



Title	有珠火山1910年の群発地震
Author(s)	岡田, 弘; OKADA, Hiromu
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 41, 53-63
Issue Date	1982-11-30
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.41.53
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14095
Type	departmental bulletin paper
File Information	41_p53-63.pdf



有珠火山 1910 年の群発地震

岡田 弘

北海道大学理学部有珠火山観測所

(昭和 57 年 8 月 13 日受理)

Earthquake Swarm Activity of Usu Volcano in 1910

By Hiromu OKADA

Usu Volcano Observatory, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received August 13, 1982)

Compilation of earthquake swarm activity associated with the 1910 eruption of Usu volcano is the main aim of this report. Sixtysix earthquakes have been identified and tabulated, in which twenty three are assigned their instrumental magnitudes ranging 4.3 to 5.5.

Time sequential development of this earthquake swarm is discussed in terms of the specific roles of three major earthquakes; the first large M4.7 event initiates sudden increased seismicity, the largest M5.5 marks the start of most intensive activity, and the second largest M5.3 occurs just before the eruption when number of events has decreased drastically. Seismic intensity data indicate that the first large event is presumably the large high-frequency earthquake, while the large events in the immediate pre-eruption stage are low-frequency earthquakes. Quite similar phenomena are found in the pre-eruption earthquake swarm development at Curacoa, northern Tonga, in 1973.

I はじめに

有珠山北麓に四十三山潜在円頂丘を生み出した 1910 年の有珠火山の活動に際して、大森房吉は可搬型微動計を現地（西紋べつ現伊達市、西湖畔現壮瞥町壮瞥温泉）へ持ち込み、火山性地震の現地計測を行った（Omori, 1911）。これは世界で最初の火山活動の現地計測とされてきた（久保寺, 1965；他多数）。

火山現地における地震計測は、しかしながら更に 22 年前、1888 年、大森の師に当る関谷清景が磐梯山、中の湯温泉において行った観測までさかのぼることができる（Sekiya and Kikuchi,

注 1) これは関谷による 1889 年 7 月熊本地震の際の最初の臨時地震観測（茅野・鈴木, 1981）より更に 1 年も早い。

1890).¹¹⁾ また関谷亡きあとを継いで二代目地震学教授となった大森自身、既に1902年鳥島噴火の際、現地へ簡単微動計を持ち込み約2時間の臨時観測を行う一方、同年東京本郷にて始めていた高倍率大森式微動計(倍率120倍)の記録を検討し、島民全滅のため詳細不明であった鳥島の火山活動を論じている(大森, 1902, 1903). このような背景の中で、現地観測(in situ observation)と遠隔定常観測(remote routine observation)の二面から火山活動の計測学的研究を行う手法が、1910年の有珠山の活動に本格的に適用され、近代火山物理学の確固たる基礎が築かれたものと考えられる。

この小論では、過去3回の、いずれも新山生成を伴った有珠山の火山活動を地震学の観点から比較検討するため、過去の資料や文献に基づき1910年の火山性群発地震活動の詳細を再整理することを目的としている。

II 資 料

個々の地震の発震時・震源位置・マグニチュード(M)の基本要素を知ることが望ましい。しかし、震源についての情報は乏しく、震度分布(Fig. 2)から最大地震の震央が有珠山体であろうことが示唆される程度である。有感地震数・札幌で記録された地震数・臨時現地計測による地震数は、毎時間当りの頻度としてOmori (1911)により詳しく与えられている。これらの資料は噴火と地震活動の推移を示す古典として良く知られている。一方、地震の大きさの定量的研究は不十分で、長い間最大地震のマグニチュードは6.5とされていた(宇津, 1968)。

当時有珠山に最も近い常設地震観測点は札幌であり、幸い同年設置されたばかりの大森式地動計(倍率30倍・東西動一成分)が多くの群発地震をとらえていた。この資料の詳しい検測も行なわれたはずであるが、現在原記象・原簿類は存在しない。しかし大森自身によって書かれたと推測される震災予防調査会報告68号(震災予防調査会, 1913)には、振巾別頻度分布表、および全地動振巾0.13 mm以上の主な地震23個の発振時・最大振巾の表が掲載されている。

