

# WRF-FALL3D 連携モデルを用いた富士山噴火の降灰分布予測計算と高速道路網への影響評価

後藤大青<sup>1</sup>・柴山知也<sup>2</sup>

## Prediction of Ashfall Distribution of Mt. Fuji Eruption Using the WRF-FALL3D Linked Model and Evaluation of the Impact on the Expressway Network

Taisei GOTO<sup>1</sup> and Tomoya SHIBAYAMA<sup>2</sup>

### Abstract

Volcanic eruptions are currently occurring frequently in many parts of the world. There are 111 active volcanoes in Japan, and countermeasures against eruptions are urgently needed in Japan. In this study, we performed predictive calculations of ash distribution for Mt. Fuji, which once caused extensive damage due to the Hoei eruption (1707) during the Edo period. We use the WRF-FALL3D model to simulate an explosion on the scale of the Hoei eruption. Based on the results of the ash distribution forecasting calculations, the time and resources required for highway restoration were quantitatively examined. As a result, we found the seasonal characteristics of ash fall distribution at the eruption of Mt. Fuji. In particular, when an eruption occurs in autumn, the ashfall axis extends toward the northeast, and the expressway connecting Nagoya and Tokyo is found to be significantly affected.

キーワード：富士山, 火山, 火山噴火, 火山灰, WRF-FALL3D モデル, 高速道路

Key words: Mt. Fuji, Volcano, Volcanic eruption, Volcanic ash, WRF-FALL3D Linked Model, Expressway

### 1. はじめに

近年、世界で噴火が相次いでいる。日本では海底火山である福徳岡ノ場の噴火(2021年)による軽石被害が注目された。国外では、トンガの海底

火山の大規模な噴火(2022年)により日本でも津波が観測され、話題となった。日本は世界の活火山のうちの約1割に当たる、111の活火山を有しており<sup>1)</sup>世界でも有数の火山大国である。そのた

<sup>1</sup> 早稲田大学大学院創造理工学研究科  
School of Creative Science and Engineering, Waseda University

<sup>2</sup> 早稲田大学理工学術院  
Faculty of Science and Engineering, Waseda University

本稿に対する討議は2024年2月末日まで受け付ける。

め、火山活動が活発化する中で、火山の噴火に対する備えを急ぐ必要がある。過去200年で首都圏に被害を及ぼした火山噴火は発生していないが、富士山の宝永噴火(1707年)では、火山灰により静岡県駿東郡、神奈川県西部を中心に甚大な被害が出た。特に足柄平野では火山灰による河床上昇により洪水が頻発し噴火から100年程度の間耕地が荒廃した記録<sup>2)</sup>が残っている。当時の記録には、宝永噴火による火山灰は江戸とその周辺まで達し、上総、下総(現在の千葉県)でも降灰が記録されている。富士山は宝永噴火以降に噴火していないが、現代で宝永噴火規模の噴火が発生した場合、社会基盤に大きな被害が発生する<sup>3)</sup>と考えられている。そのため、本研究は富士山が噴火した場合の被害予測を行い、噴火への対策として必要な備えを提言することを目的とする。

富士山の噴火に関する被害予測は、中央防災会議の大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ<sup>4)</sup>で検討されている。そこでは、富士山が噴火した際の降灰分布、さらには噴火が発生した場合のインフラへの影響を予測している。しかし、交通への影響に関しては除灰対策を含めた定量的な被害予測にまでは至っておらず、さらに具体的な検討が必要である。

そこで、本研究ではWRF-FALL3D連携モデルを用いて富士山宝永噴火の再現計算を行った。

WRF-FALL3D連携モデルはE.Collini et al. が本研究と同様にWRF-FALL3D連携モデルを用いてCordo'n Caulの噴火の再現計算を行い<sup>5)</sup>WRF-FALL3D連携モデルの有用性を示している。日本では服部らがFALL3Dを用いた噴火の再現計算を行っており<sup>6,7)</sup>、WRF-FALL3D連携モデルは降灰分布予測計算において有用性があると認められている。また、新堀らはMSM<sup>8)</sup>と移流拡散モデルを組み合わせて浅間山の噴火を再現している<sup>9)</sup>。気象庁では2022年12月時点で、桜島、薩摩硫黄島、諏訪之瀬島について降灰予測を行っている。本研究では、宝永噴火と同規模の噴火を異なる季節に当てはめて計算を行い、各季節の降灰分布の特徴について検討した。その計算結果から一般道や日本の陸上輸送の要である高速道路網の復旧に必要な時間や対応に必要な工事車両数をQGISで定量的に評価し、東京一名古屋を結ぶ輸送路の噴火後の機能維持の工事負荷を検討した。

