

降灰による影響の想定のお考え方 (交通分野) (案)

平成30年12月7日

大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ

降灰による被害の波及イメージ

- 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



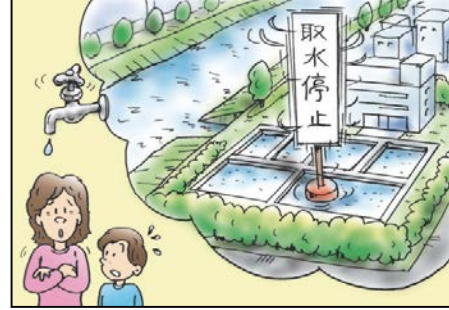
通電不良による踏切や信号の誤作動、車両の運行停止



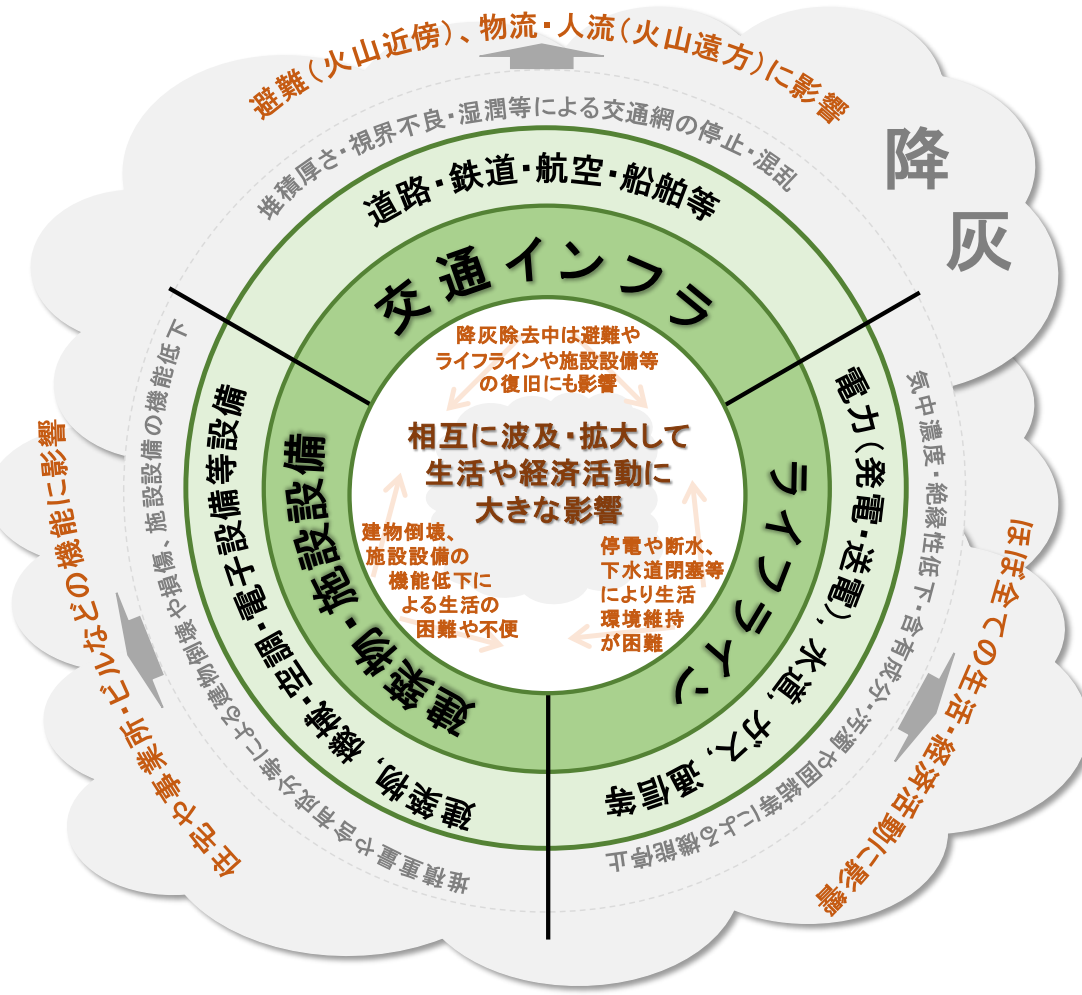
停電防止のため碍子等の清掃（降灰除去）が必要



取水地の水質悪化のため断水が発生

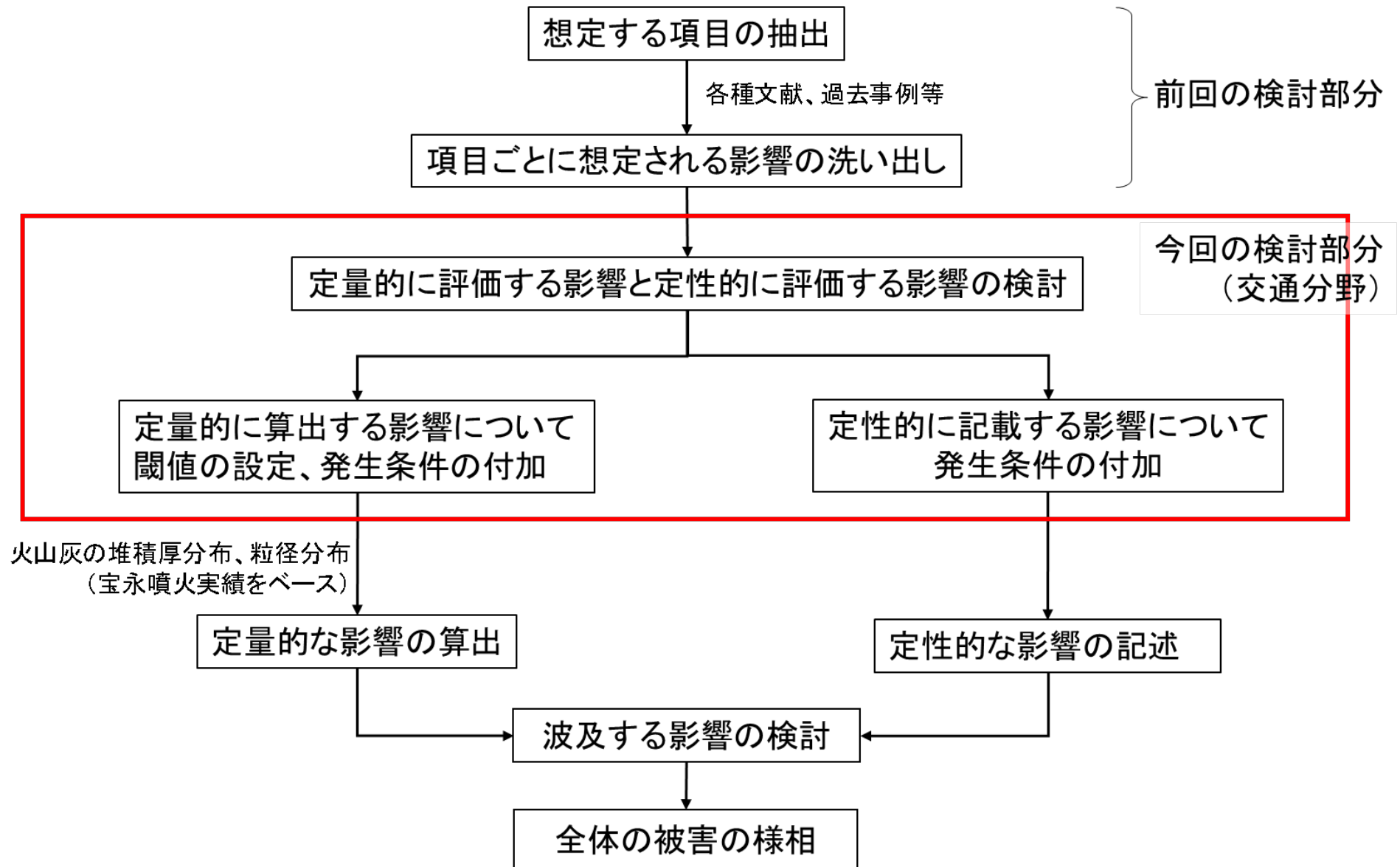


その他様々な分野で影響が発生
(農業、物流、通信、医療、健康被害など)



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

被害の様相を検討する流れと今回の検討



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
- ・橋梁等への荷重増加

[定量]速度低下や通行不能が発生する区間及び距離

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(ファイテン2008) ● 20 道路の視界不良(ハトソン1991) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 100 車両走行不能(ラバウル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(エナ2002) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 30 道路閉鎖(エナ2002) ● 20 道路閉鎖(ハトソン1991) ● 10 道路閉鎖(エナ2002)
5cm前後 10cm	<ul style="list-style-type: none"> ● 5 道路の視界不良(カルブコ2015) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 8 路面抵抗の減少(シナブン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(ハトソン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'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'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(エナ2002) ● 0.1 路面抵抗の減少(桜島2011、ルアベ'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'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(案)

