

(案)

大規模噴火時の広域降灰対策について - 首都圏における降灰の影響と対策 -
～ 富士山噴火をモデルケースに～ (報告) 【別添資料】

降灰による影響の閾値の考え方

令和2年〇月

大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ

降灰による影響の波及イメージ

- 降灰の影響は、他の分野へ波及することで被害が拡大しやすい。
- 特に、交通・電力・水道分野等で発生する被害が他分野に波及すると、日常生活や社会経済活動に波及して大きな影響が生じる。

<主要なインフラ等で発生する影響例>

火山灰により視界不良、白線が見えなくなる



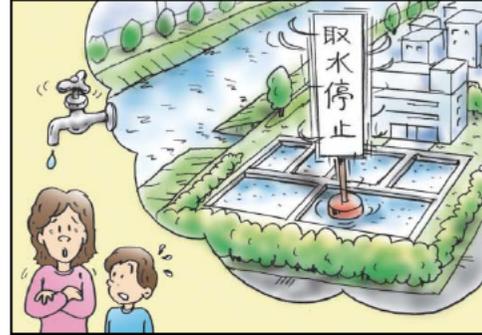
通電不良による踏切や信号の誤作動、車両の運行停止



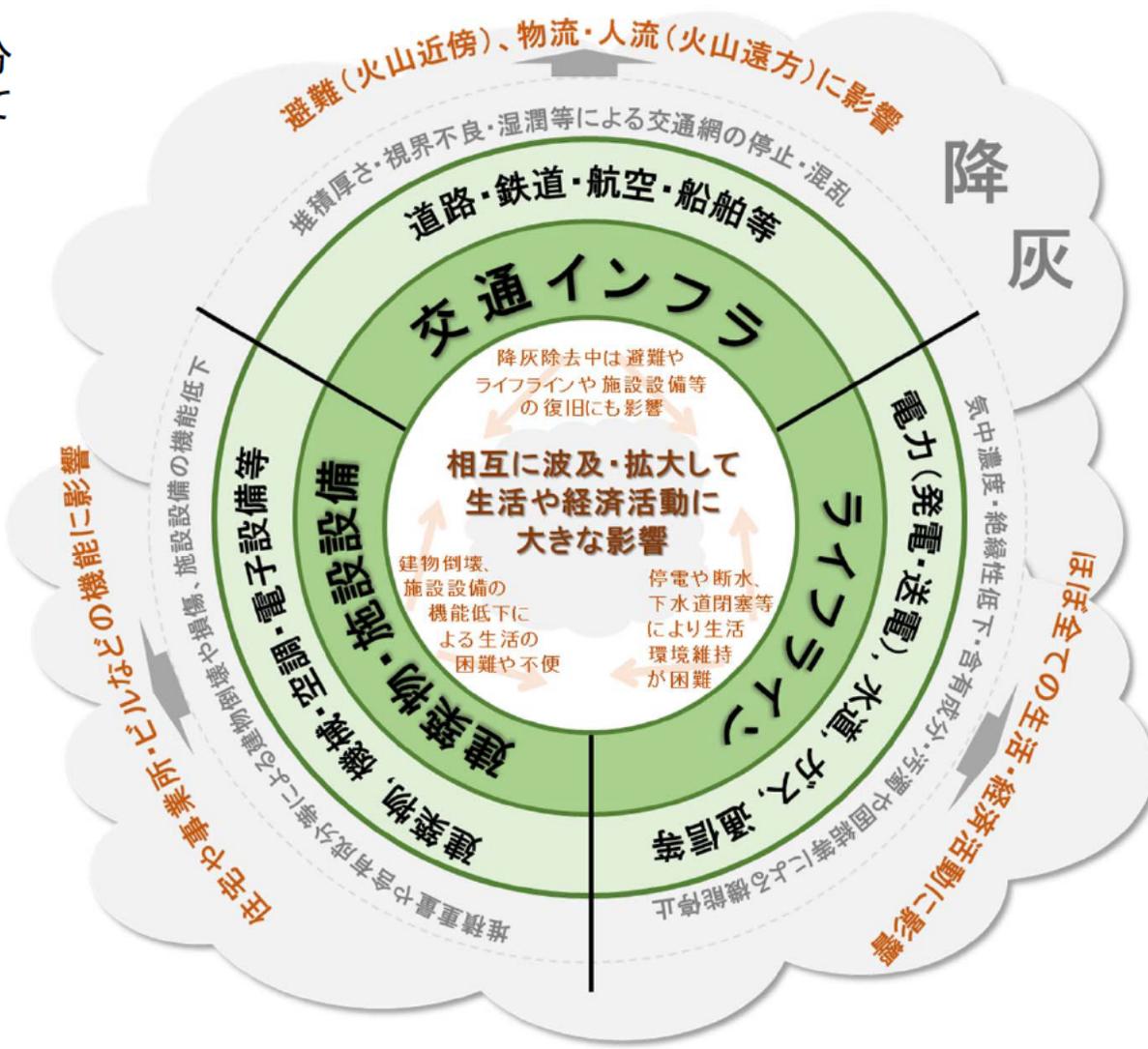
停電防止のため碍子等の清掃（降灰除去）が必要



取水地の水質悪化のため断水が発生



その他様々な分野で影響が発生
(農業、物流、通信、医療、健康被害など)



主要なインフラ等における被害や影響の発生要因や相互関係のイメージ

1. 交通分野

- ① 道路
- ② 鉄道
- ③ 航空
- ④ 船舶

2. ライフライン・建物設備等分野

- ① 電力
- ② 上水道
- ③ 下水道
- ④ 通信
- ⑤ 建物
- ⑥ 設備(空調等)
- ⑦ 家電製品・情報機器
- ⑧ 健康への影響

3. 農林水産分野

- ① 農作物(稲・畑作物・果樹)
- ② 森林
- ③ 畜産
- ④ 水産物

※影響の閾値の設定について

- ・閾値については、最もデータが揃っている、堆積厚を基本に考える。
- ・火山灰の粒径(粗粒/細粒)や湿潤状態(乾燥/湿潤)、施設の設備などにより、影響の発生条件・非発生条件が付加できるものについては、これを追加する。

1. 交通分野

①道路

1. 想定される影響

- ・車線等の視認障害
- ・視界不良
- ・タイヤ接地面の摩擦の低下

} [定量]

2. 過去の噴火における被害事例等

降灰厚さ	発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)		
	降灰(降灰中)	積灰(降灰中～降灰終了後)	人為的な判断による影響
10cm以上	<ul style="list-style-type: none"> ● 30 道路の視界不良(チヤイテン2008) ● 20 道路の視界不良(ハド'ソ'ン1991) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 100 車両走行不能(ラハ'ウル1994) ● 10 車両の走行が完全に不可能(有珠山1977) ● 10 車両がスタック(イトナ2002) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 30 道路閉鎖(イトナ2002) ● 20 道路閉鎖(ハド'ソ'ン1991) ● 10 道路閉鎖(イトナ2002)
5cm前後 10cm	<ul style="list-style-type: none"> ● 5 道路の視界不良(カルフ'コ2015) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 8 路面抵抗の減少(シナ'フ'ン2014) ● 5 乾燥状態で車が走れる限界(有珠山1977) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 7.5 高速道路完全閉鎖5日間、市内の道路は速度制限(セントヘ'レンス'1980) ● 2 小学校通学路へ2cm以上の積灰で臨時休校(新燃岳2011)
1cm前後 2cm ～ 0.3cm	<ul style="list-style-type: none"> ● 2 道路の視界不良(ハド'ソ'ン1991) ● 1.8 道路が灰雨でぬかるみ走行中の車がハンドルをとられ衝突。多量の火山灰が雨で叩きつけられてフロントガラス破損(桜島1979) ● 1.3 最初の48時間はあらゆる種類の交通が麻痺。視界不良。自動車のエンジン故障。(セントヘ'レンス'1980) ● 0.6 視界不良(セントヘ'レンス'1980) 		<ul style="list-style-type: none"> ● 3 道路閉鎖(レベン'ホル2002) ● 1.3 市内交通規制5日間、速度制限。(セントヘ'レンス'1980) ● 0.7-0.8 火口から北西15-20km離れた九州自動車道は、降灰除去のため約1日通行止め(桜島1995) ● 0.6 高速道路の完全閉鎖2日間。(セントヘ'レンス'1980)
1mm前後 0.3cm ～ 0.05cm	<ul style="list-style-type: none"> ● 0.1-0.2 約1-2mmの降灰。一時視界3mでノロノロ運転。対向車が巻き上げる火山灰に視界をさえぎられ4歳児をはね1ヶ月のけが(新潟焼山1974) ● 0.3 道路の視界不良(スパー1992) ● 0.2 視界一時5m(雲仙岳1991) ● 0.2 路面表示見えなくなる(桜島2011、トンガ'リ'ロ2012) ● 0.1 路面表示見えなくなる(ルア'ベ'フ1995-96) ● 0.1 道路の視界不良(新燃岳2011) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 0.2 路面抵抗の減少(イトナ2002) ● 0.1 路面抵抗の減少(桜島2011、ルア'ベ'フ1995-96) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 0.13 市内交通規制5日間。速度制限。定期便の運行見合せ(セントヘ'レンス'1980) ● 高速道路自動車速度規制(NEXCO鹿児島) ● 0.2 県道一時通行止(雲仙岳1991) ● 0.2 道路閉鎖(トンガ'リ'ロ2012) ● 0.1 道路閉鎖(ルア'ベ'フ1995-96)
0.5mm以下			<ul style="list-style-type: none"> ● 0.01-0.02 鹿児島市降灰作業開始(桜島)

【降灰中に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】
 ・ 視界不良による速度低下

【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】
 ・ 路面の摩擦係数の低下による速度低下や走行困難
 ・ 路面の転がり抵抗の増加による走行困難

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】
 ・ 火山礫と比べて細粒な火山灰は走行性が低下する
 ・ 火山灰が湿潤状態になると走行性は大きく低下する

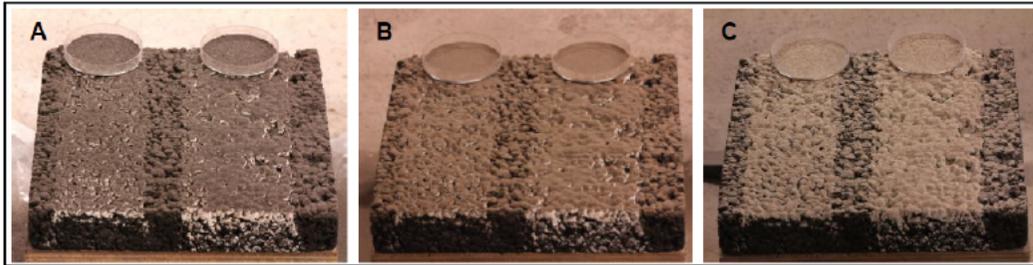
【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】

①道路

3. 影響の条件の考え方

(1) 車線等の視認障害

- Blake (2016) は、玄武岩、安山岩、流紋岩質の3種類の、細粒(〜30-45 μm)、中粒(〜300 μm)、粗粒(〜800 μm)の火山灰を用いて室内実験を行い、路面標示が8%以下(ドライバーから標示が見えにくくなる閾値)となる火山灰の厚さを求め、路面標示が見えにくくなる降灰の厚さは、粒径と火山灰の色により、中粒の玄武岩で0.2-1.0mm、粗粒の玄武岩で1-2.5mmとしている。



A: 玄武岩、B: 安山岩、C: 流紋岩質の火山灰(中粒: 最頻粒径200-260 μm)により、路面標示が8%以下となったときの平均厚さの実験 (Blake et al. 2016a)。

- 約1mmを超える厚さの火山灰で、路面標示が見えにくくなり、運転者に混乱を与える可能性がある(アメリカ地質調査所HPより)。

⇒ 車線等の視認障害により速度低下が発生する区間は1mm以上(ただし、細粒では0.5mm以上)と想定する。

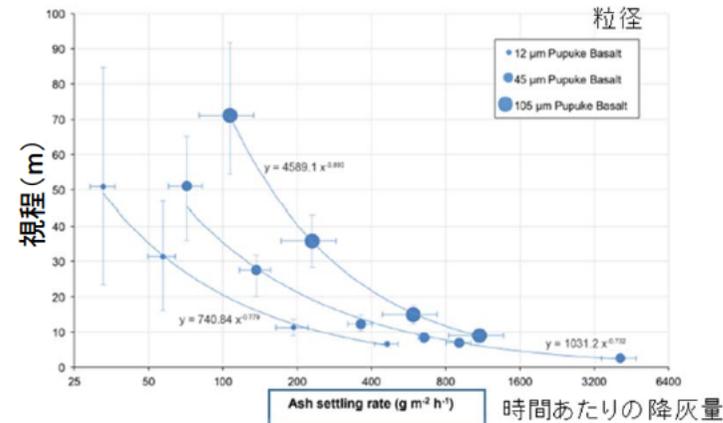
(2) 視界不良の影響

- 大気中の物質による視界不良と走行速度の関係については、吹雪を対象とした研究がなされている。
- 武知・他(2012)は、吹雪による視界の悪化について、ドライバーが感じている道路上の視認性や運転困難度とその影響要因を調査した。その結果として、道路の視認距離が短いほど、運転者が感じる運転の困難度が強くなる相関があることを示し、視認距離に応じた5段階の吹雪視程障害度を示した。
- 武知・他(2015)は、平均視程距離と走行速度を調査し、50m平均視程が100m程度未満で、危険認知速度である20〜30km/hまで平均速度が低下する傾向が見られたとしている。
- 竹内(1980)は、国道230号線の中山峠において、吹雪時の道路の通行状況を調査し、視程が50m以下になると低速運転や渋滞が始まり、視程が30mを下回ると交通は止まる、としている。

⇒ 視程の低下により、通行不能や速度低下が発生する区間は、以下のよう
に想定する。

視程 (視認距離)	車両走行の可能性
〜30m	通行不能 (〜15m) 走行は極めて困難 (15m〜30m) 走行は困難で危険性が非常に高い
30〜60m	走行速度10km/h 走行はかろうじて可能だが危険性が高い
60〜125m	走行速度30km/h 減速、徐行による走行が可能
125m〜	通常の走行が可能

⇒ 降灰と視程の関係は、Blake et al. (2018)が、実験的に求めた、粒径毎の1時間当たりの降灰量と視程の関係を用いる。



Blake et al. (2018)より

- 降灰終了後も、乾燥状態では、車両走行による巻き上げで視界不良が生じることから、道路上の灰が除去されるまでの間は速度低下が継続する。
- 霧島山(新燃岳)の2011年噴火でも、車の通過で繰り返し道路上の火山灰が巻き上げられて、視程の低下が発生(堆積厚不明)。
- セントヘレンズ山の噴火では、1-4cm程度の降灰があった道路で、15-30km/hの速度制限が行われた(アメリカ地質調査所HP)。

⇒ 降灰終了後の視程の低下による速度低下は、堆積厚さ1cm以上で徐行(30km/h)とする。

①道路

3. 影響の条件の考え方(続き)

(3) タイヤ接地面の摩擦の低下

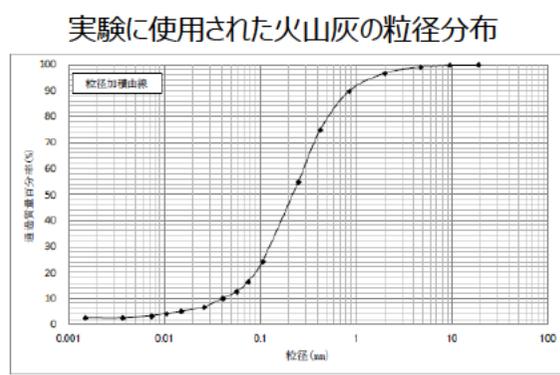
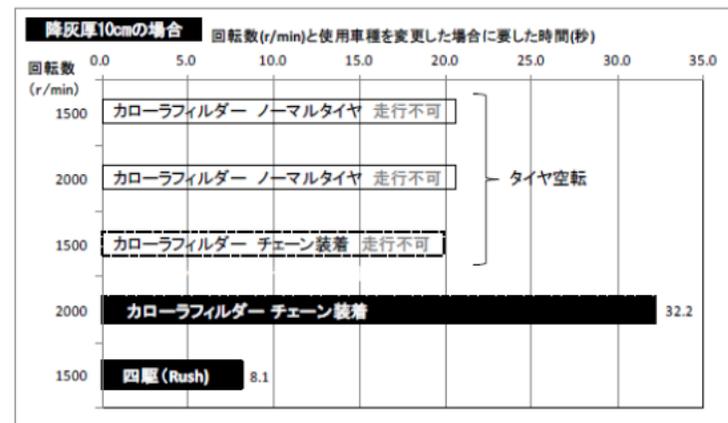
・有珠山の1977年噴火時に、北海道、室蘭土木現業所が調査した走行速度の実測データでは、降灰の厚さが2cm以上でスリップが発生し、10cm以上で走行不能となった。

・山下・他(2015)は、室内実験の結果から、走行抵抗(転がり抵抗係数)は、降灰の厚さが厚くなるほど増加し、降灰の厚さが10cmでは深い泥濘地と同程度となり、走行が困難になるとしている。

降灰の厚さ(cm)	0-1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	7.0	10.0
転がり抵抗係数	0.015	0.02	0.02	0.03	0.03	0.033	0.033	0.1	0.2
同程度の転がり抵抗係数となる路面 ³⁾	アスファルト路面	草の生えた堅固路面						砂地路面	深い泥濘地

