



Title	2. 1963年エトロフ沖地震群の発震機構
Author(s)	牧, 正; MAKI, Tadashi
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 19, 21-55
Issue Date	1968-03-13
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.19.21
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13936
Type	departmental bulletin paper
File Information	19_p21-55.pdf



2. 1963年エトロフ沖地震群の発震機構

牧 正

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和42年11月受理 —

I. 緒 言

大地震に伴なう地震群(前震, 余震)の発震機構については多くの研究がなされている¹⁾。しかし, それらの個々の研究において用いられた地震の数は十分なものであったとは思われない。前震・余震の発震機構は, 一般論として, 本震の発震機構とほぼ同じであるといわれている。しかし, これまでもいくつかの場合に, 本震とは異なった発震機構をもつ前震・余震の存在が指摘されている。前震・余震は, 本震の発生に関する情報をもっていると考えられる。その対象とされた地震数の不十分なことから, これまでの地震群の発震機構についての研究はそのような期待に十分こたえるものとは思われない。

このような立場から筆者は, できるだけ多くの前震・余震について, 発震機構をしらべ, その地震規模・震央位置・地震活動の時間的変化に対する関係をしらべてみた。

今回は, 1963年10月13日のエトロフ沖地震に伴なった前震・余震について, 世界各地の観測点におけるP波(一部にPP, PKPも含む)の初動方向(押し・引き)によって次のことをしらべた。

1. 各観測点における押し引きの頻度比, およびマグニチュード, 震央位置, 地震活動の時間的変化との関係。

2. 個々の地震の初動分布について, 本震の発震機構との比較。

1) 例えば,

本多弘吉; 浅い地震の機構と記象型に就て, 験震時報, **5** (1932), 235-265.

鷺坂清信・竹花峰夫; 昭和8年3月3日, 三陸沖強震及び余震の発震機構について, 験震時報, **8** (1934), 32-46.

中央気象台地震係; 昭和13年11月15日, 福島県東方沖地震及び同余震調査報告, 験震時報, **10** (1940), 528-545.

S. OMOTE; On the Aftershocks of the Fukui Earthquakes (Part 2), B.E.R.I., **28** (1950), 311-319.
市川政治; 松代地震のメカニズム, 地震 II, **20** (1967), 116-127.

M. BATH and C. F. RICHTER; Mechanisms of the Aftershocks of the Kern County, California, Earthquakes of 1952, B.S.S.A., **48** (1958), 133-146.

J. H. HODGSON; Nature of Faulting in Large earthquakes, B.G.S.A., **68** (1957), 611-644.

A. UDIAS; A study of the Aftershocks and Focal Mechanism of the Salinas-Watsonville Earthquakes of August 31 and September 14, 1963, B.S.S.A., **55** (1965), 85-106.

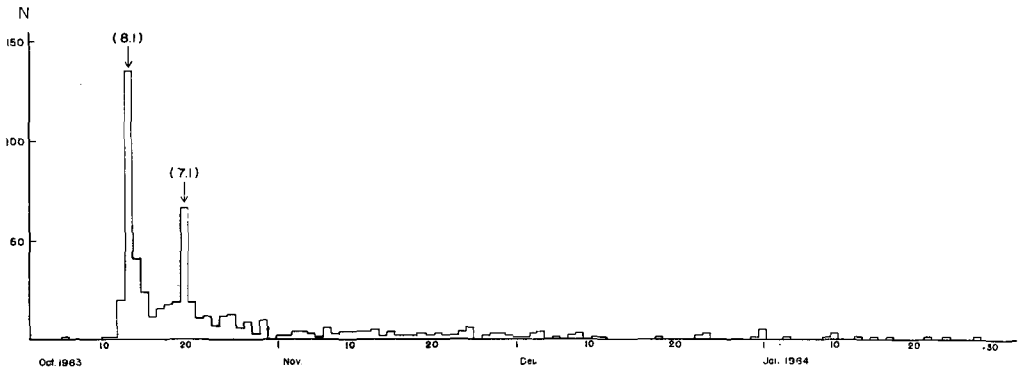
W. STAUDER and G. A. BOLLINGER; The Focal Mechanism of the Alaskan Earthquake of March 28, 1964, and of Its Aftershock Sequence, J.G.R., **71** (1966), 5283-5296.

その他, 大地震の調査結果の報告のなかのべられている。

3. 個々の地震の発震機構の決定と、そのマグニチュード、震央位置、地震活動の時間的変化との関係。
4. 過去の地震の発震機構との比較。

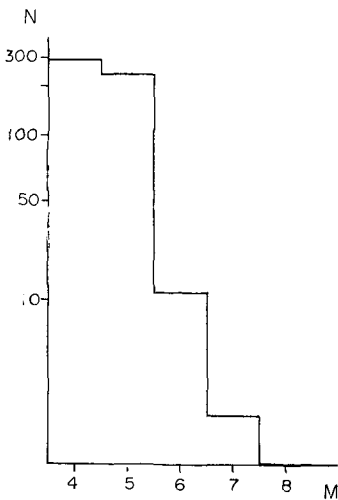
II. データ

対象とした期間は1963年10月6日から1964年1月28日までの約4カ月間であり、P波初動方向のデータは次の機関の「地震報告」から蒐集した：札幌管区气象台、気象庁、国際地震中央局 (BCIS)、ソ連科学アカデミー地球物理学研究所 (モスクワ)、東大地震研究所、京大阿武山地震観測所。



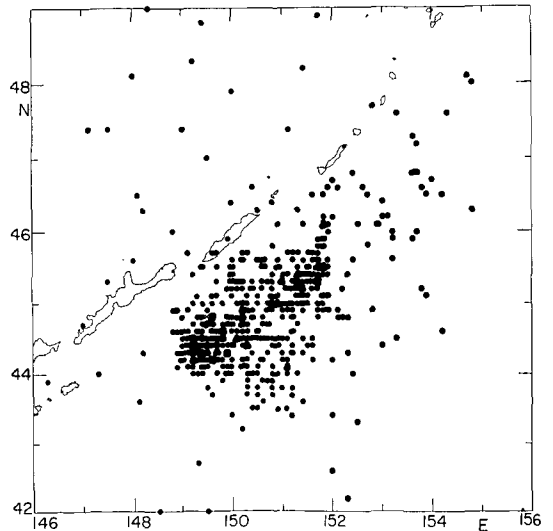
第1図 日別頻度分布

Fig. 1. Daily frequency of earthquakes. Arrows show the main shock ($M=8.1$) and a large aftershock.



第2図 規模別頻度分布

Fig. 2. Frequency distribution of magnitudes.



第3図 震央分布

Fig. 3. Distribution of epicenters.
×: main shock.

これらの地震報告から

観測点数	285
押し引きの全報告数	4,154
押し引きの報告のある地震数	440
発震機構を求めた地震数	203

のデータをあつめることができた。

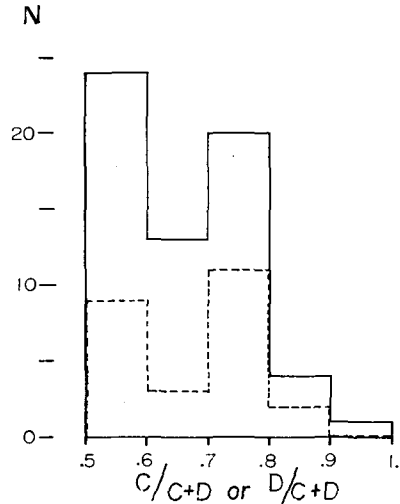
本研究では、震央、震源の深さ、マグニチュード、震源での発震時は USCGSにより決定されたものを用いてある。

本地震群の日別頻度分布、規模別頻度分布、震央分布を第1, 2, 3図に示す。

III. 観測点における初動方向について

前震・余震の発震機構についての一般論からは、一つの観測点において観測される前震・余震の初動はほとんど同じ方向をもつと考えられる。しかし実際には、本震とは異なる初動方向のものがある程度観測されている²⁾。

一つの観測点から報告される初動方向は、その地震の発震機構に対する観測点の相対的位置によって決まるが、その他に観測のあやまりも考えられる。しかし、このあやまりは少ないと考えられるので、初動方向の相異はその地震の発震機構の変化を反映していると考えることができる。しかしながら、観測点が節線の近くに位置する場合と、そうでない場合において考えられるように、観測点の震央に対する位置によって、発震機構の変化に対し大きく影響される場合も又逆にあまり影響されない場合もある。



第4図 いくつかの観測点における押し引き頻度の割合の分布

Fig. 4. Frequency distribution of proportions of the compressional and dilatational initial motions at each station.

Solid line: stations with more than 20 initial motion data.
Broken line: stations with more than 50 initial motion data.

2) 本多弘吉; 前出 1).

本多弘吉・竹花峰夫; 三陸沖強震の余震, 験震時報, 7 (1933), 61-70.

鷺坂清信・竹花峰夫; 前出 1).

中央気象台地震係; 前出 1).

正務 章; 昭和16年7月15日, 長野強震調査概報, 験震時報, 12 (1942), 153-161,

鈴木次郎; 1962年秋季地震学会にて講演.

宇津徳治・他; 1964年秋季地震学会にて講演.

安芸敬一・他; 1966年春季地震学会にて講演.

大竹政和; 同上.

第1表には、各観測点における押し引き別頻度および押し引きのうち多い方の方向とその頻度の、押し引き頻度の和に対する割合を示す。これらの頻度のなかには、震源事項が与えられず単に「エトロフ沖余震」とされているものも含まれている。

第4図には、20個以上の初動方向の報告のあった62の観測点における前記の割合の頻度

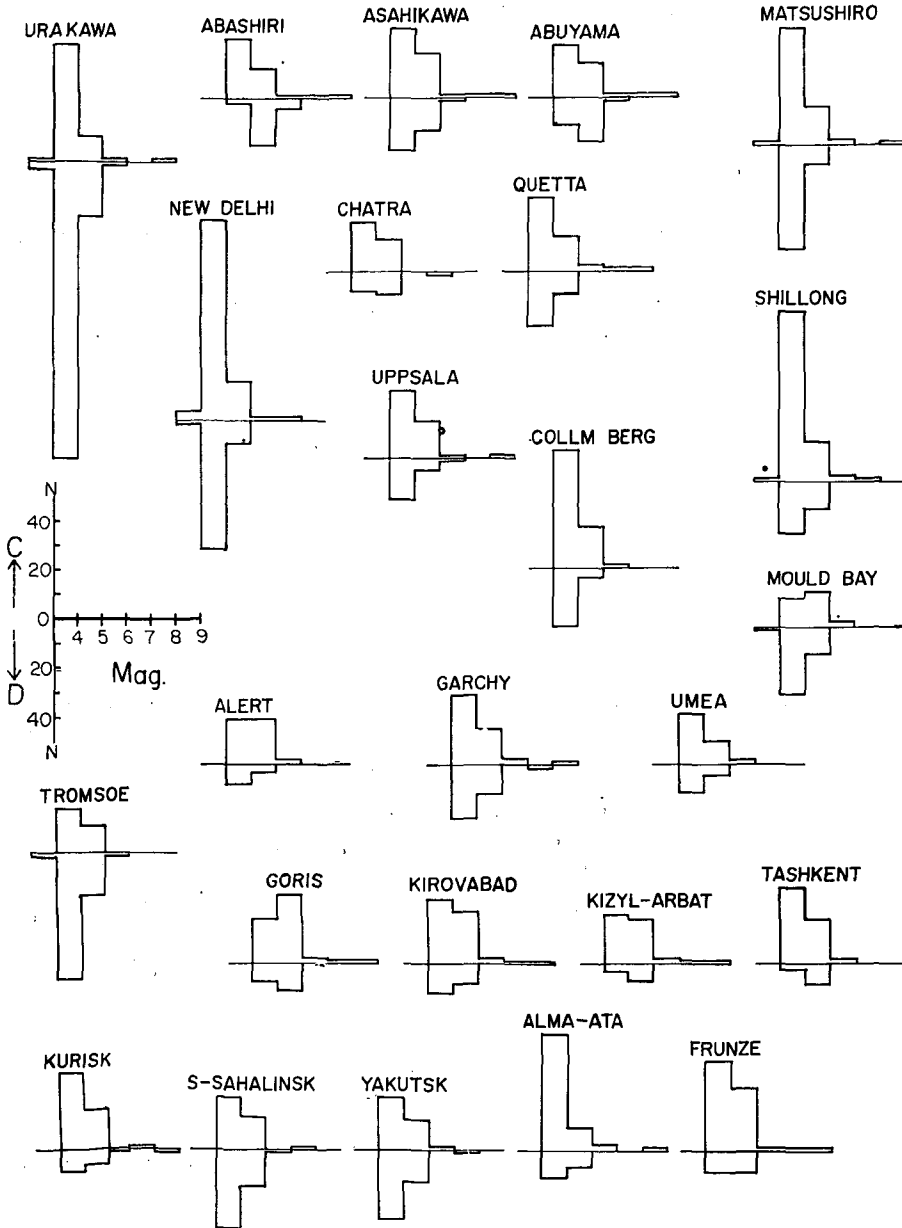
第1表 各観測点における押し引きの頻度とその割合
(C: 押し頻度, D: 引き頻度)

Table 1. Frequencies of the compressional and dilatation initial motions and their proportions at each station.
(C: compression, D: dilatation)

Station	Total	C	D	$\frac{C}{C+D}$ or $\frac{D}{C+D}$	Station	Total	C	D	$\frac{C}{C+D}$ or $\frac{D}{C+D}$
Abashiri	76	39	38	C 0.513	Matsushiro	117	67	50	C 0.572
Abuyama	68	38	30	C 0.559	Morgantown	21	9	12	D 0.571
Alert	51	40	11	C 0.783	Mould Bay	68	29	39	D 0.574
Alma-Ata	77	60	17	C 0.780	Mount Hamilton	44	24	20	C 0.546
Apatity	45	14	31	C 0.689	New Delhi	172	108	64	C 0.629
Asahikawa	85	49	36	C 0.576	Nove Lazalevskaya	32	19	13	C 0.593
Athene	20	13	7	C 0.650	Paris	37	22	15	C 0.594
Bensberg	20	14	6	C 0.700	Poona	21	9	12	D 0.571
Berkeley	45	33	12	C 0.732	Port Blair	21	18	3	C 0.857
Brebeuf	33	11	22	D 0.668	Priest	44	24	20	C 0.546
Calistoga	45	23	22	C 0.511	Pruhonic	42	32	10	C 0.761
Chatra	51	33	18	C 0.647	Quetta	80	48	32	C 0.600
Collm Berg	97	69	28	C 0.711	Resolute Bay	29	12	17	D 0.586
Copenhagen	34	13	21	D 0.617	Sapporo	20	13	7	C 0.650
Dehra Dun	45	25	20	C 0.556	Shasta	23	10	13	D 0.565
Dushanbe	29	25	4	C 0.862	Shillong	121	89	32	C 0.736
Edmonton	43	24	19	C 0.559	Simferopol	24	22	2	C 0.916
Frunze	82	64	18	C 0.780	South Sahalinsk	84	36	48	D 0.571
Garchy	83	45	38	C 0.542	Sverdrovsk	33	16	17	D 0.515
Goris	68	50	18	C 0.736	Tashikent	63	53	10	C 0.840
Hakodate	42	13	29	D 0.690	Tiksi	24	17	7	C 0.709
Jersalem	33	21	12	C 0.638	Tromsoe	102	30	72	D 0.716
Kajaani	21	5	16	D 0.761	Tulsa	48	17	31	D 0.645
Kasperske Hory	35	26	9	C 0.742	Uglegorsk	25	12	13	D 0.520
Kirovabad	71	51	20	C 0.719	Uinta B.	25	13	12	C 0.520
Kiruna	36	26	10	C 0.721	Umea	55	40	15	C 0.728
Kishnev	35	22	13	C 0.629	Uppsala	84	55	29	C 0.653
Kizyl-Arvat	52	42	10	C 0.808	Urakawa	229	63	166	D 0.723
Kongsberg	23	5	18	D 0.782	Vivorg	43	20	23	D 0.535
Krakov	44	34	10	C 0.772	Wakkanai	22	6	16	D 0.728
Kurilsk	64	48	16	C 0.750	Yakutsk	77	35	42	D 0.545

