

1995年兵庫県南部地震直後の臨時余震観測

伊藤 潔・梅田康弘・渡辺邦彦・尾上謙介・馬場久紀・小泉 誠・松尾成光
平原和朗・根岸弘明・山崎 朗・中村 衛・Glenda Besana・藤原善明
平松良浩・堀川晴央・中村恭之・嶋田庸嗣・平田正哉・大東明子・中野健秀

TEMPORARY AFTERSHOCK OBSERVATION IMMEDIATELY AFTER THE 1995 HYOGO-KEN NANBU EARTHQUAKE

By Kiyoshi ITO, Yasuhiro UMEDA, Kunihiko WATANABE, Kensuke ONOUE, Hisatoshi BABA,
Makoto KOIZUMI, Shigemitsu MATSUO, Kazuro HIRAHARA, Hiroaki NEGISHI, Akira YAMAZAKI,
Mamoru NAKAMURA, Glenda BESANA, Yoshiaki FUJIWARA, Yoshihiro HIRAMATSU, Haruo HORIKAWA,
Yasuyuki NAKAMURA, Yoji SHIMADA, Masaya HIRATA, Akiko OHIGASHI and Takehide NAKANO

Synopsis

Temporary observation of aftershocks of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquakes, occurred January 17, 1995, was conducted from the next day of the main shock during about two weeks. Nine individual stations were set by Kyoto University and one by Tokai University on Awaji island and to the north of the Kobe City. The observation was followed by the University Group Joint Observation with a telemetered observation network started on January 26. From the frequency distributions of the S-P times, it is found that aftershocks were very few along the Nojima fault on Awaji island, of which surface dislocation is as large as 1-2m in right-lateral strike slip motion. This feature of the epicenter distribution is certified from the precise determination of hypocenters by the telemetered network stations. Thus, the aftershock area was defined in the early stage of the earthquake sequence within half to one day, though the area spread gradually. The fact that few events occur along the earthquake surface fault is very important to interpret the relationship between the active fault and the dislocation and /or the rupture process of the earthquake. Besides, the temporary observation of aftershocks is necessary for the reduction of disaster just after the main shock and prediction of the large aftershocks as well as the study of the earthquake itself. To achieve this purpose, temporary network with radio telemeters is effective at immediately after the main shock. A telemetered network with telephone lines or satellite communication is also useful some time after the main shock, when some parts of disaster are recovered.

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震の直後に、京都大学防災研究所地震予知研究センターでは、余震観測およびGPS観測を実施した。これらの観測は、その後全国の大学による緊急地殻活動観測網¹⁾へと引き継がれた。従

来の定常的な観測網は、大地震が起きたときの状況の詳細な把握には不十分であった。特に、余震分布の精密な決定は他の研究の基礎として不可欠であり、その結果が他の解析に大きな影響を与える。今回の地震においても、震災の帯と言われる神戸などの市街地が、地震断層と一致するかは、正確な余震分布の決定が大きな鍵となった。

また、今回の地震によって、直後に正確な地震断層の位置を知ることはその後の、観測計画ばかりでなく、救助活動、災害の復旧などに重要であることがわかってきた。直後に震源域の大きさを確定するとともに、大きな余震の発生の状況を、震源域の拡大の様子を詳細に把握することによって実時間的に予測し、結果を関連研究機関に知らせることによって、観測・研究の基礎を与えることができる。また、防災関連機関等へ災害復旧に関する指針を与えることもできる。

従来の総合移動観測班等による余震観測は、なるべく詳細なデータを取得する事によって、その後の研究のための資料の蓄積を目的としていた。今回の経験に鑑み、直後の状態の把握をも目的とし、リアルタイム的に状況を把握することも目標にされつつある。

本報告においては、当センターで実施した地震直後（1日後から2週間程度）の臨時観測の概要とその結果について述べる。また、他機関の観測をも含めて、直後に実施された余震観測の状況について概観し、将来の観測の方式について検討する。

2. 余震観測の概要

1995年1月17日に兵庫県南部地震が発生した。その翌日から8-60日間にわたって余震の臨時観測を実施した。地震直後の1日は、地震の概要の把握、既設観測網の保守、対外対策など緊急事態に伴う混乱があ