(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(～30-45μm)、中粒(～300μm)、粗粒(～800μm)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200-260μm)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。

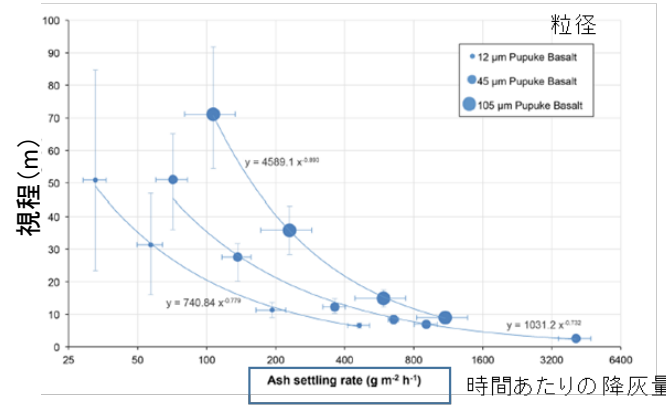
(2) 視界不良の影響

- 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

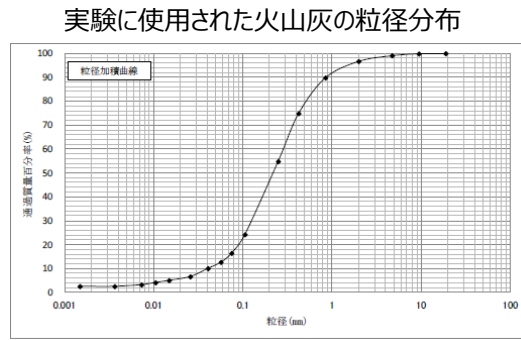
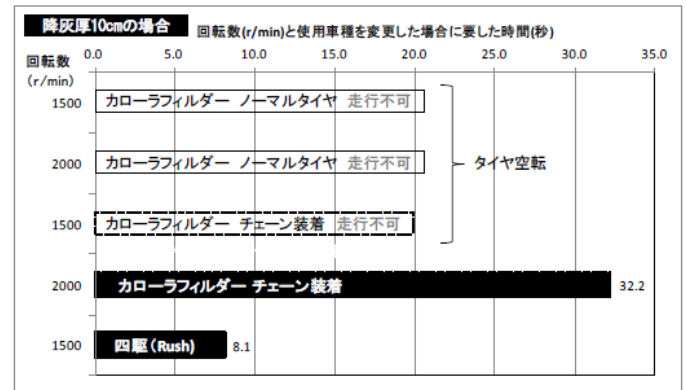
3. 影響の条件の考え方(案)(続き)

(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。

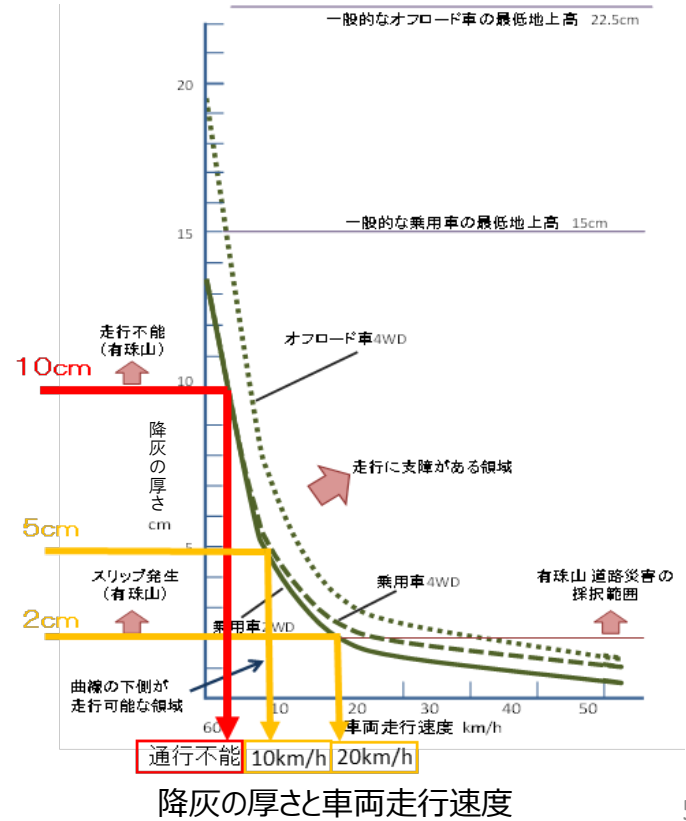
降灰の厚さ(cm)	0-1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	7.0	10.0
転がり抵抗係数	0.015	0.02	0.02	0.03	0.03	0.033	0.033	0.1	0.2
同程度の転がり抵抗係数となる路面 ³⁾	アスファルト路面	草の生えた堅固路面					砂地路面	深い泥濘地	

