

2000年鳥取県西部地震

梅田康弘・松村一男・澁谷拓郎・片尾 浩・大見士朗・

渡辺邦彦・伊藤 潔

要旨

2000年10月6日に鳥取県西部を中心とするマグニチュード7.3の地震が発生した。震源域では10年以上前から断続的に地震活動が続いていた。本震による比較的大きな破壊領域は、この前駆的地震活動域を取り囲むように分布している。また余震活動は大きな破壊領域では少なく、逆に北西部のやや小さな破壊域で多く発生している。本震の直下では比抵抗の低い領域が存在すること、また直下30km付近には深部低周波地震が発生していたことがわかりこの地震発生に高温流体が関与した可能性も指摘された。

キーワード：2000年鳥取県西部地震、群発地震、余震、低周波地震

1. はじめに

2000年10月6日13時30分、鳥取県日野町を震源とするマグニチュード7.3の地震が発生し、日野町や境港市で震度Ⅵ強を記録した。幸い死者はなかったが、重軽傷者137人、全壊149棟、半壊773棟の被害が発生した。震源域には確実度Ⅲの鎌倉山南断層が確認されていたが、この断層の走行が東北東であるのに対し、本震の破壊面はそれとほぼ直交する方向であった。このことから鎌倉山南断層は今回は活動しなかったと見られている。活断層の認定されていないところで、被害地震が発生する事はこれまでもあり、特に珍しいことではない。本震による断層も明瞭な形では地表に現れなかったが、西伯町上中谷の国道180号線から東の脇道に入ったところで、地震断層の一部分と見られるクラックが地質調査所によって見いだされた。本震の震源域では10年以上前から活発な地震活動が断続的に続いていた。活発な地震活動域において、さらに大きな地震が発生することは、1984年長野県西部地震のような例もあるが、一般的には少ない。

この地震の発生に先立ち、地震調査研究推進本部

と防災科学技術研究所が進めてきた高感度地震観測網（Hi-net）や強震観測網（KIK-net）が整備されていたため、震源を取り巻く多くの観測点で完全な地震波形が得られた。これらのデータはほぼリアルタイムで公開されるとともに、本震に続く余震分布などもホームページで公開された。また国土地理院による電子基準点、通称GPSネットワーク（Geonet）の完成により、本震による変位場もほぼリアルタイムで公開された。即時公表されるデータを使って、本震の破壊過程などの研究成果も非常に早い段階で公表されるようになった。このような観測網の整備とデータや解析結果のすみやかな公開は、今回特筆すべきことである。

2. 震源域を含む周辺の過去22年間の定常観測網で見た地震活動

この地域で注目すべき地震が発生したのは1989年10月27日のMj5.3の地震で、この地震以来、この地域の地震活動が活発になりMj5以上の地震を伴う大きな活動が翌年の1990年、更に1997年と3

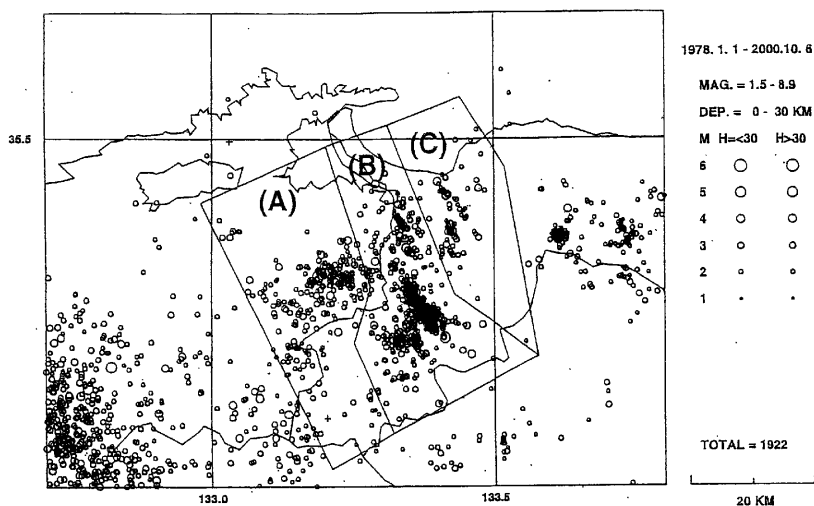


図1 鳥取・島根県境の地震分布 (1978.1.1~2000.10.5)

回あり, M_j5 以上の地震が計6回発生している。1989, 1990年と2年続いた活動の後は鳥取県西部地震の震源域の西方の島根県東部で1991年8月28日に $M_j5.9$ と、それまで鳥取県西部で活動していた地震よりも大きな地震が発生し、新たな群発活動が始まった。しかし鳥取県西部ほど活発ではなく2年程で大きな活動は終わっている。

