

神岡鉱山・茂住坑における地震観測

和田博夫・伊藤 潔・安藤雅孝・和田一成

OBSERVATION OF EARTHQUAKES IN THE MOZUMI TUNNEL AT THE KAMIOKA MINE, CENTRAL HONSHU, JAPAN

By Hiroo WADA, Kiyoshi ITO, Masataka ANDO and Kazushige WADA

Synopsis

A seismic observation station was installed in the Mozumi tunnel at the Kamioka Mine for the precise determination of hypocenters, in particular, focal depths of earthquakes occurring near the Mozumi-Sukenobu fault of the Atotsugawa fault system. The station is located at 1150m from the entrance of the tunnel. Focal depths determined from the data of the Kamitakara Observatory, including the data at the Mozumi station, show that shocks occur in the depth range of 7-15 km, which is about 3 km deeper than the depths determined without the data at Mozumi. Therefore, the seismicity of the Mozumi-Sukenobu fault near Mozumi station, especially upper 7 km in the crust is very low. Besides, no earthquakes with S-P time within 1s were observed at the station of Mozumi during April, 1994 and December, 1995, nevertheless noise is usually very low as 10^{-8} m/s in ground velocity. This certified that the seismicity near the seismometer site is very low in the upper part of the crust. In the area of the fault, creep movement has been found by the Geographical Survey Institute. This suggests that the creep movement occurs less than 7 km in depth in this portion of the fault and earthquakes occur in the depth range of 7-15 km.

1. はじめに

中部地方北西部の岐阜・富山県境付近に位置する跡津川断層周辺では、1969年以来、京都大学防災研究所附属地震予知研究センター上宝観測所（1990年以前は上宝地殻変動観測所）によって、微小地震観測が行われており、その結果は和田・他（1983）¹⁾、等^{2), 3)}によって報告されている。1977年に上宝観測所にテレメータ・システムが導入されて、その時点で観測点の見直しが行われ、それまでは跡津川断層に的を絞った観測であったため、観測点間隔は20 km程度であったが、より広域の地震活動調査の必要性も考慮して、30-50 kmの間隔での観測点の設置となった。震源の深さについて、詳細な議論をするためには、深さと同程度或いは、それ以下での観測点間隔が必要である。跡津川断層近傍における地震の深さはおよそ20 km以浅であり、震源の深さを精度よく決定するには、20 kmより狭い観測点間隔が必要である。

1994年4月に跡津川断層のほぼ中央部に位置する、神岡鉱山の茂住坑内に観測点を設置することによって、観測点間隔を短くして、微小地震の観測を開始した。本報告では、茂住観測点の概要を記載するとともに、通常の観測網のデータに、茂住観測点のデータを加えて震源再決定を行なった結果を述べる。特に、震源の深さの特徴及び中央部付近で見い出されているクリープ現象との関係について述べる。

2. 茂住観測点の概要

Fig. 1は上宝観測所の、臨時観測点（＋印）を含む観測点の配置図である。茂住観測点は、図中央で跡津川断層のほぼ中央部に“MO”と表示されている場所である。この観測点は、跡津川断層東端から茂住観

