

噴 火 の 前 兆

特に浅間山の噴火と微小地震との関係

水 上 武

1. まえがき

噴火の著しい現象をしばしば目撃し、それによる災害は時には多くの人命に危害を及ぼし、各種の産業に大きい損害を与えることを現実を知る吾々にとって、その災害を軽減し、予防することの必要を痛感することは当然のことと云わねばならない。活動する危険の多い火山地帯を放棄するという消極的な方法も時には考えられないこともないが、日本の如く多くの人口を狭い国土に擁し、国土を百パーセント以上に活用することの余儀ない事情を考慮する時、到底このような消極的な手段を採用できないことは余りにも明白である。

そこで、噴火による災害の軽減防止の方策の探究を重要な問題として取り上げねばならない。その一つの有力な方法として噴火の発生を予知して生命財産を災害から護ろうと考えることはこれまた当然のことと云わねばならない。噴火を予知することは要するに噴火の前兆現象を捕え、噴火の発生と前兆現象との時間的な関係、更に両現象の量的な関係を明かにすることである。

問題を混乱させないために先ず噴火とは何を指すかを明白しておく必要がある。噴火とは粘性流体の熔岩或は固形噴出物が地下より地表に噴出する現象であると定義する。従って単に水蒸気や火山ガスなどの噴出する状態を噴火とは云わない。またここでは新しい熔岩が噴出する噴火は第一義的な噴火であるから主としてこの種の噴火を念頭に置いて考えることにする。固形噴出物として古い岩屑類のみを噴出する場合も勿論噴火の仲間に入るのであるが以下に述べようとする前兆現象について一般にほぼ同様な事が考えられるのでこの種の噴火について特に解説することを省略したい。また常時火口内に熔岩が露出している火山の噴火については、これらの熔岩が火口外に噴出する場合のみを噴火と呼ぶことにする。

2. 噴火の前兆現象とは何か

噴火の前兆として今迄に幾つかの地学的の現象が認められている。その主なものとして次の如きものが挙げられる。

1. 火山体内部及びその付近に群発する小地震及び鳴動

2. 火山及びその付近の土地の隆起、沈下、傾動、伸縮等の地形変動

3. 火口内の変動、噴煙、噴気の量、温度の変化

4. 火山及びその付近の地磁気、地電流の変化

これ等の前兆現象の中には特別に火山付近に於いて器械観測を行わなくても、有感覚の地震の頻発や、眼に見える程度に大きい地形変動によってその現象を認めることのできる場合もある。1911年及び1944年の有珠山の噴火や1914年の櫻島の噴火の場合はそのよい例である。しかしながら大部分の火山では、噴火前に有感覚な前兆現象は確認されないので、器械観測を常時行って、微小の現象を探究する必要がある。

然るに、日本に於いても、活火山のある各国に於いても整備された火山観測所は極めて少いために前兆現象についての観測資料が充分とは云えない。

噴火と云っても個々の火山に於いて噴火現象の性質が相異なるし、噴出熔岩の物理化学的の諸性質も相異なる。しかし、噴出熔岩を玄武岩質、安山岩質、石英安山質の3種に大別して見ると、噴火現象も略3つの型に分類されるし、また噴火に伴う諸現象や前兆現象についても上記の3種にその特徴を大別することができる。多くの場合石英安山岩質の熔岩を噴出するものは力学的な前兆現象が顕著であって有感覚の場合が多い。安山岩質のものは器械観測によって力学的な前兆現象が認められる場合が多い。これに反して玄武岩質熔岩を噴出する噴火では力学的な前兆現象が観測されることが極めて少なく、寧ろ電磁気現象等他の種類の前兆現象が見出されるのではないかと考えられる。以上の事は今迄に得られた少ない資料をもとにした時の一応の結論とも云えるであろう。

さて噴火の前兆については火山現象を研究する吾々として深い関心を持って常に注目しているのであるが、外見上噴火とその前に現われる何等かの現象の発生が一つ一つよく対応して見えるものでも、噴火との間に直接物理学的な因果法則を以て定量的に関係が明かにされる

