特異な時空・規模分布をもつ群発地震

——有珠火山の例 (1977~1978)——

北海道大学理学部地球物理学教室 和 野 健 一・岡 田 弘

(昭和 55 年 3 月 12 日受理)

Peculiar Occurrence of Usu Earthquake Swarm Associated with the Recent Doming Activity

Ken-ichi WANO and Hiromu OKADA

Department of Geophysics, Faculty of Science,
Hokkaido University

(Received March 12, 1980)

Volcano Usu, which had been in a dormant state for 32 years since the formation of Showa Shinzan lava dome in 1943-45, became active beginning with local earthquake swarms and the following sequence of eruptions in August 1977. The volcanic activity has caused the remarkable upthrust deformation at the center of summit crater, accompanying numerous earthquakes. The uplift amounted to about 140 m in relative height at the end of 1978. More than 150,000 earthquakes including about 18,000 events felt by inhabitants of Sobetsu Hot Spring Town ($L=2-3$ km) had occurred by December 1978. In order to study the characteristics of this swarm activity, space-time-magnitude distributions are investigated in detail. The determination method of earthquake magnitude using entire coda amplitude traces is introduced for the 1023 data in August 1978. It is found that this method is powerful to estimate earthquake magnitude in wide range, when we can not utilize the maximum amplitude and/or the $F-P$ time due to the inevitable continuous occurrence of a swarm.

The majority of the earthquakes is located within the small summit crater (1.7 by 1.8 km), forming several clusters which encircle the major upthrust area. Distribution of shallow earthquakes ($h < 1.0$ km) in August 1978 shows a significant correspondence to the U-shaped zone of major fault traces which outline the upthrust area. Large earthquakes ($M > 3.8$) are mainly located near the two corners of the U-shaped zone of major fault traces. Distribution of these large events are consistent with that of the localized stress concentration caused by a magma intrusion. In the period of October 1977 to February 1978, large earthquakes clustered mostly near the southeast corner, where the fault cut Ogariyama cryptodome and Ousu lava dome. This implies that these lava domes play an important role such as a barrier which can accumulate considerable stress in the upthrust movement. In July and August 1978, large earthquakes occurred near the northwest corner. This phenomenon may be caused by the stress redistribution due to the change of fracturing process in the development of the doming activity, and due to the eruptions from 'Ginnuma Crater'. Magnitude-frequency distribution of earthquakes is quite distinct from cluster to cluster. In some cases where large earthquakes are clustered, small events

are quite few in number and hence the distribution shows a remarkable peak. The considerable departure from Gutenberg-Richter's distribution may be interpreted by the concept of scattered barriers in different sizes and different strengths in the extraordinary heterogeneous medium beneath the summit crater.

§1. はじめに

1977 年 8 月 7 日、有珠山は大規模な軽石噴火を起こし、昭和新山生成以来 32 年ぶりに火山活動を開始した。過去、数回にわたる活動の特徴は、粘性の高い石英安山岩質マグマが引き起こす有感地震の頻発と溶岩円頂丘や潜在円頂丘の生成にあると言われてきた [横山他 (1973)]。今回の活動では、山頂火口原内に標高約 640 m (比高約 140 m) [1978 年 12 月現在] の新山がつくり出され、それに関連した地殻変動が北側山麓にまでおよび、家屋、道路等に少なからぬ被害を生じた。一方、地震は 1978 年 12 月までに北麓の壮瞥温泉 (震央距離 $L \approx 1.0 \sim 2.0$ km) において 18,254 回の有感地震を含む約 15 万回 [気象庁観測部 (1979)] というおびただしい数にのぼった。これらの地震の震源域は、有珠火口原内 (1.7×1.8 km) およびその周辺の比較的狭い範囲に限られ、活動は長期間にわたって続いている。このような地震活動例が詳しく調べられたのは、松代群発地震を除いて他にない。今回の活動では地下のマグマが関与していることは明らかであり、この種の群発地震発生機構に関し詳しい議論が期待できる。本稿では、地震の規模と時間・空間分布の特性から地震の起こり方について考察を行なう。

