

桜島火山活動予測の精度について*

鹿児島地方気象台**

551.21

§ 1. はしがき

昭和30年10月13日の最初の爆発から4年余にわたって桜島火山活動が断続している。筆者らはその当初から爆発予測を志して調査を進めてきたが¹⁾、昭和33年末までの観測資料により、ようやく若干の調査を終った²⁾⁻⁶⁾。

本文はその調査結果に基づいて実施した、おもに昭和34年内の爆発予測の報告である。なお同年には防災上必要と認めた場合に、この爆発予測の一部を桜島の村役場、警察に通報し、また新聞社の求めに応じて見解を発表したこともある。

爆発予測のために、筆者らの利用し得たのはほとんど地震計(56型高倍率地震計、電磁式地震計)のみであるが、登山による噴出物採取・航空機による火口観測・目視による噴煙爆発観測をも参考資料とした。鹿児島湾沿岸における平均潮位の経年変化も長期予測には有効なものと考え、鹿児島港においての信頼度の高い潮位観測はここ10年あまり続けられているにすぎない。将来、さらに桜島島内での検潮観測が加えられれば、予測上有力な手がかりとなるであろう。また、地震資料のうち、近地地震の調査も爆発予測、特に長期予測には必要なものと考え、ここで予測に用いた地震資料は島内および極めて近い地震に限られている。火山活動の周期分析も超長期予測⁶⁾には有効と思われるが、これもまだ調査していない。

第1.1, 1.2図は筆者らが毎日記入して使用したワーク・シートの一部で、昭和33年9月~34年末の火山活動状況を示したものである。ただし、昭和34年7月、南岳山頂火口の北西4kmに設置した電磁式地震計が断線したため、観測点を同火口の西5.5kmの袴腰まで後退したので、7月以後はそれ以前のものにくらべて、およ

そ3分の1程度に減っている。

§ 2. 活動期の予測精度

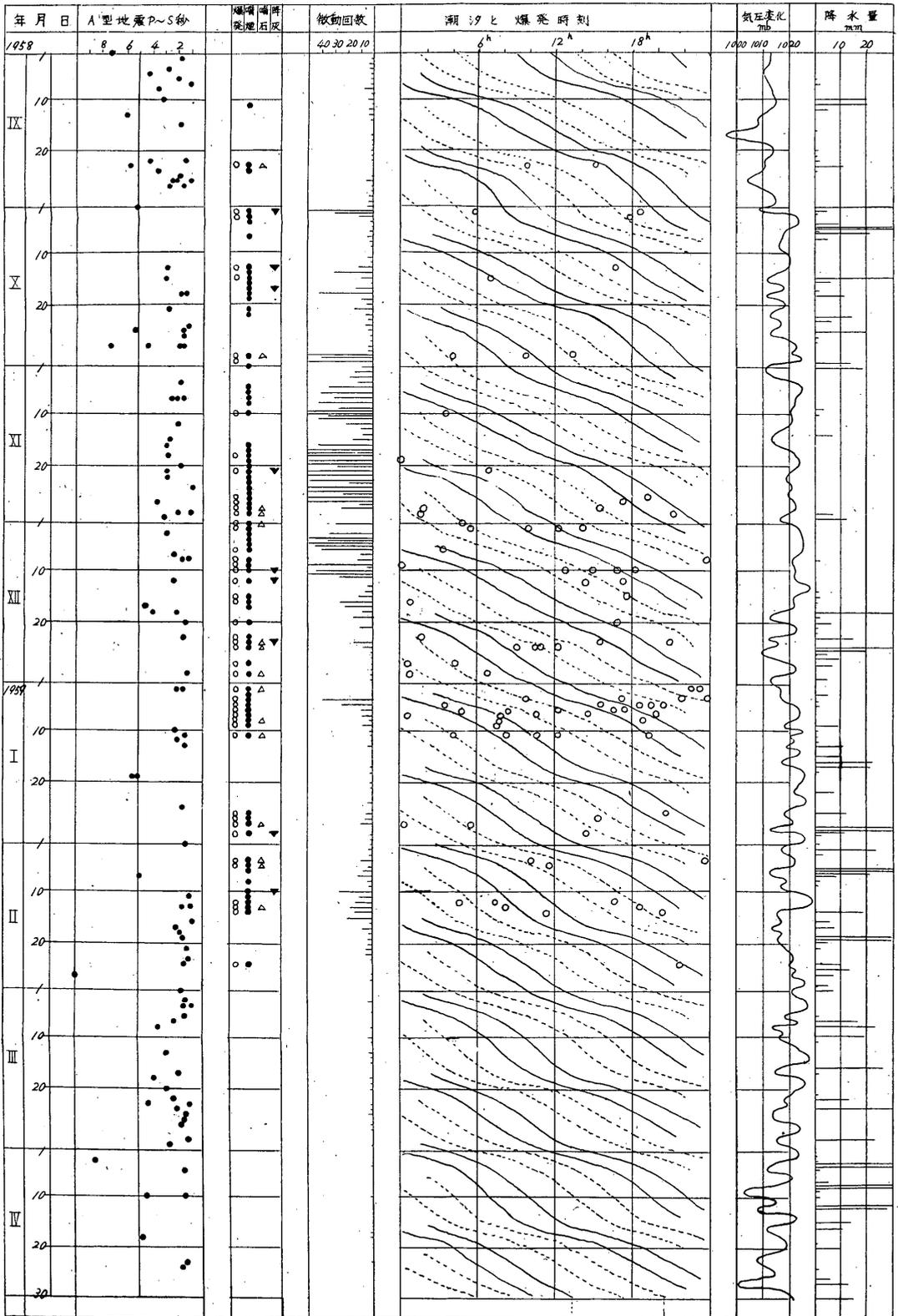
長い静穏期のあとの火山活動が、いつごろ始まるかを予測することはまだ十分にはできない。いままで知られている前兆現象は、爆発直前のものを除けば、局発有感地震の増加・地盤の上昇などがあげられる。たとえば、昭和30年10月13日の爆発の前兆現象としては、同年春から火山性微動(B, C型)のひん発; 微動最大振幅の周期の増大などがあり、有色噴煙を前年12月ごろからあげた。

第2図は昭和24~34年の鹿児島港の年平均潮位に気圧補正をした値である。昭和21年の爆発から毎年平均潮位が増加し、昭和26年極大値に達してから年々その値が減少し、極小値204cmで爆発を起こした。その後、鹿児島港の年平均潮位は桜島火山の年爆発エネルギー(山頂火口の西方10kmにあるウィーヘルト地震計による地震記象の最大動振幅の2乗の合計を目安とした)と負の相関を示しているようである。この年平均潮位の変化傾向が鹿児島特有のものであるかどうかは今後の調査にまたねばならぬが、もし、桜島付近だけの現象であるならば、桜島の岩しよう溜りへの岩しよりの注入が、鹿児島湾沿岸の地盤に昇降を与えるほど多いことを物語るものといえよう。しかし、このような長い静穏期を経た後の活動期の予測は、その危険が近づいたことの感知はできるが、爆発日、爆発地点の予測は現検潮施設ではほとんど不可能であろう。

