

北陸観測所30年間の地震観測

竹内文朗・澁谷拓郎・平野憲雄・和田博夫・渡辺邦彦・

松村一男・西上欽也・大谷文夫・岡本拓夫*

*福井工業高等専門学校

要 旨

北陸観測所は1974年9月に北陸微小地震観測所として福井県鯖江市に設置された。ここでは、微小地震、地殻変動などを中心に数多い観測が続けられている。福井、石川、滋賀の3県に7つの観測室を置き、微小地震の観測データを本所に送信している。これらは時代とともに、より多くが宇治へ送信され、まとめて処理されるようになって来ている。本所のそばの坑道では、2005年10月3日より、伸縮計をセットし、地殻変動を測定する1拠点として利用している。本稿では、30年余の地震震源データの作成と、その特徴を示しておきたい。

キーワード: 北陸観測所, 微小地震観測, 地下構造, 時空間変化, 伸縮計福井

1. はじめに

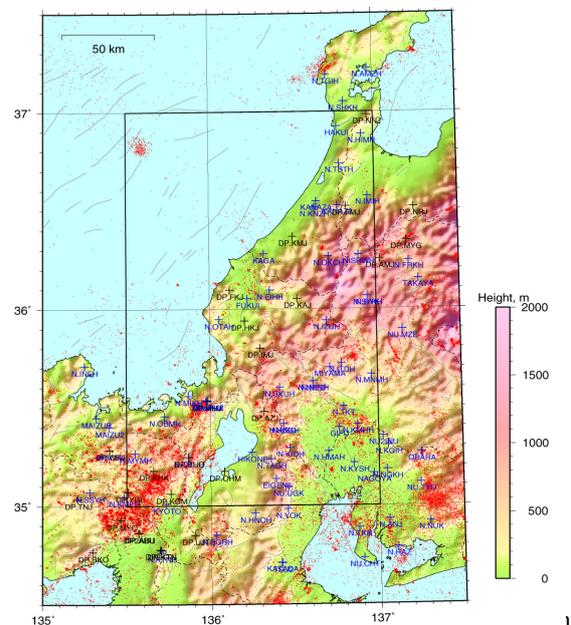
北陸微小地震観測所は1970年に開始した。観測所は福井県鯖江市の中心街から2km程度東で、三里山の西麓に設置された。1974年に観測所本所が設立され、3県に既設の地震観測点で、微小地震観測を始めた。

各観測点には、1Hz、3成分の地震計を人口ノイズの少ない山中に置いた。地震計からは数百m長の電線が各民家に繋がれ住民にドラム記録を依頼した。

やがて、1976年5月からは、テレメータ方式での観測に代わり、データはオンラインで観測所本所に直接送信され、地震分布が詳しく調べられた。(渡辺ら, 1978; 竹内・平野, 1979; 竹内, 1983; 竹内・平野, 1985)。観測点の位置は現在まで大きな変化は無いが、テレメータ方式やその記録方法は時代とともに進歩している。特に1990年代には、次々に観測点がデジタル化され、2005年からは更に大幅に高ダイナミックレンジの観測に置き換えられている。

元々微小地震は大学が主として観測して来たが、1997年10月から気象庁一元化が開始され、大学のデータは気象庁にも送信され、合わせて密な観測点配置での処理が進むようになった。これに並行して得られる地震数は以前の数倍にも膨らんだ。本文では得られた地震の概要を示す。

2. データ



there names, and the studied area is encircled by a rectangular (35 - 37 deg. in latitude, 135.5 - 137 deg. in longitude). The total number of the observation points is 96. Red points show the earthquakes occurred from Jan. 2000 to Apr. 2007.

