

つきあい方

# 7 桜島の火山噴火予知



石原 和弘  
ISHIHARA Kazuhiro

京都大学  
名誉教授

桜島では2009年以降、爆発的噴火が頻発している。桜島の火山活動はどのように監視・観測され、噴火に備えどのような対策が講じられているのか。過去の火山活動をふり振り返り、関係機関の取り組みと噴火予知の現状、火山と共存・共生する道を探る。

## 大正大噴火と火山噴火予知

1914(大正3)年1月12日午前10時過ぎに始まった桜島の大正大噴火は、20世紀以降に日本が経験した最大の噴火である。東西山腹に多数の火口が形成され、軽石・火山灰と溶岩流等の噴出物の総計は、約2km<sup>3</sup>に達した。8つの集落が溶岩流等に埋め尽くされ、住民の半数に当たる約1万人が島外へ移住を余儀なくされた。桜島での犠牲者は25名であったが、鹿児島市周辺では12日夕方の大地震により29名が、大隅半島側では土石流などにより11名が犠牲となった。

噴火前日から有感地震が頻発し(図1)、桜島では135年前の安永噴火の経験も踏まえて、各々の集落が自主的に避難を始めた。他方、村長らが鹿児島測候所に判断を求めたことが、避難を遅らせ、犠牲者を出すことになった。その経緯は、噴火10年後に東桜島村が建立した爆発記念碑(写真1)に示されている。

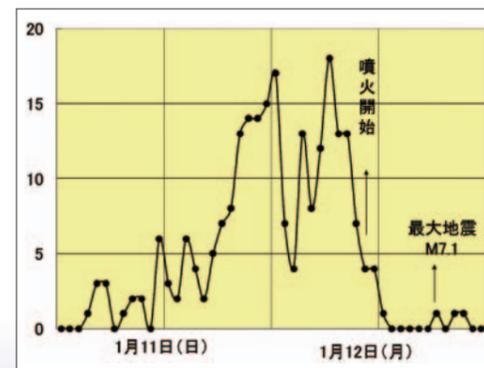


図1 大正大噴火における前兆有感地震の1時間毎の発生回数(鹿児島測候所)



写真1 桜島爆発記念碑(東桜島小学校)

「大正3年1月12日桜島の爆発は安永8年以來の大惨禍にして、(中略)その爆発数日前より地震頻発し、岳上は多少崩壊を認められ、海岸には熱湯湧沸し、旧噴火口よりは白煙を揚る等、刻々容易ならざる現象なりしを以て、村長は数回測候所に判定を求めしも、桜島には噴火なしと答う。故に村長は残留の住民に狼狽して避難するに及ばずと諭達せしが、間もなく大爆発して、測候所を信頼せし知識階級の人却て災禍に罹り、村長一行は難を避くる地なく各身を以て海に投じ、漂流中山下収入役、大山書記の如きは終に悲惨なる殉職の最期を遂げるに至れり」。碑文は、「本島の爆発は古来歴史に照らし後日復亦免れざるは必然のことなるべし。住民は理論に信頼せず、異変を認知する時は未然に避難の用意尤も肝要とし、平素勤儉産を治め、何時変災に値も路途に迷わざる覚悟なかるべからず」で締めくくられている。当時は震災予防調査会の火山調査が始まって間もなくのことであり、噴火予知を期待する

ほうが無理であった。しかし、科学や情報への過信への戒めなど碑文に述べられた内容は、現在でも通用する教訓である。

震災予防調査会会長の大森房吉博士は、噴火開始直後から数年間にわたって桜島を科学的に調査して、重要な知見を得た。最も重要な成果は、噴火による桜島の北方の錦江湾(始良カルデラ)を中心とする南九州の地盤の沈降の発見である。大噴火が発生