第1図に鳥取微小地震観測所(1990年から鳥取観測所)からの震源データを用いて、1978年から2000年10月5日までの震央分布図を示す。鳥取・島根県境付近の地震活動域を、2000年鳥取県西部地震を含む地域(B)、その西側の島根県東部地域(A)、反対の東部の地震活動域(C)の3つに分けて地震活動の推移をしらべた。第2図は、上記の3つの地域の M_j -T図である。Aの島根県東部域は1982に M_j は小さいが、群発活動が起こっている。その後、1991年8月29日に $M_j5.9$ の地震が発生し群発活動が始まった、この地震はほぼ東西の主圧力方向を持つストライクスリップ型の発震機構で、鳥取県西部の地震と同じである。この活動の主要部分は半年ほどで終了し、1992年後半と1993年後半に少し活動が活発になった後は活動が低調になり、1997年後半、1999年後半に僅かに活動があった。

2000年鳥取県西部地震を含むB地域では、1981年ごろの小さな群発活動のあと、1989年10月27

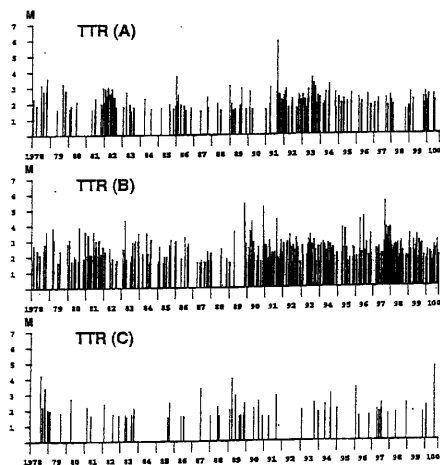


図2 第1図の各地域の地震の時系列

日に $M_j5.3$ の地震が発生し、翌月の11月2日にも $M_j5.4$ の地震が起こって半年ほど活動が活発であった。震央は鎌倉山南方断層の南方に分布し、今回の地震の余震域と同じ走行をもった配列をしている。これらの活動の静穏化後の1990年11月21日にも

