

桜島における有感 A 型地震と弱線形成について*

吉 留 道 哉**

551.21

1. まえがき

火山地帯で地下 1~10 km で発生する地震を A 型地震といい、この地震の発生は地下のマグマの活動と密接な関係があり、火山活動のは握、予測に欠くべからざるものとして以前から注目されている。すなわち、3 点以上の観測点があれば震源の決定も可能で、震源もしくはその移動を知ることにより、火山活動の根源となるマグマの活動を爆発にさきがけては握でき、爆発機構の解明に役立てることができるからである。気象庁において第 1 次整備(1962—66年)で実現した A 級火山(浅間山, 三原山, 阿蘇山, 桜島)の 3 点観測網を第 2 次整備でさらに 5~6 点に拡充する構想⁽¹⁾があるのは、震源決定の精度を高め上記の目的を達成したいためにほかならない。

鹿児島地方気象台桜島火山観測所では、1964 年以来 3 点にそれぞれ 3 成分の電磁地震計をおき震動観測を行なっているが、火山地帯は碎せつ物の堆積が多く、特に桜島の場合、マグマたまりの存在も加わり、地震波の減衰が大きく、相も乱れやすいこと、また B 点が大正軽石層上にあるため P-S 相が明瞭に出にくいことなどのため、3 点とも P-S 時間が明瞭にとれる A 型地震はきわめて少なく、震源決定がじゅうぶんできない状態である。

マグマたまりの存在については推定の域を出ないが、若干筆者の経験を述べると、1968 年 2 月のえびの地震を震源から 10 数 km 離れた鹿児島地方気象台霧島火山観測所の電磁地震計には、P-S 時間 2.5 秒前後のきれいな A 型地震に記録したことは、桜島における A 型地震が数 km 離れると P-S 相が乱れ、A 型地震ぐずれとしか記録しないことを経験している筆者にとっては驚きであった。これは桜島の地層が霧島のそれと比べ複雑であることを物語るものであろうが、そのほかにマグマたまりの影響も無視できないであろう。

現在、火山爆発の機構からみてもマグマたまりの存在はなかば定説化し、桜島においても 2・3 の人⁽²⁾により

その位置・大きさ・深さについて推定が試みられている。マグマたまりを通過する地震波は当然減衰が考えられるであろうし、事実、1968 年のえびの地震その他による地震波が桜島南岳火口(現活動火口)付近の真下を通過する場合、C 点における地震記録振幅が他点(A 点もしくは B 点)に比べ著しく減衰し、相が乱れた例があり、マグマたまりの存在を実感できたことがある。

一方、今回の桜島の活動は 1955 年にはじまり、1969 年 10 月で満 14 年になり、また 3 点震動観測を開始してから 5 年を経過した。その間の資料のうち A 型地震についてとりまとめ、いくらかの結論を得たいと思い、その一方法として、鹿児島もしくは桜島での有感 A 型地震について震源決定(1964 年以降)を行ない、また、それらが火山活動といかなる関係にあるかを調査した。

震源決定には、桜島 3 点資料ならびに鹿児島地方気象台ウィヘルト地震計による資料を主として用い、京都大学防災研究所付属桜島火山観測所の一部資料ならびに 1968 年 6~7 月桜島で実施された気象庁火山機動観測成果⁽³⁾も参照した。

なお、この調査に用いた鹿児島地方気象台所管の地震計についての概略を第 1 表に、観測点の配置については京都大学、気象庁機動観測班のものも含め、その概略を第 1 図に示した。

