



Title	高密度臨時地震観測網によって観測された十勝岳に発生する火山性地震の震源分布
Author(s)	一柳, 昌義; 高橋, 浩晃; 田村, 慎; 和田, 直人; 青木, 良江; 勝俣, 啓; 笠原, 稔; 吉田, 邦一; 佐波, 瑞恵; 岡崎, 紀俊; 石丸, 聡; 近藤, 広秋; 宮村, 淳一; 佐藤, 十一; 池田, 友紀子; 宮本, 聖史; 槇納, 智裕
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 62, 43-60
Issue Date	1999-03-25
DOI	10.14943/gbhu.62.43
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/14278
Type	bulletin (article)
File Information	62_p43-60.pdf



[Instructions for use](#)

高密度臨時地震観測網によって観測された 十勝岳に発生する火山性地震の震源分布

一柳 昌義・高橋 浩晃・田村 慎・和田 直人

青木 良江・勝俣 啓・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

吉田 邦一・佐波 瑞恵

北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

岡崎 紀俊・石丸 聡・近藤 広秋*

北海道立地下資源調査所

宮村 淳一・佐藤 十一・池田 友紀子

札幌管区气象台

宮本 聖史

浦河測候所

榎納 智裕

北海道旭川土木現業所富良野出張所

(1999年1月12日受理)

Hypocenter Distribution Observed by Dense Temporal Seismic Station Network on Tokachi-dake Volcano, Central Hokkaido

Masayoshi ICHIYANAGI, Hiroaki TAKAHASHI, Makoto TAMURA,

Naoto WADA, Yoshie AOKI, Kei KATSUMATA and Minoru KASAHARA

Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

Kunikazu YOSHIDA and Mizue SABA

Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

Noritoshi OKAZAKI, Satoshi ISHIMARU and Hiroaki KONDO*

Geological Survey of Hokkaido

Jun'ichi MIYAMURA, Juuichi SATO and Yukiko IKEDA

Sapporo District Meteorological Observatory

* 現在, 北海道経済部産業技術課

* Now with, Industrial Technology Division, Department Economic Affairs, Hokkaido Government

Masashi MIYAMOTO

Urakawa Weather Station

Tomohiro MAKINOH

Furano Branch Office, Asahikawa Public Works Management Office, Hokkaido Government

(Received January 12, 1999)

Tokachi-dake volcano is located at the southwestern part of central high mountain range in Hokkaido. Five major eruptions have been recorded since 1856. The most disastrous one occurred at the end of May, 1926 killing 144 people as a result of a big mud flow. The latest one occurred during for a period of three months between December 1988 and march 1989 but caused no casualties.

Volcano-seismic activity has been observed continuously by Japan Meteorological Agency (JMA) with a single station, 5.5km from the active crater since 1964 ; and by Usu Volcano Observatory, Hokkaido University (UVO) with 4 stations restricted around western foot since 1985. However, these were not enough to determine the hypocenter accurately and to monitor micro-seismic activity near the active crater.

In order to investigate micro-earthquakes occurring near active craters, we operated 26 seismic stations with self-triggered recording system around 62-II crater and Kyufun crater from June 23 to July 12, 1997.

Hypocenters of 76 micro-earthquakes which were recorded at more than 5 stations are determined. Their magnitudes ranged from 0.6 to -1.6. Most of them are concentrated at the shallower part beneath the most active crater, 62-II, and extended to the northeast and southwest. Peak frequencies of these events are dominated from 5Hz to 13Hz without any relation to magnitude. Several events with single frequency dominant are located at the western foot with deeper part compared to the other events.

During the same time only two events, observed at a routine JMA station, 5.5km NW from the most active crater of Tokachi-dake correspond to the largest event (M0.6) and the third big one (M0.2) in all events determined by the temporal observation.

I. は じ め に

北海道の中央高地南西端にある十勝岳は (Fig. 1), 1856 年以降に 5 回の主な噴火が記録されている。特に, 1926 年 5 月末の噴火は大規模で, 火口周辺の雪を解かして泥流を発生させた (大正泥流)。この泥流は麓の市街地まで流下して家屋を押し流し, 144 人の犠牲者を出したほか農地などにも多大な被害をおよぼした。1962 年の噴火では, 火山活動の活発化にともない大正火口周辺に大量に析出した硫黄を採取していた鉱山会社の鉱員宿舎が噴火に伴う岩塊に襲われ鉱員 5 人が犠牲となった (石川ほか, 1971)。最新の噴火は 1988 年 12 月から 1989 年 3 月にかけて発生した。噴火活動は小規模で人的被害はなかったものの, 冬期の積雪時期だったため 1926 年のような融雪泥流の発生する可能性が懸念されたため, 泥流が流下する可能性がある地域に対して避難勧告が出された (例えば, 勝井, 1989)。

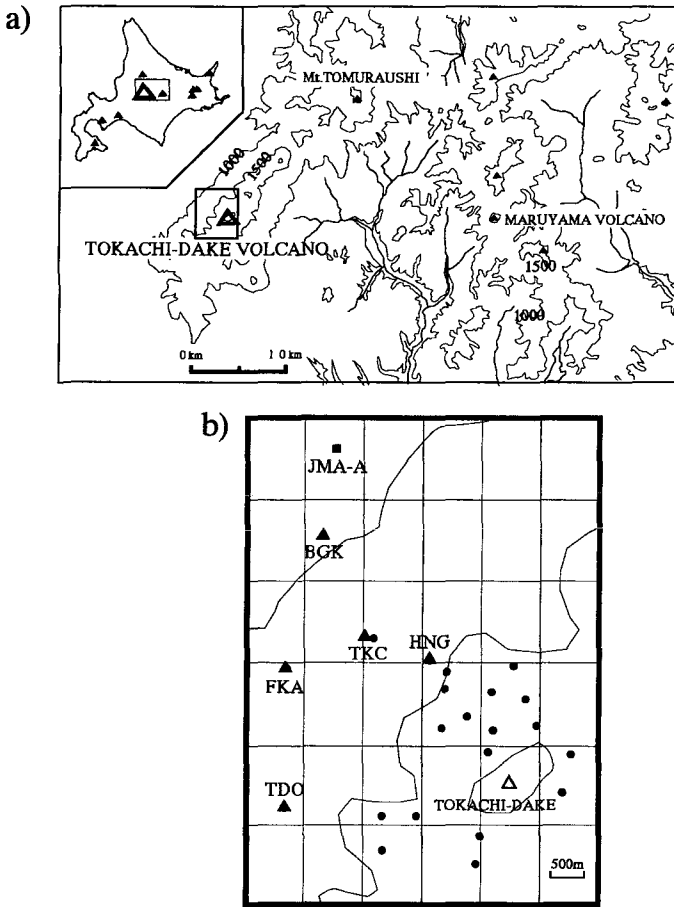


Fig. 1. a) Map showing the location of the Tokachi-dake volcano (open triangle) and the topography of the central highland in Hokkaido. b) Map showing seismic stations in the Tokachi-dake volcano. Solid triangles and square denote the routine seismic stations operated by: Usu Volcano Observatory, Hokkaido University and Japan Meteorological Agency, respectively. Solid Circles denote temporary stations used in this study.