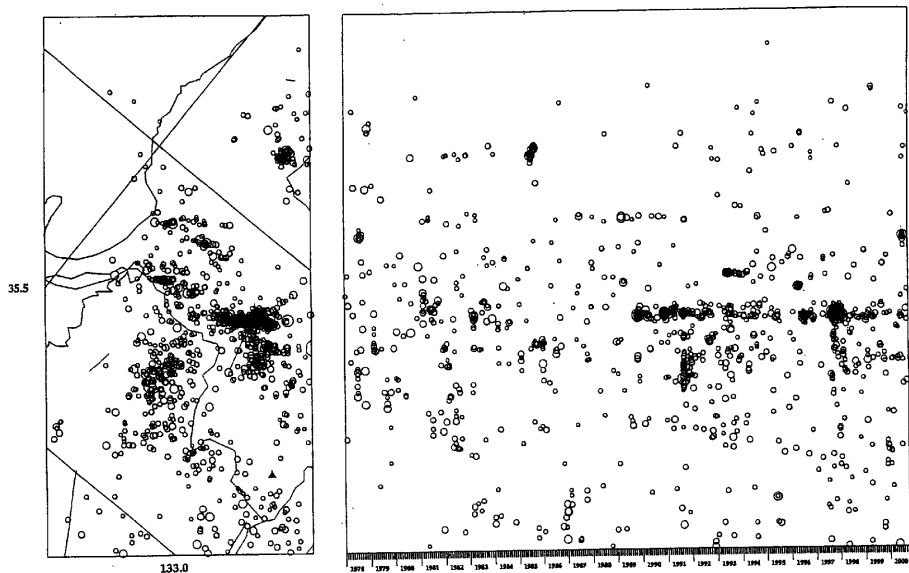


図3 2000年鳥取県西部地震の余震域に直交する方向に投影した次空間分布

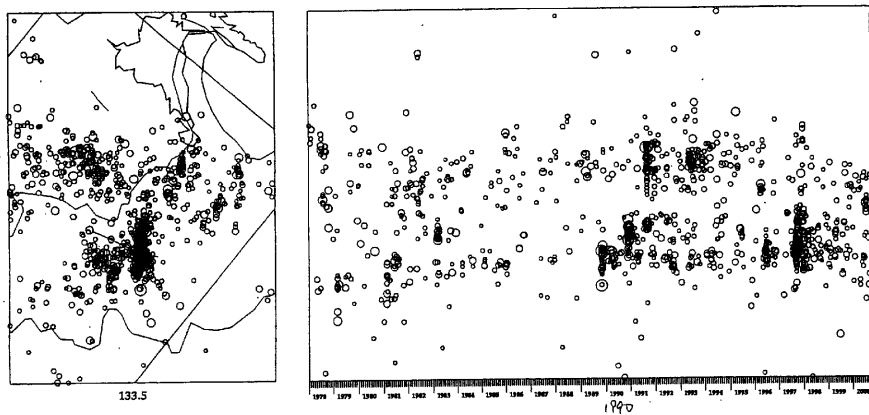


図4 2000年鳥取県西部地震の余震域に並行する方向に投影した次空間分布

Mj5.1, 11月23日にMj5.2, 12月1日にMj5.1と同規模程度の地震が集中して発生し群発活動が始まった。これらの震源域は前年の震源域から鎌倉山南方断層を超えて北東に移動した。震央分布の並びも移動の延長線上にある。この群発活動は前回より少しく7ヶ月程度で一旦静かになり、その後Mj4クラ

スの地震で3たび活動が活発になると思われたが、となりのA地域に活動が移ったため、大きな活動にはならなかった。その後も1993年や1994年などの小さな活動を繰り返し1997年8月23日にMj3.1の地震が起こるとその12日後の9月4日にMj5.4の地震が発生し群発活動が活発化してきた。この活動

は、1989 年、1990 年よりも長く 8 ヶ月以上も続いた。また、震源域も、前の 2 つの震源域をカバーし、さらに南北に広がっている。最大地震規模や $M_j 5$ 以上の地震の個数は前の 2 つの群発活動に比べて劣るが、余震域や群発活動の長さを考慮すると、2000 年鳥取県西部地震との関連性は最も高いと思われる。1989 年、1990 年、1997 年の群発活動と 2000 年の地震との関係は次節で詳しく述べる。

東側の C 地域は群発活動はないが、 $M_j 3$ を超える地震が B 地域に活発な活動に先行して起こっているように見える。先行時間がまちまちなのでなんともいえないが、2000 年の 7 月 17 日に発生した地震は今回の地震の予兆であった可能性は大きい。第 3 図と第 4 図は今回の地震の余震域の走行に直行する方向と並行する方向の面に投影した地震の時空間分布図である。前述した活動の時空間的な推移がよく見られる。

3. 前駆の群発地震活動と本震の破壊過程

前節で述べた B 地域では、1989 年、1990 年と 1997 年にも $M_j=5.1 \sim 5.4$ の 6 回の地震を含む群発的

地震活動が発生している。我々は、それらの群発地震活動の際に震源域近傍において、そのつど臨時観測を行い、定常観測のデータと併せて解析することによって、精度の良い震源分布やメカニズム解を蓄積してきた。1997 年までの群発的地震活動と今回の地震活動を比較することにより、今回の地震がどのような状況の下で発生したのかを本節では明らかにしていきたい。

第 5 図に 1989 年、1990 年、1997 年、2000 年の活動の地震活動を示した。これらの震源は、臨時観測から得られたデータも使用したマスターイベント法により再決定したものである。1989 年の活動は鎌倉山南方断層 (KNF) の南東側に限られて発生し 1990 年の活動は同断層の北西側に限られている。これに対し 1997 年の活動は同断層をまたいで 1989 年と 1990 年の活動をあわせた領域にのびている。図 6 には各活動期間の震央分布をシンボルの濃さを変えて重ね書きしたものを示した。震央分布を見る限り 1997 年までの地震活動は 2000 年の活動と一致していることがわかる。1989 年～1997 年の活動について、鳥取県西部地震の推定断層面に投影したものを図 7 に示した。深さ分布に関しては、これら 3 回の活動はいずれも深さ 5 ～ 12 km に発生している。

