HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	1977－78年有珠山の群発地震にみられる震源集中域
Author(s)	西村, 裕一; 岡田, 弘
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 49, 23-30
Issue Date	1987-03-30
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.49.23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14155
Type	departmental bulletin paper
File Information	49_p23-30.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
No. 49, March, 1987, p. 23−30

1977−78年有珠山の群発地震にみられる震源集中域

西村裕一
北海道大学理学部地球物理学教室
岡田弘
北海道大学理学部有珠火山観測所

(昭和61年11月25日受理)

Detailed Structure of Volcanic Earthquake Concentration at Mt. Usu in 1977−1978

By Yuichi NISHIMURA
Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University
Hiromu OKADA
Usu Volcano Observatory, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received November 25, 1986)

Hypocenter of cluster-forming earthquakes was studied in detail using the P-arrival data set of volcanic earthquakes at Mt. Usu during 1977−1978 activity. Cross-correlation coefficients of P-arrival times for all set of pairs of earthquakes were compared with each other, in order to evaluate concentration of hypocenters. The present study shows complete lack of earthquakes in the "earthquake free zone", which has been recognized in the previous studies. Shallow seismicity (depth of about 1 km bsl.) of cluster-forming quakes delineate well the U-shaped fault zone. Migration of hypocenters of clusterring events is also clearer the former one. The shape of each cluster is approximately ellipsoid and its longer axis always vertical and 3−4 times longer than the shorter axises. However, we still argue that this may not real one, because numerical experiments using random error contamination in P-arrival times indicate similar distribution.

I. はじめに

1977年8月，有珠山は32年ぶりに大規模なデイサイト質の軽石噴火を起こした．噴火活動は1978年には水蒸気爆発，マグマ〜水蒸気爆発へと発展し，山頂火口原を隆起させ新山を生成した．地殻変動，地震活動に代表される噴火を伴わない火山活動は，1982年まで継続し，特に有珠山火口原内およびその周辺の狭い領域内(約2 km×2 km)に集中して発生した地震の総数は，1982年3月の活動終息までに，有感地震22,092個 (M≧2.7) を含む194,971個 (M≧0.75) に達している．

有珠山周辺には噴火活動初期から北海道大学理学部有珠火山観測所 (UVO) により地震観測網が設けられ，地震活動について数多くの興味深い特徴が調べられている (和野・岡田，1980；YOKOYAMA *et al.*, 1981；OKADA *et al.*, 1981；原田，1981；梅原，1982)．まず，比較的規模の大きな地震群 (M>3.5) は，U字型の主断層の二ヶ所の屈曲部に集中して発生し，この断層に沿う隆起運動に調和的なdip-slip型の発震機構を示すことが明らかになっている．より小さな地震群についても，震央は火口原内に一様に分布するのではなく，いくつかの群をなしながらドーナツ状に分布し，中央部には地震空白域が存在する．それ

ぞれの群を構成する地震の発震機構は同一であり，明らかに波形の相似な地震群（Earthquake Family）をなす場合が顕著である．こうした結果からも，有珠山の群発地震を震源集中域あるいは Earthquake Family に着目して検討し，それらの活動度やその時間変化を調べることは，火山活動に直接関係していると思われる群発地震の発生様式を解明するために必要であろう．しかしながら，おびただしい数の地震すべてを観測波形から分類することはきわめて困難であることが予想される．また，震源決定を主目的にした観測では重要な規模の大きい地震は振り切れていて使えない．本論文は，次章に示す簡易な方法により巣をなす地震群のみを一定の基準に基づいて選出し，それらの分布について考察したものである．

II. 同一観測点のデータに基づく震源分布

今回用いたデータは，有珠火山観測所で定常業務で読み取られたP波初動時刻である．観測期間中に地震観測点の新設・移動やテレメータ装置の変更がしばしば繰り返されたので，データの質は変動が著しい．今回の研究では機器の変更に伴う遅延時間を出来るだけ正確に補正し，なるべく同一の観測点の組み合わせを用いることにより，データセットの均質化を図った．