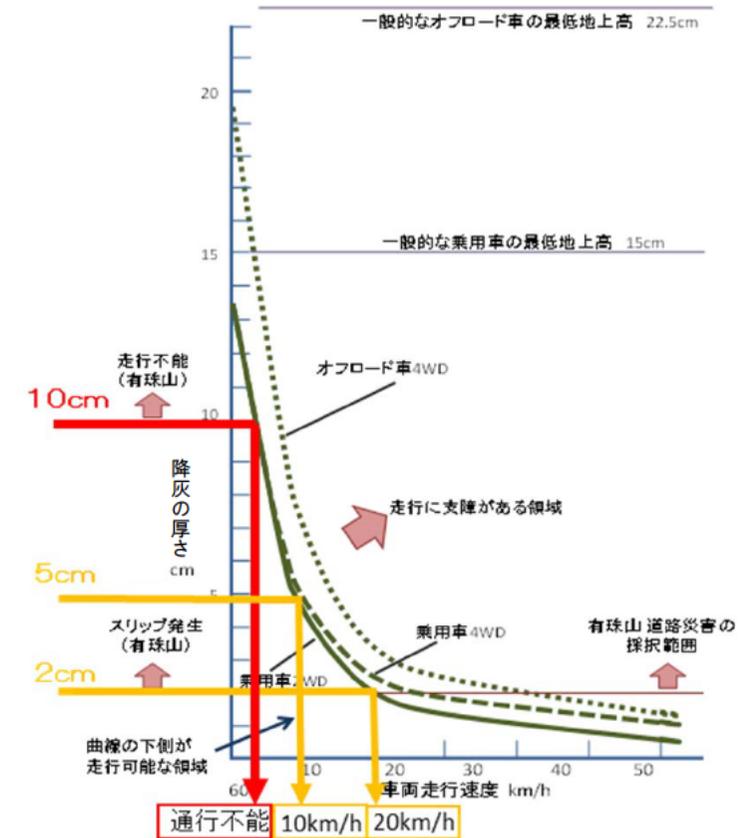
・国土交通省九州地方整備局九州技術事務所及び日本工営(株)が行った桜島における現地実験の、勾配10%の登坂能力(発進性)のデータでは、降灰1cmでは降灰なしとほぼ同じ、降灰5cmでは滑りが認められ、降灰10cmでは、タイヤが空転し、発進できない結果が示されている(上條・他, 2015)。

・この結果から、上條・他(2015)は、「二輪駆動車で調査を行う場合、5cm以上の降灰がある箇所では登坂できない可能性があるため、5cm以上の降灰がある箇所には立ち入らないことが望ましい。そのため、降灰が5cm以上の箇所に立ち入る場合には四輪駆動車を用いることが望ましい」とまとめている。



⇒すべり摩擦係数が低下し走行速度が低下、また、走行抵抗が増加し通行不能となる降灰の厚さとなる範囲は下表のように想定する。

降灰の厚さ	走行速度
10cm以上	通行不能
5cm以上10cm未満	走行速度10km
2cm以上5cm未満	走行速度20km



降灰の厚さと車両走行速度

①道路

3. 影響の条件の考え方(続き)

(4) 湿潤時の条件

<桜島の火山灰を用いた実験> (上條・他, 2015)

- ・一般車(二輪駆動、ワゴンタイプ)により、降灰の厚さ(降灰なし、1cm、3cm)、乾燥・湿潤、速度(20km/h、30km/h)の条件を変えた実験。
- ・降灰の厚さや路面の湿潤状況によって制動距離が変動する。
- ・降灰があると、制動距離が通常よりも1.5~2倍程度大きくなる。
- ・さらに、湿潤状態になると、1.5倍程度大きくなる。

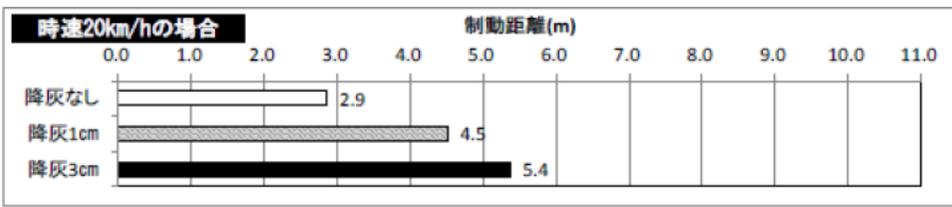


図 4-1 制動距離試験結果 (時速 20 km/h)

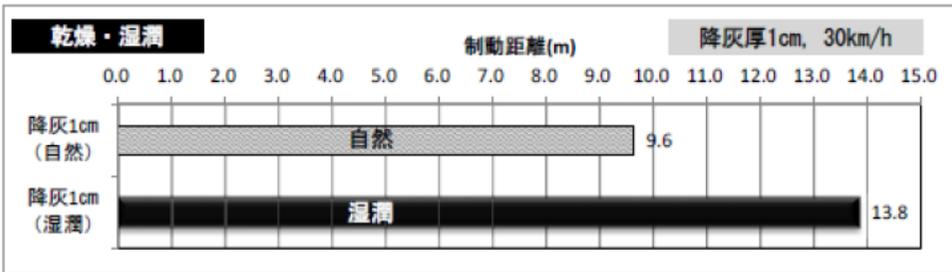


図 4-2 制動距離試験結果 (降灰厚 1 cm 時速 30 km/h)

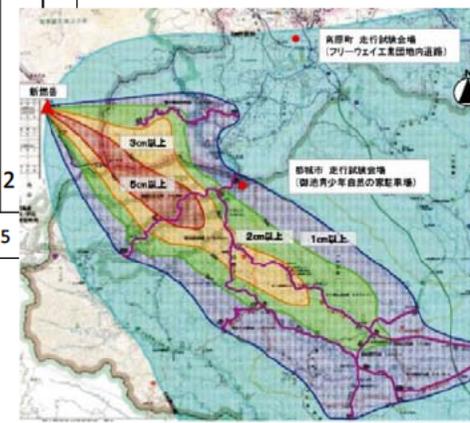
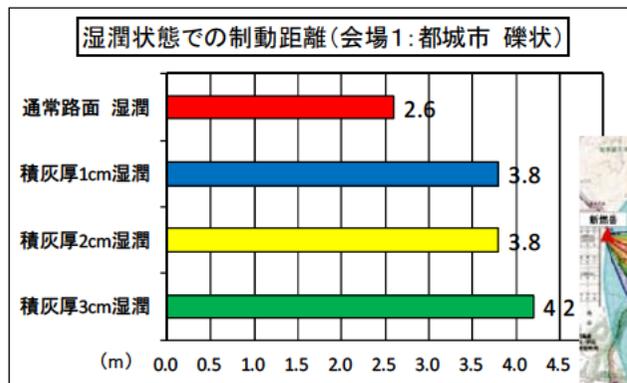
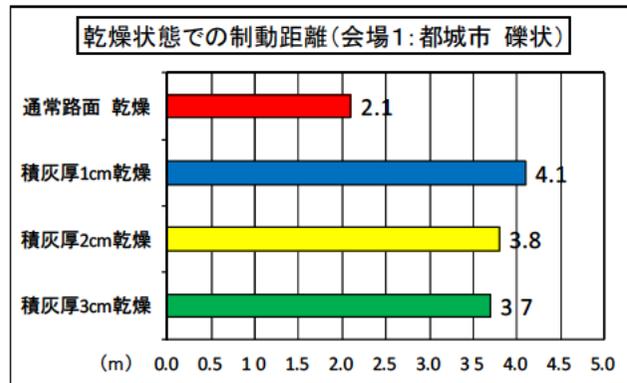
<実際の噴火事例>

- ・有珠山(1977年)、三宅島(2000年)噴火時に、湿潤時には5mm程度の厚さで走行困難となったとの記録がある。

⇒湿潤状態では、5mm以上で最徐行速度(10km/h)まで速度低下、3cm以上で通行不能と仮定する。

<霧島山(新燃岳)の2011年噴火時の火山灰を用いた実験> (前田, 2012)

- ・一般車(普通乗用車)により、降灰の厚さ(降灰なし、1cm、2cm、3cm)、乾燥・湿潤、礫状・パウダー状の条件を変えた実験。走行速度は20km/h。
- ・いずれの場合も、道路構造令に定められた確保すべき制動距離(20km/hで3.6m)を超過。交通に著しい妨げがあることが示された。



降灰分布と実験会場

①道路

4. 想定する影響の条件

○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

(1)車線等の視認障害、視界不良、タイヤ接地面の摩擦の低下による通行支障

・通行不能区間

降灰中	降灰後～除灰終了まで
降灰の厚さ 10cm以上 ただし降雨条件下で3cm以上 視程 30m以下	降灰の厚さ 10cm以上 ただし降雨条件下で3cm以上

・速度低下区間

	降灰中	降灰後～除灰終了まで
走行速度10km/h	降灰の厚さ 5cm以上10cm未満 ただし降雨条件で0.5cm以上 視程 30m～60m	降灰の厚さ 5cm以上10cm未満 ただし降雨条件で0.5cm以上
走行速度20km/h	降灰の厚さ 2cm以上5cm未満	降灰の厚さ 2cm以上5cm未満

(2)その他の定性的な影響

- ・通行不能区間や通行困難区間で、タイヤのスタックや、スリップ事故の発生によって、滞留車両が発生する可能性がある。
- ・交通量の多い道路では、速度低下に伴い渋滞が発生する可能性がある。
- ・自動車のフィルタの目詰まり、オイルの劣化が通常より早まるため、頻繁な交換が必要となる。

○その他の分野の影響

- ・鉄道や航空交通の停止により、自動車による移動の需要が大きく増える可能性がある。

②鉄道

1. 想定される影響

- ・車輪やレールの通電不良による障害
 - ・視界不良
 - ・ポイントの動作不良
 - ・レールの埋没
- } [定量]
- ・信号障害
 - ・電気設備等への影響
 - ・エンジンフィルタの目詰まり(ディーゼル)

2. 過去の噴火における被害事例等

降灰厚さ	発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)		
火山灰の状況	降灰(降灰中)	積灰(降灰中～降灰終了後)	人為的な判断による影響
10cm以上		<ul style="list-style-type: none"> ●16 火山灰で線路側溝約8.8km約30箇所が埋没。火山灰の最大厚さ16cm(有珠山1977) 	
5cm前後 10cm ～ 2cm		<ul style="list-style-type: none"> ●7.5 湿った灰のショートで線路のあらゆる信号が点灯(セントヘルス'1980) ●5 線路の走行抵抗減少(チャイテン2008) ●4 線路の走行抵抗減少(セントヘルス'1980) ●3 線路の走行抵抗減少(新燃岳2011) 	<ul style="list-style-type: none"> ●7.5 鉄道寸断。翌日昼頃に運転再開。時速30マイルに速度制限、20マイルごとに車両点検(速度規制は9日間続いた)(セントヘルス'1980)
1cm前後 2cm ～ 0.3cm	<ul style="list-style-type: none"> ●0.5 列車脱線(スフィエル1902) 	<ul style="list-style-type: none"> ●0.5 線路部の不調(バラスト部不良)(新燃岳2011) 	<ul style="list-style-type: none"> ●0.5-1.0 火山灰が線路に5-10mm積もれば信号が誤作動する可能性があり列車の運行を見合わせる。小雨混じりだとこびりつきやすく一番悪い。JR鹿児島(桜島1987)
1mm前後 0.3cm ～ 0.05cm	<ul style="list-style-type: none"> ●0.1 列車運行の視界不良(セントヘルス'1980) ●0.1 線路の電気系統不調、線路切り替え部の故障(新燃岳2011、セントヘルス'1980) 	<ul style="list-style-type: none"> ●0.1 スタッフの健康懸念(セントヘルス'1980) 	
0.5mm以下	<ul style="list-style-type: none"> ●0.02 火山灰が市電軌道に積もり電車脱線(桜島1980) ●0.02 列車運行の視界不良(新燃岳2011) 	<ul style="list-style-type: none"> ●0.02-0.07 JR運休(レールの降灰による電車の位置情報入手不可のため踏切等の操作不安定、ポイントの動作不良(桜島2012) 	

【降灰中に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

- ・ 視程の低下による運休

【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

- ・ レールと車輪の通電不良による、列車位置の把握不能、踏切の自動開閉の障害
- ・ ポイントの動作不良
- ・ レールの埋没

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】

- ・ 電気設備等への影響
- ・ 脱線

【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】

- ・ ディーゼルエンジンの不調

②鉄道

3. 影響の条件の考え方

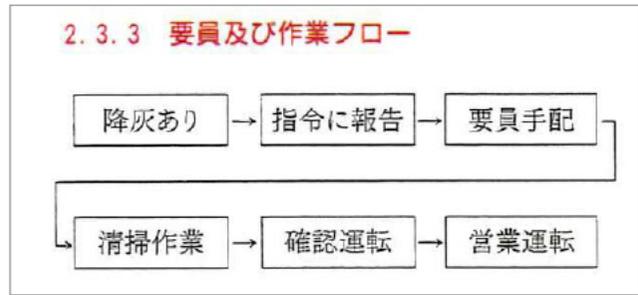
(1) 車輪やレールの通電不良による障害

- ・レールが火山灰で覆われると、レールと車輪の通電不良により、列車位置システムや踏切に障害が発生している(浦越・他, 2015)。
- ・井口(2011)は、新燃岳の2011年の噴火では「レール踏面が灰により完全に隠れてしまうと軌道短絡ができなくなってしまうが、ある程度の灰であれば軌道短絡は可能であった」としており、「レール踏面が隠れるほどの降灰があった場合は現地より指令所に速報し、指令所にて列車の抑止手配を行うこととなっている」としている。

⇒通電不良による障害が発生する範囲を、レール踏面が隠れるほどの降灰量の地域とし、その厚さは道路の路面標示の実験結果(Blake et al. 2016)から0.05cmを設定する。

新燃岳及び桜島の対策例(吉岡, 2015)から、清掃後、異常がないことが確認されるまでの間は運行不能とする。点検に要する時間は地震時の運休時間の推定方法(高浜, 2011)を仮定する。

また、降灰という経験のない状況であることから、微量の降灰の場合であっても、当初は降灰中は運行を停止し、初回の降灰終了後速度を落として走行することを想定する。速度はJR西日本の地震発生後の注意運転の速度(25km/h)を仮定する。



(吉岡, 2015より)

表1 地震時の安全確認点検による運休時間の推定方法

基準値	点検方法	点検所要時間	点検終了から運転再開まで
震度4	注意運転点検 重要箇所点検	30分	5分
震度5弱	徒歩点検	$(6.0 \times L(\text{km}))$ (分) と 30分のうち長い方 (L:点検区間長さ)	5分

(高浜, 2011より)

(2) 視程の低下

- ・一般に、視程が低下し、所定の位置で信号の現示が確認できない場合は、速度低下または運行停止の措置がとられている。

⇒降灰中においても同等と考え、一部の鉄道事業者が適用している値を用いて、視程が50m以下となる範囲で速度低下または運行停止と想定する(視程と降灰速度の関係は道路と同様に想定する)。

(3) ポイントの動作不良

- ・ポイントの動作不良が発生する可能性のある範囲は、桜島の2012年の噴火の事例から、降灰の厚さが0.05cm以上の範囲とする。

(4) レールの埋没

日本で用いられているレールは15cmや17cm程度の高さである。有珠山の噴火では15cm程度以上の降灰の厚さの範囲でほとんどレールが埋もれていたことから、レールが火山灰等で埋没する降灰の厚さとなる範囲は、降灰の厚さが15cm以上の範囲とする。

なお、路面電車や道路との共用区間などは、レールが路面と同じ高さになっており、より少ない状態で埋没する。

○霧島山(新燃岳)2011年の噴火時の運休状況(井口, 2011より)



表-1 降灰の列車運行への影響

月日	線区	区間	運転見合わせ
1月26日	日豊本線	田野～国分	17:15～終日
	日南線	宮崎～志布志	18:05～終日
	吉都線	吉松～都城	17:53～終日
1月27日	日豊本線	田野～国分	終日運転見合わせ
	日南線	宮崎～志布志	終日運転見合わせ
	吉都線	吉松～都城	終日運転見合わせ
1月28日	日豊本線	田野～国分	前日～9:04 以降正常運転
	日南線	宮崎～志布志	前日～9:06 以降正常運転
	吉都線	吉松～都城	始発～21:30
1月30日	吉都線	谷頭駅構内	始発より運転 (12:37～14:08)
1月31日	吉都線	吉松～都城	13:20～終日
2月1日	吉都線	吉松～都城	12:24～終日
2月2日	吉都線	吉松～都城	始発～11:35
2月5日	吉都線	高原駅構内	6:30～10:15

○浅間山の2004年、2009年の噴火時に、降灰が原因の運行休止が行われた記録はない。

②鉄道

4. 想定する影響の条件

○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

(1) 地上の路線の車輪やレールの通電不良、ポイントの動作不良

・運行停止区間

降灰中	降灰後～除灰終了まで
降灰の厚さ 0.05cm以上 (ただし初回の噴火時は微量でも停止)	降灰の厚さ 0.05cm以上

・速度低下区間

降灰中	降灰後～除灰終了まで
微量	微量

※ 本WGの想定では、旅客鉄道、貨物鉄道共通とする。

(2) 視程の低下

・視程50m以下の範囲で視界不良による運行停止または速度低下

(3) その他の定性的な影響

- ・大部分が地下区間にあたる路線においても、地上路線の運行停止による需要量の増加や、車両不足・作業員の不足等により、運行が停止したり、輸送力が低下する可能性がある。
- ・降灰の影響を受ける路線の、降灰の影響のない区間においても、折り返し運転の準備が整うまで運行が停止したり、車両の不足等により輸送力が低下する可能性がある。また、折り返し運転が長期間に及ぶと、必要な車両検査ができず、使用可能な車両が減少して、運転区間の変更及び輸送力が低下する可能性がある。

○他の分野の影響

・停電エリアは運行不能

②鉄道

<霧島山(新燃岳)2011年の噴火時の降灰対応>

- 火山灰の除去は人海戦術に頼らざるを得ず、多数の要員を必要とした(右図:写真-6)。
監視員は始発列車の前に降灰の有無を確認し、降灰を確認したら灰を除去するための要員手配をおこなった(右図-2)(井口, 2011)。
- 火山灰はレールから吹き飛ばされたり、洗い流されたりした。桜島の経験から開発された降灰除去用のカートも使われた(Magil et al., 2015)。