今回まとめた火山性群発地震の表をTable 1に示す。札幌における地動振巾は、水平動合成片振巾に換算して、坪井の式($M=1.73 \log \Delta + \log A - 0.83$, $\Delta=70 \text{ km}$)によりマグニチュードを求めるのに用いた。震度は「北海道有感地震資料(1873年-1926年)」(札幌管区气象台, 1962 a)に基づいた。震度の資料は活動の前期程詳しく均質な資料とはいえないし、震度にもとづくMの推定は±0.5程度の精度であろう。RankはMの信頼度で、Aは札幌の地動振巾より求めた精度良いもの、Bは室蘭・伊達等近接地点で時刻と震度の報告あるもの、Cは地震の判別に若干の疑いが残るものである。

マグニチュード別累積頻度分布図をFig. 1に示す。震災予防調査会(1913)によると、札幌で全振巾0.05 mm以上41回、0.01 mm以上149回であるので、この二点を加えb値として0.80を得た。札幌では更に0.01 mm以下の振巾を持つ地震90個を報告している。一方この期間伊達では778回の有感地震を報告している。b値を仮定すると伊達有感は $M \geq 2.3$ に、札幌の地震数は $M \geq 2.95$ にそれぞれ対応していることになる。

Table 1. List of earthquakes which occurred at Usu volcano in 1910.

No.	Date	Time (JST= GMT+9)	Max. p-p amplitude at SAP (in mm)	Magnitude (MSAP)	Intensity (JMA Scale)	Rank Remarks
	MO DY	HR MN				
1	7 21	16:18	trace	3	I, Date	B
2	7 22	00:52		3 1/2	I; Date	B
3		01:00		3 1/2	I; Date	B
4		07:00		3 1/2	I; Date	B
5		09:30	trace	3 1/2	I; Date	B
6		11:07	trace	3 1/2	I; Date	B
7		11:34		3 1/2	I; Date	B
8		12:16		3 1/2	I; Date	B
9		13:06		3 3/4	II; Date	B
10		13:47		3 1/2	I; Date	B
11		13:57		3 3/4	II; Date	B
12		14:10		3 3/4	II; Date	B
13		14:26		3 1/2	I; Date	B
14		15:15		3 1/2	I; Date	B
15	7 23	00:15		3 1/2	I; Murooran, Date	B
16		02:00		4	I; Oshamanbe	C
17		11:00		3 3/4	I; Kutchan	C
18		11:16	0.32	4.7	IV; Murooran II; Kutchan	A 4 3/4 (Abe)
19		12:15		3 3/4	I; Kutchan	C
20		12:51		3 3/4	I; Kutchan	C
21		14:20		3 3/4	II; Murooran, I; Kutchan	B
22		16:07		3 3/4	II; Murooran, I; Kutchan	B
23		17:42		3 3/4	I; Murooran, Kutchan	B
24		20:14		3 3/4	II; Murooran, I; Kutchan	B
25		20:39		3 3/4	II; Murooran, I; Kutchan	B
26		21:40		3 3/4	II; Murooran, I; Kutchan	B
27		23:10		4	I; Kutchan, Shikabe	C
28	7 24	01:38	0.18	4.5	III; Murooran	A
29		07:15		4	III; Murooran	B
30		07:45		4	III; Murooran	B
31		08:21		4	III; Murooran	B
32		09:32		4	III; Murooran	B
33		11:30		4	III; Murooran	B
34		12:57	0.13	4.3	III; Murooran	A
35		13:17		4	III; Murooran	B
36		14:51	0.28	4.7		A

37		15:49	1.93	5.5	(Table 2)	A 5.1 (Abe) 5.3 (Utsu) 6.5 (SMO)
38		20:53	0.18	4.5		A
39		21:13	0.67	5.0		A
40		22:46	0.34	4.7		A
41		23:01	0.26	4.6	II; Muroran	A 4 3/4 (Abe)
42		23:17	0.50	4.9	II; Muroran, Shikabe, Fu- Kushima	A
43	7 25	01:22	0.22	4.6		A
44		02:00		4 1/4	II; Shikabe	C
45		02:15	0.31	4.7		A
46		03:08	0.13	4.3		A
47		03:40		4 1/4	III; Muroran	B
48		04:42	0.23	4.6		A
49		05:30		4 1/4	III; Muroran	B
50		05:49	0.14	4.4		A
51		08:40	0.19	4.5		A
52		08:50	0.46	4.9		A
53		14:36	0.23	4.6		A
54		16:40	1.33	5.3	III; Muroran I; Okujiri, Fukushima, Suttsu	A 5 (Abe)
55		18:27	0.35	4.8	III; Muroran	A 4 3/4 (Abe)
56	7 26	02:27	0.24	4.6		A
57	7 27	20:40	0.39	4.8	II; Shikabe, Okujiri	A 4 3/4 (Abe)
58	7 28	11:30	0.13	4.3		A
59	7 30	09:35		4 1/4 1/4	III; Muroran, I; Shikabe	B
60	8 19	19:15		4 1/4	III; Muroran	B
61		19:24		4 1/4	III; Muroran	B
62	9 6	14:06		3 3/4	II-III; Abuta, Sohbetsu	B
63	9 20	16:11		3 3/4	II-III; Abuta	B
64	9 30	02:40		4	IV; Date, Sohbetsu	B
65	12 11	07:05		4	IV; Abuta, Sohbetsu	B
66	12 24	18:05		3 1/2	I; Sohbetu	B