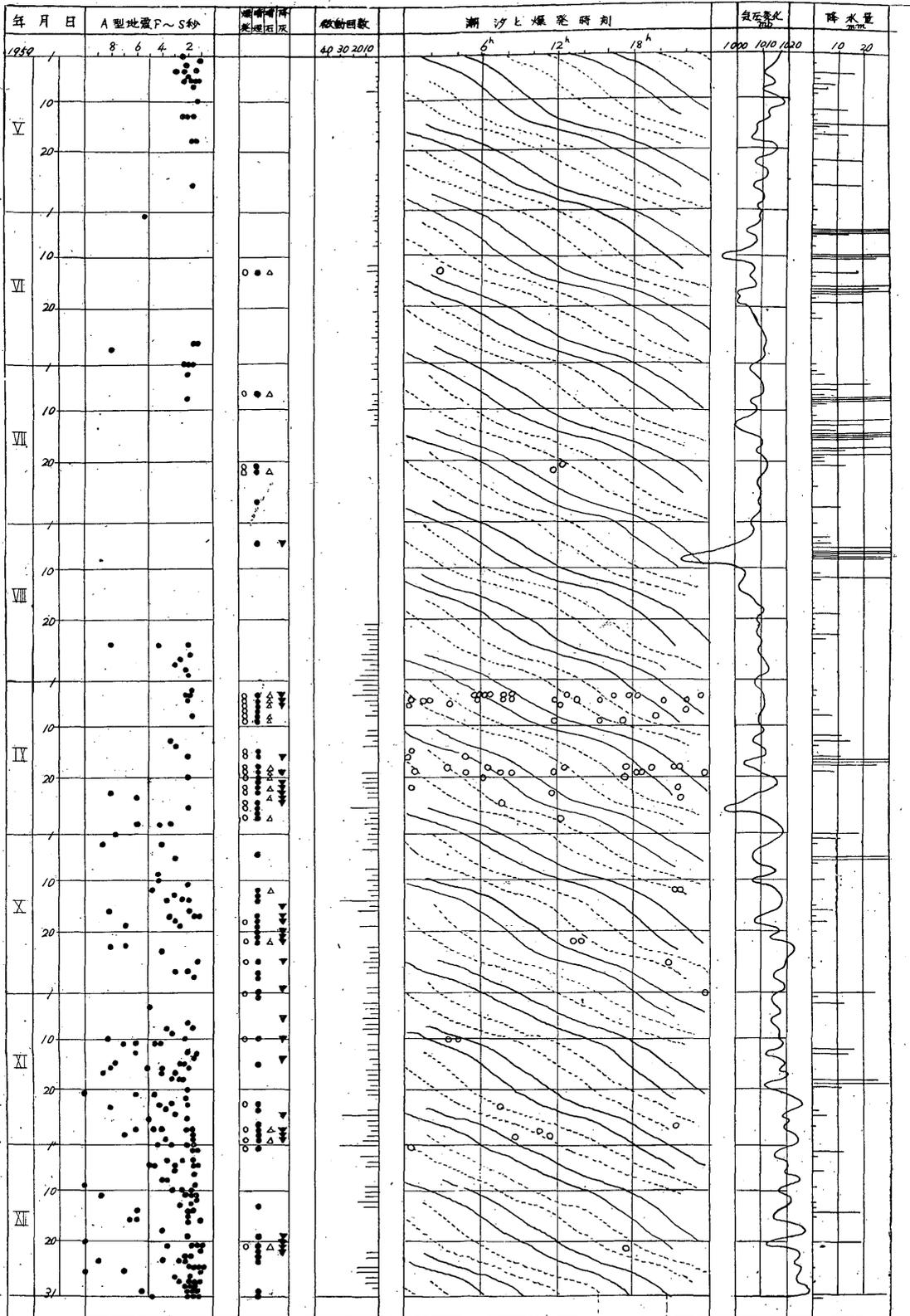
また、このような検潮観測による予測は、短かい期間内の活動期の予測には無理である。たとえば、昭和30年の爆発前に桜島にかなりの活動が始まりはしないかとの予測は第2図にみられるようなその前の潮位の累年低下からできるが、昭和30年以後の火山活動中の数年間は潮位の変化が大きく、いつごろ活動期に入るかどうかの予測はこれだけではできなかった。短期間の潮位変化をとって火山活動の予測を行う場合には潮位の年変化が大きいため、一般的に現われる年変化を消去して純粹の火山現象による変化量を抽出する操作が必要であろう。

* Kagoshima L. M. O. : On the Accuracy of Forecasting for Volcanic Activities (Received March 11, 1960).

** 安井豊(現宮崎地方気象台)、野田義男、利光貞夫、東谷幸男。

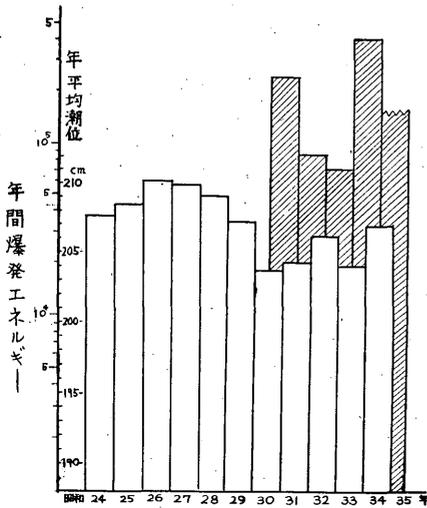


第 1.1 图



第 1.2 図

干潮 満潮



第2図 鹿児島港年平均潮位□と桜島火山年間爆発エネルギー

第2図 鹿児島港年平均潮位 □ と桜島火山年間爆発エネルギー

次にもっと短い静穏期のあとの活動期の予測について述べる。昭和31年以降の活動について次のことがわかった。

i) 山腹 (山頂火口の北西4km) および山ろく (山頂火口の西5.5km) の地震計によると、活動期前にはA型地震が増加し、その平均P~S時間が順次短縮してゆく。

ii) それまで火山の表面活動が静穏で微動も少なかったのに、連日微動が多数生じ (同時に白色噴気または有色小噴煙を上げることもある) これが続くのは活動期の前兆である。ただし、いつごろ爆発が始まるかは予測できない。

iii) 上述の微動は爆発以後減少するのが普通であるが、爆発後もなお微動が増加してゆく時はまだ活動期である。爆発がひんぱんに起こっていても、微動がかえって減少を続けている時は、活動期の末期を意味する。

iv) 前駆微動が多いほど活動期の活動は強い。

v) 活動期の前には微動の最大動の周期が延伸する。

vi) 活動期に爆発が連日起こり、多量の赤熱噴石が出ずにおさまった場合は、次の活動期がかなり接近して始まる。

vii) 活動期に多量の赤熱噴石を飛ばした爆発が続いた後、噴石の少ない持続性の噴煙が続けば、だいたい活

動期の終りである。

viii) 活動期に火口に溶岩が露頭している間は爆発が続く。その溶岩露頭が全部噴き飛ばされた後、微動が減少する時は、爆発は間もなく終る。

ix) 活動期に噴煙噴石は高くあがっても、噴石が水平方向にあまり拡がらない場合は、その後に活動の絶頂があるか、あるいはその程度で終るかのいずれかであり、どちらになるかの判定は微動の変化による。

