

跡津川断層付近の地震活動

和田 博夫・伊藤 潔

SEISMIC ACTIVITY IN THE VICINITY OF THE ATOTSUGAWA FAULT, CENTRAL JAPAN

By *Hiroo WADA* and *Kiyoshi ITO*

Synopsis

Seismic activity near the Atotsugawa fault, one of the most prominent active faults in central Japan is studied from the data during 1977 - 1993 recorded by a local seismological observation network. Epicenter distribution, as a whole, clearly concentrates along the Atotsugawa fault, but in detail, seismicity is high in the southwestern half of the fault and at the northeastern end of the fault. There is a low seismicity area in the immediately northeastern part from the middle of the fault, where the Geographical Survey Institute found creep movement of the fault. Cutoff depth of seismicity is 14 - 16 km, which is rather deeper than those in the Hida Mountain range. This suggests that the cutoff depth is closely related to the thermal structure of the crust. Seismic activity seems to be stationary during the observation period, except for a middle-sized earthquake swarm occurred in December, 1986 with a 2-3 month precursory low seismicity period in the southwest of the middle part of the fault and an earthquake of M 4.4, which was the largest event during the observation period, at the southwestern end of the fault. Focal mechanisms of the major earthquakes along the fault show strike-slip type with a slight reverse fault component, which well coincides with the fault movements.

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は、東は飛騨山脈の立山付近に端を発し、富山県大山町有峰を通り、大多和峠にて岐阜県に入り、神岡町大多和、跡津川、東漆山を経て、宮川村ニコイ、坂上、河合村角川、天生を経て天生峠付近に至る総延長約 60 km の第一級の活断層である (Fig. 1)。なお、西端については、最近の地震活動の分布から推察して、白川谷を通り越して、白山付近まで延びている可能性も指摘されている¹⁾。高原川沿いでは、東漆山付近にて、それまではほぼ北北西へ流れていた川の流れが、東北東に向きを変え、断層に沿って約 4 km 進み、土付近にて再び北北西に向きを変える河川の屈曲に見られる、明瞭な断層地形が現れている。この断層における地質学的な詳細な調査結果は、松田によりまとめられている²⁾。

また、跡津川断層周辺に発生した過去の被害地震を調べてみると、1858 年の安政の飛騨地震があげられる。この地震に関しては幸いなことに史料が多く残されており、その史料の調査から、跡津川断層沿いの集落に非常に多数の家屋倒壊等の被害が集中していることがわかっている。このことからこの地震は跡津川断層の活動によって発生したと考えられている²⁾。この地震以降今日までにこの断層で発生したと考えられる大地震は記録に残っていない。

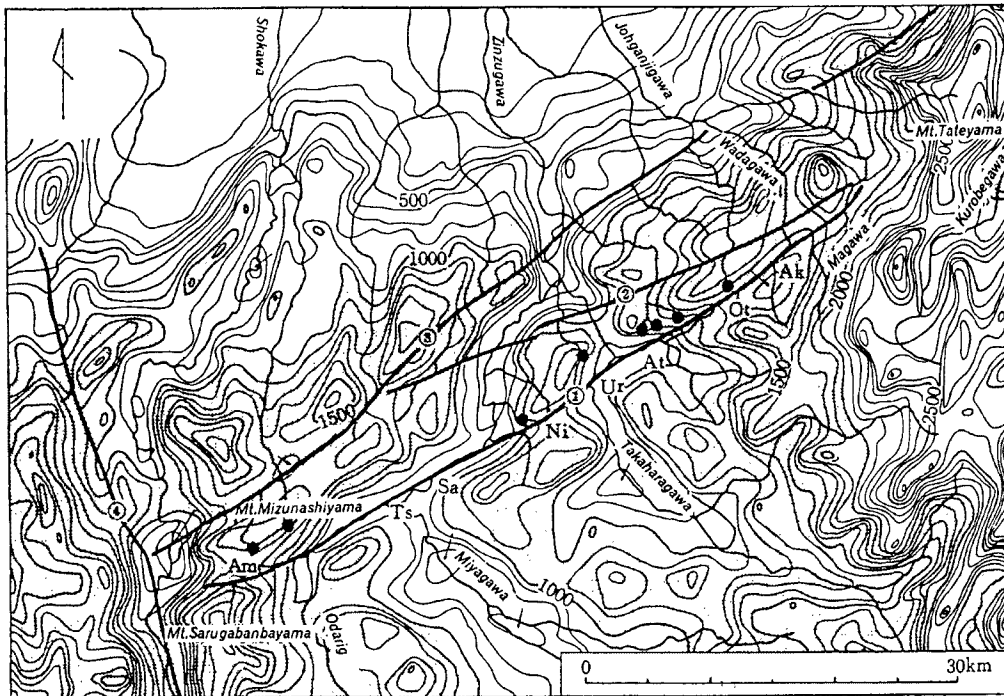


Fig. 1. Contours of the summit, level near the Atotsugawa fault after Togo and Okada (1983)¹²⁾.
 ①, Atotsugawa fault; ②, Mozumi-Sukenobu Fault; ③, Ushikubi Fault; ④, Miboro fault;
 Ak, Arimine; Ot, Ohtawa; At, Atotsugawa; Ur, Urushiyama; Ni, Nikoi; Sa, Sakagami;
 Ts, Tsunokawa; Am, Amo. Solid circle shows a wind gap.

一方、地震の観測による調査、研究は、京都大学防災研究所附属上宝地殻変動観測所（1990年に附属地震予知研究センター上宝観測所と改称）が設立された4年後の1969年に開始された。当初は蔵柱観測坑（以下上宝と略す）における1点、上下動1成分の観測によって、この地域における微小地震の発生状況の調査が行われた。その後、1971年からは、跡津川断層近辺に2カ所の臨時観測点（下ノ本、杉原）が増設され、また、名古屋大学高山地震観測所からも2カ所の読取データの提供を受けることによって、5観測点のデータで、跡津川断層を含む飛騨地方の地震の震源決定ができるようになった。1977年に上宝観測所にテレメータシステムが導入され⁴⁾、この時に天生、楡原両観測点が増設された。また、1980年には観測点の増設等が行われ、これ以降は飛騨地方から富山県、能登半島にかけての地域の地震活動がほぼ均質に把握できるようになった。現在維持されている観測点は、上宝 (KTJ)・天生 (AMJ)・楡原 (NRJ)・福光 (FMJ)・七尾 (NNJ)・朝日 (AHJ)・宝立 (HRJ)・茂住 (MOZ) で、他に高山地震観測所とのデータ交換により、高山 (TAK)・焼岳 (YKE)・高根 (TKN) の3点のデータが入力されている。上記の他に、焼岳極近傍の活動調査のため、蛭谷 (HRD)、飛騨山脈北部、跡津川断層北東端の詳細な活動調査のため立山 (TYJ)、1993年2月に発生した能登半島沖地震の余震活動調査のために木ノ浦 (KNU)、桂谷 (KRD) (1994年まで)、桑の院 (KWI) の臨時観測点が設置されている (Fig. 2)。

本報告では、テレメータシステムが導入された1977年以降のデータを主に用いて、跡津川断層沿いの地震活動の特徴、時間的な推移、地震のメカニズムについて述べる。さらに国土地理院による辺長測量結果との関係について考察する。

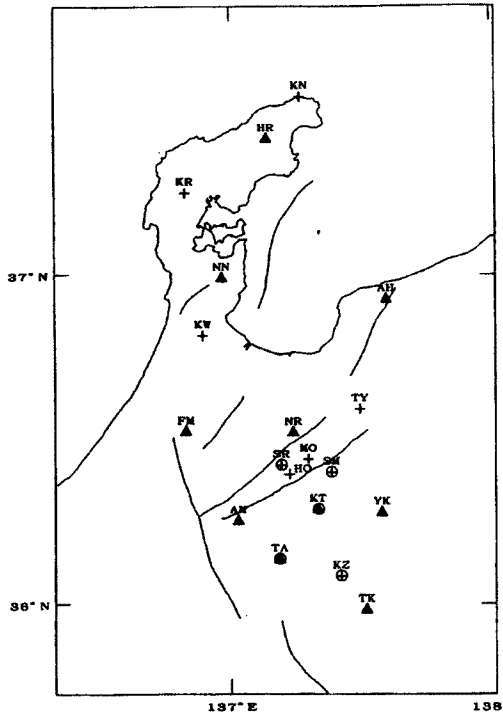


Fig. 2. Observation stations of the Kamitakara Observatory. Solid triangle indicates telemetered station linked to the Kamitakara Observatory (KT), plus sign indicates temporary station and open circle with plus shows temporary station before 1977, when telemetered system was set at the observatory. Solid line shows major active fault.

