

新潟地震前における震央付近および 隣接地域の地震活動について*

井上 宇胤**

550.340.1

まえがき

昭和39年6月16日13時01分ころ新潟沖の粟島付近を震央とする大地震が発生して大きな災害をもたらした。

将来の研究によって、この地震にどのような前徴現象があったか明かになると思われるが、今日までのところ著しい前徴現象は見付かっていないようである。

筆者はこの地震前における震央付近および隣接地域の地震活動を調査して多少興味ある事実を認めたので、ここに報告するものであるが、勿論この地震を予知するという観点からはほとんど無力なものである。

§ 1. 大地震前の震央付近の地震活動

周囲の地震活動に比較して地震がほとんど発生しない静穏な地域が相当長い期間存続し、次の数年間地震活動が幾分盛んになってから大地震となり、長い間静かであった地域を埋めるように余震の大部分が発生するという例がみられる。

第1の例は昭和27年(1952)3月4日の十勝沖地震($M=8.1$)の場合である。第1図aに示すように、昭和8年(1933)3月3日の三陸沖地震以後の1934~1947年の14年間は十勝沖地震の震央を含んで半径50kmの地域には M が4以上の地震は発生していない。すなわち、この地域は長い間地震活動の静かな地域であった。

次の期間すなわち1948年から大地震直前までの4.2年間は第1図bにみられるように、この地域の地震活動は幾分盛んになっている。そして大地震が発生したのであるが、第1図cには地震後1か月間の余震がこの地域を埋めていることが示されている。

第2の例は昭和13年(1938)11月5日の福島県沖地震($M=7.7$)の場合である。第2図aに1926~1933年の8年間のおも地震の震央の位置と福島県沖地震の主震を

含む半径50kmの地域とが示されている。

この例では前の例ほど明りょうではないが、この地域は陸地寄りの部分を除いて比較的地震活動が盛んでなく、周囲では M が6以上の地震が発生しているのにこの地域には M が6以上の地震は1回も発生していない。ところがbでみられるように、1934年から主震の発生直前までの4.8年間では、この地域にも M が6以上の地震が3箇発生しかつ前の期間で比較的地震活動が盛んであった陸地寄りの部の活動が衰えてこの地域におもな活動が集中されている。

主震発生後の1か月間の余震の震央を第2図cに示してある。以前に比較的地震活動が静かであったこの地域にこれらの余震がほとんど集中していることがみられる。さて、今回の新潟地震($M=7.5$)の場合であるが、第3図aおよび第3図bに示したように、1926~1956年の31年間およびそれに続く1957~1961年の5年間はこの地震の震央を中心として50kmの半径の地域にはほとんど地震が発生していない。ただ、1945年12月1日に M が5.1の地震が今度の地震の西北20kmの所に発生しているので、その地震以後とすると、1946~1961年の16年間はこの地域の地震活動は静かであったといえる。

次に、1962年から今回の地震発生の直前までの2.5年間は第3図cにみられるように、この地域に小区域地震が2回、稍顕著の稍深発地震($H=200\text{km}$)が1回発生するなど地震活動が僅かではあるが始まったことを示している。

以上わずかに3例であるが、大地震の震央付近は長い期間地震活動が静かであって、地震発生の数年前から地震活動が幾分盛んになるという現象は興味あることと思う。

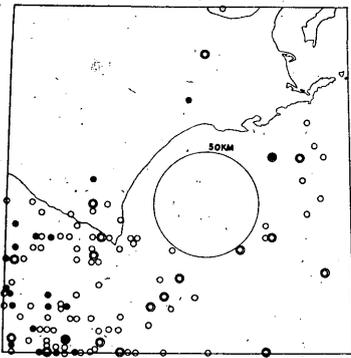
なお、以上のように大地震の震央付近(だいたい大地震の震源域あるいは余震域とみなせる)に数年前から発生する地震は広い意味の前震と見做せるのではなかろうか。

§ 2. 大地震前の隣接地域の地震活動(その1)

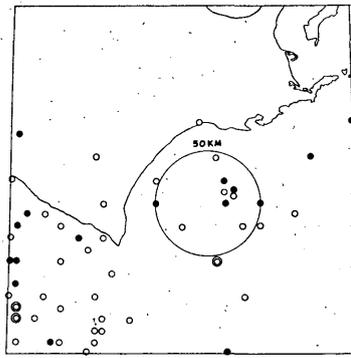
大地震前に隣接地域の地震活動が静かになる時期があ

* W. Inouye: On the Seismicity in the Epicentral Region and its Neighbourhood before the Niigata Earthquake (Received Nov. 18, 1964).

