

北陸観測所30年間の地震観測(2) — b値の時間変化 —

竹内文朗・澁谷拓郎・松村一男*・岡本拓夫**

* 防災研究所定年

**福井工業高等専門学校

要 旨

北陸地域での微小地震について、前報に続き、今回は b 値を調べた。この地域は1976年より大学の観測が開始され、1997年10月からはこれをも含めて気象庁一元化の地震データの取りまとめが始められた。我々は、この33年間で得られた8万個余りの地震の震源再決定を行った。さらに範囲と精度を絞って5万余個につき6域を選び、1年刻みで3年間の地震からb値を求めた。結果は、33余年にわたり b 値が下がる傾向にある地域が存在する事がわかった。

キーワード：北陸観測所，b値，震源決定，積算個数，時間変化

1. はじめに

我々は以前より、北陸地方の微小地震の特徴をとらえる事を大きな目的としている。今回は、33年に及ぶ防災研究所北陸観測所を中心とした範囲のb値を求めてみた。

北陸観測所は1970年に北陸微小地震観測所として開設された。この地域では、福井地震（1948）など大きい地震が起こっていた事もあり、地震、地殻変動の状態を知る事が一つの大きな目的であったと思われる。その後、1976年よりテレメータ方式が開始され、観測所（福井県鯖江市内）に於いて7観測点のデータが得られるようになった。それ以後数年おきに地震活動報告がある。（渡辺ら，1978；竹内・平野，1979；竹内，1983；竹内・平野，1985）。こうして、1990年代に、各観測点データがデジタル化され、並行して1997年10月から気象庁一元化が開始された。現在では、もともとの北陸観測所7観測点の内、美浜観測点（福井県）は近傍の気象庁観測点と重複するため廃止し観測点数は6点となったものの、気象庁一元化等により、使用できる観測点数は飛躍的に増えてきている。

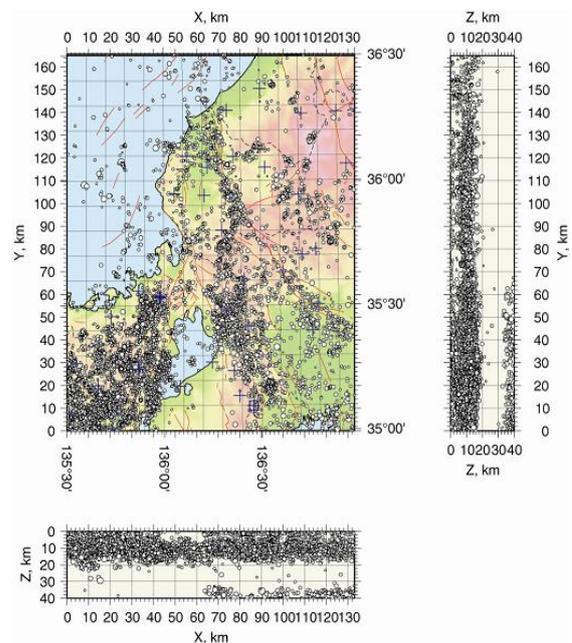


Fig. 1 Map of the 3-d microearthquake observations from January 1976 to March 2009. Here the earthquakes are selected by $\text{Mag} \geq 1.3$, however, only the earthquakes $1.5 \leq \text{Mag} \leq 4$ are used for b value calibration.

2. データと解析法

2.1 データについて

読み取り値としては、大学観測点発足以後20年程は北陸観測所、阿武山観測所の観測所などでの読み取り値に気象庁の若干点の読み取り値を、それ以後は気象庁一元化の読み取り値を採用した。震源決定に用いた点数は時代と共に増加した。これらは北緯 $34.9^{\circ} \sim 37.1^{\circ}$ 、東経 $135.4^{\circ} \sim 137.1^{\circ}$ 内の点で、初期は高々20点程度が、気象庁一元化以後は最高82点に増加した。33年で得られた8万個以上の地震の読み取り値はJHD (Joint Hypocenter Determination) 法 (Kisslinger et al, 1994)で再震源決定した。次にb値等計算のため、北緯 $35.0^{\circ} \sim 36.5^{\circ}$ 、東経 $135.5^{\circ} \sim 137.0^{\circ}$ 、 $0\text{km} \leq \text{depth} \leq 30\text{km}$ 、の地震に限り、x(東西)、y(南北)の誤差1km以内、深さ方向誤差2kmに絞った。ただし $M \geq 4.1$ はx、yは2km、深さは2.5kmまでの誤差を許した。この結果、今回用いる地震数は50,586個になった。実質上、b値を計算する時は、 $1.5 \leq M \leq 4.0$ として、Mと地震数のlogがほぼ直線に乗る範囲に限った。なお、ここでは計算上使用した地震の範囲は前報(竹内ら, 2007)より狭くなっている。

