

# 浅間山の火山活動の解析 (第1報)\*

(統計解析の部)

関 谷 溥\*\*

551.21

## An Analysis of Volcanic Activity of Mt. Asama (1st paper)

H. Sekiya

(Karuizawa Weather Station)

This paper deals with the secular variation and periodicity of the eruptions of volcano Asama in 1869-1958.

The obtained results are as follows:

- 1) Tables 1-2 are the number of eruptions at Asama in 1869-1958 and Fig. 2 shows the secular variation of explosion energy.
- 2) The volcanic activity shows the durability and periodicity. Tables 3-5 and Figs. 3-7 are the results of the analysis and the most predominant period is about 57 months which exists between groups of the volcanic activities.

This periodicity of volcanic activity occurs not only in volcano Asama of the "Vulkanian type" but also in Aso of the "Strombolian type", but they have not the same period.

### § 1. ま え が き

有史以来の浅間山の噴火を歴史的にまとめたものには軽井沢測候所編集の「浅間山爆発史集」<sup>1)</sup>があるので、それを見れば過去における噴火の大勢は知ることが出来る。しかし、最近の資料が小さい噴火をも含めて細かに集録しているのに対して、昔の資料は大規模なもののみを取扱っているので、回数だけからする変化は必ずしも火山活動の規模をも含めた変化をあらわしているとは思われない。そこで、このような資料から火山活動の変遷をどうしてつかむかということがまず問題である。また、地震観測などの資料は当所追分分室(火口より南々東 7.6km)は大正12年11月に開設され、今日まで主として固有周期 6 sec, 基本倍率 70—100 倍の大森式微動計で地動の観測を続けてきた。また、昭和27年9月以後は固有周期 1sec, 基本倍率 300—350 倍の石本式高倍率地震計が併設された。しかし、これらの地震計の資

料を調査すると火山からの距離に対して倍率が小さ過ぎるために、火山活動の実態や火山性地震の性質がわからないので、昭和32年8月からさらに臨時ではあるが、東京管区气象台の援助を得て、石本式地震計を改造し光学式の3,500倍の地震観測を始めた。

この報告はこのようにいろいろな時代の資料をもとにして、火山の変遷を量的に求めるべく解析を加えたものである。

### § 2. 火山活動の表現とその変遷

Tab. 1, 2は明治以後の噴火の資料を前記の爆発史集から一つ一つ出所を検討し、それをさらに他の資料を含めて修正し求めたもので、実際にはこの他に資料もれがかなりあるものと思われるけれども、現在のところ求め得る噴火資料のすべてである。この2つの資料からわかることは、前述のように昔の資料が鳴動や音響を伴うような大規模な噴火を大部分とっているのに比べて、追分観測所(大正12年11月)や軽井沢測候所(昭和14年1月)が開設されて以後は無音の噴火をも含めて詳細に

\* Received Jan. 27, 1959.

\*\* 軽井沢測候所

Table 1. Number of

year month	1869	1870	71	72	73	74	75	76	77	78	79	1880	81	82	83	84	85	86	87	88	89	1890	91
Jan.	1																						
Feb.	2																						
March	3																						
April	4																						
May	5																						
June	6							1															
July	7																						
Aug.	8																						
Sept.	9	1										2											
Oct.	10	1																					
Nov.	11																						
Dec.	12																					1	
year	2							1				2										1	1

year month	15	16	17	18	19	1920	21	22	23	24	25	26	27	28	29	1930	31	32	33	34	35	36	37	
Jan.	1						5	1														1		
Feb.	2						4	1														1	7	1
March	3					2	1	1					1	9			1	13				3	9	5
April	4												1					12					3	5
May	5	1	1		1		9									1		26				16	2	
June	6						4							1		1	5	26				1	17	
July	7		1		1								2	3		1	4	35				2	18	1
Aug.	8	1	1		1											9	29					6	2	
Sept.	9		1										2		5	7	6	3				3	2	
Oct.	10		2										1			1	4					3	4	
Nov.	11																					1	1	
Dec.	12						23						3				3							
year	1	6	1		5	23	23	3				10	14	5	22	52	139				37	46	31	