Amplitude date and intensity data are taken from the reports by Earthquake Prevention Committee (1913) and from those by Sapporo Meteorological Observatory (1962a), respectively. Magnitude is evaluated on the JMA standard basis using a single station seismogram (Omori type, $V=30$, EW-comp.) at SAP located about 70 km north of the volcano. Those instrumental magnitudes are rank A(good), others B(poor) or C(very poor). Note only those with $M \geq 4.3$ are complete data set.

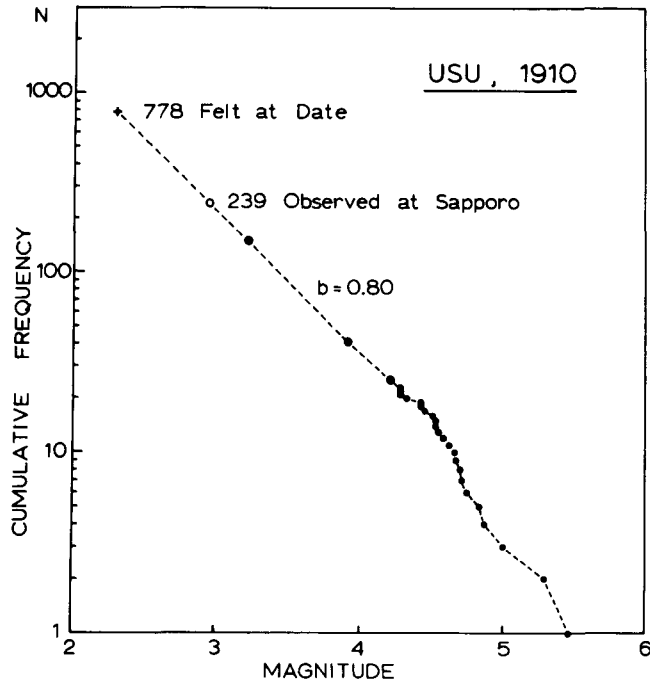


Fig. 1. Cumulative frequency versus magnitude relation for the earthquake swarm at Usu volcano in 1910.

III 最大地震について

噴火の約 30 時間前に発生した最大地震の M は 5.5 と見つもられた。この地震の M は、宇津 (1979) の再見つもりで 5.3 (震度分布と水沢の地動に基づく気象庁マグニチュード相当)、或いは阿部 (1979 a, b) の見つもりで 5.1 (大阪の地動に基づく表面波マグニチュード相当) と最近著るしく小さな値に訂正されていた。今回の値はこれらの値と比べてやや大きい。Fig. 1 の資料や昭和新山生成時の地震と比べて、 M 5 とするより M 5.5 の方が妥当であろうと思われる。また、札幌の地動に基づくことにより、過去 3 回の活動の比較も容易である。この地震の M がこのように M 5 クラスであることは、1663 年や 1822 年の噴火の際の地震の M も、6.5 に達していない可能性を示唆し、北海道内陸部の過去の大地震 ($M \geq 6$) 発生地帯は日高南部を除くと弟子屈地方のみとなろう。

最大地震の震度分布を Table 2 および Fig. 2 に示す。資料は札幌管区気象台 (1962 a, b)・渡辺 (1972)・横山他 (1973) に依った。当時の震度階は微・弱・強・烈で現在の気象庁震度の I・II~III・IV・V に対応する。資料間に若干の矛盾もあるが延べ 43ヶ所で震度が得られている。震度 V の領域は半径 4~5 km 以内の地点で、家屋三棟に被害、道路に亀裂が生じたり、振動による泥丘がみられた。

Table 2. Seismic intensity distribution of the largest earthquake at Usu volcano in 1910.

