

三陸はるか沖の地震活動について

長谷川安秀*・山崎文男*・井上祐助**

Seismic Activity in the Far-East Region off Sanriku

Yasuhide HASEGAWA, Fumio YAMAZAKI and Yuhsuke INOUE

(Received October 25, 1993)

At 09:00 on 16 July, 1992, an earthquake (M6.1) occurred in the far-east region off Sanriku ($39^{\circ}20'N$, $143^{\circ}35'E$), and at 17:36 on 18 July, 1992, another earthquake (M6.9) occurred in the same region ($39^{\circ}23'N$, $143^{\circ}39'E$).

We noted the similar pattern of the seismic activity in July 1992 and October 1989 in the same region, and researching the characteristics of the seismic activity in this region ($38^{\circ}N\sim 41^{\circ}N$, $142^{\circ}E\sim 145^{\circ}E$).

Using the hypocentral data that has been gathered since 1926 by the Japan Meteorological Agency (JMA), and analyzing the transition of the earthquake frequencies, magnitudes, and hypocenters of about 8 seismic activities in the region, we clarified that (1) the pattern of activity in and around the far-east region off Sanriku is of the foreshock-mainshock-aftershock type, (2) the seismic quiescence period before the mainshock is greater than 6 hours, (3) the seismically active area moves from place to place with time and creates more activity, and (4) the earthquakes occur in a time-predictable manner.

§ 1. はじめに

1992年7月16日09時00分、三陸はるか沖でM6.1の地震 ($39^{\circ}20'N$, $143^{\circ}35'E$) が発生した。この地震をきっかけにこの地域の地震活動が活発となり、この地震の直後は1時間に40回程度の地震が発生した。しかしその後地震回数は次第に減少してゆき、このまま活動は終息するかに思われたが7月18日17時36分、M6.9の地震がほぼ同位置 ($39^{\circ}23'N$, $143^{\circ}39'E$) で発生した。この地震活動では地震発生回数が1881回 (7月16日~7月31日大船渡76型の記象からP~S時間を読み取り判断した) を数え最大余震は7月29日13時30分、M6.2 ($39^{\circ}34'N$, $143^{\circ}42'E$) であった。

三陸はるか沖では、過去にM8クラスの大規模な地震が度々発生しており、これに伴う大津波により、特に三陸沿岸一帯に甚大な被害をもたらしている。近年では、1989年10月27日10時45分にM6.1の地震 ($39^{\circ}49'N$, $143^{\circ}56'E$) が発生し、11月2日03時25分にはM7.1の地震 ($39^{\circ}51'N$, $143^{\circ}03'E$) が発生しており、この時の

地震発生回数は807回 (10月27日~11月8日 宮古67型の記象からP~S時間を読み取り判断した) を数えた。

1989年および1992年の活動域はほぼ同じ海域 ($39^{\circ}N\sim 41^{\circ}N$, $143^{\circ}E\sim 144^{\circ}E$) であり、また活動の推移が似ていることから、「地震活動に地域 (海域) 的特徴があるのではないか」と推測し、同地域における地震活動を過去の活動も含めて調査した。

§ 2. 資料

用いた資料は1926年からの気象庁地震月報の震源 (ただし、1992年は気象庁震源速報) を資料とした。これまで三陸はるか沖 ($39^{\circ}N\sim 40^{\circ}N$, $143^{\circ}E\sim 145^{\circ}E$ の範囲) で発生した津波発生下限とされている $M\geq 6.6$ の地震活動は、1928年、1933年、1935年、1938年、1960年、1968年、1989年、1992年の8例があった。これについて広義の前・余震域も調査対象とするために範囲を $38^{\circ}N\sim 41^{\circ}N$, $142^{\circ}E\sim 145^{\circ}E$ とし、それぞれ地震回数の推移、地震規模の推移、震源の移動などについて解析した。

なお、1968年の活動は「1968年十勝沖地震」の余震と考えられているが (気象庁, 1968), その活動が三陸はるか沖におよんでいるので本調査ではこれも含めた。

* 仙台管区気象台, Sendai District Meteorological Observatory

** 山形地方気象台, Yamagata Local Meteorological Observatory

§ 3. 三陸はるか沖の地震活動の特徴

3.1 三陸はるか沖の地震活動の概要

本調査で対象とした8例の地震活動はいずれも津波が発生しており、なかでも1933(昭和8)年3月3日02時31分(M8.1)の地震では津波の高さの最高が綾里湾の白浜で23mに達し、甚大な被害を及ぼしている。この津波は「昭和の三陸大津波」として有名である。

Fig. 1-1, Fig. 1-2は8例についての $M \geq 0.0$ 、深さ0~100kmの震央分布図で、図中の①は前震のうちMが最大のもの、②は本震、③は最大余震(広義の)を示している。

震源域はいずれも広範囲にわたっている。1928, 1935年は三陸はるか沖の北部で活発化しているが、前震、本震、余震共発生場所が離れており、これらは断層面と思われる余震域の端で起きている。1933, 1938年はいずれも本震が海溝より東側で発生しており、余震域は海溝の西側で活発のように見える。当時の検知力では海溝より東側の余震を捕らえられなかったと思われる。また、1933年の最大余震は、細野、吉田(1991)の計算式で算出される本震Mでの余震域直径からも外れていることから、誘発された地震活動とみることが出来るが本調査ではこの活動を広義の余震とした。1960, 1989, 1992年は余震域の範囲及び分布形状が比較的似ている。しかし1960, 1989年は本震が余震域の端で発生しているのに対して1992年は中央部で発生している。1968年(十勝沖地震)は南北約300kmの広い範囲で地震が発生している。三陸はるか沖の②M7.2は十勝沖地震のMから算出される余震域からかなり離れていることから本調査では十勝沖地震と分離して考える。

3.2 地震回数の推移

Fig. 2-1, Fig. 2-2は各地震活動の地震回数グラフで範囲を北緯 $38^{\circ} \sim 41^{\circ}$ 、東経 $142^{\circ} \sim 145^{\circ}$ とし、前震発生時期から最大余震発生時期までを3時間毎に示したグラフである。1968年は十勝沖地震と分離してみるために北限を $40^{\circ}30'$ とした。個々の活動で地震回数のピークになるところにMの大きい地震が含まれており、またピーク毎にグループ分けすることができる。1989年の場合には本震(11月2日03時25分, M7.1)が発生する前に地震回数のピークとなるものが2つ存在し、1992年は本震(M6.9)より先行するピークは1つであった。1989年は第1グループ(10月27日02時06分~10月29日12時08分)と第2グループ(10月29日12時09分~11月2日03時24分)が前震、第3グループ(11月2日03時25分~11月8日24時00分)が本震と余震。1992年は第1グループ