観測していることを示している。したがって §. 1. でも述べたように、昔から最近までのすべての資料を使う場合は、その値に何らかの操作を施して、同一に扱えるような方法を考える必要がある。そこで、まず考えられることは、噴火のエネルギーのようなものが求められるかどうかということである。すなわち、噴火の際各々の噴火に対する噴出物の総量  $M$  と噴出速度  $V$  が求められれば噴火の機械的エネルギー  $E$  は

$$E = \frac{1}{2}MV^2$$

で求めることができるし、噴火の際の各地の地震記録があれば噴火地震の規模を推定することも出来るが、古い資料からこれらの値を求めようとすると必要な資料がないので、いずれにしてもなかなか困難な問題である。そこで詳しいことは将来の問題としてしだいに修正し正しい値を求めるように努力することにして、ここでは一応水上教授<sup>2)</sup>が昭和 10~13 年の噴火の際求められた  $M$  と  $V$  の値を引用し、この値と追分の噴火地震の最大振幅とからその間の関係を求めた (Fig. 1)。同図を見るとかなりバラついていて、将来十分検討する必要があるが、

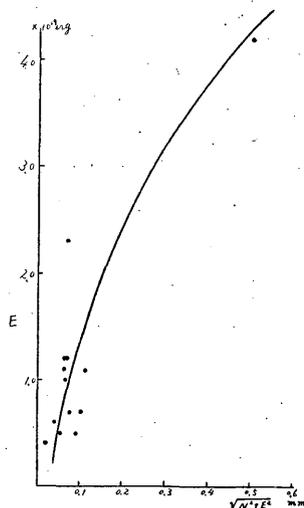


Fig. 1. Relation between the explosion energy and the maximum amplitude of the surface waves caused by the explosion.

(Oiwake)

eruptions in 1869—1958

92	93	94	95	96	97	98	99	1900	01	02	03	04	05	06	07	08	09	1910	11	12	13	14
								2							1		1		16	2		7
								5		1						2	1		6	4	1	3
								4	1						1			3	3	2	3	6
			5					1	3					1			1	8	2	3	2	2
			3						2		1						1	1	3	6	3	2
			1						2		1						1	1	1	6	2	1
								2	1			1					1	2	1	1	7	
								2	15	1		1						6	6	5	5	
									1									2	2	1	1	
								1										1	1	6	3	
								2	24									1	1	10	10	4
								5	16	2	2	1						4	1	1	4	4
			9				5	16	24	2	2	1		1	3	5	7	5	46	16	39	29

38	39	1940	41	42	43	44	45	46	47	48	49	1950	51	52	53	54	55	56	57	58
	5		106	30			21									70	1			
	7		127	36			52									83	2			
1	6	3	17	29			20			33			4			36	2			
6	1	5	13	44			15			2			1			25	24			
19	1	1	17	26			3						5			26	9			
12	5	2	7	8		1	3		1				1	3		10	8			
23	5		10	10		4	6		1		8					20				
20	4		11	42		7	2		1		90					7				
20	3	4	16	30		23					113	3				1				
32	8	1	42	20		24	2	1			15	1								26
7	4	9	18	2		29	3									6				114
11	1	21	14	2		14					1				6	3				123
151	50	46	398	279		102	127	1	3	261	5	12	3	6	6	287	46			263

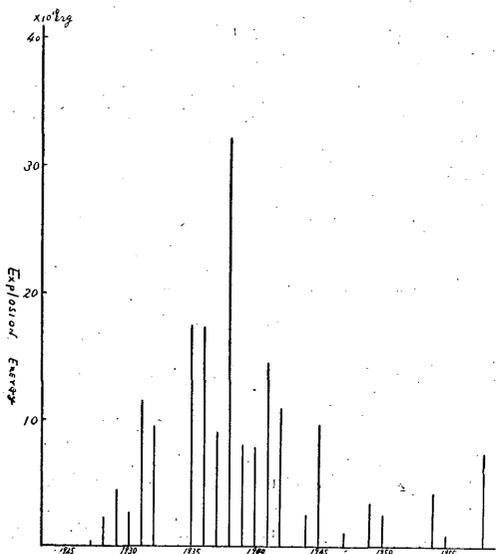


Fig. 2. Secular variation of explosion energy of Mt. Asama from 1923 to 1958

この関係が観測開始以来今日までのすべての噴火について成立しているものと仮定して全観測期間について求めてみた。Fig. 2 は Tab. 1 のうち観測開始以後の噴火の回数の各々をこのようにして噴火のエネルギーに換算し、年ごとに集計して長期間の変化を图示したものである。これから見ると、観測開始以来浅間山の活動は昭和13年を頂点にして最近は全体として弱くなっていることを示している。そして Tab. 1, 2 と比べて見ると、ここ数10年の間に最も活動的であったのは前記の昭和 10~17 年と明治 42 年~大正 3 年であったことがわかる。