§2. 資 料

北海道大学理学部有珠火山観測所の 12 ch モニターペンレコーダーに記録された、1977 年 10 月～1978 年 12 月までの地震記象のうち、特に 1977 年 10 月、1978 年 2, 7, 8 月を主として調べた。

震源は有珠火山観測所により決められているが、読み落としを少なくしデータの完全性を期すため、記録の再読み取り、および震源再決定を行なった。震源再決定には少なくとも 6 観測点以上の P 波到達時を使い逐次近似法により行なった。その場合、媒質は無限均質、 P 波速度 3 km/sec と仮定した。Fig. 1 に各観測点の位置を示す。

マグニチュードは「北海道地震火山月報」[札幌管区気象台 (1977, 1978)] に報告されているものを標準として用いた。このマグニチュード (以下、 M_{SMO} とする) は、札幌管区気象台の 59 型地震計の記録から坪井公式を使い算出されたものである。同月報に報告されているのは、 $M_{SMO} = 3.1 \sim 3.2$ 以上の比較的大きな地震である (今回の活動に伴う最大級の地震は $M_{SMO} = 4.3$ である)。一方、有珠火山観測所では初動優先の高感度記録方式をとっており、振幅の計測は行なわれていない。このため大多数の小さな地震については、地震規模の議論が

不可能であつた。また、 M_{SMO} には検知能力の問題から記載もれもあるようである ($M_{SMO}=3.2$ は記録振幅にして 0.5 mm 程度)。そこで、1978 年 8 月 1 ケ月分の地震について Coda Wave の振幅減衰曲線を用い、広い範囲にわたつてマグニチュードを決定した。なお、同期間はマグマ爆発、マグマ水蒸気爆発と呼ばれる小、中噴火が頻発した時期である。

§ 3. Coda Wave マグニチュード

マグニチュードの決定には、記録の最大振幅、あるいは振動継続時間 ($F-P$ time) を用いる方法が一般的である。しかし、これらの方法はダイナミックレンジが狭く振幅が振り切れていたり、地震が群発して起こり記象が重複している場合が多いときには役に立たない。記象の尾部、すなわち Coda Wave の性質については、例えば AKI (1969), AKI and CHOUET (1975), 野口 (1977), RAUTIAN and KHALTURIN (1978), TSUJIURA (1978) などにより調べられており、その振幅の大きさが地震の規模を反映していることが理論的、経験的に指摘されている。そこで、有珠火山活動に伴う地震のマグニチュードを広い範囲にわたつて決定するために Coda Wave の振幅減衰曲線の利用を試みた。なお、Coda Wave の振幅減衰曲線を利用したマグニチュードの決定は、SUTEAU and WHITCOMB (1979) によりカリフォルニアの地震群に対して行なわれている。

Fig. 2 は地震観測点の 1 つ松本山 (MAT) で記録された地震記象の Coda Wave の振幅 A (mm) と発震時から測つた時間 t (sec) との関係を示している。1 本の曲線 (実線) が 1 つの地震に対応している。振幅の対数 $\log A$ の時間 t による減衰の仕方が地震の規模の大小に関係なくほぼ平行していることがわかる。

次に震源域の違いが Coda Wave の励起に及ぼす影響を調べた。Fig. 3 に MAT で記録された約 25 個の地震について $\log A \sim t$ の関係を震源域毎にシンボルを変えて示す。地震の規模はすべて同じで $M_{SMO}=3.2$ と報告されているものである。例えば、小有珠の南側 (SK) と源太穴 (GEN) 付近で起こつた地震は、震央距離が約 2 倍以上離れているにもかかわらず系

Fig. 1. Locations of seismic stations and five regional blocks used in this study.