これらの噴火活動に際して、現在まで種々の地球物理学的観測が行われてきた。1962年の噴火では、北海道大学地球物理学教室が、上富良野町中茶屋地区で、その後、吹上温泉に場所を移して、活動が終息するまでの約1ヶ月間、トリパタイト観測を行い地震波の到来方向を推定し、震源の位置の特定をした（本谷・三品，1963）。

1964年からは、旭川地方气象台が火山活動を監視するために、北西山麓の白金温泉地区に火山観測所を設置し、火口から約5.5 kmの地点で1点3成分の地震の常時観測を開始した。

1985年には、北海道大学理学部附属有珠火山観測所（UVO）（現在、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）が、第3次火山噴火予知計画に基づき西側山麓で地上地震

観測点3点と観測坑道内に1点からなる地震観測網を設置した。データは、無線と有線のテレメーターによりUVOへ伝送され収録されている。これにより、震源決定の可能な連続観測が始められた。同じく1985年には、北海道立地下資源調査所が、62-I火口・前十勝岳西側中腹・三段山西側中腹に地震観測点を設置し、信号ケーブルを吹上温泉まで敷設してここでデータを収録するシステムを構築し、西側に偏っていた観測点配置の改善が図られた。その結果、従来の西山麓偏在の観測点網による震源に比べると大幅に精度が向上した(勝井ほか, 1987)。

1988-1989年の噴火では、主として62-II火口での小規模なブルカノ噴火の繰り返しであったために、定常観測網では、十分に震源を決めることができなかった。そのために、震源を特定するため、西側山麓の吹上温泉地区で臨時の高感度トリバタイトの観測が行われ、地震波の到来方向の決定が行われた(Nishimura et al., 1990, 東北大学理学部ほか, 1989)。また、宮村(1993)は、気象庁の設置したA点の地震計で記録したP波3成分の振幅値とPS時間から震源を推定した。その結果、噴火に伴う爆発地震は噴火活動を行った62-II火口付近の直下1kmから3kmの深さで発生していた可能性が高いことが示された。また、地下資源調査所は、1989年6月から1990年3月までの10ヶ月間、火口周辺に3点と西側山麓に4点の地震計を設置して震源を求め、62-II火口周辺で地震が発生していることを示した(岡崎・秋田, 1991)。

1988-1989年の噴火の後、1994年頃まで地震活動は低調になっていたが、1995年以降、62-II火口の噴煙量の増加とあいまって地震数の増大が報告されている(札幌管区気象台, 1997)。ところで、十勝岳では、西斜面以外に観測点を設置することが地形的な制約から容易ではなく、現在定常観測を行っている観測点分布は西側山麓に偏っている。そこで我々は、この問題を解消して、十勝岳火口周辺域における正確な震源を特定するため、1997年6月から7月にかけての約2週間にわたり、火口周辺を取り囲むように、26点の地震計を設置した。この観測で得られたデータを用いて十勝岳火口付近に発生する火山性地震の震源を高精度に求めたので報告する。

II. 観測方法及び処理システム

上述の目的のために、地震観測点は、62-II火口を中心にして半径約3kmの範囲内に配置した。その水平位置は、GPS測量によって決定し、高度は1万分の1火山基本図から読み取った。Fig.2には、今回設置した地震観測点の分布を、また、観測点の位置をTable1に示す。26観測点のうち4観測点は、設置後すぐに、動物によってケーブルが切断されてデータが収録できなかったため、観測できたのは図で示した22観測点である。地震計は固有周期2Hzのマークプロダクト社製L22Dを用いた。Fig.2の、丸印の観測点には上下動1成分地震計を設置し、四角印の観測点では同じ規格の水平動地震計も併設し、観測をおこなった。

収録装置には、白山工業社製のデータマークLS8000SHを用い(メモリー20Mbyte)、サンプリング周波数200Hz・増幅率100倍に設定した。地震判定は各点単独でレシオトリガー方式(地動振幅の長時間平均と短時間平均の比があるレベルを超える時トリガーされる)によって行い、トリガーされたとき34秒間の地震波形を収録した。電源には、6V8Ahのバッテリーを3台並列に

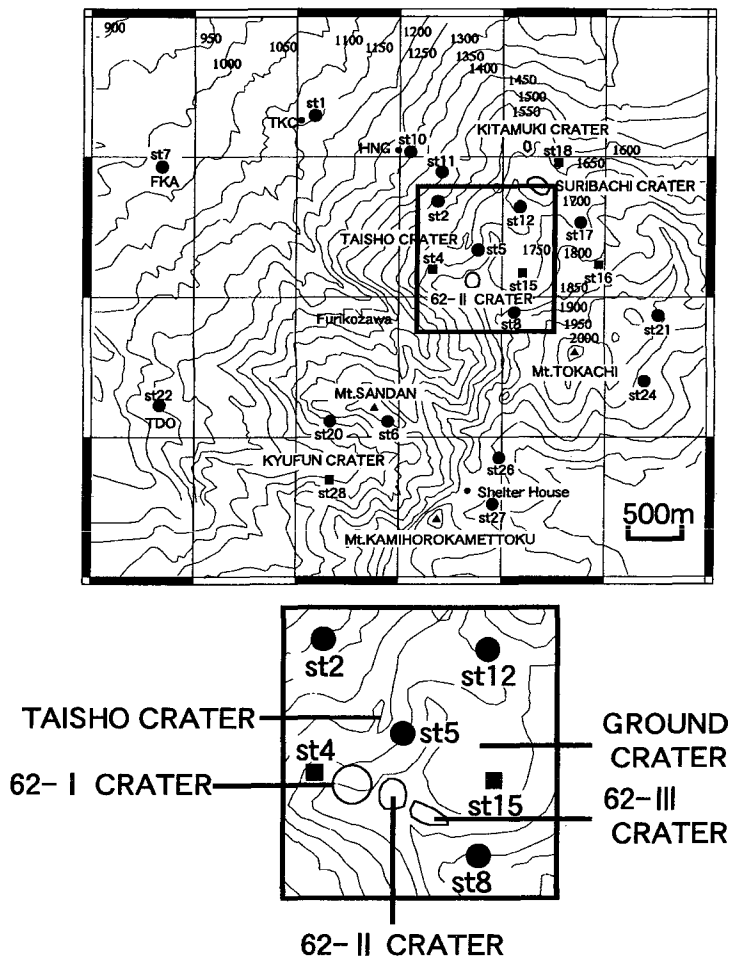


Fig. 2. Upper : Map showing the temporary seismic stations in the Tokachi-dake volcano. Lower : Enlarged map near craters. Solid square and circle denote the seismic station with vertical and horizontal seismometers and only vertical one, respectively.