第 1 表

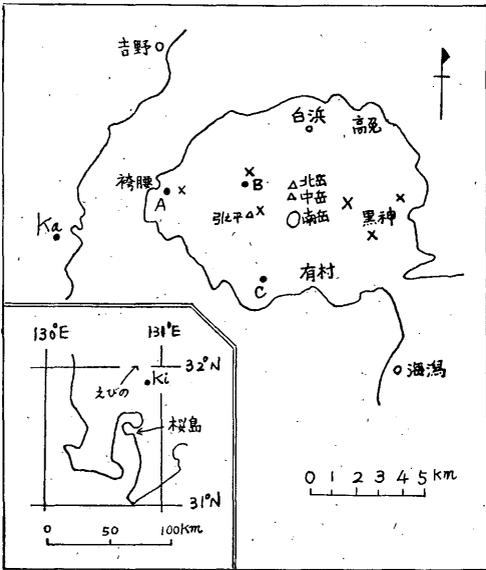
観 測 点	地震計型名	周 期	倍 率
桜 島 A 点	JMA-62A	1.0 sec	2,000 300
	JMA-56	1.0 "	
" B 点	JMA-62C	1.0 "	2,000
" C 点	JMA-62C	1.0 "	2,000
鹿児島 K _a 点	Wiechert	5.0 "	80
霧 島 K _i 点	JMA-62A	1.0 "	5,000 300
	JMA-56	1.0 "	

2. 発生状況

第 2 図に示すように桜島における火山活動がもっとも活発であった 1960 年を中心にして 1957~62 年に A 型地震の発生回数は爆発回数を上回っており、特に 1960 年以前の方がその度合いが強い。これを月別にみた場合、A 型

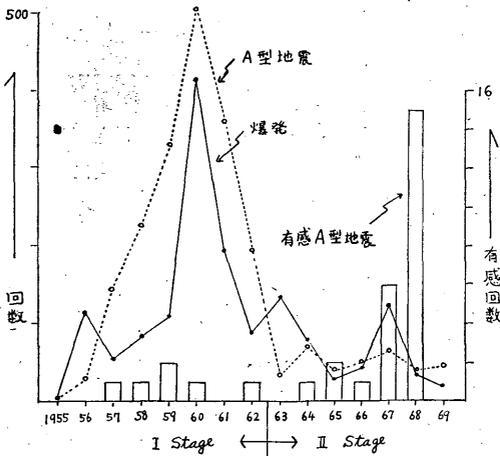
* M. Yoshidome: On the Felt A-type Earthquakes and Forming the Weak-line at Volcano Sakurajima (Received April 14, 1970)

** 鹿児島地方気象台



第1図 観測点配置図

- 気象台観測点
- × 京都大学観測点
- 機動班観測点



第2図 爆発、A型地震および有感A型地震回数の年変化

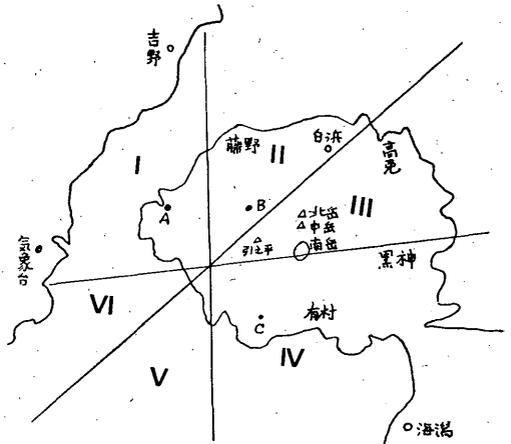
地震の発生回数は1959年12月に最高となり、1960年の活動に前駆している例からもわかるように、A型地震と爆発の月回数は一致もしくはA型地震の増加が爆発のそれに前駆する傾向がある⁽⁴⁾。これらはA型地震の増加が地下活動を反映するものであり、遠からず表面活動へ移行することを示すものとして、かねて言い古されていることである。この間における有感A型地震はこの動きを顕

著に示すもので、後述のように爆発との関連が深い。いまかりに1962年までをI期、1963年以降をII期と区分するならば、I期は上述の傾向に加え、A型地震が多発しているにもかかわらず、有感A型地震は逆にきわめて少ないのが特徴となっている。

ところが、II期はA型地震は減少横ばいの状態であるわりに有感A型地震が多く、1967~68年には急増した。I期においてはA型地震のP-S時間の短縮を追跡することにより、爆発をかなりの精度で予測できた例も報告されているが⁽⁶⁾、II期にはそのようなケースがほとんど出現しなくなったうえ、後述のように爆発と関連が認められない例も多くなった。

