

速報

2001年芸予地震の概要

梅田 康弘*・水野 高志*・伊藤 潔*

A Quick Report on the 2001 Geiyo Earthquake, in Southwest Japan

Yasuhiro UMEDA*, Takashi MIZUNO*, and Kiyoshi ITO*

Abstract

The 2001 Geiyo earthquake with M_w 6.7 occurred at depth of 50 km just beneath the Geiyo islands, in western Seto Inland sea, southwest Japan. The intensity 6 lower on JMA scale was recorded at the town of Kumano-cho, in epicentral area. Two persons were killed and 259 peoples were injured by the earthquake. The Philippine sea plate is subducting from the Nankai trough towards north under the Shikoku and Chugoku districts. In the slab under the Geiyo islands, micro-earthquakes occur at the depth of 40-50 km, which indicates the northern rim of the seismogenic zone. The 2001 Geiyo earthquake occurred in this region in the subducting slab. The main shock has normal fault-type with fault strike and dip of 179 and 55 degrees, respectively. The earthquake fault is 20 km long and 10 km wide with an average dislocation of 1.2 m. Surveys of disasters were taken place immediately after the main shock. Most of fallen gravestones lay in the east-west direction, which coincides well with the direction of S-wave motion in the area.

キーワード：2001年芸予地震，フィリピン海プレート，地震発生層，地震断層

Key words：2001 Geiyo earthquake, Philippine sea plate, seismogenic zone, earthquake fault

* 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

本報告に対する討論は平成13年12月末日まで受け付ける。

1. はじめに

2001年3月24日、瀬戸内海の芸予諸島でマグニチュード (M_j) 6.4の地震が発生し、死者2名、負傷者259名、全壊家屋33棟、半壊・一部破損家屋26,678棟(消防庁4月4日調べ)の被害が発生した。気象庁はこの地震を「2001年芸予地震」と命名、モーメントマグニチュード (M_w) は6.8(後に6.7に修正)と発表した。なお、気象庁マグニチュード (M_j) は4月23日に6.7に修正された。地震規模は1995年兵庫県南部地震の M_w 6.9に匹敵するが、被害が比較的少なくてすんだのは震源が50kmと深かった事が一つの要因としてあげられる。

この地震は、四国沖から四国・瀬戸内海の下部に沈み込んでいるフィリピン海プレートの中で発生した。芸予諸島付近では過去にもしばしば被害地震が発生しており、地震予知連絡会は日向灘と共に「伊予灘・日向灘特定観測地域」に指定している。この地域の地震は、海溝付近でプレートの沈み込みによって発生する巨大地震とは異なり、プレートそのものが破壊する地震であると考えられている。巨大地震ほど大きくないが、内陸の50-70kmの深さで $M7$ クラスの地震が発生し、浅い地震とは違った都市直下の地震となる場合がある。1952年吉野地震 ($M7.0$) も同じタイプの地震で奈良県下に被害をもたらしている。

この速報では2001年芸予地震の概要と地震発生の背景とも言うべき地震テクトニクスや過去の地震歴について述べる。また、本震発生直後から行った被害調査の結果も記載する。

2. 地震テクトニクス

西南日本をのせているユーラシアプレートの下に、フィリピン海プレートが南海トラフから沈み込んでいる。その模式図を図1に示した。沈み込むプレート(スラブ)内で発生する微小地震は、芸予諸島の直下では深さ50kmに達する。それより北ではスラブ内の微小地震はほとんど発生していないので、震源分布から確認できるスラブの北端は東広島あたりまでである。微小地震の分布の北限がスラブの北限かどうかはわからないが、微小地震の分布は少なくとも地震発生層の北限と深さを示していると言える。

スラブ内の地震発生層の端は図2に示すように、東広島市付近の直下50kmを最北端とし、東西南方向共に南へ後退している。西側のスラブは九州の下に、さらに深く沈み込んでおり、この沈み込みによって芸予諸島直下のスラブの最小主応力軸は東西方向になっていると考えられる。今回の芸予地震が正断層タイプであったことは、このことを裏付けている。