§ 3. 火山活動の持続性と週期性

Tab. 1, 2 を見ると火山活動には持続性があることに気がつく。すなわち、噴火が始まるとしばらくは噴火が続くし、噴火が終るとしばらくは静かな状態が続く。Tab. 3, 4 はこのような状態を調べたもので、それに畠山博士<sup>3)</sup> が求められた天気<sup>3)</sup>の持続率の概念をもあわせて導入してみたものである。ここで *a* は噴火や噴火を休んでいる状態の平均継続月数、*b* は噴火等のおこる確率か

Table 2. Number of eruptions

year month	1869	1870	71	72	73	74	75	76	77	78	79	1880	81	82	83	84	85	86	87	88	89	1890	91
	Jan.	1																					
Feb.	2																						
March	3																						
April	4																						
May	5																						
June	6						1																
July	7																						
Aug.	8																						
Sept.	9										1												
Oct.	10	1																					
Nov.	11																						
Dec.	12																					1	
year	1						1				1											1	

year month	15	16	17	18	19	1920	21	22	23	24	25	26	27	28	29	1930	31	32	33	34	35	36	37
	Jan.	1						5	1														
Feb.	2						1	1														5	
March	3				2		1	1						1								5	3
April	4																				1	1	1
May	5						2														9		
June	6	1	1				4									1					1		1
July	7													3		1					1	11	1
Aug.	8					1										3					3	2	
Sept.	9														1	3	3				1	1	1
Oct.	10	2												1		1	2				1	2	
Nov.	11																				1		
Dec.	12					9											1						
year		4	1		3	9	11	3					1	5	1	9	8	28			18	27	6

Table 3. Durability of eruption and

Time interval (month)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16.
eruption in 1927~1958	11	8	4	1	4	2		2		1					1	
eruption in 1900~1958	33	17	6	5	4	5		3		1					1	
no eruption in 1927~1958	14	8		1		1	2			2	1		1			
no eruption in 1900~1958	30	12	4	3	3	3	3	3	1	2	1		2		1	

Table 4. Durability of explosive eruption and

Time interval (month)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13.	14	15	16	17
explosion in 1900~1958	30	15	9	3	3	1		2		1							
no explosion in 1900~1958	16	12	5	5	2	3	2	3	1		2	2	1		1		

with explosive sound in 1869—1958

92	93	94	95	96	97	98	99	1900	01	02	03	04	05	06	07	08	09	1910	11	12	13	14
			3				1	2 4 4							1	1	1	10 4	2 1	1	1	7 3 6 2 2 1
		1							1 1		1						1	4 1	1	1	3 6	3 1
							1 1		1	7						1		6 6 1	1	6	2 1 3 9	3 25
		4					3	12	3	1	1					1	2	4 4	28	10	33	

38	39	1940	41	42	43	44	45	46	47	48	49	1950	51	52	53	54	55	56	57	58	
1 3 1 2	3 1	1 1	1 1	1 2 2			1 1														
4 4 8 7 5 6 41	2 1 11	1 2 7	5 1 14	1 1 8		1	1		1 1		1 3	1 1			1		1				2 6 8

no eruption period in 1900~1958

17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	39	59	Probability	a	b	F
					1 1						1 1					0.435 0.359	4.61 3.30	1.77 1.56	2.60 2.12
2	1									1				1		0.565	6.17	2.30	2.68
2	1	1		1						1				1	1	0.641	5.97	2.79	2.14

no explosion period in 1900~1958

18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	32	40	43	46	66	Proba- bility	a	b	F
																		0.206	2.28	1.26	1.81
1			1	1	1				1				1	1	1	1	1	0.794	8.65	4.85	1.78

