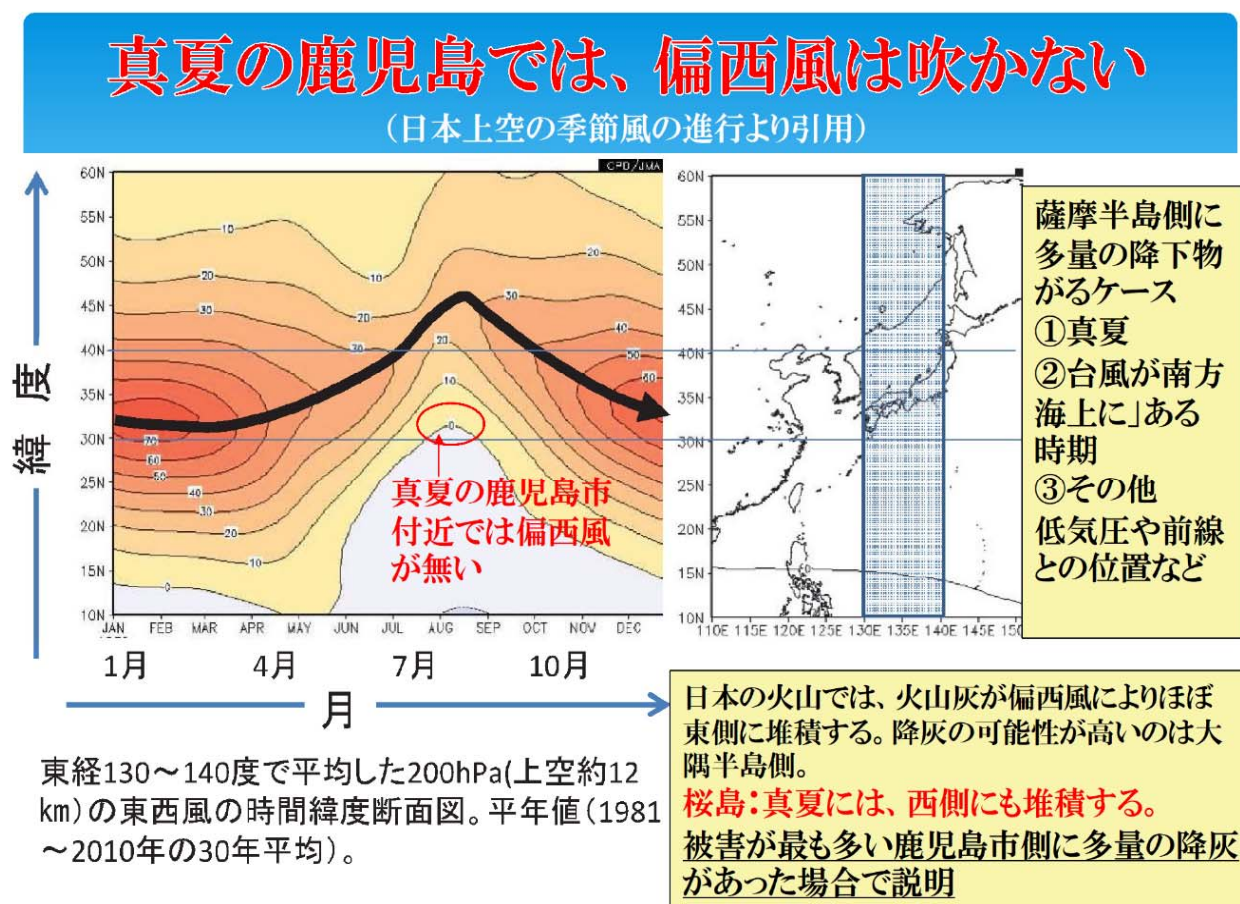


3 大噴火時の降灰パターン

鹿児島市付近の偏西風の強さを図-3.1 で解説し、大噴火時の気象パターン 10 例について、気象研究所がシミュレーションした大噴火想定日の天気図とともに示す。

図-3.1 は、日本付近（東経 130～140 度）の年間を通した偏西風の強さを緯度ごとに示したものである。鹿児島市（北緯 31 度 30 分）の上空には、大正噴火が起きた 1 月には風速 70m の偏西風の中心がある。一方、偏西風の中心は夏場にかけて北に移動するため、夏場には鹿児島市付近ではほとんど偏西風が無い状態となる。さらに、夏場は太平洋高気圧が優勢であるため、下層大気は東風になる日が多い。このような気象条件の際に桜島が大噴火すると、鹿児島市街地には多量の軽石が降り積もる。



図：前田修平他 将来気候における季節進行の変化予測(偏西風の変化の観点から)も元に加筆 気象庁 地球環境・海洋部 気候情報課

図-3.1 日本付近の偏西風 鹿児島大学ワークショップ I 2016 年 資料

具体的な降灰地域を検討するため、気象庁気象研究所では、2016 年の気象場で、降灰方向のシミュレーションを行った。検討は、「桜島が毎日噴火していたとした場合、その時の気象条件では、降灰がどの方向に降るか」との視点で行われた。その結果概要を〔(第 8 回 05 軽石堆積方向 (気象研究所資料より作成))〕に整理した。毎日の降灰方向の集計は、図-3.2 に示した様に、降灰方向が真東の場合を 0 度とし、反時計回りに 30 度ずつ区分して、その方角の範囲に含まれる降灰日数を整理した。その結果を図-3.3 に示す。最も降灰がある確率が高い地域は、桜島から真東方向と、それより 30 度北向きの範囲で、2016 年の場合は、1 年間のうち 209 日にもなる。次に確率が高いのは、330～360 度の範囲で 74 日

である。大隅半島側に降下するケースが多いが、鹿児島市方向に 22 日、姶良市・霧島市方面に 13 日、指宿市方面に 11 日となる。

この取りまとめは、例えば鹿児島市方向に 22 日多量降灰があるのみで、それ以外の日には、鹿児島市に多量降灰がないことを意味してはいない。大正噴火の際に 12 cm 以上の厚さで降り積もった降灰地域の幅は 23 km である。このことは、桜島の南岳から 9.7 km の距離にある鹿児島市役所は、噴煙が真北や真南に流れても、多量の軽石を降らす傘領域の下部に入り、多量の軽石が降る日があることを示す。

特に、桜島の大噴火が 2 か所の山腹噴火であり、大正噴火の際は、最も西側の噴火口は、現在の鹿児島市役所から約 6 km の近い地点であったことは、注意する必要がある。大正噴火時は、真冬の強い偏西風で軽石は東側に降ったので、鹿児島市街地に大きな被害は無かったが、次の噴火でも同じことが起きるとは言えず、対策検討の場合には図-3.3 に記載した 22 日以外の日でも錦江湾周辺部には多量の降灰があることを考慮する必要がある。

図-3.4 は、大正噴火時の降灰範囲を 45 度刻みで回転させた図である。噴火時の気象条件によっては、県内全域と宮崎県南部も多量降灰地域になる。

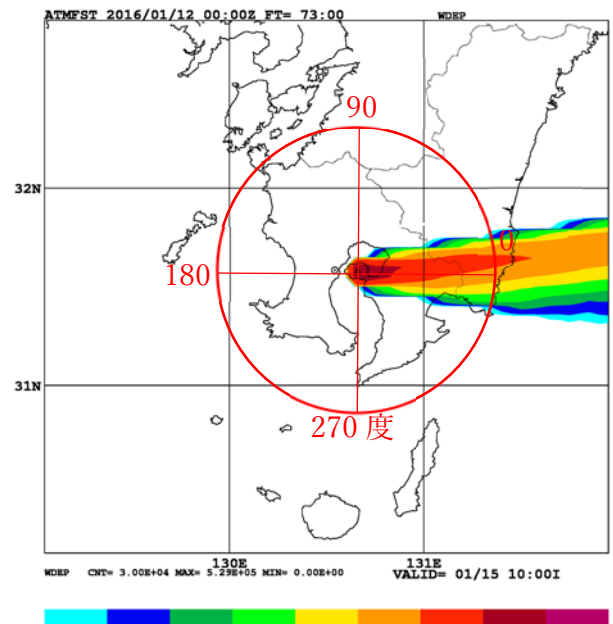


図-3.2 大正噴火の降灰パターンの回転モデル

2016年の方位別の降下回数

月	0～30度	～60度	～90度	～120度	～150度	～180度	～210度	～240度	～270度	～300度	～330度	～360度
12月	2	(2015年の年度末3日間)										1
1月	28											3
2月	23	2										4
3月	21	1							1		1	7
4月	22											8
5月	14	2		2							1	12
6月	21	3										6
7月	6	8	2	1			1	6	5		2	
8月	3	1		1	1	3	1	9	5	2	2	3
9月	16	9	2	2	1							
10月	11	2	2	1								15
11月	21										1	8
12月	21											7
計	209	28	6	7	2	3	2	15	11	2	7	74
垂水市・霧島市他 姶良市・霧島市方向 鹿児島市方向 指宿市 垂水市・霧島市・鹿屋市・曾於市												

図-3.3 2016年の気象場での方位別降灰回数

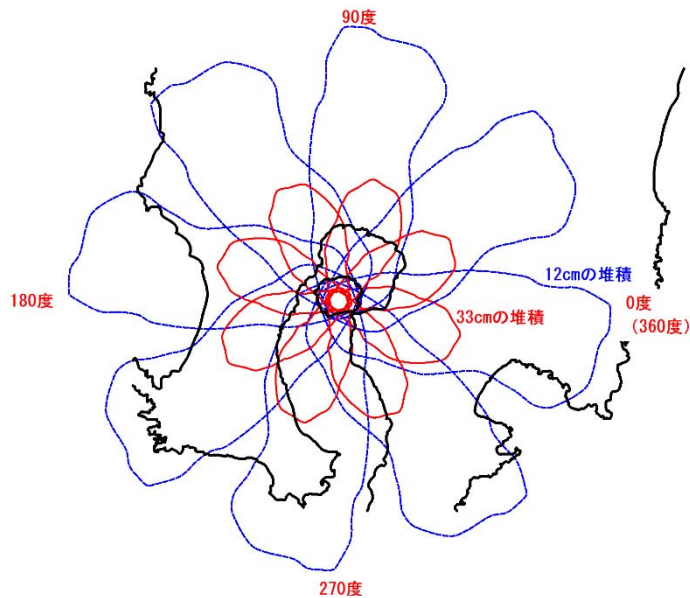


図-3.4 大正噴火の降灰パターンの角度を変えたモデル

気象研究所のシミュレーションで得られた結果をもとに、10例の降灰パターンを示す。なお、シミュレーションでは、噴煙柱の傘領域を考慮していないので、実際の降灰範囲はこれより広く、一方堆積厚さはやや薄くなると考えられる。

パターン1

最も発生する確率が高いのは、桜島の真東方向から南北 30 度の範囲に軽石が降下するパターンである。2016 年の場合は、1 年間のうち 283 日がこのパターンである。この範囲で北側に降灰すると、曾於市や都城市（図の赤破線○）でも、10～30 cmの降灰範囲に該当する。大隅半島と宮崎県南部に多くの被害が発生する。

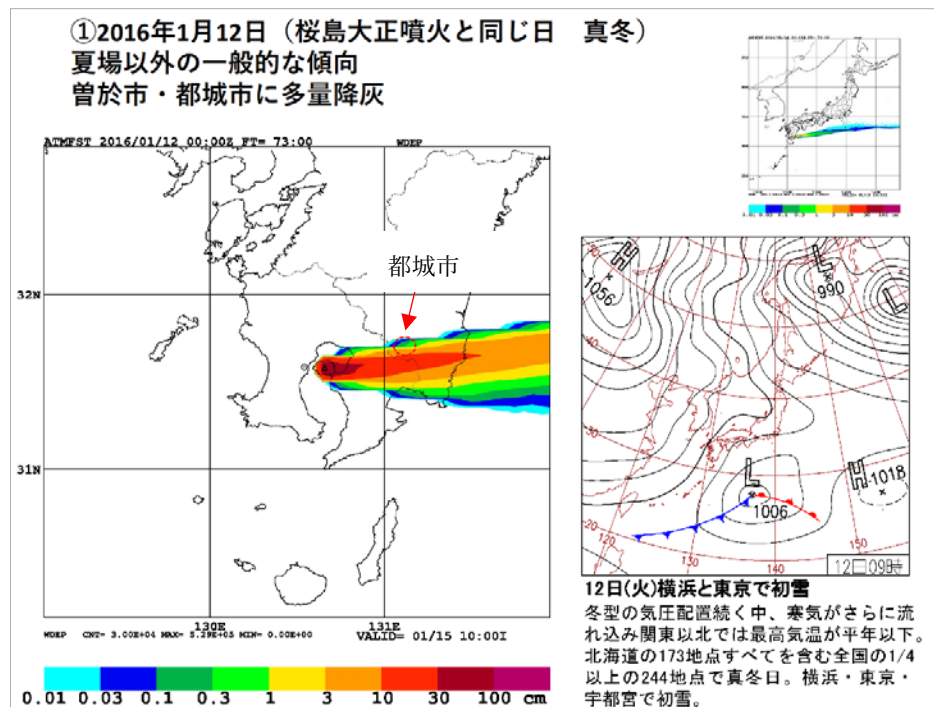


図-3.5 2016 年 1 月 12 に噴火した場合の降灰パターン(気象研究所)

パターン 2

桜島から同心円状に降灰が堆積するパターンであるが、出現例は少ない。ただし、鹿児島市に限れば夏場以外でも、多量の軽石が降る日があることを示す。この様なパターンでは、無風に近いたため、軽石と一緒に多量の火山灰（砂やシルトサイズ）も降ると予想される。

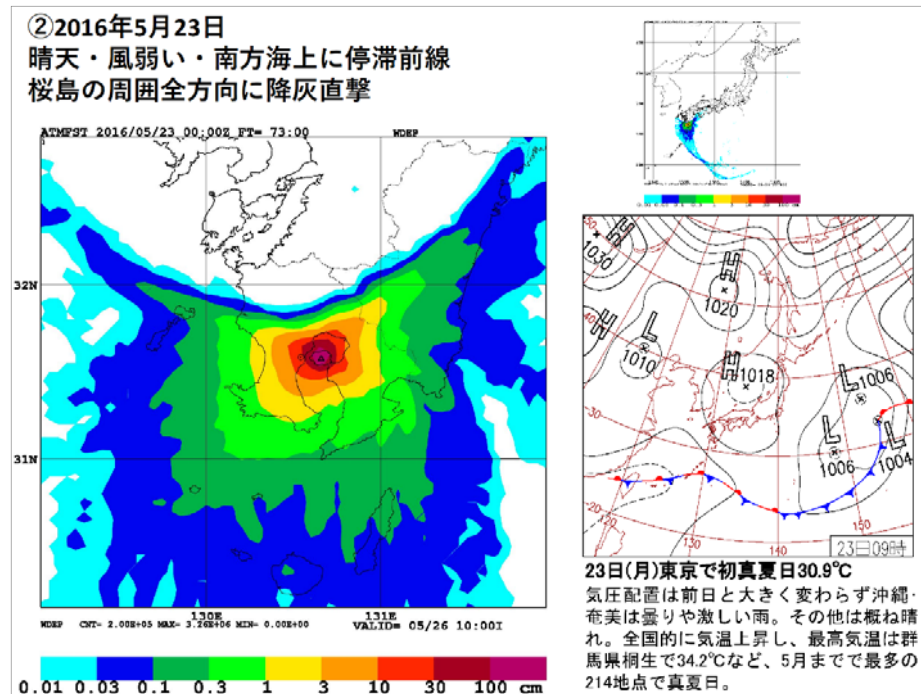


図-3.6 2016年5月23日に噴火した場合の降灰パターン(気象研究所)