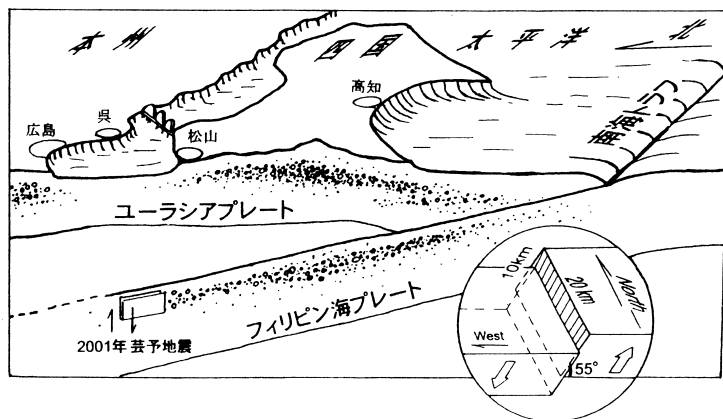


図1 四国・中国地方の下に沈み込むフィリピン海プレートの模式図。スラブ内の小丸は微小地震、右下の円内は2001年芸予地震の断層モデル

3. 過去の地震

芸予諸島では図3に見るように、過去の被害地震は少なくない。特に1857(安政4)年以降はおおよそ50年間隔で地震が起きている。それ以前は歴史資料が充分でなく、地震があったという資料はあっても、震源がわかっていない地震もある。例えば、1625(寛永1)年の地震について、新編日本被害地震総覧(宇佐見, 1999)では「広島で大震。城中の石垣・多門・塀などが崩潰した。島根有感。」とあるのみで、震源はもとよりマグニチュードも決められていない。従って図3に記した以外に地震が無かったという証拠はない。

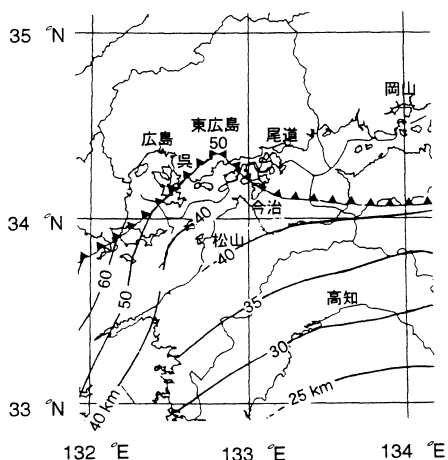


図2 微小地震の深さ分布の等深度線。黒三角印は微小地震発生層の先端を示す(中村・他, 1997より)

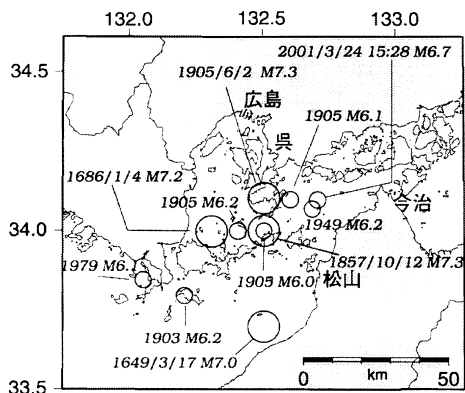


図3 芸予諸島における過去の地震活動 ($M \geq 6$)

1857年以降の地震についても、それが地殻内の地震だったのか、今回のようにスラブ内の地震だったのかは不明である。ただ、1949年の地震のメカニズム解は図4aに示すように最小主応力軸が西南西-東北東である。後で述べる今回の地震のメカニズム解と似ていることから1949年の地震もスラブ内の地震と推定される。

