

# 桜島の火山災害と噴火予測のための観測研究

---

爲 栗 健

## 1. はじめに

鹿児島県のシンボルと言える桜島は現在も活発な噴火活動が続けていて、過去には大きな被害を生じる噴火も発生している。多くの活火山を抱える鹿児島県では、安心安全のまちづくりを考える上で、火山災害に対する取り組みは重要な課題の一つである。京都大学防災研究所火山活動研究センターでは桜島や口永良部島、諏訪之瀬島など活発な噴火活動が続けている火山において噴火予測のための観測研究が続けている。本稿では、かごしま学Ⅰの講義において「桜島の火山活動－火山災害と今後の活動－」といったテーマで話をさせてもらった中で、桜島の火山活動と噴火によって発生しうる火山災害、噴火予測に関する観測研究について述べる。

## 2. 活火山と噴火様式

火山噴火予知連絡会は「概ね過去1万年以内に噴火した火山および現在活発な噴気活動のある火山」を活火山と定義した。日本には現在111の活火山があり、鹿児島県には北から霧島山、米丸・住吉池、若尊、桜島、池田・山川、開聞岳、薩摩硫黄島、口永良部島、口之島、中之島、諏訪之瀬島と11の活火山が並ぶ。火山近傍では雄大な山々の姿や温泉湧出など観光資源が豊富で多くの観光客が訪れるため、ひとたび噴火が発生すると大きな被害が生じる。2014年には御嶽山の山頂付近にいた登山客が噴火に巻き込まれ63名の死者・行方不明者、1991年雲仙岳では溶岩ドームの崩落による火砕流が麓を襲い43名の死者・行方不明者を出す惨事が発生している。

噴火とは地球内部から火山物質（マグマやガス）が放出される現象の

ことで、現在の桜島や諏訪之瀬島のような爆発的噴火で火山灰を放出する噴火活動、伊豆大島や三宅島のように溶岩流を流出する噴火活動をマグマ噴火と言う。マグマが地下水などと直接接触し、爆発的に水蒸気と火山物質が放出される現象をマグマ水蒸気噴火（爆発）、マグマの熱で帯水層が温められ噴出する現象を水蒸気噴火と言ひ、2014年御嶽山や口永良部島の噴火、また、2018年本白根山の噴火が該当する。いずれの噴火様式でも高温のマグマが直接的・間接的に関与しており膨大なエネルギーが放出されるため小規模噴火であっても噴火地点近傍においては熱や噴石によって人命に関わる大きな被害が生じる。火口近傍まで登山できるような観光地化している火山においては噴火の予測は重要な課題であるが、小規模な噴火についての予測は非常に難しいのが現状である。

### 3. 桜島の噴火活動

#### 桜島と始良カルデラ

桜島は頻繁に噴火を繰り返す火山であり、過去には人的被害を生じる大規模噴火を繰り返している。桜島は鹿児島湾の北部に位置し、その北側にはほぼ円形をした湾がある。この湾は約29,000年前の巨大噴火によってマグマが大量に噴出したために地面が陥没して生じたものである(Matsumoto, 1943)。このような地形のことをカルデラと呼び、錦江湾北部は始良カルデラと呼ばれている。九州には大小様々なカルデラが存在し、有名なものとして阿蘇カルデラが挙げられる。始良カルデラを生じた約29,000年前の巨大噴火では、南九州一帯が高温の火山噴出物で覆い尽くされた。その火山噴出物が堆積してシラス台地が形成されている。桜島は始良カルデラ噴火後にカルデラ南縁に生まれた火山である。桜島の山体は大きく分けて北岳と南岳の2つがあり、北岳は約2万6千年～2万4千年前に活動し古期北岳を形成した。北岳は休止期間を挟み、1万3千年前から活動を再開し、5千年前に活動を停止した。その後、噴火活動は現在の南岳で発生し、歴史時代に4回の大噴火が起こった。

