



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	広域地震観測網で得られた有珠山2000年噴火に伴う地震活動とP波初動メカニズム解の決定
Author(s)	一柳, 昌義; ICHIYANAGI, Masayoshi; 田村, 慎 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 64, 115-131
Issue Date	2001-03-27
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.64.115
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14293
Type	departmental bulletin paper
File Information	64_p115-131.pdf



広域地震観測網で得られた有珠山 2000 年噴火に伴う地震活動と P 波初動メカニズム解の決定

一柳 昌義・田村 慎・笠原 稔

北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター

(2001 年 1 月 12 日受理)

Seismic Activity and Focal Mechanism Related to 2000 Eruption of Usu Volcano from Regional Seismic Network

Masayoshi ICHIYANAGI, Makoto TAMURA and Minoru KASAHARA

Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

(Received January 12, 2001)

Usu volcano located in the southwestern part of Hokkaido erupted on March 31, 2000 after 23 years of dormancy. Remarkable both seismic activity and crustal deformation occurred before and after the eruption, as were similar several previous eruptions of this volcano. Institute of Seismology and Volcanology (ISV) and Sapporo District Meteorological Observatory (SMO) deployed temporal seismic networks near the volcano before and just after the eruption. Using data from these as well as regional permanent seismic networks operated by ISV and SMO, we determined 1048 hypocenters with sufficient accuracy and 34 focal mechanism solutions of earthquakes larger than M3.2 based on initial P wave polarizations.

The first earthquake was observed at 20h, 27th March and the frequency of earthquakes increased rapidly, with a small decreasing in the afternoon of 28th, up to the peak in the evening of 30th. The first eruption occurred at 13:07, 31st, in the course of decreasing number of earthquakes. Hypocenters were confined near the summit of the volcano by the morning of 29th and then spread gradually around the mountain body by the time when the first crater opened at the western mountainside of Usu volcano. Half of pressure P-axes of focal planes show NW-SE direction, however, spatial distribution of P-axes are complicated. A phenomenon that most of earthquakes occurring in the course of hypocenter spreading have P-axis of NW-SE direction may be caused by magma movement.

I. はじめに

北海道の南西部に位置する有珠山は (Fig. 1), 2000 年 3 月 31 日 13 時 7 分 (例えば, 宇井他,

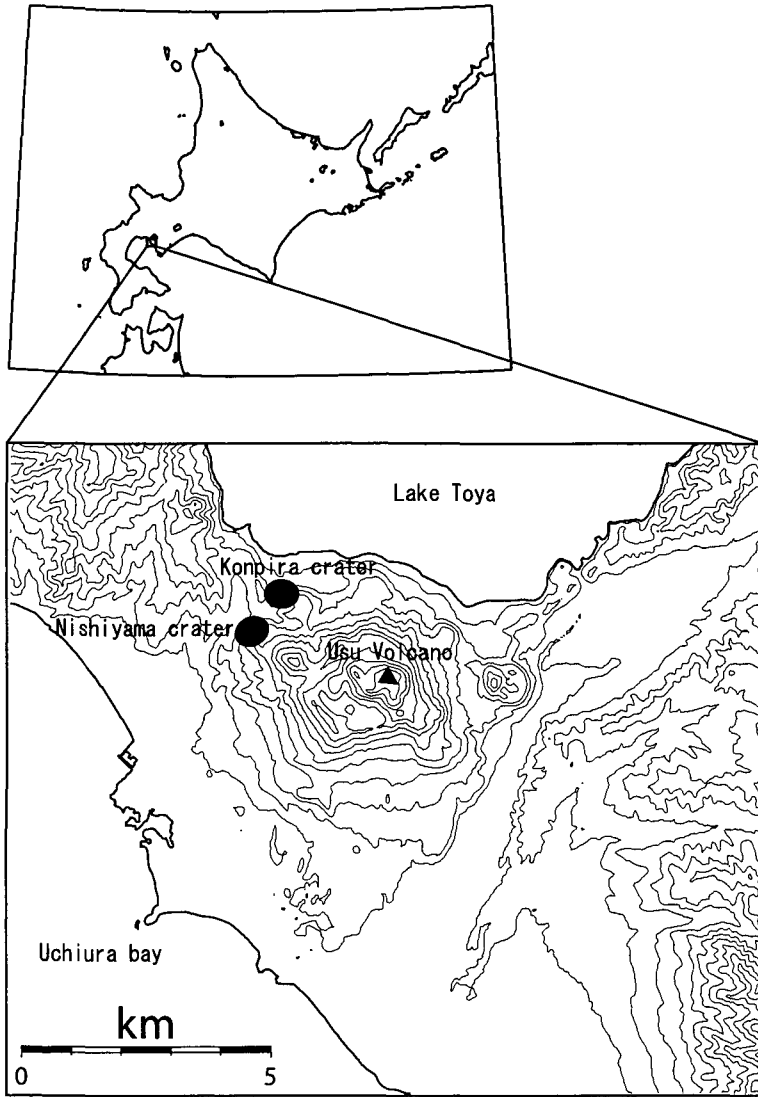


Fig. 1. Map showing the location of Usu volcano (upper) and two craters newly opened by the eruption on March 31, 2000 (lower).

2000)に1977年以來23年ぶりに有珠山北西部の西山の西側から噴火した。また、4月1日には、北側の金毘羅山付近からも噴火し、2001年1月現在も噴火活動が継続している。歴史時代に発生した最近数回の噴火と同様、噴火前に多くの地震が発生し始め、時間が経過するにつれ規模も大きくなり噴火が近いことを予想させた。噴火活動の地球物理学的観測をするため、噴火前からさまざまな機関が観測を開始した。高橋他(2000)や岡崎他(2000)では、活動に伴って変動する地面の動きを捉える目的でGPS観測を開始し詳細な噴火に伴う地殻変動を捉えることに成功した。また、吉田他(2001)は強震計を有珠山周辺に設置し、噴火に伴い発生した低周波地震を観

測してその波形の特徴を示した。また、大島他(2000)は、北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター有珠火山観測所(以下UVO)が有珠山周辺に設置した地震観測点のデータを用いて、噴火に伴う地震活動を明らかにした。しかしながら、データを処理している観測所が避難勧告地域にあり危険なため移転し、その期間一時UVO系の地震データ伝送テレメーター装置が欠測となり、また、移転後噴火に伴い設置された多数の臨時観測点のデータも加えたため、移転前後で同一基準のデータとなっていない。北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター(以下ISV)と札幌管区気象台(以下SMO)が北海道とその周辺に発生する地震活動を捉えるために設置している広域地震観測網は、有珠山の噴火前兆活動に伴う地震活動を噴火3日前の3月28日か0時から観測している。さらに、両機関が噴火直前に有珠山周辺に臨時地震観測を展開したことによって、有珠山の噴火活動に伴う地震活動をより正確に捉えることが可能となった。そこで、本稿では噴火前後の3月27日から4月10日までの期間、広域地震観測網のデータと有珠山周辺に展開した臨時観測点のデータを用い、観測点を固定して震源決定し、利用できる全てのP波初動押し引きデータを用いてメカニズム解を決定し、有珠山の噴火に伴う地震活動を明らかにしたので報告する。