4. 本震のメカニズム解と断層モデル

2001年芸予地震は沈み込むプレート(スラブ)内で発生した。メカニズム解(東京大学地震研究所広島地震観測所, 2001)を図4bに示した。最大主応力軸はほぼ上下, 最小主圧力軸はほぼ東西の正断層である。この解から求められる2つの節面のうち西落ちの面が今回の断層面と見られる。気象庁・大学・防災科学技術研究所によって統合された本震・余震分布を図5に示した。余震はS5°E方向に20km, 深さは40-50kmの間に分布しており、これがおよその破壊面を示している。

余震は本震より南で、かつ上部に分布していることから破壊は北から南へ、かつ上方へユニラテラルに進行したと考えられる。おそらくスラブ内の地震発生層の下部から破壊が発し、厚さ10km程度の地震発生層をすべて破壊したであろう。図5の深さ分布を見ると本震の破壊出発点付近での余震の発生が非常に少ないことも特徴的である。菊地・山中(2001)は地震波形から断層パラメータを表1のように求めた。それらを参考にしつつ断層の幾何学モデルを図1の円内に示した。

5. 地震規模・震源の深さと被害

地震規模と被害の大きさが、1995年兵庫県南部地震や2000年鳥取県西部地震と比べられることが多い。地震波の最大振幅から求められる気象庁マグニチュード(M_j)は、2000年鳥取県西部地震の際に問題点が指摘され、求め方そのものについて見直し作業がなされているので、ここではモーメントマグニチュード(M_w)で比較する。モーメントマグニチュードは断層の大きさとずれの量から求められるので、より物理的でもある。

