

# 九州地方における災害と対応について

## － 火山と豪雨の災害時に求められるロボット技術 －

○林良太 (鹿児島大学)

### 1. はじめに

九州は北部から南部にかけて、台風、豪雨、火山などによる自然災害が頻繁に発生する地域である。九州には17個の活火山があり、近年では、雲仙普賢岳（1991年）の火山噴火による災害が記憶に新しく、2011年の宮崎・鹿児島県境にある霧島連山新燃岳の噴火や、現在も活発な活動を続けている鹿児島県の桜島の噴火は、住民の生活に大きな影響を与えている（図1）。一方、台風や豪雨の水害も連続して起きている。1993年に鹿児島県で甚大な被害が出た「8月豪雨」や、2009年の「中国・九州北部豪雨」による災害が挙げられる。また、最近では2012年7月に「九州北部豪雨」による大きな災害が発生している。九州の大部分は数万年以前の阿蘇カルデラ、加久藤カルデラ、始良カルデラなどにおける火砕流堆積物によって構成された地盤であるため、比較的少量の降水でも崩壊し、土石流等が発生しやすいという特徴がある。

以下では、九州地方における火山や豪雨によって発生した災害事例を確認しながら、防災・減災のために求められるロボット技術の可能性について考察する。

### 2. 九州地方の火山噴火による災害

#### 2.1 火山の噴火

有珠山（1977年）、三宅島（1983年）、伊豆大島（1986年）、雲仙普賢岳（1991年）の火山噴火による災害が記憶に新しく、日本での火山噴火による災害に対する認識は低くない。火山噴火の規模には多様性があり、わずかな降灰で日常生活に影響が出る程度のものから、大規模な火砕流を伴ったカルデラ破局噴火により生態系に影響を及ぼすものまでがある[1]。

同一の火山において、大噴火の頻度は数百年に一度というものが多く、人の一生で、火山噴火による深刻な被害に合う機会は少ない。1600年以降の記録では、世界で火山災害による死者の数は、26万人程度であると言われており、近年のアジア大陸内で起きる巨大地震の1回分を下回る数である[2]。ただし、甚大な被害をもたらす巨大な噴火は、数千年から数万年以上の間隔でしか起こらないため、その災害の程度を理解することは難しいが、ひとたび巨大な噴火が起こると、1600年以降の記録とは比べものにならないくらい甚大な被害をもたらすことは間違いない[1]。

火山活動に関係して起こる物理的な現象による被害を以下に挙げる[2]。

#### （空振）

火山の爆発的な噴火によって、火口での急激な気圧変化が衝撃波となって空气中を伝わる現象であり、低周波であるため人の耳では聞こえない。空振が通過す



図1 噴煙を上げる桜島と鹿児島市街

る際に、建物の窓や壁を揺らし窓ガラスが破損することがある。

#### （火砕物降下）

火砕物とは、火山岩塊（粒径64mm以上）、火山礫（粒径2mm～64mm）、火山灰（粒径2mm以下）などや、軽石、スコリア、火山弾などの総称である。比較的マグマの粘性が高い火山では、爆発的噴火によって火砕物が広範囲に降下する。火砕物が人の上に降り注ぐと危険であることはもちろん、規模の大きな噴火の際には、火砕物で村が埋没することがある。

#### （火砕流）

火砕流には、マグマが地表近くまで上昇し減圧した時点で爆発的に発泡し、液体と固体が粉砕されてガスと混合した状態で火口から高速で流れ出すものがある。また、固体破片とガスの混合物からなる大規模な噴煙柱が崩れてそのまま火砕流になるものもある。他に、溶岩ドームの一部が押し出されて崩壊し、爆発的に解放されたガスと破片が混合して火砕流となるものもある。溶岩ドームが火山ガスの圧力で爆発的に崩壊した時には、規模の大きい火砕流と火砕サージが発生することがある。火砕流は、高温の火山ガスと混合一体化しているため、地面との摩擦が少なく流れ下るスピードは100km/hを超えることもある。

#### （土石流）

火山地帯に雨が降ると、火山灰におおわれた斜面や崩壊土がたまった谷底から多量の土砂が流れ出して土石流となる。土石流は、直径2m～3mにもなる巨礫や土砂、水を含んでおり、時速数十キロメートルで、河岸の堆積物を削り堤防や橋などの構造物を破壊する。