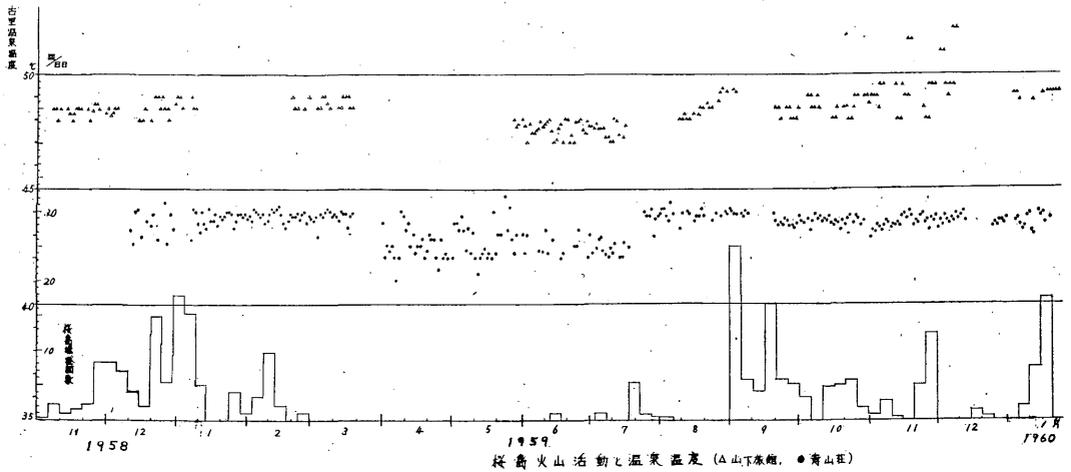
x) 鳴動を伴った噴煙が長時間にわたって連続的に太くあがり、夜間にはストロンボリ式に噴石をうちあげるのが見えたり、噴出物が多く、火山雷をひん発させたりしている場合に、山ろく観測所で数μ~10数μ程度の連続微動を書き、ときには鹿児島地方気象台のウーヘルト地震計にも連続微動を記録しているときは、岩しよを火口に押上げた (山腹火口の場合には溶岩流出を始めた) ときである。この連続微動の振幅が大きいほど、長時間続くほど、噴火の規模は大きい (現在までの山頂火口の活動では、山ろく観測所で最大振幅10数μの微動が12時間続いたのが最大。なお、昭和21年3月の溶岩流出の場合には鹿児島測候所のウーヘルト地震計に20μをこす連続微動を記録) このような時が活動の絶頂である。

xi) 降灰は活動期の前期、末期に多く中間期には少ない。

xii) 活動期は噴出物の多い比較的長時間にわたる連続噴煙で終ることが多い。この時の爆発の特徴は、伴う地震が小さく、比較的荒い火山砂礫を噴出し、噴出時の温度もあまり高いとは思えない。これにひきかえ、活動期の初・中期に、あまり大きな地震を伴わない連続噴煙による噴出物は、ごく微細な火山灰が非常に多い。

以上が昭和33年末までの火山活動について得られた経験則であり、これを利用した昭和34年内の活動期の予測状況は次のようであった。

昭和33年9月末から始まった活動期中、同年12月末に溶岩が山頂火口に上昇したのが認められたが、その後も火口に溶岩塊が現われていたため、それを噴きとばすまでは爆発は続くものと考えたが、実際の活動経過もそのとおりであった。昭和34年1月初めに再び新溶岩が火口へ上昇し、前と同じような経過をくり返した。しかし、そのころから微動はかえって減少していったので、活動期はこれで盛りを過ぎて衰弱期に向うだろうと予測した。2月24日の噴出物を多量に含んだ連続噴煙を最後に活動を完全に休止した。それから106日後の6月13日に再び爆発があったが (昭和30年10月以来99日の休止



第3図 桜島火山活動と温泉温度 (△山下旅館, ●青山荘)

がこれまでの最大), このことは, 現在の桜島火山では, 静穏期が最も長い場合でも, 100日間ぐらゐの間には除々に火口が閉塞され, 内部ガス圧が爆発を起こす程度にまで高まることを示すものではないだろうか. このような種類の爆発は1回だけで終わることが多く, A型地震のP~S時間の短縮では予測されないことが多い(昭和33年以前では, 32年6月26日にこの種の爆発があった).

昭和34年9月初めに始まった活動期は予測し得なかった. それは第1.1, 1.2図にみられるように, 7月から電磁式地震計が故障して, 微動の詳細が読みとれなかったためである. しかし, この活動期内の12月上・中旬, 表面活動は弱くなっても依然として微動が多い点から, まだ活動期は続くこと予測した. 果して, 昭和34年12月末~35年1月初めにA型地震がひん発し, 続いて翌年1月19日には昭和30年10月の爆発以来最大の爆発状況を示すようになった.

なお, 鹿児島地方気象台では昭和31年以降, 山腹の噴気温と島周辺の泉温の測定を続けてきたが, それらと爆発との関連は認められなかった. しかし, 昭和34年以降の東桜島中学校生徒(浜村章教諭指導)による古里温泉の定期測定結果では, 第3図に示すように, 特に山下旅館の泉源温度と爆発活動との間には若干の関連が認められる. 観測者が不慣れの生徒のため, 多少の誤測はあるようだが, だいたい活動期の前から泉源温度は上昇しているとみてよいであろう. この泉温観測は将来の活動期予測にある程度有効と思われる. ちなみに, 昭和34年夏, 持木海岸に新湧泉(表層温度約47°C)が発現した(昭和35年から鹿児島大学がその自記測温を開始).

§ 3. 爆発日の予測精度

i) 爆発前にはA型地震のP~Sの短縮が認められることがある. 桜島に発生するA型地震は前記した山腹の地震計でP~Sが1~3秒ぐらゐのものが最も多いが, 時には7~8秒, さらには10秒のものも発生する(第1表).

第1表 A型地震のP~Sひん度(昭和33年1~7月)

P ~ S (秒)	回	数
0.9 以下	10	
1.0~2.9	112	
3.0~6.9	32	
7.0 以上	11	
計	165	

縦軸にP~S, 横軸に日付をとって, 毎日発生したA型地震をプロットしてみると, 7~8秒ないし5~6秒のものから2~3秒のものにあたってほぼ一直線に並んだ系列がとれることがある. この追跡線がP~S1秒の線と交わるあたりで爆発が生じたことが多い.

この系列が7~8秒から5~6秒の間に数個あれば, 爆発日の2~3週間前に±3日ぐらゐの間で爆発日の予想ができ, それよりさらにP~Sの短いものがこの系列上に現われるにつれて爆発日の予測精度が増し, 5~7日前には爆発日が±1日の間で見当がつく.

第2表 A型地震および爆発のひん度

	33年 IX月	X	XI	XII	34 I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	35 I	計
A型地震出現日数	16	9	13	9	7	13	17	6	12	4	欠	欠	13	19	24	29	23	213
A型地震出現回数	20	14	17	11	11	15	21	7	21	4	欠	欠	17	30	54	138	82	462
爆 発 日 数	1	6	7	15	12	6	0	0	0	1	3	0	16	6	7	2	13	95
爆 発 回 数	3	11	9	32	34	11	0	0	0	1	3	0	62	9	9	2	51	237

第3表 A型地震の P~S が短縮して爆発が起こった例

	爆 発 日		爆 発 日		爆 発 日		爆 発 日		爆 発 日
1	年 月 日 33 IX 23	6	年 月 日 34 II 4	11	年 月 日 34 X 14	16	年 月 日 34 XI 24	21	年 月 日 35 I 24
2	X 2	7	II 24	12	X 26	17	XI 27	22	I 28
3	XI 10	8	VII 7	13	XI 1	18	XI 30		
4	XI 18	9	IX 4	14	XI 10	19	35 I 12		
5	XII 6	10	X 12	15	XI 14	20	I 19		

ii) 上記の系列でA型地震の振幅の比較的大きいものが数個現われるときは、その爆発は大きい。

iii) 上記の P~S 短縮の系列が、P~S2~3秒のような比較的短いA型から生じたときは爆発に至らないことが多い。

iv) 上記の系列がかなりはっきりしていても、爆発に至らず単に噴煙の増加、あるいは微動の増加ぐらいで終ることもある。このようなことが繰り返され、ある系列がきた時に噴煙が強くなったり、微動の増加する程度が前回よりも大きい場合は、次の系列がきた時に爆発を生ずる可能性がより大きい。

他の場合には次の系列がきても爆発を生ずる可能性は少ない。

v) 活動期には、微動が増加してゆく間に爆発が起こることが多いが、非活動期あるいは活動期中には一度微動が増加してから、減少する過程で爆発することが多い。

vi) 連続微動が記録されるときは、その爆発は強く、かつ溶岩露頭や溶岩池が現われることが多い。

vii) §2で述べた事項も参考にされる。

以上が昭和33年までの観測結果から得られた経験則であり、これを利用して昭和33年9月~35年1月の予測状況を検討した。この期間のA型地震および爆発のひん度を第2表に示す