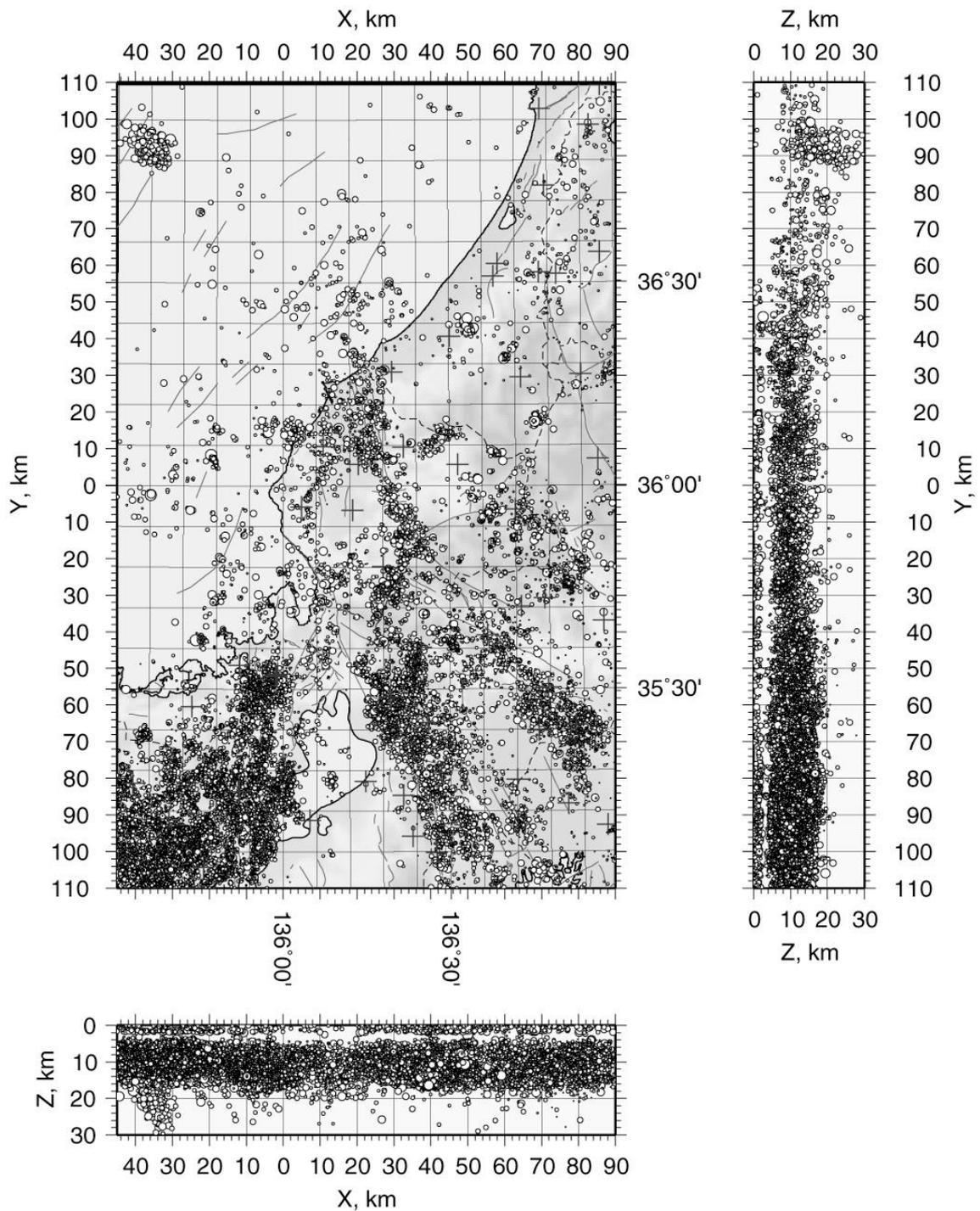


Fig.2 3-D map showing all the earthquakes occurred from Jan. 1, 1976 to Apr. 20, 2007. The plotted region is 35-37 latitude and 135.5-137 longitude, with depth 0-30 km. Total number of the earthquakes is 41,747. The + marks show the observation points including those belonging to the Universities, the Japan Meteorological Agency (JMA), and the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED). Map shows the earthquake groups, for example, around the Fukui earthquake fault, around the Yanagase fault. The X-Z and Y-Z direction maps tell that the earthquake depth almost distributes 3-18 km. The earthquake in the thin depth (0-2 km) may possibly be with error.