接続し、約2週間の観測に耐えうようにした。メモリーからのデータ回収はこの観測期間中1回行った。

今回の臨時観測は、1997年6月23日から地震計の設置を開始し、7月12日にデータ収録を終了した。Fig. 3に各点での記録時間を示してあるが、5点以上の観測点で同時に観測が行われたのは、6月23日から7月8日までの11日間である。

収録されたデータは、パソコン (IBM Think Pad 230CS) のシリアル通信で回収し、その後ワークステーションに転送して、WINフォーマットに変換し、波形検測処理ソフトWIN(ト部・束田, 1991)を使用して、P波・S波の読み取りを行った。そして、最大速度振幅と震源距離からマグニチュードMを求めた(渡辺, 1971)。観測された各観測点での地震の波形例をFig. 4に示

Table 1. List of temporary stations in this study. V and H mean vertical component seismometer and horizontal component one, respectively. Station code corresponds to Fig. 2.

STATION NUMBER	COMPONENT	LATITUDE	LONGNITUDE	HEIGHT(m)	INSTALL PLACE
st01	V	43.433	142.6618	1149	TKC Station (UVO)
st02	V	43.4268	142.6738	1463	South Ridge of Shelter House
st04	V,H	43.422	142.6733	1642	Maetokachi West
st05	V	43.4234	142.6776	1642	01-08 Canon
st06	V	43.4111	142.669	1748	Peak of Sandanyama
st07	V	43.4293	142.6469	1014	Fukiage Spa
st08	V	43.419	142.6812	1814	62-3 Crater South
st10	V	43.4303	142.6711	1323	Shelter House
st11	V	43.4289	142.6741	1403	Isobe Ropeway
st12	V	43.4264	142.6817	1671	North West part of Ground Crater
st15	V,H	43.4217	142.682	1741	Ground Crater South
st16	V,H	43.4223	142.6894	1817	Ground Crater East
st17	V	43.4255	142.6875	1756	South East part of Suribachi Crater
st18	V,H	43.4296	142.6854	1696	North West part of Suribachi Crater
st20	V	43.4111	142.6633	1662	Sandanyama South
st21	V	43.4187	142.6953	1994	Nokogiriyama South
st22	V	43.4122	142.6466	1261	Tokachi-dake Spa
st24	V	43.414	142.6938	1984	South East part of Tokachi Peak
st26	V	43.4086	142.6798	1860	Taiho Canon
st27	V	43.4052	142.6791	1833	Kamihorokamettoku Shelter House
st28	V,H	43.4069	142.6633	1425	Kyufun Crater

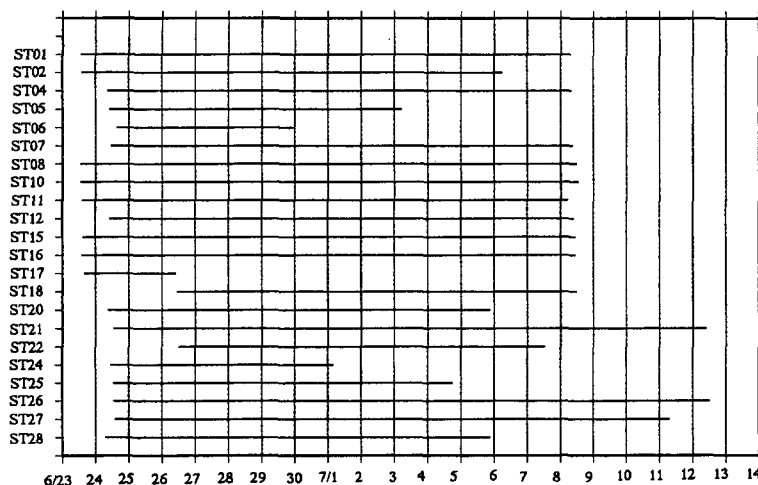


Fig. 3. Observation time log of each temporary seismic station. Station codes correspond to Fig.2 and Table 1.

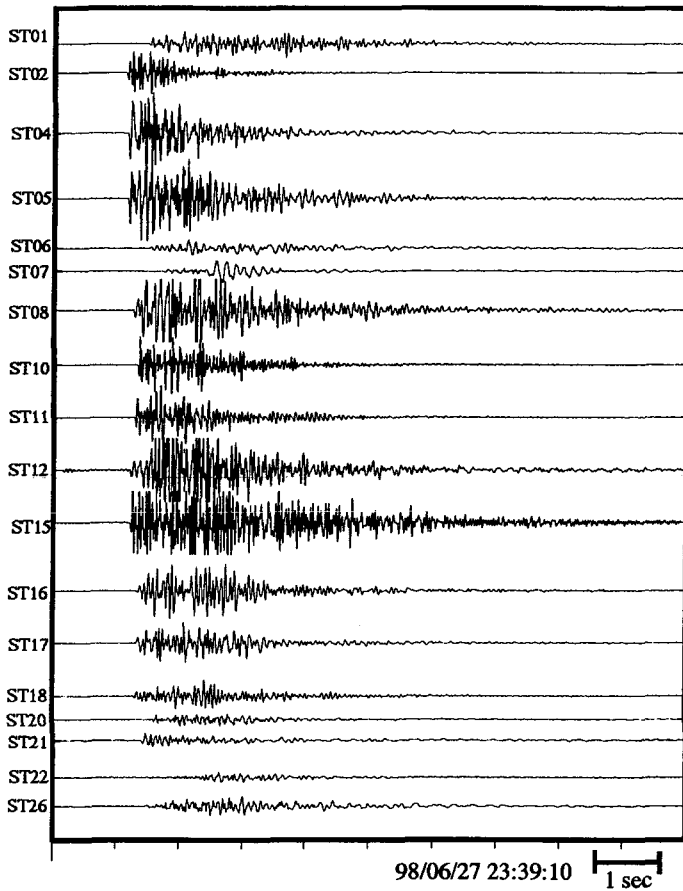


Fig. 4. An example of seismograms recorded at temporary stations.

した。この期間には、地震以外にも、十勝岳の西側山麓にある陸上自衛隊の上富良野演習場で行っている演習の大砲の振動が記録された。これらの振動は、空气中を伝わる音波のため、地震波とは明らかに走時が異なるため容易にそれらを取り除くことができた。

III. 震源決定と震源分布

全体的な震源の分布についての議論を行うため、震源決定にあたり、少なくとも5点以上の観測点でP波相が読み取られた地震を対象とした。その結果、86個の地震が観測された。しかし、P波相だけでは、震源の収束が悪く(特に深さ)、深さを含めた震源位置を議論するためには、さらに1点以上のS波相が読み取られた地震を対象とした。それらの数は、76個であった。なお、同じデータを用いて和田(1998)は62-II火口周辺のみ震源分布を議論しているが、10点以上でのP波相やS波相が読み取られた地震を選択して、震源が求まった地震は38個である。

一般的に火山地域の地下構造は複雑であり、十勝岳の場合も正確な速度構造は分かっていない。

過去の研究においても、十勝岳付近の表層 P 波速度は、石川ら (1971) は 3.0 km/s、佐久間・広田 (1978) は 3.0 km/s、札幌管区气象台 (1990) は 3.0 km/s、北海道大学理学部有珠火山観測所 (1988) は 4.0 km/s、和田 (1998) は 3.4 km/s を用いており、3 km/s から 4 km/s の値としている。そこで、本稿では、半無限均質媒質を仮定して、P 波速度を 2.5 km/s、2.7 km/s、3.0 km/s、3.2 km/s、3.5 km/s、3.8 km/s、4.0 km/s とした場合の震源を求めてみた。その結果得られた各 P 波速度構造による震源分布に共通してみられる特徴について述べる。なお、P 波と S 波の速度比 (V_p/V_s) は、1.73 を仮定した (Okada et al., 1990)。