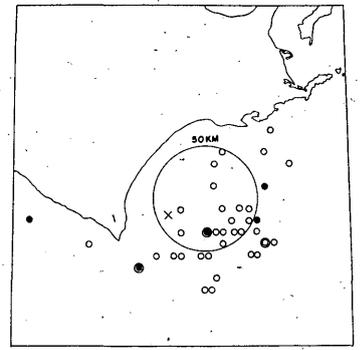
** 気象研究所



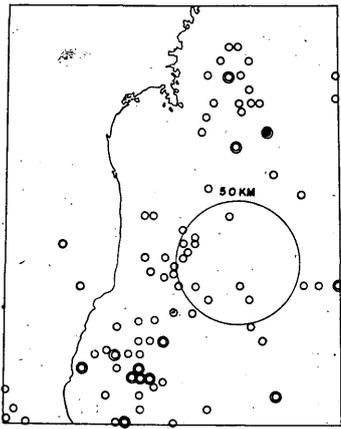
第1図a 震央分布 1934~1947



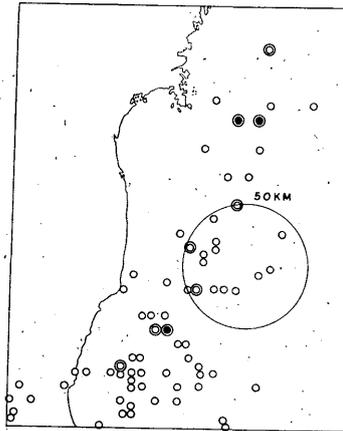
第1図b 同 1948~1952 III 2



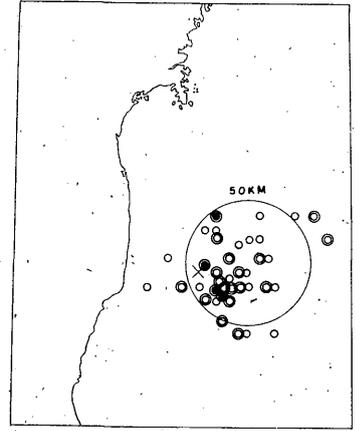
第1図c 同 1952 III 4~IV 4
X: the main shock



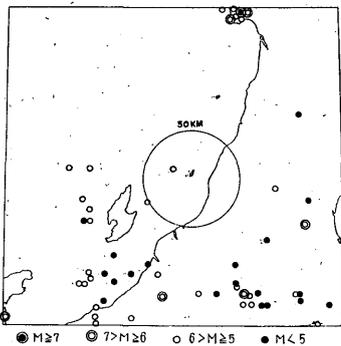
第2図a 同 1926~1933



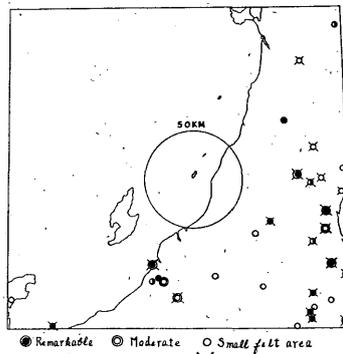
第2図b 同 1934~1938 X



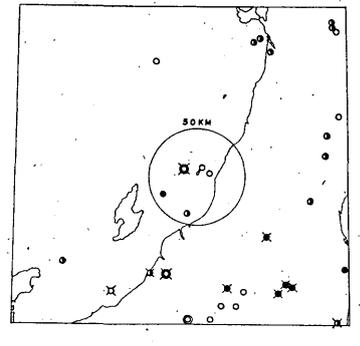
第2図c 同 1938 XI 5~XII 6
X: the main shock