Origin time; 15h49m, July 24, 1910

Magnitude;

Intensity (JMA scale)	Locality
V	Sohbetsu T. (Sohbetsu-Onsen, Takinomachi, Higashikohan), Abuta T. (Honcho, Toyako-Onsen, Tsukiura), Date C. (Usu)
IV	Date C. (Central Part, Eastern Part, Mareppu), Sohbetsu T. (Kubonai, Benkei), Toya M., Toyoura T., Muroran C. (Sakimori), Kutchan T., Niseko T. (Kaributo)
III	Muroran C.
II-III	Noboribetsu T. (Horobetsu), Shiraoi T. Kuromatsunai T., Oshamanbe T., Setana T., Kitahiyama T. (Futoro), Assabu T., Shikabe T.
II	Minami-Kayabe T. (Isoya). Okushiri T., Kimobetsu T. (Shiribetsu)
I	Hakodate C., Matsumae T. (Fukuyama), Suttsu T. (Suttsu, Shimamaki, Benkei-Misaki), Furubira T., Tomakomai C., Mukawa T., Yoichi T., Iwanai T., Chitose C., Mori T., Yakumo T., Taisei T. (Kudo)

Inconsisten intensity data are reported between reference A (Watanabe 1972, Yokoyama et al. 1973) and B (SMO 1962a,b): Kutchan (A-IV, B-I), Setana (A-II-III, B-I).

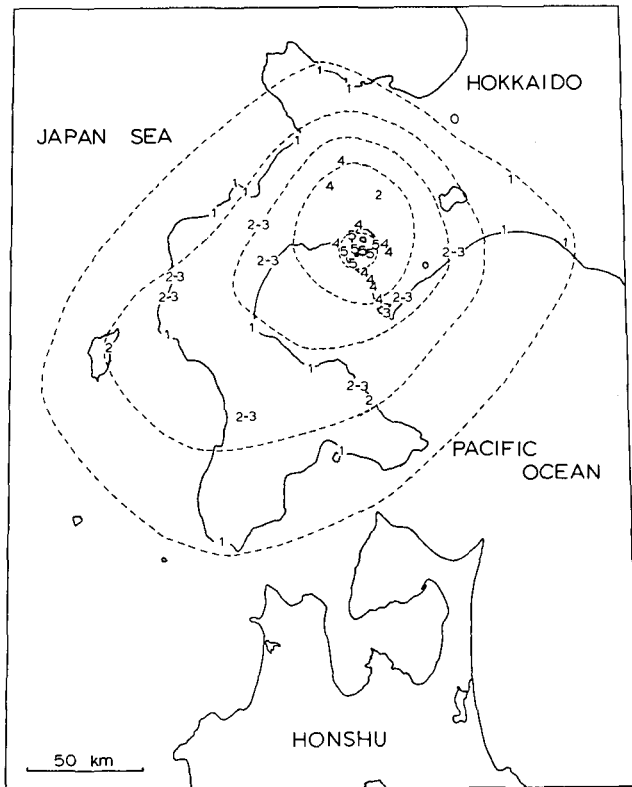


Fig. 2. Distribution of seismic intensities for the largest M5.5 earthquake of 15h49m, July 24, 1910.

IV 噴火前兆地震群の発展過程

群発地震の発展過程と噴火との対応をみてみよう (Fig. 3). 噴火は 7 月 25 日 22 時頃始まり、有珠山北麓に次々と 45 個の火口を開けた。図中右上の矢印はこれらの噴火を示す。下の MT 図 (Magnitude-time diagram) の添数字は、室蘭 ($\Delta=28$ km) における震度である。

Fig. 4 は札幌で観測された地震数と、伊達有感地震数の比 R の時間変化を示したものである。 R は最初 0.2 程度であったが、噴火開始時に向って著しい増加を示し 3~4 に達している。しかし前述したように R は、 $M \geq 2.95$ の地震数に対する $M \geq 2.3$ の地震数の比と考えられるはずで、たとえ b 値に時間変化を考えても $R < 1$ とならねばならない。これは、札幌で観測される大きな地震が、当初伊達で有感であったのに、噴火が近づくにつれて無感となってしまったものである。

この理由を資料の不完全さに求めることはできない。現地では 7 月 23 日夕刻には避難命令が出され、急遽派遣された係官や地元当局者は、地震活動のみが継続している状態を凝視していたはずである。一つの可能な説明は、「発生している地震自体の性質が噴火前に高周波地震(かたい地震)から低周波地震(やわらかな地震)へと変化した」という考えである。この場合パラメータ R は低周波地震発生割合を示す指標である。加速的な R の急増は、噴火時刻の予告を可能とす