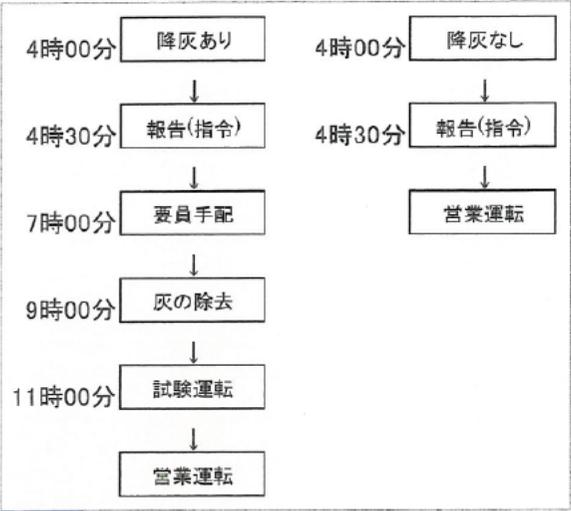


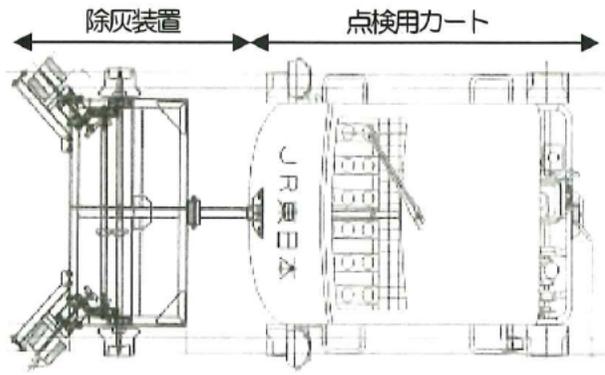
図-2 営業運転までの流れ



写真-6 灰の除去作業

<除灰装置の開発> (東日本旅客鉄道株式会社 東京支社, 2016)

- 装置最前方に取り付けたブラシを回転させることで、レール面上の灰を除去する装置を開発。
- 東京支社管内に22台(在来専用20台・新幹線用2台)を配備。



③航空

1. 想定される影響

- ・滑走路閉鎖
 - ・火山灰が分布する大気中を飛行することによる
航空機のエンジン停止や計器類の故障
 - ・滑走路閉鎖による降灰域外の運航(機体繰り)への影響
- } [定量]

2. 過去の噴火における被害事例等

降灰厚さ	発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)		
火山灰の状況	降灰(降灰中)	積灰(降灰中～降灰終了後)	人為的な判断による影響
10cm以上			<ul style="list-style-type: none"> ● 50 空港使用廃止(ラハウル1994) ● 15 空港閉鎖(ピナツボ1991) ● 13 空港閉鎖(週単位)(アジエ・コルトン・カウジエ2011)
10cm ～ 2cm		<ul style="list-style-type: none"> ● 6 三宅島空港の滑走路も全面厚さ6cmの灰に覆われ完全に機能停止(三宅島1983) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 5 空港閉鎖1日未満(トゥングラワ2010) ● 3 空港閉鎖(トゥングラワ2010)
1cm前後 2cm ～ 0.3cm			<ul style="list-style-type: none"> ● 2 空港閉鎖(アジエ・コルトン・カウジエ2011、セントヘレンス1980) ● 2 空港閉鎖(週単位)(ハカヤ2010、ガムンゲン1982、セントヘレンス1980) ● 0.5 空港閉鎖(コヤマ1991、リダウト1990) ● 0.4 約100km離れた国際空港が火山灰で使用不能、回復に10日間(ピナツボ1991) ● 0.4 空港閉鎖(スパー1992) ● 0.4 空港閉鎖1日未満(レベン外1999)
1mm前後 0.3cm ～ 0.05cm			<ul style="list-style-type: none"> ● 0.5 空港閉鎖(セントヘレンス1980:アメリカ) ● 0.2 空港閉鎖1日未満(グアグアピテンチャ1999:エクアドル) ● 0.1-0.2 2002年空港閉鎖時の火山灰の厚さは1-2mm、7日間閉鎖(レベン外1980) ● 0.1 空港閉鎖(桜島2011、ルアペ1996、カラス1993) ● 0.1 空港閉鎖1日未満(クルー2014、トゥングラワ2014、チャイテン2008、ハドソン1991、ピナツボ1991、三宅島1983、セントヘレンス1980)
0.5mm 以下	<ul style="list-style-type: none"> ● 0.03 滑走路や誘導路のマーキングが見えなくなる(霧島山2011) 		<ul style="list-style-type: none"> ● 微量(4mg/m3)以上は全面飛行禁止(エイヤフイアトラオー外1980) ● 微量 空港閉鎖(週単位)(エトナ2002) ● 微量 空港一時運行見合わせ。(桜島2011、イトナ2006、ルアペ1995-96、ピナツボ1991、セントヘレンス1980)

【降灰中に発生し、降灰の分布範囲の拡がりとともに発現が増える被害】

- ・ 影響を受ける空港数
- ・ 滑走路閉鎖による降灰域外の運航(機体繰り)への影響

【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

- ・ 空港の滑走路等の閉鎖期間
- ・ 滑走路閉鎖による降灰域外の運航(機体繰り)への影響

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】

- ・ 空港の電気設備等への影響

【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】

- ・ 航空機の機体への影響

③航空

3. 想定する影響の条件

○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

(1) 除灰作業等による空港(滑走路等)への影響

- ・鹿児島空港では、滑走路等のマーキングの視認が次第に難しくなる程度(0.2mm~0.4mm)の降灰で離着陸の間隔や航空機の運用について関係者で協議を実施。さらに降灰が増え0.4mm~2mmになると滑走路や誘導路の除灰が検討され、2mm以上になると滑走路等の除灰が必要とされている。
- ・霧島山(新燃岳)の噴火(2011年)では、除灰作業中に滑走路が一時閉鎖され、2018年の噴火では、空港の運用時間外に除灰作業を実施した実績がある。

⇒本WGの想定では、上の事例から、降灰が0.4mm~2mm以上になると、除灰作業等が行われるまでの間滑走路は使用できないと仮定する。

(2) 通過不可となる空域

- ・航空機は、機長等の判断により、火山灰の影響を回避して運航される。

⇒本WGの想定では、降灰中に、大気中に火山灰が存在する空域では、航空機は迂回等の措置をとると仮定する。

富士山周辺は運航量が過密な地域であるため、大幅な迂回が必要となった場合、運行可能な便数が制限される可能性がある。

○他の分野の影響

- ・鉄道や道路等の二次交通の使用ができない場合、ターミナルの状況等により、欠航等の判断がなされる場合がある。

④船舶

1. 想定される影響

- ・視界不良による航行停止 } [定量]
- ・冷却水管の目詰まり
- ・エンジンフィルタの目詰まり
- ・可動部分の摩耗

2. 過去の噴火における被害事例等

降灰厚さ	発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)		
火山灰の状況	降灰(降灰中)	積灰(降灰中～降灰終了後)	人為的な判断による影響
10cm以上		<ul style="list-style-type: none"> ● 10-20 洞爺湖に軽石が大量に浮遊して遊覧船が動けなくなった。(有珠山1977) 	
5cm前後 10cm ～ 2cm	船舶への影響は不明 ○船舶が火山灰の影響を受けた事例は少ない。 ○大気中に浮遊する火山灰により船舶のエンジン吸気系の影響が懸念される。		
1cm前後 2cm ～ 0.3cm			
1mm前後 0.3cm ～ 0.05cm			
0.5mm以下			

【降灰中に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

- ・ 視程の低下による航行停止、航路外待機

【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

- ・ 水面に降下火砕物(軽石等)が浮遊する場合の冷却水管の目詰まり(船体の形状による)

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】

【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】

- ・ エンジンフィルタの目詰まり
- ・ 可動部分の摩耗

参考: 桜島フェリーの運行への影響(鹿児島市、ヒアリング結果)

- ・ 運行基準は、視界、風速や波高などであり、降灰量は含まれない。
- ・ 降灰の影響で視界が悪くなり遅延することがあるが、風により視界が晴れるため遅延は10分程度で済むことが多い。
- ・ 火山灰によって欠航した事は無い。

④船舶

3. 想定する影響の条件

○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

(1) 視界不良による運行不能となる海域

・海上交通安全法の規定に基づき、船舶の危険防止のため、特定の航路における航路外待機の指示が行われることがある。

浦賀水道航路又は中ノ瀬航路における、視界低下時の航路外待機の指示の基準と対象船舶は次のとおり。

- 視程が2,000m以下の場合：巨大船、特別危険物積載船、長大物件えい航船等

- 視程が1,000m以下の場合：長さ160m以上の船舶、総トン数1万トン以上の危険物積載船等

⇒ 降灰中、東京湾内における航行は視程低下時の基準により、航行しないものと仮定する。

海上においては、降灰終了後の火山灰の再移動による視界不良は想定しない。

(2) 冷却水管の目詰まり

・多孔質の火山灰が海面に浮遊している場合に船舶へのダメージが想定される。

⇒ 本WGの想定では、軽石が噴出した降灰の初期段階(Ho-I)で、降灰のある海域では、船舶は迂回・航路外

待機等の措置をとると仮定する。

○他の分野の影響

・停電エリアの港湾では、電力で稼働する荷役機械使用不可(入港出港は可能)

- アメリカ地質調査所USGSホームページ, Volcanic Ash Impacts & Mitigation Roads & Highways
(https://volcanoes.usgs.gov/volcanic_ash/vehicles.html).
- Daniel Blake(2016)Impacts of volcanic ash on surface transportation networks: considerations for Auckland City, New Zealand.
- Daniel Blake,Thomas Wilson,Natalia Deligne,Jan Lindsay,Jim Cole(2016)IMPACTS OF VOLCANIC ASH ON ROAD TRANSPORTATION:
CONSIDERATIONS FOR RESILIENCE IN CENTRAL AUCKLAND.
- Daniel M. Blake,Thomas M. Wilson,Carol Stewart(2108)Visibility I airborne volcanic ash: considerations for surface transportation using a laboratory-
based method.Nat Hazards, 92, 381-413.
- Christina Magill, Kazutaka Mannen, Laura Connor, Costanza Bonadonna, Charles Connor(2015)Simulating a multi-phase tephra fall event: inversion
modelling for the 1707 Hiei eruption of Mount Fuji, Japan, Bulletin of Volcanology, 77, 81.
- 東日本旅客鉄道株式会社ホームページ, 富士山噴火を想定した除灰装置の開発について
(https://www.jreast.co.jp/press/2015/tokyo/20160216_t03.pdf)
- 井口智裕(2011)新燃岳噴火の鉄道電気設備への影響とその対応,鉄道と電気技術, 22, 9, 33-37.
- 上條孝徳, 坂井佑介, 小林豊, 田方智, 木佐洋志(2015)火山灰上の車両走行性能に関する現地実験,砂防学会研究発表会概要集, 2015B, 428-429.
- 熊谷良雄, 須藤茂(2004)大都市における火山灰災害の影響予測評価に関する研究, 平成15年度運輸分野における基礎的研究推進制度研究成果報告書(平成15年度).
- 前田秀高(2012)新燃岳降灰除去に係る道路災害復旧事業, 一般社団法人九州地方計画協会(https://k-keikaku.or.jp/xc/modules/pc_ktech/index.php?content_id=1979).
- 須藤茂(2004)降下火山灰災害-新聞報道資料から得られる情報,地質ニュース,604, 41-65.
- 都城市土木部維持管理課(2012)新燃岳噴火に伴う道路降灰除去の取組み, 道路行政セミナー, 2012, 5, 1-5.
- 高浜勉, 翠川三郎(2011)地震時の鉄道運休時間の推定方法, 日本地震工学会論文集, 11, 2, 40-54.
- 武知洋太, 松澤勝, 中村浩, 金子学, 川中敏朗(2012)冬期道路の吹雪時における視程障害度の評価に関する研究,寒地土木研究所月報, 706, 20-29.
- 武知洋太, 松澤勝, 伊東靖彦, 金子学, 國分徹哉(2015)運転の危険性を考慮した冬期道路の吹雪視程障害評価と沿線環境による吹雪視程障害への影響, 土木学会論文集D3(土木計画学) 71, 5, 土木計画学研究・論文集第32巻, I_1035-I_1046.
- 竹内政夫(1980)吹雪時の視程に関する研究,土木試験所報告, 74, 1-31.
- 玉置哲也, 多々納裕一(2014)降下火山灰による道路機能障害評価とその復旧順序決定手法の提案,自然災害科学, 33特別号, 165-175.
- 浦越 拓野, 西金佑一郎, 川越健(2015)国内の火山活動における鉄道の被災及び対策事例,鉄道総合技術論文誌, 29, 1, 47-53.
- 山下祐樹, 山川淳也, 江藤亮輔(2015)降下火山灰が車両走行に与える影響について,交通・物流部門大会講演論文集, 1403.
- 吉岡純司(2015)火山噴火への対応, 運輸協会誌, 2015年12月号, 9-11.

2. ライフライン・建物設備等分野

①電力

1. 想定される影響

- ①送配電網(変電所含む)への影響
 - I. 碍子の絶縁低下による影響 [定量]
 - II. 送配電線の切断による影響 [定性]
 - ②発電所への影響
 - I. タービン等の摩耗等による影響
 - II. 吸気系の機能低下による影響
 - III. 太陽光パネルへの堆積による影響
 - ③分電盤等の設備または電源ケーブル等への影響
- } [定性]

2. 過去の噴火における被害事例等

①送配電網(変電所含む)への影響

降灰厚さ	発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)		
	降灰(降灰中)	積灰(降灰中～降灰終了後)	人為的な判断による影響
10cm以上	●14 電線のフラッシュオーバー(ブジエウ・コルトン・カウジエ2011)	●90 樹木や家屋の倒壊により電線の断線(ラハウ&1994)	●30 変電所の除灰(ハカヤ2010)
5cm前後 10cm ～ 2cm	●3.4 変電所でフラッシュオーバー、発電機(ディーゼル)が遮断(ブジエウ・コルトン・カウジエ2011) ●3 変電所でのフラッシュオーバー(ハカヤ2010) ●4.3 電線のフラッシュオーバー(ハカヤ2010) ●3.4 電線のフラッシュオーバー(ブジエウ・コルトン・カウジエ2011) ●3 電線のフラッシュオーバー(ハカヤ2010、チャイテン2008、ルアヘ71995-96) ●2.8 電線のフラッシュオーバー(チャイテン2008)		●8-7 送配電系統の除灰(新燃岳2011) ●7 変電所の除灰(新燃岳2011) ●5 一部施設の送電停止(ルアヘ71995-96) ●3.3 送配電系統の除灰(チャイテン2008) ●2.7 変電所の除灰(チャイテン2008) ●2 一部施設の送電停止(チャイテン2008)
1cm前後 2cm ～ 0.3cm	●2 変電所でのフラッシュオーバー(ハカヤ2010) ●1.8-2 泥灰が電柱碍子に粘着し、島内1600戸が6時間停電(板島1979) ●1.3 5つのトランスが故障し、2本の電柱が火災を起こした。停電は発生したが短時間(セントヘンズ1980) ●1.2～0.6 電線のフラッシュオーバー(セントヘンズ1980) ●0.9 電線の断線(セントヘンズ1980) ●0.6 変電設備への火山礫混入(セントヘンズ1980) ●0.6 雨交じりの降灰で碍子発火、停電(ウグチ1989) ●0.3 溜った火山灰の付着により碍子が発火して停電(ルアヘ71995-96) ●0.3程度 平成28年(2016)の爆発的な噴火で阿蘇市を中心に多量の降灰があり、一時約27,000戸が停電した(阿蘇山2016)		●1.3 碍子やワイヤーの灰を取り除き、電柱をたたき、できるだけ多くの灰を払い落とすことと、圧縮空気を吹き付けて残りの灰を取り除いた。(セントヘンズ1980) ●0.6 変電所で変圧器の碍子やスイッチパネルに積もった灰を除去する際の送電停止による停電。(セントヘンズ1980) ●0.6 変電所の除灰(ウグチ1989-90) ●0.5 一部施設の送電停止(ルアヘ71995-96) ●0.3 変電所の除灰(ルアヘ71995-96)
1mm前後 0.3cm ～ 0.05cm	●0.1 平成2年(1990)の爆発的な噴火で一の宮町を中心に多量の降灰があり、約3700戸が停電した。溜った火山灰が柱上トランスなどに付着してショートしたため。停電の原因発生地域は、火山灰が約1mmの厚さに堆積した地域と一致(阿蘇山1990)		●0.2-0.1 送配電系統の除灰(トングラフ1999-2010)
0.5mm以下			

②発電所への影響

降灰厚さ	発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)		
	降灰(降灰中)	積灰(降灰中～降灰終了後)	人為的な判断による影響
10cm以上			●30 一部施設の発電停止、発電所の除灰(ハカヤ2010)
5cm前後 10cm ～ 2cm	●3.4 発電機(ディーゼル)の空気取り入れが目詰まり(ブジエウ・コルトン・カウジエ2011)		●8 一部施設の送電停止(新燃岳2011) ●7.5 機械に積もった灰を取り除くため、ワシントン水力発電の顧客200軒への電力供給が6～8時間停電(セントヘンズ1980) ●2.7 発電所の除灰(チャイテン2008)
1cm前後 2cm ～ 0.3cm	●1.3 発電所でのフラッシュオーバー(チャイテン2008) ●1 一部施設の発電停止(トングラフ1999-2010) ●0.8 一部施設の発電停止(新燃岳2011)		●1 一部施設の発電停止(トングラフ1999-2010) ●0.8 一部施設の発電停止(新燃岳2011) ●0.6 発電所の除灰(新燃岳2011) ●0.6 発電所に影響なし(ウグチ1989-90) ●0.53 発電所の除灰(新燃岳2011) ●0.5 一部施設の発電停止(ルアヘ71995)
1mm前後 0.3cm ～ 0.05cm			
0.5mm以下			