## 桜島の歴史時代の噴火

歴史時代の4回の大噴火は年代も新しく地質学的、噴出物の物質科学的研究から噴火の詳細が明らかになっている。4回の大噴火はその時代の名前が付けられ、「天平宝字」「文明」「安永」「大正」噴火と呼ばれている。その4回の大噴火はすべて山の中腹から噴火が起こる山腹噴火であり、大量の火山灰や噴石を噴出するプリニー式噴火で始まった。プリニー式噴火の際には高温のガスや火山灰などが斜面を高速で流れ下る火砕流が発生している。さらに、噴火口近傍から溶岩流出が発生し、桜島の地形を大きく変えている。西暦764年天平宝字の大噴火では桜島の東側にある鍋山が出現し、長崎鼻溶岩が流出した。西暦1471～1476年文明大噴火では桜島の南西側と北東側中腹から溶岩が流出し、両溶岩流とも海岸にまで達した。南西側の溶岩は野尻地区の燃崎を形成している。西暦1779～1782年にかけての安永大噴火では南岳の南南西中腹と北北東中腹から噴火が発生し、溶岩を流出した。安永大噴火の際には桜島北東の高免沖で海底噴火が発生し、周辺に津波が襲った。噴火によって海底が隆起して新島など8つの小島が出現し、現在でも4島が残っている。安永大噴火では噴火と津波で約150名が犠牲になった。1914年の大正大噴火では南岳を挟んだ東西の山腹から噴火が発生し、東側から流出した溶岩が瀬戸海峡を埋め尽くして、桜島と大隅半島が陸続きになった。これら4つの大噴火は多量のマグマが溶岩として流出し、海にまで達した溶岩流が桜島の海岸線を大きく変えた。

大正大噴火は死者・行方不明者58名を出した日本国内で20世紀最大の噴火であった。1914年1月12日10時ころ、桜島の西側中腹から黒煙が上がった。そのわずか10分後、今度は東側山腹からも噴火が始まった。噴煙高度はピーク時には上空18,000mにまで達した（井口、2016）。東西両山腹から大量の火山灰が噴出し始めた際、高温の噴出物が斜面を流れ下る火砕流が発生した。大量の軽石と火山灰の噴出が続き、上空高く上がった火山灰は桜島島内のみならず風下に当たる島外にも降り注いだ。桜島黒神地区にある埋没鳥居が有名であるが（写真1）、島内では厚さ2～3mの軽石と火山灰が堆積した地域もあった。噴出した大量の火山灰は風に乗って、仙台から小笠原諸島にまで到達していた。大噴火開始の翌夕には噴火口近くから溶岩の流出が始まり、西側山腹から流出し

た溶岩流は海岸に到達した後、沖合の烏島まで覆ってしまった。東側山腹から噴出した溶岩は同じく桜島南東の海岸に達した後、瀬戸海峡を埋め尽くして大隅半島にまで到達した。大正大噴火前まで桜島は周囲を海に囲まれた島であったが、溶岩流が大隅半島に着岸し



写真 1

陸続きとなった。噴火開始の8時間後に鹿児島市内を烈震が襲い被害を拡大させた。震源は桜島と鹿児島市街地を挟む錦江湾の下でマグニチュード7の大地震が発生し、鹿児島市内の建物や石垣が崩壊し、土砂崩れが多発した。大正大噴火による犠牲者の半数はこの大地震による被害者であった。大地震の発生後、鹿児島市沿岸に最大2mの津波が襲ったことも記録されている。このように大正大噴火の際には、噴火に加えて、大地震と津波までも発生したことが被害を拡大させた。

### 大正大噴火以降の噴火活動

大正大噴火後は1935年と1938年に南岳山頂火口で小規模な噴火が発生していたが、1939年から山頂の東側8合目付近で噴火が始まった。南岳東斜面の火口から爆発と火山灰の放出を繰り返しつつ、1946年3月に昭和溶岩の流出に至った。昭和溶岩の流出量は大正大噴火の10分の1以下ではあるが、溶岩流は黒神地区と有村地区の海岸にまで達した。1948年には昭和噴火は終息に向かったが、その後、1955年10月に南岳山頂火口から大音響とともに爆発的噴火が発生した。この南岳山頂噴火は現在まで継続しており、その特徴は爆発的噴火にある。南岳山頂火口の爆発的噴火活動は1960年をピークに一度活動が低下するが、1972年以降、活動が再活発化した。その後、2002年まで活発な噴火活動を続けた。その期間、年間に200回を超える爆発により噴石や火山レキ（数cmの石）が麓に落ち、多量の火山灰が風下の街を襲った。2002年以降、南岳の山頂爆発回数が年間10回を切るようになり、桜島の噴火活動が極端に低下し

ていたが、2006年6月に南岳山頂の東側斜面にある1946年昭和噴火の噴火口あたりから噴煙放出が始まった。しばらくは静穏な火山灰放出を繰り返していたが、2008年2月に活動が一変し、南岳山頂火口で発生するような噴石を火口外に吹き飛ばし、火山灰を放出する爆発的噴火が始まった（写真2）。2009年以降、その爆発的噴火は一気に増加し、年間1000回を超える年も出てくるようになる。2020年現在、昭和火口の噴火活動は停止しているが、今度は再び南岳山頂火口における爆発的噴火が繰り返して発生しており、活発な噴火活動が継続している。



