

## 飛騨地域周辺の極微小地震活動

和田博夫・伊藤 潔・大見士朗・平野憲雄

### 要 旨

上宝観測所では観測網の充実によって、多点のデータの収録解析が可能になったので、2001年10月以降、M0.5以下の極微小地震の震源を多数決定してきた。このことによって、跡津川断層や飛騨山脈での地震活動の様子がこれまでより短期間で明らかにできるようになってきた。M0.5以下の地震によって、飛騨山脈ではこれまでわからなかった多数の群発地震が見いだされるようになった。しかし、それ以外の地域では、空間分布は、深さ分布も含めてこれまで長期間に得られたものとはほぼ同じであることがわかった。一方、時間変化については、検知率の問題はあるが、御岳付近の地震の減少と同時に焼岳以北の地震の増加が見られるなど、飛騨山脈で指摘されてきた地震発生の移動が検出された。また、M1.5程度の地震の発震機構を求めることが可能になり、跡津川断層付近の詳細な応力の地域的变化が得られた。

キーワード：極微小地震活動，跡津川断層，飛騨山脈，手動切り出し処理，発震機構

### 1. はじめに

広域地震観測網 (Hi-net) の展開によって、大学などの定常観測網および臨時観測網を含めると、観測点分布が非常に密になった (和田・他, 2002)。これらのデータを併合処理することによって、極微小地震まで震源決定ができるようになった。その結果、飛騨地方の跡津川断層や飛騨山脈における極微小地震活動の様子が短期間に得られるようになった。ここでは、これらの地域の最近の活動の状態を報告するとともに、長期的に見た場合の、地震活動の変化と比較して述べる。また、最近 (2002年11月) 石川県加賀地方でマグニチュード (M) =4.5の地震が発生し、多くの余震を伴った (気象庁 2002)。従来この地域では M0.5以下の小さな地震は震源決定がほとんどできなかったが、今回は観測点が増加したため、通常のトリガーされる地震の再検測作業の他に、手動でイベントを切り出す方法 (ochibo 拾い) によって、小さな地震の震源まで決めることができた。その結果についても報告する。

### 2. 手動切り出し処理

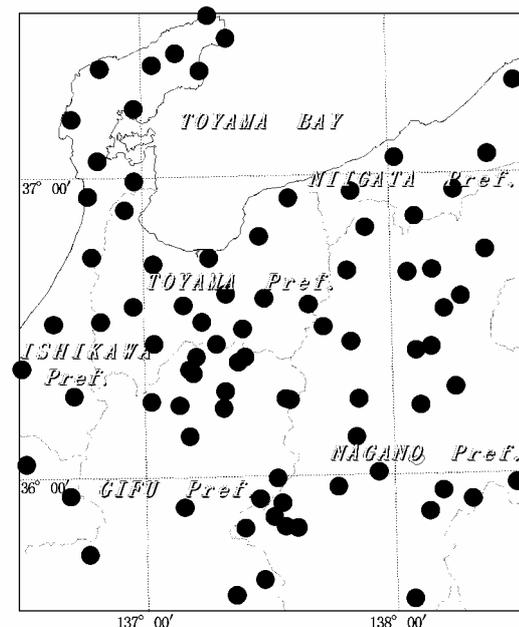


Fig.1 Recent seismological stations in the Hida region.

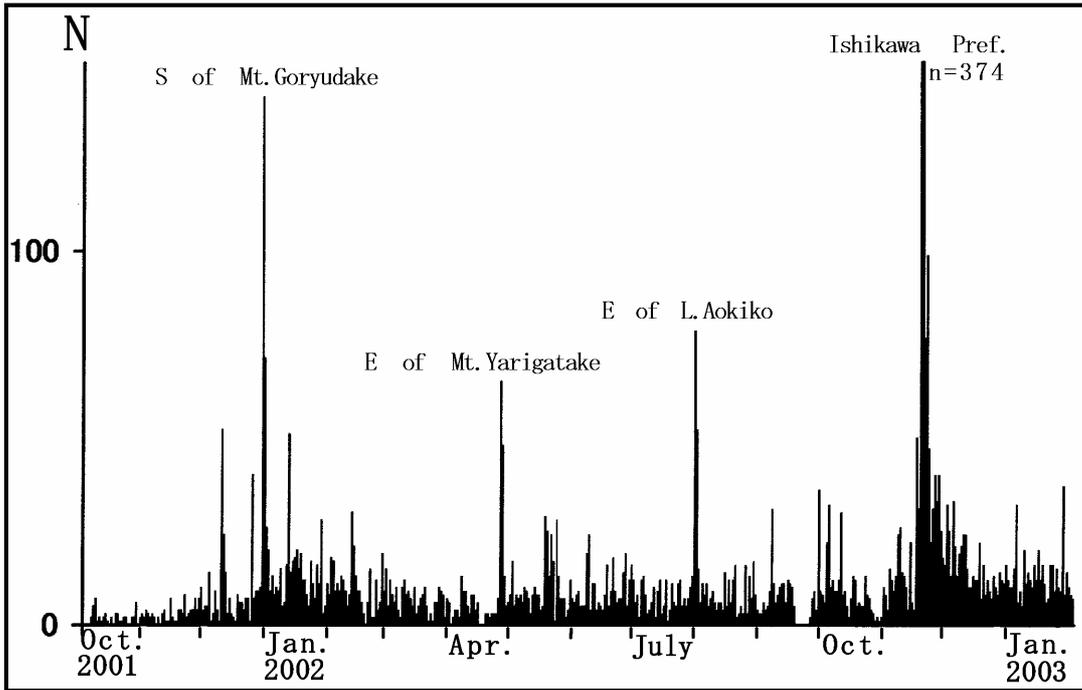


Fig.2 Daily frequency of earthquakes manually detected from continuous records between Oct., 2001 – Jan., 2003. Magnitudes of most events are less than 0.5.

