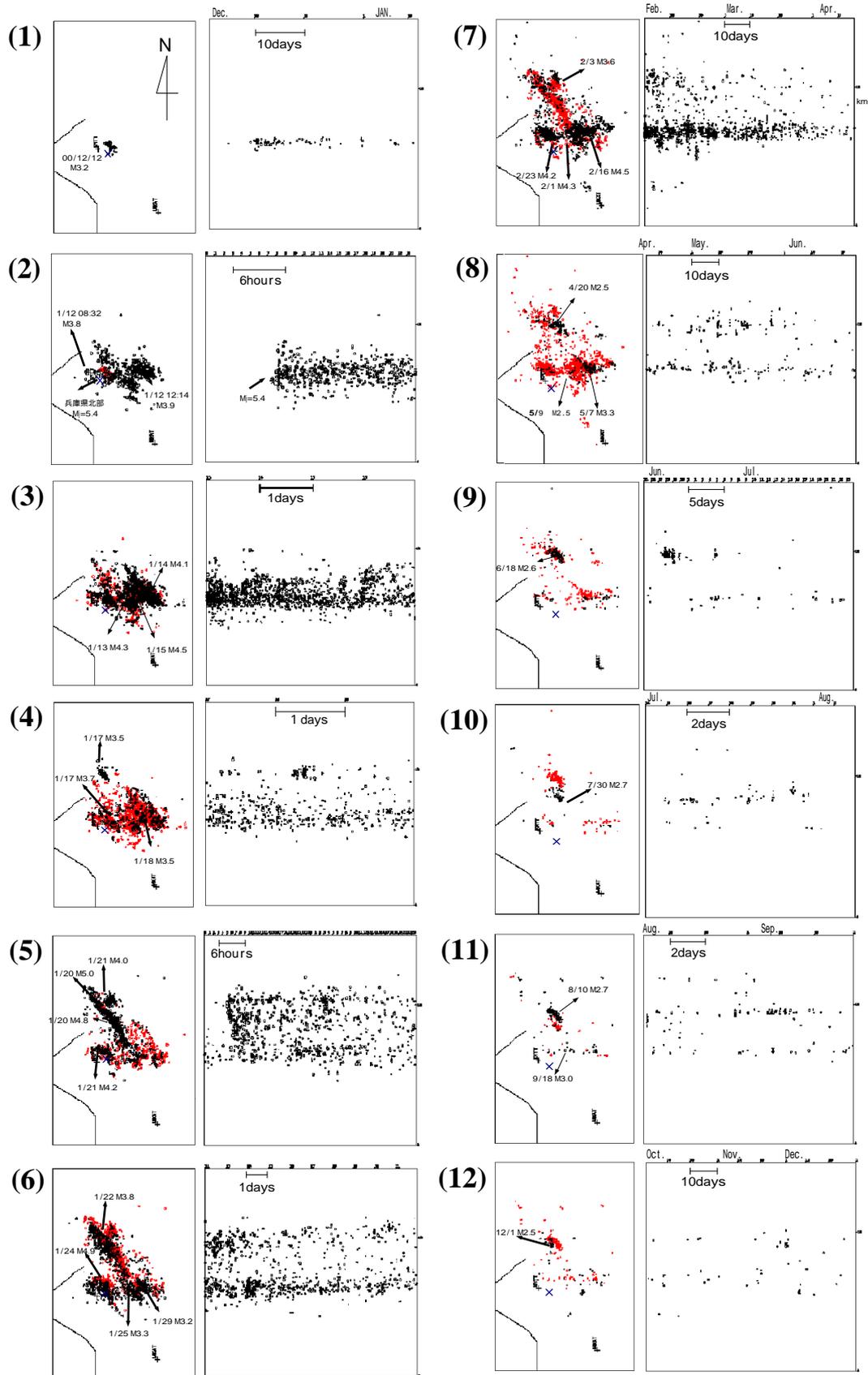