写真2

#### 4. 火山噴火に伴う災害

火山噴火では噴火の直接的な災害から間接的な災害まで様々な災害が発生する。しかも、複数の災害が同時多発的に発生することにより被害が拡大することが多い。本章では火山噴火に伴って発生する火山災害について紹介する。

#### 地震、津波、地盤沈下と高潮

地震にはプレート境界でプレート同士がずれ動く地震（2011年東北太平洋沖地震、1946年南海地震など）の他に、地殻内の岩盤がずれ動く内陸型地震（2016年熊本地震、1995年兵庫県南部地震）がある。地震は地下の岩盤が周囲から押されたり引っ張られたりすることで岩盤が割れたり、ずれ動いたりする時の揺れである。火山活動においては地下に溜まっていたマグマが硬い岩盤を割り進んで浅部に移動する際や、マグマが地表に放出されることで地面の中の圧力が下がり岩盤の状態が不安定になることで大小様々な地震が発生する。大噴火の前には大量のマグマが移動するため比較的大きな地震が多数発生する。火山活動による地震

は浅い部分で発生することが多く、大規模な地震が海底で発生した場合には津波が発生する。1914年大正大噴火では鹿児島市街地沖の海底でマグニチュード7の地震が発生し、津波を生じている。震源が鹿児島市街地に近かったため揺れによって多大な被害となった。津波の要因は地震によるものだけではなく、噴火によって発生する場合もある。1779～1782年の安永大噴火では、桜島北東沖で海底噴火が発生し、海底を盛り上げて津波が発生している。地下にあったマグマが大量に放出されると地面が沈降する。極端な例が陥没によるカルデラ形成であるが、そこまで大規模でなくても大規模噴火の際には地面が数 m ほど下がることは想定される。大正大噴火の際には錦江湾周辺で 1 m 近く地面が沈降している。地面が下がると相対的に海面が上がるため海岸付近では高潮の被害が発生する。大正大噴火の際には鹿児島市の沿岸地域以外でも、始良、加治木で満潮のたびに浸水被害が生じたことが報告されている。地面が沈降したところに津波が襲来するとさらに被害が大きくなる可能性がある。

このように桜島の大規模噴火の際には大地震と津波、地盤沈降に伴う高潮の災害が発生する可能性が高く、桜島島内だけではなく錦江湾の周辺地域においても警戒が必要である。

### 降灰、噴石、レキ

大規模噴火では多量の火山物質が一気に放出されるため、火口周辺では直径数 m の噴石が無数に落ち、大量の軽石や火山灰が風下に降り注ぎ、風によって遠方にまで達する。1914年大正大噴火は 1 月に発生し、冬の季節風によって桜島の南東～東方向に大量の降灰をもたらした。桜島島内では両噴火口の東側に位置する黒神地区で軽石と火山灰が 2～3 m も堆積した。島外では桜島から 10km の旧牛根村付近で 60cm～1 m、桜島から 20km の旧百引村でも 45～60cm もの火山灰が堆積した。軽い火山灰は風に流されるため、降灰域に関しては完全に風向きと風速に左右される。大噴火の際、風下側にいる方は直ちにその方向から避難する必要がある、風が強い場合はより遠方にまで大量の火山灰が降灰する危険性が高くなる。

1955年以降の南岳山頂火口で発生している爆発的噴火では噴石を飛ば

し、多量の火山灰を放出する活動を行っている。爆発的噴火は噴火前にマグマやガスが火口直下で蓄積するため高圧になり、やがて限界に達し爆発することを言う。1980年代の南岳の爆発期には噴石が麓にまで飛ぶことがあり、1986年には噴石が古里温泉街に落ち、ホテルに直径3mの穴が開いた。幸い死者は出なかったが、6名が負傷した。桜島では爆発の際に人命に関わるような噴石が降ってくる可能性があるため南岳山頂と昭和火口から半径2km以内が立ち入り禁止になっている。火山爆発では噴石の他にも灰のように細かい粒子から直径数cmの石（火山レキ）まで噴き出す。これらのレキや火山灰は風に乗って流れていき、風下に降り注ぐ。

火山レキは鋭く尖った形状をしており、時には車のガラスを割る被害を生じる。火山灰が降り積もった道路は非常に滑りやすくなり、車のスリップ事故が発生し、降雨時には路面状態がさらに悪くなっていることもあり事故が増加する。さらに空中を飛散する火山灰は航空機にも多大な影響をもたらす。航空機のエンジンに火山灰が浸入すると高温のタービンで火山灰が溶融し付着するため、空気の通過を妨げることによりエンジンが停止してしまう。過去にはアラスカのリダウト火山、インドネシアのガルングン火山、フィリピンのピナツボ火山の噴火による火山灰を吸い込んだ航空機のエンジンが停止してしまった事例がある。2010年のアイスランドにあるエイヤフィヤトラヨークトル火山の噴火ではヨーロッパ中の主要空港が閉鎖されてしまった事例もある。鹿児島上空は国内線国際線ともに多くの航空機航路となっている上、火山灰が偏西風に乗ると本州の主要空港は降灰により全て閉鎖され、航空機を飛ばせなくなる事態もありうる。