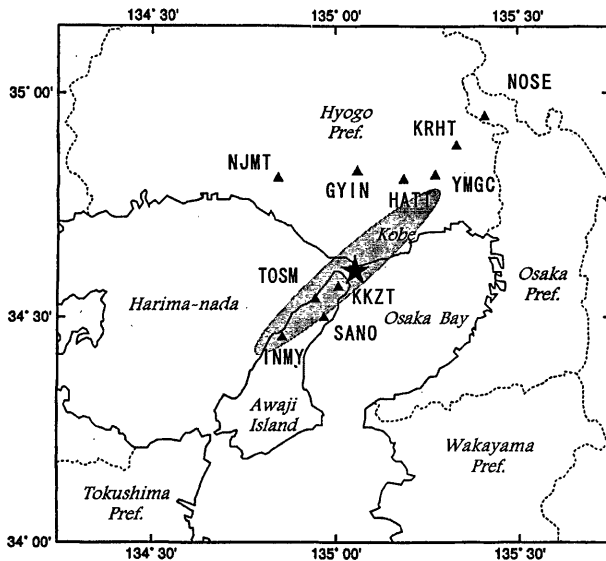


Fig. 1 Temporary stations for aftershock observation of the Hyogo-ken Nanbu earthquake. Star shows the main shock and shade indicates aftershock area.

り、電話がほとんど通じないという事情の中で観測の準備を実施せざるを得なかった。現地における電話と交通の混乱を考慮し、直後の観測は単独点によるものとした。しばらくして、情勢が落ち着くのを待って、電話回線を用いたテレメータ観測に切り替えるという予定を立てた。観測点はなるべく震源地域の真上で、余震の位置の正確な把握による地震断層の位置の推定と、最大余震等が発生する場合に備えて、余震の拡大する方向の把握を目的とした。

Fig. 1に臨時観測点の分布を示す。また、Table 1には観測点の位置および観測期間を示す。観測点のうち、KKZT（岩屋開鏡山）は東海大学が独自に設置した臨時観測点で、このデータも併せて解析した。当センターの観測班は淡路島と神戸の北側の2つの方向から現地に入り、地震観測点の設置を行った。淡路島ではGPS観測班と合同で観測を実施した。神戸側は交通事情、被災地の混乱および地盤条件によって、震源地の直上には観測点の設置はできなかった。

器材は遅延トリガー方式（EDR-1000, 1100, 1300）の単独点で、JYYまたはNHKの時報を同時に記録して時刻を補正した。一部、停電等のため補正ができない観測点があった。サンプリングは100 Hzとし、アンプの倍率は100-1000倍である。地震計は固有周波数2 Hzの上下動（L22D）を使用した。3.5"のフロッピー・ディスクに記録し、その交換は設置した場所で委託した。観測期間は1週間をめぐにしたが、実際は2週間から長いところでは2ヶ月以上に及んだ。

Table 1. List of temporary observation stations.

Station Name	Latitude	Longitude	h (m)	Obs. Period
NOSE Nose	34°56'48.5"	135°24'33.0"	220	Jan.18-Feb.09
KRHT Kiri-hata	34 52 48.9	135 19 57.5	245	Jan.19-Feb.09
YMGC Yamaguchi	34 48 53.2	135 16 28.2	340	Jan.19-Feb.08
HATT Hatta	34 48 19.5	135 11 16.7	270	Jan.19-Feb.11
GYIN Gayain	34 48 31.8	135 03 13.8	120	Jan.19-Feb.14
NJMT Nejmatsu	34 48 34.1	135 50 26.0	50	Jan.19-Jan.31
TOSM Toshima	34 32 28.1	134 56 03.7	40	Jan.19-Mar.06
INMY Ichinomiya	34 27 12.7	134 51 03.0	40	Jan.19-Jan.25
SANO Sano	34 28 10.6	134 56 13.5	80	Jan.20-Jan.27
KKZT Kaikyozan	34 34 32.6	134 59 47.6	170	Jan.20-Jan.27

3. 余震観測結果

データは各観測点ごとに読み取り処理を行った。感度、トリガーレベルなどが一定でないので、共通に観測された地震は少ない。したがって、とりあえず、S-P時間の頻度分布を比較した。

Fig. 2は観測点ごとのS-P時間の頻度分布である。特徴的なことは、淡路島北部において、野島断層が地表で1-2m変位した付近の観測点、富島（TOSM）における頻度分布で、S-P時間が0.4秒以下の地震が非常に少ないことである。一宮（INMY）では0.6秒程度の地震が集中しているのが見られる。佐野（SANO）および岩屋開鏡山（KKZT）では非常に観測点に近い地震が多い。このことは淡路島北部では余震が野島断層より、南東側で活発であったことを示している。神戸側では切畑（KRHT）および能勢（NOSE）で非常に浅い地震が多発している以外は、やはり各観測点とも近い地震は少ない。