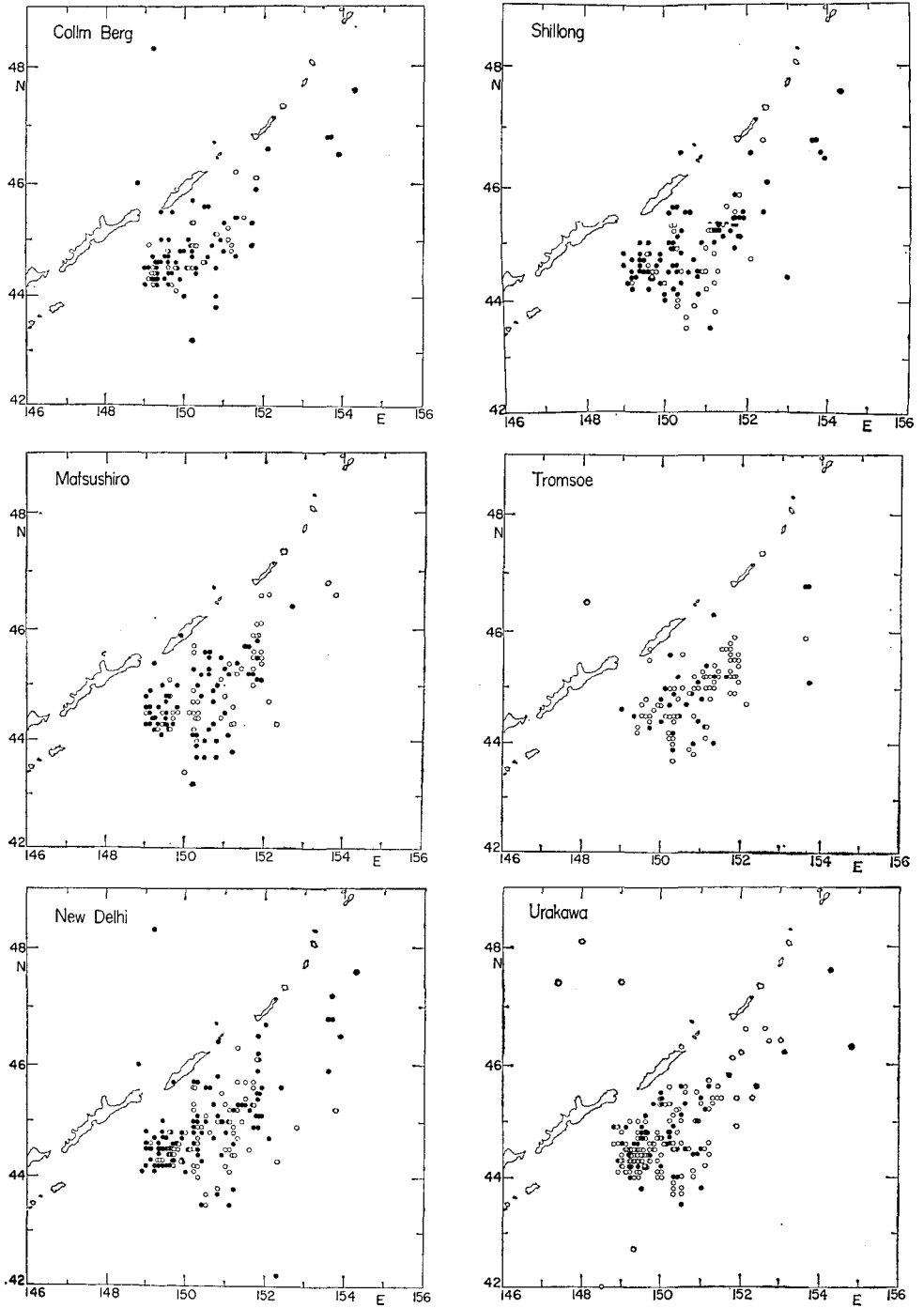
分布を示す。この図からみられることは、値が0.8~1.0にあるのは僅かに8%にすぎず、0.5~0.6および0.7~0.8の2つのピークがある。このことから、観測点における初動方向がほとんど同じである観測点は少なく、むしろ押し引きの頻度が相半ばしている観測点が多い。

第5図には、50個以上の初動方向の報告のあった25の観測点について、押し引きにわけ



第5図 いくつかの観測点における規模別に分けた押し引き頻度

Fig. 5. Frequencies of the compressional and dilatational motions versus earthquake magnitude at each station.

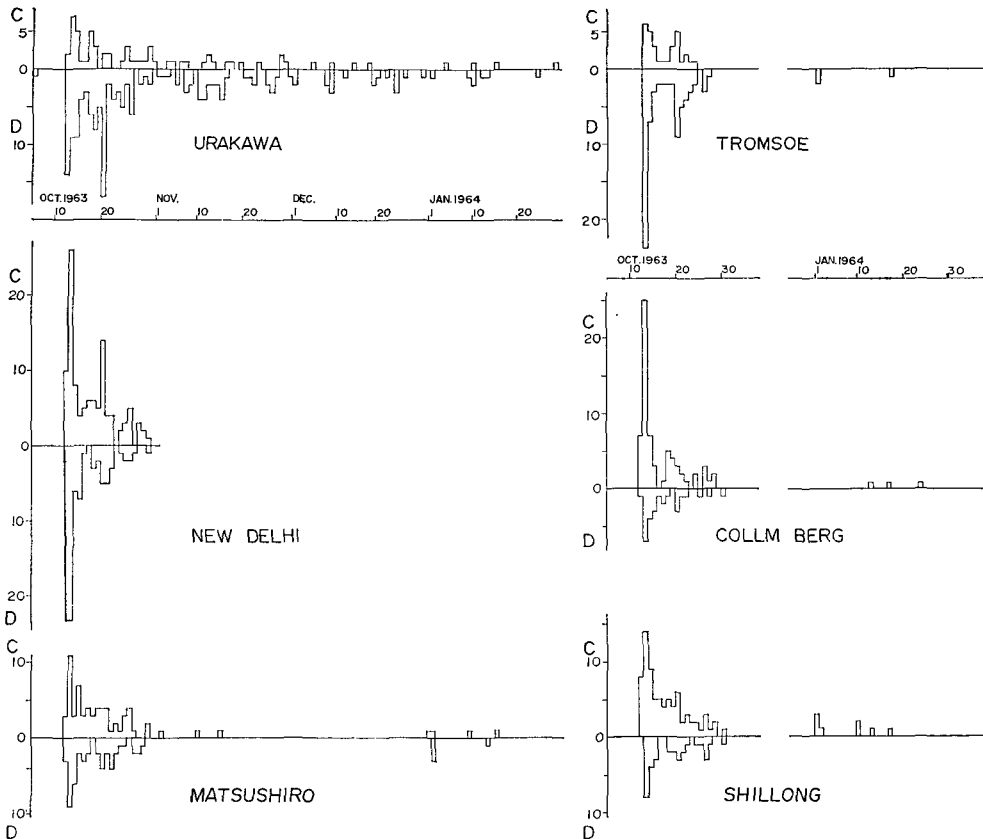


第6図 いくつかの観測点における押し引きによって分けた震央の分布
 Fig. 6. Distribution of epicenters classified according to the direction of initial motion at each station (Solid circle: compression, open circle: dilatation).

た規模別頻度を示す。図から、押し引きのうち頻度の少ない方のものは、マグニチュードが小さい範囲に現われており、又いくつかの観測点では、マグニチュードが小さくなるにつれその頻度が多くなる傾向がみられる。

第6図には、およそ100個以上の初動方向を報告している6個の観測点について、震央をその押し引き別に示した。いずれの観測点についても、その頻度の多い方向をもつ震央を背景として、その中に頻度の少ない方向の震央がいくつかのブロックとなって分布している。しかし、このようなブロックは、6個の観測点の全てに共通して同じ位置、形、大きさをもっているのではなく、又ブロックとしてあきらかにみとめられないものもある。これらは6個の観測点の震央に対する位置の相異によると考えられる。

第7図には、前述の6個の観測点について、押し引き別に分けた日別頻度を示す。いずれの観測点についても、前震・余震における相異は認められず、全体の地震活動が活発なとき(第1図でみられる2つのピーク時)には、両方向ともその頻度が著しくなっている。



第7図 いくつかの観測点における押し引きによって分けた日別頻度
 Fig. 7. Daily frequency of earthquakes classified according to the direction of initial motion.

IV. 本震の発震機構との比較

本章では、個々の地震の初動分布について次のことをしらべる。

1. 個々の地震の初動分布が本震の発震機構によって説明されるかどうか。
2. 初動分布が本震の発震機構によっては説明されない場合、個々の地震の初動分布を説明する発震機構は本震の発震機構とどの程度の異なりをもつか。

個々の地震の初動分布がある発震機構を満足する割合を表わす量として、その発震機構によって説明される初動方向データの個数の、全体の個数に対する割合の値を用いる。

比較に際し、本震の発震機構としては STAUDER and BOLLINGER³⁾ によって与えられている解を用いる。その解は P 波初動方向および S 波 polarization angle の世界各地のデータにもとづくものであり、今回筆者のあつめた P 波初動方向のデータを十分満足している (附録 II の 30 番参照)。この解を HODGSON の方法⁴⁾ によって第 8 図に示す。

1. 方法とデータ

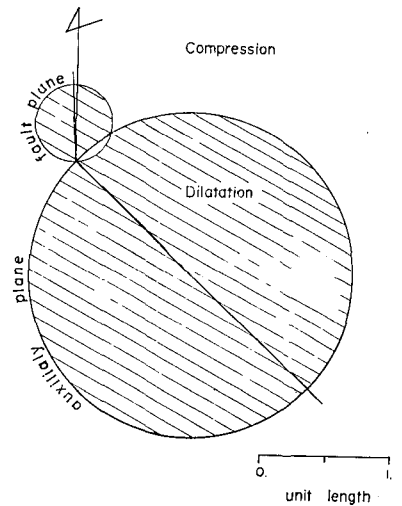
前述の項目に対しそれぞれ次の方法を用いる。

1. 個々の地震の初動分布について、本震の発震機構によって説明される初動方向データの個数を求める——「比較」。

2. 本震に対して与えられている

(2 節面の傾斜角)
(2 節面の傾斜方向の間の角)

を固定し、この 2 節面を回転させ初動方向についてもっとも多くのデータを満足する位置を求める。この位置は必ずしもその地震の発震機構を表わすものではないが、このときにえられる回転角によって、本震の発



第 8 図 本震の発震機構 (STAUDER and BOLLINGER による)

Fig. 8. Fault-plane solution for the main shock after Stauder and Bollinger.

第 2 表 初動方向データ数によって分けた地震の数

Table 2. Number of shocks according to the amount of initial motion data.

Number of initial motion data	~50	49~40	39~30	29~20	19~10	9~5	4	3	2	1	total
Number of shocks	10	8	14	28	64	79	36	43	57	101	440

3) W. STAUDER and G. A. BOLLINGER; The S Wave Project for Focal Mechanism Studies: Earthquakes of 1963, A Report Prepared for the Air Force Office of Scientific Research under Grant AF-AFSOR 62-458 (1965), 1-91.

4) J. H. HODGSON and R. S. STOREY; Tables extending Byerly's Fault-Plane Techniques to Earthquakes of Any Focal Depth, B.S.S.A., 43 (1953), 49-61.

震機構と個々の地震の発震機構の異なりの程度を表わすと考える——「回転」。

初動データの投影には HODGSON の方法を用いる。

ここで対象とする地震数を初動方向データの数によって分けて示す (第2表)。

2. 「比較」の結果

個々の地震の初動方向データについて、本震の発震機構によって説明される個数およびその全個数に対する割合を求めた。この分布を、初動方向データの数によって6組に分けて第9図に示す。データが4個以下のものは第3表に、データの数毎に本震の発震機構によって説明されるデータ数をもつ地震の数で示した。図において、ピークの位置は初動方向データの数によって異なるが、0.8~1.0にはきわめて少なく、又0.5に近いものが大部分となっている。

データが4個以下のものについても、本震の発震機構によっては説明されない可能性をもつものはおよそ半分になっている。

第3表 4個以下の初動方向データをもつ地震の、そのデータのうち本震の発震機構によって説明される数による分類

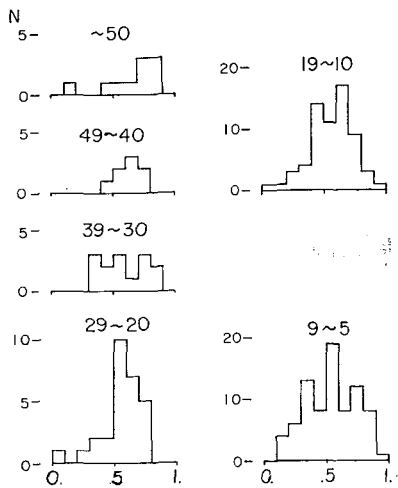
Table 3. Classification of shocks according to the number of consistent initial motion data with the mechanism of the main shock.

Number of consistent data		0	1	2	3	4
Number of initial motion data given for a shock.	4	3	5	10	14	4
	3	6	15	17	5	—
	2	14	31	12	—	—
	1	22	49	—	—	—

これらの結果から、多くの地震については「余震の発震機構は本震のそれとほぼ同じである」という従来的一般論はなりたっていないと思われ、本震とは異なった発震機構をもつ前震・余震がただ少数の「例外」として存在するのではないと考えられる。

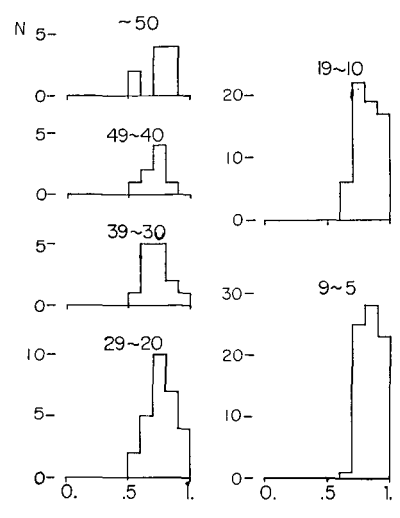
3. 「回転」の結果

5個以上の初動方向データをもつ203個の地震についてしらべた。本章第1節でのべた方法によって、そのときのメカニズムによって説明される初動方向データの数の全体のデータ数に対する割合を求めた。その分布を第10図に示す。なお本震の発震機構の初動方向を逆転させることによってもっとも多くのデータを説明することができる場合には、それを採用した。



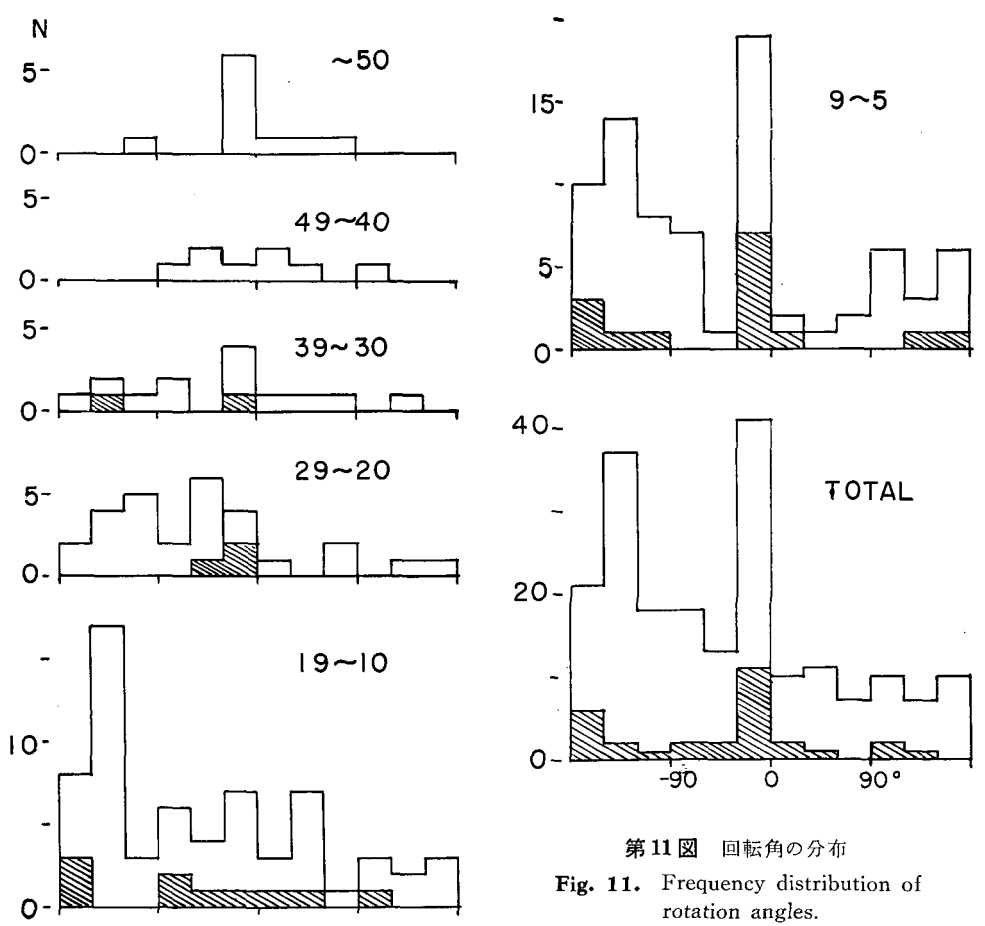
第9図 本震の発震機構によって説明される初動方向データの数の割合の分布

Fig. 9. Frequency distribution of proportions of consistent initial motion data with the mechanism of the main shock.