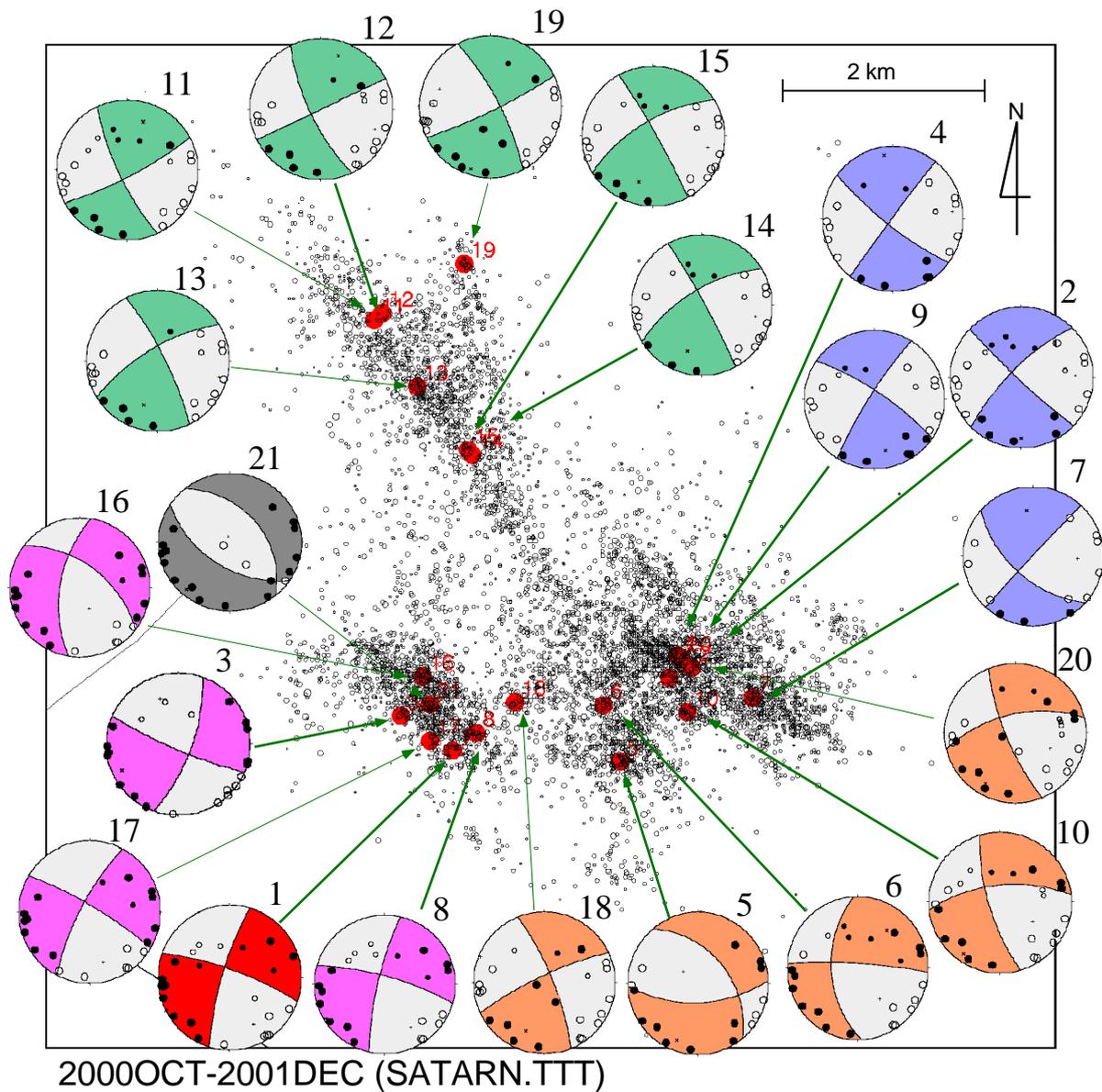


