



Title	1982年3月21日浦河沖地震の前震・本震および余震の空間分布とそれらのメカニズム解
Author(s)	森谷, 武男; MORIYA, Takeo; 宮町, 宏樹 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 42, 191-213
Issue Date	1983-10-25
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.42.191
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14110
Type	departmental bulletin paper
File Information	42_p191-213.pdf



1982年3月21日浦河沖地震の前震・本震および余震の 空間分布とそれらのメカニズム解

森谷 武男・宮町 宏樹・加藤 進

北海道大学理学部地球物理学教室

(昭和58年3月9日受理)

Spatial Distribution and Mechanism Solutions for Foreshocks, Mainshock and Aftershocks of the Urakawa-oki Earthquake of March 21, 1982.

By Takeo MORIYA, Hiroki MIYAMACHI

and Susumu KATOH

Department of Geophysics, Faculty of Science

Hokkaido University

(Received March 9, 1983)

Spatial distribution and mechanism solutions for the foreshocks, mainshock and aftershocks of the Urakawa-oki earthquake of March 21, 1982 were investigated. For the investigation, 13 temporary seismic stations were set up in and around the aftershock area. Out of these stations 7 to 9 temporary stations along with 5 routine stations were effectively used for hypocenter determination. Hypocenters of 5 foreshocks, the mainshock and 377 aftershocks were determined using first arrival times of P waves so as to fit travel time curve of a layered structure with station corrections. The structure of P wave velocities and station corrections were estimated from structure analyses using inversion of the P wave arrival time data from the earthquakes and using refraction surveys based on quarry blasts.

The determined aftershock zone can be separated into two parts. one is located off Urakawa to the coast of the Hidaka region in a depth range between 18 and 35km (A region) and another is located in inland area of Mitsuishi in a depth range between 2 and 25km (B region). The A region has a dip direction of N15° E and a dip angle of 20° to 40° with an area of 510km², and the B region, a dip direction of S10° E and a dip angle of 70° with an area of 250km².

Data observed at temporary and routine stations give 102 mechanism solutions containing those of the foreshock and mainshock. Mechanism solutions for the foreshock and mainshock which occurred in the A region, provide maximum pressure axes trending toward NE-SW direction. Sixty-seven percents of the aftershocks have the direction similar to that of the mainshock for the maximum pressure axis. These aftershocks distribute in both the A and B regions homogeneously. The largest aftershock (M5.9) which occurred in the B region has normal fault type of mechanism solution. The greater part of aftershocks having normal fault type concentrate in the B region.

In and around the Hidaka mountains situated near the junction between the

Northeastern Japan arc and Kurile arc, maximum pressure axes of mechanism solutions for the previous earthquakes trend toward a direction range between NE-SW and E-W. The direction is almost perpendicular to that of slip vector of the Oceanic lithosphere. The contortion of mechanism solutions is a general tendency at the arc junctions.

Characteristics of spatial distribution and mechanism solutions for the sequence of Urakawa-oki earthquake explain that the present earthquake is one of the large shallow earthquake which have occurred the western part of Hidaka mountains.

The folded structure of the intermediate depth seismic zone just beneath the Hidaka mountain indicates folding or disruption of the slab of the lithosphere at the junction. The deformation of the slab must cause the contortion of mechanism solutions. The seismological features in and around the Hidaka mountains shows that orogenic movement of Hidaka mountains is developing under the special condition of the arc junction.

I. はじめに

1982年3月21日午前11時32分、浦河沖にマグニチュード7.1の地震が発生した。気象庁によれば、この地震の震源は、 $42^{\circ}04'N$, $142^{\circ}36'$, 深さ40 kmにあり、発生時刻は3月31日11時32分05.7秒である。この地震により浦河で震度6、札幌、苫小牧、帯広などで震度4、釧路、旭川、室蘭、青森など東北地方北部で震度3を記録した。震度6は北海道では初めての経験であり、日高地方を中心にかなりの人的、物的被害をもたらした。

M7クラスの地震は、北海道太平洋岸沖では、この数10年間くりかえして発生している(宇津1968, 1972, 1973, 横内他1974)。しかし今回のように陸地近くに発生した例は少ない。当然のことながらこの規模の地震の本震、余震に関するくわしい資料は、北海道においては皆無であるとともに、全国的にみても数少ないのが実情である。

本研究の第一の目的はこの地震の前震・本震および余震の詳細な時空間分布を明らかにするという基礎的な面の考察にある。これはM7クラスの地震の発生様式を研究する上に不可欠であるのはもちろん、浦河沖から日高山脈にかけての地域に発生する地震の地域的特徴を明らかにする上でも重要である。第二の目的は北海道大学微小地震観測網の震源決定精度の考察にある。現在の定常観測網は北海道の南半分のできるだけ広い領域をカバーするように設置されているために、観測点の分布は比較的荒く、震源決定能力に地域的な偏りが生じていないか検討が待たれていた。第三の目的は震源決定精度向上に欠かせない基礎資料の一つである地殻構造の推定にある。日高地方から浦河沖にかけては顕著な重力異常(大亀1972)、走時異常(森谷1972, TAKANAMI 1982)や異常な相(清水他1979, 1980)などが観測され、さらに部分的に地殻浅部(深さ10~20 kmまで)の構造が知られている(DEN and HOTTA 1973, ASANO et al. 1979, 藤井他1983)。この地域は、わが国における地震活動の活発な地域の一つであり、大地震の発生する毎にその正確な震源決定が望まれてきたが、現状はおよその地殻・上部マントル構造を仮定する資料は充分ではない。この点から見れば、今回の地震は上記の目的に応える重要な資料となる。第四の目的はメカニズム解を多く決定し、前震・本震および余震との関係、空間分布の特徴を調べ

ることである。これは過去に発生した地震のメカニズム解とともに震源付近の応力の状態を知ることができ、造構造運動を議論する上で重要である。

本報告では臨時観測によって得られたデータを中心に、主として前震・本震および余震の空間分布およびそれらのメカニズム解について述べる。

II. 臨時観測点の設置

1975年北海道大学に地震および地殻変動をテレメーターによって集中観測する方式が導入された。これを契機に北海道大学の微小地震観測点は4点から9点に増設されたが、そのうちの6点は日高地方に配置され、北海道で最も地震活動の活発な日高山脈周辺、浦河沖および静内沖を含めた太平洋岸沖での地震観測に主力が注がれている。しかし今回の地震の余震について、その時空間的特性を考察するには、これらの観測点の空間分布はやや荒いきらいがある。また地殻構造が複雑であると推定されるのでこれらの観測点で構成される微小地震観測網の震源決定精度についてもその検討がいまなお課題として残されている。以上の理由により今回この観測網を補充しつつ、余震域の空間分布を明確に把握するために、きめ細かい高感度の臨時観測を行なった。

使用された装置は、著者の1人によって開発されたおそ送り磁気テープの直接録音方式による長時間無人観測装置(森谷, 1971)である。これは全体に小型・軽量であって、きわめて小消費電力であり電池電源により1か月あるいは2か月間、完全な無人状態で地震観測を行なうことができるものである。今回この装置の使用により13点の臨時観測点で4か月以上にわたり能率的に観測を行なうことができた。

Fig. 1はこれらの臨時観測点(△印)の位置およびテレメーターの観測点(○印)の位置を示したものである。図中の斜線部分は、本報告で明らかにした余震域である。なおこれらの点に加え、えりも(ERM)と御園(MSN)にそれぞれ加速度計および変位計の各3成分を設置し、余震のメ

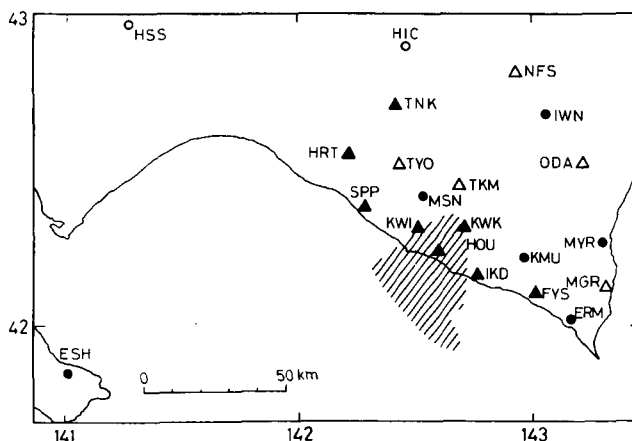


Fig. 1. Locations of routine (circles) and temporary (triangles) stations. Solid symbols denote stations used for hypocenter determination. Aftershock area is indicated by hatching.

カニズム等の考察に資することとした。Table 1には震源決定に使用された観測点の位置および補正値を示す。以上の観測点のうち井寒台 (IKD) では本震発生以前 (1980年6月) から臨時観測が行なわれていた。したがって本震およびその直前に発生した5個の前震群についても比較的精度良く震源決定することができた。

III. 前震・本震および余震の空間分布

震源決定を行なう手順として、まず観測点の多い余震について走時残差が最も少なく、震源分布が最も整うような地殻構造モデルと観測点への補正値を決定し、ついで観測点の少ない前震および本震について余震と全く同じ方法で震源決定計算を行なうことにした。震源決定にはP波初動の到着時刻のみを使用した。この地域では V_p/V_s の値は一定ではなく (森谷, 1983), また規模の大きい地震ではS波記録が飽和しているからである。最終的に決定されたP波速度の地殻構造モデルをTable 2に示す。これは静内川上流における一連の砕石爆破観測の結果 (藤井他 1983) および自然地震を使用したインバー

ス法による地殻・上部マントルの構造解析 (宮町他, 1983) を参考にして決定したものである。日高山脈とその周辺における平均的なP波速度分布の特徴は、地殻上部において4 km/sec. の低速度の層がきわめて厚いことにある。このことは従来気象庁で市川・望月 (1971) の標準的な地殻上部マントル構造の走時表によって決定されていた震源位置には大きな系統誤差があると考えられる。たとえば本震についてみると、気象庁の決定では我々が決めたものより、約20 km南へ、深さも26 kmから40 kmと16 km深くなっている。

震源決定された余震は、3月24日から5月31日までの $M > 3$, ただし3月29日から4月7日までについては $M > 2$, および3月21日の前震から3月23日まで本震を含む $M > 4.5$ の地震377個について、震源が計算された。一方観測点については、雑微動が少なく、検知能力が高い14点を選び (Fig. 1 ●および▲印) この中12点以上データがあれば震源計算を行なった。なお刻時精度はテレメーター観測および臨時観測共に ± 0.02 秒程度であり、地震波初動の読み取り精度は ± 0.03 秒程度と推定される。震源決定の精度は、内陸部では震央および深さ精度共 ± 1 km, 浦河沖では ± 2 km以内となっている。Fig. 2には、このようにして決定された震央分布を示す。余震の震央は浦河から静内にかけて海岸から陸側に約15 km海側に約20 kmの範囲に“く”の字

Table 1. Coordinates and station corrections for routine and temporary stations.

