HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	1977－78年有珠山噴火に伴う辺長変化の準連続観測
Author(s)	原田, 徹; 山下, 済; 渡辺, 秀文
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 38, 31-40
Issue Date	1979-11-30
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.38.31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14079
Type	departmental bulletin paper
File Information	38_p31-40.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学地球物理学研究報告
Geophysical Bulletin of Hokkaido University, Sapporo, Japan
Vol. 38. November, 1979, p. 31－40.

1977－78年有珠山噴火に伴う辺長変化の準連続観測

原　田　　徹
北海道大学理学部地球物理学教室

山下　　済・渡辺　秀文
北海道大学理学部附属有珠火山観測所

（昭和53年12月27日受理）

Quasi-Continuous Observation of Changes in Distance Caused by the 1977－78 Eruption of Usu Volcano, Hokkaido

By Tohru HARADA
Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

Hitoshi YAMASHITA and Hidehumi WATANABE
Usu Volcano Observatory, Faculty of Science, Hokkaido University
(Received December 27, 1978)

Usu Volcano, Hokkaido, Japan, burst into eruption on August 7 (09h 12m, local time) 1977, after about 32 years of dormancy since the birth of Showa-Shinzan lava dome. Earthquake swarms and remarkable crustal deformations caused by the volcanic activities have continued since the outbreak of the eruption, and especially the crustal deformations of the summit crater and the north-eastern foot of the volcano are violent. The summit of the volcano has moved northward to the lake at a speed of about 50 cm／day in September 1977 and several cm／day in September 1978. Most of the earthquakes occur beneath the summit crater.

The correlation between the seismic activities and the crustal deformations is well demonstrated by means of the release of the seismic energy or the frequency of the earthquakes and the changes in distance with a geodimeter. The quasi-continuous range-measurement between the southern shore of Lake Toya (HK) and the north rim of the volcano (NR) was carried out for about 44 hours in December 1977. As the result, it was found that the distance did not change at a uniform rate but discontinuously in individual earthquakes. The amount of strain step is related with the magnitude and the hypocenter of each earthquake. The focal mechanisms of the earthquakes were examined. And it was found that the mechanisms varied in different localities. The continuous clinometric record at the north-eastern foot of the volcano also shows the corresponding coseismic variations.

I. はじめに

1977年8月7日09時12分，有珠山は昭和新山生成以来，約32年ぶりに山頂火口原内から石英安山岩質の軽石噴火を起こした．噴煙は約12,000mに達し，山頂・山麓および周辺地域に軽石あるいは火山灰が降り積もり，その後，14日までに大小16回の軽石噴火を起こした．噴火以来，群発性の地震や著しい地殻変動が続いている．北海道大学理学部有珠火山観測所では，種々の地球物理学的手法を用い，活動状況に応じて観測を行なっている．噴火前日からの地震観測に続いて，水準測量・光波測量(辺長測量)・傾斜観測・全磁力連続観測・重力精密測量・水位観測・熱映像観測などを行ない，火山活動の推移を監視している．

1663年(寛文3年)に始まる有珠山晩期の活動は，流紋岩～石英安山岩質で，マグマが粘性に富み，火山性地震の頻発と著しい地殻変動がその特徴である(横山他，1973)．今回の活動では，地震の震央は大部分が火口原内にある．地殻変動は，火口原内および外輪山北東麓で特に激しく，外輪山西麓および南麓ではほとんど変動がない．火口原内では，大有珠および小有珠を結ぶ線上に亀裂が走り，高低差約120m(1978年9月現在)にもおよぶ大断層崖が形成されている．また，山麓では，北および東外輪山のせり出しに伴って，道路や家屋にも相当の被害がでている．

群発地震活動と地殻変動との関係については，松代群発地震の際に，KASAHARA *et al.* (1966)によって，地震活動の消長と水平変動との間に良い相関のあることが示された．ここでは，今回の有珠山噴火活動に伴う外輪山北東麓の辺長変化と群発地震活動の消長との相関について，さらに，辺長の準連続測定から，個々の地震に対応した階段状の辺長変化と各地震の規模・震源・発震機構との関係について，また，微視的にみた辺長変化と傾斜変化との関係について報告する。

