

26. 関東地方の地震の巣

— 定義と性質 —

地震研究所 { 宇佐美 龍 夫
渡 辺 唯 夫

(昭和52年12月10日受理)

§1. は し が き

地震の巣という言葉が使われるようになってから、もう10年にもなろうか。巣という言葉は一般にはわかりやすいので今後も使われるだろう。しかし、地震学者の間で巣をはっきりと定義したという話はきいていない。一方、現実には、関東地方では筑波山南西部や千葉県中部に定常的に活発な地震活動を示す地域があることはよく知られているし、地震域あるいは巣という概念が生れるのは当然のことであった。最近では計算機の発達に伴ってさまざまな画像処理の技法が開発されている。かねてから、その技法を地震学に応用したいと考えていた折でもあり、画像処理の基本である境界決定の手法をとり入れて地震の巣を定義することを試みた。

地震予知計画に伴い微小地震観測網が整備され、最近では日本全国の地震活動がいろいろな表現を使って整理されるようになった。地震回数や放出エネルギー量のコンターを引いた図(尾池(1976))までは見かけるがまだ巣をはっきり定義したものはないようである。一方、経験的には地震活動域は局限されており、その境界は誤差を問題にしなければ、かなりはっきりとしているという事実がある。そこで巣を定義づけ、巣の地震活動の基本的性質を明らかにすることを試みた。地震活動研究の一助となれば幸である。

本報告では、地震の巣の定義と、それに基く関東地方の巣の決定、巣固有のあるいは巣相互間のもつ性質について調査し、地震活動を考える際の基本的単位として巣を位置づけることを目標とした。単発型の地震とその余震域という概念は定常的な地震活動の調査には必ずしも適しているとは言えない。巣は余震域を含み、定常的な地震活動の調査に適したものであり、いわゆる余震域そのものとは異った概念である。こういう意味では以下にのべる関東地方の21コの巣のうち巣13, 21などはまだ巣とは言い難いものである。巣と余震域の差異は地震活動の観点から重要なものであるが、更に長期間のデータの蓄積を待って、再考することにしたい。

§2. 地震の巣の定義

地震の巣のはっきりした定義はまだないように思う。ここでは、近年急速に進歩してきた電子計算機における画像処理手法の一つである、境界抽出あるいは境界決定といわれる手法を応用して、地震の巣が定義づけられるかどうか試みてみた。

Table 1. Table of the operators tested. In cases 13-18, positive and negative values of K refer to change in x- and y- directions respectively. In case 9, (7) and (8) mean the numerical results of the cases 7 and 8 respectively.

+++ : excellent, + : possible, - : inappropriate.

case No.	Operator	Judgement
1	$\sqrt{(a-d)^2+(b-c)^2}$	+
2	$ a-d + b-c $	-
3	$(a+c-b-a + a+b-c-d)/2$	+
4	$(C+2F+I-A-2D-G)/8$	-
5	$(A+2B+C-G-2H-I)/8$	-
6	$E-\min(A, B, C, D, F, G, H, I)$	-
7	$\text{sign}(B-H) \times [\min(A, B, C) - \max(G, H, I)]$	-
8	$\text{sign}(D-F) \times [\min(A, D, G) - \max(C, F, I)]$	-
9	$\sqrt{(8)^2+(7)^2}$	-
10	$\sqrt{(A+B+C-G-H-I)^2+(A+D+G-C-F-I)^2}$	+
11	$ A+B+C-G-H-I + A+D+G-C-F-I $	+
12	$ E-A + E-C + E-G + E-I $	+
13	$\prod_{k=1}^K \left \frac{\sum_{j=1}^k D(i+j) - \sum_{j=1}^k D(i-j)}{k} \right $	-
14		-
15		-
16		-
17		-
18		-
19	$4E+2(B+D+F+H)+(A+C+G+I)$	+++

a	b
c	d

A	B	C
D	E	F
G	H	I

考える領域をメッシュに分割する。各メッシュには一定の物理量が対応している。この量に操作を加えて、境界を抽出するのが普通である。操作につかうオペレーターは考えている画像や対象の性質によって異なり、それぞれの場合に最も適したものを選ばねばならない。オペレーターは長尾・金出 (1972) にまとめられている。それをもとにして、本報告では第1表の19のオペレーターをテストしてみた。2.5×2.5 km² の大きさのメッシュ

Fig. 1a-c. Selection of a method of defining an earthquake nest. Hatched area: meshes including actual earthquakes. d is the indicator discriminating nest boundary. Thick cross means the origin of the coordinate system. Scales for x- and y- directions are different and length corresponding to 25 km for x- and y- directions is shown on the upper left of the figure a.

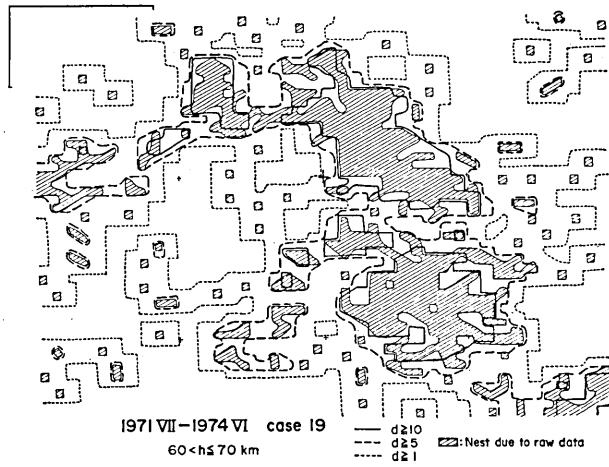


Fig. 1-a

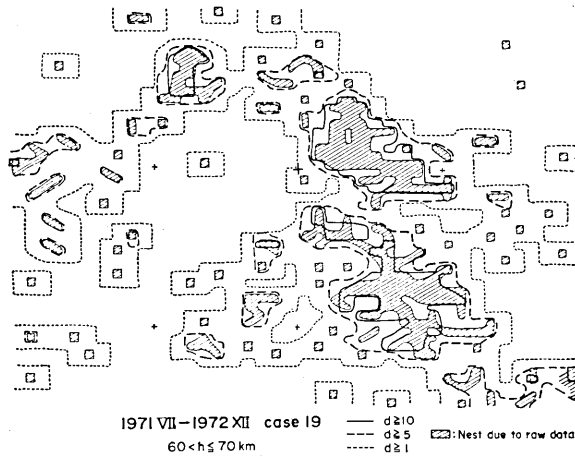


Fig. 1-b

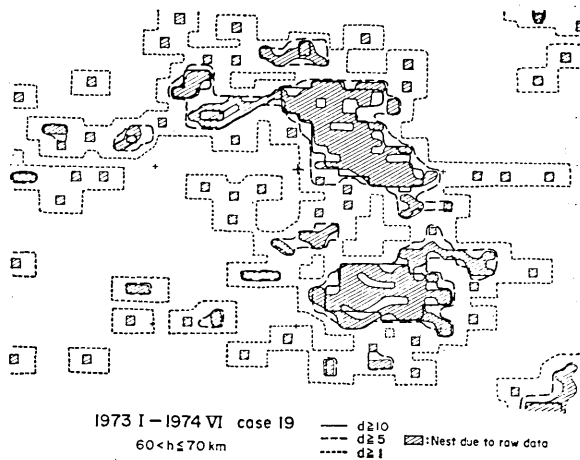


Fig. 1-c

(深さは 10 km 厚) をとり, それに対応する量としてその中の地震数を考えたが, メッシュ内の放出エネルギーをとり上げるのも一方法であろう.

テストは 1971 年 7 月~1974 年 6 月 (1974 年 5 月を除く) のデータで, 東経 140° , 北緯 36° の地点を原点とし, x, y, z の正軸をそれぞれ東, 北, 下の方向にとったとき, $-150 \leq x \leq 150$ km, $-175 \leq y \leq 175$ km の範囲に入り, 且つ $60 < z \leq 70$ km にあるものを使った. いくつかの事例を第 1 図~第 2 図に示す. いずれも座標軸の原点付近の同じ区域を示している. 図中の d は第 1 表の各ケースのオペレーターを操作して得られた値である. こうして得られた値を 2×2 個のメッシュのときは左上のメッシュに, 3×3 個のメ

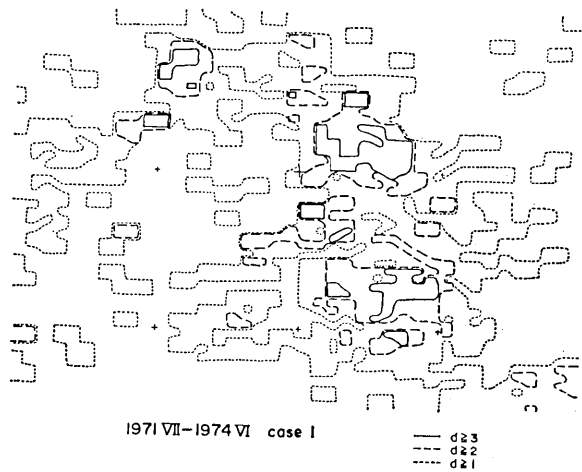


Fig. 2-a

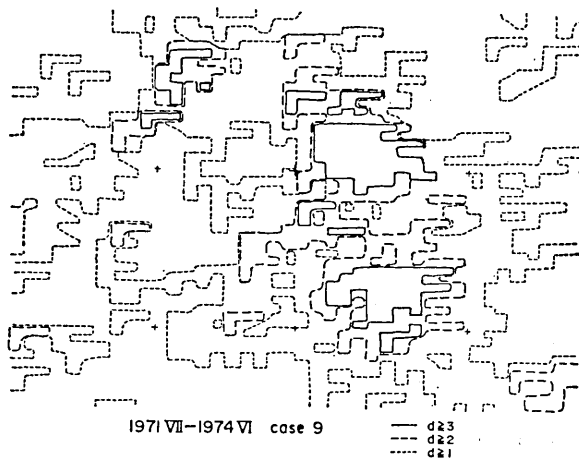


Fig. 2-b

Fig. 2. Same as figure 1. Hatched area of Fig. 1 must be superposed on the figure. It is seen that the hatched area of Fig. 1 is unlike either of solid, broken and dotted lines of Fig. 2.