Fig. 2. Amplitude decay traces of coda waves observed at Matsumotoyama (MAT), one of the seismic stations of Usu Volcano Observatory. The dashed lines represent standard decay curves for various magnitudes in a form of $\log A = C - 1.85 \log t - 0.01 t$. The referred magnitude scale in this study is M_{SMO} , which is determined by Sapporo Meteorological Observatory (SMO) using Tsuboi's formula for single amplitude data at Sapporo station ($\Delta \approx 71$ km).

Fig. 3. Amplitude decay of coda waves at MAT for earthquakes with $M_{SMO} = 3.2$. Note that the decay patterns of coda waves from various source regions do not show any significant systematic differences.

統的偏りはみられない。このことは、AKI and CHOUET (1975), RAUTIAN and KHALTURIN (1978) が指摘しているように、Coda Wave の振幅 (スペクトル) が震央距離にそれほど影響を受けないことを示している。従つて、1 つの観測点 (MAT) の Coda Wave の振幅減衰曲線を利用して地震のマグニチュードを決めても特に問題はないと考えられる。そこで Fig. 3 の資料を使い $\log A \sim t$ の関係を次式

$$\log A(t|\omega) = C - a \log t - bt \quad [\text{AKI and CHOUET (1975)}]$$

で近似し係数, a , b を最小二乗法で求め, $M_{SMO} = 3.2$ の基準曲線とした。但し、記録から周波数 ω の変化は著しくないと判断し ω 依存は考えなかつた。Coda Wave の減衰の仕方が地

震の規模、震源域の違いによらずほぼ同じであることから、この基準曲線を平行移動し C をパラメーターとしていろいろな M_{SMO} に対応する基準曲線群 (Fig. 2 の破線) を作ることができる。このようにして求めた Coda Wave マグニチュード (M_c) と基準としたマグニチュード (M_{SMO}) との対応関係を Fig. 4 に示す。プロットされている地震は 1978 年 6~10 月までの期間、MAT で記録され Coda が乱されていないものである。 $M_{SMO}-M_c$ の標準偏差は $\sigma=0.12$ である。 M_c は特定の 1 点での Coda 振幅を測るのではなく、Coda 全体を利用するため、マグニチュードの見積もりにおいて代表性が高いと思われる。

Fig. 4. Comparison between the newly determined coda waves magnitude M_c and M_{SMO} .

§ 4. 地震規模を考慮した震源分布の特徴

Fig. 5 に 1978 年 8 月の震央分布図、および深さ別震央分布図を示す。震央は火口原中央部には殆んど分布しておらず、浅い地震では北東側に口を開いた U 字型分布をなしていることがわかる。勝井他 (1978) による火口原内内地形変動図 (Fig. 6) と比較してみると、海面下 1.0 km 以浅の浅い地震の分布と地表にあらわれた U 字型をなす主断層群とが、みごとに対応していることが確かめられる。地震の規模に着目してみると、 $M_c \geq 3.8$ の大きな地震の震源域は著しい隆起断層崖の北西端付近の浅い狭い範囲に集中している。また、そこでは小さな地震が GUTENBERG-RICHTER の関係から期待されるより少ないことに気がつく。一方、大有珠直下には多数の地震が発生しているが、規模の大きなものは少ない。すなわち、小さな地震の震源分布域と大きな地震のそれとは一致していない。

次に地震活動の推移を概観するために、Fig. 7 に 3 つの期間について $M_{SMO}=3.2$ 以上の地震の震央分布を示す。1977 年 10 月は小有珠およびその南部に多数の震央が群をなして分布している。そこでは、地震規模は 10 月 4 日に起きた $M_{SMO}=4.3$ を除けば 3.6 程度が最大である。一方、隆起断層崖の南東端付近にあたる大有珠南部には、 $M_{SMO} \geq 3.8$ の大きな地震が集中している。隆起が著しい火口原中央部には震央は分布していない。1978 年 2 月には小有珠北部から火口原北西部にかけて地震活動がやや活発化している。これは新山隆起率や地

Fig. 5. Distributions of hypocenters in August 1978. Note the close correspondence between the distribution of shallow events ($h < 1.0 \text{ km}$) and the U-shaped zone of major fault traces produced by remarkable ground deformation. Numerous small events swarm beneath Ousu lava dome, but not so many small events in the northwestern summit crater where large events cluster.