II. 地震活動の推移と地殻変動

光波測量は，水準測量に比べ短時間で，しかも簡単に測定できる利点がある．水準測量に続いて，噴火後1ヶ月 余り経過した9月16日より，光波測量を北外輪山と洞爺湖畔とを結ぶ3測線で開始し，その後，山体を取り囲むように，次々と測線を増やしていった (Fig. 1)．測定に用いた光波測距儀は，AGA社のModel 76で，精度は二乗平均誤差で，±10mm ±D・10^{-6}(D：測定値)である．1回の測定について30カウント行ない，気象要素（気温・気圧）の補正も合わせて行なった．これらの測線のうち，最も測定数の多い洞爺湖畔の壮瞥温泉母と子の家(HK)と北外輪(NR)との間の辺長の時間変化を示したものがFig. 2である．この測線の長さは約1700mで

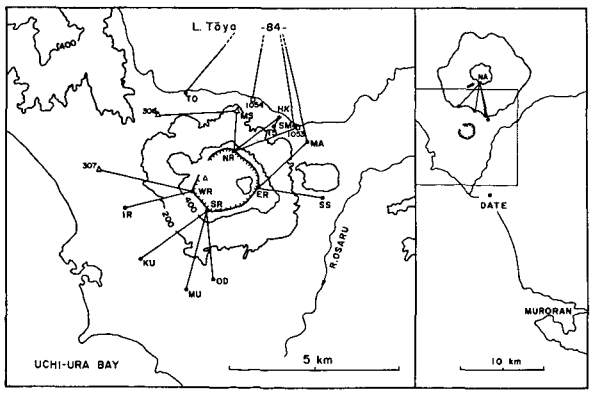


Fig. 1. Base lines for distance measurement.

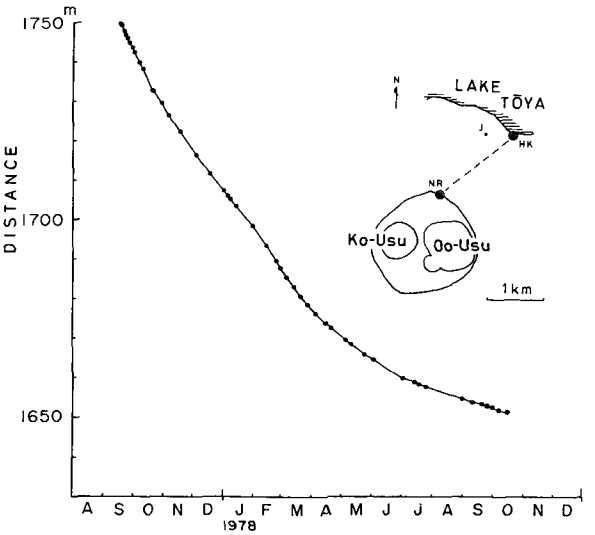


Fig. 2. Contraction of the distance between the north rim of the summit crater (NR) and the southern shore of Lake Toya (HK). J : a temporary station of JMA.

あるが，測定開始以来，既に約 100m 短縮している（1978年 9 月現在）．これに伴って，外輪山北東麓では三恵病院をはじめ，家屋や道路の被害が甚大である．

地震活動と地殻変動との関係を見るために，上記 HK－NR 間の辺長の短縮率と札幌管区気象台による地震エネルギー放出量の 5 日間ごとの移動平均とを対比させたのが Fig. 3 である．短縮率は，初期の頃で約 50 cm／day，その後減少し，12月～翌年 1 月には約 30 cm／day になった．しかし，1 月下旬～ 3 月上旬にかけて，短縮率はやや増加し，約 40cm／day になったが，以後再び減少傾向になり，6 月