第1.1, 1.2図によれば、この期間中のA型地震のP~

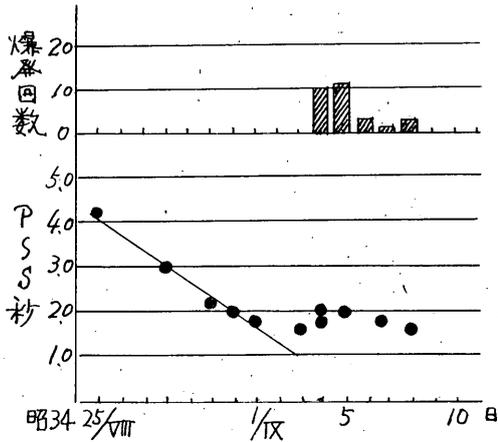
Sの短縮の追跡線が P~S 1秒と交わる前後で爆発を生じた日は第3表に示した22回である。

これを第2表に示した期間中の爆発日数の合計95日に比べると、P~Sの短縮の系列により爆発の予測できたのは $\frac{22}{95} \times 100 = 23.1\%$ であった。

この期間中に、95日あった爆発日には、A型地震の P~S の短縮の系列につれて爆発を始めてから、翌日、翌々日などにわたって連続して爆発を続け、その間 P~S の短縮の系列が現われない場合があった。たとえば、昭和33年9月4, 5, 6, 7, 8, 9日, 同年10月18, 19, 20, 22日, 昭和35年1月28, 29, 30, 31日などである。このような場合は頂上火口に溶岩を押し上げたときであることが多く、続いて起こる爆発は火口付近で起きた二次的爆発とも考えられるのでこれを一つのグループにとって考えれば、上記の爆発日の合計95日は32のグループに分けられる。もちろん、一つの P~S の系列がきて、1日に1回だけ爆発を生じた場合も一つのグループと考える。上記の例を第4図に示す。

このように考えれば、32回のうち22回の爆発に関して、P~Sの短縮の系列により予測し得た率は $\frac{22}{32} \times 100 = 68.8\%$ となる。

次に比較的長い P~S のA型地震が出現したが、その後 P~S の短縮の系列が現われず、最初のA型地震に関連したと思われる爆発を生じた例が6回あった(第4表)。



第 4 図

第4表 A型地震のP~S短縮がなく爆発が起こった例

	A型地震発現日	P~S	爆 発 日
	年 月 日	秒	年 月 日
1	33 X 1	5.2	33 X 14
2	34 V 1	5.4	34 V 14
3	VI 30	8.0	VII 21
4	VIII 25	7.8	IX 15
5	XI 29	7.0	XII 21
6	XII 10	10.0	35 I 4

このうち、最後の爆発に関しては、第1.1, 1.2図からわかるように、昭和34年12月下旬からA型地震がひん発し始め、その振幅の大きいものが多く、優勢なA型地震源の火口への接近が考えられる。昭和35年1月4日の爆発に対しては多数のA型地震のため明らかなP~S短縮の系列は追跡できなかった。

さきの22回にこの6回を加えて爆発前にその前兆と思われる比較的長いP~SのA型地震が出現したのは28回となり、その出現率は $\frac{28}{32} \times 100 = 87.5\%$ となる。

次に、以上の32回の爆発のうち、A型地震のP~Sの短縮の系列が現われず、P~S3秒以下の短いA型地震のみ現われて爆発した例が4回あった(第5表)。

結局この期間中は、その前兆と思われる長いP~SのA型地震およびその短縮の系列が出現せず爆発したのは $\frac{4}{32} \times 100 = 12.5\%$ となる。

上記の事をまとめて書くと第6表のとおりである。

次に、P~Sの長いA型地震が現われ、かつ、P~Sの短縮の系列もあったが爆発しなかった例、およびP~Sの長いA型地震は現われたがP~Sの短縮の系列がな

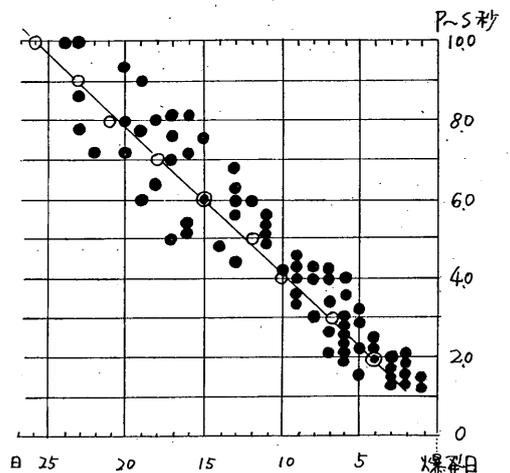
第5表 A型地震のP~S短縮がなく、P~S3秒以下の地震のみ現われて爆発が起こった例

	爆 発 日
1	33年 IX月 18, 20日
2	XI 26. 27. 28. 29日
3	34 I 26. 27. 28. 30日
4	II 12. 13. 14日

第6表 A型地震による爆発の予測の的中率

(イ)爆発前にA型地震のP~Sの短縮の系列が現われ、爆発日を予測できた例	22回	68.8%
(ロ)爆発前にこれに関連していると思われるP~Sの長いA型地震が現われたが、P~Sの短縮の系列がなくて爆発した例	6回	18.8%
(ハ)爆発前にこれに関連していると思われるA型地震およびP~Sの短縮の系列も現われなかった例	4回	12.5%

く、爆発しなかった例が合計10回あった。これと上記の28回を加えると38回となり、結局全然無効だった長いP~SのA型地震およびP~Sの短縮の系列の出現率は $\frac{10}{38} \times 100 = 26.3\%$ となり、逆に有効だったA型地震およびP~Sの短縮の系列の出現率は $100 - 26.3 = 73.7\%$ となる。



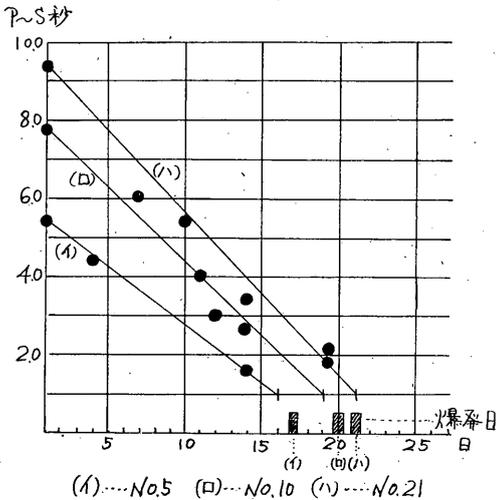
○…各秒ごとの平均日数
●…P~Sと平均日数の一致した点
第 5 図

次に有効だった22回のA型地震のP~Sの短縮の系列による爆発日の予測結果について述べる。

22回のP~S短縮の系列に沿って出現したA型地震のP~Sを、爆発日を基点としてプロットしたのが第5図である。この図はA型地震源の爆発に至るまでのある過程を現わしており、これらの平均をとれば第7表のようになり、1秒短縮するのに3日弱を要したことになる。これは昭和33年1~6月の期間中に求めた3日半より少し早くなっている⁶⁾。

第7表 A型地震出現から爆発日までの平均経過日数 (P~S 時間別)

P~S(秒)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
日数	—	4	7	10	12	15	18	21	23



第 6 図

ここで、P~S短縮の系列により爆発を予測する例を第6図に示す。図でわかるように、P~S短縮の系列の追跡線がP~S1秒の線と交わる日をx日(某月某日)とすると、(イ)、(ロ)ではx+1、(ハ)ではx日に爆発している。このようにして全22回の系列によるx日と爆発日との差を調べると第8表のようになり、x日より早く爆発した例はなかった。

以上のように、爆発が予測日か、またはその翌日に生じたのが22回のうち16回で、 $\frac{16}{22} \times 100 = 72.7\%$ であった。