UVO の地震観測点分布を Fig. 1 に示す．震源決定はP波初動到着時を用い逐次近似法により行われた．その際，媒質は無限均質，P波速度 3 km/sec を仮定した．以下の議論において用いた震源は，走時残差の RMS が 0.08 秒以下であり，遂次近似回数が 3 回以下であるものに限った．1977 年 10 月から 1978 年 12 月の各月毎の震央分布を Fig. 2−a に示す．任意の 8 点以上の観測点で初動が読まれているものすべての震央分布である．これらは有珠火山観測所により従来求められているものにほぼ等しく，地震計の移設や欠測等により震源決定に用いる観測点の組み合わせは一様ではない．こうした場合，初動が正確に読まれていても観測点の組み合わせにより，震源に系統的なずれがあらわれることは当然予想され，震源集中域の同定には注意が必要である．そこで，なるべく同一の観測点の組み合わせを用いて求めた震源分布を以下において議論する．

Fig. 2−b に示した震源は，各月毎に一定の観測点の組み合わせで求めたものである．観測点の新設・移設・廃止のため，調査した全期間を通して同一の観測点組合せを用いることは出来なかった．ここでは，全期間通して用いることが出来た観測点は，6 点である（NRM, KON, KIT, GEN, OHD, SHO）．6 点では震源決定に大きな片よりが生ずることが解っており，観測点数が少な過ぎるので，1977 年 10 月～11 月では SRM を追加し 7 点，1977 年 12 月では SRM, MAT を追加し 8 点，1978 年では一年通して MAT, UVO を追加し 8 点とした．

銀沼火口からの 1978 年の噴火活動を震源分布から検討するためには，観測点組合せをなるべく一定にする必要があり，銀沼噴火で破壊され 1978 年 8 月末より移設を余儀なくされた SRM（南外輪山）は，震源決定，特に深さの決定に重要である事は明白であるが，ここでは使用しなかった．この結果を先の

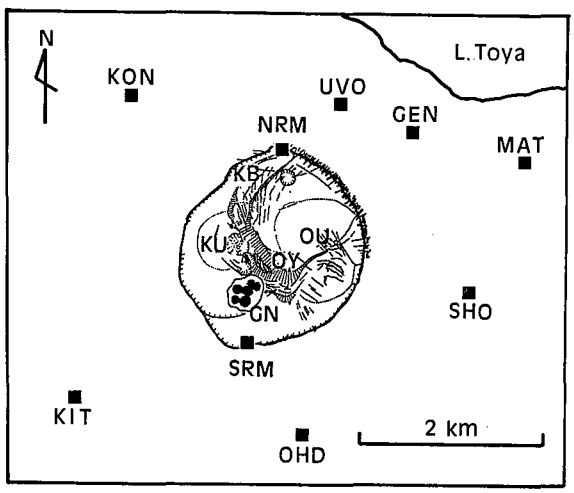


Fig. 1. Topographical sketch map of the summit crater of Mt. Usu (KATSUI and NIIDA, unpublished data) and seismometric observation net operated by Usu Volcano Observatory (UVO). OU=Oo-Usu lava dome ; KU=KO-Usu lava dome ; KB=Kita-Byoubu Yama (NW somma peak) ; OY=Ogariyama (cryptodome) ; GN=Gin-Numa crater opened in July, 1978. Two stations are located on the summit region ; SRM (south rim) and NRM (north rim). All other stations are also labelled by 3 letter code.

Fig. 2−aと比較すると，地震数が4分の1に減る月もありデータのかなりの絞り込みをしたにもかかわらず，震源分布に著しい改良は認められない．とりわけ地震空白域のなかに相当数の地震が分布していることが解る．

III. P波初動到着時の相関を用いた震源集中域

以上の議論で，単に同一の観測点の組み合わせによる方法では震源構造の詳細を知ることが出来ないことが解ったので，震源集中域をなす地震のみを同一の基準で選出する事を試みた．任意の二つの地震の初動時刻の相互関係数を求め，相互に比較することにより，量的な評価を行った．この評価は同一の観測点のデータに基づく必要があるので，Fig. 2−bのデータセットを用いた．一月毎の地震全ての組合せについて相互相関係数を計算した．そののち，個々の地震について，相互相関係数が一定基準値（C_0）以上を示す地震が各月毎に幾つ存在するかを求め，その数が一定基準値（N_0）以上であるか否かを調べた．