第3図a 同 1926~1956



第3図b 同 1957~1961



第3図c 同 1962~1964 VI 16

第1表 大地震前の隣接地域における地域の月別回数

1933, III 3 三陸沖地震 $\Delta \leq 700\text{km}, M \geq 6$				1944, XII 7 東南海地震 $\Delta \leq 600\text{km}, M \geq 5.5$				1948, VI 28 福井地震 $\Delta \leq 500\text{km}, M \geq 5.5$				1938, XI 5 福島県沖地震 $\Delta \leq 500\text{km}, M \geq 5.5$			
年月	回数	年月	回数	年月	回数	年月	回数	年月	回数	年月	回数	年月	回数	年月	回数
1931 I	0	1932 IV	0	1942 VI	0	1943 IX	5	1946 I	1	1947 IV	4	1936 IX	0	1937 XII	2
II	1	V	0	VII	1	X	4	II	0	V	3	X	1	1938 I	0
III	3	VI	2	VIII	2	XI	0	III	0	VI	0	XI	2	II	0
IV	1	VII	1	IX	2	XII	1	IV	2	VII	1	XII	3	III	0
V	0	VIII	0	X	1	1944 I	0	V	0	VIII	0	1937 I	1	IV	1
VI	5	IX	1	XI	2	II	0	VI	0	IX	0	II	1	V	2
VII	0	X	0	XII	0	III	0	VII	2	X	0	III	1	VI	3
VIII	0	IX	1	1943 I	2	IV	0	VIII	3	XI	0	IV	0	VII	1
IX	3	XII	0	II	0	V	0	IX	1	XII	1	V	1	VIII	1
X	0	1933 I	3	III	9	VI	2	X	0	1948 I	0	VI	1	IX	3
XI	1	II	0	IV	5	VII	1	XI	0	II	0	VII	1	X	2
XII	0			V	0	VIII	0	XII	7	III	1	VIII	1		
1932 I	0			VI	1	IX	0	1947 I	4	IV	1	IX	0		
II	0			VII	0	X	0	II	3	V	0	X	2		
III	0			VIII	2	XI	0	III	1			XI	1		

ることが度々経験された。

第1の例は、昭和8年(1933)3月3日の三陸沖地震($M=8.3$)の場合である。

大地震の震央から700 km 以内の地域に大地震前に発生した M が6以上の地震の毎月の回数を第1表に示してある。

それによると、1931年12月から1932年5月までの6か月間はこの地域に M が6以上の規模の地震は発生していない。すなわち、この地域は大地震の約1年前を中心にして180日程地震活動が比較的静かであった。

地震回数のひん度分布は多くの場合ポアソン分布にしたがうものであることが知られている¹⁾ので、この場合もポアソン分布にしたがうものとする、回数の平均値は $m=0.85$ 回であって0回の起る確率は $P(0)=0.428$ となるので、0回が6つ続いて起る確率は $P=2.01 \times 10^{-3}$ である。したがって、あまり小さい確率ではない。まず、偶然の場合としても10数年に1回位は起こりうる程度のものである。

第2の例は昭和19年(1944)12月7日の東南海地震($M=8.0$)の場合である。

大地震の震央から600 km 以内の地域に大地震前に発生した M が5.5以上の地震の毎月の回数を第1表に示してある。

この場合も、1944年1月から5月までの5か月間はこ

の地域に対照となる地震は発生していない。すなわち、大地震の約9か月前を中心にして150日程この地域の地震活動は比較的静かであった。

この場合の地震回数のひん度分布がポアソン分布であるとすると、その平均値は $m=1.33$ で0回が5つ続いて起る確率は $P=7.06 \times 10^{-4}$ となる。この場合は、偶然のできごととしては確率が小さいようである。

第3の例は昭和23年(1948)6月28日の福井地震($M=7.3$)の場合である。

この地震の震央から500 km 以内の地域にこの地震前に発生した M が5.5以上の地震の毎月の回数を第1表に示してある。

この場合も大地震の9か月ほど前を中心にして120日程この地震域に対照となる地震が発生していない。

この場合の地震回数のひん度分布がポアソン分布であるとすると、その平均値は $m=1.2$ で、0回が4つ続いて起る確率は $P=4.01 \times 10^{-3}$ である。