## 2. WRF-FALL3D 連携モデルでの宝永噴火再計算

本研究では、WRF-FALL3D連携モデルを用いて富士山噴火時の降灰分布予測計算を行った。本章では富士山噴火の時期を季節的に変えた場合に降灰分布に現れる傾向について検討し、評価を行う。

### ◆ WRF-FALL3D連携モデルの概要

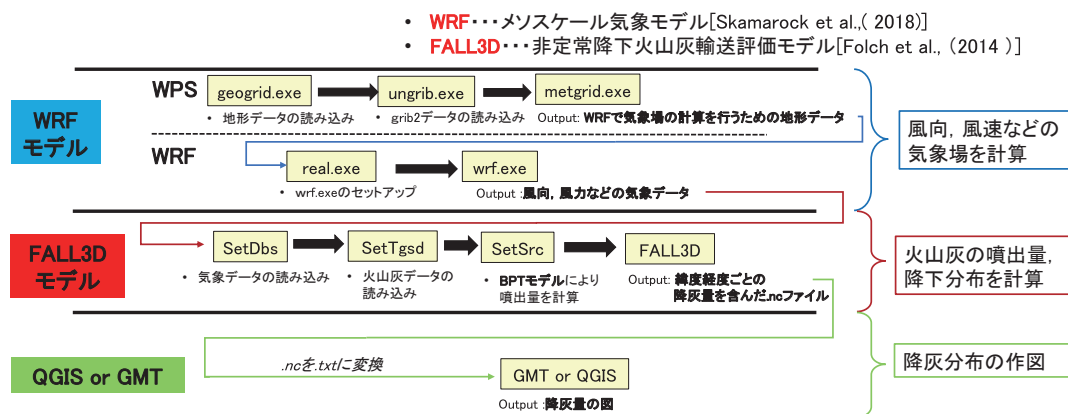


図1 WRF-FALL3D 連携モデルを用いた降灰分布予測計算の流れ<sup>10,12)</sup>

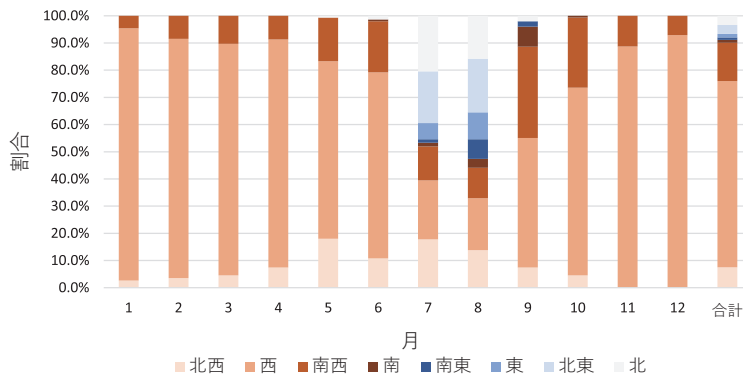


図2 館野 (100 hPa 地点：高度約15-16 km) での風向きの割合<sup>16)</sup>

### 2.1 WRF-FALL3D 連携モデルの概要

WRF-FALL3D 連携モデルは、米国大気研究センター (NCAR) と米国環境予測センター (NCEP) を中心として開発された天気予報と学術研究の両方に対応したモデルである WRF<sup>10,11)</sup> と、降下火山灰の輸送過程を非定常3次元で表現する FALL3D<sup>12,13)</sup> を組み合わせることで降灰分布予測計算を行うモデルである。具体的な計算の流れは図1に示す通りである。まず WRF で気象場を計算し、そこに FALL3D を適応して噴出量、噴煙高さを付与することで降灰分布を計算する。WRF は鉛直方向に5,000 Pa (高度約35 km) まで計算可能であり、大規模噴火での計算にも対応可能である。また FALL3D は降灰分布予測計算として使用されている Tephra 等の他のモデルと比較し、様々な噴火規模・火砕物を対象とした評価を可能とし、遠方への計算を得意とする<sup>6,7)</sup> ため WRF-FALL3D 連携モデルを選択した。