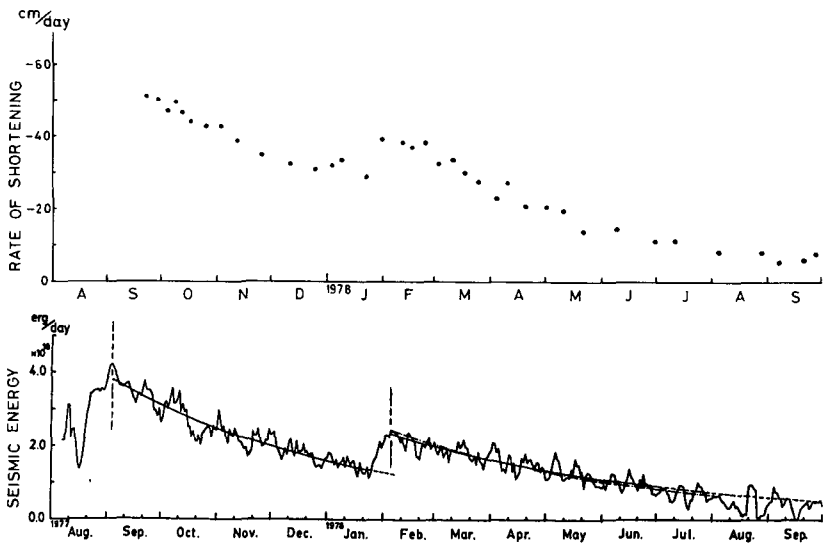


Fig. 3. Time rate of shortening (HK—NR) compared with the running averages (5 days) of daily seismic energy (JMA).

には約10cm／day，さらに，現在(1978 年 9 月)では，数cm／dayとなっている．1 日当りの地震エネルギー放出量は，1977年 9 月で3 ～ 4 ×10^{18}ergであり，その後減少し，翌年 1 月には 1.3 ×10^{18}erg 程度になったが，1 月下旬～ 3 月上旬にかけてやや増加し，その後，再び減少している，このように，辺長の短縮率の時間変化と地震エネルギー放出量の時間変化とはよく対応している．また，この辺長の短縮率の時間変化は，気象庁の壮瞥温泉の観測点(Fig. 2 の J点)における有感地

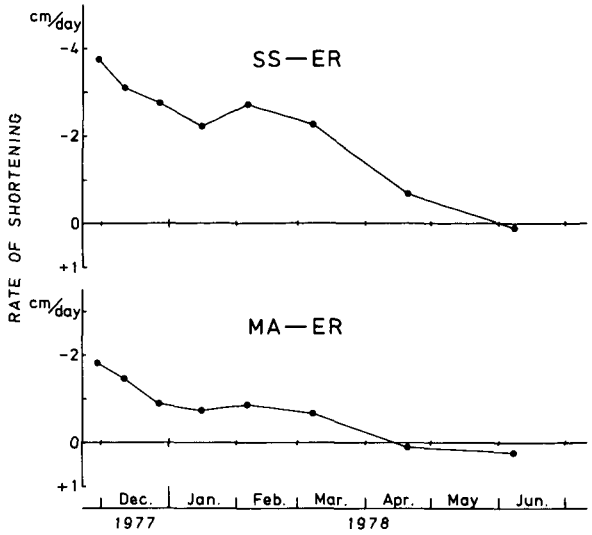


Fig. 4. Time rate of shortening of the distance between the east rim (ER) and the eastern foot of the volcano (MA or SS).

震の頻度(気象庁火山機動観測班他, 1978)とも対応している．つまり，地震活動の消長とともに，山のせり出しも呼応して変化している．

HK－NR 間程測定回数が多くなく，また，短縮率も数cm／dayと小さいが，外輪山東側の測線(SS－ERおよびMA－ER)についても，1977年11月の測定開始以来短縮率が減少し，翌年1月～3月にかけての地震活動の活発化に対応して短縮率の増加がみられ，HK－NR間の測線の短縮率とよく似た時間変化が認められる(Fig. 4)．ただし，外輪山東側の辺長測線は，1978年4月～6月を境として，短縮から伸長に転じている．また，地震活動の消長あるいは辺長短縮率の時間変化は，火口原内新山の隆起率の時間変化(北海道大学理学部有珠火山観測所，1978 b)とも類似している．

III．個々の地震とそれに伴う地殻変動

上記のことから，地震活動の推移と地殻変動との相関が明らかになったが，個々の地震との相関を調べるために，HK－NR 間の測線を0～20 分の時間々隔で測定を繰り返した．ただし，HKに光波測距儀を，NRに反射鏡を設置した．期間は，1977年12月7日07時28分から9日03時23分までの約44時間で，測定は10カウントを1セットとして行なわれ，有感地震が起こると測定回数を多くするように努めた．1セットの測定時間は1～3分程度であり，測定は全部で198セット行なった．また，HK で気象要素の測定を同時にやり，以前の測定から得られているHK－NR間の気象要素の補正量を考慮に入れて，測線上の平均気象要素を求め，実測値を補正した．

