

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

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・前澤廣道*

*福井工業高等専門学校

要旨

北陸地方西岸部、若狭湾付近は、地表面の活断層トレースや地形的に見ても、特徴的な地域であると理解できる。当地域は、京都大学防災研究所北陸観測所の観測網に近く、比較的均質に震源情報が得られている。また近年、福井地震（1948, M7.1）に代表される被害地震の発生も認められる地域である。本小論は、観測網で得られた情報を用いて、幾つかのエリアについて震源の再決定をし、地震活動の並びについて評価した。また、地表付近で得られている活断層のトレースとも比較を行った。再決定された地震群の中で、規模の大きいもののメカニズムを求め、並び、トレースとの比較も行った。結果、メカニズムと地震の並びは一致するものが多く、トレースとの一致はなかなか認められなかった。このことは、トレースが現在の地震の発生過程、原因となる応力場の反映を示しているとは限らないことを、示唆しているのかもしれない。

キーワード：地震活動，メカニズム，応力場

1. はじめに

2000年6月に石川県西方沖を震源とするM6.1の地震が発生した。日本海東縁部（能登半島以北）では、M7クラスの発生は知られていたが、この付近では珍しい地震である。余震活動も活発で、現在でも時々その発生が認められる。一方において、海底付近の活断層の様子や、過去の地震活動の様子は観測網からの距離を考慮して、検知能力や震源精度の不確かな地域であると考えられる。海の地域での浅部大地震の発生は、津波の発生も考慮しなければならず、その活動の特徴は早急に明らかにする必要がある。また、若狭湾付近は地形的特徴から見ても、地殻活動が盛んな地域と解釈され、地震活動の発生の特徴が以前から指摘されて

いる（例えば平野他，1994）。地震活動の詳細な並びを議論することは、地形学的特徴との関連を含めて議論でき、特に活断層とのトレースとの関係が明らかにできるものと考えられる。さらに敦賀付近は、近畿トライアングルの頂点をなし、活断層のトレースも敦賀より放射状に延びるケースがある。これらの特徴は、どのような状況によって形成され、またなにを反映しているのか明らかにする必要がある。震源の再決定は、地震活動の並びをより精度よく見るために、Hurukawa, N.・Imoto, M (1992)によるMJHDを用いて行った。メカニズムは、前田の方法を元にした片尾(1999)の方法を用いた。

2. 方法とデータ

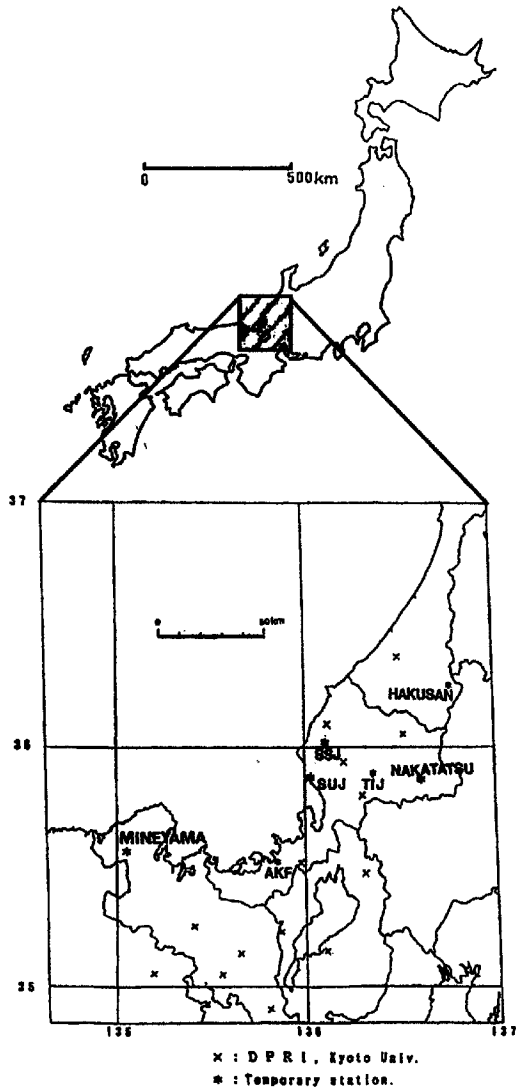


Fig1 Analyzed area with observation stations.