以上の方法で得られた震源分布を Fig.1 に示す。同図では、 $M > 1.3$ とし、深さは40kmまでを示した。30-40kmの深さの地震は計算には用いないが、フィリピン海プレートの沈み込みに関係し、興味深く示した。参考までに、これらの地震の震源決定精度は悪い。観測点の選択を考慮すべきである。

プロットした地震を $M < 1.3$ としたのは、それ以下は数が多すぎて描きにくい事と、実際上 $M \geq 1.5$ のみを計算に使用するため、問題が無いからである。

2.2 解析手順

b値の求め方は多々あるが、我々は時間的に十分な変化が得られ、しかも場所的にもこの地域内を大きく分けて、b値の変化の概要を見る程度にする事を目的とした。これは最近のやや活発化する地震との関連を見る事と、今後のb値の時間的変化と比較させるに役立つであろう。このため、おおむね松村ら(1996)の手法を利用した。その手順を示す。

- (1) 発生地震数の多い地域を選ぶ。
- (2) 選ばれた地域を主に、おおよそのb値測定範囲を選択する。
- (3) 各々の範囲内での地震を、時間-マグニチュード図で確認する。
- (4) 必要なら地震数を時間的総数で確認する。
- (5) 最終的に地域によるb値の時間変化図を作成し、特徴を見る。以上の手順に従うことにする。

2.3 解析

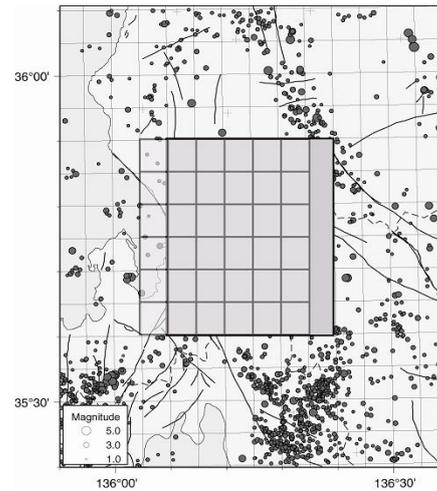


Fig. 2 Calculation for select high correlation regions. Details are shown in the text.

(1) の発生地震数の多い地域は次の様にして選んだ。Fig.1 に選んだ $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ の全域を、 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ の長方形メッシュに区切る。これを縦横6個ずつとった $0.3^{\circ} \times 0.3^{\circ}$ の領域を考える。これに対し、東に 0.05° ずらした同じ $0.3^{\circ} \times 0.3^{\circ}$ の大きさの領域を第2の領域を考える。この2つの領域の各1年間の地震総数を33年間にわたって示し双方の相関係数が0.9を超えた時、元の $0.3^{\circ} \times 0.3^{\circ}$ 内の36個全域にポイント1点を与える。以上の作業を縦、横全ての 0.05° おきに行い、総和を記憶する。

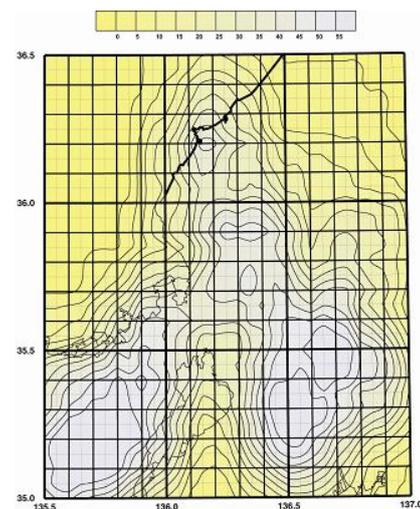


Fig. 3 Showing high correlation regions. Blue corresponds high, and yellow low. The maximum value is 100, while here, the maximum is around 60.