菊地・山中(2001)によれば、1995年兵庫県

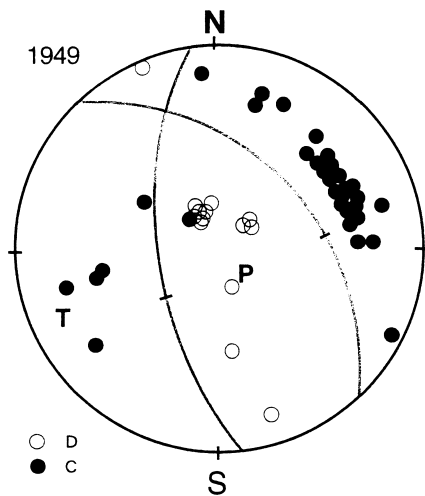


図4 a 1949年の地震のメカニズム解（下半球等角投影）

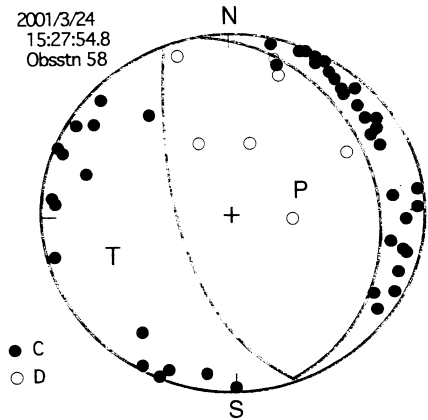


図4 b 2001年芸予地震のメカニズム解（下半球等積投影，東大地震研，2001による）

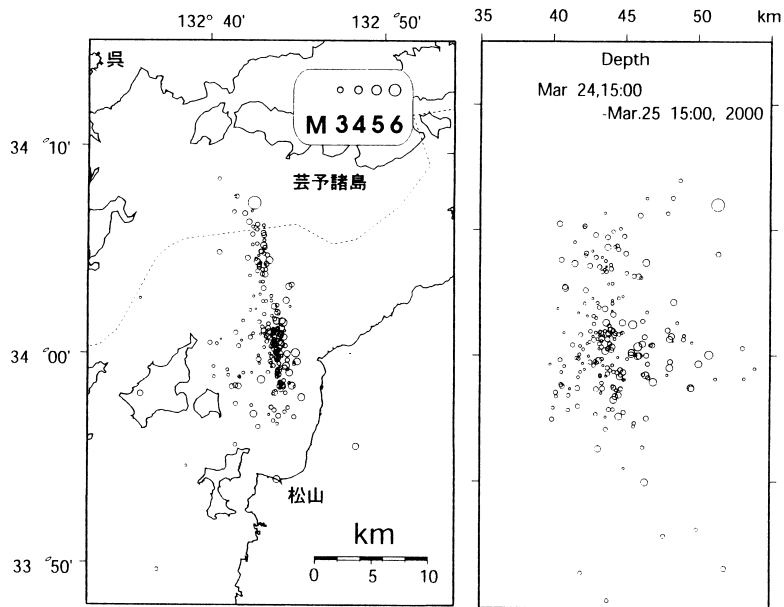


図5 気象庁・大学・防災科学技術研究所のデータに基づく2001年芸予地震の本震と余震の震央，および南北方向の深さ分布。波線は県境を示す（作図には一部，石川（1986）のプログラムを用いた）

南部地震は M_w 6.9，2000年鳥取県西部地震は M_w 6.6，そして2001年芸予地震は M_w 6.7である。1995年兵庫県南部地震と2000年鳥取県西部地震は地殻内の地震であり，前者は断層の一部が地表に現れた。後者の断層は地表には現れなかつ

たが，余震分布やGPSの結果から浅いところでの破壊であることが判明している。一方，今回の芸予地震はスラブ内の地震であり，震源も50 kmと深い。余震分布やGPSから推定される断層面の上端は40 kmである。今回の地震の規模は，先

のふたつの地震規模の中間であり、地震の規模に関する著しい違いはないが、被害が比較的少なかった原因のひとつとして、このような深さの違いがあげられる。被害の大小は、地震波の周期や継続時間によっても大きく左右される。これらについては今後詳しく研究されるであろう。

6. 現地調査

6.1 調査の概要

芸予地震の震源周辺のうち、因島、倉橋島を除く芸予諸島では地震計が設置されていないため、地震動の方向や大きさを示すデータがほとんどない。一方、墓石や灯籠の移動から加速度を推定する試みは古くからなされており（例えば、恒石, 1968; Omote *et al.*, 1977; 翠川・藤本, 1996),

表 1 菊地・山中 (2001) による断層パラメータ

走向, 傾斜, 滑り角	(A) 179, 55, -82 (B) 344, 36, -102
地震モーメント(Mo)	1.5×10^{19} Nm
断層面積(S)	20 km × 10 km
平均食い違い(D)	1.2 m
最大食い違い(Dmax)	4.0 m
応力降下($\Delta\sigma$)	13 MPa

地震計がない地点の加速度を評価するデータとして利用されている。ここでは芸予諸島、および震度 6 弱を記録した安芸郡熊野町における墓石、灯籠の移動に関する調査結果を報告し、地震動の方向や大きさを議論したい。

著者の 1 人 (水野) は 3 月 24 日午後、京都から広島に新幹線で向かう途中、福山-新尾道間でこの地震に遭遇した。その後、地震当日から 4 日間にわたって現地調査を行うことができた。調査地点を図 6 に示す。また、調査日は次の通りである。

24 日：三原市, 豊田郡川尻町

25 日：東広島市, 安芸津町, 大崎町, 東野町, 木江町, 愛媛県大三島町, 上浦町

26 日：音戸町, 倉橋町, 下蒲刈町, 蒲刈町, 熊野町

27 日：豊浜町, 豊町

主な調査結果は次のとおりである。

(1) 広島県豊田郡大崎町大串外浜 (地点 1)

震央から北東に 20 km ほどの大崎上島西部に、砂浜に隣接する墓地がある。墓石はおよそ 200 基程度あり、一部転倒していた。悪天候であったため、墓地の一部の区画のみで墓石の転倒方向とそ