II. 観測方法及び震源決定

震源決定とメカニズム決定に用いた広域地震観測網の観測点分布をFig. 2に示す。丸印の観測点は大学によるもので、北海道内はISVの設置した観測点、東北地方は東北大学及び弘前大学の観測点である。また、三角印は気象庁の観測点である。そのうち黒く塗りつぶした観測点だけを震源決定に用いた。白抜き観測点はメカニズム解決定のために可能な限り全てを使った。各観測点の観測期間をFig. 3に示す。Fig. 3に示した以外の観測点は全期間観測していた観測点である。但し、JMAA点は以前から観測をしていたが、28日16時以降ISVにデータ伝送を開始している。震源決定に用いた観測点は、噴火による地震活動が活発だった時期に観測していた観測点を選択した。

ISVでは、従来からISV所属の観測点のデータやSMOなどの他機関のデータもNTT専用回線や衛星テレメーター装置(衛星通信テレメタリンググループ, 1996)を利用して地震データをリアルタイムで伝送し、ワークステーションによって、それらのデータを一元処理している。ワークステーションでは、各方面から伝送されたデータを時間順にソートし、イベントトリガー方式によって地震判定を行い、地震と判定された波形データは、自動的にP波やS波の読み取りが行われ震源決定される。これら一連のデータ処理はWINシステム(卜部・東田, 1991)によって行われている。また連続波形はEXBテープに順次書き込まれている。

ここでは、3月27日から4月10日までの期間について、より均質なデータセットを作るためEXBテープから波形を再生し直し、概ね全期間観測している有珠山周辺のNBB・KCN・JMAAの3観測点をイベントトリガー方式で地震判定し、イベント地震波形の切り出しを行った。以降の解析では、震源決定は、地震数が多いため手動での検測が間に合わず、P波・S波の自動検測の

結果を用いたが、P波初動メカニズムを決定したイベントはいずれの期間も手動検測の結果を使用している。

震源計算には WIN に付属しているプログラム Hypomh (Hirata and Matsuura,1987) を用いた。また、この地域の速度構造は分かっていないため、一般的な火山地域の構造を Fig. 4 のように仮定して計算を行った。そして、 V_p/V_s 比は 1.73 と仮定した。

今回地震活動を調べるために用いた震源データは自動検測の結果である。自動検測では、手動検測の場合と比べて相を早く読むことや、またその逆の場合もあり震源の決定精度が落ちるので、以下に述べる検索基準に従って、精度の良いものを選んで使用した。まず自動検測の震源 4300 個の中から P 波の読み取り値が 4 観測点以上で、1 点以上の S 波の読み取り値がある 2129 個を選び出し、その中から各相の観測値と計算値の差 (走時残差) が P 波 S 波それぞれ 1 秒と 2 秒以内、更に、緯度・経度・深さの誤差が 2 km 以内の地震 1317 個を取り出し、全地震について各観測点の走時残差の平均値を求め、観測点補正值とした (Table 1)。また、Table 1 に検索された地震の各観測点の P 波相が読み取られた数を示した。MTYD 観測点と JMAA 観測点はこの観測点に比べ数が少ない。そのうち MTYD 観測点はこの観測点に比べて半分の 637 個である。その理由は他の観測点と比べて観測期間が短かったためである。しかし、地震活動が活発だった時期は観測をしていたので、この観測点も震源決定に加えた。JMAA 点は地震活動が活発だった時、地震が連続的に発生したため、P 波相を読み取ることが出来なかったのが原因である。

これらの観測点補正值を用いて震源の再計算

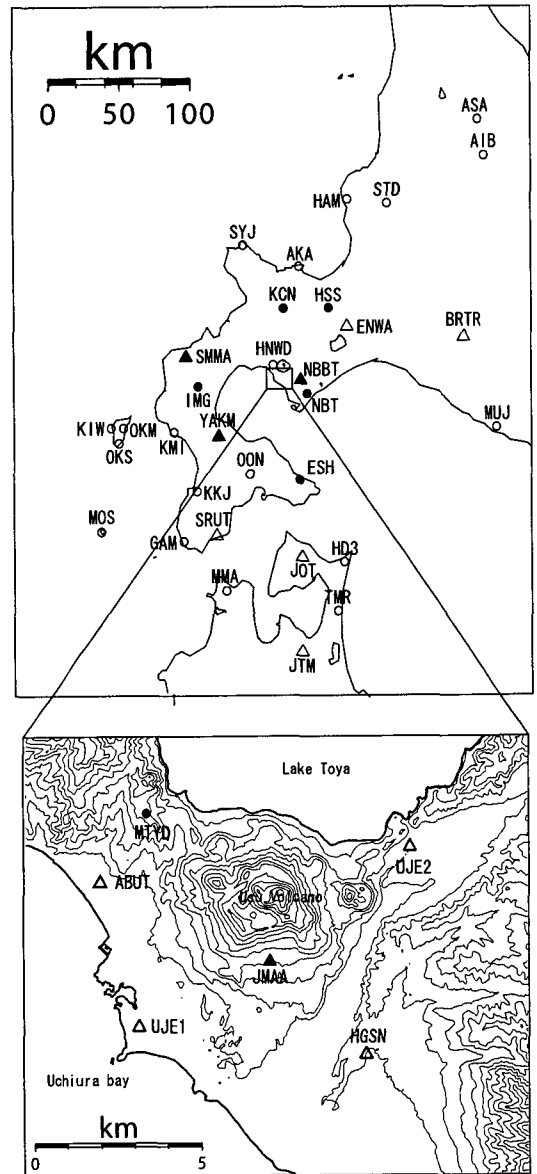


Fig. 2. Distribution of seismic stations used in this study. Circle stations are operated in Hokkaido by Hokkaido University and in Tohoku by Hirosaki or Tohoku Universities. Triangle stations are Sapporo District Meteorological Observatory. Solid stations are only used for hypocenter calculation and all are used for focal mechanism solution determination.

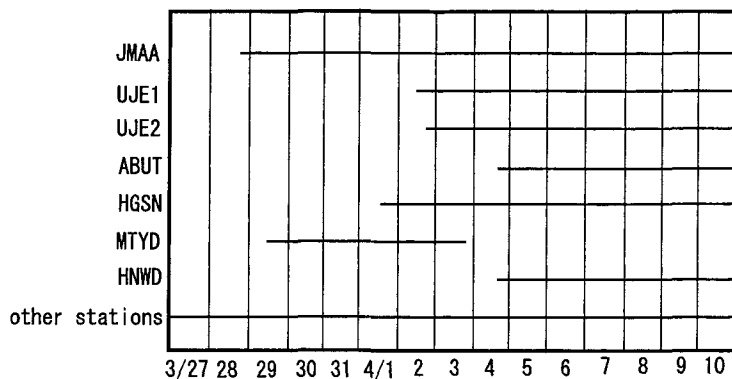


Fig. 3. Available time chart for each stations shown in Fig. 2.