震エネルギー放出率にみられる第2のピーク [横山・清野 (1978)] と対応したものかもしれない。小地震の活動でも隆起断層崖両端の活動が2~3月にピークとなっている [岡田他 (1979)]。なお、1977年11月~1978年1月の分布パターンは基本的には1977年10月と同じである。半年後の1978年7月になると、U字型の輪郭は明瞭となり、大有珠南部に集中していた規模の大きい地震は姿を消し、火口原北西部に大きな地震があらわれている。

$M_{\text{SMO}}=4.3$ の地震は1978年12月までに17個発生しており、それらはTable 1にまとめられている。活動の進展段階をみるために、発生順に番号をつけFig. 8に震央分布を示す。これらの中には記象重複により初動が乱されて精度の悪いものも含まれているが、そのために発生域が大きく変わってしまうということはない。1977年10月4日の最初のもの (No. 1) を除けば、1978年2月までに発生した地震はすべて大有珠南部の比較的浅いところに震源が求まっている。次に $M_{\text{SMO}}=4.3$ が発生するのは、約6ヶ月後の1978年8月である。この

地震はそれまでと異なり、火口原北西部で発生した。 $M_{SMO} \geq 3.8$ の地震も 1978 年 7, 8 月には火口原北西部に集中しており (Fig. 5, 7), エネルギー放出に寄与する規模の大きな地震が隆起断層崖の北西端付近に移っていることは明らかである。

§5. マグニチュード別度数分布

地震の規模別度数分布は、地震活動の性質を特徴づけるものとして従来良く調べられている。その場合、ある領域、ある期間内に起こった地震を対象としているが、領域としてどのくらいの大きさをとるかは、震源精度の問題もあり、とかく曖昧であつたようである。

今回、精度良い震源決定が行なわれ、Fig. 7 にみられるように震源が局所的に分布していることが見いだされた。この震源分布に基づいて Fig. 1 に示されるような領域分けを行な

Fig. 6. Outlined topography of the summit crater of Usu Volcano on February 24, 1978 [after KATSUI *et al.* (1978)]. Numerals indicate new craters formed in August 1977. Numerous faults and fractures are produced by the thrust movement to the northeast direction (Arrow) and they form a U-shaped major fault zone.

Fig. 7. Distribution of epicenters in three stages. Large earthquakes ($M_{SMO} > 3.8$) concentrate at the southern part of Ousu lava dome in October 1977 and in February 1978, while in July 1978 they cluster in the northwestern summit crater. Small events are relatively few in number in the vicinity of large ones.

Table 1. List of largest earthquakes ($M_{\text{SMO}}=4.3$), 1977-78.

No.	Date				Hypocenter (km)			SD	Number of station	Region	
	M	D	H	M	X	Y	H				
1	1977	10	04	13	39	2.99	2.53	0.83	0.024	7	South of Kousu
2		10	08	15	19	3.59	2.51	0.77	0.022	8	Ousu
3		10	12	09	09	3.57	2.61	0.48	0.030	7	Ousu
4		10	14	03	41	4.02	2.48	0.41	0.090	8	Ousu
5		10	16	10	36	3.61	2.80	0.24	0.028	7	Ousu
6		10	25	22	21	3.58	2.62	0.92	0.052	8	Ousu
7		10	31	01	32	3.69	2.51	1.12	0.031	8	Ousu
8		11	03	20	55	3.84	2.57	1.25	0.020	8	Ousu
9		11	09	06	51	3.94	2.52	0.10	0.054	7	Ousu
10		11	22	06	19	3.71	2.43	1.12	0.005	6	Ousu
11		11	30	10	11						Ousu
12		12	09	23	25	4.00	2.66	1.13	0.048	7	Ousu
13		12	12	19	33	3.74	2.58	0.57	0.067	9	Ousu
14	1978	01	27	08	14						Ousu
15		02	15	02	04	3.70	2.58	0.23	0.034	7	Ousu
16		08	22	02	50	2.96	3.59	0.86	0.020	8	Kitabyoubu