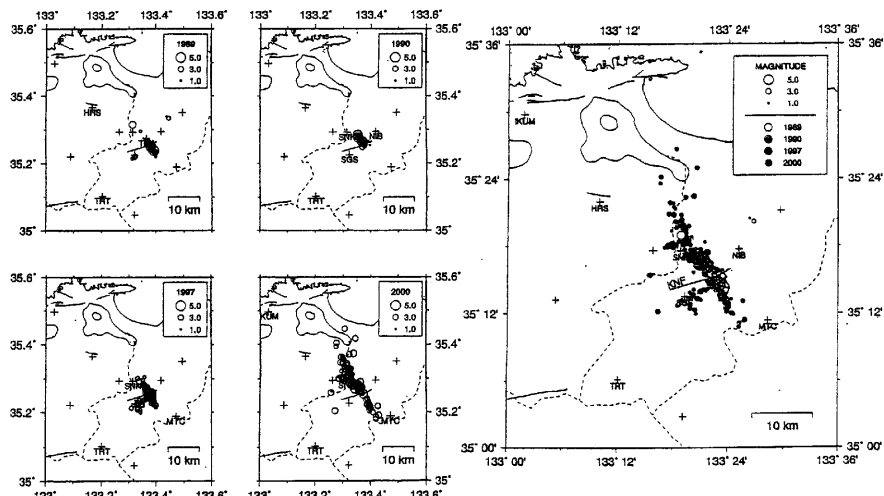


図 5 1989 年、1990 年および 1997 年の群発的地震活動と鳥取県西部地震の余震活動。

+印は、震源決定に用いた観測点 (臨時点を含む)

図 6 1989 年、1990 年および 1997 年の群発的地震活動と鳥取県西部地震の余震活動における震央分布の比較。観測点コードを付した + 印は、震源決定に用いた観測点 (臨時点を含む)。KNF を付した実線は、鎌倉山南方断層 (確実度 III) を示す

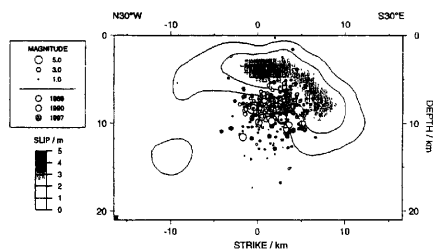


図7 鳥取県西部地震本震のすべり分布と1997年以前の群発的活動の震源分布の比較。すべり分布はK-net, KiK-net 波形データを用いた震源バージョンにより求められた。(岩田ほか, 2000)。横軸は、余震分布から推定された断層の走向(N30°W—S30°E)にとった

1989年～1997年の震源分布に重ねて、強震波形記録から推定された本震時のすべり分布⁽¹⁾が示されている。すべり量の大きい領域は、北西側では浅く(2～5 km)、南東側ではやや深く(3～11 km)となっている。1989年～1997年の群発的活動の震源分布と比較すると、これらの活動は、今回の本震でのすべり量が比較的小さい領域(5～12 km)に集中している。また、今回の余震分布についても、本震時のすべり分布との間に相補的な関係が見いだされる。

4. 微小地震定常観測網による本震と直後の余震活動

この節では、京都大学防災研究所地震予知研究センターの微小地震観測網(以下、本観測網と記す)によって観測された、平成12年鳥取県西部地震の本震および余震活動について述べる。

本観測網によって決定された、平成12年鳥取県西部地震の本震の位置および発震機構解を図8に示す。震源決定に際しては震央距離125 km以内の観測点の検測データ、発震機構解に関しては震央距離300 km以内の観測点の初動極性データを用いた。図9(a)に、本震後1時間、それに引き続く2時間、次の4時間、8時間、16時間、32時間の余震分布を示す。最初の数時間は、本震震央の北側で活動が激しく、その後南側でも活発化した。図9(b)には、

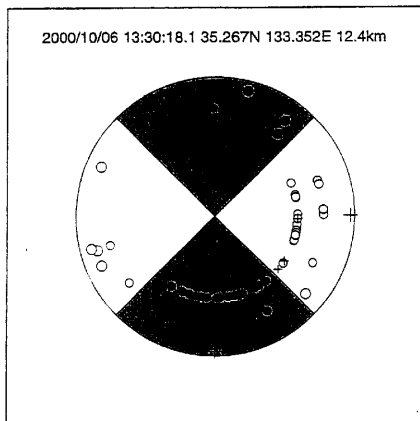


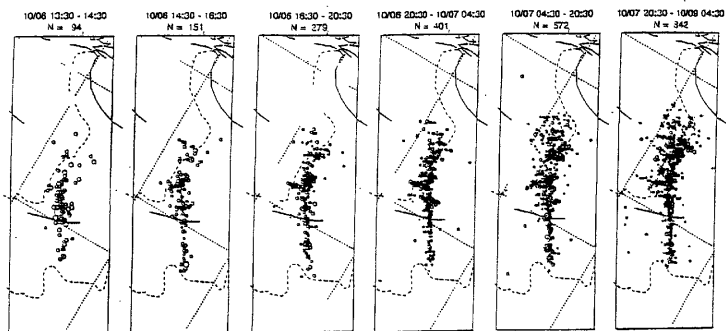
図8 京都大学の微小地震観測網データで決定した本震の震源位置と発震機構解(上半球)投影

