

地震の空間分布についての一調査*

— 北海道地域 —

沢田 可洋**

550. 341

On Space Distribution of Earthquakes

— in Hokkaido District, Japan —

Yoshihiro Sawada

(*Seismological Division, JMA*)

Using the method on space distribution function by Y. Tomoda (1952), the distribution of space-distance (s) between neighbouring earthquakes is investigated in Hokkaido district, Japan (40° – 46° N and 138° – 146° E). Data used in the present study are the earthquakes observed by JMA during the period from 1961 to 1970, and they are divided into three groups according to their focal depth; 0–40 km, 50–100 km and deeper than 110 km.

Frequency distribution ($f(s)$) of s for all earthquakes and three groups divided by their depth is represented in the power distribution function; $f(s) = k s^{-q}$, where k and q are constants. Numerical value of q decreases with increasing hypocentral depth, and shallow earthquakes have the tendency of spatial concentration comparing with deeper ones'.

It is supposed that the so-called pattern of epicentral distribution in some district during some period is gradually formed by two kinds of seismic activities; one is active seismic activities like as after-shocks and earthquake swarms which successively occur in both time and space, and another is intermittent activity which is essentially subject to earthquakes.

§ 1. まえがき

地震の規模別分布, 時間間隔の分布などから地震活動を客観的に見る研究は極めて多いが, 空間分布がどのような分布関数で表わされるかという研究は少ない。これは地震の発生がいわゆる地震帯と呼ばれる狭い地域に限られているため, 改めてどのような分布関数で表わされるかということは考えにくいからであろう。しかし1つの地震帯の中で地震が, 一様に分布するのではなく, ある地域では密, ある地域では粗という分布をし, あるいは浅い地震と深い地震とでは震源分布様式が異なっている。

このような地震の空間分布がどういふ関数で表現され

るかは, 地震の起り方というサイスミンシティの物理的性質の一面を知る上で有効であろう。本小論では北海道地域について発生した地震を深さで3つに大別して地震の距離間隔の分布を調べた。

§ 2. 資料および方法

気象庁の震源リスト (1958, 1966, 1972) から1961~1970年までの10年間に北緯 40° – 46° , 東経 138° – 146° の範囲内に発生した地震を選び, これを深さにより 0–40 km, 50–100 km, 110 km 以深の3つに大別した (110 km 以深のものは1931–1960年までの30年間分を加えた)。

この地域内でこの期間に1,277個の地震が発生し, そのうちで最も深い地震は360 kmであった。各グループ別の地震の個数は Table 1 に示した。

* Received March 30, 1974

** 気象庁地震課 (現科学技術庁)

Table 1. Number of earthquakes in Hokkaido district used in the investigation.

Depth range	Number of earthquakes
0 — 40 km	721
50 — 100	438
≥ 110	118
	211 (1931—1970)
Total	1277

空間分布則を調べる際、異なる地震間の距離間隔のとり方は色々と考えられるが、これまでの研究における方法と、その結果の概要は次のとおりである。

(1) 友田 (1952) の方法

(a) 震央分布図を等間隔の分割線で区切り、その中の隣り合う地震間の距離 s を Fig. 1-a のよ

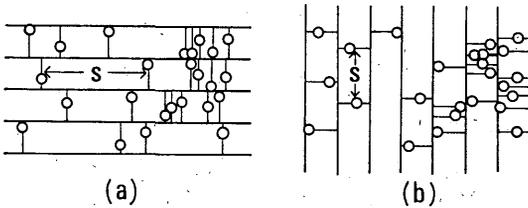


Fig. 1. Plots which show methods for measuring s . The epicentral distribution map was divided by straight lines at equal interval, and the distance (s) between two neighbouring earthquakes was measured (a). Then the frequency distribution ($f(s)$) of s was counted. The same method was used by rotating the co-ordinates by $\pi/2$ (b) (after Y. Tomoda (1952)). The interval between straight lines, used in the present study is 5'.