京都大学防災研究所上宝観測所、北陸観測所では、以前はルーチンとして、現在は研究用に観測データの処理を行っている。検知能力等は研究地域において時間的な変化は少なく、その活動の変化を議論するのに充分耐えうると考えられる。また、読みとり値は解析システムの変化はあったが保存されており、震源の再決定が可能である。実際には、解析地域によって使用した観測網のデータセットが異なっている。再決定に用いた MJHD は、隣接地震の震源情報を利用するので、大きなエリアの再決定ではなく、ターゲット（例えば群発地震等）を絞った地震群についての詳細分布を得意とする。すなわち、地震活動の並びから断層面を推定するのに適していると考えられる。本小論では解析域を4域設定し、地震の並び検討を行った。石川県西方沖は、上宝観測所のデータセッ

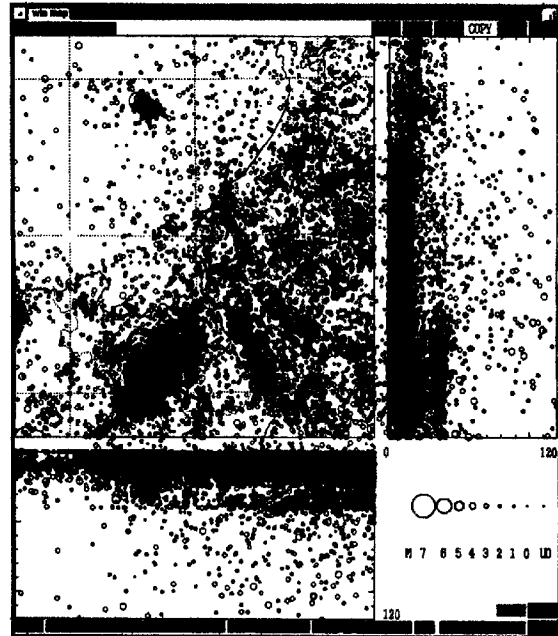


Fig.2 Recent Seismicity around the Hokuriku district by Hokuriku Observatory (96.1020-01.1021).

ト、他は北陸観測所のデータセットを用いた。どの地域の解析期間も Win-system（例えば卜部・東田，1992）に変更されてからなので、Win-format を MJHD の format に変更して行った。用いた構造は、竹内・平野（1985）によるものである。メカニズムについては、片尾（1999）による Satarn-system（例えば大見他，1999）に対応したものを利用し、下半球等積投影（1イベントだけ上半球投影）で示した。

3. 北陸観測所による最近の地震活動

解析地域を Fig.1 に、北陸観測所による最近の地震活動を Fig.2 に示す。特徴として、幾つかの群発活動が認められ、また線状に並んだ活動も認められる。ただ観測網の周辺域に目を向けると、並びがぼやけて見えることが分かる。石川県西方沖はこの領域に発生した地震で、通常処理（Win-system）ではどうしても固まった（ぼやけた）分布としか認められない。また、観測網の内部でも活断層のトレースの多い地域では、比較の議論に耐えられなくなっている。また、若狭湾付近を限定して地震活動の時間変化を見てみると（Fig.3）、明らかに2000年の5月辺りから活動の活発さを認めることができる。この活発化は、付近で観測されている地電位差の長期変動とも対応し（例えば岡本他，2001）、付近の応力状態に何

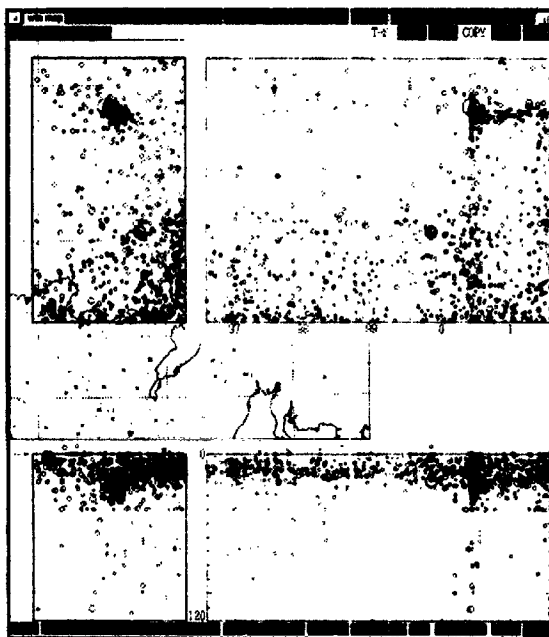


Fig.3 Time-Space map at Wakasa Bay (96.0804-01.08.04).