段階に達していない。従ってこれ等の両現象の発生関係が多くの観測材料を統計的に取扱われ、確率的な関係によって論議されるものが甚だ多いのである。次に挙げる例も同様である。

3. 浅間山の噴火と微小地震との関係

浅間山の噴火と前兆現象との関係は土地の傾動の観測結果から議論したことがある。〔1〕その時、浅間山の噴火は一群となって数カ月の中に幾回も発生することが多いが、この噴火群に対してその1~2カ月前より土地の異常な傾動のはじまることが認められ、然も両者の発生関係は偶然のものとして確率が極めて小さいことが明かにされた。また微小地震も噴火群の発生する1~2月前より著しく増加することが認められ、これまた噴火の群に対する前兆現象と判断される充分な統計的な数値が与えられた。

ここには個々の噴火と微小地震とがどのような関係で発生しているかについて最も簡単な統計的な調査の1例を示そうと想う。

1934年以來浅間山の火口の東方1000杆の位置に設置された350倍の地震計で浅間山の微小地震を観測したがその間火山はしばしば噴火しその回数は数百回に及んでいる。

いま先ず浅間山に震源を持つ微小地震の毎日回数を $n_1, n_2, n_3, \dots, n_m$ とする。その10日づつの和 N を1日づらして重複和をつくる。即ち

$$\begin{cases} n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_{10} = N_{10} \\ n_2 + n_3 + n_4 + \dots + n_{11} = N_{11} \\ \vdots \\ n_m + n_{m+1} + n_{m+2} + \dots + n_{m+9} = N_{m+9} \\ \vdots \end{cases}$$

このようにして観測を開始した日から9日間には対応する N はないがそれ以後には、毎日に対応する夫々 N をつくることができる。即ち或る日の N は当日及びその前9日間に発生した浅間山の微小地震の和である。次に N の集団について、 N のどのような数値がどのような頻度で現われるか、つまり N についての頻度分布 (F) を調べる。 N の間隔つまり地震の間隔をいろいろに採ってその中にある頻度をつくり得るのであるが、ここには微小地震の回数は火山体の内部の活動状態を示すものと考えられるから、この状態の変化をよく示すと考えられる切り方として N の間隔が等差級数的に増すような $(0), (1, 2), (3, 4, 5), \dots$ のような間隔に取って見ることにする。その結果は第1表及び第1図に示してある。一方この分布を N の平均値とその標準偏差で現わされる、ポリヤ・エツゲンベルガーの分布函数に入れて計算された頻度 (F_c) も第1表及び第1図に示してある。

次に N の集団から噴火の発生した前日の N だけを取り出した集団について前と同様にその頻度分布 (F')

第1表 全期間に亘る N についての頻度分布

Grade	N	F	F_c
(階級)	(地震数)	(全期間についての頻度 観測値)	(全期間についての頻度 計算値)
0	0	82	247
1	1, 2	423	458
2	3~5	778	567
3	6~9	744	602
4	10~14	534	582
5	15~20	514	528
6	21~27	470	459
7	28~35	347	386
8	36~44	265	317
9	45~54	218	255
10	55~65	182	202
11	66~77	156	158
12	78~90	112	122
13	91~104	102	94
14	105~119	93	71
15	120~135	54	53
16	136~152	31	40
17	153~170	26	30

を調べて見ると第2表及び第2図に示す結果となる。

この両集団の N の頻度分布 (F, F') を比較するとその分布曲線が大変趣が違っていることが判る。つまり噴火前日の N 、即ち噴火前10日間には地震が多く起ること、特に頻度分布の第1, 第2, 第3項の頻度が0であることが注目される。

二つの頻度分布を各項毎に比較するため $F'_{(N)}/F_{(N)}$ 及び $F'_{c(N)}/F_{c(N)}$ を百分率で示したのが第3表及び第3図である。この図の示すところは、とりまなおさず微小地震回数を基にした時の噴火の危険率乃至安全率である。つまり過去20年余に亘る浅間山の噴火と微小地震の発生関係が急激に変ることがないならば噴火の予知について或る程度有効に使い得る関係である。つまり本日迄の観測から N が0~5であれば明日は噴火の危険はないであろう、また N が6~20であれば噴火の危険は極めて僅かであろう。これに反して N が100以上の値を示せば噴火の危険は50%以上であろうと云う様に確率の値によって判断し得るのである。