うに測り、その頻度 $f(s)$ をとる。

(b) (a)を90°回転させた場合に同様の操作をする (Fig. 1-b).

(c) 地震の密集地帯の中心に点を取り、等間隔の同心円を描き、2本の同心円に仕切られた中で地震間の距離を測る。

(a)(b)(c)の方法で関東地方の地震について検討したが、何れの方法でも $f(s) = ks^{-q}$ (k, q は定数) という関係が成立した。

(2) Tamaki (1961) の方法

等面積のメッシュで震央分布図を仕切り、メッシュの中の地震の数を数え N 個の地震があるメッシュの頻度 $G(N)$ をとり、日本付近の地震について

$G(N) = qp^{N-1}$ ($p+q=1$) という関係を得た。

(3) Z. Suzuki and K. Suzuki (1965, 1966) の方法

(2)の方法により世界および日本の地震について規模別、深さ別に調べ何れの場合でも $p(N) = \gamma N^{-\delta}$ (γ, δ は定数) が成立した。(1)での q とは $q = 3 - \delta$ の関係があることを示した。

(4) 吉田 (1973) の方法

地震を深さ別に分け、地震の発生順に相次ぐ地震間の距離 s の頻度をとった。関東地方の地震について調べると深さ別に分布の形が異なり、統一的な分布関数を与えることはむづかしいが、地震全体としては $f(s) = \frac{1}{\mu} e^{-(1/\mu)s}$ という式が得られた ($\mu = 126.04$)。

また、浅い地震の方が、深い地震より空間的続発性が強いことを示した。

筆者は友田 (1952) が用いた方法のうち (a)(b) の方法 (Fig. 1) によって距離間隔 s を測り、その頻度 $f(s)$ を調べた。ただし、分割線は南北と東西方向で、その間隔は 5' とした。

§ 3. 震央分布

北海道地域における 1961~1970 年までのすべての地震、深さ 0~40 km の地震、50~100 km の地震、110 km 以深の地震の震央分布図を Fig. 2-a~d に示した。なお 110 km 以深の地震のより平均的な分布を見るため 1931

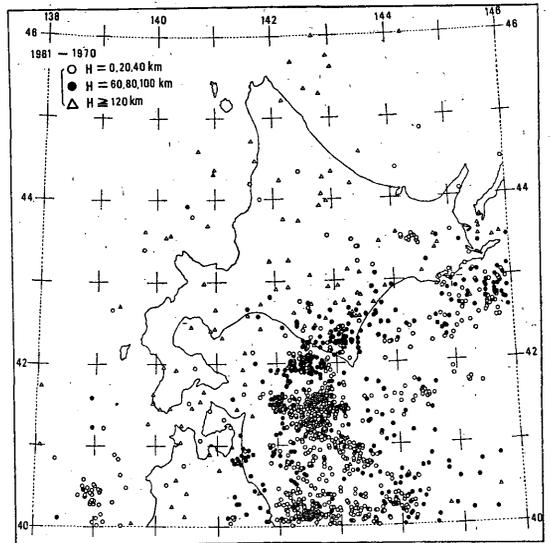


Fig. 2-a. Distribution of all earthquakes which occurred in Hokkaido district in the year from 1961 to 1970. H denotes hypocentral depth of earthquakes.

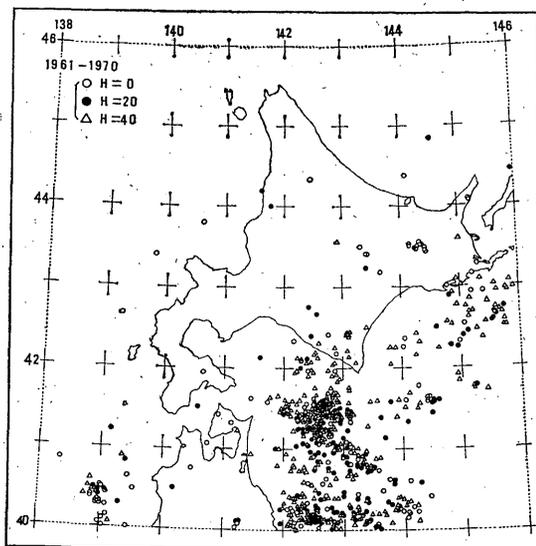


Fig. 2-b. Distribution of earthquakes whose depths are 0-40 km.