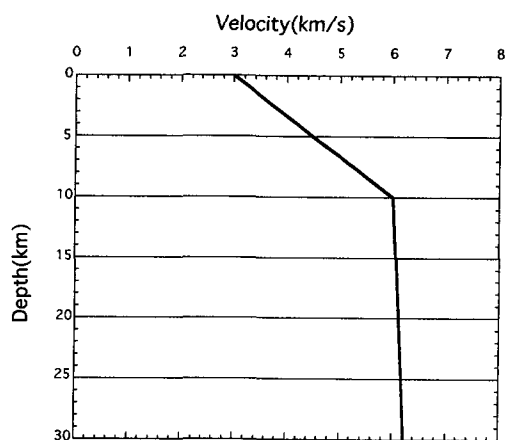


Fig. 4. P wave velocity structure used in the hypocenter calculation. S wave velocity is deduced by $V_p/V_s=1.73$.

Table 1. Station corrections for travel times used in the calculation of hypocenters and total number of P arrival time data for each station.

Station	Number of P wave	P wave station correction (sec)	S wave station correction (sec)
MTYD	637	-0.02	0.29
JMAA	817	-0.01	0.24
NBBT	1097	0.02	0.10
NBB	1017	-0.08	0.51
HSS	983	-0.30	0.78
KCN	1175	-0.08	0.97
SMMK	1173	-0.07	1.30
IMG	1184	-0.21	0.38
YAKM	1213	-0.13	0.85
ESH	1220	-0.27	1.57

を行い、その結果求められた震源から P 波の走時残差 0.5 秒以内 S 波 1 秒以内の地震を検出した。その結果 1048 個の地震が検出された。以下の議論ではこれらの震源を用いて述べる。

III. 噴火による地震活動とメカニズム解

1. 地震回数

Fig. 5 に SMO が観測した JMAA 点の $3 \mu\text{m}$ 以上の地震 (気象庁, 2000) と今回用いた広域地震観測網の震源 1048 個の時間別地震回数と回数積算グラフを示した。但し, JMAA 点の回数値は暫定値である。両者を比較すると, JMAA 点では 3 月 27 日 20 時に初めて地震が観測され, その後増加し 28 日に一旦減少したが夜になると再び増加に転じ, 積算回数グラフを見ても明らかなように 29 日 16 時を境にして急激に増加する。30 日 17 時に 127 個と最高回数を記録し 30 日 12 時を過ぎると急激に減少する。21 時には 100 個を切り 4 月 1 日 6 時に 10 個を切り, 以降 10 日まで 1 時間当たり 10 個以下になって推移した。それに対し, 広域観測網震源では, 決定できる地震が観測されたのは 28 日 0 時 23 分からで, 16 時までは JMAA 点のデータがないのが影響して, JMAA 点で見ていたような 28 日の地震の増加と減少の変化は見えない。16 時以降になると JMAA 点に加わった影響で地震数が増加し, JMAA 点と同様の傾向が見えるようになる。29 日 16 時以降, 同じように急激に地震数が増加し, 30 日 12 時以降地震数が減少し始める傾向も同じである。データ数が JMAA 点ではこの期間 5779 個の地震を観測したのに対し, 広域地震観測網で観測され, かつ精度良い震源が求められた総数は, 1048 個であるが, 精度の良い震源データも, 地震活動の推移を表している。

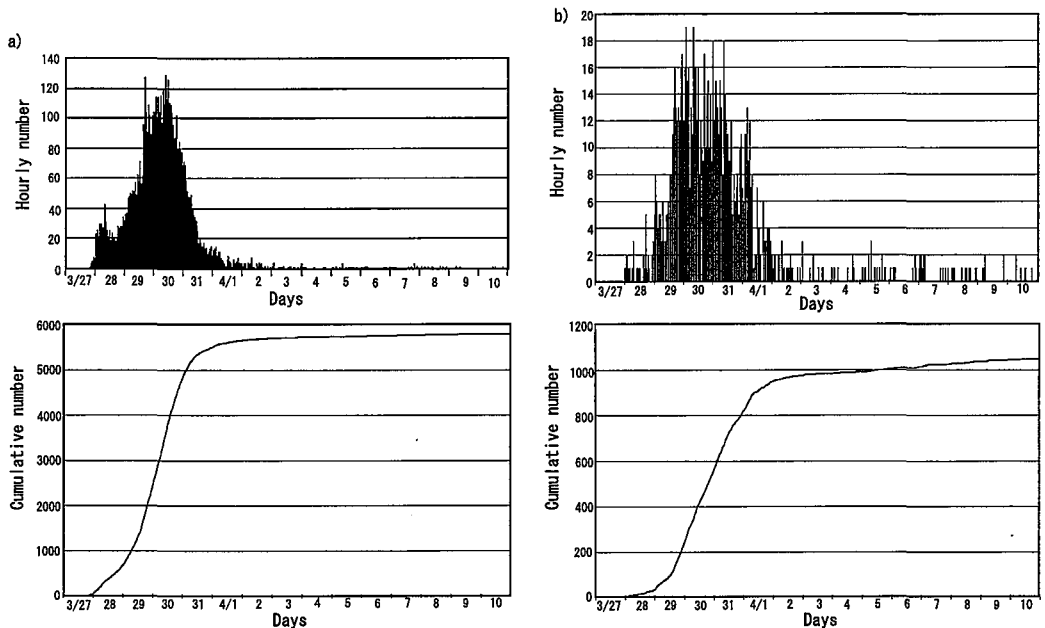


Fig. 5. Hourly and cumulative number of earthquakes. a) counted at JMAA station b) relocated ones in this study.

2. 震源分布

Fig. 6 a~Fig. 6 eは3月28日から4月10日までの震源分布を示し、Fig. 7に南北方向と深さ方向に投影した全期間と噴火前後の6日間を拡大した時空間分布を示す。地震回数と震源の時空間分布の変化から5つの期間（3月28日0時から29日8時まで（期間1）、3月29日9時から29日15時まで（期間2）、3月29日16時から30日19時まで（期間3）、30日20時から4月1日23時まで（期間4）、2日0時から10日23時まで（期間5））に区切って震源分布を示し、以降その図に沿って説明する。

地震活動が始まった期間1（Fig. 5 a）では、有珠山山頂やや西側を中心として発生していた地震は、期間2（Fig. 5 b）では北側と若干南側にも震源域が広がり始める。地震回数が急激に増加した29日16時以降の期間3（Fig. 5 c）になると震源域が南南東方向に拡大し、活動域の中心も南南東に移動しているのが明瞭になる。30日12時過ぎには北側の地震活動は低下する。30日12時以降地震回数は減り始めるが、震源域の南南東方向への拡大は継続する。地震数が急激に減少する30日20時以降の期間4（Fig. 5 d）でも、震源域の拡大は続き31日12時に拡大は停止する。30日に低下していた北側の地震活動は31日0時に再開し4月1日まで継続する。そして、震源域の南南西への拡大が停止した1時間後、31日13時に有珠山山西火口から噴火した。噴火2日後の期間5（Fig. 5 e）では地震活動がさらに低下し、31日までに形成された震源域内に散発的に地震が発生した。