(7月16日09時00分~7月18日17時35分)が前震、第2グループ(7月18日17時35分~7月29日13時29分)が本震、第3グループ(7月29日13時30分~7月31日24時00分)が最大余震と余震のようにだいたい3グループに分けられる。

3.3 地震規模の推移

Fig. 3-1, Fig. 3-2は各々のM-T図で、 $M \geq 0.0$ 、範囲を地震回数グラフと同様の範囲で示した。図中の①, ②, ③は前震、本震、余震を表している。いずれもM6クラスの前震の後に本震が発生しており、前震活動の初期には比較的大きな地震が起こり、回数が急増し、その後減少して本震が発生する直前は活動が低下している。このことから、前震-本震-余震型で活動が推移していることが判る。また、本震の直前には活動の低下を示す隙間がみられる。

本震の直前には隙間がみられたことに着目し、本震から直前の地震($M \geq 0.0$)、または本震活動(マルチプルショック的な地震)発生から直前までの地震($M \geq 0.0$)の時間を抜き出し、静穏化の続く時間を求めた。各活動毎にTable 1に示す。このとき地震検知能力の相違を統一化するために最低マグニチュードを5とした。

このデータを基に本震から最大前震のMをひいた差と静穏な時間の関係を示したグラフFig. 4で、横軸を前震と本震の差とし、縦軸を静穏化する時間の対数で表した。図中の記号は個々の年数を示すが特に相関は見えなかった。

細野、吉田(1991)は本震の規模と本震-最大余震間の距離の関係が正の相関を持っていることを指摘している。これの解析方法と同じように計算したが8例と少なくとも本震のMのばらつきもあり明瞭な相関は得られなかった。

3.4 震源の推移

Fig. 5-1に1968年、Fig. 5-2に1989年の前震、本震、余震活動と本震のメカニズム解を示す。前震は前震発生から本震発生直前まで、本震は本震発生から最大余震発生直前まで、余震は最大余震発生から任意の活動終息期までをそれぞれ $M \geq 0.0$ をプロットしてあり、図中の①, ②, ③は前震、本震、最大余震を表す。この図から前震、本震、余震と発生場所がやや南下しながら活発になっているように見える。この傾向をもつ活動は他に1928, 1933年が挙げられる。Fig. 5-3に1960年の活動を示した。1960年の活動は前震活動が南端で発生したあと北に広がって活発になっているように見え、1935, 1938年もほぼ同じ傾向である。Fig. 5-4に1992年の活動を示した。1992年は前震、本震共に同海域の中央部で

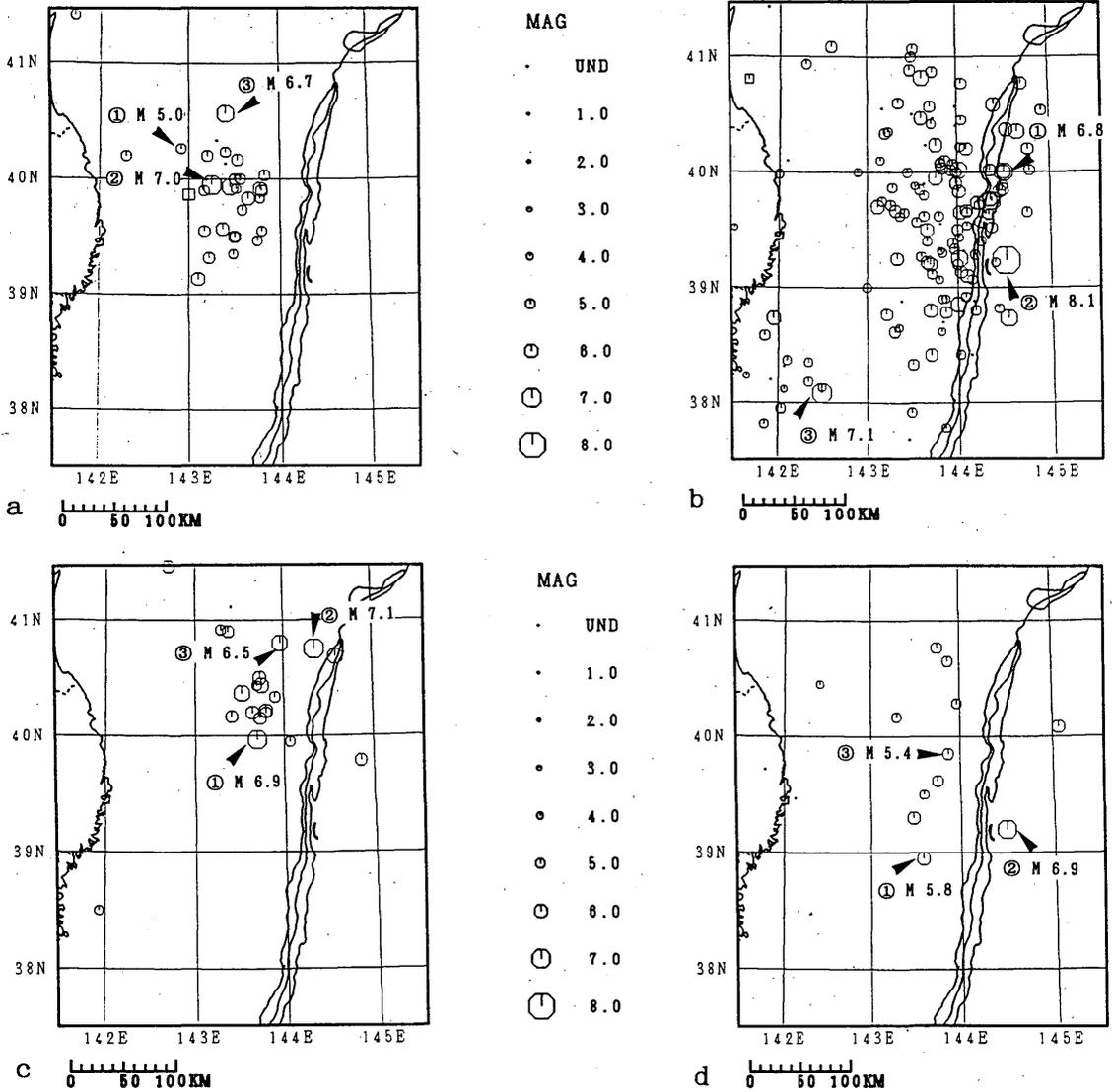


Fig. 1-1 Hypocenter distribution of the earthquakes

a : May 27–June 30, 1928

b : January 4–June 30, 1933

c : September 17–October 31, 1935

d : September 12–October 31, 1938

An M symbolizes the magnitude of :

① the maximum foreshock, ② the main shock and ③ the maximum aftershock.