第10図 「回転」された発震機構によって説明される初動方向データ数の割合の分布

Fig. 10. Frequency distribution of proportions of consistent initial motion data with rotated mechanisms of the main shock.



第11図 回転角の分布

Fig. 11. Frequency distribution of rotation angles.

Hatched parts: reversal of the direction of initial motions for the main shock.

図によれば、すべての地震について半分以上のデータを説明しており、0.7~0.9にピークをもっている。

第11図には回転角の分布を示す。斜線部分は、初動方向が本震の場合と逆転しているものを表わす。初動方向データの数によって分布が異なっているが、一般的に回転角は全域に亘る広い分布をなしている。

このことから、前震・余震の発震機構は皆本震と大体同じであるといわれるような分布をなさず、全角度に亘って分布していると考えられる。

4. 回転角のマグニチュード、震央位置、地震活動の時間的変化に対する関係

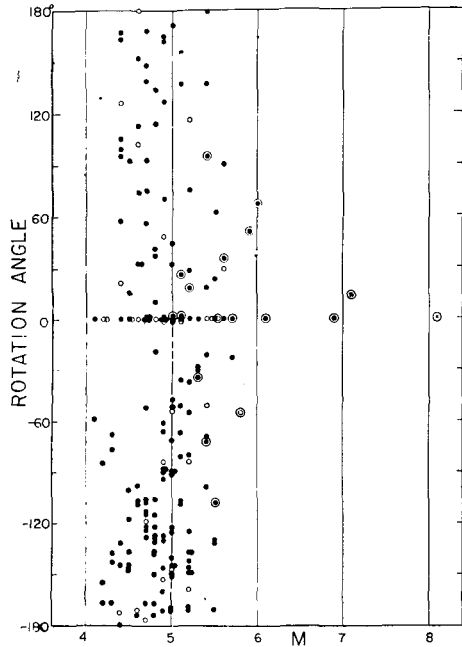
第12図には、回転角とマグニチュードに対する関係を示す。図において、大きなマグニチュードの範囲では0に近い値をもち、小さなマグニチュードの範囲では全域に亘って分布している。これらの中間の範囲(マグニチュードが大体6)では、マグニチュードが小さくなるにつれ、回転角の分布する範囲が次第に広がっていく傾向がみられる。

第13図には、各地震の震央に回転角の値を示した。明らかな結果はえられない。

第14図には、回転角の時間的関係を示した。前震・余震時における相異はみとめられない。全体の活動が活発なときにはほとんど全域に亘って分布している。

V. 発震機構の決定

個々の地震の発震機構を決定するにあたって、第III章で示されたように多くの観測点では初動方向は同じなかったことから、「重畳初動分布図」⁵⁾の方法を用いることが出来ない。又第IV章で示されたように、回転角が全角度に亘って分布していることから、メカニズム・エレメントの一部を仮定して発震機構を決定するという方法を用いることもできない。従って、各地震の初動方向のデータのもっとも多くの数を説明するものをもってその地震の発震機構とす



第12図 回転角と地震規模との関係

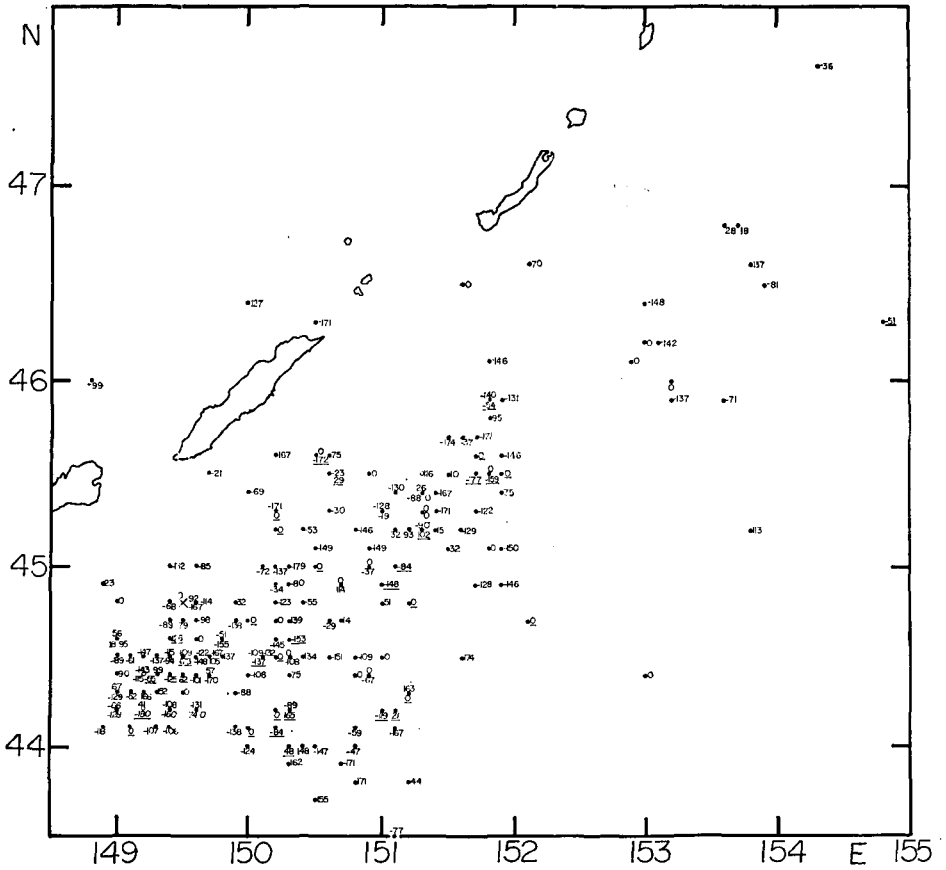
Fig. 12. Relation between the rotation angle and the magnitude.

Open circle: reversal of the direction of initial motions for the main shock.

Double circle: shocks with more than 40 initial motion data.

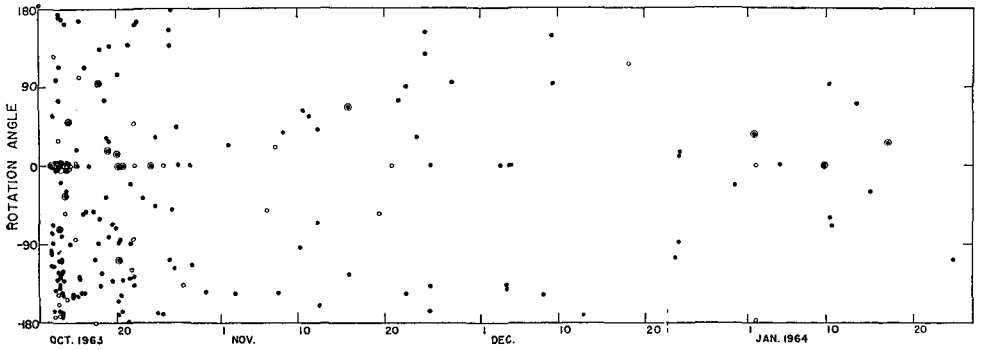
5) S. OMOTE; 前出 1).

市川政治; 日本附近の地震のメカニズムに関する統計的研究と二、三の問題, 研究時報, 18 (1966), 83-154.



第13図 回転角の空間分布

Fig. 13. Geographical distribution of rotation angles. Underlined numerals show the reversal of the direction of initial motions for the main shock.



第14図 回転角の時間的分布

Fig. 14. Time variation of rotation angles.

る。この場合いくつかの解が考えられる場合にはそれらのすべてを求めることにする。

震源のモデルとしては double couple without moment⁶⁾ とする。5 個以上の初動方向データをもつ 203 個の地震についてしらべた。

1. 決定方法

初動方向データの投影には等面積投影図(下半球)⁷⁾を用いた。震源における入射角の値は extended distance⁸⁾の値から逆算した。

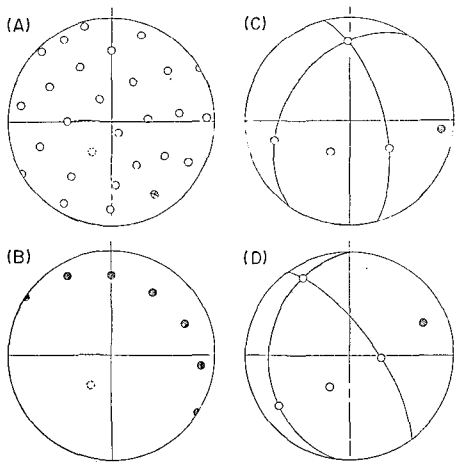
実際の決定に際しては、次の2つの段階に分けた。

1. 節線の存在する範囲を決定する段階

試行錯誤法によるあいまいさをなくすために、メカニズム・エレメントが focal sphere 上全体を系統的にかわるモデル解を作り、各地震の初動分布をこのモデル解と順次比較して、もっとも多くの初動方向データを説明する解を捜す方法をとる。

このモデル解として次のようにつくった(第15図参照)。

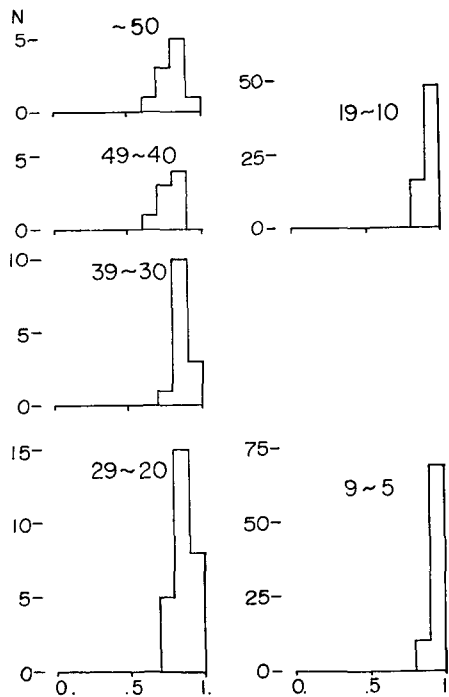
focal sphere 上において、本震の P 軸(主圧



第15図 モデル解の説明と例

Fig. 15. Interpretation and examples of the "model solutions".

- (A) Distribution of P-axes.
- (B) Distribution of T-axes corresponding to a given P-axis.
- (C), (D) Examples.



第16図 決定された発震機構によって説明される初動方向データの数の割合の分布

Fig. 16. Frequency distribution of proportions of consistent initial motion data with mechanisms determined by the author.

6) H. HONDA; Earthquake Mechanism and Seismic Waves, Journ. Phys. Earth, 10 (1962), 1-97.
 7) H. HONDA and K. EMURA; Some Charts for Studying the Mechanism of Earthquakes, Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophys., 9 (1957), 113-119.
 8) J. H. HODGSON et al.; 前出 4).

力軸)の位置から角距離・方位角で 30° ずつの間隔をもつ位置に順に P 軸を与える(第15図(a), ⊗は本震の P 軸位置を表わす)。このようなそれぞれの P 軸に対して,その位置から角距離で 90° をもつ大円上に順に 30° ずつ移動させた位置に T 軸(主張力軸)を与える((B)図)。このような P および T 軸のくみあわせに対し,それぞれの節面を作図する。その例を第15図(C)と(D)に示す。

今回はこのようなモデル解を168個作成した。

なお,初動方向データの少ないものについては,適当な間隔をもつ隣り合ったデータ(初動方向が同じ場合も含む)の間を通る大円の組合せをもってあてた。

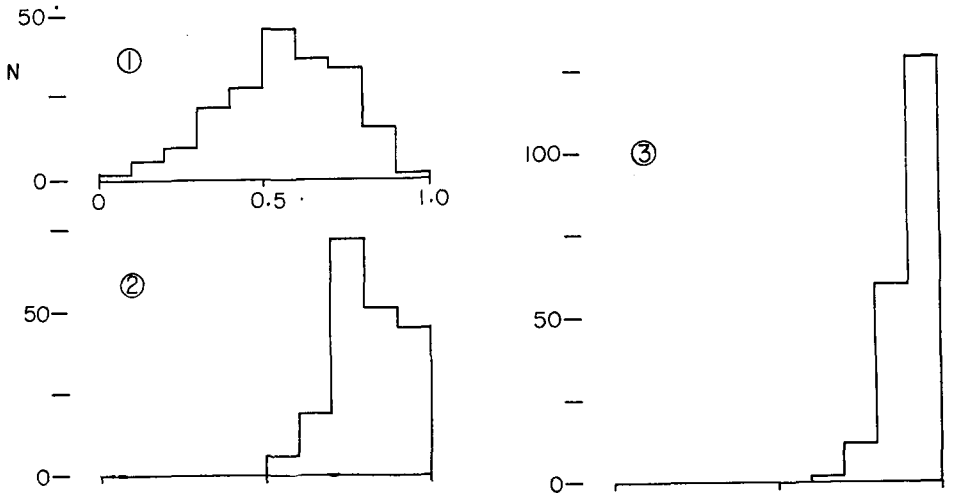
2. 節線の位置をきめる段階

節線の存在しうる範囲内の平均的位置を与えるために次の方法をとった。

(1) 相異なる初動方向を与える隣り合ったデータの間の中間点を通る。

(2) 節面の極を,その存在しうる範囲内の中間位置におく。

(3) 上の2つの方法では1つの節面しか求められない場合がある。すなわち,残りの節面の存在すべき範囲を与える,相異なる初動方向をもつ隣りあったデータがない場合である。このような場合には,節面の直交条件から残りの節面の通るべき位置(先に求められる節面の極)がきめられるので,初動分布のひろがりの位置,大きさから残りの節面の存在する範囲が唯一つしかないと考えられる場合には,その範囲内の平均的位置に節面を与える。そのような範囲がいくつか考えられる場合には,それぞれの範囲内の平均的位置に節面を与える。



第17図 発震機構によって説明される初動方向データの数の割合の分布の比較

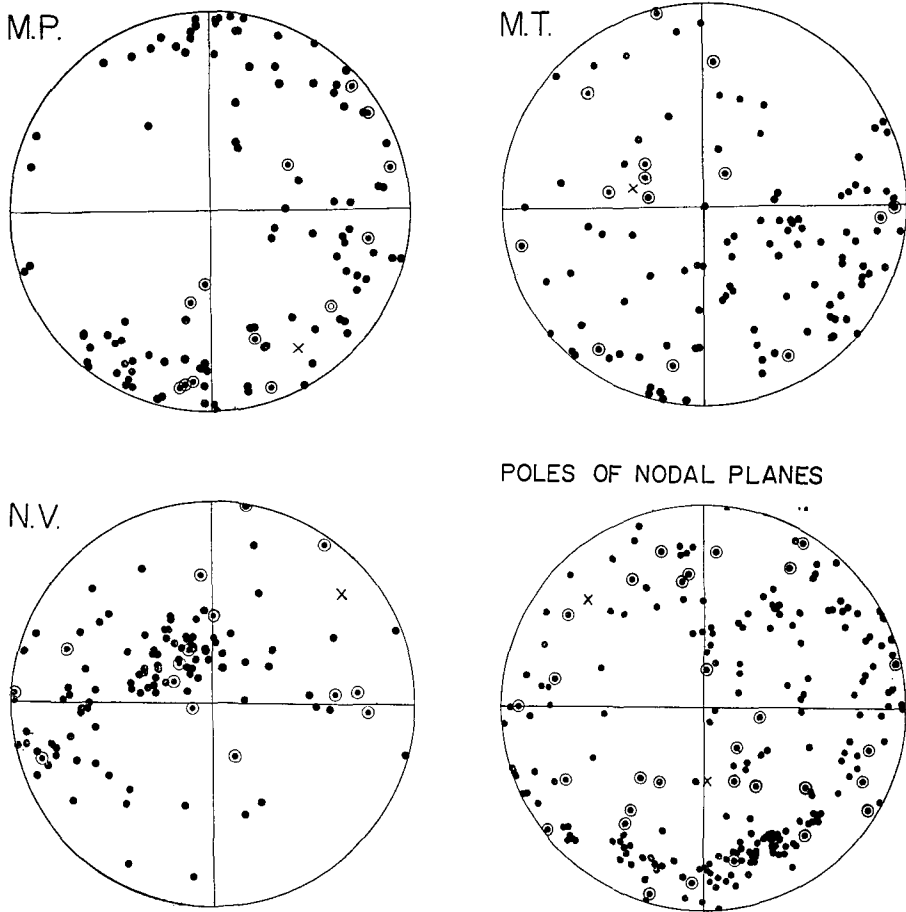
Fig. 17. Comparison of distributions of proportions of consistent initial motion data.