なお、このP~S短縮の系列のとり方によって、±1

第8表 爆発予測日と爆発日のひん度

x 日	x + 1	x + 2	x + 3
8 回	8	5	1

日ぐらいの差はできやすいので、この系列のとり方は慎重にせねばならぬことはいうまでもない。

以上がA型地震およびそのP~S短縮の系列による爆発日の予測精度であるが、比較的長いP~SのA型地震が出現し、そのP~S短縮の系列が追跡できて、震源のエネルギーが弱いため、または火口の閉塞度が強いなどの原因で爆発しなかったり、反対に、それほど大きな振幅のA型地震も現われずに爆発することがあり、爆発日を予測するのに究明しなければならない問題がたくさんある。しかし、この期間中爆発前にその前兆と思われる長いP~SのA型地震およびP~Sの短縮の系列も出現せずに爆発を生じた例は4回にすぎず、全爆発回数32回に対してわずか12.5%であったことからみて、爆発の前にはこれに関連する長いP~SのA型地震およびP~Sの短縮の系列が出現するものとみて大過ないだろう。

そこで、問題はこのA型地震およびP~Sの短縮の系列が出現したときの爆発の有無および爆発回数の多少の判定は、火山性微動の増減、火山の表面現象、さらには火口の閉塞度の強弱などによらなければならない。われわれの調査研究も今後この方面に進みたい。

なお、この期間中に462個のA型地震が出現したが、このなかで爆発日の予測できた22回のP~S短縮の系列に有効だったA型地震の数および百分率は第9表のとおりであった。これからみて、P~S7秒以上のA型地震が現われたときは、だいたい爆発日の予測に有効とみてよいであろう。

第9表 爆発予測に有効なA型地震のひん度

P ~ S	有効数 / 総数	%
4.0 秒以上	56/95	58.9
5.0 "	40/59	67.8
6.0 "	26/40	65.0
7.0 "	20/24	83.3

§ 4. 爆発時刻の予測精度

§2のようにして、某日に爆発がある可能性が大きいことが判明したとき、その予定日の何時ごろ爆発があり

第 10 表 潮 時 別 爆 発 回 数 (昭 34)

月 月	潮 時						合 計			月 日	潮 時						合 計					
	満	間	干	間	満	間	干	間	総数		満	間	干	間	総数	満	間	干	間			
I. 2	2							2	2													
4		2			1	1	1	5	2	1	3	1		IX. 15				1	1			
5	1			1	3			5	2	3				16	1	1		2	1			
6	1	1		2				4	3		1			18	2	1		6	1			
7	1	1	1		1	1		5	1	1	2	1		19	1	1	1	7	2			
8	1			1				2	2					20			1	2	2			
9	1			1				1	1					22	1	1		2	1			
11	2	1		1				5	3	1	1			23			1	1				
26	1							1	1					24	1			1	1			
27								1			1			25		1		1				
28		1		1				2		1				28		2		2				
30					1			2		1	1			X. 12				1				
II. 4								2		2				13		2		2				
5		1						1		1				18				1				
10		1	1					2		2				19		1		1	1			
12		1	1				1	3		2	1	1		20				1	1			
13		1	1				1	2		1				21		1		1	1			
14	1		1					2		1	1			22	1			1				
24	1							1	1					26		1			1			
VI. 13					1			1		1				XI. 2				3				
VII. 6					1			1		1				10	2			2	2			
21	1							2	1	1				14				1	1			
22					1			1		1				23		1		2	1			
VIII. 5			1					1		1				27	1			1	2			
IX. 4	3	2	1	2	1	1	1	10	4	3	1	2		28	1			2	1			
5	1	1	2		2	1	1	9	3	2	3	1		29				1	2			
6		1			1	1		3		2	1			30			2	2				
8					1			1		1				XII. 21		1			1			
9	1		2					3	1	2												
合計																		129	38	30	42	19

そうだという予測が、どの程度できるかを検討した。

ここで、爆発時刻に最も影響するものとして潮汐と気圧とをとり、これらを用いて予測を行なった場合について調べた。

(1) 潮汐と爆発時刻

さきに筆者ら⁵⁾が昭和30年10月～33年12月の爆発について、爆発時刻と潮汐との関係調べた結果では、だいたい次のことがわかっている。

i) 爆発は満干潮時に多く、間潮時に少ない。過去の例では、満潮時に生じた爆発は全爆発の29%、干潮時28%、干満間潮時22%、が最も少なく21%であった。

ii) 爆発は前日の爆発時刻より1～2時遅れて起こることが多い。これはi)の潮汐との関係によるものであろう。

昭和34年中の活動期における爆発時刻と潮汐との関係は第10表のとおりである。

この表からわかるように、全爆発回数129回の中、満潮時、干潮時、干満間潮時、干満間潮時の順にそれぞれ38回(29%)、42回(33%)、30回(23%)、19回(15%)となっている。

また、1日に数回以上の爆発が続くような時は爆発時刻はほとんど各潮時にわたるが、1日に1～3回程度の少ないときは、ある日に爆発が生じた場合、次の日の爆発は同じような潮時に生ずる確率が大いことが認められる。すなわち、昭和34年中における爆発についても、昭和33年末までの調査で得られたi) ii)とだいたい同じ傾向が認められる。

次に、これらの結果を利用して実際に爆発時刻を予測

したとすれば、どんなの中率になるであろうか。

いま、1日を満潮時、満干間潮時、干潮時、干満間潮時の各6時間づつに分けて、爆発がどの潮時に生ずるかを予測するのに、i)の統計値ではその差が小さく、おもにii)の結果を重視し、次の爆発は前回と同じ潮時に生ずるものとして予測した場合を考える。

昭和34年中の56日間の爆発について予測した場合の的中率は次のとおりである。

- a : すべての予測時にすべて爆発 (14日)
- b : すべての予測時にすべての爆発があったが、その他の時にも爆発 (12日)
- c : すべての予測時に爆発せず、その他のときに爆発 (18日)
- d : すべての予測時にいくらか爆発したが、他のときにも爆発 (3日)
- e : すべての予測時にいくらか爆発し、他のときに爆発なし (9日)

これをどう採点するかは論議があるが、いまaの場合を100%、bを70%、cを0%、d、eを共に50%的中したものとすれば、全爆発の予測的中率は52%となる。しかし、実用上の問題として、危険回避のためには予測時以外に爆発が生ずるのが恐いのであるから、それを重視して、b、c、dを共に0%、a、eを100%として扱えば、予測の外れた率は58%となる。また、観光のためには予測時に爆発しないのがいけないのだから、d、eを共に50%、a、bを100%、cを0%とすれば的中率は57%となる。

以上の各予測の的中率はあまりよくないが、その原因に次の三つが考えられる。

第1には、1月上旬、9月上・中旬のように1日に多数の爆発があったとき、その始めにbが増加し、その後でeが増加すること。第2には、1月28日その他のように、ある潮時に連続的に爆発しているので、その途中である1日だけその時に爆発がないために、当日も翌日も予測的中となつて、c、d、eが増加すること。第3には、12月21日などのように、その前にかなり長い活動休止期があって、その活動の初日の場合、どの潮時に爆発が生ずるかかわからないのでcが増加することなどである。

実際の予測の場合、次の爆発日に爆発回数が多いか少ないか、また長い休止期の後での爆発がどの潮時に始まるかについての予測は困難であり、したがって、第1および第3の予測障害は一応避けられないものであろう。しかし、第2の障害については、当然その潮時に爆発が

生ずべきものが、なんらかの原因で生じなかったものと仮定し、爆発のなかった日は不的中としても、次の日からの予測にあたっては、その潮時に爆発があったものとして予測してゆけば、第2の障害は減少して、a…16日、b…11日、c…12日、d…2日、e…15日となり、的中率は59%、防災上からみた外れた率は44%、観光上からの的中率は65%となる。