第4の例は昭和13年(1938)11月5日の福島県沖地震($M=7.7$)の場合である。この地震の震央から500 km 以内にこの地震前に発生した M が5.5以上の地震の毎月の回数を第1表に示してある。

これによると、1948年1月から3月までこの地域に対照となる地震が発生していない。ここでは地震回数を数える期間を月によって区切っている、3か月間0回

第2表 新潟地震前隣接地域($\Delta \leq 500\text{km}$)における顕著、稍顕著地震の20日毎の回数

期 間	回数	期 間	回数	期 間	回数
1—20	3	421—440	1	841—860	0
21—40	4	441—460	5	861—880	0
41—60	1	461—480	2	881—900	0
61—80	1	481—500	1	901—920	0
81—100	2	501—520	0	921—940	2
101—120	1	521—540	1	941—960	0
121—140	3	541—560	1	961—980	0
141—160	2	561—580	2	981—1000	1
161—180	1	581—600	3	1001—1020	1
181—200	0	601—620	2	1021—1040	2
201—220	0	621—640	1	1041—1060	1
221—240	0	641—660	3	1061—1080	2
241—260	0	661—680	1	1081—1100	3
261—280	0	681—700	2	1101—1120	2
281—300	0	701—720	0	1121—1140	0
301—320	2	721—740	1	1141—1160	1
321—340	3	741—760	1	1161—1180	2
341—360	1	761—780	2	1181—1200	3
361—380	2	781—800	9	1201—1220	2
381—400	3	801—820	0	1221—1240	2
401—420	1	821—840	2	1241—1260	7

が続いたことになっているのであるが、実際は120日ほどこの地域に対照となる地震は発生していなかったのである。

すなわち、大地震の9か月ほど前を中心にして120日程度この地域に問題の地震が発生しなかったのである。

この場合の地震回数の平均値は $m=1.48$ であるので、ポアソン分布にしたがうと考て、0回が3つ続く確率は $P=7.6 \times 10^{-3}$ となって、小さいとはいえない。

以上4例によると、大地震の前に隣接地域の地震活動に比較的静かな期間があるということは、偶然のこととしても数10年に1回は起こりうる程度のもので確率的に難点があるとしなければならない。

しかし、その地震活動の静かな期間というのが各例とも割合にそろって大地震前9か月から1年くらい前を中心にして4か月乃至6か月くらい続いたということは注目すべきことと思う。

さて、この度の新潟地震の場合はどうであったろうか。新潟地震の震央から500km以内に地震前に発生した顕著、稍顕著地震の日間毎の回数を第2表に示してある。

これによると、地震前180日から300日まで、すなわち地震の約8か月前を中心にして120日程度この地域には対照となる地震が発生していなかった。

この場合も地震回数のひん度分布はポアソン分布にしたがうとすると、その平均値は $m=1.6$ であるので0回が6つ続く確率は $P=4.31 \times 10^{-5}$ となって、偶然のできごととみなすには確率が小さ過ぎるようである。

§ 3. 大地震前の隣接地域の地震活動(その2)

前節で述べた大地震前に隣接地域の地震活動が比較的静かになる時期があるということは、必ずしも普遍的事実とはいえないけれども大地震の前には隣接地域の地殻に働く応力の状態ひいてはその地震活動がある程度影響を受けているのではないかということを示唆しているように思う。

したがって、大地震前には隣接地域に発生する地震の規模別ひん度分布は Gutenberg-Richter の分布

$$\log n = a - b(8 - M)$$

とは異なっている種の不安定状態を呈しているのではないかと考えられる。

実際にも、大地震前の隣接地域の地震の規模別ひん度分布には異常の場合が多くみられる。それはある規模以上の地震の回数は規模が大きくなるにしたがって予期されるよりも急な減少を示すのであって、大きい規模の地震がそれだけ起こり足りないことを示すようにみえる。