Code.	Lat.	Long.	Corr.(Sec.)
FYS	42.1143	142.9960	0.5
SPP	42.3842	142.2891	1.2
HRT	42.5724	142.2199	1.2
IKD	42.1860	142.7540	0.4
HOU	42.2562	142.5955	0.0
KWK	42.3167	142.7188	0.0
KWI	42.3214	142.5283	0.0
TNK	42.7072	142.4184	-0.25
KMU	42.2386	142.9672	0.0
MSN	42.4240	142.5400	0.0
MYR	42.2900	143.2833	0.0
IWN	42.6700	143.0460	-0.7
ERM	42.0158	143.1614	0.3
ESH	41.8842	141.0112	-0.3

Table 2. Structure parameters for hypo-center determination.

Layer	V_p (km/sec.)	Thickness (km)
1	4.0	8.0
2	5.6	4.0
3	6.3	10.0
4	7.5	10.0
5	8.0	160.0
6	8.4	110.0

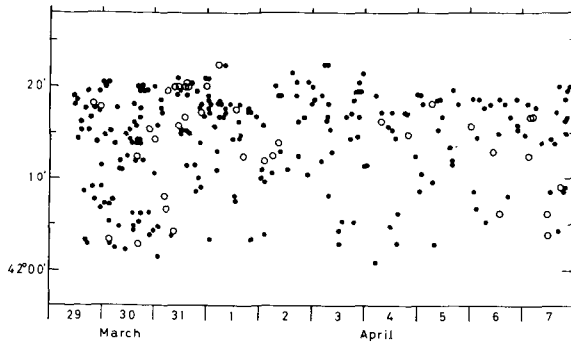
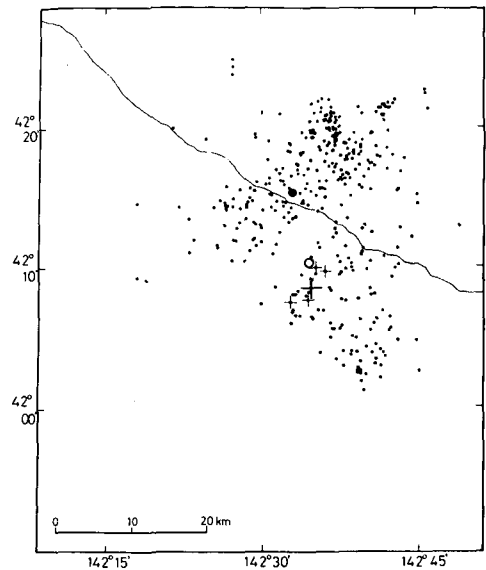


Fig. 2. Space-time distribution of epicenters of aftershocks from March 29 to April 07.

Fig. 3. Epicentral distribution of the largest foreshock (large cross), small foreshocks (crosses), mainshock (circle), the largest aftershock (solid circle) and small aftershocks (dots).



型に分布している。つまり概略の分布は、海岸部の北東から南西にかけての幅約 10 km の帯状の部分と、これにほぼ直交する方向で南部の幅約 10 km の帯状の部分に二分されるようである。そして北東-南西方向つまり陸から海にかけての広がり約 30 km、北西-南東方向つまり海岸線にはほぼ平行な広がりも約 30 km ある。震央の密度は北部の内陸部で高く、南部の浦河沖では低い。これは余震活動の地域差を反映したものとはいえない。南部の浦河沖では観測網からはなれているため、若干検知能力が低いと考えられるからである。

これらの余震の大部分をしめる 3 月 29 日から 4 月 7 日の $M > 2$ についてその時間的推移を見たのが Fig. 3 である。これは Fig. 2 の震央を緯度線に投影して見た時空間分布である。北部の活動は 4 月 1 日頃まで活発でその後は次第に静穏に向かう様子が見られる。一方南部では 3 月 29 日から 30 日にかけてやや活発な時期があり、その後は比較的静かで特に目立った活動は見られない。Fig. 2 で示す余震域の南端に集中している地震は 3 月 29 日から 30 日にかけて発生したものが多くわかる。

余震の深さ分布は後述するように、北部と南部には明瞭な差異がある。北部の深さを調べると大部分が 20 km より浅い所で起こっている。一方南部では 18 km より深い所で起こっておりその下限は 33 km である。ちなみにこの余震域付近における、いわゆる太平洋プレートの沈み込みによる深発地震面の深さは 40~70 km である。この余震域とこの深発地震面との間は 10 km ほどはなれており、直接的な関係は見出されない。

Fig. 2 には、余震の他に 5 個の前震 (+印)、本震 (○印) および本震の約 8 時間後に発生した最大余震 ($M 5.9$, ●印) を示した。前震および本震は余震域の広がりから見ると、浦河沖の非常にせまい所に集中している。しかし最大余震はそれらより北へ 10 km もはなれている。これら前震・本震および余震の空間的位置関係を把握するため、いろいろな方位の断面図を示すことにす

る。Fig. 4A および Fig. 4B は $S 15^{\circ}W-N 15^{\circ}E$ とこれに直交する方向の断面に震源を投影したものである。Fig. 4A の方位の断面図では余震域の形状が特徴的に表わされている。南部の余震群は面状をなして、陸側へ深くなるように傾斜しておりこのグループには前震群と本震が含まれている。一方北部のグループでは、幅が 15 km の帯状で傾斜は急になっており、最大余震を含んでいる。この二つのグループの間には震源の少ない部分が見られる。また二つのグループの震央は Fig. 2 に示したように、海岸線付近において重なり合っていると考えられる。そこで Fig. 3A の A-A' 面により余震群を二つのグループに分け、それらの震央分布を調べてみた。Fig. 5A は Fig. 4A の A-A' 面の左下側の震央分布（以下この余震群を A 群と記す。）であり、Fig. 5B は同じく A-A' 面の右上側の震央分布（以下この余震群を B 群と記す。）である。三石町の海岸付近で重なり合っていた二つの群はこの操作により分離され、輪郭が明瞭になったことがわかる。A 群の形状は、ほぼ北へ深くなる傾斜した面である。しかし Fig. 5A をよく見ると本震の北西側に空白の部分があることがわかる。一般に余震域中の空白域の原因はいろいろ考えがあるが、一つには本震によってこの空白域に当たる部分が完全に破壊され、余震を起こす応力が低下したと考えることもできる。

B 群の形状についてはこれらの図でもなお把握することが困難である。そこでさらにそれぞれの群について四つの方位について断面図を作り、くわしい形状を調べることとする。Fig. 4A, B の方位を基準として $W 60^{\circ}N-E 60^{\circ}S$, $W 15^{\circ}N-E 15^{\circ}S$, $S 60^{\circ}W-N 60^{\circ}E$, $S 15^{\circ}W-N 15^{\circ}E$ の断面を設け、余震を投影した。A 群については Fig. 6A~D に、B 群については Fig. 7A~D にそれぞれ震源分布を示した。

以上の図を参考にして余震域の

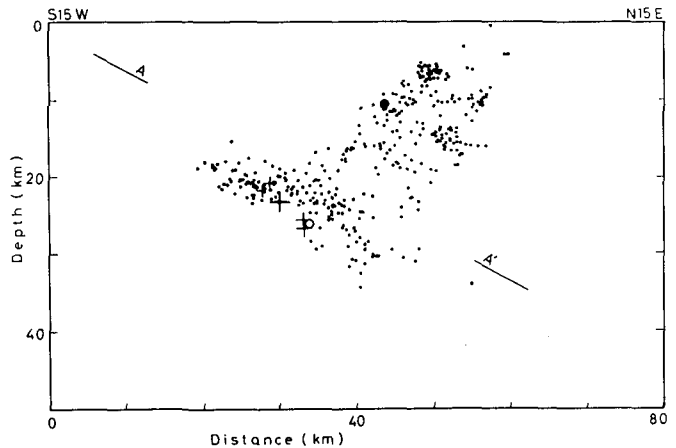


Fig. 4A.

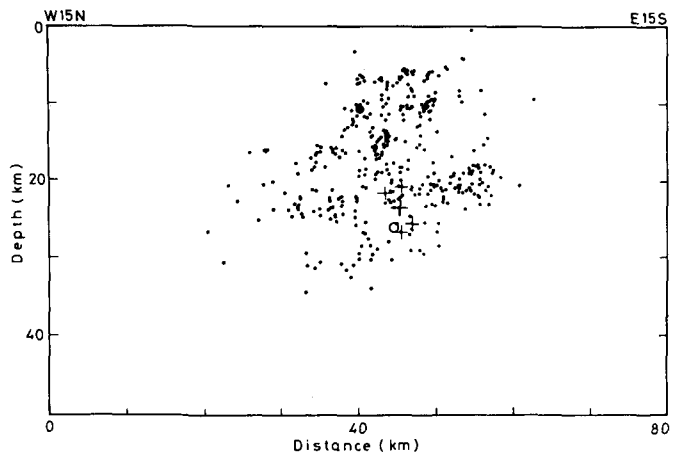


Fig. 4B.

Fig. 4. Hypocentral distribution projected on to vertical planes striking $S 15^{\circ}W-N 15^{\circ}E$ direction (4A) and $W 15^{\circ}N-E 15^{\circ}S$ direction (4B). Symbols are the same as Fig. 3. A-A' in Fig. 4A is a boundary to separate the aftershock zone into A and B regions.