C_0およびN_0の幾つかの組合せについて震源の集中度の評価を行った．ここではC_0を0.995とし，N_0=1 (Fig. 2−c)，N_0=2 (Fig. 2−d) およびN_0=3 (Fig. 2−e) の場合について得られた震央分布を示す．震源集中域の存在とそれらの時間的な発展過程がより明瞭に識別できるようになったこと等，従来指摘されていた有珠山の震源分布についての幾つかの重要な特徴がより明らかになったことが解る．

例えば全期間を通じて地震空白域が存在し，その中には震源集中域は全く認められない．従来の研究結果では，震源決定において用いる観測点数・P波走時残差のRMS・遂次近似回数に制限を加えることで，より詳細な震源分布構造を求めている．(例えば，OKADA *et al.*, 1981)．その場合には，どうしても地震空白域は完全な空白とならず，幾つかの地震を含んでいる結果となっていた．空白域内に分布している様に見える地震は，おそらく初動読み取り誤差の影響であり，実際には空白域は全く地震が発生していない場所であることが推測されていた．実際同じ発震機構を持つ地震群や波形の相似な地震群を抽出して，その震源構造を見た場合には，地震群は完全な空白域を形成している(原田，1981)．しかし，扱われたデータはごく一部であり，振幅の振り切れた比較的大きめでより重要である地震群まで平等に扱うことは出来なかった．今回用いた方法は，誤差の多いと思われる大量のデータ全てに対して，震源集中域の詳細を一定の基準で極めて簡単な手法で評価していることになる．もちろん，この結果から空白域には全く地震が発生していない事を結論することは出来ないのは言うまでもない．

震源集中域は幾つかのはっきりした孤立した巣になっており，その大部分は空白域の周囲をドーナツ状に取り囲むように点在している．ドーナツ状分布からはずれる地震の巣としては，1978年1月に見られる小有珠西部の3つの小規模な群，および1978年2月から発達し5～6月に極めて顕著になった東外輪山とU字型断層が交差する地域の地震群の二例のみである．前者の活動は，地震活動や隆起活動が急増し，規模の大きな地震がU字型断層の右側屈曲部に発生する正断層型のOU-Familyから，左側屈曲部の逆断層型のKB-Familyへと転換した時期(梅原，1982)にやや先駆しており，空白域の内部に貫入したマグマが新たに北西方向をほぼ水平に押し始めた先駆現象として興味がある．東外輪山の活動は，その詳細が西村（1985, 1986）により検討されている．

各集中域の相対的活動度の時間的推移には顕著な変動が見られ，活動の中心は小有珠周辺の南北の二つの集中域から，左回りに北びょうぶ山方向へ，および右回りにおがり山・大有珠方向へと移行している．震源のこの移動現象は，マグマの貫入により非対象なU字型断層を形づくっていくことと調和的であり，従来の結果（OKADA *et al.*, 1981）と矛盾しない．

IV. 震源集中域の深さ分布

一般に震源の深さの精度良い決定には，震源から真上あるいは真下へ射出された波を観測することが重要である．上で議論した地震集中域の3次元的な構造を精度良く求めるためには，震央位置になるべく近