- 1: Mechanism of the main shock.
- 2: Rotated mechanism of the main shock.
- 3: Determined mechanism.

第4表 唯一つの解が求められた地震といくつかの解が求められた地震

Table 4. Number of shocks with a unique solution and multiple solutions.

Number of initial motion data	~50	49~50	39~30	29~20	19~10	9~5	total
Shocks with a unique solution	9	7	12	23	40	25	116
Shocks with multiple solutions	1	1	2	5	24	54	87



第18図 メカニズム・エレメントの分布

Fig. 18. Distribution of mechanism elements for unique-solution shocks on the focal sphere.

X: main shock.

double circle: shocks with more than 40 initial motion data.

2. 決定結果

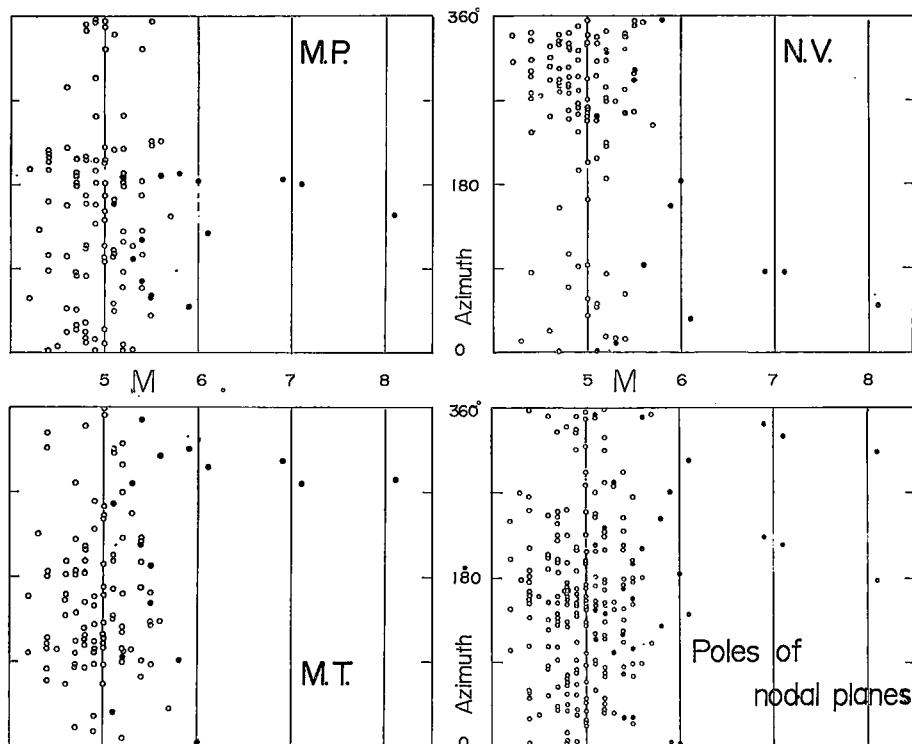
上にのべた方法によって、初動方向のデータが10個以下の地震のいくつかについてただ一つの解が求められている。又一つの地震に対して7通りの解が求められる場合もあった。

ただ一つの解が求められる地震と二つ以上いくつかの解が求められる地震を、その初動方向データの数によって分けて第4表に示す。

求められた解のオリエンテーションおよび初動分布を附録Iに示す。⊕印は P , T , B (Null Vector) および節面の極を表わす。地震番号に対応する発震時を附録IIに示す。なお2つ以上いくつかの解の求められた地震については初動分布のみを示した。

各々の地震の初動方向について、求められた発震機構によって説明されるデータ数の全データ数に対する割合の分布を第16図に示す。ほとんどすべての地震が0.8~1.0の高い割合で説明されている。

第17図には、すべての地震について、本震の発震機構、その回転による発震機構および決定された発震機構によって説明される初動方向データの割合の分布の比較を示す。図から、決定された発震機構の妥当性がみとめられる。



第19図 メカニズムとマグニチュードとの関係

Fig. 19. Relation between the mechanism orientation and the earthquake magnitude.

Solid circle: shocks with more than 40 initial motion data.

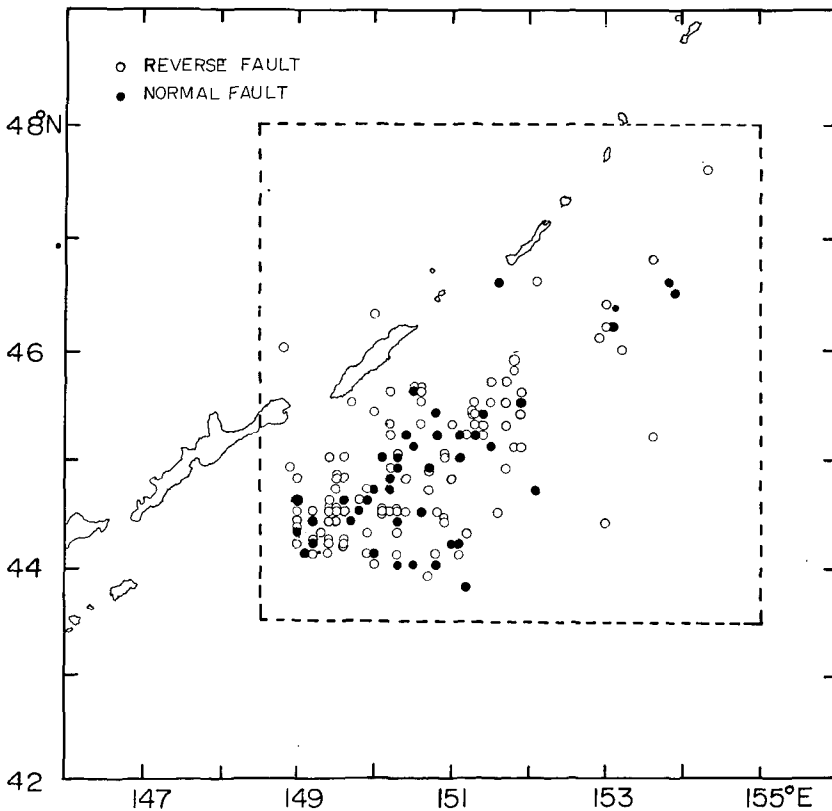
3. メカニズム・エレメントについて

はじめに本震と唯一つの解が求められた 115 個の地震についてのべる。

第 18 図には、 B , F , T 軸および節面の極の focal sphere 上の分布を示す。いずれのエレメントについても、focal sphere 上の全域に亘る分布をしており、本震の位置の近くには少ない。又エレメントによって、分布の様相が異なっている。

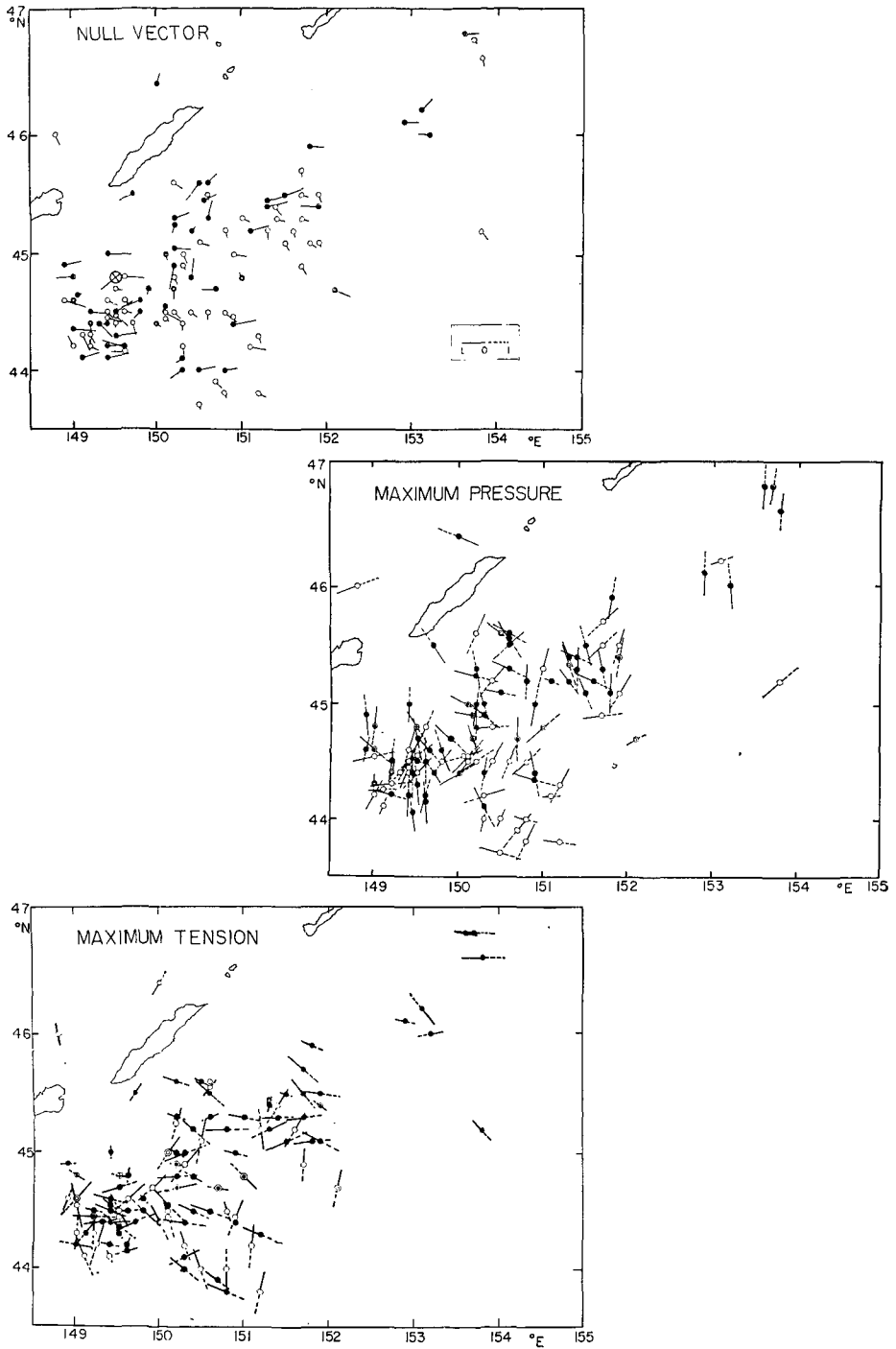
第 19 図には、各々のエレメントについてその方位のマグニチュードに対する関係を示す。いずれのエレメントについても、小さなマグニチュードの範囲では全方位に亘って分布し、大きなマグニチュードの範囲ではほぼ一定の方位にある。これらの中間の範囲 (マグニチュードが大體 6) では、マグニチュードが小さくなるにつれ、その分布する範囲が広がっていく傾向がみられる。

第 20 図には、震央を断層型 (黒丸: 正断層, 白丸: 逆断層) によって分けて示した。図には 2 つ以上の解が求められた地震でも、それらの解がすべて同じ断層型となるものも含まれている。逆断層の震央を背景として正断層の震央がかたまりとなっているところがある。



第 20 図 断層型の空間分布

Fig. 20. Geographical distribution of the fault type.
Solid circle: normal fault. Open circle: reverse fault.



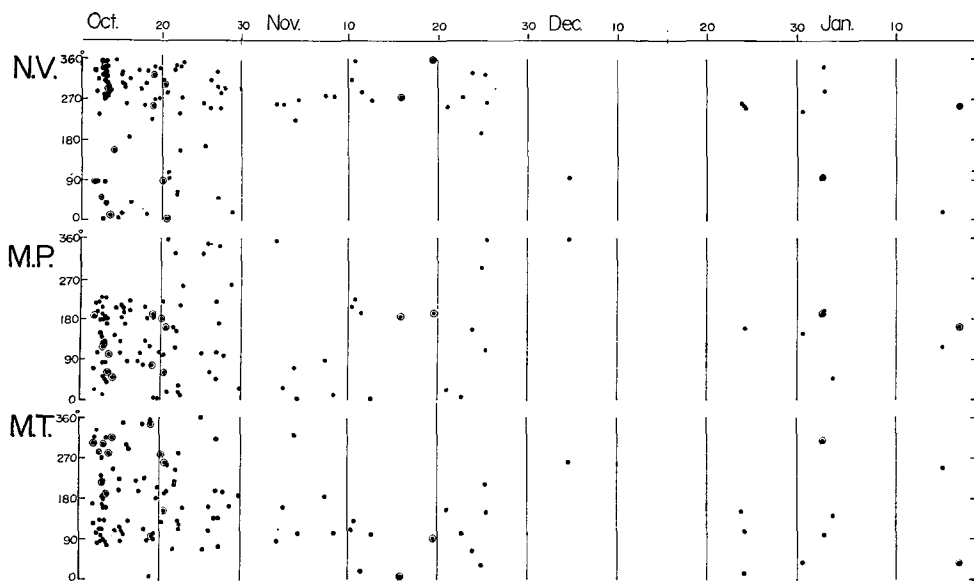
第 21 図 メカニズムの空間分布

Fig. 21. Geographical distribution of the orientation of mechanism elements.
 Solid circle: shock with approximately the same mechanism as the main shock.
 Open circle: shock with quite different mechanism from the main shock.