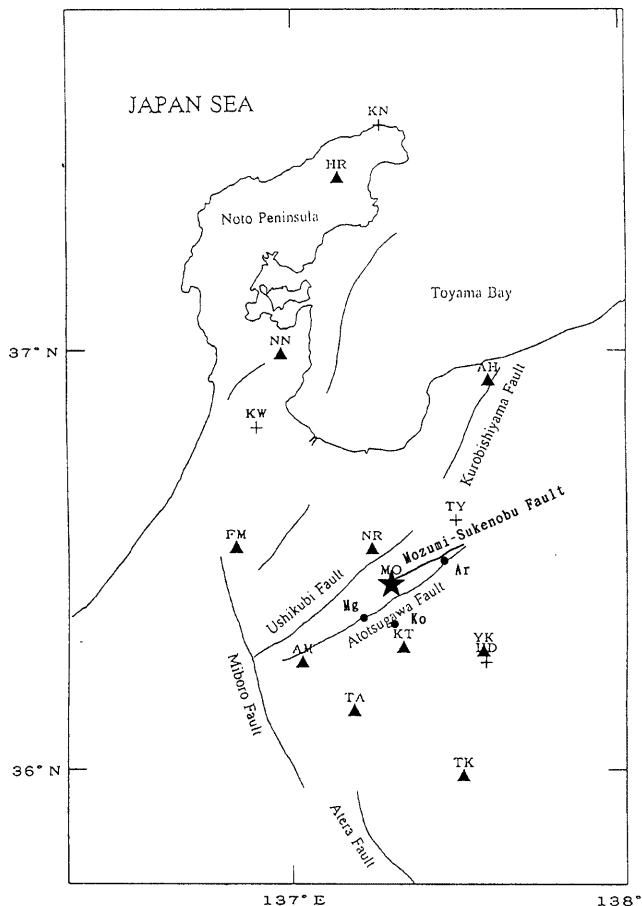


Fig. 1 Observation station of the Kamitakara Observatory. Solid triangle indicates telemetered station linked to the Kamitakara Observatory, plus sign indicates temporary station. Star shows the station of Mozumi. Dots shows major villages or towns. (KT: Kamitakara, AM: Amo, NR: Nirehara, FM: Fukumitsu, NN: Nanao, AH: Asahi, HR: Hohryu, TA: Takayama, YK: Yakedake, TK: Takane, TY: Tateyama, HD: Hirudani, KW: Kuwanoin, KN: Kinoura, MO: Mozumi, Ar: Arimine, Mg: Miyagawa, Ko: Kamioka)

測点にかけて存在する茂住・祐延断層の南西端である。

茂住観測点は、高原川が約3 km 明瞭な屈曲を見せる断層地形を表している場所から2-3 km 下流の茂住地区に位置する。この断層地形は、断層を横切る北北西-南南東方向の国道が、断層に沿って北東-南西方向に向きを変え、さらにまた元の方向に戻るのが、50 万分の1 の地形図でも明瞭に識別できる (Fig. 9 参照)。観測点は神岡鉱業の茂住坑道内に設置された。地震計設置場所付近の坑道の様子を Fig. 2 に示す。観測点の座標は北緯36度26分05秒、東経137度17分35秒、標高363 m と測量で求められている。観測点は茂住坑口から約1150 m 奥へ入った強固な濃飛流紋岩上に設置されている。坑道の屈曲点より中は、Fig. 3 の断面図に示すように高さが2.5 m ある大きいものだが、通常は使用されておらず、構内にはいるためには数日間の換気が必要である。坑道は奥で温泉が湧出しているため、温度が高く (約30℃) 湿度も非常に高い。地震計は坑道横のスペースに、岩盤に密着したコンクリート台をつくり、その上に設置されている (Fig. 3)。地動のノイズは通常は 10^{-8} m/s 程度で非常に静かである。地震計は固有周期1 Hz の速度計3成分で (勝島製作所製, PK110H, V), 電圧感度は317 V/(m/s), コイル抵抗1.4 k Ω である。アンプ接続時はダンピング抵抗6 k Ω を並列につけて、 $h = 0.64$, 感度257 v/(m/s) である。その信号をすぐ近くに設置したアンプで54 db 増幅し、16 ビット、100 Hz でAD変換し、PCM変調してモデムを通じて、特別に設置した構内の回線で送り出している (明星電気製 GTA-45 型送信装置, TU-45D 型変調器)。この回線は坑外で直接 NTT の専用回線に接続され、上宝観測所へテレメータされている。観測所ではモデムで受信したのち、復調され、その信号を10倍増幅し、定常観測網のデータとともに、ワークステーションに取り込んで、集録・処理している。また、極近傍の微小地震の存在を確かめるために、ペン書き記録による連続記録も行っている。この感度は 3.88×10^{-8} (m/s)/mm であり、紙送りは4 mm/s である。

観測は、1994年4月から開始したが、当初の1年間は、回線障害等によって、必ずしも十分な観測はできなかった。しかし、1995年4月からは、回線障害の原因も解決して、殆ど欠測なしに今日まで観測が行

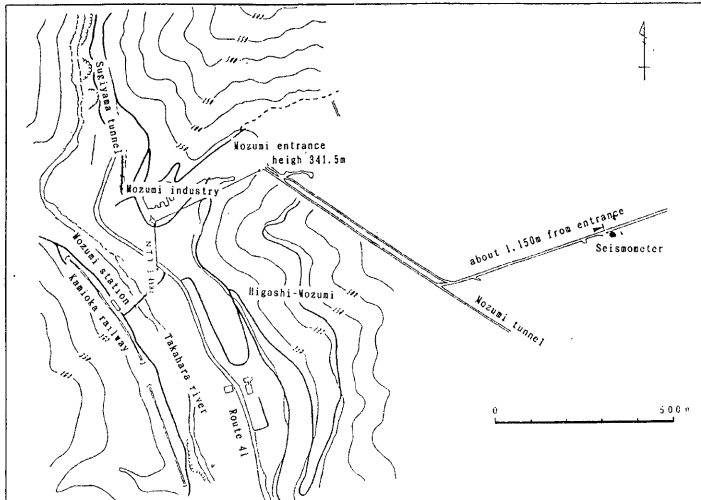


Fig. 2 Plane view near the station of Mozumi, showing the tunnel in which seismometers and transmitter were set.