Origin of the X , Y , H coordinate is ($140^{\circ}47'42''$, $42^{\circ}30'44''$, sea level)

1977 AUG.7 ~ 1978 DEC.31

Fig. 8. Epicenters of the largest earthquakes ($M_{\text{SMO}}=4.3$) listed in Table 1. Numerals denote the order of occurrence. Except the first one (No. 1), they are all located at the corners of the U-shaped faults which delineate the major thrust region. Most of them (No. 2-15) are located at the southeast corner, the southern part of Ousu lava dome. The accuracy of hypocenters for No. 11 and No. 14 is considerably low, but from the wave characteristics they can be classified into the earthquake group in the south of Ousu lava dome.

Fig. 9. Regional and temporal variations in magnitude-frequency relation of earthquakes. Note the peculiar distribution in each regional block. In some cases, the distribution show a peak which is inconsistent with the distribution predicted from Gutenberg-Richter's relation.

い、各領域内に発生した地震についてマグニチュード別度数分布を求めた。その結果を Fig. 9 に示す。期間は 1977 年 10 月～1978 年 2 月（但し各 1～15 日分を重ね合わせている）および 1978 年 7～8 月である。1978 年 1 ケ月分については、さらに小さな地震の度数分布をみるためマグニチュードとして M_c を用いたものも合わせて示してある。地域、時期によりマグニチュード別度数分布パターンにかなりの相違がみられる。

1977 年 10 月～1978 年 2 月の期間についてみると、大珠地震群 (OU) の分布のピークが顕著である。そこでは $M_{smo}=3.7$ 以下の地震は少なく、 $M_{smo}=3.9\sim4.0$ の特定の大きさの地震が著しく多い。小珠南 (SK) の地震群のピークは $M_{smo}=3.3$ にあり、 $M_{smo}=3.6$ 以上の地震は著しく少ない。上期間中、大珠領域に震央が決まった地震 ($M_{smo}\geq 3.2$) は全体の約 24% にすぎないが、 $M_{smo}\geq 3.8$ の地震についてみると実に 88% がこの領域で発生している。一方、小珠南 (SK) および北 (NK) の領域に震央が決まった地震は全体の約 52% を占めるが、 $M_{smo}\geq 3.8$ の地震についてみると 4% 程度にすぎない。

1978 年 7～8 月の期間は、小珠南 (SK) の分布は前期間と比べそれほど変化はないが、

小有珠北 (NK) および北屏風 (KB) の地震群には、データ数は少ないがピークが 2 つあらわれている。大有珠の地震群では、前期間著しかつた $M_{\text{SMO}}=3.9\sim 4.0$ の地震がほとんどなくなっている。このように期間を限ってみれば、個々の地震群では小さな地震から大きな地震まで 1 つの系列になつて起こるのではなく、特定の大きさの地震が特定の場所で卓越していることがわかる。地震群全体としては、規模別分布の異なる各地震群を重ね合わせていることに注意する必要がある。

§ 6. 議論および考察

有珠火山活動に伴う地震の起こり方には、今までに述べてきたように幾つかの興味深い特徴が見られる。すなわち、震源は主として有珠火口原内に分布しているが、決して一様ではなく幾つかの限られた非常に狭い範囲に群をなして分布している。活動の進展に伴い、それらの地震群の分布に変化が見られるが、地表にあらわれた断層群と密接に対応している。各地震群では、小さなものから大きなものまで GUTENBERG-RICHTER の関係式に従つて起こっているわけではなく、規模が地震群毎に規定されている側面が強い。特に $M_{\text{SMO}}\geq 4.0$ の大きな地震は、そのほとんど (70 個中 69 個) が火口原内を北西-南東に走る隆起断層崖の両端付近に集中している。また、大きな地震近傍では小さな地震が非常に少ないのも著しい特徴である。