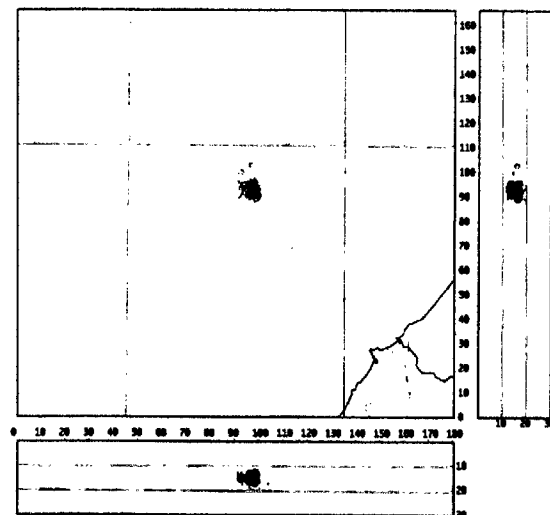
らかの変化が類推されるのである。

4. 震源の再決定

4.1 石川県西方沖の活動

2000年6月7日にM6.1の地震が加賀市沖に発生し、小松市で震度5弱を記録した。余震もかなりの数が発生し、現在でも時々認められる(例えば、Fig.2)。余震の発生を通常処理でみてもほぼ円形の固まりしか把握できない。海底の活断層のトレースや、地形と比較など殆どできなく、発生の特徴を明らかにするには至らない状況である。そこで、この地震群にMJHDの手法を適用し、面状並びが認められないか解析を行った。同時に本震のメカニズムを調べ、比較検討した。Fig.4に再決定の結果と活断層のトレースを同時に示す。再決定には、発生後5日間で観測網の10点以上で明瞭な読みとりができたイベントという制限を加え、P波の到着時刻のみを利用した。結果、72個の本震及び余震の再決定ができた。結果を見ると、東下がりの面のように見える面が認められ、メカニズム(Fig.5の上の図)の節面の一方に一致し、東下がりの逆断層タイプの本震であったことが推定できる。また、1年後に発生した余震のメカニズムをFig.5の下に示す。なお、

Relocated by MJHD Method more than 10 stations



MAGNITUDE	START TIME= 000607 0615	Total = 72	Param.F= qspring.com
	END TIME= 000612 0523		
○ 3.0	X1= -125.24 (134.50000)	Y1= 0.00 (36.00000)	dist= 36.000
○ 2.0	X2= 45.00 (136.50000)	Y2= 0.00 (36.00000)	along 136.000
○ 1.0	X3= -125.24 (134.47500)	Y3= 106.43 (37.00000)	
	Y4= 45.00 (136.50000)	Y4= 106.43 (37.00000)	
	Zmin= 0.00km	Zmax= 30.00km	
	Minc= 0.00	Maxc= 0.00	

Fig.4 Relocated Hypocenters by MJHD at off-shore Ishikawa prefecture.

このメカニズムだけ上半球投影である。メカニズムをみると、横ずれ断層の性質が卓越し、場の不安定さうかがい知ることができる。

4.2 敦賀付近の活動

2000年6月5日にM4.7の地震が発生し、敦賀、武生で震度3を記録した。本震、余震の活動を通常処理で見ると、やや直線的な配列が認められる。この地震群は、観測網内部で発生し、通常処理でもかなりの精度が期待されるが、MJHDを適用することによって、MJHDの特性評価もできると考え、再決定を行った。再決定の条件としては、後1年間で5点以上で明瞭なP波の読みとりが得られ、0~30kmの深さに分布するものを行った。結果をFig.6に示す。図よりさらにシャープなほぼ東西の面が得られていることが分かり、メカニズム(Fig.6)の東西節面とも完全に一致する。ただ、地表面では対応する活断層のトレースや、特徴的な地形はなにもない。