### 2.2 計算方法、計算条件

前章で記載した WRF-FALL3D 連携モデルを用いて、宝永噴火規模の噴火の再現計算を行った。WRF-FALL3D 連携モデルは、既往研究<sup>14)</sup> により宝永噴火時の火山灰の噴出量、噴火時間<sup>15)</sup> を FALL3D に入力することで宝永噴火規模の噴火を再現できることがわかっている。本研究では、宝永噴火が実際に発生した冬に限らず、春、夏、秋の期間でも計算を行った。これは、降灰分布は上

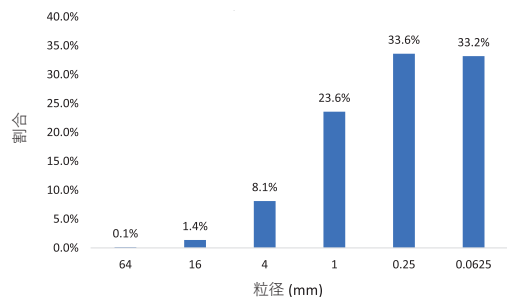


図3 FALL3D に入力した粒径の割合

表1 計算条件

WRF FALL3D	計算領域	34.4 N~36.8 N, 137.9 E~140.8 E 4/1~4/16 (春) 8/1~8/16 (夏)
	計算期間	10/1~10/16 (秋) 12/16~12/31 (冬) 各季節2018年から2020年の 3年間分を計算
WRF	水平解像度	3 km
	頂上気圧	5,000 Pa
	鉛直層数	36
	計算間隔	18 s
FALL3D	気象データ	FNL (ds083.2: 1deg, 6 h)
	地形データ	USGS (30 s)
	水平解像度	3 km
	頂上高度	30 km
	鉛直層数	30
	計算間隔	60 min
	噴出率	表2 参照
噴火継続時間	表2 参照	
噴煙柱モデル	BPT <sup>17)</sup>	

表2 噴火継続時間と噴出率 (N. Miyaji et al., 2011 を元に著者が作成)

計算開始時刻からの経過時間 [h]	噴火継続時間 [h]	噴出率 [ $\times 10^7 \text{kg/s}$ ]
10-11.5	1.5	2.3
11.5-15.5	4	0.64
17-25	8	1.83
25-30	5	1.03
30-45.5	15.5	0.68
45.5-61	15.5	0.08
61-78.5	17.5	0.49
78.5-94.5	16	0.25
111.5-127	15.5	0.42
141.5-142.5	1	0.44
164-172.5	8.5	1.19
187.5-196.5	9	0.31
228.5-236.5	8	1.39
236.5-241	4.5	0.24
241-274.5	33.5	0.6
286-343	57	0.2

空の風が降灰分布に大きな影響を与えることから、宝永噴火が発生した冬の時期以外の時期についても降灰分布予測計算を行うべきと思われるためである。図2に示す通り、基本的には日本の上空は偏西風により西からの風が卓越しているが、季節ごとに風向きの傾向には特徴を有している<sup>16)</sup>。気象場の初期値・境界値データにはNCEPによって作成されている天候予測データ FNL (ds083.2: 1度間隔, 6時間間隔)を用いた。また、FALL3Dの噴煙柱モデルはBPT(浮力噴流)モデル<sup>17)</sup>である。粒形分布については6クラスを一様分布で入力した。実際の粒径の割合を図3に示した。その他の計算条件の詳細は以下の表1, 表2に記した通りである。