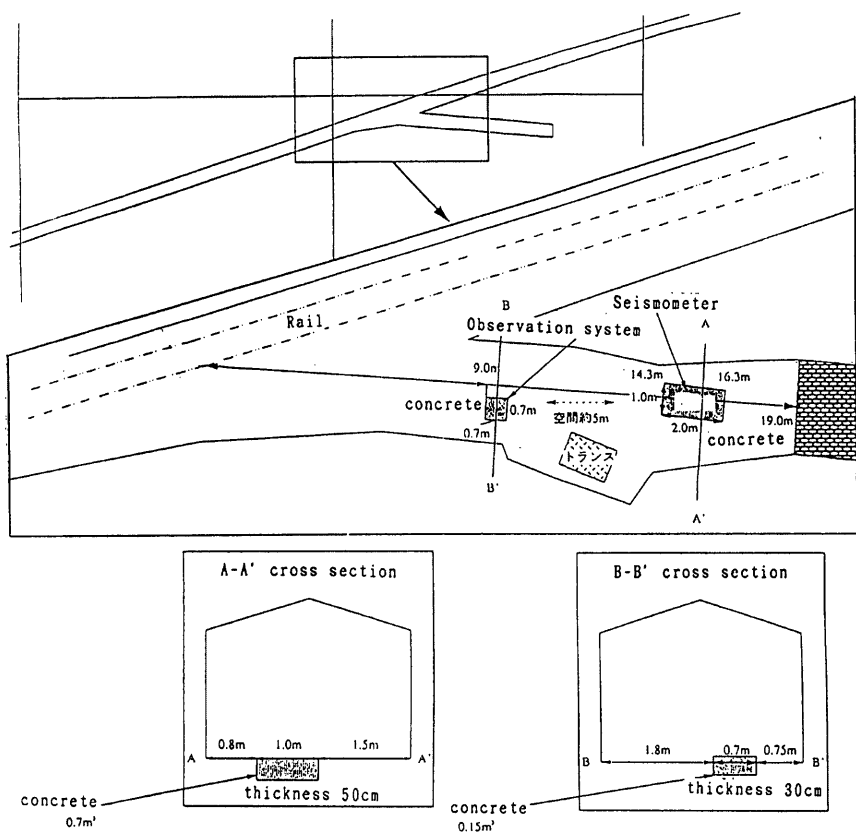


Fig. 3 Plane view (upper figure) and cross sections (lower two figures) of the site of seismometers in the tunnel.

われている。これまでに観測された近傍の記録波形例を Fig. 4 に示す。

3. 観測結果

1977 年 5 月から 1995 年 12 月までに、定常観測点のデータ処理結果によって得られた、跡津川断層周辺の地震活動の震源分布を Fig. 5 に示す。1977 年 5 月以来、上宝観測所のテレメータ観測システムが稼働している。これまでの研究で分かっていることであるが、跡津川断層の両端（有峰より東方及び宮川より西方）において、活動が活発であり、中央部の茂住観測点付近において、特に浅い所での活動が、低いことを示している³⁾。今回設置した茂住観測点はこの低活動域に近く、跡津川断層中央部付近における極微小地震活動の詳細な情報が期待されている。