これらの時間変化を示したものがFig. 5の実線で，このように短縮率は一定ではない．地震の大きさの一つの目安として，北大の壮瞥温泉(Fig. 6のUVO 点)にある低倍率の速度型上下動地震計($T=1$sec)の記録紙上の最大振幅の二乗をとって，Fig. 5の下側に示す．ここに示したものは，ほぼ震度1以上に相当する．これをみてわかるように，地震は一定間隔で起こっているのではなく，ある時期に群発している．しかも，これらを上側に示した辺長変化と比べてみると，地震活動の静穏なときには短縮率は小さいが，大きな地震が起こったとき，辺長は不連続的に短縮している．測定開始から18時頃までは，静穏な地震活動に呼応して辺長変化も緩慢であるが，18時17分に生じた地震と同時に突然の短縮がみられ，その後，一連の群発地震活動に伴って短縮が続き，

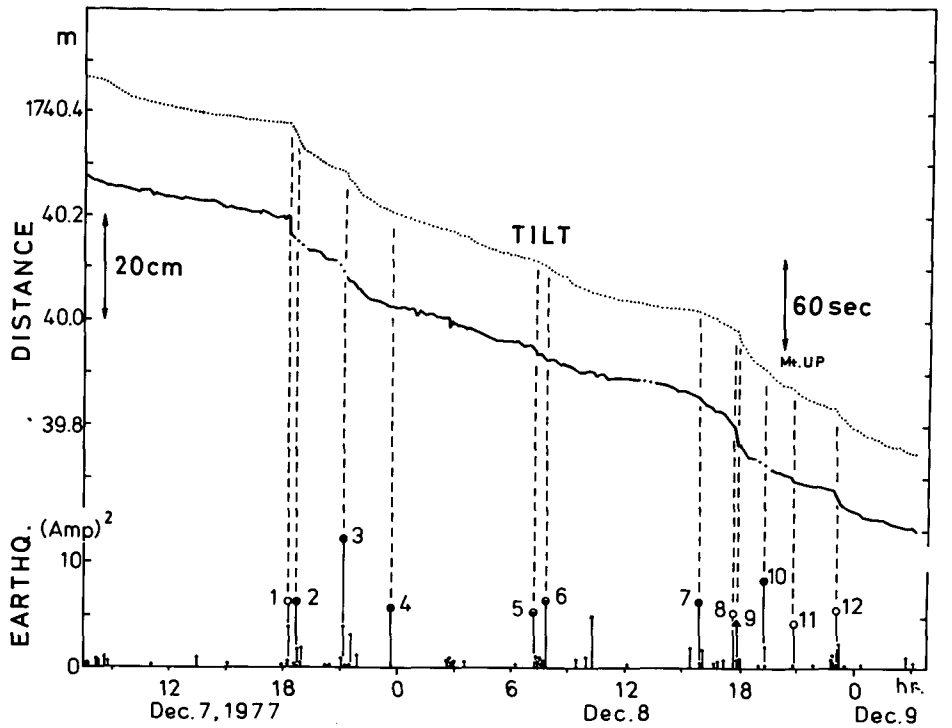


Fig. 5. A quasi-continuous measurement of the distance between the north rim of the summit crater (NR) and the southern shore of Lake Toya (HK) for about 44 hours, the simultaneous observation of tilt and seismic activities. The numerals coincide with the earthquakes of which epicenters are shown in Fig. 7.

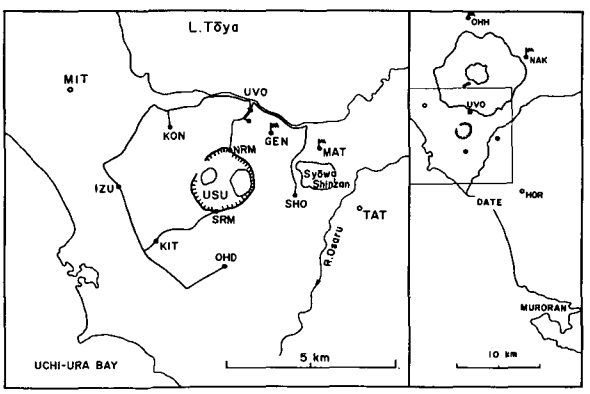


Fig. 6. Seismometric telemetering net around Usu Volcano set by the Usu Volcano Observatory.