本震直後の余震分布の時空間分布を示す。本震発生後2時間程度の間には余震発生が全域に広がったことが認められる。

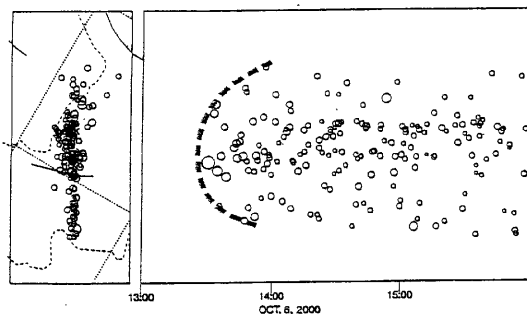
図10(a)に、本観測網で決定された2000年11月13日までの余震分布(暫定値)を示す。図10(b)は、その時空間分布図である。これらには、自動処理、再検測処理結果のほか、気象庁検測データを用いて本観測網の手法で震源を再決定したものも含まれる。なお、11月8日前後には、システムトラブルに伴うデータの欠落がある。図10(b)において2000年10月12日前後から震源が浅くなるのは、後述のように直上に展開された臨時観測点のためである可能性が高い。図10(c)には、余震発生数の推移を示す。図10(c)上側は、図(a)中の余震の1時間ごとの発生数とその積算数を示し、図10(c)下側は、気象庁震源データに基づく同地域のM4以上の地震の発生状況を示す。

本震発生から約2日後の、2000年10月8日13時17分には、本震の余震域から南西側25 km程度のところでMj5.5の地震が発生し、引き続き地震活動が継続した。この活動の震源分布も、本震の余震活動の震源分布に平行な北西から南東の走向を示している。さらに、本震から20時間程度経過後には、大山火山南東側でも小規模な群発地震活動が始まった。

図11(a)に、震源決定の条件を揃えて再決定



(a)



(b)

図9 (a) 本震直後の余震分布の時間変化. 左から本震後1時間, 引き続く2時間, 4時間, 8時間, 16時間, 32時間の震央分布を示す. (b) 本震直後の余震分布の時空間分布

した余震分布を示す。これは、震源域直上の臨時テレメータ観測点を含む、7観測点のデータを使用し、観測点補正値を求めて震源を再決定したものである。なお震源域直上の観測点を使用しない場合、震源は北側で系統的に深くなる傾向があり、注意が必要である(図11(b))。

図11(a)によれば、余震活動には、本震の震央付近を境にして南北で差異が認められる。南東側ではほぼ直線状に震央が並ぶのに対して、北西側では、いくつかのクラスタ的な活動が全体として余震域の走向に並んでいる。これらのクラスタには、細か細

かくみると、それぞれが東西方向の走向を持つ線状構造を呈しているものも見られる。

5. 前震および本震に先行した深部低周波地震

本震の発生前約12時間の2000年10月6日01時55分(JST)に、震源域でM1.7の前震と思われる地震が観測された。本震の震源位置とのマスターイベント法による前震の震源は、断層面上の、本震震央から約3km離れた場所に求められた。図12(a)

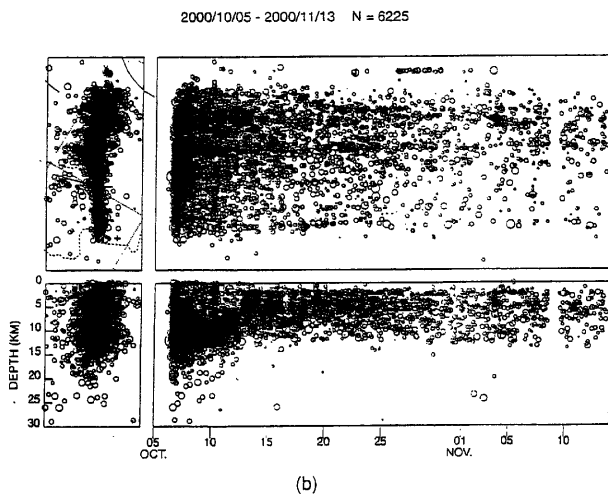
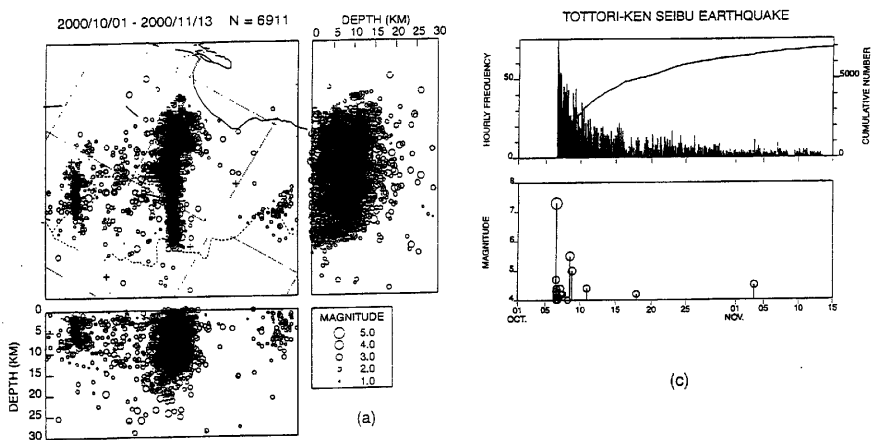