ッシュのときには中心のメッシュに与えた。第1図の斜線はオリジナル (なまの) データで、実際に地震のあったメッシュを示す。境界をきめる d の値は、オペレーターの種類、考えている期間、地震の集中度、場所などによって異なる値である。第1図では d とし、 $10, 5, 1$ の場合の境界が記入されている $d \geq 10$ の線は斜線でかこまれたなまの観測データによる地震発生域に内接する形で、 $d \geq 5$ の線はそれに外接する形で、それぞれ斜線の部分の境界をスムーズしたようになっている。

第2図には第1図の斜線部分を記入していないが、同じ区域を図示してあるので第1図の斜線部分を比べれば d が $3, 2, 1$ 以上の境界は、斜線部分の境界と一致しないことがわかる。このようなテストを第1表の19の場合について行い (宇佐美ほか (1976)) 第1表最右らんのような結果を得た。このようなオペレーター操作の結果が満足しなければならぬ以下の条件を考慮してケース19を地震の巣をきめる手法として採用することとした。

- 1) オペレータ操作の結果得られた境界は、観測データによる境界との差が少く、かつ、観測データによる境界をスムーズした形になること
- 2) 境界条件 (d の値) の選択を含めた境界の決定に、個人差の入る余地が少くなること

また、その後1975年末までのデータを追加して、同様の計算をした結果から、 d の値として10を採用し $d \geq 10$ の境界を地震の巣と定めることとした。

第1図 b, c は第1図 a の期間を二つにわけて、テストした結果で、この図から、考える期間が短かすぎるのはよくないことおよび考える期間を長くすれば、当然のことながら地震の巣はひろがるけれども、それには一定の限界があることがわかる。この限界が最終的な地震の巣というべきもので、それをきめるためには、少くとも10年間の観測データが必要であるように思われる。今回は長期にわたるデータがないので1975年末までの4年6ヶ月にわたるデータ (1974年5月を含む) をもとにして地震の巣を定めた。再述すると地震の巣は次のデータ・方法によってきめられた。

資料 1971年7月～1975年12月の間の地震研究所関東地方微小地震観測網によって緯度・経度・深さ・震源時が求められた地震

方法 第1表のケース19による

$d \geq 10$ の境界を採用する

メッシュの大きさ

深さ方向：100 km まで 10 km ごと

水平方向： $2.5 \times 2.5 \text{ km}^2$

物理量：各メッシュ内の地震数

こゝでは 3×3 個のメッシュを使う局地的なオペレーター (第1表のケース19) を採用した。こういうオペレーターは本質的に次のような欠点をもつ。

- 1) 雑音に弱い
- 2) テクスチャーを考慮していない
- 3) 広域的な情報を利用していない

本調査の場合、メッシュ内の地震数には雑音は含まないので、1) は問題にならない。2) も今の場合はよい。3) に関連して、もし広い地域の巣を探す場合には、上述の d の値と

して場所によって異なる値を採用する (ダイナミカルな d の決定) 方がよい場合がおきるであろう。後述する鹿島灘の地震の巣は、ほかの巣に比べて地震密度が低い、こういう巣を他の巣との関連でどう考えるかということは、ダイナミカルな d の決定とも関わりをもつもので、将来、解決しなければならない問題である。

§3. 地震の巣

前節の方法による関東地方の地震活動域を図3~4に示す。これらの図では1971年7月1日~1974年6月末日までの3.5ヶ年の地震を使った。1974年5月は除いた。図の斜線は $d \geq 10$, 点々は $d \geq 5$, \times 印は $d \geq 1$ の範囲を示す。深さは10 km ごとにとつてある。第3図は平面図であり、第4図は x 軸, y 軸に平行な帯状部分の地震の xz, yz 面への断面投影図である。これらの図からいろいろな事がわかるが、とくに著しい点は以下の通りである。

従来茨城県南西部といわれていた地震活動域は、第3図 e-h からわかるように、ほぼ東経 140° 線を境にして、西と東の二つの活動域に分かれる。このことは、微小地震観測の関係者には、日常の観測活動を通じて体験的にわかっていたことと思われるが、それがはっきりと認められるようになった。

第3-f 図からわかるように銚子付近の地震活動域はシャープな境界をもっている。つまり、斜線の部分の外側をとりかこむ点々や \times 印の部分が狭い。このことは第4図 c の断面図にもよく出ている。また第4図 d の断面をみると、深さ 30 km 以深の活動域の上に、活動度の低い層 (\times 印) があり、その上に活動度の高い層 (斜線) がかぶっている。その上には再び活動度の低い部分があって、最上層 (地表付近) の活動度の高い部分がある。このように、明りような重層構造をして、ドーム状の活動域が小間隙をおいて、銚子付近の活動域におおいかぶさっている。

また、第4図 d には東下りの構造が顕著にあらわれている。1本は $x = -120$ km くらいの地表から東に向かって下る。これは地震のない地域と地震発生地域の境である。もう1本は $x = 0$ km の地表から東下りに延びる地震活動度の低い地帯で両者は平行している。前者の境界は第4図 e にも見られる。第4図 e では東下りの巾広い帯状部に小さい活動域が並んでいるように見える。この帯状部は関東大地震のときの断層面と $y = -60$ km の鉛直面との交線に当たっている。

その後、整理の済んだ1975年の資料を加え、1971年7月1日~1975年12月末日までの4.5年間の資料により、最終的な地震の巣の決定を試みた。当然のことながら、地震の巣の大きさは第3~4図よりも大きくなる。1975年に新たに小規模な群発地震の発生した所もある。新しいデータの追加により、活動域は徐々に広がるものの、それには一定の限界があると思われる。その限界が地震の巣と考えられる。たとえば、房総沖では小規模な群発地震がひんぱんに発生している。それらが一つ一つで独立な巣を作っているのか、ある

Fig. 3a-j. Horizontal section showing nest of earthquakes. Cross is the origin of the coordinate system. Unit of x - and y -coordinates is km. h : focal depth. Hatched, dotted and cross-marked areas correspond to those of $d \geq 10, 5$ and 1 respectively.