3. 震源決定に用いた方法

第3図のように、3点を結んでできる三角形の各辺を通る垂直二等分線によって区切られる六つのブロックにナンバーをつけ、3点のP波の発現順との組合せにより、震源がどのブロックにあるかを見当づけた。この調査期間、3点は同一水晶時計から刻時をとっているため、発震時の比較を行なうには条件がよかった。



第3図 P波発現順による震源ブロック

ブロック No.	I	II	III	IV	V	VI
P波発現順 A	1	2	3	3	2	1
B	2	1	1	2	3	3
C	3	3	2	1	1	2

次に3点のP-S時間を求め、大森常数 $K=3$ を仮定して震源を求め、前者による震源域とくい違いのないようにした。3点ともP-S時間が明瞭なケースは少ないが、前者を参照することにより、ほぼ正確なP-S時間を検測できたと考えている。Kについては、桜島におい

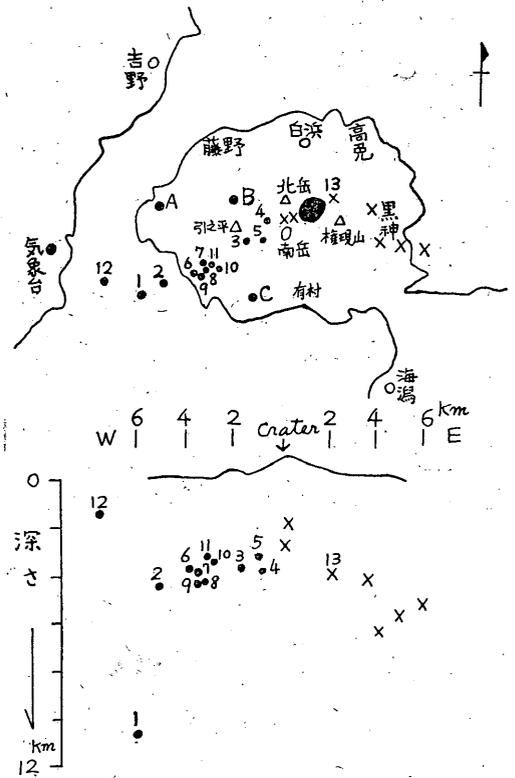
て人工地震による地震波速度と地下構造の推定が行なわれていないので不明であるが、安井ら⁽²⁾は $K=3$ がもっとも矛盾なく使えると述べている。もちろん、これで十分とは考えないが、この調査の対象となった $P-S$ 時間 (2秒前後以下) の範囲ならば、決定された震源に大きな誤差は生ぜず、震源群の傾向を知るには支障はないと判断した。しかし、 $P-S$ 時間が3秒以上になると K は急激に大きくなる。たとえば、1957年1月25日11h34mの喜入地震⁽²⁾ (鹿児島、震度Ⅲ、 $P-S$ 時間3.2秒)、1965年7月15日12h23mの南薩地方の地震 (震度、枕崎Ⅱ、鹿児島Ⅰ、桜島Ⅰ、鹿児島 $P-S$ 時間3.9秒) の場合、筆者の試算によれば、前者は $K=7\sim 8$ であり、後者についてもそれに近い値となる。

なお震源決定に手間どった一例を参考として述べる。1968年1月18日、06h05m、鹿児島市の一部 (甲突川流域) で震度Ⅱ~Ⅲを伴った有感地震は、当初 $P-S$ 時間を過大にとっていたため、1) 桜島、吉野、谷山は無感である。2) 鹿児島震度Ⅲ (鹿児島ウィヘルト地震計の最大振幅 433μ) の地震が47km隔たった霧島の電磁地震計 (倍率5000倍) に記録されないの2点が説明できなかった。しかし、浅い地震はよく $P-S$ 時間をとり違えることがある (たいていのは表面波を S 相にとる) という気象庁地震課中康裕氏の助言に基づき、精密再検測したところ、震源は甲突川河口東南東約2kmの海底、深さ1~2kmのきわめて浅い火山性地震であると推定され、上記の矛盾を解決できた。