図 1.0 (a) 京都大学の微小地震観測網で決定した余震の分布(2000/10/1 - 2000/11/13, 暫定値)、(b) 第 3 図(a)に示した余震の時空間分布、(c) 第 3 図(a)に示した余震の時間別地震発生数とその積算個数(上)および、気象庁データによる同地域の $M \geq 4$ の地震の M-T ダイアグラム

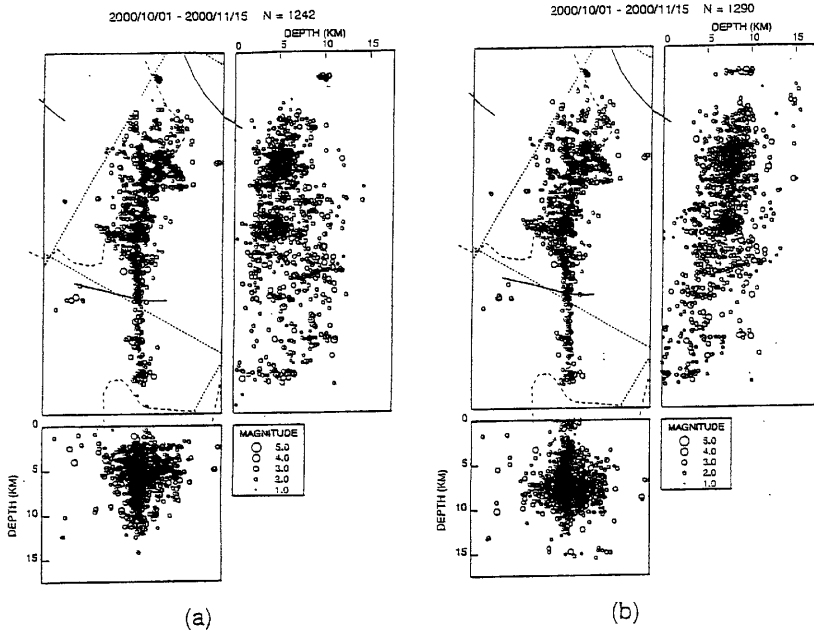
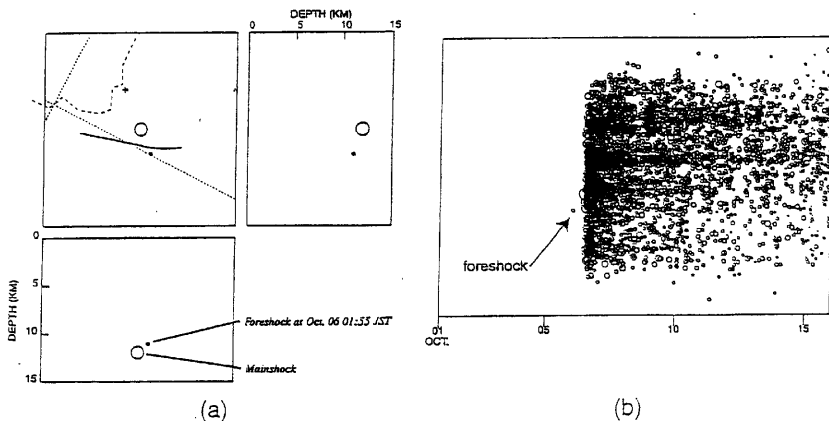


図 1.1 (a) 条件を揃えて再計算した震源分布(2000/10/01 - 2000/11/15). 震源域直上の臨時観測点を含む 7 観測点を使用し、観測点補正値を求めて再計算したもの、(b) 震源域直上の観測点をのぞいて再決定した震源分布。北西側に向かって震源分布が深くなるように見えるため注意が必要である。



第 1.2 図(a) 前震の位置。本震の震源とマスターイベント法により決定
(b) 前震の発生時期

TRT-V (8218) 00/10/06

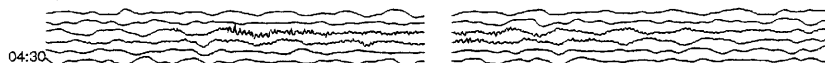


図 1.3 本震に先行した深部低周波地震の波形例. 2000/10/06 04:25:00(JST)からの 6 分間の TRT 観測点 (35.1022N, 133.2016E)での上下動成分を示す

