

上宝観測所における跡津川断層周辺における稠密地震観測

36 年間の観測と解析結果

和田博夫・伊藤 潔・大見士朗・平野憲雄

要 旨

上宝観測所によって始められた跡津川断層沿いの微小地震観測の結果、跡津川断層に沿う明瞭な地震の線状配列が明らかとなった。その後観測点の増設及びデータ収録システムの変更によって、震源精度が格段に向上して、震央分布では活動の不均質性が明らかになる一方、深さ分布では中央部から両端にかけて浅くなる傾向が明瞭となった。また、地震活動の時間的推移を見た場合、ほぼ定常的な活動の状態を示しているが、唯一の群発地震活動が 1986 年 12 月 21 日に中央部の宮川地区にて発生している。

キーワード：跡津川断層，微小地震活動，活断層，立山カルデラ，白山火山

1. はじめに

京都大学防災研究所の附属施設として設置された上宝観測所（当初は上宝地殻変動観測所）の研究目的の一つに、跡津川断層の地震活動調査がある。観測所が設置されて 3 年後の 1968 年から、観測所の部屋の片隅に短周期地震計を設置して観測を開始した。その翌年には、地震計を上宝観測坑道に移して正式な微小地震観測が始められた。1971 年からは震源決定が出来るように、さらに観測点 2 点を設置した。その結果、跡津川断層の地表断層線に沿う見事な線状の分布が明らかとなった。以降、現在まで観測が継続されているが、観測点増設による精度の向上においても、震央分布は概ね当初の結果と大きな違いはないようである。しかし、深さの精度は向上した。この報告では、観測初期からの経緯をまとめて、長期間にわたる活動の時間経過を述べるとともに、最近の稠密臨時地震観測網による詳細な地震活動の観測結果について述べる。

2. 跡津川断層周辺の微小地震観測の歴史

2.1 観測点の変遷

上宝観測所による本格的な微小地震観測は 1969 年に始められた。最初は上宝観測点一点で始めた。その記録からは周辺地域において微小地震が多数発生していることが明らかとなった。この結果を踏まえて、上宝観測点を基準として、臨時的に小スパンの観測網（2 点設置）を構築して観測を行った。この観測によって、跡津川断層の方向において定期的に地震が発生していることがわかった。しかしよく調べてみると、ほぼ毎日同じ時間に発生していることが明らかとなり、情報収集の結果、神岡鉱山による坑道内での掘削時の発破であることがわかった。1971 年からは正式に震源決定が出来るように、跡津川断層を囲むように、下之本（神岡町）及び杉原（宮川町）の 2 観測点を設置した。また、この頃、この観測網の南側に展開されていた名古屋大学理学部附属高山地震観測所の高山及び九蔵両観測点のデータ

をもらって震源決定に使用し、小言う域における震源を求めた。

1976年には観測点の見直しを行い、観測点間隔を広げて下小鳥（河合町）及び楡原（当事の富山県大沢野町）に観測点を設置し、一部現地の方に取り替えて委託して観測を行った。翌1977年には、NTTの専用回線を利用したテレメータシステムが導入され、この機会に天生（下小鳥を見直し）、楡原両観測点をテレメータ化した。1980年には、富山県西部に福光観測点を設置すると同時に、高山地震観測所との間でローカルデータ交換（高山、焼岳、高根の3観測点）を行い、合計7点によるデータ解析を始めた。従来の跡津川断層を中心とした内陸の観測網から少し視野を広めて、また、日本海側の地震観測網の手薄さに鑑み、1982年に七尾（石川県七尾市）及び朝日（富山県朝日町）観測点を、翌1983年に宝立観測点（石川県珠洲市）を設置して、現地収録による能登半島周辺の地震観測を始めた。これらの観測点は、1985年（七尾、朝日両観測点）、1986年（宝立観測点）にテレメータ化され、内陸の観測網7観測点のデータとともに上宝観測所においてリアルタイムで収録されるようになった。1988年には、地殻変動用に掘削された立山観測坑道（富山県立山町）を利用して、現地収録による微小地震観測を始め、1995年に衛星通信方式が導入されることによって、跡津川断層中央部の宮川観測点（岐阜県宮川町）とともに、このシステムに組み入れることとなった。