観測は、当初は大学の各観測所単位で行なわれ、各々で震源決定がなされていたが、ここではそれらをマージした。即ち、1976年1月～1997年9月は、北陸観測所、阿武山観測所の観測点と気象庁観測点のものであるが、1997年10月以後、2007年4月末現在までは、気象庁一元化データを用い、合わせて約32年間、計 96 点の読取値が利用できた。このうち $M > 2.2$ で、且つ、P波、S波がいずれも15点以上で得られており、しかもルーチンでの震源が北緯 $34.7^\circ \sim 37.3^\circ$ 、東経 $135.2^\circ \sim 137.3^\circ$ に決まっている地震1870個を用いて station correction 値を求めた。この結果を利用して、78,167個の地震の震源を再決定した。これらの観測点の分布をFig.1に示す。京大の観測点合計は26点、名古屋大学は5点、気象庁は20点、防災科学研究所は45点の計96点である。なお、震源決定はJHD(Kisslinger et al, 1994)によった。

Fig.2にこれら全期間の震源をプロットした。緯度の範囲は2度(約220km)、経度は1.5度(約135km)で深さは0～30kmである。総数41,747個で、これは震源決定結果のうち、 $0\text{km} \leq \text{Dep} < 30\text{km}$ 、X,Y,Z方向の誤差が各2km以内、resolutionは、X,Y方向には0.5以上、Z方向には甘く0.3以上として求めたものである。以下おおよそは、この結果を利用した。

3. 結果

震源決定時に求めた地下構造を Fig.3 に示す。深さ0～2kmでは、P波速度が3km/sより更に遅くなるため、計算時約3km/sで固定した。Fig.3では、P波速度、S波速度、及びその比を記した。各々には2001年の気象庁モデルを点線で描き加え、相当よく一致していると考えている。

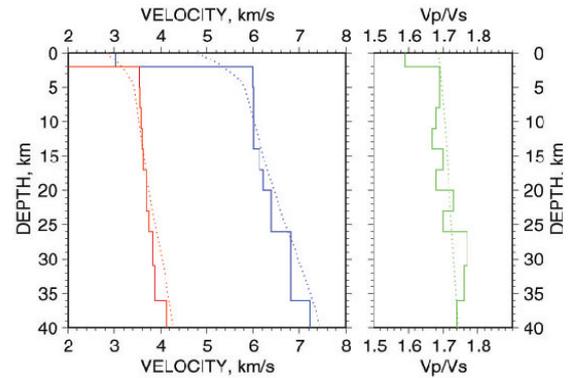


Fig.3 Velocity structure model revised by the JHD calculation. We used 14-layer model. Red responds S wave, blue P wave, and green shows the V_p/V_s ratio. They seem to be similar to the JMA 2001 data (dotted).