Hi-net データの流通によって観測点が密になり (Fig.1), 小さな地震も多数の観測点で観測されるようになってきた。ところがトリガーは従来の観測点で行っているために, 非常に小さな地震について

はトリガー漏れとなり, このままではデータが生かされないことになる。また, トリガーレベルを下げ て多くの地震を自動トリガーにすると, 雑微動でのトリガーが増加し, かえって処理に時間がかかるこ

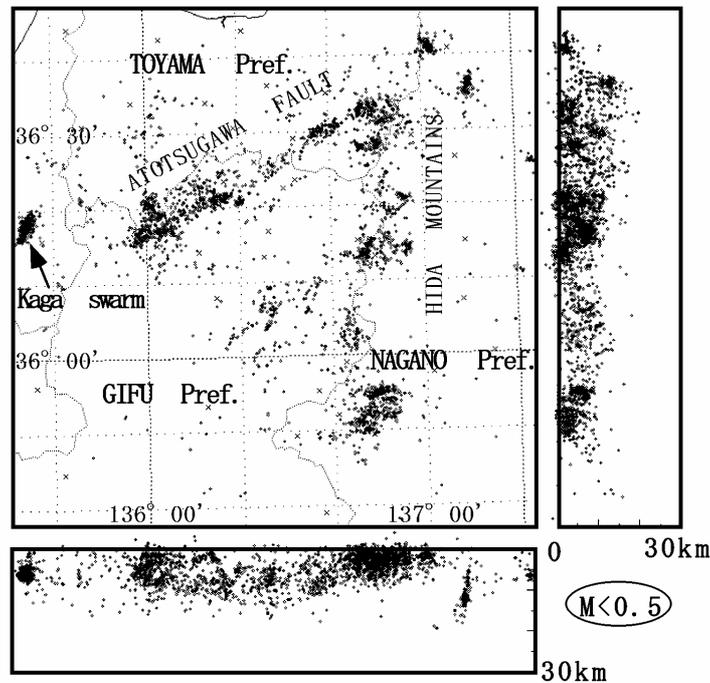


Fig.3 Hypocenter distribution of earthquakes of M less than 0.5, most of which are manually detected and processed from continuous records from Oct., 2001 – Jan., 2003.

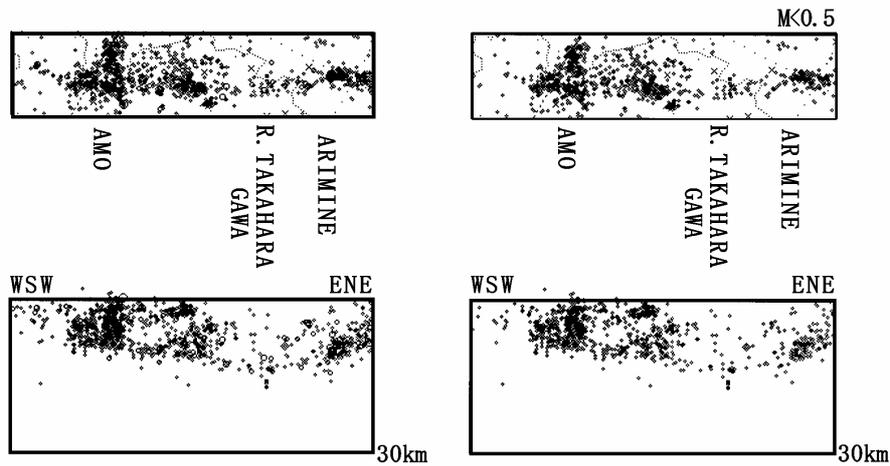


Fig.4 Epicenter and focal depth distributions of all earthquakes (left figures) and those for M less than 0.5 (right figures), along the Atotsugawa fault system from Oct., 2001 – Jan., 2003. Both cutoff of focal depths are nearly the same.

とになる。そこで、われわれは、このような小さな地震に目を向けて、特に跡津川断層、飛騨山脈を含む飛騨地域周辺を対象として、波形の手動切り出しを行い、通常のトリガーデータに加えて解析を行った。手動切り出しについては、平野（2001）および和田・他（2002）を参照していただきたい。Fig.2には、手動切り出しを始めた2001年10月から2003年1月までの手動切り出しによって処理した地震の日別頻度分布を示す。小規模な群発地震活動が発生すると、それに伴って手動切り出しされる地震も増えているが、期間中平均すると、一日約10個程であり、この地域で極微小地震が多数発生していることを示している。

### 3. 極微小地震活動

手動切り出しによって処理された地震のMは、概ね0.5以下であることから、飛騨地域周辺の範囲のM<0.5の地震の震源分布をFig.3に示す。図中右下の地震群は長野県西部地震の余震域であるが、この地域は従来から観測点が密であるため、小さな地震もトリガーされており、この地域の地震は手動切り出しによるものではない。特徴としては、跡津川断層に沿って線状の分布が見られ、飛騨山脈では何カ所かの塊状分布が見られる。また、和田・他（2002）によって指摘されている地震の線状配列、焼岳-久々野線に沿っても多数の地震の発生が見られる。さらに、2002年11月には、石川県加賀地方（図中左端の地震群）で多数の余震を伴う地震が発生した（最大地震はM=4.5）。その活動期間中にも多数の極微小地震が観測されている。次に各活動域ごとの詳しい