定常観測点の増設と並行して、突発的なイベントの際には急遽臨時観測点の設置も行った。1976年9月には、王滝村群発地震観測の為、加子母観測点（当事の岐阜県加子母村）に設置して12月まで観測を行った。1986年には、長野県西部合同地震観測の一環として上ヶ洞、子の原、橋場（いずれも岐阜県高山市高根町）の3観測点を設置した。この観測点は、当初乗鞍岳の群発地震観測を目的としていたものであるが、途中より上記合同観測に組み入れることとなった。1993年能登半島沖地震(M=6.6)の時には、能登半島内に、木ノ浦（石川県珠洲市）、桂谷（石川県穴水町）及び桑ノ院（富山県氷見市）の3観測点

を設置して余震活動状況を監視した（伊藤・他1994）。1998年の飛騨山脈群発地震では、震源近傍で観測することを目的として、穂高平（当事の岐阜県上宝村）に設置して観測を始め、途中よりNTT専用回線により上宝観測所へ送り活動状況をリアルタイムで監視した（和田・他1999）。一方、活断層フロンティア計画の基で、跡津川断層沿いのより詳細な地震活動を調べる目的で、従来の観測網の間を埋めるように、1994年に茂住（岐阜県神岡町）、1996年に山之村（岐阜県神岡町）、洞（岐阜県宮川町）、1997年に寺地（岐阜県古川町）の4観測点を設置してテレメータ観測を行った。その後、同計画の基で1998年に祐延（富山県大山町）、2000年に蛭谷（岐阜県上宝村）、2003年には大白川（岐阜県白河村）観測点を増設して、衛星通信および専用回線によりデータ伝送を行っている。2002年には、観測点設置が大変厳しい跡津川断層東部の立山カルデラ内に2観測点（多枝原、岩井谷）を設置して試験的に観測を始めたが、翌年からは多枝原観測点の他に、スゴ谷及び水谷両観測点を設置して断層の東端付近の地震活動調査を始めた。2005年には、歪集中帯総合観測の一環として、全国大学が参加して合同地震観測が始まり、これまでに設置されていた定常観測網及び臨時観測網やHi-net観測網に加えてさらに約70点の観測点を設置して稠密地震観測が継続されている（Fig.1）。

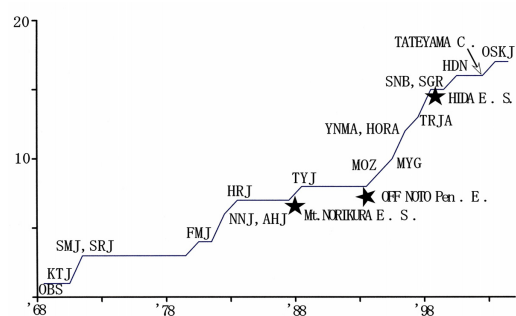


Fig.1 Change in the number of observation stations for earthquakes by the Kamitakara Observatory.

2.2 観測システムの変遷

1969年に微小地震観測を始めたころは、現地で記録取替えを行っていた。上宝観測点は、観測所から近いところに位置しているため、ほぼ毎日記録取替えに、往復14kmの道のりを通っていた。一方、遠

方に設置した下之本，杉原，下小鳥，楡原および加子母等の観測点は，機械を設置を依頼している現地の人に取替えを委託して，1ヶ月に一度位の割合で記録紙を回収に回っていた。記録方式は，ドラムに記録紙を巻きつけて，インクで記録する方式で始めたが，ペン先がすぐに太くなり記録が見にくくなることから，煤掻きによる方法に変更した。1977年には，NTTの専用回線を利用したテレメータシステムが導入され，リアルタイムでデータを上宝観測所に送ることが出来るようになった。（上宝地殻変動観測所・他，1978）これによって跡津川断層付近の地震活動が時々刻々わかるようになった。また，1980年には福光観測点，1985，1986年には七尾，朝日及び宝立観測点のテレメータ化によって，富山県，石川県能登半島方面の地震観測網が本格稼動することとなった。8ビット/データが主流であった当時，11ビット/データのPCM伝送方式は優れたものであった。記録収録の方式は，磁気テープ収録であったが，同時に，熱感光紙に早送り記録することも行った。また平野式と言われるパソコン2台を用いてMOに収録することも行った（平野・他，1993）。