Fig. 3には緊急地殻活動観測網¹⁾による震源分布を示すが、Fig. 2のS-P時間の頻度分布はこの分布と調和的である。Fig. 3の震源は再検測後決定し直したものはあるが、地下の速度構造の不確定さによって、位置が必ずしも正しいとは限らない。しかし、1995年11月に実施された爆破地震動による地下構造の調査時の、爆破地震動を同じ観測点で観測したデータから、逆に爆破点の位置を同じ方法で求めると、そのずれは震央、深さともに最大で500m以内である。したがって、Fig. 3の震央が大きくずれることは考えられない。緊急観測網は1月27日から稼働したが、本震の約1日後から1月26日頃までの余震分布は、

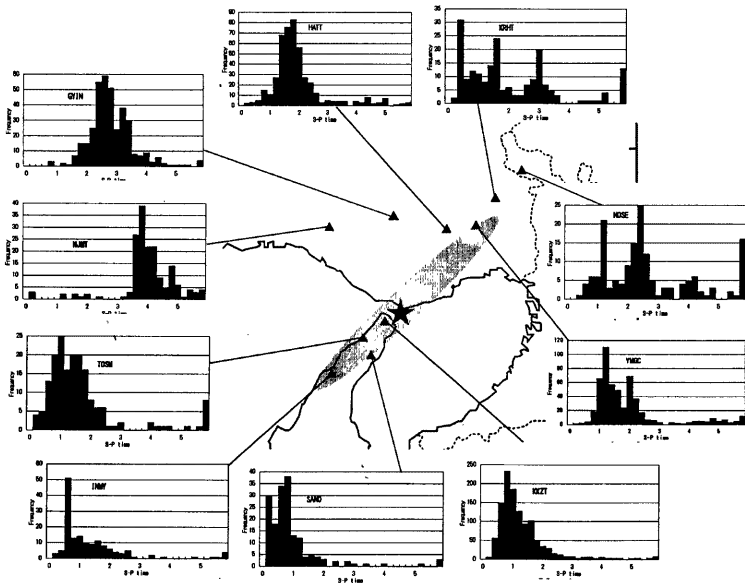


Fig. 2 Frequency distributions of S-P times at each station. Star shows the main shock and shaded area indicates aftershock area.

この観測網でとらえられたものとはほぼ同じである。地震直後は余震域はもっと長さが短かったという報告²⁾があるので、余震域の概略的な大きさは1日以内に形成され、その後は緩やかに拡大したようである。

また、Fig. 3から野島断層付近では地震活動が低いことがわかる。このことはFig. 2からも推定できる。地表で1-2mの断層変位があった地域で、余震活動が低いことが確認されたのは、非常に珍しい。これは地震発生過程の本質に関わっているようなので、構造などとの関連の調査が期待されることでもある。

4. 本震直後の地震観測

地震直後の観測は大地震に関する研究資料を得るために必要である。上記の観測はその意味合いが強い。実際に、これらから求められた事実は、今後活断層と地震との関連、地震発生機構などの調査に重要である。一方、本震直後に余震の活動を実時間的に把握して、被害域を推定することがまず必要なことが今回の阪神・淡路の大災害の教訓として得られた。さらに、余震域の拡大の様子、活動の変化などから、最大余震の予測などにもリアルタイムの震源把握が重要である。

Fig. 4は今回の地震時の高感度観測網とその後緊急観測網の稼働までに実施された高感度余震観測網である。これ以外に気象庁の観測点、強震観測などがなされていて、これらも重要であるが、ここでは主に震源の精密決定のための短周期高感度観測のみに限って述べる。定常観測網は主に、京都大学防災研究所と東京大学地震研究所³⁾の観測網である。両観測網は隣接の3~4点の波形データを相互に交換している。防災研究所の観測網では1995年3月までに、集中記録場所を阿武山観測所(Fig. 4のABU)から宇治(Fig. 4のRCEP)に移転する予定で準備が進められている最中であった。震源地に一番近い観測点は六甲(Fig. 4のRKO)で、淡路島には生石崎(OZK)があるだけであった。定常観測網によって、概略の余震活動の把握は可能である。しかし、震災の帯や活断層と余震分布の関連は、稠密ネットによる観測によって