4.3 越前岬付近の活動

三国(東尋坊)~丹後半島に向けて地震の並びが認められる(Fig.2)ので、その付近を切り出しMJHDを適用した。再決定された地震は、最近の

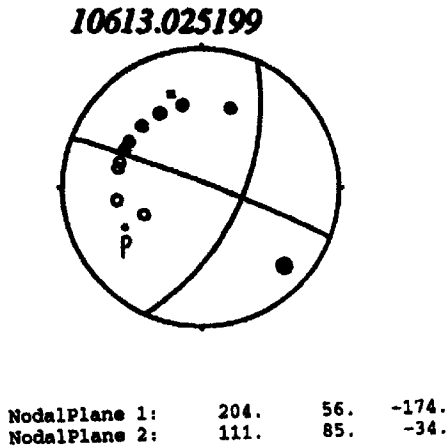
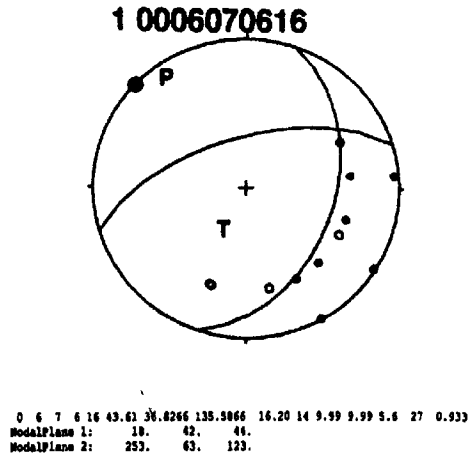


Fig.5 Mechanism of off-shore Ishikawa prefecture earthquake.

約4年間で5点以上で明瞭なP波の読みとりが得られ、深さが0~30kmに分布するものである。結果(Fig.7)を見てみると、三国から延びていた地震活動の帯(北東-南西方向)は、北西-南東に短冊状に分布する地震群の並びであることが分かる。解析地震の中で最大のイベントのメカニズムをFig.7に示す。メカニズムの一節面はまさに短冊の方向と一致し、短冊状構造の存在を指示する。しかし、海底の断層トレースには一致するものが付近にはない。活断層のトレースや地形と合わないのは、敦賀の活動と同じである。

4.4 加賀沖の活動

福井地震(1948, M7.1)の余震活動と思われる活動で北に延びる活動について、従来指摘されてきた海に向かって深くなる(例えば平野, 1997)

Relocated Hypocenters by MJHD for 06/05,2000
(more than 5 stations)

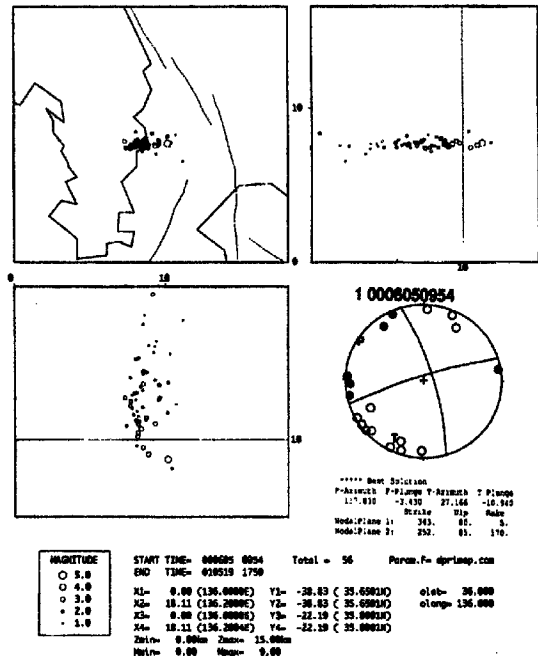


Fig.6 Relocated Hypocenter by MJHD of Tsuruga.

