

# 総 括

京都大学防災研究所 井 口 正 人

## 1. 活動変化の概要

### 噴火活動(京大防災研)

1999 年まではそれ以前と比較して南岳山頂火口における爆発発生頻度の明瞭な低下は認められなかったが、2000 年以降、爆発回数の減少が顕著であり、2003 年以降極端に少なくなっている。さらに降下火山灰量の減少は顕著であり、南岳山頂火口における噴火活動は明らかに低下している。また、空気振動の振幅も爆発が多発していた時期に比べ小さくなっている。このことを反映して、1997 年以降に被害を伴った南岳山頂噴火は、2000 年 10 月 7 日の爆発だけであった。一方、南岳東山腹の昭和火口では 2006 年に 58 年ぶりとなる噴火活動が再開し、時折、火砕流を発生させながら噴火の強度を増している傾向にある。桜島全体としてみれば従来の南岳山頂火口における爆発的噴火とは異なる噴火様式に移行しつつある。

### 地震活動(京大防災研, 鹿児島大学, 鹿児島地方気象台, 福岡管区気象台)

噴火活動の低下と同様に B 型地震の発生回数も 1970 年代後半から 1980 年台の活動期に比べ、1/10~1/5 に減少している。溶岩の上昇と密接に関連する B 型地震の発生頻度の現象は南岳山頂火口の火口底の標高が 550m 程度まで低下していることと符合している。一方、A 型地震の発生頻度は増加傾向にあり、2002 年以前は南岳山頂火口を中心とした地震活動であったものが、2003 年以降、桜島南西部および若尊火山周辺の始良カルデラ北東域にも拡大している。

### 地殻変動(京大防災研, 北大理, 東北大理, 鹿児島大理, 京大理, 九大理)

1993 年頃に現れた桜島および始良カルデラ周辺の地盤の沈降・収縮傾向から隆起・膨張への反転は、その後も隆起・膨張の継続という形で続いていることが水準測量と GPS 観測により確かめられた。地盤変動を引き起こしている圧力源の位置は桜島北方の始良カルデラを中心付近の地下約 10km であることはこれまでと変わらないが圧力源における膨張率はこれまで求められていた年間約 1000 万  $m^3$  よりもやや低下していることを水準測量, GPS 観測とも示した。