パターン 3

夏場の弱い東風で多量の降灰が薩摩半島側に降るケースである。本例では、噴火継続時間中に風向が変化し、降灰の主軸が2方向認められる。

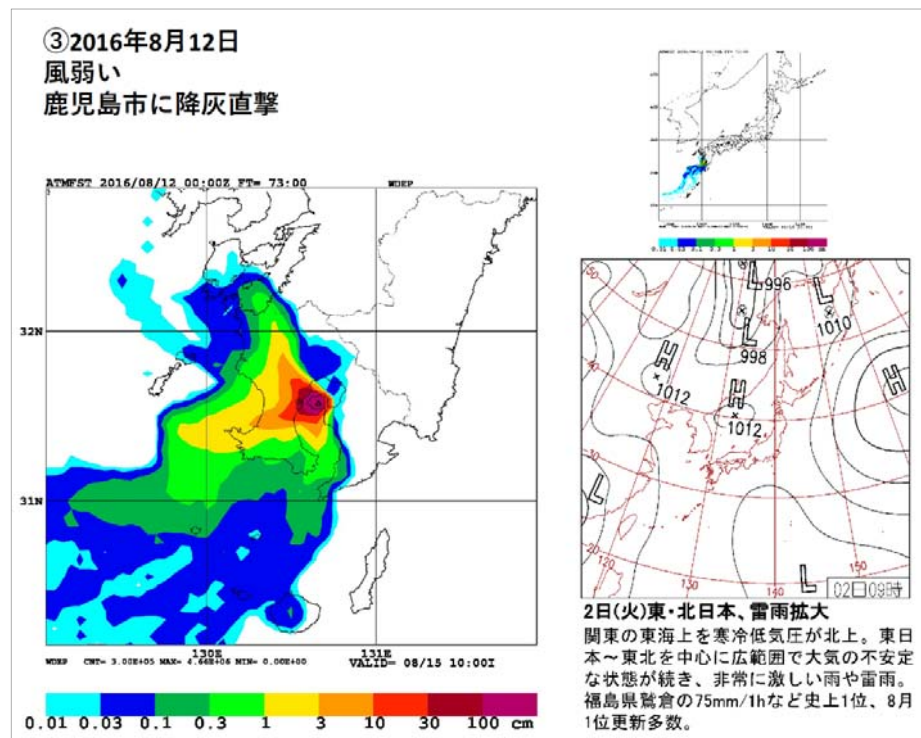


図-3.7 2016年8月12日に噴火した場合の降灰パターン(気象研究所)

パターン 4

太平洋高気圧が発達しているケースである。シミュレーションでは、2016 年 7 月 22 日から 9 月 7 日までは、全方位に降灰があった。

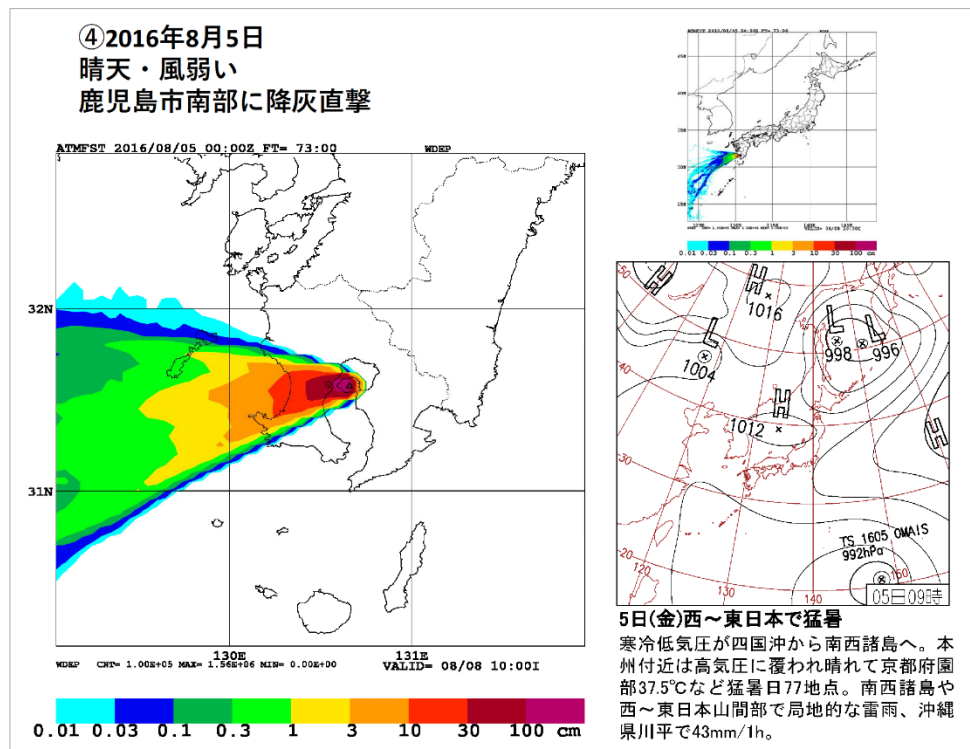


図-3.8 2016 年 8 月 5 日に噴火した場合の降灰パターン(気象研究所)

パターン 5

真夏の風が弱い時期のケースである。薩摩半島の南部全体が多量降灰地域となる。鹿児島市の中心部も相当な被害を受けるパターンである。

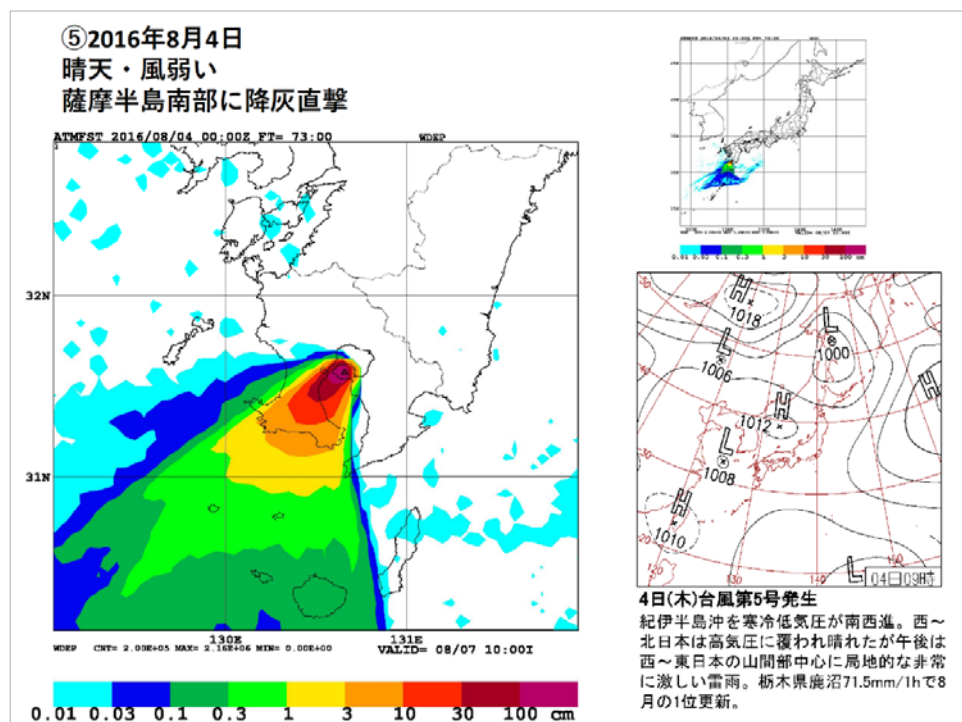


図-3.9 2016 年 8 月 4 日に噴火した場合の降灰パターン(気象研究所)

パターン 6

台風が沖縄の東方海上にあり、太平洋高気圧も優勢なので、東風に乗って多量の降灰が鹿児島市・日置市・いちき串木野市に降る。鹿児島市にとっては、最も厳しい気象条件である。

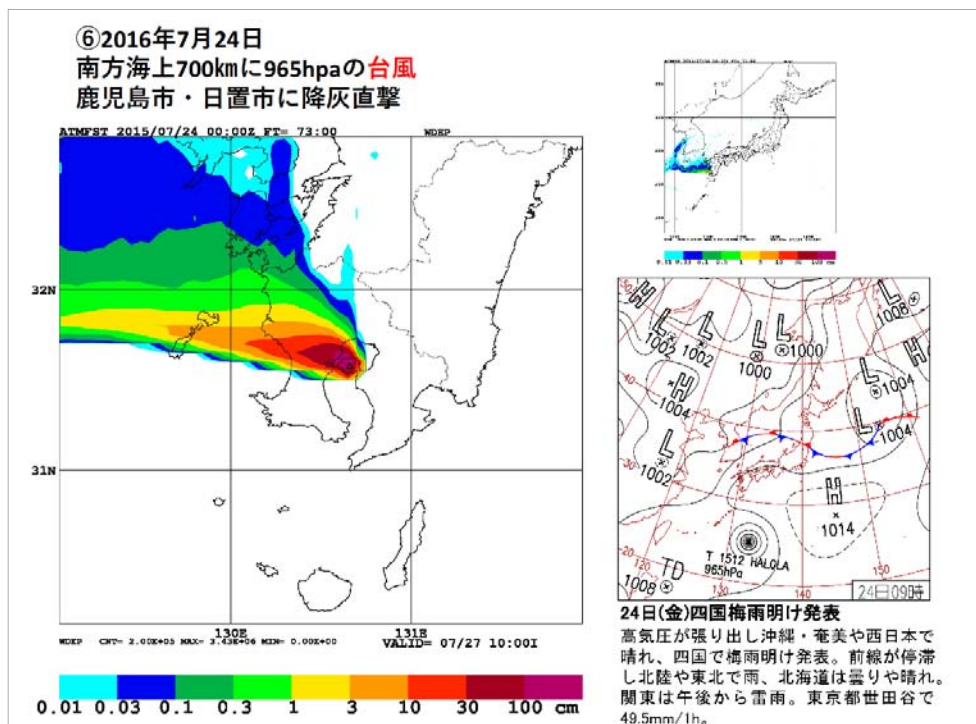


図-3.9 2016年7月24日に噴火した場合の降灰パターン(気象研究所)

パターン 7

大型台風が鹿児島の南西海上約 500 km付近にあるケースである。強い風に乗って、多量の火山灰が始良市・霧島市ならびにえびの市人吉方面に達する。九州山地でも多くの被害が発生する。

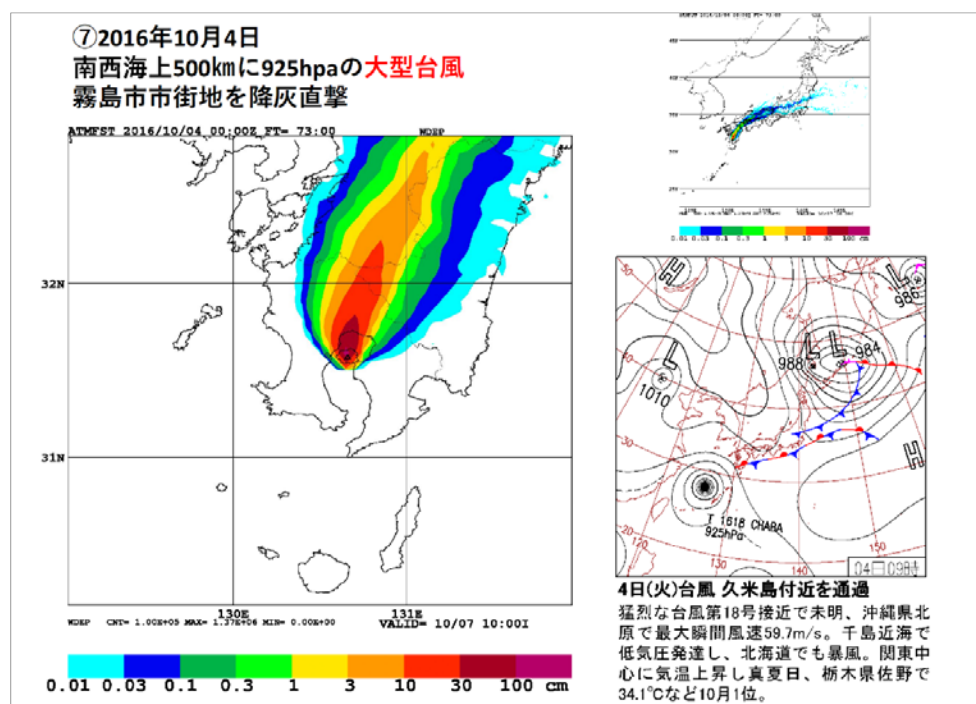


図-3.10 2016年10月4日に噴火した場合の降灰パターン(気象研究所)

パターン 8

台風が噴火開始時には九州北部付近にあったケースで、解析期間中には台風は北東に移動しているものの、降灰方向が一定である。国道 10 号には多量の降灰があり、宮崎市も 10 cm以上の降灰範囲となる。

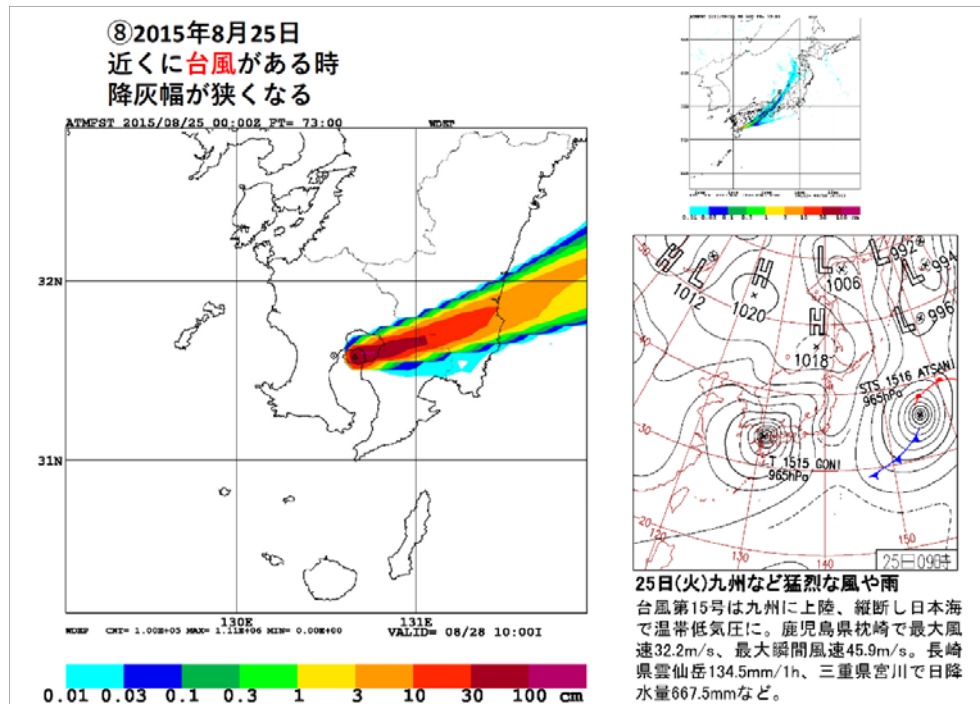


図-3.11 2016 年 8 月 25 日に噴火した場合の降灰パターン(気象研究所)

パターン 9

10 月に始良市や湧水町方面に軽石が降るケースである。噴煙柱の傘の直径が大正噴火と同程度であれば、鹿児島市北部にも多量の軽石が降下する。

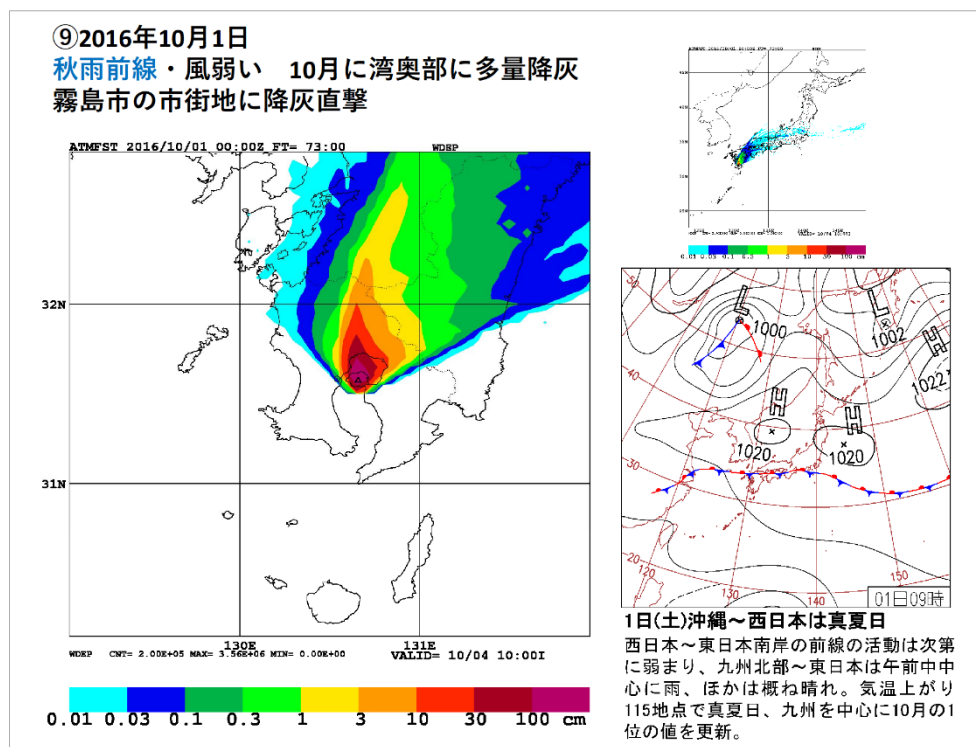


図-3.12 2016 年 10 月 1 日に噴火した場合の降灰パターン(気象研究所)