形状の概略を描いたのが Fig. 8 である。余震域は二つの群に分けることができる。前震・本震を含む A 群と名付けた部分は、三石町から浦河町の南西沖ないし海岸に、18~35 km の深さにあって約 $N 15^{\circ} E$ の方向に傾斜しており、傾斜角は南端部では 20° 、海岸線付近では急になり 40° となり、上に凸の形をしている。その面積は約 510 km^2 である。一方 B 群は A 群に比較すると明瞭な面としては見えにくい、三石町の内陸部にあり、およそ $W 10^{\circ} S - E 10^{\circ} N$ の走向で、 $S 10^{\circ} E$ の方向へ 70° 程度で傾斜している。その面積は約 250 km^2 である。

以上述べたように、浦河沖地震の余震分布は近年起こった M 7 クラスの地震、たとえば 1974 年伊豆半島沖地震 M 6.9 (石橋他 1974)、1978 年伊豆大島近海地震 M 7.0 (津村他 1978)、1978 年宮城県沖地震 M 7.4 (浜口他 1979) の余震分布と比較すると、1982 年浦河沖地震のそれはきわめて特異である。これは本震発生のメカニズムが複雑であること、さらに浦河沖から日高山脈にかけての地殻構造がきわめて複雑であることを示している。

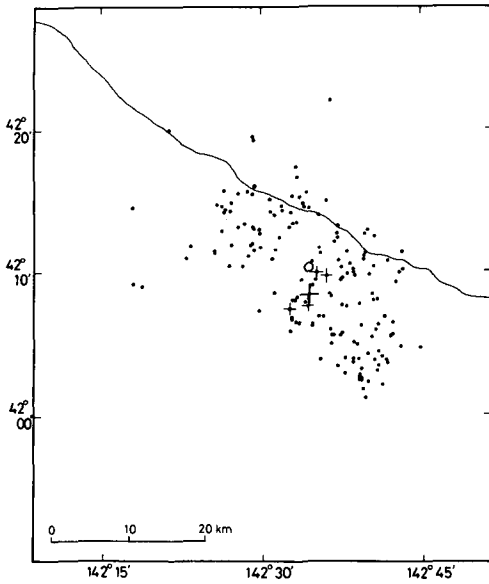


Fig. 5A.

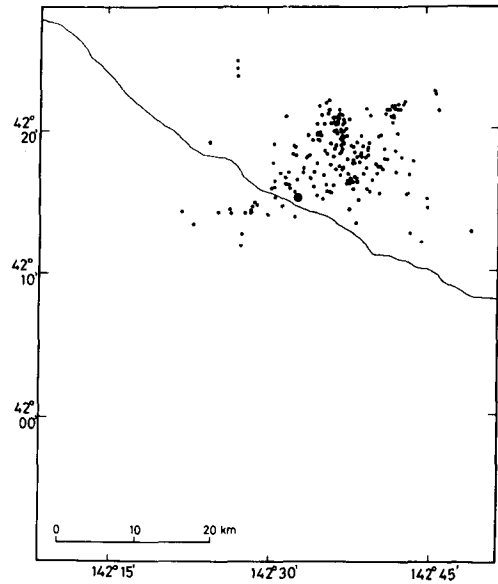


Fig. 5B.

Fig. 5. Epicentral distribution of the A region located on the left and bottom sides of A-A' in Fig. 4A (5A), and that in the B region located on the right and top sides of A-A' in Fig. 4A (5B). The foreshocks and mainshock are included in the A region and the largest aftershock is included in the B region.

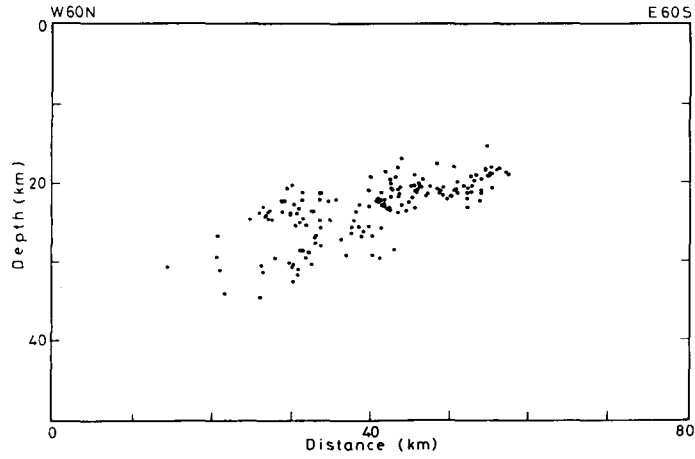


Fig. 6A.

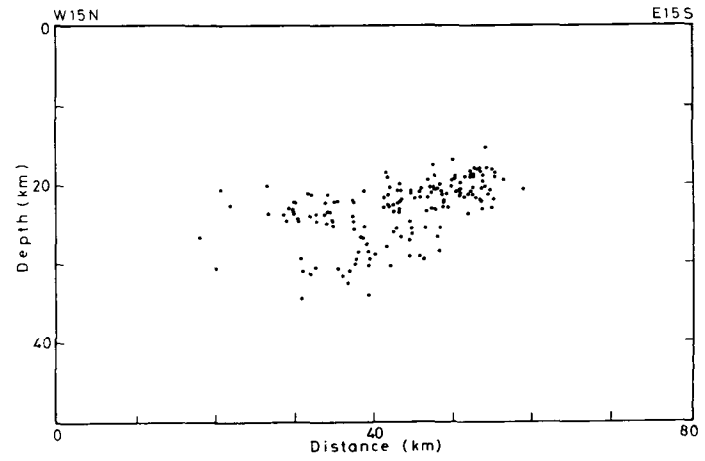


Fig. 6B.

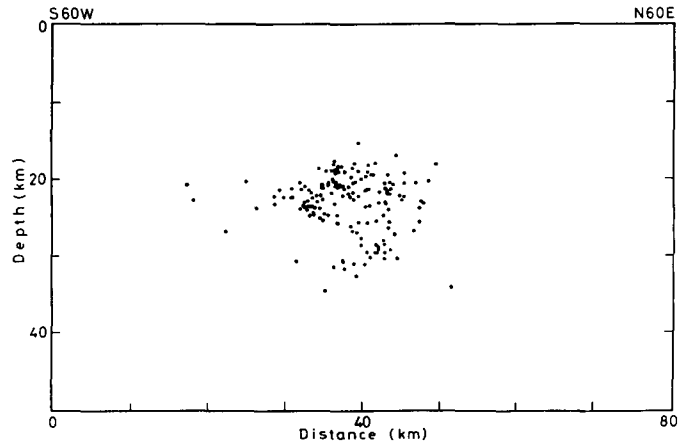


Fig. 6C.

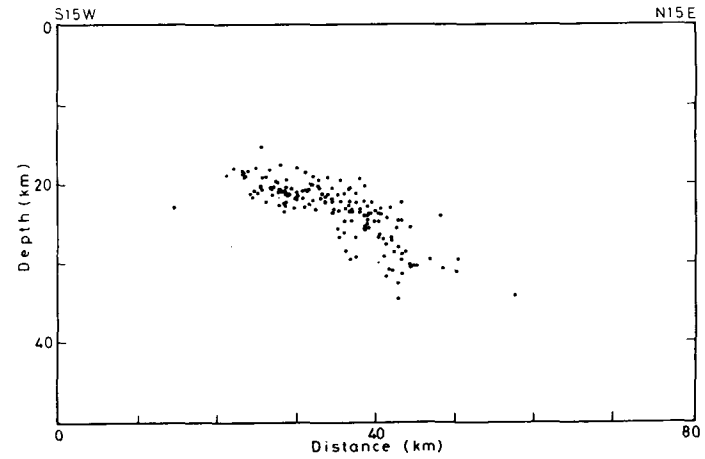


Fig. 6D.

Fig. 6. Hypocentral distribution of the A region projected on to vertical planes striking $W60^{\circ}N-E60^{\circ}S$ direction (6A), $W15^{\circ}N-E15^{\circ}S$ direction (6B), $S60^{\circ}W-N60^{\circ}E$ direction (6C) and $S15^{\circ}W-N15^{\circ}E$ direction (6D).

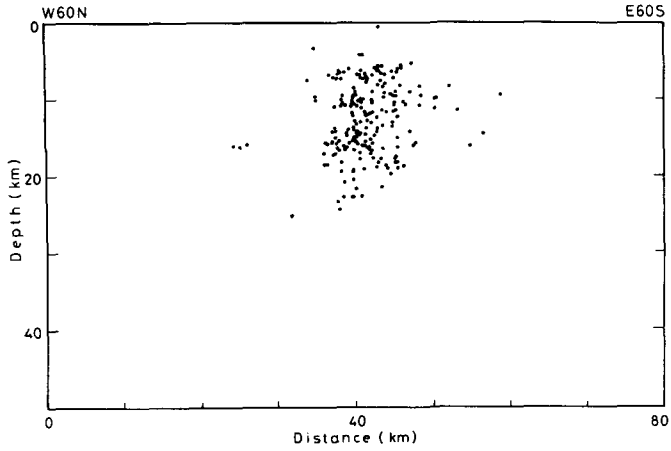


Fig. 7A.

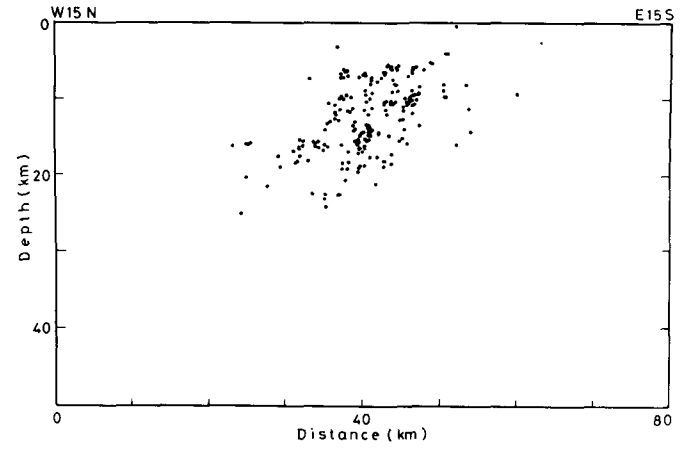


Fig. 7B.

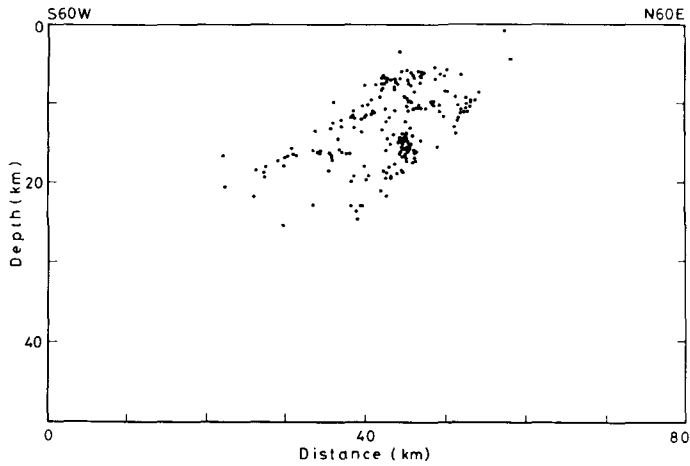


Fig. 7C.