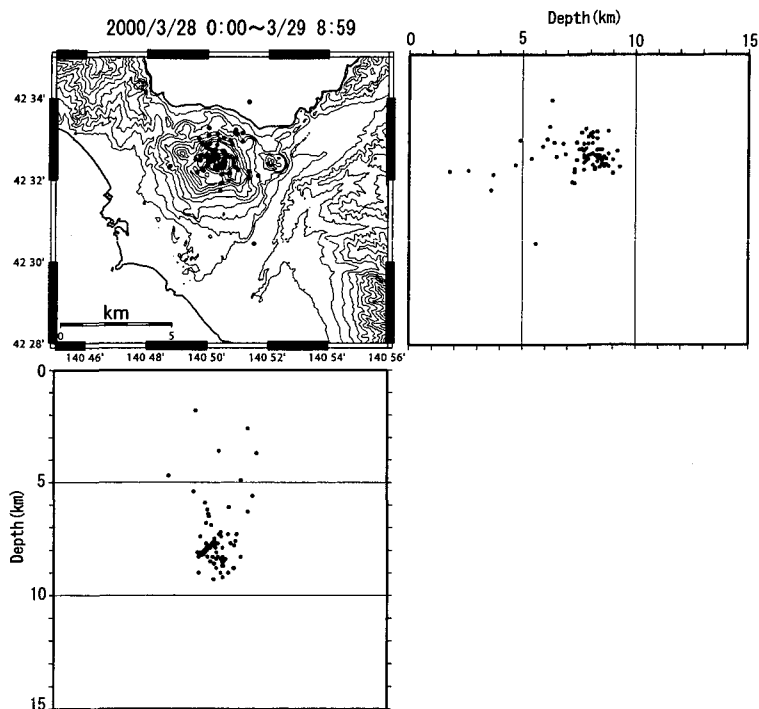


Fig. 6a. Hypocenter distribution. (2000/3/28 0:00 - 3/29 8:59)

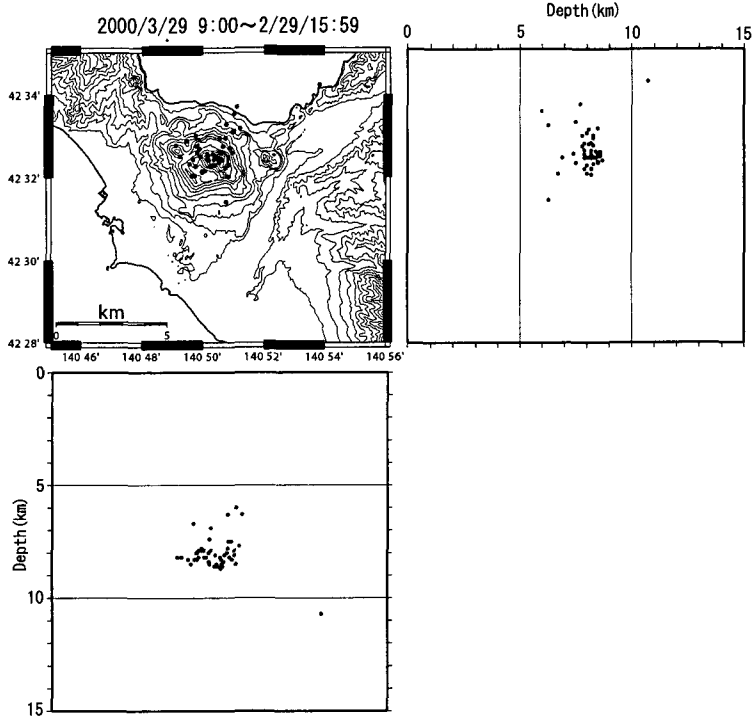


Fig. 6b. Hypocenter distribution. (2000/3/29 9:00 - 3/29 15:59)

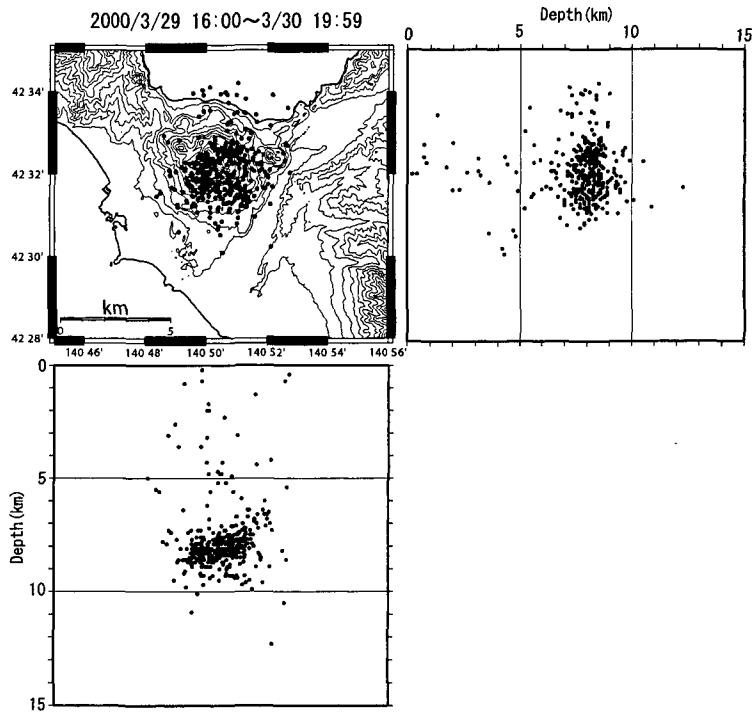


Fig. 6c. Hypocenter distribution. (2000/3/29 16:00 - 3/30 19:59)

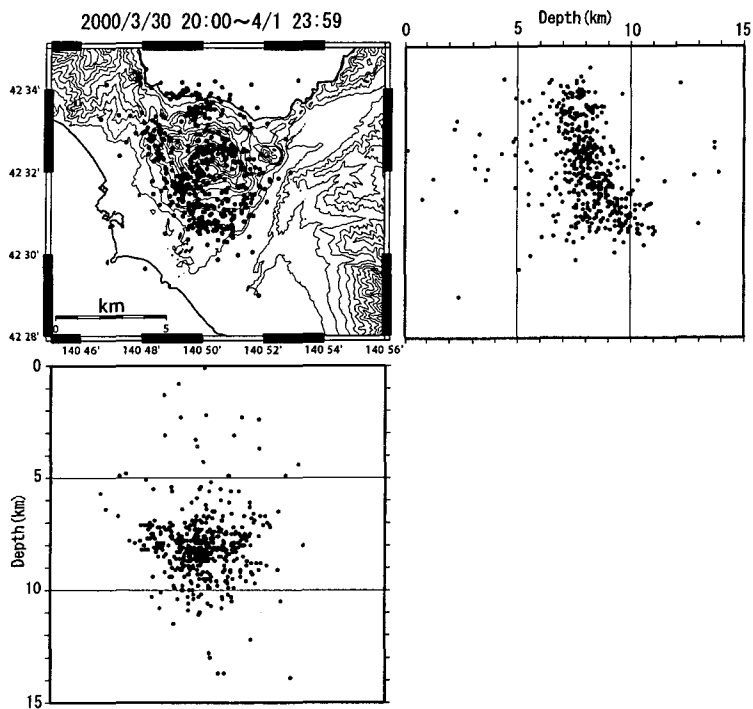


Fig. 6d. Hypocenter distribution. (2000/3/30 20:00 - 4/1 23:59)