活動の様子を述べる。

#### 3. 1 跡津川断層沿いの地震活動

Fig.3に見られるように、跡津川断層に沿って短期間のうちに非常に多くの極微小地震が発生していることが明らかである。この活動は中央部の浅部において、これまでの指摘と同じように、極微小地震活動においても、活動が非常に低い（Fig.4）。また深さの全体的な傾向として、その下限が、中央部で15km程と深く、両端へ向かって浅くなる傾向がより一層明らかになった。次に跡津川断層沿いに発生する全ての地震について規模別頻度分布をFig.5に示す。頻度の最大はM、-0.5から0.0の範囲にあり、臨時稠密観測網の展開、Hi-netデータ流通によって検知能力が向上したことを示している。また検知能力が向上したことは、時間的推移のグラフ（Fig.6）からも明らかである。手動切り出しを始めた2001

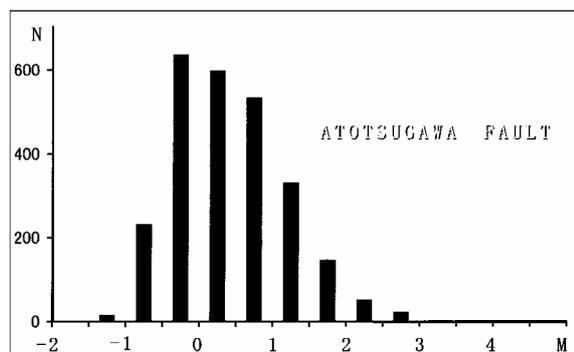


Fig.5 Magnitude frequency distribution of earthquakes along the Atotsugawa fault system shown in Fig.4.

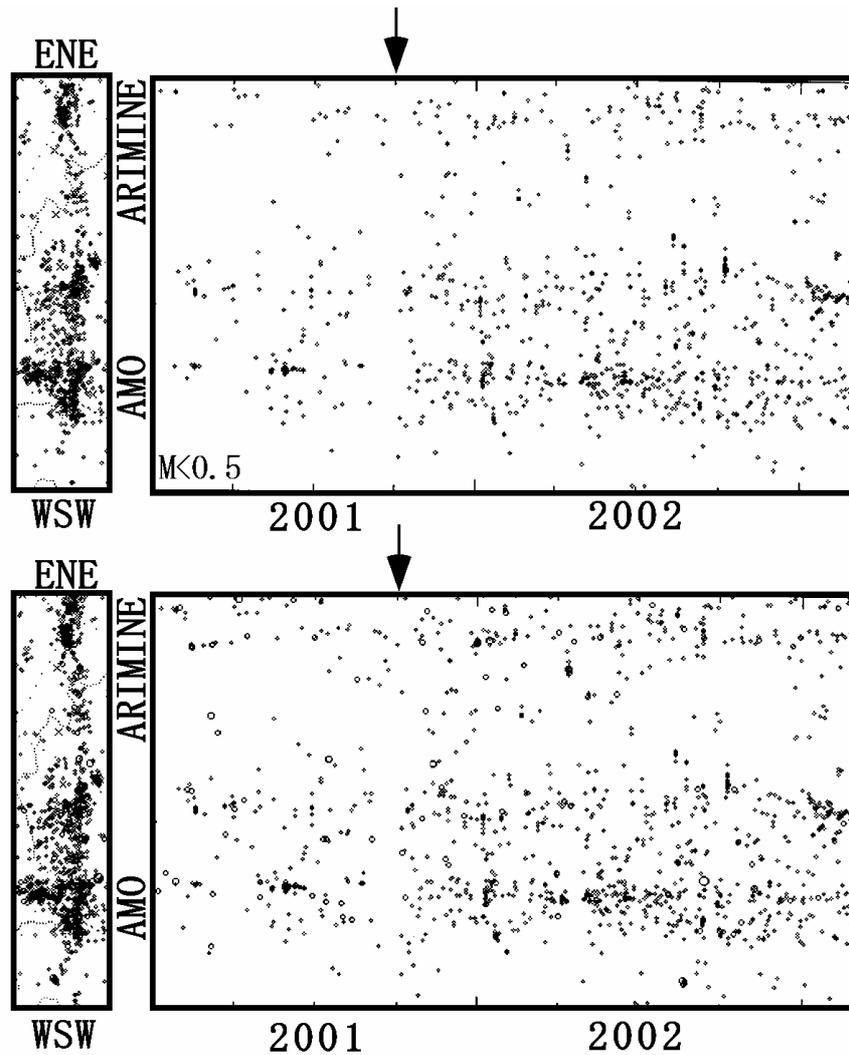


Fig.6 Epicenter and space-time distributions of earthquakes with M less than 0.5 (upper figures) and those of all earthquakes (lower figures) along the Atotsugawa fault system.