4. 震源分布

第2表に1955~69年における桜島有感A型地震の発震時、観測点別の $P-S$ 時間、最大振幅、有感個所別震度についての調査結果を示す。この中で1963年以前は鹿児島地方気象台でウィヘルト地震計だけが作動しており、他観測点の空欄は未観測によるものである。1964年以降の空欄 ($P-S$ 時間、最大振幅) は記録されないか、または検測できないものである。桜島A点もしくは霧島における電磁地震計の最大振幅が振り切れた場合、できるだけ、もよりの56型高倍率地震計による検測値を採用した。振りきれた場合は読み取り可能な最大振幅値の末尾に不等号を付してある (例: $17.0<$)。

次にこれらのうち、3点とも $P-S$ 時間の読みとれる地震について、震源決定を行なった結果は第4図のとおりである。同図によれば、震源は赤水沖から野尻、引之平の南を通り、中岳に達する線上に分布しているように見える。深さは3~4kmが多い。なお同図には1968年6月12日~7月19日、機動観測実施中に発生したA型地



第4図 有感A型地震震源分布

- 常時観測網により決定
- × 機動観測班決定

大きくぬりつぶしは1968年5月29日群発地震主震域 $K=3$ を使用 (震源番号1だけ $K=5$)。震源番号は第2表による

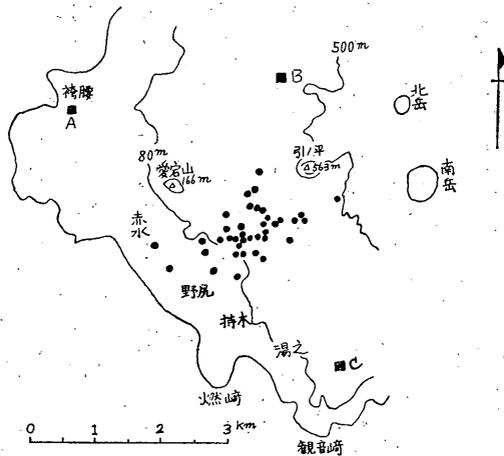
震の震源ならびに同年5月29日の桜島有感群発地震の推定主震域についても併記した。

1958~62年の震源決定できない有感地震4個 (第2表) については、鹿児島の $P-S$ 時間が震源のきまっている1964年7月18日の地震の $P-S$ 時間と似かよっていること、また火山活動との関連が深い (第2表) ことなどから考えて、これらの震源はいずれも鹿児島から桜島よりに震源をもつ火山性地震と思われる。第2表における1965年の2回、1968年5月29日以降の地震はいずれも桜島島内に震源を有するものであり、鹿児島ウィヘルト地震計に記録しているが、 $P-S$ 時間が読みとれないこと、また1967年の6回の地震は同じく桜島島内に震源を有するにもかかわらず、鹿児島ウィヘルト地震計に記録されないことなどから考えて、桜島島内に震源を有する地震は鹿児島まで到達しにくい、相が乱れやすいと考

えられる。1958～1962年の5回の地震は一応鹿児島においてP-S時間が験測されているので、震源を鹿児島、桜島間の海域とみなせる。また1968年1月21日の4個の有感地震の震源も、これにさきかけて起こり、震源決定ができた1月18日の地震と諸要素を比較し震源は同海域と思われる。

これらのことから考え、鹿児島でP-S時間2秒前後の局発地震はこの海域を震源とする桜島火山性地震とみなせる。

なお、これらの震源分布はおもに1964年以降の有感地震について求めたものであるが、一方、1964年7月～67年12月において桜島3点ともA型にとれる地震（主として無感）の震央分布を示すと第5図のとおりで、その分



第5図 A型地震震源分布
July, 1964～Dec., 1967

布は同期間における有感A型地震（第4図）とだいたい一致するといえる。ところで1963年以前の数少ない震源決定の1例として安井ら⁽²⁾により求められた1959年2月12日～6月30日の震央分布をみると、南岳山頂火口から北～北西の方向に多く存在している。これをもってI期における震源分布のすべてと断定することはできないが、少なくともその一つのタイプと考えることは可能である。このことはI期、II期の震源域の相異が、後述のように爆発との関連の相異につながっていることを示唆する興味深い問題である。