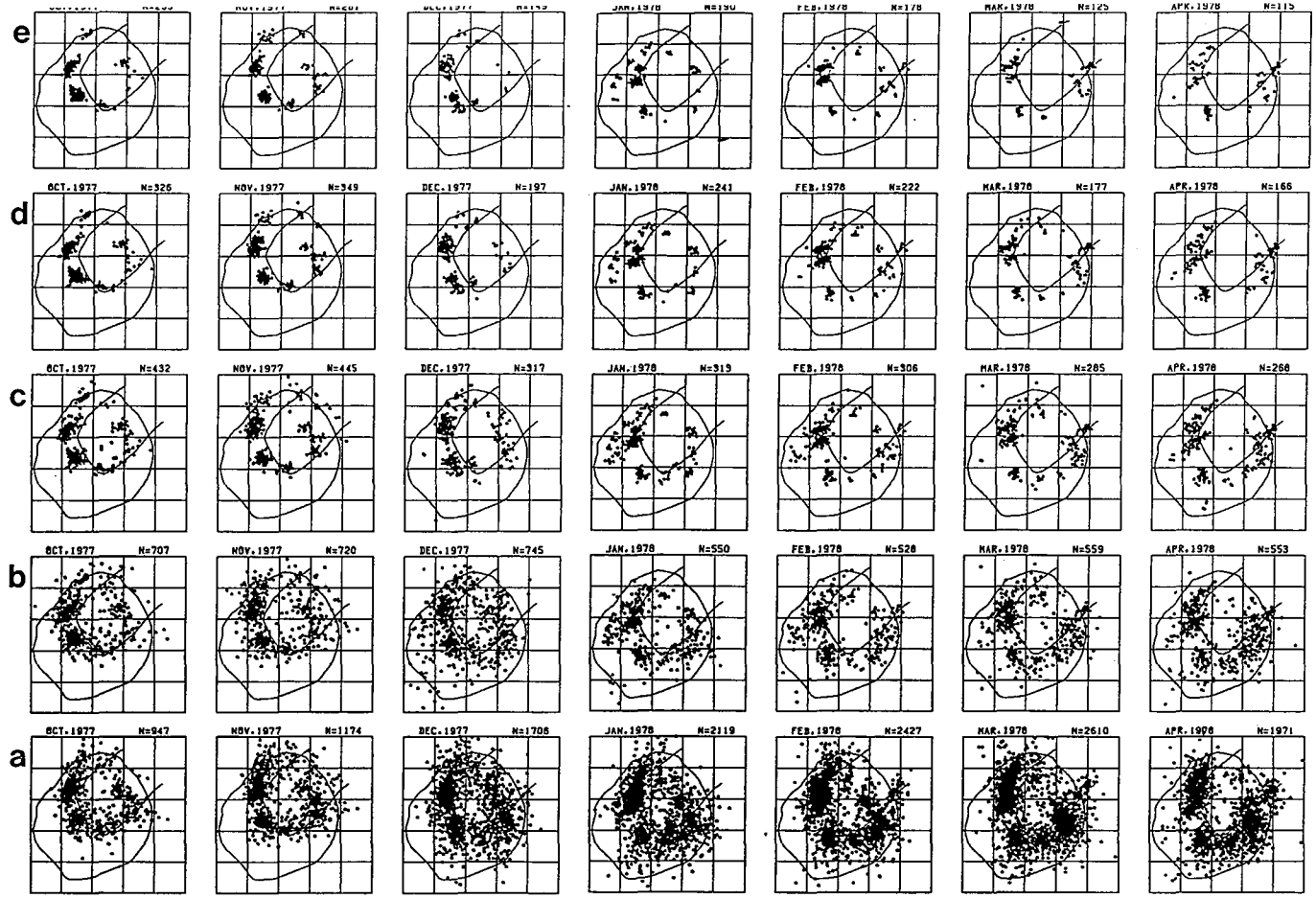
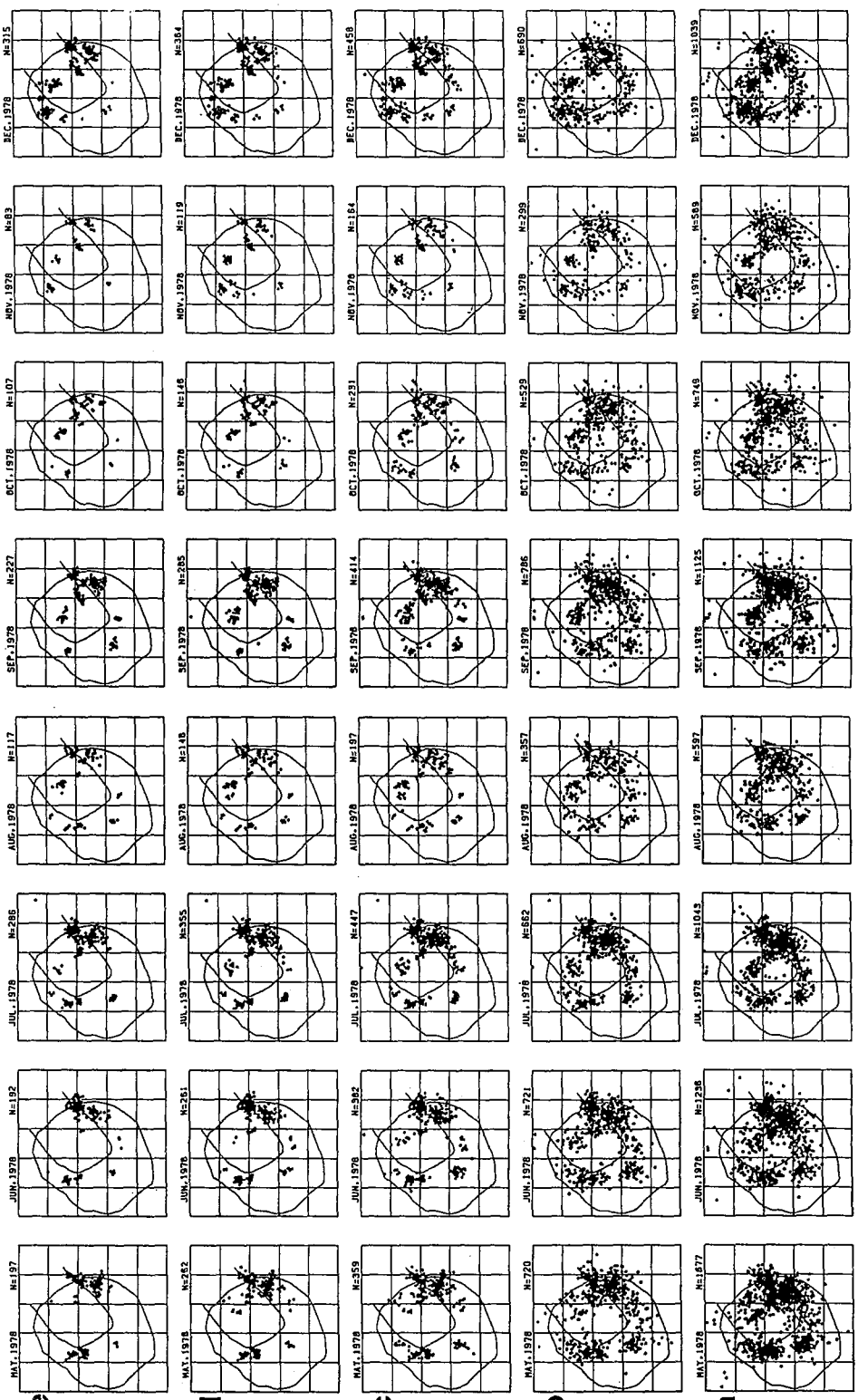