### 火砕流と溶岩流

火砕流は高温の火砕物や火山ガスが山腹斜面を流れ下る現象で、数100度の高温と時速100km以上の高速で襲いかかるため破壊力が大きく、火山噴火の中で最も危険な現象の一つである。43名の死者・行方不明者を出した1991年雲仙普賢岳の火砕流が有名である。桜島では流下距離は最大で1.5km程度と立ち入り禁止区域を超えない程度の小規模な火砕流はたびたび発生しており（写真3）、2000年以降でも約40回の火砕

流の発生が観測されている。今後、噴火活動がさらに活発化した際には、大規模な火砕流の発生も考えられる。歴史時代の4回の大規模噴火では海岸に到達するほどの溶岩を流出している。溶岩流の流下速度は遅いため火砕流ほど危険性は高くないが、溶岩流に覆わ



写真3

れた地域では住居は焼失し、森林・田畑は噴火終息後もしばらくは使用不可能となる。

### 土石流と洪水

大規模噴火の際には大量の軽石や火山灰が降り積もることが想定されている。噴火が終息すれば火山噴出物の降下は止まるが、堆積した軽石や火山灰は土石流の原因となり長期間に渡り影響を与え続ける。急峻地などでは堆積した多量の軽石や降灰は少雨であっても土石流となって流れ下る。河川には雨水とともに堆積物が集積し、川底は一気に埋まってしまい、洪水が発生することが考えられる。一度の雨では流しきれない量の火山灰が堆積していると、雨が降るたびに土石流や洪水の被害が長期間に渡り発生することを想定しておかなければならない。大正大噴火の後、多量の降灰に襲われた百引村や垂水市周辺では、降雨のたびに土石流や洪水が発生し、犠牲者が出ていた。南岳爆発期でも桜島島内ではたびたび土石流が発生し、家屋の流失、道路の寸断などの被害が出た。

火山災害は噴出物による直接的な被害のほかにも地震、津波、高潮など災害が複合し、噴火が終息した後でも多量の堆積物が土石流や洪水の原因となるため、長期間に渡り災害を生じるという特徴がある。



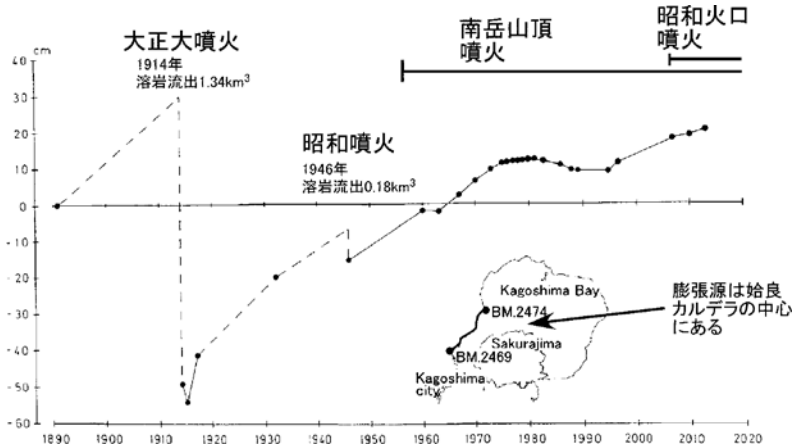


図 1

## 5. 火山噴火予測のための観測研究

### 進むマグマ蓄積

大正大噴火から100年以上経過した現在では次の大規模噴火に備えておく必要がある。図1に大正大噴火以降の桜島周辺の地面の高さ変動を示す。1914年大正大噴火により1 m 近く地面が沈降した後、すぐに地面の隆起が始まっている。1946年の昭和溶岩の流出で一時的に地面が沈降したが、直後に再隆起に転じている。桜島周辺では噴火活動が低調な時期には地面が高くなっていく特長がある。1970年代、1980年代の南岳爆発期には噴火により大量の火山灰が放出され、地面の隆起が停滞している。だが、1990年代になり噴火活動が徐々に低下してくると、地面が再度隆起している。桜島の噴火活動と地面の高さの変動に密接な関係があり、噴火の源となるマグマが始良カルデラから桜島に移動すると噴火活動が活発化して地面は下がり、噴火が低調な時期はマグマの蓄積が進行して地面が上がる。活発な噴火活動を続けている桜島であるが、それでも放出されるマグマの量より始良カルデラの下に供給されるマグマの方が多く、始良カルデラの下には次第にマグマの蓄積が進行している。現在の地面の高さはすでに大正大噴火前とほぼ同じ高さになっており、大正大噴火で放出されたマグマの9割近くがすでに始良カルデラの直下