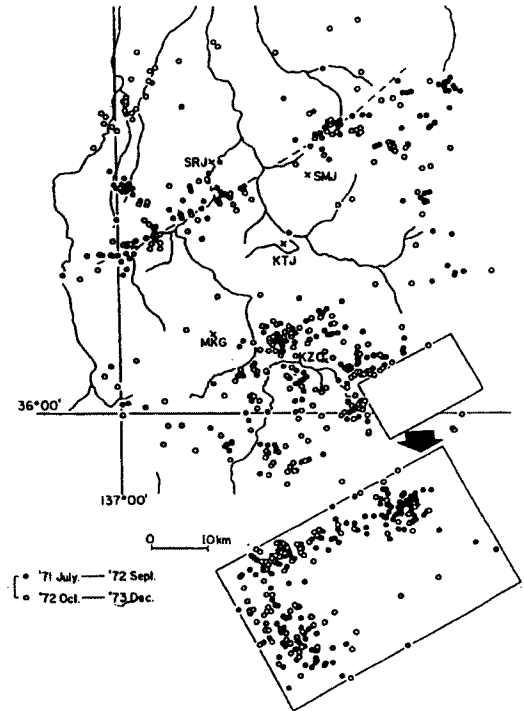


Fig. 3. Epicenter distribution of earthquakes in the northwestern Chubu district from July 1971 to December, 1973, determined by a temporary network of smoked paper or pen-and-ink recorders.

2. 全体的な地震活動

2.1 テレメータ化以前 (1977 年まで) の観測結果

上宝観測所では前述のように 1969 年から微小地震観測が開始されたが、実際に震源決定できるように観測点が整備されたのは 1971 年である。跡津川断層の中央部を囲むように 2 カ所に観測点が設置され、主に跡津川断層沿いの地震活動調査を目的として観測が開始された。観測結果については和田・岸本 (1974)⁵⁾、他^{6,7)}によって詳細に述べられているので、ここでは簡単に記述するにとどめる。Fig. 3 は 1971 年 7 月から 1973 年 12 月までの跡津川断層周辺地域の震央分布図である⁶⁾。この図から明らかなように、跡津川断層に沿って震央が線上に並んでいる。また、その活動の様子については断層線に沿って一様ではなく、断層の両側で活発であり、中央部から北西よりの高原川沿いにおいて活動が低い。この地域の地震活動は深さ 15 ~ 20 km 以浅に限られていることもわかる。

2.2 テレメータ化以降の観測結果

1977 年のテレメータシステム導入以降、1980 年に跡津川断層の北西方向の地点に 1 点 (福光観測点)、

名古屋大学高山地震観測所とのデータ交換による断層南東側に 3 点 (高山, 焼岳, 高根観測点) の増設はあるが, ほぼ均質なデータが得られている。Fig. 4 には, 1977 年から 1993 年までの約 17 年間の, 飛騨地方から富山県・能登半島にかけての震央分布図を示す。図の中央に位置し, 北東から南西に線上の並びが見えるのが, 跡津川断層に沿う地震活動であり, 全体の地震数の約 1 割を占めている。この地域を拡大して震央及び深さ分布を示したのが Figs. 5, 6 である。Fig. 5 には跡津川断層及び牛首断層の位置も併せて表示してある。震源分布は前節の結果と概略的には同じであるが, より詳細な活動およびその時間変化が分かってきた。

跡津川断層沿いでは, 断層の北東部有峰以東及び西半分の宮川以西において活発であり, 中央部北東よりの高原川沿いにおいて活動の低いことがわかった。また, これらの活動は全体的には断層の地表面の位置より北側に分布しているが, 跡津川断層のなかでも観測点の配置からいって比較的精度のいいと思われる断層西半分の地域においては, 断層の地表面の位置より南側にかなりのしみだしが見られる。このことは断層面の傾きが東側と西側で異なっていることを示しているのかも知れない。しかし, 現状の観測点配置ではこれ以上のことはいえず, 今後超多点観測等の方法によって震源の精度をあげ, 議論を行いたい。

一方, 跡津川断層の北方にほぼ平行して走る牛首断層では, 断層の東端・中央部及び西端付近に活動の集中が見られるが, 全体的には活動は低いようである。また, 両断層間の活動に注目すると, 跡津川断層の有峰付近から牛首断層の西端にかけて帯状の配列が見える。この位置には, 新編日本の活断層 (1991)⁸⁾ によると, 茂住祐延断層及び万波峠断層という活動度 C クラスの断層が確認されており, この帯状の分布は, 上記二つの断層の活動によるものかも知れない。また, 跡津川断層北東端部の活動は北側に広がる傾向が見られ, ここに存在する茂住祐延断層との関係が考えられる。この付近には立山観測点があり, ここでのデータを加えて, また密に臨時観測点を設置するなどして, 震源精度を上げることによって, 両断層で発生する地震の分離などより詳細な議論ができるようにしていきたい。次に, これらの地震の深さ分布 (Fig. 6) を見ると, 上図は断層の方向に投影した断面, 下図は断層に直交する方向に投影した断面である。全体的な傾向として地震活動の高い地域では地震の深さは 14 ~ 16 km で浅と求められた。しかし, 断層東部地域では, この深さより震源が深く決まった地震が多数見られた。そこで深さの精度をチェックするため, 観測点が 4 点以上で震源決定された地震についてのみプロットした深さ分布図を Fig. 7 に示す。これによると, 跡津川断層沿いに発生する地震の下限は 14 ~ 16 km であることが分かった。

上宝観測所では, 断層の東端に近い富山県立山町に地殻変動観測のための観測坑道を掘削した。ここに上下動地震計 1 成分を設置して, トリガー方式による現地収録による観測を行っている。これらのデータを用いて震源再決定した結果 (富安, 1995)⁹⁾ からは, 上記下限より深く求められた地震はなく, また, 東側つまり, 飛騨山脈へ向かうほど震源が浅くなる傾向が見られる。このことより, 跡津川断層付近における深さの下限は 14 ~ 16 km 程度と考えられる。このような明瞭な深さの下限は, 地殻の力学的な性質が深さによって変化することを示していると考えられる。飛騨山脈付近では地震の下限が 5 ~ 10 km であることを考えるとこの地震の下限は熱構造による岩石の脆性-延性境界に関連するものと思われる¹⁰⁾。

2.3 臨時観測点 (立山, 洞観測点) のデータによる結果

以上, 震源決定された地震をもとに述べてきたが, 臨時観測の結果によって, 震源決定ができないような小さな地震が多数観測されている。上宝観測所では近辺の詳細な地震活動を調査する目的で, 定常観測網の粗い地域を補うために, 随時臨時観測点を設置して観測を行ってきた。この報告では跡津川断層に近い, 立山 (TY), 及び洞観測点 (HO) (Fig. 2) のデータについて述べる。立山観測点は断層東端に近く,