第21図には、Null Vector, 主圧力, 主張力のオリエンテーションを震央に示す。線分の方角は方位を、その長さは水平面上への投影長を表わし、実線部分は震源から地表に向っている側を表わす。又震央を、focal sphere 上において本震のエレメントの位置からの角距離・方位角で 45° 以下のものを黒丸で、 45° 以上のもの(本震のエレメントに直交するに近いもの)を白丸で示した。

いずれのエレメントについても、そのオリエンテーションが、本震に大体同じものと本震とは全くことなるものがそれぞれかたまりとなっているいくつかのブロックがみられる。しかしこのようなブロックは、すべてのエレメントについて同じ位置・形・大きさをもってはいない。系統的な変化はみられない。

第22図には、各エレメントについて、方位の時間的変化を示す。前震・余震時における相異はみとめられず、全体の活動が活発なときには、全方位に亘って分布している。



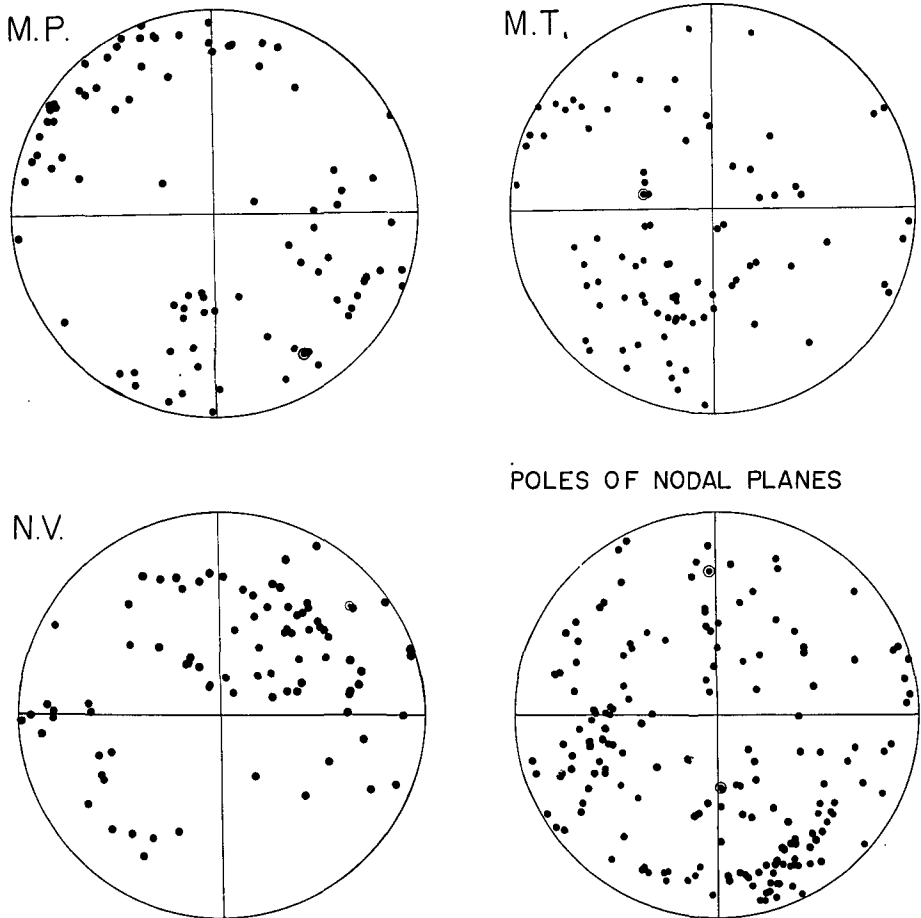
第22図 メカニズムの時間的变化

Fig. 22. Time variation of mechanism orientations.

Double circle: shock with more than 40 initial motion data.

87個の地震では、解はユニークには求められなかった。これらの地震に対して求められた解の中で、本震の発震機構にちかいもののエレメントの focal sphere 上の分布を第23図に示す。本震の発震機構にちかいもの選択には、focal sphere 上において B, P, T 軸の本震の位置からの角距離の和の小さいものをえらんだ。

エレメントによって分布の相異はあるが、focal sphere 上の全域に亘る分布をしていること、本震の近くには少ないことがみられる。又分布の形もただ一つの解が求められたものとは



第23図 二つ以上の解の求められた地震のメカニズムの本震のメカニズムに近い解の分布

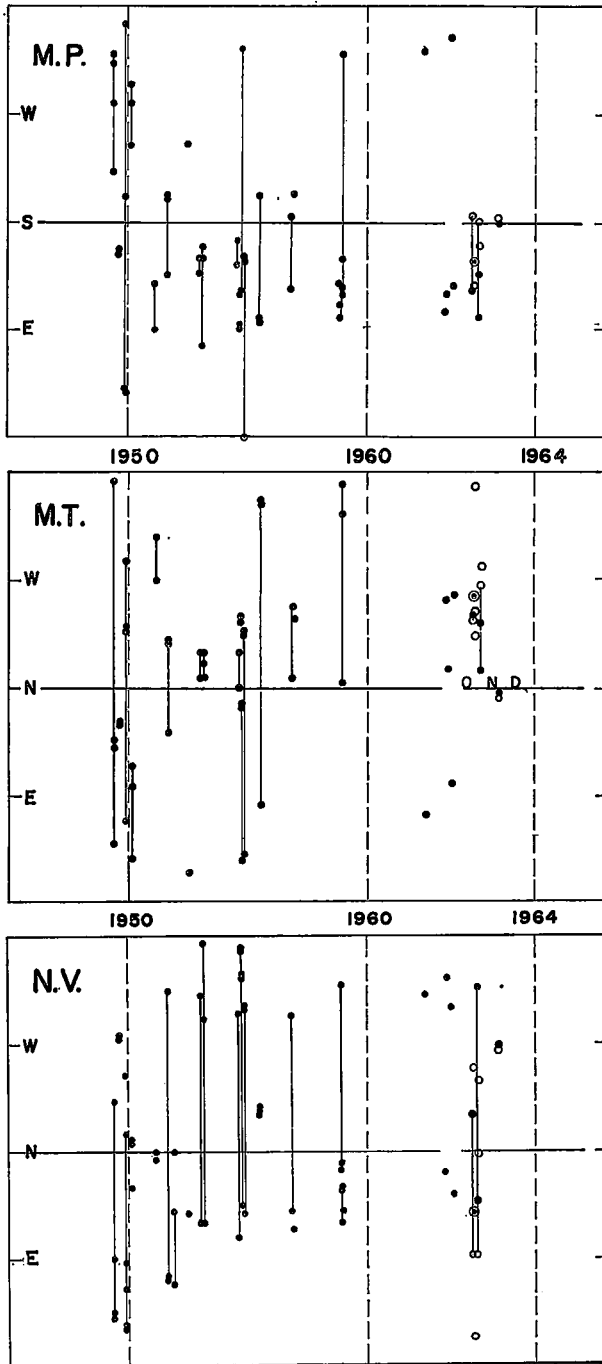
Fig. 23. Distribution of mechanism elements of multiple-solutions shocks on the focal sphere.

Double circle: main shock.

とんどかわっていない。これらのことからただ一つの解が求められた116個の地震についての結果が203個全体の地震の中で特異なものではないと考えられる。

VI. 過去の地震の発震機構との比較

これまでに今回の余震域の近くに起った地震のいくつかについてはその発震機構が求められている⁹⁾。これらの解の B , P , T 軸の方位を年代順に第24図に示す。図には、筆者の得た解(ユニークに求められたもの)のうち、50個以上の初動方向のデータをもつ解を白丸で示してある。図中、線で結ばれているものは同じ地震についていく人かの研究者によって求められた解を表わす。



第24図 過去の地震のメカニズムとの比較

Fig. 24. Comparison of mechanism orientations with previous results.
Open circle: Solutions determined by the author.

一つの地震について何人かの人達によって求められた解の間の大きな相異がみられる。又メカニズム・エレメントによって分布にちがいがみられる。しかしこれらの地震の発震機構（とくに主圧力）は大体一定であると考えられている¹⁰⁾。筆者の得た解の内、マグニチュードの大きなものは、それらの結果とよく一致している。

以上のことから、地震群中の大規模な地震（今回の場合には、マグニチュードが6以上のものにあたる）は、その地域特有の性状に強い影響を受けた一定の発震機構をもち、小規模な地震ではそのような影響は弱いと考えられる。

今回えられた、発震機構で特徴づけられる余震域内のブロック内の地震のもつメカニズム・オリエンテーションとの比較は、過去の資料の不十分さから明らかにはできない。

VII. 結 論

1963年エトロフ沖地震群について、各観測点における初動方向、個々の地震の初動分布の本震の発震機構との比較、発震機構をしらべた結果次の結論を得た。

1) 多くの観測点で、押し引きの両方向を共に観測しており、その頻度については同じ割合に近いものが多い。これらの一つの観測点で観測される初動方向の相異は、その地震のマグニチュード、震央位置、地震活動の時間的变化に関係をもっている。これらの関係は発震機構についての結果と対応している。

2) 多くの前震・余震についてしらべてみると、「余震の発震機構は本震のそれと同じである」という一般論はなりたっていない。本震とは異なった発震機構をもつ前震・余震は少数の「例外」として存在するのではない。

3) 各地震のメカニズム・エレメントは focal sphere 上のほぼ全域に亘って分布している。又エレメントによってその分布の様相は若干異なっている。

4) 個々の地震の発震機構はそのマグニチュード、震央位置、地震活動の時間的变化と関係をもっている。

9) L. M. BALAKINA; The Distribution of Stresses Effective in Earthquake Foci in the Northwestern Pacific, Bull. (Izv.) Acad. Sci. USSR, Geophys. Ser., No. 11 (1959) (English translation), 1131-1135.

L. M. BALAKINA; General Regularities in the Directions of the Principal Stresses Effective in the Earthquake Foci of the Seismic Belt of the Pacific Ocean, Bull. (Izv.) Acad. Sci. USSR, Geophys. Ser., No. 15 (1962) (English translation), 918-926.

H. D. FARA; A New Catalogue of Earthquake Fault Plane Solutions, B.S.S.A., 54 (1964), 1491-1517.

W. STAUDER and G. A. BOLLINGER; The S Wave Project for Focal Mechanism Studies: Earthquake of 1962, A Report Prepared for the Air Force Office of Scientific Research under Grant AF-AFSOR 62-458 (1964).

W. STAUDER and G. A. BOLLINGER; The S Wave Project for Focal Mechanism Studies Earthquake of 1962, B.S.S.A., 54 (1964), 2199-2208.

W. STAUDER and G. A. BOLLINGER; 前出 3).

10) L. M. BALAKINA; 前出 9).

5) 発震機構のマグニチュードに対する関係： 大きなマグニチュードの範囲では大体同じ発震機構をもち、これは1949年以來のこの地域における大規模な地震の様な発震機構に対応している。小さなマグニチュードの範囲では、方位角の全域に亘る分布をなしている。これらの中間の範囲（マグニチュードが大体6）では、マグニチュードが小さくなるにつれ、その分布する範囲がひろがっていく傾向がみられる。

6) 発震機構の震央位置との関係： 余震域内には、その発震機構によって特徴づけられるいくつかのブロックが存在し、各ブロックはその発震機構によって本震のそれに近いものと本震とは全く異なるものとに分けられる。そのブロックの大きさは同じではない。又このようなブロックの位置、形、大きさはメカニズム・エレメントによって異なっている。

7) 発震機構の地震活動の変化との関係： 前震・余震時における相異はみとめられず、全体の活動が活発なときには方位の全域に亘る分布を示している。

以上のように1963年エトロフ沖地震群の多くの地震について発震機構をしらべた結果、地震群（前震および余震）の発震機構についての従来的一般論とは異なった結果がえられた。又新たなこともみいだされた。

これまでの地震群の発震機構の研究による結果と今回得られた結果とのちがいは、それらの地震群と今回のエトロフ沖地震群の間のマグニチュード範囲、震源域の大きさ、地震活動推移の特徴などのちがいによって解釈がなりたつのではないかと思われる。

「余震の発震機構は本震のそれに同じである」という一般論は、わずかの地震の発震機構（あるいは初動分布）によるものにその根拠をおいている。地震群中初動方向のデータを多くもたらす地震は、比較的大規模な地震となることが予想される。従ってその発震機構が本震のそれと（大体）同じとなる可能性は大きく、従来のような結果となるであろう。

非常に多くの地震を用いたものでも、地震群が大体同じ発震機構をもつという場合もある。たとえば市川の松代地震についての研究である¹¹⁾。この場合には、その震源域の大きさのちがいによって解釈されるのではないかと思われる。すなわち、松代地震の震源域はおよそ $0.3^{\circ} \times 0.3^{\circ}$ 程度の大きさをもち、これはエトロフ沖地震群の一つのブロックに対応する程度のものである。従って、余震域の小さな地震群では同じメカニズムとなるであろう。

普通、地震群の活動の中で、そのもっとも活発な時期は非常に短い。十分な観測なしには、これらの時期における地震群の性状をつかむことはできないと思われる。発震機構についても十分多くの地震についての観測がなければ、これらの時期における性状をつかむことはできないと思われる。

今回の研究で発震機構のマグニチュードに対する関係について、発震機構の分布が異なるわかれ目としてマグニチュードが大体6となっているが、このような値ならびにその近くの分

11) 市川政治；前出1)。

布の様子は他の地震群の場合にはことなつた値となるのではないかと思われる。

地震群の発生はいろいろなファクターの下にあり、非常に複雑な過程をもっている。すでに明らかにされたものとしては、地震活動の変化についての大森公式、地震の大きさについての石本・飯田の式、空間的分布についての宇津の式があり、今後明らかにされるべき問題としては、この地震群について三東¹²⁾によって示されている活動域の移動の問題、山川¹³⁾によって示されている余震エネルギー集中の問題などがある。余震の発生はこれらの全ての関係に同時に支配されていると考えられる。このような立場から、発震機構のマグニチュード、震央位置、地震活動の推移に対する関係を一層明らかにする必要がある。

今回の研究で示されたように、観測点における初動方向についての結果は発震機構による結果に対応するものであった。発震機構による方法では種々の困難がさけられないことを考えると、観測点における初動方向による方法はある程度有力であると考えられる。

謝 辞 計算には北大計算センターの NEAC 2203G を用いた。データの蒐集にあたり便宜を図って戴いた気象庁、又製図に一方ならぬ御協力を戴いた当教室の皆様にご感謝します。又終始御指導と御援助を戴いた宇津徳治先生に心からの謝意を表します。

2. Focal Mechanism of the 1963 Iturup Earthquake Sequence

By Tadashi MAKI

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

The mechanisms of the 1963 Iturup (Southern Kurile) earthquake sequence have been investigated using the data of P wave initial motions from many seismic stations in the world during the period from October 5, 1963 to January 28, 1964. The amount of data used in the analysis may be seen from the following figures.

Number of stations reporting directions of initial motions: 285

Number of shocks for which initial motion data have been available: 440

Total number of directions of initial motions: 4,154

Number of shocks whose mechanisms have been resolved: 203

Main results are summarized as follows.

(1) At most stations both compressional and dilatational initial motions were observed during the sequence. Proportions of frequencies of the compressional and dilatational initial motions are not very different at many stations.

(2) Comparisons of distribution patterns of initial motions of the 440 shocks with the mechanism of the main shock of October 13 (after Stauder and Bollinger 1965)

12) T. SANTO; Shock Sequences of the Southern Kurile Islands from October 09 to December 31, 1963, Bull. Int. Inst. Seism. Earthq. Eng., 1 (1964), 33-54.

13) 山川宜男; 余震に関する二、三の調査, 地震 II, 18 (1965), 25-40.

suggest that the majority of the 440 shocks have significantly different mechanisms from the main shock. In order to demonstrate the differences of mechanisms of the individual shocks from the main shock, the nodal planes for the main shock have been rotated about its projection center on the equatorial plane (Hodgson' projection method) by such angles that the maximum number of the initial motion data becomes consistent with the new positions of the nodal planes. The distribution of such rotation angles indicates the wide variety of the mechanisms of the shocks in the sequence.

(3) For 202 shocks the most likely mechanism solutions have been adopted by the comparisons with the 168 "model solutions", whose stress axes (pressure and tension axis) are distributed systematically on the focal sphere under a certain rule. For 115 shocks out of the 202 ones mechanism solutions have been obtained uniquely. The stress axes and the poles of the nodal planes for these shocks distribute over the whole surface of the focal sphere. This indicates again the wide variety of the mechanisms.