3.1 茂住観測点における S-P 時間別頻度分布

観測を開始した 1994 年 4 月から 1995 年 12 月までの、茂住観測点における S-P 時間の 0.5 秒ごとの頻度

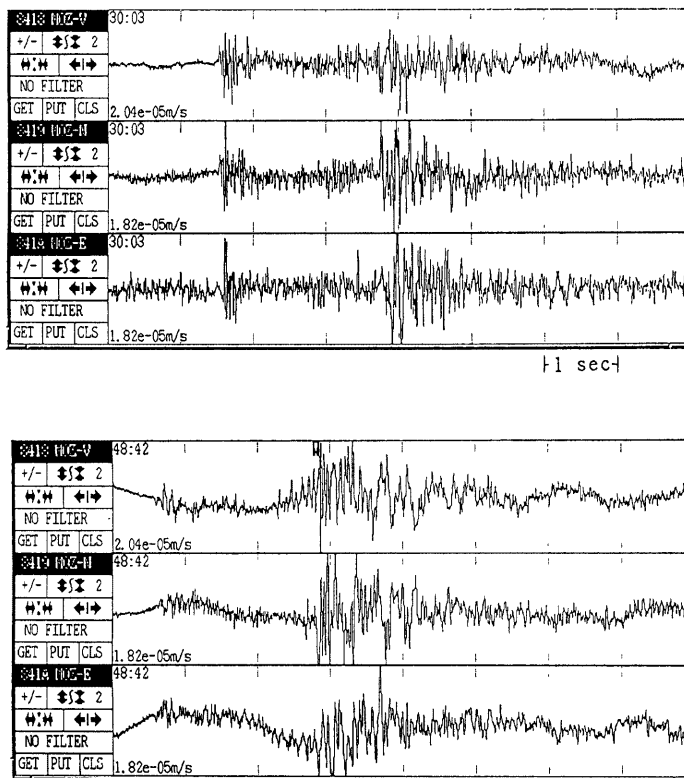


Fig. 4 Examples of three component seismograms at the Mozumi station

分布を Fig. 6 に示す。先に述べたように、1994 年は回線障害による欠測期間があるため、実際にはこれ以上の地震が発生しているものと思われる。Fig. 6 により、S-P 時間が 1 秒より短い地震は、今回の観測期間では、全く観測されておらず、Fig. 5 で示した断層中央部に低活動域が存在することと一致する結果となった。また、S-P 時間が 4 秒前後、5 秒、8~9 秒及び 13 秒付近に活動のピークが見られ、それぞれが跡津川断層南端部、飛騨山脈、長野県西部及び能登半島富来町西方沖の活動に対応しており、特に長野県西部の活動の活発な状況がうかがえる。

3.2 震源分布

茂住観測点のデータを含めることによって、震源がどう変化するかを調べた。震源決定の方法は比較のために、従来用いているものと同じ方法⁵⁾を用いた。この方法は多層の水平成層構造を用い、各層内での速度は深さと共に直線的に増加するとして走時を計算している。震源時を和達ダイアグラムを用いて決定し、P 波と S 波の観測走時を理論走時に併せる方法である。走時合わせには従来と同じグリッドサーチ法を用いた。初期値は茂住観測点を含んだ場合も、茂住を含まない場合と同じものから出発した。

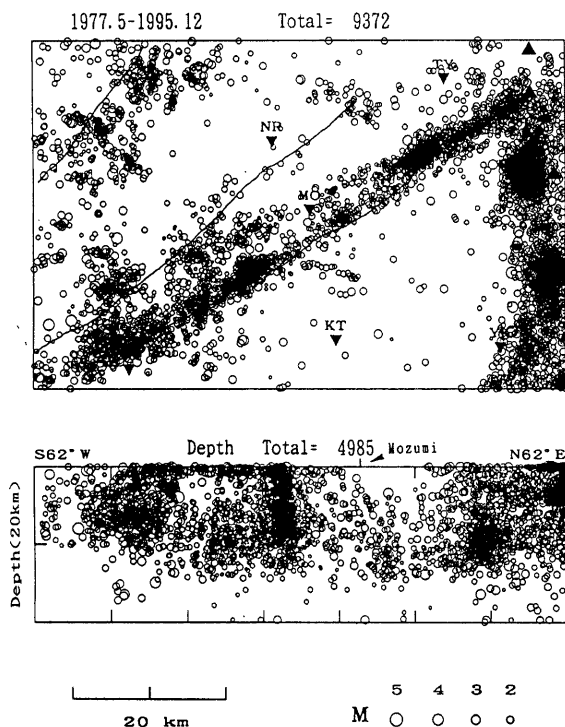


Fig. 5 Epicenter (upper figure) and focal depth (lower figure) distributions of earthquakes near the Atotsugawa and Ushikubi faults during May 1977-December 1995 determined by the Kamitakara Observatory.