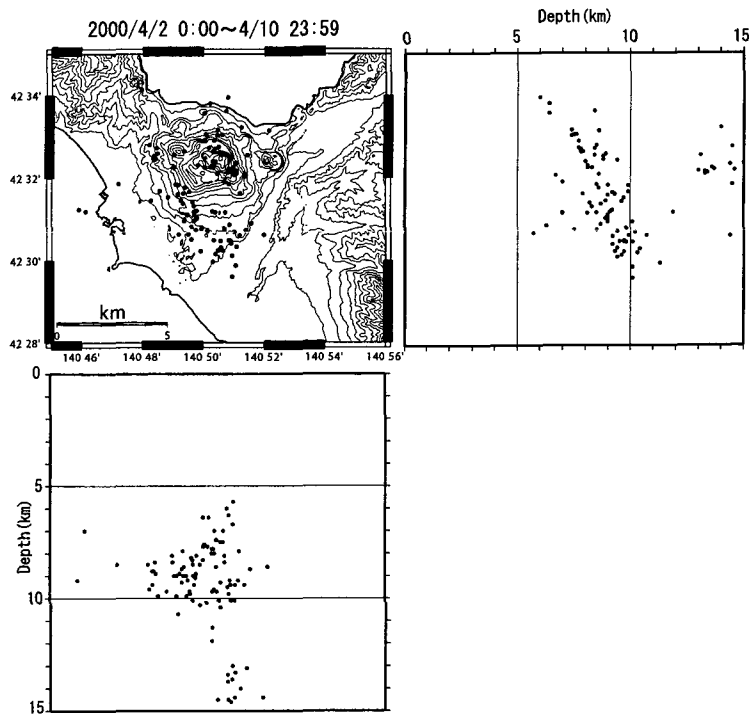


Fig. 6e. Hypocenter distribution. (2000/4/2 0:00 - 4/10 23:59)

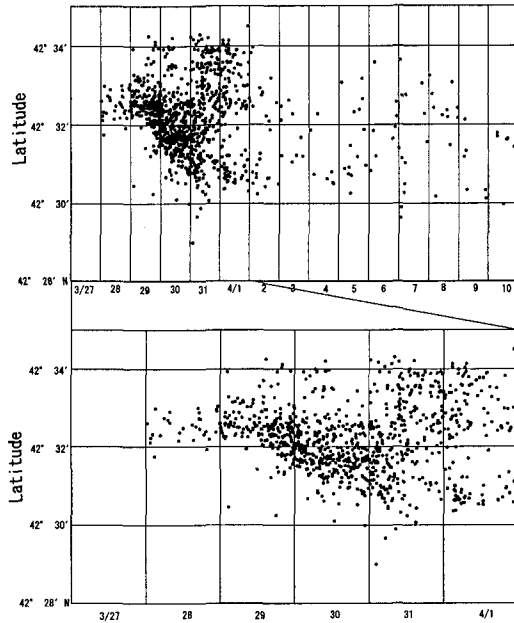


Fig. 7a. Space-time distribution of earthquakes.

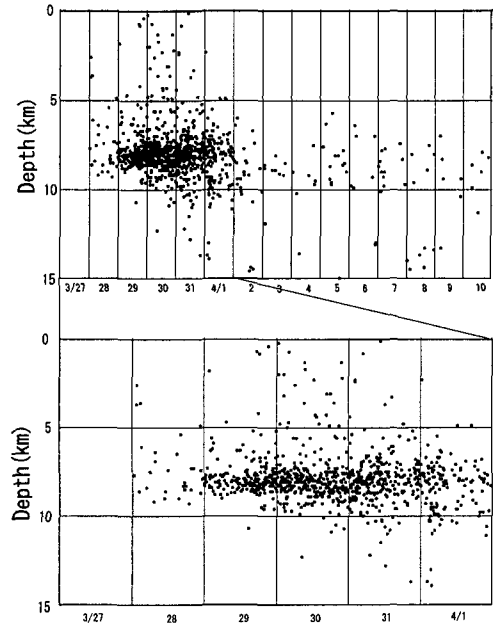


Fig. 7b. Depth-time distribution of earthquakes.

また、震源域の深さは、3月28日から30日19時までの間(期間1~3)は、約8 kmを中心として発生していたが、31日3時以降(期間4, 5)は、北から南に向かって深くなって見えるようになった。

震源分布を示した全期間のうちJMAAとMTYD観測点がこの期間中に観測を開始したり終了したりしている。そのうちJMAA点の加わった3月28日16時とMTYDが観測を終了した4月3日23時については地震数が少ないこともありFig. 7の時空間分布を見るかぎり影響は見られないが、MTYDの観測を開始した29日12時前後で比較すると震源の深さ分布で12時以降の方が、若干固まって分布しているように見える。これは観測点に加わった影響と思われる。震源分布を見る際注意が必要である。しかしながら、震源域の移動など、今回一連の地震活動の変化は2観測点の影響は少ないと考えられる。

3. メカニズム解

メカニズム解の決定には、次の様な基準で行った。Fig. 2の観測点のうち震源決定には黒塗りの観測点のみを用い、メカニズム解を決定するためには白抜きの観測点も加えた。解を決定するために用いた速度構造は、震源計算に用いたものと同じものを用いた(Fig. 4)。震源決定された地震のうち、P波初動の押し引きが読めるものについてメカニズム解の決定を行い、M3.2以上の地震について34個の地震のメカニズム解を決定できた。Table 2にメカニズムを求めた地震のリストを、また、Appendixにその地震のメカニズム解を示した。表示は下半球投影である。解の下にある数字はそれぞれ節面の走向・傾斜角・すべり角、P軸の走向・傾斜、押し引きの数、メカニ

Table 2. Earthquake data whose focal mechanism solution are obtained.