次に、桜島全島的に感ずる地震はともかく、島内のごく一部で感ずるA型地震は、約40km離れた当台霧島火山観測所の5000倍の電磁地震計に記録されないのはもちろん、対岸の鹿児島のウィヘルト地震計にも記録されない（第2表）。桜島の爆発は小さなものでも霧島で記録

されることを考えると、局部的な有感A型地震のエネルギーは、爆発地震のそれより小さなものと考えざるを得ない。1968年1月18日鹿児島で震度Ⅲの地震が霧島で記録されなかったことなど好例である。

5. 爆発との関連

爆発との関連要素として

1：有感地震（A型地震の意、以下同義）後1日以内に爆発

m：有感地震後1か月以内の爆発回数が前1か月のそれより多い

n：有感地震後1か月以内の爆発回数が前後6か月間の月平均爆発回数より多い

を考え、これらについて関連性をみると（第2表）、1962年までのI期は爆発との結びつきが強いといえる。すなわち1日以内に爆発するケースが6回のうち3回あり、極端な場合は6分後もしくは2時間後に爆発している。これらの震源は前述のとおり、火口から離れた鹿児島、桜島間の海域と推定されることを考えると、爆発は連鎖反応にもよると考えられる。また1日以内に爆発しない場合でも、前1か月以内の爆発回数もしくは前後6か月間の月平均爆発回数に比べ、有感地震後1か月以内の爆発は増加している。しかし、1963年以降のII期は溶岩上昇による異常活動のあった1967年の特殊例を除けば、爆発との特別な関連はみられない。このことからII期における有感A型地震のエネルギーは爆発、噴煙活動以外の作用に使われている懸念があり、その顕著な例が1968年5月29日の有感A型地震の群発であろうと考えられる。

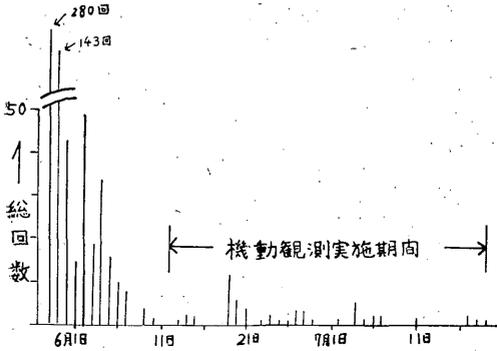
6. 1968年桜島有感A型地震群発について

6.1 経過ならびに地震群の震源

1968年5月29日未明、桜島中央火口列の東部で発生した有感地震を含むA型地震の群発は、黒神がもっとも激しく、ついで高免、白浜、海瀉の順で、島の西部もしくは南部はさほど感じなかった。

当台桜島火山観測所（A点）では、同日07h30mまでに震度Ⅰ～Ⅲの地震を5回観測したが、京都大学黒神分室では47回を数えた。その後もA型地震が継続し7月上旬まで続いたが、うち有感は5回であった。桜島におけるこのような有感地震の群発は、過去の例（文明、安永、大正の各噴火）ではいずれも大噴火に結びついており、活動の前ぶれかと思われたが、その後は6月4日にB型地震の群発を伴う爆発が2回あったほかは、たいした活動もなかった。気象庁では事態を重視し、機動観測班を派遣し観測を強化した。