Fig. 7 には、同じ期間について茂住観測点のデータを含めない震源決定結果(左)と、茂住観測点のデータを含めて震源決定を行った結果(右)の震源分布を示す。また、茂住観測点を含まないで処理した結果(○)及び茂住観測点を加えて処理した結果(●)を重ねて Fig. 8 に示す。震央分布に関してはあまり差異は見られないが、深さに関しては、顕著な違いが見られる。茂住観測点のデータを加えることによって、全体に深さが約 3 km 深くなった。また、中央部の広い範囲において深さ 5 km より浅いところでの地震活動はほとんど見られなくなった。このことは、Fig. 6 で示した S-P 時間の短い地震が全くない結果と調和的であり、この地域では震源が決まらない小さな地震の発生も無いことが分かる。

4. 考察

跡津川断層中央部では、国土地理院により⁴⁾、1981 年から辺長測量が繰り返し行われており、1993 年までの結果では、1-2 mm/年の割合で動いており、明らかに誤差の範囲をこえる有意な変化を検出したとされている (Fig. 9)。この期間中の地震活動は、前述のように中央部の浅い箇所では活動が低く、大きな地震の

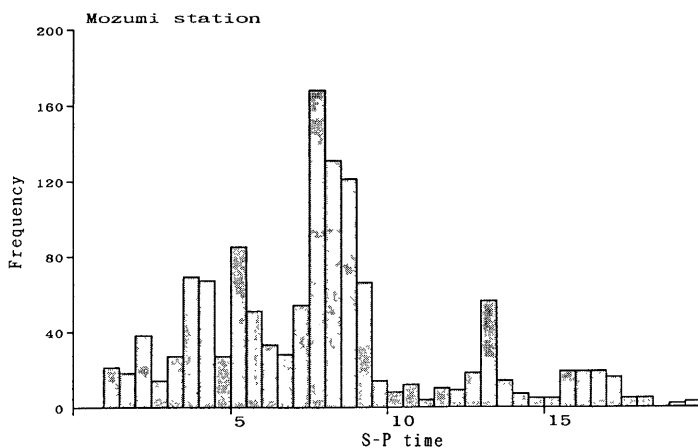


Fig. 6 Frequency distribution of S-P times at the Mozumi observation station (April 1994-December 1995).

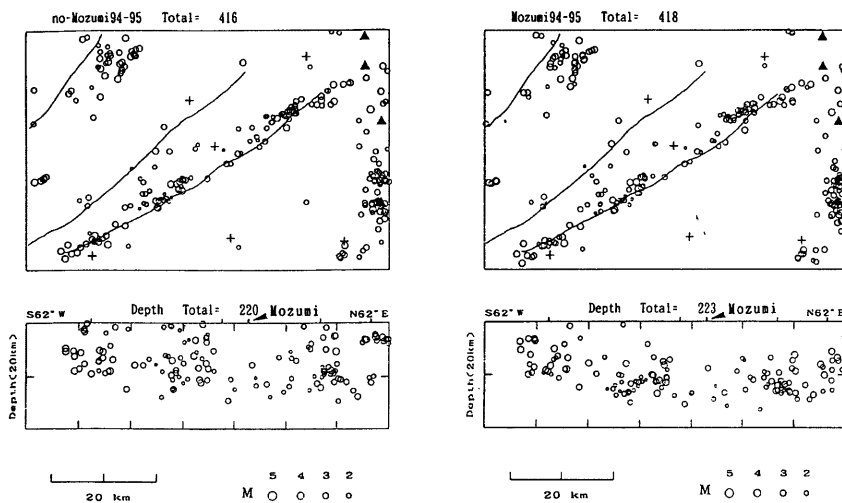


Fig. 7 Epicenter (*upper figure*) and focal depth (*lower figure*) distributions of earthquakes near the Atotsugawa and Ushikubi faults during April 1994-December 1995. Left figures show the hypocenters determined including the data at Mozumi station and right ones, those without the data at Mozumi station.