#### 2.2 桜島の火山噴火による災害事例

九州にある17個の活火山のうち、最近の数百年間で災害が発生したものは、阿蘇山、雲仙普賢岳、霧島連山、桜島が挙げられる。鹿児島市は、世界有数の活火山に隣接する都市であり、火山噴火に対する防災・減災対策を重点的に施しておく必要のある地域である。鹿児島市に隣接する桜島の噴火は、有史以来30回以上の噴火が記録にあり、室町時代の文明大噴火（1471年）、



図2 黒髪集落の埋没した高さ 3 m の鳥居

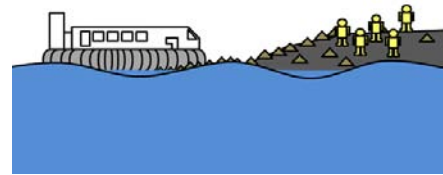


図3 エアクッションビークルによる避難

江戸時代の安永大噴火（1779年）、大正大噴火（1914年）が大きな災害をもたらした3大噴火と呼ばれている。そこで以下に、気象庁や鹿児島市が公開している記録を基に桜島の3大噴火での災害状況について紹介しておく。

#### 文明大噴火

室町時代の文明3年（1471年）から10年の間に5回の噴火が記録されている。1471年11月に、黒神方面に溶岩が流出し、噴石や降灰により、死者多数の記録が残っている。また、1476年9月の噴火が最も大きく、桜島の東側黒神付近から溶岩が噴出し、島の南西側に多量の溶岩流出、噴石、降灰砂により、埋没家屋多数、人畜多数死亡の記録がある。

#### 安永大噴火

1779年11月8日、昼過ぎに桜島南部から噴火が始まり、その直後に桜島北東部からも噴火が始まった。そしてその夕方には南側火口付近から火砕流が流れ下っている。夕方から翌朝にかけて大量の軽石や火山灰を噴出し、江戸や長崎でも降灰があった。北岳の北東部山腹および南岳の南側山腹から流出した溶岩は、10日に海岸に達した。

また、1780年8月6日には桜島北東の海底噴火があり、津波が発生した記録が残っている。続いて1781年4月11日にも同じ場所で海底噴火があり、津波のため、死者8名、行方不明者7名、負傷者1名、船舶6隻損失の被害が記録されている。一連の火山活動による噴出量は溶岩が約1.7 km<sup>3</sup>、軽石が約0.4 km<sup>3</sup>と推定されている。薩摩藩の記録によると死者153名であった。

#### 大正大噴火

1914年1月12日午前、桜島西側中腹から噴火が始まり、直後には桜島南東側中腹からも噴火が始まった。断続的に空振を伴う爆発が繰り返され、夕方の午後6時30分に、噴火に伴うマグニチュード7.1の強い地震（桜島地震）が発生した。対岸の鹿児島市内でも石垣や家屋が倒壊するなどして人命を失う被害が出た。

桜島東側の瀬戸海峡では海面に浮かんだ軽石の層が厚さ1 m以上にもなり、船による避難の障害となった。東桜島村では混乱によって海岸から転落する者や泳いで対岸に渡ろうとして凍死したり溺死したりする者が相次いだ。大量の火砕物の降下により、ほぼ1日で東山麓の黒髪集落は埋没した（図2）。

噴出した高温の火山弾によって島内各所で火災が発生し、大量の軽石が島内及び海上に降下した。午後8時14分には火口から火砕流が発生し、桜島西北部にあった集落が全焼した。15日には、赤水と横山の集落

が桜島西側を流下した溶岩に覆われた。また29日には、桜島南東側の火口から流下した溶岩によって、桜島が大隅半島と陸続きになった。この大噴火による噴出物総量は、2.1 km<sup>3</sup>と推定されている。

桜島島民の死者・行方不明数は30名であり、うち20名は対岸まで泳ごうとして溺死した者である。残り10名のうち8名は避難途中の行き倒れなどであり、2名が火山噴出物による被害者である。一方、対岸の鹿児島市内およびその周辺では、桜島地震による犠牲者が29名となっている。うち9名は避難途中にがけ崩れによって亡くなっており、他は石垣や家屋の倒壊によって亡くなっている[4]。