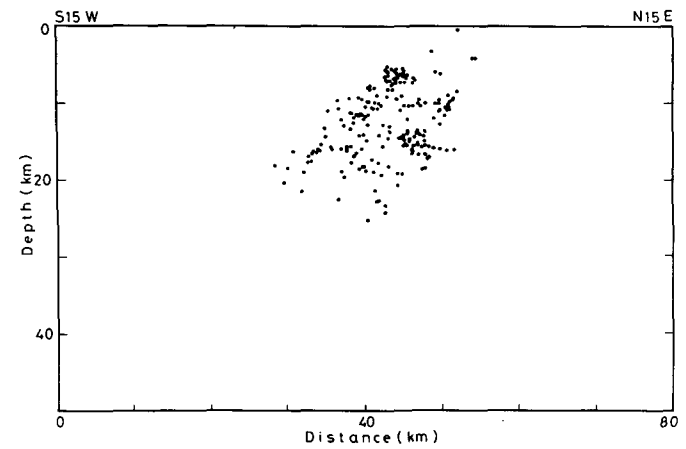


Fig. 7D.

Fig. 7. Hypocentral distribution of the B region projected on to vertical planes striking W60°N-E60°S direction (7A), W15°N-E15°S direction (7B), S60°W-N60°E direction (7C) and S15°W-N15°E direction.

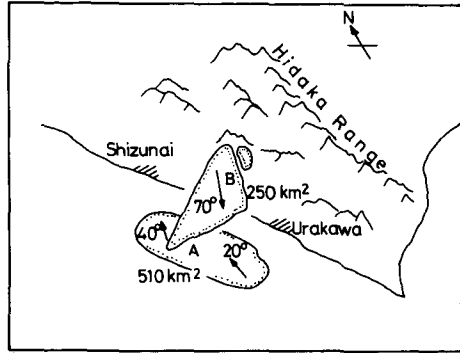


Fig. 8. Schematic view of the after-shock regions.

IV. 前震・本震および余震のメカニズム解の特徴

メカニズム解はその震源にどのような応力が作用したかを知ることができる重要な要素である。IIIで示した複雑な分布をしている余震のそれぞれがどのようなメカニズム解を持ち、また前震や本震とどのような関係にあるのか、余震のA群とB群ではどのような相異があるか興味ある問題である。

高精度のメカニズム解を得るためには震源に対し、いろいろな方位に配置された多くの観測点が必要である。今回の場合北海道大学のテレメータ観測および日高山脈周辺の臨時観測点の他に、札幌管区気象台発行の北海道地震火山月報、北海道大学理学部有珠火山観測所および同地球物理学教室応用地球物理講座が行なっている道央・道北の臨時観測点で得られたP波初動の資料を使用した。日高山脈周辺の臨時観測が開始される以前に発生した余震については $M > 4.5$ を、それ以後については $M > 3.3$ を決定の対象とした。複双力源モデルを仮定し解を求めた結果、余震については100個それに前進1個と本震のメカニズム解が得られた。Table 3はメカニズム解の得られた102個の震源リストである。前震・本震を含む $M > 4.9$ の地震8個のメカニズム解(下半球)をFig. 9に示す。8個の中で余震1(最大余震)と余震14を除き大体よく似た逆断層型で、日高山脈の走向にほぼ直交する主圧力軸を持っているのが特徴である。ところが余震1と14は正断層型であるのがもう一つの特徴である。Fig. 10に示すように他の余震のメカニズム解にはさまざまな型が見られる。そこでFig. 11およびTable 4に示すように主圧力軸の方向を三つに分け、さらに断層の型を横ずれと縦ずれとに分けて五つの型に分類してみた。得られたメカニズム解の中にはこれらの型の間のものが少しあるが必ずどれかの型に属するものとした。その結果1の範囲の主圧力軸方向を持つ縦ずれつまり逆断層型(1D型)が最も多く56個あり、これと同じ範囲の方向の横ずれ成分の卓越する型(1S型)は11個であった。つまり前震・本震と似た方向の主圧力軸を持つ余震は全体の67%あることになる。2の範囲に入る最大圧縮軸の方向は、広く北海道の太平洋側に起る地震に最も多く見られる(ICHIKAWA 1971, KANAMORI 1971)が、わずか16個である。3の範囲の主圧力軸の方向つまり正断層型(N型)は最大余震を含めて17個である。

Table 3. List of earthquakes of which mechanism solutions are determined.

Number	Date	H.	M.	Sec.	Lat. (N)	±km	Long. (E)	±km	Depth, km	±km	Magnitude
F	3 21	7	35	13.21	42.139	1	142.576	1	22.9	1	4.9
M	3 21	11	32	5.71	42.172	1	142.578	1	25.8	1	7.1
1	3 21	19	22	34.30	42.254	1	142.550	1	9.5	3	5.9
2	3 22	3	59	49.27	42.159	1	142.500	1	21.8	1	4.5
3	3 22	22	1	26.55	42.231	1	142.543	1	15.9	1	4.5
4	3 24	15	6	16.38	42.197	1	142.391	1	23.4	2	4.2
5	3 24	19	32	20.54	42.223	3	142.550	2	26.6	3	3.0
6	3 24	19	38	25.11	42.237	1	142.476	1	17.4	1	3.4
7	3 24	21	0	59.17	42.248	0	142.481	0	15.2	0	4.0
8	3 24	21	20	28.13	42.238	1	142.476	0	16.4	1	3.5
9	3 24	21	41	41.89	42.265	1	142.513	0	15.7	1	3.3
10	3 24	23	47	59.10	42.132	3	142.553	2	18.3	2	3.5
11	3 25	0	53	35.06	42.297	2	142.691	1	9.3	2	3.1
12	3 25	2	13	46.07	42.287	1	142.658	0	12.7	1	3.3
13	3 25	3	5	33.45	42.303	0	142.569	0	19.1	0	3.7
14	3 25	3	55	30.43	42.251	1	142.588	0	18.6	0	5.2
15	3 25	4	54	33.10	42.256	0	142.579	0	19.4	0	3.8
16	3 25	7	35	18.38	42.258	1	142.466	1	34.1	1	4.5
17	3 25	10	28	13.11	42.298	1	142.686	1	9.3	2	3.8
18	3 25	11	11	38.68	42.234	0	142.501	0	16.1	0	3.8
19	3 25	21	26	32.81	42.049	4	142.680	2	17.7	3	3.9
20	3 25	23	34	15.47	42.206	2	142.677	1	22.6	1	3.3
21	3 25	23	37	22.49	42.188	2	142.429	1	21.9	1	3.3
22	3 26	0	30	20.18	42.062	4	142.694	2	17.9	3	3.4
23	3 26	4	6	15.41	42.257	0	142.489	0	24.3	0	3.3
24	3 26	5	7	22.83	42.156	1	142.625	1	23.1	1	3.3
25	3 26	10	55	2.01	42.045	4	142.653	2	18.1	2	5.2
26	3 26	11	29	4.46	42.036	4	142.666	2	18.1	3	4.8
27	3 26	15	48	2.47	42.047	2	142.630	1	18.7	1	3.7
28	3 27	3	43	10.25	42.063	4	142.651	2	18.8	3	5.0
29	3 27	9	41	23.89	42.253	2	142.514	2	15.5	2	4.1
30	3 28	4	20	44.88	42.233	1	142.522	1	31.3	1	3.7
31	3 28	8	33	52.83	42.172	3	142.472	2	22.0	1	3.3
32	3 28	10	14	7.32	42.243	2	142.478	1	16.2	2	3.2
33	3 28	11	15	22.52	42.173	1	142.451	0	21.0	1	4.7
34	3 28	11	28	46.47	42.244	2	142.525	2	13.1	3	4.8
35	3 28	11	48	47.46	42.260	3	142.544	2	12.0	2	3.3
36	3 28	20	59	17.03	42.244	1	142.534	1	32.2	1	3.4
37	3 29	20	19	34.43	42.306	2	142.639	1	6.6	1	3.1
38	3 29	23	49	32.82	42.295	2	142.731	1	8.3	2	2.9
39	3 30	12	30	27.64	42.236	2	142.466	2	16.8	1	—
40	3 30	13	34	33.44	42.212	2	142.460	1	18.3	1	—
41	3 30	16	15	32.71	42.215	2	142.440	2	22.0	1	5.0
42	3 30	16	27	39.00	42.239	1	142.446	1	23.4	1	—
43	3 30	17	17	17.10	42.052	4	142.656	2	20.6	2	3.1
44	3 30	17	43	14.83	42.304	1	142.596	1	7.0	0	—
45	3 30	22	20	20.19	42.277	2	142.529	1	16.7	1	3.5
46	3 30	23	53	48.11	42.255	1	142.550	0	29.8	1	3.0
47	3 31	4	58	39.24	42.150	3	142.581	2	21.9	1	4.3

Table 3. (continued)