パターン 10

霧島市南部と都城市方面に多量の軽石が降るケースである。降灰方向の主軸が真東より北側 30～60 度の範囲になるケースは、2016 年の場合は合計 28 日である。

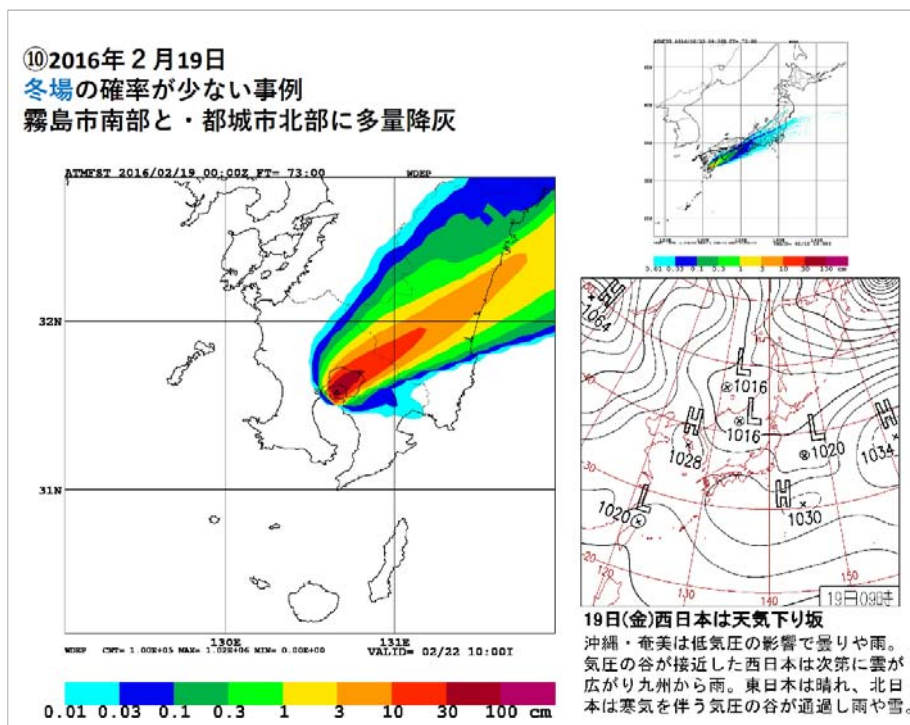


図-3.12 2016年2月19日に噴火した場合の降灰パターン(気象研究所)

降下軽石の最大粒径

降下する軽石の最大粒径の解析結果として、2015 年の結果を掲載する。2015 年は、エルニーニョが起きた年であり、降灰方向は平均的な傾向と異なると考えられる。

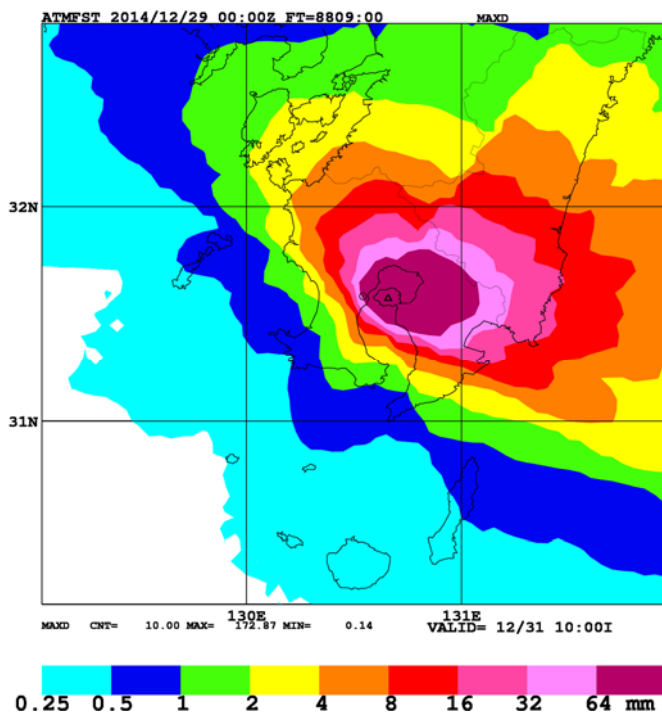


図-3.13 最大粒径解析結果(気象研究所 地域防災 WS)

4 事前準備

4.1 交通対策の事前準備

事前準備の項目として、下記の事項が考えられる。桜島大噴火が差し迫ってはいない時点、すなわち現時点からはじまる平時の対応が重要である。

4.1.1 道路啓開・復旧マニュアルの整備

地震・津波・土砂災害など、日本が繰り返し経験してきた災害については、対処法が確立している。例えば、豪雨で道路斜面が崩壊した場合には、協定に基づいて担当企業が道路に堆積した土砂を撤去している。特別な場合を除いて、土砂の撤去手法も使用する機材も、作業費用の算定法についても決められているため、電話連絡の簡単な打ち合わせでもスムーズな災害対応が可能である。

ところが、現時点（2018年5月）では、これまで日本が経験したことが無い近代都市部へのプリニー式噴火による降灰災害について、予備知識がある行政関係者や施工企業関係者は少ない。対象が厚さ30～50cmを超える軽石であることも、都市全域に降るので、緊急車両や災害復旧車両（タイヤ装着）の通行が難しくなることも、除去が必要な軽石の量が膨大になることも認識されていない。このため、事前の準備や災害発生後の復旧をどのように行うか不明である。したがって、道路啓開・復旧マニュアルの早期整備が重要である。

軽石道路啓開マニュアルとしては、次の事項が考えられる。

【軽石道路啓開マニュアル記載事項】

①道路啓開対象路線の選定

道路啓開時間を仮に40時間とすれば、その間は主要道路しか啓開できない。主要道路以外にも多くの生活道路や地域連絡道路があるので、啓開する主要路線とその後に啓開作業を実施する路線をあらかじめ選定しておく必要がある。

②道路事情を考慮した道路啓開

道路には、路線ごとに様々な特性があり、多量降灰の場合には道路啓開の方法を場所ごとに替えなければならない。下記は、その事例の極一部である。

・産業道路南部

産業道路は、道路復旧段階で多量のダンプカー走行路となり、同時に鹿児島市内のみならず鹿児島県

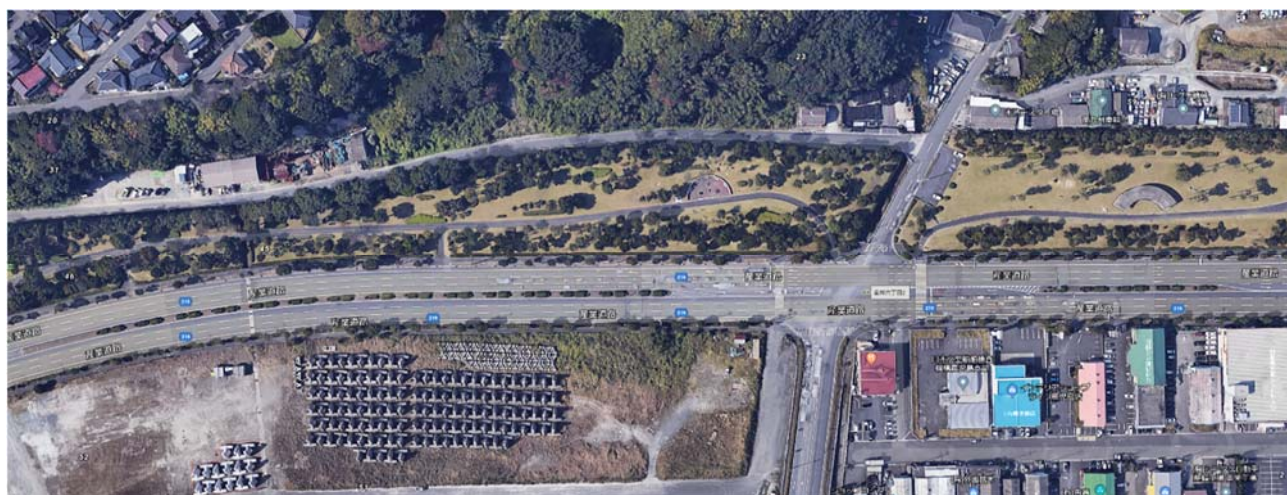


図-4.1 産業道路南部 南栄6丁目2 交差点付近 (Google Earth)

全域の物流の大動脈としての機能を果たさなければならない。このため、片側 3 車線以上の道路啓開を行う必要がある。幸いにもこの付近には、路肩・歩道・植樹帯・公園などがあるため、道路に降り積もった多量の軽石をこれらの場所に移動することで、早期に道路啓開を完了できる。ただし、緊急の道路啓開により、柵・植林・公園などが損傷せざるを得ないため、そのために公共施設を破壊しても責任を問われないなどの事前の取り決めが必要であろう。

・産業道路北部

産業道路の北部では、図-4.2 に示した様に、多量の軽石を受け入れることが可能な植樹帯や公園は無い。したがって、道路に堆積した軽石を、学校のグラウンドや民間施設の駐車場などに移動する処理法が考えられる。そのためには、例えば中学校のグラウンドを利用するケースであれば、産業道路からの進入路の確保（塀とフェンスの撤去など含む）に関する協定、民間の駐車場であれば、利用許可の取得など事前に調整が必要となる。



図-4.2 産業道路北部 南中付近 (Google Earth)

・県道 16 号線吉野町帯迫付近

九州縦貫道の吉田インターから吉野町を通り清水町を經由して鹿児島市中心部に至る路線は、多量の軽石が降下した時に国道 10 号の道路啓開が遅れる（カルデラ壁から軽石が頻繁に流出する）ので、鹿児島市を南北に繋ぐ重要路線となる。ところが、図-4.3 に示した様に、吉野町帯迫付近では片側 1 車線しかないうえ、周囲に建物が密集しており、軽石を仮置きできる場所が少ない。民地の利用や区域外への軽石の搬出などを含めて事前に検討する必要がある。道路の特性上、前後区間が早期に開通しても、この区間の道路啓開が遅れると、重要な県道 16 号が利用可能となる時期は遅れる。



図-4.3 県道 16 号 吉野町帯迫付近 (Google Earth)

・紫原団地入口

紫原団地は、台地に造成された人口 2.5 万人の団地である。図-4.4 は、団地進入路のひとつであるが、道路が片側 1 車線であるうえ、軽石を道路横に移動困難な場所もある。特に陸橋へのアプローチ部分では、道路啓開の際に軽石を運搬して移動しなければならない箇所もあるため事前の検討が必要である。



図-4.4 紫原団地入口 宇宿一丁目付近 (Google Earth)

以上の例は、多岐に亘る道路事情の極一部を示したものである。重要な点は、多量の降下軽石が降り積もった道路では、**事前に基本的な啓開手法が路線の場所ごとに決められている**ことである。これらの検討は、平時（現時点）から行う必要がある。

③道路啓開班の設定

軽石道路啓開に最適な重機や作業班の体制は現時点では不明な点が多い。この点に関して鹿児島市は、2018 年の夏ごろ、重機性能確認や車両走行実験を行う予定であり、その成果で再検討する必要がある。下記に実験前の段階で、WGで検討した各項目について記載する。

・作業班の構成

初期の道路啓開を連続 40 時間行うとすると、基本的には、一班 2 名で 3 交替の人員配置を叩き台として提案する。この構成は、紫原団地入口など、軽石を運搬する必要がある箇所や、道路周辺施設を撤去する必要がある箇所の人員は含まれていない。



図-4.5 道路啓開車両

各啓開対象路線の状況に適合した重機の選択も必要である。参考として図-4.5 を示した。ホイールローダーは、軽石を除去できる能力が油圧ショベルより高いが、道路幅が狭い箇所では運用に適さない。その点油圧ショベルは、狭い箇所での使用に適するが、作業能力が小さい。モーターグレーダーは、軽石の堆積厚さが少ない箇所では、効率的な使用が出来ると予想される。

また、ホイールローダーは、碎石場などの事業所で使用されることが多く、災害時に使用出来る車両数に限りがある。必要な台数を確保し運搬する処置検討も必要である。緊急時には、重機を輸送するトレーラーが不足するため、定期航路のフェリーを利用するケースや、海上自衛隊が保有している輸送艦

（おおすみ型 基準排水量 8,900t）などの支援を得る方法など種々の方法があろう。基本的な方針を決めておき、噴火が予想された早い段階で実施可能な処置を選定する必要がある。

・作業班の安全

プリニー式噴火が終了し、火山活動が沈静化しても多量の火山灰が降下する地域では昼間でも闇夜のように暗い [内田孝蔵他 3 名, 1937]。道路啓開作業は時間との闘いであるため、このような状況下でも作業が求められるが、作業者の健康維持、重機のエアフィルターの交換、視界の確保、携帯電話回線の確保など、安全確保に必要な処置は多い。さらに、作業者の飲用水、食事、排泄物の処置、休息できる環境の確保など多くの検討課題がある。その、骨格を検討しておく必要がある。

・作業の継続

道路啓開作業を仮に 40 時間とすると、8 時間×5 日分の作業時間である。必要となる燃料の調達手段、故障した場合の修理など、作業を継続するために事前に準備する事項は少なく無い。

③道路復旧への円滑な移行

主要道路を約 40 時間で啓開した後に、支線道路の啓開を行うと同時に、道路復旧作業も行わなければならない。啓開作業で道路横に移動した軽石を、ショベルカーや油圧ショベルで地面の軽石をすくってダンプカーに載せる必要がある。ダンプカーが走行可能な車線数に応じて、必要な作業班を計画し、スムーズな道路復旧とする必要がある。

道路復旧マニュアルとしては、次の事項が考えられる。

【道路復旧マニュアル記載事項】

①道路復旧対象

道路復旧は、全路線が対象となる。ただし、主要道路や生活幹線道路などを優先し、支線や生活道路については、それらが復旧した後の作業になる。復旧計画の策定にあたって重要な事項は、総量で 1 億 m³を超える軽石を処分する場所と仮置きする場所が決まらないうと軽石を処分できないため、詳細な道路復旧対象の路線も決まらないことである。特に、軽石を搬出する道路の早期啓開は、その後の道路復旧を早める意味で重要である。

②復旧時間

道路復旧には時間を要する。市街地の人口密集地のみでも約 5000 万 m³の膨大な量である。一般的には、国内の大規模土工でも 1 カ月当たり 50 万 m³程度の量である。仮に 1 カ月に 50 万 m³の処理量とすると市街地の人口密集地の復旧だけで 100 カ月（8.3 年）を要する。このように復旧が長期におよぶと東北大震災と同じように被災地の人口流出をもたらす。市民生活の早期正常化、企業活動の早期再開のためには、復旧時間の短縮が重要である。

復旧時間の設定には、現実的に可能な最小の時間とする必要があり、あらゆる手段を講じて、復旧時間の短縮を試みる必要がある。その際に、工事の経済性の検討はさほど重要ではない。復旧工事の遅れは、その後の市民生活や産業活動に、既存の経済性検討手法のみでは算定できない大きな被害をもたらすためである。

災害時にどの程度の期間なら受忍できるか、水道については研究例 [吉澤源太郎, 2015]がある。この例では、1 日 3 リットル程度の飲用水が確保できる環境で、断水にどの程度の期間耐えられるかアンケート調査を行っている。トイレ用水が 5 日目で受忍限度を超えた人の割合が 90%を超え、約 10 日経過後は、すべての項目で受忍できない人々が 90%を超える。多量降灰時の受忍限度に関する調査は無いが、

1カ月経過後は、スムーズな軽石の搬出が感じられないと、道路復旧の長期化を受忍できない人が、9割以上に上る可能性がある。

道路復旧時間は、短いほど良いが、本WGでは、実現可能な最短の日数として噴火後3カ月とした。これ以上長引くと、中小零細企業では従業員の解雇が始まり、街の復興に重大な支障があると見込まれる。