### 重力(京大防災研, 北大理, 東北大理, 東大地震研)

鹿児島湾周辺の測定点においては、測定誤差を超えるような有意な重力変化はあまり見られ

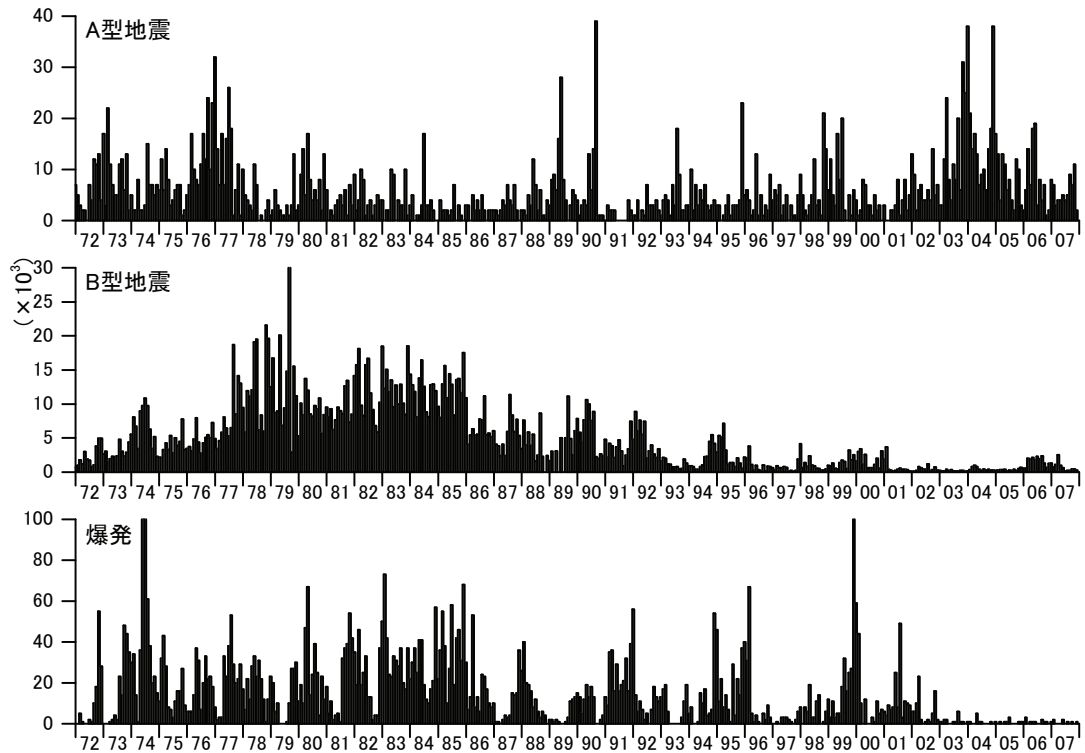


図1. 1972年以降の活動期におけるA型地震、B型地震および爆発の月別発生頻度の変化

なかったが、2002年～2007年の期間、桜島中央部付近で地盤の隆起とともに重力が増加した可能性が示唆された。

**熱**(京大防災研, 気象庁, 産業技術総合研究所)

熱異常域は、従来と同じ場所に同様の温度パターンで分布していたが、昭和火口近傍の熱異常域では、地表温度、熱放出率ともに、1992年の観測結果に比べて高い値が見積もられた。

**火山ガス放出量**(東大理, 東工大火山流体, 京大防災研, 産業技術総合研究所, 気象庁)

二酸化イオウ放出率は1996年以降、2002年にかけて次第に減少し、2002年11月～2007年5月まで300～1100トン/日で推移した。このような低放出率の継続は過去にない。昭和火口の噴火活動期には、2000トン/日以上の一酸化イオウ放出率が観測されたが、それ以外の期間では基本的には1000トン/日以下の低放出率で推移した。

**火山ガス成分**(東工大火山流体, 京大防災研)

黒神観測井の温泉ガスのCO<sub>2</sub>およびH<sub>2</sub>濃度が昭和火口の噴火活動に連動する濃度上昇が観測された。また、有村観測井の温泉ガスのCO<sub>2</sub>も前駆的な濃度上昇が観測されている。一方、南岳爆発活動時期に高濃度のCO<sub>2</sub>やH<sub>2</sub>が観測された持木海岸の温泉ガスのCO<sub>2</sub>やH<sub>2</sub>

濃度が低い。

#### 火山灰付着成分(東工大火山流体, 京大防災研)

昭和火口の噴火により放出された火山灰に付着する火山ガス由来の水溶性の塩化物イオンと硫酸イオン量は, 南岳活動期の 1970 年代の火山灰に比べて多いが, その比には大きな違いはなく, 2006 年~2008 年 2 月において経時変化は認められなかった。一連の昭和火口の噴火に関与した火山ガスは, 南岳から放出されているガス組成と違いはない。

#### 噴出物(富士常葉大, 京大防災研)

X 線解析では, いずれの火山灰試料についても斜長石に相当する回折ピークが確認された。ピーク強度の噴火日時, 噴出火口, 採取地点, 活動様式による明瞭かつ系統的な違いは認められなかった。電子顕微鏡写真による形状解析でも同様である。

## 2. 構造調査の概要

#### 空中磁気(京大理, 京大防災研, 産業技術総合研究所, 東大地震研)

溶岩流の分布に対応した磁化の強い領域が南岳の南側, 北岳の北西側に検出された。二次元の磁化構造解析では, 第 1 層及び第 3 層で磁化が強く, 第 2 層で弱くなる傾向がみられ, 第 3 層はカルデラ縁から中心部に向かうにつれ上端深度が深くなる傾向を示した。第 1 層は新島周辺で厚く, 高帯磁の貫入岩体の存在を示唆するが, 北岳・南岳直下では消失し, 第 2 層目の弱磁化層がせりあがっており, 南岳直下が高温であることを示しているのかもしれない。