Number	Date	H.	M.	Sec.	Lat. (N)	±km	Long. (E)	±km	Depth, km	±km	Magnitude
48	3 31	6	17	11.94	42.346	1	142.700	1	10.8	1	3.2
49	3 31	9	43	59.50	42.355	2	142.707	1	10.6	2	3.7
50	3 31	11	39	2.69	42.355	2	142.710	1	10.0	2	3.0
51	3 31	14	29	6.56	42.355	2	142.694	1	10.3	2	3.9
52	4 1	5	38	59.65	42.414	1	142.455	0	15.8	1	3.0
53	4 2	6	36	56.74	42.219	1	142.621	0	26.8	1	3.6
54	4 2	17	28	39.54	42.340	1	142.699	1	11.8	1	2.9
55	4 4	7	59	58.70	42.286	1	142.609	1	7.9	0	3.2
56	4 4	20	5	4.37	42.279	2	142.617	1	7.6	1	3.2
57	4 5	7	20	27.02	42.304	2	142.615	1	13.5	2	3.8
58	4 5	12	2	50.57	42.303	2	152.547	1	10.5	1	—
59	4 6	1	14	39.95	42.271	2	142.643	1	7.9	1	3.5
60	4 6	14	17	30.75	42.097	1	142.546	1	20.1	1	4.0
61	4 7	3	12	58.33	42.216	2	142.498	2	24.2	5	3.4
62	4 7	4	27	38.61	42.289	2	142.676	1	6.2	1	3.4
63	4 8	3	12	45.80	42.338	1	142.620	1	9.3	2	3.3
64	4 8	3	58	51.43	42.064	2	142.643	1	20.4	1	3.6
65	4 10	21	58	4.01	42.077	4	142.717	2	19.2	2	3.7
66	4 10	22	17	9.53	42.072	1	142.682	1	19.4	0	4.1
67	4 11	6	52	3.63	42.339	1	142.592	1	6.9	1	3.5
68	4 11	18	46	47.50	42.317	1	142.662	1	10.2	1	3.6
69	4 11	19	59	38.19	42.236	1	142.548	0	28.2	1	3.2
70	4 12	5	4	19.26	42.238	1	142.535	0	30.6	1	3.3
71	4 12	6	0	14.45	42.113	2	142.549	1	21.1	0	3.6
72	4 13	6	49	52.06	42.132	1	142.661	1	21.0	1	4.5
73	4 13	6	55	17.98	42.131	2	142.675	1	21.3	1	4.2
74	4 13	9	25	34.46	42.139	2	142.673	1	20.2	1	3.3
75	4 14	0	44	32.34	42.268	2	142.535	1	16.1	2	3.3
76	4 15	18	37	25.13	42.196	2	142.454	1	20.9	2	3.4
77	4 16	3	36	44.99	42.262	2	142.524	1	16.3	2	4.0
78	4 21	14	29	43.43	42.281	2	142.674	1	10.1	2	3.5
79	4 23	13	26	10.79	42.305	1	142.617	1	7.5	1	3.8
80	4 24	0	57	57.01	42.329	1	142.585	1	6.4	1	3.7
81	4 25	4	13	40.74	42.113	2	142.590	1	21.5	0	3.3
82	4 25	7	22	55.93	42.178	3	142.622	2	28.8	3	3.7
83	4 25	13	26	1.09	42.326	1	142.583	1	6.3	1	4.0
84	4 25	13	38	3.20	42.356	1	142.657	1	10.6	2	2.9
85	4 29	17	25	34.28	42.269	2	142.625	1	18.0	2	3.3
86	4 30	2	21	21.58	42.239	1	142.629	1	10.5	1	3.7
87	5 2	16	30	4.46	42.242	1	142.568	0	29.2	1	3.6
88	5 7	14	6	47.76	42.160	4	142.647	2	28.1	3	3.5
89	5 9	14	49	23.00	42.313	1	142.652	1	10.1	2	3.4
90	5 9	19	53	46.21	42.283	2	142.576	1	11.5	1	3.8
91	5 10	2	7	19.75	42.223	1	142.476	0	23.4	1	3.3
92	5 11	23	24	50.51	42.366	1	142.600	1	9.4	1	4.0
93	5 15	10	2	9.29	42.313	0	142.545	0	23.0	0	3.2
94	5 20	3	16	1.28	42.324	0	142.490	0	29.1	0	3.2
95	5 22	10	35	35.74	42.179	1	142.660	1	21.8	0	5.2
96	5 22	15	0	11.91	42.187	1	142.663	0	22.0	0	4.2
97	5 24	11	29	37.62	42.320	1	142.491	1	30.7	1	3.3
98	5 24	22	10	33.40	42.356	2	142.615	1	15.6	2	4.5
99	5 28	16	25	17.17	42.304	1	142.542	1	22.4	1	3.1
100	5 30	14	0	45.81	42.272	2	152.513	1	15.3	3	3.8

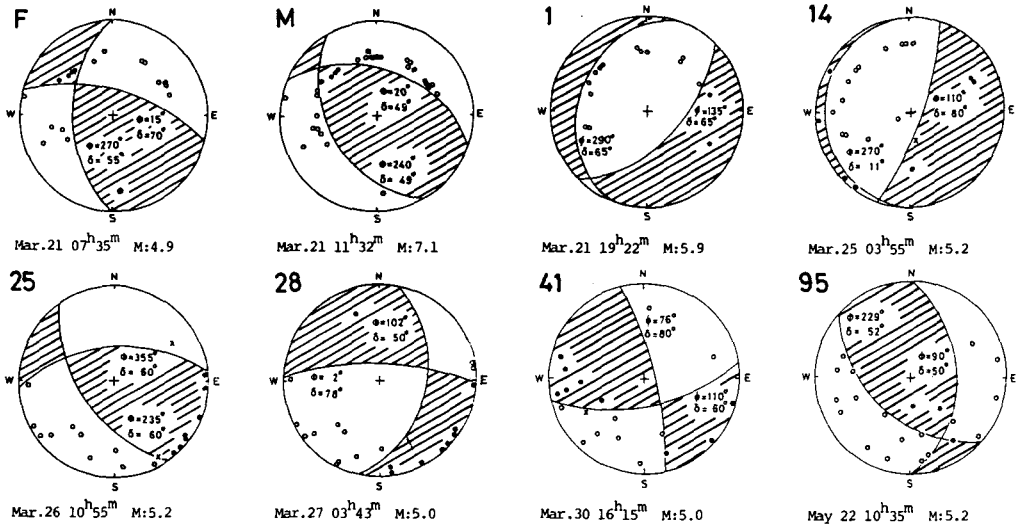


Fig. 9. Mechanism solutions for the largest foreshock (F), mainshock (M), the largest aftershock (1) and major aftershocks (14, 25, 28, 41 and 95). The shaded areas in each mechanism solution indicate the quadrants of compression first motion of the lower hemisphere (equal area projection).

次に以上のようなメカニズム解を持つ余震はどのような空間分布になっているのであろうか。Fig. 12 および Fig. 13 は 1 D 型の、震央および Fig. 4A と同じ方位の断面に投影された震源である。(丸で囲まれてあるもの)。また Fig. 14 と Fig. 15 は N 型の震央および震源を同じ方法で示した。1 D 型は余震域中に広くほぼ一様に分布しているのが見られる。ところが N 型は 17 個中 13 個は B 群の中にあるのが注目される。B 群の中に最大余震が含まれていること (Fig. 5B 参照) から、B 群はメカニズム解から見ても最大余震の影響を強く受けているといえる。その他の 1 S, 2 D および 2 S 型については 1 D 型と同様に余震域全体に散乱しているが数が少ないので震源の分布図は省略する。全体的にメカニズム解の空間分布を見た場合、B 群の中の N 型のように一つの型が集中することがあっても他の型が全く存在しないということはない。むしろ N 型以外は均質に混在している感がある。たとえば B 群には 1 D 型と N 型が互いに非常に近い所に隣接している部分が多く見られる。また A 群の南端部分では、五つの型全部がせまい地域に混在していることがわかっている。余震の発生過程をメカニズム解の分布から見ると、その応力場は非常に複雑で不規則であるといえよう。

しかし余震域全体に支配的な主圧力軸の方向は、過去にこの付近で発生した浅い地震のそれらとよく似ている。Fig. 16 には、浅い地震活動が高い三石町付近とその周辺における 25 km より浅い地震の震央とメカニズム解を示す。それらは、1976 年から 1979 年までのテレメーター観測および 1980 年と 1981 年における臨時観測とテレメーター観測によって再決定したものである。これらの震央はいくつかの続状に配列している。顕著なものは北西-南東の二列と南西-北東の一系列である。これらの方向はメカニズム解の節面と調和的であり、このことは活断層の存在を暗示して

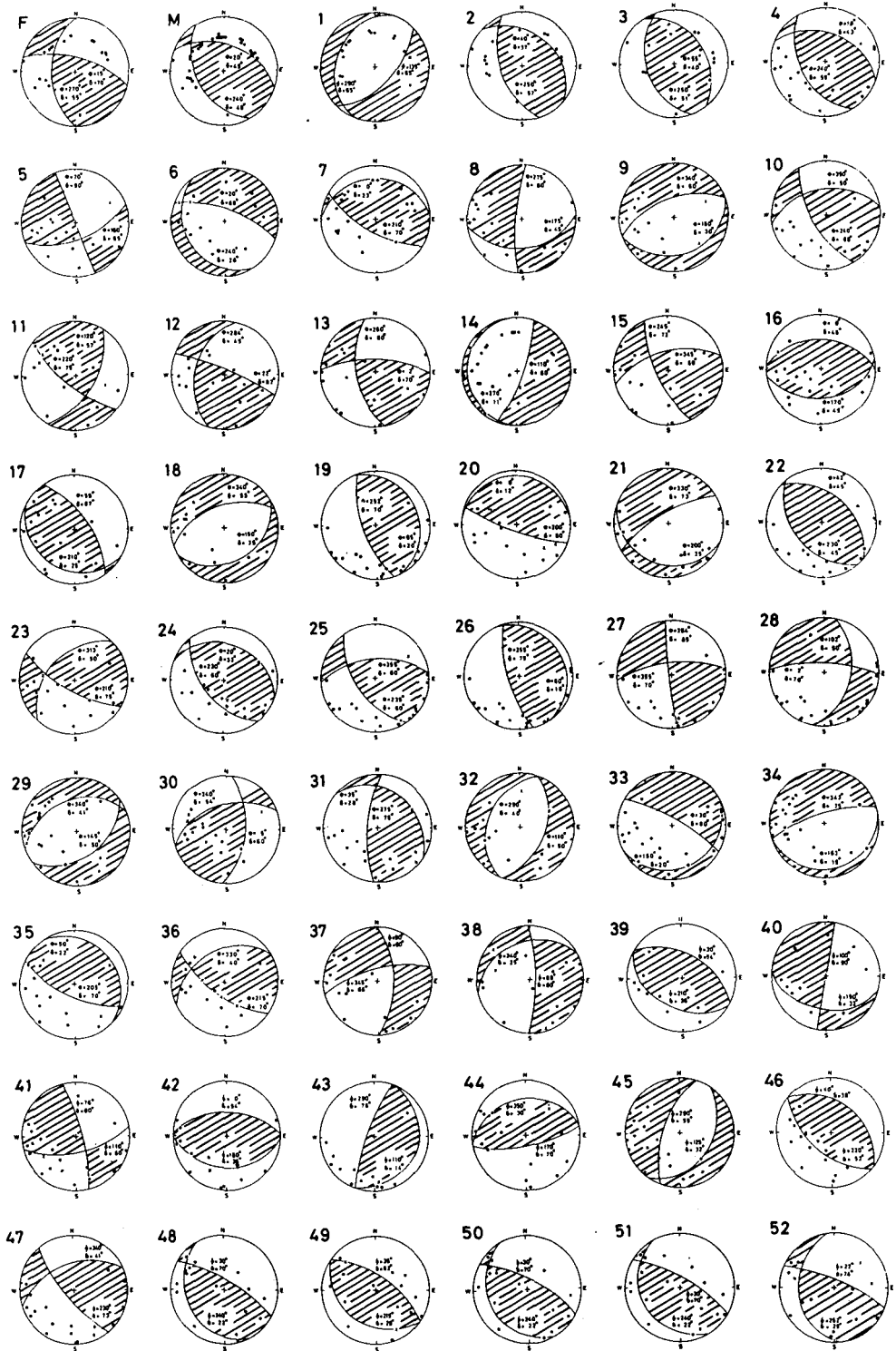


Fig. 10. Mechanism solutions for the largest foreshock (F), mainshock (M) and aftershock (1-100).