### 2.3 火山噴火の災害事例とその対策

#### 避難時の対策：

桜島には約5千人の住民が暮らしており、噴火時に桜島を脱出するための緊急避難訓練が毎年行われている。2012年5月26日に実施された鹿児島県防災訓練では、海上自衛隊大型輸送艦「くにさき」からエアクッションビークル1隻が出動し、住民約80人を救助、輸送艦まで運ぶ訓練が行われた。大正噴火の際に、海面に浮かんだ軽石の層が厚さ1 m以上になって、船による避難が困難であったことから、エアクッションビークルのような水陸両用で移動できる輸送機械は有用である（図3）。

#### 空振被害への対策：

2011年2月の新燃岳の爆発で生じた空振により、霧島市100か所で約300枚の窓ガラスが割れている。火口から6 km離れたホテルでは、100枚近くのガラスが割れ、壁に破片が突き刺さるなどの被害が出ている。また、霧島温泉クリニックでは90歳の女性が割れたガラスによりけがをしている。空振は、音速（約340 m/s）で伝わることから、火口での爆発を検知することによって、空振の到達をいち早く警告するシステムの構築が可能であると考えられる[3]。ガラスが割れる規模の空振の到達を予測することが可能になれば、窓から離れるなどして人的被害を防ぐことができる。ただし、爆発を検知するためにはセンサーを火口近くの効果的な位置に設置する必要がある。危険な火口に近づき、検知した情報を素早く通信することのできるロボット技術の応用が期待される。

#### 火砕物降下や火砕流への対策：

桜島は、比較的マグマの粘性が高く、噴火のタイプがブルカノ式に分類されており、噴石の放出が多い。南岳火口から半径2 km および、昭和火口から半径2 km は噴石の落下が頻繁にあり、立入禁止区域になっている。噴石の被害では、1986年11月23日、南岳火口から





図4 火砕物降下時の避難壕



図6 野尻川下流のハネルセンサー



図5 ロードスイーパー（鹿児島市）

2.2 km 離れた桜島古里地区にあるホテルのロビーに、直径約 2 m、重量約 5 t の噴石が落下し、建物の屋根と床を突き破り宿泊客と従業員の合わせて 6 名が負傷する災害があった。その他、火山礫の降下による車のガラスが割れる被害は多数に上る。海を挟んで桜島火口から 10 km 以上離れている鹿児島市内においても、火山礫（最大径約 3 cm）が多量に降った記録（1978 年 7 月 31 日）が残っている。

突然の爆発的噴火に伴う火砕物の降下に備えて、桜島のあちらこちらに避難壕（図 4）が設けられている。一時的な緊急避難的には、こうした施設が非常に重要な役割を果たす。さらに、現場から避難する場合は、頑丈な装甲で降下する火砕物からの被害を防ぎ、その上を走破できる輸送用移動機械が必要になる。

#### 降灰被害への対策：

降灰による被害は、広範囲に及ぶ。最近では、2012 年 5 月 20 日からの噴火に伴う降灰によって、鹿児島市内の観測所で 24 時間の間に 1 平方メートル当たり 733 グラムを観測した。この降灰による障害のため、市内を通る JR が 2 日間に渡って運休する事態が生じている。また、灰が積もった一般道路自動車が走行するのは危険であるため、鹿児島市のロードスイーパー（図 5、保有台数 37 台）、散水車（保有台数 18 台）が幹線道路を中心にフル稼働で灰の除去にあたっている。しかし、これらロードスイーパーが及ばない道路や歩道、住宅の敷地内に積もった灰の処理については容易ではなく、市街地で灰が堆積したままのところが多く見かけられる。一般道路以外で、平坦な場所の灰を除去できるものとして、手動式のロードスイーパーが市販されているが、不整地でも機能する高性能な小型ロードスイーパーの開発を望む声があり、最新のロボット技術の応用に期待されるところは大きい。

日常生活を支援する降灰対策用機器などに様々なニーズも顕在している。近年、桜島の火山活動により降灰が頻繁に起こる鹿児島市内では、安価な洗浄機器の販売が飛躍的に伸びている。扱いが容易でかつ高性能な、