1995年には，兵庫県南部地震を契機として，衛星通信による全国的なデータ伝送方式が導入され上宝観測所の観測点も全点衛星通信に切り替えることとなった。この結果，周辺地域の多くの観測点のデータが取り込めることとなり，データ収録の方法も大きく変わり，パソコンによる自動処理をするようになった。このようなシステムの向上によって多くの成果を挙げてきたが，衛星の寿命等の問題もあり，2006年からは再び地上線（フレッツISDN 或いはフレッツADSL）を利用した伝送方式に変更して今日に至っている。

臨時観測点については，長時間記録可能な機器（高見沢製作所製STR-100，近畿計測社製EDR-1000）等の出現によって，現地の場所を借用して機器を設置して，10日から2週間の間隔で記録紙あるいはフロッピーディスクの取替えに回っていた。

跡津川断層付近の稠密地震観測網の場合は，設置時から専用回線あるいは衛星通信を利用してデータ

を上宝観測所に送っており，定常観測網のデータとの併合処理を行っている。現在も夏季期間のみ継続している立山カルデラでの臨時観測では，白山工業（株）製のLS7000を用いて連続収録を行っており（記録媒体はSan Disk製Compact Flash 2.0GB），約2週間に一度データ回収に回っている。電源は，自動車バッテリーを用いて動作させている。

3. 跡津川断層沿いの地震活動

3.1 概観

Fig.2に，上宝観測所で観測を始めた初期の頃の，跡津川断層周辺の震源分布を示す（和田・三雲1975）。この頃から，跡津川断層に沿って明瞭な線状配列が見られ，活動は中央部で低く，両側で活発な様子が伺われる。また，図右下の乗鞍岳付近にも活発な活動を示唆する分布が見られる。Fig.3は，テレメータシステムが導入された1977年以降の，データによる震央分布図である。この図からも，周辺地域特に飛騨山脈（図右側の南北に並んでいる分布）の活動

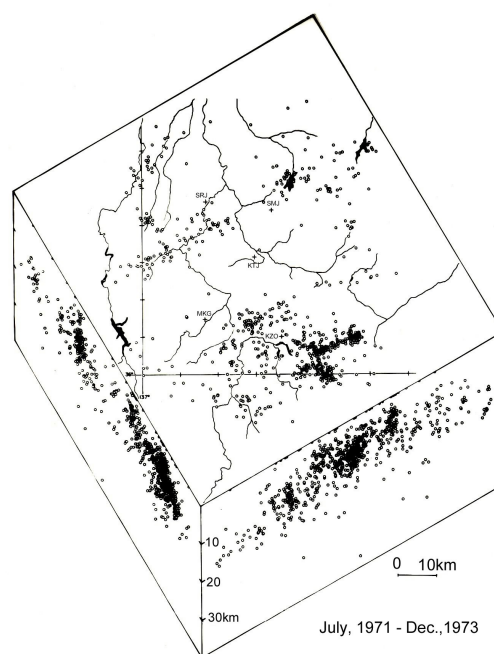


Fig.2 Distribution of earthquake hypocenters by the Kamitakara Observatory in the early stage of observation (1971-1973)

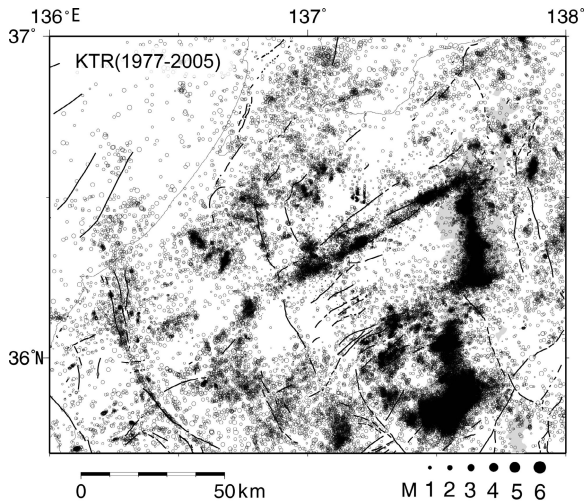


Fig.3 Distribution of earthquake hypocenters by using manually checked telemetered data with satellite communication at the Kamitakara Observatory.