に、前震の発生位置を本震のそれとともに示す。また、図 1.2 (b)には、時空間分布図上に前震の発生時期を示す。

気象庁の震源リストによると、本震の震源域では、1997 年 10 月以降本震発生までの間に、断層面の深部延長上と思われる深さ 30km 前後の場所で 4 個の深部低周波地震が発生している。これらの 4 イベントの TRT 観測点（本観測網中、本震震央に最も近い点）における波形を概観したところ、微動のような 1 分程度以上の継続時間を持つ特徴が認められることがわかった。本震発生前数日間の TRT 観測点の連続記録を精査したところ、本震に先行する約 9 時間前の 2000 年 10 月 6 日 04 時 27 分にも同地域で深部低周波地震の発生が認められた。図 1.3 には、2000 年 10 月 6 日に発生した深部低周波地震の TRT 観測点における波形例を示す。震源は、暫定値であるが、本震の震源域の深さ約 32km に求められた。地震発生前の地殻深部の流体の挙動を理解する上で深部低周波地震の解析は重要なテーマであると考えられる。

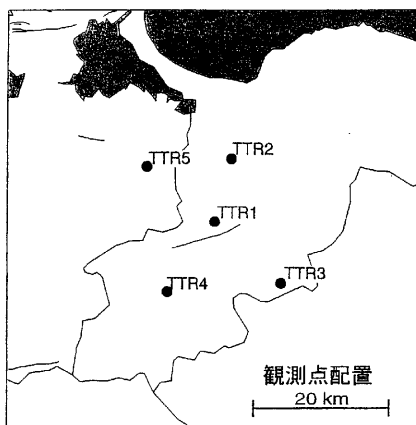


図 1.4 緊急余震観測点配置

6. 緊急余震観測による震源分布

本震直後の余震活動を精度よく観測するため、本震翌日の 10 月 7 日午前より現地入りし緊急余震観測を行なった。同日午後、本震震源の直上にあたる鎌倉山北側の山中に高感度地震計（TTR1）を設置した。翌 8 日は、余震域を囲むように会見町朝金（TTR2）、日野町三土（TTR3）、日南町尾郷（TTR4）、島根県伯太町上卯月（TTR5）の 4 点に地震計を設置し観測を開始した。（図 1.4）地震計は MARKPRODUCT 社製 L-22D 3 成分もしくは上下動 1 成分のみを使用した。データロガーとして白山工業製 LS8000SH をトリガーモードで使用したが、無数の余震が連続的に発生しているため、時間的にほぼ連続してトリガーがかかる状態で、1 回の収録につき数時間でメモリーがいっぱいになってしまった。しかしながら、10 月 8-9 日の 2 日間にわたりデータ回収と再セットを繰り返すことによって、極微小のものから最大余震までを含む、多数の余震の良好な波形記録を得ることができた。これらの 5 点は、連続観測を継続することが困難であるため 10 日に撤収し、12 日から始まる大学合同稠密余震観測に備えることとした。

図 1.5（左）はこの緊急観測によって得られた震央分布の例である。10 月 9 日 14 時～22 時までの 5 点の観測点すべてが同時に稼働していた時間帯を選んだ。この時間内で決定できた震源は 477 個であった。マグニチュード頻度分布から推定する検知能力の下限は M0.8 程度であり、それより規模の小さな極微小余震も数多く捉えられている。同じ時空間範囲で本観測網（京都大学の微小地震定常観測網）で得られた地震数は 139 個であった（図 1.5 右）。マグニチュード頻度分布から推定される同地域における定常観測網の検知能力の下限は M1.5 程度である。同じく気象庁速報震源および科学技術庁防災科学研究所 Hi-net によって決定された震源は、各々 79 個および 107 個であった。このように本緊急観測では、既存の広域観測網に比べ格段に多くの余震をとらえることができ、極めて短い観測期間にもかかわらず