また今後同じ観測を継続して資料を加えてゆけば両集団の頻度分布が次第に整った形になり、従って危険率の曲線も一定した形に近づいて行くものと考えられる。

近年になって、上記の地震計の外に4,000倍ないし10,000倍の高い感度の地震計を用いて観測しているが、それによると十数倍に及ぶ多数の地震が観測される。この様な資料が集積され、幾度かの噴火をも経験すればこの問題を更に進めることが可能となるであろう。

しかし如何に高倍率の地震計によって観測しても、地

第2表 噴火前日の N についての頻度分布

Grade (階級)	N (地震数)	F' (噴火前日について の頻度観測値)	F'_c (噴火前日について の頻度計算値)
0	0	0	0
1	1, 2	0	1
2	3~5	0	3
3	6~9	4	8
4	10~14	15	16
5	15~20	37	26
6	21~27	42	37
7	28~35	47	48
8	36~44	54	57
9	45~54	62	62
10	55~65	68	63
11	66~77	62	60
12	78~90	48	55
13	91~104	49	47
14	105~119	47	39
15	120~135	27	31
16	136~152	17	24
17	153~170	14	18

震の数だけから危険率の曲線が完全に 100% と 0% だけに分かれ、噴火を 100% に予知できるとは考えられない。少くとも微小地震がどこに起るかを明かにしなくてはならない。これによって浅間山の或る部分に起る地震が特に噴火の前兆に深い関係があり、或る所に起るものは噴火とは直接には関係がない等のことが若し明かにされるならばそれによってこの問題が益々解決に近づくに違いないと考えられる。その目的のために火山の数カ所に於ける観測からとにかく震源を定め得る様になったのは最近数年のことであるが未だ本格的な噴火に相遇したことがないのでこの問題に対して議論する段階に達していない。ここには単に 1953 年 8 月に起った地震の震源の位置だけを 1 例として示しておくことにする。

4. その他の前兆現象

1943 年 12 月末より約 6 カ月に亘って有珠山付近の有感地震と共に同火山の東の麓にある柳原部落付近が著しく隆起(隆起速度 1 日約 30 糎)し、それに伴って 6 カ月後から大噴火が始まり、終に昭和火山が成長するに至った地変は余りに有名であって今更繰り返す必要はないであろう。(2) とにかく前兆地震の群発と殆んど同時に噴火の前兆として地形変動が現われた事は注目に値する。

一般に石英安山岩質及び安山岩質熔岩を噴出する火山の噴火には地震が前兆現象として現われることは今迄の観測からはほぼ認められる。これらの前兆地震と時を同うして地形変動も現われることは上記の有珠山に於ける場合や浅間山の土地の傾動等未だ観測の例は少ないけれど、その変動の量の大小はとにかくとして、前兆として

第3表 噴火の安全率・危険率

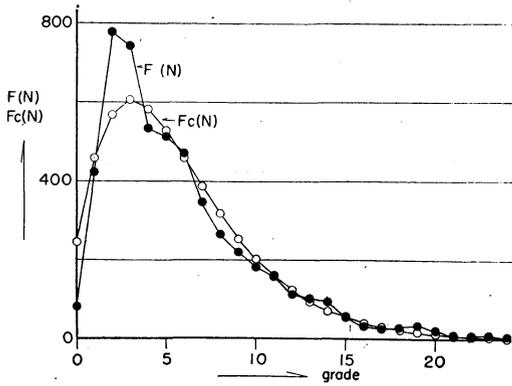
Grade 階級	危険率 $100 \times \frac{F'}{F}$	安全率 $100 \times (1 - \frac{F'}{F})$	安全率(計算値) $100 \times (1 - \frac{F'_c}{F_c})$
0	0 %	100 %	99.97 %
1	0	100	99.87
2	0	100	99.59
3	0.54	99.46	98.94
4	2.81	97.19	97.67
5	7.20	92.80	95.48
6	8.94	91.06	92.10
7	13.54	86.46	87.69
8	20.48	79.52	81.77
9	28.44	71.56	74.85
10	37.36	62.64	67.33
11	39.74	60.26	59.78
12	42.86	57.14	52.87
13	48.04	51.96	47.29
14	50.54	49.46	43.39
15	50.00	50.00	41.25
16	54.84	45.16	41.00
17	53.85	46.15	40.78