道路復旧時間の短縮法として、道路に降り積もった軽石のみを先に除去し、各家庭の庭や、圃場などの復旧をその後に行う手法も考えられる。この場合、道路にのみ堆積した軽石を1000万 m^3 とみなすと、1カ月以内に道路復旧できる可能性が見えてくる。

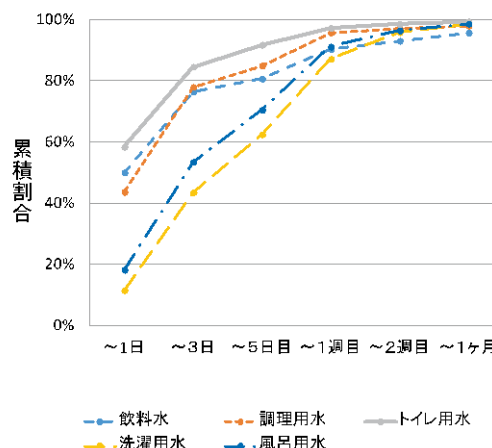


図-4.6 断水受忍期間 吉澤 2015

③軽石搬出基地

道路復旧で搬出する軽石の**最終処分場所**と、**搬出基地**、**搬出の具体的な手法**を、平常の段階で決定しておく必要がある。それは、前述の様に、軽石の搬出基地が決定しないと、道路啓開や道路復旧の優先順ないしは、ダンプカーの走行路の検討が出来ないためである。図-1.10を再度掲載したが、黄色の部分と緑色の部分を候補地として示している。図-1.10は、1億 m^3 を超える軽石処分場の確保が陸域では困難なこと、たとえ人の活動に影響が少ない山間部に分散して処分したとしても、豪雨時に土石流化する危険性があること等から、海洋投入処分をせざるを得ないと考えられ作成したものである。

【防波堤外区域（黄色の区域）】

- ・利点
 - i 市街地北部から南部にかけて仮置き場所を確保できるため、搬出距離が短くなる。
 - ii 現在の港湾・海岸施設をほぼ利用でき、同時に既存の航路への影響が比較的少ない。
 - iii 海面上の軽石は20日以内には、概ね海底に沈むと考えられるので、海面上に露出する軽石は、図-1.10より狭い範囲となる。
- ・課題
 - i 仮置き中に台風が襲った場合は、搬出基地や後背地が被災することが懸念される。
 - ii 軽石搬出にあたり、既設の海岸護岸や植樹帯がある場合は、作業の効率化を計るため、簡便な施設（碎石のアプローチなど）とダンプカーの旋回箇所などを確保する必要がある。

【防波堤内区域（緑色の区域）】

- ・利点
 - i 防波堤の内部に位置するので、台風の影響を受けにくい。
 - ii 谷山二区には、搬出基地として活用可能な広い海域が存在する。
- ・課題
 - i 港湾機能との調整が必要となる。特に谷山二区は背後地のエネルギー供給基地や巡視船の基地等の重要な港湾機能が存在するため、港湾利用者を含む関係機関等との綿密な調整が必要となる。
 - ii 背後に溪流があったり、高潮時に水没したりしやすい区域もあり、内陸部に対する安全性の確保が必要となる。



図-1.10 (再掲載) 軽石搬出基地及び最終処分場所候補地案

参考までに、与次郎ヶ浜を搬出基地として選定した場合の作業例を記載する。与次郎ヶ浜の護岸は、約 1.6 km の延長があり、延長 30m 当たり に 1 箇所の土砂搬出箇所を設ければ、52 箇所の搬出場所を確保できる。スムーズな搬出が可能となるよう、碎石などの盛土を搬出箇所に設置し、ダンプカーで長水路に軽石を落とす方法が考えられる。長水路は、すぐに軽石で満杯になるが、その時点で軽石を重機で海側に押し出す手法が考えられる。軽石の流出被害を避けるために、海上に浮かぶフロートと網などの施設を設置する必要がある。図-4.7 は、その手法を図化したものである。

5000 万 m^3 の軽石を 90 日 (約 3 カ月) で処理しようとする と、1 日 当 たり 56 万 m^3 の軽石処理量となる。仮にダンプカー 1 台で 10 m^3 の軽石を積載できるとすると、5.6 万台のダンプカー台数である。ダン

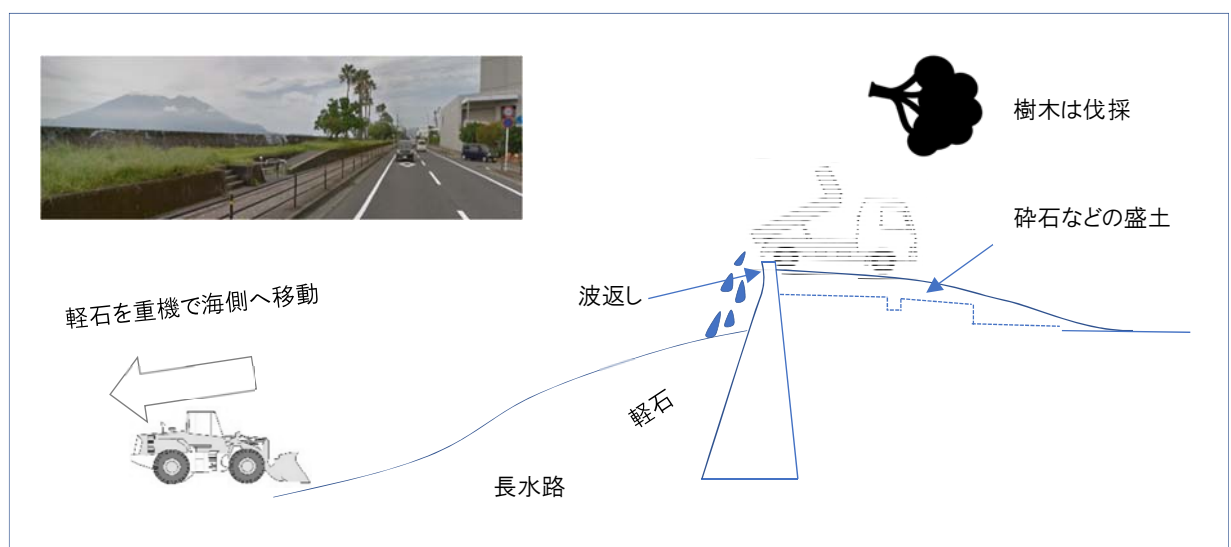


図-4.7 与次郎ヶ浜での軽石搬出例

プカー 1 台が軽石搬出場所で 5 分の時間を要したとすると、1 箇所の搬出箇所で 1 日当たり 288 台のダンプカーの処理作業が可能となる。52 箇所では、14,976 台の処理が可能となる。1 日当たり 5.6 万台のダンプカー台数には達しないので、次の処置を検討する必要がある。

【軽石搬出基地整備の留意事項】

- ①搬出基地を、海岸線に沿ってできる限り多く設ける。
- ②ダンプカーの走行距離を出来るだけ短くするため、軽石搬出基地を分散して設ける。
- ③図-1.10 の黄色の区域は、軽石搬出量が増大しても、沖になるほど水深が深くなるため、十分な容量がある。
- ④搬出基地の近くに、グラウンドや公園など、仮置き可能な場所を出来るだけ多く確保する。
(グラウンドの容量は、100m (長さ) × 50m (幅) × 5m (高さ) の場合、25000 m³と小さい。陸域の軽石搬出基地は、道路復旧期間に 1 回満杯になれば、再度移動しなければならない。その搬出先は現状のところ港湾区域にならざるを得ないと考えられる。)

4.1.2 道路啓開困難地域への支援計画

道路啓開を 72 時間で実施できたとしても、それは幹線道路と主要生活道路など限られる。したがって、道路啓開が遅れる地域への支援法方法を噴火前の平常時の段階で検討しておく必要がある。図-4.6 は、鹿児島市犬迫付近の例であるが、支援方法としては、次の事項が考えられる。

【支援方法の検討事例】

- ①早期の道路啓開対象とならないことに対し住民理解を得る。
- ②この地区の道路啓開の考え方を説明する。可能ならこの地区の道路啓開予定を示す。
- ③大噴火前の必需品（水・食料・その他）の事前準備に対し住民が理解する。
- ④地区の防災組織の立ち上げと、防災組織を通じた住民の安全管理と支援計画案を作成する。
- ⑤一般電話や携帯電話が不通となった場合の連絡法を事前に準備する。
(衛星電話？ 無線？ 通話可能な地域に移動して電話？)
- ⑥自衛隊の派遣
飲用水や緊急物資などの運搬
- ⑦自衛隊車両を利用した通勤通学支援
もし、この地区の道路啓開の完了が遅くなる場合には、図-4.9 の六輪トラック等を利用し幹線道路バス停までの人の移動を補助することも検討の対象となろう（多量降灰後も使用可能なことを確認する必要がある）。
- ⑧火事や急病人の搬送も課題となる。
特に火事の場合は、現場に到着が可能な車両が少ないか皆無である。大噴火後に起きる可能性が高い大地震に備え、大噴火後は火を使用しないなどの事前の取り決めなどを検討する必要がある。
(この点は、市街地部も含めて徹底される必要がある。大正噴火の大地震で失火が記録されていないのは、このクラスの地震としては極めて幸運であった。1 箇所でも出火すると、消火活動が困難なため、次々延焼し、阪神淡路大震災の後の神戸市のように鹿児島市街地は焼失する可能性が高い。)

⑨その他



図-4.8 鹿児島市犬迫付近 Google

図-4.8 の地域は、数 10 戸家が暮らしているが、さらに小さな集落も多く、同様に事前の検討が必要である。行政や支援の手は届きにくいので、自助を主体とせざるを得ないが、老人世帯などは希望により大噴火前から公的な施設に移動して頂くことも検討の対象となろう。(生活に関する検討は WG 2 の検討事項であり、WG 3 では特に検討は行わない。)



図-4.9 トラック
出典 自衛隊ホームページ

4.1.3 広域通行止めの手法検討

桜島の大噴火が予想される場合、風向きによっては、鹿児島市・日置市・いちき串木野市・薩摩川内市・阿久根市とその周辺市町村などに、広域的な通行止めを実施する必要がある。このように噴火前に広域的に通行止めを行う事例が少なく、かつ多量降灰という特殊性があるので、時間的な余裕がある平常時にその実施法を検討しておく必要がある。噴火が差し迫ると、的確な計画を作成する時間と人と情報が不足する可能性が高いためである。事前にいくつかの対策法を検討して置き、噴火前に降灰範囲が予想できた時点で、具体的な配置方法や手法を選別すれば良いと考えられる。

法的な根拠としては、災害対策基本法第 76 条「災害がまさに発生しようとしている場合において、緊急の必要があるときは、緊急車両以外の車両の道路における通行を禁止し、または、制限することが出来る。」がある。

広域通行止めの検討方法としては、次の事項などが考えられる。

【検討事例】

①降灰範囲を 3 パターン（軽石堆積方向が北西・西・南西）程度作成し、大噴火直前の多量降灰予報が出た時点で、スムーズな通行止めが出来るように事前準備を行う。

②通行止め路線の選定

降灰が 5cm 以下の地域では、一般車両も低速ながら通常状態では走行できるので、通行止めは特殊な道路や気象条件を除いて特に必要ないと考えられるが、降灰量が 10 cm、30 cm、50 cm と増えると、それに見合った通行止め計画が必要である。降灰量が 10～15 cm 以下の場合は、放置車両の撤去は、図-4.10 に示した一般的な手法を適用できると考えられる。このため、交通規制は、国

道や県道および生活幹線道路などの重要路線に限定することも可能であろう。

ところが、降灰量が多く図-4.11 の状態になると、灰に埋没した車両の撤去は容易には出来な



図-4.10 車両撤去

い。したがって、交通規制を厳しくする必要がある。同時に、通行止め対象路線も、生活道路まで含める必要もあろう。

③通行止めの開始時期

大噴火の予想と関連し、開始時期の設定は非常に難しい課題である。早すぎる通行止めは、住民に長時間の不便を強いる。一方、遅すぎる通行止めは、通行止めが完了しない段階で火山が噴火し、通行止めに失敗する可能性もある。



図-4.11 多量降灰に埋もれた車両

撮影箇所ラバウル 出典米国地質調査所ホームページ

④通行止め方法

誰が発令し、どの機関がどの程度の人員で道

路を監視するのか事前に検討が必要である。初期の40時間程度で道路啓開する路線については、主要な交差点に監視員（警察官）が見張りにあたる方法などが考えられる。通行止めが発令されても、遠方から帰宅するのに時間が掛かる人や、緊急に病院に行く人などさまざまな事情が予想され、通行可能とする場合と不可とする場合の基準も必要となる。

⑤監視員の救出

大噴火後は、前記の監視員が最初の被災者となる。このため、噴火して車両が通行不能になった段階で、監視員を収容する必要がある。この時点の状況は、真っ暗で非常に視界が悪い。ヘッドライトを点灯しても数m先までが視界の限度であろう。また、監視員の数は、非常に多い。多量降灰後に使用する車両は、図-4.9 や図-4.12 に示した自衛隊車両などを利用する方法も考えられる。あるいは、あらかじめ決められた宿泊施設に徒歩で帰る方法なども考えられる。



図-4.12 高機動車 定員10名

出典 自衛隊ホームページ

⑥担当組織・連絡・その他

この計画を実施可能とするために、担当組織を決め、事前に訓練を行う必要があろう。関係する機関は警察・各自治体の消防・自衛隊など多様で、さらに、噴火後は、携帯電話回線などが不通の状況で任務に当らなければならないなど検討事項は多い。

4.1.4 錦江湾への軽石投入処分の法的課題

鹿児島市が 2017 年に見積もっている 1.5 億 m^3 の降下軽石を、陸上で永久処分することは、産業・経済・防災の観点から多くの課題がある。地形的なポケットになっている山間部の谷に処分すると、大雨の際に土石流として流出する危険性がある。平地や緩やかな丘陵地は、鹿児島市近郊では既に、圃場や住宅地や商業として利用されており、軽石処分場にする場合は、既存の土地利用を変更しなければならないため、大きな社会的損失が発生する。さらに、軽石からなる盛土地盤が豪雨で流出しやすいため、各種の防災対策が必要となる。

これらの点から、本 WG では、軽石の最終的な処分場所として、錦江湾の深部海底が適していると判断した。この検討概要を図-4.13 に示した。なお、軽石の処分量を 1 日当たり 56 万 m^3 とすると、軽石の処分を迅速におこなうための機材や施工企業
の確報や発注システムの再構築も必要となる。

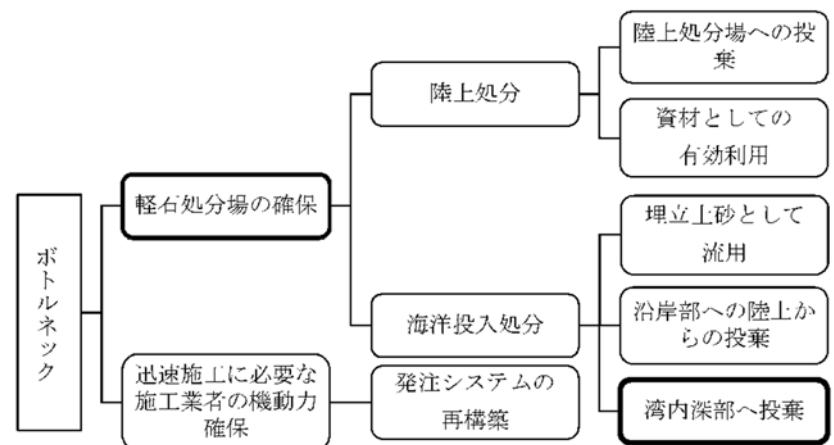


図-4.13 軽石処分で想定されるボトルネック

【錦江湾の深部海底が軽石処分場所として適している理由】

- ①容量が大きく、鹿児島市から距離が近いいため、経済性に優れている。
- ②環境や漁業への影響が少ない。
- ③軽石が、深部海底から浅い海底に移動しにくいと考えられる。

上記②の漁業への影響については、最も懸念される事項である。大正噴火後には錦江湾内に多量の軽石が降下し海底を覆ったが、資料 [中央防災会議, 2011 (1914 桜島噴火報告書)] では、影響は限定的であったと報告されている。同報告書から該当部分を引用し下記に示す。