(4) The frequencies of the compressional and dilatational initial motions at each station, the rotation angles and the mechanism solutions described in previous paragraphs have some relations to the earthquake magnitude, the epicentral location and the temporal variation of the seismic activity. Examinations of these relations lead to the following conclusions.

i) Relation to the earthquake magnitude: The shocks with magnitude larger than about 6 have similar mechanisms in accordance with the predominant pattern of the mechanisms of larger earthquakes in the southern Kurile region in the past from 1949. However, various mechanisms with almost all ranges of orientation seem to happen for smaller shocks.

ii) Relation to the epicentral location: The aftershock area can be divided into several "blocks" in which the shocks have approximately the same mechanisms. These blocks are classified roughly into two types; one includes shocks with mechanisms more or less similar to that of the main shock, and the other includes those with quite different mechanisms from the main shock.

iii) Relation to the temporal variation of the seismic activity: The difference in the mechanisms at the stages of fore- and aftershocks are not detected. There seems to be a tendency that the mechanisms are more variable at active stages.

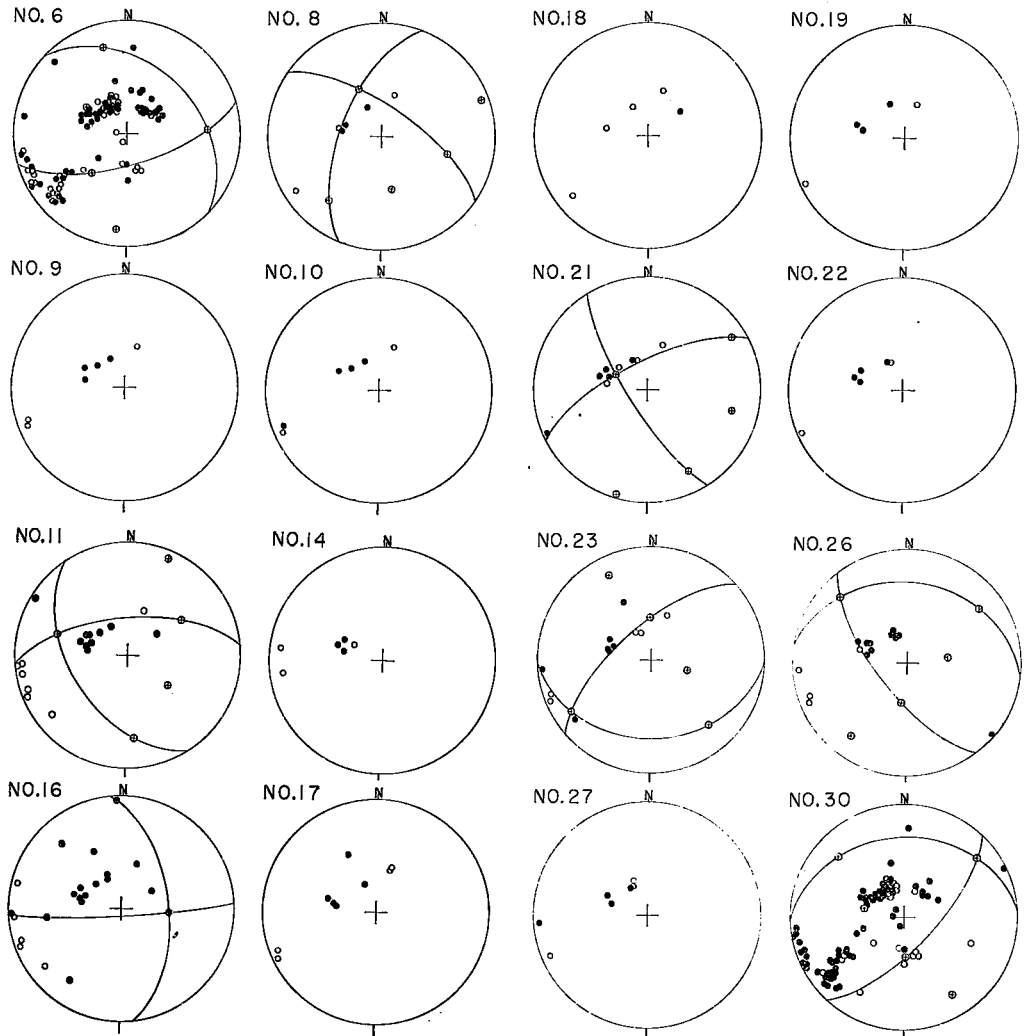
附録 I. 発震機構および初動分布の等面積投影図

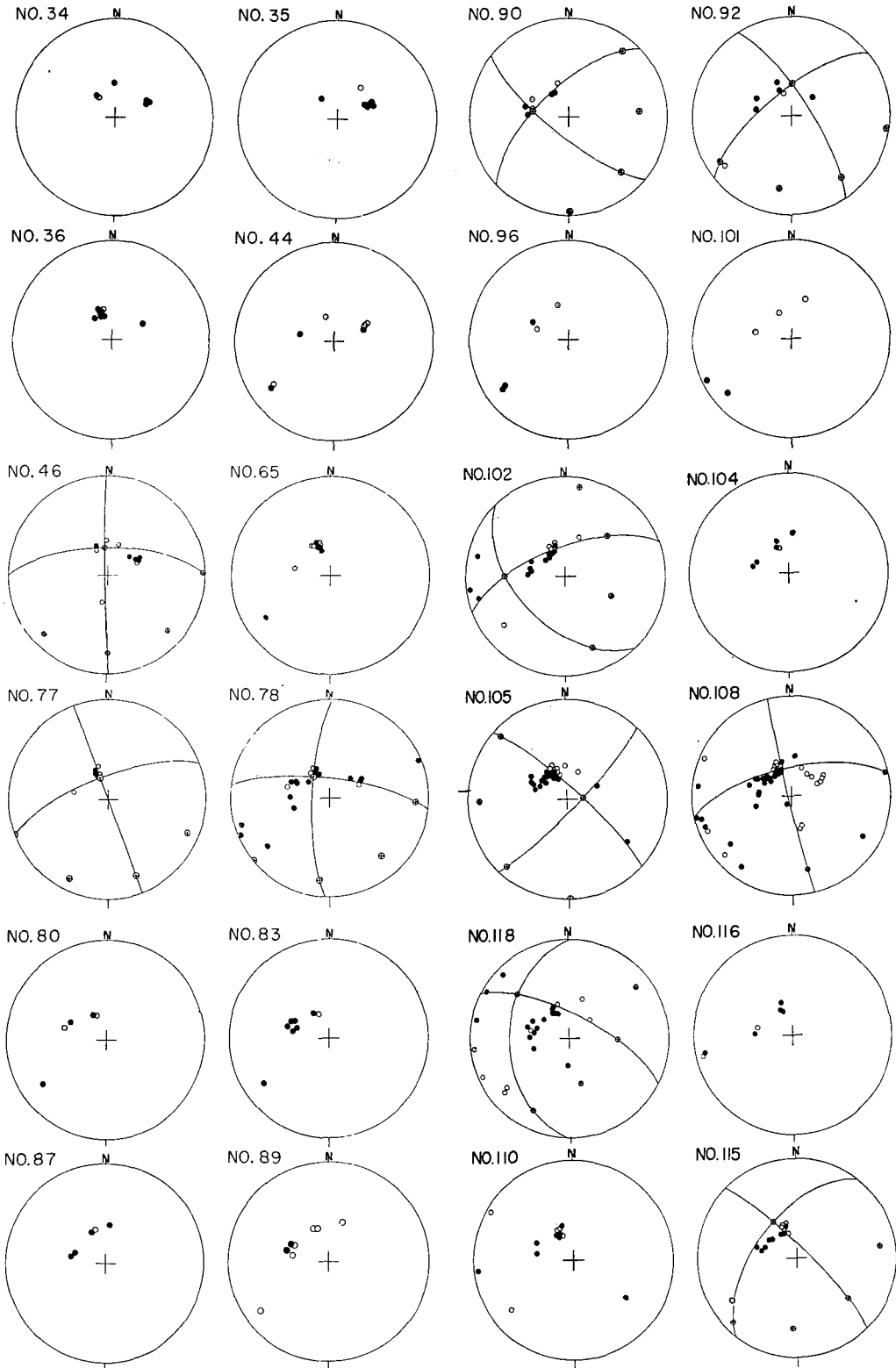
Appendix I. Equal-area projection of the focal mechanisms and the distribution of the initial motions.

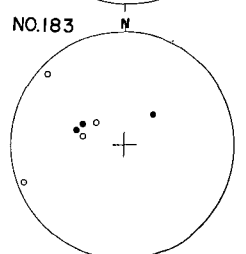
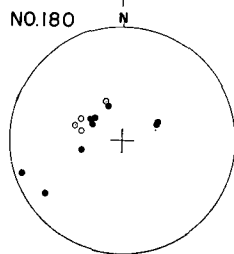
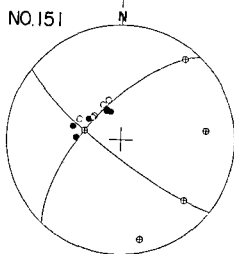
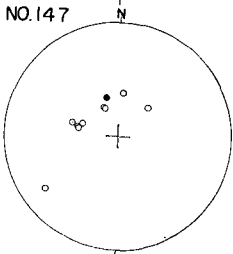
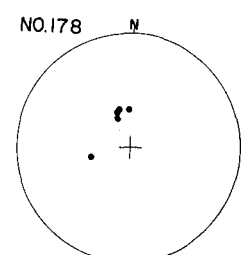
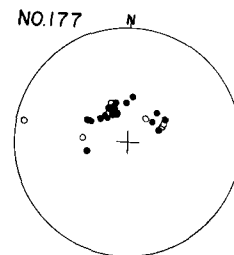
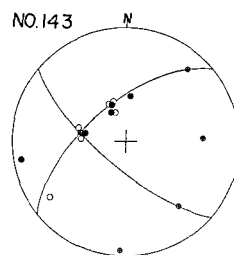
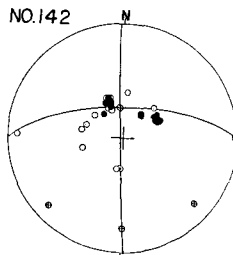
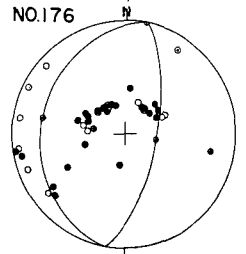
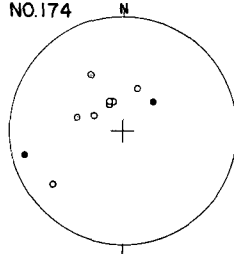
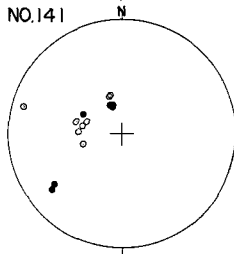
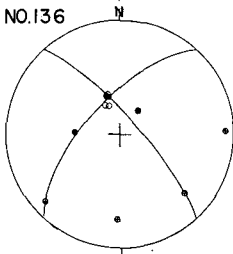
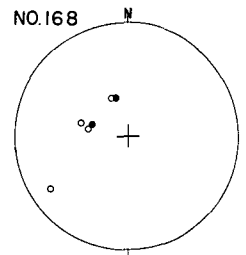
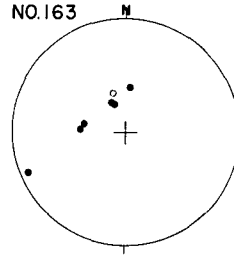
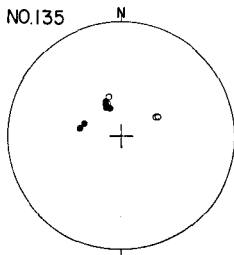
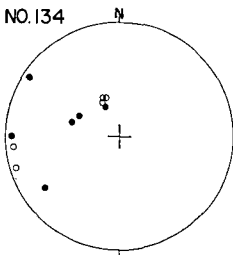
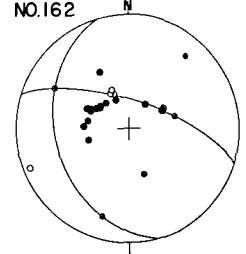
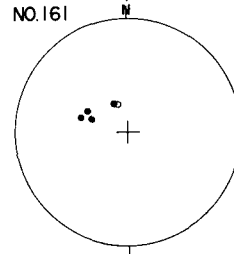
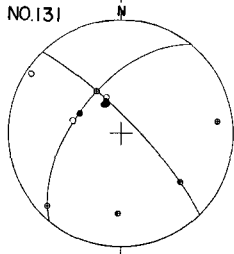
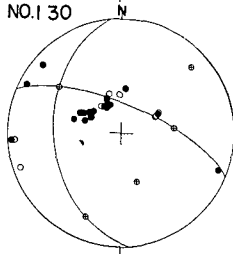
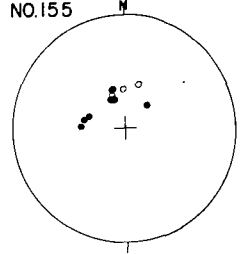
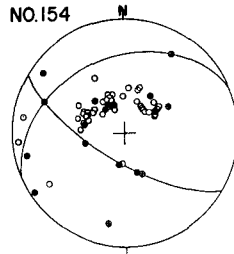
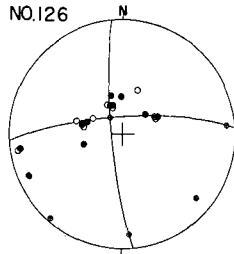
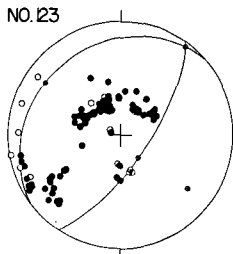
Solid circle: compression.