Kamitakara Obs. Kyoto Univ., 1977-1993 Total= 39928

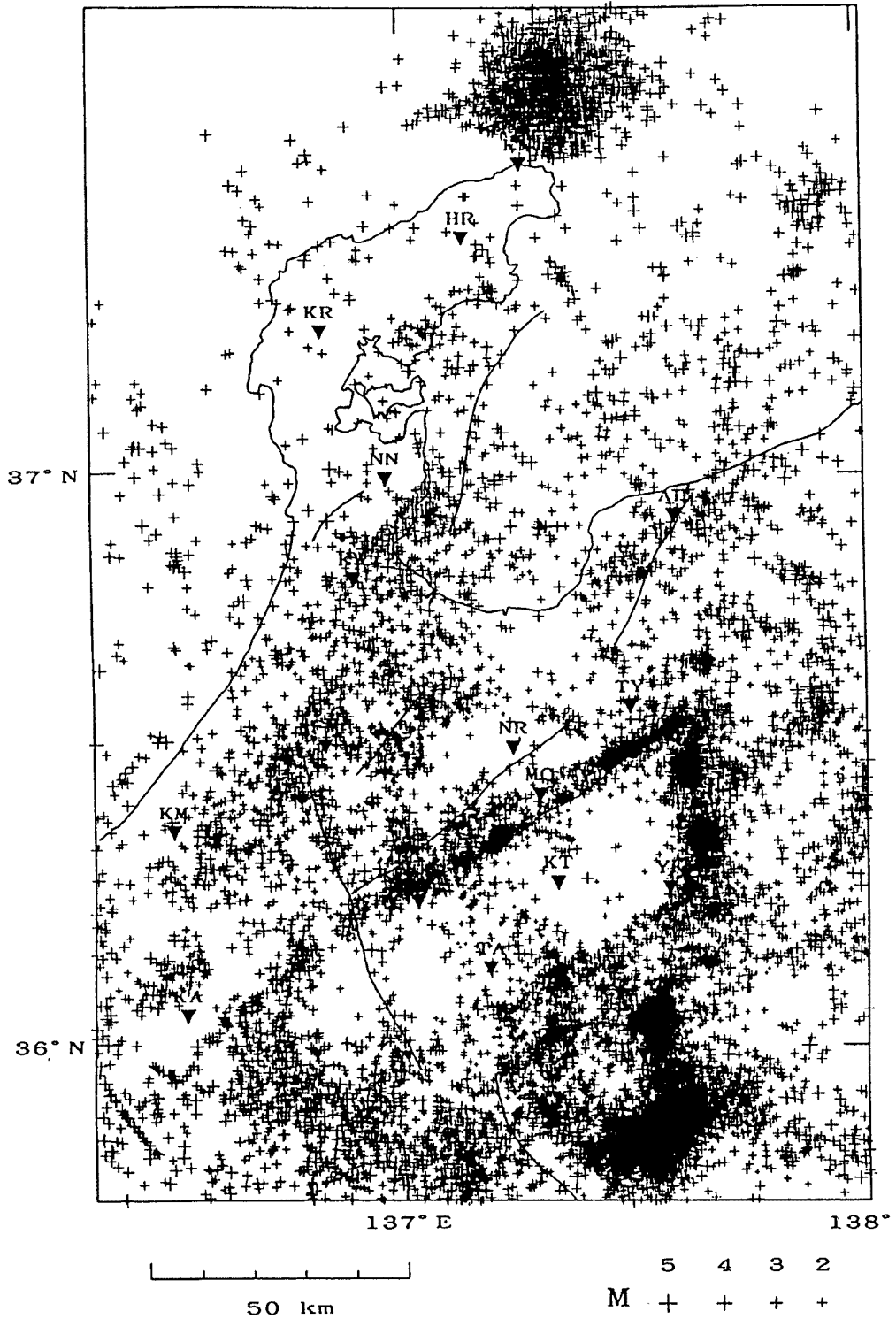


Fig. 4. Epicenter distribution of the northwestern part of the Chubu district during 1977-1993, determined by the telemetered network of the Kamitakara Observatory.

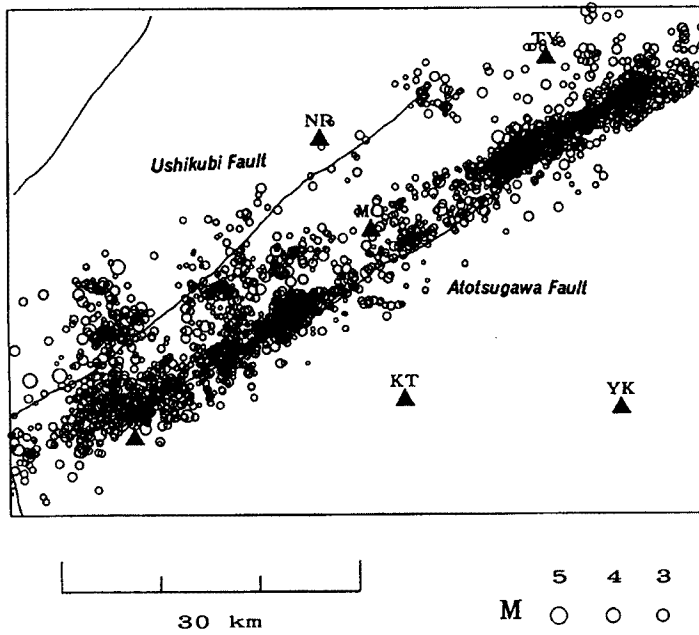


Fig. 5. Epicenter distribution of earthquakes near the Atotsugawa and the Ushikubi faults during 1977 - 1993.

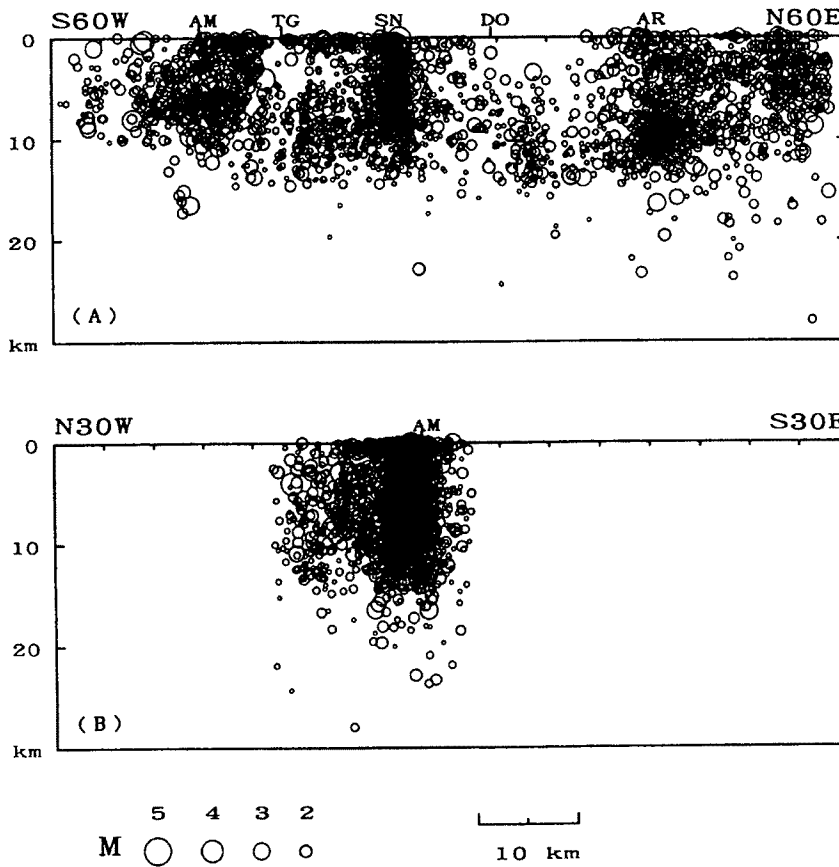


Fig. 6. Focal depth distributions of earthquakes along (A) and cross (B) the Atotsugawa fault during 1977 - 1993.