※ 日本においては降灰時に大規模な供給支障を引き起こした例はない(経済産業省調べ)。

【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さとともに発現が増える被害】

- ・碍子の絶縁低下による停電の発生
- ・送配電線の切断による影響
- ・太陽光発電の発電量低下による影響

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】

- ・乾燥した火山灰は絶縁性が高いため漏電等が発生しにくい。
- ・火山礫では粒径が大きく電線等に付着しないため発生しにくい。

【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】

- ・分電盤等の設備または電源ケーブル等への影響
- ・水力発電所のタービン等の摩耗等による影響
- ・火力発電所の吸気系の機能低下による影響

①電力

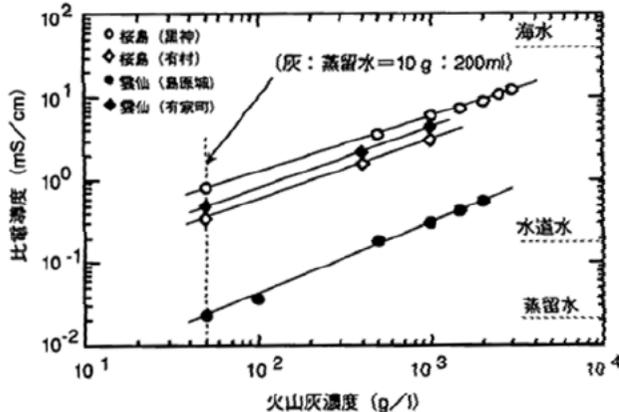
3. 影響の条件の考え方

(1) 碍子の絶縁低下による影響

Wilson et al.(2012)は、碍子の絶縁性の低下の発生に関し、送配電網の電圧、火山灰等の粒径と降灰の厚さ、湿潤状態について影響度を調査した。その結果、碍子の絶縁性の低下は湿潤状態でのみ発生し、0.0063cm未満の細粒火山灰では降灰の厚さによらず影響が大きい一方、0.0063cm以上の粗粒火山灰では降灰の厚さが0.5cm以上になると被害の発生は高まるが細粒火山灰よりは低い、としている。

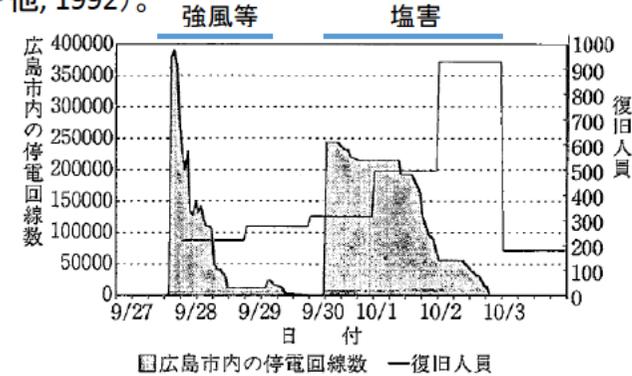
Risk factors	Ash moisture content	Probability of failure			
		Ash thickness < 5 mm		Ash thickness > 5 mm	
		Fine ash	Coarse ash	Fine ash	Coarse ash
<33 kV (domestic)	Wet	High	Low	High	Medium
	Dry	Low	Low	Low	Low
>33 kV (regional-national)	Wet	Medium	Low	High	Medium
	Dry	Low	Low	Low	Low

- 電気設備自然災害等対策ワーキンググループ中間報告書(2014)では、17万V以上の基幹送変電設備について、著しい供給支障には至らないとしている。
- Wardman et al.(2012)は、碍子への火山灰等の付着については、碍子の形状や設置形態に依存するが、粒径が2mm以上の火山礫は付着しにくい、としている。
- 土志田・他(2015)は、碍子の個数を増やし絶縁経路を延ばす等の耐塩対策を施した箇所では、碍子の絶縁性の低下は発生しにくい、としている。
- 川畑・他(1995)の、火山灰を入れた蒸留水の比電導度の測定によると、火山灰の量が増える、もしくは、水分量が少ないと、比電導度は上昇している。この結果から、碍子の絶縁性の低下は、霧雨等の弱い雨の時に発生しやすい、と述べている。
- 阿蘇山の2016年の噴火では、0.3cm程度の降灰で停電が発生している。



火山灰濃度と比電導度の関係 (川畑・他, 1995)

- 1991年に広島地域で発生した塩害による大規模停電では、台風19号により塩分がもたらされた広島市内において62%(約24万戸)で停電が発生している(目黒・他, 1992)。



目黒・他(1992)に内閣府加筆

図3 広島営業所管内の停電戸数と復旧人員の時間変化 (中国電力提供の資料より)

- ⇒降灰の厚さが0.3cm以上の範囲で、湿った火山灰が、配電線の碍子に付着して絶縁性能が低下し、碍子で閃絡が発生して配電が止まり、停電が発生すると想定する。
- ⇒乾湿と粒径、施設の設備により以下の条件を付加する。
【必要要件: 降雨】
【除外要件: 粒径が火山礫の範囲、耐塩対策済みの地域、地下・屋内設備】

(2) 送配電線の切断による影響

- 送配電線の切断は、周囲の樹木等の倒壊により発生している。
- 有珠山1977年噴火では、降灰の厚さが10cm程度以上で激しい樹木の倒伏や折損が発生した。
- 粒径が大きい礫については樹木へ付着しにくいため、倒木は発生しないと考えられる。
- ⇒倒木が発生しやすくなる降灰の厚さが10cm以上の範囲では、降雨時に倒木によって送配電線が切断され、停電が発生する可能性がある。
【必要要件: 降雨】
【除外要件: 粒径が火山礫の範囲】

①電力

3. 影響の条件の考え方（続き）

(3) 発電所への影響

①タービン等の摩耗等による影響

・1995年～1996年のニュージーランド・ルアペフ山の噴火では、ワイカト川に火山灰が流入し、ランギポ水力発電所では、噴火から7ヶ月後の定期点検において、タービン羽根が約15年以上を経過した使用状態と同じ程度の摩耗が発生した（Wilson et al., 2012）。また、1999年からのエクアドル・ツングラハの噴火でもアゴヤン水力発電所のタービン羽根の摩耗が発生した。これらの水力発電所では、噴火中に発電の停止は発生していないが、点検後にタービン羽根を交換することになった。

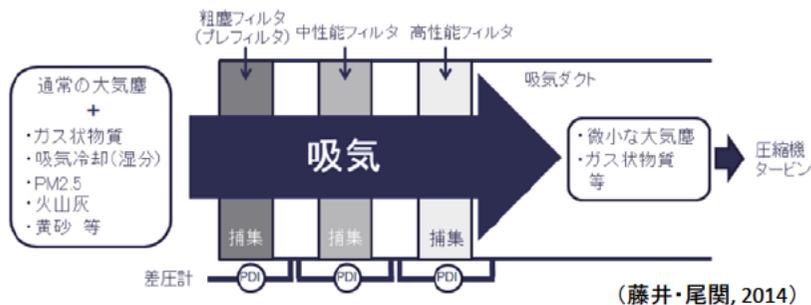
⇒水力発電所のタービン羽根が火山灰の影響で摩耗し、タービン羽根の交換頻度が増える可能性がある。

②吸気系の機能低下による影響

・火力発電所では、大気塵等が圧縮機タービンに到達しないよう、吸気フィルターを通してている。
 ・大量の火山灰により、通常のフィルター交換頻度より早く、フィルターの交換が必要となる可能性がある。
 ・電気設備自然災害等対策ワーキンググループ中間報告書(2014)によると、降灰厚2cm程度の箇所では約10日毎(平均)に取替が必要と想定されている(フィルターの取り替えには、数日程度/ユニット)。また、フィルターの延命化のための発電出力の抑制または停止措置等による影響例として、2～3割程度の供給力低下が想定されている。

⇒吸気フィルターの延命化・交換頻度の増により、供給力が低下する可能性がある。降灰厚が6cmを超える地域では、フィルターの交換頻度増によりほとんど稼働できない可能性がある。

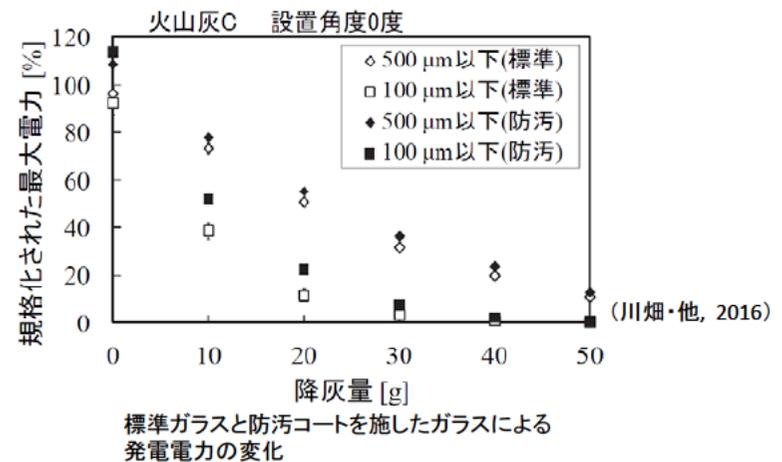
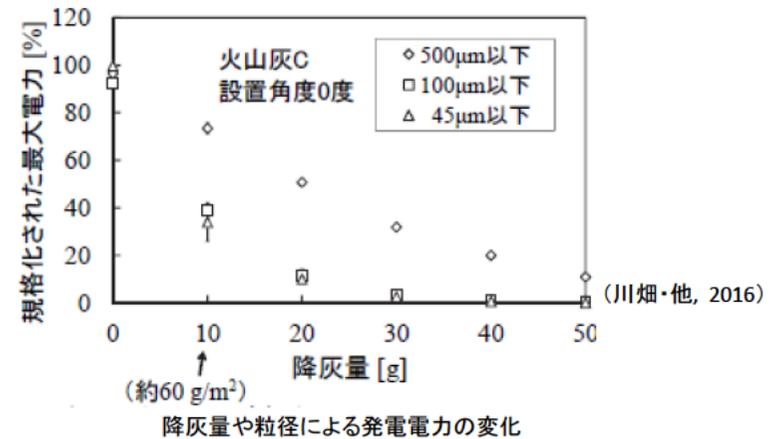
【除外要件: 粒径が火山礫の範囲】



③太陽光発電パネルへの堆積による発電量の減少

・川畑・他(2016)は、火山灰による太陽電池モジュールの発電量低下特性について、降灰量と発電量低下の関係等の実験を実施。その結果、降灰量が50g/m²(降灰の厚さが概ね0.005cm)で発電電力が半減し、300g/m²(降灰の厚さが概ね0.03cm)で発電量がほぼゼロとなった。また、単位面積あたりの降灰量が同じでも、火山灰の粒径が小さくなると発電電力の低下率が大きくなる。

⇒降灰の厚さが0.03cm以上の範囲では、太陽光発電量がゼロとなると想定。
 【除外要件: 太陽光発電パネルの角度を30°以上としている設備】



①電力

4. 想定する影響の条件

○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

(1) 碍子の閃絡、倒木による送電線の切断による停電の可能性

(碍子の絶縁性低下(配電設備))

降雨条件下で、降灰の厚さ0.3cm以上の地域

【除外要件: 火山灰の粒径2mm以上。塩害対策が実施されている地域※、
地下・屋内の設備】

碍子の清掃を行うまでの間、継続

(倒木による送電線の切断) [定性]

降雨条件下で、降灰の厚さ10cm以上の地域で発生の可能性

【除外要件: 火山灰の粒径2mm以上】

倒木の除去・切断された送電線の復旧を行うまでの間、継続

(2) 発電量が低下する発電所[定性]

水力発電: 水力発電所のタービン羽根が火山灰の影響で摩耗し、タービン羽根の交換頻度が増える可能性がある。

火力発電: 吸気フィルターの延命化・交換頻度の増により、供給力が低下する可能性がある。降灰厚が6cmを超える地域では、フィルターの交換頻度増によりほとんど稼働できない可能性がある。

【除外要件: 中央粒径が火山礫の範囲】

太陽光発電: 降灰の厚さが0.03cm以上の範囲では、太陽光発電量がゼロとなると想定。

【除外要件: 太陽光発電パネルの角度を30°以上としている設備】

(さらに厳しい影響)

・降灰により長期間海上輸送が困難となり、火力発電所の燃料が枯渇した場合、発電施設の順次停止につながる可能性がある。

・火力発電所の停止等により供給力が低下し、デマンドレスポンスによる需要の抑制、エリア間の電力融通等の対応を行っても必要な供給力を確保しきれない場合には停電に至る可能性がある。

(3) その他の定性的な影響

・ディーゼル式の非常用発電設備は、水冷ユニットや吸気フィルターのメンテナンスの増により出力が低下する可能性がある。

・ガスタービン式の非常用発電設備は、吸気フィルタが設置されていない場合、火山灰の混入により不具合を生じる可能性がある。

○他の分野の影響

・空調設備の機能支障が発生することにより、機器が正常に動作ができなくなる可能性がある。

・道路が通行不能の間、碍子の清掃等の復旧作業が長時間に及ぶ。

※ 沿岸から1~4kmの地域では、配電設備に対して塩害対策が実施されていると仮定する。

<配電設備の耐塩対策の地域区分>

「耐塩対策を特に実施していない「一般地域(地区)」は、大半の電力がESDD0.06mg/cm²以下としており、海岸からの距離で1~4km超過する地域を設定している。耐塩対策を実施する「塩害地域」は、汀線からの距離を基本として過去の被害も勘案して、「重塩害、強塩害」、「軽塩害、弱塩害」に分類している電力会社が多いが、1社を除き、ESDDは0.35mg/cm²以下としている」(電気協同研究会, 2013)。

*ESDD: 等価塩分付着密度(mg/cm²)

②上水道

1. 想定される影響

- ・濁度の増加
 - ・ろ過池の機能低下
- } [定量]
- ・化学成分による水質の悪化
 - ・機器等への影響
 - ・水需要の増加による水不足

2. 過去の噴火における被害事例等

降灰厚さ	発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)		
火山灰の状況	降灰(降灰中)	積灰(降灰中～降灰終了後)	人為的な判断による影響
10cm以上	<ul style="list-style-type: none"> ●10 上水道被害(水質悪化)(ヘラ1947) 	<ul style="list-style-type: none"> ●14 上水道被害(フィルター閉塞、摩耗)(ブジェウエ・コルトン・カウジエ2011) 	
5cm前後 10cm ～ 2cm	<ul style="list-style-type: none"> ●5 上水道被害(水質悪化、給水被害)(チャイテン2008) ●5 上水道被害(濁度増加)(セントヘレンス'1980) ●4 上水道被害(濁度増加)(ハト'ン1991) ●3 上水道被害(濁度増加)(ハカヤ2010) ●3 上水道被害(水質悪化)(チャイテン2008) 	<ul style="list-style-type: none"> ●7.5 上水道被害(水路満水)(ハト'ン1991) ●5 上水道被害(摩耗)。(ハト'ン1991) ●4 上水道被害(フィルター閉塞、摩耗)(ブジェウエ・コルトン・カウジエ2011) ●4 カピアウエ湖周辺に3～5cmの降灰が生じ、湖のpHが2.1まで低下(コハウエ2000) ●3 上水道被害(タンク内に灰が堆積、摩耗)(ハカヤ2010) ●3 上水道被害(摩耗)(チャイテン2008) 	
1cm前後 2cm ～ 0.3cm	<ul style="list-style-type: none"> ●0.6 上水道の水質低下(pH減少)(セントヘレンス'1980) ●0.6 上水道被害(水質悪化)(ルアヘ'1996) ●0.3 上水道被害(濁度増加、水質悪化)(スパ-1992) 	<ul style="list-style-type: none"> ●1 上水道浄水場に約1センチの降灰。火山灰がろ過用の砂に付着し目詰まり、ろ過ができなくなった。全戸2,000戸の給水がストップした。急速ろ過装置でなく、旧式の砂でろ過する緩速ろ過装置のため、微粒子状の火山灰で目詰まりを起こした。(有珠山1978) 	<ul style="list-style-type: none"> ●0.9 5集落の簡易水道が降灰の濁水により断水し74戸が影響。11/3頃より取水再開、長野県による降灰調査では 鹿の瀬川上流(火口から6.5km)で9mmの降灰が確認。(御嶽山1979) ●0.4 上水道被害(給水減少)(セントヘレンス'1980) ●0.3 上水道被害(給水停止)(スパ-1992)
1mm前後 0.3cm ～ 0.05cm	<ul style="list-style-type: none"> ●0.2 上水道被害(濁度増加)(トナリロ2012、セントヘレンス'1980) ●0.1 上水道被害(水質悪化)(ヘラ1947、ルアヘ'1996) 		<ul style="list-style-type: none"> ●0.2 上水道被害(給水停止)(トナリロ2012)
0.5mm以下			