ら予期される平均継続月数で、噴火や噴火を休んでいる状態の発生の確率を  $P$  とすると、 $N$  月間に  $n$  月継続する回数は  $N(1-P)^2P^n$  であるから

$$b = \frac{1N(1-P)^2P^1 + 2N(1-P)^2P^2 + 3N(1-P)^2P^3 + \dots}{N(1-P)^2P^1 + N(1-P)^2P^2 + N(1-P)^2P^3 + \dots}$$

$$\dots = \frac{1+2P+3P^2+\dots}{1+P+P^2+\dots} = \frac{1}{(1-P)^2} \cdot \frac{1}{1-P}$$

$$= \frac{1}{1-P}$$

となる。

したがって噴火などの持続率  $F = \frac{a}{b}$

とするともし噴火などに持続性があれば、 $a > b$ 、したがって  $F > 1$  となるであろうし、反持続性があれば  $a < b$  したがって  $F < 1$  となるはずである。

すなわち、Tab. 3, 4 は噴火などが明らかに持続性をもっていることを示している。しかし、Tab. 3 に比べて Tab. 4 は持続率が小さくなっている。これは大規模な噴火は持続性はあるが小規模のものに比べると小さいことを示すものである。

また、このような状態をさらに別の見方から眺めてみよう。Fig. 3 は Tab. 1, 2 から追分観測所開設後の資料で無音噴火月（白丸）、有音噴火月（黒丸）に区別してそれに軽井沢測候所開設以来の各月の最大噴煙量ならびに月ごとの噴火のエネルギーを記入したものである。これによると噴火する状態や噴火を休んでいる状態は持続と同時に群をなして、その状態は必ずしも規則的ではないにしても周期的には変動を繰返していることが認められる。

そこでもし周期変化をするとすれば、その系列はすべてフーリエ級数に展開できるはずであるから、当然調和分析が有力な手段となる。Fig. 4, 5 および Tab. 5, 6 は試みに Tab. 1 の資料からいろいろの周期を仮定して、なるべく多くの資料を用いて調和分析して各週期の振幅を求めたものである。また、Tab. 5 の月単位の周期を求めるのに 8 年ごとに区切って平均したのは資料が前述のように昔の資料と最近の資料とでは質的な違いがあるので、このようにすればその影響がある程度除かれることと、分析能力の関係上 88 項の調和解析をしたためである。また、表中誤差というのは、もとの観測値が無秩序と仮定したとき起りうる振幅の期待値である。すなわち、この値より非常に大きな振幅は実在の可能性の大きな周期で、月単位の資料では 7.3 月、11 月、14.7 月等の周期の存在は確からしい。しかし、23.9 月、44 月、88 月というような長周期の値は振幅は大きいけれども観測資料が少ないので信頼性が少ない。

また、Fig. 5 の年単位の資料では 5.2 年、12.6 年周期は非常にはっきりしたものはあるが、この場合誤差の範囲が大きいため、統計的には断定がむずかしい。しかし、これは 90 年という長い期間の資料を使わねばならないために、昔の資料と現在の資料との質的な内容の違いが誤差を大きくしているの、この周期の存在が不確実なものであるとはいきれない。しかし、現在のところ噴火回数資料はこれ以上のものがないので、いかんともしがたい。