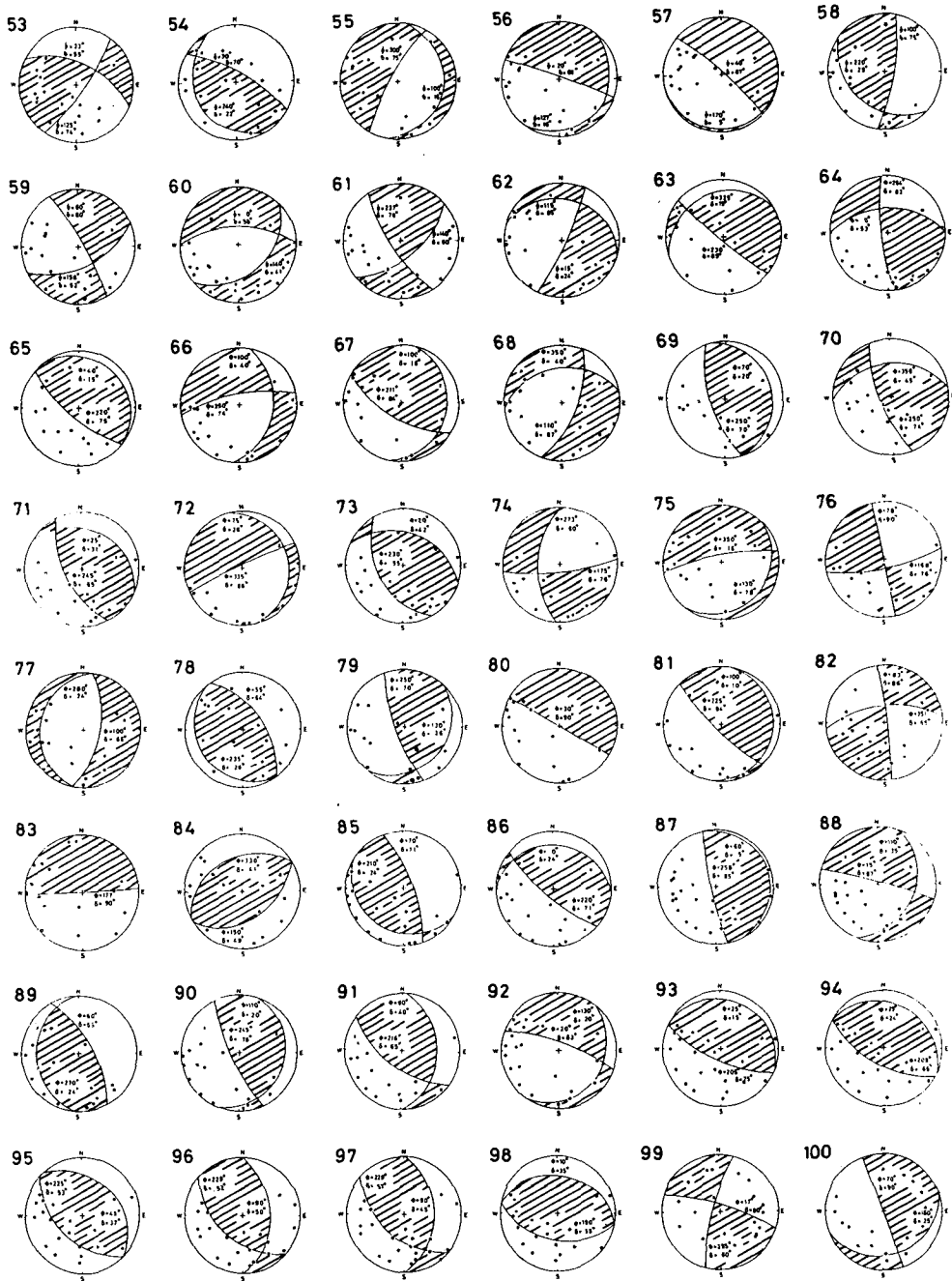


Fig. 10. (continued)

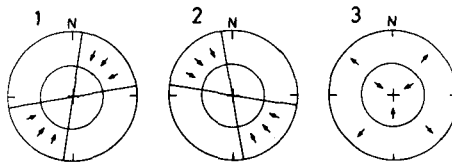


Fig. 11. Classification of mechanism solutions for the aftershocks by the direction range of maximum pressure axes.

Table 4. Classification of mechanism solutions for aftershocks by direction range of maximum pressure axes and fault types

Direction range of maximum pressure axes indicated in Fig.11	Fault type	Number
1	dip-slip (1D)	56
1	strike-slip (1S)	11
2	dip-slip (2D)	11
2	strike-slip (2S)	5
3	normal fault (N)	17

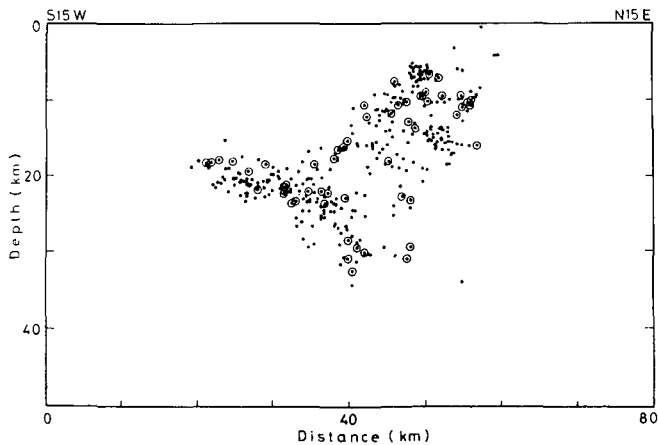


Fig. 13. Hypocentral distribution of aftershocks projected on a vertical plane striking S15°W-N15°E direction. Circled dots denote aftershocks having 1D type of mechanism solutions.

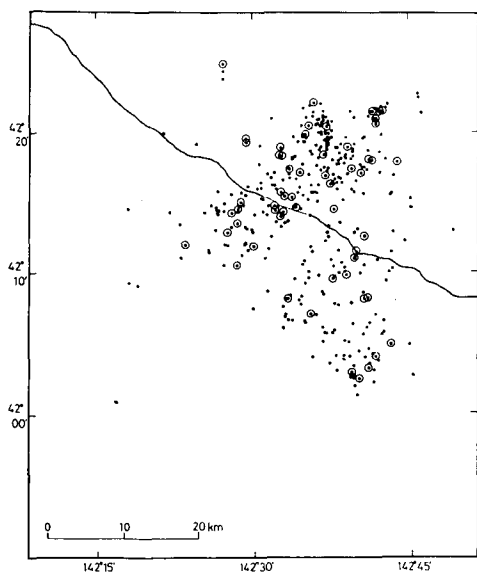


Fig. 12. Epicentral distribution of aftershocks. Circled dots denote aftershocks having 1D type of mechanism solutions.

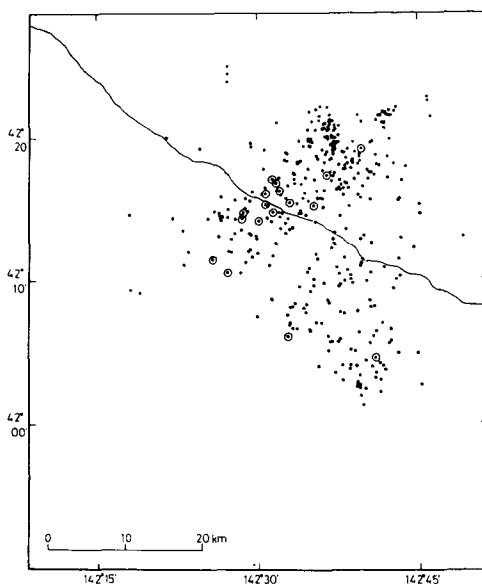


Fig. 14. Epicentral distribution of aftershocks. Circled dots denote aftershocks having N type of mechanism solutions.

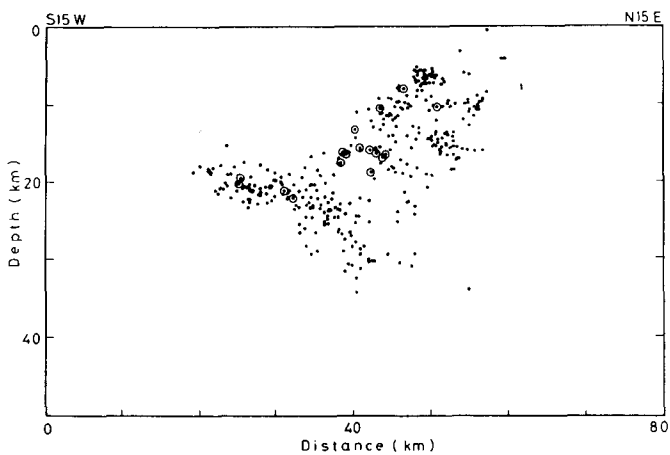


Fig. 15. Hypocentral distribution of aftershocks projected on to a vertical plane striking S15°W-N15°E direction. Circled dots denote aftershock having N type mechanism solutions.