(2) 鹿児島湾における漁業状態

1914 桜島噴火報告書 p61 より抜粋

魚種によって良漁と不漁に分かれ場所によって漁獲量に差が生じた。漁業別の状況は次のとおりである (鹿児島県, 1927)。

サバ、イワシ漁業：山川沖合より肝属郡小根占、指宿郡田実沖合にわたり、また北部裏鹿児島湾の燃島付近から福山方面にかけて回遊する魚群が多く漁獲量は増加した。しかし、加治木沖合から敷根沖合に至る海域は海水混濁のため魚群が沿岸に来遊せず地引網漁は例年になく不漁であった。

底魚漁業：噴火後谷山地域のように場所によっては一時的に漁獲量が減少したが、時間の経過とともに回復した。

海草採取漁業：もともと鹿児島湾の海草漁獲は少ないが、軽石・火山灰の沈殿による漁場底質の変化のためか、海草の繁茂はみられなかった。

マグロ、イルカ、メジナ、目近漁業：鹿児島湾内への回遊はいつもの年より減少した。

エビ、クラゲ、アワビ、その他の介類漁業：佐多村沿岸および知林島山川近海を中心に鹿児島湾全域にわたって、軽石の沈積でイセエビ、クラゲ、アワビ等の魚介類は不漁となった。

マグロ台網漁業：垂水村の漁業は溶岩流出のため全滅、佐多村沿岸の漁業も軽石の沈積による魚礁の変化で不漁となった。

その他の網漁業、つり漁業：地引網、四張網等の網漁は潮流が急流に変わった海域では作業が困難となった。手操網、延縄一本釣等の底漁業も軽石による魚礁変化の影響を受け不漁となった。全体として、桜島の西側漁場に比べ、東側の漁場は不漁となった。

火山から降り積もる火山灰の処分方法について、現在は、個別の法律は制定されていない。桜島の場合は、大正噴火で放出された降下火砕物（火山灰や軽石など）は約6億トンと膨大な量である。降下火砕物は、九州南部を中心として陸域と海域（錦江湾や太平洋等）に降下している。陸域に堆積した軽石は、やがて海域に流出する。空から降り、やがて海に移動する過程は、雨水と同じ移動過程である。陸域に降下した軽石は、斜面崩壊や土石流あるいは浸食作用で非常に長い年月を経て人間が手を加えなくても海域へ自然流入し、やがて湾の海底へ堆積する。一方、雨水は、人工的に作った側溝や整備した河川で、積極的に海に移動させている。降下軽石の錦江湾内深部への投入処分は、雨水の処理と同じように、生活環境を保全するため自然物の移動を促進する人為的な行為ではないだろうか。

火山噴火で堆積する軽石が廃棄物に該当するか否かは不明であるが、廃棄物の海洋投棄は、日本では、ロンドン条約を海防法（海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律）及び廃掃法（廃棄物の処理及び清掃に関する法律）によって制度化し、廃棄物等の海洋投入処分を管理している。

海洋への軽石の投棄に関係する可能性がある法律として下記の法律がある。「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」では、「第十条第二項第六号」の運用により、東日本大震災時に腐敗水産物を海洋投棄した事例があり、同様の措置として桜島の軽石処置にも適用できる可能性がある。

- ・廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約（S55 批准）
- ・海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律（S45）
- ・船舶、海洋施設または航空機（海防法 43 条 1 項本文）

これらの法律に基づく手続きの概略を「第8回 08 海上交通取りまとめ案」に記載した。

- ・「陸域に堆積した軽石の海洋投入処分」については、海防法第10条第2項第6号の手続きにより海洋への投棄が認められる可能性がある。
- ・「泊地啓開により発生した浚渫土砂（軽石）の海洋への投入処分」については、海防法第10条第2項第5号の手続きを踏むことで実施可能である。

港湾区域を利用した軽石の海洋投入は多くの課題があるが、現時点では他に適切な解決手段が見つからないので、下記の点を考慮しながら事前の問題解決法を準備しておく必要がある。大噴火前の数カ月間で海洋投入の法的な準備が整うための下調べと手順書を作成する方法も考えられる。

【軽石の海洋投入の課題】

- ・法的な手続きや許可を大噴火前に得る必要がある。
噴火と同時に、実施可能となるよう事前の準備が必要である。
- ・海洋投入全体を掌握し実施する機関の設立
(WG では、多くの行政機関の調整が必要な観点や膨大な復旧費が必要な点などから国・県・市町村の早急な協議が必要であると考えている)
- ・港湾を利用する関係機関との協議
港湾を利用している機関（公的機関や企業や個人）との協議が必要である。
- ・漁業関係者との協議
- ・具体的な実施法の検討
建設業協会などと協議し、建設機材や船舶の台数を含め、実施可能なプランを作成する必要がある。
- ・その他

4.1.5 公共交通機関の早期回復法検討

道路に降り積もった軽石を3カ月で除去する計画とすれば、一般車両が通行出来るまで3カ月間を要する。もし道路復旧に1年を要すると、1年間も一般車両は通行困難となる。この状態は、市民と街と産業に急速な衰退をもたらす。個人としても、企業人としても、容認することは困難であろう。したがって、市民と街や産業回復のために、早期に軽石を除去し通行可能となった道路から順に公共交通機関を回復させる必要がある。ただし、この検討も容易では無い。最終的な回復方法の決定は、大噴火後に実際に降った軽石分布状況を把握し、道路復旧計画の見通しが立ってから行うことになる。したがって、平時に行う検討では、大噴火後に計画する方針といくつかのパターンを用意しておくことが考えられる。その方法としては、下記の事項が考えられる。この事前の検討が、現実の場で役立つと考えられる。

【早期に交通を回復するための検討課題】

①復旧に対応した交通回復

交通復旧は、主要幹線道路→主要道路→生活幹線道路→生活道路と段階的に進むので、その進行に合わせた交通回復が必要である。すなわち、初期の段階では、路線バスが運航できる路線は限られるが、次第に運行可能な路線が増加するので、市民の利便性を向上させるために、復旧に合わせた交通回復の必要がある。

②移動手段

バスが最も効果的な移動法であるが、初期段階では軽石に線路が埋もれているため運行困難な電車も、早期に回復した方が良いことは言うまでも無い。鹿児島市電は、市街地中心部を走るのので、利用価値が高いと考えられる。その他、JRの指宿枕崎線・鹿児島本線・可能な状況であれば日豊本線も、災害時の移動手段として利用できることが望まれる。また、一般車両を通行不可とした段階でも、災害復旧車両や物流網車両など市民生活を支える車両は走行可能としなければならないので、これらの車両に市民が便乗して移動することも考えられる。あるいは、路線バスの台数が不足する場合は、タクシーの借り上げによる共同利用化、カーシェアリングのような方法も考えられないことは無いが、後者の場合は実施に多くの課題もある。

③通行可能車両の選定

復旧した道路を通行可能な車両は、道路復旧の初期段階では、緊急車両（警察・消防など）や、災害復旧車両に限定する必要がある。しかし、ある程度復旧が進んだ段階では、市民から一般車両の通行

を可能とする要望が必ず起きると考えられる。この要望への対処法も事前に検討される必要があるだろう。ただ、この件に関しては、検討の時間的な余裕があるため、噴火後に道路復旧の状態を把握してから方針を決めても間に合う可能性がある。

④徒歩の有効化

市民の足が公共交通機関などに限定されるので、徒歩による移動は重要性を増す。ところが、道路啓開の時点で、歩道には多くの軽石が積まれるので、この軽石を除去する必要がある。特に商店街では、店舗前の軽石の除去は必須条件となる。

⑤船舶の利用

大噴火の最盛期（プリニー式噴火の約 30 時間程度）が終了した時点で、視界さえ確保できれば、小型船以外は航行可能である。したがって、陸上の交通網が寸断された時点では、重機や人の運搬、あるいは商業物流の早期回復に船舶を利用できる。ただし、港から先の道路の復旧を急ぐ必要がある。

4.1.6 降灰パターンごとの対策作成

本 WG では、平成 29 年度で、桜島の多量降灰が鹿児島市街地に降り積もるケースを検討した。しかし、実際に起きると予想される降灰パターンは、噴火時の気象条件や噴火パターンにより様々である。噴火パターンだけでも、噴火規模・噴火継続時間・噴火推移・火口位置・噴出物の違い、さらに気象条件の違いにより様々なケースが考えられる。それら、多くのパターンに対して事前の対策を練ることは困難と考えられるので、必要となる主な検討パターンを図-4.14 に示す。

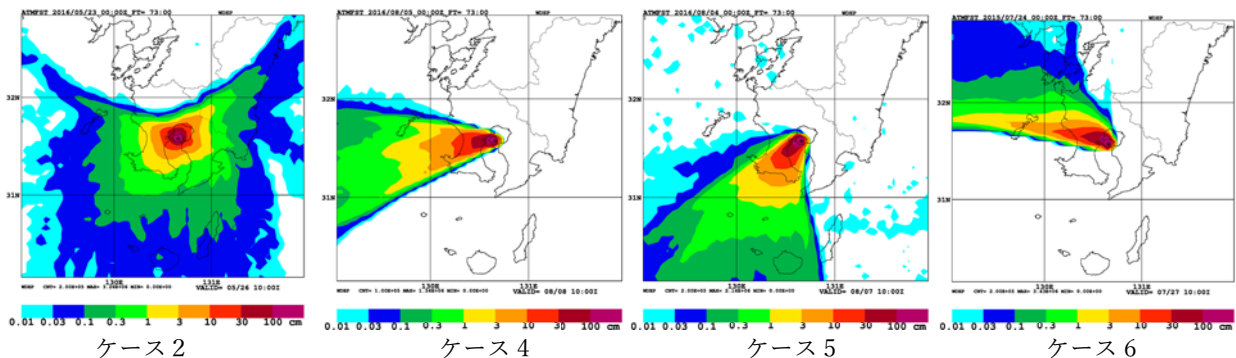


図-4.14 検討モデル例

図-4.14 のそれぞれのケースは、次の理由で選定した。

ケース 2

無風に近いため、軽石と一緒に多量の火山灰（砂やシルトサイズ）も降ると予想されるケースである。大正噴火の厚い降下火砕物は鹿児島県内では、軽石が主体であったが、ケース 2 の場合は、ほとんど風が無い場合、通常は遠方に飛ぶ細粒な火山灰も桜島の近くに降下する。このため、道路にスリップを起こしやすい火山灰も降り積もり車両の走行性が低下すると予想されるケースである。このようなケースは、2016 年の場合は、5 月 23 日の 1 日しかない。しかし、この場合は停電発生の可能性が高まり、車両の走行性が低下するため、このような分布になる場合の対応も検討する必要がある。

ケース 4・5・6

鹿児島市市街地を、多量の降下火砕物が直撃するケースである。鹿児島市の多量降灰対策が実施されても、鹿児島市と通じる国道や高速道路などの復旧が進まなければ、鹿児島市の復旧も遅れる。それだけではなく、鹿児島市とそれ以外の地域が断絶した場合、降灰が無い地域も物流網の寸断で被害

を受ける（物流拠点が鹿児島港周辺にあることが多い）ので、現在の錦江湾周辺の自治体に限らず、全県下の被災を考慮した対策の策定が必要である。被害を受ける自治体は、ケース4～6で異なるので、各ケースにおける復旧対策を検討しておく必要がある。

4.1.7 住民理解の手段検討

大正三年の桜島大噴火は、死者58名の噴火災害として語られることが多く、御嶽山の噴火災害〔死者・行方不明63名（2014年）〕と同程度と把握されることがある。実際は、桜島の大噴火は、桜島の全3,388戸の桜島の家屋のうち2,129戸が溶岩に埋没あるいは消失した大災害であった。同時に、噴火後100年以上を経た現在では、当時の住民心理は、ほとんど風化し話題にはならない。

噴火前後の鹿児島市内の住民心理を当時の記録から調査すると、噴火が始まってしばらくは安心していましたが、だんだん噴火が激しくなり、午後3時30分からは爆発音が起きると、非常に不安が強くなり、午後6時30分には噴火に伴うマグニチュード7.1の強い地震が起きた後は、パニックが発生したと考えられる（第10回 01 大噴火時の住民心理と放置車両撲滅対策）。

大地震前の心理状態を鹿児島県警察史（1972）は、噴火（午前10時）後の午後2時30分頃には、鹿児島市内からは噴煙で桜島が見えなくなり、日光がさえぎられて暗くなっている。午後3時30分からは爆発音が起き、その後「百発の砲弾が同時に空で破裂するみたいに大きく、そのために空震が激しく、戸や障子や窓ガラスなどがガチャガチャと音を発したり壊れたりで、人の心は戦慄呆然の状態であった。」としている。なお、住民の多くがパニックになったのは、午後6時30分に起きた大地震後である。このような恐ろしいと住民に感じさせる噴火に対し、下記の検討が必要であろう。

a 噴火時の恐怖緩和

結果論から述べると、当時の鹿児島市の住民7万人（ほぼ全員）は、大正三年の大噴火時に避難する必要はなかった。降下火砕物は、大隅半島側に降り積もった。しかしながら、噴火の爆発音や夜間の火山雷および噴石の飛散をみて恐怖を感じているのも事実である。次の大噴火で、このような恐怖を住民が感じると、大正噴火時と同じ大混乱の再開になりかねない。それは、降灰方向が薩摩半島側か大隅半島側かを問わない。したがって、大混乱やパニックが起きないように、住民に適切な情報を伝達する必要がある。

噴火時の恐怖を緩和する必要があるが、過度な安心感が醸成されてはならない。その対策として、次の対策が考えられる。

①大噴火で起きる現象の住民理解促進

大噴火で起きる轟音・噴石・火山雷・火砕流・火山ガス・溶岩流出などについて住民に基礎的な知識を提供し、桜島島内の噴火口付近から放出されるそれらの物質と轟音は、鹿児島市街地側の安全に影響が無いことを伝える必要がある。上記以外の現象については、今後の研究成果を待つ必要があるが、現時点での見解は下記の通りである。

- ・海底噴火による津波発生：発生源が狭い範囲であれば、鹿児島市街地側では特に考慮する必要はないと考えられる。
- ・山体崩壊：大正噴火の際には、火山表層の崩壊が噴火前の地震で多発し、轟音が頻繁に聞こえている。次の大噴火で、大規模な山体崩壊が、発生するか否かについては不明である。

②予知が困難な現象の説明

大正三年の噴火では測候所が「桜島は噴火しない」と噴火当日の朝まで誤った見解を述べ、混乱を一層大きなものにした。根本的な原因は、測候所に桜島の噴火を判断する観測機器も知識もなかった※¹うえ、測候所が判断できる事項でもないにもかかわらず、測候所が判断を下したことにある。さらに、村役場は、測候所と言う科学的な雰囲気や過度に信じていた。この教訓を生かす必要がある。

さて、図-4.15 は、桜島の一部でレベル4の避難準備情報が出された日の地震記録（桜島横山2）である。

この時のマグマの移動量は200万 m^3 に過ぎなかったが、それでも地震記録が交錯し、どこが地震の始まりか明確には解らない。大正三年の噴火の際には、噴火前から地震が頻発しており、図-4.15のような地震記録が得られると推測される。その場合、大噴火の新しい噴火口の形成場所が、地震の観測からは解らない可能性が考えられる。

このような場合、地震以外の観測手段も検討されるであろうが、地中と言う不可視部分で起きる現象の解明は、常に一定の困難をとまなう。桜島の次の噴火の際に、新しく出来る火口の位置は、予測できない場合も考えられる。その場合、桜島全島の他に、桜島周辺の海域も噴火の監視対象となる。予知が困難な事項は、新しく出来る火口の位置の他に下記の例が掲げられる。

- ・噴火の推移（いつ噴火最盛期になり、いつ噴火の勢いがなくなり、その後どのような噴火になるか）
- ・噴火規模（次の噴火が大正噴火クラスの噴火か、昭和噴火（1946年）の様に、火口から溶岩の流下が始まる程度で、小規模なマグマの消費が始まるかは不明である。また、昭和噴火の場合には、大正大噴火とは異なり、噴火前後の有感地震はほとんどなかった。

住民に過剰な恐怖心が起きないように、安心できる情報を提供する必要がある。一方、火山には、まだ予測できない事項も多く、安心感の醸成のみでは危険である。科学的には解らない事項も多いなかで、いかにして市民により適切な広報を行い、「火山防災対策と市民生活を両立させる」ことには、多くの検討課題がある。