に溜まっている。このマグマの蓄積が大正大噴火前と同じ量になったからと言ってすぐに大噴火が始まるとは限らない。今後何十年に渡ってマグマ蓄積を続け、大正大噴火以上の噴火になる可能性もある。しかしながら、現在の桜島は大正大噴火と同規模の噴火を起こすエネルギーをすでに蓄積していることは確実である。

### 噴火予測、何が分かれば成功？

大規模噴火となると火山周辺住民は避難を余儀なくされる可能性が高い。人的被害をなくすためには噴火の発生前に避難を完了する必要がある。ただし、噴火の前後の避難が長期間に渡れば人的被害は抑えられても経済的な被害は大きくなる。避難を必要最小限、短時間にするためには正確な噴火の予測が必要になる。噴火予測に限らず自然災害の予測には次の5つが必要となる。

- ・いつ？
- ・どこで？
- ・どのくらい？
- ・どのような？
- ・いつまで？

この5つを予測できて災害予測の成功と言えるだろう。いつ？と言っても1ヶ月先なのか、1日後なのか、数時間後なのかで噴火の事前対応に差が出る。住民避難には時間を要するため、数時間前に噴火の予測ができて避難を完了するための時間としては足りないかもしれない。どこで？は噴火する場所が居住地域に近いか遠いかで避難の必要性も変わってくる。どのくらい？は噴火の規模によって避難対象の広さが変わってくる。また、爆発的な噴火になるか、静かに火山灰や溶岩を噴出する噴火になるかなど、どのような噴火様式になるかで危険性も変わってくる。そして、近隣住民や自治体にとって最も重要な情報はいつまで続くのか？という災害終息に関する予測である。噴火によって避難を余儀なくされた方々が最も望むことは早期に自宅に帰れることであろう。噴火がいつ終わり、居住地域が安全になるかを予測することが重要である。近代的な観測により前兆現象を捉えられるようになってきたことで噴火の発生予測については進歩してきているが、噴火終息の予測は難し

いのが原状である。

### 噴火の前兆現象を掴む

1914年大正大噴火の際はまだ火山観測が発達していないため噴火予測は困難であった。しかしながら、噴火の前にはたくさんの前兆現象が起きていた。大噴火の前年1913年には有村地区で火山ガスにより2名が亡くなっている。さらに噴火の1～2ヶ月前から桜島島内の井戸水の水位が低下していた。これは大量のマグマが桜島の地下に移動してきたため、マグマ中のガスが地表近くにまで上昇してきていたのと、マグマによって地面が押し上げられたために井戸水の水位が低下したと考えられる。噴火の直前になると、1月10日から地震が増え始め、前日の1月11日には鹿児島市内でも有感になる地震が多数発生した。当時、鹿児島周辺の地震観測は鹿児島測候所に設置されていた1台の地震計しかなく、正確な震源を決定することはできなかった。現在では、正確な地盤の動きを計る装置や微小な地震まで計測できる地震計が多数設置され火山観測が行われている。活発な噴火活動が続ける桜島においては、火山監視業務を行なう気象庁だけではなく、京都大学、東京大学、防災科学技術研究所など火山噴火の研究を行う研究機関が多数の観測機器を設置しているため、大規模噴火の前兆だけではなく年間数百回の噴火を繰り返す個々の噴火の直前予測まで可能となりつつある。

### 地盤変動観測

地下に噴火の源となるマグマがやってくると地面が隆起し山体が膨張する。地面の動きを計る装置としてはGPSが多く用いられるようになってきた。GPSは人工衛星から送られてくる電波を受信して位置を測定する装置で、身近にはカーナビやスマートフォンなどで使用されている。その位置測定精度をcmのオーダーまで高めた機器が火山観測で使用されている。これを火山周辺に複数設置することで地面の変動を計測し、その変動源となるマグマの位置がどこにあるか、どのくらいの量が蓄積しているかを調べる物である。始良カルデラ周辺に設置したGPSで地面の変動を調べると、各地点でカルデラ中心から放射状に離れるように動いていることが分かり、始良カルデラの深さ10km付近に年間