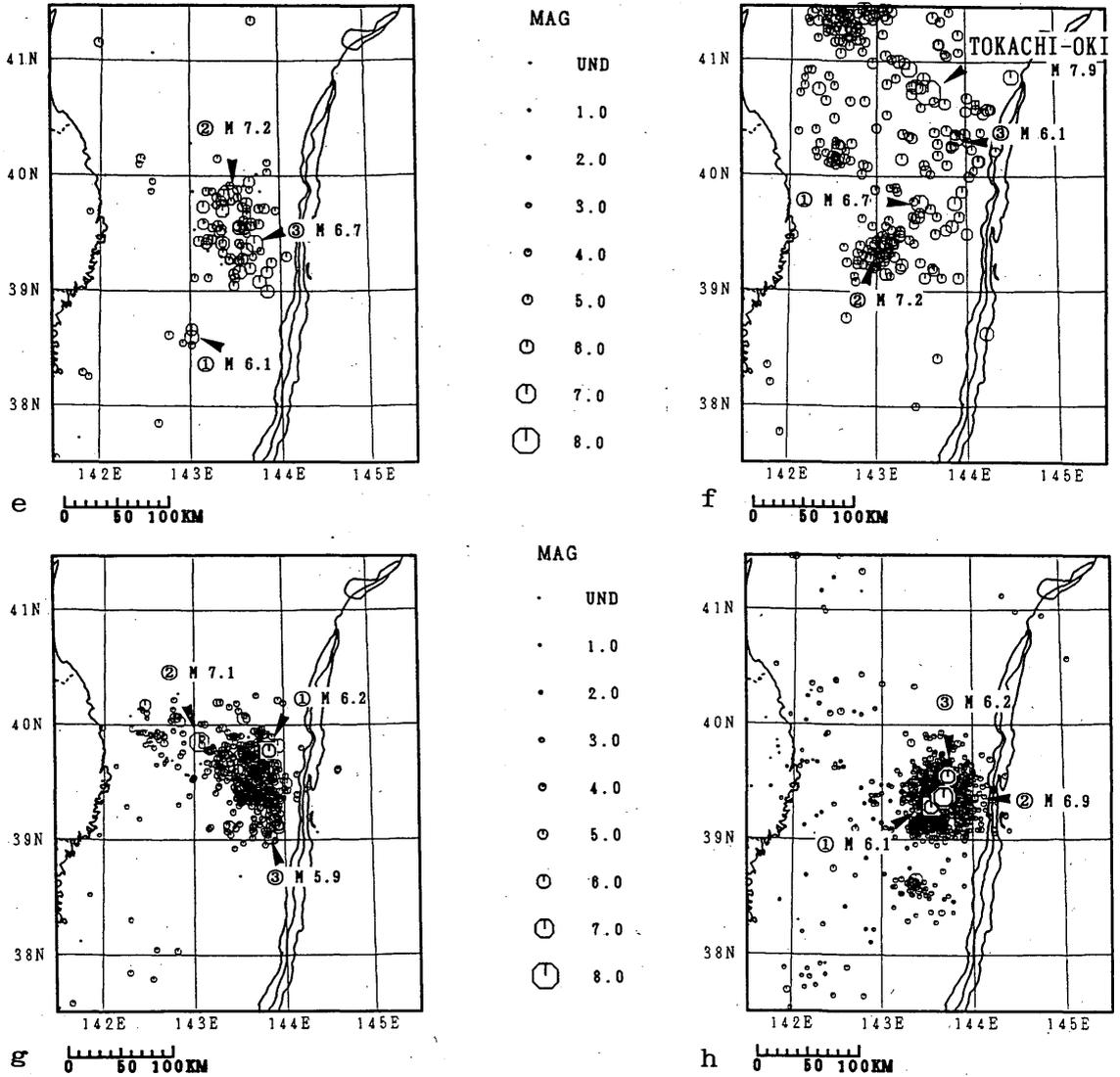


Fig. 1-2 Hypocenter distribution of the earthquakes

e : February 1-March 31, 1960 f : May 16-June 30, 1968

g : October 27-November 8, 1989 h : July 16-July 31, 1992

An M symbolizes the magnitude of :

① the maximum foreshock, ② the main shock and ③ the maximum aftershock.

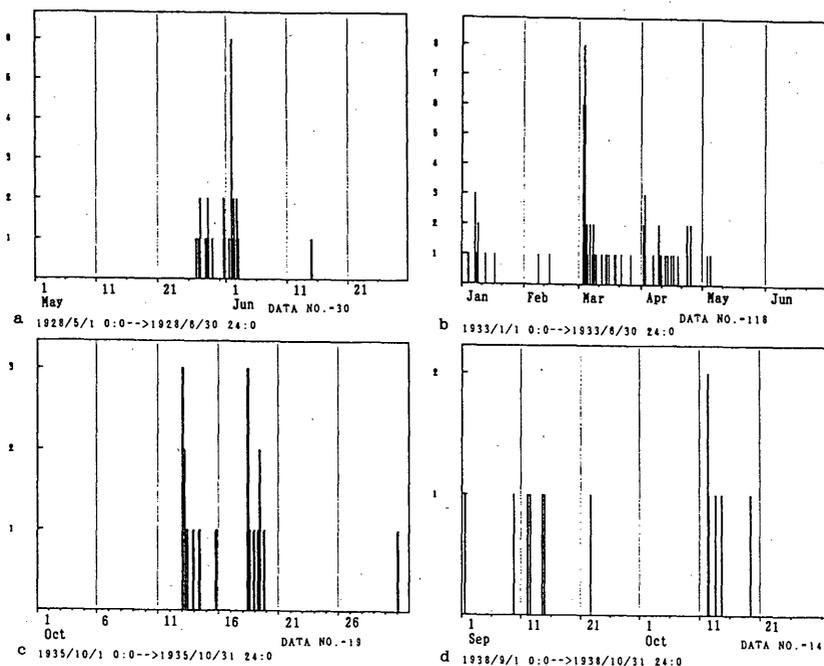


Fig. 2-1 Earthquake frequency histogram
 a : in 1928 b : in 1933 c : in 1935 d : in 1938
 from Seismological Bulletin of the Japan Meteorological Agency