年 10 月 (矢印) 以降跡津川断層全域において活動の活発化が見られるが、このことは地震活動そのものの活発化よりも、“ochibo 拾い”によって検知能力が上がったことを示している。

### 3. 2 飛騨山脈の地震活動

飛騨山脈に発生する極微小地震活動は、Fig.3 に見られるように、北方から立山、烏帽子岳西方、槍ヶ岳付近、焼岳周辺及び乗鞍岳付近にて活発な様子が伺える。この地域は観測点分布 (Fig.1) から見ても明らかなように観測点の空白域であり、観測点は唯一焼岳付近にあるのみである。このことが微小地震の検知能力にも反映していると思われる。つまり Fig.3 から、飛騨山脈での一番活発な地域は焼岳付近であり、ここには前述のように、定常観測点焼岳 (名大) と蛭谷 (京大臨時) の 2 観測点があり、これらの観測点のモニター記録によって、小さな地震を見

つけ出し、手動切り出し処理を行っているので、多くの極微小地震が検出されているのである。逆に立山、烏帽子岳、槍ヶ岳、乗鞍岳の近くには観測点がないため、検知能力が落ちていると考えている。いずれにしても検知能力の差はあるにしても、上記、

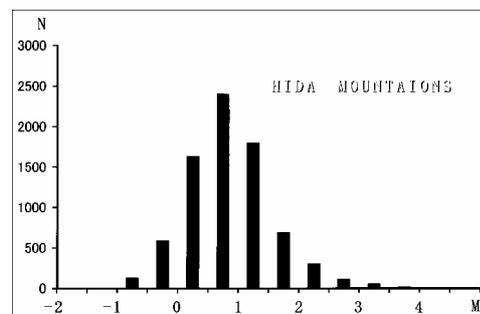


Fig.7 Magnitude frequency distribution of earthquakes in the Hida mountain range.

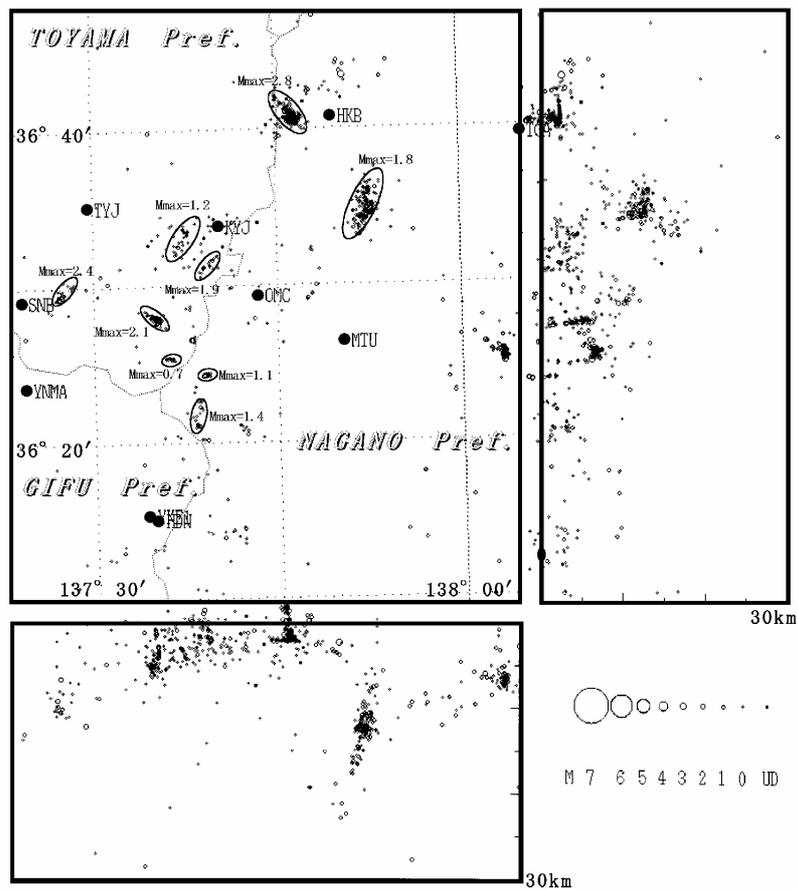


Fig.8 Small earthquake swarms detected from detection of ultra-microearthquakes in the northern Hida mountains from Nov. 2001-January 2002. Mmax shows maximum magnitude of each swrm activity.

飛騨山脈沿いの5カ所における極微小地震活動が活発であることは明らかである。

全ての地震についての規模別頻度分布を Fig.7 に示す。この地域は、跡津川断層付近と比べると、小さな地震の検知能力がまだ劣っており、M が 0.5 から 1.0 にピークが見られる。Fig.8 には、最近の飛騨山脈に発生した地震の分布を示す。囲ってあるのは微小群発地震（京都大学防災研究所，2002）で、手動切り出し処理によって、これまで検出されていた地震よりも多くの群発地震活動が見られることがわかった。これらの群発地震の最大の M は 2 程度である。これらの活動は定常的に継続するのではなく、活動に消長があるようである。このことは Fig.9 の時空間分布に表れている。

Fig.9 には時間的推移を示す。この図からも跡津川断層沿いの地震活動と同様に、手動切り出し処理を行った 2001 年 10 月頃から活動の状況に変化が見られ、手動切り出しによる検知能力の向上を示している。特に、焼岳付近においては 2002 年後半より多数の地震が集中して発生しており、活発化の様子を示しているのかもしれない。また、Fig.9 の時系列の下部の活動は長野県西部地震の余震域の活動である

が、 $M < 0.5$  の分布では、この地域は 2002 月 4 月頃から活動が低下している。マグニチュード頻度分布から見ると、検知率は十分ではないが、この変化の時期は、手動切り出しの時期とも異なることから、実際の地震活動に変化があったと考えられる。また、この活動低下と時を同じくして、焼岳付近の地震活動が活発化しているように見える。このことは、以前に指摘されたように、御岳付近と乗鞍岳付近の地震活動が相互に活発化したり、地震活動が山脈沿いに移動したり（三雲・他，1990；和田・他，1999）することに対応している可能性がある。上記は、M のスケールを小さくすることで、飛騨山脈において指摘されている地震活動の移動現象を詳細に調査できる可能性を示している。