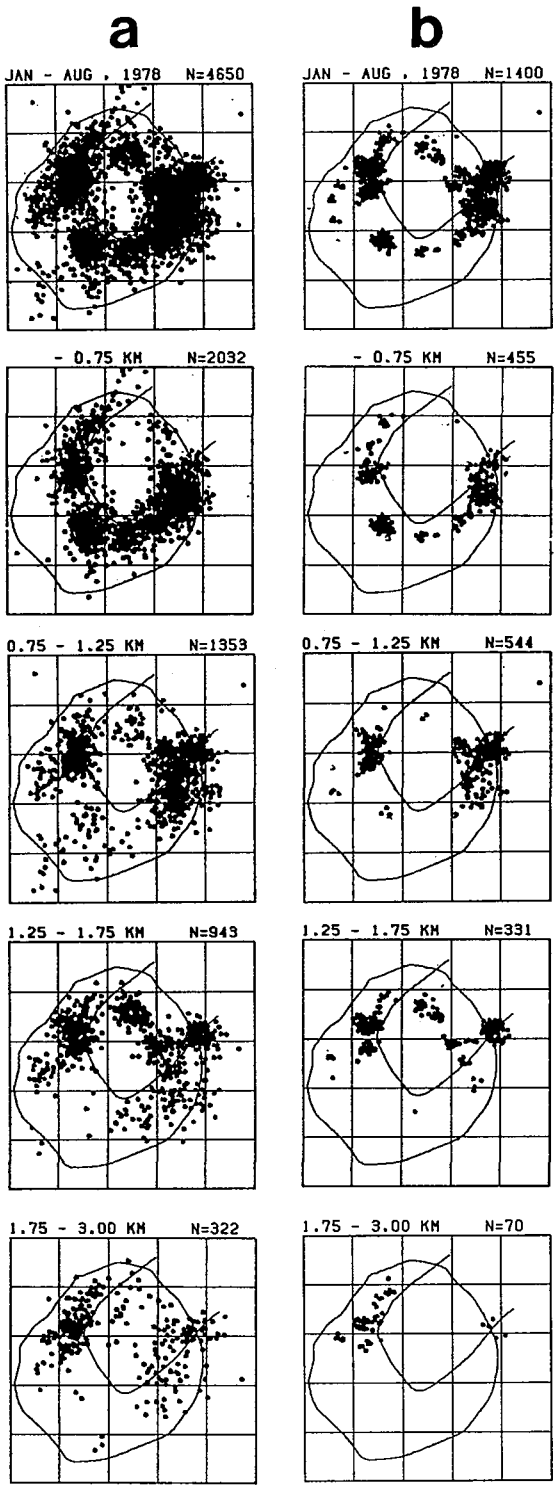