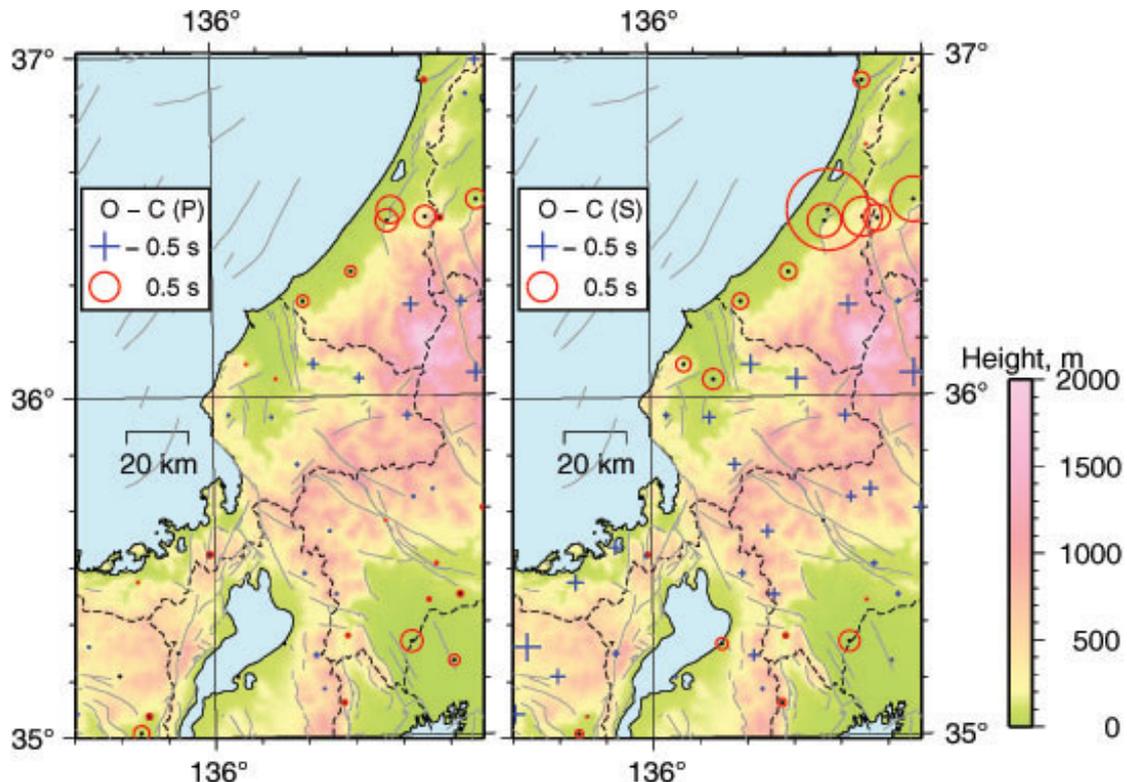


Fig.4 Map showing station correction values. Left is for P waves, and Right for S waves. + represents for low velocity, and - for high velocity. Almost all the values for P wave are less than 0.1 second, and those for S wave less than 0.3 second, although both waves show low velocities in the upper parts of each map. High velocity seems to be somewhat corresponded with the height.

次にFig.4 に、station correction の決定値を示す。図の左側はP波の結果で、右はS波である。いずれも赤が速度が平均値よりも遅い事を示し、+は速い事を表わす。ほとんどの点のP波は0.1秒程度の値を示し、S波も0.2~0.3秒程度に収まっている。図の上方、石川県あたりでは異常に大きい遅れが見られるが、観測期間は一時期と思われるので触れないことにする。

次にこの間の地震の示すb値を調べた (Fig.5)。ここでも他と同様、1976年頭より近日までの地震を選び、震源精度はやや落ちるものまで含めた。採用した地震は、Mag. 0.1~6.2 であるが、b値が安定するのはおおよそ $2 < \text{Mag.} < 4.5$ 程度と考えられ、その値はほぼ1.0程度である。平野ら(1994)は、主要な断層近傍4箇所の内3箇所で1.1を得ており、この違いが時間によるものか場所によるものか調べたい。

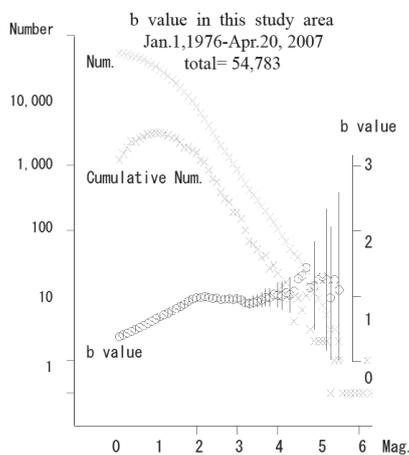


Fig.5 b-value for the total earthquakes. The b value seems to be flat for the magnitude 2 to 4.5, and the average is about 1.0.