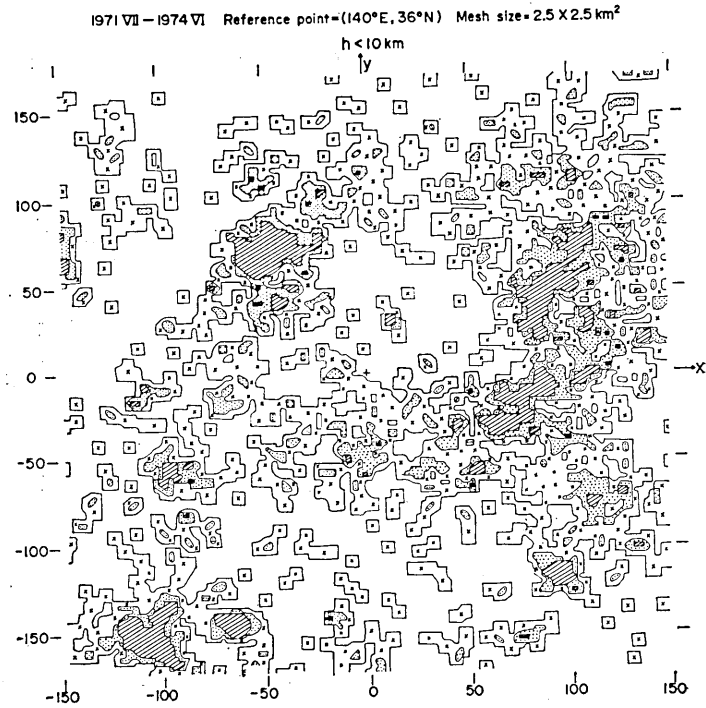


Fig. 3-a

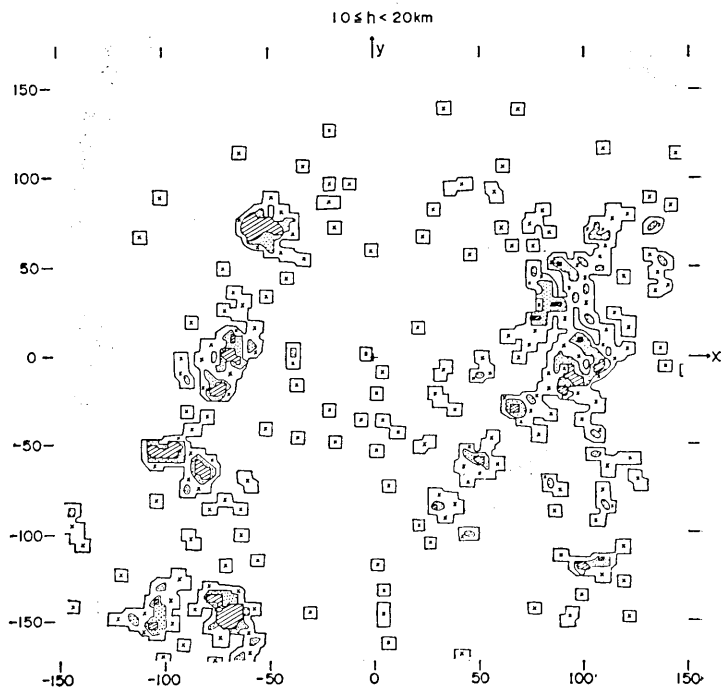


Fig. 3-b

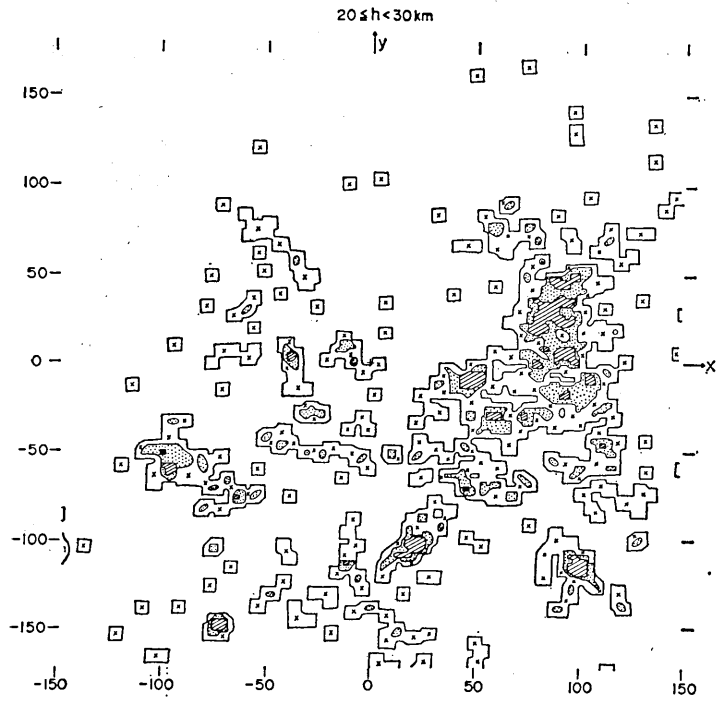


Fig. 3-c

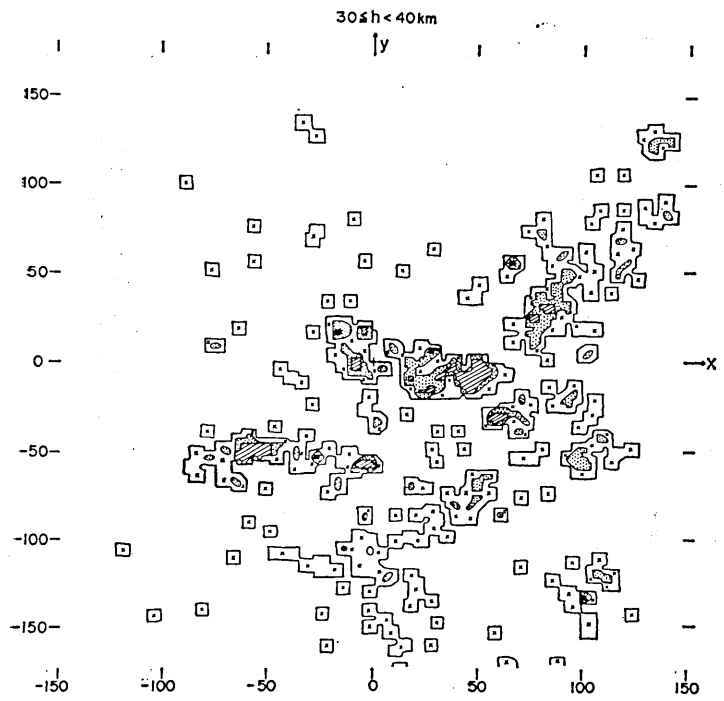


Fig. 3-d

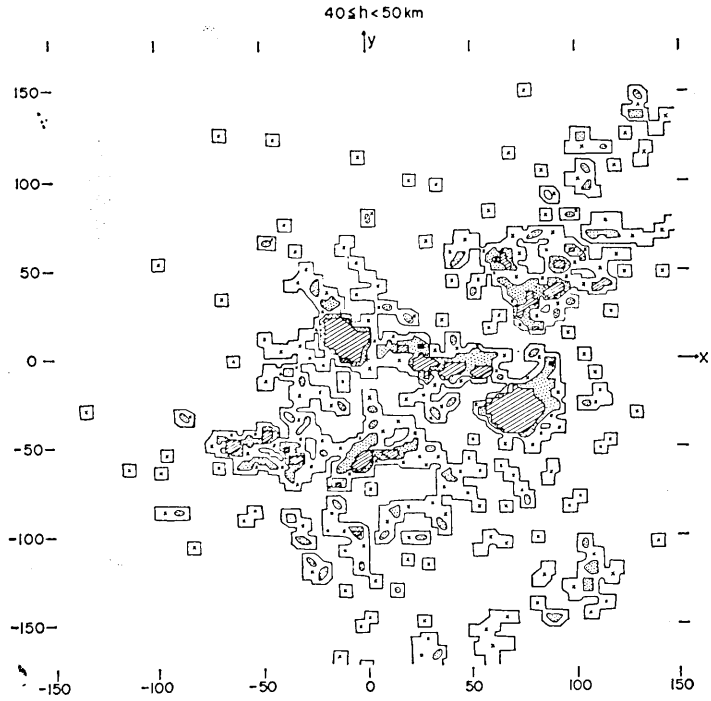


Fig. 3-e

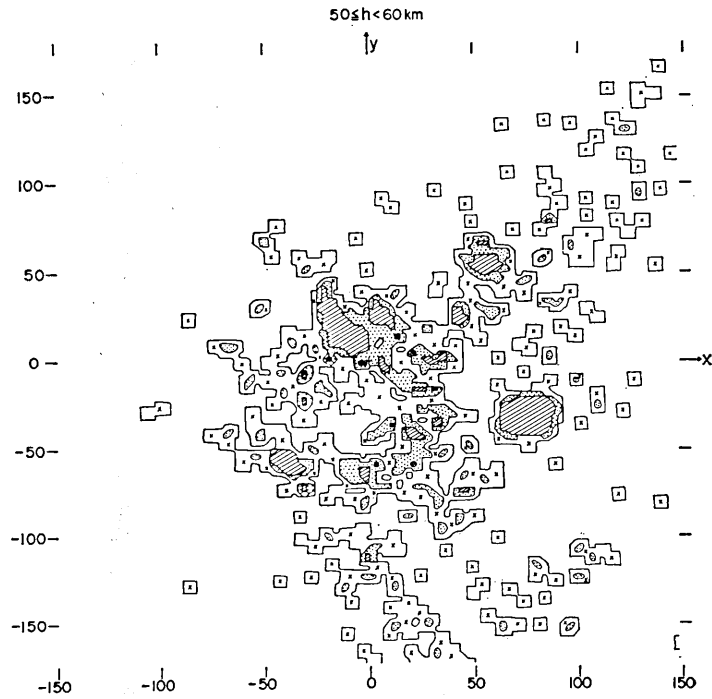


Fig. 3-f

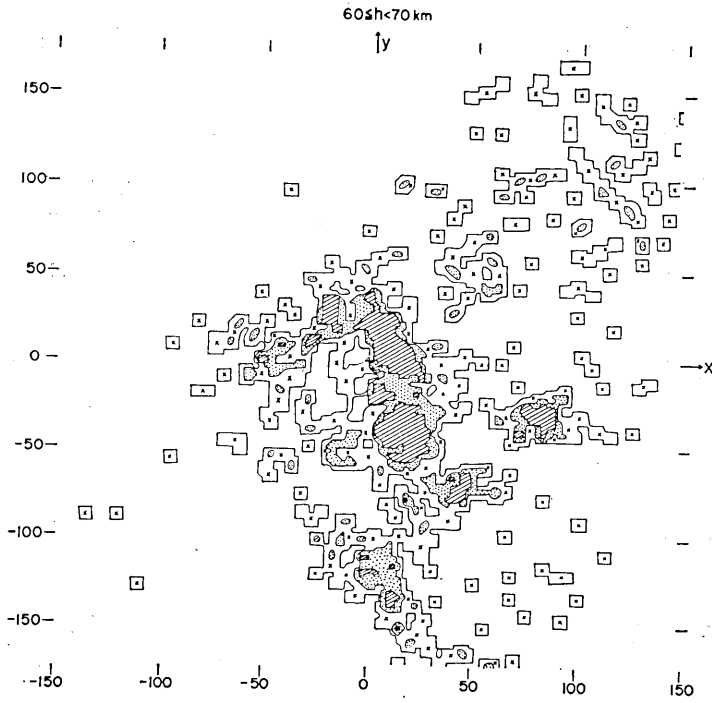


Fig. 3-g

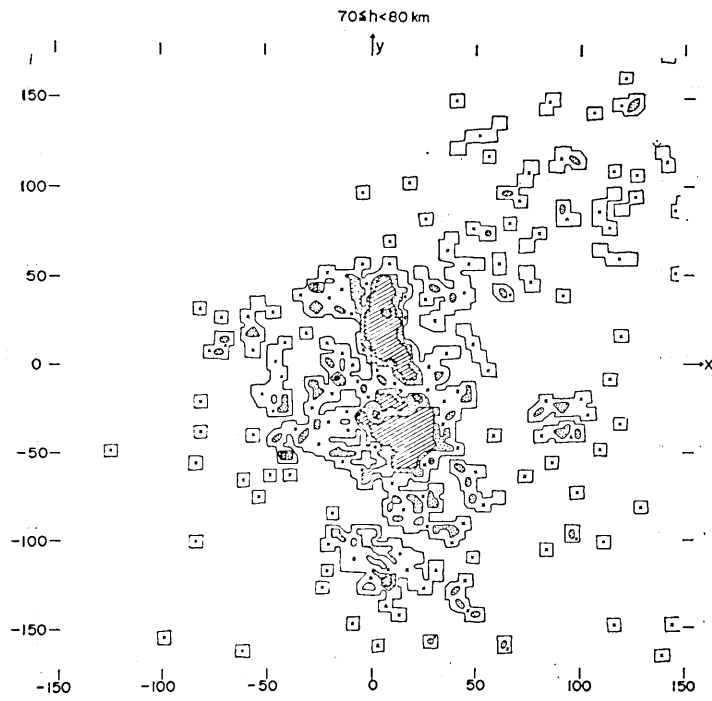


Fig. 3-h

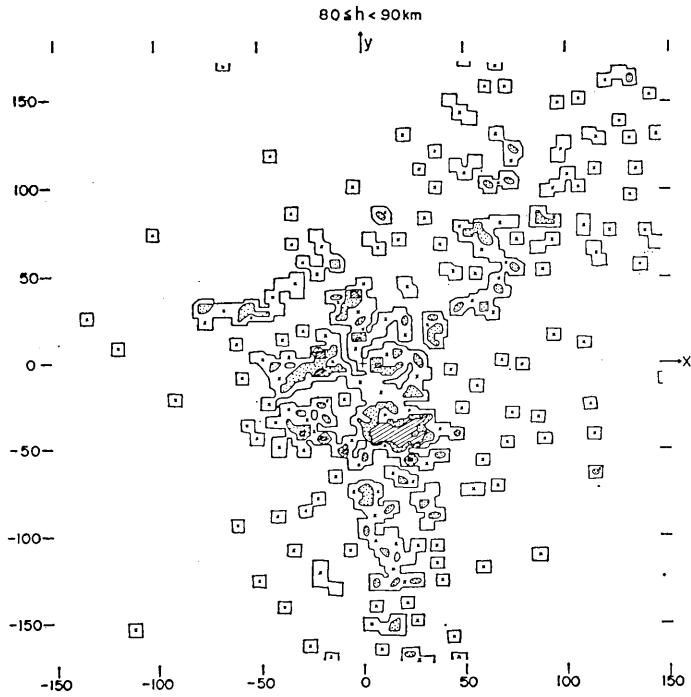


Fig. 3-i

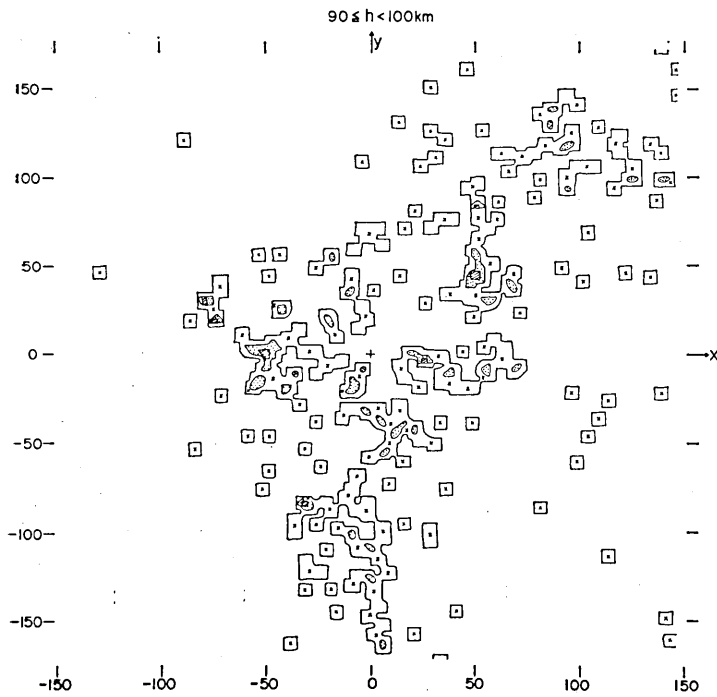


Fig. 3-j

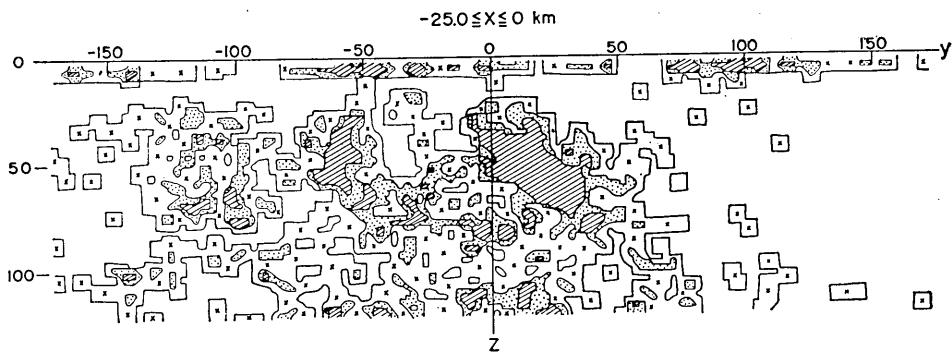
1971 VII - 1974 VI Reference point = (140°E, 36°N) Mesh size = 2.5 X 2.5 km²