1例として、昭和8年(1933)の三陸沖地震前7年間(1926~1932)の東北日本における深さ50km未満の浅い地震の規模別ひん度分布を第4図に示してある。

ここで東北日本というのはほぼ糸魚川静岡線といわれている構造線に沿っている東経138°を境にしてそれ以東のことである。

したがって、三陸沖地震の震央から600~700km以内の地域を対照としていることとなる。

図では累積ひん度 $N = \int_M^{\infty} n(M) dM$ を示してあるが、 M が6.8のところで折れている2直線で表わされるようである。

すなわち、 M が大きい地震の発生が不足しているというある種の不安定状態を呈しているとみられる。

M が小さい部分の直線を延長して $N=1$ の線と交わるところの M は8程度であるので、それ以上の地震が1つは発生する可能性があることを示すものと思う。

新潟地震は規模の点で三陸沖地震よりかなり小さいので、対照とする隣接地域の範囲をどの程度にしたらよいか明かでないが、仮に震央を中心にして約300kmの範

囲とした。すなわち、経度 $137^{\circ}\sim 142^{\circ}$ 、緯度 $36^{\circ}\sim 41^{\circ}$ の範囲の東西 460km、南北 560km の地域を対照とした。

この地域には昭和13年(1938)に福島県沖地震 ($M=7.7$) と翌昭和14年(1939)に男鹿半島地震 ($M=7.0$) が発生しているので、1939年を境としてそれ以前と以後とに分けて地震活動を調査することにした。

まず、この地域に1926~1939年の14年間に発生した地震の規模別累積ひん度を第5図に示してある。図で見られるように $\log N$ と M との関係はよく Gutenberg-Richter の分布に該当している。

次に男鹿半島地震以後23.7年間(1940~1963 VIII) の地震の規模別累積ひん度分布を第6図に示してある。

それによると、 M が6.4付近で折れている2直線を表わされるようである。 M が小さい部分の直線を延長して累積ひん度が1の線と交わる点は M が7.6程度である。したがって、それ以上の規模の地震が1回は発生する可能性があるようにみえる。

宇津²⁾によると、ある地震の集団において規模別ひん

度分布が Gutenberg-Richter の分布

$$\log n(M)dM = (a - bM)dM$$

にしたがうものとする、 M の大きさの順に並べた場合 m 番目の地震の M 最も確からしい値 M_m^* は次の式で与えられる。

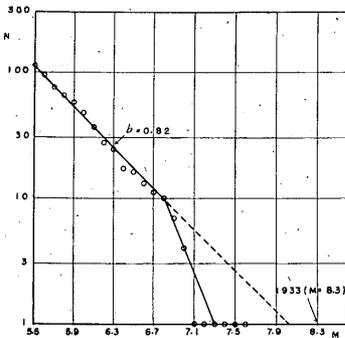
$$M_m^* = M_1^* - (\log m)/b,$$

$$M_1^* = \{a - \log(b \ln 10)\}/b.$$

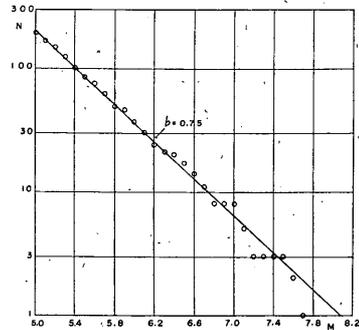
したがって、観測された m 番目の地震の規模 M_m と $\log m$ を対応させて図示すれば、その地震の集団の規模別ひん度分布の係数 b と集団の最大地震の規模の最も確からしい M_1^* 値が知れるはずである。

新潟地震の隣接地域における男鹿半島地震以後23.7年間の地震を規模の大きさの順に並べて $\log m$ と対応させた図が第7図である。

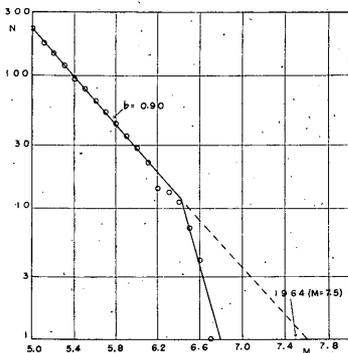
これによると、この地震の集団の最大のものは、 $M_1^* = 7.6$ 、2番目は $M_2^* = 7.3$ 、3番目は $M_3^* = 7.1$ 、4番目は $M_4^* = 6.9$ 、5番目は $M_5^* = 6.8$ というように期待されることとなるが、実際は $M_1 = 6.7$ 、 $M_2 = M_3 =$