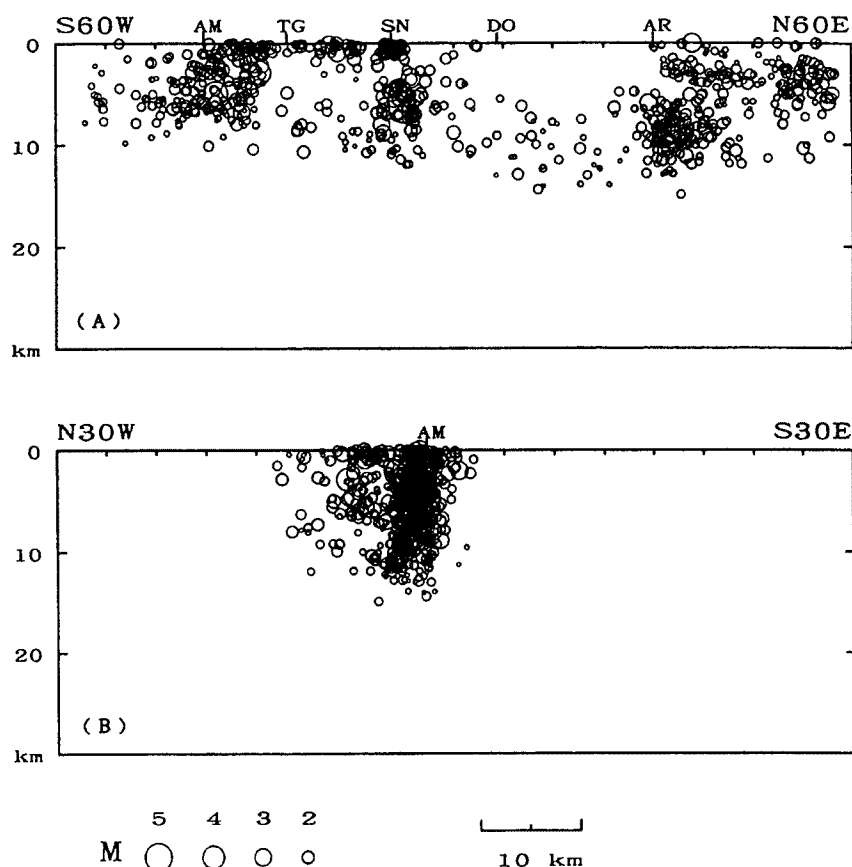


Fig. 7. Focal depth distributions of well-determined earthquakes along (A) and cross (B) the Atotsugawa fault during 1979-1993. Plotted focal depths are selected as those determined from more than four stations and with a standard error of residuals of travel times less than 0.1.

し、1982年の跡津川断層のトレンチ発掘調査と時期を同じくして、数カ月観測を実施した。この時、断層付近では他に3点の臨時観測点を設置して観測を行った。Fig. 8には立山(A)および洞観測点(B)における0.5秒ごとのs-p時間別頻度分布を示す。立山観測点の場合は観測開始の1987年から1994年のデータであり、その間には1990年2月の飛騨山脈烏帽子岳付近の群発地震活動が含まれており、s-p時間2秒前後に顕著なピークが見られるが(Fig. 8 a)、上述の烏帽子岳群発地震以外にも多数のごく近傍の地震活動が見られ、断層東端での活動の活発さが伺われる。

断層中央部付近に位置する洞観測点における観測は1982年に数カ月実施しただけであるが、その結果のs-p時間別頻度分布(Fig. 8 b)からは、1秒前後に一つのピークが見られ、中央部での極微小地震活動の活発さが伺える。また、定常観測網の天生観測点は断層西端付近に位置しており、ここでの連続記録からもs-p時間が1秒以下の地震が多数観測されており、跡津川断層南西端にも震源決定されている地震以上に多くの微小地震が発生していることがわかった。

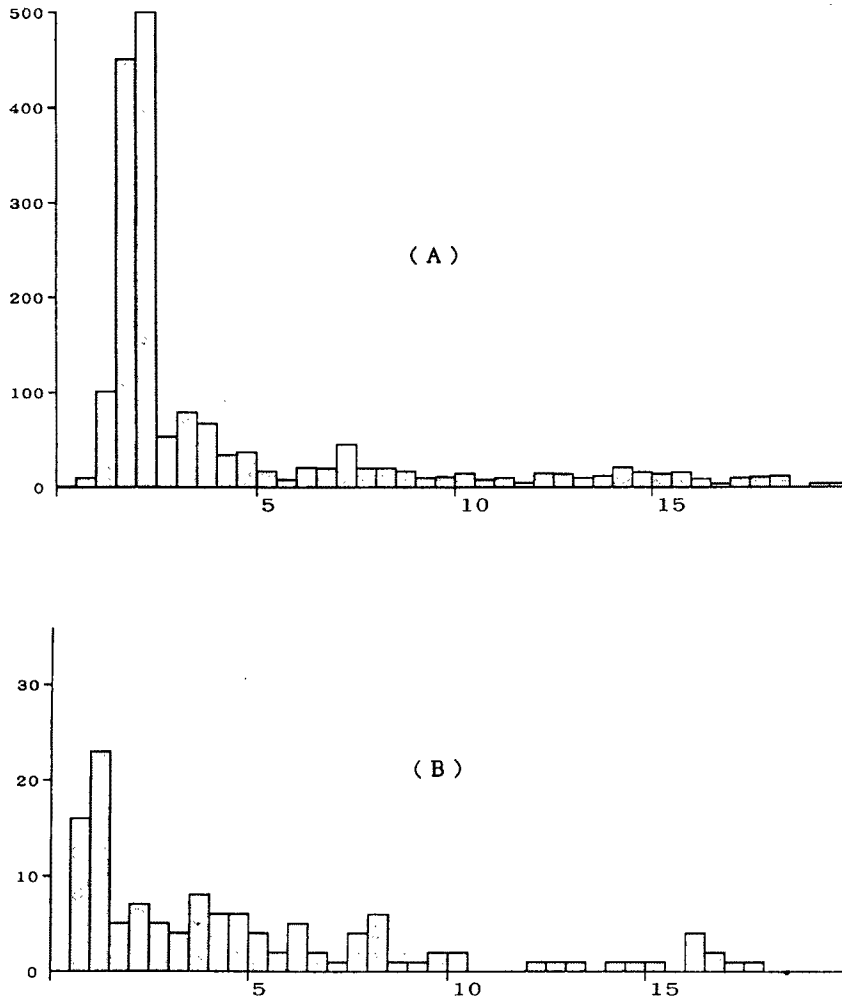


Fig. 8. Frequency distributions of S-P time at the temporary observation stations, Tatemaya (A) and Hora (B). Tatemaya is situated in the northeastern end of the Atotsugawa fault, while Hora, at the middle of the fault.