次に、5年間ごとの地震の分布をFig. 6-1~Fig. 6-6 に示した。これらは、5年間ずつの地震分布で、Fig. 6-6 のみは2001年から2007年4月20日までの6年強である。Fig. 6-4 は1991~1995 で1995年の兵庫県南部地震を含むが、地震数はそれ程変わらない。むしろ福井地震断層に起こる地震がバラついた印象がある。Fig. 6-5 以後は気象庁一元化データが主に使用され観測点数が増えたため、決定地震数が上がった。図の地震数はFig. 6-1からFig. 6-6 まで順に、3739, 3585, 4319, 5077, 8488, 17298 と増加するが、観測点数に寄ると考えられ、概要記述に留まる。Fig. 6-5 には日本海に発生した石川県西方沖地震 (M=6.2, JMA) である。この余震らしき動きは2007年5月現在も時々発生している。

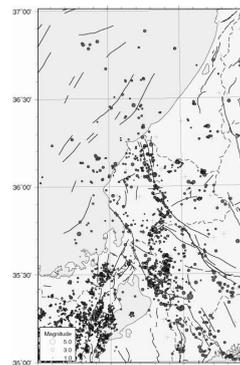


Fig.6-1 1976-1980

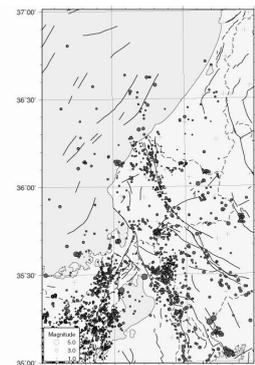


Fig.6-2 1981-1985

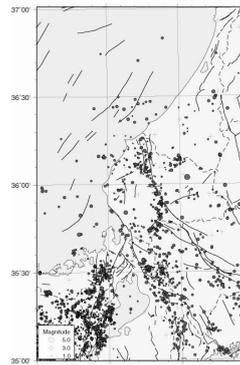


Fig.6-3 1986-1990

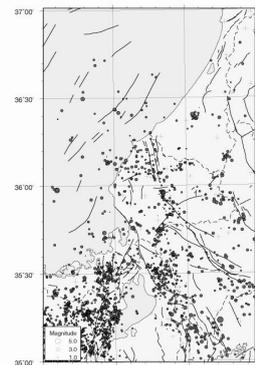


Fig.6-4 1991-1995

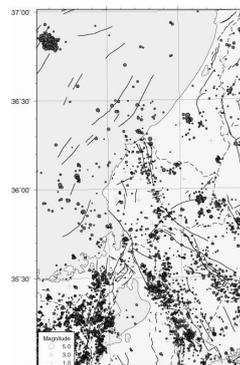


Fig.6-5 1996-2000

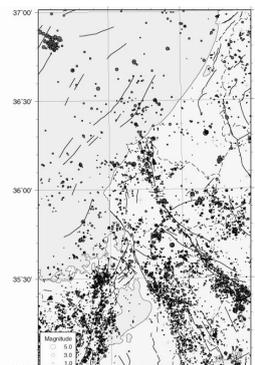


Fig.6-6 2001-2007

Fig.6 Epicentral maps for each 5 years. Only the Fig.6-6 includes 6-year and 4-month.