### 2.3 計算結果

計算結果を図4に示す。季節ごとに降灰軸に特

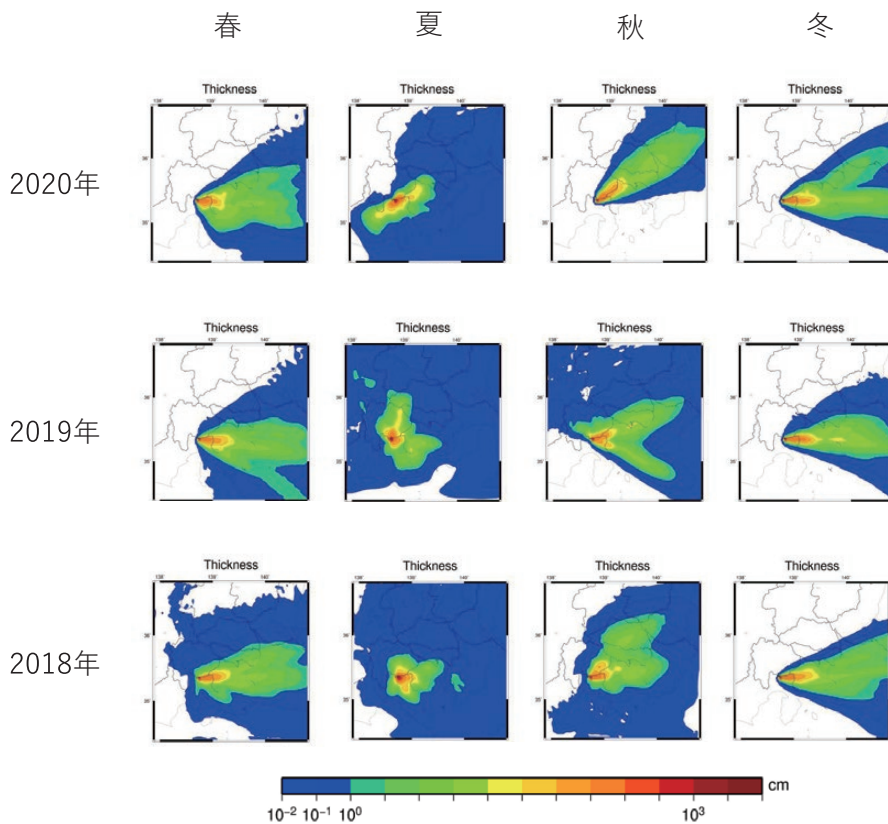


図4 季節ごとの降灰分布予測計算の結果

表3 各季節の降灰分布の特徴

計算季節	火山灰の堆積が集中する地域	東京都心での降灰厚
春、冬	静岡県駿東郡、神奈川県西部	最大で10 cm ほど
夏	伊豆を除く静岡県東部、山梨県東部、神奈川県西部	少量
秋	神奈川県・山梨県の県境と東京都	最大で30 cm ほど

徴がみられ、宝永噴火が発生した冬と比較し夏、秋は異なる特徴を持つ降灰分布となった。

各季節の結果の特徴を表3にまとめた。春、冬のケースは富士山から東に向かって降灰軸が伸びている。これは宝永噴火時と同じ傾向であり、現在行われている富士山噴火への被害想定は春、冬のケースを想定しているといえる。春、冬のケースでは降灰軸が東に向かっており、降灰が集中するのは静岡県駿東郡、神奈川県西部であり、東京都心では最大で1 cm ほどの降灰である。夏のケースでは降灰軸が日によって変化し、富士山から全方位に向けて降灰が広がっているという傾向がみられる。夏のケースは伊豆を除く静岡県東部、山梨県東部、神奈川県西部を中心に火山灰が堆積した。この場合は東京都心への影響は少ないと考えられる。秋のケースは降灰軸が富士山から北東に向けて広がっている。そのため、神奈川県・山梨県の県境と東京都を中心に火山灰が堆積する結果となった。秋のケースでは東京都心でも最大で30 cm ほどの火山灰が堆積する可能性があることも計算結果は示している。

### 2.4 降灰分布の考察

以上の結果より、富士山が噴火した場合の降灰分布は季節ごとに特徴を有していることを確認した。特に秋のケースでは降灰軸が東京都心から埼玉方面に向けて、富士山から北東の方向に広がる傾向があることが明らかになり、その場合、首都圏に火山灰が30 cm ほど堆積する可能性があることがわかった。宝永噴火と同時期の想定では東京都心に堆積する火山灰は最大で10 cm ほどだったため、秋のケースは冬に発生した宝永噴火の気象条件と比較し、東京都心に被害が集中する恐れが