深さ分布については、跡津川断層沿いの活動に比べて明らかに浅い傾向が見られ、特に観測点がある焼岳付近においてかなり浅く、烏帽子岳、乗鞍岳付近で多少深い傾向が見られる（Fig.10）。この傾向は観測点の分布に影響されている可能性が考えられるが、今後何らかの方法によって検討することを考えたい。

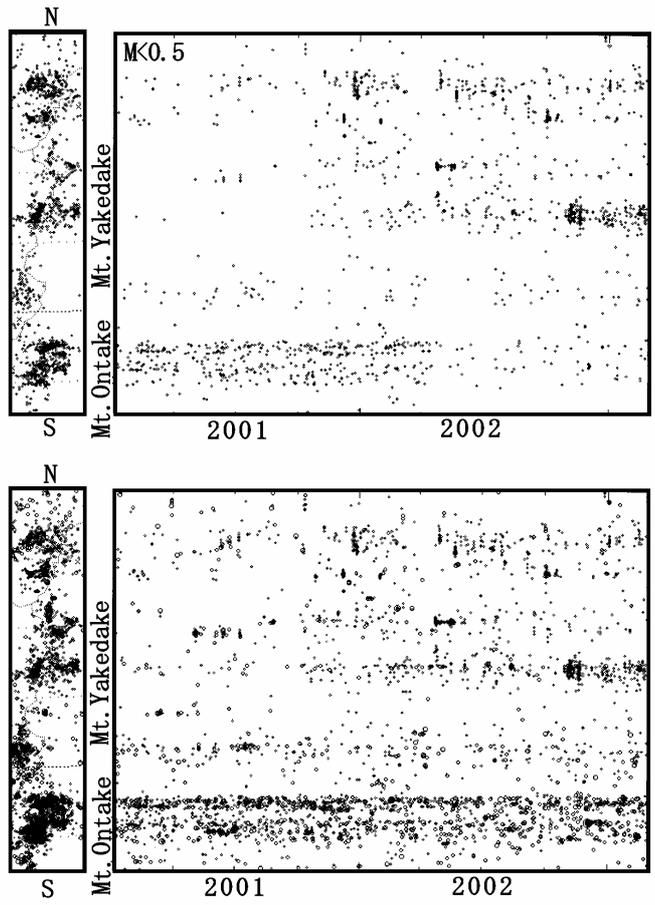


Fig.9 Epicenter and space-time distributions of earthquakes with M less than 0.5 (upper figures) and all earthquakes (lower figures) in the Hida mountain range.

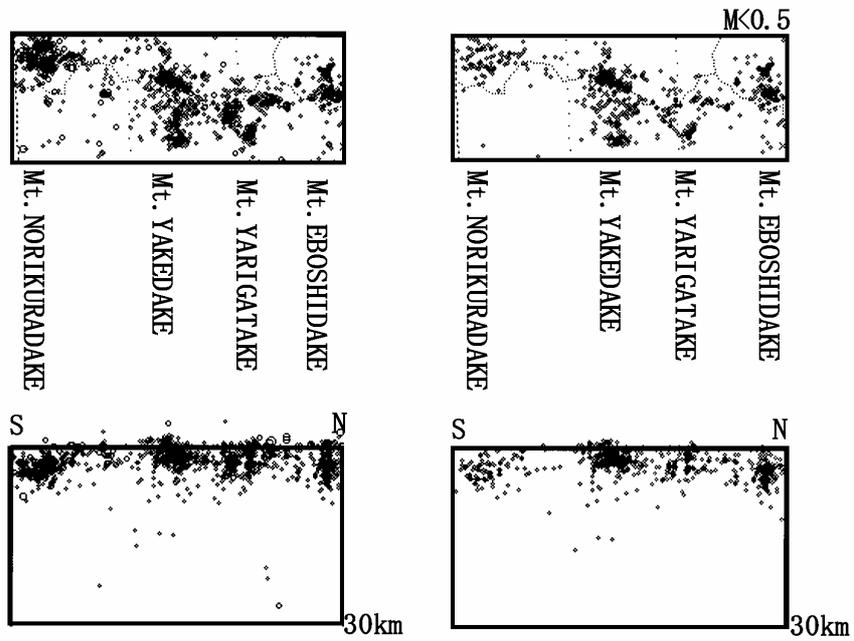


Fig.10 Epicenter and focal depth distributions of earthquakes of M less than 0.5 (upper figures) and all earthquakes (lower figures) in the Hida mountain range. Focal depths are projected in north-south section.