Fig. 4 Space-time distributions for divided periods. (1) 41days before the mainshock (DEC1, 2000-JAN11, 2001). (2) The day of the mainshock (JAN12, 2001). (3) 4 days after the mainshock (JAN13-16, 2001). (4) 3 days during JAN17-JAN19, 2001. (5) 2 days during JAN20-21, 2001. (6) 10 days during JAN22-31, 2001. (7) 74 days during FEB1-APR15, 2001. (8) 70 days during APR16-JUN24, 2001. (9) 29 days during JUN25-JUL23, 2001. (10) 10 days during JUL24-AUG2, 2001. (11) 59 days during AUG3-SEP30, 2001. (12) 92 days during OCT1-DEC31, 2001.



No.	Year	Mo	Dy	hr	mn	sec	Lat.	Long.	Depth	Mj
1	2001	01	12	08	00	04.403	35.45907	134.48935	8.263	5.4
2	2001	01	12	08	22	02.976	35.46650	134.51544	8.923	3.7
3	2001	01	12	09	14	57.038	35.46215	134.48371	5.738	3.8
4	2001	01	12	18	27	15.365	35.46756	134.51387	8.276	3.8
5	2001	01	13	02	10	23.249	35.45807	134.50761	7.933	3.7
6	2001	01	13	23	52	51.729	35.46310	134.50577	8.517	3.6
7	2001	01	14	08	55	07.186	35.46378	134.52202	7.415	4.1
8	2001	01	15	10	06	39.048	35.46062	134.49195	8.532	3.7
9	2001	01	15	23	20	44.704	35.46556	134.51297	9.629	4.4
10	2001	01	18	18	24	00.650	35.46250	134.51494	9.911	3.6
11	2001	01	20	05	17	36.233	35.49777	134.48081	8.781	3.9
12	2001	01	20	05	19	50.620	35.49840	134.48170	10.080	4.7
13	2001	01	20	05	27	00.460	35.49180	134.48550	8.610	4.1
14	2001	01	20	06	25	04.430	35.48560	134.49145	7.876	3.8
15	2001	01	20	07	23	59.692	35.48606	134.49101	8.106	4.5
16	2001	01	21	01	46	10.510	35.46570	134.48610	8.800	3.7
17	2001	01	24	00	03	47.530	35.45990	134.48690	8.930	4.2
18	2001	02	01	01	50	50.310	35.46340	134.49620	9.200	3.9
19	2001	02	03	09	24	06.800	35.50280	134.49060	7.060	3.6
20	2001	02	16	02	19	06.170	35.46740	134.51420	8.810	4.5
21	2001	02	23	08	58	08.880	35.46320	134.48690	6.850	4.2

Fig. 5 Focal mechanisms of the mainshock and following major events.(upper hemisphere, stereo projection)