灰を処理することのできる機械が開発されれば、市場を席卷できる可能性がある。

#### 土石流への対策：

桜島では、土石流が頻発し過去に多くの被害が出ている。鹿児島県は 1943 年になって砂防事業に着手した。砂防事業は危険をとまなう工事であり、1974 年に工事従業者 8 名が土石流により死亡している。1976 年になり、砂防事業は、鹿児島県から引き継いで国の直轄事業となっている。桜島の川の中で、野尻川が土石流の発生回数が最も多く、1 年間の平均が約 16 回となっている。1988 年以降は、砂防施設等の整備が進み、土石流は頻繁に発生し続けているが、人命にかかわる事故や一般家屋への被害は発生していない。

土石流は破壊力が大きく頻発するため、砂防施設を簡単に劣化させる。そのため発生した土石流を観測し、砂防工事を継続して施行する必要がある。桜島では、これまでワイヤーセンサや音響センサなどの土石流感知センサが用いられてきたが、土石流が発生する度に損壊するため連続した検知ができなかったり、気象条件によって検知精度が低下するという問題があった。そこで近年では、連続して検知が可能なハネルセンサ（図 6）や振動センサ、監視カメラの映像から画像解析を行って土石流を検知するシステムが試験的に導入されている。また、火山災害から工事従業者の安全を確保するため、簡易遠隔操縦装置（ロボQ）を用いた無人化施工を行っており、大型建設機械による無人化施工も試験的にを行っている。このように、土石流発生を検知して、災害発生を防ぐための砂防工事を継続する必要がある危険な現場では、今後さらにロボット技術を応用していく必要がある。

### 3. 九州地方の豪雨による災害

#### 3.1 豪雨による災害事例

九州で頻発する水害をもたらす豪雨の多くは、梅雨の時期に発生している。太平洋高気圧の勢力が弱まり、梅雨前線が停滞したところへ南の海上から湿舌が流れ込み、九州で大雨が続く。また、九州の多くの地域は、火砕流堆積物によって構成された地盤であるため、土砂災害が起こりやすい特徴がある。以下に、九州地方における豪雨による災害事例を挙げる。

#### 平成 5 年 8 月豪雨

1993 年 8 月 1 日に鹿児島県内で死者 23 名を出した豪雨があり、続いて 8 月 6 日には、鹿児島市内を中心に死者 48 名、行方不明者 1 名を出す豪雨があった。8 月 6 日の豪雨では、鹿児島市の雨量は一日で 259 mm に達し、市の中心部を流れる甲突川があふれ、約 12000

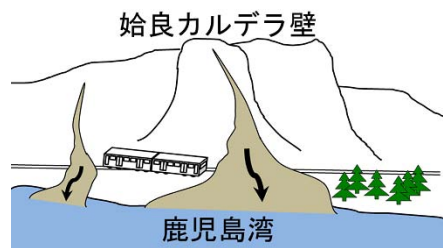


図7 竜ヶ水地区における土石流のモデル

戸が浸水した。吉野町の病院では、裏山で発生した土砂崩れが直撃し、入院患者と避難住民の15人が死亡した。また、始良カルデラ壁に沿う竜ヶ水地区で、約4kmの区間の22カ所で土石流が発生し、国道の自動車約1200台が孤立した。さらに、立ち往生した旅客列車が、土石流に巻き込まれて大破した。住民と列車の乗客や車の運転者を含めた約2500人が周囲から孤立したが、海上の船舶により救出された(図7)。

#### 平成21年7月中国・九州北部豪雨

2009年7月19日から7月26日にかけて日本の中国地方から九州北部にかけての地域を中心に豪雨となり、死者35名を出した。山口県では、県内各地で土砂災害が発生し22名の被害者が出た[5]。また、住宅などの浸水・土石流被害やライフラインの寸断などの被害があった。防府市の特別養護老人ホームでは、21日正午頃に大規模な土石流が発生し、施設の1階部分で食事を終えた入所者7名が生き埋めとなった。

福岡県では、土砂崩れによって家屋が倒壊2名が犠牲となった。このうちの1名は自宅から約30m離れた場所で豪雨によって出来た川べりの土砂の中から発見された。また、大野城市の九州自動車道で法面上部の山が崩落し、走行中の自動車が防護壁のコンクリート片混じりの土砂にのみ込まれ、夫婦2名が生き埋めになった。