【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

- ・ろ過材の目詰まり
- ・濁度の上昇

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】

- ・化学成分による水質の悪化

【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】

- ・機器等への影響

②上水道

3. 影響の条件の考え方

(1) 濁度の増加による浄水場の機能停止

- ・ 浄水施設では、一般に、取水点の原水濁度が管理基準を超えると取水が停止される。
- ・ 急速ろ過方式は、原水中の有機物の多寡や施設状況にもよるが、濁度500～1,000度を超える原水濁度にも対応できる処理方法とされている(水道技術研究センター, 2014)。緩速ろ過式は濁度が低く安定している(濁度10度以下)場合に採用されるとされている。
- ・ トンガリロ(2012)、セントヘレンズ(1980)の事例では2mm程度の降灰の厚さで濁度が上昇。スパー(1992)の事例では、約3mmの降灰があった市で濁度が0.5-0.6NTUから噴火の翌朝に45NTUまで急激に上昇、予防的に約30時間プラントが停止された(Wilson et al., 2012)。
- ・ 御嶽山(2014)の噴火後、集水域に降灰域を含む木曾川水系の牧尾ダムでは約2か月間にわたって数千度の高濁度水となっていた(小野島ほか, 2016)。水道用水の取水を行う下流の落合取水口の濁度は、台風の降雨後に最大約250度に上昇した(中部地方整備局, 2014)。
- ・ 一時的に取水を停止しても、配水池の貯水量で賄える間は給水が行われる。また、1つの浄水場が機能停止しても、近隣の浄水場からのバックアップが可能な場合には給水がされる。

⇒ 緩速ろ過方式の浄水場では、濁度の上昇がみられる降灰の厚さ2mm以上のエリアにある浄水場で、降灰が終了するまで、浄水場の機能が停止すると想定する。

また、降灰終了後も、降雨後には、濁度の上昇の影響を受ける可能性がある。
【除外要件】地下水から取水しており、覆蓋等により浄水過程に直接降灰のない浄水場

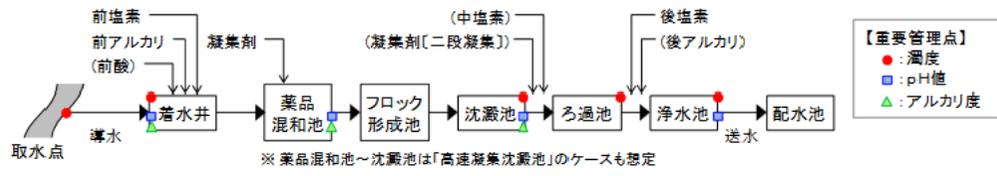


図1 想定した浄水フロー (水道技術研究センター, 2014)

(2) ろ過池の機能低下による浄水場の機能停止

- ・ 有珠山(1978年)では、約1cmの降灰があった上水道浄水場で、細かい火山灰が緩速ろ過装置のろ過用の砂に付着して目詰り状態になり、ろ過ができなくなった。この影響で給水地区の全戸(約2,000戸)の給水がストップした。
 - ・ 鹿児島市では、ろ過池に覆蓋を設置後、供給停止等の影響は生じていない。また、水道設備指針でも、火山灰対策として覆蓋の設置が推奨されている。
- ⇒ 緩速ろ過方式の浄水場は、事例から降灰の厚さ1cm以上の範囲にあるものが機能しないと仮定する。

【除外要件】覆蓋等により浄水過程に直接降灰のない浄水場

(3) 水質の悪化 [定性]

- ・ 火山灰に付着している火山ガスにより、大量の火山灰が原水に混ざると、pHの低下やFeやMnなどの重金属元素の溶出等により、水質が悪化する可能性がある。
- ・ コルドン・カウジェ(2011)の事例では、アルゼンチンの約150～200mmの降灰があったAngosturaの町の調査で、pHの6.1への低下と、Ca、K、MgおよびSiのわずかな増加があったのみであった(アメリカ地質調査所HP)。チャイテン(2008)の噴火やスパー(1992)の噴火の際には、火山灰が混入した原水のpHは変化なかった(Wilson et al., 2012)。

⇒ 原水の水質が悪化し、上水が飲用に適さなくなる可能性がある。

浄水方法別の浄水量の推移(上水道+用水供給事業)



(日本水道協会ホームページ, 日本の水道の現状)

②上水道

4. 想定する影響の条件

○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

(1) 供給停止が発生する浄水場

(濁度の上昇)

緩速ろ過方式の浄水場では、濁度の上昇がみられる降灰の厚さ2mm以上のエリアにある浄水場で、降灰が終了するまで、浄水場の機能が停止すると想定する。

【除外要件】地下水から取水しており、覆蓋等により浄水過程に直接降灰のない浄水場

また、降灰終了後も、降雨後には、濁度の上昇の影響を受ける可能性がある[定性]。

(ろ過地の機能低下)

緩速ろ過方式の浄水場は、降灰の厚さ1cm以上の範囲にあるものが機能しないと仮定する。

【除外要件】覆蓋等により浄水過程に直接降灰のない浄水場

(2) 水質の悪化 [定性]

・大量の火山灰が原水に混ざると、pHの低下や、鉄やマンガンなどの重金属元素の溶出等により、原水の水質が悪化し、飲用に適さなくなる可能性がある。

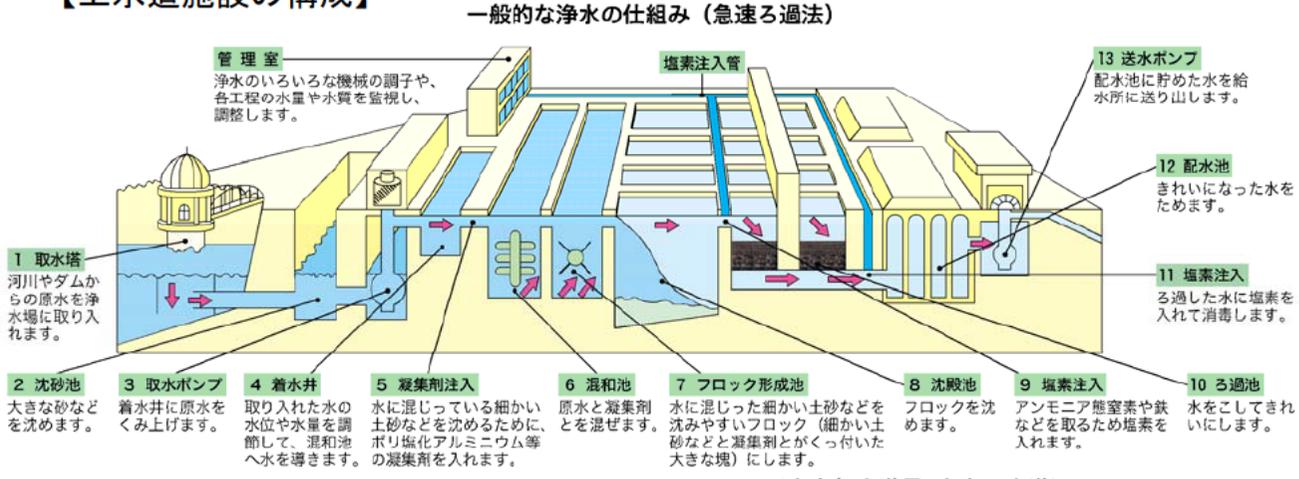
○他分野の影響

- ・停電エリアでは、浄水場及び配水施設(ポンプ)等の運転停止(非常用発電設備を有する場合を除く)。
- ・道路が途絶すると、凝集剤等の薬剤の不足により運転停止の可能性がある。
- ・火山灰の清掃等により水の需要が増加する可能性がある。

②上水道

(参考)上水道施設の構成等

【上水道施設の構成】



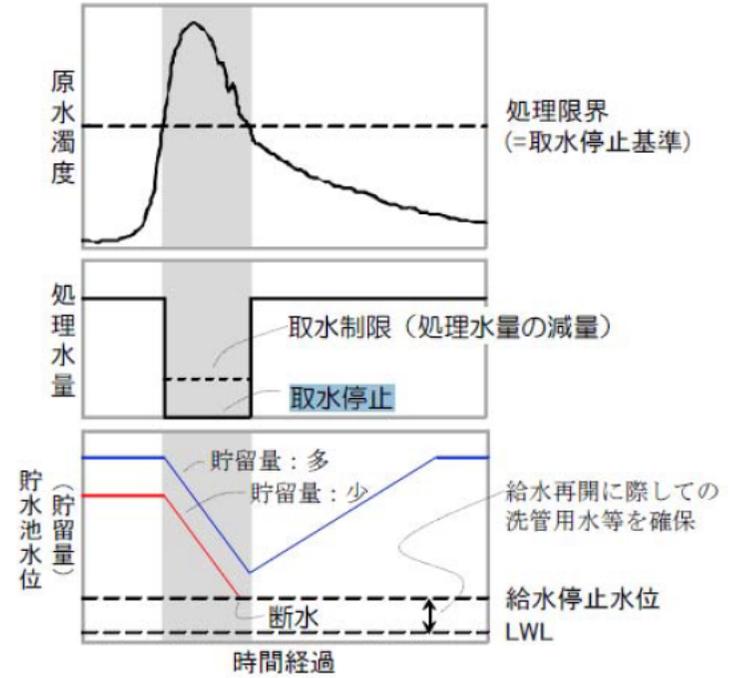
覆いのない施設の場合、火山灰による影響を受けやすい。（東京都水道局、東京の水道）

浄水場のろ過系統の例（神奈川県 谷ヶ原浄水場）



（神奈川県ホームページ、谷ヶ原浄水場）

濁度による取水停止イメージ



ろ過池をはじめとする浄水施設の汚染等により長期間断水することを防ぐため、降灰により原水が各浄水施設が定める濁度の取水停止基準を上回った場合、取水を停止する。（水道技術研究センター、2014）

緩速ろ過

一日に4～5mという緩やかな速度でろ過池の砂層に水を通し、砂層の表層部に繁殖している微生物（生物ろ過膜）の浄化作用による浄水方法。比較的水質が良好で、水質の変化が少ない水の処理に適している。生物ろ過膜が目詰まりするため、20～40日に一度、生物ろ過池の砂層表面を1cmほど削り取る作業が必要になる。

急速ろ過

水中の小さな濁りや細菌類などを薬品で凝集、沈殿させた後の上澄みを、一日に120m～150mという速度でろ過池の砂層に通す浄水方法。狭い敷地でも多量の水を処理でき、濁度などの水質が大きく変化する場合でも、薬品の量を調節することで対応しやすい。

③下水道

1. 想定される影響

- 下水道管路の被害
 - ・下水道管路のつまり
- 下水処理場、ポンプ場等の被害
 - ・沈澱池の満砂
 - ・ろ過材の目詰まり
 - ・ばっ気槽の能力低下
 - ・ポンプの羽根車等の磨耗損傷
 - ・汚泥処理施設への影響(送泥ポンプの過負荷など)
 - ・機器等(発電機、受変電設備、屋外設置の制御盤等)への影響
 - ・化学成分による水質の悪化

[定性]

2. 過去の噴火における被害事例等

降灰厚さ	発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)		
火山灰の状況	降灰(降灰中)	積灰(降灰中～降灰終了後)	人為的な判断による影響
10cm以上			
5cm前後 10cm ～ 2cm		<ul style="list-style-type: none"> ●5 下水道被害(管路閉塞、摩耗)(セントヘレンズ'1980) ●4 下水道被害(タンク内に堆積)(フジエ・コルトン・カウゼ2011) ●3 下水道被害(タンク内に堆積、摩耗、管路閉塞)(ハカヤ2010) ●3 下水道被害(管路閉塞)(レン外'12002) 	<ul style="list-style-type: none"> ●4 下水道被害(復旧混乱)(フジエ・コルトン・カウゼ2011) ●3 下水道被害(復旧混乱)(レン外'12002)
1cm前後 2cm ～ 0.3cm		<ul style="list-style-type: none"> ●0.6 汚水処理プラントへ道路から洗い流された大量の灰が流入。雨水管渠、水路、集水溝における過負荷(セントヘレンズ'1980) ●0.3 大量の火山灰が雨水処理システムに流入し固着、下水管が詰まって雨水の溢れがいくつか発生(スハ-1992) 	<ul style="list-style-type: none"> ●0.6 汚水処理プラントへ道路から洗い流された大量の灰が流入。雨水管渠、水路、集水溝における過負荷。高圧ジェット水流による下水クリーナーや真空集水溝クリーナーを利用して下水が詰まるのを防いだ(セントヘレンズ'1980)
1mm前後 0.3cm ～ 0.05cm		<ul style="list-style-type: none"> ●0.4 下水道被害(管路閉塞、摩耗)(レン外'12002) ●0.3 下水道被害(管路閉塞)(スハ-1992) ●0.2 噴火しばらく後、市の施設(ホール、交流プラザ等)で降灰の影響による下水溢れが発生。(新燃岳2011) 	
0.5mm 以下			

【降灰中に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

- ・積灰した火山灰が降雨や水を使った清掃により側溝や下水道に流されることによる下水管内での堆積

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】

- ・湿潤後に固結しやすい石膏成分が火山灰に付着している場合

【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】

- ・火山灰の固結

③下水道

3. 想定する影響の条件

○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

(1) 下水道管路等排水施設の被害[定性]

- ・大雨時など、土砂を含んだ大量の雨水が下水道管路に流れ込むことで、管路が閉塞する可能性がある。同様に、堆積した火山灰が降雨や水を使った清掃により側溝や下水道に大量に流されると、管路の閉塞が発生する可能性がある。
 - ・排水施設の管渠系統には、汚水と雨水を別々に処理する分流式と、汚水と雨水を一緒に処理する合流式があるが、分流式の場合は火山灰は污水管には侵入しにくい。
- ⇒ 降雨後、または水による清掃の増加後、分流式の雨水管、合流式の管路で閉塞が発生する可能性がある。

(2) 下水処理場、ポンプ場の被害[定性]

- ・処理施設にカバーがない場合、直接の降灰による沈殿池の埋積、ろ過材の目詰まり等により、処理能力が低下する可能性がある。
- ・処理施設にカバーがあっても、合流式の処理施設の場合、流入水に含まれる火山灰により、処理能力が低下する可能性がある。
- ・ポンプ場では、火山灰の流入により、機能不全が発生する可能性がある。

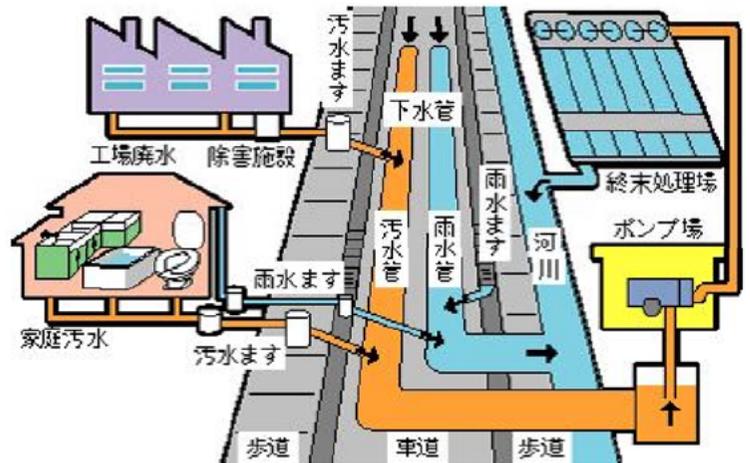
○他分野の影響

- ・停電エリアでは、下水処理場、ポンプ場の運転が停止する(非常用発電設備を有する場合を除く)。
- ・道路が途絶すると、燃料等の不足により、処理場、ポンプ場の機能停止が発生する可能性がある。

③下水道

(参考)下水道施設の構成等

【下水道施設の構成】



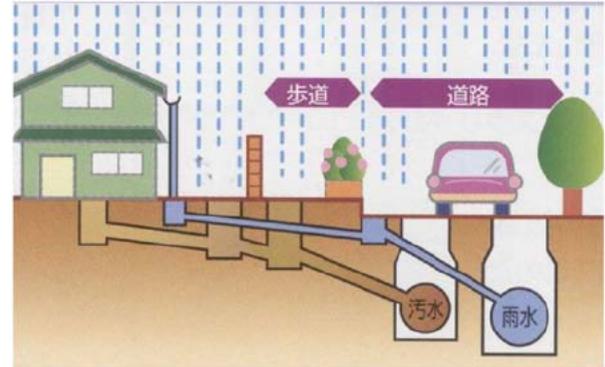
下水道施設の構成

図の出典:国土交通省ホームページ

- 下水道施設
- 排水施設 (排水管、排水渠等) 火山灰による管渠詰まりで排除機能が低下する。
 - 処理施設 (水処理施設、汚泥処理施設等) 火山灰による施設の埋積で処理機能が低下する。
 - 補完施設 (ポンプ施設等)

図の出典:国土交通省ホームページ
(赤枠及び説明文内閣府加筆)

【下水の排除方式(分流式と合流式)】



下水の排除方式(分流式)
(主に昭和45年以降)

分流式: 汚水と雨水を別々の管渠系統で排除する。現在整備される管渠は分流式である。



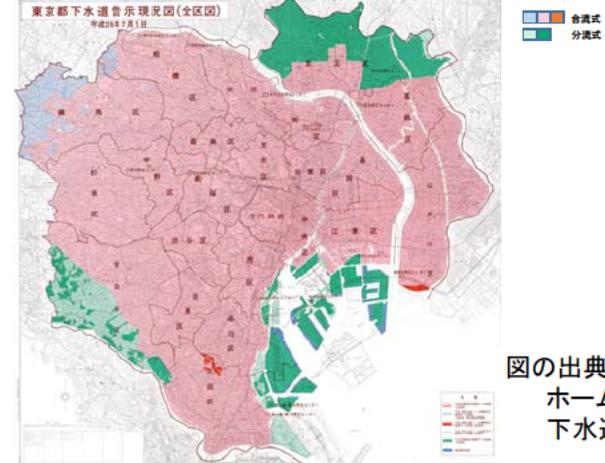
下水の排除方式(合流式)
(主に昭和45年以前、東京23区や横浜市中心部など)

合流式: 汚水と雨水を同一の管渠系統で排除する。

図の出典:国土交通省ホームページ

下水道の現況

・東京23区は合流式の面積が多い(約8割)