No.	date	time	latitude	lognitude	depth(km)	magnitude	strike	dip	slip	P strike	P dip	T strike	T dip	stations	score
1	2000/3/28	16:11	42.536	140.849	10.3	3.2	153.4	89.8	110.4	225.1	41.7	81.8	42.0	11	100
2	2000/3/29	17:22	42.535	140.837	7.2	4.3	290.0	83.4	90.0	20.0	38.4	200.0	51.6	21	95
3	2000/3/29	18:35	42.522	140.851	6.7	3.5	122.4	83.8	-154.0	348.9	22.6	253.2	13.4	14	92
4	2000/3/29	19:40	42.528	140.836	7.9	3.8	180.2	-28.3	270.3	127.6	27.1	232.7	26.9	16	87
5	2000/3/29	20:01	42.533	140.838	8.9	3.8	289.8	83.3	97.1	13.5	37.9	207.8	51.3	22	95
6	2000/3/29	23:12	42.522	140.846	8.1	4.0	326.4	89.0	96.5	50.0	43.6	242.9	45.6	24	91
7	2000/3/30	0:21	42.539	140.832	8.5	4.0	207.1	19.7	116.4	96.4	26.9	255.7	61.6	19	89
8	2000/3/30	1:12	42.532	140.832	7.8	4.0	244.9	35.9	132.6	125.1	15.6	245.8	61.4	16	100
9	2000/3/30	1:26	42.530	140.857	7.9	3.8	280.8	83.8	150.6	331.0	15.6	233.6	24.9	21	95
10	2000/3/30	2:54	42.533	140.834	8.2	4.0	290.1	86.1	106.6	5.1	38.8	217.2	46.5	25	96
11	2000/3/30	3:20	42.529	140.839	9.2	4.3	267.3	61.0	-179.7	128.3	20.2	226.0	19.8	22	95
12	2000/3/30	4:42	42.528	140.834	8.4	3.8	289.5	86.6	109.4	2.0	38.6	218.9	45.0	17	94
13	2000/3/30	5:16	42.529	140.831	8.7	3.8	284.2	78.2	172.4	149.6	3.0	240.3	13.7	15	100
14	2000/3/30	8:55	42.540	140.833	8.3	3.5	279.2	58.6	-150.2	133.6	42.0	227.1	3.9	17	94
15	2000/3/30	9:12	42.525	140.830	9.4	4.5	244.2	11.1	154.6	98.3	39.5	258.4	48.8	26	88
16	2000/3/30	10:09	42.538	140.863	10.2	4.1	290.0	7.4	-90.0	20.0	-52.4	200.0	37.6	21	95
17	2000/3/30	10:32	42.526	140.833	8.7	3.8	249.7	72.1	132.5	309.9	16.2	202.6	45.5	20	85
18	2000/3/30	11:44	42.519	140.839	8.6	3.9	250.4	50.0	-178.2	107.1	28.1	212.1	25.9	21	95
19	2000/3/30	11:48	42.539	140.825	8.6	4.0	44.3	73.3	119.6	112.1	22.7	349.2	52.4	17	88
20	2000/3/30	12:37	42.523	140.828	8.5	3.9	237.5	79.7	141.1	292.2	18.0	189.3	34.3	24	91
21	2000/3/30	12:53	42.523	140.861	6.9	3.9	82.2	88.2	-166.8	307.8	10.6	216.3	8.0	19	94
22	2000/3/30	16:42	42.513	140.842	8.4	4.0	109.8	80.2	-79.8	31.9	53.8	191.1	34.4	21	95
23	2000/3/30	17:13	42.533	140.827	8.2	4.4	321.1	61.6	174.1	184.2	15.8	281.3	23.6	24	83
24	2000/3/30	18:23	42.517	140.831	9.4	4.1	104.3	88.2	-86.7	17.8	46.7	191.1	43.1	22	90
25	2000/3/30	18:51	42.517	140.844	9.0	4.4	65.5	71.1	132.1	126.1	15.5	19.1	46.5	14	100
26	2000/3/30	19:30	42.534	140.818	8.1	4.0	285.0	89.8	100.2	5.2	43.9	204.9	44.3	19	100
27	2000/3/30	20:36	42.531	140.825	8.1	4.0	292.2	65.9	112.0	6.1	18.0	237.3	62.6	20	80
28	2000/3/30	22:01	42.533	140.820	8.5	3.8	220.3	10.5	-162.4	33.5	47.2	193.7	41.0	20	90
29	2000/3/31	0:01	42.532	140.824	8.9	4.0	285.2	83.6	110.1	357.8	35.5	216.3	47.6	21	85
30	2000/3/31	1:09	42.515	140.836	8.9	3.7	109.2	81.2	-79.1	31.9	52.6	189.7	35.3	18	94
31	2000/3/31	7:00	42.527	140.826	9.5	4.1	53.7	73.6	168.3	279.8	3.5	11.1	19.7	12	91
32	2000/3/31	9:05	42.535	140.810	10.3	3.7	265.0	51.7	167.3	128.3	18.4	231.3	34.1	19	89
33	2000/3/31	9:15	42.520	140.826	7.7	3.6	110.0	78.0	-90.0	20.0	57.0	200.0	33.0	18	100
34	2000/4/ 1	3:12	42.515	140.832	10.0	4.6	75.0	56.6	145.8	309.1	3.3	42.6	46.1	28	92

ズム解の決定率（スコア）で、100%になるほどその解の節線の決定率が高いことを示している。この節線は、ダブルカップルを仮定して引いているので、決定率が下がるにつれてその地震はノンダブルカップルの地震の可能性が高いことを表している。今回決定したメカニズム解34個のうち90%以上の地震は25個85%以上の地震が7個80%以上の地震が2個であった。全ての地震が80%以上なので、その主圧縮軸（P軸）の方向は概ね正しいと思われる。Fig. 8には、メカニズム解を決定した34個の地震の震源分布とP軸の方向を示した。17個の地震が北西-南東方向にP軸をもつ地震で全体的にはこの方向が支配的であるが、北東-南西方向に軸を持つ地震も少なくなく、この図からはっきりした傾向や地域的な違いを見出すことは困難である。そこで、Fig. 8のP軸分布を発生時間順に並べたのがFig. 9である。その図から特徴的なのは、29日夜から30日夜にかけて、震源域の中心が南東方向に移動した時期に決定されたメカニズムは、北西-南東方向にP軸を持つ地震が多く発生している。これは震源域の拡大に伴って拡大方向に力が加わったためにこのようなメカニズム解の地震が多く発生したと思われ、この時期のマグマの動きを反映している可能性が高い。防災科学技術研究所では、全国に設置した広帯域地震計のデータを用いてモーメントテンソルインバージョンでメカニズム解の決定を準リアルタイムで行っている。今回の地震も噴火前後の有感地震についてメカニズム解の決定を行っている（防災科学技術研究所, 2000）。その解と本稿で決定したメカニズム解を比較すると一部分の地震が一致するものまったく違う解の地震も見られた。P波初動のメカニズム解は初動を利用しているのに対して、モーメントテンソルのメカニズム解では地震波形全体を使用している。P波初動では、初期の破壊現象を示しているが、その後違う方向に破壊が進行する場合がある。モーメントテンソル解では、それらを一括して表現しているため、メカニズムに違いが出ているものと思われる。

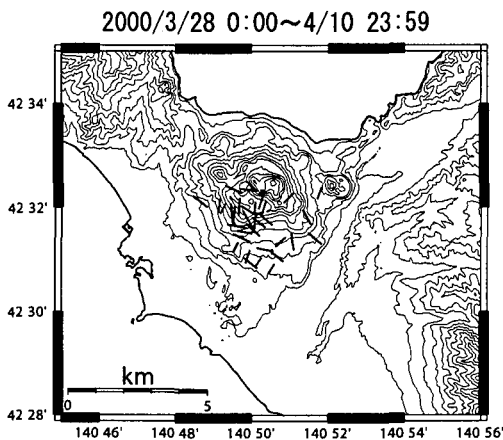


Fig. 8. Spatial distribution of directions of P axes.

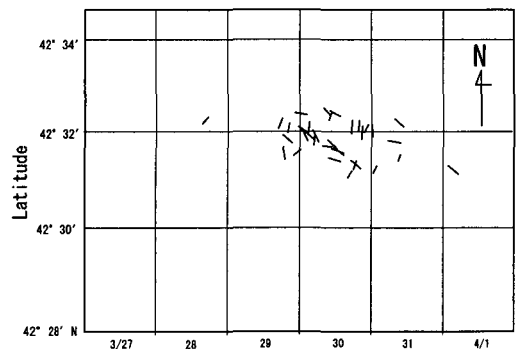


Fig. 9. Space-time distribution of P axes directions. P axes are located at epicenters projected on S-N section.