現われることが考えられる。即ち観測された実例が少ないのは地形変動に関する連続観測が多く火山で行われなかったことを考慮しなくてはならない。

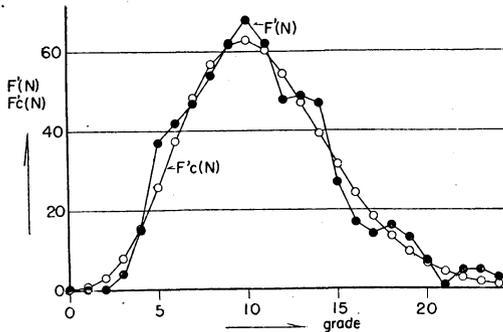
また火山内に於ける熔岩面上昇沈下や噴出する水蒸気、ガスの量の変化、温度の変化等が火山によっては噴火の前兆とし認められることがある。1951 年の大島の活動中に於ける火口内熔岩面上昇、沈下は噴火の発生と密接な関係があつて、熔岩面が沈下した後に噴火が起ることを村内氏〔3〕は指摘している。

噴煙量の変化については浅間山に於いて 1 日 3 回の観測が 20 余年に亘って続けられている。それによると噴火の数日前より噴煙量が著しく減少することは統計的には確かに認められる。特にやや大きい噴火(エネルギーにして 10^{18} エルグ以上)については特にその数日前から噴煙が減少している事が判明している。

地球磁場の変化と火山の噴火については永年に亘って中村(左)、加藤両氏の調査とそれについての主張がある。また最近では、力武、横山両氏〔4〕は 1950~1953 年に亘る大島の噴火に際して同島の多数の固定点に於いて地球磁場の測定を繰り返して、噴火に伴った磁場の変動を明かにした。同時に偏角の変化の連続観測を行つて、柿岡の観測値と比較した結果次のことが判つた。1951 年の噴火に際して火山内部の帯磁が減ずる如き方向に偏角が変化し、噴火後に幾分復する方向に変わった。然るに 1953 年 5~9 月に亘って再び火山の帯磁が減ずる如く偏角が約 5 分の変化を示したが、一方翌 10 月から 3 カ月に亘って噴火が起つた。つまり、大島を構成する岩



第1図 1934年より1952年に至る期間のNの頻度分布
 grade 0, 1, 2, 3……は地震数(0), (1, 2), (3, 4, 5), (6, 7, 8, 9)に対応する。
 $F(N)$, 観測値 $F_c(N)$, 計算値



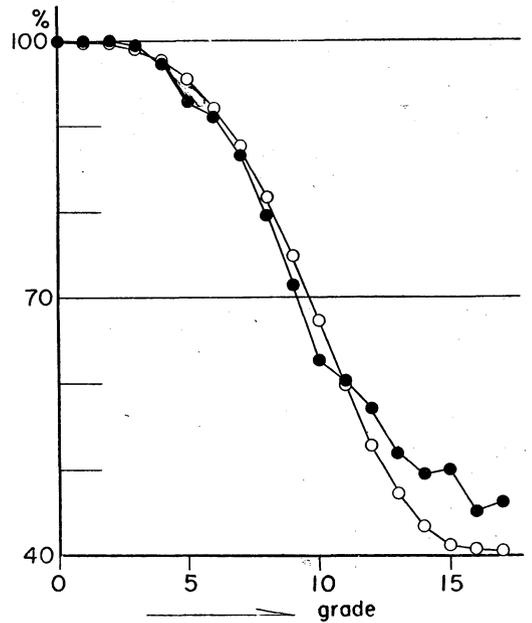
第2図 1934年より1952年に至る期間中の噴
 火前日のNの頻度分布
 $F(N)$, 観測値 $F_c(N)$, 計算値