P 波速度 3.0 km/s と 4.0 km/s で決定された震源分布を Fig. 5 に示す。震源分布の特徴は、いずれの P 波速度でも、決定された震源の大部分は十勝岳の 62-II 火口付近に集中していることと、62-II 火口を中心として南西-北東方向に震源分布が広がっていることである。また、これらの集中域から離れて西山麓と東側にもいくつかの震源は分布している。これらは、P 波の観測点走時を見るかぎり、火口周辺の観測点より各々東西の観測点が、明らかに早く到着しており、こうしたいくつかの地震活動域があることは確かである。精度については、次に議論する。北東-南西方向の地震活動は、北東端はグランド火口に対応し、南西端は、旧噴火口付近にあたる。震源の深さ分布について注目すると、62-II 火口周辺の震源分布は海拔 1000 m 付近に分布しているのに対して、南西方向に行くにしたがって深くなる傾向を示し、南西端の旧噴火口付近では、海拔 0 m 位のところに分布している。

Fig. 6 には、Fig. 5 の震源の精度を推定するために、震源決定の結果に付随する 3 方向 (X,Y,Z) の誤差を自乗平均し、その平方根 (RMS) を評価の目安として円で表した。この円の大きさが大きいほど震源の決定精度が悪く、逆に小さいほど解が収束していることを表している。観測点の設置間隔が狭い 62-II 火口付近の地震や旧噴火口では、円が小さく震源の決定精度が良いことを示している。また、62-II 火口の西南西方向にある振子沢付近では、円が大きくなっており 62-II 火口付近と比べて精度が悪い。また、震源の深さについても同様に、振子沢付近では精度が悪く、標高よりも高い所に震源が決まった地震も存在する。振子沢付近は急峻な崖のため観測点を設置することができなかった。そのため、この付近に決定された震源の誤差が大きくなっているものと考えられる。また、南西-北東方向の震源域以外に、西側や東側にも震源が求まらないうえ、観測網の端のために中心部よりは精度が落ちている。また、東側の地震は、地震が発生した時に、st 21 観測点と st 24 観測点でのデータが得られず、震源決定精度が悪くなっている。しかしながら、北東-南西方向の地震活動集中域の地震が誤って決められているわけではない。

IV. 議 論

1. 観測された地震の波形の特徴と震源位置との関係

松島ほか (1987) は、十勝岳で観測された地震の波形の特徴について、そのスペクトルから地震の波形を HF (高周波数)・MF (中周波数)・LF (低周波数)・SF (単周波数) の 4 つに分類して、その地震の発生機構と噴火活動の関連性を述べている。今回震源を決定できた全ての地震に

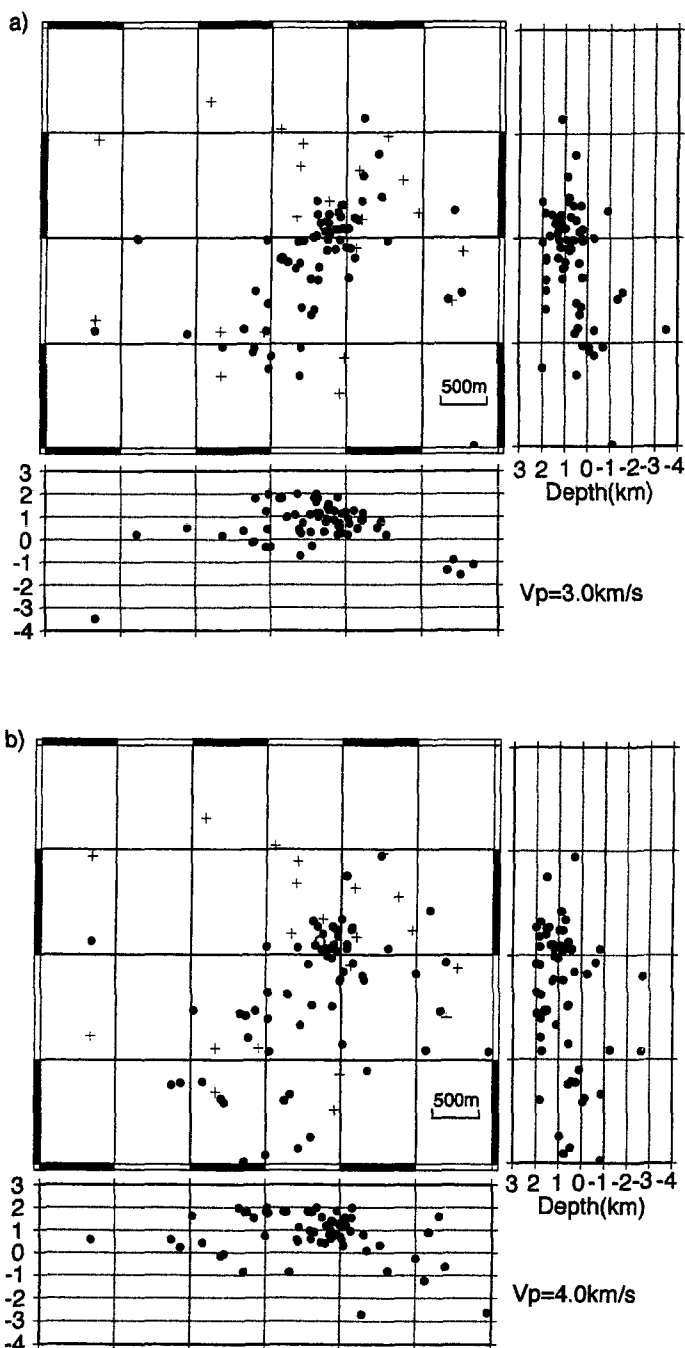


Fig. 5. Epicentral and hypocentral distributions of 76 earthquakes determined by this study assumed a semi-infinite uniform velocity structure with P wave velocity of 3.0km/s (upper) and 4.0km/s (lower).