IV. 結 論

2000年3月31日に1977年以来23年ぶりに噴火した有珠山の噴火に伴って発生した地震について、広域地震観測網のデータを用いて噴火3日前の3月27日から4月10日までの震源決定とP波初動によるメカニズム解の決定を行い、その結果、今回一連の地震活動に以下のような特徴があるのが分かった。

地震回数では、28日から観測されはじめた地震は29日16時以降急激に増加し1日後の30日20時には逆に急激に減少した。

震源分布では28日有珠山山頂やや西側に分布した震源域が、29日には北側と若干南側に拡大し、16時頃から地震が急激に増加、南南東方向に向かって震源域の拡大と活動域の中心の移動が明瞭になり、拡大は噴火1時間前の31日12時まで続く。北側の地震活動は30日午後には一旦低下し、31日になると活動を再開し4月1日まで継続する。噴火後は、地震数は減り、噴火前の地震活動で形成された震源域で散発的に地震が発生している。

P波初動メカニズム解の分布では北西-南東方向にP軸（圧縮軸）を持つ地震が多いものの、北東-南西方向にP軸を持つメカニズム解も存在し、地域的な違いは見られない。それに対し、南北方向に投影した時空間分布では、29日夜から30日夜にかけて発生した地震では、震源域が南南東方向に拡大して行くのとほぼ同じ傾向を持った北西-南東方向にP軸を持つ地震が多く発生していることが分かった。

今回行った研究によって、有珠山の噴火に伴って発生した地震は、29日夜から30日夜にかけて多くの地震が発生し、その活動域は南南東方向に連続的に移動し、そこで発生した地震のメカニズムの主圧縮軸方向は、震源域の拡大方向とほぼ同じ傾向を示していることが分かった。今回の研究では、地震の震源に自動処理のデータを使用したが、今後、各地震に対して手動検測を行いより正確で詳細な地震活動を示していきたい。

謝辞 この研究を行うにあたり、震源決定とメカニズム解の決定に北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センターで一元処理されている同センターと東北大学、弘前大学、更に札幌管区気象台の地震観測点のデータを使用させて頂いた。また、メカニズム解の決定プログラムは弘前大学の小菅正裕助教授の作成したものを使用させて頂いた。同センターの本谷義信助教授と高橋浩晃助手には、本稿について間違いを指摘して頂いた。札幌管区気象台の宮村淳一氏と佐藤十一氏と松島功氏にはJMAA点のデータについて便宜を図って頂いた。東京大学地震研究所の酒井慎一助手には、衛星テレメーター観測点のデータの接続の際お世話になった。記して感謝致します。

文 献

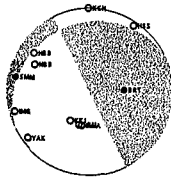
- 宇井忠英・中川光弘・吉本充宏・総合観測班地質グループ, 2000. 有珠山 2000 年噴火. 火山, **45**, 195–196.
- 卜部卓・東田進也, 1991. ワークステーションによる微小地震観測網波形検測支援システム, 日本地震学会講演予稿集, **1**, 70.
- 衛星通信テレメタリンググループ, 1996. 衛星通信による地震観測テレメタリングシステムの基本設計, 日本地震学会講演予稿集, **2**, 22.
- 大島弘光・森濟・前川徳光・吉田邦一・田村慎・一柳昌義・岡田弘・浜口博之・西村太志・青山裕・辻浩・植平賢治・宮町宏樹・八木原寛・須藤靖明・高山鐵朗, 2000. 2000 年有珠山噴火に伴う地震活動. 日本火山学会講演予稿集, 2000 年秋季大会, 33.
- 岡崎紀俊・高橋浩晃・笠原稔・石丸聡・森濟, 2000. GPS 観測による 2000 年有珠山噴火前後の地殻変動—1 周波受信機による観測—. 日本火山学会講演予稿集, 2000 年秋季大会, 56.
- 気象庁, 2000. 第 85 回火山噴火予知連絡会資料.
- 高橋浩晃・岡崎紀俊・石丸聡・森濟・中尾茂・三浦哲・加藤照之・松島健・渡邊篤志・木股文昭・笠原稔, 2000. GPS 観測による 2000 年有珠山噴火前後の地殻変動—2 周波受信機による観測—. 日本火山学会講演予稿集, 2000 年秋季大会, 41.
- Hirata, N, Matsu'ura, M, 1987. Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet.Int.*, **47**, 50–61.
- 防災科学技術研究所, 2000. 防災科学技術研究所によるモーメントテンソル解析結果, 第 85 回火山噴火予知連絡会資料.
- 吉田邦一・笹谷努・大島弘光・一柳昌義・田村慎, 2001. 2000 年有珠山噴火活動によって励起された強震動. 北海道大学地球物理学研究報告, **64**, 本報告.

Appendix

Focal mechanism solutions projected on lower semisphere. Upper numerals attached to the diagram are the same as from date to magnitude in the top row in Table 2 and lower ones from strike to score, respectively.