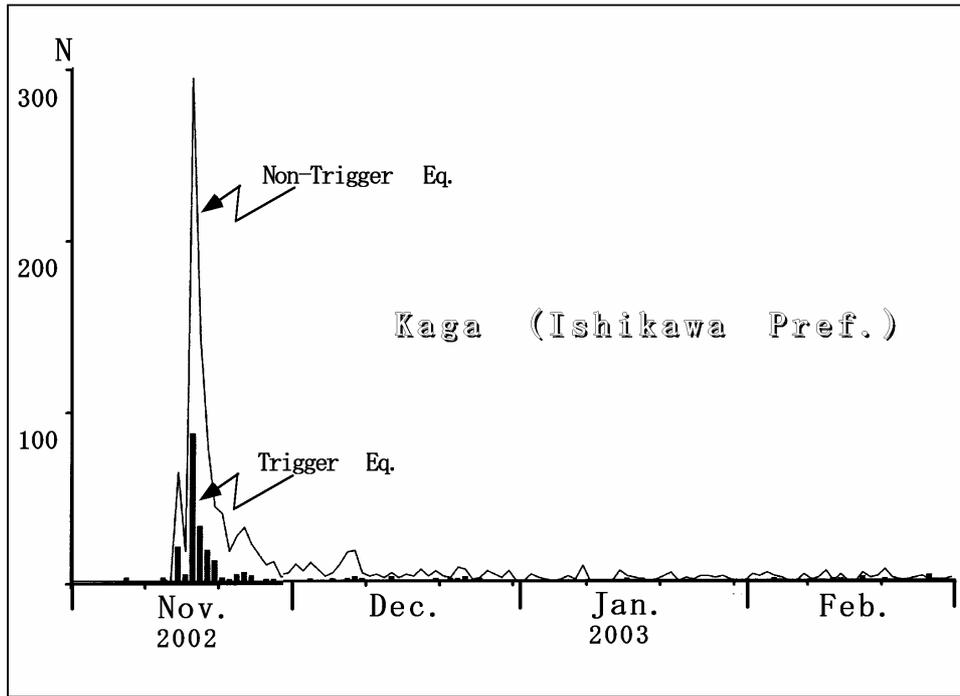


Fig.11 Numbers of earthquakes in the Kaga region, Ishikawa Prefecture. Automatically triggered events are shown by bars and manually triggered and processed data, by a solid line.

### 3. 3 石川県加賀地方の地震活動

2001年から2002年にかけては北陸地方(福井県, 石川県)において有感地震が多く発生する傾向が見られる(岡本・他, 2002)。その一環として2002年11月に, 石川県加賀地方においてM=4.5の地震が発生して, 多数の余震を伴った。この地域も飛騨山脈と同様に以前は観測点の空白域であったが, Hi-netデータの公開によって, 極近くに観測点(尾口OKCH)があったために, この観測点のモニター記録を手がかりとして手動切り出しを行うことができたようになった。その結果, Fig.11に示すように, 自動トリガーされる地震(棒グラフ)に比べて遙かに多くの手動切り出しの地震(折れ線グラフ)が検測されることとなった。この地域は観測点の配置の影響があるようにも考えられるが, これまで殆ど微小地震が観測されていなかった地域であった。Fig.12に今回の地震活動の震源分布を示す。震央分布に北北東-南南西の並びが見え, 深さ分布からは北北東側で浅く, 南南西側で深い傾向が見られる。このことは検測している観測点の組合せによるとも考えられ, 今後検討する必要がある。

### 3. 4 その他の地域の地震活動

和田・他(2002)によって指摘されている, 飛騨山脈の焼岳から高山市南方の久々野町にかけて延びる地域においても, 多数の極微小地震の発生が見ら

れる(Fig.3)。深さについては, 飛騨山脈に近づくにつれて浅くなる傾向が見られる(Fig.13)。このことは跡津川断層沿いの地震活動においても同じような傾向が見られ, 飛騨地域全体の温度状況を反映しているのではないかと考えられる。最近, 地震調査委員会によって, 高山・大原断層帯が活断層である

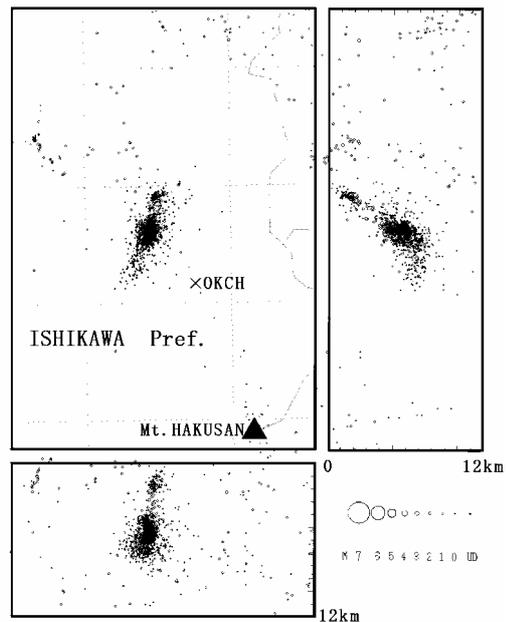


Fig.12 Hypocenter distribution of earthquakes in the Kaga region, Ishikawa Prefecture.

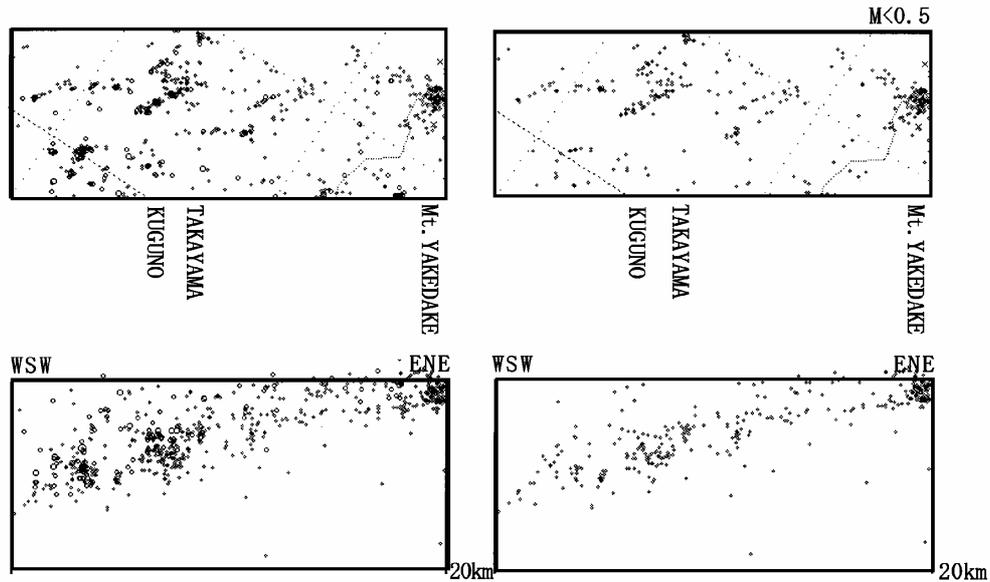


Fig.13 Epicenter and focal depth distributions of earthquakes of M less than 0.5 (right figures) and all earthquakes (left figures) along the northeast-southwest linear trend of events from Volcano Yake-dake to the town of Kuguno.