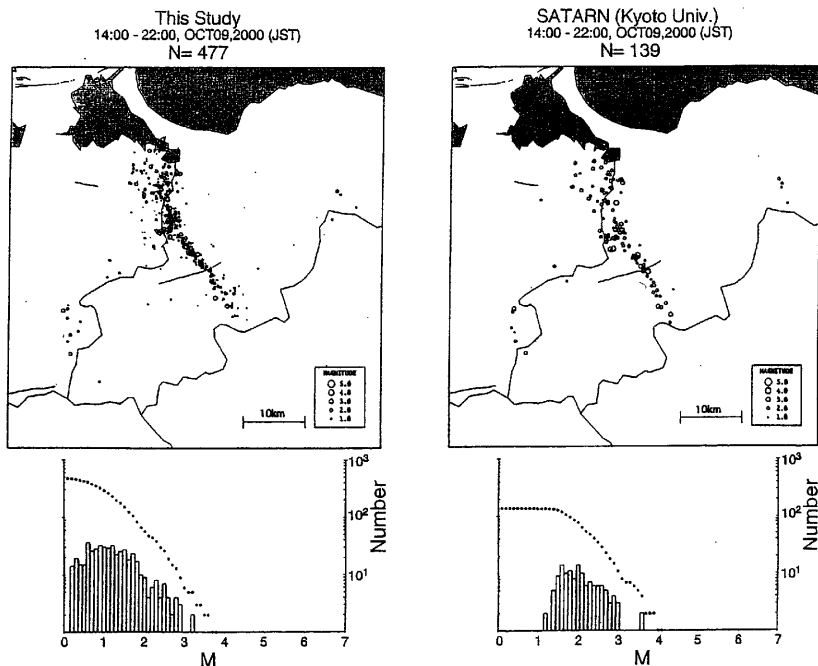


図 1.5 左：緊急余震観測による震央分布。右：定常観測網による震央分布（2000 年 10 月 9 日 14 時～22 時）

らず余震分布の概要を把握することができた。なお本緊急観測は、京大の鳥取観測所系ルーチン観測と同一の速度構造を震源決定に用いた。

この緊急観測により得られた 10 月 9 日 13 時～10 日 01 時までの 12 時間の震源を図 1.6 の矩型領域（長辺の走向は N35E）に区切り、震央分布および断面図を示す。矩型領域内に決定された震源は 710 個で、P 波走時の O-C は概ね 0.05 秒以下で求まっている。余震域南半部では震央はほぼ一直線上に並ぶ。深さは約 3km から約 12km までほぼ均等に分布しており、垂直な一枚の面のような分布を示す。一方、余震域の北半部では震央はやや広い範囲に分散している。北半部は南半部に比べ全体的な分布の走向が時計回りにふっているように見えるが、いくつかのクラスターに集中する傾向があり南半部のような顕著

な直線性はない。深さ分布では、約 5km 付近に集中し、10km 以深にはほとんど活動がみられない。

第 1.7 図はこの緊急観測により得られた震源分布の北西-南東断面を岩田ら⁽¹⁾による本震のすべり分布と比較したものである。すべり量の大きい場所では余震が少なく、その周辺のややすべりの少ない部分に集中するようである。本震震源（破壊開始点、TTR1 の直下）付近は浅部に比べすべり量が小さく、多くの余震が起っている。北半部では浅部のすべり量の大きな部分の延長部およびその周辺で余震活動が活発である。また全体的には、余震域南半部では深いところから浅いところまで均等に分布し、北半部では約 5km 付近に集中するという余震分布の特徴によく対応するように見える。

[illegible]

— 57 —

謝辞

本報告で使用したデータには、気象庁および防災科学技術研究所(Hi-Net)の波形データのほか、気象庁による検測データ、震源リストが使用されている。地震予知研究センターの職員と大学院生、特に鳥取観測所の職員には観測、データ処理にお世話になった。記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 岩田知孝, 関口春子, 松元康広, 三宅弘恵, 入倉孝次郎: 2000 年鳥取県西部地震の震源過程と震源近傍強震動, 地震学会 2000 年度秋季大会, T06

The 2000 western Tottori earthquake

Yasuhiro UMEDA, Kazuo MATSUMURA, Takuo SHIBUTANI, Hiroshi KATAO, Shiro OHMI, Kunihiro WATANABE and Kiyoshi ITO

synopsis

The earthquake with M_j 7.3 occurred in the western part of Tottori prefecture. At epicentral area, the higher level of intensity 6 were recorded. No one was killed, but more than 100 peoples were injured. The seismicity has been high on the border area of Tottori-Shimane prefecture. In the epicentral area, the swarm earthquakes have been occurred from 1989. Most of these swarm earthquakes distribute on the low slip portion of the main shock. Four low frequency earthquake which occurred at 30 km depth were observed after October 1997. About 12 hours before the main shock, small event of $M1.7$ occurred at 3 km distance from the rupture start point of the main shock. Aftershock distribution was obtained from the routine network and the urgent temporary observations. On the south part, aftershocks distribute within the narrow zone, but they disperse in the north part. The induced earthquake occurred in two area where were south-east of Mt. Daisen and east of Shimane prefecture. Most of aftershocks related with the rupture of main shock distribute on the low slip portion of the main shock.

Key words : 2000 western Tottori earthquake, swarm earthquake, aftershock, low frequency event