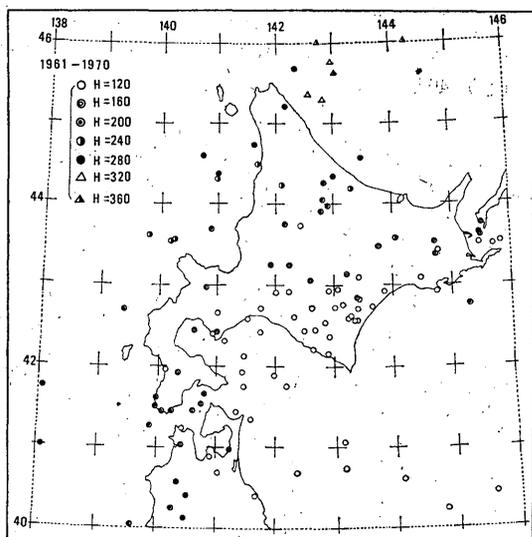


Fig. 2-d. Earthquakes deeper than 110 km.

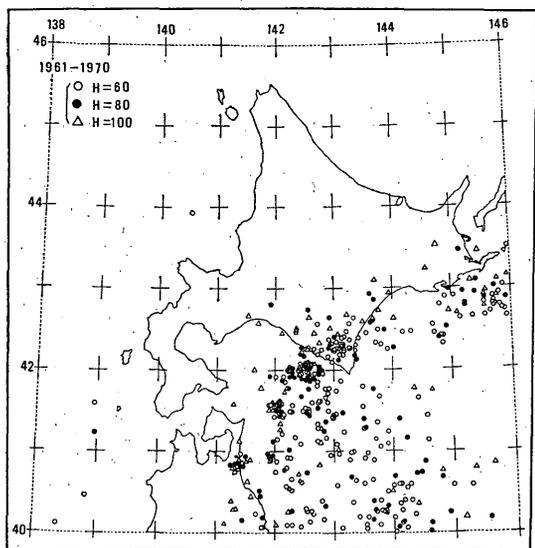


Fig. 2-c. Distribution of earthquakes whose depths are 50-100 km.

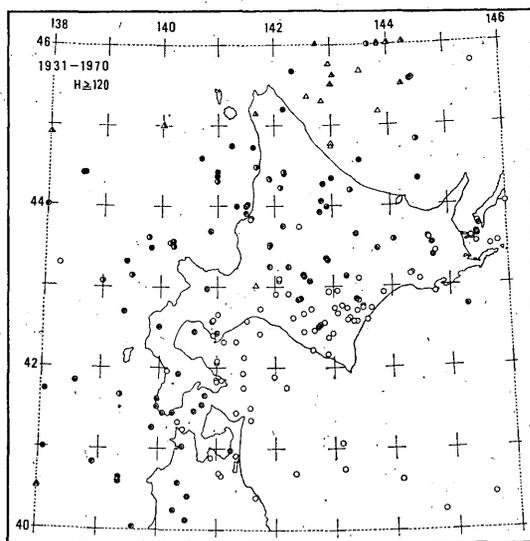


Fig. 2-e. Earthquakes deeper than 110 km in the year from 1931 to 1970. Symbols are the same as those in Fig. 2-d.

～1970年までの40年間の分布図も作成した(Fig. 2-e).