傾向について、よりシャープな形状を見るため、MJHDを適応した。再決定された地震は、最近の約4年間で6点以上に明瞭なP波の読みとり値が得られ、深さ0~30kmに分布するものである。結果(Fig.8)を見ると、鉛直に延びる地震群が、順に北へ向かって深くなりながら、延びて行っている様子を認めることができる。なぜ深くなるのかは、この解析からは分からない。期間中最大のイベントのメカニズムを求めた(Fig.8)。活断層のトレース、メカニズム、地震群の並びについてハッキリした対応は、地震の数や分布のまばらさから分らなかった。

5. 議論

北陸西岸特に福井県周辺は、地形学的にも地震活動の面においても特徴的な地域であり、地震発生を予測する上で、活断層トレースと地震活動の関係、また、応力場との関連を明らかにする必要がある。特に敦賀湾周辺は、活断層のトレースが多く、地震の発生予測をふまえた議論が必要である。通常処理結果の図からも、有力な活断層に沿う帯状の地震活動が認められるが、その詳細は

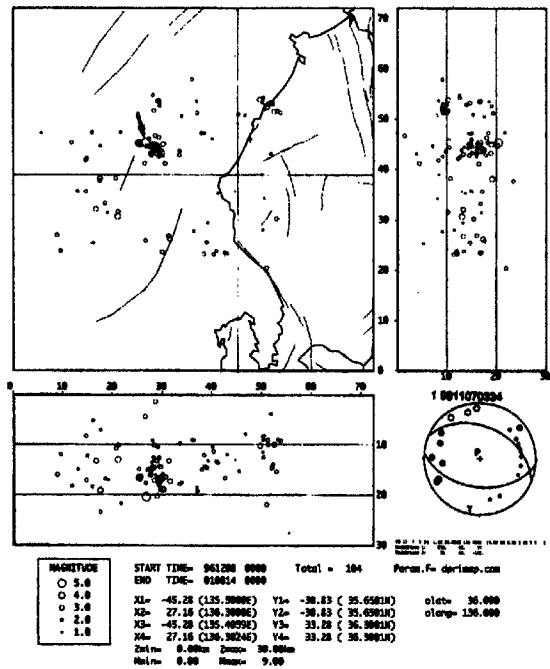


Fig.7 Relocated Hypocenters by MJHD of off Echizen horn.

不明である。今回再決定した地震群は、これらの不明点をケーススタディーとして明らかにできる可能性がある。再決定した4領域で、どれも地震の並びとメカニズムの一節面の走向との一致は認められた。しかし、活断層のトレースや地形との一致は、明瞭にはなく、また、認められないとの結論も出しにくい。特に敦賀付近の活動は、地形、有力活断層を全く無視したような並びで認められる。メカニズムについては敦賀湾付近では、張力軸の一致が認められ、応力場としては共通なものがあることを示唆している。また、海底の断層のトレースとも地震の短冊状の並びは合わない。しかし、短冊群の並びは海底地形に合っているようにも見える。伊藤・渡辺 (1977), 大倉 (1988), 平野 (1997) によれば、当付近の地震のメカニズムは複雑で、 $\sigma_1, 2, 3$ が方向が不安定である。つまり、現在の応力場と活断層のトレースが必ずしも一致する必要はない、すなわち、トレースが現在の応力場の反映でない可能性がある」と推察できる。応力場の不安定な領域で Fig.2 にも示したが、地震活動の活発化が認められた。このことは、新たに付近の応力を高めるようなイベントが、北陸近郊の地域で発生しているのを示しているのかもしれない。

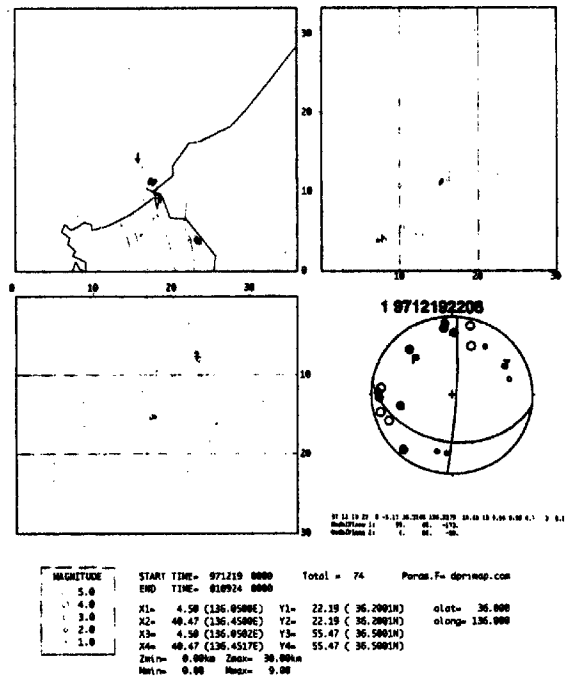


Fig.8 Relocated Hypocenters by MJHD of off Kaga area.