ことが報告されているが、この地震の線状配列は、この活断層群に対応していると考えられる。この活断層は地震発生の確率が高いといわれている場所に対応しており、地震活動の面からも詳細に調査する必要がある。

#### 4. メカニズム

この地域におけるメカニズム解は、小泉・他(1993)によって報告されているが、当時は観測点が少なかったことから、Mが3以上の地震でないと発震機構を求めることができなかった。その後衛星通信システムの導入によって多数の観測点データが受信できるようになって、和田・他(1999)は1998年の飛騨山脈群発地震について多数のメカニズム解を決定している。最近になってHi-netデータの流通によって更に観測点が増えて、小さな地震まで決められるようになると同時に、精度の良いメカニズム解が多く求められるようになった。Fig.14には、求められた主圧力軸の方向の分布を示す。この図より跡津川断層、飛騨山脈、焼岳-久々野線付近に発生する地震は西北西-東南東の主圧力が卓越しているように見えるが、跡津川断層の西端においては跡津川断層に直交するような方向が得られている。一方、メカニズム解 (Fig.15 上図:断層西部, 下図:断層東部) においても跡津川断層全体では横ずれ型が卓越しているが、この地域においては横ずれ型に混じって逆断層型が多く存在している。この地域では跡津川断層と、その北方をほぼ併走している牛首断層に近い

位置関係にあり、このことがこの地域の構造を複雑にし、メカニズム解に反映しているのではないかと考える。また、断層東部においても横ずれ型以外のメカニズム解が存在しており、この地域においても茂住一祐延断層の存在が影響しているのではないかとと思われる。

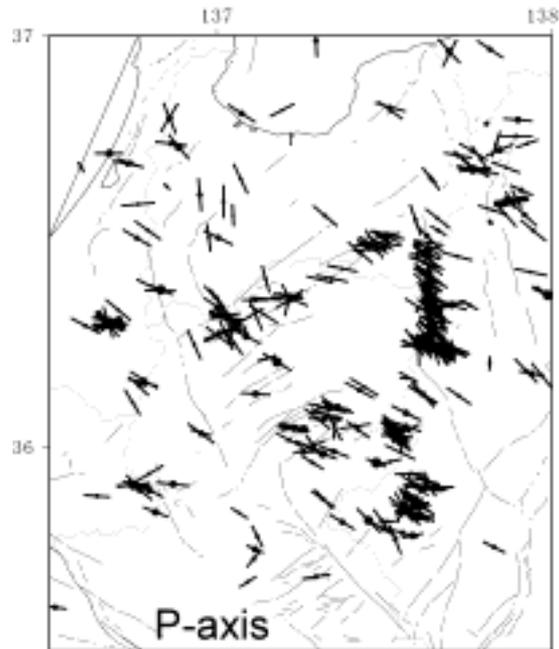


Fig.14 Distribution of horizontal components of P-axes of earthquakes in the Hida region. Focal mechanisms are determined from polarities of first motions as shown in Fig.15.