23時頃から再び辺長の短縮率は小さくなるが，8日16時頃から始まる一連の群発地震の発生に伴って，短縮率が大きくなっている．

Fig. 6 は，北海道大学理学部有珠火山観測所の地震観測網を示したもので，無線および電話回線を利用した集中記録方式である．P 波到達時(読み取り精度0.01sec) を用い，媒質は無限均質，P 波速度 3km/sec と仮定して，電算機により逐次近似法によって，震源決定がなされている (北海道大学理学部有珠火山観測所, 1978a)．このシステムによってFig. 5 に示した地震の震源を決め，そのうち大きいものの震央をFig. 7 に示す．大有珠および小有珠付近に集中域が見られる．

地震の規模と辺長変化量の関係をみるため，速度型地震計上下動成分の最大振幅を最大速度振

幅と近似し，これと震源距離より，村松(1964)の方法によりマグニチュードを決め,辺長変化量とともにFig. 8に示す．地震は連発することが多く，個々の地震に伴う辺長変化量を定めることは，それ程容易なことではないが，地震が起こったとき，瞬間的ないしは短時間内での変化量を採用し，それ以後のややなだらかな変化は考慮に入れなかった．これを見ると，大有珠で起こった地震では，その規模が大きくなるにつれて，辺長変化量も増大することがわかる．

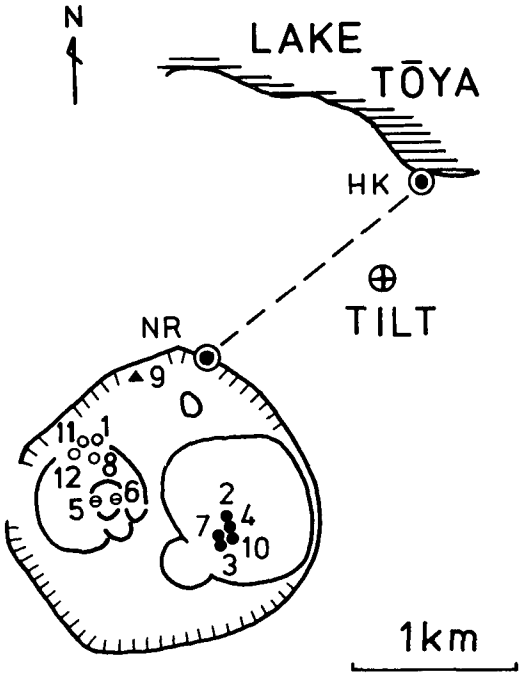
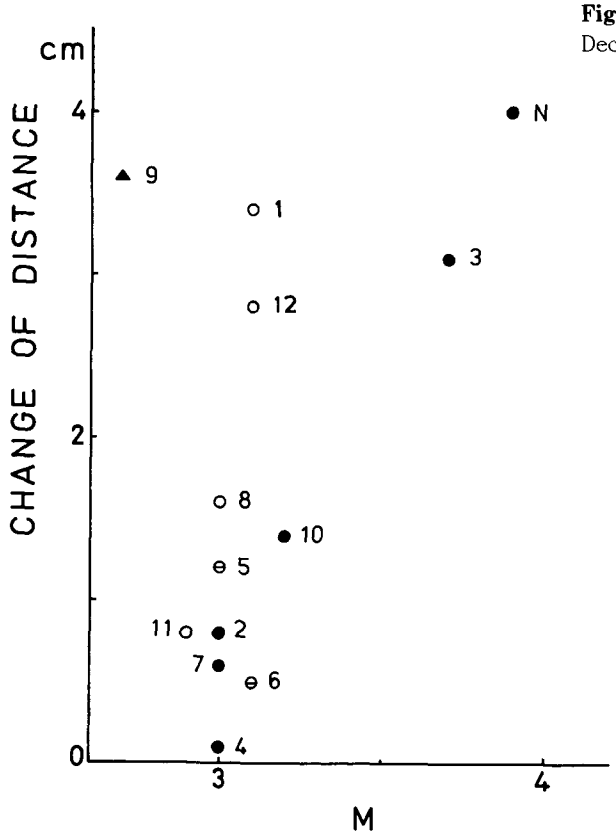


Fig. 7. Epicenters of the 12 earthquakes on December 7 to 9, 1977. ⊕ : tilt station.