- 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



①道路

3. 影響の条件の考え方(案)(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。

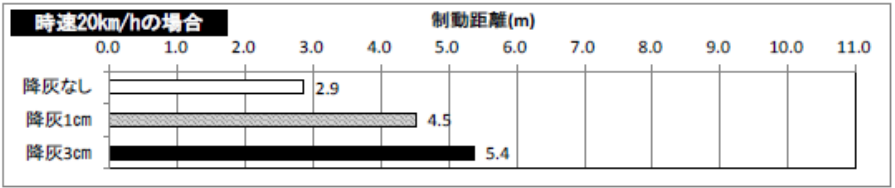


図 4-1 制動距離試験結果 (時速 20 km/h)

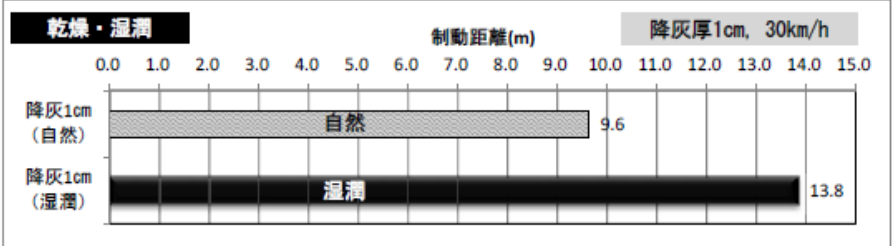


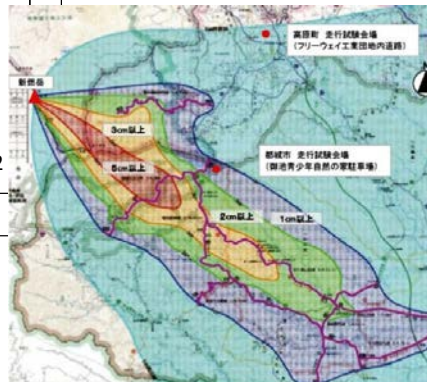
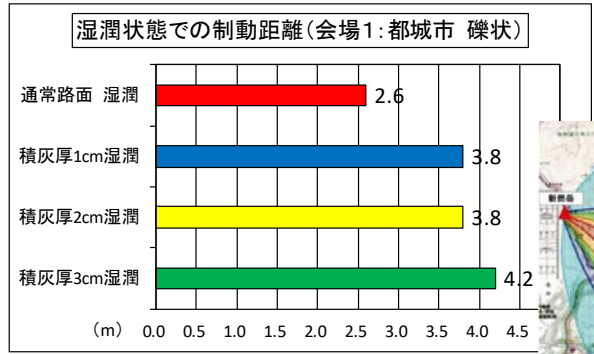
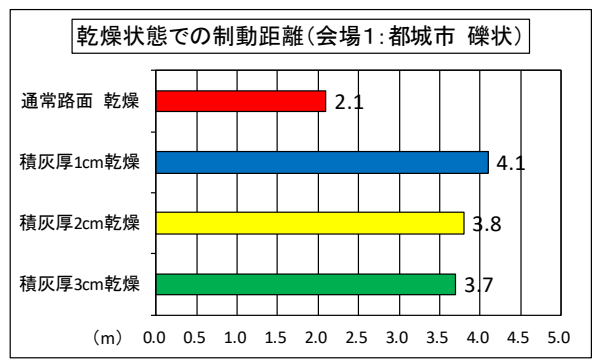
図 4-2 制動距離試験結果 (降灰厚 1 cm 時速 30 km/h)

＜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。

＜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

⇒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。

①道路

4. 想定する影響の条件(案)