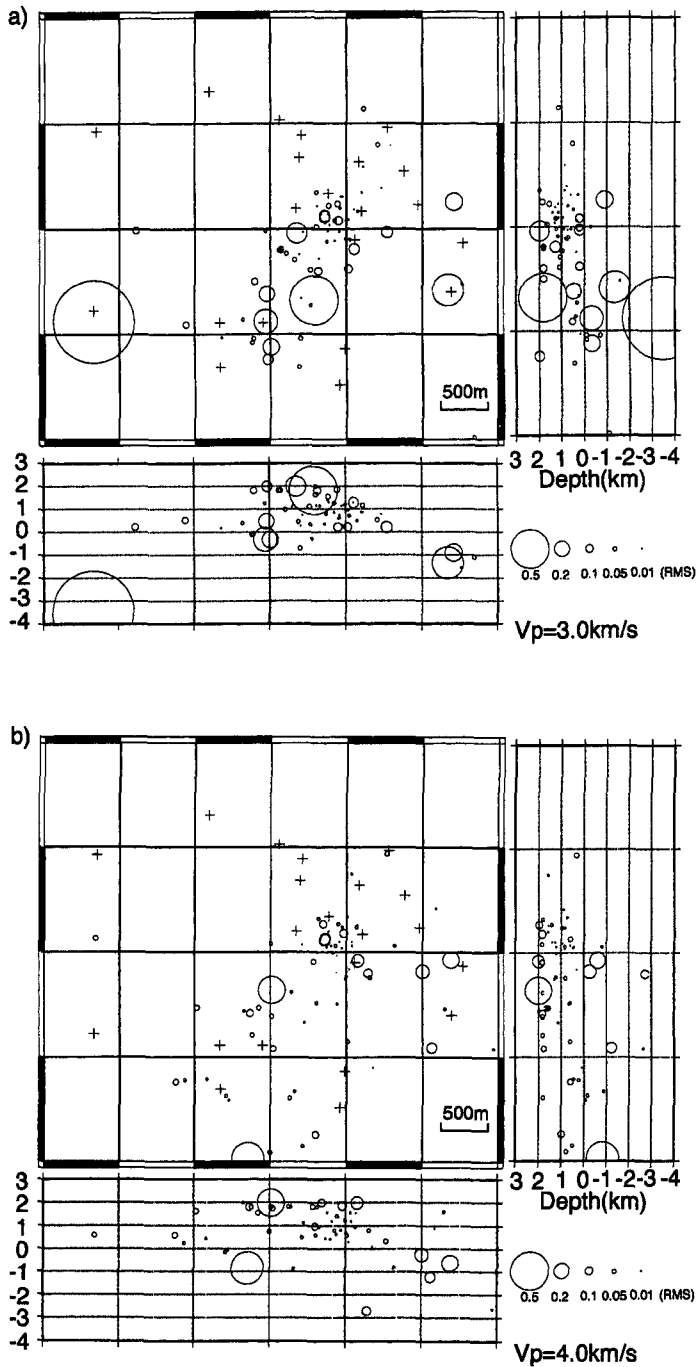


Fig. 6. Distribution of estimation error of hypocenter of 76 earthquakes for two velocity model. Magnitude of estimation error is shown by the radius of circle proportional to RMS of the errors of coordinate, X, Y, and Z obtained by calculation of hypocenter.

ついて、この分類方法を参考にして、今回観測された地震がこれらのどれに属しているかを調べた。

62-II火口の南側に設置した st 04 観測点(Table 1)における波形を用いて分類を試みた。この観測点で記録された波形データのうち初動から 2.5 秒間の 512 データに関してフーリエ変換を行い、スペクトルを求めた。分類された代表的な地震の波形とスペクトルを Fig. 7 に示す。LF(低周波数)・SF(単周波数)は 2 Hz 以下のピーク周波数を持つものと、極めてシャープなスペクトルを持つものとして、比較的容易に分類される。

HF 地震と MF 地震の多くは、共に 10 Hz 付近に卓越周波数を持つが、松島ほか(1987)は、両者の特徴を MF 地震は 10 Hz 以上の高周波成分が少なく、逆に HF 地震は多いとして分類している。ここでも、この基準によって、S 波相の読み取りが出来なかった地震も加えた全データ 86 個のうち、71 個の地震が、HF 地震に分類され、15 個の地震が MF 地震に分類された。また、MF 地震の中には特定の周波数が卓越した SF 地震も 6 個観測された。また、1 Hz から 2 Hz の周波数が卓越した LF 地震は観測されなかった。松島ほか(1987)では LF 地震が微動と関連があることを示したが今回は微動は全く観測されなかった。

Fig. 8 に、各地震の M とスペクトルのピーク周波数の関係(M-F 図)を示した。この図からも分かるように、今回観測された地震では、M とピーク周波数に系統的な関係は見られず、どの大きさの地震でも 5 Hz から 13 Hz が卓越した HF 地震や MF 地震が多い。15 Hz 以上の周波数が卓越した 4 つの地震は、いずれも 10 Hz 以上のパワーがほぼ同じレベルにある中で、高周波成分がやや大きかったもので、全体の特徴は HF 地震と同類である。

Fig. 9 には、Fig. 5 の P 波速度構造が 3 km/s の場合の HF・MF・SF に分類した震源を示した。HF 地震は全ての領域にあり、MF 地震は 62-II 火口周辺と火口の北東側に発生している。HF 地震と MF 地震の震源の深さについて、明瞭な違いは見られない。SF 地震 6 個のうち S 波相を読み取ることができた地震は 1 個だけであった。この地震の震源は、山麓西側の st 07 観測点と st 22 観測点のちょうど中間に位置し、深さは海拔 0.2 km に決定された。この地震以外の 5 個の SF 地震について震源決定をした結果、S 波相が読み取られていないため深さの精度はないが、4 個の地震はいずれも上述の地震と同じように st 07 観測点と st 22 観測点の中間に震源が求まった。臨時観測期間中に発生した SF 地震は震源位置や波形の特徴が似ていることから、ほぼ同じ場所で発生し、また、震源決定できた地震の結果から HF 地震や MF 地震よりも、深い所で発生していると考えられる。

2. 地震活動

Fig. 10 に旭川地方気象台 A 観測点での 1988 年の噴火が発生する 1 年前から 1998 年 10 月までの月別地震回数と、観測が行われた 1997 年 1 年間の日別地震回数と臨時観測期間中の震源決定された日別地震回数のグラフを示した。このグラフが示しているように、今回観測した期間は、地震活動が低い時期であった。この臨時観測期間中で 5 点以上の観測がなされた期間では、火口