3. 跡津川断層沿いの顕著地震な地震活動

3.1 中央部菅沼付近の活動 (1986年12月～1987年1月)

跡津川断層沿いに発生する地震活動のパターンは、大中規模群発型或いは本震—余震型が極端に少ないが、観測開始以来今日までで唯一の中規模群発地震が、1986年12月に始まった断層中央部の宮川村菅沼付近のものである。12月21日に始まった活動は24日には一時中断した形になったが、翌25日には急激に活発となり、1日にマグニチュード(M)が3を越すような地震6個を含む124個の地震が観測された。以後2月までに400個を越すような活発な活動が続いた(Fig. 9 a)。この活動の規模別頻度分布を見るとFig. 9 bのようになり、M1以上の地震でb値を求めると0.71になる。この活動域はFig. 4に示されているように、跡津川断層中央部の地震が密集している場所である。この群発地震活動域と跡津川断層との位置関係をFig. 10 aに示す。この活動は跡津川断層の地表面の位置より北側に分布し、東西2.5 km、南北

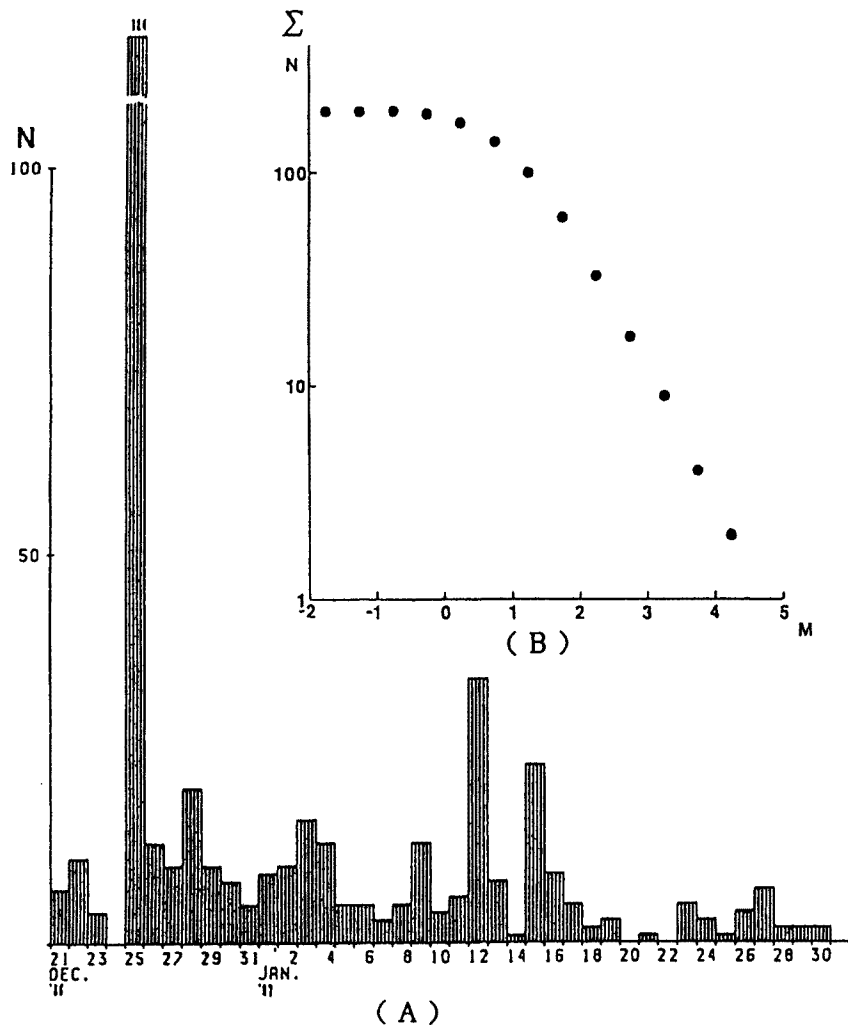


Fig. 9. Daily frequency distribution of the earthquake swarm occurred near Suganuma, in the middle part of the Atotsugawa fault in 1986 (A) and its magnitude frequency distribution (B).

1 km 程のごく狭い範囲に集中して発生した。また、この活動の深さ分布は Fig. 10 b に示すように、深さ 12 km 以浅で円柱状に分布している。この現象は、3 観測点のみによって求められた地震が多数あるので、深さの決定精度の問題とも考えられ、実際にはもう少し集中しているのかもしれない。

3.2 断層南西端付近の活動 (1993 年 11 月)

1993 年 11 月 23 日 $M = 4.4$ の地震が天生観測点に近い断層南西端付近において発生し、多数の余震を伴った。この地震は観測開始以来跡津川断層沿いで発生した最大の地震である。この活動の時間的推移を Fig. 11 に示す。発生後急激に減少し、2 日後にはほぼ元の状態に戻った。この活動は天生観測点 (AMJ) の北西数 km 付近の跡津川断層上に分布し、深さは 5 ~ 8 km であった。しかし、震源決定された地震について 3 観測点及び 4 観測点以上で決定された地震の間には、水平方向で 2 km、深さで約 3 km の違いが見られ、現在の観測網ではこの程度が精度の限界のように考えられる。Fig. 12 にはマスターイベント法による相対的な震源分布を示す。この結果でもごく狭い範囲に集中して発生していることがわかる。

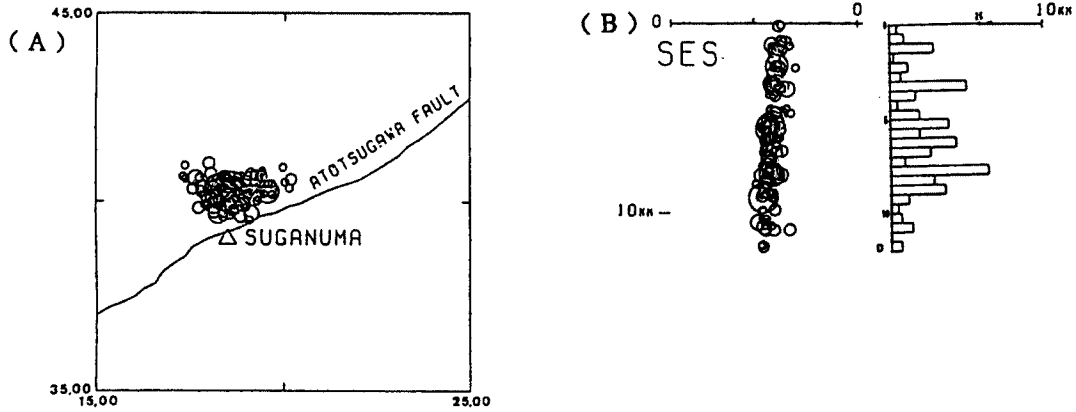


Fig. 10. Epicenter (A) and focal depth (B) distributions of the earthquake swarm occurred near Saganuma, in the middle part of the Atotsugawa fault in 1986. Focal depths are projected onto the plane perpendicular to the fault. Right figure shows a histogram of focal depths.

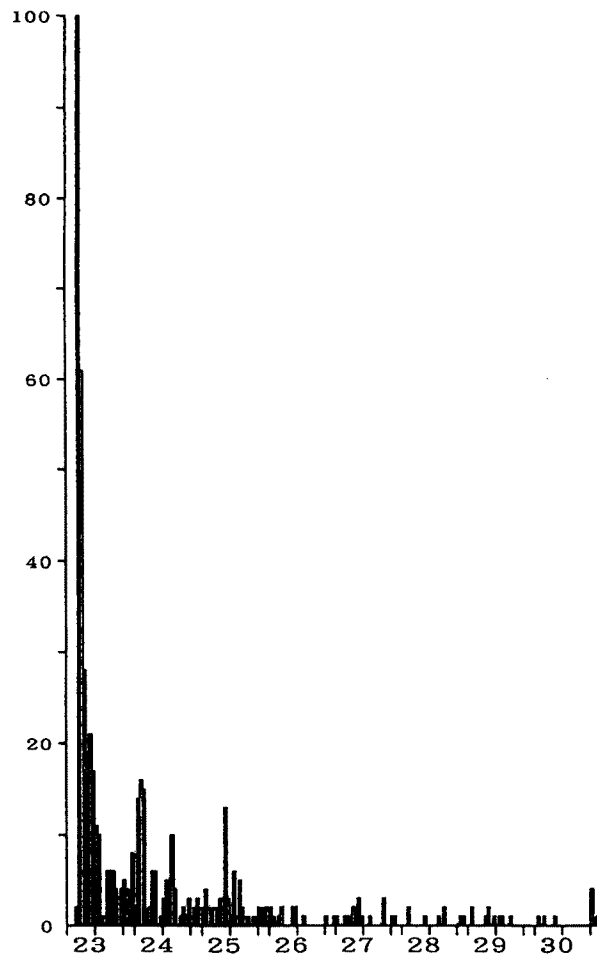


Fig. 11. Daily frequency distribution of aftershocks of the M 4.4 earthquake swarm occurred near the southwestern end of the Atotsugawa fault in 1993.