これに対して，小有珠付近の地震では，規模が同じでも変化量は一定していない．また，北外輪山付近の地震では変化量が大きいが，これは辺長測線に近いためであろう．

Fig. 8. Relation between the amount of changes in distance and the magnitude of earthquakes on December 7 to 9, 1977, only N is the earthquake of November 22, 1977. ▲ : north rim, ⊖ : central part of Ko-Usu, ○ : northern part of Ko-Usu, ● : Oo-Usu.

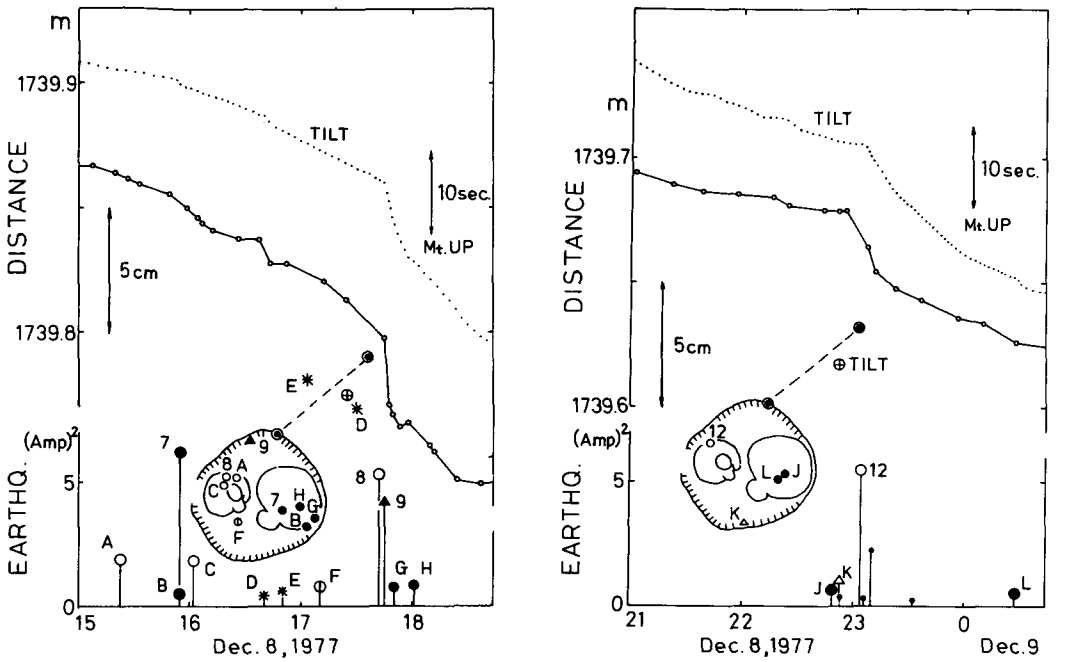


Fig. 9. Close-up of relation between the changes in distance and the occurrence of earthquakes.

Fig. 5には，同時に，この測線付近(Fig. 7の⊕印)における気泡式二軸傾斜計(電圧出力)の半径方向成分も点線で示してあるが，辺長変化と非常によく対応している．量的には，44時間で辺長が約68cm短縮したのに対して，傾斜は約230秒角山上がりとなった．このことは，ここで論じた辺長変化が局所的なものではなく，広範囲の動きを表わしていることを支持している．

Fig. 9は，Fig. 5 を部分的に拡大したもので，数字は共通であり，アルファベットはそれぞれの地震の震央に対応している．このように，地震とともに辺長が不連続的に短縮していることが明らかである．また，傾斜の連続記録（点線）も辺長変化とよく対応し，地震と同時に傾斜変化率が急になっていることがわかる．ここで，D で印した地震は，規模が小さいにもかかわらず，辺長の階段状の短縮および傾斜変化率の増大がみられるが，これは震源が辺長測線および傾斜観測点のそばであるためだろうと考えられる．Fig. 10は，ある期間中にカウントしたものすべてを気象補正だけ行なって示したものである．地震前は変化が緩慢であるが，18時17分に起こった地震と同時に，不連続的に短縮していることが明瞭である．

Fig. 11は，Fig. 5およびFig. 7に示された12個の地震の発震機構であり，数字はそれぞれ対応する．四象限型を仮定し，上半球等積投影で，斜線部分が張力の領域を表わす．一つの特徴的なこととしては，場所によって発震機構が類似していることである．例えば，B軸をほぼ東西方向に持つ正断層型(3, 4, 10番)が大有珠の地震に多い．また，B軸を北西－南東あるいは北東－南西方向に持つ逆断層型(1, 8番あるいは11, 12番)が小有珠北の地震に特徴的である．ここで，大有珠の地震に特徴的な発震機構は，実際に地表面で見られる断層と合うが，小有珠のものは表面