Fig. 4-a

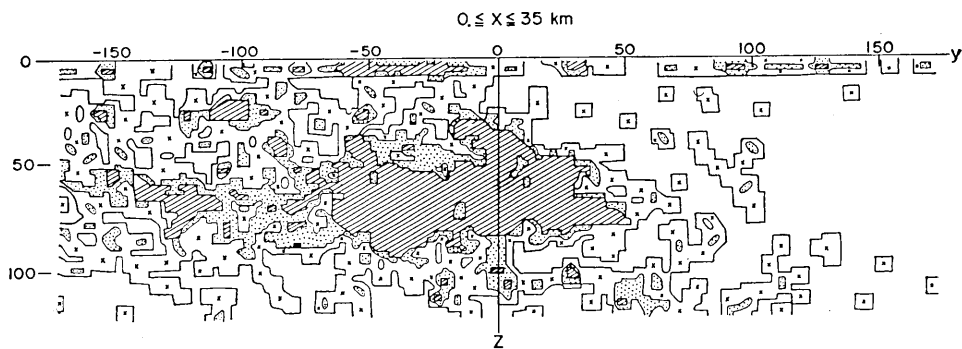


Fig. 4-b

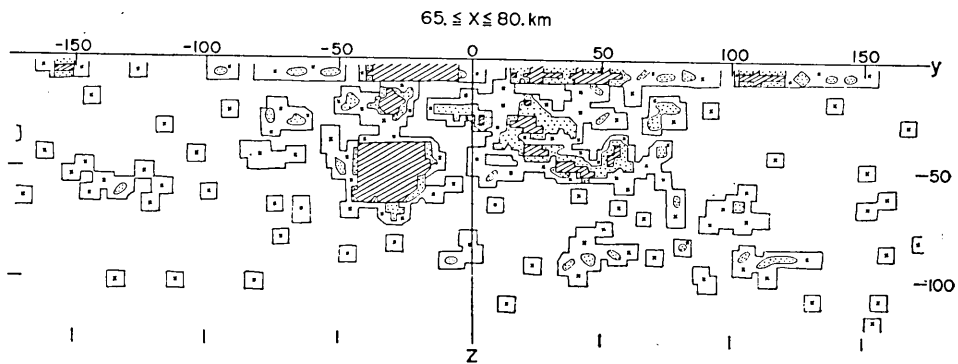


Fig. 4-c

Fig. 4a-f. Vertical section showing nest of earthquakes. Legend and notations are same as in figure 3.

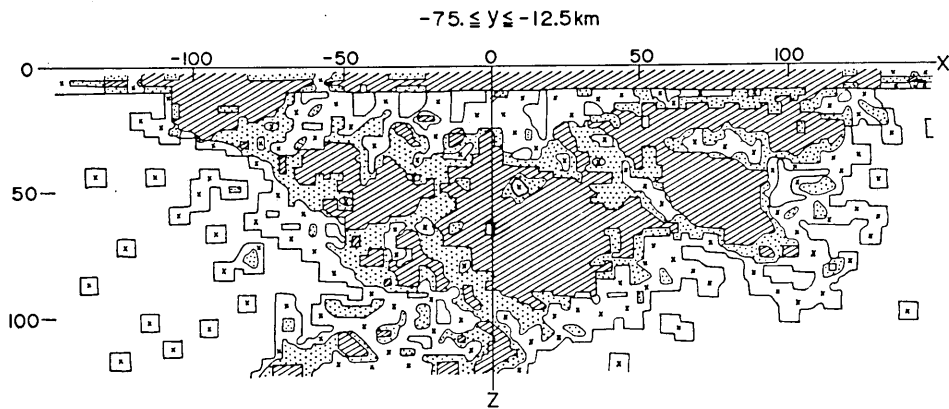


Fig. 4-d

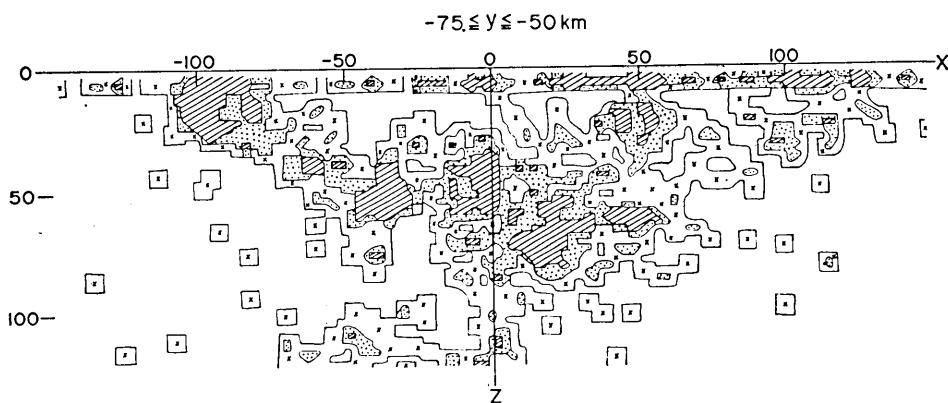


Fig. 4-e

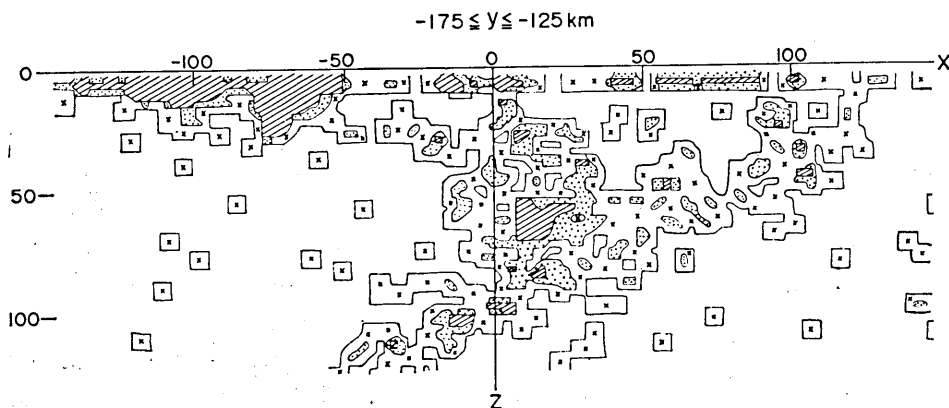


Fig. 4-f

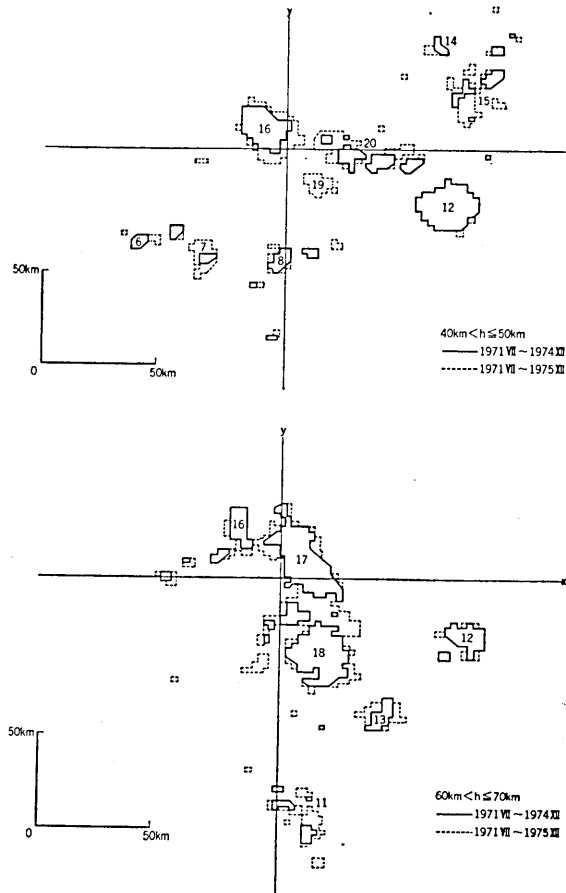


Fig. 5. Examples showing the change of nest size according to the period investigated. Numerals are reference numbers of earthquake nest. Solid and dotted lines are nest boundaries determined from data of 1971 VII-1974 XII and of 1971 VII-1975 XII respectively.

いは、いくつかをまとめて巣を形成するのは、長期間のデータの蓄積の上に立って究明すべき問題であろう。しかし1974年末までのデータで明りよな活動域のうちには、1975年のデータを加えても殆ど変化のない所もある。こういう所は定常性の強い地震の巣なのであろう。第5図に1975年のデータの追加による、地震活動域の変化を示す。図の実線は1974年末までのデータで $d \geq 10$ の区域、点線は1975年末までのデータで $d \geq 10$ の区域である。厳密には1975年末までのデータでは d として、 $10 \times 4.5/3.5 \approx 13$ としなければ同一には論ぜられない。一方、こういう方法では少なくとも10年間のデータがなければ地震の巣についてははっきりした境界はきめにくいと思われるので、今回は多少の問題点はあるものの、1974年末までと1975年末までの場合では第5図の程度の差があることを念頭におくこととし、最終的には1975年末までのデータから地震の巣をきめた。