Fig. 2. Monthly display of epicenter for cluster-forming earthquakes from October. 1977 to December, 1978. The mesh interval in the map is 0. 5km. (a) indicates all epicenters which are determined from any set of 8 or more stations. For (b)−(e), station set is always fixed for each month for same station set. 6 stations (NRM, KON, KIT, GEN, OHD, SHO) are always used. For Oct−Nov, 1977 SRM station is additionally used for hypocenter detrmination. For Dec, 1977 SRM and MAT, for throughout 1978 MAT and UVO are additionally used respectively. (b) indicates the epicenter based on this station set. In order to clarify the more detailed clusterring structure, hypecenter selection was made by comparing cross-correlation coefficints of the P-arrival times for all set of a pair of earthquakes in earch month. When the number of earthquakes with which correlation coefficient shows above the threshold level of 0.995, is grater than or equal to N_0, that quake is consideed to be forming a specific cluster and plotted on the map. For (c), (d), N_0


a
b
c
d
e
MAY.1978 N=1677
JUN.1978 N=1238
JUL.1978 N=1043
AUG.1978 N=597
SEP.1978 N=1125
OCT.1978 N=749
NOV.1978 N=589
DEC.1978 N=1039
MAY.1978 N=720
JUN.1978 N=721
JUL.1978 N=662
AUG.1978 N=357
SEP.1978 N=796
OCT.1978 N=529
NOV.1978 N=299
DEC.1978 N=690
MAY.1978 N=359
JUN.1978 N=982
JUL.1978 N=447
AUG.1978 N=197
SEP.1978 N=414
OCT.1978 N=231
NOV.1978 N=184
DEC.1978 N=458
MAY.1978 N=262
JUN.1978 N=261
JUL.1978 N=355
AUG.1978 N=148
SEP.1978 N=285
OCT.1978 N=146
NOV.1978 N=119
DEC.1978 N=364
MAY.1978 N=197
JUN.1978 N=192
JUL.1978 N=286
AUG.1978 N=117
SEP.1978 N=227
OCT.1978 N=107
NOV.1978 N=83
DEC.1978 N=315



い観測点を重視して深さを決定する必要がある．観測点の組合せが同一で，かつ震源域に近い南外輪山(SRM)の観測点が使用できる1978年1月から8月のデータについて，震源の深さの吟味を行った．震央を前章で得られたものに固定し，SRMのデータを追加して深さのみを再決定した．この際，外輪山上の観測点であるNRMおよびSRMについては，データに他の観測点の2倍のウエイトをおいた．なお，震源の深さの時間変化については，今回は検討を行わなかった．

震源の深さ別分布をFig. 3に，垂直断面図をFig. 4にそれぞれ示す．用いられたデータは，顕著な震源集中域を示す地震群 (Fig. 2−e, $N_0=3$, $C_0=0.995$ の場合) および同一観測点の組み合わせで決定された全ての地震群 (Fig. 2−b) である．震源集中域のみ表示することにより，地震空白の三次元的微細構造がこれまで得られている震源分布と比較してより明白に表示されている．各地震集中域はそれぞれ特徴的な深さを示している．1.25 kmより浅い地震群はU字型断層に沿って特徴的な分布をしている．深さ1 km程度の震源は，小有珠の北および大有珠東部に集中して，全地震活動中最も集中度の著しい部分を構成しており，一部は更に深部へ達している．深さ約1.5 kmの図では上記の他北西～南東方向の明瞭な直線状の分布が認められる．更に深い地震は小有珠北からU字型断層に沿って北東方向にのびる分布と，東外輪山の集中域に限られている．