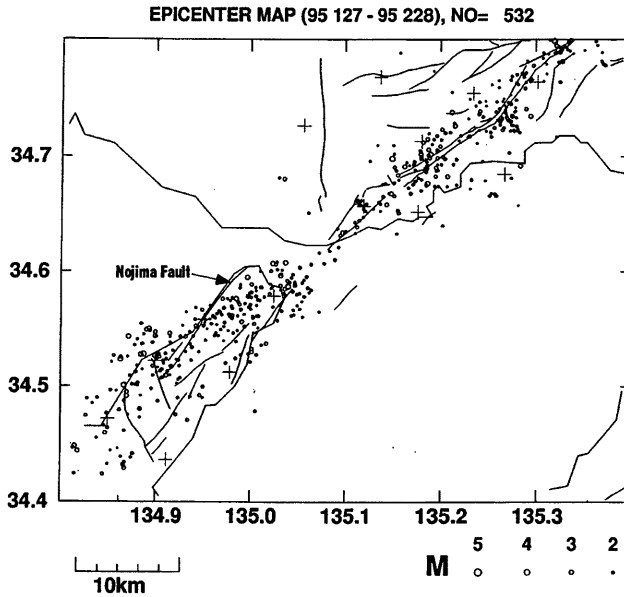


Fig. 3 Epicenter distribution of aftershock determined by the University Group of Urgent Joint Observation of the Hyogo-ken Nanbu earthquake. It is noticed that aftershocks are very few along the Nojima fault, of which surface dislocation is at most 1-2 m. Plus signs show stations and solid lines show active faults.

はじめて明らかにされた。しかし、前述のように、余震域は1日後には拡大しているの、今後はより稠密な定常観測によって、本震直後から連続的に活動の推移が観測される必要があろう。

防災研究所では前節で述べた臨時観測を実施し、余震のデータを得たが、地震研究所では Fig. 4 に示すように、無線の観測点を淡路島に設置し、非常に有効な観測を実施した。これらの観測は、単独点に比べて設置条件が難しいが、リアルタイムで詳細な活動状況を把握することができる。これらの観測が地震後短期間で実施できるためには、器材が日常的に準備されているとともに、地形、交通などを含めて、無線の観測が可能な条件を日常的に確立している必要がある。また、送信したデータを自動的に処理するシステムも装備していなければ成らない。震災直後は電話線が使えない場合が多いので、無線は特に有効である。

Fig. 5 にはその後展開された緊急地殻活動観測網の観測点を示す。浅い地震の震源を精度良く決定するためには、地震の深さと同じ程度の観測点間隔を有する稠密観測網が必要である。このような観測網によって、今回の地震の余震の震源が精密に決定された。Fig. 5 の観測点は地理的には均等に配置されていて理想的に見える。しかし、地震災害の復旧が始まると、市街地や道路に近い観測点は、雑微動が増加して、ほとんど使えなくなってしまった。災害予測とともに、緊急時における観測網の設定についての計画も日常的に実施しておくべきであろう。また、海域における観測は一部なされた以外にほとんど実施されていない。これも日常的に考えるべきことであろう。

上記のように、緊急時の観測は無線によるものが有効だと思われる。被災地の状態が落ち着いてきたら、有線回線による観測が可能になる。衛星回線の利用も考えられるが、現在の機器は使用電力が大きすぎる。

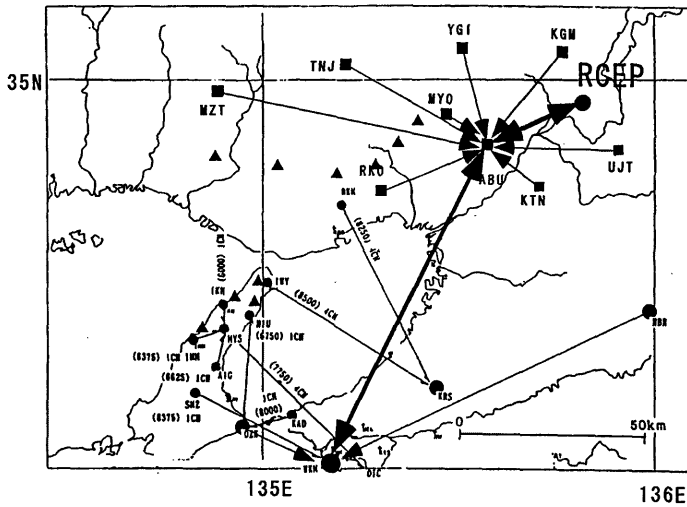


Fig. 4 Seismological observation stations immediately after the main shock of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake. Triangles show the temporary stations same as those in Fig. 1. Squares and large solid circles show the routine stations of the Kyoto University and the University of Tokyo, respectively. The stations are linked through dedicated telephone lines. Small circles show the stations of the University of Tokyo equipped with radio telemetry apparatus.