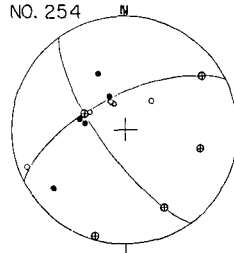
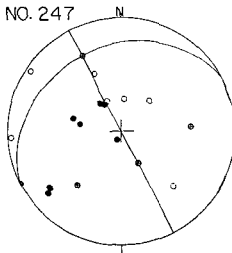
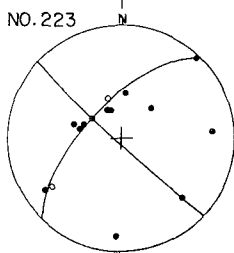
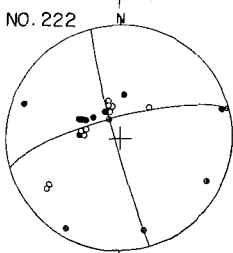
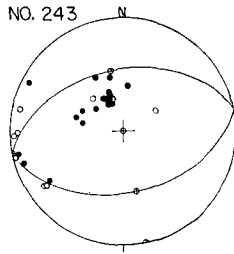
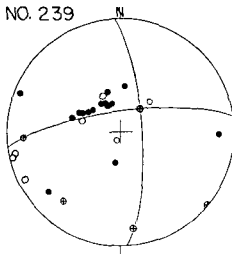
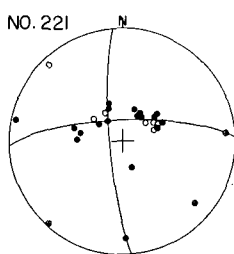
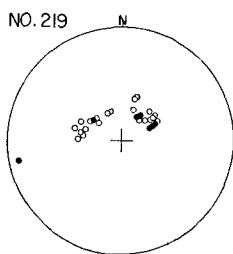
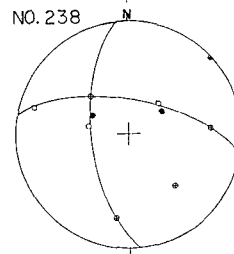
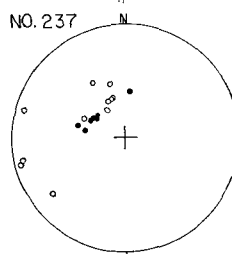
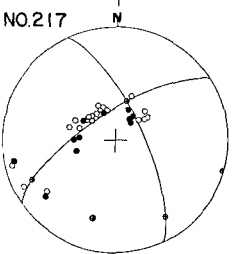
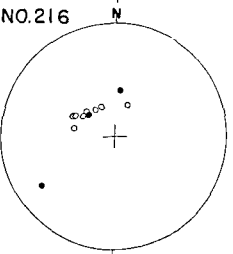
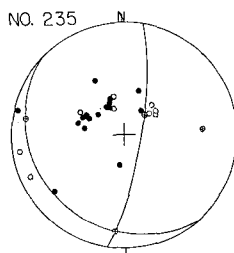
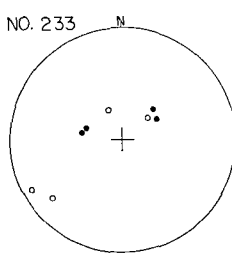
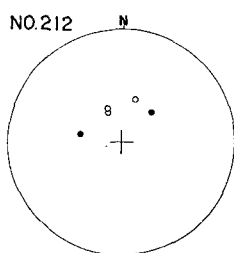
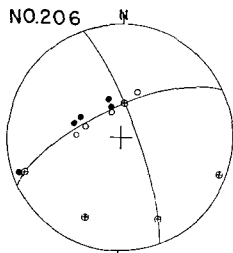
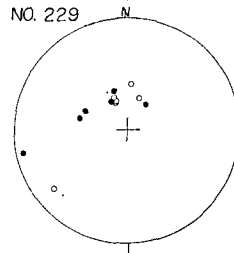
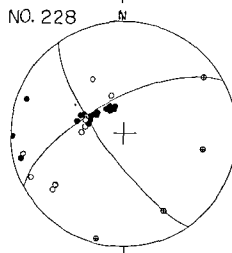
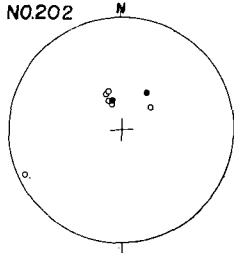
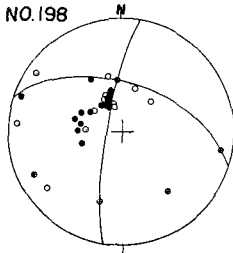
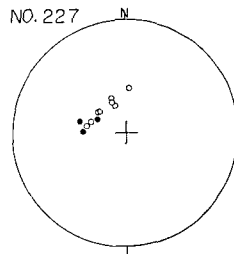
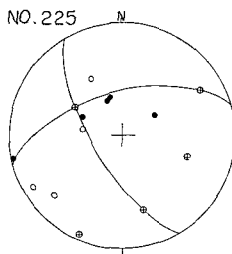
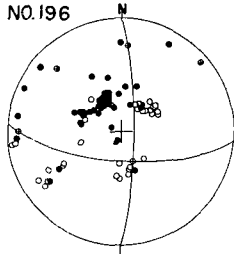
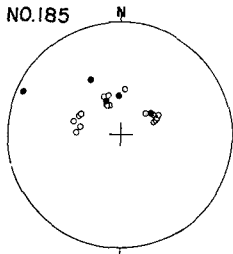
open circle: dilatation.

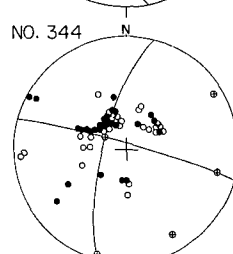
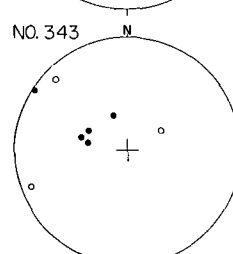
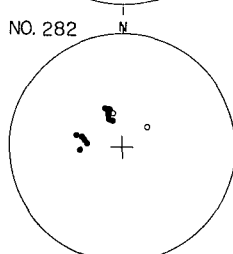
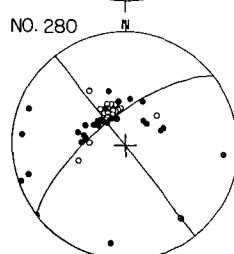
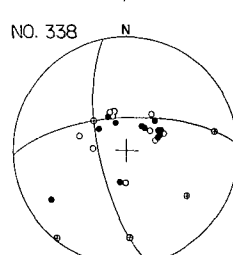
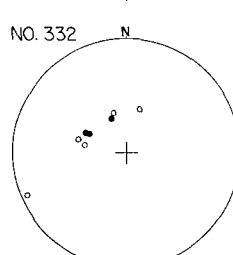
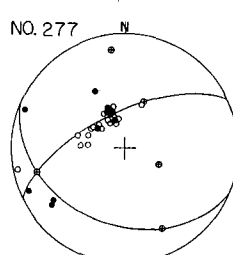
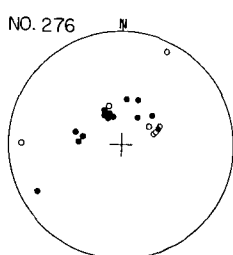
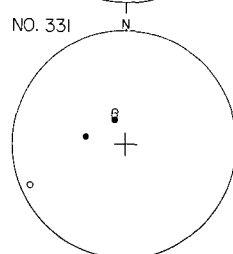
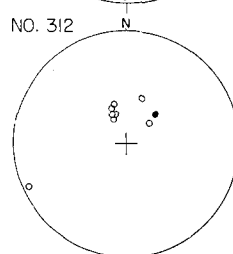
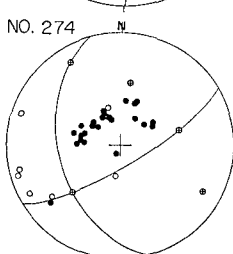
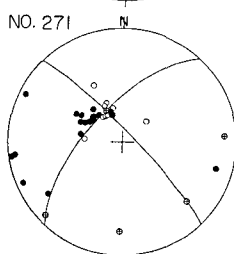
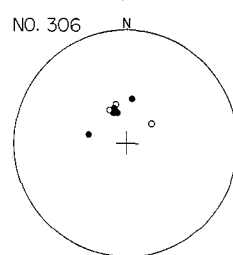
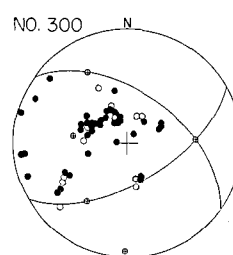
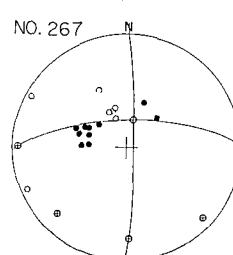
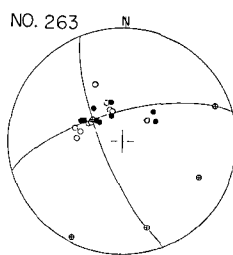
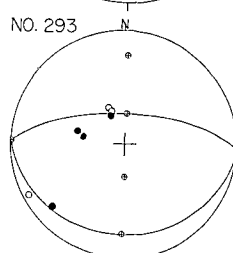
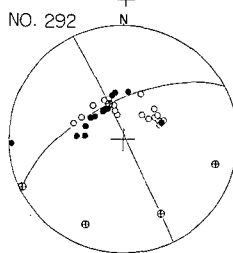
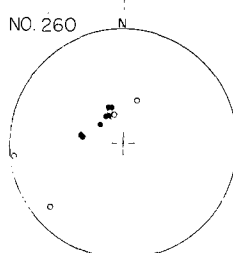
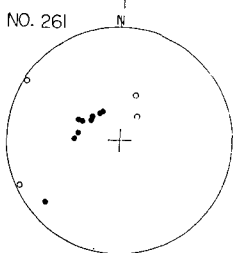
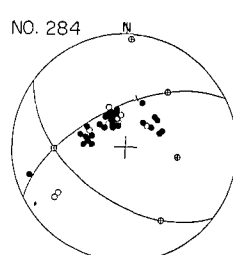
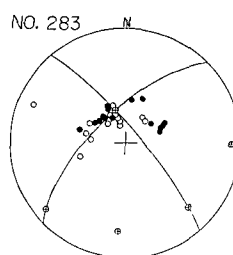
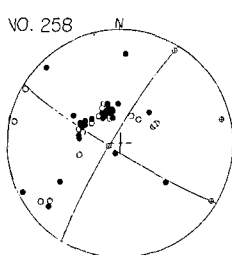
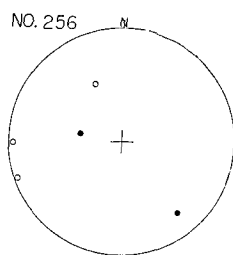
crossed circle: stress axes and poles of the nodal planes.

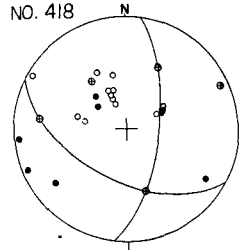
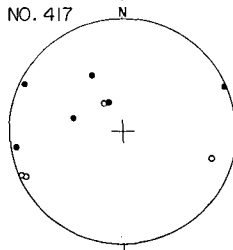
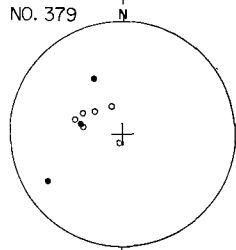
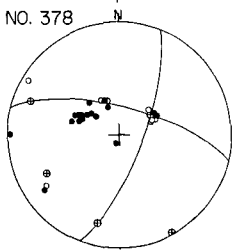
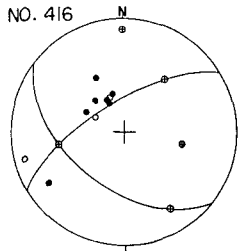
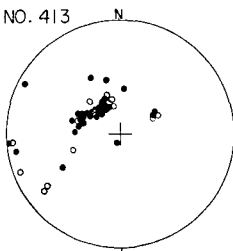
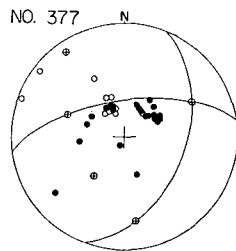
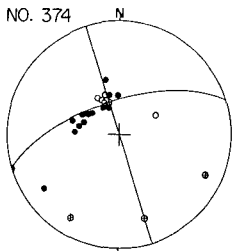
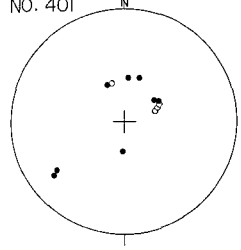
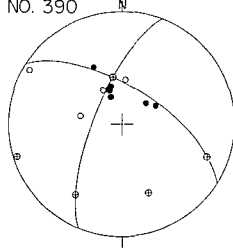
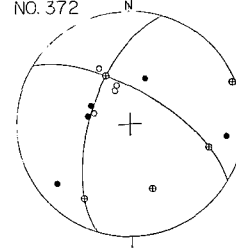
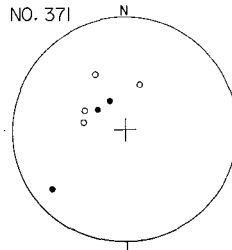
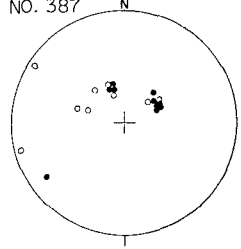
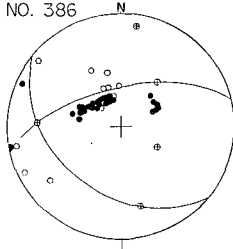
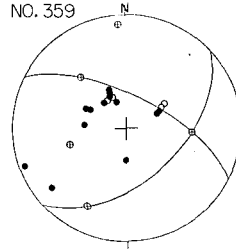
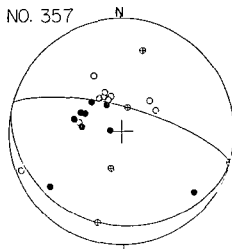
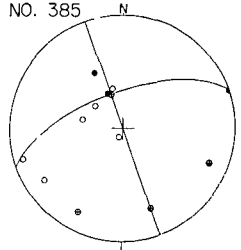
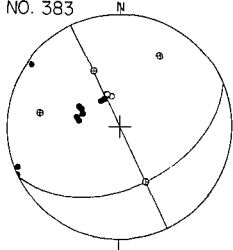
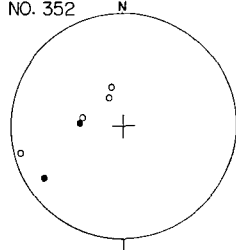
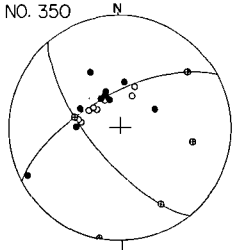
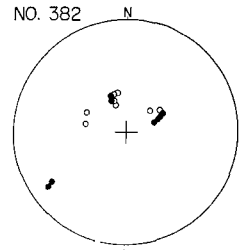
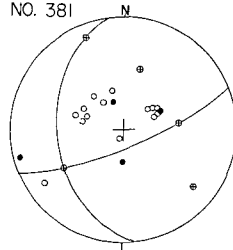
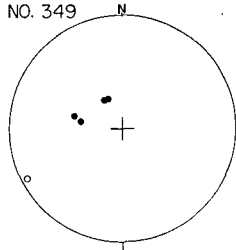
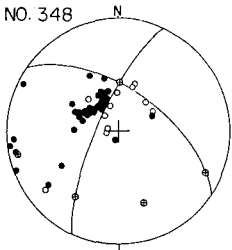