#### MT 探査(京大防災研, 北大理, 秋田大工学資源, 東工大火山流体, 産総研, 東大地震研, 金沢大自然科学, 京大理)

山麓の浅部比抵抗構造は, 表層溶岩に対応する高比抵抗層, その下の(海)水を含む低比抵抗層で表現できる。第 1 層の高比抵抗層は, 桜島西側~北西側で厚く, 東側~南東側で薄い。鍋山周辺の地下で高比抵抗層が厚く分布している。また, 鍋山の南西側やや深部では, 基盤の盛り上がりに対応する可能性のあるやや高比抵抗層が見つかった。

#### 重力探査(産業技術総合研究所, 京大防災研)

表層密度分布は概略地質構造と整合する。北岳-南岳周辺では低密度火砕物が保存されているので低密度であるが, 海岸域は比較的高密度となっている。残差重力の負の領域が北岳, 南岳, 鍋山など中核をなす火山群に見られる。重力基盤構造は鍋山周辺で始良カルデラから

伸びるように深く、北岳も局所的な南北方向の割れ目状の構造が解析された。広域的には桜島火山は始良カルデラの南壁に対応するような正の残差重力域となっている。

### 水環境(北大理)

静止水頭は海水準よりも高く、孔井標高が高くなるほど静止水頭も高くなる傾向が示された。また、地層によって異なる有効透水係数が求められた。

## 3. 新たな取り組み

### 地震観測データの併合処理と海底地震観測(京大防災研, 鹿児島大理, 気象庁)

京都大学と鹿児島地方気象台のデータを併合処理し、A型地震の震源決定の高精度化を図った。一方、これまで観測が行われていない桜島の南部および北部の海域に海底地震計を設置し、地震検知力と震源決定精度の高精度化を目指した試験的な観測を行った。

### 高サンプリング GPS 観測(京大防災研, 北大理, 東北大理, 鹿児島大理)

桜島島内に GPS の稠密繰り返し観測点を設置し、1秒間隔で高サンプリング観測を行った。

### 熱赤外連続観測とテレメータ(京大防災研)

昭和火口近傍を観測対象とした熱赤外カメラを用いた連続観測を開始し、熱画像の準リアルタイム伝送をおこなった。また、観測温度補正方法の研究に着手した。

### 二酸化炭素拡散量(東工大火山流体, 京大防災研)

温泉ガスを調査したボーリング孔周辺、噴気孔近傍や地下に温泉が胚胎すると思われる古里温泉の山側地域などから CO<sub>2</sub> の放出量が多いことが判明し、土壌からの CO<sub>2</sub> 放出量の測定は、地下の熱水分布の推定に有用であることが示された。

### 噴出物(富士常葉大, 京大防災研)

火山灰自動採取装置を南部の有村に設置し、2006年2月から試験運転を行った。

## 4. 最近の火山活動の総合評価

1972年9月から激化した桜島南岳の山頂噴火活動は、1974年にピークに達した後、1992年まで高い活動レベルを保ち、近年低下した。各観測項目毎の変化の傾向を、(1)1974年から

表1. 観測項目別にみた桜島の火山活動の変化

観測項目	1974～1993年 (20年間)	1994～1996年 (3年間)	1997～2007年 (11年間)	変化の傾向
<b>噴火活動</b>				
爆発回数	年平均約 240 回	年平均約 170 回	年平均約 70 回 約 10 回:2003～	2003 年以降, 極端に低下
噴出物量	年平均約 1130 万t	年平均約 270 万 t	年平均約 50 万 t 5 万 t 以下:2003～	2003 年以降, 極端に低下
<b>火山ガス</b>				
SO <sub>2</sub> 放出量	1400～2800t/日	1900～4900 t /日	500～3000 t /日	2006 年以降, 増加傾向
Cl/S 比	0.34～1.73	0.32	—	—
<b>地震活動</b>				
B 型地震	5 万～16 万回/年	1 万～3 万回/年	3 千～2 万回/年	更に低下
A 型地震	20～260 回/年	50～60 回/年	40～200 回/年	増加
地磁気	変化なし	変化なし	—	—
重力	増加	やや減少傾向	やや増加傾向	増加傾向
<b>地盤変動</b>				
桜島	沈降・収縮	変化微小	変化微小	変動停止
始良カルデラ	(圧力低下) 沈降・収縮 (圧力低下)	(圧力変化なし) 隆起・膨張 (圧力増加)	(圧力変化なし) 隆起・膨張 (圧力増加)	隆起継続