しかし、機動観測中のA型地震の発生はそれほど多く



第6図 A型地震の日ひん度
May~July, 1968

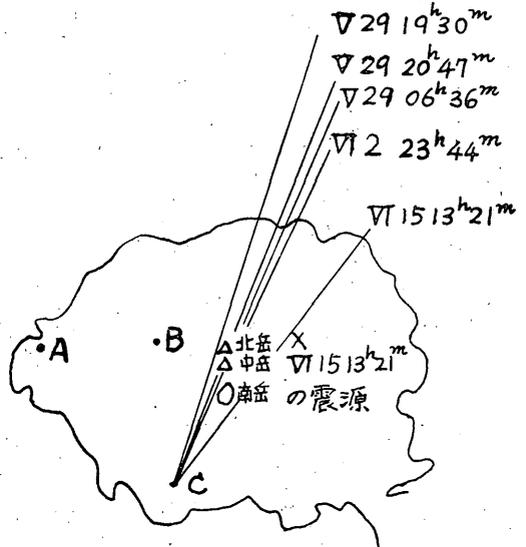
はなかったが(第6図), 機動観測が当台3点観測網の弱点ともいふべき, 白浜, 海潟, 吉野で行なわれたため, 今回のように島の東部で発生する地震に対してはきわめて効果的であり, 京都大学の観測資料を参照できたこともあり, 観測されたA型地震の震源を現状においては最高の状態で決定できたことの意義は大きい⁽³⁾. これらの震源については第4図を参照されたい. すなわち, これらの震源分布は有感A型地震が群発した5月29日から10数日以上を経過して発生した地震について求められたものであるが, 5月29日の有感地震群の震源を探る手がかりが得られるのである.

5月29日の有感地震群発は2h40mから5h30mまでが激しくほとんど連続的に発生したため, P-S時間, 初動, 発震時などが検測できず, この間に起こった地震については震源はきめられない(このことは今後検討を要する問題である). このあと6h36mから6月2日までに発生した5回の有感地震については, P-S時間, 初動からみて, ほぼ同一地点で起こっていると思われるが, これらを機動班により震源決定が行なわれた6月15日13h21mの震度Ⅲの地震とC点初動方向(5回のうち1回は初動不明瞭)について比較を行なった結果は第7図のとおりで, これらの震源は6月15日13h21mのそれより北岳より位置している. 群発時の震源もだいたいこの付近と考えてよいと思われるので, これらを総合し5月29日の群発時の有感地震の主震域は, 北岳, 中岳付近からいくらか東によった所と断定してそう大差はないと思われる(第4図). なお, 初動不明瞭のものも含め, かならずしも初動方向が主震域に集中しないこと, また群発時(5月29日未明)における有感地震の体感度合いもしくは回数が, 主震域から距離的に遠い海潟が袴腰(A点)より大きかったことを考え合わせると, 震源は黒

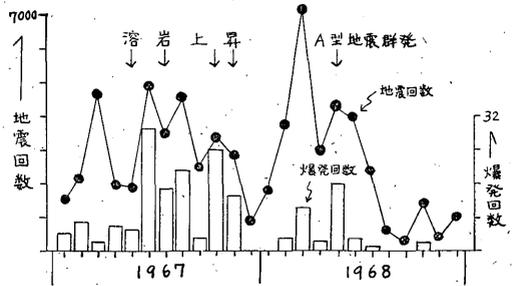
神の方にも分布している気配が濃厚である.

6.2 1967~1968年の火山活動状況

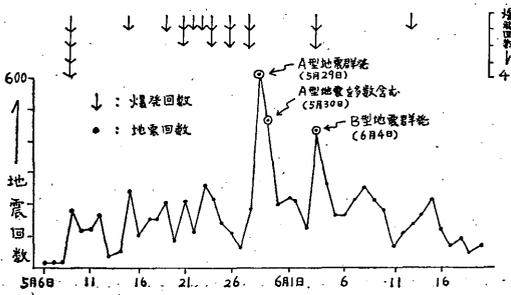
1967~1968年の桜島火山活動状況は第8図のとおりで, 1968年3月の月地震回数は7000回を越えたが(1964年観測以来の最高), 4月はやや減少した. 5月に入って9日から28日までに16回の爆発があったが, 29日の有感地震の群発後は逆に爆発は減少した(第9図). 桜島における有史以来の三大爆発はいずれも有感地震の群発をその前兆としており, 1955年以降の一連の活動の中でもたとえば1959年12月末から翌年1月はじめにかけての有感地震2回を含むA型地震の群発は, 1960年1月19日に南岳山頂火口に大量の溶岩を押し上げ, 2月8日までに41回の活発な爆発を伴った活動に前駆した. ところが今回の場合, 日がたつにつれて活動は平静となり, 1968年9月は地震回数300回で, 1964年以来の最低となった