USU (JAPAN)

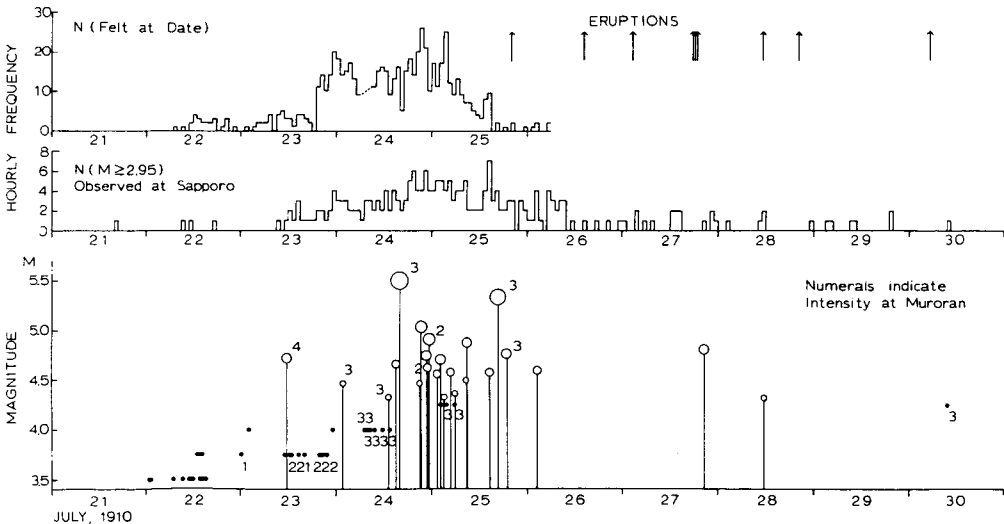


Fig. 3. Time sequence of earthquake swarm development at Usu volcano in 1910.

Note that three large earthquakes have their own significant roles in the swarm development: the first large $M4.7$ event initiates sudden increased seismicity, the largest $M5.5$ marks the start of most intensive epoch, and the second largest $M5.3$ occurred just before the eruption. Number of felt earthquakes decreases drastically toward the second largest earthquake and the eruption, while large events ($M > 2.95$) continue moderately. Intensity data indicate the first large event is a normal high-frequency earthquake ($M4.7$, $I=4$) and those in the later stage are low-frequency events ($M5$, $I=2-3$).

るものである。

Fig. 3 および Fig. 4 をみると、三つのMの大きな地震が、明らかに活動過程の節目となっていることがわかる。第1の地震（7月23日11時16分M4.7, No. 18）は室蘭で最大震度IVを与えている「最大の高周波地震」で、この地震を契機に地震数が著しく増加している。最大地震（7月24日15時49分, M=5.5）発生後は、伊達での有感地震数が急減しているものの、大きな地震（ $M \geq 3$ ）の集中的発生がみられる。室蘭での震度からみるとこれら大粒の地震は低周波地震であろう。噴火直前の有感地震数が顕著に落ち込んだ時点で、やはり低周波地震と思われる2番目に大きな地震（7月25日16時40分, M=5.3）が発生している。このように、Mの大きな三つの地震発生に規定された、噴火前兆地震群の法則的發展過程があったと考えられる。

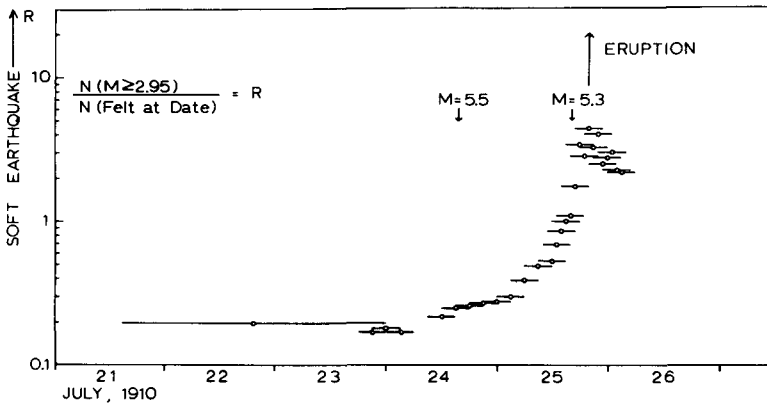


Fig. 4. Temporal variation of the factor R (Number of earthquakes observed SAP/ those felt at Date city).