2000 3 28 16:11:22 42.536N 140.849E 10.3KM M 3.2

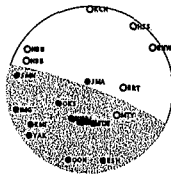
1



153.4 89.8 110.4 225.1 41.7 81.8 42.0 11 100

2000 3 29 17:22:29 42.535N 140.837E 7.3KM M 4.3

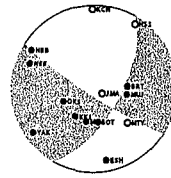
2



290.0 83.4 90.0 20.0 38.4 200.0 51.6 21 95

2000 3 29 18:35:27 42.522N 140.851E 6.7KM M 3.5

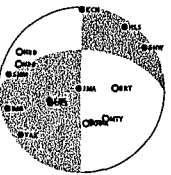
3



122.4 83.8 -154.0 348.9 22.6 253.2 13.4 14 92

2000 3 29 19:40:35 42.528N 140.836E 7.9KM M 3.8

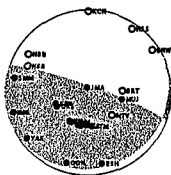
4



180.2 89.8 -28.3 127.6 27.1 232.7 26.9 16 87

2000 3 29 20: 1: 3 42.533N 140.838E 8.9KM M 3.8

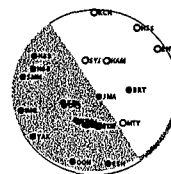
5



289.8 83.3 97.1 13.5 37.9 207.8 51.3 22 95

2000 3 29 23:12:13 42.522N 140.846E 8.1KM M 4.0

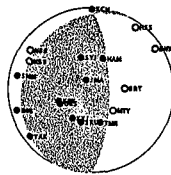
6



326.4 89.0 96.5 50.0 43.6 242.9 45.6 24 91

2000 3 30 0:21:21 42.539N 140.832E 8.5KM M 4.0

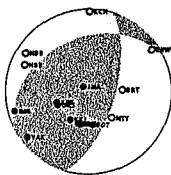
7



207.1 19.7 116.4 96.4 26.9 255.7 61.6 19 89

2000 3 30 1:12:19 42.532N 140.832E 7.8KM M 4.0

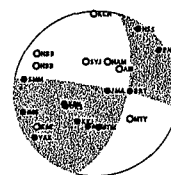
8



244.9 35.9 132.6 125.1 15.6 245.8 61.4 16 100

2000 3 30 1:26:34 42.530N 140.857E 7.9KM M 3.8

9



280.8 83.8 150.6 331.0 15.6 233.6 24.9 21 95

2000 3 30 2:54:17 42.533N 140.834E 8.2KM M 4.6

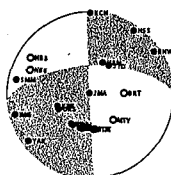
10



290.1 86.0 106.6 5.1 38.8 217.2 46.5 25 96

2000 3 30 3:20:18 42.529N 140.839E 9.2KM M 4.3

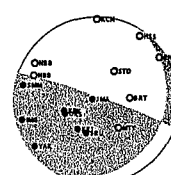
11



267.3 61.0 -179.7 128.3 30.2 226.0 19.8 22 95

2000 3 30 4:42:48 42.528N 140.834E 8.4KM M 3.8

12

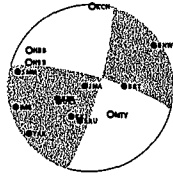


289.5 86.6 109.4 2.0 38.6 218.9 45.0 17 94

Continued

2000 3 30 5:16:24 42.529N 140.831E 8.7KM M 3.8

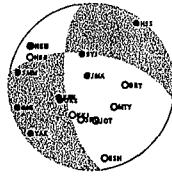
13



284.2 78.2 172.4 149.6 3.0 240.3 13.7 15 100

2000 3 30 8:55: 3 42.540N 140.833E 8.3KM M 3.5

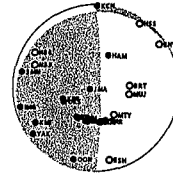
14



279.2 58.6 -150.2 133.6 42.0 227.1 3.9 17 94

2000 3 30 9:12:46 42.525N 140.830E 9.4KM M 4.9

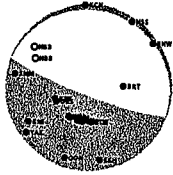
15



244.2 11.1 154.6 98.3 39.5 258.4 48.8 26 88

2000 3 30 10: 9:27 42.538N 140.863E 10.2KM M 4.1

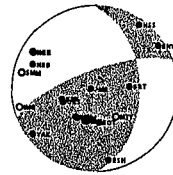
16



290.0 7.4 -90.0 110.0 52.4 200.0 37.6 21 95

2000 3 30 10:32:19 42.526N 140.833E 8.7KM M 3.8

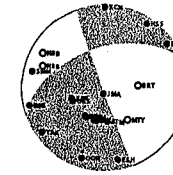
17



249.7 72.1 132.5 309.9 16.2 202.6 45.5 20 85

2000 3 30 11:44:24 42.519N 140.839E 8.6KM M 3.9

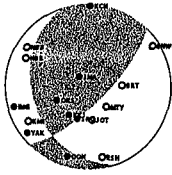
18



250.4 50.0 -178.2 107.1 28.1 212.1 25.9 21 95

2000 3 30 11:48:17 42.539N 140.825E 8.6KM M 4.0

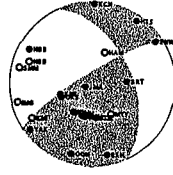
19



44.3 73.3 119.6 112.1 22.7 349.2 52.4 17 88

2000 3 30 12:37:25 42.523N 140.828E 8.5KM M 3.9

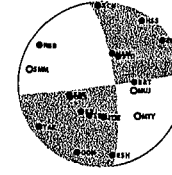
20



237.5 79.7 141.1 292.2 18.0 189.3 34.3 24 91

2000 3 30 12:53:37 42.523N 140.861E 6.9KM M 3.9

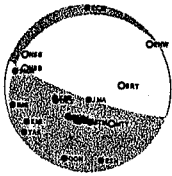
21



82.2 88.2 -166.8 307.8 10.6 216.3 8.0 19 94

2000 3 30 16:42: 8 42.513N 140.842E 8.4KM M 4.0

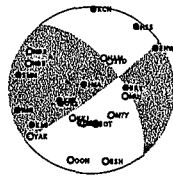
22



109.8 80.2 -79.8 31.9 53.8 191.1 34.4 21 95

2000 3 30 17:13:27 42.533N 140.827E 8.2KM M 4.6

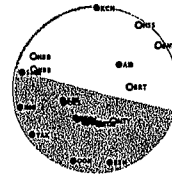
23



321.1 61.6 174.1 184.2 15.8 281.3 23.6 24 83

2000 3 30 18:23: 2 42.517N 140.831E 9.4KM M 4.1

24

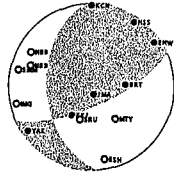


104.3 88.2 -86.7 17.8 46.7 191.1 43.1 22 90

Continued

2000 3 30 18:51:54 42.517N 140.844E 9.0KM M 4.4

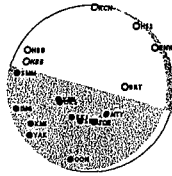
25



65.5 71.1 132.1 126.1 15.5 19.1 46.5 14 100

2000 3 30 19:30:21 42.534N 140.819E 8.1KM M 4.0

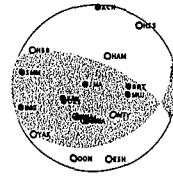
26



285.0 89.8 100.2 5.2 43.9 204.9 44.3 19 100

2000 3 30 20:36:42 42.531N 140.825E 8.1KM M 4.0

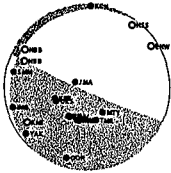
27



292.2 65.9 112.0 6.1 18.0 237.3 62.6 20 80

2000 3 30 22: 1:12 42.533N 140.820E 8.5KM M 3.8

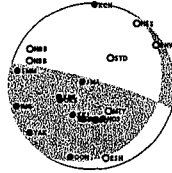
28



220.3 10.5 -162.4 33.5 47.2 193.7 41.0 20 90

2000 3 31 0: 1:27 42.532N 140.824E 8.9KM M 4.0

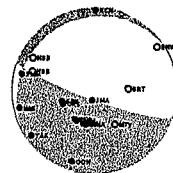
29



285.2 83.6 110.1 357.8 35.5 216.3 47.6 21 85

2000 3 31 1: 9: 4 42.515N 140.836E 8.9KM M 3.7

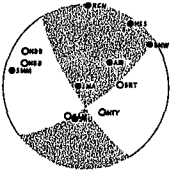
30



109.2 81.2 -79.1 31.9 52.6 189.7 35.3 18 94

2000 3 31 7: 0:40 42.527N 140.826E 9.5KM M 4.1

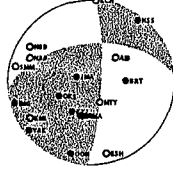
31



53.7 73.6 168.3 279.8 3.5 11.1 19.7 12 91

2000 3 31 9: 5:34 42.535N 140.810E 10.3KM M 3.7

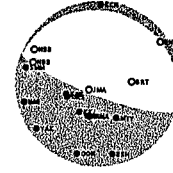
32



265.0 51.7 167.3 128.3 18.4 231.3 34.1 19 89

2000 3 31 9:15:12 42.520N 140.826E 7.7KM M 3.6

33



110.0 78.0 -90.0 20.0 57.0 200.0 33.0 18 100

2000 4 1 3:12:21 42.515N 140.832E 10.0KM M 4.9

34



75.0 56.6 145.8 309.1 3.3 42.6 46.1 28 92