以前から示されているように、柳ヶ瀬断層、福井地震断層、根尾谷断層系、などに多数の地震が発生している。(渡辺ら、1978) また、福井県内には最近多発系繁に発生しており、岡本ら(2004)、岡本ら(2006)にも記されている。

次に福井地震断層とその近傍の地震の並びをFig.7 に示した。各々の位置は平面図と矢印で繋いで示した。3-D 図は、各々で縮尺が大きく異なるため、地図に面積を示しておいた。福井地震 (M7.1, JMA) の発生域を中心に、北側に連続する日本海内と、

南東側の連続する根尾谷断層へ続く範囲を描いた。これより南西には Near IMJ station で示した地震の塊があり、最近 M4 クラスの地震が多発する。地震の発生は1976年のテレメータ開始時から常に多い。

このラインは屈曲し南東へは柳ヶ瀬断層（西上・平野, 1988）に繋がる。いずれも時間、空間的に詳しく調べたい。

EQs. 1976-2007 Apr.

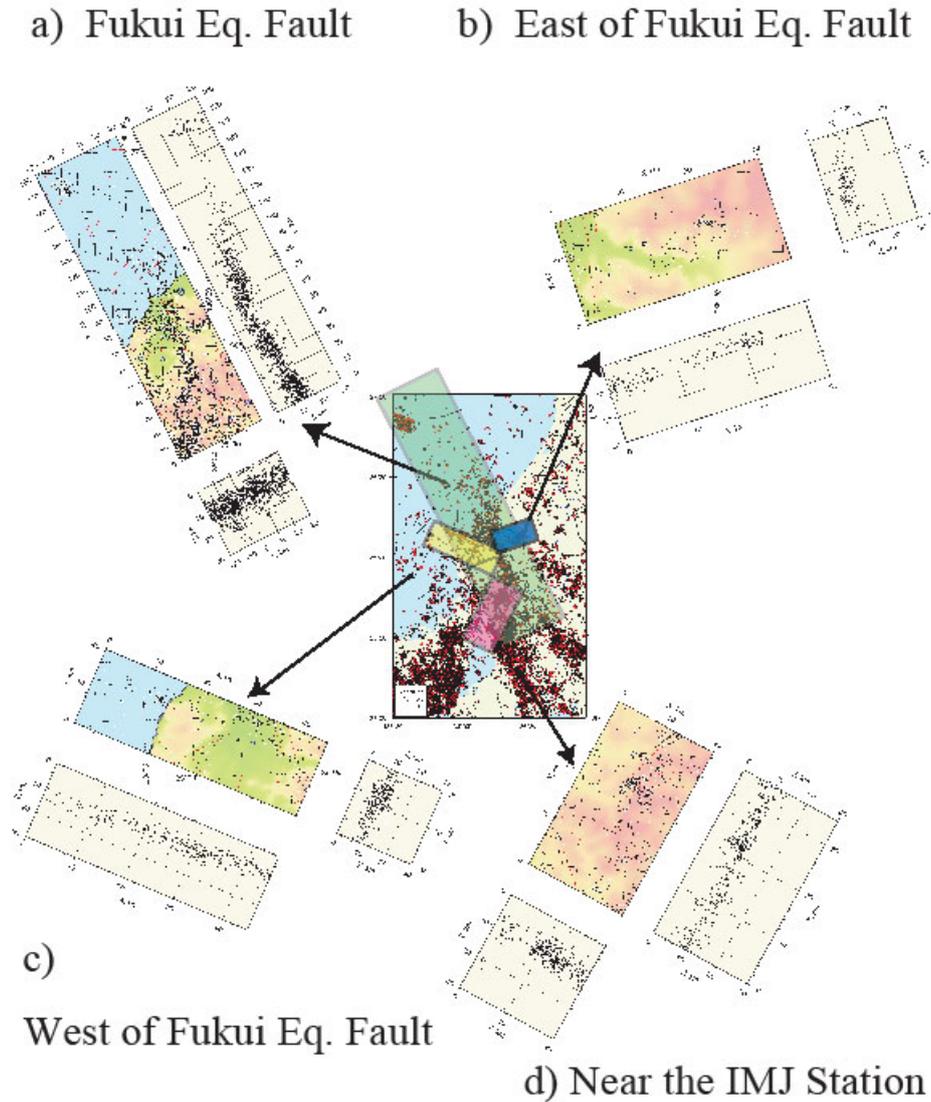


Fig.7 Showing 3-D maps for earthquakes occurrence near the faults or fault-like regions. In the central map, each region is shown by color. a) green; Fukui earthquake fault with its extensional region, b) blue; East of Fukui earthquake fault, c) yellow; West of Fukui earthquake fault, and d) red; Near the IMJ station.