地殻変動は火口原中央部において最も激しく進行しており、小有珠東麓から大有珠の南にかけての隆起断層は北東部がせり上がり、すでに 140 m の高度差にも達している (1978 年 12 月)。この隆起断層とその両端から北東方向へ伸びた断層群で区切られた U 字型の部分は、全体的に北東側へ押し出されており、北東外輪山は辺長測定の結果によると 100 m 以上も水平移動している [北海道大学理学部有珠火山観測所 (1979)]。この Thrust 運動に対して、火口原内に存在する最大の溶岩円頂丘、大有珠は破壊されつつあるとはいえ、深部では強固な障害物となつていることが考えられる (Fig. 6)。この場合、障害物は安芸 (1979) が指摘しているような大破壊の出発点となりやすい地震の核と考えられ、そこは少々歪蓄積では破壊されにくいから小さな地震が起こることは稀である。GUTENBERG-RICHTER の関係式が個々の地震群に対して成り立っていないのは、このような物理的メカニズムによるものかもしれない。

1977 年 10 月から 1978 年 2 月までの期間は、規模の大きい地震は隆起断層の南東端、すなわち大有珠ドーム南部に集中し、この障害物を破碎する過程にあつたと思われる。実際、大有珠山体は断層で 2 つに立ち割られており、北半分は著しい傾動と崩落、南半分は大規模滑落を示している。また溶岩露出部が小さく「潜在」かどうか議論のあつた大有珠南西端に位置するオガリ山も、北半分が隆起し溶岩円頂丘の断面を露出させるに至つていかに大きなドームで

あつたかが判明した。その後、1978年7、8月には大有珠南部に集中していた規模の大きい地震は衰退し、小有珠北部、北屏風付近に $M_{\text{smo}} \geq 4.0$ の大きな地震があらわれており、マグマ上昇による上部および周囲岩体の応力状態の変化と破壊プロセスの進展を示している。規模の大きな地震の群発するこれら二つの地域は、U字型主断層群の屈曲部にあたり、マグマ貫入による著しい応力集中が期待される場所である。

規模の大きな地震が起ると、各地震群は一斉に活発になり、その時点での震源分布の全体的パターンを短時間のうちに形成してしまうことがわかつている。また、地震とほぼ同時に北東外輪山が数 cm 押し出されることが観測されている [原田他 (1979)]。これらのことより、規模の大きな地震による破壊は歪蓄積が著しい隆起断層群の屈曲部付近から始まり、ほぼ主断層群全体に及んでいるとみることができよう。

§7. 結 論

有珠火山活動に伴う群発地震の規模と時間・空間分布の特性について考察を行なった。主な結果は次のようにまとめられる。

1) 大多数の地震は火口原中央部のマグマ貫入による著しい隆起域の周辺に群をなして分布している。特に浅い地震の分布は、地表にあらわれたU字型をなす主断層群とみごとな対応を示している (1978年8月)。

2) 規模の大きい地震 ($M_{\text{smo}} \geq 3.8$) はU字型断層群の両屈曲部付近に集中しており、マグマ貫入から予想される歪集中域と対応している。時間的には大有珠南部から (1977年10月～1978年2月)、北屏風側へ (1978年7～8月) 移行しており、応力場の変化と破壊プロセスの進展を示している。

3) 大きな地震の集中域近傍では小さな地震が GUTENBERG-RICHTER の関係式から期待されるより遙かに少ない。個々の地震群では小さな地震から大きな地震まで1つの系列となつて起こるのではなく、特定の大きさの地震が卓越している。

4) 著しい群発地震や余震のように、マグニチュードの決定に最大振幅、振動継続時間を利用できないことが多いが、このような場合 Coda Wave の振幅減衰曲線を利用する方法が有効である。