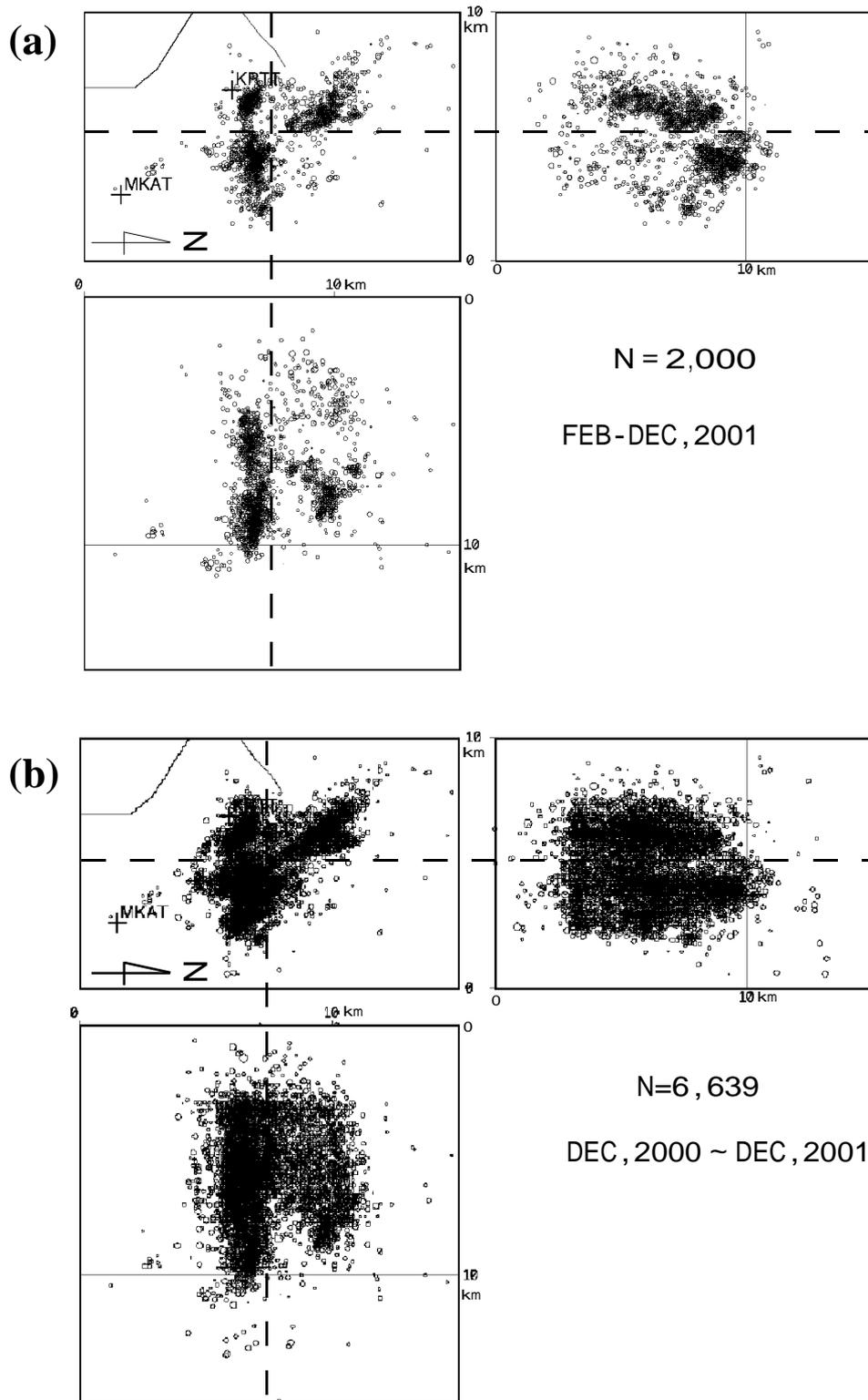


Fig. 6 (a) Hypocenter distribution with high resolution by determination using temporal stations, KRTT and MKAT (FEB-DEC, 2001). (b) Hypocenter distribution including low resolution data (DEC, 2000-DEC, 2001).

6. 深さ分布の特徴

臨時観測点を増設したことにより、今回の活動域における震源の深さが精度良く求まるようになった

(片尾・吉井2001)。精度良く震源が求まった2001年2月から12月までの震源分布をFig.6 (a) に示す。また、Fig.6(b)には臨時観測点設置前のものも含めて2000年12月から2001年12月までの震源分布を

示す。Fig.6(b)の地震数6639個に対し、Fig.6(a)に示す精度良い地震数は2000個と少ないが、それぞれのクラスター毎の震源分布を解析した。また、図を見やすくするため破線を用いて震源図を四象限に分割した。地震活動を南北断面で見ると、南側活動域の震源の深さはおよそ5~11kmで、北側活動域の深さは3~5kmおよび7~9kmに分布し、5~7kmの深さには地震が発生していない空白域が存在することが分かった。地震活動を東西断面で見ると、西側部分の震源の深さはおよそ3~9kmで、東側部分の活動域の震源の深さはおよそ8~9kmに集中していることが分かる。なお、どちらも深さ分布図でみる浅いところが3kmにトラップされたように求まっているが、震源決定に用いている速度構造に起因すると考えている。

7. 考察

山陰地方における1983年鳥取県中部地震、2000年鳥取県西部地震後の地震活動は、主震の断層面に沿う余震と、その両側に離れて起きる誘発地震によって \div 型、あるいは $\%$ 型の分布を呈している。今回の兵庫県北部の一連の地震活動は走向の異なる複数の地下断層系が同時に活動し、震央分布にはやはり \div 型分布が認められる。ただし、主震は中央でなく西南側のクラスターに含まれる(渡辺, 2001)。

また、今回の兵庫県北部の震源は、広帯域MT観測により求めた比抵抗構造の高比抵抗領域およびその南側の浅部まで存在する低比抵抗領域との境界領域に分布しているようである(笠谷ほか, 2002)。南側の低比抵抗領域は、扇ノ山、氷ノ山など火山の付近に存在していて、地殻浅部まで低比抵抗値を示す構造になっている。また、地震発生領域における高比抵抗は深さ10数キロまで続き、その下部は再び低比抵抗になっていると指摘されている。

また、今回の兵庫県北部の地震活動域の周辺は重力異常が顕著に変わる場所とされ、古いカルデラ内に発生した地震ではないかと指摘されている(平松ほか, 2001)。1996年8月の秋田・宮城・山形県境付近の鬼首地域で発生した群発地震は、カルデラの周辺で発震機構の異なるM5級の地震が連続して発生した(例えば、海野ほか, 1997)という点で、今回の兵庫県北部の活動との類似点が認められる。