Fig. 3 はこうして得た総和で、黄色は低く、水色は高い事を表す。図では最高の所が60点程度である。仮に全点成立すると東西、南北各(6-1)×2=10点で、計10×10=100点になる。なお、ここで計算する1年ごとの地震数は、3年間の合計を使用した。

(2) Fig. 3 と、実際の地震分布、断層の位置などを眺めて、6つの領域を選定した。この領域をFig. 4に示す。即ち、(1)Fukui, (2)Nanjo, (3)Nobi, (4)Yoro, (5)Kohoku, (6)Kosei であり (7)Total を加えた。

(1)Fukui は福井地震断層等を含み、(2)Nanjo, (3)Nobi は濃尾地震の北端と中央、(4)Yoro は養老断層を含む。(5)Kohoku は三方断層を含み、(6)Kosei は花折断層等を含む。ただし、(6)Kosei は地震数が非常に多いながら、計算上の西方、南方のデータが不足するため、参考程度にする。

このように、大まかながら計算上得た範囲は、これまで地震発生が多く、時々M4, M5クラスの地震が発生する地域として注意していた域と一致した。

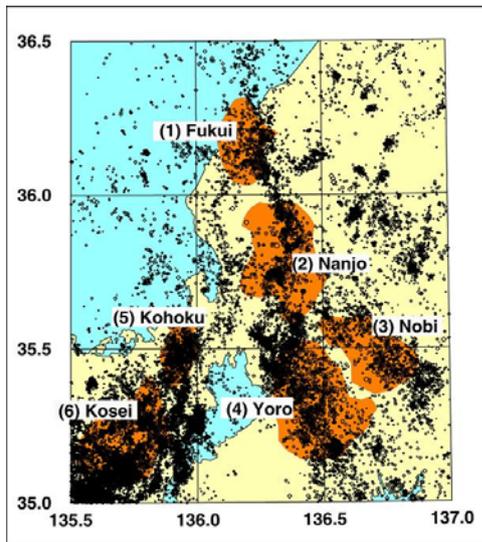


Fig. 4 Selecting 6 regions where we calculate b-value(brown). Small black circles are earthquakes.

(3) 次に確認のため、(2) で選ばれた6範囲とそのTotal 域につき、地震発生時とそのマグニチュードの図を掲げる(Fig. 5)。1997年10月より気象庁一元化により観測点数が増加したため、一般に地震個数が増えている。(3)Nobi は特にその傾向が見える。しかし、それにも関わらずおおよそM~2の地震はむしろ減っているようである。(2)Nanjo は、M=1程度の地震数は増え、2前後は減っているが、4程度はここ数年多い。(4)Yoro, (5)Kohoku も大体観測網の充実で観測した地震数は増えながらも、そのM2程度は少なくなっている。なお、(5)Kohoku, (6)Kosei は1995年01月に隙間が見えるが、兵庫県南部地震直後から3ヶ月程

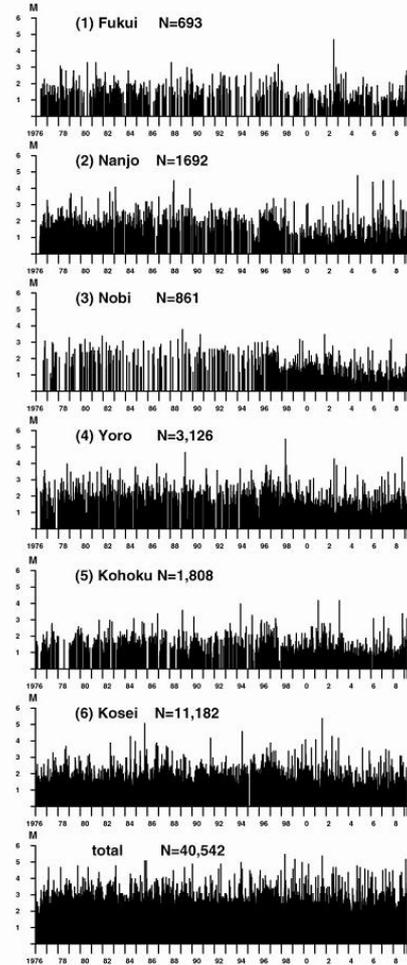


Fig. 5 Time-Magnitude figures. After 1997, even small earthquakes are observed, however, large earthquakes seems to be few.