○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

・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 ただし降雨条件下で0.5cm以上 視程 30m～60m	降灰の厚さ 5cm以上10cm未満 ただし降雨条件下で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
走行速度30km/h	降灰の厚さ 0.1cm以上2cm未満 ただし細粒火山灰では0.05cm～ 視程 60m～125m	降灰の厚さ 0.1cm以上2cm未満 ただし細粒火山灰では0.05cm～

○被害の表現の方法

- ・高速道路、一般国道、主要地方道、一般都道府県道のデータを用いて、影響を受ける区間の分布・総延長規模、除灰が必要な量の時間的変化を算出する。
- ・除灰速度を仮定して、除灰を行った場合に、影響が継続する期間を算出する。

①道路

○除灰速度の考え方(案)

・霧島山(新燃岳)の2011年の噴火の際には、堆積厚が1cmを超える地域では、路面清掃車による作業ができず、タイヤショベルやモーターグレーダーが利用された(都城市, 2012)。

⇒使用する資機材を次のように想定する。

降灰堆積厚	機材
0~10mm	ロードスーパー
10~100mm	ホイールローダー等
100mm~	ホイールローダー等+バックホウ+ダンプ

・ロードスーパーの除灰速度については、玉置・他(2014)により、ロードスーパーによって吸い込まれた灰が、ホッパに溜められ、ホッパが満タンになれば、たまった灰をダンプカー等に移し替えられ、処分地に運ばれるというプロセスを考慮した「実質走行速度」として整理されている。

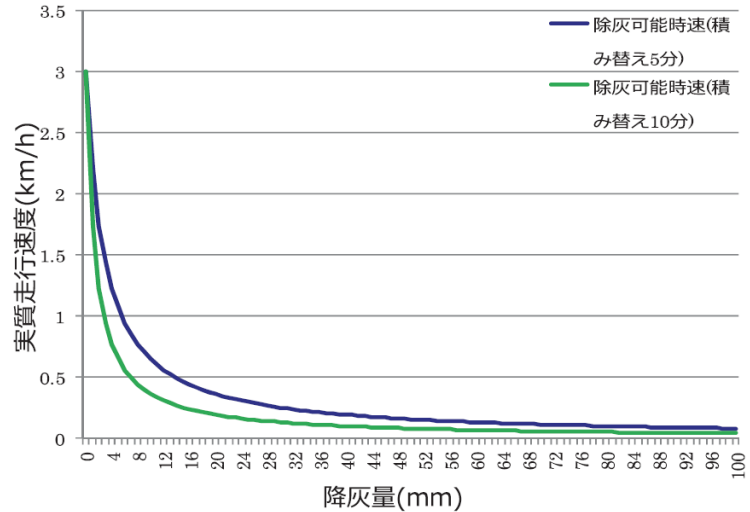


図6 実質的なロードスーパーの速度

走行速度:3km/h, ホッパ容積:2.2m³, 清掃幅:3.2m と仮定した場合の降灰量と実質走行速度(玉置・他, 2014)

・ホイールローダー及びバックホウの除灰速度は、土木工事における施工能力を仮定する。

	日当り標準作業量	備考
ホイールローダー	535 m ³ /日	山積み1.3~1.4m ³ 級、現場内除雪
バックホウ	154 m ³ /日	平積み0.6m ³ 級、土砂等運搬

※1 農林水産省「土地改良工事積算基準」より
 ※2 国土交通省「平成30年度作業日当り標準作業量」より

・活動可能な資機材は、影響下にある都県内の所有台数を仮定する。

<除灰日数(最短除灰期間)を推定した例>

熊谷・他(2004)

・東京都下一律に1cmの降灰を想定。ロードスーパー1時間あたりの除灰可能距離0.36km/h・台で、23区内の清掃を行うためには、東京清掃協会が所有するロードスーパー68台を全部投入するとすれば、94.8時間(24時間体制のフル稼働で4日弱)を要する、と試算している。

玉置・他(2014)

・熊谷・他(2004)と同様の手法で、2011年の霧島山(新燃岳)の噴火の場合で推計。降灰地域で活動できるロードスーパーの総数を鹿児島県の全保有台数21台とした場合、3.6日ほどで全ての灰を除去できる、としている。

※除灰順序は考慮されていない最短除灰期間の概算。

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
- ・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)