以上は、1日を潮時によって6時間づつの4区分に分けて調べたものであるが、次に、1日を潮時によって3時間づつの8区分に分けて、前と同じ方法で的中率を求めてみる。

まず56日の中、1日に1回爆発しただけのものは24日であり、それを除いた日で一つの潮時(たとえば満潮)で爆発があり、もう一つの同じ潮(たとえばもう一つの満潮)での爆発の有無を調べると、第11表のとおりであった。

第11表 もう一つの同じ潮での爆発の有無 (昭和34)

潮 時	満 潮	間 潮	干 潮	間 潮
有	7	4	5	2
無	12	11	14	13

これによって、1日に二つの同じ潮について深い関係はないようである。これから、a…5日、b…3日、c…27日、d…12日、e…9日

よつて、的中率は32%、防災上からみてはずれた率は75%、観光上からの的中率は34%となり、4区分の時よりはるかに精度が落ちる。

このように、ii)の結果のみによって3時間づつ(1日8区分)予測を行うのは、はなはだ無理であり、また、ある潮時にほとんど連続して爆発している時や、ある1日だけその潮時に爆発がなかった日に対して4区分の時に行ったと同様な補正をしても、その的中率は大きく向上しない。

(2) 気圧変化状態と爆発時刻

前述の潮時による予測精度をさらに上げるために、気圧変化状態を併用し得るものかどうかについて検討してみる。

昭和33年末までの爆発した日について(1日4回以上にもおよぶ多数回爆発の日を除いた日)、時刻別爆発回数を調べてみると第12表のようになり、全体としては4~5、19、22~24時ごろに少なく、12~14、17~18時に比較的多いことを示している。これを前日の気圧

第12表 気圧変化と時刻別爆発回数 (昭和30年10月~33年12月). 気圧変化は前日との平均気圧差 2 mb 以上上昇 (または下降) の時を急上昇 (または急下降), 2 mb 以下の時を変化小, 1 時間内に 2 回以上爆発したものは 1 回に数えてある

時刻 気圧変化	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	計
急上昇					2		1	1		2					1	3	5		1	2					18
変化小	4	5	8	3	1	3	3	3	5	1	3	3	1	4	4	5	6	4	1	2	4	1	1		75
急下降	1	1	1							1	1	6	6	4	1		2		1					25	
計	5	6	9	3	1	5	4	4	5	4	4	9	7	8	5	6	9	11	2	5	4	1	1		118

第13表 気圧変化と時刻別爆発回数 (昭和34)

時刻 気圧変化	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	計
急上昇	1				2		1	2					1	2	1	2	3	4		1		2			22
変化小	3	1	1	2	1	1		1		1	3	4	3	1	1	2		1	2	2	2		2	3	37
急下降	1							2	1	1	2	1	1	1					1		2	2		15	
計	5	1	1	2	3	1	1	5	1	2	5	5	4	4	3	4	3	5	3	3	4	4	2	3	74

差別に分けてみると次のような特長がある。

- i) 前日との平均気圧差が 2 mb 以上の気圧急上昇のときは 6 時前後と 17~18 時に爆発が多い。
- ii) 同じく 2 mb 以上の気圧急下降のときには 12~13 時に特に爆発が多く, 1~3 時と 18 時ころにもやや多い。
- iii) 気圧変化が 2 mb 以下のときには 2~3, 9, 16~17 時にそれぞれ爆発がやや多くなっているが, そのひん度はいずれも特に大きくはない。
- iv) 以上のうち, 気圧急下降の時の 12~13 時の多数回爆発と, 全般的に 5 時ころと 22~24 時に爆発が少ないこと以外は時刻別出現率の差は小さくなっている。

以上の経験によって, 昭和 34 年中の爆発について (全爆発日数 56 日の中, 1 日 4 回以上爆発した日を除いた 47 日間) 調べてみると第 13 表のとおりである。

第 12, 13 表を比較してみると, 同じ傾向のところもあるし, かなり異なっているところもある。これは潮汐の場合よりも気圧の爆発に対する関係度の方が小さいことを示している。ただ, 気圧の急上昇の時は 5 時前後と 17~18 時に爆発が多く, 急下降の時は 12 時前後に若干多くなっていることは同じような傾向である。これは予測する場合の参考となるが, これだけで機械的に予測するわけにはいかない。

(3) 潮汐, 気圧の双方と爆発時刻

次に, 潮汐, 気圧の双方を考慮して爆発時刻を予測した場合, どの程度の的中率が得られるかについて調べてみる。

予測を行うにあたって, 前提条件として次のことを重視して予測を行うことにする。

- i) 潮汐については, 次の爆発時刻は前の爆発の潮汐ベースと同じ潮時に生ずる。かつ, 潮時中干満間潮時には爆発は起こり難いものとする。
- ii) 気圧変化については, 前日との平均気圧差 2 mb を基準として, 急上昇の時は 5~6, 17~18 時, 急下降の時は 12~13 時に爆発が生じやすい。また, 気圧変化の小さい時は特に関係ないものとする。

第 14 表は昭和 34 年中の 47 日間 (1 日 4 回以上の多数回の爆発のあった日の 9 日間を除いた日数) の爆発について, 予測を行った場合の結果を示したものである。

表中, 潮汐欄は前回, 前々回等の爆発時の潮汐によって予測される次の爆発の潮汐ベース。気圧変化欄は急上昇を+, 急下降を-, 変化小を 0, 急上昇後急下降を±で示す。また, 気圧変化からの予測時刻が潮汐ベースからの予測時刻中に含まれる場合を第 1 予測時刻, 含まれない場合を第 2 予測時刻とし, それぞれの予測時刻の合計数と実際にその間に爆発があったか否かについて表に記入してある。

第 14 表 潮 汐, 気 圧 と 爆 発 時 刻 (昭 34)