や、図右下の長野県西部の塊状分布と同じように図中央の跡津川断層に沿う線状の分布が明瞭である。(Ito, et al., 2007) 以下に跡津川断層の地域ごとの活動の特徴について述べる。

3.2 跡津川断層中央部の地震活動

跡津川断層は、岐阜県飛騨市河合町と岐阜県白川村の境界天生峠付近から東北東方向に、宮川町、神

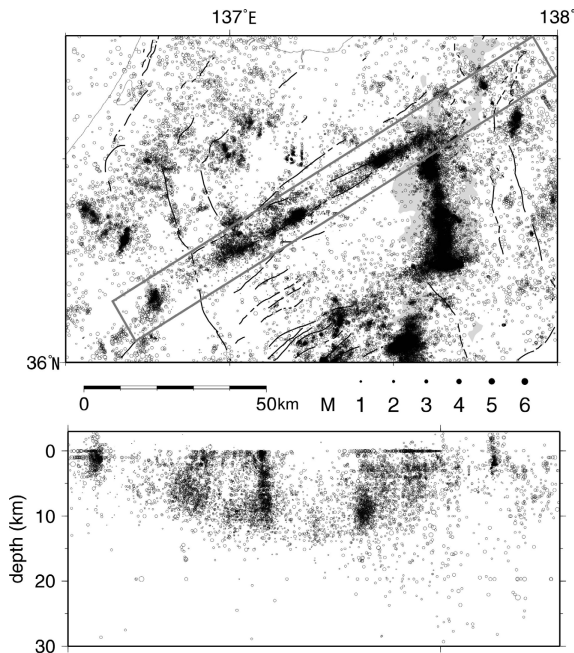


Fig.4 Distribution of earthquake hypocenters along the Atotsugawa fault system.

岡町を通過して富山県の有峰湖付近にいたる延長約60 kmの活断層であり、微小地震はこの断層の地表面上の位置に分布しているが、その活動度は異なっている。断層西部の河合町、宮川町では活発な様相を呈しており、西端付近では、跡津川断層から北側に広がりを見せており、この断層のすぐ北側に位置する牛首断層と位置的に近いこともあり、この付近の活動が牛首断層の活動とも考えられる。(Fig.4) また、中央部の神岡町付近の活動は低く、東部では、有峰湖から立山カルデラにかけて活発である。一方、深さ分布を見ると、全体的に中央部の活動が低いところにおいて約15 kmと深く、両側に向けて徐々に浅くなっている。また中央部の低活動域の5 kmより浅いところでは殆んど地震の発生が見られない。このことは中央部に設置している茂住観測点のモニター記録から S-P 時間が短い地震が殆んど観測されないことから、震源決定できないような小さな地震も含めて発生していないことが明らかである。

3.3 立山カルデラ付近の地震活動

跡津川断層東部、特に立山カルデラは地形的に非常に急峻で、商用電源の確保が難しく、定常観測点を設置することが困難な場所である。我々は、カルデラ内の通行許可を申請して、3~4観測点を設置して夏季期間のみ観測をおこなっている(和田・他, 2005)。観測機器は自動車用バッテリーを用いて駆動し、約2週間に一度データ回収、バッテリー交換をおこなっている。この様にして得られたデータは、連続記録として紙に出力して、近傍の極微小地震の発生状況を確認すると同時に、定常観測点のデータと併合処理を行い、再観測をおこなっている。Fig.5には定常観測網によって得られた立山カルデラ付近の震源分布を、また Fig.6には臨時観測点を加えて再観測した結果の震源分布を示す。

この地域には跡津川断層と、これに斜交する茂住・祐延断層があり、Fig.5では、地震は跡津川断層の北側に分布しているように見えるが、震源精度を考慮すると、どちらの断層で発生しているか決定するのは難しかった。しかし、臨時観測の結果(Fig.6)