1993 年までの 20 年間と、(2)1994 年から 1996 年までの 3 年間<sup>1)</sup>、今回の集中総合観測において評価する 1997 年から 2007 年までの 11 年間に分けて表1に示した。

- (1) 爆発回数、噴出物量の変化は、近年活動が低下したことを示し、特に 2003 年以降において低下が著しい。また、二酸化硫黄の放出量も 2002 年から 2007 年 5 月までは 1000ton/日以下と低下した。
- (2) 桜島浅部の地震活動のうち、火道中のマグマの発泡、上昇と関連していると考えられる B 型地震の発生頻度も近年急速に減少していることは第 9 回の報告書<sup>2)</sup>で述べられていることであるが、それが更に減少した。一方、A 型地震の発生頻度は 2003 年以降増加している。また、その震源位置も南岳の火道周辺だけでなく、南西部、北岳周辺、北東部海域の若尊火山周辺にも拡大している。
- (3) 桜島のやや深部、および始良カルデラ地下の火山活動の評価にかかわる、地殻変動でも、近年の噴火活動低下に対応した傾向の変化が認められた。桜島直下のマグマ溜り付近での減圧は停止して、始良カルデラ地下では減圧から増圧に転じたこと<sup>3)</sup>はですでに示されていることであるが増圧がさらに進行したことが、今回の集中観測において水準測量及び GPS 観測により示された。

1993 年以降のマグマ供給システムのイメージを 1974 年から 1992 年までの南岳における爆発的噴火活動期<sup>4)</sup>と比較して図 2 に示した。1974 年から 1992 年の期間では爆発回数は年平均