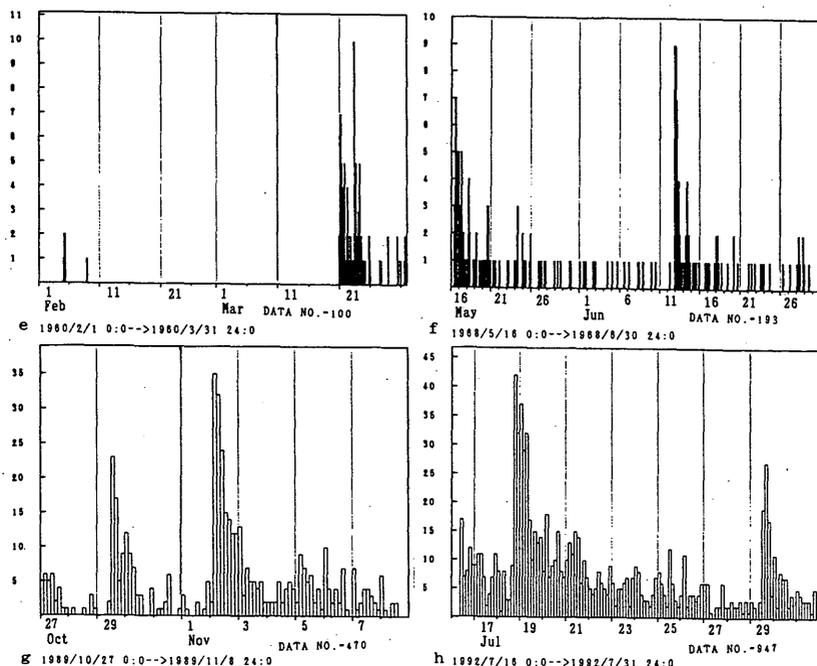
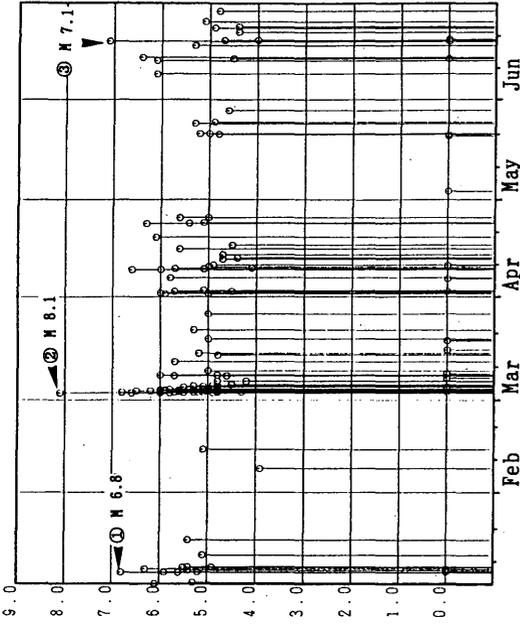
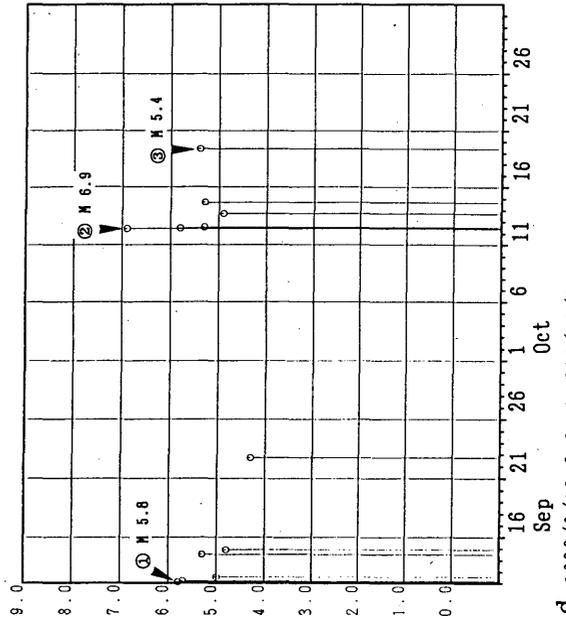


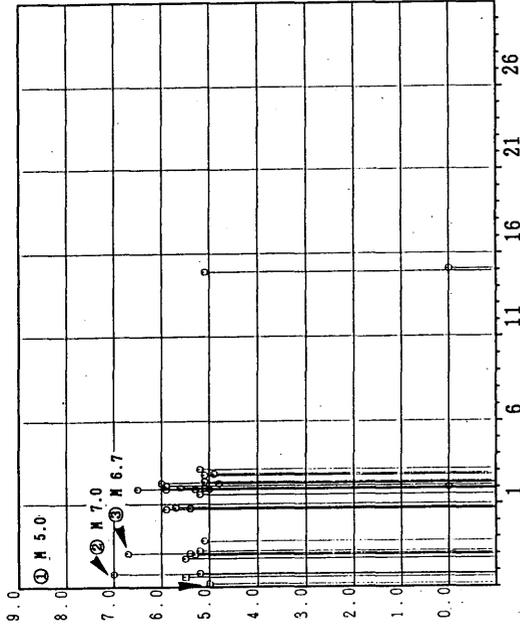
Fig. 2-2 Earthquake frequency histogram
 e : in 1960 f : in 1968 g : in 1989 h : in 1992
 from Seismological Bulletin of the Japan Meteorological Agency