そこで、追分観測所開設以来（1927 年～1958 年）の

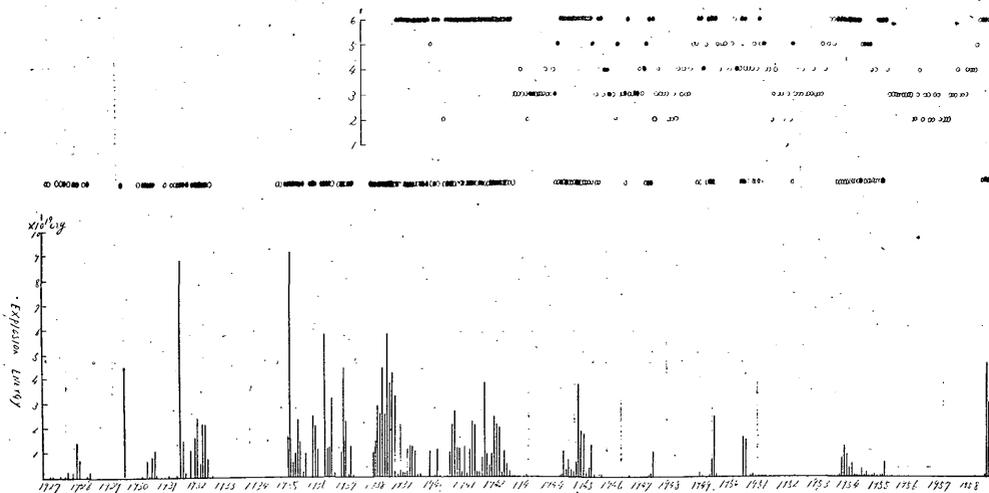


Fig. 3. Variation of volcanic activity of Mt. Asama from 1927 to 1958

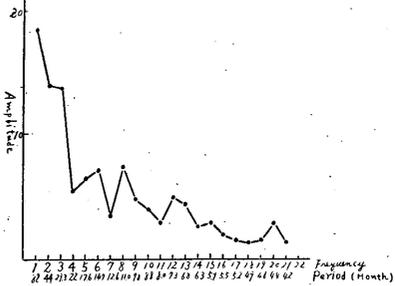


Fig. 4. 88th harmonic analysis of number of eruption in 1899~1955 (unit: month)

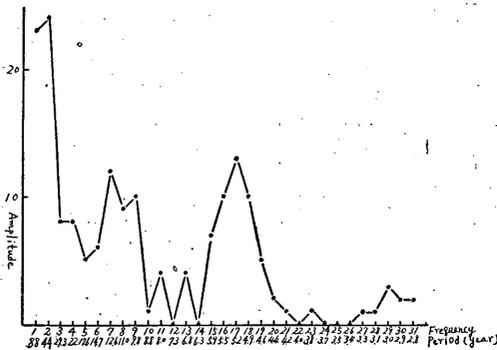


Fig. 5. 88th Harmonic analysis of number of eruption in 1869~1956 (unit: year)

資料でいままでの解析の結果から得られた火山活動の持続性と活動群および周期性の存在をもとにして、Fig. 5 中問題のある5年付近の周期について、さらに詳細な解析を加えてみよう。Fig. 6は噴火エネルギーの各月ごとの資料に、それにFig. 3, Tab. 3, 4などの結果を導入して噴火活動群を求め、その活動群の噴火の総エネルギーとそれをささむ活動開始から、次の開始までの期間との関係を求めたものである。これによると、総エネルギーが非常に大きい時は次の活動開始が早くなっているが、より小さいかなり広範囲の領域ではほとんど同じになる性質があり、その期間は

- 昭和2年3月30日——昭和5年4月17日 1114日
- 昭和5年4月17日——昭和10年1月27日 1746日
- 昭和19年6月24日——昭和24年3月10日 1720日
- 昭和24年3月10日——昭和28年12月27日 1753日
- 昭和28年12月27日——昭和33年10月10日 1748日

となっている。そして昭和2年3月30日——昭和5年4月17日の1114日は同じようなエネルギーの範囲でただ一回の異常な点を示している。そこで、この期間が同じ母集団からとられた5個の標本の中の最小値であるといえ

るかどうが Smirnov の棄却検定法によって調べた結果

$$\bar{x} = 1616, S^2 = 63183, \tau_0 = 2.00$$

$$\text{一方 } N=5, \alpha=5\%, \tau=1.87 \therefore \tau_0=2.00 > \tau=1.87$$

$$\text{また, } N=5, \alpha=1\%, \tau=1.96 \therefore \tau_0=2.00 > \tau=1.96$$

となり、危険率1%、5%でいずれも同一視できないと判定された(ただし、このエネルギーの範囲では活動開始の期間は正規型とみなしている)。すなわち、統計的にはこの値は同一母集団の標本とはいえないから、別に扱うことになると活動開始の期間は上記のエネルギーの範囲では

1927年—1954年の資料では 1740±59日

1927年—1958年の資料では 1742±34日

となる(ただし、この値は平均値  $m$  の信頼度99%の信頼区間である)。そして、月に直せば57か月を中心とした値となる。しかし、上記のただ一点の資料も何年かの観測結果を積み重ねて、どうしてこのような点が現われているかについて十分検討する必要がある。

そして、この結果はFig. 5, Tab. 6で述べたように、過去90年の噴火資料で行った年単位での調和分析で明りように現われている、5.2年を中心とした4.9年—5.5年周期とほとんど一致していることは、この周期がかなり安定した偶然なものでないことを示すものである。

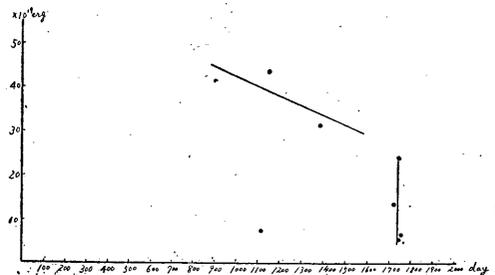


Fig. 6. The relation between the explosion energy and the interval between groups of volcanic activity.