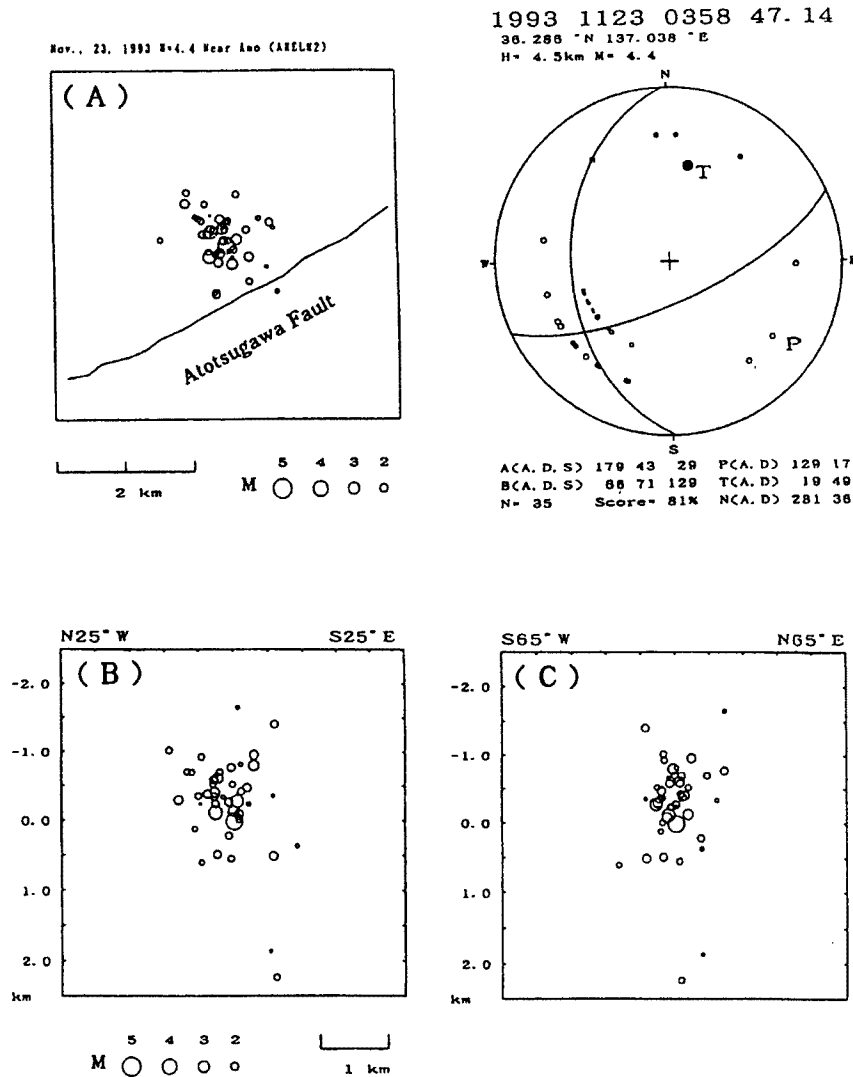


Fig. 12. Epicenter (A) and focal depth (B, C) distributions of aftershocks of the M4.4 earthquake swarm occurred near the southwestern end of the Atotsugawa fault determined by the master event location method. Focal mechanism solution of the largest shock is also indicated. Open and solid circles show dilatational and compressional first motions of P-wave, respectively. Projection is on the lower hemisphere of an equal area net.

4. 地震活動の時間的推移

Fig. 13 は観測開始以後今日までの、跡津川断層沿いに震源が求められた地震の地域毎の月別頻度分布で、上図から断層南西部（河合、宮川地区）、中央部（高原川沿いの地域）及び北東部（有峰以東の地域）である。全体的にみて 3.3.1 で述べた 1986 年の活動が顕著であるが、この活動を境に、南西部の河合、宮川地域では活動が活発化し、北東部の有峰以東の地域では、それまで時々見られた活動の集中がほとんど見られなくなった。中央部の高原川沿いの地域では、全体的に活動は低く、目立った活動の変化は認めら

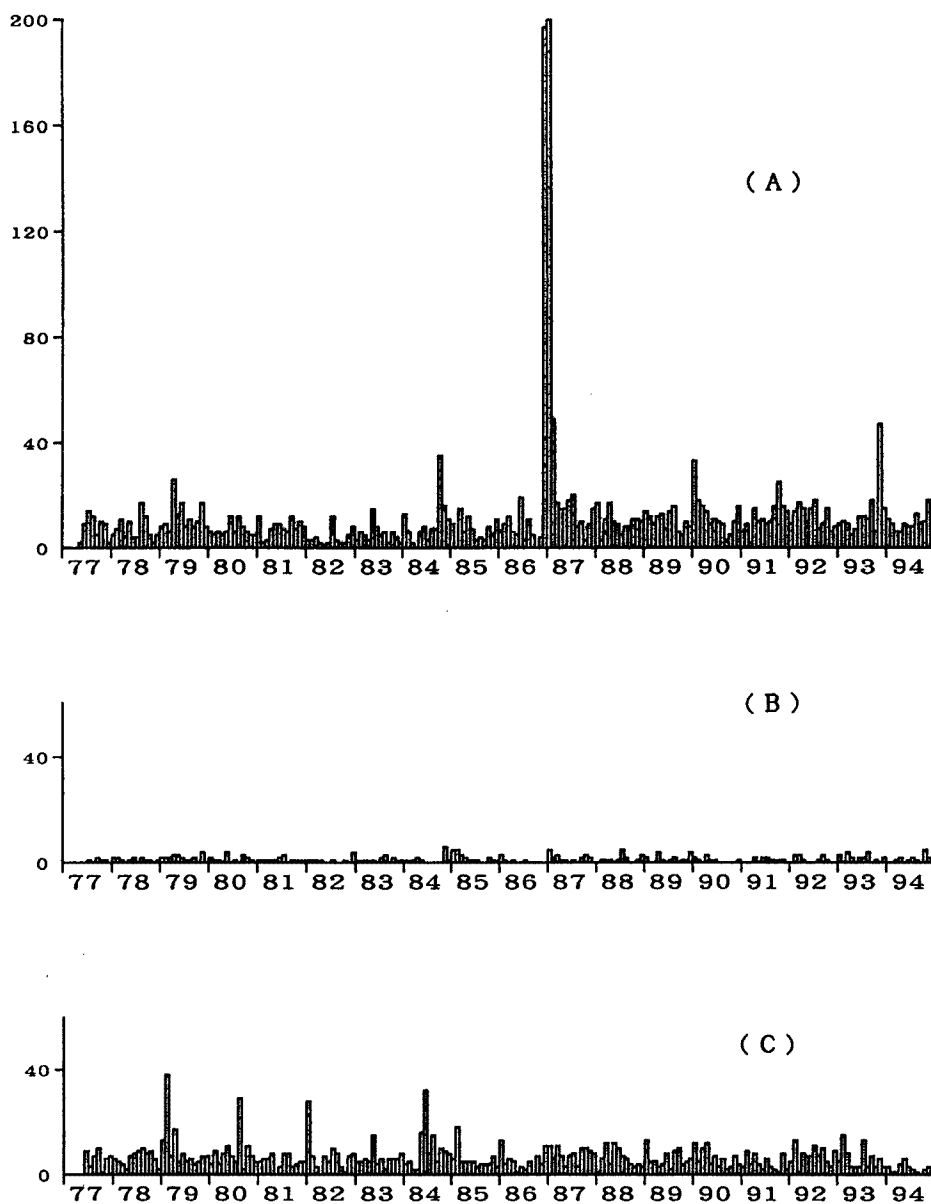


Fig. 13. Monthly frequency distribution of earthquakes in the northwestern part (A) in the middle part (B) and in the southwestern part (C) of the Atotsugawa fault.