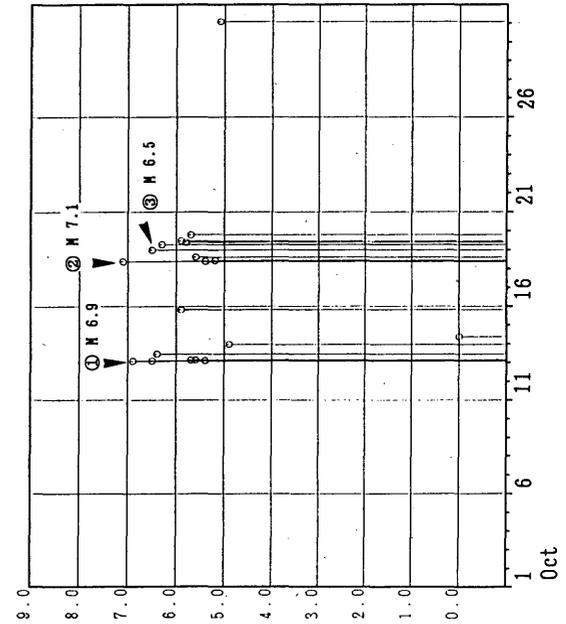
b 1933/1/4 0:0-->1933/8/30 24:0



d 1938/9/12 0:0-->1938/10/31 24:0



a 1928/5/27 0:0-->1928/6/30 24:0



c 1935/10/1 0:0-->1935/10/31 24:0

Fig. 3-1 M-T diagram

a : in 1928 b : in 1933
c : in 1935 d : in 1938

An M symbolizes the magnitude of :
① the maximum foreshock,
② the main shock and
③ the maximum aftershock.

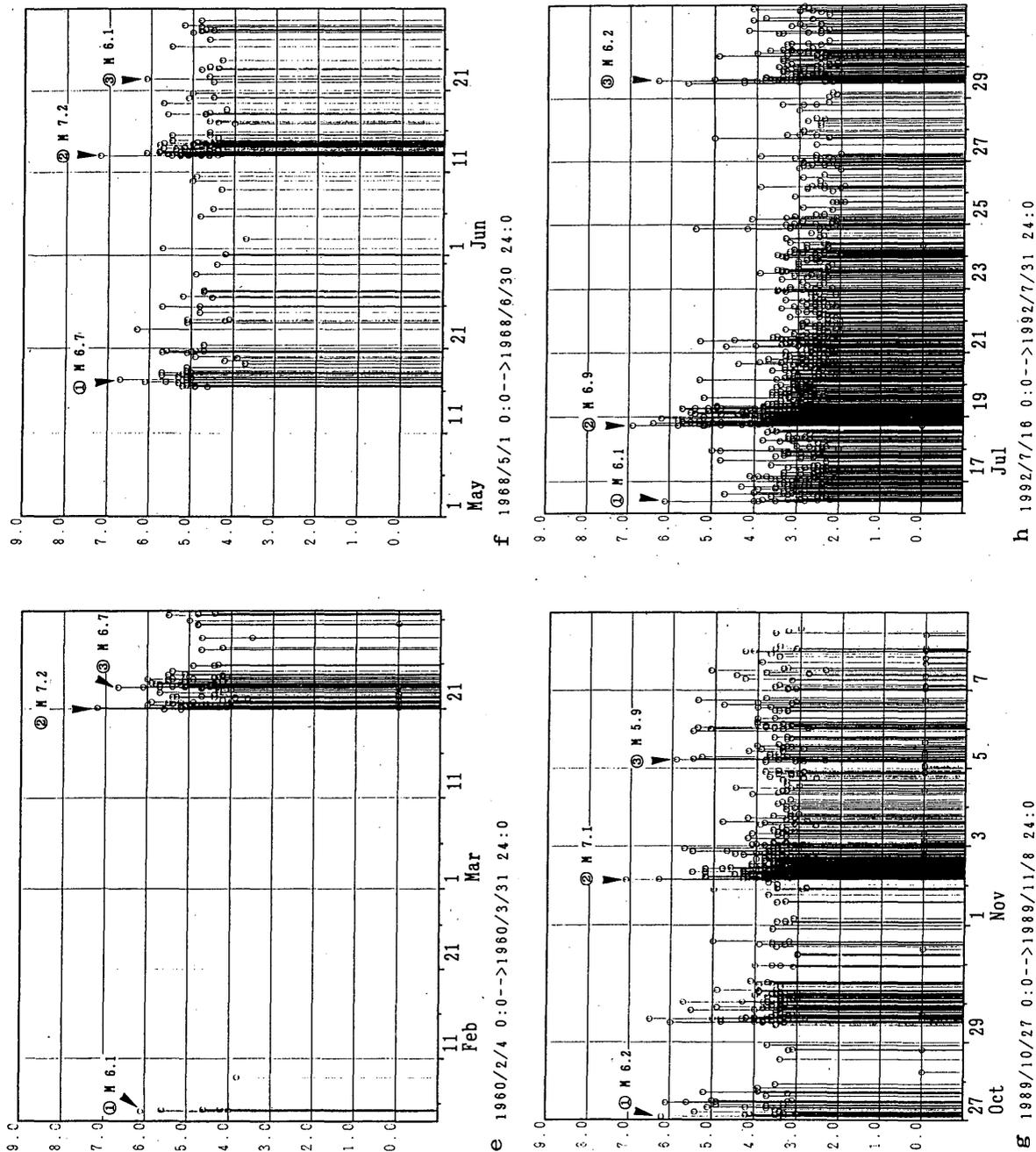


Fig. 3-2 M-T diagram

e : in 1960 f : in 1968

g : in 1989 h : in 1992

An M symbolizes the magnitude of :

- ① the maximum foreshock,
- ② the main shock and
- ③ the maximum aftershock.