V 瓜二つの活動——クラコア 1973 年

有珠山 1910 年の地震群と極めて類似の發展過程を辿ったものとして、1973 年トンガ諸島北部のクラコア環礁 (Curacoa Reef) 附近の海域で発生したデイサイト質軽石噴火の前兆となった地震群を指摘する。この活動は、現地での観察等には乏しいが、近代的な長周期地震計・短周期地震計の観測網や、ウェーク島のハイドロフォン網による水中音波等の豊富な資料が得られており、Gibowicz et al. (1974) および Latter (1976) が詳しく議論している。

彼等のまとめた資料に基づき、Fig. 5 に MT 図並びに地震頻度と噴火との対応関係を示す。Fig. 5 と Fig. 3 を比べると、両者の類似点は次のようになる。共に M5 クラスの地震を含む激しい活動であること。M の大きな 3 個の地震（必ずしも大きい方から 3 個の意味ではない）が活動過程の節をなしていること。始めの地震は地震数の急増直前、最大地震は活動最盛期前後、三番目の地震は噴火直前で既に地震数の減少した時期にそれぞれ発生している。有珠山 1910 年の活動は、クラコアの活動に比べ穏やかな水蒸気爆発であるが、地下浅部で活動したのは、クラコアと同様

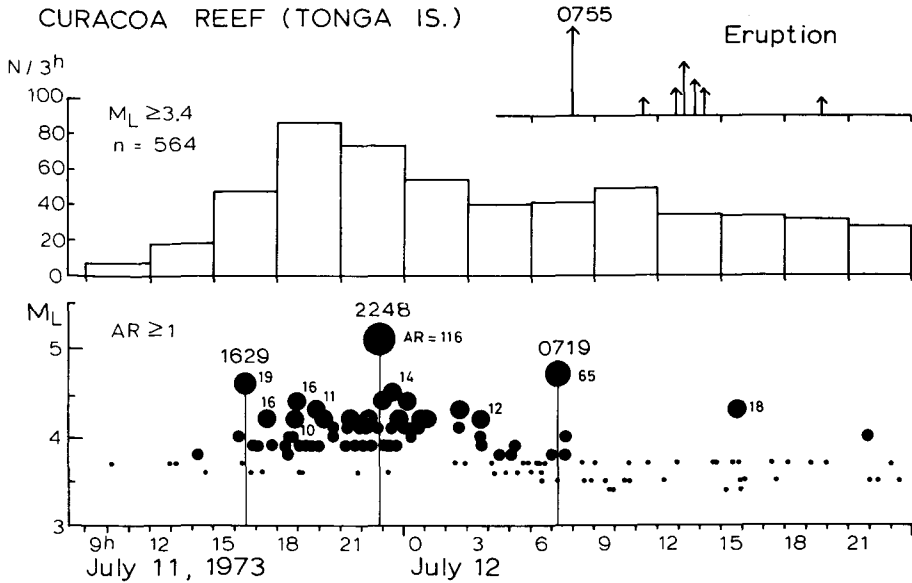


Fig. 5. Time sequence of earthquake swarm development at Curacoa Reef area in 1973. Note that three large earthquakes have their own roles in the swarm development : the first $M_L=4.6$ sudden increased seismicity, the largest $M_L=5.1$ during the most intensive activity and the second largest $M_L=4.7$ occurred just before the eruption when number of events had already decreased. Small attached numbers in the lower MT-diagram indicate AR-parameters, the predominance of long-period surface waves, at AFI. So, the first event is a normal high-frequency earthquake ($M_L=4.6$, $AR=19$) while the second largest one is certainly a low-frequency event ($M_L=4.7$, $AR=65$). Close similarity between the swarm developments at Cracoa 1973 and Usu 1910, assures the existence of a certain physical regularity in the pre-eruption earthquake swarms.

にやはり粘性の高いデイサイト質マグマであるという共通性もある。

Fig. 5 の MT 図で小さな添数字が付されているが、これらは Afiamalu (AFI) における AR パラメーター(長周期地震記録で表面波包絡線で囲まれた面積, 単位 cm^2)である。地震数急増に対応する 7 月 11 日 16 時 29 分の地震は $M_L=4.6$, $AR=19$ で高周波地震と考えられるのに対し、噴火直前の 12 日 07 時 19 分の地震は $M_L=4.7$, $AR=65$ となっており、長周期表面波の卓越する低周波地震であることがわかる。MT 図には AR パラメーターが 1 以上の規準に達している地震は全て示されているので、地震数の減少した 12 日 04 時頃以降の期間は、 $M_L < 4$ かつ $AR > 1$ の性質の地震はむしろ多発していることがわかる。これらも低周波地震であろう。このように二つの活動の間には著しい類似性が認められる。この類似性は、偶然や見かけ上のものではなく、法則性の反映とみなすことができよう。