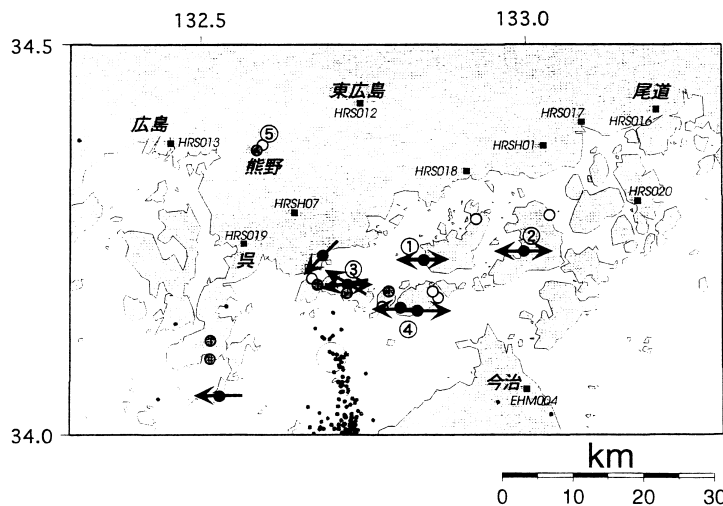


図 6 調査地点と本震 (大きい白丸), 余震 (小丸) の震央, さらに防災科学技術研究所強震観測網 (K-NET, KiK-net) の観測点 (■)。調査地点のうち、異常がなかった点は白丸, 墓石、灯籠の転倒が見られた場所は黒丸で示し、墓石、灯籠の移動、回転に留まっていた点は灰色の円で示した。矢印は墓石、灯籠の転倒方向、図中の数字は本文 (6.1) 中の調査地点番号を示す

の頻度分布を調査した。その結果、全体の6%程度の竿石が転倒しており、さらに東方向に転倒する傾向が強いことが分かった(写真1, 図7)。ただし、竿石がその台(上台)の上で滑らずに転倒したのか、上台から滑り落ちたのかはわからなかった。次に目安として、竿石の高さと奥行き(比尺)から恒石(1968)の式を用いて水平方向の最大加速度を推定すると、450 gal以上となる。

(2) 愛媛県越智郡大三島町台(地点2)

震央から東北東に35 kmほどの大三島町の台地区に200基程度の墓地があり、多くの墓石が転倒・移動していた。悪天候のため十分な調査が出来なかったものの、東西方向に移動しているケースが多く、さらに地点1よりも多くの墓石、灯籠が移動しているように見えた。

(3) 広島県安芸郡蒲刈町田戸地区(地点3)

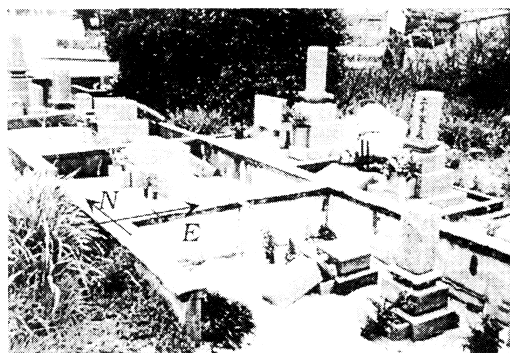


写真1 大崎町大串外浜の墓地における墓石の転倒。
3月25日撮影

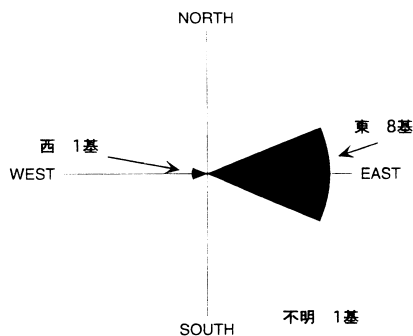


図7 墓石の転倒方向のローズダイアグラム

震央から北に8 kmほどの蒲刈町田戸地区の八幡宮とそれに隣接する小さな墓地で、灯籠や墓石の転倒・移動が見られた。

八幡宮の入り口付近にある灯籠は、その最上部が転落していた。灯籠の笠の部分(筒)を注意深く観察すると、傷がおおよそN100°W方向に点々と連続しており、転落した最上部の移動経路を推測できる。