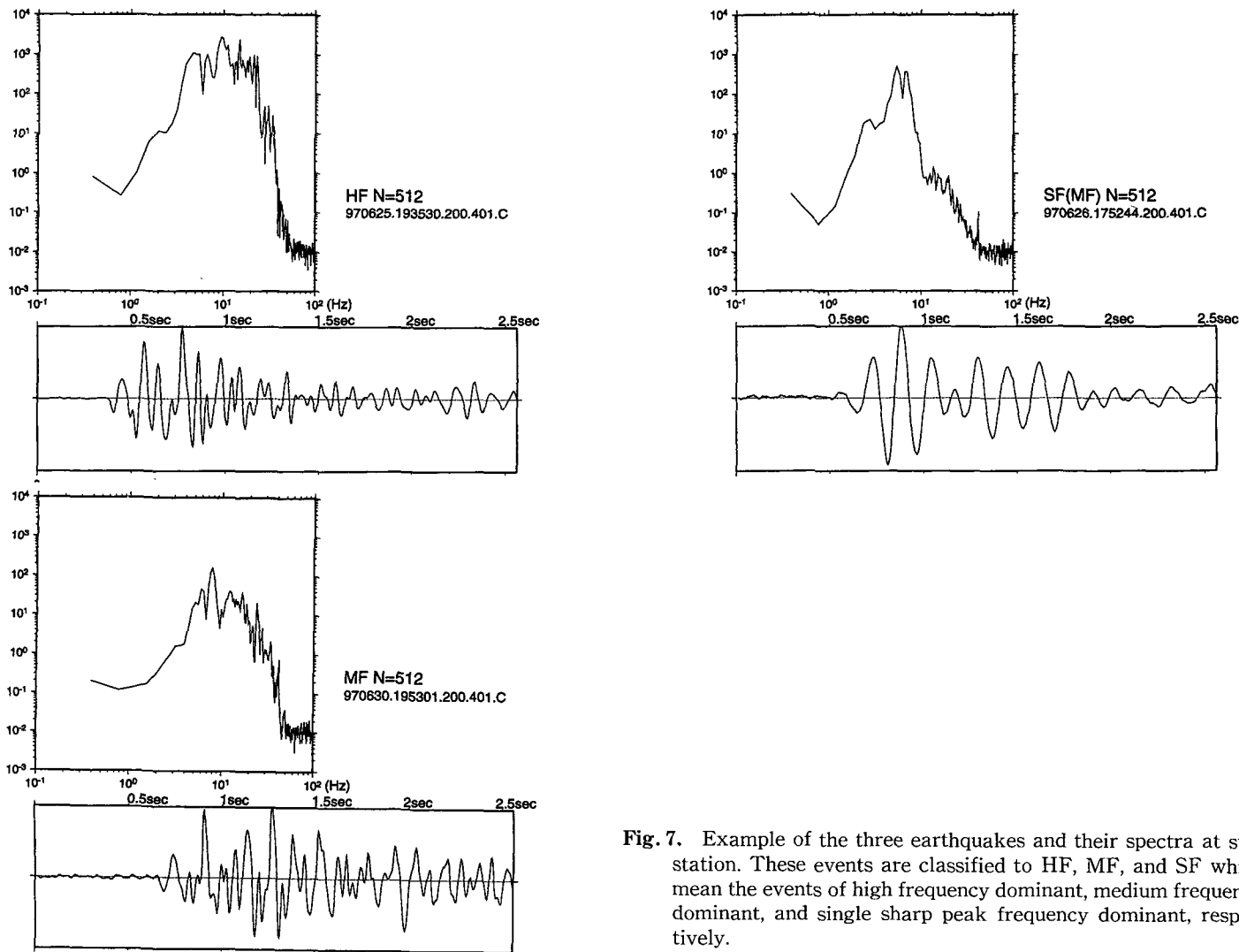


Fig. 7. Example of the three earthquakes and their spectra at st04 station. These events are classified to HF, MF, and SF which mean the events of high frequency dominant, medium frequency dominant, and single sharp peak frequency dominant, respectively.

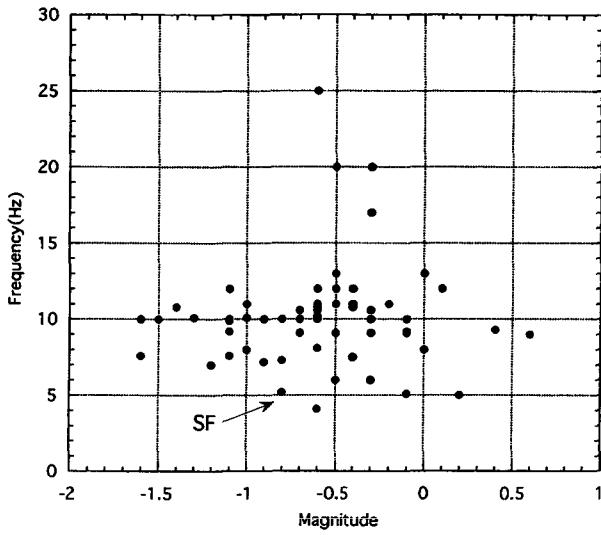


Fig. 8. Relation between magnitude and peak frequency.

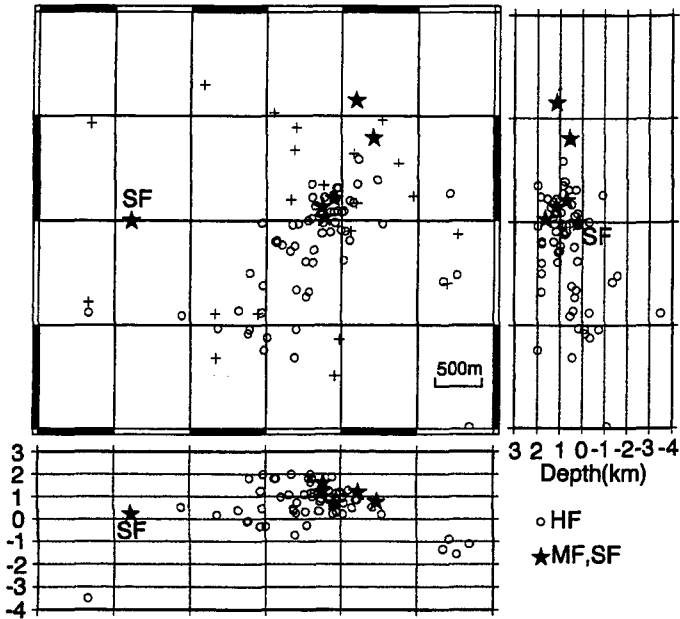


Fig. 9. Epical and hypocentral distributions of classified events by the assumed structure with P wave of 3.0km/s. Open circle: HF type earthquakes. Solid star: MF and SF type earthquakes. Cross: Temporary seismic stations.

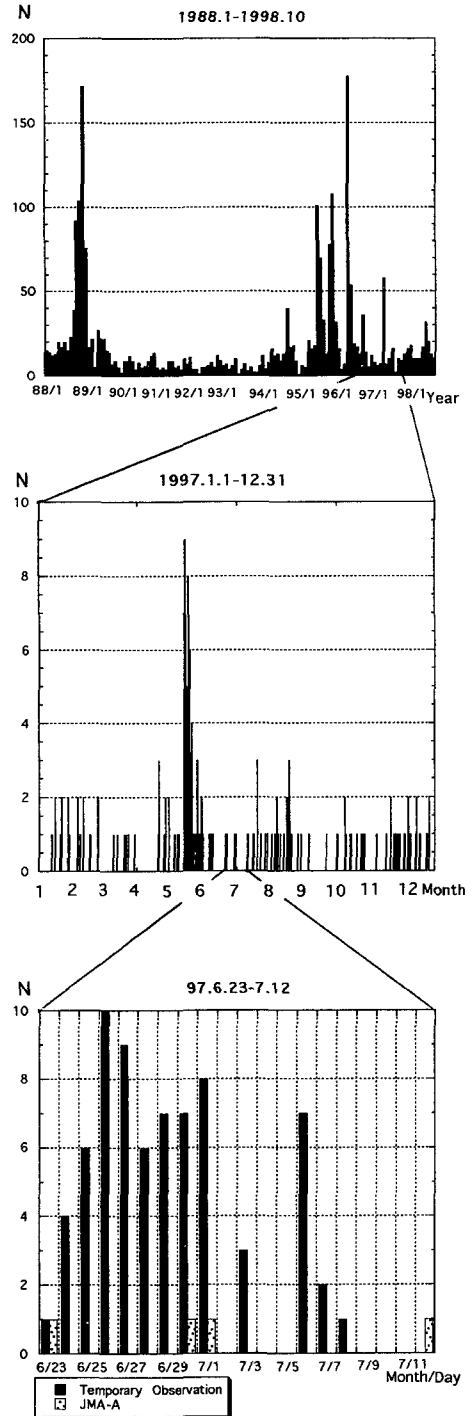
から約 5.5 km 離れた A 観測点の地震計では、2 個の地震が観測されている。その一つは 6 月 30 日 21 時 13 分の地震 M 0.2 で、震源は 62-II 火口に決められている。観測期間中の 3 番目に大きい地震である。2 つ目は、7 月 1 日 15 時 14 分の地震で、震源は旧噴火口、M 0.6 で、観測期間中最大の地震である。表 A 1 に示されているように、今回観測された地震の M の範囲は、0.6 から -1.6 であり、M 0 以上の地震は 6 個のみであった。火口から約 5.5 km 離れた A 点の地震計の検地能力としては、活動火口周辺の M 0.2 から M 0.3 程度以上と言えよう。