その一つの解決策としては、SNS（social networking service）・TV放送・ラジオ放送の活用などが考えられる。停電が無ければ、刻々と変化する噴火の推移や、噴火対策の情報を随時提供できる方向が考えられる。一方、情報発信局と情報を受信する側の双方の停電時対策も必要となる。噴火初期段階では、降下軽石が主体になるので、停電が始まる可能性は大地震発生の場合を除くと少ない（図-4.11のケース2の様に無風に近い状態を除く）ので、少なくとも噴火最盛期の1日半程度は、有効に機能する可能性が高い。それらの検討を、平時の状態でする必要がある。

※1：1台の地震計はあったが、1台の地震計では震源地を特定できないにも関わらず、震源地を発表している。

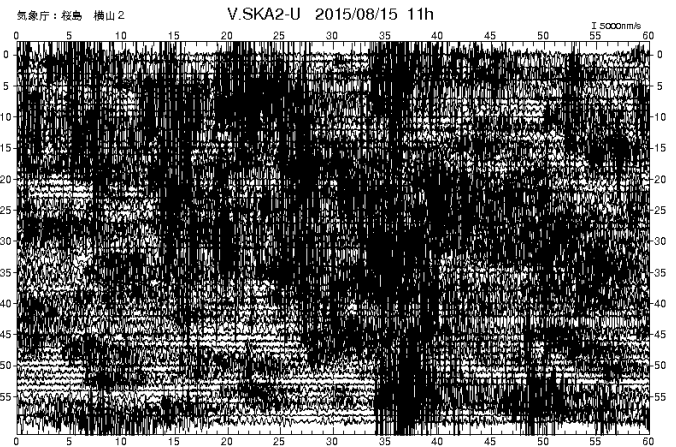


図-4.15 地震観測例（2015年8月15日）

b 噴火対策に対する理解

大噴火対策には、多くの住民の理解が必要である。事前避難に関する理解、道路啓開と復旧に関する理解、道路復旧途中での万全とは言えない交通網に関する理解、復旧が進まないことに対する住民や企業の理解など、数多くの課題があるが、最も徹底した理解と協力が必要な事項は「広域通行止めに関する理解」である。

広域通行止めの検討事項を 4.1.3 に示したが、実施にあたっては、住民理解が必須である。例えば、桜島から 40 km離れた薩摩川内市の国道 3 号を通行止めにした場合、現状のままでは桜島の火山噴火災害に対する理解が少ないと見込まれるので、住民の不満が増大することが予想される。さらに、通行止めの路線を利用して帰宅する人々やあるいは、避難物資を購入に行く人々の通行も制限することになるので、その伝達方法の準備も平時の検討事項である。

c 自宅避難の仕方

桜島から降る降下軽石は、火山灰と異なり屋根には厚く堆積しない。図-4.16 は、大正噴火の際に最も多量の軽石が降り積もった箇所（桜島の黒神集落）の写真である。屋根勾配が急な場合はもちろん、緩い屋根勾配でも軽石は屋根に堆積していない。このため、大正噴火の際の倒壊家屋は、表-4.1 に示した



図-4.16 桜島黒神集落の降下火砕物堆積状況 出所 鹿児島県立博物館

ように非常に少ない。この表は、地震による倒壊も含んでいるので、降下軽石による倒壊はさらに少ないと考えられる。表に記載している牛根村は、大正噴火で降下軽石が最大 1m 以上降り積もった地域である。当時この村は戸数 1200 戸であるが、大正噴火で倒壊した家屋は 16 戸である。この 16 戸の中には、地震による倒壊も含まれると推定されるが、全部が火山灰による倒壊と見なしても、1200 戸のうちの 16 戸で倒壊家屋の比率は小さい。

表-4.1 大正噴火時の倒壊家屋

村市名	全倒	焼失	戸数
鹿児島市	3 9	0	—
東桜島村	0	677	—
西桜島村	24	1467	—
牛根村	16	0	1200
百引村	9	0	—

多量降灰による家屋の倒壊は、地震による倒壊と異なり、火山灰が降り積もるにしたがって変形が進行した後倒壊する。このため、豪雪地域で雪が屋根に積もると軋み音があるように、多量降灰でも軋み音などの前兆があると考えられる。したがって、避難するに十分な時間がある。これらの検討過程は、巻末に添付した（第 4 回 08 多量降灰時の木造建物倒壊の検討 2 他、第 4 回 04 06 07）。

鹿児島市街地の全員が長期避難することは、避難者に多くの困難を強いる。同じ避難でも、自宅避難の場合は、ストレスが軽減される。ただし、安全への配慮が必要なので、原則的には自宅避難が可能としながらも、軋み音がしたら、堅固な建物に避難するとした丁寧な広報と周知法を、平時に研究する必要がある。

5 準備・直前準備

噴火対策を確実にするには、噴火現象の進行に合わせた行動時間計画（タイムライン）の作成が重要である。この観点から行動時間計画（第7回 08 行動時間計画 改定し表-4.2 に掲載 p35）を作成した。作成に当たっては、噴火予知との関係が重要なので京都大学火山観測所を交えて検討した。その結果、地盤変動や桜島周辺域での地震増加など、大噴火の兆候が現れた段階で、五者協議（県・市町村・気象台・大隅河川国道・火山専門家）に、観測結果を報告してスタートさせる方針案が示された。大正噴火では、このスタート時期の目安を、桜島島内の井戸に異変が起きた時期（半年前）と考えるが、変動が観測されても、変動が累積的に増加するかなどいくつかの確認を行う必要がある。よって本WGの行動時間計画は、大噴火の2カ月前の時点でスタートしても、実施可能なプランとすることを念頭に作成した。

表-4.3 は、桜島の噴火前の現象をまとめたものである。大正噴火では、噴火が近づくにつれて明確に前兆現象が拡大している。一方、どの火山でも初期段階の前兆現象は微弱であり、その時点で確実に噴火すると判断することは困難である。したがって、行動時間計画の初期の段階では、関係機関との具体的な連携を確認し本格的な対応の準備段階とした。

噴火の1カ月程度前になると、噴火時期と気象の概略的な検討結果から、降下火砕物の堆積地域を予想出来る場合がある。偏西風が強い時期、秋から春の期間であれば、高い確率で大隅半島側に多量の降灰があることを知ることが出来る。それ以外の期間では他の地域にも多量降灰があり、降灰地域を予想することは難しい。しかし、噴火が近づくにつれて、噴火予測日と気象予報の精度は、漠然とした状態から次第に高まるので、それに応じた各地域の準備が可能である。

さらに、噴火10日程度前になると、噴火予測日を設定した場合、数値気象解析で、大略的な多量降灰地域が解るはずである。その数値解析結果に従って対応を準備することが合理的であるが、この数値解析結果は、初期の段階では精度が低く、噴火が近づくにつれて精度が向上する。現在の気象予報と同じように、大噴火3日程度前の時点では、信頼性が高い情報が得られると考えられるので、3日前までに、直前準備を終了し、噴火2日前から最終準備段階に入る案を作成した。

表-4.2 行動時間計画

行動時間計画

2018年5月版

時間	準備段階	噴火現象	道路全般	道路啓開	海上	その他
事前準備	平常準備	噴火予知の向上	国・県・市町村及び各機関との具体的連携 ①道路啓開マニュアルの整備 啓開手法 降灰パターンごとの配置計画 ②道路啓開困難地域への支援計画 ③車両の道路走行実験と走行性区分 ④広域的な通行止め手法の検討 (具体的な実施法を確立) ⑤広域通行止め手法を市民に周知する方法を検討 (パンフレット原稿の準備も含む) ⑥建設業者への道路啓開法講習	①道路復旧マニュアルの整備 土捨て場・経路(初期は一方通行) 道路復旧車両の選定 火山降下物のみならず地震後の瓦礫などの撤去も含む ②錦江湾への土砂投棄の法的課題と港湾関係者や漁業関係者など利益関係者等との調製 ③降灰パターンごとの使用機材配置計画作成(県全体としては、10パターン) ④公共交通機関の早期回復法 一方通行→全面回復	①降灰パターンごとの海上交通シナリオと対策 ②海面へ仮投棄した軽石対策対処法立案 (流出防止策) ③漁協 港湾・船舶関係者・関係企業との協議承諾 ④海上輸送拠点候補地の決定	脆弱なインフラ箇所の対策 ・電気 ・水道 ・道路(橋) など 点検開始 脆弱なインフラ対策
五者協議でスタート表明	準備	地殻変動 周辺地域での地震増加 微量の地殻変動累積 火山ガスの変化(二酸化炭素 硫黄化合物) 桜島火山観測所などの見解	関係機関との具体的な連携確認 (国の各機関・各県・NEXCO・JR・その他)	既に完成しているマニュアルの配布 全国の重機稼働可能企業と提携開始		メディアは報道準備開始 火山噴火災害対策本部設立
(1カ月前程度)		地殻変動の増加 地盤傾斜計の変化	噴火前の 広域通行止めを市民に周知開始 道路管理者と行政との噴火前の必要事項確認	全国の重機稼働可能企業と提携概ね終了 (作業班は、自律的に作業できることが条件)	海洋への軽石投棄準備 障害になる施設の改良	報道機関(TV・新聞・ラジオ)との連携 噴火前の家畜や農産物の出荷や移動 可能な人々は自主避難開始(県外など)
10日前	直前	地震の増加 地盤傾斜計の変化	降灰危険地域を抽出し啓開パターンを予測	具体的な応援依頼と応援可否の最終確認 啓開と復旧の障害になる樹木や護岸の撤去	海上輸送拠点の決定 土砂搬出の障害になる樹木などの除去 軽石搬出箇所の護岸背面のアプローチなど整備	噴火時の風向きを予報 し、家畜対策など実施 噴火前の家庭や企業の降灰時対策開始 ・飲用水 1カ月分 ・食料2週間分(場所により変化) ・排泄物の処理材料準備 ・停電時の準備 電池・ラジオ・スマホ電源など準備
3日前		地盤傾斜計の変化		道路啓開重機を担当区域の近くに配置	医療器材・緊急物資等の積み込み 救急対応船舶の出港準備完了 災害応急対応船舶の出港準備完了	報道機関(TV・新聞・ラジオ)との連携拡大 自主避難完了(以後の自主避難は制限) 公的な避難支援継続
2日前	最終	有感地震の増加			小型船の入港規制	(桜島住民の避難) 大正噴火の時には、桜島住民の自主避難始まる 公的な避難支援継続
1日前		(気象庁 警報発表?) 【噴火日の予測はずれる可能性あり】 自治体の 避難準備情報	降灰パターンの最終予測 通行止めの隊員を配置	啓開パターンの最終予測 主要道路を通行止めにする 道路啓開重機を啓開道路付近に配置 オペレーター・作業員が準備完了	定期船、貨物船の被災予想港区からの港外退去情報発信 一般船舶の鹿児島港からの出港	段階的な通行止めが必要 港湾の使用制限 TVの冷静な噴火現象の解説(パニック発生対策)
12時間前			全ての啓開道路の通行止め完了	道路啓開重機を啓開道路に配置		公的な避難支援継続

前ページと重複

10日前	直前	地震の増加	降灰危険地域を抽出し啓開パターンを予測	具体的な応援依頼と応援可否の最終確認	海上輸送拠点の決定	噴火時の風向きを予報し、家畜対策など実施
		地盤傾斜計の変化		啓開と復旧の障害になる樹木や護岸の撤去	土砂搬出の障害になる樹木などの除去 軽石搬出箇所の護岸背面のアプローチなど整備	噴火前の家庭や企業の降灰時対策開始 ・飲用水　1カ月分 ・食料2週間分（場所により変化） ・排泄物の処理材料準備 ・停電時の準備　電池・ラジオ・スマホ電源など準備
3日前		地盤傾斜計の変化		道路啓開重機を担当区域の近くに配置	医療器材・緊急物資等の積み込み 救急対応船舶の出港準備完了 災害応急対応船舶の出港準備完了	報道機関（TV・新聞・ラジオ）との連携拡大 自主避難完了（以後の自主避難は制限） 公的な避難支援継続
2 日前	最終	有感地震の増加			小型船の入港規制	（桜島住民の避難） 大正噴火の時には、桜島住民の自主避難始まる 公的な避難支援継続
1 日前		（気象庁　警報発表？） 【噴火日の予測はずれる可能性あり】 自治体の避難準備情報	降灰パターンの最終予測 通行止めの隊員を配置	啓開パターンの最終予測 主要道路を通行止めにする 道路啓開重機を啓開道路付近に配置 オペレーター・作業員が準備完了	定期船、貨物船の被災予想港区 からの港外退去情報発信 一般船舶の鹿児島港からの出港	段階的な通行止めが必要 港湾の使用制限 TVの冷静な噴火現象の解説（パニック発生対策）
12時間前			全ての啓開道路の通行止め完了		道路啓開重機を啓開道路に配置	公的な避難支援継続
噴火後0時間	噴火	20~30分後軽石降下始まる 噴火当初は穏やか 次第に噴火規模拡大	噴火中の軽石降下範囲の実況による対応指揮 （避難地域・道路啓開などの準備情報） 道路復旧の具体的計画作成		海上保安部の港域、海洋域の警戒	SNSなど地域住民からの情報も活用 住民の不安解消のための報道必要
噴火後12時間		激烈な噴火継続 強烈な爆発音・噴火雷・豪音・振動（降灰地域では闇夜状態で視界無し） 火山に近い住民程不安増大 （大正噴火ではパニック発生）	道路復旧計画の決定・周知		海上輸送による救急活動の開始 （被災していない港区を使用）	船舶内での医療活動開始 公的な避難支援継続 住民の不安解消のための報道必要 （船は、救護活動の拠点となり得る。早期開始も可）
噴火後30 時間		激しい噴火が継続 30時間程度で多量軽石降下終了 （大正噴火ではプリニー式噴火が30時間継続）		道路啓開作業開始 （噴火の推移と場所により開始時間は異なる。） 道路啓開出来ない住区への支援開始	被災状況の調査、測量開始 定期船は代替港区から発着	港湾の使用再開（小型船を除き利用可能） 公的な避難支援継続
噴火後72時間			道路啓開完了後道路復旧開始 市電やバス運行開始 一般企業活動開始（可能な企業から）	道路啓開完了	軽石の海洋投入開始 調査結果に基づく啓開作業船の手配 （作業船の手配は1次手配が2カ月前、最終手配が10日前）	噴煙活動は2カ月間程度は活発 噴煙活動は次第に沈静化する スーパーやコンビニ店への食糧や物品供給 【住民は徒歩で必要な物資を確保】 （自力で買い物が出来ない人には支援必要）
2~3か月後		噴煙活動が沈静化				