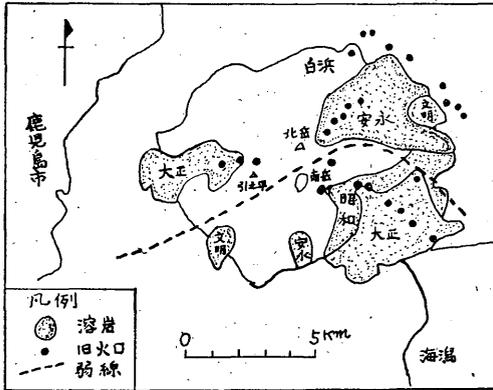
第7図 C点初動から推定される群発地震の震源方向



第8図 1967年から1968年までの火山性地震および爆発月ひん度



第9図 火山性地震および爆発日ひん度
May~June, 1968



第10図 桜島弱線想定図

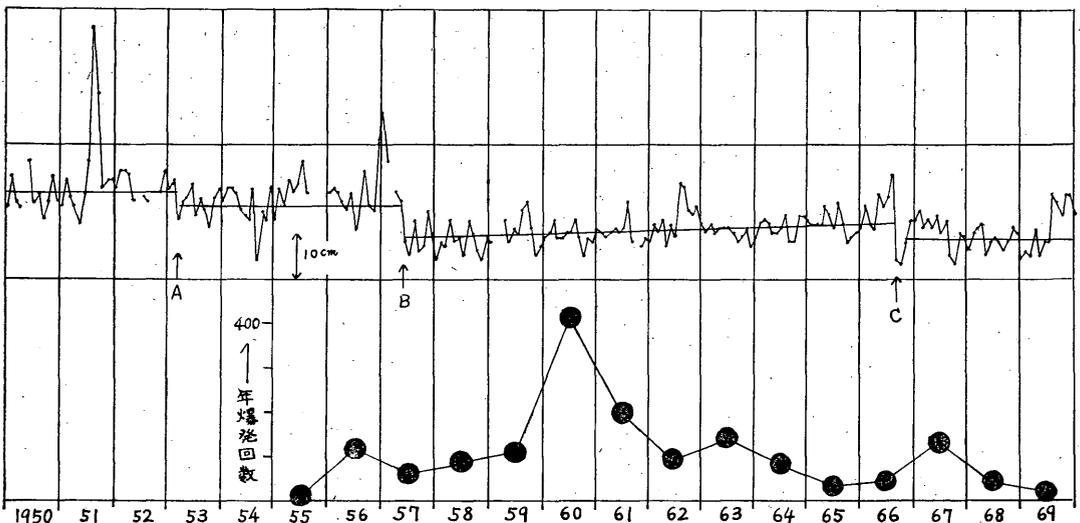
(旧火口の位置は今村明恒氏撰桜島新旧噴火図参照)

(第8図)ほか、1968年7月26日から翌年2月17日まで(207日間)に、爆発が2回しかないというおだやかな状態となった。

6.3 有感地震群発の意義

では、この有感地震群発の意義はいかに考えるべきであろうか。筆者は5月29日の有感地震群発の震源が、第4図における震源分布を中央火口列に延長させた線上にあり、6月15日13h21mの震度の震源がさらに東北東に延長された所で発生したことを注目すべきと思う。すなわち、弱線形成が中央火口列に及び、さらに東へ移動した過程に有感地震が発生したといえないだろうか。機動班による震源分布が6月15日の震源から南東に曲がって海上にのびているのは、桜島北東部が安永、文明両噴火の旧火口に至る所に存在している(第10図)ことからわかるように地層が団結し、弱線がさらに東北東へのびるのがはばまれたため、南部の大正火口との中間地帯に弱線を形成したものと思われる。したがって5月29日の有感地震群発を契機として、筆者は桜島において第10図に示すような弱線形成がなされたと想定した。