石は強く帯磁しているが、噴火前に火山体内部の温度が上昇して帯磁の一部を失ったために、地球磁場の変化となって現われたと考えると誠に尤らしい現象である。この様なことが玄武岩質火山の噴火の前兆として常に現われるならば、この種の噴火の予知に対して大いに役立つものと考えられる。

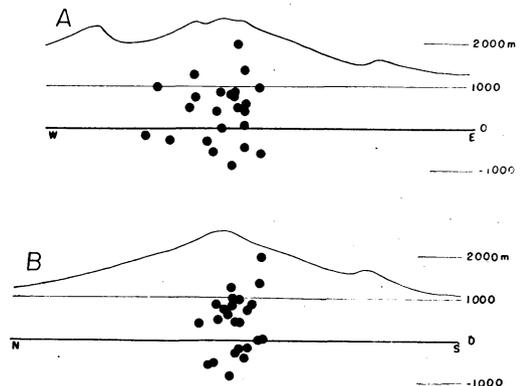
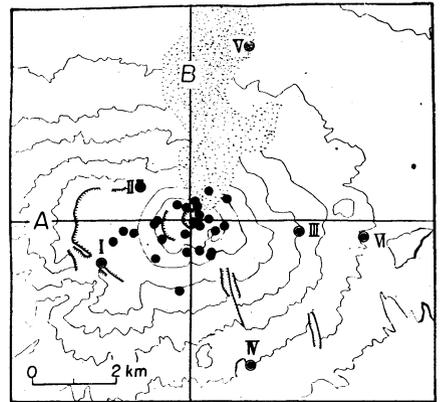
5. 結び

噴火の前兆現象について2, 3の例を示した如く、石英安山岩質の如く粘性の大きい熔岩を噴出する火山では、噴出するために大きい圧力が加えられることが必要である。従って火山体内部に大きい応力を生じ地震や地形変動等の力学的な前兆現象が顕著に現われることが多いと考えられる。これに反して玄武岩質の火山では噴出熔岩の粘性が前者に較べて極めて小さいから、噴出を起すために大きな力が火山体に加わらないために、前兆現象として地震や地形変動は観測される程明かに認められることが少ないのであろう。

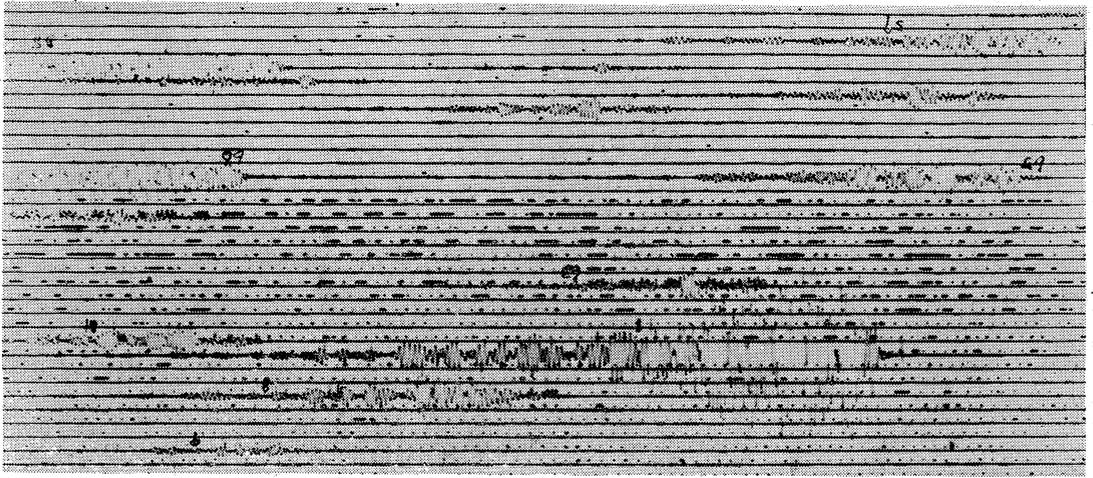
しかし玄武岩質火山は概して強い帯磁を有するが、火山活動に伴い地球磁気が変動することが多く、斯る火山では観測し得る程度の磁場の変化が噴火前に起るのではないかと大島の例に徴し希望的ではあるが考えられる。