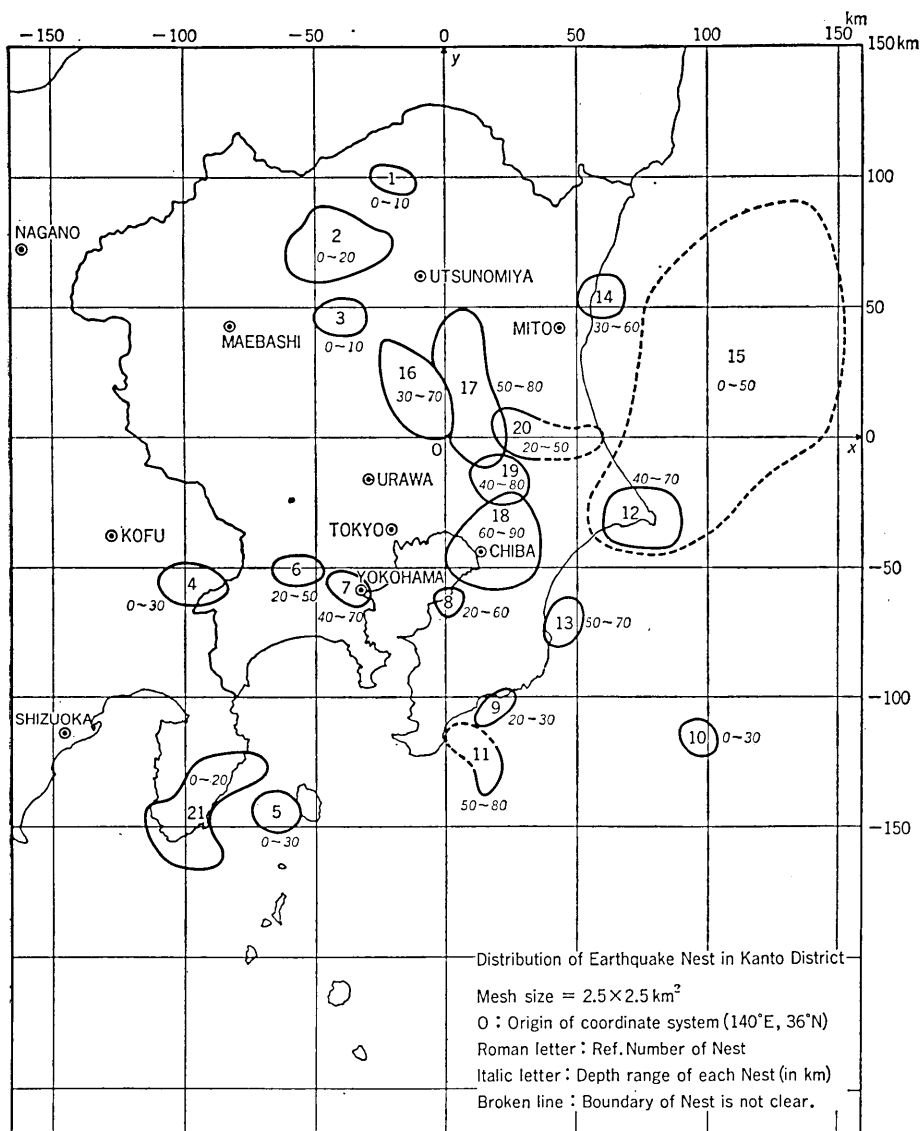


Fig. 6. Distribution of earthquake nests in Kanto district. O: origin of the coordinate system (140°E , 36°N). Bold figure is the reference number of nest (cf. Tab. 2) and italic figure the depth range of each nest in km. Broken line means ambiguous part of the nest boundary.

求められた地震の巣は第6図及び第2表に示す。図の巣の番号は第2表と対応する。図中のイタリックの数字は巣の存在する深さの範囲で単位は km である。図の巣で点線は境界が明りようとは言えないものである。とくに21番は1974年5月9日の伊豆半島沖地震の余震域であり、長期間にわたっての定常的な巣ではない。巣9, 10, 11, 13も群発性のもので、長期間の観測をした場合、これが、そのまま巣となるか、いくつか合同して大き

Table 2. List of earthquake nests in Kanto district. Column 5 means the maximum energy stored in each nest and column 6 the magnitude corresponding to column 5. The size of mesh was taken as $2.5 \times 2.5 \times 10 \text{ km}^3$.

Ref. No.	Name	Range of Depth	No. of Mesh	Max. Energy Stored	M
1	高 原 山	0~10 km	36	$225 \times 10^{20} \text{ erg}$	7.0
2	足 尾	0~20	199	1244	7.5
3	足 利	0~10	49	306	7.1
4	山 梨 県 東 部	0~30	122	763	7.4
5	大 島 近 海	0~30	88	550	7.3
6	町 田 市	20~50	46	288	7.1
7	横 浜	40~70	56	350	7.2
8	市 原 市	20~60	44	275	7.1
9	小 湊 沖	20~30	18	113	6.8
10	房 総 南 東 沖	0~30	52	325	7.15
11	房 総 南 端 沖	50~80	71	444	7.2
12	銚 子 付 近	40~70	212	1325	7.55
13	一 ノ 宮 沖	50~70	43	269	7.1
14	久 慈 川 河 口	30~60	59	369	7.2
15	鹿 島 灘	0~50	755	4719	7.9
16	筑 波 山 西 1	30~70	292	1825	7.6
17	" 2	50~80	355	2219	7.7
18	千 葉 市 付 近	60~90	356	2226	7.7
19	印 旛 沼	40~80	104	650	7.35
20	霞ヶ浦・北 浦	20~50	200	1250	7.5
21	伊豆半島南部	0~20	233	1456	7.55

な巣になるかは興味のある問題である。巣 12 も 1973 年 9 月 31 日の群発性活動 (津村 (1977)) による巣であるが、こゝは弱いながら定常的な地震活動がみられる所である。したがって第 8 節にのべるような巣と余震域の関係は、少くとも巣 12 についてはデータの蓄積をまわって考え直すべきであろう。また、巣 5 は、何回かの群発地震が発生している地震の巣である。巣 19, 20 は隣接の巣との境界がやゝ不明りようであるが、16, 17, 18 とは別のものと考えられる。その他の巣は、その活動に多少の時間的消長はあっても、定常的な巣と言えるものである。

第 2 表の第 4 列は、巣に含まれるメッシュ ($2.5 \times 2.5 \times 10 \text{ km}$) の数である。地震体積の考えから、このメッシュ内に蓄えられる最大歪エネルギーを求めたものが第 5 列にある。単位体積当りの歪エネルギーは坪井 (1966) によると

$$e = \frac{1}{2} \mu x^2$$

$$\mu = (5 \sim 10) \times 10^{11} \text{ c.g.s.}$$

$$x \doteq (1 \sim 2) \times 10^{-4}$$

である。第2表には $e \doteq 10^4 \text{ erg}$ のときの値を示す。第6列はこのエネルギーに相当する地震の規模である。最近の研究(力武(1976))では、地震が発生するときの地殻の最大歪は 10^{-4} よりも小さい場合が多く、平均は大体 0.5×10^{-4} であるという。この値を採用すれば energy にして表の値の $1/2 \sim 1/3$ となり、規模にして $0.2 \sim 0.3$ 小さくなる。その位が適当な値なのかも知れない。

さて、伊豆半島南部の巣は1974年5月9日の伊豆半島沖地震の余震域で、平常は地震の少ない所であり、定常的な意味での巣ではない。ここで放出された全エネルギー(本震を含む)は、本震の規模が6.9であるので、規模約7.0の地震一つに相当する程度である。ところが、この巣に含まれる歪エネルギーは第2表によれば $M=7.55$ の地震に相当し、両者の間にはエネルギーにして約5倍の差がある。その理由として、次のことが考えられる。

- a) 単位体積中の最大歪エネルギーの見積りが大きすぎる。見積りを $1/2 \sim 1/3$ にすることは非合理的とは言えない。
- b) 鉛直方向に10 kmの長さのメッシュを考えたために、本来は巣でない所まで巣の中に数えた。メッシュを $(2.5 \times 2.5 \times 2.5) \text{ km}^3$ にすると巣の体積は数10%減るであろう。
- c) 観測精度が向上すると巣の体積が小さくなることが予想される。
- d) 地震の発生には必ずしも巣の全域にわたって最大歪に達する必要はない。放出エネルギーと蓄えうる最大歪エネルギーの比(効率)という考えを採用すべきである。

実さいには、この4つの理由が絡み合っているものと思うし、このことは第5節で述べられるように、他の定常的な地震の巣についても当嵌まることである。これら4つの理由の吟味が今後の課題であることを指摘したい。

§4. 地震の巣の性質 (I) — 規模と地震回数との関係

以下では、前節で求めた地震の巣のもっている基本的な性質を調査する。しかし、主として時間的な理由により、21個ある凡ての巣についてではなく、関東地方では尤も顕著且つ定常的な地震の巣、番号16~18について調べた結果を報告する。

第7図a, bは規模 M と、 M 以上の地震数の積算頻度との関係で、第7-左図は振動継続時間(堀(1973))

$$M_{FP} = -2.56 + 2.94 \log(F-P)$$

から求めたもの、第7-右図は渡辺(1971)による規模(M_W)を使った場合で両者とも、ほぼ $M \geq 2.5$ で直線にのる。いずれの場合も、巣に関係なく b の値はほぼ1.0である。また、上記の二つの M_{FP} と M_W はお互いに、よく一致することが確かめられている。

$M \geq 2.5$ 以上で第7図a, bのように直線になるということは、 $M \geq 2.5$ の地震が漏れなく観測されていることを示すし、また、前節で決められた地震の巣が大ききとして小さ過ぎないこと、さらに、一つの活動の単位として認められることを示している。

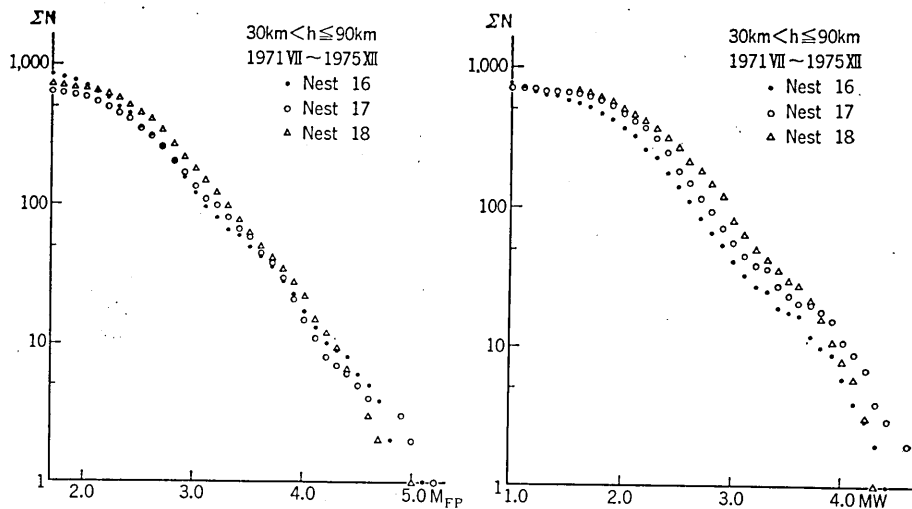


Fig. 7. Magnitude-frequency relation for nests 16-18. M_{FP} : magnitude determined from F-P time (total duration time) of an earthquake. MW: magnitude determined from velocity amplitude (Watanabe (1971)).