筆者が別に調査した平均潮位差法⁽⁵⁾により鹿児島港の垂直地殻変動をみると、1966年9月以降鹿児島港の地殻は上昇に転じている気配があり、圧力源としてのマグマたまりの充満を思わせる。第11図は鹿児島港と油津の月平均潮位の差を求めることにより、鹿児島港の垂直地殻変動の時期と変動量を取り出したもので、潮位差曲線が下降している所が鹿児島港の地殻上昇に該当する。同図において、Aは1955年10月の桜島爆発に、Bは1955年以降



第11図 月平均潮位差変化曲線と桜島火山活動の関連
矢印は鹿児島港における地殻上昇を示す

の桜島の火山活動が最盛期となった1960年にそれぞれ2年半前駆して出現している。Cにより1967年の前後4回にわたる溶岩上昇に伴う活発な活動、1968年5月29日の有感地震の群発が発生したとみなせる。

7. 弱線の意義

1914年(大正3年)の大爆発以来休止していた桜島の火山活動は、1935年(昭和10年)から噴煙活動が始まり、1939年(昭和14年)以降ほとんど毎年のように爆発をくりかえし、1946年(昭和21年)の溶岩流出を伴う活動へと展開したが、その間の活動火口は1914年の火口列を連ねる線上に並び、また、1955年以降活動を続けている南岳山頂火口もこの線上にある。このことから考えると、1935年以降の活動は大正噴火の余勢によるものと思われる。しかし、1968年5月29日の有感地震の群発により明らかになった弱線は従来のそれとは全然別個のものである。弱線が中央火口列と交わる所は、機動班により震源決定された中岳真下のA型地震(1968年6月20日04h44m, 05h41m)が爆発と結びつかなかったことからわかるように、南岳火口下の火道もしくはマグマたまりとは無関係の所である。1955年以来続いている桜島南岳山頂火口の活動は、すでに14年を経過し他に類をみない長期活動となった。今後の活動推移については断定的な予測は困難だが、早晚、終息する可能性が大きいとみなすべきであろう。桜島火山活動の長期展望を行なううえでの問題点は、その休止期のあとにくる活動期における活動火口である。桜島の記録に残る三大噴火は南岳山頂火口を中心とする活動軸上の対称的な位置で爆発し、しかもそのつど活動軸は回転し、二度と同一地点で大爆発はくり返されていない。今後これらの大噴火に相当する活動がある場合の活動点の模索を行なうには時期尚早の感もあるが、この弱線は興味ある存在と思われる。

8. むすび

桜島におけるA型地震発生回数は1955年から1962年までは爆発回数を上回り、またA型地震と爆発の結びつきが強かったが、反面、A型地震の中に占める有感の割合はきわめて小さかった。ところが、1963年以降はA型地震は減少横ばいの状態であるのに有感の回数が多く、特に1967~68年に急増し、しかも爆発に結びつかないものが多くなり前者と対照的になった。これら爆発に結びつかない有感A型地震のエネルギーは、1968年5月29日の有感A型地震の群発のそれも含め、弱線形成に費されている懸念が濃厚で、これらの動向に筆者は注目している。

終わりに当たり、1955年以来鹿児島地方気象台において地震・火山観測を担当され労苦の結晶を残された諸先輩、観測課火山係諸氏、機動観測ならびに貴重な報告を作成された気象庁火山機動観測班、資料の提供に協力いただいた京都大学防災研究所付属桜島火山観測所に対し謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 湯村哲男, 大野 譲 (1969): 噴火予知の推進(第二次火山観測施設整備の構想)。測候時報, 36, 56~65.
- (2) 安井豊ら (1960): 昭和30年10月13日以降の桜島火爆発とA型地震の関係について。駿震時報, 25, 25~28.
- (3) 気象庁火山機動観測班 (1968): 機動観測実施報告, 第4号, 5~14.
- (4) 鹿児島地方気象台 (1967): 桜島火山活動観測調査報告。福岡管区気象台要報, 22, 48~55.
- (5) 鹿児島地方気象台 (1961): 桜島火山活動予測の精度について。駿震時報, 26, 17~32.
- (6) 吉留道哉 (1970): 平均潮位差法から求めた鹿児島港の地殻変動と桜島噴火との関連について。駿震時報, 33, 19~23.