れない。

次に、地震活動の時間的な推移を見るために、断層方向に投影した時空間分布を A：1979年～1986年と B：1987年～1994年の2期間にわけて示す (Fig. 14)。群発地震活動としては、1984年の有峰東部と、前述の1986年及び1993年であるが、全体的にはほぼ定常的な活動の様子が見られる。また、1986年12月の菅沼付近の活動の前には、2～3ヶ月間の低活動期が見られ、この活動以降はそれ以前に比べて活発化の傾向が見える。

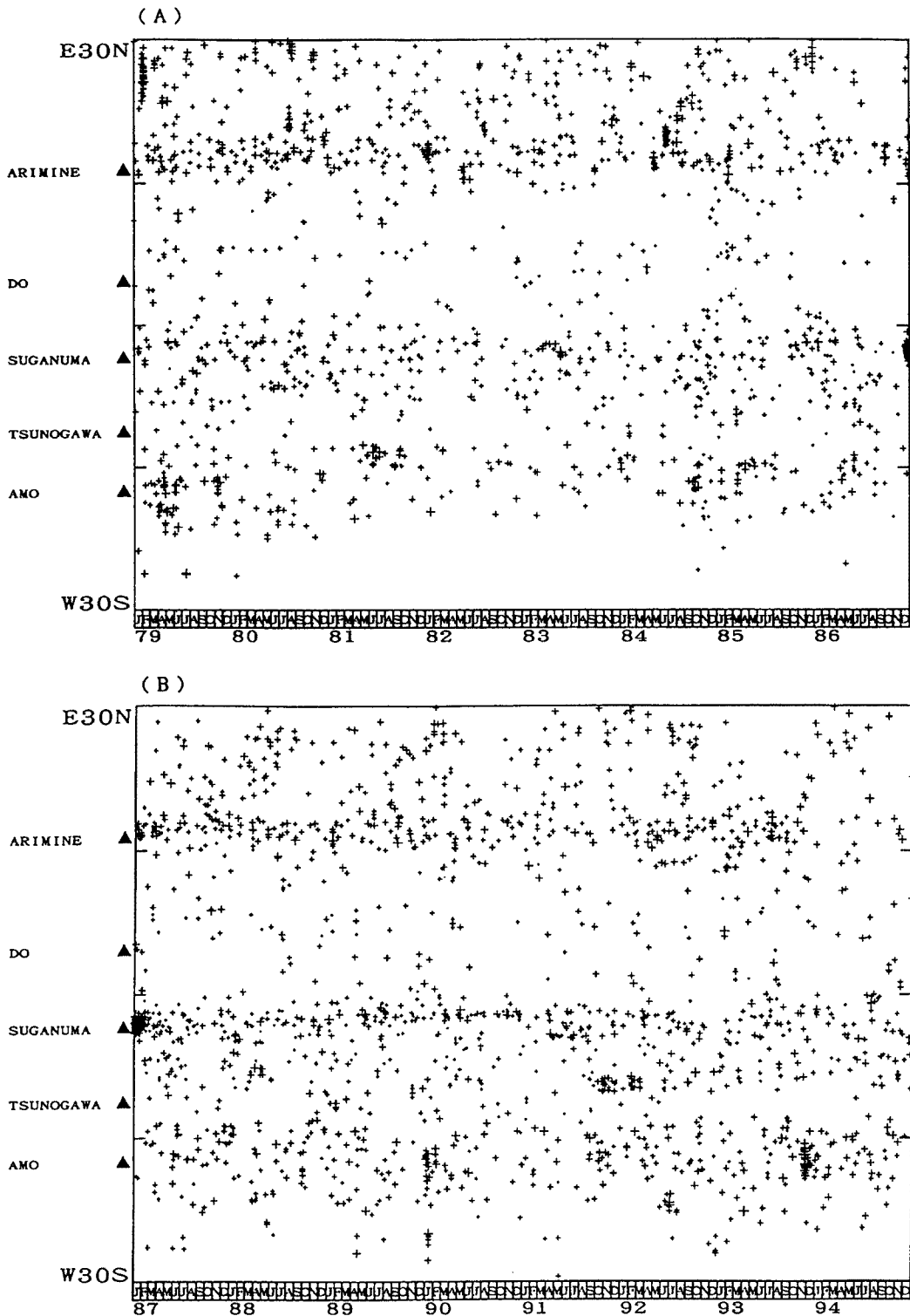


Fig. 14. Time-space distribution of seismic activity along the Atotsugawa fault during 1979 - 1994.

5. メカニズム

跡津川断層に沿って発生する地震は、これまでの観測の結果から M は4クラスが最大であり、メカニズムを決定するための初動データも十分ではなく、解の決定には多少の不確実性がある。Fig. 15 は小泉・他(1993)¹¹⁾ によって求められた跡津川断層周辺の M > 3.0 の地震についてのメカニズム解に、1993年11月に発生した断層西端付近の地震 (M = 4.4) の解 (★) を加筆したものである。跡津川断層沿いでは7個のメカニズムが決定され、断層西部の1個をのぞけば、おおむね逆断層成分を含む横ずれ型であった。P軸の卓越する方向は、北西～南東、西北西～東南東と求められており、跡津川断層の右横ずれ運動と調和的である。ただし、断層から離れた地域では正断層、逆断層型の地震も発生している。

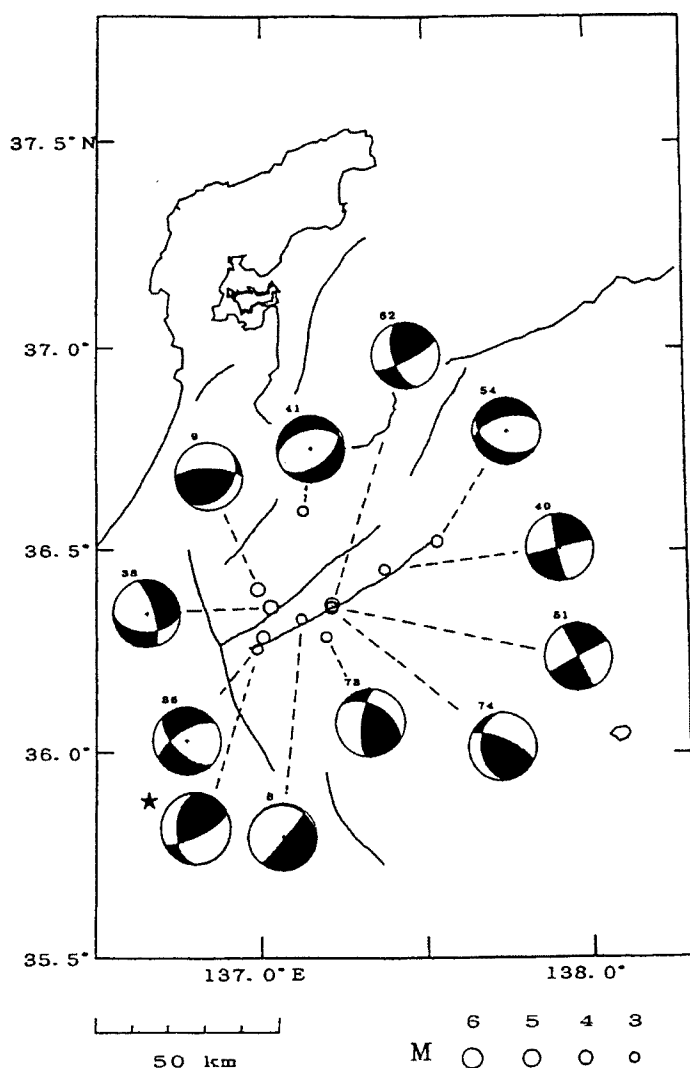


Fig. 15. Focal mechanism solutions of earthquakes of magnitude greater than 3 occurred near the Atotsugawa fault (added a solution (★) to Koizumi et al, 1993)¹²⁾.