§5. 地震の巣の性質 (II)—エネルギーの放出

巣16~18で実際にどのように地震エネルギーが放出されているかを、1926年~1975年の50年間の地震について気象庁の資料にもとづいて調べたのが第8図である。気象庁の震源位置の精度は本調査に使った微小地震の精度と同一でない。そこで、気象庁の資料の中から巣16~18に属する地震を選ぶ段階で、第3節の巣の境界から5~10 km 離れているものも採用することとした。

第8図では、巣16と17のエネルギー放出の時間的レートはほぼ一定であると考えられるが、巣18はある時期に集中してエネルギーが放出されている。こういう問題を論ずるには採用した50年間という期間は短かすぎると思われる。整理すると第3表のようになる。第3節に示したように、単位体積中の最大歪エネルギーを1/2, 1/4にした時の値を第3表の第8, 第9列に示した。この表から、地震の巣に蓄えられる歪の全歪エネルギーが放出される(この期間をサイクルと呼ぶことにする)には、数百年~数千年の時間がかると言えそうである。これは内陸の大地震は数百年~千年に1回のわりで同一地点にくりかえすという考えと一致する。

しかし数百年~数千年というサイクルは長すぎるという考えもありうる。こういう立場に立つと第3節末尾に記した a), b), c), d) を考慮することが、このような定常的な地震の巣についても必要となる。このとき、d) にのべた効率という考え方の適用は、巣における地震活動サイクルを短縮する考え方に通ずる。また、効率のとり方によってサイクルを自由にかえることができるので巣16~18のような定常的な地震の巣に効率という考え方を適用するためには、全く別の観点から独立に効率をきめることが必要であるし、それはサイクルとは何か(大地震のサイクルとの異同とも関連して)という問題や、巣の中で、どこがどんな歪状態のときに地震が発生し、どのように巣の中に拡がるかという問題とも

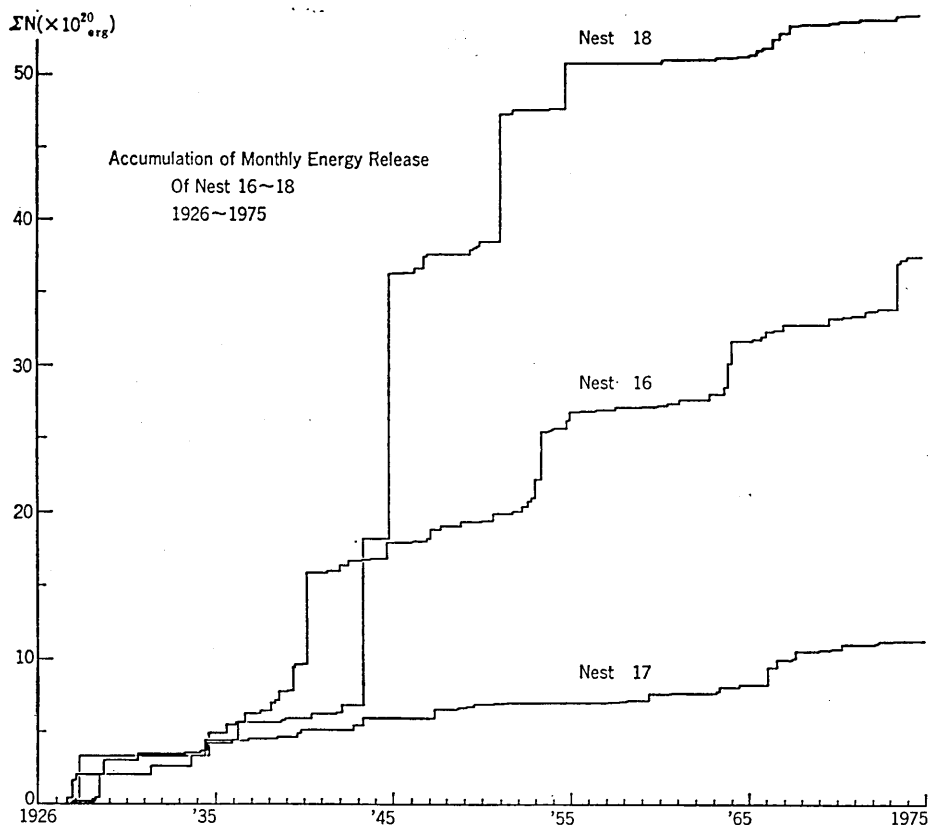


Fig. 8. Cumulative value of monthly energy release for nests 16-18 from 1926 to 1975.

Table 3. Actual and calculated energy release for the nests 16-18.
 a*: Period during which the maximum energy released, under the assumption that the maximum strain energy/cm³ is half and one-fourth of the assumed value, namely, 10⁴ erg. b*: Magnitude corresponding to column a*.

Ref. No. of Nest	Max. Energy Stored	M	Energy Release between 1926 and 1975				a*	b*
			Energy	M. corresp. to the left col.	Rate of Energy Release/year	Period of Cycle		
16	1.8 × 10 ²³ erg	7.6	3.76 × 10 ²¹ erg	5.85	0.75 × 10 ²⁰ erg	2400 year	1200 year 600	7.4 7.2
17	2.2	7.7	1.16	5.5	0.23	9596	4782 2391	7.5 7.3
18	2.2	7.7	5.43	5.95	1.09	2018	1009 505	7.5 7.3

関係のある重要なものである。

なお、関東地方の地震の巣には、地震が平面上や直線上に配列するというものではなく、ある体積の中に分布しているものが多いことは紛れもない事実である。したがって、個々の地震の発生については断層説をとるという立場にたっても巣という単位を考えるとときには体積的な考えをとり入れることは、第一段階としては差支えないと考えられる。上述の a), b), c), d) を一つずつ着実な資料にもとづいて研究して行くことが将来の問題となる。

§ 6. 地震の巣の性質 (III) — 活動の周期性

この節では各々の巣の中の活動に周期性があるかどうかを考える。島崎 (1972) が用いた Fisher の方法を採用した。第 9 図は 1 日ごとの地震回数に基いて求めたフーリエスペクトルの \cos - と \sin - の項の合成振巾で正規化されている。計算の都合上、周波数 f にして $0.002 \sim 0.2$ の間と、 $0.2 \sim 0.5$ の間を別個に計算し、 $f=0.2$ で振幅が同じ値をとるように図示してある。

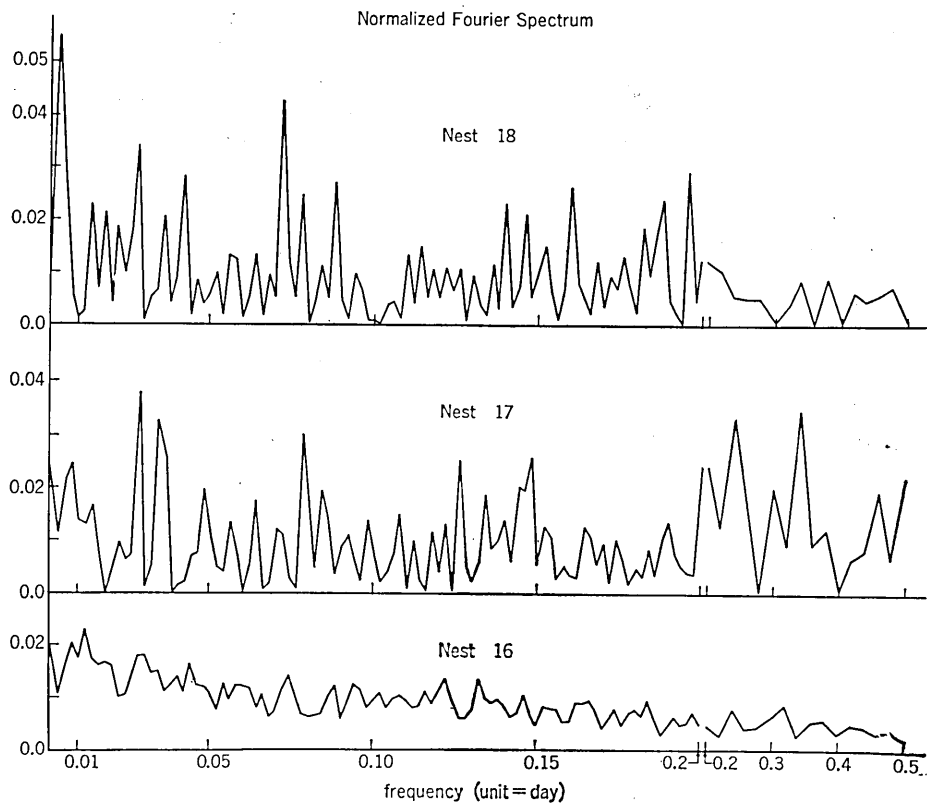


Fig. 9. Normalized Fourier spectrum for nests 16-18 based on daily number of earthquakes. Spectra with frequency larger than 0.2 and smaller than 0.2 were calculated separately and are arranged so that the amplitudes at frequency 0.2 coincide.

Table 4. The leading periodic components of normalized power spectra for nests 16-18 and their significances. x : number of earthquakes in every x days are used in the analysis. T_{\max} : period of the leading component of a periodogram. n : number of independent components of a periodogram. g_{\max} : normalized power of the leading component. $g'_{5\%}$: significant value for g at significance level 0.05

Ref. No. of Nest	x	T analysed	n	T_{\max}	g_{\max}	$g'_{5\%}$
16	1	5 ~500 ^{day}	100	83.33	0.0223	0.07378
"	2	"	100	"	0.0205	"
"	5	10 ~500	50	"	0.0339	0.1313
"	30	62.5~500	8	125.0	0.1635	0.516
17	1	5 ~500	100	35.71	0.0381	0.07378
"	2	"	100	"	0.0383	"
"	5	10 ~500	50	45.45	0.0747	0.1313
"	30	62.5~500	8	500.0	0.2471	0.516
18	1	5 ~500	100	250.0	0.0551	0.07378
"	2	"	100	"	0.0646	"
"	5	10 ~500	50	"	0.0953	0.1313
"	30	62.5~500	8	"	0.4816	0.516

第4表に最大フーリエ振幅の周期と、その有意性に関する計算値を示した。第4表の第2列目の1, 2, 5, 30は、それぞれ毎日、2日間、5日間、30日間の地震数の和に基いて、フーリエスペクトルを計算した場合である。たとえば $x=30$ は毎月の地震数を基準にして、それに周期性があるかどうかを調べたものである。このように x 日の和をとると、地震数0という区間数が減少して考えやすくなる。表から x の値は、最大振幅の周期に殆ど影響しないことがわかる。この表では $g_{\max} \leq g'_{5\%}$ がつねに成立つ。いゝかえれば、どの周期成分も5%の危険率では有意ではない、つまり5%の危険率で有意な周期性はみとめられないこととなる。第4表の計算結果は $f \leq 0.2$ の結果にもとづいたもので $0.2 \leq f \leq 0.5$ の結果は考慮に入っていない。しかし、 $0.02 \leq f \leq 0.5$ の範囲で、5%危険率における有意な周期性はないことは第9図、第5表および Fisher の理論から容易にわかる。

なお、この節の計算には、余震もすべて地震回数として採用した。

§7. 地震の巣の性質 (IV) —異なる巣の活動の相関

巣16~18相互間の時系列としての地震活動の変化に相関があるかどうか調べた。第10図には、巣16と17の相関を示す。上図は毎日の、中図は毎2日間の、下図は毎10日間の地震数に基いて計算した結果である。実線は巣16が17に対して先行している場合、点線はその逆の場合である。また、この計算には余震も毎日の地震数に含めてある。巣16で