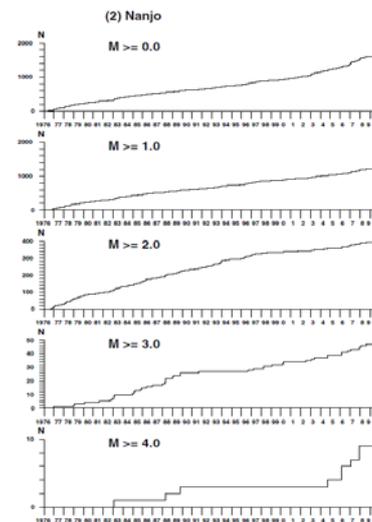


Fig. 6 Cumulative number of Magnitude which occurred in the Nanjo region. M>=4.0 shows 6 in these 5 years.

ヶ月ほど結束があったためである。

(4) (2)Nanjo は、1997年頃から発生地震のマグニチュードが1前後まで下がり、一方でM4程度が急に増えている。これを確認するため地震数の時間的積算図を示す (Fig. 6)。図は上から順に $M \geq 0$, $M \geq 1$, $M \geq 2$, $M \geq 3$, $M \geq 4$ である。従って $M \geq 0$ はほとんど全ての地震の合計である。これで見ると、 $M \geq 0$ はほぼ一定増加であるが、ここ数年は増加気味である。しかし $M \geq 1$ はほぼ一定増加である。従って、むしろ最近の観測点増加が反映されているのであろう。ところが $M \geq 2$ では明らかに1998年頃より増加率が下がり、現在に続いている。 $M \geq 3$ は更に遡り1990年頃から増加が少なくなっている。ただし1997年頃から増加率が上がり、現在もその傾向が続いている。 $M \geq 4$ は80年代に3個発生し、それ以後15年間皆無である。2005年からは5年程の間に6個起きている。2009年2月には $M=5.1$ がこの範囲内で発生した。マグニチュード5以上の地震は北陸域(1), (2), (3), (4)では極めてめずらしい。

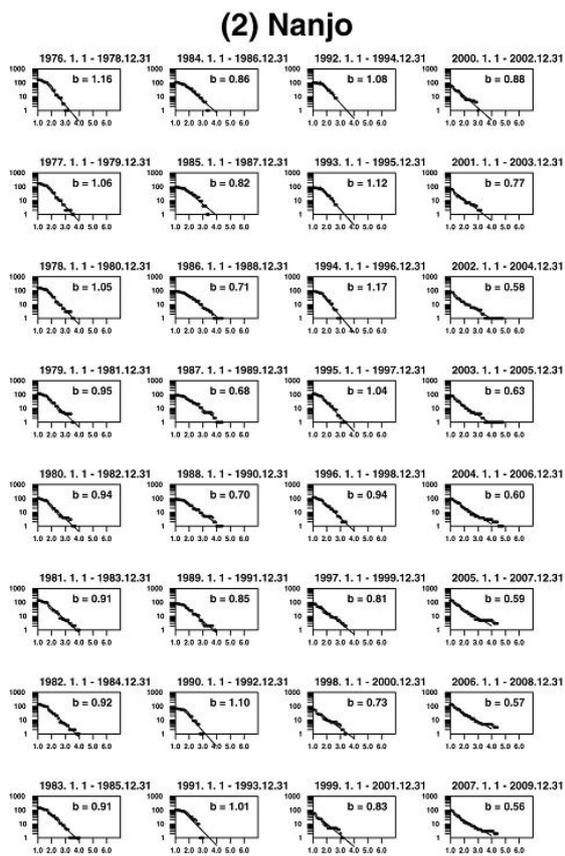


Fig. 7 Cumulative frequency distributions of magnitudes to show the case of Nanjo region. Each one is calculated for 3 years data. b-value shows high in the beginning, and it comes to low before 1995, and then it again seems to be low these 10 years.