表-4.3 大噴火の前兆現象

年	月	日	時	噴火予兆	資料からみた1914年桜島大正噴火の開始と噴火に先立つ過程 山科健一郎 1998
1909	11	10		宮崎県西部地震M7.6(海溝型地震) ※ 9	
1911	6	15		喜界島近海地震M8.0 霧島の御鉢火口から常時噴煙が出ていた ※ 9	
1913	5	19		1914年1月中旬まで霧島山麓で群発地震（真幸地震） ※ 9	
	6	29		鹿児島県西部地震M5.7その翌日M5.9 ※ 9	
	7	27		火山ガスで死者（湯浜）家から200m 周囲に鳥獣の死骸有り ※ 9	
	7	28 ～ 30		28日、29日、30日の3日間に渡りて連発せし地震、及び此れに伴う地鳴りを以て、噴火の前兆と考ふべきものなり。 ※6 3回の地震が起きる ※8	
	数カ月前			西桜島村内の井戸水の水量に変化がみられる ※ 1（地盤隆起か？） 数月前より村内井戸水の減量例年よりも甚だしかりき而して12日早朝に至り水量大に増して平常の数倍に及びたり、・・・ ※5 同じ記載 ※ 8	横山の井戸は1913年の夏から涸れはじめ、（1 2月下旬には全く枯れたところが多かった）
	11	8		霧島の御鉢火口から噴火 ※ 9	
	11月下旬			持木の共同井戸の水位低下で干潮時に水をくみ上げることが出来ない(11月25日前後) ※ 2 高免の井戸水位低下で干潮時に水をくみ上げることが出来ない(11月25日前後) ※ 2	
	12	9		霧島の御鉢火口から2回目の噴火 ※ 9	
	12月下旬			井戸の濁りや枯れ 西田・武・新照院 ※ 1 水量増加 加治木・国分 温度上昇 加治木温泉 ※ 1	
	12	25		県民に異常の報告を要請する。 県知事 ※ 2	
	12	27		瀬戸で生簀のエビやタイが死んで浮き上がる（海水の温度が上昇していた） ※ 2	
	1	5		測候所で軽い地震記録 ※ 2	
1914	1	7		加治木で温泉の量が急に増え始める ※ 2 国分で井戸水が増加 ※ 2 井戸水の現象（西田・武・新照院）水をくみ上げると白濁していたが、異変は散発的 ※ 2 東桜島の湯之で数回の小さな地震を感じる（2～3年前から時々あった） ※ 2 深夜、南岳の頂上がパッと赤く光っているのが目にいった ※ 2	弱い地震を感じた（野添1980）
1914	1	8		霧島火山3回目の噴火 ※ 9	
	1	9		桜島市内の東部と北部で16時から有感地震を何度も感じる ※ 7 1 6時頃少し強い地震があった ※ 2 黒髪と瀬戸では、地面が熱くなり、冬眠中の蛇や蛙が山腹の穴から出てきた。村人たちは海岸に集まっておかしな兆候について語り合った ※ 2	
	1	10		午前2時 桜島山頂に大きな火柱（3分程度で消滅） ※ 2	島外避難も一部で始まる
				夕方から桜島全島で有感地震を感じる ※ 7	南岳の山頂がパッと明るくなってしばらくして消えるという現象を数回目撃した（高崎1914と共通）
	1	11		午後鹿児島市で有感地震増加(82回) ※ 2 ※ 7 湯之で午前4時2分にやや強い地震①、6分にかなり強い地震（それまでの微震とは違っていた） ※ 2 北岳の山頂付近で岩石崩壊が発生し周期的に遠雷のような響きがあり不気味さを感じた ※ 2 10数回の地震記録を朝確認 ※ 2 群発地震が①の地震から1 2日午前10時5分まで鹿児島測候所の地震計に4 1 7回記録される ※ 2	対岸の鹿児島市内で明瞭な地震頻発 桜島の山体斜面の崩落の繰り返し 桜島西面の八合目から白いものが煙のように立ち登る（崩落で砂塵が上がるのを見た） 〔11日は〕五分間毎に棚の物を落とす程の強震が連続していましたが、午後に至っては物凄い山鳴りが勢い込んで遠い鹿児島の町の隅々へも響きを伝えました（七高生徒 空地1914a） 北岳中腹（八合目）から黒煙（光線の具合では白）が上がりしばらくして消え（檜原1914a他）、南岳の東または南東側斜面で白煙が見える（大森房吉1914）
		12	7		6日前より一滴の水も無き井戸に多量の水

※ 1 石川秀雄 桜島-噴火と災害の歴史 1992

※ 2 柳川喜郎 桜島噴火記 2014

※ 4 国鉄九州鉄道管理局 桜島大正三年噴火

※ 5 鹿児島県 桜島大正噴火誌

※ 6 鹿児島県立図書館 桜島噴火記 大正 14 年

※ 7 林 豊 2003 大正三年桜島噴火に先立って発生した地震の規模の推定

※ 8 桜島郷土誌編纂委員会 桜島郷土誌

※ 9 桜島大正噴火の経緯 石渡 明 原子力規制委員会

5.1 準備段階（数カ月前～噴火予想日 10 日程度前）

この段階は、概ね数か月後には大噴火が起きると考えられるので、それに向けた具体的な準備を行う期間である。この段階の噴火予知は、多くの不確定要因を含む。大正噴火の様に直線的に前兆現象が増大して噴火に至るケースもあれば、噴火に至る兆候が増減しながら噴火に至るケースや、岩手山のように噴火確実と予想されながら噴火しないケースも考えられない訳では無い。噴火した結果から、前兆であったと述べることは容易であるが、噴火前に、微弱な変動段階で噴火を予知することは非常に難しい判断である。一方、直前の噴火予知は予知精度こそ高いが、社会には噴火に対応する時間がないため、予知の意味が低下する。60 万人が暮らす近代都市域の噴火予知は、早い段階で出されることが重要である。

【岩手山の噴火未遂事例】

岩手県盛岡市の北西 20 キロメートルほどにある岩手山で、1997 年 12 月末から山腹の浅いところで群発地震が増加してきた。翌 98 年 2 月になると低周波地震も観測され、東北大学や国土地理院が測っていた地殻変動観測データにも変化が現れた。噴火予知のカギになる山体膨張である。そして 4 月の末になると火山性地震がさらに頻発するようになり、傾斜計にも大きな変化が出た。

これだけの「噴火の前兆」がそろった。いつ噴火しても不思議ではない状態になっていたのであるが、固唾をのんで見守っていた火山学者たちや気象庁を尻目に、岩手山は噴火しなかった。

一方、2014 年 9 月に戦後最大の火山災害になってしまった御嶽山噴火のときには、御嶽山の「前兆」は小規模な群発地震が約 2 週間前にあったが、その後おさまってしまっていたものだ。

出典：島村英紀『油断大敵！ 生死を分ける地震の基礎知識 60』（花伝社）を要約

準備段階では、「五者協議で噴火対策のスタート」が決められたあとは、ソフト対策が中心となる。平時の段階で準備した計画や手順書にそって、国・県・市町村・自衛隊・海上保安庁・NEXCO・JR・各協会・各組合など幅広い団体と協議し、具体的な噴火対応の検討に入る必要がある。この段階で、平時に準備すべきと考えられる計画と手順書がまだ完成していなければ、これ以降かなりの混乱が予想される。このため、**平常準備段階**（大噴火の具体的な兆候がない今の段階）での、**検討が重要**であることは言うまでも無い。平常準備段階での検討は、行政や行政を支援する地元のコンサルタントなどを中心にまとめられる必要がある。恐らく、取りまとめの段階で新たな検討が必要になり、また科学技術の進歩などにより、改定の必要が生じるであろう。例えば、2030 年頃は、噴火中に自動運転の重機やダンプカーを使用して軽石の除去が可能となる可能性もある。したがって、対策も順次改定する必要がある。

関係機関には、既に完成している道路啓開や復旧マニュアルを配布し、具体的な実施法について協議する必要があるであろう。同時に、住民が大噴火から身を守るための情報提供が必要となり、マスメディアと一体となった広報も重要である。

噴火兆候の増大を見ながら、この段階で道路啓開と復旧に重機を提供可能な企業や団体と具体的な提携を開始する必要がある。また、大噴火災害が発生するのは、この段階では少なくとも 1 カ月以上後と予想されるが、災害の規模と前例が無い特殊性を考慮し、災害対策本部を早い段階で設立することが有効と考えられる。

5.2 直前段階（噴火予想日 10 日前～3 日前）

この段階では、大噴火の予兆と考えられる異常現象が、桜島とその周辺地域で確実に見られるはずで

ある。桜島の地盤傾斜計などの観測結果は、これまでにない明確な変動を記録し、いよいよ大噴火が差し迫っていることを示すと推定される。この段階では気象予報により、噴火した際の降灰危険地域を抽出し、事前に作成した道路啓開ケース例に沿って、啓開パターンを抽出し更新する必要がある。

この段階の日数は7日間と短い。それまでソフト対策が主であったものを、この段階では一気にハード対策を主体とした対策に移行する。例えば、準備段階で提携した**道路啓開に必要な重機を、噴火3日前までに啓開担当地域の近くに配置**する必要がある。噴火する日予報が確実であれば噴火前日の担当地域付近への配置でも良いが、噴火予知の不確定要因や、重機を輸送する過程の混乱などを考慮して3日前とした。県外からの応援部隊は、この3日間の間に、担当区域の状況を調査し、降灰後の作業を円滑に行うための準備を行う必要がある。その作業の中には、作業班自体の衣食住の確保、修理機器や重機燃料の確認などもある。また、道路啓開とその後の道路復旧を考慮した場合、作業の支障となる柵や植木あるいは、軽石投棄場所の護岸へのアプローチ設置、護岸の一部除去もこの段階で実施する必要がある（護岸の一部撤去は、間に合わない場合は、10日以上前の準備段階で実施する必要がある。その場合、予報が外れることも予想されるが仕方がないことである）。

鹿児島市は、陸上の交通網が寸断された場合でも、海上交通網を利用できる（第7回 07 海上交通など道路以外の交通機関）。直前段階では、噴火後に港湾区域をどのように利用するか、最終的な決定を行う必要がある。この決定は、航路の移転や港湾の仮埋め立ても含めるため短時間では結論が出ないので、準備段階までに調整が終了していないと混乱を招く。噴火3日前になれば、桜島の大噴火はほぼ確実なので、船舶を利用して医療器材・緊急物資を輸送するための準備を完了する必要がある。海上ルートは、重機などの輸送ルートとしても有効である。

市内で噴火を迎える住民と各機関は、遅くともこの段階で、**自宅避難や籠城に必要な物資を確保**して置く必要がある。噴火後の流通網は寸断されるので、生活必需品や医療用品などをこの段階までにスーパーやコンビニなど地域と密着した小売店や集会場に備蓄する必要がある。また、噴火後は甚大な損失を受ける可能性がある畜産や農業の最終的な対策もこの時期を逃すと実施が難しくなる。

噴火前に県外などに避難する人々には、この段階で避難することを推奨する必要がある。噴火が差し迫ると混雑が予想され、同時に噴火予定日より早い噴火もあり得るためである。この段階のマスメディアと協力した住民への適切な情報伝達は極めて重要である。一つは、住民の安全確保のための情報、もう一つは、噴火後に起きる可能性が高いパニック行動（大正噴火の際には住民避難で鹿児島市が空になったような行動）を抑制するため、より正確な情報を伝達することである。

5.3 最終段階（噴火予想日2日前～大噴火）

この段階では、大正噴火の場合、3日前の段階で桜島島内では有感地震が何度も感じられ、噴火2日前には桜島民の一部はすでに避難を開始している。噴火現象は、大噴火が近づくにつれて顕著になり、噴火前日の午後には、山体から、小規模な噴煙の様な黒煙や白煙が立ち登っている（図-5.1）。この段階で最も重要なことは、**大噴火前に放置車両を無くし、道路啓開と噴火後の運搬を可能な状態にしておく**ことである。どのような道路をいかなる手法で何時通行止めにするか、平常準備段階で十分に検討されて

置く必要がある。このような検討を経て、噴火1日前には主要道路を通行止めにし、道路啓開重機も配置されていたとしよう。

ところが、噴火が近づくと鹿児島市内でも市民の不安と恐怖心が増大すると予想される。大正噴火の際は、噴火前日に有感地震が82回あり、5分間毎に棚の物を落とす程の強い地震が連続して発生している。噴火前日の午後には、桜島から物凄い山鳴りが聞こえ、山体から火柱や噴煙が上がっているの、次の大噴火で市民は動揺し、噴火が迫ったこの段階になって予定を変更して避難を決意する住民が増加することが考えられる（第10回03 大噴火時の住民心理と放置車両撲滅対策）。

この段階の住民による車両避難は、噴火後の道路に多量の車を放置する事態を招き、結果的に、自衛隊の救援車両も鹿児島市内に入ることが出来ないうえ、復旧車両が通行できないために復旧も進まない極めて厳しい状況、ほぼ最悪の状況を招く。一方、不安と恐怖心を感じた市民の避難行動を阻止することも人道上は実施困難である。このような避難行動を抑制するには、**住民の噴火に対する知識の向上、行政や研究機関に対する住民の信頼向上**など、平常準備段階の対策が重要である。

大正噴火で起きた現象を周知し、噴火前にはTVなどと一体となった住民の心理対策、過剰な恐怖を抱かないように適切な情報を提供する処置が必要である。それでも、人による恐怖の感じ方は様々であり、桜島との距離や海に近いかなどの環境条件の違いで感じ方も多様である。現実的には、桜島に隣接した地域や地盤が軟質で地震の揺れが大きい地域では、通行止め発令後も避難を希望する住民の要望があると予想される。その方々は、原則徒歩での避難となろうが、高齢者や幼児などの避難では援助が必要である。その**避難場所も含めて平時の段階から検討**しておく必要がある。

これらの方々の避難は、むしろ噴火後の救援を軽微にすると見込まれる。噴火が始まると、噴火前に恐怖を感じた方々の恐怖心は、噴火開始後は極度に高まるであろう。噴火後の避難より噴火前の避難が適切である。噴火前に大正噴火で起きた激しい音や光景を説明し、少しでも不安がある人びとは噴火前の避難を勧めた方が良くであろう。同時に大切なことは、この段階で、**自家用車による避難行動を発生させない**ことである。その手法については、平常準備段階で検討しておく必要があろう。

桜島に隣接した港湾区域では、段階的な避難を実施する必要がある。錦江湾のうち桜島に近い海域（桜島火山ハザードマップ参照）では火砕流が船を襲う可能性があり、この海域からの避難は必須である。また、桜島の大噴火が仮に大正噴火と同じ30時間継続したとすると、この間は大型の客船であっても航行は出来ない。理由は、降下軽石と火山灰のために、昼間でも闇夜より暗く、ライトをつけても視界が数メートルしかない予想されるためである。火山灰によるエアフィルターが目詰まりや、30時間を超える待機を考慮すると、この間他の港での停泊や航行が得策であろう。この港湾区域からの船舶の避難は、仮に軽石の暫定的な捨て場所として防波堤内の港が選定された場合も有効である。

大正噴火の際には、噴火後に17隻の汽船と74隻の和船で島内に残った3,083名の住民を救出〔鹿児島県警察史編さん委員会, 1972〕しているが、桜島に近い海域では、噴石や高温の軽石が落下し、救出も決死の覚悟であったが同時に火砕流の危険があったことは言うまでもない。



Fig. 3. Possible dust cloud at 16:30 on January 11, 1914, caused by seismic rock falls after Nara-hara (1914a).

図-5.1 大噴火前日の噴煙
〔山梨健一郎, 1988〕

この段階での噴火予知はかなり正確と推定されるが、自然現象である噴火は、必ずしも大正噴火や安永噴火と同じような噴火パターンになるとは限らない。想定していない陸域や海域で噴火の兆候があった場合の対処法の骨格なども、平常時に検討しておくことが必要であろう。

5.4 噴火後の初期段階（プリニー式噴火の最盛期 大正噴火では噴火後 30 時間程度）

噴火後に対策を実施する一般的な災害対策手法は、60 万人が暮らす鹿児島市では有効では無く、噴火前に対策を行うことが桜島の場合は重要である。本 WG で考察した内容を参考とし、対応策の検討が平常時に終了していれば、噴火後の混乱を減らすことが出来ると見込まれる。しかしながら、桜島の通常の噴火（ブルカノ式噴火）を見慣れている市民も、噴火後には肝をつぶす程の現象があるので、その状態と処置について若干触れる。

【市民の心理状態】

大正噴火（12日午前10時頃）の初期段階では、鹿児島市民には対岸の火事でも見ているような落ち着いた行動がみられる。しかし、巨大な噴煙柱（西側の噴煙で柱の幅約1km）が高度を増し、灼熱した噴石や巨大な岩石の落下、あるいは凄惨を極める無数の火山雷を見て、鹿児島市の住民の不安は増大している。

大地震前の心理状態を鹿児島県警察史（1972）から引用すると、午後2時30分頃には、噴煙で桜島が見えなくなり、日光がさえぎられて暗くなっている。午後3時30分からは爆発音が起き、その後「百発の砲弾が同時に空で破裂するみたいに大きく、そのために空震が激しく、戸や障子や窓ガラスなどがガチャガチャと音を発したり壊れたりで、人の心は戦慄呆然の状態であった。」その後、午後6時30分には噴火に伴うマグニチュード7.1の強い地震があるが、鹿児島県警察史からは、大地震が起きる前の状態でも人々は呆然とするほど強い恐怖感を抱いていたところ、大地震が起きたので、地震後にパニックが発生したと考えられる（第10回 03 桜島大噴火時の住民心理と放置車両発生対策）。