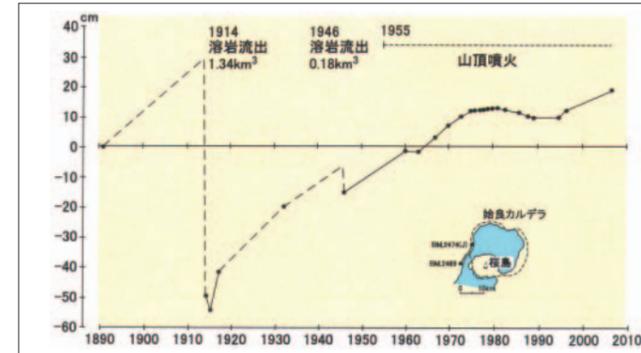


図2 始良カルデラの地盤の昇降

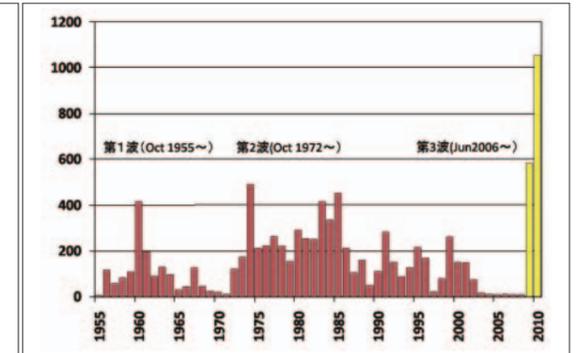


図3 1955年以降の桜島の爆発的噴火の年間発生回数

すると地盤が沈降することは誰しもが予想するところであるが、それを実証した世界最初の研究である。

その後の調査研究により、桜島の活動の源となるマグマ溜まりは始良カルデラの中央部地下約10kmにあり、地下深部から常にマグマの供給を受けていて、周辺の地盤は静穏期にはほぼ一定の割合で隆起を続け、噴火活動が激化すると、隆起が停滞、あるいは一時的に沈降することが分かった(図2)。1946年昭和噴火と1955年以降の山頂噴火により3億m<sup>3</sup>以上のマグマを消費したが、1年間に約1千万m<sup>3</sup>の割合で深部から上昇するマグマを使いきれず、マグマの蓄積は進行している。爆発記念碑が語るように、将来にわたって桜島の噴火は避けがたい。

## 火山観測と噴火予測

1955年10月に始まった南岳の山頂火口での爆発的噴火活動は盛衰を繰り返しながら継続している(図3)。この間の活動は、1955年10月からの第1期、1972年10月から激化した第2期、2006年6月の南岳東斜面の昭和火口の噴火再開を契機とする第3期に大別できる。第1期の活動を契機に、鹿児島地方気象台と京都大学による恒常的な火山監視と観測研究体制が整備された。第2期の活動を契機に、1974年から火山噴火予知計画が開始され、継続的な観測研究により、次第に桜島の地下のマグマの挙動とマグマ供給系の理解が進みつつある(図4)。

前述の始良カルデラの地下約10kmのマグマ溜まりに加えて、桜島の噴火活動に直接かかわるマグマ溜まりが、地下4~6kmに存在することが分かった。現在では国土地理院、大学及び気象庁のGPS観測により、これら2つのマグマ溜まりのマグマの蓄積状況を把握できるようになった。

南岳山頂火口直下の約3kmより浅い部分の直径約0.5kmの円筒状の領域では、爆発地震やB型地震と呼ばれる低周波の火山性地震が発生し、その周囲

で、A型地震と呼ばれる通常の構造性地震と同様の地震が発生する。この円筒状の領域が、桜島直下のマグマ溜まりから火口へ連なるマグマの通路、火道に相当すると考えられている。爆発地震は爆発的噴火の約1秒前に火口直下1~2km付近で発生し、B型地震はマグマの火口への貫入や上昇に対応して頻発する地震である。南岳の地下や桜島の南西沖でA型地震が発生すると、数日~数週間後から噴火活動が活発化する傾向がある。B型地震が群発すると、数時間~数日後から爆発的噴火が頻発する。火山性地震の発生状況が噴火の短期予測の手がかりとなっている。

桜島直下の4~6kmに推定されるマグマ溜まりで圧力の増減が生じると、理論上、その深さの1/2に相当する南岳山頂から2~3kmの場所で最大の傾斜変化が観測されることが期待される。噴出物量から予想される爆発前の傾斜・歪変化は高々10<sup>-8</sup>~10<sup>-7</sup>である。爆発的噴火の微小な地盤の変動を精度よく観測するために、1985年に南岳北西2.7kmにあるハルタ山の地下約70mに観測坑道が設けられ、長さ28mの水管傾斜計と伸縮計が設置された(写真2、3)。

その結果、爆発的噴火の数10分~数時間前に始まる山頂部地盤の0.01~1mm程度の隆起に相当する傾斜・歪変化が捉えられた。観測された傾斜・歪変化は、図5に示したように月と太陽による潮汐変化と比べても小さい。この例では爆発の約40分前から地盤の隆起膨張が始まり、爆発開始から約1時間半の噴煙放出に対応して地盤が沈降収縮した。観測データから潮汐の影響を除去して、山頂地盤の隆起

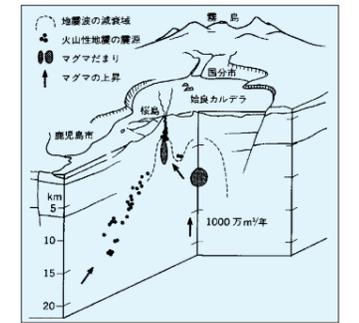


図4 桜島・始良カルデラのマグマ供給系のイメージ



写真2 ハルタ山観測室と観測坑道入口



写真3 観測坑道の内部

を検出し、隆起膨張量に応じて自動的に警告を発する直前予知システムが開発され、鹿児島地方気象台、国土交通省大隅河川国道事務所等へ提供されている。ただし、隆起膨張量は噴火の噴出物の総量には概略比例するものの、空振の強度や噴石の到達距離など爆発強度との相関は弱い。爆発強度は、傾斜計、伸縮計や地震計では検知できない火口底から火道上端部の溶岩や火山ガスの蓄積状況に関係しているからである。