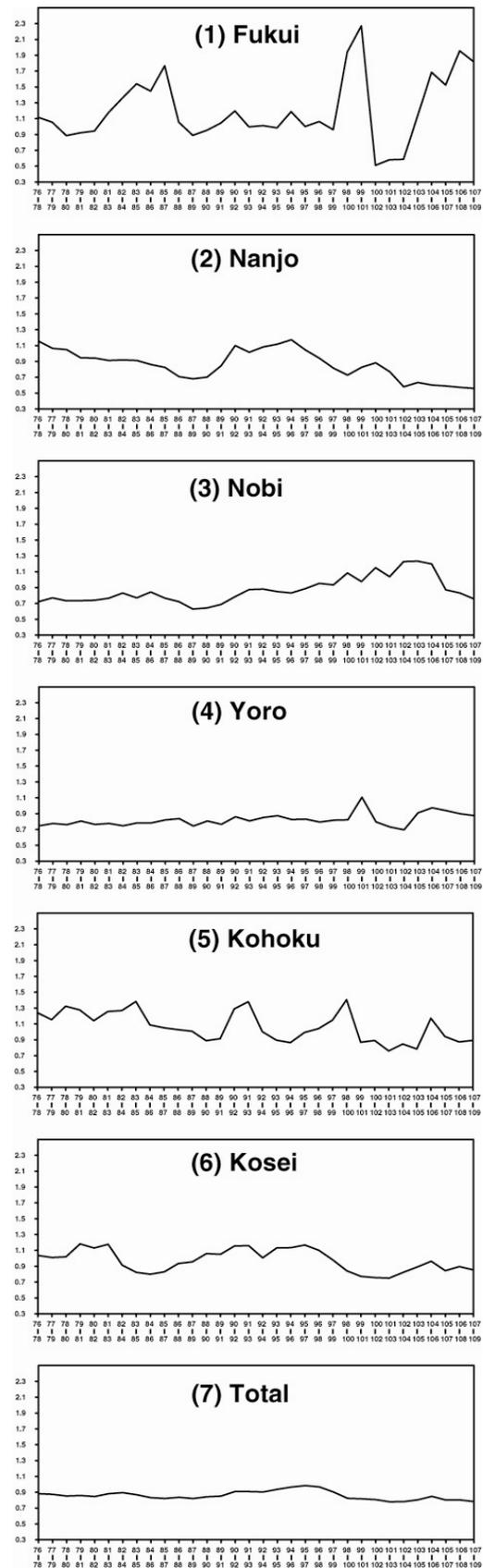


Fig. 8 b-values for every 3 years. (2)Nanjo, (5)Kohoku and (6)Kosei shows decreasing in a long period.

これまで、b値を見る地域の分け方を説明し、それが實際上この域の特徴を表す事が示された。そこで、次に(5)の「地域によるb値の時間変化」を見る。一例として(2)Nanjoを示す(Fig.7)。1年ごとの移動で、3年間の地震数を用いている。図ではM=1~6を示しているが、実際に使用したのはM=1.5~4.0である。1.5以上であればほとんど限なくとれていてb値を示す線がほぼ直線である。また、ここでは最尤法(宇津, 1965)を用いたためM=4以上はほとんど影響をおよぼさない。M1.5~4.0は、最尤法の計算結果を直線で示した。これによるとb値は1976年から1990年頃まで1.16から0.7位まで単純減少的である。1990年頃から1995年ころまでは再び増加し、それ以後はおおよそ単純減少を続けて現在は0.6を下回るほどまで下がっている。

以上のような場所によるb値の時間変化を見るため、Fig.8を示す。上から順に6域とそのTotalで、横軸は1年ごとに3年間を表す。これを順に見る。

(1)Fukui は平均1.0程度あるが最近は大きく上下している。1980年代にb値が大きくなっているが、1995年前後はむしろ $b \approx 1.0$ で安定している。2000年前後に大きく上下する。2000年6月に石川県西方沖でM6.2が発生した。本域とは100kmほど離れているが、関係するかもしれない。また、Fig.6でも見たが、徐々に(1)Fukuiの範囲内で2002年にM4クラスが起こった。ちょうどb値が0.6程度に下がった時である。