謝 辞

終始御指導下さいました横山 泉教授をはじめ、有珠火山観測所および地球物理学教室の皆様、心から感謝致します。札幌管区気象台の清野政明氏には、未発表の資料を見せていただき

有益な助言を頂きました。厚く御礼申し上げます。また、有益な示唆と校閲をして頂いた神戸大学理学部寺島 敦助教授に感謝致します。データ整理、計算には北海道大学大型計算機センターの FACOM 230-75 を使用しました。

追 記

1978 年 8 月の地震データファイルが必要な方は御連絡下さい。北海道震火山月報にマグニチュードが記されていないが、1977 年 11 月 27 日 03 時 34 分に $M_{\text{SMO}}=4.3$ の地震が発生しているので補足する。(Table 1. のパラメーターは、3.62, 2.60, 0.93, 0.060, 8, Ousu である)。尚、1979 年 4 月 24 日 13 時 50 分、1979 年 8 月 4 日 10 時 01 分、1979 年 9 月 16 日 03 時 18 分の 3 回 $M_{\text{SMO}}=4.3$ の地震が発生し、1980 年 6 月末現在最大規模 ($M_{\text{SMO}}=4.3$) の地震は総計 20 個に達している。

文 献

- AKI, K., 1969, Analysis of the Seismic Coda of Local Earthquakes as Scattered Waves, J. Geophys. Res., 74, 615-631.
- 安芸敬一, 1979, 地震予知研究の方向, 科学, 49, 308-313.
- AKI, K. and B. CHOUET, 1975, Origin of Coda Waves: Source, Attenuation, and Scattering Effects, J. Geophys. Res., 80, 3322-3342.
- 原田 徹・山下 済・渡辺秀文, 1979, 1977~78 年有珠山噴火に伴う辺長変化の準連続観測, 北海道大学地球物理学研究報告, 38, 31-40.
- 北海道大学理学部有珠火山観測所, 1979, 有珠山北東麓の地殻変動 (1979 年 1~4 月), 火山噴火予知連絡会会報, 15, 11-17.
- 勝井義雄・大場与志男・大沼晃助・鈴木建夫・近堂裕弘・渡辺暉夫・新井田清信・卯田 強・萩原 茂・永尾隆志・西川純一・山元正継・池田保夫・片川秀基・土屋信高・白波瀬正人・根本周太郎・横山 節子・曾尾竜典・藤田隆男・稲葉邦丸・小出 潔, 1978, 1977 年有珠山噴火の地質学的研究, 1977 年有珠山噴火による災害調査, 58-81.
- 気象庁観測部, 1979, 有珠山火山機動観測実施報告, 15.
- 野口伸一, 1977, マグニチュードと Coda Wave の大きさについて, 昭和 52 年度地震学会秋季大会講演予稿集, 156.
- 岡田 弘・和野健一・渡辺秀文・山下 済・前川徳光・横山 泉, 1979, 有珠火山の群発地震活動概論, 昭和 54 年度地震学会春季大会講演予稿集, 17.
- RAUTIAN, T.G. and V.I. KHALTURIN, 1978, The Use of the Coda for Determination of the Earthquake Source Spectrum, Bull. Seismol. Soc. Amer., 68, 923-948.
- 札幌管区气象台, 1977, 1978, 北海道地震火山月報.
- SUTEAU, A.M. and J.H. WHITCOMB, 1979, A Local Earthquake Coda Magnitude and Its Relation to Duration, Moment M_0 , and Local Richter Magnitude M_L , Bull. Seismol. Soc. Amer., 69, 353-368.
- TSUJIURA, M., 1978, Spectral Analysis of the Coda Waves from Local Earthquakes, Bull. Earthq. Res. Inst., 53, 1-48.
- 横山 泉・清野政明, 1978, 有珠山活動の推移の予測について, 火山, 2, 23, 154.
- 横山 泉・勝井義雄・大場与志男・江原幸雄, 1973, 有珠山一火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策, 北海道防災会議.