1000万  $\text{m}^3$  のマグマが溜まり続けていることが明らかになった (Iguchi, 2013)。

さらに地盤の変動を正確に測定する観測機器が桜島島内の坑道内に設置されている。例えば山頂直下にマグマがやってくると山体が膨らむため、斜面の傾きは上山がりとなり、地面は伸びる。その傾斜や伸縮を計る装置が坑道内に設置されており、精度はナノメーター ( $10^{-9}$ ) のオーダーで測定されている (写真4)。現在、京都大学によって桜島北西部と北東部、国土交通省大隅河川国道事務所によって桜島南部の3ヶ所に地盤変動観測用の坑道が設置されている。図2に爆発的噴火の際に観測された地盤変動データを示す (Ishihara, 1990)。06:34に爆発的噴火が発生しているが、その数時間前から傾斜計で火口方向が上がり、伸縮計で地面の伸びが観測されている。爆発発生直後から溜まっていたマグマやガスが放出されるために圧力が下がり、傾きや伸びが元に戻る。この



写真4

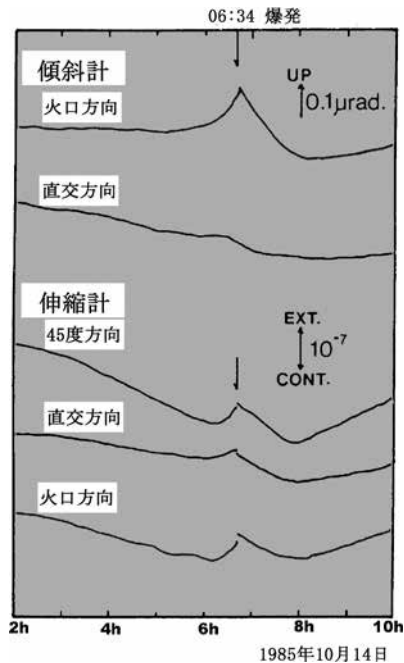


図2

傾斜や伸びが大きいほど多量の火山灰やガスを放出する噴火になる。この坑道内に設置した地盤変動観測機器により個々の噴火の直前予測、規模予測ができ、現在では年間数百回発生することもある噴火の90%近くについて直前予測が可能となってきた。

## 地震観測

図3に京都大学が桜島島内に設置している地震観測点を示す。桜島島内に山頂を取り囲むように10ヶ所の地震観測点を設置しており、桜島島外においても薩摩半島と大隅半島に7ヶ所の定常的な地震観測点を設けている。これにより桜島に向

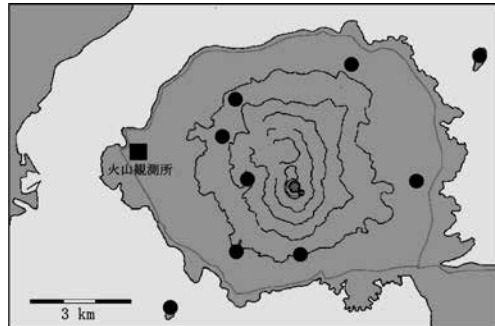


図3

かってマグマが上昇する過程や、始良カルデラ下でマグマが蓄積する過程で生じる微小地震まで検知できるようになっている。火山で生じる地震には岩盤が割れる際に発生する地震（A型）とマグマやガスなど流体が直接関与して発生する周波数の低い地震（B型）がある（例えば、Minakami, 1960）。地震の発生の仕方としてはやや深い場所でマグマが上昇してくる際にA型地震が発生し、その後にマグマが浅部までやってくるとB型地震が多く発生する。桜島の周辺や深部でA型地震が発生する時はマグマが上昇している可能性が高く、今後の噴火活動の活発化が想定される。B型地震が多発すると活発な噴火活動の始まりが近いこと表す。地震の発生数だけでなくどのような種類の地震が発生しているかを見ることで噴火の予測ができる。

## 火山ガス観測

マグマには多量のガス（二酸化炭素、水素など）が含まれていて、マグマが地下深部から浅部に上昇してくるとマグマ中のガスが抜け出て地表に放出される。ガスは地中を浸透しやすく小さな亀裂の中でも動きやすいため、マグマ本体と比べると早期に地表に到達する。大正大噴火の前年に有村地区の山中でガス中毒により亡くなった方がいることは、その時期には桜島直下に多量のマグマが上昇し始めていて、マグマからガスが抜け出ていた可能性がある。1955年以降の南岳や昭和火口の活動期においても、活発な噴火活動になる前には二酸化炭素や水素の量が増え