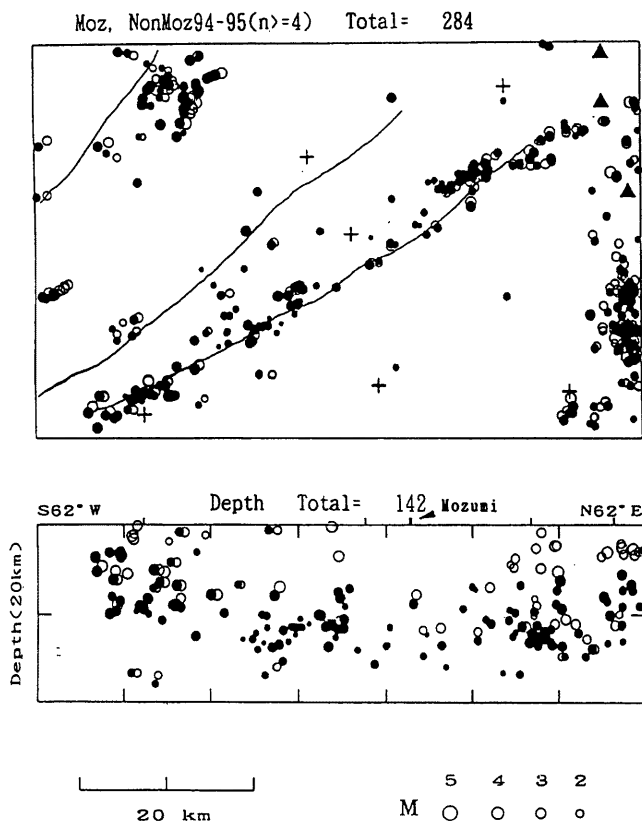


Fig. 8 Comparison of hypocenters of earthquakes near the Atotsugawa and Ushikubi faults determined including Mozumi station data (●) and those without Mozumi station data (○).

発生は全くないので、辺長測量による結果は、地震による変位とは考えられない。従って、この変化は断層のクリープを表していると思われるので、この地域には歪みの蓄積は少ないものと考えられる。このことは地震活動が低いことと調和的である。また中央部でのクリープ現象は、地震活動の深さから考えれば、地震が発生していない深さ5 kmより浅い所での現象と考えることができる。

5. おわりに

今回の震源分布の結果から、跡津川断層の中央部で断層がクリープしていると指摘のある場所において、深さ5 km以下の地震活動が全くないことがわかった。今後周辺地域において稠密な観測を行なって、クリープしている場所の水平方向の広がりを検討していきたい。

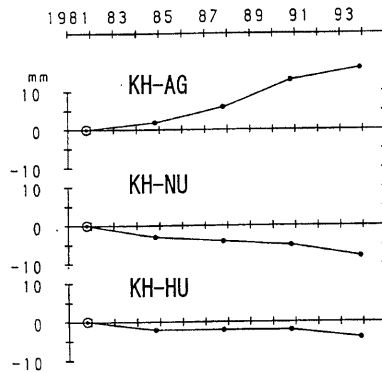
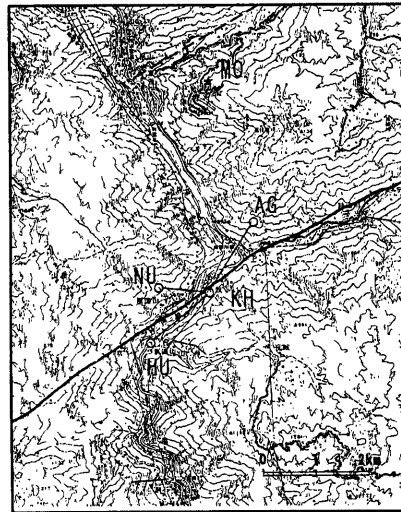


Fig. 9 Locations of precise electro-optical distance-survey network stations crossing the Atotsugawa fault (upper figure) and their observational results (lower figure) after Geographical Survey Institute⁴⁾. MO shows the seismological station of Mozumi.

謝 辞

茂住観測点の設置にあたって、多大なる協力をいただいた神岡鉱業株式会社地下利用事業室の太田洋文、茂住洋史両氏及び関係者の方々に御礼申し上げます。データ収録・処理システムの構築には、当センター北陸観測

所の平野憲雄技官にお世話になった。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 三雲 健・和田博夫：跡津川断層と地震活動，月刊地球，第 5 巻，第 6 号，1983，pp.325-334.
- 2) 和田博夫・三雲 健・小泉 誠：飛騨地方北部及び富山湾・能登半島周辺の最近の地震活動，京大防災研年報，第 33 号 B-1，1990，pp.57-74.
- 3) 和田博夫・伊藤 潔：跡津川断層付近の地震活動，京大防災研年報，第 38 号 B-1，1995，pp.235-250.
- 4) 国土地理院：中部地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，第 51 巻，1994，p.631-639.
- 5) 和田博夫・三雲 健・小泉 誠：飛騨地方北部及び跡津川断層付近の地震活動と発震機構，地震 2，第 32 巻，1979，pp.281-296.