次に隣接する墓地を調査した。墓石は転倒せず、異常がないように見えるが、注意深く観察すると、竿石が上台の上面に直線上の傷を付けていた。その走向はN60°Wで、長さは3 cm程度であった(写真2)。竿石が不動点のように振る舞い、地動を記録したのかもしれない。恒石(1968)による摩擦係数の測定結果0.2~0.5を参考にすると、200~500 gal以上の加速度があったことが推定できる。

さらに階段をあがったところにある社殿の入り口には2つの灯籠があり、そのうち片方が転落していた。土台の上を滑ったような傷が見られ、転倒方向はおおよそN100°Eであった。

(4) 豊町沖友、豊浜町大浜(地点4)

2地点とも灯籠の最上部が転落していた。地面には落下の際に出来たと考えられるくぼみが1つだけあり、その方位は沖友地区の場合は東(写真3)、大浜の場合は西(写真4)であった。灯籠の笠の部分、側面には傷が見られないので、笠、側面に触れることなく転落したようである。

(5) 安芸郡熊野町(地点5)

芸予地震の際に熊野町役場では震度6弱を観測した。熊野町内の丘に登り、熊野町中心部を観察すると、他地点に比べて屋根にブルーシートのかかった家が多いように見える。一方、観察地点に隣接する墓地では、墓石の移動現象は全く見られず(写真5)、同町内の他の墓地でも、回転している墓石はあるものの、転倒している墓石は見られなかった。

6.2 現地調査で明らかになったこと

全調査地点のデータをまとめると図6のようになる。多くの調査地点において、何らかの異常が

見られ、墓石、灯籠が転倒、落下している場合、その方向は東西であった。この調査地域のS波はおよそ東西方向の震動が卓越したことがメカニズム解から推定されるので、墓石、灯籠の移動はS波による可能性が高い。

次に、水平方向の最大加速度は、蒲刈町（上蒲刈島）で200~500 gal以上、大崎町（大崎上島）で450 gal以上と推定できる。ただし、同じ墓地の同様の墓石でも転倒している場合とそうでない場合が見られたり、さらに同じ島内でも被害が見られる場所、見られない場所があり、その地域の

代表値として用いるにはさらに検討が必要だろう。

さらに、震度6弱を記録した熊野町内の墓地2地点では転倒した墓石が見られず、墓地のある山間部は住居のある平野部より加速度が小さかったことが示唆される。

7. まとめ

2001年芸予地震は沈み込むフィリピン海プレートの中で発生した正断層タイプの地震である。フィリピン海プレートの北限はまだよくわかっていないが、スラブの中で微小地震の発生している北限