ることが観測されている。

### 長期的予測

活発な活動が続ける桜島の今後の火山活動について予測する。一つは1914年の大正大噴火級である。天平宝字、文明、安永、大正の4回の噴火は764年から約700年後、1471年から約300年後、1779年から約130年後と大噴火のたびに発生間隔を縮めている。現在、大正大噴火から100年以上が経過しており、地面の高さの変動観測からほぼ大正大噴火前と同じマグマの蓄積が進んでいることが明らかになっている。今後、歴史時代に発生した4回の大噴火と同規模の噴火が発生する可能性は高いと考えられる。次に1946年の昭和溶岩を流出した中規模噴火の可能性である。昭和火口では1946年の溶岩流出以前に1939年から7年間、爆発や火山灰放出が続いていた。徐々に桜島へのマグマ上昇が増えていった後に溶岩流出となった可能性がある。現在の爆発的噴火がさらに活発化した際には注意が必要である。3つ目のシナリオは、南岳や昭和火口における爆発活動の激化である。前述の2つのシナリオは蓄積したマグマを短時間で放出するものであるが、爆発活動激化は蓄積したマグマを長期間かけて放出するものである。1970年～1980年代の南岳爆発の最盛期には地面の高さの変動が停滞か若干沈降している（図1）。これは始良カルデラ直下に供給されるマグマの量と爆発や火山灰で放出されるマグマの量が釣り合っている状態を示す。今後、南岳山頂や昭和火口での爆発が激化し、蓄積したマグマを何十年とかけて放出する可能性もある。

### 噴火警戒レベル

気象庁が火山活動状況について情報を発表している中に噴火警戒レベルがある。図4に桜島の噴火警戒レベルを示す（気象庁 HP, [https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/level/PDF/level\\_506.pdf](https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/level/PDF/level_506.pdf)）。レベルは1から5まであり、1は活動が静穏な状況で噴火の兆候が見られない状況である。レベル2と3は警報レベルで噴火活動が活発で火口近傍や周辺では危険なため立入禁止にする必要がある。桜島や諏訪の瀬島では爆発的な噴火により噴石が斜面に飛散することがありレベル2～3の状態である。桜島の場合は噴石や火砕流などに

桜島の火山災害と噴火予測のための観測研究

種別	名称	対象範囲	レベル (1-5)	火山活動の状況	住民等の行動及び登山者・入山者等への対応	想定される現象等
特別警報	噴火警報（居住地域）又は噴火警報	居住地域及びそれより火口側	5（避難）	居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生、あるいは切迫している状態にある。	危険な居住地域からの避難等が必要。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●全島に影響する溶岩流や火砕流、噴石飛散。</li> <li>過去事例 天平噴火(768年)、文明噴火(1471年～1476年)、安永噴火(1779年～1782年)、大正噴火(1914年)</li> <li>●噴火が発生し、溶岩流や火砕流が一部居住地域に到達、あるいはそのような噴火が切迫している。</li> <li>昭和噴火(1946年)の事例 溶岩流が黒神海岸、有村海岸まで到達</li> <li>●居住地域に大きな噴石飛散。</li> <li>過去事例 1986年11月23日：古里温泉のホテルに大きな噴石直撃</li> </ul>
			4（避難準備）	居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生すると予想される（可能性が高まっている）。	警戒が必要な居住地域での避難の準備、要配慮者の避難等が必要。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●噴火活動の高まり、有感地震多発や顕著な地殻変動等により、噴石や火砕流、溶岩流が居住地域に到達するような噴火の発生が予想される。</li> <li>大正噴火(1914年)の事例 噴火開始の前日：有感地震多発</li> <li>昭和噴火(1946年)の事例 溶岩流出の数時間前：噴火活動の活発化</li> <li>●居住地域近くまで大きな噴石飛散。</li> <li>過去事例 1980年代に時々発生</li> </ul>
警報	噴火警報（火口周辺）又は火口周辺警報	火口から居住地域近くまで	3（入山規制）	居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす（この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ）噴火が発生、あるいは発生すると予想される。	住民は通常の生活。状況に応じて要配慮者の避難準備等。登山禁止や入山規制等危険な地域への立入規制等。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●火口から概ね2 km以内に噴石飛散。</li> <li>過去事例 1970年代後半から80年代、2000年10月7日の噴火等</li> <li>●火口から概ね2 km以内に火砕流が到達。</li> <li>過去事例 1984年7月21日：南岳山頂火口から約1.2 kmまで到達 2008年2月6日：昭和火口から約1.5 kmまで到達等</li> <li>●地震多発や傾斜変動等により、火口から概ね2 km以内に噴石飛散するような噴火の発生が予想される。</li> <li>過去事例 2007年からの昭和火口の活動等、ほか事例多数</li> </ul>
			2（火口周辺規制）	火口周辺に影響を及ぼす（この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ）噴火が発生、あるいは発生すると予想される。	住民は通常の生活。火口周辺への立入規制等。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●火口から概ね1 km以内に噴石飛散。</li> <li>過去事例 事例多数</li> </ul>
予報	噴火予報	火口内等	1（活火山であることに留意）	火山活動は静穏。火山活動の状況によって、火口内で火山灰の噴出等が見られる（この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ）。	状況に応じて火口内への立入規制等。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●火山活動は静穏、火口内および一部火口外に影響する程度の噴出の可能性あり。</li> <li>過去事例 1950年～1955年のうちの静穏期</li> </ul>