震源の垂直断面図に見られるように，震源集中域はそれぞれ深さ方向が水平方向の3～4倍の楕円球状の分布となっており，全て深さ方向に垂直に長い分布を示している．実際の震源分布が垂直方向に長いものか，あるいは深さの決定精度が悪いためか即断は出来ない．簡単な数値実験によれば，有珠山の観測網でP波初動読み取りにランダ

Fig. 3. Hypocenter distribution of the cluster-forming earthquakes (for case (e) in Fig. 2) for four depth levels (b), and that of all earthquakes determined by the same station set (a). Note the complete lack of earthquakes in the "earthquake free zone" for the clusterring events. Shallow seismicity clearly delineates the U-shaped fault zone.

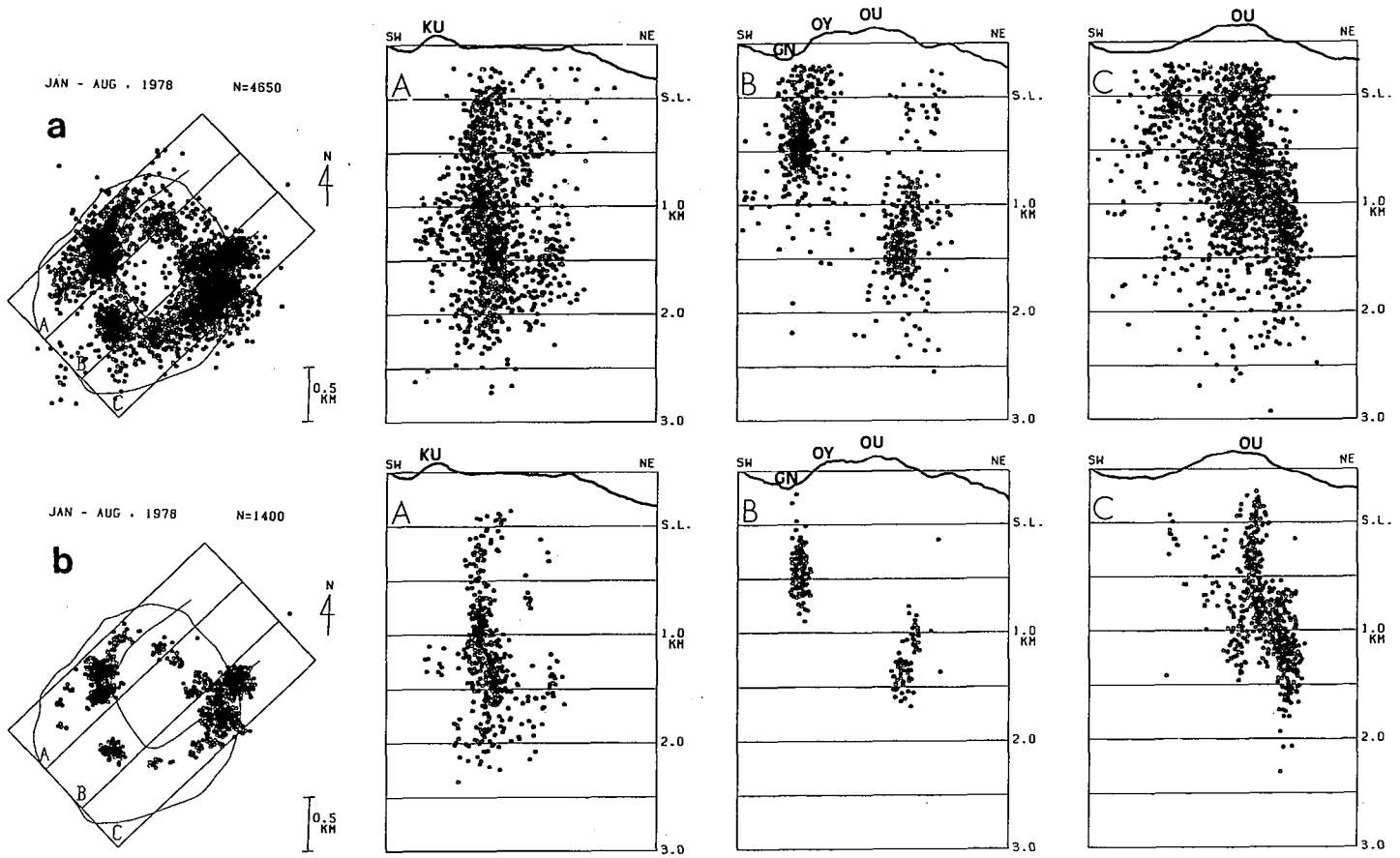


Fig. 4. Vertical cross section of the clusterring earthquakes (for case (e) in Fig. 2), and that of all earthquakes determined by the same station set.