[定量]運行不能が発生する区間及び距離

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(セントヘレンス'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(セントヘレンス'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)(セントヘレンス'1980)
1cm前後 2cm ～ 0.3cm	<ul style="list-style-type: none"> ●0.5 列車脱線(スプリエール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(セントヘレンス'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、セントヘレンス'1980) 	<ul style="list-style-type: none"> ●0.1 スタッフの健康懸念(セントヘレンス'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、踏切の自動閉鎖の障害
- ・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】

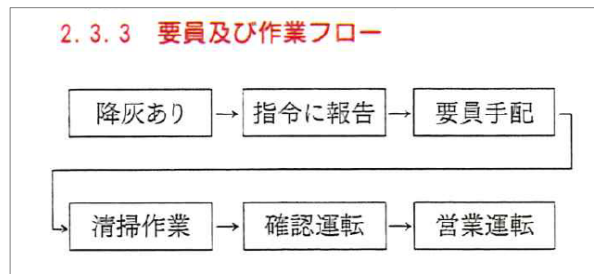
- ・ディーゼルエンジンの不調

②鉄道

3. 影響の条件の考え方(案)

- (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。

- (2)視程の低下
- ・一般に、視程が低下し、信号が視認できない視程となる範囲において、速度低下または運休の措置がとられている。
- ⇒降灰中においても同等と考え、視程が50m以下となる範囲で速度低下と想定する(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。



(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)

○霧島山(新燃岳)2011年の噴火時の運休状況(井口, 2011より)



表一 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～9:05 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(案)

○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

・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
走行速度25km/h	微量 視程 50m以下	微量

○他の分野の影響

- ・停電エリアは運行不能

○被害の表現の方法

- ・上の条件を用いて、路線データにより、該当区間の分布・総延長規模を計算。
- ・清掃速度及び点検時間から影響が継続する期間を計算。
(清掃速度は、人手による場合、手押しによるレール塗油の速度(2-3km/h)、車両による場合レール洗浄車の作業速度(10km/h)を仮定する。)

③航空

1. 想定される影響

- ・空港閉鎖
- ・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
- ・空港閉鎖による降灰域外の運行(機体繰り)への影響

[定量]閉鎖する空港と欠航便数
降灰域を通過する便数

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(ラバウル1994) ● 15 空港閉鎖(ピナツボ'1991) ● 13 空港閉鎖(週単位)(アジウェ・コルドン・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(トングララ72010) ● 3 空港閉鎖(トングララ72010)
1cm前後 2cm ～ 0.3cm			<ul style="list-style-type: none"> ● 2 空港閉鎖(アジウェ・コルドン・カウジエ2011、セントヘレンズ'1980) ● 2 空港閉鎖(週単位)(ハカヤ2010、カルグン1982、セントヘレンズ'1980) ● 0.5 空港閉鎖(コリマ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'1981) ● 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(セントヘレンズ'1980:アメリカ) ● 0.2 空港閉鎖1日未満(グアグアピチンチャ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'2002) ● 0.1 空港閉鎖(桜島2011、ルアヘア1996、カレラ1993) ● 0.1 空港閉鎖1日未満(クルー2014、トングララ72014、チャイテン2008、ハドソン1991、ピナツボ'1991、三宅島1983、セントヘレンズ'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(エイヤイトラヨー外'2010) ● 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、エトナ2006、ルアヘア1995-96、ピナツボ'1991、セントヘレンズ'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
- ・空港閉鎖による降灰域外の運行(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
- ・空港閉鎖による降灰域外の運行(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(案)

○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

- ・鹿兒島空港では、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。さらに降灰が増えると滑走路や誘導路の除灰が検討されている。
 - ・霧島山(新燃岳)の噴火(2011年、2018年)では、除灰作業中、滑走路が一時閉鎖された。
- ⇒滑走路等が灰色一色の風景(2mm~)においては、滑走路等の除灰が必要。

(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。

○他の分野の影響

停電エリアの空港は操業不能

○被害の表現の方法

- ・上の条件を用いて、滑走路が閉鎖される空港と、当該空港を離発着する民間航空機の日平均の値で、欠航便数を算出。
(除灰速度は、道路における想定と同様とする。)
- ・降灰の開始から終了までの間、降灰の厚さが微量以上の範囲(海上を含む)の空域を通過する路線と、当該路線の日平均便数の値から、影響をうける便数を算出。

- 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.
- 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.
- 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).
- 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.
- 坂井佑介,上條孝徳,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.
- 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,p.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.
- 高浜勉,翠川三朗(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.
- 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,運転協会誌,2015年12月号,9-11.