そこで、更に噴火エネルギーを使って自己相関係数を求めてみよう。Fig. 6の結果からみれば、このような周期変動は一般には風によって起された潮の振動のように位相がずれているから、ペリオドグラムの方法ではたぐさんの資料を使ってそのまま平均をとれば、全部一定値になってしまうおそれがある。このような場合、いろいろの間隔を選んで相関係数を調べてみると、もし周期があれば、ちょうどその周期をへだてた2つの点では同じような位相になり、相関が大きくなるだろうことが容易に予想されるからである。このような理論的研究は高

Table 5. 88th harmonic analysis for number of eruptions in 1899~1955(unit : month)

Period(month)	88	44	29.3	22	17.6	14.7	12.6	11.0	9.8	8.8	8.0	7.3	6.8	6.3	5.9	5.5	5.2	4.9	4.6	4.4	4.2	error
Amp(1899~1906)	16	10	11	9	1	9	2	1	6	8	2	1	8	6	10	3	1	1	3	5	3	0.34
“(1906~1913)	15	15	36	5	2	13	2	5	15	3	4	11	3	3	5	3	0	0	2	3	2	0.49
“(1913~1920)	12	14	13	12	2	14	7	16	4	1	0	4	6	4	0	0	3	1	3	2	0	0.58
“(1921~1928)	21	15	11	2	1	0	0	3	2	0	0	2	0	2	1	1	2	1	2	4	2	0.31
“(1928~1935)	12	19	4	5	0	0	4	8	6	8	3	5	1	3	2	2	2	0	3	1	4	1.40
“(1935~1943)	23	7	3	4	4	8	2	5	3	0	4	4	1	0	1	2	2	0	0	0	0	3.85
“(1943~1950)	24	6	19	0	16	11	1	5	1	2	5	6	7	3	0	0	3	4	0	3	0	3.33
“ ~1955)	24	25	13	7	26	2	10	16	0	8	3	3	3	0	2	5	0	2	0	0	0	3.84
Sum. of Amp.	147	111	110	44	52	57	28	59	38	32	23	40	35	21	23	16	13	11	13	23	11	14.14
Mean of Amp.	18.4	13.9	13.8	5.5	6.5	7.1	3.5	7.4	4.8	4.0	2.9	5.0	4.4	2.6	2.9	2.0	1.6	1.4	1.6	2.9	1.4	1.77

Table 6. 88th harmonic analysis for number of eruption in 1869~1956(unit : year)

Period (year)	88	44	29.3	22	17.6	14.7	12.6	11.0	9.8	8.8	8.0	7.3	6.8	6.3	5.9	5.5	5.2	4.9	4.6	4.4	4.2	error										
Amp.	23	24	8	8	5	6	12	9	10	1	4	0	4	0	7	10	13	10	5	2	1	0	1	0	0	0	1	1	3	2	0	14.3

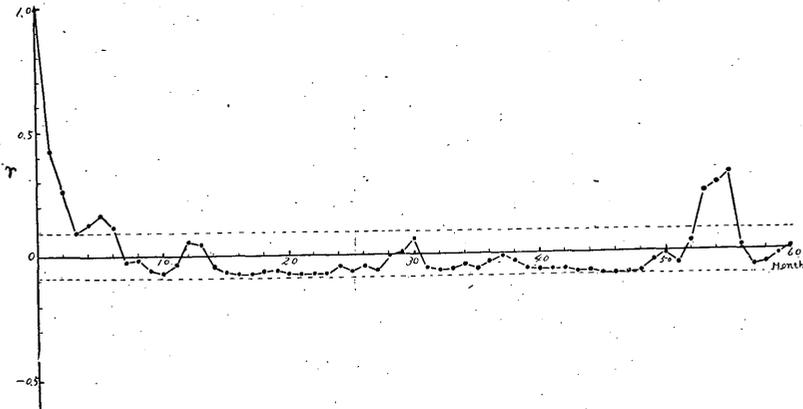


Fig. 7. The auto-correlation of explosion energy series from 1944 June to 1955 June, Broken lines indicate the area of error