これらの図は表示した期間中の地震をプロットしたもので、規模を考慮していないため厳密な意味でのサイスマシニティを反映しているとは言えないが、北海道地域において10年間で形成された一応の平均的な地震分布を表現していると言える。

Fig. 2-a から根室半島南方沖, 日高山脈南部～浦河沖,

下北半島東方沖～岩手県沖, 男鹿半島沖に地震の密集している部分が見られる。大きく見れば 40 km 以内(ほぼ地殻内に生じている)の地震, 50～100 km (マントル上部)の地震, そしてより深い地震が帯状に配列している。

Fig. 2-b～e 図から深さ別に地震の密な部分をまとめると次のようになる。

(1) 0km 弟子屈, 下北半島東方沖, 岩手県沖, 男

鹿半島沖.

- (2) 20 km 下北半島東方沖, 岩手県沖.
- (3) 40 km 根室半島南方沖, 浦河沖, 下北半島東方沖, 岩手県沖.
- (4) 60 km 根室半島沖, 日高山脈南部~浦河沖~岩手県沖.
- (5) 80 km 根室半島沖, 日高山脈南部~浦河沖~青森県沖.
- (6) 100 km 頻度は減るが, 根室半島付近から岩手県岸にかけてほぼ連続する.
- (7) 120 km, 160 km 頻度はさらに減るが, 内陸部にほぼ連続して分布する.
- (8) 200 km 以深 東縁は完全に内陸に入り頻度は少ない. 深くなるにつれ, より西側へ広がるが, 完全には連続しない.

このように浅い地震ほど密集の度合いが強く, 地震が深くなるにつれ, 密集というよりもまばらに分布し, かつ, 連続するようになる.

§ 4. $f(s)$ - s の関係

縦軸に $\log f(s)$, 横軸に s を取りプロットすると, すべての地震, 深さ 0-40 km, 50-100 km, 110 km 以深の地震の何れの場合も下に彎曲した形となり, 直線に適合させることはできなかった——少なくとも $\log f(s) - \log s$ (べき分布) の場合より直線への適合が悪い.

Fig. 3-a~c に示したように, s が 20 (100') を越える部分では直線への適合は余り良くないが, 北海道における地震については, 何れの場合も友田 (1952) が関東地方について得た $f(s) = ks^{-q}$ というべき分布で表現できる.

図中の実線および q の値は N-S 方向, E-W 方向に分割線を引いて求めた s に対する $f(s)$ の 2 つの値を平均し, $s=20$ 以内で最小自乗法により計算したものである. Table 2 には夫々の場合の k と q の値を示した.

ただし 110 km 以深の地震については, 10年間の資料だけでは分布関数が得られなかったため, 1931~1970年までの40年間のものを扱った. このことは 110 km より深い地震の発生頻度が少なかったためであって, 統計処理をする際の母集団としての平均的な分布の形が, 40年分の資料により整えられたと考えられる.

q の値は深さ 0-40 km のものが最大で, より深いグループになるにつれ小さくなる. したがって浅い地震ほど距離的に近接して生じている. すべての地震についての q は浅い地震のものより小さく, 深い地震の値より大