Almost all the depth of earthquakes seem to be 5-15 km, especially very near to 10 km. However, in lines a), c) and d), the depth increases with distance. Especially,

4. 今後の方針

以上、これまで30余年間の北陸観測所における地震観測データの概略についてのべた。1976年のテレメータ化、1990年代のデータ処理のデジタル化と、1997年10月の気象庁一元化、2005年からの観測点データロガーの高性能化など多くの変化、向上がなされた。これらのデータを用いて精度の高い震源決定を行なえば、多くの結果が得られる。今回はその一端を見たに過ぎない。多地域、多種類の解析を行なえば、実情把握に役立つと考える。また、2005年10月から北陸観測所で始めた伸縮計3成分観測は、地震のデータと関連して大切と考えている（竹内ら、2006）。

謝 辞

観測点で長期にわたるご協力を頂いている現地の皆様に深くお礼申し上げます。運営にお世話いただいた大学関係者の方々に心より感謝致します。読み取りデータには気象庁一元化データを利用いたしました。関係の機関の方々に礼申し上げます。

参考論文

岡本・平野憲雄・竹内文朗・西上欽也(2004)：福井県嶺北地方における最近の地震活動，京都大学防災研究所年報、第47号B，pp. 757-763.
岡本・平野憲雄・竹内文朗・西上欽也・渡辺邦彦(2006)：福井県奥越地域における最近の地震活動，京都大学防災研究所年報、第49号B，

pp. 283-288.

竹内文朗・平野憲雄(1979)：北陸地方南部の地殻構造について，京都大学防災研究所年報，第22号B-1，pp. 1-10 .
竹内文朗(1983)北陸地方の微小地震活動の特徴について(その2)：京都大学防災研究所年報、第26号B-1，pp. 145-151.
竹内文朗・平野憲(1985)：北陸微小地震観測所の震源マップの概要について，京都大学防災研究所年報，第28号B-1，pp. 157-170.
竹内文朗・大谷文夫・森井 互・尾上謙介・細 善信・和田安男・園田保美(2006)：北陸観測所トンネルの伸縮計設置，京都大学防災研究所年報，第49号B，pp. 239-243.
西上欽也・平野憲雄(1988)：1987年9月10日柳ヶ瀬断層に発生した小地震(M4.0)について、京都大学防災研究所年報，第31号B，pp. 1-8.
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，pp. 343-364.
渡辺邦彦・平野憲雄・岸本兆方(1978)：北陸地方のサイスミシティ，地震Ⅱ，第31巻 第1号，pp. 35-47.
Kissling, E., Ellsworth, W. L., Eberhart-Phillips, D. and Kradolfer, U. (1994): Initial reference models in local earthquake tomography, J. Geophys. Res., Vol.99, pp.19635 - 19646.

Microearthquake Observation for 30 years by the Hokuriku Observatory

Fumiaki TAKEUCHI, Takuo SHIBUTANI, Norio HIRANO, Hiroo WADA, Kunihiko WATANABE,
Kazuo MATSUMUEA, Kin'ya NISHIGAMI, Fumio OHYA and Takuo OKAMOTO

* Fukui National College of Technology

Synopsis

The Hokuriku Observatory (Hokuriku Microearthquake Observatory at the beginning) started on 1974 with 7 observation stations. The observational system had been changed to a telemetering system on 1976. After Oct. 1997, the Japan Meteorological Agency also uses the data from the Universities and so on. We determined earthquake hypocenters by using these data and show some features.

Keywords : Earthquakes, Hokuriku region, Observation, Seismicity Map