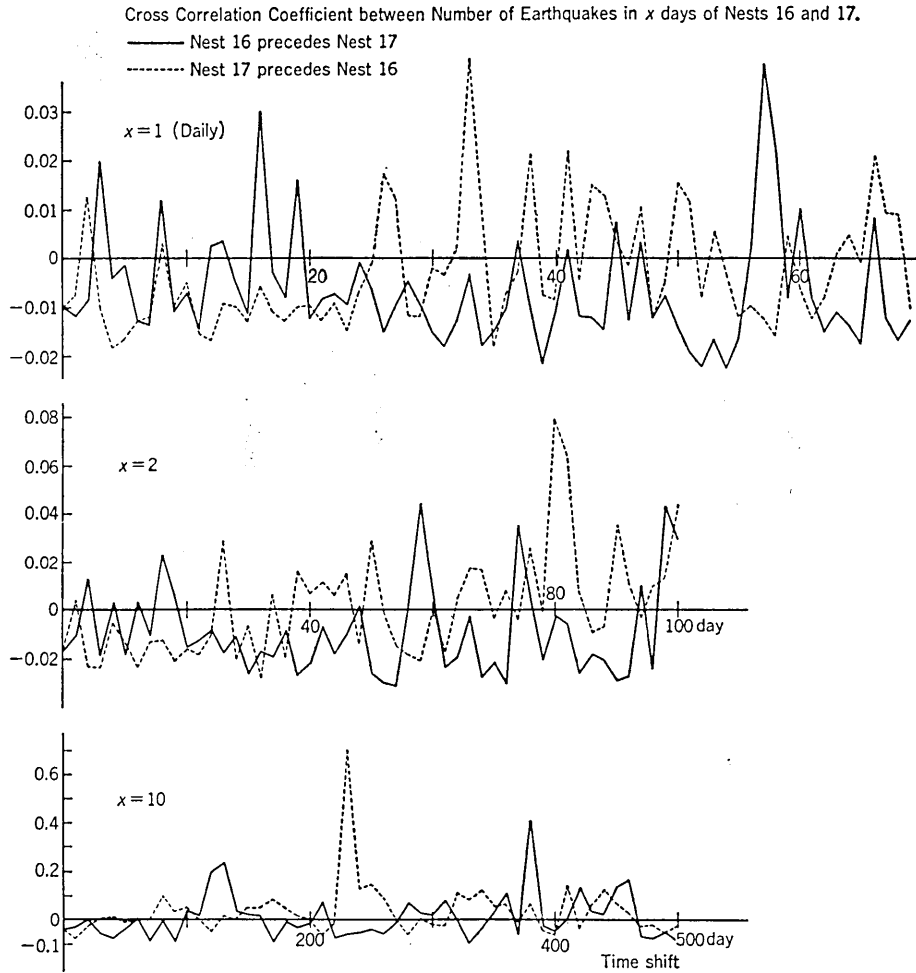


Fig. 10. Cross correlation coefficient between number of earthquakes of the nests 16 and 17. Sums of the number of earthquakes in x days are employed for the analysis.

は1974年8月に、17では1975年3月に、かなりの地震があり、多くの余震をとまなっている。第10下図の点線のピークは巣17を約230日、巣16に対して先行させ、上記の地震の多い月を重ねたときの値となっている。この時の相関係数は0.7と高い値を示しているが、多数の余震が集中して発生したことによる効果であって、定常的に、巣16に約230日おくらせて巣17の時系列が似たパターンを示すということではない。また、余震を除いた場合についても計算を試みたが、すべての場合に相関係数は0.2~0.3どまりであり大きくても0.5を超えることはなかった。以上のような計算は巣16と18、17と18の間についても行ったが相関が0.5を超えることはほとんどなかった。たとえ、そういうことがあっても、上述の巣16と17のような場合に限られ、これをもって、物理的に意味のある相関があるということとはできない。したがってこの3つの地震の巣の活動については時

系列として相関はないと結論することができる。

§8. 地震の巣の性質 (V) — 余震域と巣の関係

この節では巣 16~18 について、余震域と巣との関係について考える。調査期間の間に生じたやゝ大きい地震とその余震は第 5 表にまとめてある。第 7 列に示す期間に本震と同じ巣の中に発生した地震を余震と考えた。その分布は第 11 図 a, b, c に示す通りである。第 5 表の第 8, 9 列は図中に示す記号を示す。第 8 列は、本震と同じ巣の中にあるもの、第 9 列は、第 7 列の期間中の地震で本震と同一の巣の中にはないが、本震との位置関係から余震と考えることもできる地震である。このらんの記号のわきの数字は、こういう地震の数であり、それは第 10 列の数字には含まれていない。つまり第 10 列は本震と同じ巣の中にある余震の数である。また第 9 列で何も記していない所は、相当する地震のないことを示す。

第 11 図の黒丸は、第 5 表の地震とその余震以外のもので、それぞれの巣における定常的な地震活動を示す。図をみると、第 5 表の第 9 列の地震は、数が少く、余震密度の大きい所から離れているので、強いてこういう地震を余震と考えるよりは、余震とは別の定常的な活動とみる方がよいのではないかと思う。

第 11 図から、1) 地震の巣は定常的な地震活動によって規定される。2) 巣のなかに余震を伴うようなかなりの地震があっても、余震は本震と同じ巣の中に限られる。とくに巣

Table 5. List of earthquakes accompanied by aftershocks in the nests 16-18. a: symbol of aftershocks in the same nest as the main shock. b: symbol of aftershock outside the nest of the main shock. Numeral beside the symbol in column b is the number of corresponding earthquakes. The last column does not include aftershocks in column b but includes fore- and main- shock.

Ref. No. of Nest	Origin Time (JST)		Main shock				Assumed period of aftershock	Symbol in Fig. 11		No. of after-shock
			λ (E)	φ (N)	h km	M_{FP}		a	b	
16	1974. 8. 4	3 ^h 16 ^m	139.91°	36.08°	61.89	5.9	Aug. 4~17	○	△ ₁₁	255
16	1974.10. 9	4 ^h 42 ^m	139.93	36.07	54.25	4.8	Oct. 9~13	◎	△ ₁	24
17	1974. 4. 5	4 ^h 33 ^m	140.15	36.03	71.44	4.3	April 5~ 7	○	△ ₂	17
17	1975. 3.30	4 ^h 57 ^m	140.10	36.20	72.14	5.0	March 30~31	◎	△ ₂	33
18	1971. 9.10	13 ^h 55 ^m	140.23	35.65	62.96	4.0	Sept. 10~11	◎		13
18	1972. 2.27	19 ^h 33 ^m	140.15	35.50	74.49	3.6	Feb. 27~28	◎	△ ₂	25
18	1972. 4. 2	15 ^h 56 ^m	140.19	35.66	82.20	3.5	April 2~ 3	×	▽ ₂	7
18	1973. 9. 5	7 ^h 21 ^m	140.28	35.66	88.77	4.2	Sept. 5~ 6	□	□ ₁	11
18	1975. 1.11	8 ^h 0 ^m	140.26	35.64	67.71	3.6	Jan. 11~12	◻		10
18	1975. 6. 1	8 ^h 13 ^m	140.17	35.57	76.77	4.1	June 1~ 6	○		20

16, 17 のように相接した場合にも, この原則が成立している. 3) 余震域は巣の中に一杯にひろがるのではなく, 本震の大きさに 応じ余震域の大きさが異なるの 3 点がわかる. これは本報告の方法で定めた地震の巣が, 基本的な地震活動の単位になっていることを示す.

§9. あとがき

画像処理の手法を応用して, 関東地方の微小地震データをもとに, 地震の巣を定義し, 21 の巣を定めた. そのうちの, 特に重要な 3 つの巣について, 基本的な性質をしらべ問題点を指摘した. その結果, 本報告で定めた巣が基本的な地震活動の単位であることがわかった. このことは, 関東地方の微小地震観測網の震源決定の精度が満足すべきものであることを示唆する.

本報告には 1971 年 7 月~1975 年 12 月の 4.5 年間のデータを使った. この期間は地震の巣の決定にはやゝ短期にすぎきるらいがある. 今後 5 年くらいのデータを加え, 少なくとも合計 10 年間のデータで最終的な巣を定めるつもりである. また, 本報告では 21 の巣のうち 3 つについて, 詳しくしらべたが, 他の 18 の巣についても順次に調査を行いたい. さらに, 基本的な性質のうち, 発震機構, 地震記象の顔つき, 周期特性などは未調査である, 将来の問題として考えたい.

本調査に関して, 地震研究所の微小地震観測網の資料を使わせていただいた. 津村助教授をはじめ, 関係の皆さんに感謝の意を表する.

文 献

- 堀 実, 1973, 堂平微小地震観測所の観測による近地地震のマグニチュードの決定, 東大・地震研究所速報 No. 10-4, 1-4.
- 長尾 真, 金出武雄, 1972, パターン認識における緑・線の抽出, 電気通信学会誌, 55, No. 12, 1618-1627.
- 尾池和夫, 1976, 微小地震の時空分布と活断層, 地質学論集, No. 12, 59-73.
- 力武常次, 1976, 地震予知論入門, 共立出版, p. 178.
- 島崎邦彦, 1972, 地震発生の周期性について, 地震, 第 2 輯, 25, No. 1, 24-32.
- 坪井忠二編, 1966, 地球物理学, 岩波書店, p. 208.
- 津村建四朗, 1977, 最近の主な地震前後の微小地震活動, 東京直下地震に関する調査研究 (その 4). 東京都防災会議, 260-275.
- 宇佐美龍夫, 溝上 忠, 牧 正, 吉田 満, 飯坂諒二, 佐藤武治, 1976, グラフィック・ディスプレイの地震学への応用——記録のよみとりおよび地震活動と地質構造の関係——, IBM サイエントフィックセンターレポート, N: GE 18-1843, pp. 1-76.
- 渡辺 晃, 1971, 近地地震のマグニチュード, 地震, 第 2 輯, 24, No. 3, 189-200.

Fig. 11a-c. Distribution of earthquake foci for nests 16-18. Solid circle means ordinary activity. Other symbols mean swarm activity including fore-, main- and after-shocks. For meaning of symbols, refer to Table 5. Arrows show the main shock of each swarm. The oblique (right downwards) line in figure 11-b divides the foci symbols belonging to the horizontal and vertical sections.