A : 時 間 中 の 爆 発 の 有 無 ○印は有

月 日	潮 汐	気 圧 変 化	第1予側時刻		第2予測時刻		先ず爆発のなさそうな時刻				実際の爆発時刻	備 考	
			時間数	A	時間数	A	時間数	A	時間数	A			
I 2 8 9 26 27 28	満干	0	1-4	3	のこり	15	○	6-10, 20-22	6		23. 24	干潮ベースにvari潮汐上からは失敗 1/6共第1予測時刻より1時間外れ	
	満	-	17-21	4	5-10, 17-22	10	○	のこり	14		8. 19		
	満	±			6-9, 11-13	5	○	のこり	15		8		
	満	0			1-3, 7-10, 19-22	8	○	のこり	16		21		
	満	0	8-11, 20-23	6	2-4, 15-17	4	○	のこり	14		16		
	満	0	2-5, 15-18	6	8-10, 20-22	4		のこり	14	○	1. 6		
II 4 5 10	干前後	+	8-12	4	のこり	19	○	9-12, 22-24	5		15. 17		
	干前後	0			のこり	14	○	4-17, 16-19	6		11. 24		
	干	0			8-13, 20-22, 23-24	8	○	のこり	16		12		
IX 6	干	+			2-5, 14-19	8	○	のこり	16		17. 18		
	干	±	15-19	4	○	3-6, 12-14	5	○	のこり	15	○	5. 8. 17	予想外は8 ^h の爆発
VI 13	干干満	-			1-9, 11-13, 16-21	15	○	のこり	9		9. 19	満潮, 満干潮ベースに変わった	
	干干満	-			1-3, 4-9, 11-13, 17-22	14	○	のこり	10		12. 21		
	満干	0			のこり	18	○	7-10, 19-22	6		23		
	満	0			2-4, 9-12, 15-17, 19-22	10	○	のこり	14		3		
VII 6	満干満	0	8-11, 21-24	6	○	5-8, 18-21	6		のこり	12	24	予想外は13 ^h の1時間外れの爆発	
	満干	0	20-24	4	○	8-13	5	○	のこり	15	13. 20		
VIII 5	満満干干	0			のこり	18	○	4-7, 16-19	6		12		
	満満干干	-			のこり	18	○	3-6, 15-18	6		15		
IX 6	干満	0	1-4, 7-10, 14-17, 19-22	12	○	のこり	8	○	5-7, 17-19	4		1. 4. 13	予想外は13 ^h の1時間外れの爆発
	干満	0	3-6, 9-12, 15-19, 21-24	13		のこり	5		6-9, 19-21	6	○	20	予想外は20 ^h の爆発
	干満	0	3-7, 9-13, 15-19, 22-24	14	○	のこり	5		7-9, 19-22	5		12. 16. 18	
	満干	+	4-7, 17-20, 18-22, 5-10	6		0-1, 11-13	3	○	のこり	15		1	
	満干	0		9	○	0-2, 12-14	4	○	のこり	11		1. 19	
	満	+				4-6, 7-10, 16-18, 14-24	12	○	のこり	12		7. 18	
	不明	-				のこり	18	○	5-8, 17-20	6		1. 22	
	満満干	-	9-15	6	○	21-3	6		のこり	12		11. 14	
	満満干	-	10-16	6		22-24	2	○	のこり	16		22	
	満満干	-	10-16	6		1-3, 17-19	3		のこり	15	○	8	失 敗
	満満干	+	2-8, 15-21	12		のこり	12	○	のこり	12	○	13. 14	失 敗
	X 12	不明	+			のこり	18	○	0-3, 11-14	6		22	干潮ベースに変わった
干		0	8-12, 20-1	9	○	2-4, 15-17	4		のこり	11		10. 11	
干		0	0-4	4	○	8-10, 12-15	7		のこり	13		2	
干		+			1-4, 13-18	8		のこり	16	○	22	予想外は22 ^h の爆発	
干		±			1-4, 5-7, 13-16, 17-19	10	○	のこり	14		5		
干		+	14-19	5	○	2-5	3		のこり	16		16	
干		+	14-19	5	○	2-5	3		のこり	16		14	
干		0	6-10, 19-22	8	○	2-4, 15-17	4		のこり	12		21	
XI 2	干	0	0-4, 13-17	8	○	8-10, 20-22	4		のこり	12		13. 14. 15	満潮ベースに変わった。1時間外れの予想外は5 ^h の爆発
	干	0	8-11, 20-24	7		2-4, 15-17	4	○	のこり	13	○	4. 5	

月日	潮汐	気圧変化	第1予測時刻		第2予測時刻		先ず爆発のなさそうな時刻				実際の爆発時刻	備考	
			時間数	A	時間数	A	時間数	A	時間数	A			
14	満	+	5-8, 17-20	6	○			のこり	18		20	予想外は1 ^h 間外れの8 ^h の爆発 11. 12 ^h の爆発は予想外	
23	満干	±				5-7, 11-16 17-19, 20-24	13	○	のこり	11	○		8. 16
27	満干	0	6-10, 8-22	8	○	2-4, 15-17	4		のこり	12			21
28	満干	0	7-10, 19-22	6					のこり	18	○		11. 12
29	満干	+				5-7, 8-11, 17-19, 20-23	10	○	のこり	14			18
30	満干	0	8-13	5	○	17-19, 21-24	5		のこり	14			10. 11
30	満干	-				0-3, 5-7, 13-19	11	○	のこり	13			18
XX21	満干	+											干潮ベースに変った
合	47日 (1128時間)			192時間 有 17日 無 11日			378時間 有 29日 無 15日			558時間 有 9日 無 38日			
計				570時間 有 41日 無 6日									

なお、少数例ではあるが、爆発潮汐ベースが決定しがたく、この時刻には爆発はなさそうだとしか判定されない場合もあった。

第14表から、個々の予測時刻的的中率を求めると、第1予測時刻におけるものでは36%、第2予測時刻からは38%となる。このような短時間内の予測は非常に困難であるが、いま1日中の予測時刻の中のどれかに爆発が生じた場合、その日の予測は一応的中したものとして扱えば、第1予測時刻からは61%、第2予測時刻からは66%という的中率が得られる。しかし、第1、2予測時刻を併せたものが実際の1日中における予測時刻であり、この予測時刻の合計時間数は約12時間で、上述の後者のときと同じ方法で的中率を求めると87%となる。また爆発がなさそうだと予測される時刻についてみると、47日の中9日はずれただけで、はずれた率は19%となる。

これらの的中率は、もちろん爆発日を100%予測し得た場合の平均的的中率であり、日々の的中率についてはかなりの相違がある。

以上述べたように潮汐、気圧変化を用いても、「何日の何時に爆発が起る」というような予測は困難である。しかし、その時刻範囲を広げて、1日を爆発のありそうな時刻と、なさそうな時刻とに分け、それぞれの予測時刻の合計時間の平均がともに約12時間程度とし、この時刻の範囲内で予測が許されるとすれば、昭和34年中のものについては80%以上の的中率が得られたことになる。

このように、爆発時刻の予測を行うのに、潮汐と気圧変化の双方を用いれば、ある程度の時刻予測が可能とな

り、半日程度の時刻範囲でかなり有効な成果があげられるものと考えられる。

§ 5. 次の爆発の大きさおよび爆発の有無の予測

ある爆発が起ったとき、次の爆発の大きさおよび爆発の有無を予測する必要がある。火口状況、噴煙状況、爆発状況などによる判定法はすでに報告²⁾した、ここでは、今回の調査も含めて述べる。ただし、この予測は実際にはまだ行っておらず、筆者等の間で論議した程度で、予測上の一つの試みにすぎない。

(1) 単独爆発の場合

1日1回あるいは1日で1~2時間程度の短時間の間にのみ2回以上の爆発があった場合を単独爆発とした。

単独爆発は一般に火山活動が弱い場合で、持続性があり、連日あるいは1日間隔をおいて連続するもので、爆発多発の日と混交するようなことは比較的少ない。また、このような爆発の時は、山頂火口内には新溶岩の盛り上がりがないしはその残砕があまりない時に限られる。

潮汐、気圧との関係については §3 で述べたことがいえ、また統計的に、干満間潮時に爆発が起れば、その時はおそらく単独爆発では終るまいと予測できる。第15表は単独爆発の潮汐別ひん度である。

単独爆発の場合の地震の強さは、活動力の弱い時期のものとしては比較的強いようである。しかし、特に強いというようなものは少ない。第16表は単独爆発時の地震の振幅別ひん度を示す。

なお、爆発状況や爆発後の微動状況からも、その爆発が単独爆発で終るかどうかの判定がある程度つくが(\$1)

第 15 表 単独爆発の潮汐別ひん度、斜線下の数字は率を示す

年		昭和30~33	昭和 34
潮 時			
満 潮		34/0.30	9/0.31
満 干 間 潮		30/0.25	8/0.28
干 潮		33/0.30	11/0.38
干 満 間 潮		18/0.15	1/0.03

第 16 表 単独爆発に伴う地震の振幅別ひん度 (昭和34) (鹿兒島地方気象台のウイーヘルト地震計による)

回 数	11	4	7	2	2	3	2	1
地震の 振 幅 (μ)	微 し 10	11 し 20	21 し 30	31 し 40	41 し 50	51 し 60	61 し 70	71 以上

平均振幅 33 μ

この中率は数量に算出しがたいので省略する。

(2) 単独爆発が続いている期間に、1日に2~3回の爆発があったり、1日に2回の爆発が続いているのに、1日3回の爆発が混入したりする場合

このような場合は単独爆発の日数に比べて割合少なく、

第 17 表 爆発が前日よりやや増した日の爆発潮時と地震の強さ (昭 34) ゴジックは前回の爆発潮時に相応するもの。 μ : 地震計に記録された爆発地震の振幅。 H : 時間間隔 (鹿兒島地方気象台のウイーヘルト地震計による)