海底を含めて容易に設置できる機器の開発も課題である。これらのデータを利用することによって、本震直後の地震活動の把握が可能になり、最大余震など、やや大きい余震の動向を明らかにすることができる。

また、断層の調査のために多くの観測が実施されたが、これらのためには、基本的な観測網のデータの存在が極めて重要で、その上に、単独点、アレー観測などが実施されるのが効率的である。実際には今回も緊急観測網とともに、アレー観測が実施された。調査・研究のためにはこれらの基本的な観測網に加えて、単独点、アレー観測点の配置が有効になる。

5. おわりに

本震直後に実施した余震観測によって、野島断層付近では余震の発生が非常に少ないことがわかった。この断層は今回の地震で地表が横ずれに一番大きく変位したところである。この理由は確定していないが、大きく分けて2つの解釈がある。一つは野島断層が南東に傾斜していて、余震多発地域の深度までの地殻上層部では余震は発生していない、つまり地震の本体は野島断層ではないという考えである。もう一つは断層はほぼ鉛直（80度南東に傾斜）で、本震で完全に破壊したので、歪みは完全に解放され、余震が発生しないという考えである。いずれにしろ、地震断層は地下5-15 km程度の深さにあり、活断層はその地表への現れである。地表の断層が地下にどうつながるか、余震分布とどう関連するかは、引き続き実施されている各種の調査で明らかにされるであろう。

大地震時のデータ取得は、上記のように地震発生の研究上非常に重要であることは言うまでもない。緊急時は平常時の考えのようにはものごとは進まないことが多いが、日常的に準備しておく必要がある。また、研究上の重要さとともに、地震直後の観測を災害の軽減、復興対策等に利用することをより積極的に考

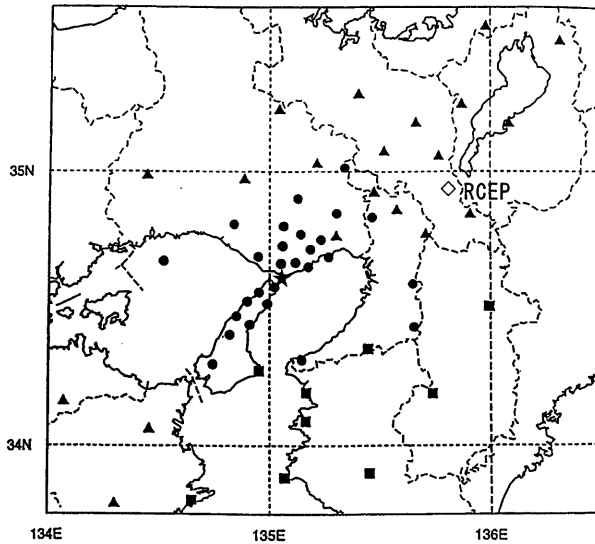


Fig. 5 Seismological stations of the University Group of Urgent Joint Observation of the Hyogo-ken Nanbu earthquake. Circles show temporary stations. Triangles and squares show routine stations of Kyoto University and the University of Tokyo, respectively. all data were sent and recorded at the Research Center for Earthquake Prediction, Kyoto University at Uji (RCEP) through dedicated telephone lines. Star shows the main shock.

えなければならぬ。

謝 辞

地震直後のあわただしい中にも関わらず、地震観測の維持にご協力下さった各観測点の方（下記、敬称略）および関係者の方々にお礼申し上げます。

能勢、豊能郡能勢町下田 320-2、下田
 切畑、宝塚市切畑北の浦 23、福山真吾
 山口、西宮市山口町船坂 2223、大澤登喜雄
 八多、神戸市北区八多町附物 1271、北芝義夫
 伽耶院、三木市志染町大谷 289、竹中敏治
 投松、加古川市志方町上富木 243-1、池本忠二
 富島、津名郡北淡町富島、簡易保険保養センター
 一宮、津名郡一宮町上条、一宮文化会館
 佐野、津名郡津名町佐野 1141-1、深井 英昭

参考文献

- 1) Hirata, N., S. Ohmi, S. Sakai, K. Katsumata, S. Matsumoto, T. Takanami, A. Yamamoto, T. Nishimiura, T. Iidaka, T. Urabe, M. Sekine, T. Ooida, F. Yamazaki, H. Katao, Y. Umeda, M. Nakamura, N., Seto, T. Matsushima, H. Shimizu, and Japanese University Group of Urgent Joint Observation for the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, *J. Phys. Earth*, (in press), 1996.
- 2) Nemoto, H., H. Katao, E. Suzuki, and K. Irikura : The aftershock distribution during first 8 hours after the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, *J. Phys. Earth* (in press), 1996.
- 3) 東京大学地震研究所・地震地殻変動観測センター・和歌山観測所：平成7年1月17日兵庫県南部地震 ($M = 7.2$) について，一和歌山観測所の結果一，地震予知連絡会会報，第54巻，1995，pp.631-639. '