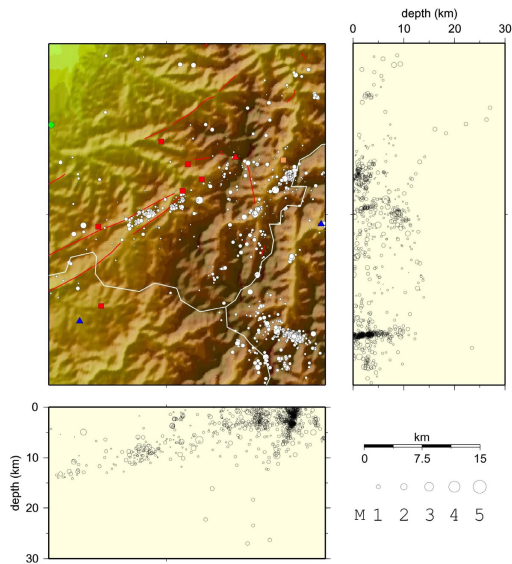


Fig.5 Epicenter distribution of earthquakes in the Tateyama Caldera from routine observation data.

からは、明らかに茂住・祐延断層の地表面の位置に沿って分布しているように見える。断層面の傾きによっては、跡津川断層で発生している可能性もあるが、この付近に於ける跡津川断層、茂住・祐延断層の断層面はいずれもほぼ垂直であるとの見解(竹内, 2006)を考慮すると、この期間における地震活動は、茂住・祐延断層において活発であると考えられる。また数は少ないが、跡津川断層の活動によると考えられる地震も発生していることが明らかである。一方、深さ分布からは特徴的な分布が明瞭である。すなわち、立山カルデラより西側では、10km 付近に分布しているが、東側では5km より浅い分布を示している。このことは、従来からいわれているように、跡津川断層沿いに発生する地震活動の下限は15km 程度であり、飛騨山脈の地震活動は浅いといわれていることと矛盾しない。つまり、跡津川断層あるいは茂住・祐延断層は立山カルデラまで延びている可能性を示唆している。

3.4 跡津川断層西部白山火山周辺の地震活動

立山カルデラと同じように、跡津川断層西端に臨時観測点を設置して断層西端がどこまで延びているかを地震学的に調べてみた。観測点は、白山火山の東麓の大白川ダムサイトに設置し、衛星通信によつ

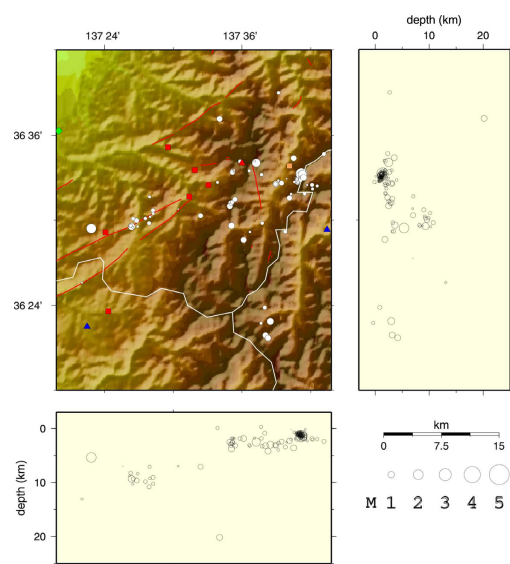


Fig.6 Relocated epicenter distribution of earthquakes in the Tateyama Caldera adding temporary station data.

てデータ送信を行っている(和田・他, 2004, 和田・他, 2006)。この観測点は冬季間積雪が4m とも言われており、アンテナは地上5m 位の高さまでに上げている。これによって一年中正常なデータが送られてきている。この観測点は前述のように白山火山に近いこともあり、上記目的のほか、白山火山の活動を監視目的のために、データが気象庁に送信されている。Fig.4の震源分布より、地震活動は、地質学・地形学的に確認されている天生峠付近より西側まで延びているように見える。このことは従来観測網が荒くて明らかになっていなかったが、臨時観測点及びHi-net観測網の整備によって検知能力が上

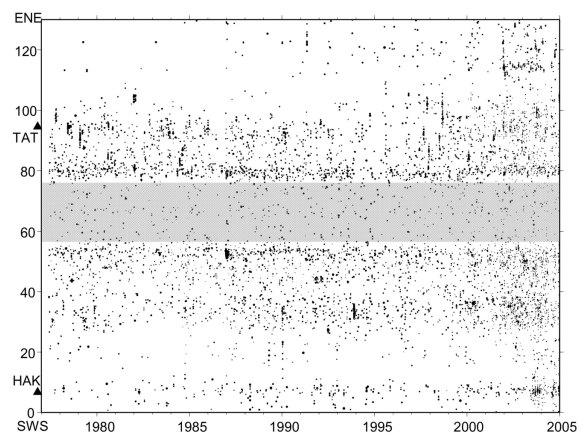


Fig.7 Space-time distribution of earthquakes along the Atotsugawa fault system.