2006年6月からの昭和火口噴火は規模が小さく、圧力増加が生じる深さが浅いため、昭和火口から約3km離れたハルタ山観測坑道で前兆を明瞭に捉えるのはむずかしい。代わって、昭和火口の南約2kmに国土交通省が2005年に設置した有村観測坑道の伸縮計により、噴火前の $10^{-8}$ の歪変化が捉えられている。

### 関係機関の連携による火山噴火予知と火山防災

観測体制が整備され、事前に噴火情報が発表されても、火山噴火予知が成功するとは限らない。たとえば、1991年6月3日雲仙普賢岳では、事前に火山噴火予知連絡会と気象庁が火砕流等に対する警告を発表していたにもかかわらず、麓に陣取っていた報道陣ら40余名が火砕流に巻き込まれて犠牲になった。火山噴火予知は事前の警告だけではなく、情報発表を受けた自治体や住民が危険の及ぶ恐れのある範囲から安全な地域に退去することによって初めて実現する。そのために関係自治体等が事前に取り組むべきことは、火山のハザードマップ(火山防災マップ)の作成公表、状況に応じた規制・避難計画の策定、及び避難訓練である。桜島では大正大噴火を記念して、毎年1月12日、住民も参加した数千人規模の避難訓練が40数年前から実施されてきた。

鹿児島県は1993年から1996年にかけて、桜島、霧

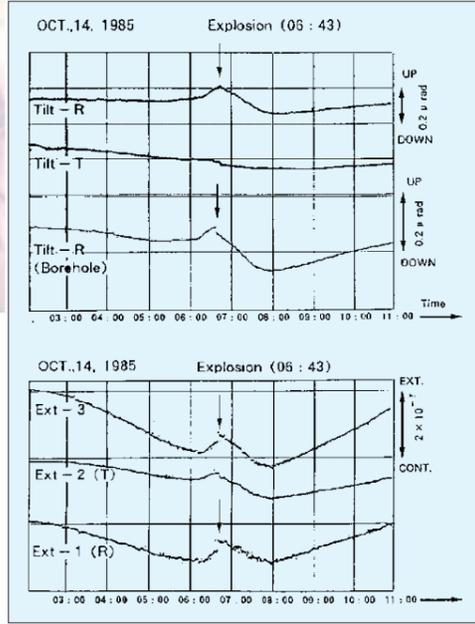


図5 爆発的噴火前後の傾斜計(上)と伸縮計(下)の記録。Rは火口方向の成分、Tは直交方向の成分

島山、及び離島4火山の火山防災マップを作製し、1997年3月に地域防災計画火山対策編を公表した。地域防災計画では火山情報あるいは火山活動状況に応じて、市町村長が、「登山注意」「登山禁止」「避難準備」「避難勧告」「避難指示」の5段階の規制を行うこととしている。加えて、市町村長に具体的な助言を行う組織として、鹿児島県、関係市町村、気象台、大学、海上保安庁、自衛隊などで構成される噴火(爆発)災害対策連絡会議を緊急時に各火山に設置することを定めている。2006年6月に始まった昭和火口からの噴火に際しては、関係者の数年前からの取り組みとこの連絡会議が有効に機能した。

1990年代半ばから桜島南岳の噴火活動が次第に低下すると、始良カルデラの地盤が緩やかな沈降から隆起に転じ、GPS観測からは約10年間に新たに1億 $m^3$ のマグマが蓄積していると推定された。2003年には始良カルデラ内部でA型地震が頻発するなど、桜島南岳以外からの噴火発生も懸念された。このような背景を受けて、大隅河川国道事務所が事務局となって、鹿児島県、鹿児島市等自治体、気象台、学識経験者で構成される桜島火山防災検討会が2004年2月に設置され、桜島の防災マップの改訂、始良カルデラを含む広域防災マップの作成、危機管理及び情報共有体制の検討、新たな観測坑道の機器設置・運営等の検討を行った。2006年3月に新たな防災マップを公表配布して、5月末に鹿児島市が広報紙で桜島の噴火に対する注意を呼び掛けた直後の6