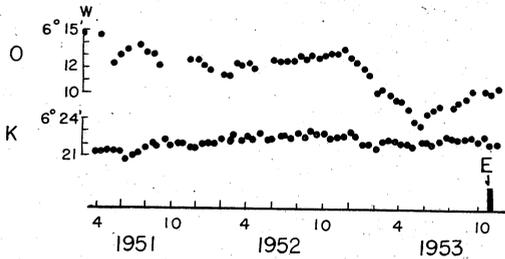
第3図 Nの観測より推定される噴火に対する安全率(或は危険率)
 黒丸 $(1 - \frac{F(N)}{F_c(N)}) \times 100\%$,
 白丸 $(1 - \frac{F_c(N)}{F(N)}) \times 100\%$.



第4図 1953年8月に発生した浅間山の微小地震の震源分布



第5図 1953年8月に発生した微小地震の記録



第6図 大島の噴火前に現われた地球磁気偏角の変化
O, 大島の観測値. K, 柿岡の観測値.
E, 噴火を示す。(力武, 横山両氏による)

要するに多くの活火山に於いてその特徴に応じ、各種の観測が常時行われ、幾度かの噴火を経験することによって噴火の前兆が明かにされ、噴火を予知することも可能になってくるであろう。斯くて噴火による災害の防止軽減に役立ち得ると信ずる。(東大 地震研究所)

文 献

- (1) 水上武 On Explosive Activities of Andesitic Volcanoes and Their Forerunning phenomena, Bull. Volcanol. 10 59, (1950).
- (2) 水上武, 石川俊夫, 八木健三 The 1944 Eruption of Volcano Usu Hokkaido, Japan. Bull. Volcanol. 11 45, (1951).
- (3) 村内必典 1951年の活動と内輪山内部の地形変動 地学雑誌 60 117, (1951).
- (4) 力武常次, 横山泉, 岡田尊, 菱山よね子, Geomagnetic Studies of Volcano Mihara, (III) Bull. Earthq. Res. Inst. 26 583, (1951).
横山泉 Geomagnetic Studies of Volcano Mihara (IV) Bull. Earthq. Res. Inst. 32 17, (1954).

(13頁よりつづく)

天然煉瓦に化し、外套の如く岩体を包んで密着する。昭和新山熔岩丘の大部分は此の様な被覆を厚く被り、更に其等の表面には上昇の際の摩擦による擦痕が無数に見られる。又上昇の途中に礫層が存する時は円礫を頭部に戴いたまま押上って来るので、此熔岩丘上には大小の円礫が見られる。

有珠火山中央火口内の大有珠, 小有珠も Belonite で其頂部には円礫を戴き、過去にも同様の型式の活動が行われたことを示している。熔岩の岩質も新熔岩と同様に紫蘇輝石石英安山岩で、70%前後の珪酸を含有し、粘性の大なるものであることを示している。

昭和新山熔岩丘の被覆の剝脱した部分では赤熱熔岩が見られ、昭和22年980°Cを測った部分もある。(中村左衛門太郎博士測定) 現在も尙夜間は点々と赤い火光が遠方よりも望まれ、実に奇観と云うべきである。

有珠火山今後の活動を推す上に重要なことは、大有珠, 小有珠の Belonite が中央火口の栓の作用をしていることで、このため新岩漿の活動は山体中他の弱点を求めて発現する傾向がある。明治43年には地震開始6日後に略南北の有珠中島構造線と火山周縁弱線との交点に大爆発を始め、更に周縁に沿う岩漿の移動に従って45個の爆発火口を次々に開いた。今回は略東西の大有珠-小有珠構造線と周縁弱線との交点に岩漿の上昇が起り、柳原に最初の隆起を生じ、更に岩漿は周縁に沿ってフカバ九万坪まで移動し、地震開始より半年後に始めて爆発を惹起した。此2つの活動は現象的に異なる如く見えるが本質的には極めて類似し、有珠火山特有の活動型式と見るべきものであり、特に昭和新山の成生は此型式を最後まで完結せるものである。

(北大理学部地質教室)