最近、セントヘレンズとベズミアニィ両火山の大爆発の前兆現象が、互いに瓜二つという程良く似ていた事が指摘され、噴火前兆過程に法則性がある証拠として注目されている (Geophysical Program, 1980; 岡田, 1981; Okada, 1982)。既に確立されているもう一つの典型的な前兆過程、

「A型地震からB型地震へ」(水上, 1960 他)を含め, このような法則性が他に何種類存在するか, それらの典型を結び, 或いは隔てている要因は何か, の解明は当面の課題となっている。

VI 有珠山過去三回の活動比較

過去三回の有珠山の活動の比較を若干試みる。これら三活動については, 地震計の変遷はあったものの(大森式→ウィーヘルト→JMA 59型), 札幌における地震観測データが得られていたため, 極めて均質のマグニチュード資料で比較できる。Fig. 6 にマグニチュード別累積頻度分布を示した。昭和新山生成期の資料は, 1943年は, 気象要覧の振巾より求めた値, 1944-1945年は, 札幌管区気象台(井出・清野, 1980)の値を用いた。また, 1977-1980年の資料は, 北海道地震火山月報 1977.7-1980.12(札幌管区気象台発行)にもとづいた。

噴火前兆地震群(A, B, C)とドーム生成期の地震群(D, E)の違いは, Fig. 6 で極めて明瞭である。D, Eでは十分な数の資料数があるにもかかわらず non-loglinearity は顕著で, Gutenberg-Richter の関係 (Gutenberg and Richter, 1944) を満たさない。1910年の明治新山生成期にも地震活動は活発だったはず(Omori, 1911)であるが, DやEと同様の分布を示しただろう事を推測させる資料はない。一方, 噴火前兆地震群は三例ともほぼ log-linearity を満たしている。山腹噴火を導いた1910年および1943年~1944年の前兆地震活動は, M5クラスを幾つか含み, 1977年の場合(Mmax=3.7)と比べ著しくMが大きい。このことは, 成層火山の中央火道からの活動は, 山腹噴火に比べて容易で, 比較的小さなマグニチュードの地震活動で特徴づけられることを意味しているのかもしれない。成層火山でM5クラスの大きな前兆地震を伴う場合は, たとえ中央火道からの活動であっても, 山体崩壊(磐梯山・ベズミアニ・シヴェルチ・セントヘレンズ等)

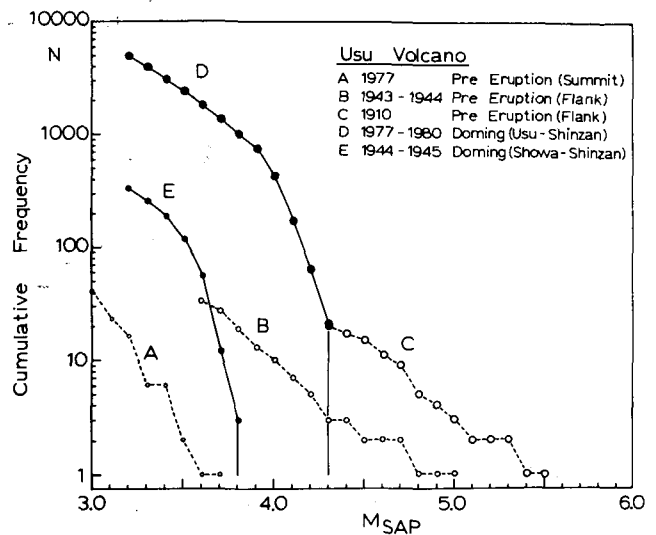


Fig. 6. Cumulative-frequency versus magnitude relation for the recent three activities of Usu volcano. Luckily, seismometrical observations cover those three activities at Sapporo ($\Delta=70\text{km}$), so the data are extremely homogeneous and can be compared precisely. Pre-eruption activities show roughly log-linear $N(M)$ relation. However, earthquakes in the post-eruption doming stage form a remarkable non-loglinear $N(M)$ relation. Twentyone events have the largest magnitude of 4.3 during 1977-1980, and largest twelve events are M3.7 or M3.8 during 1944-45. Recent seismic activity prior to the summit eruption is quite low, that may indicate the relative easiness of the eruption through the central vent system.