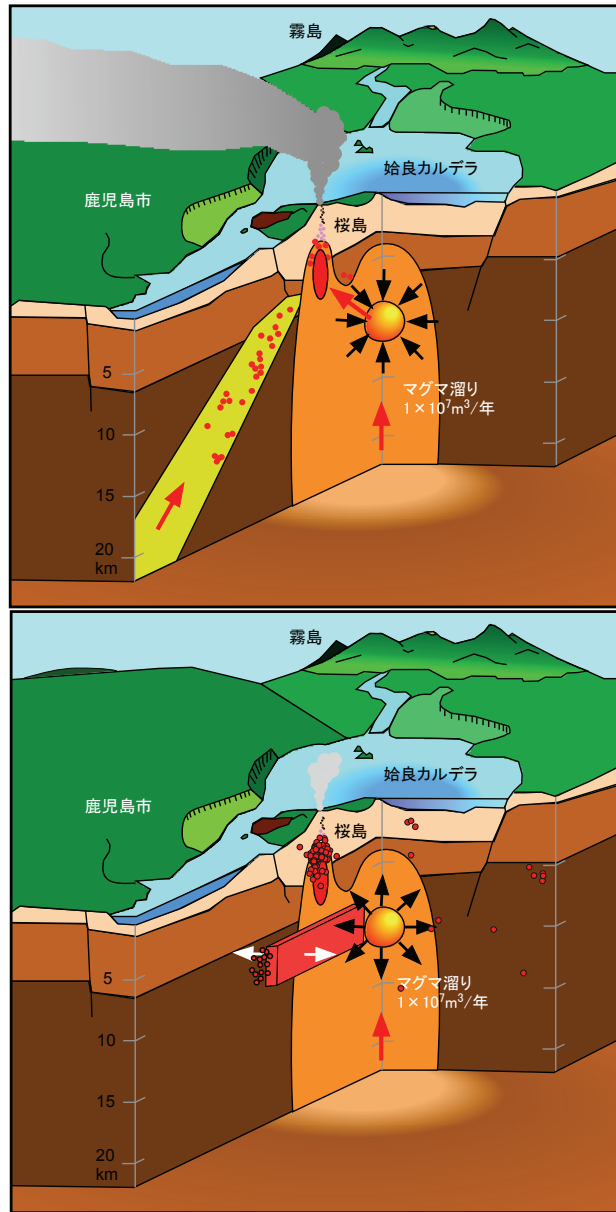


図 2. 桜島のマグマ供給系のイメージ。1974 年～1992 年(上)。1993 年以降(下)。

均 240 回におよび、平均 1130 トンの火山灰が放出された。始良カルデラおよび桜島南岳周辺の地盤は沈降傾向にあり、マグマの放出期にあると考えられる。この活動期の前期には桜島の南西域において一時的に A 型地震の活動が活発化したが、ほとんどの地震は南岳直下に集中していた。1993 年以降では南岳の爆発回数・火山灰放出量も低下し、特に 2003 年以降は爆発は年 10 回以下、火山灰放出量も 5 万トン以下に落ち込んだ。南岳周辺の地盤変動は顕著ではないが、桜島北部から始良カルデラの中央部を中心とする地盤の隆起・伸長が顕著であり、最近 11 年間で 1 億立方メートル弱のマグマが蓄積された。マグマの蓄積率はこれまで見積もられている年間約 1000 万立方メートルの割合よりも多少低めであるが、始良カルデラ直下のマグマ溜りにおいてマグマの蓄積が着実に進行しているとみるべきである。

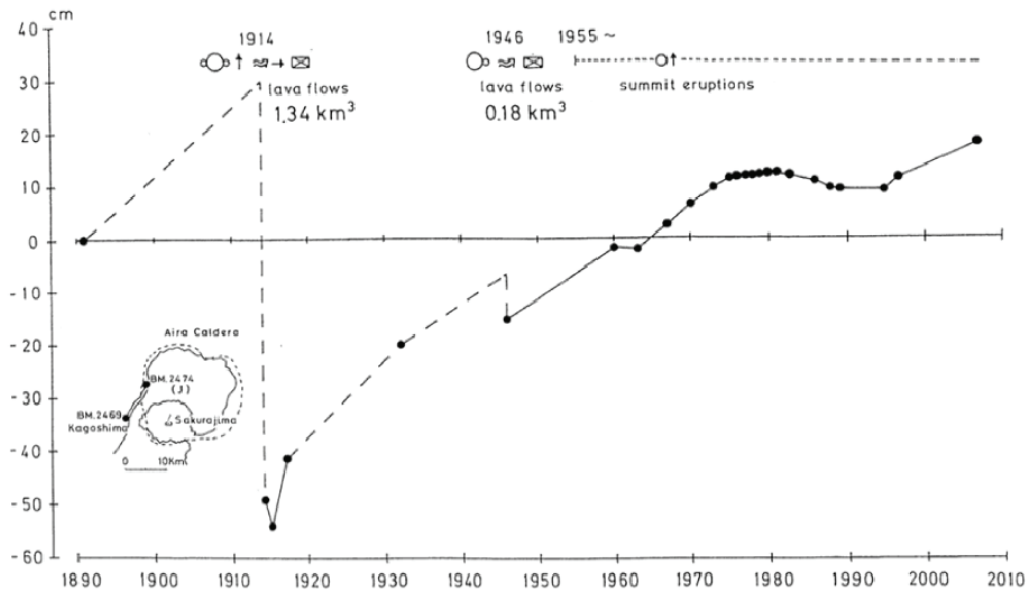


図 3. 始良カルデラ西縁の BM.2474 の相対上下変動。鹿児島県庁跡 BM.2469 を基準とした。江頭・他 (1997)<sup>3)</sup> に 2006 年 10 月に実施された国土地理院の測量結果を加筆した。

1993 年以降はマグマ蓄積期と位置づけられる。マグマの蓄積による圧力増加を反映して南岳直下だけでなく、桜島南西部、北岳周辺、北東部海域の若尊火山周辺においても地震活動が特に 2003 年以降活発化している。また、桜島南西部の地震活動は、始良カルデラ下のマグマ溜まりから南西方向へのびる開口割れ目に沿ってマグマが移動し、その先端において地震活動が活発したと見ることもできる<sup>5)</sup>。2006 年に活動を再開した昭和火口での噴火活動のレベルは南岳の噴火活動の最盛期に比べればまだ低い状態であり、桜島の活動の源である始良カルデラではマグマ蓄積が進行中であることから、現在の桜島は次の活動にむけての準備過程にあると考えられる。