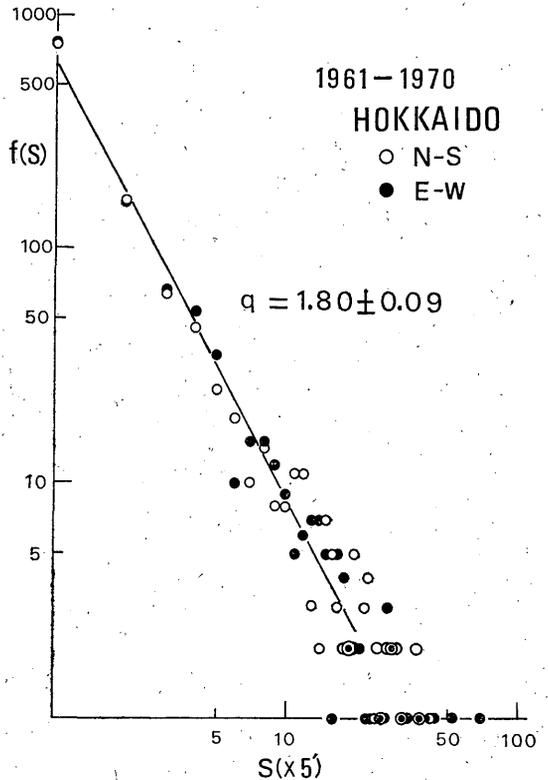


Fig. 3-a. Frequency distribution of s for all earthquakes in Hokkaido district during the period from 1961 to 1970. The full line denotes the power distribution function $f(s) = ks^{-q}$ with the value in Table 2, within the range of $s=20$ ($=100'$) calculated by the method of least squares.

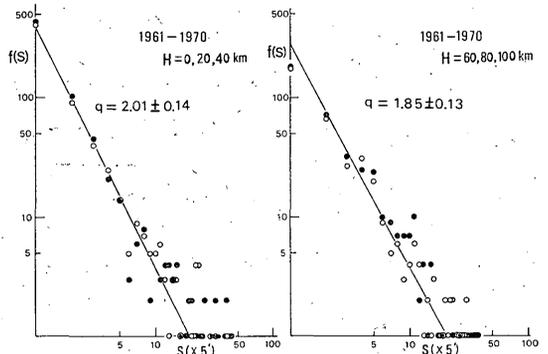


Fig. 3-b. Frequency distribution of s for earthquakes with the depth of 0-40 km (left) and 50-100 km (right). The full lines are the same as used in Fig. 3-a.

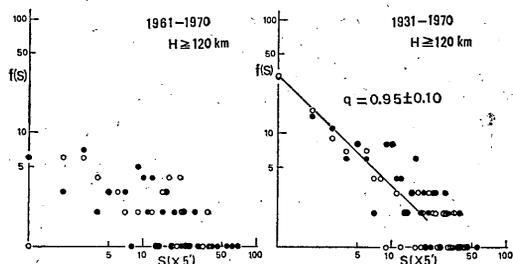


Fig. 3-c. Frequency distribution of s for earthquakes deeper more than 110 km in the year from 1961 to 1970 (left) and from 1931 to 1970 (right). The full line is the same as used in Fig. 3-a.

きい。このことから、浅い地震は距離的に近い所に分布し、深い地震は離れて分布している地震が多いと言える。

§ 5. 考察

この調査は、10年間という期間で形成された北海道地域の地震の分布を対象としたものであって、時々刻々と変わる地震活動の変化を対象としたものではない。隣接する地震の距離間隔の頻度分布が、ベキ分布になったことの物理的な意味は、地震間の距離が小さいほど地震の数は確率的に多いということ、あるいは s という距離間隔で地震が生じる頻度は、距離が近いほど高く、離れた地震の頻度は小さいということである。

ベキ分布をとったことから、空間的続発性が強いと表現することもできるが、宇津(1969)は地震の時間間隔の分布において、地震の発生が時間的にランダム、かつ、定常であれば、時間間隔の分布は指数分布となるが、逆は必ずしも成立せず、例えば比較的狭い範囲で扱った場合は、ベキ分布をとっても範囲を広くすると指数分布となると指摘している。この点は空間分布についても同様で、対象地域の広さ、期間、処理方法により分布関数は変わり得る。

ところで、有感地震や被害地震などのように大きい地震の時間間隔の分布は、 $f(\tau)d\tau = Ae^{-q\tau}d\tau$ で表わされ、

小さい地震は $f(\tau)d\tau = B\tau^{-q}d\tau$ という分布関数をとることが知られている。つまり、個々の大地震は、時間的にランダムに発生するが、大地震に伴う余震活動や群発地震は時間的に続発する。他方、時間的には続発性がなくても、地震が定期的が生じる地域もある。