ムな誤差を与えた場合，得られる震源分布は常に垂直方向に3～4倍長いものとなっている．このような効果が得られた結果に影響している事は十分考えられるので，結果の解釈においては注意が必要である．

V. ま と め

1977年から1978年の有珠山の噴火活動期に発生した地震群の震源構造の詳細を知る目的で，できるだけ均質なデータセットを用い，さらにデータ間のP波初動の相互相関係数を求めることにより震源集中域の同定を試みた．その結果，震源集中域の分布について以下の結論を得た．

1）初動のデータの簡単な相互相関法により，得られた結果は大局として従来のものと大きく異なるものではないが，震源集中域についてより微細構造が明確になった．

2）地震空白域の中には震源集中域は認められない．震源集中域は主に空白域の周囲に沿って点在し，これから外れる集中域は，1978年1月に見られる小有珠西部の3つの群および1978年2月から発達した東外輪山とU字型断層が交差する地域のみである．

3）各震源集中域の相対的活動度の時間的推移には顕著な変動が認められる．

4）震源集中域を構成する地震の深さをより精度良く決定する事を試みた．各震源集中域は3～4倍の垂直に長い分布を示すが，深さの決まりにくさのためかもしれない．

有珠山においてはEarthquake Familyに象徴される，同一の発震機構と狭い範囲の震源域を持つ地震群の活動が顕著であり，全体的な地震活動は第一近似的には震源集中域に代表されると見なせる．一方，有珠山におけるマグマ本体の位置および形状と地震活動との関連については幾つかのモデルが提唱されているが（原田，1981：KATSUI *et al.*, 1985），今回得られた震源集中域の分布と必ずしも調和的であるとはいえない．こうしたモデルは震源分布の詳細が決定的な重要性を持っており，今回の結果でやや詳細が明らかになってきた．個々の地震の見直しを含めなお検討の余地があるものと思われる．

謝辞 言うまでもなく，この研究は有珠火山観測所で得られた資料に基づくものである．噴火当時より苦難の観測にあたってきた所長の横山教授並びに当時観測所員だった渡辺秀文氏（現東大伊豆大島火山観測所助教授），現所員である森済助手，前川徳光技官に深く感謝の意を表する．

この研究は有珠山の活動資料のデータファイルを整理する目的で始められたものの一部である．データ解析には北海道大学大型計算機センター（課題番号A 10170）を使用した．

文 献

原田 徹，1981．発震機構からみた有珠火山応力場．火山第2集，**26**，93－110．

KATSUI. Y., H. KOMURO and T. UDA, 1985. Development of Faults and Growth of Usu-shinzan Cryptodome in 1977－1982 at Usu Volcano, North Japan. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser.* IV, **21**, 339－362.

西村裕一，1985．Earthquake Familyの定量的評価—有珠火山群発地震の事例解析—．地震学会講演予稿集，**1**，136．

西村裕一，1986．火山性地震の高精度震源決定—Cross-spectrum法によるEarthquake Familyの解析—．火山学会講演予稿集，**1**，5．

OKADA, Hm., H. WATANABE, H. YAMASHITA and I. YOKOYAMA, 1981. Seismological Significance of the 1977－1978 Eruptions and the Magma Intrusion Process of Usu Volcano, Hokkado. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **9**. 311－334.

梅原宏之，1982．有珠火山の活動に伴うearthquake familyの研究．北海道大学理学部修士論文．

和野健一・岡田 弘，1980．特異な時空・規模分布をもつ群発地震—有珠火山の例（1977－1978）—，地震2，**33**，215－226．

YOKOYAMA, I., H. YAMASHITA, H. WATANABE and Hm. OKADA, 1981. Geophysical Characteristics of Dacite Volcanism－the 1977－1978 Eruption of Usu Volcano. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **9**, 335－358.