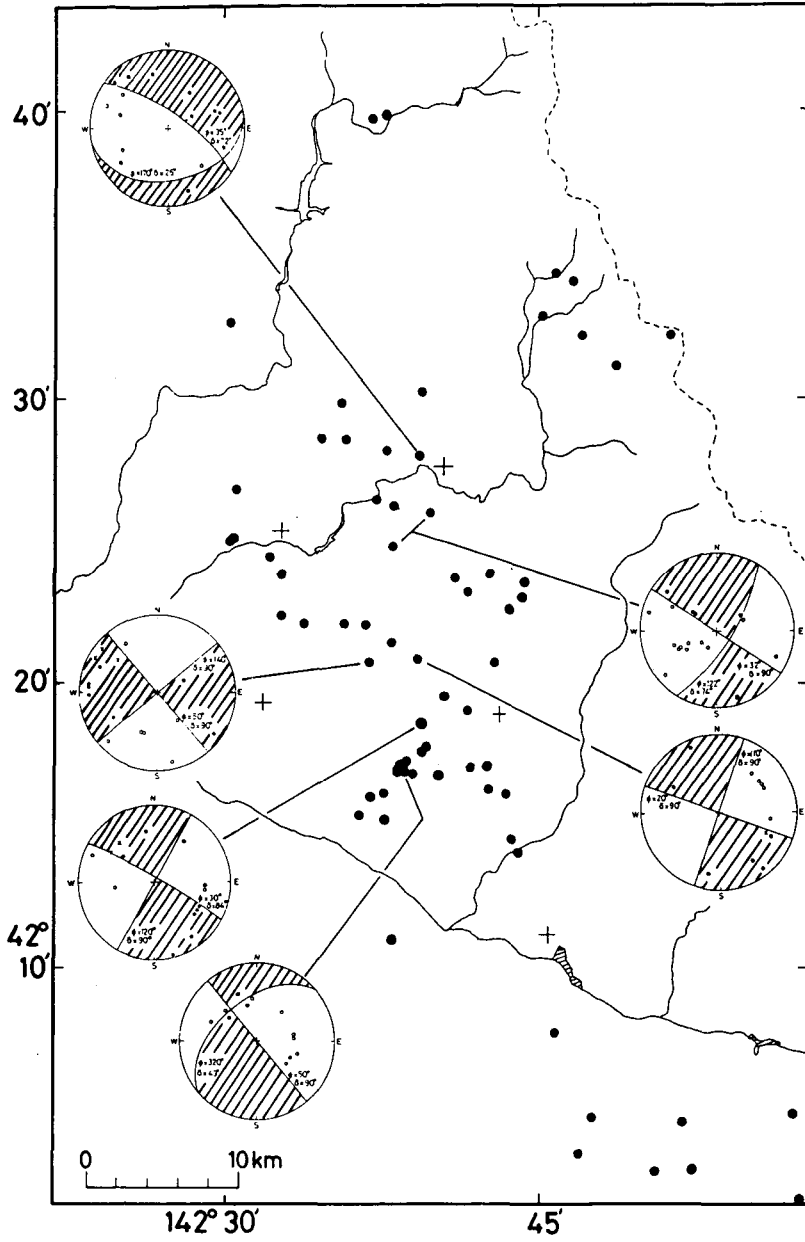


Fig. 16. Seismicity and mechanism solutions of shallow earthquakes ($H < 25\text{km}$) in the western part of Hidaka mountains since 1976.

いる。Fig. 17にはより広い地域である日高山脈から浦河沖における1976年から1982年浦河沖地震までの70 kmより浅い地震についての主圧力軸の方向と断層の型を示す。浦河沖と日高山脈では主圧力軸の方向が系統的に異なっていることがわかる。日高山脈とその周辺、沿岸では主圧力軸の方向は東-西ないし北東-南西であって1982年浦河沖地震のそれとほぼ同じであり、さらに北海道中央部、北部におけるそれとも同じである(森谷1981)。ICHIKAWA (1971)によれば1932年11月26日の新冠川下流の地震(M 7.0)のメカニズム解もほとんど東-西の主圧力軸を持つ

ている。一方浦河沖では主圧力軸の方向は太平洋側に起った大地震などと同じ(ICHIKAWA, 1971; KANAMORI, 1971)のような方向であって日高山脈とは全く異なる。したがって日高山脈とその周辺の地殻・上部マントルにはその走向に直交する圧縮力が働いていると考えられる。これは地殻変動の解析結果にも現れている(中根1973)。以上のことから浦河沖地震のメカニズム解は浦河沖というよりはむしろ日高山脈西側の浅発地震群の特徴をよく現わしている。

V. 浦河沖および日高山脈とその周辺における地震活動とテクトニクス

浦河沖地震発生の舞台となった浦河沖から日高山脈とその周辺における地震活動の特徴からテクトニックな考察を行なってみる。

Fig. 18は1976年7月から1981年12月までの、北海道大学理学部附属地震予知観測センターの観測および同地球物理学教室応用地球物理学講座が行なっている臨時観測データを使用し再決定された震央分布〔1970年1月21日、日高山脈地震(M 6.7)の余震(森谷1972)も加えられている〕である。地震活動はたいへん活発で上記の期間でもM 4.7~5.9で深さが70 kmより浅い地震が16個も発生した。Fig. 18を見ると日高山脈西側の静内川中流付近

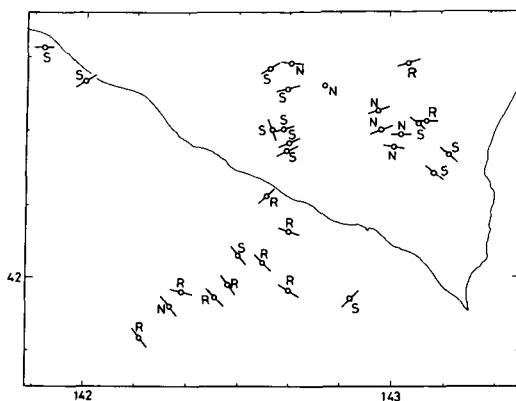


Fig. 17. Distribution of direction of maximum pressure axes projected on the surface in the southern part of Hidaka mountains and off Urakawa since 1976.

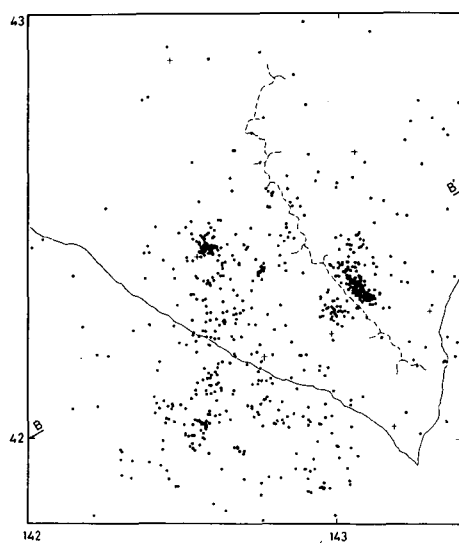


Fig. 18. Seismicity in the Hidaka mountains and Urakawa regions since 1976. After-shock of the Hidaka mountains earthquake of Jan. 21, 1970, are added.

から三石を経て浦河沖に至る地域に地震が密集している。日高山脈の中心部では活動は低めである。ただし広尾西方日高山脈のすぐ東側の群は 1970 年日高山脈地震の余震である。そのとなり日高山脈のすぐ西側の群は、日高山脈南部地震とよばれており地震多発地域である。これらの深さ分布を効果的に見るために日高山脈の走向にほぼ直交する断面 (W 30°S - E 30°N) へ、Fig. 18 の B - B' を結ぶ直線の両側それぞれ 30 km 以内の地震を選び、その震源を投影したのが Fig. 19 である。これから三つの特徴をあげることができる。それらは、

- i) 日高山脈の周辺に浅い地震が多く、西側の部分では深さ数 km から 75 km まで広い範囲に分布する。
- ii) 浦河沖では西方へしだいに深くなり 50~90 km に分布する。
- iii) 日高山脈の東方へ向かって深くなるが日高山脈の直下から 70~140 km の浦河沖より深い活発な地震活動がある。

Fig. 20 には 3.3 で示した今回の余震も加えて示した。特異な震源分布により明らかとなろう。

深さが 70 km より深い地震は太平洋プレートの沈み込みによる深発地震面中に含まれるものである。この地震面は Fig. 19・20 で示したように日高山脈を境に 50 km におよぶいちがいが存在する。これは構造の不均質や観測誤差では説明できない程大きい量である。このくいちがいは、より広域の震源分布 (宇津 1974) あるいは火山配列や海溝軸の折れ曲がりなどから考えると、日高山脈下の上部マントルには東北日本弧と千島弧との深発地震面の接合部分が存在することを示している。MORIYA (1978) は北海道下のやや深発地震が日高山脈付近のマントル内で褶曲状の分布をしていることを示した。Fig. 19・20 はこのような太平洋プレートの運動と日高山脈の地殻・上部マントル活動が密接に関係していることを示している。

一般に島弧接合部付近では沈み込むプレートがその面積を保つため大きく変形する (KANAMORI 1971, AOKI 1974)。そのため応力場が変化し、地震の発震機構も変わってくる。SIMAZAKI et al. (1978) によれば、二つの島弧接合部付近では地震を起こす主圧力軸の方向は島弧接合角の二等分線に直交し、プレートの沈み込む方向とは異なる。エリモ沖の海溝軸の折れ曲がりからも明らかのように、東北日本弧と千島弧との接合角は 180° より小さい。このため沈み込んだプレートに面積の余剰が生じ、プレートは褶曲させられるかあるいは剪断されることになる。そしてプレート内部およびその周辺の日高山脈の地殻・上部マントルは、Fig. 17 のように島弧接合角の二等分線、つまり日高山脈の走向に直交する圧縮力を受けていることになる。このように考えると日高山脈の造山運動は現在もなおこのような島弧接合部の特殊な機構によって進行しているといえよう。

VI. お わ り に

1982 年浦河沖地震を、浦河沖および日高山脈とその周辺における地震活動の特徴と比較すれば、この地震は特別なものではなく日高山脈、特にその西側に発生する地震の最大規模のものと考えられる。Fig. 16 に示した地震の中で注目されるものは、1981 年 7 月 27 日 10 時 35 分に発生

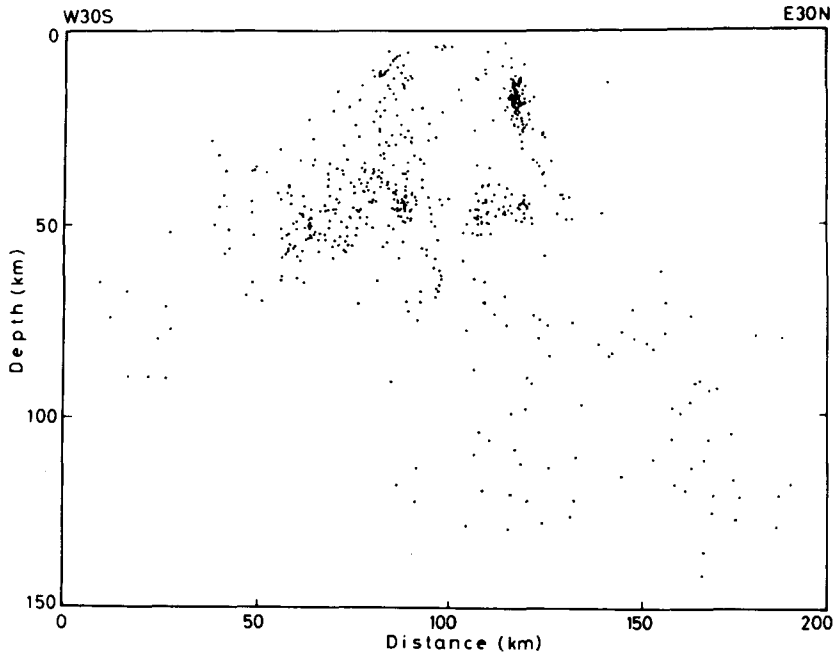


Fig. 19. Hypocentral distribution of earthquakes located in 30km widths both sides along B-B' in Fig. 18 projected on to a vertical plane along B-B'.