Table 1 Quiescence times proceeding to the main shocks

	Origin time of mainshock	Lat.	Lon.	M	Quiescence time
a	1928. 5.27 18:50	39°57'N	143°15'E	7.0	9 h 38 m
b	1933. 3. 3 02:31	39°14'N	144°31'E	8.1	13 d 19 h 20 m
c	1935.10.18 09:12	40°45'N	144°21'E	7.1	2 d 13 h 42 m
d	1938.10.12 09:34	39°12'N	144°29'E	6.9	28 d 21 h 21 m
e	1960. 3.21 02:07	39°50'N	143°26'E	7.2	44 d 16 h 39 m
f	1968. 6.12 22:41	39°25'N	143°08'E	7.2	2 d 23 h 53 m
g	1989.11. 2 03:25	39°51'N	143°03'E	7.1	6 h 01 m
h	1992. 7.18 17:36	39°23'N	143°39'E	6.9	2 d 8 h 15 m

発生しており、余震はその周囲を囲む形で発生している。

メカニズム解でみると海溝軸の東側で発生しているもの(1933年)は正断層、西側のもの(1968, 1989, 1992年)は逆断層の場合が多かった。

Fig. 6-1, Fig. 6-2は8例の(38°~41°N, 142°~145°Eの範囲)時空間分布図(N-S)である。M \geq 0.0, 図中の①, ②, ③は前震, 本震, 余震(広義の)を示す。この図からも1928, 1933, 1968, 1989年は前震から余震まで南下しながら活発化している(南下型)が, 1935年, 1938年, 1960年は逆に南から発生して北に広がっている(北上型), 1992年の地震活動は前震が発生した位置を中心に活発化している(集中型)。

3.5 回数積算図

Fig. 7は38°~41°N, 142°~145°Eの範囲で1926年1月1日から1993年9月30日までのM \geq 5.0の回数積算図である。図中の記号は8例について各々の年を示す。

M \geq 5.0の地震は、年平均10回程度発生しているが、活発化した場合数十回に達している。

回数積算図ではM \geq 5.0に着目することによってタイムプレディクタブルモデルTime-predictable modelに類似した形の図が描かれる。また、比較的大きな地震活動に着目するとスリッププレディクタブルモデルSlip-predictable modelにもみえる。

3.6 b 値

MOGI (1963) 及びSCHOLZ (1968) は前震のb値は余震のb値より小さいとしており、また、清野

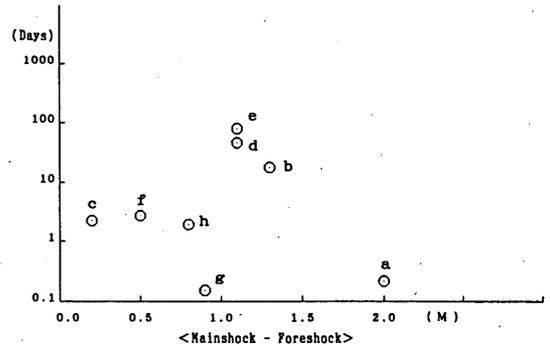


Fig. 4 Relation between the residual M(the main shock's M-the foreshock's M)and the quiescence time

(1985)は1928, 1933, 1935, 1960, 1968年の三陸はるか沖の地震活動では前震のb値が余震のb値より小さいと報告している。

1989年と1992年について清野(1985)の考えに基づき、本震とM \geq 6.0の地震を除いてb値を計算した結果Table 2のようになった。

これを見ると、前震、余震ともb値の顕著な変化はみられない。

なお、三陸はるか沖での気象庁地震観測網の検知能力を考慮して、b値を決定する最低Mを3.0とした。

§ 4. まとめ

1926年以降の三陸はるか沖(39°N~40°N, 143°E~145°Eの範囲)での地震活動8例について解析した結果、以下のことがわかった。

- (1) 三陸はるか沖の地震活動は、前震-本震-余震型(広義の余震)で推移している。M6クラス程度の前震が発生し地震回数は急増し、その後減少傾向となった後、本震が発生している。
- (2) 三陸はるか沖では地震活動が活発化すると本震の直前には少なくとも6時間以上の静穏な時間帯が存在する。
- (3) 同海域の地震活動は、前震、本震、余震の発生場所が同じ位置であることは少なく、移動しながら発生している。
- (4) 回数積算図がタイムプレディクタブルモデルであるので、次に発生する時期がいつであるか予測する場合にある程度の目安になる。

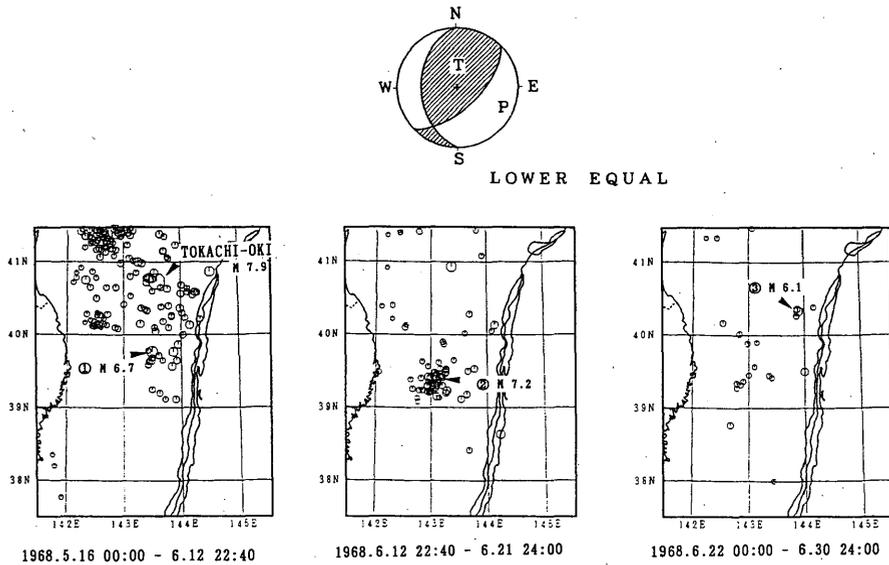


Fig. 5-1 Epicenter map of the foreshocks, the main shock (with fault plane solution) and the aftershocks in 1968.

An M symbolizes the magnitude of :

- ① the maximum foreshock,
- ② the main shock and
- ③ the maximum aftershock.