図6 昭和火口噴火に対応する規制範囲の拡大

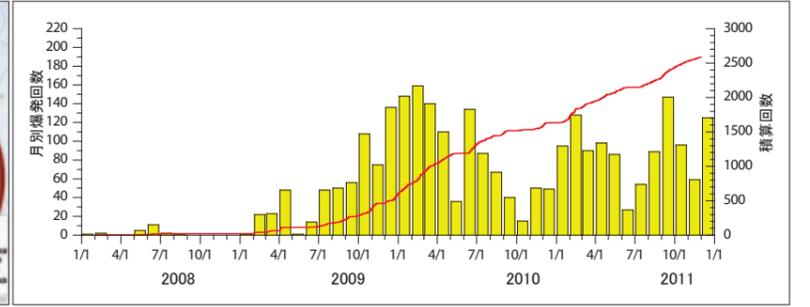


図7 2008年以降の昭和火口の月別爆発回数

月4日、桜島南岳東斜面の昭和火口跡から噴火が始まった。麓には噴火を見物する観光客など人々が集まった。数日後からは小規模な火砕流も発生しはじめ、雲仙普賢岳のような事態も懸念された。

6月12日の火山噴火予知連絡会の評価を受けて、13日鹿児島県、鹿児島市、大隅河川国道事務所、気象台及び京都大学の5者による具体的対応策の事前協議ののち、翌14日鹿児島県主催の桜島爆発災害対策連絡会議で、従来の南岳山頂から2km以内の立入禁止区域に、昭和火口から2km以内の立入禁止を加えるなどの措置を取った(図6)。同連絡会議では当面10年間の活動の見通しとして、①継続的な爆発的噴火活動への移行、②昭和噴火のような溶岩流出を伴う中規模噴火、③大正噴火のような大規模噴火の3つのシナリオを挙げ、②の可能性はあるものの③の可能性はなく、①の可能性が最も高いとした。

結果的には、周辺市町村の住民が連日のように降灰に悩まされる、最も厄介な①の活動へ発展している。2009年以降は火口の拡大とともに爆発的噴火が頻発している(図7)。個々の噴火の規模は南岳の噴火の規模より小さいものの、2011年からは噴煙柱高度が2,000mを越える噴火が増え、爆発空振の強度も強まり、時折大きな噴石が2km近くまで到達する爆発も発生している。加えて、GPS観測によると、カルデラの地盤膨張は依然として継続している。更なる活動の活発化は避けがたく、溶岩流出など新たな活動の展開もありうるであろう。

前述の5者は、垂水市も加わって桜島火山防災連絡会を構成し、月1回の割合で開催され、火山活動の評価と防災に関わる課題の連絡・協議を行っている。今後活動の新たな展開も予想されることから、この会合の役割がますます重要になってくるであろう。

### 噴火警報と噴火予知

1998年に建議された第6次火山噴火予知計画では、噴火の危険度に応じた分かりやすい火山情報

導入が提言された。桜島等での試行を踏まえて、気象庁は2007年12月から噴火警報を業務として開始した。火山防災マップが整備された火山については、関係自治体と協議して、レベル1の「平常」から、「火口周辺規制」「入山規制」「避難準備」、そしてレベル5の「避難」に至る5段階の噴火警戒レベルで活動度を評価し、常に現在どのレベルにあるか公表する。常時監視対象47火山のうち29火山で5段階の噴火警戒レベルが導入されている。噴火警報は安全確保のための情報であって、噴火予知情報ではない。観測データの分析などにに基づき、現時点で噴火の脅威が及ぶ危険性のある範囲を知らせ、規制や避難などを促すことが噴火警報の目的である。現在の火山噴火予知の研究水準では噴火の兆候は認知できても、正確な噴火予知は困難である。

2011年1月26日に始まった新燃岳噴火は約300年ぶりの大噴火であったが、明瞭な兆候なしに始まった。気象庁は水蒸気爆発が発生した約1年前に噴火警戒レベルを1から2に引き上げ、周辺自治体は火口周辺1km以内の立入規制を行っていた。噴火警戒レベルを2から3の入山規制に上げたのは噴火後となったが、事前の規制措置により犠牲者を出さずに済んだといえよう。

噴火の兆候には、噴気、温泉や地熱活動の出現など、計器観測では捕捉できない現象もある。大正大噴火当時の鹿児島測候所長は、地震記録の解析を優先し、現地調査を後にしたのは順序が逆であったと述べている。2006年6月の桜島昭和火口噴火の約3ヶ月前から噴気量の顕著な増加が認められた。新燃岳の麓の温泉の源泉で噴火の約1ヶ月前に湯量が大きく変動したことが後になって判明した。計器観測に加えて、種々の異変の迅速な調査も噴火警報の信頼性を高める上で重要であろう。また、噴火警報への過度の依存は、大正大噴火と同様の事態を招く危険性もある。住民自ら火山に関心を持ち火山活動に注意を払うことが共存・共生する上で大切であろう。