あると考えられる。また、季節ごとの計算結果と異なる年の結果であっても、季節ごとの計算結果にある程度同じような傾向がみられる。そのため、富士山の噴火の対策を行う際は、季節ごとの噴火の特徴を踏まえて行うべきであることがわかった。

一方で各モデルの初期条件が結果に与える影響に関して、考察が必要である。上述の通り本研究では、FALL3Dにて噴煙高さの概算にBPTモデルを用いている。BPT(浮力噴流)モデルは既往研究により、噴煙高さから噴出量を概算する際に過大評価になることが報告されている<sup>6,7)</sup>。そのため宝永噴火時より噴煙高さが過小評価となっており、降灰分布に影響を及ぼしている可能性がある。また本研究では、計算の簡易化のためテフラの凝集について考慮していない。新堀ら<sup>18)</sup>によると、凝集効果により単独では地表まで到達しえない細粒火山灰の落下を促進させるため凝集効果を考慮していないモデルの計算結果は、火口から近地の降灰量が過少、大気中の火山灰濃度と遠地の降灰量が過剰の傾向になる。本研究での計算も上記の初期条件の不確定さが降灰分布に影響を与えていることに留意しておく必要がある。

### 3. 道路網に与える影響の定量的評価

富士山が噴火した場合、降灰により日本の交通網に多大な影響が出ることが危惧される。大規模噴火時は一般道を含め、火山灰の堆積により通行不能になる道路が多く発生する。富士山が噴火した場合、名古屋一東京を結ぶ輸送路である東名高速道路が使用不可能になる可能性が高い。名古屋一東京を結ぶ東名、新東名以外の輸送路のうち回路としては、中央自動車道や関越自動車道が考えられる。本研究では、富士山が噴火した際に一般道に加え、これらの高速道路に堆積する火山灰の量を計算した。降灰の除去に必要な車両の台数や時間を明らかにすることで一般道の降灰除去が現在の体制で十分かどうかや高速道路が輸送路として機能するかを検討する。

#### 3.1 計算手法

本研究では前章で計算した降灰分布予測の結果

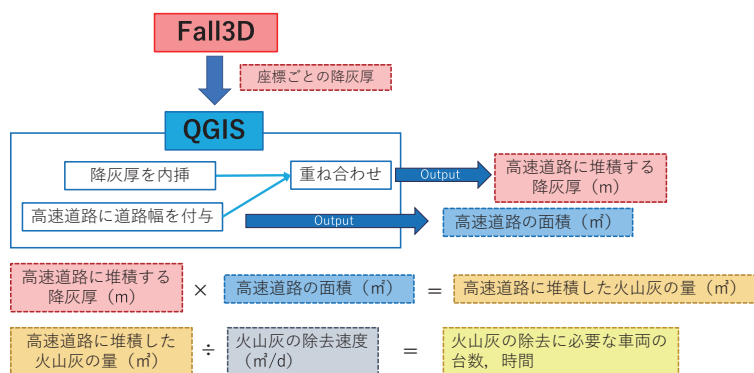


図5 本研究での高速道路への影響評価の流れ

表4 ロードスイーパー、ホイールローダーの作業能力

降灰堆積厚 h (cm)	使用する 機種	作業量 Q m <sup>3</sup> /h	実際の作業量
0.01 ≤ h < 0.1	ロードスイーパー	$\frac{3,600 \times q \times E}{Cm}$ (1)	116.775 m <sup>3</sup> /h
0.1 ≤ h	ホイールローダー	yr × w × h (2)	yr に依存するため一定でない

作業能力：Q m<sup>3</sup>/h, 1 サイクル当たり掘削積込量：q m<sup>3</sup>,  
作業効率：E, 1 サイクルの所要時間：Cm s, 実質走行速度：yr m/h, 清掃幅：w m, 降灰厚：h m