図の出典:東京都下水道局
ホームページ, 23区の公共
下水道の普及状況

・横浜市は、市の面積の約7割が分流式、約3割が合流式
・千葉県は、ほとんどが分流式

④通信

1. 想定される影響

- ・通信不調
 - ・通信増による輻輳
 - ・電気通信設備故障等機器への影響
- } [定性]

2. 過去の噴火における被害事例等

降灰厚さ	発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)		
	降灰(降灰中)	積灰(降灰中～降灰終了後)	人為的な判断による影響
10cm以上	●15 携帯電話の通信機能は問題なく維持された(チャイテン2008)		
5cm前後 10cm ～ 2cm	●8 通信不調(ハトソン1991) ●2.5 空調故障(ハカヤ2010) ●2 衛星アンテナ故障(シブツン2013) ●2 通信不調(ハカヤ2010)		
1cm前後 2cm ～ 0.3cm	●0.5 通信不調(トングラワ2010)		
1mm前後 0.3cm ～ 0.05cm	●0.3 火山灰の影響で電話交換機の空冷機能が停止(スバー1992) ●0.1 空調故障(ルアヘ1996)		
0.5mm 以下			

3. 想定する影響の条件

- ・Wilson et al. (2012)によると、
 - 降灰による通信上の最も顕著な影響は、利用者の多さによるものである。
 - アンテナに湿潤な火山灰が積もるとフラッシュオーバーを起こすことがある。
 - 2008年チャイテン山(チリ)噴火の際、最初の噴火で30mm、合計で150mmの降灰量に達した市街地においても、噴火の期間中、携帯通信や衛星通信、UHFラジオ等、あらゆる通信に障害は発生しなかった。降灰のあった期間を通じて、携帯電話の通信機能は問題なく維持された。
 - オークランド(ニュージーランド)における通信工学の技術者グループは、理論的な分析の結果、電波に関しては、衛星放送のような高周波数帯での影響もしくは雷による影響以外は生じにくいと結論づけている。
- ・有珠山2000噴火時に携帯電話等が用いられたが通信障害の報告はない。
- ・アメリカ地質調査所は、大量の帯電した火山灰が発生すると、電波に干渉を起こし、無線や電話システムを動作不能にする可能性があるが、事例は滅多になく、火山周辺や、降灰地域で、無線および電話による通信が機能し続けている例は数多くある、としている。



○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

- (1)通信不調 [定性]
 - ・降雨時には、アンテナへの火山灰の付着により、アンテナの指向特性へ影響するなど通信が阻害される可能性がある。
- (2)通信増による輻輳 [定性]
 - ・噴火直後には、固定電話、携帯電話について、利用者の増加による輻輳が生じる可能性がある。

○他分野の影響

- ・携帯電話基地局等の小型の局舎においては、局舎の換気口を通じて、火山灰が内部に侵入し、電気通信設備の電子回路に火山灰が付着し、当該設備が故障する可能性がある。
- ・火山灰が空調の室外機内部に侵入し、当該機器の動作に支障が発生することにより、局舎内の温度が上昇し、結果として局舎内の機器の熱暴走により、正常な動作ができなくなる可能性がある。
- ・停電が長期間に及んだ場合、非常用発電設備の燃料が切れること等により、基地局、交換設備等の機能に支障が生じ、通信サービスが停止する可能性がある。

⑤ 建物

1. 想定される影響

- ・木造家屋の損壊・倒壊
 - ・雨どいやひさしの損壊
 - ・倉庫などの支点間の長い屋根の損壊
 - ・家屋の埋没
- } [定性]

2. 過去の噴火における被害事例等

降灰厚さ	発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)		
	降灰中	降灰中～降灰後	通行規制等(人為的な行為)
10cm以上	<div style="border: 2px solid orange; border-radius: 15px; padding: 10px; display: inline-block;"> 多くの建物被害事例がここに該当する </div>		
5cm前後 10cm ～ 2cm	<div style="border: 1px solid orange; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ● 100 家屋の多くが倒壊、損傷(富士山1707、桜島1914、ヘイマウエイ1973、タブルブル1994) ● 90 屋根損傷・全壊(ラハウル1994) ● 80 浄水場の建物。約80cmの降灰で梁に亀裂(有珠山1977) ● 75 屋根損傷(ヘイマウエイ1973) ● 60 鹿部村で全焼。全壊335戸(北海道駒ヶ岳1929) ● 50 洞爺湖温泉の保育所、50センチの灰に雨が加わり屋根が崩壊。1969年開所の比較的新しい建物(有珠山1978) ● 30 建物損傷(チャイテン2008) ● 20-15 クラーク空軍基地の格納庫屋根が崩れる(ピナツホ'1991) ● 13-9 屋根損傷、建物損傷(新燃岳2011、ラハウル1994、ピナツホ'1991、セントヘレンズ'1980、ウエストガイオ1906) ● 10 宮崎県都市御池地区の牧場。堆肥を保管する幅約60mの建屋が灰の重みで全壊(霧島山2011) </div>		
1cm前後 2cm ～ 0.3cm			
1mm前後 0.3cm ～ 0.05cm			
0.5mm 以下			

3. 影響の条件の考え方

(1) 木造家屋への影響

- ・日本建築学会(2018)は、降灰の可能性マップが示す降灰量がすべて建物に積載したと仮定して、可能性マップの降灰量に降灰の単位重量(乾燥状態で113N/m²/cm、湿潤状態で167N/m²/cm)を乗じて積灰荷重を算出し、設計用積雪荷重と比較している(関東平野部の多くの建物で用いられている設計用積雪荷重(垂直積雪量30cm)に相当する荷重は600N/m²)。
- ・平成26年2月の関東地方の大雪において全壊した住家はすべて木造で、総じて、設計上想定した以上の積雪量に対応する積雪荷重が老朽化した木造建築物に作用した場合と分析されている。
- ・富士山ハザードマップ作成委員会(2004)では、耐力計算と過去事例から、乾燥時45-60cm、湿潤時30-45cmで倒壊のおそれがあるとしている。

(2) 支点間の長い大型建物への影響

- ・日本建築学会(2018)は、山形フレームの架構形態を有する体育館を事例に構造安全性の検討を行い、乾燥状態で7～8cm、湿潤状態で4～5cmで、短期許容曲げモーメントに達しており、積雪荷重を超える降灰の深さで構造物の損傷もしくは崩壊に至る可能性が高くなる、としている。
- ・また、平成26年2月の関東地方の大雪における建物被害のうち、屋根全体の崩落が発生したのものについては、積雪荷重の1.1～1.8倍程度と推定される積雪荷重が作用して、設計上の想定を超える荷重の作用に対して耐力上の余裕のない建築物であったこと等によるとされている。

⇒ 支点間の長い大型建物については、積雪荷重を超えるような降灰の深さで、耐力上余裕のない建物で損壊の可能性が高くなる。

⑥設備(空調等)

1. 想定される影響

- ・吸気ラインが地面に水平な形状の非常用発電機や空調のフィルタの目詰まり

2. 過去の噴火における被害事例等

- ① 機能が停止した事例
 - I. スパー火山(アラスカ)1992年噴火の際に、火山灰の影響により電話交換機の空冷機能が予防的に停止された(降灰量3mm)。
- ② 機能が停止しなかった例
 - I. 桜島の1980-1990年代の噴火の際に、鹿児島市では外付けの空調ユニットに影響なし(5mm未満)
 - II. カターニア市(イタリア)では、エトナ山の噴火の際に、正常に機能すると報告されている。

3. 影響の条件の考え方

- ・Wilson et al. (2012)は吸気口が地面に水平である場合、目詰まり等に脆弱であるとしている。
- ・Barnard(2009)は、エアコンへの火山灰による影響に関する実験結果から、
 - 現在の通常タイプのエアコン(エアコン本体と室外機が分離しているもの)は、火山灰の影響をほとんど受けない。これは旧式の一体型よりもファンの速度が遅いことも影響している。特に室外機のファンが水平方向に排気する場合には火山灰が侵入しにくい。
 - 一方で、湿潤状態の火山灰になるほど、ファンの動作は影響を受けやすくなる。
 - ファンのメンテナンスを怠らなければ降灰量30mm程度であれば、エアコンは稼働し続ける可能性が高い。としている。
- ・久保・他(2018)による空調用室外機の実験では、50mmまでの降灰により、熱交換器のフィンに火山灰が付着して通風抵抗が増加し、ファン運転電流にわずかな上昇が見られたものの、湿潤状態で降灰深が約50mmのケースを除くと、空調用室外機はほぼ正常に稼働することが確認されている。

- ・山元・他(2016)による、発電機用の吸気フィルタへの火山灰吹付け試験では、時間数mmの降灰に相当する火山灰濃度(700mg/m³)でプレフィルタ+中性能フィルタの組み合わせで26分~97分程度で使用できない状態となった。

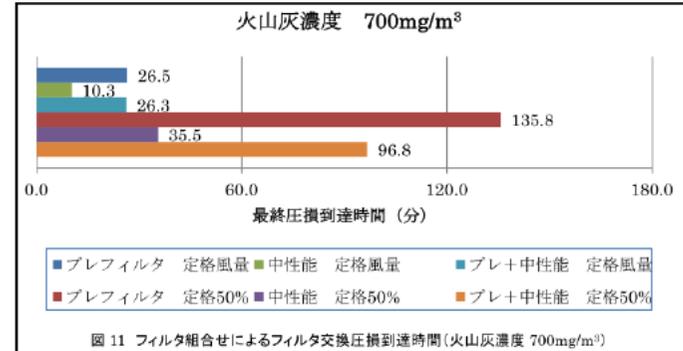


図 11 フィルタ組合せによるフィルタ交換圧損到達時間(火山灰濃度 700mg/m³)
発電機用の吸気フィルタへの火山灰吹付け試験 試験結果の例(山元・他, 2016)

- ⇒空調用の室外機は5cm以上の降灰で稼働に支障が生じる可能性がある。
- ⇒発電機の吸気フィルタは、通常より早い間隔で交換が必要となる可能性がある。

⑦家電製品・情報機器

1. 想定される影響

- ・換気・冷却ファンの停止による加熱
- ・機器内部の部品腐食
- ・部品への火山ガス成分付着による短絡
- ・電動モーターの摩耗

2. 過去の噴火における被害事例等

(1)被害事例

火山灰で火山観測用のパソコンが故障した事例

- I. スフリーエル・ヒルズ山(イギリス領モントセラート島)2007噴火の事例では、換気口の目詰まりによるオーバーヒートが故障原因と報告されている。
- II. 雲仙岳1990-1995噴火の事例では、ハードディスクの損傷が故障原因とされている(須藤, 2004)。

(2)被害の発生時期、降灰の厚さ等と被害事例の関係

【降灰中に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

- ・細粒な火山灰の気中濃度が高い場合に被害が発生する可能性。

【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】

- ・火山礫や粗粒の火山灰の場合はフィルタ目詰まりや機器内部への火山灰の侵入は生じない。

【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】

3. 影響の条件の考え方

- ・Wilson et al. (2012)は、コンピュータは通常屋内で使用されるため、火山灰に直接さらされることは少なく、過去20年火山灰の影響を受けた報告はほとんどない、としている。
- ・Gordon et al. (2005)によるパソコンへの火山灰による影響に関する実験結果によると、
 - 火山灰(ニュージーランドのルアペフ山、桜島、ニュージーランドのカハロア山の3火山)を用いたパソコンの稼働実験では、降灰濃度 $0.2\text{g}/\text{m}^3$ で720時間の実験時間を通じて故障しなかった。
 - ただし、大量の降灰条件下($200\sim 1000\text{g}/\text{m}^2$)では100～150時間程度稼働した後に停止した(特に湿潤条件下で停止が顕著)とされている。

⑧健康への影響

1. 想定される影響

- ・呼吸器系疾患・心疾患患者の症状の増悪
- ・目・鼻・のど・気管支の異常等
- ・火山灰の付着による皮膚の炎症
- ・除灰時の屋根からの転落
- ・心理的ストレス上昇
- ・慢性珪肺症または炎症反応のリスク増加(長期間曝露)

2. 過去の噴火における被害事例等

降灰厚さ	発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)		
	降灰(降灰中)	積灰(降灰中～降灰終了後)	人為的な判断による影響
10cm以上			
5cm前後 10cm ～ 2cm		<ul style="list-style-type: none"> ●7.5 軽い呼吸器疾患。灰によって速やかな手当てを必要とする症状を訴えた患者の数は、人口1,000人当たり10～20人(セントヘレンズ'1980) ●2 降灰が2cm以上の地域で、堆積した火山灰の再飛散による目、鼻、気管支の異常等の身体的障害が報告されている(有珠山1977) 	<ul style="list-style-type: none"> ●1～5 除灰中に屋根・はしごから落下した負傷25件、うち重傷6件(新燃岳2011)
1cm前後 2cm ～ 0.3cm		<ul style="list-style-type: none"> ●1.3 降灰後1週間は呼吸器の症状、とくに喉の腫れ、気管支炎、慢性の病氣(ぜん息、肺気腫)の悪化を訴える患者の数が普段よりも50%多かった(セントヘレンズ'1980) ●0.5 喉、鼻、あるいは眼の異常の訴え。入院患者や治療を受けた患者数の増大。健康障害を訴えた人の割合住民1,000人当たり2～4人。健康障害を訴えた人の割合住民1,000人当たり2～4人(セントヘレンズ'1980) 	
1mm前後 0.3cm ～ 0.05cm		<ul style="list-style-type: none"> ●0.13 慢性的な肺の疾患を持つ人に関しては健康上の問題が増加する懸念(セントヘレンズ'1980) ●0.01 喘息患者の43%が症状悪化、軽症と中等症の患者に有意な影響(浅間山2004) 	
0.5mm 以下			

3. 影響の条件の考え方

- (1)目・鼻・のど・気管支などへの影響
- ・火山灰は、一般的に15μmを超えるものは鼻腔から気道に到達せず、10μm以下で気管や気管支に、4μm以下で肺胞に到達する(Horwell, 2007)。
 - ・目・鼻・のど・気管支への影響については、
 - 火山灰が目に入った場合、炎症を引き起こす場合がある。
 - 短期間、吸い込んだ程度では健康に影響を及ぼすことはないが、口や鼻に入ると強い不快感がある。
 - 大量の火山灰が肺の奥深くまで入ると、健康な人でも咳の増加や胸の不快感が現れ、喘息や気管支炎、COPD(慢性閉塞性肺疾患)等の呼吸器疾患や心疾患のある人々は影響を受ける可能性が高い。とされている(石峯・和田(2013)、石峯(2013))。
 - ・鹿児島市や霧島地域においては、明らかな健康被害があったとの報告や呼吸器疾患が増えたとの報告はない(川島, 2013)。2004年の浅間山の例では、軽症・中等症の患者に有意な影響があったとされている(清水・他, 2005)。
- ⇒降灰による直接の急性健康被害の可能性は低いが、目・鼻・のど・気管支に異常を生じる可能性がある。

(2)除灰中の作業事故

- ・除灰中に屋根・はしごから落下するなどして負傷した例があり、除雪作業と同様に作業事故が発生する可能性がある。

- アメリカ地質調査所USGSホームページ, Cordón Caulle 2011 (https://volcanoes.usgs.gov/volcanic_ash/cordon-caulle_2011.html).
- Auckland Engineering Lifelines Group(2009)Review of Impacts of Volcanic Ash on Electricity Distribution Systems, Broadcasting and Communication Networks, Auckland Regional Council Technical Report, 51.
- Scott Trevor Barnard(2009)THE VULNERABILITY OF NEW ZEALAND LIFELINES INFRASTRUCTURE TO ASHFALL, UNIVERSITY OF CANTERBURY.
- 中部地方整備局(2014)水質調査結果の報告(御嶽山噴火に伴う木曾川上流域水質保全対策検討会第1回資料).
- 電気共同研究会(2003)配電機材に対する劣化環境の定量評価, 電気共同研究, 69, 3.
- 電気設備自然災害対策ワーキンググループ(2014)産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会電気設備自然災害等対策ワーキンググループ中間報告書.
- 江口尚・石峯康浩・和田耕治(2014)火山噴火に備える, 労働の科学, 69, 1, 34-38.
- 藤井智晴・尾関高行(2014)ガスタービン用吸気フィルタの保守管理の実態調査, 電力中央研究所報告, M13008.
- K. D. Gordon, J. W. Cole, M. D. Rosenberg, D. M. Johnston(2005)Effects of Volcanic Ash on Computers and Electronic Equipment, Natural Hazards, 34, 231-262.
- Claire J Horwell(2007)Grain-size analysis of volcanic ash for the rapid assessment of respiratory health hazard, Journal of Environmental Monitoring.
- 石峯康浩(2013)火山噴火による降灰とその備え, 労働の科学, 68, 6, 32-38
- 石峯康浩・和田耕治(2013)火山噴火時に周辺住民に起こりうる健康影響, 労働の科学, 68, 7, 38-42.
- 神奈川県ホームページ, 谷ヶ原浄水場(平成23年3月発行) (<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f906/p310410.html>).
- 片岡正次郎・白戸智・牛島由美子・高宮進(2013)インフラシステムの災害復旧過程のモデル化と震災復旧シミュレーション, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), 69, 1, 1-19.
- 川島正敏(2013)火山噴火時に必要な呼吸用保護具等, 労働の科学, 68, 9, 34-38.
- 川畑秋馬・入佐俊幸・上妻生朗(1995)火山灰汚損がいしの漏れ電流特性, 115, 8, 956-963.
- 川畑秋馬, 平山斉, 田島拓弥, 平井明仁, 吉村幸雄, 増田淳, 鹿児島大学, 中央自動車工業株式会社, 鹿児島県工業技術センター, 産業技術総合研究所(2016)火山降灰が太陽電池モジュールの発電量に及ぼす影響, AIST太陽光発電研究 成果報告会.
- 国土交通省ホームページ, 下水道施設の構成と下水の排除方式 (http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000416.htm).
- 久保智弘・宮城洋介・宮村正光・野畑有秀・大塚清敏・諏訪仁(2018)火山灰が及ぼす建築設備などへの影響について, 建築防災, 2018,12.
- 目黒公朗・永田茂・立川貴重・片山恒雄(1992)台風19号による大規模停電の都市機能への被害波及に関する調査研究-広島地域における大規模停電の影響-, 生産研究, 44, 4, 18-25.
- 日本建築学会火山災害対策特別調査委員会(2018)「火山災害対策特別調査委員会」活動報告書(2018年3月).
- 日本水道協会ホームページ, 日本の水道の現状 (<http://jwwa.or.jp/shiryuu/water/water.html>).
- 小野島広大・坂野和弘・石黒勇次郎(2016)御嶽山噴火に伴う対応及び水質に関する影響, 中部地方整備局館内事業研究発表会(平成28年度).
- 清水泰生・土橋邦生・久田剛志・小野昭浩・宇津木光克・飯島浩宣・戸所誠・飯塚邦彦・小池陽子・石塚全・森川昭廣・森昌朋(2005)浅間山火山噴火における急性喘息症状変化及び投薬内容変化の検討(2005)日本アレルギー学会秋季学術大会(第55回), 54, 8-9, 1081.
- 水道技術研究センター(2014)高濁度原水への対応の手引き(平成26年6月).
- 須藤茂(2004)降下火山灰災害-新聞報道資料から得られる情報,地質ニュース,604, 41-65.
- 東京都下水道局ホームページ, 23区の公共下水道の普及状況 (<http://www.gesui.metro.tokyo.jp/living/life/spread/>).
- 東京都下水道局ホームページ, トピック26回浄水処理 (<https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/suigen/topic/26.html>).
- 東京都水道局, 東京の水道 (https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/kouhou/pamph/suido/pdf/suido_h26-22.pdf)
- 土志田 潔, 本間宏也, 屋地康平, 服部康男, 竹内晋吾(2015)降下火山灰が電力流通設備に与える影響-がいしの耐電圧特性に関する最近の知見-, 日本地質学会学術大会要旨講演要旨, 第122年学術大会(2015長野), R3-P-2.
- 山元孝弘・古川竜太・奥山一博(2016)吸気フィルタの火山灰目詰試験, 地質調査総合センター研究資料集, 629, 1-26.
- J. B. Wardman, T. M. Wilson, P. S. Bodger, J. W. Cole, C. Stewart (2012)Potential impacts from tephra fall to electric power systems : a review and mitigation strategies, Bull Volcanol, 74, 2221-2241.
- Thomas M. Wilson, Carol Stewart, Victoria Sword-Daniels, Graham S. Leonard, David M. Johnston, Jim W. Cole, Johnny Wardman, Grant Wilson, Scoot T. Barnard(2012)Volcanic ash impacts on critical infrastructure, Physics and Chemistry of the Earth, 45-46, 5-23.