橋浩一郎博士<sup>4)</sup>の方法もあるが、任意の時間  $t$  とそれより後の  $y$  の値の相関係数  $R(\tau)$  は

$$R(\tau) = \frac{y(+y)(t+\tau)}{\sqrt{y^2(t) y^2(t+\tau)}}$$

であるから、これを1944年6月—1955年6月の毎月の値に応用してみると Fig. 7 となる。この中で誤差というのは全く無秩序な量をとって、 $n$  個の値から相関係数を計算した結果である。これからみると1944年6月—1955年6月の毎月のエネルギーによる解析では、噴火の持続

性と 53—55 か月周期の存在が明瞭に現われている。このことと、Fig. 6 とを比べると、この期間では噴火活動の開始は 57 か月を中心とした 56—58 か月であるから、噴火のエネルギーによる周期はそれより約 3 か月短くなっている。これはとりもなおさず Fig. 8 のように最近の噴火活動のピークは、活動群の始めの方にづれてきていることを示している。1958 年秋の火山活動の予想には、1955 年 6 月までのこのような資料から、活動開始と同時にピークの前方への移動も考慮していたのであるが、10

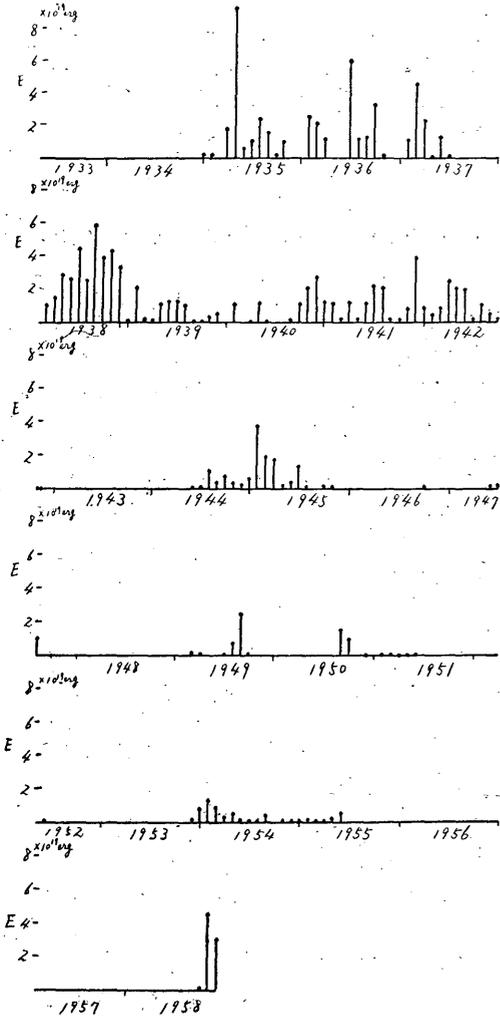


Fig. 8. Periodicity of volcanic activity of Mt. Asama (57 month period)

月に噴火を始めてから 11 月 10 日の近年稀な大爆発, 12 月の連続数回の爆発と今まで示した統計資料がそのまま予想どおり爆発現象に現われてきたのは興味深いものであった。

§ 4. 結 論

以上は今までの噴火の資料をいろいろな見方で解析し, 浅間山の噴火が果して不規則に起っているものか, それともある程度の規則性をもっているかということについて検討を加えたのであるが, 今まで得られた結論からすれば, 偶然とはいききれない数々の規則性をもっている。しかし, その規則性は単純なものではなくかなり

複雑なものである。すなわち, 噴火や噴火を休んでいる状態は持続性があり, 活動群が存在し活動群の強さに応じた周期性があり, その中で比較的卓越している活動開始の周期が約 57 か月である。しかし, 噴火のエネルギーからの周期は必ずしも活動開始の周期とは一致しない。

そして, このような火山活動群の開始の周期性は浅間山ばかりでなく, 最近の阿蘇山の活動にも Fig. 9 のように周期は浅間と違っても存在していることがわかる。そして浅間, 阿蘇 いずれにも共通性のあることは Fig. 8 のように活動群の開始の周期性は割合規則的であるが, 活動群の長さはその場合によって長短のあることがわかる。この関係は岩しようだまり等の火山活動の機構と密接な関係をもつ重要な問題を含んでいるように思われる。また活動群の中での噴火エネルギーの分布は Fig. 10 のように有音噴火率と有意な相関があり, 大きな噴火エネルギーがただ一回の大きな噴火によって左右されていないことを示しているが, エネルギーの変動は平均値よりも標準偏差の方が大きいことからしても, 非常に不規則なもので噴火エネルギーのピークが活動群のどこに現われるかということは統計的にはむずかしい問題である。