6. 結論

若狭湾付近では 2000 年の 5 月付近より地震活動の活発化が認められ、また、電磁気現象 (地電位差のトレンド変化) との一致が認められた。それらの活発化した地震群について領域を決め、震源の再決定を行った。その結果、石川県西方沖地震の本震節面が東落ちである可能性が指摘できた。また、敦賀湾周辺ではメカニズムと一致する地震群の並びが、地表面の活断層のトレースあまり一致せず、トレースが現在の応力場を反映していない可能性を指摘できた。が、まだサンプル数 (解析地域) も少なく、さらに解析を進めていく予定である。

謝辞

解析を進めるにあたり、独立行政法人建築研究所古川信雄博士、独立行政法人防災科学技術研究所井元政二郎博士には、MJHD についてのご教授頂きました。片尾浩助教授、関東学院大学前田直樹助教授には、メカニズムの決定についてお世話になりました。記して感謝致します。作図は、Win と HyperDPR1 を用いました。

参考文献

- 平野憲雄・西上欽也・竹内文朗・渡辺邦彦・安藤雅孝 (1994) : 北陸地方の地震活動の時間変化, 京都大学防災研究所年報, 第 37 号, B-1, 343-364.
- 平野憲雄 (1997) : 京都大学博士論文.
- Hurukawa, N・Imoto, M (1992) : Subducting oceanic crusts of the Philippine Sea and Pacific plates and weak-zone normal compression in the Kanto district Japan, *Geophys. J. Int.*, 109, 639-652.
- 伊藤潔・渡辺邦彦 (1977) : 琵琶湖周辺における極浅発地震の発震機構, *地震*, 2, Vol.30, 43-54.
- 片尾浩 (1999) : P 波初動による発震機構決定精度の地域分布, 京都大学防災研究所共同研究 8P-2, 「西南日本における地震活動の定量的評価の研究」論文集, 86-92.
- 大倉敬宏 (1988) : 山陰, 近畿, 北陸に発生する浅発地震の発震機構, *地震*, 2, Vol.41, 89-96.
- 大見士朗・渡辺邦彦・平野憲雄・中川渥・竹内文朗・片尾浩・竹内晴子・浅田照行・小泉 誠・伊藤潔・和田博夫・澁谷拓郎・中尾節郎・松村一男・許斐直・近藤和男・渡辺晃 (1999) : 微小地震観測網 SATARN システムの現状と概要, 京都大学防災研究所年報, 第 42 号, B-1, 45-60.
- 岡本拓夫・和田博夫・平野憲雄・竹内文朗・伊藤潔・渡辺邦彦・前澤廣道 (2001) : 若狭湾付近における最近の地震活動, 秋期地震学会講演予稿集, P012.
- 竹内文朗・平野憲雄 (1985) : 北陸微小地震観測所の震源マップについて, 京都大学防災研究所年報, 第 28 号, B-1, 157-170.
- ト部卓・東田進也 (1992) : win ー微小地震観測波形験測支援のためのワークステーション・プログラム (強化版), 地震学会講演予稿集, no.2, P24.

Recent Seismicity in and around the western-coastal line at Hokuriku district

Takuo OKAMOTO*, Hiroo WADA, Norio HIRANO, Fumiaki TAKEUCHI, Kiyoshi ITO, Kunihiro WATANABE, Kin'ya NISHIGAMI, Hiromichi MAEZAWA*

* : Fukui National College of Technology

Synopsis

In and around the Wakasa bay area and western-coastal line at Hokuriku district, we recognize the characteristic lineament of active fault and land view. This area closes to the observation network of Hokuriku Observatory, DPRI, Kyoto-U. We have damaged by some big earthquakes (for example, Fukui Zsin, 1948, M7.1) and recorded the almost same accuracy of hypocenters for several years. In this paper, we relocated the earthquake swarms in 4 zone in Hokuriku district. In our results, the relocated earthquake did not coincide with the trace of active fault in the grand surface. This means that the trace of active fault in this area should not express the recent stress field.

Keywords : seismicity, mechanism, stress field