ったことによる成果と考えられる。この分布を少し延長すると白山火山にいたる。大白川観測点のモニター記録をチェックすることによって、2003年7月に設置以来、大小の群発地震が多数観測され、白山火山の微小地震活動が大変活発であることが明らかであり、跡津川断層沿いの地震活動調査とともに、白山火山の火山活動も合わせて注意深く監視する必要がある。このように大白川観測点の重要性は明らかであるが、あとわずかで衛星が使えなくなり、この観測点の伝送手段が絶たれるため、早急に代替の方法を探さなければならない。

4. 地震活動の時間的推移

跡津川断層沿いに発生する地震の時間的推移を Fig.8 に示す。テレメータシステム導入によってほぼ均質なデータが得られるようになった 1977 年以降の分布図であるが、中央部では低活動であり、西側・東側で活発な、活動の不均質性は認められるが、全体的にはほぼ定常的な地震活動の様子がみられる。唯一の群発地震活動としては、1986年12月に発生した断層中央部に近い宮川町で発生した活動があげられる。また 2000 年頃から活動が活発化しているように見られるが、このことは観測網の整備によって検知能力が向上したことによるものである。

5. メカニズム解

Fig.8a および Fig.8b に、それぞれ断層西部及び東部に発生した地震のメカニズム解を示す。断層西部は前述のように、跡津川断層と牛首断層が近い距離で並走しており、複雑な構造が考えられるが、メカニズム解からも、横ずれ型、逆断層型が混在しており、主圧力軸の方向にもかなりのばらつきが見られ、この地域の複雑な構造を示唆している。一方、断層東部では、少数の正断層および逆断層が混在しているが、横ずれ型が卓越しており、主圧力軸の方向は、この地域における地震の並びと矛盾していない。いずれにせよこの地域ではあまり大きな地震の発生は

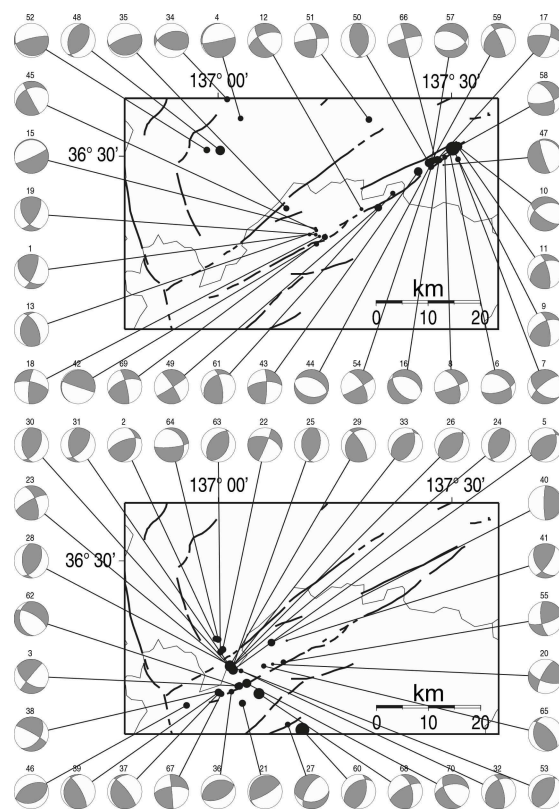


Fig. 8 Focal mechanisms of earthquakes determined from P-wave first motions in the northeastern (upper figure) and southwestern (lower figure) parts of the Atotsugawa fault system.