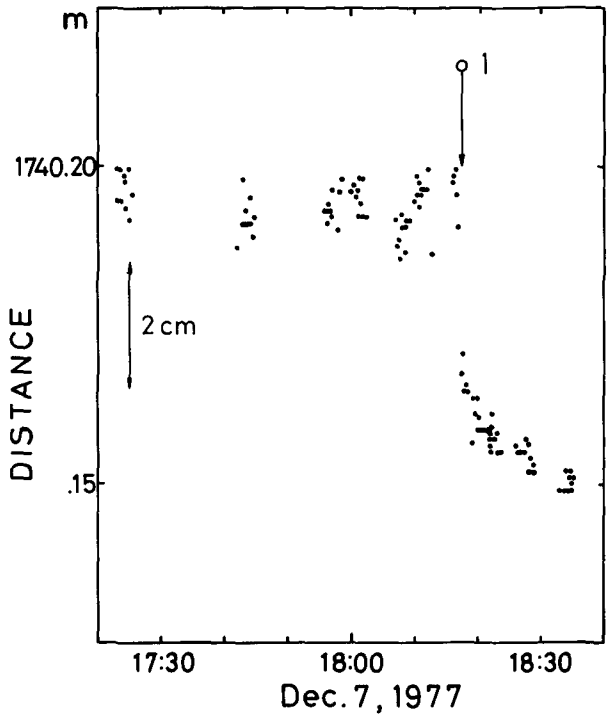


Fig. 10. A sudden change in distance associated with an earthquake.

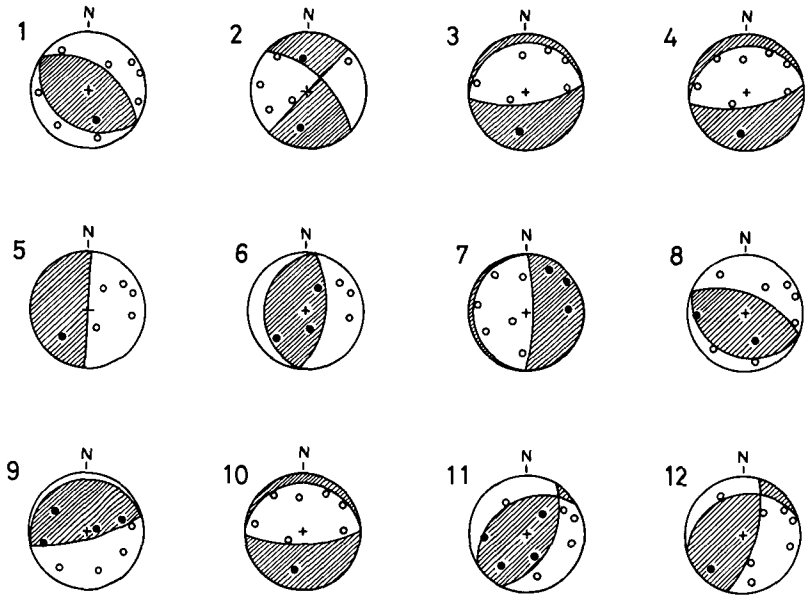


Fig. 11. Focal mechanisms of 12 earthquakes represented by the equal area projection of the upper half of the focal sphere. Tensional area is hatched.