(2)Nanjo は上記のようにこの十年は異常なばかりb値が下がっている。全体としては33年前の測定開始から、全体的にはb値が下がっている。1.1程度から下がり現在は0.6以下である。途中ちょうど兵庫県南部地震の前数年は、b値が上昇していた。上述の様に現在はb値が極端に下がり、年に1度程度M4以上が発生している。

(3)Nobi は最近b値が上昇気味に見える。しかしこの地域の地震は気象庁一元化までは、小さい地震が観測されなかったためか、Fig.6でも地震観測数が少なく見える。最近は小さい地震まで得られ観測数の合計も増え、b値の計算にも影響があると思われる。それでも最近数年間のb値の下がり特徴的と考える。

(4)Yoro はネットに近い意味もあり、地震数も多く、気象庁一元化前後の地震数はそれほど気にならない。

(5)Kohoku は地震数が少なくやや不満足であるが、時々M3クラスの地震が起こる。傾向として30年かけてb値が1.2から0.9に下がっているようである。

(6)Kosei は前述のように計算上不完全ではあるが、概要は見える。傾向は、やはりb値が1.1程度から0.8

程度に下がって来ている。1980年代後半から1995年前後にはb値が上がっている。(2)Nanjoの例と似通っているが、こちらの方が数年早く上昇を開始している。

(7)Total は各域の変化をならしているため変化は見にくい。全期間を見ると30余年わずかに下がり気味で、途中90年代に少しb値上昇傾向が見える。

3. まとめ

以上の事をまとめておく。

a. 北陸域33年の微小地震観測は、1976年から行われた。当初、北陸観測所、阿武山観測所のデータに、気象庁データを合わせて20点余りで行われた。1997年10月から気象庁一元化が始まり他の機関のデータも含まれた。

b. 1976年01月~2009年03月につき緯度 $34.9^{\circ} \sim 36.6^{\circ}$ 、経度 $135.5^{\circ} \sim 137.1^{\circ}$ の範囲での合計は6万余個、解析に用いた $35.0^{\circ} \sim 36.5^{\circ}$ 、 $135.5^{\circ} \sim 137.0^{\circ}$ では50,585個であった。

c. b値の検討の対象範囲を決めた。0.3度 \times 0.3度の領域とこれから東西に0.05度ずれた領域との1年刻み33年の地震数が0.9以上の相関係数を得る場合、この0.3度 \times 0.3度内の0.05度刻みに各1点を与えた。これを東西、南北に計算してその総和から相関が高い所を判定し、6域とそのトータル域を求めた。

d. 各域の選択が妥当である事は、地震の震央分布図と時間-発生地震M図で検討した。

e. 各域に付き、3年ごとのb値を1年おきに計算した。f. 各域のb値の時間的な変化を示した。全体としてb値はこの33年間の平均として下がっている。

(2)Nanjo, (5)Kokoku, (6)Kosei は33年間にわたり比較的その傾向が強い。特に(2)Nanjoは最近のM4多発を含め注目する。

これらの結果をふまえ、今後は検討域の取り方と、移動時間幅の取り方を工夫してみたい。

謝辞

本稿では気象庁一元化の読取りデータと、防災研究所の観測データを使用。震源決定にはJHD法を利用した。関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 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.
- 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(2007) : 北陸観測所30年間の地震活動, 京都大学防災研究所年報, 第50号B, pp. 289-295.
- 宇津徳治(1965) : 地震の規模別度数の統計式 $\log n = a - bM$ の係数 b を求める一方法, 北海道大学物理学研究報告, 13, pp. 99-103.
- 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 (2) -- Time Variation of b-value --

Fumiaki TAKEUCHI, Takuo SHIBUTANI, Kazuo MATSUMURA* and Takuo OKAMOTO**

* Retired

** Fukui National College of Technology

Synopsis

We calculated the b-value for the microearthquakes in Hokuriku region. The observation is started from 1976 by the Kyoto Univ. and is continued to the JMA (Japan Meteorological Agency) Ichigenka from Oct. 1997. For more than 80,000 data for these years, we determined the hypocenters again from the read data. About 50,000 earthquakes were highly determined and set 6 regions from them. The b-value was calculated for each year by the 3-year-average. The result shows that the b-values in 3 regions shows almost downward tendency.

Keywords: Hokuriku observatory, b-value, hypocenter determination, total number, time dependence