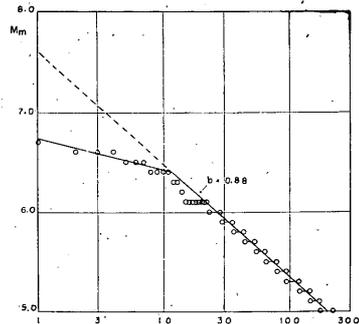
第4図 東北日本の地震の規模別ひん度分布 1926~1932.



第5図 同 1926~1939



第6図 同 1940~1963 VIII



第7図 地震の規模の順位 1940~1963 VIII

$M_4=6.6$, $M_5=6.5$ であって期待されるものよりかなり小さい規模の地震が起こっている。その差だけの不安定エネルギーが残っていて M が 7.6 程度の地震が発生することを暗示していたとみられるのではないかと思う。

大地震前に隣接地震に発生する地震の規模別ひん度分布に以上のような異常分布がみられるとしても、その機構は不明であるが、次の実験はその解明のための有力な資料となるものと思う。

茂木³⁾ は種々の場合の破壊に伴う衝撃的弾性波の起こり方を実験的に調べているが、やや不均一な構造をもつ媒質中の内部力源によって発生する破壊の場合に主破壊前に前震に対応するとみなされる小破壊群が起こることを確めた。

その小破壊群に伴う弾性波の振幅分布が石本・飯田の分布にしたがわないで 2 本に折れることがあり、それは割目の進行に対する障害物が媒質中に周期的に分布している場合であるとしている。

Vinogradov⁴⁾ も破壊に伴う衝撃的弾性波について実験を行なって、弾性波のエネルギーの対数（地震の場合の M に対応する）が大きいものの回数が急に減る場合のあることを認めている。

その説明として、彼は実験資料は限られた大きさのものであるからその内部に長い割目が期待された数だけ発生する以前に資料が荷重に耐える能力を失うためであろうと考えている。なお、弾性波のエネルギーの対数 $\log E$ とその発生回数の対数 $\log n$ との関係図において、 $\log E$ の小さい部分に一致する直線を延長して $n=1$ の線と交わる点の $\log E$ から主破壊に伴う弾性波のエネルギーを求められるとしている。

§ 4. 結 論

以上の調査結果をまとめると、

(1) 新潟地震の震央付近は長い期間地震活動が静穏な地域であったが、大地震直前の 2.5 年間は数個の地震が発生して地震活動が僅かではあるが始まっていた。このように静穏な地域に大地震の数年前から発生する地震は広い意味の前震とみなせると考えられる。

(2) 新潟地震の隣接地域は大地震の 8 か月前を中心に 4 か月ほど地震活動が比較的静かであった。

(3) 新潟地震前の隣接地域に発生した地震の規模別累積ひん度の分布および規模の順に並べた図は M が 6.4 付近で折れている 2 直線で表わされるものであった。 M が小さい部分の直線を延長することによって、 M が 7.6 程度の地震が発生する可能性のあったことが認められるように思う。

最後に地震観測の精度が向上して、より小さい地震までその震源の位置と規模とが明確になり統計の資料が豊富となることを願うものである。

参 考 文 献

- 1) W. Inouye : Statistic Investigations of Earthquake Frequencies, B. E. R. I., **15** (1937), 142—169.
- 2) T. Utsu : A Statistical Study on the Occurrence of Aftershocks, Geophy. Mag., **30**, 521—605.
- 3) K. Mogi : The Fracture of a Semi-infinite Body Caused by an Inner Stress Origin and Its Relation to the Earthquake Phenomena (Second Paper), B. E. R. I., **41**, 595—614.
- 4) S. D. Vinogradov : Izv., Geophys. Ser., 1962, 171—180.