6. 断層中央部の低活動域と辺長測量の結果

国土地理院では1981年以来、跡津川断層上の2カ所(宮川, 跡津川)に精密基線網を設置して、3年間隔で距離測量を実施している¹¹⁾。Fig. 16に2カ所における辺長の基線網及び経年変化の図を示す。地震活動の活発な宮川基線網では顕著な変化は認められないが(B'), 低活動域の跡津川基線網では跡津川断層の右横ずれ運動と調和的な有意な変化が検出されている(A')。また、この変化は断層面の最上部を含む部分におけるすべりと考えられ、その速度は1~1.5 m/1000年と求められている。この結果と地震活動から見た低活動域との関係より、跡津川断層の中央部高原川沿いの地域においてクリープしていることが考えられる。このこととあわせ考えると、現在発生している跡津川断層沿いの地震活動は、中央部のクリープにより、その歪みが断層の両端に蓄積された結果とも考えられる。一方、今日の地震活動は前述の1858年の地震の余震活動ではないかとの見方もある。今後、中央部の浅い箇所には全く地震が発生しないのか、あるいは、観測網が粗いためなのかを、臨時観測点の設置によって検討する必要がある。

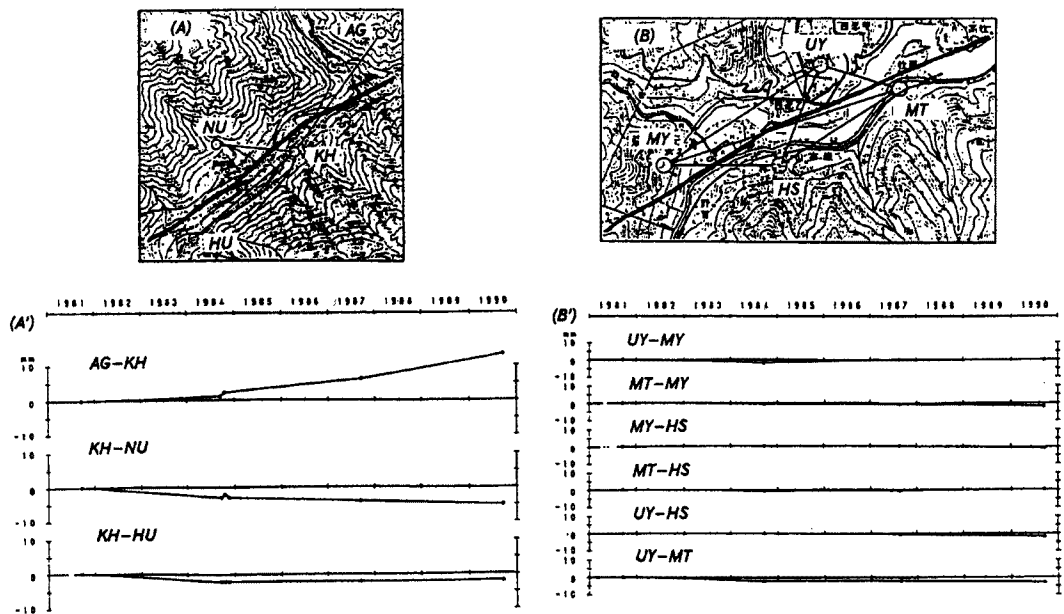


Fig. 16. Locations of precise electro-optical distance-survey networks cross the Atotsugawa fault (A, B) and their observational results (A', B') (after Geographical Survey Institute, 1991¹²⁾)

7. ま と め

跡津川断層の活動についてまとめると次のようになる。

- 1) 跡津川断層の地震活動は、断層の東有峰以東及び西半分にて活発であり、中央部北東寄りの高原川沿いでは低活動である。
- 2) 跡津川断層沿いにおける地震の深さの下限は14~16 km程度であり、飛騨山脈付近の5~10 kmに比べると深い。このことは熱構造などによる断層面の力学的な性質の相違を示していると考えられる。
- 3) 跡津川断層沿いでは大規模な群発地震及び本震—余震型の発生が少なく、全体的には定常的な活動の

様相を呈している。

- 4) 最大の群発地震である1986年12月に始まった菅沼付近の地震の際には、前2～3カ月活動が低かったことが認められる。また、この活動以降、この付近の地震活動が多少活発化したようである。
- 5) 1993年11月には観測開始以来最大の地震 ($M = 4.4$) が断層の南西端で発生した。この地震の分布およびメカニズムは跡津川断層の長期的な動きと調和的であった。
- 6) $M > 3.0$ の地震についてのメカニズム解より、逆断層成分を含むおおむね横ずれ型が求められた。P軸の方向は北西～南東、西北西～東南東が卓越し、跡津川断層の右横ずれ運動を指示する。
- 7) 国土地理院による精密距離測定の結果、地震活動の低い断層中央部において、跡津川断層の右横ずれ運動を指示するような変化が検出され、この地域においてクリープしていることが考えられる。

8. お わ り に

今後臨時観測点の設置等により精度のよい震源を求めることによって、跡津川断層の構造調査を行い、断層の性質を調べたい。

臨時観測点の設置に関してご理解、ご協力いただいた、神岡町立下ノ本中学校の方々、沢田天瑞氏、泉達哉氏、沢ノ向豊氏にお礼申し上げます。また、メカニズム解析では小泉 誠技官に、データ収録に関しては平野憲雄技官にお世話になった。厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 東郷正美・岡田篤正：断層変位地形からみた跡津川断層，月刊地球，第5巻，1983，pp. 359-366.
- 2) 三雲 健・和田博夫：跡津川断層と地震活動，月刊地球，第5巻，1983，pp. 325-334.
- 3) 松田時彦：跡津川断層の横ずれ変位，地震研究所彙報，第44号，1966，pp. 1179-1212.
- 4) 上宝地殻変動観測所・地震予知計測部門：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，京大防災研年報，第21号B-1，1978，pp. 119-135.
- 5) 和田博夫・岸本兆方：跡津川断層における微小地震活動第1報，地震2，第27巻，1974，p. 1-9.
- 6) 和田博夫：跡津川断層における微小地震活動第2報，地震2，第28巻，1975，pp. 113-124.
- 7) 和田博夫・三雲 健：中部地方北西部の地震活動，京大防災研年報，第18号B，1975，pp. 35-45.
- 8) 活断層研究会：新編日本の活断層，東大出版会，1991.
- 9) 富安崇文：立山観測点周辺の地震活動，富山大学理学部卒業論文，1995.
- 10) Mikumo, T., H. Wada and M. Koizumi: Seismotectonics of Hida region, Central Honshu, Japan, Tectonophysics, Vol. 147, 1987, pp. 95-119.
- 11) 小泉 誠・伊藤 潔・和田博夫：中部地方北西部における地震の発震機構，京大防災研年報，第36号B-1，1993，pp. 305-324.
- 12) 国土地理院：中部地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，第45巻，1991，pp. 422-424.