#### 平成24年7月九州北部豪雨

2012年7月11日から14日にかけて、本州付近に停滞した梅雨前線に向かって南から湿舌が流れ込み、九州北部を中心に豪雨となった。気象庁は12日に、熊本県と大分県を中心に「これまでに経験したことのない大雨になっている」という表現で警戒を呼びかけた。熊本県阿蘇市では、観測された最大1時間降水量が108.0mm、最大24時間降水量が507.5mmとなり、それぞれ観測史上1位の値を更新した。

熊本県阿蘇市では、土砂災害により20数名の人命が失われている。また、熊本県の菊池川、白川、福岡県の筑後川、矢部川、大分県の山国川の各水系の少なくとも18カ所が氾濫し、逃げ遅れた被災者がヘリコプターなどで救助されている。

なお、福岡県では土砂に巻き込まれた2名が亡くなり、水没した自動車の近くで1名の死亡が確認されている。大分県では、増水した川に流されるなどして、3名が死亡している。

#### 3.2 豪雨による災害への対策

九州北部豪雨で被災した熊本県阿蘇市では、土砂災害が起きたときに避難指示が出ていたにも関わらず、被

災した住民は、非常に強い雨のせいで避難をためらっていた可能性が指摘されている(2012年7月14日読売新聞社説)。土砂災害への対策として、事前に地形と地質を調べた上で作成されたハザードマップを活用して、大雨の際の迅速な避難に役立てることが有効である。しかし、避難するタイミングが遅れてしまうと、周囲の状況は刻々と変化するため避難所への安全なルート確保が困難になる。特に、夜間に豪雨の中を避難することは難しい。このような場合に、周囲の状況に関する情報を集約し、安全な避難経路をナビゲートするロボットシステムがあれば有用となるであろう。

豪雨による土砂災害では、その後の復旧作業や行方不明者の捜索作業において、多大な時間と労力を必要とする。九州北部豪雨の後、復旧に取り掛かった熊本市や阿蘇市でも、多くのボランティアの協力を求めている。特に、阿蘇市では火山灰が混じる泥の中、瓦礫や、被災した家財道具の処分に困窮している。こうした作業を支援し、人の労力を少しでも軽減することのできる機械へのロボット技術の応用が強く望まれる。

#### 4. おわりに

災害時に求められるロボット技術を次の3つに分類しておく。

##### (1) 危険区域の監視・災害発生の検知:

危険地帯に移動して、災害につながる情報を収集し通信することのできるロボットの開発が必要である。なお、頑健で長寿命が要求される。

##### (2) 緊急避難・救助・人命探査:

人命探査および瓦礫除去に加えて、不整地での移動能力は必須である。火山噴火による災害の場合、火砕降下物の上を走破し、降下する火砕物から人を防護する頑丈に装甲された移動機械の開発が必要である。また、豪雨災害の場合は、泥流の中や冠水した道路を推進できる移動機構が必要である。

##### (3) 復旧作業:

降灰や泥の処理、瓦礫、被災した家財道具の処分に多大な労力と時間を要する。これらの作業を支援することのできるロボット技術のニーズは大きい。そのため、設置費が安く大量に整備できることが望ましい。被災時には、家庭用電力の供給が滞ることも想定される。そうした場合は、例えば身近にある自動車などからエネルギーを取り出す技術を検討することも必要になる。

上述の要求を満たす効果的な機械システムの開発は現在のロボット技術で多くが実現可能であると考えられる。ただし、必要な時に備えて、継続的に整備することができかどうかは今後重要な課題となる。

#### 参考文献

- [1] 早川由紀夫：“現代都市を脅かすカルデラ破局噴火のリスク評価”，月刊地球，海洋出版，No. 11，2003.
- [2] 宇井忠英：火山噴火と災害，東京大学出版会，1997.
- [3] 青山裕：“有珠山の空振活動に伴って現れる地震波の特徴”，マグマ活動と火山性地震・微動—京都大学防災研究所研究集会，2001.
- [4] 中央防災会議「災害教訓の継承に関する専門調査会」編：災害史に学ぶ—火山編，内閣府（防災担当），2011.
- [5] 内閣府（防災担当）：“平成21年7月中国・九州北部豪雨”，ぼうさい，No. 53-9，pp. 14-15，2009.