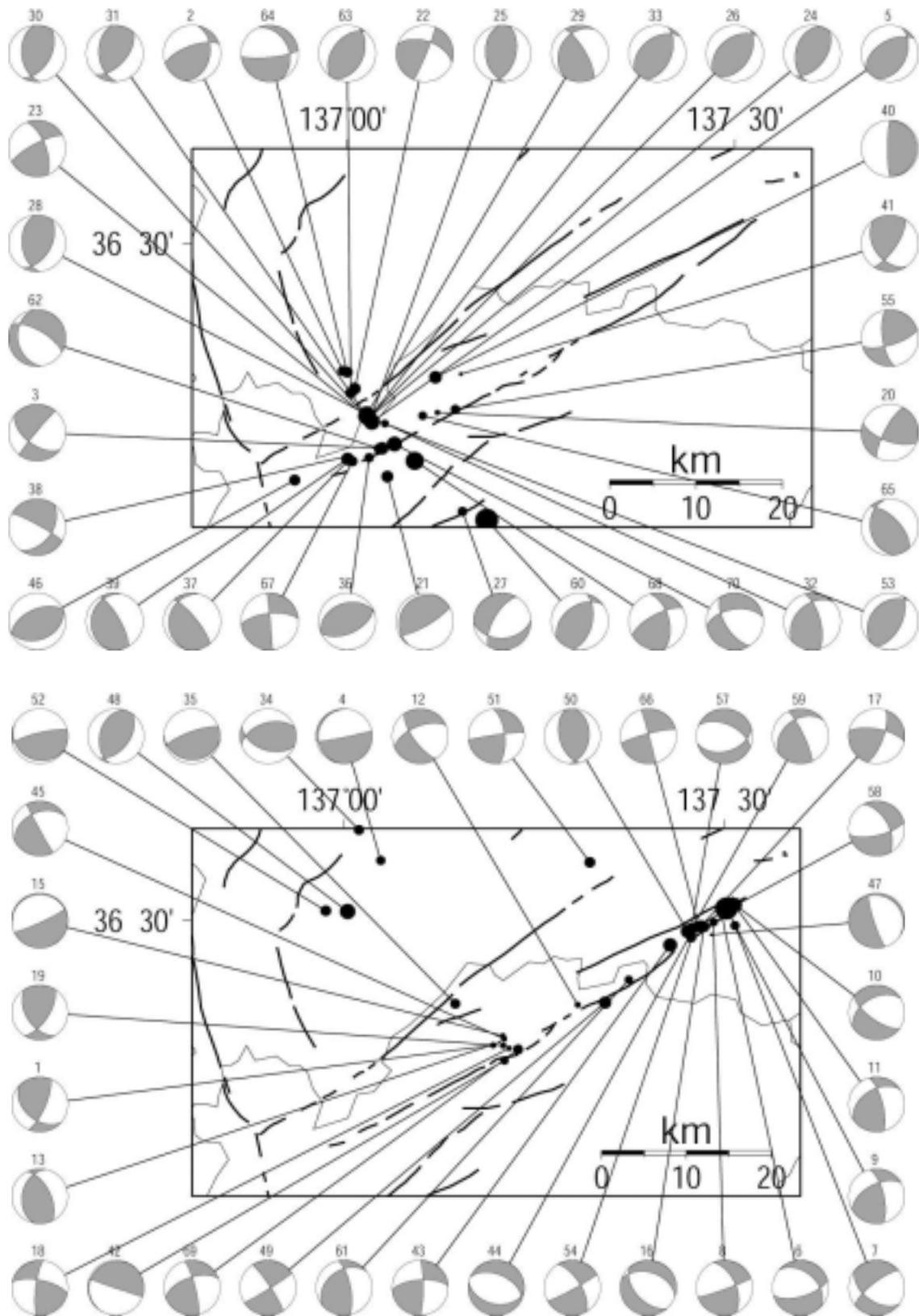


Fig.15 Focal mechanisms in the Atotsugawa fault area determined from P-wave first motions. Open and shaded quadrants show dilatation and compression, respectively. Dots show epicenters and thick lines, active faults. Thin line shows prefecture border.

## 5. まとめ

観測網が粗く、従来見落とされがちであった極微小地震が、Hi-netデータの公開及び手動切り出しによって日の目を見ることとなった。その結果、跡津川断層や飛騨山脈において、極微小地震が多数発生していることが明らかとなり、これまで長期にわたって得られた結果を支持することとなった。これまで大学が行ってきた験測は、データの公開によって今では気象庁によって業務として行われて、即座に公開されている。そこでわれわれは大学の観測所として、さらに研究を進めるための一つの方法として極微小地震の活動を調査した。広域観測網(Hi-net)のデータを利用することによって、極微小地震の調査が可能になり、より詳細に前震等の調査もできるようになると思われる。

### 謝 辞

本報告にはHi-netのデータを使用した。関係者に対して厚くお礼申し上げます。また、隣接する諸機関のデータも併せて使用させていただいた。重ねてお礼申し上げます。

### 参考文献

- 岡本拓夫・和田博夫・平野憲雄・竹内文朗・伊藤 潔・渡辺邦彦・西上欽也・前沢廣道(2002):北陸地方西方沿岸及びその周辺域における最近の地震活動について, 京都大学防災研究所年報, 第45号B, pp.595-600.
- 気象庁(2002):平成14年11月 地震・火山月報(防災編), p.7-8.
- 小泉 誠・伊藤 潔・和田博夫(1993):中部地方北西部における地震の発震機構, 京都大学防災研究所年報, 第36号B-1, pp.305-324.
- 京都大学防災研究所地震予知研究センター上宝観測所(2002):飛騨山脈北部の極微小地震活動, 地震予知連絡会会報, 第68巻, pp.374-379.
- 平野憲雄・和田博夫(2001):winシステムのトリガー漏れ地震の取り込みについて, 東京大学地震研究所技術研究報告, No.7, pp.111-113.
- 三雲 健・和田博夫・平原和朗(1990):飛騨山脈下の群発地震活動の移動現象とその1考察, 地震学会講演予稿集, No.2, p.115.
- 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・小泉 誠(2002):飛騨地域における地震活動の線状配列, 京都大学防災研究所年報, 第45号B, pp.555-559.

## Ultra-microearthquake Activity in the Hida Region, Central Japan

Hiroo WADA, Kiyoshi ITO, Shiro OHMI and Norio HIRANO

### Synopsis

Seismological network in the Hida region has been improved by use of the Hi-net and temporary station. We have been determined many hypocenters of ultra-microearthquakes with M less than 0.5 since Oct., 2001 at the Kamitakara Observatory, Kyoto University. We found many small earthquake swarms in the Hida Mountains from the results. In other areas the hypocenter distributions of the ultra-microearthquakes are nearly the same as those obtained for micro and small events from the long-time observations. However, space-time diagram of ultra-microearthquakes in the Hida mountains, shows a simultaneous increase of seismicity at the volcano Ontake and decrease in the north of the volcano Yakedake. This indicates migration of seismicity, similar to the phenomena sometimes occur for micro and small events in the Hida mountain range. Furthermore, we can determine focal mechanisms of micro and small earthquakes down to M1.5, which give detailed distributions of earthquake generating stress near the Atotsugawa fault system.

**Keyword:** ultra-microearthquake, Atotsugawa fault, Hida mountain range, manual trigger processing, focal mechanism of micro earthquake