火山活動の変遷に対する量的な研究は, 統計資料や観測値が前述のように不十分であるために, 現在はお困難なところが多いけれども, 将来のこの種の研究は正しい観測値を積み重ねてゆく以外に方法はないので, この調査が将来の観測方法の上に何らかの参考になれば幸である。

調和解析に対しては気象研究所予報研究部長高橋博士

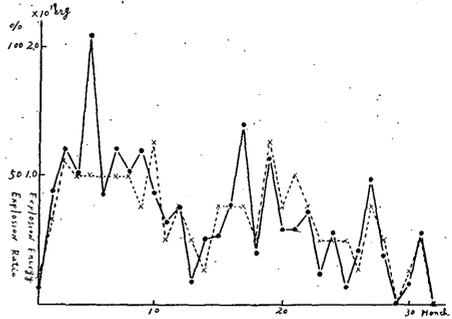


Fig. 10. The variation of explosion energy and ratio of eruption with detonation in groups of volcanic activity. Solid line shows the energy and broken line the ratio of eruption with detonation. Coefficient of correlation +0.71.

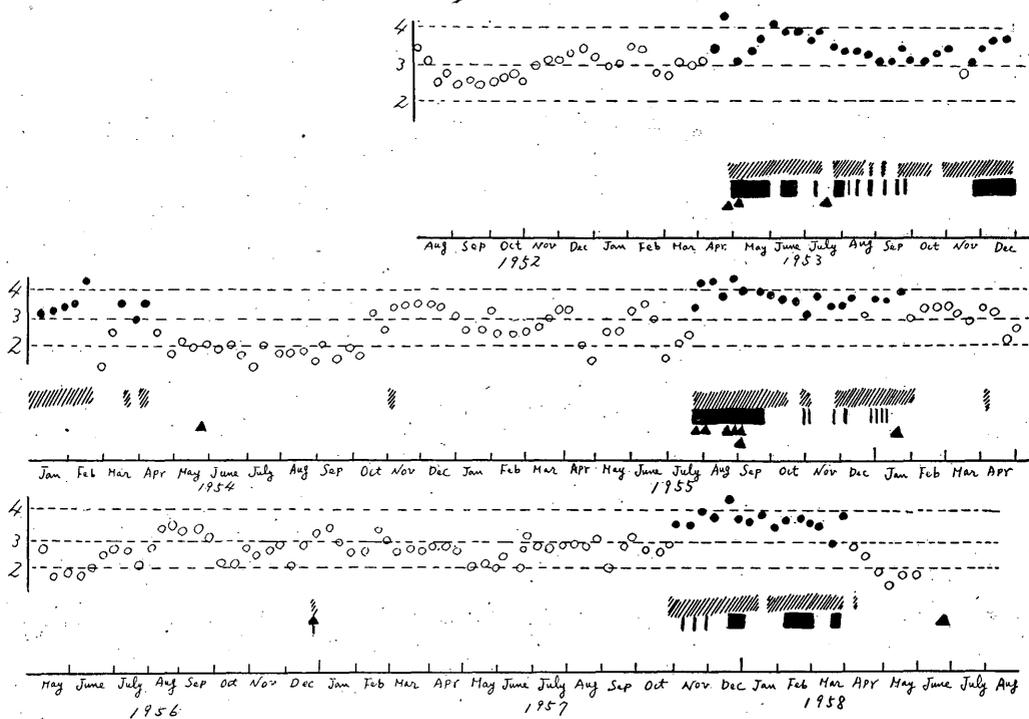


Fig. 9. Periodicity of volcanic activity in Aso (Analysis by Seismological Section J. M. A.)

並に奥田技官にお世話になったことを感謝します。なお資料の整理に対しては軽井沢測候所員並に石塚豊君の協力を負うところが多い。これらのかたがたに感謝したい。

参 考 文 献

- 1) 軽井沢測候所編：浅間山爆発史集，1956年10月。
- 2) T. Minakami : On Volcanic Activities and Tilting of the Earth's Surface. B. E. R. I. 20 (1942), Part 4.
- 3) 畠山久尚：天気の持続性について，気象集誌，II, 10, 453~459.
- 4) 高橋浩一郎：気象統計，74~78.