噴火前兆地震群は三例ともほぼ log-linearity を満たしている。山腹噴火を導いた1910年および1943年~1944年の前兆地震活動は, M5クラスを幾つか含み, 1977年の場合(Mmax=3.7)と比べ著しくMが大きい。このことは, 成層火山の中央火道からの活動は, 山腹噴火に比べて容易で, 比較的小さなマグニチュードの地震活動で特徴づけられることを意味しているのかもしれない。成層火山でM5クラスの大きな前兆地震を伴う場合は, たとえ中央火道からの活動であっても, 山体崩壊(磐梯山・ベズミアニ・シヴェルチ・セントヘレンズ等)

を導いたり、山体破壊に至っている(Okada, 1982)。1663年, 1779年, 1822年および1853年の有珠山の活動は全て山頂火口で起っており, 伴った最大地震はせいぜいM4~5 或いはそれ以下であったと推測される。古文書の記載もこれと矛盾しない。

謝 辞 マグニチュードの重要性を指摘した阿部勝征助教授の論文およびコメントがこの小論の契機となった。心から感謝します。気象庁の清野政明博士には資料(1944-1945のM値)の提供および議論いただきお礼申し上げます。

文 献

- ABE, K., 1979. Magnitude of major volcanic earthquakes of Japan 1901 to 1925. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, **6**, 201-212.
- 阿部勝征, 1979. 日本附近の地震(1901年-1925年)のマグニチュード. 地震, **32**, 341-353.
- GEOPHYSICAL PROGRAM UNIV. WASH., 1980. Eruption of Mt. St. Helens : seismology. *Nature*, **285**, 529-531.
- GIBOWICZ, S. J., J. H. LATTEr and G. K. SUTTON, 1974. Earthquake swarm associated with volcanic eruption, Curacao Reef area, Northern Tonga, July 1973. *Ann. Geofis. (Rome)*, **27**, 443-475.
- GUTENBERG, B. and C. F. RICHTER, 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **34**, 185-188.
- 井出信一, 清野政明, 1980. 1943年昭和新山生成時と1977年有珠山噴火時との地震活動の比較. 気象庁技術報告, **99**, 75-78.
- 茅野一郎, 鈴木保典, 1981. 年表(日本の地震学百年の歩み). 地震, **34**, 185-207.
- 久保寺章, 1965. 火山地震. 火山, **10**, 91-99.
- LATTEr, J. H., 1976. Variation in stress release preceding and accompanying a submarine eruption in northern Tonga. in "Volcanism in Australasia" Editor JOHNSON, R. W., Elsevier, 1-405, pp 355-373.
- 水上武・佐久間修三・茂木清夫・平賀士郎, 1960. 噴火と火山に発生する地震との研究(第三報). 火山, **4**, 133-151.
- 大森房吉, 1902. 鳥島破裂概報. 地学雑誌, **14**, 665-674.
- 大森房吉, 1903. 鳥島破裂概報. 震災予防調査会報告, **43**, 4-24.
- OMORI, F., 1911. The Usu-san eruption and earthquakes and elevation phenomena. *Bull. Imp. Earthg. Inv. Com.*, **5**, 1-38.
- 岡田弘, 1981. 二つのセントヘレンズ——大噴火前兆現象の科学. 地理, **26**(6), 40-50.
- OKADA, H., 1982. Comparative study of earthquake swarms associated with major volcanic activities. Arc volcanism, Ed. Shimozuru and Yokoyama, 1982 (in preparation).
- 札幌管区気象台, 1962 a. 北海道有感地震資料.
- 札幌管区気象台, 1962 b. 1611~1960年の北海道における地震活動. 気象庁技術報告, **20**, 1-96.
- SEKIYA, S. and Y. KIKUCHI, 1980. The eruption of Bandai-san. *Sci. Imperial Univ. Tokyo Japan*, **3**, 91-171.
- 震災予防調査会, 1913. 明治43年ノ有珠山噴火ノ「前キ揺レ」. 震災予防調査会報告, **68**, 128-132.
- 宇津徳治, 1968. 北海道およびその周辺の地震活動. 北大地物研報, **20**, 51-75.
- 宇津徳治, 1979. 1885年~1925年の日本の地震活動. 東大地震研彙報, **54**, 253-308.
- 渡辺茂, 1972. 新稿伊達町史(上). 1-778.
- 横山泉・勝井義雄・大場与志男・江原幸雄, 1973. 有珠山. 北海道防災会議, 1-254.