3. 農林水産分野

①農作物(稲・畑作物・果実)

1. 想定される影響

- ・稲や畑作物、果実の商品価値低下や収穫不能
 - ① 火山灰の付着、火山ガス等による葉や果実の変色や損傷
 - ② 土壌環境の悪化や日照不足による発育不良

2. 過去の噴火における被害事例等

降灰厚さ	実績あるいは発生が想定される主な事象(数字:降灰厚さcm)		
火山灰の状況	降灰(噴火中)	積灰(降灰終了後)	通行規制等(人為的な行為)
10cm以上		<ul style="list-style-type: none"> ●200 柴田村では98年後でも復旧した農地は噴火前の23%(富士山1707) ●50 生産力が噴火前のレベルに回復するのに15~45年を要す(富士山1707) ●30 復興の目的がたつのに10年を要す(富士山1707) ●15 翌年の収穫が皆無。(富士山1707) ●15 根菜、葉菜とも被害大で回復の見込みなし(桜島1914) 	
5cm前後 10cm ~ 2cm		<ul style="list-style-type: none"> ●7.5 小麦が灰の重みで倒れる。アルファルファの傷み。収穫前の作物が全滅。灰による汚染のため品質低下。大麦、エンドウ豆も降灰による物理的な被害。(セントヘルス1980) ●3 収穫間近のハウレンソウ畑に3cm近くも火山灰が積もり壊滅状態。またビニールハウスの光線透過率が低下し農作物の生育に影響を与えるため、手作業での灰の除去を行っている。(霧島山2011) 	
1cm前後 2cm ~ 0.3cm		<ul style="list-style-type: none"> ●1~3 桜島の事例では作物の種類によって壊滅的な被害を受ける降灰量は1cm~3cmの間となっている。(桜島1914) ●0.6 牧草に若干の被害(灰の重みで草が倒れる被害、灰による汚染)が見られた。(セントヘルス1980) 	
1mm前後 0.3cm ~ 0.05cm		<ul style="list-style-type: none"> ●数mm「赤灰」と呼ばれる火山ガス成分を多く含んだ火山灰により収穫時期のミカンが1時間程度で黒ずんで落下(桜島1976) 	
0.5mm 以下			

- 【降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】
- ・ 葉物野菜、きのこ類は少量の積灰でも商品価値が低下。収穫期が限られ、出荷前の火山灰除去に時間と手間を掛けられない野菜は収穫困難(不能)
- 【降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】
- ・ 葉物や根菜類の地上部の枯死や生育不良により商品価値が低下あるいは収穫不可
- 【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】
- ・ 火山ガス付着成分が多い場合は品質低下や被害が顕著
 - ・ 作物の生育時期、収穫時期等により「被害の受けにくさ」が変わる(例:一般に幼苗期は降灰に対して弱い、根菜類は地上部が枯れても地下部は比較的無事に残りやすい。)

①農作物(稲・畑作物・果実)

3. 影響の条件の考え方

(1) 稲や畑作物、果実の商品価値低下や収穫不能

- 桜島(1914)や三宅島(2000)の事例では、葉物や麦類は厚さ1.5cmないし3cm以上で被害が甚大になる傾向がみられる。根菜類は厚さ6cm以上で地上部は枯れ、厚さ15cm以上で地下部の被害も甚大になる。
- 葉物野菜やイチゴ、キノコ類、茶、花きなどは、火山灰を少量でもかぶると出荷時に降灰除去が必要になる。降灰除去が困難な作物は商品価値が大幅に低下する。
- 稲は、降灰により稲が倒れて水に浸かると発芽したり精米の時に灰が混じったりするため、商品価値がなくなるという被害が生じている。経験的に500g/m²(厚さ換算で約0.5mm)の降灰があれば、米としての商品価値はなくなるとされている。
- 被覆施設(ビニールハウス等)の光線透過量は、被覆資材面に100g/m²の積灰で約30%、200g/m²で約20%に減少する(宮崎県農業経営支援課, 2018)。
- 果実類は、火山灰が付着すると裂果や落果、果皮のコルク質への変化など火山灰量が少量でも商品価値が大幅に低下する。
- その他、果皮が柔らかくて傷つきやすく降灰除去に適さないもの、収穫後・出荷前に洗浄・チェックが困難であるものなどは商品価値が低下する。
- Jenkins et al (2015)は、5-30mmで収穫不良、100-200mmで収穫不能が発生するとしている。

Code:		D0	D1	D2	D3	D4	D5
Description:		No damage	Disruption to harvest operations and livestock grazing of exposed feed	Minor productivity loss: less than 50 %/crop	Major productivity loss: more than 50 %/crop, Remediation required	Total crop loss: Substantial remediation required	Major rehabilitation required/ Retirement of land
AGRICULTURE TYPE:	Horticulture & Arable 作物	0 mm (0-20 mm)	1 mm (0.1-50 mm)	5 mm (1-50 mm)	50 mm (1-100 mm)	100 mm (25-200 mm)	300 mm (100- 500 mm)
	Tree Crops	0 mm (0-20 mm)	1 mm (0.1-50 mm)	5 mm (1-50 mm)	50 mm (1-100 mm)	200 mm (5-500 mm)	300 mm (200- 500 mm)
	Pastoral 畜産	0 mm (0-20 mm)	3 mm (0.1-50 mm)	25 mm (1-70 mm)	60 mm (20-150 mm)	100 mm (30-200 mm)	300 mm (100- 500 mm)
	Peddies 水田	0 mm (0-50 mm)	1 mm (0.1-50 mm)	30 mm (1-75 mm)	75 mm (20 - 300 mm)	150 mm (75 - 300 mm)	300 mm (100- 750 mm)
	Forestry 森林	0 mm (0-75 mm)	5 mm (0.1-75 mm)	200 mm (20-300 mm)	1000 mm (100-2000 mm)	1500 mm (100-2000 mm)	?

桜島1914年噴火後の報告 降灰量と農作物被害の関係

種別	軽石・火山灰の厚さ	影響
麦類	0.9 cm	下葉の数枚に普通とは異なる変化が生じた。
	1.5 cm	すべての葉の被害が著しく一部は枯れた。
	3 cm	被害が激しく一部だけ残った。
	6 cm	激甚な被害となった。
	6 cm 以上	全滅した。
菜種	1.5 cm	葉が変色して落ちたが、その後再生した。
	3 cm	軽石・火山灰中に埋没して大部分は枯れた。
	6 cm	激甚な被害となった。
	6 cm 以上	全滅した。
蔬菜類	0.9 cm	・ 白菜・体菜(シヤクシ菜:アブラナ科の一、二年草)は下葉がしおれて変色した。 ・ 蒔菜類(フダンソウ)・根菜類の被害はなかった。
	1.5 cm	・ 白菜・体菜(シヤクシ菜)等の葉菜類は下葉が枯れた。 ・ その他の葉菜類もしおれて変色した。 ・ ネギ類・豆類・根菜類はほとんど被害がなかった。
	3 cm	・ 白菜・体菜(シヤクシ菜)等の葉菜類は茎の中心部を除いて葉はしおれて変色した。 ・ ネギ類・根菜類の被害は軽微だった。
	6 cm	・ 葉菜類のなかで高菜(タカナ)・白菜等は枯れ、それに比べ蒔菜(フダンソウ)は被害が少なくネギ類の被害は軽微だった。 ・ 豆類は枯れた。 ・ 根菜類は地上部は枯れて変色したが、地下部の被害は軽微だった。
	9 cm	・ 葉菜類は壊滅的被害となり、ネギの被害は軽微で葉先が黄色くなった。 ・ 根菜類は地上部は全ての葉が枯れたが地下部の被害は軽微だった。
	15 cm 30 cm 以上	・ 葉菜・根菜とも被害は甚大で回復の見込みはなかった。 ・ 葉菜・根菜とも壊滅的被害となった。

(桜島大正噴火100周年事業実行委員会, 2014)

三宅島2000年 噴火後の報告

野菜類の火山灰混入による生育への影響(無火山灰土壌との比較)

作物名	火山灰厚 1cm	火山灰厚 3cm
サヤエンドウ	同程度	同程度
ブロッコリー	同程度	同程度
コマツナ	同程度	同程度?
トマト	同程度	やや不良
サツマイモ	同程度	やや不良
キュウリ	やや不良	やや不良
シュンギク	やや不良	やや不良
サトイモ	やや不良	やや不良
トウモロコシ	やや不良	不良
ネギ	やや不良	不良
ハウレンソウ	やや不良	不良
ニンジン	やや不良	不良
スイカ	不良	不良
ダイコン	不良	不良
エダマメ	不良	著しく不良

(野呂・他, 2002をもとに作成) 38

①農作物(稲・畑作物・果実)

3. 影響の条件の考え方 (続き)

(参考)降灰時の対策例

・降灰量に応じた露地畑の酸度矯正等の土壌改良の例

表3 露地畑における降灰土壌の改良の目安

火山灰のpH	降灰厚			
	0.1 cm未満	0.1 cm以上2 cm未満	2 cm以上5 cm未満	5 cm以上
5.5以上 7.0未満	よく 混和 する	よく混和する	堆肥を基準量入れ よく混和する	酸度矯正資材と堆肥を 入れてよく混和する
4.0以上 5.5未満		酸度矯正資材と堆肥を 入れてよく混和する	酸度矯正資材と堆肥を 入れてよく混和する	個別に技術担当者 と対策を相談
4.0未満		酸度矯正資材と堆肥を 入れてよく混和する	個別に技術担当者 と対策を相談	火山灰は除去 技術担 当者と対策を相談

※茶およびブルーベリーの場合は低pHを好むため、酸度矯正資材の使用は、火山灰のpHが4未満の場合に限る。

※水稲は代かき・栽培時の灌漑水で酸性成分が洗い流され、土壌の酸性による障害も認められないため、降灰対策として酸度矯正を必要としない。

(熊本県農業革新支援センター, 2019)

・災害復旧事業による農地への降灰の除去の採択要件には、「降灰の平均の厚さが、粒径1mm以下の場合は2cm、粒径0.25mm以下の場合は5cmに満たないものは対象外」とされている。

4. 想定する影響の条件

○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

・稲や畑作物の作付時期(果実は発芽・新梢伸長期～収穫完了までの時期)で、以下の降灰の厚さ以上になる地域で、商品価値の低下が発生。

- (葉物野菜・キノコ類・茶、花きなど) 降灰がある全域
- (その他の野菜類、麦など) 降灰の厚さ1.5cm以上
- (稲) 降灰の厚さ0.5mm以上
- (果実類) 降灰がある全域

【除外要件】

- ・稲や畑作物の非作付け時期で、降灰の厚さ2cm未満の地域。
- ・被覆施設のある農地(ただし、速やかに除灰ができること)。

- ・以下の降灰の厚さ以上になる地域で収穫不能が発生
 - (作物) 降灰の厚さ100mm以上
 - (稲) 降灰の厚さ150mm以上
 - (果実類)降灰の厚さ200mm以上

①農作物(稲・畑作物・果実)

(参考) 生育時期を含む降灰による被害

■果菜類 キュウリ、未成熟トウモロコシ、スイカ、カボチャ、トマト、ナス、ピーマン、オクラ、イチゴ、ニガウリ等

- 1 露地栽培では落花、裂果、落葉、生育不良、枯死を生じる。栽培期間が長いので、被害を受けやすく、降灰量の多い地域では露地栽培は困難である。
- 2 ハウス栽培では被覆資材面の積灰により、採光性が低下し光線不足となって、生育不良、軟弱徒長、結実不良、商品性の低下を生じる。
- 3 露地栽培では、土壌表面の固結、酸性化、土中の有機物含量の低下により生育不良や生産量の減少となる。

■葉茎菜類 ハクサイ、キャベツ、ブロッコリー、レタス、ホウレンソウ、シュンギク、チンゲンサイ、コマツナ、菜類、ネギ類等

- 1 育苗期などの幼令期は、火山灰の被害を受けやすい。
- 2 ホウレンソウ、シュンギクコマツナなどの軟弱野菜の露地栽培では火山灰の被害を受けやすい。
- 3 キャベツ、ハクサイ、レタス、ブロッコリーなどは結球部や花蕾に火山灰が付着し、商品性が低下する。特に、結球開始期の降灰は、結球葉内に火山灰が混入するため、市場評価が損なわれる。
- 4 茎葉に付着した火山灰は少量の水分でやわらかくなり、乾くと固まりやすくなることから、降灰後の降雨は被害を甚大にする。
- 5 ネギ類は土壌表面の固結、酸性化によって、生育が不良となる。

■マメ類 サヤエンドウ、サヤインゲン、エダマメ等

- 1 降灰量の多い地域では、火山灰により葉緑が黄化又は褐変する。落花、さやのガクの変色、さや面の汚染により商品性が低下する。
- 2 土壌表面の固結、酸性化、土中の有機物含量の低下により生育不良や生産量の減少となる。

■花き キク、アスター等

1 育苗期

ハウス内での育苗が主体のため、さし穂や苗に対する直接の火山灰の付着はないが、被覆資材に火山灰が付着して光線の透過が大幅に減少し、苗の生育遅延と軟弱徒長化による品質低下を生じる。

2 生育期

露地栽培においては、定植直後から全生育期間にかけて火山灰の付着により同化作用が阻害され、生育を極端に悪くする。特に、露地ギクにおいては、被害が甚だしい場合は心止まりや葉焼け等の被害を引き起こす。

3 開花期

開花期には、花蕾や花弁に火山灰が付着または集積し、極度に品質を低下させる。また、被害が甚だしい場合は、花弁の変色や花の奇形が生じて、商品性がなくなることもある。花に付着した火山灰は、水で洗い流すことは困難であり、また、花に水をかけると花弁の損傷をきたす。

■花木

- 1 火山灰に弱い樹種は、ツツジ、コデマリ、ユキヤナギ、スギ、ヒノキ等であるが、一般に新芽の出る時期の新梢と幼苗期はいずれの樹種も被害を受けやすい。
- 2 火山灰による葉焼け及び落葉を引き起こし、樹木の生育障害を生じる。

■果樹共通

1 発芽時期～新梢伸長期

最も火山灰の被害を受けやすい。

2 幼果期～肥大期

幼果の果面に少々のヤケを生じる程度の傷は、傷跡は残るが果実の発育には支障がない。ただし、被害が著しいときは、果面に油浸斑がみられ落果する。残った果実も傷がコルク化し、かいよう状を呈する。中には、果実の肥大につれて裂果するものもある。新葉は油浸状からヤケを生じ、著しいときは落葉する。古葉では無傷のままの落葉がある。

3 果実の肥大後期～成熟期

被害が著しいときは、果実の下半部に涙斑状や斑点状のヤケを生じ、裂果や樹上での腐敗、落果がみられる。軽い傷のものは、コルク化するのみで腐敗、落果はない。成熟期に近いほど被害が大きく、受けた傷の癒合が悪い。

■養蚕・桑

1 桑園

葉面が粗く、火山灰が付着しやすい。朝露等の水滴を受けると葉面に固着し、多少の降雨では落ちにくい。

2 蚕

降灰被害を受けた桑を食下した蚕児は、発育が不良となり経過の遅れや繭の軽小化、蚕病に対する抵抗力が低下する。

■飼料作物(牧草含む)