月	日	潮 時 お よ び 地 震 の 強 さ			
I	8	満 潮	78 μ —11 H —	満 潮	30 μ
	28	満 干 間 潮	28 μ —5 H —	干 潮	12 μ
II	4	干 潮	37 μ —13 H —	干 潮	40 μ
	12	干 潮	36 μ —3 H —	干 満 間 潮	65 μ —9 H —
	13	干 満 間 潮	15 μ —10 H —	干 潮	41 μ
	14	満 潮	22 μ —9 H —	干 満 間 潮	20 μ
VII	21	満 干 間 潮	13 μ —8 H —	満 潮	微
IX	6	満 干 間 潮	58 μ —3 H —	干 潮	39 μ —8 H —
	9	満 潮	63 μ —4 H —	満 干 間 潮	14 μ —2 H —
	16	干 潮	24 μ —19 H —	満 潮	微
	20	干 満 間 潮	80 μ —11 H —	干 満 間 潮	9 μ
	22	干 満 間 潮	20 μ —21 H —	満 潮	62
	23	干 潮	102 μ —3 H —	満 干 間 潮	微
XI	23	干 満 間 潮	10 μ —5 H —	満 干 間 潮	微

昭和34年中のものでは第17表のとおりである。

現在までの調査では、だいたい次のようなことが認められている。

i) 爆発の後に余噴煙がひんぱんに出れば、その後で爆発が起こることは少ない。

ii) 2回の爆発が起きた場合に、後の爆発が最初の爆発よりかなり小さい時は爆発はおおむねそれで終る。逆に後の爆発の方が最初の爆発より大きいか、あるいは同じ程度のものである場合は爆発がそれで終ることは少ない。

iii) 干満間潮時に始まった爆発はそれ1回で終ることは少ない。

iv) 前回の爆発と同じ潮時に爆発することが多く、また前回の爆発潮時以外の時刻に爆発があれば、前回の爆発潮時と同じ潮時に爆発することが多い。

v) 爆発に伴う地震、火口状況などについては単独爆発の場合とほぼ同じである。

しかし、これらの諸項はとくにはっきりしたものではない。たとえば、第17表の爆発地震については、2月4、13、14日、9月9、22日には、さらにそれに続く爆発があつてよさそうだったにもかかわらず、実際に続く爆発はなかった。また、2月13、14日の始めの爆発の後には余噴煙が多く出たのに、それに続く爆発が起きた。

(3) 多数回の爆発がある場合

火山活動が強く、1日に多数回の爆発が起きた場合に、その始終時その他についての予測は前の(1)、(2)の場合より困難である。このようなことは頂上火口に多量に溶岩を押し上げる前後に起こることが多く、爆発活動は気圧変動、潮位変動などにはほとんど無関係に起こるので、微動、噴煙、火口の状況などによって判定するほかは、その予測に用いられそうな特別な関係はまだ認められていない。

第18表 爆発の多かった日の地震の強さ(昭34)
 μ : 地震計に記録された爆発地震の
 振幅 h : 爆発と爆発との時間間隔

月 日	地 震 の 強 さ
I. 4	$35\mu-1^h-81\mu-7^h-26\mu-4^h-14\mu-3^h-56\mu$
	$58\mu-12^h-40\mu-3^h-15\mu-1^h-51\mu-1^h-15\mu$
	$48\mu-7^h-27\mu-4^h-14\mu-4^h-49\mu-5^h-14\mu$
11	$31\mu-4^h-40\mu-3^h-35\mu-2^h-64\mu-7^h-26\mu$
IX. 4~5	$81\mu-1^h-13\mu-1^h-39\mu-2^h-20\mu-5^h-34\mu$
	$-4^h-35\mu-1^h-39\mu-1^h-29\mu-5^h-91\mu$
	$-2^h-165\mu-1^h-120\mu-1^h-51\mu-4^h-86\mu$
	$-2^h-212\mu-1^h-16\mu-4^h-29\mu-2^h-100\mu$
	$-2^h-81\mu-5^h-64\mu-1^h-60\mu-2^h-58\mu$
	$-3^h-39\mu-9^h-9\mu$
IX. 18~19	$182\mu-3^h-69\mu-6^h-43\mu-5^h-28\mu-2^h-20\mu$
	$-2^h-29\mu-0^h-120\mu-6^h-39\mu-4^h-67\mu$
	$-3^h-58\mu-1^h-132\mu-4^h-66\mu-6^h-100\mu$
	$6^h-55\mu$

第18表は昭和34年中における1日に5回以上爆発のあった日における地震の強さを示したものである。この表から、地震の強さについても、(1)、(2)項と特に変わったところは認められず、時々、強くても150~200 μ 程度のものがみられるくらいである。

以上、要するに、1回の爆発が生じた場合、次の爆発が何時ごろ生ずるかの予測は、いまのところ、火口の状況、爆発噴煙の状況、噴出物の多少、潮時、気圧変化などにより、ある程度の推測が立てられるにすぎない。

§ 6. む す び

昭和33年までの桜島の爆発に関する調査経験則を昭和34年の爆発予測に適用した場合の爆発予測精度は概要次のとおりであった。

活動期の予測

長い静穏期後、桜島火山に活動性が増したかどうかは、鹿児島湾の潮位の変動、局発地震、火山性微動、その他

の事象の検討によりだいたい感知できる。

短かい休止期後の活動期の予測は、A型地震、B型微動、温泉温度、噴気、噴煙、爆発、噴出物、その他の観察から「活動期が迫りつつある」、「活動期は峠を越した」といった程度の予測はだいたいなし得た。

爆発日の予測

A型地震のP~Sの追跡から、かなりの程度(±1日)に爆発の有無が推定でき、その的中率は約70%である。

爆発時刻の予測

爆発は潮汐、気圧と深い関係がある。1日を潮時によって4区分し、ワーク・シートによって爆発を予測する時の的中率は52%、観光の見地からの的中率は57%、防災の見地からの予測のはずれた率は58%であった。しかし、ある制限を設けて予測する時の的中率は59%、観光の見地からの予測的中率は65%、防災の見地からの予測のはずれた率は44%であった。

気圧変化を考慮して予測を補正すれば、その的中率は80~90%(ただし1日に多数回爆発した時を除く)となり、これらも含めた全爆発については、ほぼ70%の的中率であった。

なお、1日を潮時によって8区分した時の的中率は32%にすぎなかった。

また、一度爆発が生じた際、次の爆発が何時間後に起こるかを予測することはいまのところ困難ではあるが、ある程度推定できる。

終りにのぞみ本報文作成にあたり種々御指導御授助いただいた地震課諏訪調査官、田中技官の御好意に対して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 安井豊・野田義男: 桜島火山爆発予測の現在までの経過, 測候時報, **26**(1959), 227~235.
- 2) 安井 豊: 昭和30年10月13日以降の桜島火山爆発と火口状況・噴煙状況の関係について, 験震時報, **24**(1959), 31~33.
- 3) 安井豊・東谷幸男・野田義男・利光貞夫: 昭和30年10月13日以降の桜島火山爆発とA型地震の関係について, 験震時報, **25**(1960), 25~28.
- 4) 安井 豊: 桜島火山爆発機構の一考察, 火山, **2**集, **3**(1959), 169.
- 5) 安井 豊: 桜島火山の微動・爆発と潮汐・気圧との関係, 研究時報, **12**(1960), 646~674.

- 6) 鹿児島地方气象台：桜島爆発速報，第7号(1958). 8) 安井 豊：噴火予報の展望，天文と気象，(1959)，
7) 安井 豊：最近の桜島火山の飛行機観測，測候時
報，27 (1960)，162~166. 6, 7, 8月号，2~8, 2~5, 5~11.