Focal mechanism solution of main shock from M. Ichikawa (1979)

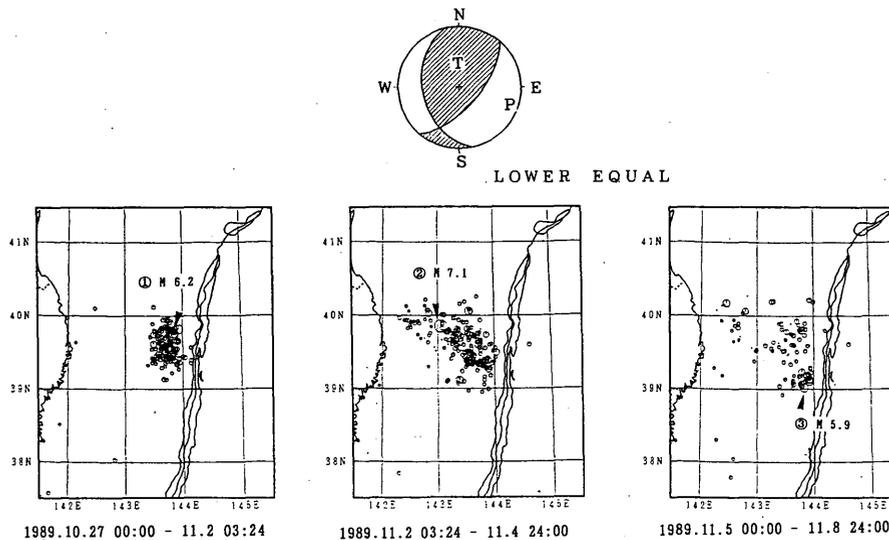


Fig. 5-2 Epicenter map of the foreshocks, the main shock (with fault plane solution) and the aftershocks in 1989.

An M symbolizes the magnitude of :

- ① the maximum foreshock,
- ② the main shock and
- ③ the maximum aftershock.

Focal mechanism solution of main shock is calculated by the method of M. Ichikawa (1979)

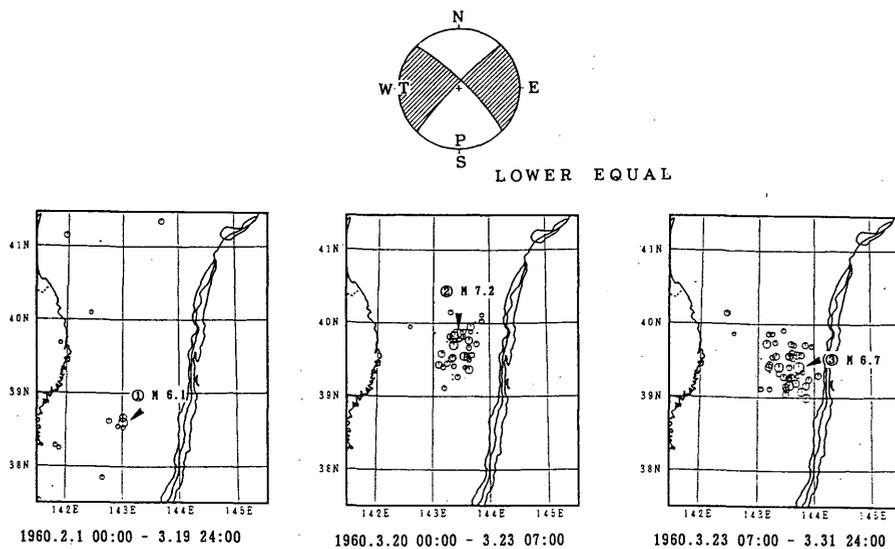


Fig. 5-3 Epicenter map of the foreshocks, the main shock (with fault plane solution) and the aftershocks in 1960.

An M symbolizes the magnitude of :

- ① the maximum foreshock,
- ② the main shock and
- ③ the maximum aftershock.

Focal mechanism solution of main shock from M. Ichikawa (1971)

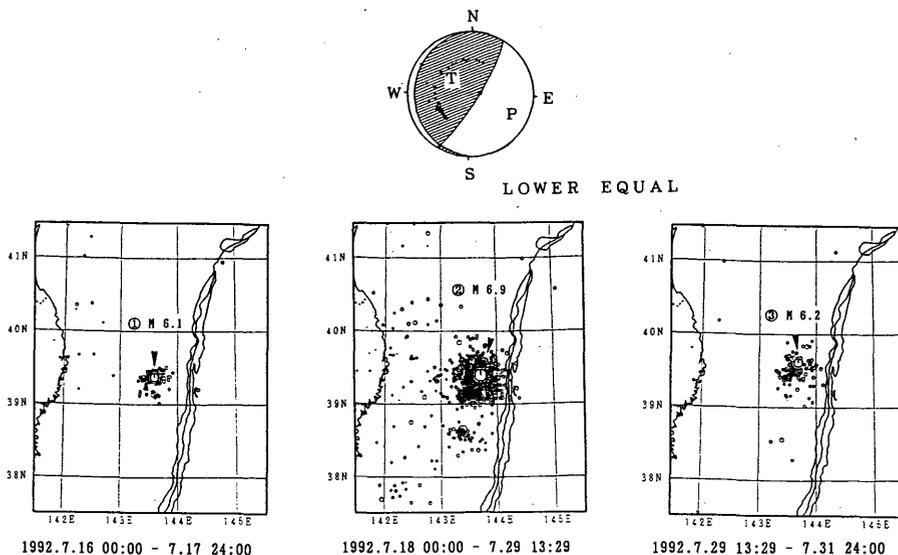


Fig. 5-4 Epicenter map of the foreshocks, the main shock (with fault plane solution) and the aftershocks in 1992.

An M symbolizes the magnitude of :

- ① the maximum foreshock,
- ② the main shock and
- ③ the maximum aftershock.

Focal mechanism solution of main shock from A. M. Dziewonski (1993)

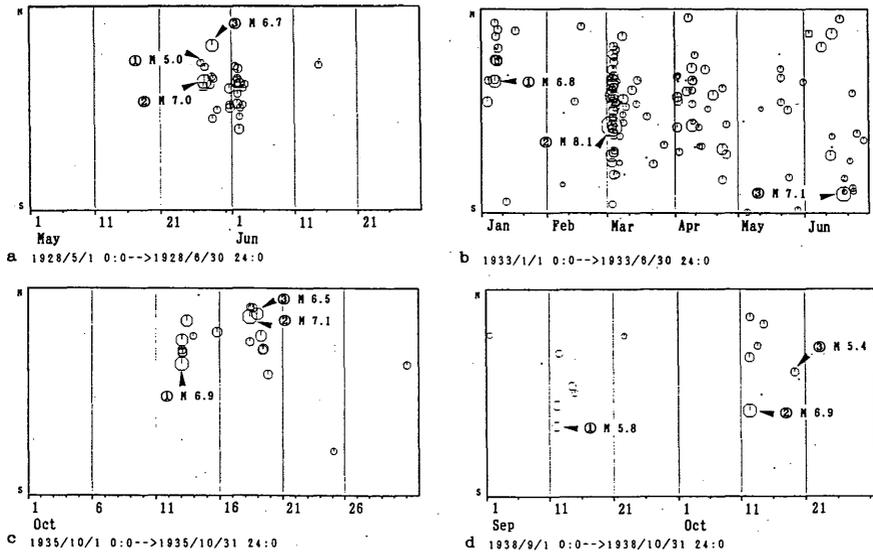


Fig. 6-1 Time-Space Plot (N-S projects)

a : in 1928 b : in 1933

c : in 1935 d : in 1938

An M symbolizes the magnitude of :

① the maximum foreshock,

② the main shock and

③ the maximum aftershock.