最近 100 年間の桜島の噴火活動からは、今後の活動の見通しとして次の 3 つのシナリオが考えられる。1 つ目は南岳山頂火口における爆発的噴火活動の再開である。桜島の爆発回数 は 1960 年に 414 回に達した後、徐々に減少し、1971 年には年 10 回まで落ち込んだが、1972 年 10 月 2 日の爆発を契機に爆発的噴火活動が活発化し、1970～80 年代の活動期に至った経緯がある。現在は、1971 年と同様の時期にある可能性がある。2 つ目は昭和火口における噴火活動である。1946 年昭和噴火では 1.8 億立方メートルの溶岩が流出した。溶岩流出に至る前駆段階の活動として 1939 年 10 月から 11 月にかけて昭和火口において火砕流が繰り返し発生し<sup>6)</sup>、1941 年、1942 年、1943 年には爆発的な噴火が発生した。昭和火口では 2006 年 6 月に噴火活動が再開し、2008 年 2 月には火砕流を伴う爆発的な噴火が発生した。火砕流の流下距離は 1.3km 程度と 1939 年の火砕流と同程度の規模であった。現在の桜島の状況は 1946 年噴火前の活動に似ていること、1993 年以降だけでも 1 億立方メートルのマグマが始良カルデラ下

に蓄積されていることから将来、1～2 億立方メートルのマグマを放出する噴火活動が発生しう  
ことは視野に入れるべきである。3 つ目は大正噴火クラスの 20 億立方メートル級のマグマを放  
出する山腹噴火活動である。先に述べたように 1993 年ごろから始良カルデラにおけるマグマの  
蓄積が継続している。図 3 に始良カルデラ西縁の BM.2474 における上下変動を示したが、この  
図からもマグマの蓄積が着実に進行していることは明らかであり、現在の割合でマグマの蓄積が  
進行するとすれば 2020 年から 2030 年ごろには 1914 年の大正噴火前のレベルまで地盤の高  
さが回復し、1914 年噴火で放出された量のマグマが再度蓄積されることになる。このことがその  
まま大正クラスの噴火の発生を意味するわけではないが、3 つ目のシナリオとして 20 億立方メー  
トル級のマグマを放出する山腹噴火活動は将来発生する可能性がある。

いずれにせよ地下深部からのマグマ上昇が続いている以上、将来、近年の活動より激しい噴  
火活動を迎えることは間違いない。噴火活動が更に低下し、噴煙の放出も認められない(いわば、  
火道が閉塞する)状態が、長く(20 年以上)続くと、1914 年のような大規模な山腹噴火の可能性  
が高くなる。その前には、1970 年代前半に観測されたような桜島が周辺に比べて隆起する現象  
が再び観測されることが予想される。大規模山腹噴火発生の前には、顕著な桜島の地盤の隆起  
と周辺地域での顕著な地震の発生が起きる可能性がある。今後の桜島の活動に関する長期予  
測には、周辺地域を含めた地震活動の推移、始良カルデラ地盤の隆起レベルの変動、および  
桜島の隆起現象に注目することが重要である。

#### 参 考 文 献

- 1) 石原和弘(1998):総括, 第 9 回桜島火山の集中総合観測(平成 8 年 10 月～平成 9 年 4 月), 127-132.
- 2) 石原和弘・西 潔(1998):桜島火山の地震活動, 第 9 回桜島火山の集中総合観測(平成 8 年 10 月～平成 9 年 4 月), 1-10.
- 3) 江頭庸夫・他(1997): 始良カルデラの地盤の再隆起—1991 年 12 月～1996 年 10 月—, 京都大学防災研究所年報, 第 40 号 B-1, 49-60.
- 4) 加茂幸介(1988):桜島との対話, 鹿児島国際火山会議 1988 論文集, 3-11.
- 5) Hidayati, S., Ishihara, K. and Iguchi, M. (2007): Volcano-tectonic earthquakes during the stage of magma accumulation at the Aira caldera, southern Kyushu, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol. 52, 289-309.
- 6) 津屋弘達・水上 武(1940):昭和 14 年 10 月桜島火山の小噴火, 東京大学地震研究所彙報, 第 18 卷, 318-339.

(Received on April 13, 2008)