大地震発生前は、恐怖を感じた人びとが駅に駆け付ける際に手荷物を持っているが、18時29分のM7.1の大地震発生後は、手荷物も持たずに駅に駆け付けている。溶岩から発する赤い光が照らす火映が拡大し鳴動も強大化しているので、市民が冷静さを失った状態と判断される。最も噴火活動が激しかったのは、翌13日の午前1時ごろである。噴火の凄まじさは、桜島から約30kmも離れた旧日置郡阿多村で、村の青年たちが役場からの使いとして「ここから6里先まで避難せよ。出ないと危険だから」と伝えるほどであった[鹿児島西高齢者学級, 1972]。噴火の勢いがやや衰えたのは13日の午後で、軽石を降らすプリニー式噴火が終了したのは同日16時頃と予想される。その後、溶岩の流出が始まった。軽石噴火が終了した後も噴煙活動は継続し、初期の段階では小規模な火砕流を伴い、次第に勢力が衰えながら1914年10月まで断続的に噴火が継続している。

なお、この状態は鹿児島市内にいた住民の心理状態である。結果的には、地震を除くと避難の必要は無かったのであるが、一般的な住民の心理状態は怯えあがった状態と見るべきだろう。

次の大噴火で鹿児島市街地方向に多量の軽石が降下した場合、音響は幾分小さくなると見込まれ、凄惨な灼熱の噴石が飛ぶ様子や火山雷は見えないので、噴火現象を目の当たりにした大正時代の市民ほどは恐怖を感じない可能性も考えられる。しかしながら、人の感じ方や考え方は様々なので、また、鹿児島市街地でも桜島に近い海岸地域では恐怖感も大きく、この段階で生じる避難欲求に対する対策も必要であろう。

噴火直後は、雲が無ければ巨大な噴煙柱や火山雷を目視できる。あわせて、道路も物理的には通行可能な状態である。このため、噴火の様子を見て命の危険を感じ、車両で脱出を試みる住民が出てくる可

能性がある。最悪の状態は、その連鎖反応がパニックを起こしてしまうことである。軽石が降り積もって誰もが道路を走行しようとは思わない状態になるまでは、広域的な通行止めを達成するための対策が必要である。

噴火後に起きる可能性があるパニックのうち、交通規制に関する阪神・淡路大震災の教訓を下記に引用する。結果的には、安否確認や避難車両のため1時間当たりの旅行速度は、平常ラッシュ時では20kmあったが、3.5km（17日）、4km（25日）、10km（29日）に過ぎず[『新時代を迎える地震対策』（建設省監修、1996年、ぎょうせい）]、緊急車両（火災発生時の大型消防車も含む）の通行も不可能にした。

東方の空に黒煙が高く上がるのが見え、煤が降ってきた。車の列を縫うようにして消防の応接部隊がやってきた。それに交じって市民の訴えも相次いだ。「親がいるんや。行かせてくれ」「自分は医者や。助けに行きたい」。心情として、機械的に退けることは難しかった。その日、渋滞は延々と姫路まで連なった。

18日午前6時、県警は署長規制による緊急輸送区間を指定した。さらに19日午後8時から、災害対策基本法による道路規制を発効させる。翌20日早朝、尼崎市の杭瀬交差点などで、稲吉係長は大阪方面からの車の迂回誘導を始めた。規制により緊急車と一般車を見分ける基準が生まれた。

「許可証のない車は通れません。止まりなさい」。稲吉さんの振る停止棒は、規制を振り切った乗用車にはじき飛ばされた。許可証を持つトラックの影に隠れ、数台の乗用車が交差点を突っ走って行った。規制の看板だけでは効果は薄れる。車はわき道からも流入してきた。しかし、地震直後の混乱のなか、違反を取り締まる十分な人員を割く余裕はなかった。未曾有の災害は、渋滞の対応にも大きな制約を加えた。「17日以降の道路状況は、渋滞というより、パニックの感じだった」。屋久課長が振り返る混乱は、一刻を争う救出・救援活動に深刻な影響を及ぼすことになった。

出典：『大震災 その時、わが街は』（神戸新聞社編、1995年）

【火事】

大正噴火の際には、火災は記録されてはいない。通常、夕方の食事の準備時間帯に大地震があると、火事が発生するが、奇跡的なことに桜島の大正噴火では鹿児島市街地で火事が発生した記録は無い。大正噴火の際には、通常の消火活動も可能であったと考えられるが、次の大噴火で、鹿児島市内に多量の軽石が降下した後に火事が発生すると、**道路を通行できないため消火活動は困難**である。延焼に対し手の施しようがない。噴火後は、火を絶対使わないことが理解される様に、**徹底した出火対策**も重要であろう。

【放送】

この段階の電波放送も適切に行なわれる必要がある。降灰が鹿児島市街にあり、鹿児島市街地からは噴火の状況が見えない場合、大隅半島側では、大正噴火と同じような噴火現象が望めるであろう。この映像とコメントは、降灰のために桜島が見えない鹿児島市民もTV映像を通じて見ることになる。そのため、**TV映像を見てパニックが発生することも考えられる**。今日、民放やNHKはセンセーショナルに報道する姿勢が明らかになっている。噴火が始まったら、鹿児島県や鹿児島市などが一定の時間枠を確保し、適切な情報を県民と市民に提供できるシステムが必要であろう。

5.5 道路啓開段階（プリニー式噴火が30時間継続したとすると、噴火後30～72時間）

【72時間の意味】

道路啓開については、一般的な緊急輸送道路を確保する際の国内の概念に合わせ、噴火後72時間で

主要道路などの啓開を終了するものとした。ただし、桜島の大噴火において72時間に特別な意味がある訳では無い。阪神・淡路大震災で救出者中の生存率が低下したのは、1日目（74.9%）と2日目（24.2%）の間である。救出が遅れるにしたがい、3日目（15%）、4日目（5.4%）、5日目（4.8%）と生存率が低下するので、早い段階での救出が重要であることに変わりはないが、阪神・淡路大震災でも72時間に特別な意味があった訳ではない。

桜島の次の大噴火の場合には、市民が、当面の自宅籠城に必要な物資（水・食料・衣料・排泄物処理用品など）を確保していれば、多量降灰後もほとんどの住宅で居住が可能なので、噴火開始後72時間で生命の危機が訪れることは無い。地震災害や津波災害の様に、多くの被災者に救急処置が必要なわけでもない。道路啓開時間を72時間としたのは、災害復旧を早期に完遂する視点（鹿児島市の検討会の見解に沿った視点）から設定した時間である。道路啓開完了時間を72時間とする場合、主要道路の啓開時間が40時間程度しかないの、確保できる復旧車両など各機関の実情に合わせて、道路啓開完了時間を見直しすることも選択肢の一つであろう。

【道路啓開の開始時期】

道路啓開の作業開始時期の検討は、平常時に検討しておく必要がある。プリニー式噴火が終了しても噴火は継続しているため、火山灰が降る地域では、昼間でも真っ暗になる（1914年1月17日の午前9時ごろには、鹿児島市内は降灰で闇夜の様であった〔内田孝蔵他3名, 1937〕）。また、桜島から離れると、降下物は火山灰が主体になり、降下物の量も減る。その違いにより、道路啓開に必要な重機も異なる（図-5.2）。したがって、最も離れた地域では、降灰量が少ないので、プリニー式噴火の最中でも道路啓開作業が可能である。一方、桜島に近い地域では、降灰中は真っ暗である。ライトをつけても降下する火山灰や軽石に遮断され、数m先までしか視界が無い〔NHK取材班, 1978〕。さらに、一般的には、直径0.5～3cm程度の軽石礫が秒速5m程度で降るが、軽石に交じって岩片が秒速20m程度で降る可能性

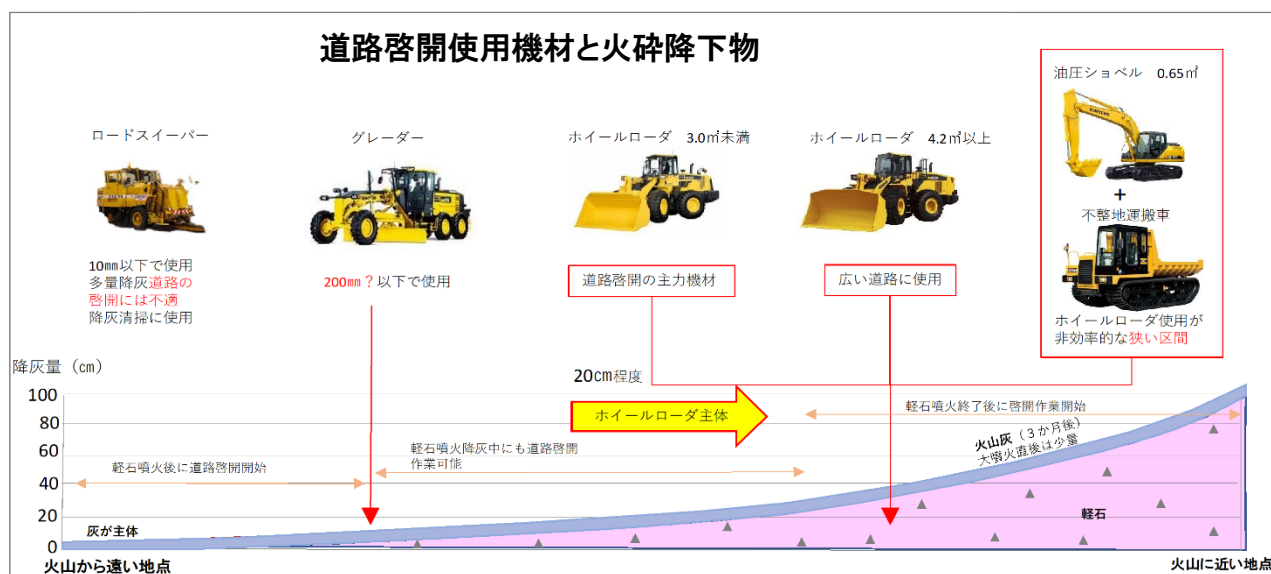


図-5.2 桜島からの距離の違いによる道路啓開重機の使用例

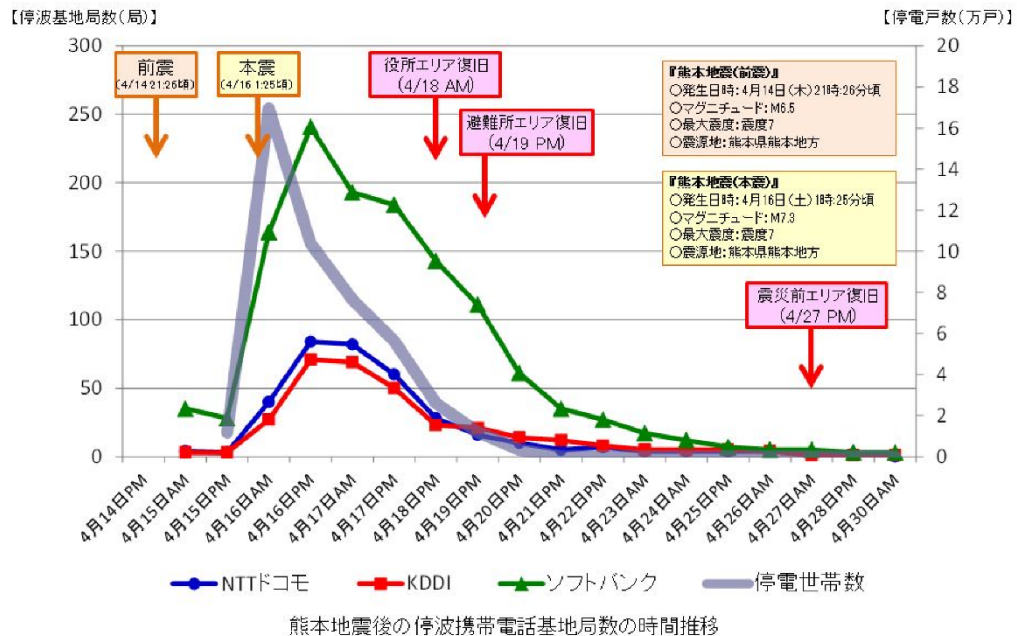
もあり、直接人体に当れば、怪我をする恐れもある。道路復旧を早めるために道路啓開も短時間で終了したいが、下記の点を検討しておく必要がある。

- ・降下火砕物の質と量を考慮した啓開作業の計画作成を行う。
（平常時に作成したモデルを噴火直前段階で見直す。さらに、噴火後にも再検討する）。
- ・噴火中も道路啓開作業が可能な地域と作業可能な機関がある可能性があり事前に検討する。

- ・作業中の安全確保について事前に検討する。
危険因子としては、桜島に近い地域で小さな岩片が落下する可能性や視界不良、作業中のスリップなどが考えられる。
- ・この段階で既に停電が始まり、2日以上経過している可能性もある。その場合、有効な処置が取られていなければ、携帯電話などの通信網が寸断されている可能性が高い。携帯電話基地局の停電要因と合わせて、事前に対策を講じる必要がある（携帯電話は、熊本地震のあとも繋がり難くなっている。図-5.3 図-5.4参照）。

- 前震から2週間程度で震災前エリアに復旧。
- 各社とも重要な基地局※や避難所をカバーする基地局を優先的に復旧。

※ 都道府県庁や市町村の役所のエリアをカバーする基地局



熊本地震後の停波携帯電話基地局数の時間推移

注 携帯電話等事業者が設置している基地局数は各社で異なり、停波中の基地局数は、サービス影響の規模を直接表すものではない。

図-5.3 熊本地震後の停波基地局状況

出典：総務省 電気通信事業者の平成 28 年熊本地震への対応状況 2016 年 7 月 29 日

停波原因

- 停電・伝送路断が主要な停波原因。
- 停波原因の約75%が商用電源の停電。重要な基地局の停電による停波は2局(阿蘇市、南阿蘇村)。
- 複数ルート化等の対策により、伝送路断により停波した重要な基地局は4局(阿蘇市、高森町、南阿蘇村)。
- 停電、伝送路断により、停波した重要な基地局についても隣接局によるカバーや移動基地局車の配備等により、実際に通信の疎通に支障を与えた時間は限定的。

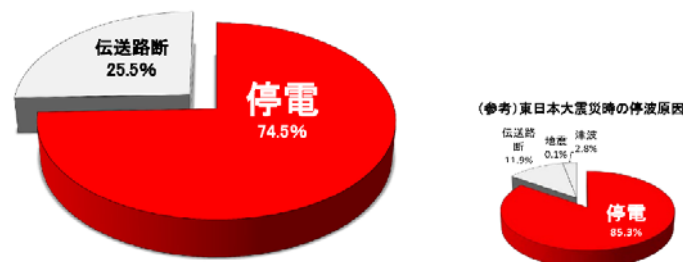


図-5.4 熊本地震後の停波原因

出典：総務省 電気通信事業者の平成 28 年熊本地震への対応状況 2016 年 7 月 29 日

【道路啓開が遅れる地域の対策】

初期の道路啓開は、幹線道路や生活幹線道路など、社会的重要性が高い道路に限定せざるを得ない。一方で、幹線道路を緊急車両が通行可能となっても、周辺には緊急車両も通行できない地域が多数残存するはずである。地震や津波災害では、通行可能な道路が残存するが、多量の降下火砕物が降り積もると、一般車両はどの道路も通行できない。このため、幹線道路などの啓開が終了した後も、引き続き生活道路の啓開を行う必要がある。この時点では、ダンプカーで軽石を搬出する道路復旧が始まっているので、それとの両立が必要である。また、道路啓開の優先順位が高くない地域でも、救急車・消防車・警察車両・災害復旧車両などが必要とされる事態が発生するので、事前に利用車両の選定などを検討する必要がある。

5.6 道路復旧段階（3 カ月以内）

道路復旧が終わるまでは、一般車両の通行が困難であり、この間は生活全般と産業活動が著しく低下する。このため、短期間の復旧を必要とするが、膨大な量の軽石のため短期間の復旧は困難である。しかしながら、遅くとも3 カ月程度をめどに復旧しなければ、鹿児島市からの人口流出が始まり、都市を災害前の状態まで復旧することが困難になるとの観点から3 カ月としたものである。この間は、前項（4.1.5 公共交通機関の早期回復法）で述べた検討結果なども含め、**早期に人が街を移動でき、企業・病院・学校などが早期に元の状態に回復することが期待される。**

WG 案では、鹿児島市内に無料の巡回バスを走らせ、このバスを利用して、学校や企業への通学と通勤が可能となる。また、道路啓開後は、緊急車両に物流車両も指定し、生活地域のスーパーやコンビニを市民が利用可能な状態とする必要がある。

道路復旧段階での課題は山積している。その具体的な内容を、前項（4.1 交通対策の事前準備）で述べた。道路復旧作業を実施しながら、より適切な復旧法に作業中も計画を改善する必要がある。