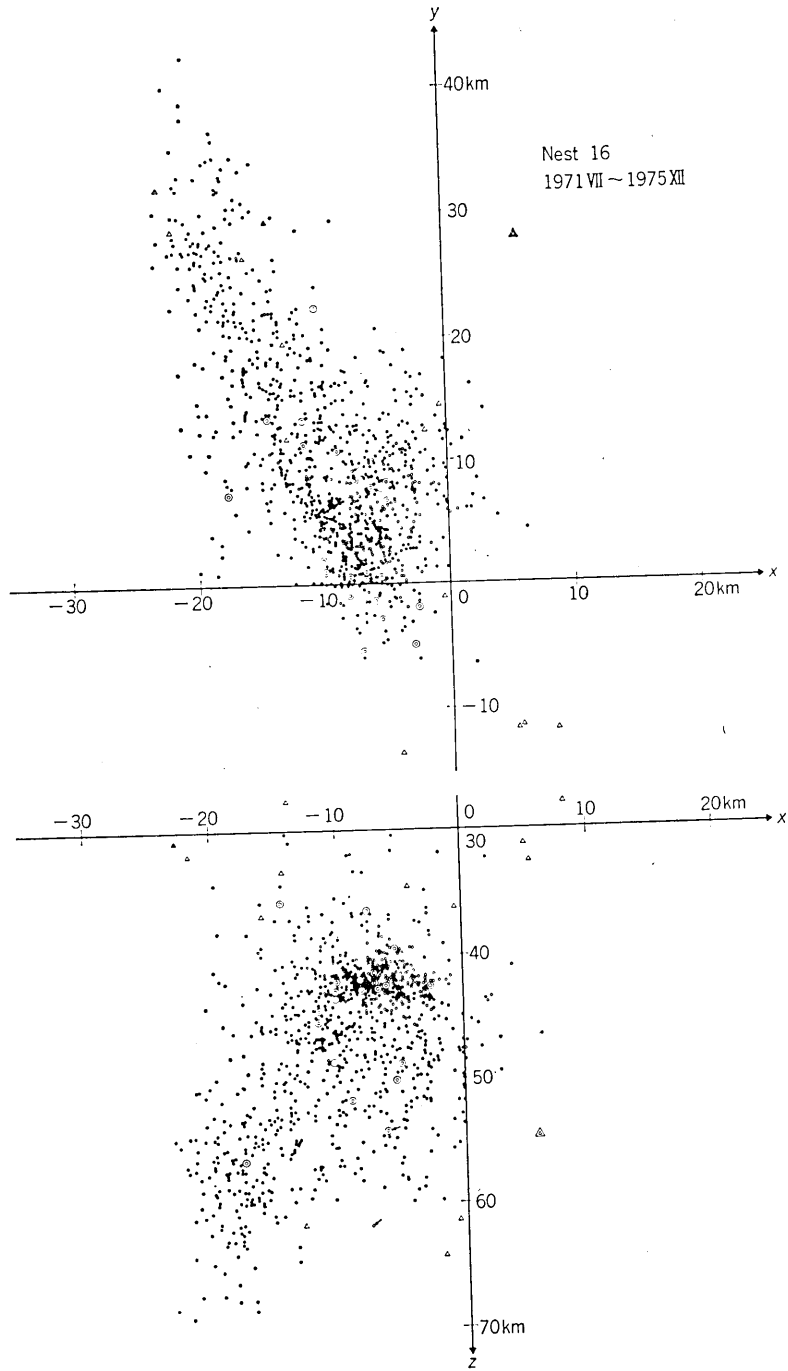


Fig. 11-a

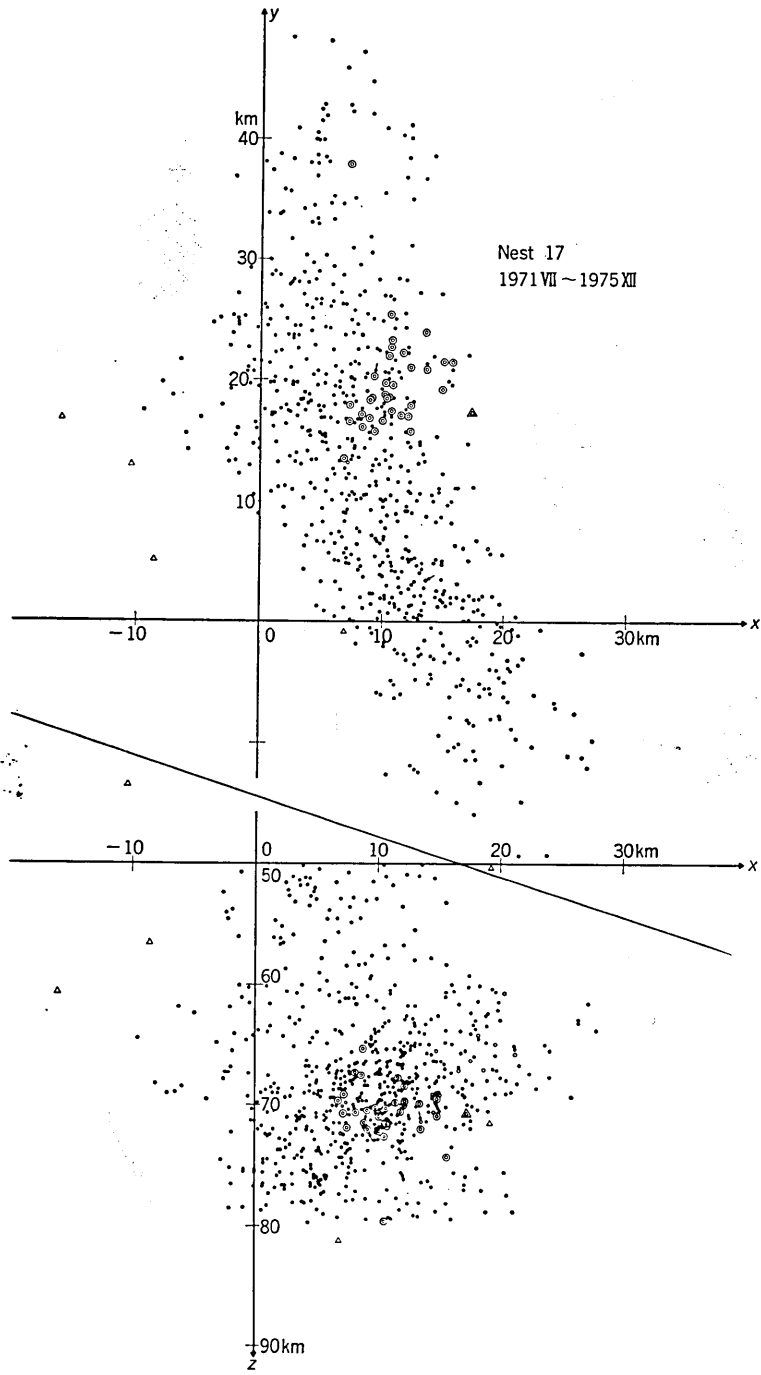


Fig. 11-b

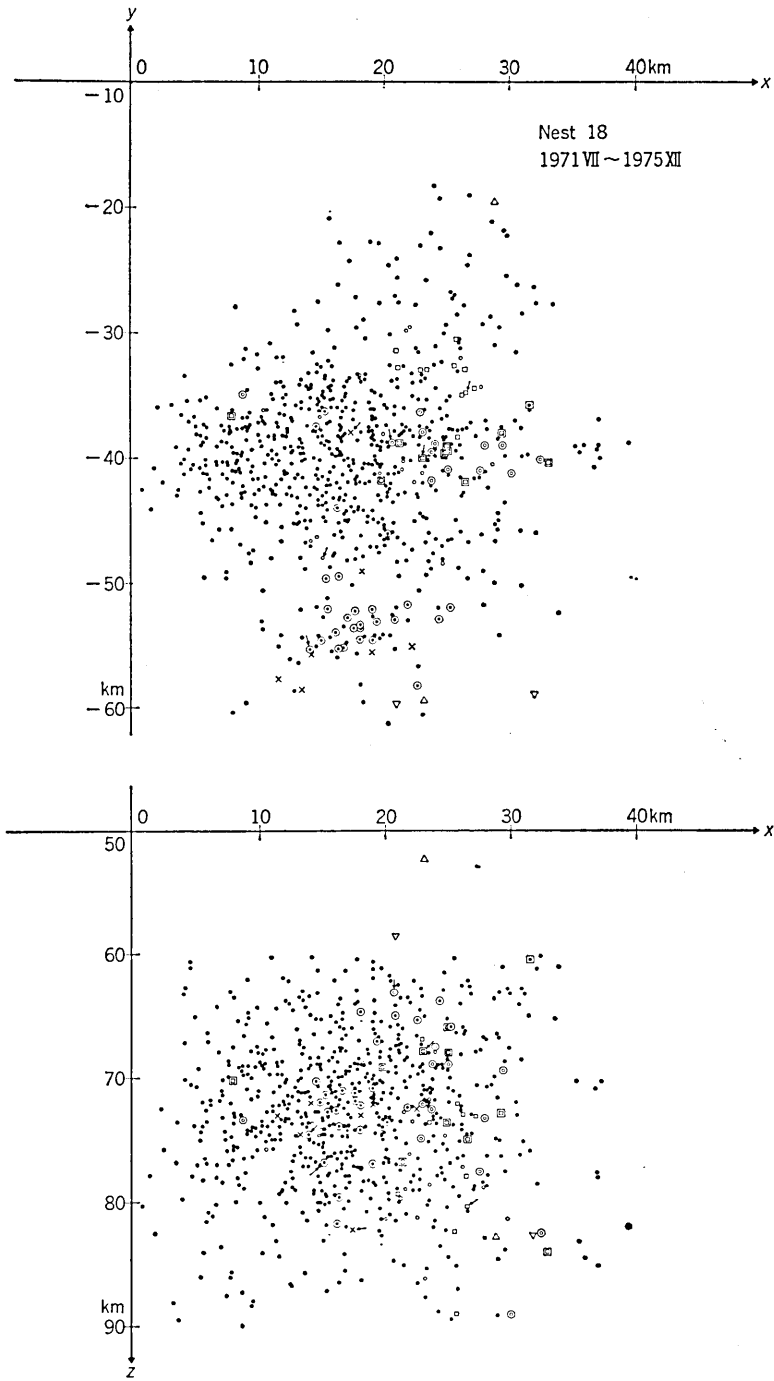


Fig. 11-c

26. Definition and Characteristic Features of a Seismically Active Region (Earthquake Nest) in the Kanto District

By Tatsuo USAMI

and

Tadao WATANABE,

Earthquake Research Institute.

Applying boundary decision technique developed in the field of image processing, we propose a method of defining an earthquake nest. This method was applied to micro-earthquakes in the Kanto district from 1971 VII to 1975 XII and twenty-one earthquake nests were identified.

The fundamental characters of and between nests were investigated using the most famous and most active nests (No. 16-18) near Tsukuba Observatory and in central Chiba prefecture.

The main results obtained are:

1. The magnitude—frequency relation within each nest shows satisfactory features, suggesting that the definition of earthquake nest is suitable (or the size of nest is not too small).

2. Simple comparison of energy release between 1926-1975 and maximum energy stored in each nest shows that the energy release cycle is about several thousand years.

3. Normalized Fourier spectrum analysis shows no periodicity in the activity of each nest and the study of cross correlation coefficients shows that activities of different nests are mutually independent.

4. A nest is determined by stationary activity and not by earthquake swarm which take place occasionally. Each nest includes several swarms. But the region of earthquake swarms does not spread outside the nest in which the main shock is located.

From the above results, it may be said that the earthquake nest defined in this paper exhibits essential characters necessary for a seismically active region.