臨時観測期間の噴煙活動の程度においても、62-II 火口直下では、M-1.0 程度の地震は 1 日当たり 5 から 6 個の頻度で発生していることが、今回の観測によって明らかになった。このような小さな地震活動は、この付近では常時発生している可能性が高いが、現在のルーチン観測網では、火口周辺に地震計を設置していないため、観測することが出来ない。しかし、我々の観測によって、定常地震観測での地震活動が低い時期でも火口周辺で地震が発生していることが明らかにされた。

V. 結 論

十勝岳の 62-II 火口を中心にして 26 点の臨時地震観測点を設置し、15 日間観測を行った。その結果、震源は 62-II 火口からグランド火口

Fig. 10. Frequency of volcanic earthquakes of Tokachi-dake recorded at JMA-A station. The monthly number of events from January 1988 to October 1998 (Top). The daily number of events from January 1 through December 31, 1997 (Middle). The daily number of events from June 23 through July 12, 1997. Solid and open bars indicate the daily number of events whose hypocenter were determined in this study and the daily number at JMA-A station. (Bottom).



付近に最も多く集中していることと旧噴火口付近にも震源の集中域があることが分かった。62-II火口周辺の地震は、海拔1000 m付近と火口直下の浅い部分で発生し、また、旧噴火口付近の地震は海拔0 km付近でやや深い部分で発生していることが分かった。また広域的には、62-II火口を中心として北東-南西方向に地震の分布が伸びている。更に、西山麓や活動火口の東側にも、活動度は低いが地震発生域が見られた。また、今回観測された地震の大部分は5 Hzから13 Hzの周波数の波が卓越したHF(高周波)とMF(中周波)地震であった。またいくつかの特定の周波数が卓越したSF地震が発生したが、その地震は、ほぼ同じ場所で発生し、HF地震やMF地震よりも深い所で発生していたと考えられる。

西側山麓に設置された旭川地方気象台A点での最近の記録からは、この観測期間は地震活動が低調な時期であった。今回の臨時観測で震源決定された76個の地震は、Mが0.6から-1.6の極小さな地震であり、この観測期間中にA点で観測された地震は、その中の最大の地震M0.6と3番目に大きな地震M0.2であった。前者の震源は、旧噴火口、後者のそれは62-II火口であり、臨時観測から決められた現在の活動的な場所と一致する。

今回観測されたような地震は、火口周辺では、常時発生していると思われるが、現在のルーチン観測網ではMが小さいため、観測することができない。このような観測を定期的に行うことによって、ある時期の十勝岳の火口周辺域での地震発生状況を詳細に把握しておくことは重要である。

謝 辞 北海道大学理学研究科附属地震火山研究観測センター本谷義信氏には、初稿を読んで議論して頂きました。池田あゆみ氏には、火口周辺の等高線データを作成して頂きました。また、東京大学地震研究所地震予知研究推進センターの岩崎貴哉氏と坂守氏には、データ収録装置LS 8000 SHの便宜を図って頂きました。これらのことについて、ここに記して感謝の意を表します。また、本観測を行うにあたり、北海道の十勝岳災害対策諸費の一部を使用しました。

文 献

- 北海道大学理学部有珠火山観測所・気象庁十勝岳火山観測所・北海道立地下資源調査所, 1988. 十勝岳の火山性地震の震源分布. 火山噴火予知連絡会会報, 41, 78-81.
- 石川俊夫・横山 泉・勝井義雄・笠原 稔, 1971. 十勝岳 火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策. 北海道防災会議.
- 勝井義雄・横山 泉・岡田 弘・大島弘光, 1987. 十勝岳 火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策(補遺). 北海道防災会議.
- 勝井義雄, 1989. 1988年十勝岳火山噴火の推移, 発生機構および社会への影響に関する調査研究. 突発災害調査研究成果.
- 佐久間勉・広田知保, 1978. 十勝岳における火山観測. 地下資源調査所報告, 50, 227-233
- 松島喜雄・西村裕一・鈴木敦生・岡田 弘, 1987. 十勝岳で観測される火山性地震のスペクトル解析. -特に単純なスペクトル構造をもつ地震について-. 火山, 32, 317-328.
- 宮村淳一, 1993. 1988-1989年十勝岳噴火に伴う爆発地震の震源位置. 験震時報, 56, 1-7.

- 本谷義信・三品博達, 1963. 十勝岳の1962年6月の噴火に際しての地震計測的調査(第2報). 地球物理学研究報告, **11**, 87-101.
- Nishimura, Y, H. Miyamachi, S. Ueki, T. Nishimura, H. Shimizu, S. Ohmi, Hm. Okada, 1990. Joint Seismometrial Observations by National University Team during the 1988-1989 Eruptive Activity of Mt. Tokachi, Hokkaido. Bull. Volcanol. Soc. Japan, **35**, 163-173.
- Okada, Hm, Y. Nishimura, H. Miyamachi, H. Mori, K. Ishihara, 1990. Geophysical Significance of the 1988-1989 Explosive Eruptions of Mt. Tokachi, Hokkaido, Japan. Bull. Volcanol. Soc. Japan, **35**, 175-203.
- 岡崎紀俊・秋田藤夫, 1991. 十勝岳の1988-1989噴火後の地震活動, -その波形例と震源分布-. 地下資源調査所調査研究報告, **20**, 1-11.
- 札幌管区气象台, 1997. 北海道地震・火山年報, 91-93.
- 東北大学理学部・北海道大学理学部, 1989. 1988年十勝岳噴火活動の臨時群列地震観測. 火山噴火予知連絡会会報, **44**, 1-6.
- ト部卓・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.
- 和田直人, 1998. 十勝岳における1997年火山体臨時地震観測により明らかになった震源分布とメカニズム, 卒業論文, 北海道大学理学部.
- 渡辺晃, 1971. 近地震のマグニチュード. 地震, **2**, **24**, 189-200.

A1. List of hypocenters determined in this study by the assumed structure with P wave velocity of 3.0km/s. Event type is classified by the frequency spectrum.