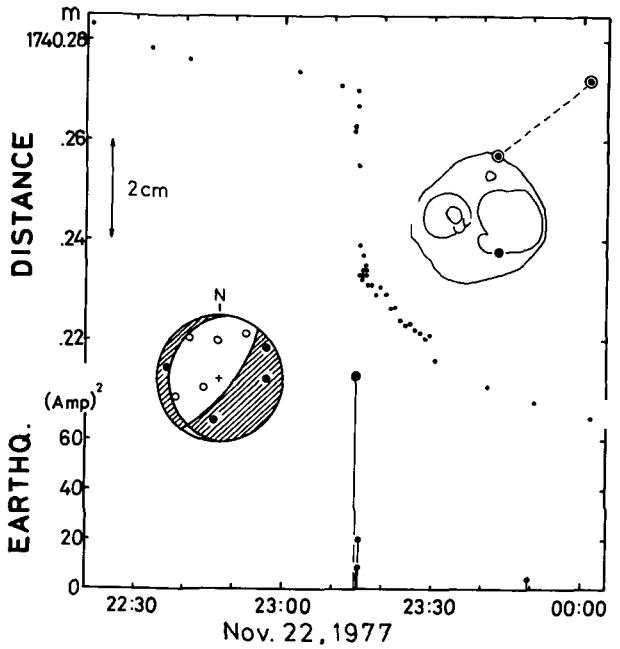


Fig. 12. Relation between the changes in distance and the occurrence of earthquakes on November 22, 1977.

地形に見られるものと一致しない．

Fig.12は，1977年11月22日に検出された地震に伴う辺長変化であり，地震前後はより詳細に記す．やはり，地震に伴う不連続的な辺長変化が明瞭である．また，震央位置と発震機構も同時に示す．なお，この地震の規模と辺長変化量とは，Fig.8にN印で示す．

ここで述べたように，発震機構に地域的な特徴があるということは，Fig.8で示した地震の規模と辺長変化量との関係で，大有珠付近および小有珠付近の地震に特徴的な相違が認められることに関係すると思われる．従って，辺長変化量は，地震の規模に比例する場合(大有珠付近に起こる地震)もあるが，データが少ないため，必ずしも一義的に言えない．

Ⅳ．ま と め

以上の議論をまとめると次のようになる．

1．外輪山北側のHK－NR 間の辺長短縮率の時間変化と地震活動の消長（地震エネルギーおよび頻度）との間に良い相関がみられる．

2．外輪山東側のMA－ER 間およびSS－ER 間の辺長短縮率の時間変化は高度角測定による火口原内新山の隆起率の時間変化および地震活動の推移とよく対応している．

3．上記HK－NR 間の辺長をほぼ連続的に約44時間測定を繰り返した結果，辺長は一定率で変化しているのではなく，地震とともに不連続的に短縮している．

4．個々の地震の規模と辺長変化量との関係は，大有珠付近に震源をもつものでは，規模とともに変化量が増大するようであるが，その他の地震については，データが少ないのではっきりしたことは言えない．

5．個々の地震の発震機構には地域性がみられ，小有珠北部のものは，主にB軸を北東－南西方向に持つ逆断層型，大有珠付近のものは，主にB軸をほぼ東西方向に持つ正断層型であり，このことは，4．で述べた辺長変化量が地震の発生する場所にも依存することに関係してくると考えられる．

6．HK－NR 間の測線付近にある外輪山北東麓の傾斜連続記録は，微視的にみると辺長変化の準連続記録と良い対応が認められる．

これらのことから，前述の辺長変化は有珠山の広範囲の変動の一面であると考えられる．地下のマグマは上昇しているに違いないが，これは一様に上昇しているのではなく，階段状に上昇している．その際に地震が起こるものと考えられる．

謝　辞

この報告をまとめるにあたり，終始御指導していただいた横山泉教授，ならびに有益な議論をしていただいた岡田弘博士に合わせて御礼申し上げます．また，貴重な資料を提供していただいた気象庁の関係各位に深謝します．

なお，計算は北海道大学大型計算機センターのFACOM230－75によった．

文　献

北海道大学理学部有珠火山観測所，1978a．1977年有珠山噴火の地震計測学的調査．1977年有珠山噴火による災害調査，24-29．

北海道大学理学部有珠火山観測所，1978b．計器観測による有珠山頂火口原の地殻変動(1978年1月～3月)．火山噴火予知連絡会報，**12**，6-8．

KASAHARA, K., A. OKADA, M. SHIBANO, K. SASAKI and S. MATSUMOTO, 1966. Electro-optical measurement of horizontal strains accumulating in the swarm earthquake area (2). *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44**, 1715-1733.

気象庁火山機動観測班・札幌管区気象台・室蘭地方気象台，1978．有珠山噴火に伴う地震活動と地震のEnergy（その2）．火山噴火予知連絡会報，**12**，26-28．

村松郁栄，1964．Magnitudeの定義式について．地震，第2輯，**17**，210-221．

横山泉・勝井義雄・大場与志男・江原幸雄，1973．有珠山－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，1-254．