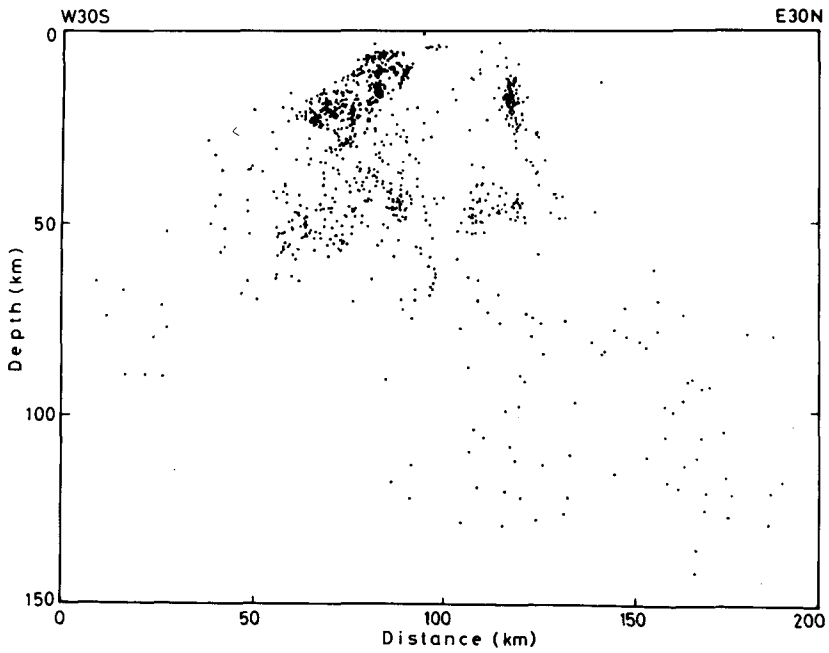


Fig. 20. Aftershocks of the Urakawa-oki earthquake 1982, are added to Fig. 19.

した三石（みついし）の地震（M 4.2, 深さ 10 km）である。この地震の余震は南西—北東に配列し、余震域は浦河沖地震の余震域の B 群の中に完全に含まれる。このような位置関係から、この三石の地震は浦河沖地震の広義の前震と考えられる。また浦河沖地震の本震発生の約 4 時間前に M 4.9 の前震が発生したことや、三石の地震の発生直前約 3.5 秒前にも前震が発生していたことから考え、この地域の地震予知には前震の検出が重要な課題となるであろう。

過去に発生した大地震で重要なものは、1931 年 2 月 28 日の浦河北方の地震（M 6.8）と 1932 年 11 月 26 日の新冠川下流の地震（M 7.0）である。前に述べた系統的な震源位置の誤差を考慮すると、明らかにこれらの地震は今回の浦河沖地震と同じような日高山脈西側に発生する浅い地震群の最大規模のものといえる。

気象庁発行の地震月報などによれば 1930 年代の前半は、この地域から東北地方北部にかけて地震活動が非常に高かったと考えられる。現在の地震活動はそれほど高くはないが、1940～1975 年ごろと比較すると、やや活発と思われるので、日高山脈とその周辺、特に西側の地域では浦河沖地震のような大地震に対する警戒を怠ることはできないであろう。

謝辞 本研究を進めるに当たり北海道大学理学部附属地震予知観測地域センターの資料を使用させていただいた。北海道大学理学部附属えりも地殻変動観測所、同農学部附属牧場（静内町字御園）、門別町立広富小学校、平取町立豊糖小中学校、えりも町立日黒小中学校、北海道電力高見ダム発電所建設所および大勢の現地の方々には臨時観測に協力していただいた。札幌管区気象台ならびに北海道大学理学部附属有珠火山観測所にはメカニズム解の資料を提供していただいた。北海道中央部・北部の臨時観測では、留萌市立樽真布小中学校、羽幌町立曙小学校、北海道大学農学部附属天塩地方演習林および同中川地方演習林の御協力を得た。岡田廣教授には原稿を読んでもらった。

文 献

- AOKI, H., 1974, Plate tectonics of arc-junction at central Japan, *J. Phys. Earth*, **22**, 141–161.
- ASANO, S., N. DEN, H. HOTTA, T. YOSHII, Y. ICHINOSE, N. SAKAJIRI and T. SASATANI 1979, Seismic refraction and reflection measurements around Hokkaido part 2, crustal structure of the continental slope off Hidaka, *J. Phys. Earth*, **27**, 497–509.
- DEN, N. and H. HOTTA, 1973, Seismic refraction and reflection evidence supporting plate tectonics in Hokkaido, *Papers in Meteorology and Geophysics*, **24**, 31–54.
- 藤井智史・森谷武男, 1983, 採石爆破による日高地方の浅部地殻構造, 北海道大学地球物理学研究報告, **42**, 169–190.
- 浜口博之・増田徹・武村雅之・後藤和彦・伊東明彦・鈴木次郎・三品正明・鈴木将之, 1979, 1978 年宮城県沖地震とその余震活動, 1978 年宮城県沖地震による被害の総合的研究(昭和 53 年度文部省科学研究費自然災害特別研究(1) **302041**), 35–48.
- 市川政治・望月英志, 1971, 近地地震用走時表について, 気象研究所研究報告, **22**, 229–290.
- ICHIKAWA, M., 1971, Reanalyses of mechanisms of earthquakes which occurred in and near Japan and statistical studies on the solutions obtained 1926–1968, *Geophys. Mag.*, **35**, 207–274.

- 石橋克彦・松崎考文・稲谷栄己・末広潔・渋谷和雄, 1974, 1974年伊豆半島沖地震の超高感度余震観測(予報), 地震予知連絡会会報, **12**, 76-80.
- KANAMORI, H., 1971, Focal mechanism of the Tokachi-oki earthquake of May 16, 1968: contortion of the lithosphere at a junction of two trenches, *Tectonophysics*, **12**, 1-13.
- 森谷武男, 1970, 地震観測用長時間データ・レコーダーの試作, 北海道大学地球物理学研究報告, **23**, 91-97.
- 森谷武男, 1972, 日高山脈南部地震(1970年1月21日)の余震活動, 地震**2**, **24**, 287-297.
- MORIYA, T., 1978, Seismic studies of the upper mantle beneath the arc-junction at Hokkaido: Folded structure of intermediate-depth seismic zone and attenuation of seismic waves, *J. Phys. Earth*, **26**, Suppl., S467-S475.
- 森谷武男・武田和士, 1979, DAR地震観測システム用コード化水晶時計とコード読み取り装置, 地震**2**, **32**, 198-200.
- 森谷武男, 1982, 1981年4月北海道中央部に発生した二つの地震, 地震予知連絡会会報, **27**, 5-8.
- 森谷武男, 1983, 北海道の地殻上部におけるVp/Vsの地域性, 北海道大学地球物理学研究報告, **42**, 145-154.
- 宮町宏樹・森谷武男, 1983, インバース法による日高山脈下の三次元P波速度構造, 地震学会春季大会予稿集, C-10.
- 中根勝見, 1973, 日本における定常的な水平地殻歪(I), 測地学会誌, **19**, 190-199.
- 大亀学, 1972, 日高・大雪地域の重力異常, 北海道大学大学院理学研究科修士論文.
- SHIMAZAKI, K., T. KATO and K. YAMASHINA, 1978, Basic types of internal deformation of the continental plate at arc-arc junctions, *J. Phys. Earth*, **26**, Suppl., S69-S83.
- 清水信之・前田亟, 1979, 日高山脈直下の浅発地震に見られる顕著な相について, 地震**2**, **32**, 149-163.
- 清水信之・前田亟, 1980, 上杵臼で観測される顕著な相, 地震**2**, **33**, 141-156.
- STAUDER, W. and L. MUALCHIN, 1976, Fault motion in the larger earthquakes of the Kurile-Kamchatka arc and of the Kurile-Hokkaido corner, *J. Geophys. Res.*, **81**, 297-308.
- TAKANAMI, T., 1982, Three-dimensional seismic structure of the crust and upper mantle beneath the orogenic belts in southern Hokkaido, Japan, *J. Phys. Earth*, **30**, 87-104.
- 津村建四郎・唐鎌郁夫・荻野泉・高橋正義, 1978, 1978年伊豆大島近海地震前後の地震活動, 東京大学地震研究所彙報, **53**, 675-706.
- 宇津徳治, 1968, 北海道およびその周辺の地震活動, 北海道大学地球物理学研究報告, **20**, 51-75.
- 宇津徳治, 1972, 北海道周辺における大地震の活動と根室南方沖地震について, 地震予知連絡会会報, **7**, 7-13.
- 宇津徳治, 1973, 北海道太平洋岸における大地震の起り方と根室半島沖地震, 1973年6月17日根室半島沖地震調査報告(昭和48年度文部省科学研究費, 自然災害特別研究(1) 802029), 149-154.
- 宇津徳治, 1974, 日本周辺の震源分布, 科学**44**, 739-746.
- 横内恒雄・石黒長蔵・須賀盛典・笹川巖, 1974, 1973年6月17日根室半島沖地震について, 1973年6月17日根室半島沖地震調査報告(昭和48年度文部省科学研究費, 自然災害特別研究(1) 802029), 76-148.