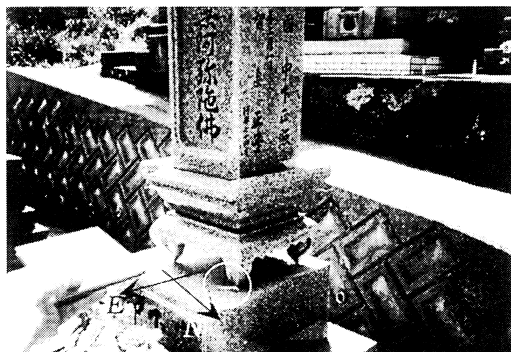


写真2 蒲刈町田戸の墓石。円で囲まれた部分にある白い直線が傷にあたる。3月26日撮影

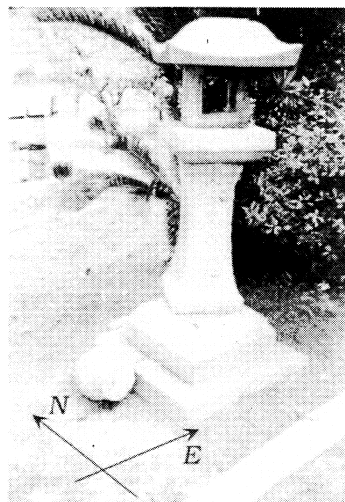


写真4 豊浜町大浜地区須佐神社の灯籠の移動とその最上部の落下。3月27日撮影

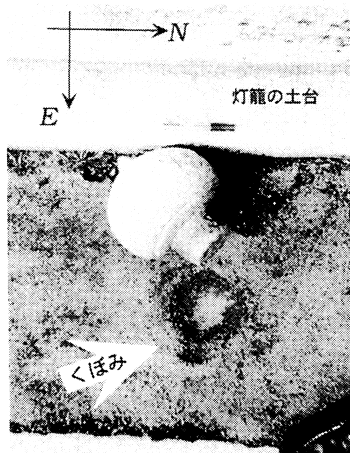


写真3 神社の灯籠の先端部が落下して、直径10cm程度のくぼみを作っている。豊町沖友にて、3月27日撮影



写真5 熊野町稲荷谷地区の墓地。3月26日撮影

は東広島島の直下 50 km まで確認出来る。ここより西は九州の下部に深く沈んでおり、この沈み込みによる引張力が芸予諸島直下のプレートに作用しているものと思われる。

この付近では過去にも被害地震が発生している。近年の 3 回の被害地震は、およそ 50 年間隔で発生しているが、いずれもプレート内の同じメカニズムの地震であったかどうかはわからない。従って繰り返し周期を議論する際には注意が必要である。ただ、前回、1949 年の地震はメカニズム解が今回の地震と良く似ており、スラブ内の地震と思われる。

修正された気象庁マグニチュードは 6.7 であったが、震源が 50 km と深かったこともあって被害は比較的少なかった。本報告における被害調査は墓石の転倒を中心に行われ、墓石の移動や転倒方向が東西方向に多かった。これは本震のメカニズム解の節面に直交する方向で、調査地域の S 波の振動方向と一致している。

謝辞

広島大学大学院理学研究科の宮本隆実博士と広島大学大学院理学研究科総務係には、現地調査の準備段階で便宜を図っていただいた。広島大学大学院理学研究科の堤之恭、松田裕也氏には、25 日の調査に同行していただいたばかりでなく、全期間にわたって調査機材の調達に便宜を図っていただいた。広島県豊田郡川尻町の澤田昭宣氏には現地調査でお世話になった。東京大学地震研究所広島地震観測所の三浦勝美、三浦禮子氏にはメカニズム解を提供していただいた。その他、復旧の最中にもかかわらず、被災された現地の方々から有益な情報を提供していただいた。謹んで感謝の意を表します。

参考文献

- 石川有三：PC 9801 を使った地震活動解析プログラム，気象庁地震火山技術通信，Vol. 63, pp. 1-23, 1986.
 菊地正幸・山中佳子：2001 年 3 月 24 日芸予地震 (M_j 6.4) - 遠地実体波解析 (再改訂版)，2001.
 翠川三郎・藤本一雄：墓石の転倒調査から推定した兵

庫県南部地震の際の神戸市 およびその周辺での震度分布，日本建築学会構造系論文集，Vol. 490, pp. 111-118, 1996.

中村正夫・渡辺 晃・許斐 直・木村昌三・三浦勝美：西南日本外帯における地殻下地震の活動特性，京都大学防災研究所年報，Vol. 40, B-1, pp. 1-20, 1997.

Omote, S., A., Miyake, and H., Narahashi: Maximum ground acceleration in the epicentral area - Field studies on the occasion of the Ohita Earthquake, Japan, of April 21, 1975, Bull. Inter. Inst. Seismol. Earthq. Engineer., Vol. 15, pp. 67-82, 1977.

東京大学地震研究所広島地震観測所：平成 13 年芸予地震「メカニズム解」，2001.

恒石幸正：1968 年十勝沖地震による墓石の移動，東京大学地震研究所彙報，Vol. 46, pp. 1415-1424, 1968.

宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧，東京大学出版会，pp. 47, 1999.

(投稿受理：平成13年4月28日)