8. まとめ

主震発生後、一連の地震活動を時間・空間的、かつ発震機構的に解析した結果次のことが分かった。

前震活動の発生場所は主震のすぐ北東で、主震後の一連の地震活動は東西に約6km、南北に約7kmに及んだ。

震源分布はおよそ五つのクラスターに分けることができ、概ね北西-南東走向の伸びをもつ地震活動であった。主震を含むクラスターの地震活動は、前震・本震・余震パターンで発生したが、地震活動は群発的に東へ()、さらに北へと移動拡大し()、その東側でも南南東へ拡大し()、全体の群発地震活動域を形成した。

兵庫県北部の1977年から1994年にかけての地震活動は、兵庫県南部の地震前に発生し、今回の地震活動は鳥取県西部の地震後に発生した。それぞれの因果関係は不明だが、西日本において地震活動が活発化の傾向が考えられる。

謝 辞

兵庫県美方郡温泉町役場の馬場雅人町長、坂本 明助 役および生活住民課の中村 茂掛長には臨時観測点設置に多大のご協力をいただきました。また、霧滝地区の小椋 茂氏、ならびに住民のみなさまにご協力にいただきました。鳥取観測所の矢部 征技官、中尾愛子氏には励ましや読み取りを手伝っていただきました。臨時観測点の機器設置には小泉 誠技官、藤田安良技官にご協力いただきました。

参考文献

- 海野徳仁・矢部康男・長谷川昭(1997): 1996年鬼首地震の震源域における CFFによる地震活動の変化, 日本地震学会講演予稿集, No.2, A53.
- 大見士朗・渡辺邦彦・平野憲雄・中川 渥・竹内文朗・片尾 浩・竹内晴子・浅田照行・小泉 誠・伊藤 潔・和田博夫・澁谷拓郎・中尾節郎・松村一男・許斐 直・近藤和男・渡辺 晃(1999): 微小地震観測網SATARNシステムの現状と概要, 京都大学防災研究所年報, 第42号B-1, pp.45-60.
- 笠谷貴史・大志万直人・塩崎一郎・中尾節郎・矢部 征・藤田安良・近藤和男・宇都智史・吉田賢一(2002): 兵庫県北部域での地殻比抵抗構造, 京都大学防災研究所発表講演会, AV06.
- 片尾 浩・吉井弘治(2001): 鳥取県西部地震直後の緊急余震観測による震源分布, 京都大学防災研究所年報, 第44号, B-1, pp283-292.
- 鳥取県, 2000: 雨滝-釜戸断層系に関する調査成果報告書(概要版)
- 中尾節郎・澁谷拓郎・西田良平・佃 為成・尾池 和夫(1991): 地震活動帯における空白域と地震

- 発生の関係について，京都大学防災研究所年報，第34号，B-1，pp.1-21.
- 中尾節郎・西田良平・石賀 崇・西上欽也（1996）：鳥取県東部及びその周辺の地震活動について（ ），京都大学防災研究所発表講演会，1-38.
- 中尾節郎・澁谷拓郎・松村一男・片尾 浩・渡辺邦彦・（2001）：鳥取県西部地震前後の山陰地方の地震活動，京都大学防災研究所発表講演会，P34.
- 西田良平・中尾節郎・石賀 崇・西上欽也（1998）：鳥取県東部及びその周辺の地震活動について，京都大学防災研究所年報，第41号，B-1，pp.1-9.
- 平松良浩・本多 亮・河野芳輝（2001）：「兵庫県北部地震」は中新世のカルデラで発生した!？，地球惑星科学関連学会2001年合同学会予稿集，So-011.
- 渡辺邦彦（2001）：鳥取県西部地震と兵庫県北部の地震，地震ジャーナル，31，地震予知総合研究振興会，pp.22-31.

The Northern Hyogo Earthquake (JAN12, 2001; Mj5.4) and Following Seismic Activities

Setsuro NAKAO, Hiroshi KATAO, Takuo SHIBUTANI and Kunihiko WATANABE

Synopsis

The Northern Hyogo earthquake (Mj5.4) occurred on JAN12 in 2001. Following activities expanded 6km along EW direction and 7km along NS direction. From space distribution and focal mechanisms, the hypocenter distribution can be divided into 4 or 5 clusters. In this study, we compare the seismicity in past and the activities in 2001, and discuss about the feature of seismicity and focal mechanisms.

Keywords: Northern Hyogo earthquake, seismicity, space-time distribution, focal mechanism, cluster