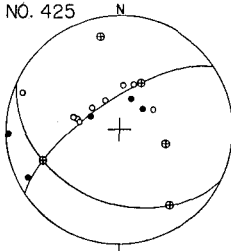




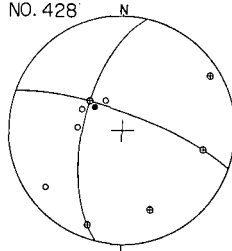




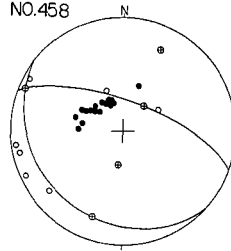
NO. 425



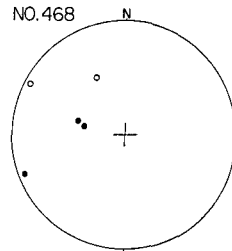
NO. 428



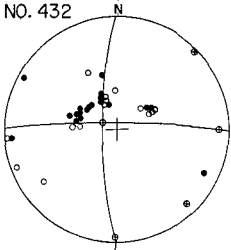
NO. 458



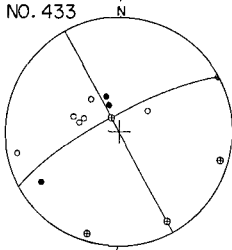
NO. 468



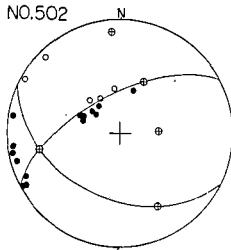
NO. 432



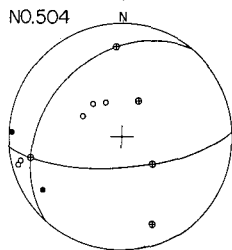
NO. 433



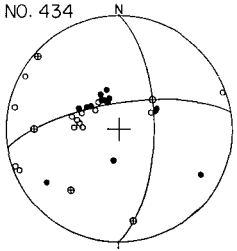
NO. 502



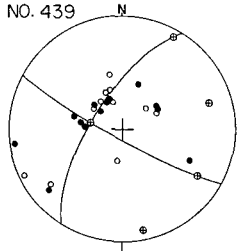
NO. 504



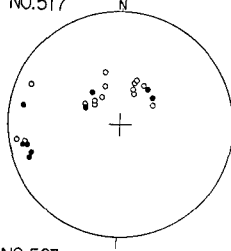
NO. 434



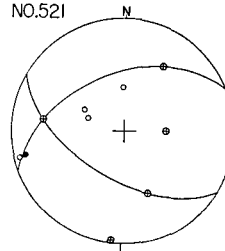
NO. 439



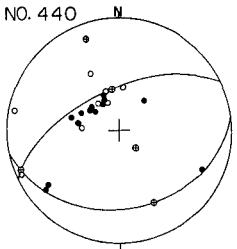
NO. 517



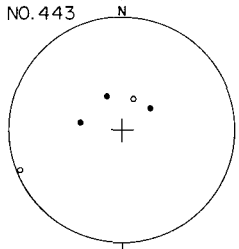
NO. 521



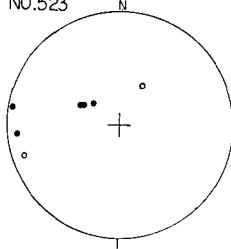
NO. 440



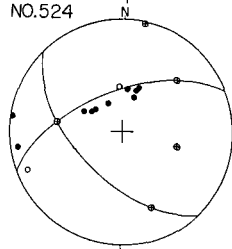
NO. 443



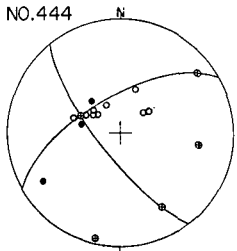
NO. 523



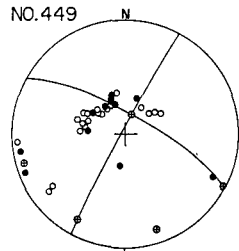
NO. 524



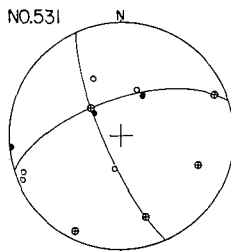
NO. 444



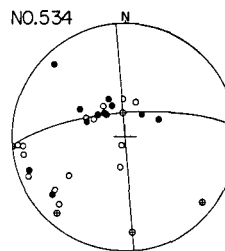
NO. 449



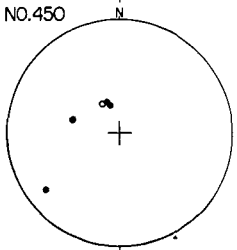
NO. 531



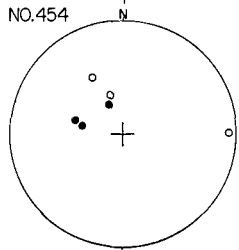
NO. 534



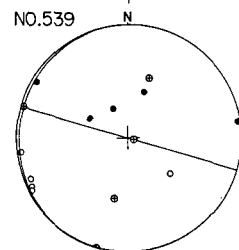
NO. 450



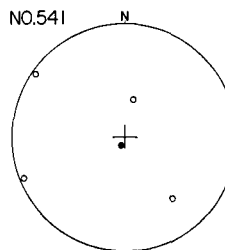
NO. 454

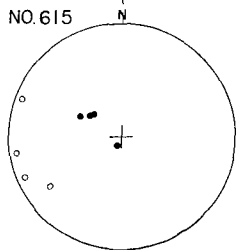
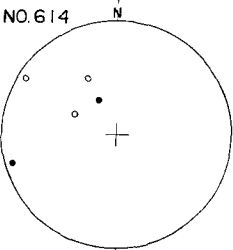
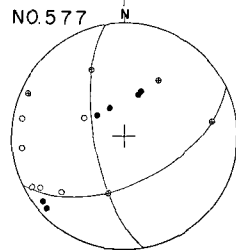
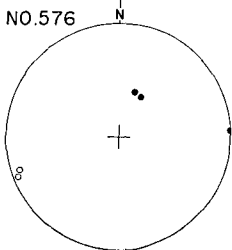
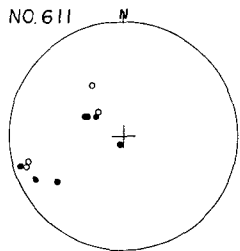
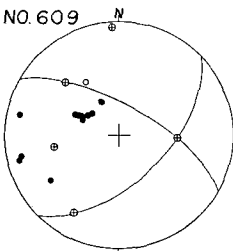
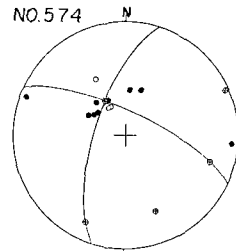
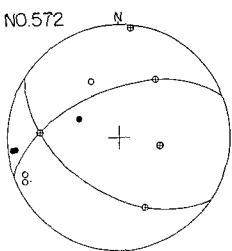
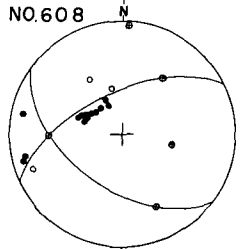
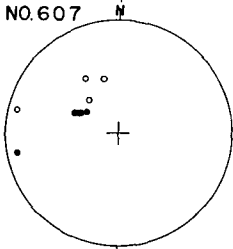
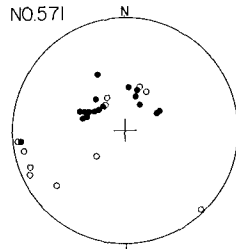
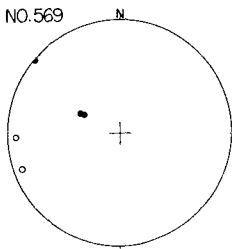
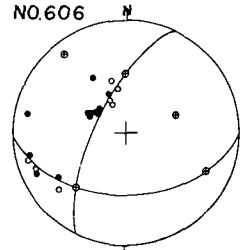
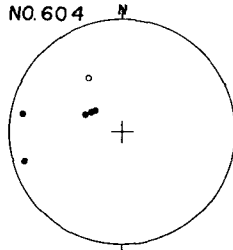
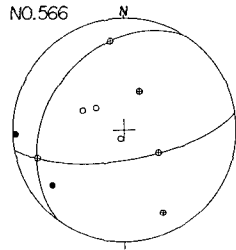
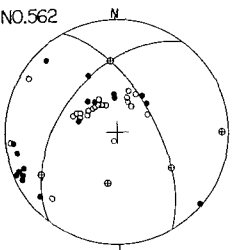
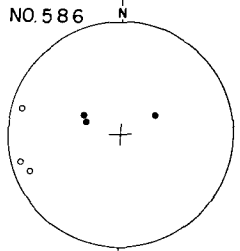
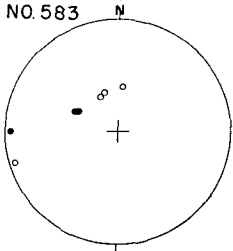
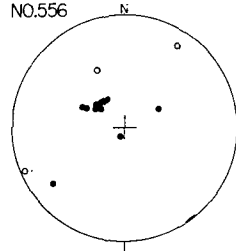
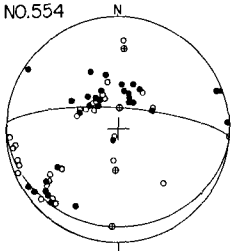
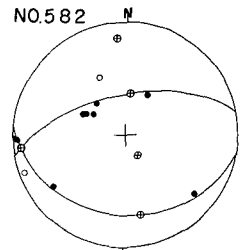
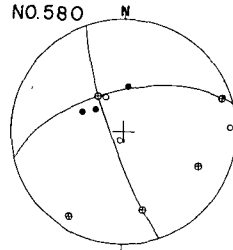
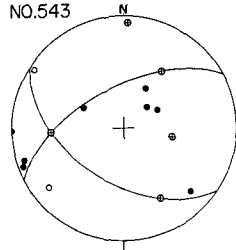
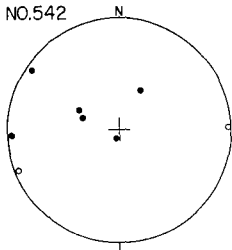


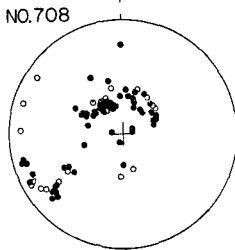
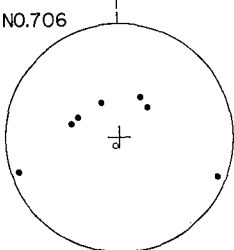
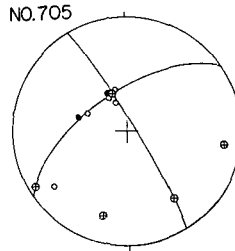
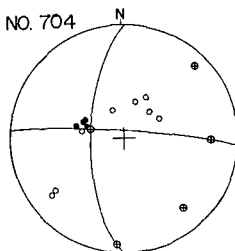
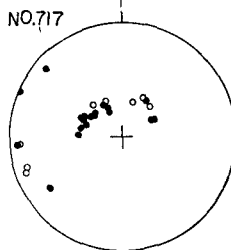
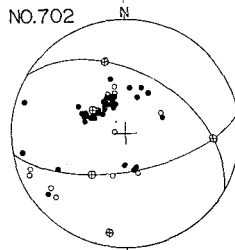
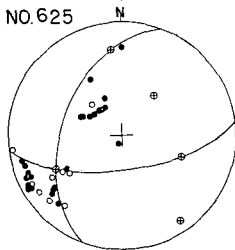
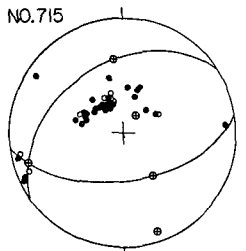
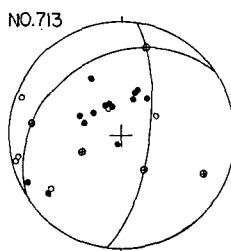
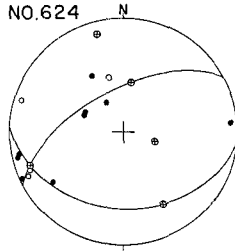
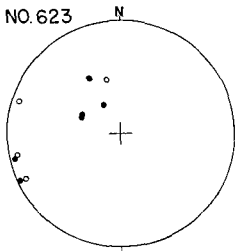
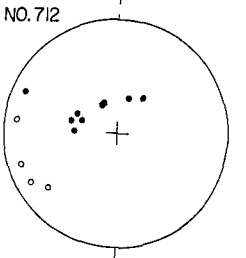
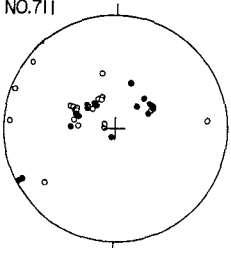
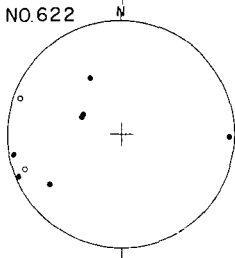
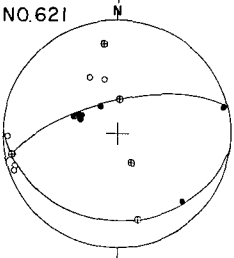
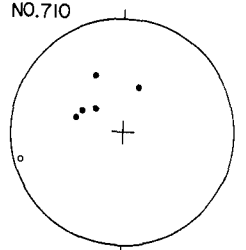
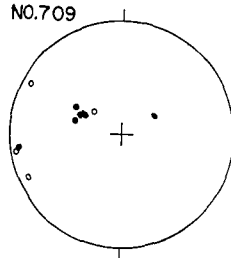
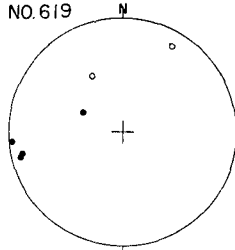
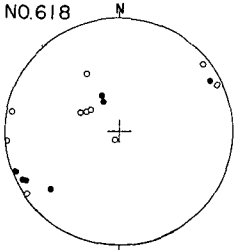
NO. 539



NO. 541







附録 II. 地震番号とその発震時の対照表
Appendix II. Earthquake number and origin time.

No.	D.	H.	M.	S.	No.	D.	H.	M.	S.	No.	D.	H.	M.	S.	No.	D.	H.	M.	S.
	Oct. 1963				151	13	21	35	37	293	19	16	20	54	523	7	20	37	54
6	12	11	26	58	154		21	55	01	300	20	00	53	07	524	8	08	08	09
8		11	53	05	155		22	02	58	306		01	22	35	531	10	08	50	06
9		12	02	18	161		23	25	01	312		02	09	30	534		17	17	43
10		12	32	36	162		23	52	23	331		04	46	58	539	11	09	49	44
11		13	07	08	163	14	00	03	04	332		04	58	55	541	12	07	56	53
14		13	54	58	168		01	19	17	338		06	10	25	542		08	33	16
16		16	11	55	174		03	31	08	343		08	26	12	543		13	00	01
17		16	28	10	176		04	06	02	344		09	10	44	554	15	21	06	34
18		18	05	48	177		04	11	14	348		11	52	21	556	16	02	30	07
19		19	48	36	178		04	13	03	349		12	09	31	562	19	11	00	54
21		19	47	00	180		05	24	12	350		13	21	14	566	20	22	33	30
22		20	21	05	183		07	15	58	352		15	11	24	569	21	19	58	24
23		22	02	01	185		07	54	34	357		17	41	27	571	22	14	45	52
26	13	01	26	34	196		13	21	45	359		17	58	59	572		15	22	11
27		01	34	54	198		17	50	15	371	21	09	40	15	574	23	19	00	36
*30		05	17	57	202		21	08	00	372		10	07	53	576	24	17	56	02
34		05	42	14	206		22	35	32	374		13	09	05	577		18	09	09
35		06	05	30	212	15	04	56	27	377		15	38	27	580	25	06	43	24
36		06	09	02	216		08	00	11	378		17	20	46	582		10	02	24
44		06	48	26	217		09	02	08	379		20	39	39	583		10	11	05
46		07	03	34	219		09	32	09	381		23	18	41	586	27	20	18	01
65		08	11	32	221		10	47	13	382		23	29	21		Dec. 1963			
77		09	11	54	222		11	53	46	383		23	33	16	604	3	05	09	22
78		09	16	26	223		12	03	49	385	22	02	29	07	606	4	01	27	34
80		09	22	45	225		17	15	56	386		03	17	15	607		02	43	30
83		09	44	51	227		17	54	04	387		03	25	39	608		08	24	17
87		09	56	43	228		18	23	58	390		10	18	15	609		15	44	53
89		10	06	24	229		20	41	30	401	23	00	06	09	611	8	07	53	15
90		10	10	28	233	16	01	25	07	413	24	01	06	26	614	9	08	33	58
92		10	33	57	235		05	15	36	416		13	45	10	615	9	—	—	—
96		11	22	59	237		08	33	42	417		15	24	06	618	12	23	24	37
101		12	20	47	238		09	29	57	418		20	18	13	619	18	02	50	31
102		12	29	39	239		10	30	55	425	25	10	17	57	621	23	18	39	47
104		12	40	44	243		21	30	53	428		12	33	06	622	24	02	26	01
105		12	42	13	247	17	08	10	55	432	26	03	55	40	623		03	00	57
108		12	58	22	254		14	06	32	433		05	01	32	624		03	27	24
110		13	11	00	256		15	03	13	434		05	59	44	625	30	13	29	25
115		13	54	25	258		23	24	34	439		11	21	48		Jan. 1964			
116		14	03	56	260		23	54	57	440		11	31	53	702	1	17	26	44
118		14	26	12	261	18	01	59	39	443		19	05	58	704		22	42	27
123		15	59	53	263		04	01	22	444		23	58	58	705		23	40	44
126		16	28	58	267		06	20	22	449	27	20	05	38	706	4	16	17	16
130		17	25	55	271		08	53	34	450	28	04	58	43	708	9	18	31	52
131		17	31	19	274		17	55	00	454		14	13	32	709	10	10	52	46
134		18	10	55	276		20	05	14	458		20	36	56	710		11	56	33
135		18	13	45	277		21	22	53	468	30	10	51	46	711		16	57	27
136		18	14	58	280	19	02	18	38		Nov. 1963				712	13	13	55	02
141		19	26	04	282		03	15	03	502	1	22	41	24	713	12	02	23	47
142		19	27	38	283		03	34	20	504	2	17	53	27	715	17	02	54	23
143		19	41	21	284		03	47	08	517	6	09	24	49	717	21	21	31	24
147		20	27	38	292		16	15	21	521	7	09	22	53					

*: main shock