本調査で対象とした10年間の北海道地域の地震分布の中には、1968年十勝沖地震をはじめ、いくつかの余震を伴う地震があり、これが地震の密集部をつくり、浅い地震の q が大きくなった原因の1つともなっている。同時に浦河沖などのように深さ 80 km の地震が短い期間で群発はしなくとも、10年という期間では空間的に密集するという地域がある。

したがって、ある地域である期間に得られた地震の分布のパターンというものは、その地域の平均的な分布の形を示すが、時間的・空間的な地震のおこり方から見れば、時間的にランダムに生じた大地震により、余震が続発したりあるいは、ある場所で地震が群発するという活動(時間・空間的に続発)と、地震が起こりやすい地域での地震活動(長期間では空間的に密集)とが共存して、その地域の地震活動のパターンが形成されると考えられる。

§ 6. まとめ

1961~1970年までの10年間で北海道地域(北緯 $40^{\circ} \sim 46^{\circ}$, 東経 $138^{\circ} \sim 146^{\circ}$)に生じた地震の空間分布について、友田(1952)が用いた方法により、0—40 km, 50—100 km, 110 km 以深(1931~1970年まで40年間)の深さ別に分けて距離間隔の分布を調べ、次の結論が得られた。

(1) 距離間隔 s と頻度 $f(s)$ の関係は次式のベキ分布で表わされる (Fig. 3).

$$f(s) = ks^{-q} \quad (k, q \text{ は定数})$$

(2) 深さ別に大別したもの、および、地震全体についてもベキ分布で表わされ、 q は浅い地震の場合が最大で、深くなるにつれて小さくなる (Table 2).

(3) 浅い地震は、深い地震と比べて密集している。

Table 2. Numerical values of q and k determined by the method of least squares, using average ones between two values obtained by the method shown in Fig. 1 (a and b) within space-distance $s=20(100')$.

Depth range	0 — 40 km	50 — 100 km	≥ 110 km (1931 — 1970)	All earthquakes
q	2.01 ± 0.14	1.85 ± 0.13	0.95 ± 0.10	1.80 ± 0.09
k	364.8	271.6	30.1	561.1

なお、ある期間について得られたある地域の地震分布は、大きな地震による余震活動や群発地震のように、時間・空間的に続発性をもつ地震活動と、時間的続発性はないが定常的に同一部分で生じる活動とが合わされて平均的な地震分布を形づくると考えられるので、規模別、時間間隔の立場からも考察、調査を進めたい。

謝辞

色々と御教示いただいた地震課検測センタ所長関谷溥博士に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 気象庁 (1958) : 日本付近の主要地震の表(1926~1956), 地震月報別冊 1.
 気象庁 (1966) : 日本付近の主要地震の表(1957~1962), 地震

- 月報別冊 2.
 気象庁 (1972) : 日本付近の地域別地震表 (昭和36年~昭和45年), 地震月報別冊第4号.
 Suzuki, Z. and K. Suzuki (1965) : On Space Distribution Function of Earthquakes, The Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophysics, **17**, 9-23.
 Suzuki, Z. and K. Suzuki (1966) : Change in Spatial Distribution of Earthquakes against Hypocentral Depth, Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophysics, **17**, 159-168.
 Tamaki, I. (1961) : Seismicity in Relation to the Crust Structure, with Special Reference to Japanese Area. The Memoirs of the Osaka Institute of Tech. Ser. A, **7**, No. 2, 1-95.
 友田 好文 (1952) : 地震の空間分布に関する分布法則について, 地震Ⅱ, **5**, 1-6.
 宇津 徳治 (1969) : 地震の時間的分布に関連する諸問題 (その1)——地震の回数と時間間隔の分布について, 北海道大学地球物理学研究報告, **22**, 73~93.
 吉田 満 (1973) : 地震の距離間隔の分布について, 地震Ⅱ, **26**, 8-18.