図 4

よって危険なため常に火口から2 km以内は立ち入り禁止とされている。レベル4と5は特別警報レベルで居住地域に影響を及ぼす噴火が発生、もしくは発生する可能性がある場合に発表される。気象庁が噴火警戒レベルの運用開始後に初めて噴火警戒レベル5が発表されたのは口永良部島であった。2015年5月の口永良部噴火では火砕流が麓の集落付近まで流下し居住地域に影響を及ぼす噴火が発生したため噴火警戒レベル5が発表された。これを受けて、屋久島町は全島民に島外へ避難するよう避難指示を発令した。2015年8月には桜島直下で比較的規模の大きな

マグマ上昇が発生し、顕著な地盤変動と有感地震が発生した。観測坑道の地盤変動観測や地震の発生規模などから、上昇しているマグマの量は、大正噴火クラスではないことが分かったが、もし上昇しているマグマが一度に放出する噴火になると通常発生している桜島の噴火より規模が大きくなり、居住地域にまで影響を及ぼす可能性があるため避難準備に相当するレベル4が発表された。これにより桜島島内の集落のうち山体に近い有村、黒神集落では住民避難が行なわれた。幸いにもこの上昇したマグマが一度に放出されることはなかったが、現在のような観測体制が整っていることにより普段とは違う異常現象を掴めた成果と言える。噴火警戒レベルは火山活動のレベルを数字で示すため状況が分かりやすくなっているが、レベルが低いからと言って人的被害を生じるような噴火が発生しないというわけではない。2014年御嶽山噴火ではレベル1で噴火が発生してしまったため山頂周辺に登山していた観光客に多数の被害が発生した。また2018年の本白根山の噴火ではそもそも噴火警戒レベルが設定されていなかった。小規模な噴火では前兆現象が発生していても観測で捉えられない可能性がある。観測体制の整った桜島においては、大規模噴火の前兆現象を捉えることは可能だと考えられ、今のところ大規模噴火が切迫しているような現象は見られない。しかしながら、始良カルデラ下のマグマ蓄積は年々進行しており、次の大規模噴火に向けて着実に準備は進んでいる。いま一度、大正大噴火の際に発生した災害を教訓にし、大規模噴火に伴う災害に対して真剣に備えをする時期に来ているだろう。

## 謝辞

本稿における火山観測は京都大学防災研究所附属桜島火山観測所スタッフ一同によってなされており、また、周辺自治体や住民の方々の協力により成り立っている。心より感謝申し上げます。

## 引用文献

井口正人 (2016): 続発する日本の水蒸気噴火、鹿児島純心女子短期大学想林第7号、pp. 5-31.

Iguchi, M. (2013): Magma movement from deep to shallow Sakurajima



volcano at revealed by geophysical observation, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol.58, pp. 1-18.

Ishihara, K. (1990): Pressure sources and induced ground deformation associated with explosive eruptions at an andesitic volcano: Sakurajima volcano, Japan, In Magma Transport and storage, pp. 336-356.

Matsumoto, T. (1943): The four fifantc caldera volcanos of Kyushu, Japan Jour. Geol. Grogra., 19, pp. 1-57.

Minakami, T. (1960): Fundamental research for predicting volcanic eruptions, Part 1, Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo, 38, pp. 497-544.

写真1 黒神の埋没鳥居。1914年大正大噴火の軽石と火山灰が2～3m堆積している

写真2 昭和火口で発生する爆発的噴火。多数の噴石が山腹に着弾している。2012年9月26日園田忠臣氏撮影

写真3 桜島で発生する火砕流。上空に上がる噴煙とは別に斜面を流下する火砕流（粹内）。2009年4月9日横尾亮彦氏撮影

写真4 京都大学がハルタ山に設置している地盤変動観測用の坑道。水管傾斜計と伸縮計を火口方向（写真左手奥が火口方向）と直行方向に設置。伸縮計は45度の方向にも設置（写真右手）

図1 桜島周辺の地面の高さ変動（BM2469を基準としたBM2474の高さ変動）

図2 1985年10月14日06時34分に発生した爆発的噴火前後の傾斜計と伸縮計の記録

図3 京都大学が設置している桜島島内の地震観測点分布

図4 桜島の噴火警戒レベル。https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/level/PDF/level\_506.pdf から抜粋。

(京都大学防災研究所火山活動研究センター准教授)