- 1 火山灰により土壌が酸性化し、種子の発芽不良を生じる。
- 2 火山灰の付着により、飼料作物の利用率が低下するとともに、収量の減少を生じる。
- 3 飼料作物の刈取・給与時に除灰作業に多くの労力を必要とする。

■茶

1 茶園

(1) 3月から10月までの降灰被害が最も大きい。茶葉は葉面に白毛があるため、火山灰が付着しやすく、朝露等の水滴を受けると茶葉面や葉柄に固着し、多少の降雨では洗い落とされにくい。

(2) 降灰のあった茶園で摘採機や管理機械を使用すると、火山灰がエアクリーナ等に詰まり故障を生じやすくなり、作業能率が低下する。

2 加工

火山灰が付着した生葉を加工すると、荒茶の浸出液に火山灰が混入し水色が濁るとともに、沈殿物として残るため商品価値を失う。

(群馬県農政部,2009)

②森林

1. 想定される影響

- ・火山灰付着による幹の折損
 - ・湿った火山灰が枝葉に付着することによる生育不良や枯死
- } [定性]

2. 過去の噴火における被害事例等

降灰厚さ	実績あるいは発生が想定される主な事象(数字:降灰厚さcm)		
火山灰の状況	降灰(噴火中)	積灰(降灰終了後)	通行規制等(人為的な行為)
10cm以上		<ul style="list-style-type: none"> ● 25cm以上でアカマツ枯死率60-100%、20cm以下で枯死率25%以下。(新燃岳2011) ● 20cm以上でスギやヒノキに大きな被害、15cmで被害散見、10cm程度で被害ほとんどなし(新燃岳1959) 	
5cm前後 10cm ~ 2cm			
1cm前後 2cm ~ 0.3cm		<ul style="list-style-type: none"> ● 1cm 降灰1cm以上の地域で泥状の降灰付着による幹の倒伏折損、湾曲倒伏、葉の変色落葉、枯死などの被害(有珠山1977) 	
1mm前後 0.3cm ~ 0.05cm			
0.5mm以下			

【降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

- ・火山灰付着による幹の折損

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】

- ・枯死の発生



降雨中の噴火により泥状の降灰が付着した幹の倒伏折損、湾曲倒伏(有珠山1977)

“ネッシー地帯”(9月10日 虻田町泉地区)
有珠山大噴火ドキュメント(日本放送出版協会刊)

②森林

3. 影響の条件の考え方

(1) 火山灰や火山ガス成分の付着による影響

- 新燃岳(2011)では、降灰の厚さ25cm以上の範囲ではアカマツ枯死率60～100%、20cm以下で枯死率25%以下であった(金谷・他, 2013)。
- 新燃岳(1959)では、降灰の厚さ10cm程度ではスギやヒノキの枯死木はほとんどみられず、厚さ15cm前後で局所的に散見され、厚さ20cm以上で大きな被害が生じた。また、降灰地域のスギの葉色が全体的に赤みを帯び、一部は幼壮齢林の樹勢が衰えが見られている(火山噴出物による林木被害調査班, 1965)。
- 有珠山(1977)では、降雨と主に火山灰が降り、降灰の厚さが1cm以上の地域で降灰付着による幹の倒伏折損、湾曲倒伏、葉の変色落葉、枯死などの被害があった。降灰の厚さが7～10cm以上では、幹折れ以上の激害木が多くみられた。降灰量が50cm～2mに達する有珠外輪山の内側においては、樹木の大部分が主幹のみ棒状に残る状況が報告されている(森田・他, 1978)。

⇒降灰厚さ10cm以上の範囲で降灰の付着による幹や枝の折損や強い倒伏が生じる可能性がある。(降雨がある場合は、より薄い降灰厚さの地域でも折損や強い倒伏が生じる可能性がある。)

【除外要件】 なし

降灰量別人工林の被害(有珠山1977)

降灰の厚さ		50～30cm		30～15cm		15～10cm	10～5cm		5～3cm		3～1cm
地域		有珠山北西方面		月浦		月浦	旭浦		幌別		久保内
	樹種	トドマツ	カラマツ	トドマツ	カラマツ	カラマツ	トドマツ	カラマツ	トドマツ	カラマツ	トドマツ
被害度%	5：主軸先端が幹が折損	全枯	31	34	69	11	5	46	2	35	0
	4：幹が根際から湾曲、強い倒伏		69	22	23	89	18	54	11	55	0
	3：幹が中央付近から湾曲、弱い倒伏		0	0	8	0	5	0	20	10	4
	2：主軸の先端が湾曲		0	42	0	0	32	0	39	0	12
	1：無被害		0	2	0	0	40	0	28	0	84
備考		表-2地点8,9,11	表-3地点10	表-3地点12	表-3地点6	表-3地点7	表-5地点4	表-5地点1	表-6地点7	表-6地点8	表-6地点12

森田・他, 1978の表-1,2,3,5,6より作成

③畜産

1. 想定される影響

- ・牧草の枯死や生育不良
- ・家畜の目や皮膚の障害
- ・歯や蹄の摩耗
- ・火山灰を食べたことによる腸閉塞等
- ・フッ素症による死亡

[定性]

2. 過去の噴火における被害事例等

- ① 牧草の枯死や生育不良等の影響が生じた事例
 - I. 0.6cmで牧草の枯れ死が発生(セントヘレンズ火山1980)
 - II. 積灰量が5cm以上の範囲の牧草地等で生育不良が発生(新燃岳2011)
- ② 家畜の目や皮膚の障害の影響が生じた事例
羊や牛の皮膚に障害が発生(ハドソン火山1991)
- ③ 歯や蹄の摩耗の影響が生じた事例
 - ・火山灰を牧草と共に食べた羊の歯が摩耗(ハドソン火山1991等)
 - ・放牧で火山灰上を歩いた牛の蹄が摩耗(プウジェコルドンカウジェ2011)
- ④ 牧草と共に火山灰を食べたことによる腸閉塞等の発生が生じた事例
 - ・火山灰が堆積した牧草地で、牧草とともに火山灰を食べたため腸閉塞等が発生(ルアペフ火山1995-1996)
- ⑤ フッ素症の発生による死亡が生じた事例
 - ・火山灰を食べた羊がフッ素症となり死亡(アイスランド1947等)

【降灰中に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

- ・ 牧草に火山灰がかかることによる生育不良

【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

- ・ 牧草が火山灰に埋もれることによる枯死

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】

- ・ 火山ガス付着成分が多い場合は被害が大きい

【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】

③畜産

3. 影響の条件の考え方

- ・新燃岳(2011)では、降灰の厚さ5cm以上で牧草地等の生育不良がみられた(毛利, 2011)。
- ・Jenkins et al(2015)では牧畜は降灰の厚さが25mm程度以上で50%以上の生産低下が発生するとしている。

Code:		D0	D1	D2	D3	D4	D5
Description:		No damage	Disruption to harvest operations and livestock grazing of exposed feed	Minor productivity loss: less than 50 %/crop	Major productivity loss: more than 50 %/crop; Remediation required	Total crop loss; Substantial remediation required	Major rehabilitation required/ Retirement of land?
AGRICULTURE TYPE:	Horticulture & Arable 作物	0 mm (0-20 mm)	1 mm (0.1-50 mm)	5 mm (1-50 mm)	50 mm (1-100 mm)	100 mm (25-200 mm)	300 mm (100- 500 mm)
	Tree Crops	0 mm (0-20 mm)	1 mm (0.1-50 mm)	5 mm (1-50 mm)	50 mm (1-100 mm)	200 mm (5-500 mm)	300 mm (200- 500 mm)
	Pastoral 畜産	0 mm (0-20 mm)	3 mm (0.1-50 mm)	25 mm (1-70 mm)	60 mm (20-150 mm)	100 mm (30-200 mm)	300 mm (100- 500 mm)
	Pastures 水田	0 mm (0-50 mm)	1 mm (0.1-50 mm)	30 mm (1-75 mm)	75 mm (20 - 300 mm)	150 mm (75 - 300 mm)	300 mm (100- 750 mm)
	Forestry 森林	0 mm (0-75 mm)	5 mm (0.1-75 mm)	200 mm (20-300 mm)	1000 mm (100-2000 mm)	1500 mm (100-2000 mm)	?

⇒降灰の厚さが2 cm以上になると牧草の生育に影響を与えると想定する。



【放牧牛の背中にも降灰】

(熊本県農業革新支援センター, 2018)



牧草の上に5~6cm程度の降灰(宮崎県営牧場)

(毛利,2011)

新燃岳の噴火に伴う降灰対策

平成 23年 2月 10日
農業技術支援室

■畜産(飼料作物)

- 1 乾草、サイレージは、貯蔵施設の密閉やシートをかぶせるなど、火山灰がはいらないよう工夫する。
- 2 家畜への給与
 - ①少量の付着であれば、特に家畜の健康に問題ない。
 - ・ 褐毛和種成雌妊娠牛に必要な乾物量の5% (430 g/体重 500kg) の降灰と酸性水 (pH 2.8 ~ 3.8) を9か月間給与した。第1胃内容液について異常は見られず、第1胃の活動が順調であることが示唆された。血液検査についても特に異常値は認められなかった。また、試験期間を通じ臨床的にも健康で、分娩から再受胎ならびに子牛の発育も順調であった。(熊本県草地畜産研究所: H2)
 - ・ 雲仙普賢岳の降灰をサイレージと混合して(サイレージ 1kg 当たり降灰 40 g 及び 20 g)、搾乳牛へ給与した。粗飼料採食量は灰が付着したほうが低い傾向にあったが、乳量・乳成分に差はみられなかった。(長崎県畜産試験場: H3)
 - ②火山灰は強酸性の場合があり、嗜好性の低下も考えられるため、できるだけ火山灰を落として給与する。
 - ・ 搾乳牛に有珠山の降灰を1日 1kg 採食させると、飼料採食量、乳量の減少が認められたが、その他の障害は認められなかった。(北海道農業試験場: S52)
 - ③青刈り給与ではできれば避けたほうがよい。
 - ・ 手刈りしたイタリアンライグラス1番草の降灰付着率は5.9%、一昼夜予乾後の付着率は3.5%、雨量16mmの降雨後は7.2% (長崎県畜産試験場: H3)

表 イタリアンライグラスの降灰付着率(長崎畜試: H3) (単位: %)

区分	降灰直後 ¹⁾	降雨後 ²⁾	予乾後 ³⁾
倒伏区(1番草) 開花終期	5.9 (22.1)	7.2 (31.9)	3.5 (17.1)
無倒伏区(2番草) 開花後期	3.3 (17.0)	2.7 (23.3)	1.7 (11.4)

- 1) 5月30日、鎌で手刈りし普通に取扱い調査
 - 2) 雨量16mmの降雨後(6月1日)、1)と同様の方法で調査
 - 3) 降雨前に刈り取ったものを室内のビニールシートに一昼夜夜上げ、手で5回反転したものを調査
 - 4) 上段は現物中、下段は乾物中含含有率
- 3 生育中のイタリアンライグラス
- ①火山灰に埋もれていないイタリアンライグラスは、病害虫に気をつけしばらく生育を見守る。
 - ②火山灰に埋もれてしまったイタリアンライグラスは、枯死する可能性が高いので、火山灰を除いて生育状況を確認する。大部分が枯死していれば、収穫をあきらめて4月からの夏作播種の準備を優先する。

(農業技術支援室(熊本県錦町), 2011)

④水産物

1. 想定される影響

- ・漁獲量等への影響
 - ・養殖への影響
- } [定性]

2. 過去の噴火における被害事例等

降灰による水産物への被害状況

事例	被害対象物	被害の概要
1914年 桜島噴火 (大正噴火)	マグロ、イルカ、 メジナ、エビ、ク ラゲ、アワビ等	マグロ、イルカ、メジナ、メジカ漁業：鹿児島湾内への回遊はいつもの年より減少 エビ、クラゲ、アワビ、その他の介類漁業：軽石の沈積で不良 ※1
1973年 爺爺岳噴火	昆布	昆布：海辺干し場が使用不可となること、海中が汚染され昆布が腐敗すること、乾燥途中の昆布に火山灰が付着すれば取り除くのが困難になり商品価値が下がること等 ※2
1977年 有珠山噴火	虹鱒	洞爺湖漁協、虹鱒が全滅の危機。養殖池の稚魚数万匹も死んだ。 ※2
1979年 御岳山噴火	ヤマメ	ヤマメなどの養殖魚が火山灰による酸欠症状 ※2
1991~1995年 雲仙岳噴火	エビ	「エビなど大幅に減少。火山活動の漁業への影響」研究者によると火山灰を5cm堆積させると3割が死亡することが判明。グリコーゲンの含有率も被害状況減少し、味、栄養ともに劣ってくる。 ※3
2000年 三宅島噴火	トコブシ、海藻	噴火の1年後に調査。降灰によりトコブシが減少したことを目視で確認。 ※4
2011年 霧島山(新燃岳) 噴火	サンゴ	宮崎県日南市の日向灘で海中のサンゴに火山灰が積もり、一部死滅しているのが地元のダイビングショップ経営者によって発見された。 ※5
	ヤマメ	ヤマメ養殖場において、稚魚20万匹がへい死、1,300千円の被害 ※6

【降灰中に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】
・降灰が水中を沈降して海底等に堆積することで魚類の生育環境が悪化

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】

【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】

3. 影響の条件の考え方

- ・雲仙岳（1991-1995）ではガザミ、クルマエビ、カレイ類等の底生生物の漁業生産が減少した（有明海の漁業生産が噴火前に比べて生産額が44%に減少）。 ※7
- ・三宅島（2000）では火山灰の浮遊沈積により海水の混濁が起きた。噴火の約10ヶ月後の調査では、海底への火山灰への堆積によりトコブシの生育密度の減少を確認。 ※4

⇒火山灰が分布する海域（海流による移動も含む）では、底生生物等の漁獲量に影響が生じる可能性がある。

※1:1914桜島噴火報告書,2011 ※2:須藤,2004 ※3:熊谷・他,2004 ※4:東京都島しょ農林水産総合センターホームページ ※5:朝日新聞ホームページ(2011年3月8日)
※6:火山防災対策の推進に係る検討会,2011、広域的火山防災対策に係る検討会,2012、宇野宏司・他,2011 ※7:災害教訓の継承に関する専門調査会,2007.

- 朝日新聞HP(2011)サンゴに火山灰、一部死滅 新燃岳から60 キロの日向灘 (<http://www.asahi.com/eco/SEB201103070086.html>).
- 群馬県農政部(2009)浅間山噴火に対する営農技術指導指針.
- Jenkins, S.F, Wilson, T.M, Magill, C.R, Miller, V, Stewart, C, Marzocchi, W, Boulton, M (2015)Volcanic ash fall hazard and risk Technical background paper for the UN-ISDR Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015, Global Volcano Model and IAVCEI.
- 金谷整一・東正志・臼井陽介, 川口エリ子・山川博美・秋庭満輝・浅野志穂(2013)新燃岳噴火1年後の霧島山系におけるアカマツの枯死状況, 日林誌, 253-258.
- 火山防災対策の推進に係る検討会(2011)第2回資料(資料2, 新燃岳の噴火対応等について).
- 火山噴出物による林木被害調査班(1965)1959年霧島火山群新燃岳の爆発による林木の被害, 林業試験場研究報告第182号.
- 熊谷良雄・須藤茂(2004)大都市における火山灰災害の影響予測評価に関する研究.
- 熊本県農業技術課(農業革新支援センター)(2018)霧島山(新燃岳)の噴火に伴う農作物被害等に対する降灰対策.
- 熊本県農業革新支援センター(2019)阿蘇山中岳第一火口の噴火に伴う降灰の状況と土壌改良対策の考え方(第39報).
- 広域的な火山防災対策に係る検討会(2012)第3回資料(資料2, 大量の降灰への対策(大都市圏/山麓)).
- 森田健次郎・豊岡洪・佐藤明・舟木敏夫(1978)有珠山噴火が森林におよぼす影響(Ⅱ)ー森林被害の実態ー, 日本林學會北海道支部講演集, 26巻.
- 毛利栄征(2011)新燃岳噴火による降灰状況緊急調査報告書(案).
- NHK取材班(1978)有珠山大噴火ードキュメント, 日本放送出版協会.
- 野呂孝史・矢沢宏大・加藤哲郎・椿 眞由巳・田旗裕也(2002)火山灰混入土壌における園芸作物の生育・収量, 兵制年度東京都農業試験場技術成果レポート, p51-52.
- 農業技術支援室(熊本県錦町)(2011)新燃岳の噴火に伴う降灰対策.
- 農業経営支援課(宮城県)(2018)【花き】の【降灰】対策について.
- 災害教訓の継承に関する専門調査会(2007)1990-1995雲仙普賢岳噴火報告書.
- 災害教訓の継承に関する専門調査会(2011)1914桜島噴火報告書.
- 桜島大正噴火100周年事業実行委員会(2014)桜島大正噴火100周年記念誌.
- 須藤茂(2004)降下火山灰災害ー新聞報道資料から得られる情報, 地質ニュース, 604号, 41-65項.
- 東京都島しょ農林水産総合センターHP(2001)三宅島潜水調査3 (<http://www.ifarc.metro.tokyo.jp/old/kenkyu/chousa/saigai/miyake/miyake3/index.html>).
- 東京都島しょ農林水産総合センターHP(2001)三宅島潜水調査4 (<http://www.ifarc.metro.tokyo.jp/old/kenkyu/chousa/saigai/miyake/miyake4/index.html>).
- 宇野宏司・中野晋・粕淵 義郎(2011)霧島連山・新燃岳の火山災害による事業所被災と自治体対応, 土木学会論文集F6(安全問題), Vol2, No.2, I_23-I_28.