なく、しかも観測データが十分でないことも上記のような結果になっていることも考えられるので、今後、現在展開されている稠密地震観測網のデータを用いて精度の良いメカニズム解を求めて詳細な議論を行いたい。

6. まとめ

跡津川断層沿いの地震活動の調査を開始して 36 年が経過した。その間、観測点の増加、システムの整備によって、データ量が増え、格段に精度が向上した。その結果、跡津川断層沿いの地震活動には、西部、東部で活発であり、中央部で低調であるという不均質性が明らかとなった。一方、深さ分布では、中央部で深く、両端にかけて浅くなるという分布が明らかとなった。また、中央部の浅いところでは、殆んど地震の発生がないこともわかった。次に地震活動の時間的推移を見た場合、1986年12月の宮川

町付近の群発地震を除けばほぼ定常的な活動の様相を呈している。メカニズム解は、概ね横ずれ型を示しているが、逆断層型、正断層型も含まれており、今後さらに多くのデータによって、より精度のよい結果を求めて議論していきたい。

謝 辞

長年にわたってご協力いただいた多くの観測点の関係者の方々、立山カルデラでの観測に便宜を図ってくださった国土交通省立山砂防事務所の皆様方、断層西部の大白川観測点設置について、ご理解ご協力を戴いた電源開発株式会社中部支店御母衣電力所および北陸電力（株）常願寺電力部の方々から感謝申し上げます。また、このように長期にわたり観測ができましたのも、観測点増設および、システムの更新等にご尽力いただいた三雲健名誉教授のおかげであり、厚くお礼申し上げます。

参考文献

伊藤 潔・和田博夫・渡辺邦彦・堀川晴央・佃 為成・酒井 要 (1994) : 1993 年能登半島沖地震, 京都大学防災研究所年報, 第 37 号 B-1, pp.325-341.

上宝地殻変動観測所・地震予知計測部門(1978) : 上宝地殻変動観測所の地殻変動・地震観測テレメータシステム, 京都大学防災研究所年報, 第 21 号 B-1, pp.119-135.

竹内 章(2006) : 跡津川断層系の地表地質構造と活

動性について, 日本地震学会講演予稿集, p.71.

平野憲雄・伊藤 潔・渋谷拓郎・和田博夫・中尾節郎 (1993) : パソコン 2 台を用いた多成分トリガー地震収録システムの開発, 京都大学防災研究所年報, 第 36 号 B-1, pp.399-407.

和田博夫・伊藤 潔・大見士朗・岩岡圭美・池田直人・北田和幸 (1999) : 1998 年飛騨山脈群発地震, 京都大学防災研究所年報, 第 42 号 B-1, pp.81-96.

和田博夫・伊藤 潔・大見士朗・平野憲雄(2004) : 白山火山周辺の微小地震活動, 京都大学防災研究所年報, 第 47 号 B, pp.705-711.

和田博夫・伊藤 潔・大見士朗・平野憲雄・平松良浩・中山和正・歪集中帯大学合同地震観測グループ(2006) : 白山火山付近の顕著な群発地震活動, 京都大学防災研究所年報, 第 49 号 B, pp.289-295.

和田博夫・伊藤 潔・大見士朗・平野憲雄・森下可奈子(2005) : 立山カルデラにおける微小地震臨時観測, 京都大学防災研究所年報, 第 48 号 B, pp.223-229.

和田博夫・三雲 健(1975) : 中部地方北西部の地震活動, 京都大学防災研究所年報, 第 18 号 B, pp.35-45.

Ito K., H. Wada, S. Ohmi, N. Hirano and T. Ueno (2007) : Seismic activity from routine and temporary observations of earthquakes in the northwest Chubu district, central Honshu, Japan, in Geodynamics of Atotsugawa Fault System (ed. Ando M.), Terrapub, Tokyo, pp.45-63.

**Observation of Earthquakes at the Kamitakara Observatory by a Dense Network
in the Atotsugawa Fault Area
---36 year observation and data analyses---**

Hiroo WADA, Kiyoshi ITO, Shiro OHMI and Norio HIRANO

Synopsis

Observations of earthquakes in the Atotsugawa fault area have been carried out since 1969. Characteristics of spatial seismicity along the fault area are reported on the basis of the long term records. Focal depths are deepest in the middle and shallower in both ends of the fault. As for the temporal variations, activities are random with rare swarm activities, except for one in 1986 consisted of 431 events for a month with the maximum earthquake of M4.3.

Keywords: Atotsugawa Fault, seismic activity, active fault, Tateyama caldera, Hakusan volcano