DATE	TIME	LATITUDE	LONGITUDE	DEPTH	MAGNITUDE	WAVE TYPE
1997/06/23	22:45:22	43.4126N	142.6685E	-1.8km	M-0.4	HF
1997/06/24	02:49:22	43.4274N	142.7253E	2.7km	M-1.1	HF
1997/06/24	17:51:47	43.4182N	142.6747E	-1.0km	M-0.1	HF
1997/06/24	21:18:32	43.4204N	142.6849E	0.8km	M-1.0	MF
1997/06/24	23:24:29	43.4187N	142.6772E	-1.0km	M-0.9	HF
1997/06/25	03:47:39	43.3990N	142.6806E	-0.3km	M-1.1	HF
1997/06/25	07:04:09	43.4250N	142.6824E	-0.6km	M-0.3	HF
1997/06/25	09:25:46	43.4198N	142.6800E	-1.1km	M 0.0	HF
1997/06/25	19:35:30	43.4225N	142.6977E	0.4km	M-0.1	HF
1997/06/25	20:02:23	43.4207N	142.6777E	-1.2km	M-0.6	HF
1997/06/25	21:39:10	43.4202N	142.6769E	-1.4km	M-0.6	MF
1997/06/26	00:35:33	43.4173N	142.6710E	-0.4km	M-1.1	HF
1997/06/26	00:36:00	43.4200N	142.6716E	0.1km	M-1.5	HF
1997/06/26	03:45:19	43.4076N	142.6785E	-1.8km	M-0.4	HF
1997/06/26	06:36:40	43.4223N	142.6783E	-0.3km	M-1.0	HF
1997/06/26	11:48:04	43.4089N	142.6733E	-0.4km	M-0.6	HF
1997/06/26	12:52:33	43.4214N	142.6781E	-1.2km	M-0.3	HF
1997/06/26	14:28:37	43.4222N	142.6787E	-1.9km	M-0.1	HF
1997/06/26	17:52:44	43.4188N	142.6552E	0.2km	M-0.8	SF
1997/06/26	18:09:16	43.4116N	142.6703E	-2.0km	M 0.4	HF
1997/06/26	21:52:00	43.4302N	142.7005E	1.4km	M-0.7	HF
1997/06/27	00:11:40	43.4130N	142.6692E	-0.5km	M-0.8	HF
1997/06/27	01:30:35	43.4216N	142.6805E	-1.2km	M-0.6	HF
1997/06/27	04:45:03	43.4210N	142.6751E	-2.0km	M-0.5	HF
1997/06/27	06:01:10	43.4210N	142.6794E	-1.0km	M-1.5	HF
1997/06/27	06:21:23	43.4180N	142.6774E	-0.9km	M-0.6	HF
1997/06/27	06:24:54	43.4207N	142.6770E	-0.3km	M-1.6	HF
1997/06/27	12:28:17	43.4200N	142.6777E	-0.9km	M-1.1	HF
1997/06/27	22:50:46	43.4221N	142.6788E	-1.2km	M-0.6	HF
1997/06/27	23:39:10	43.4213N	142.6808E	-0.3km	M-0.6	HF
1997/06/28	05:51:08	43.4195N	142.6788E	-0.5km	M-1.2	HF
1997/06/28	06:43:25	43.4194N	142.6695E	-1.0km	M-0.8	HF
1997/06/28	09:20:37	43.4387N	142.7145E	2.4km	M-0.5	HF
1997/06/28	09:28:24	43.4212N	142.6776E	-1.3km	M-0.5	HF
1997/06/28	15:51:26	43.4297N	142.6823E	-1.1km	M-0.3	HF
1997/06/28	18:33:38	43.3897N	142.7056E	8.3km	M-0.6	HF
1997/06/29	05:01:02	43.4025N	142.6608E	1.8km	M-0.5	HF
1997/06/29	10:32:54	43.4108N	142.6743E	0.6km	M-0.3	HF
1997/06/29	11:08:02	43.4207N	142.6765E	-1.2km	M-0.7	HF
1997/06/29	13:23:13	43.4143N	142.6562E	-1.7km	M-0.3	HF
1997/06/29	16:05:04	43.4163N	142.6722E	-1.2km	M-0.9	HF
1997/06/29	16:17:49	43.4239N	142.6813E	-0.8km	M-0.2	HF
1997/06/29	19:16:06	43.3743N	142.6819E	2.7km	M-0.7	HF
1997/06/30	08:00:02	43.4193N	142.6729E	-0.7km	M-1.1	HF
1997/06/30	10:06:48	43.4212N	142.6785E	-1.1km	M-0.1	HF
1997/06/30	12:56:07	43.4220N	142.6858E	0.1km	M-1.0	HF
1997/06/30	16:58:28	43.4228N	142.6755E	-1.2km	M-0.5	HF
1997/06/30	19:53:01	43.4227N	142.6795E	-0.6km	M-0.9	MF
1997/06/30	20:03:32	43.4155N	142.6700E	-0.5km	M-0.5	HF
1997/06/30	21:13:33	43.4179N	142.6803E	-1.1km	M 0.2	HF

DATE	TIME	LATITUDE	LONGITUDE	DEPTH	MAGNITUDE	WAVE TYPE
1997/07/01	08:18:33	43.4180N	142.6704E	-1.8km	M-0.5	HF
1997/07/01	11:28:13	43.4162N	142.6752E	-1.8km	M-0.5	HF
1997/07/01	11:28:29	43.4216N	142.6780E	-1.2km	M 0.1	HF
1997/07/01	15:14:32	43.4107N	142.6691E	0.1km	M 0.6	HF
1997/07/01	18:15:28	43.4110N	142.6696E	0.1km	M-0.3	HF
1997/07/01	18:43:44	43.4176N	142.6681E	-1.8km	M-0.7	HF
1997/07/01	19:41:54	43.4059N	142.6924E	0.9km	M-0.3	HF
1997/07/01	22:59:18	43.4108N	142.6647E	-0.1km	M-1.4	HF
1997/07/03	02:41:26	43.4194N	142.6795E	-0.6km	M-0.5	HF
1997/07/03	04:51:00	43.4183N	142.6763E	-1.1km	M 0.0	HF
1997/07/03	07:38:52	43.4239N	142.6797E	-1.0km	M-0.2	HF
1997/07/06	00:11:14	43.4211N	142.6794E	-1.2km	M-0.4	HF
1997/07/06	02:35:12	43.4212N	142.6764E	-1.0km	M-0.6	MF
1997/07/06	06:29:15	43.4292N	142.7019E	1.6km	M-0.7	HF
1997/07/06	09:49:46	43.4197N	142.6770E	-1.6km	M-0.3	HF
1997/07/06	11:59:09	43.4164N	142.6906E	1.1km	M-0.3	HF
1997/07/06	14:18:13	43.4048N	142.6651E	1.0km	M-1.3	HF
1997/07/07	03:23:40	43.4229N	142.6748E	-2.0km	M-0.2	HF
1997/07/07	04:12:28	43.4215N	142.6812E	-0.7km	M-0.3	HF
1997/07/08	01:16:52	43.4200N	142.6784E	-0.9km	M-0.9	HF