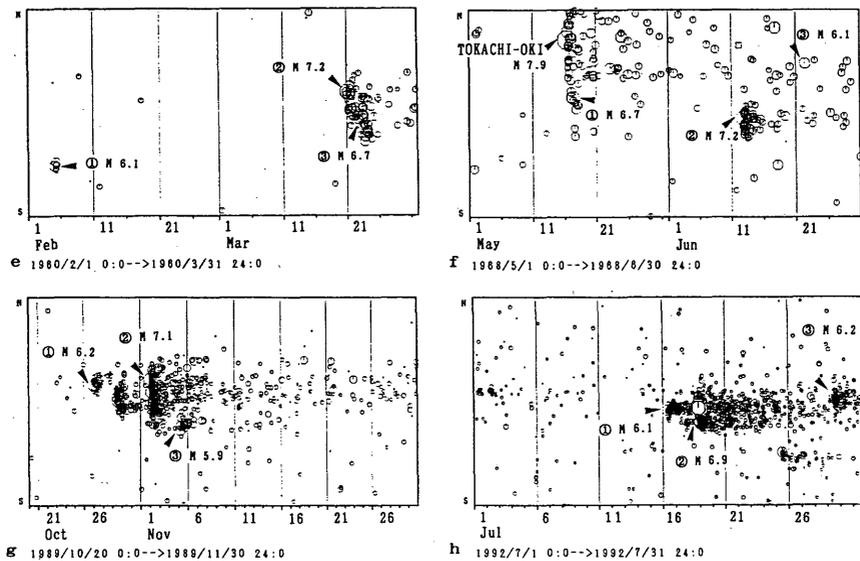


Fig. 6-2 Time-Space Plot (N-S projects)

a : in 1960 b : in 1968

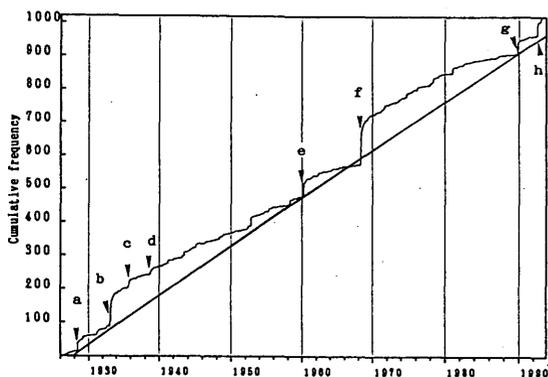
c : in 1989 d : in 1992

An M symbolizes the magnitude of :

① the maximum foreshock,

② the main shock and

③ the maximum aftershock.



1926/1/1 0:0→1993/9/30 24:0

Fig. 7 Cumulative frequency number of earthquakes (1926-1992 $M \geq 5$)

Table 2 The b-values of activities measured in 1989 and 1992

1989

Group	Foreshocks	Aftershocks
Period	10.27.02:06~11. 2.03:24	11. 2.03:25~11.30.24:00
b-value	0.56	0.57
Number of data	145	237

1992

Group	Foreshocks	Aftershocks
Period	7.16.09:00~ 7.18.17:35	7.18.17:36~ 7.31.24:00
b-value	0.72	0.70
Number of data	137	718

謝 辞

本調査をまとめるにあたって、仙台湾気象台技術部観測課地震津波火山監視センターの佐々木利夫主任技術専門官、山田尚幸技術専門官には本文に対する適切な助言を、竹中潤技官には図の選択や解析方法など数々の御指導を頂きました。また、本庁地震火山部地震予知情報課の勝間田明男係長にはメカニズム解の作図を、中村雅

基技官にはメカニズム解使用にあたっての御指導いただき深く感謝いたします。

参考文献

- 宇津徳治 (1970) : 北大地球物理学研究報告, 23, 49-71.
- 気象庁 (1968) : 1968年十勝沖地震調査報告, 気象庁技術報告, 68, 3-20.
- 清野政明 (1985) : 前震の規模別度数分布-b値の変化について, 気象研究所技術報告, 16, 165-182.
- 細野耕司, 吉田明夫 (1991) : 最大余震と本震の間の震央距離の分布について, 地震, 44, 256-261.
- 茂木清夫 (1992) : 地震の前兆現象発生メカニズム, 地震, 45, 1, 61-69.
- 山崎・井上・長谷川 (1992) : 三陸はるか沖の地震活動について, 仙台湾調査研究会誌, 129-130.
- 吉田明夫・古屋逸夫 : 地震前兆現象の事例研究, 地震, 45, 1, 71-82.
- DZIEWONSKI, A. M., G. EKSTROM and M. P. SALGANIK (1993c) : Centroid Moment Tensor Solutions for July-September 1992, Phys. Earth Planet. inter., 79, 287-297.
- ICHIKAWA, M. (1971) : Reanalyses of Mechanism of Earthquakes which Occurred in and near Japan, and Statistical Studies on the Nodal Plane Solutions Obtained, 1926-1968, Geophys. Mag., vol 35, No. 3, 207-273.
- ICHIKAWA, M. (1979) : Some Problems in the Focal Mechanism in and near Japan, Geophys. Mag., 39, 1-22.
- MOGI, K. (1963) : The fracture of a semi-infinite body caused by an inner stress origin and its relation to earthquake phenomena. Bull. Earthq. Res. Inst., 41, 595-615.
- SCHOLZ, C. H. (1968) : The frequency-magnitude relation of micro-fracturing in rock and its relation to earthquakes. Bull. Seismol. Soc. Am., 58, 399-415.