を使用し、富士山が噴火した場合の一般道と高速道路網への影響を定量的に評価した。計算フローを図5に示す。

まず、オープンソースの地理情報システム QGIS<sup>19)</sup>を用いて、WRF-FALL3D 連携モデルにて計算した緯度経度ごとの降灰厚を、計算格子の間を距離で内挿して求める。その後、道路幅を付与した高速道路に重ね合わせることで高速道路に堆積する降灰厚を算出する。算出された区域ごとの高速道路に堆積する降灰厚と、その区域の高速道路の面積の積が高速道路に堆積した火山灰の量となる。さらに火山灰の量を火山灰の除去速度で除すると火山灰の除去に必要な車両の台数や時間を算出することが出来る。

ここで、火山灰の除去速度を定義する。火山灰の除去手法は、中央防災会議<sup>9)</sup>にて示された手法、基準を用いた。また、火山灰の除去に使用されるホイールローダー、ロードスイーパーの作業能力は表4のように定義した。

それぞれ、1 サイクル当たり掘削積込量  $q = 1.73 \text{ m}^3$ 、作業率  $E = 0.75$ 、1 サイクルの所要時間  $Cm = 40 \text{ s}$  と仮定する<sup>20)</sup>。上記の値を式(1)に代入し、 $1.17 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{h}$  を得る。そのため、ロードスイーパーの実際の作業量は  $1.17 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{h}$  として降灰除去に必要なロードスイーパーの台数を計算する。

また、ロードスイーパーの実質走行速度  $yr \text{ m}^3/\text{h}$  は、

$$yr = \frac{1}{\frac{1}{v} + \frac{t \times h \times w}{60M}}$$

と定義し、平常時のロードスイーパーの速度  $v = 3 \text{ m/s}$ 、たまった灰をダンパーに積み替える時間  $t = 10 \text{ min}$ 、ホッパ容量  $M = 2.2 \text{ m}^3$ 、1 回の清掃可能幅  $w = 3.2 \text{ m}$  と仮定した<sup>21)</sup>。ロードスイーパーの実質走行速度  $yr \text{ m}^3/\text{h}$  は、降灰厚に依存する。そのため地点によって走行速度によりロードスイーパーの速度が決まり、最終的に作業量が算定されることになる。また、降灰除去は降灰厚  $0.1 \text{ cm}$  以上の場合は降灰厚が  $0.1 \text{ cm}$  になるまでホイールローダーで降灰除去を行い、その後残った  $0.1 \text{ cm}$  分をロードスイーパーで除去するという作業手順で行うものとする。ホイールローダー、ロードスイーパーの稼働時間は1日10時間として計算を行う。

まず、一般道に堆積した火山灰の除去に必要な時間を算出した。本計算は16日間の噴火期間が終

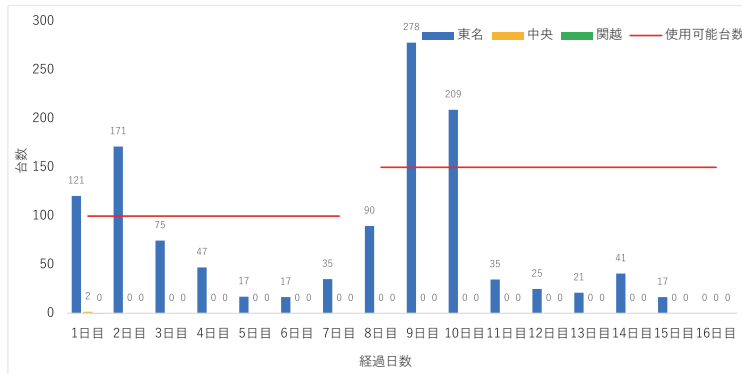
表5 降灰除去計算に用いた計算期間と対象とする高速道路

計算期間	2018/10/01~2018/10/16 (秋), 2019/12/16/~2019/12/31 (冬)
対象とする高速道路	東名高速道路, 中央自動車道, 関越自動車道

表6 一般道の降灰除去に必要な日数

降灰除去に投入する車両数	ホイールローダー 1000台	ロードスリーパー 100台	計
除去に必要な日数(日)	12.5	32.9	45.4

ホイールローダー



ロードスリーパー

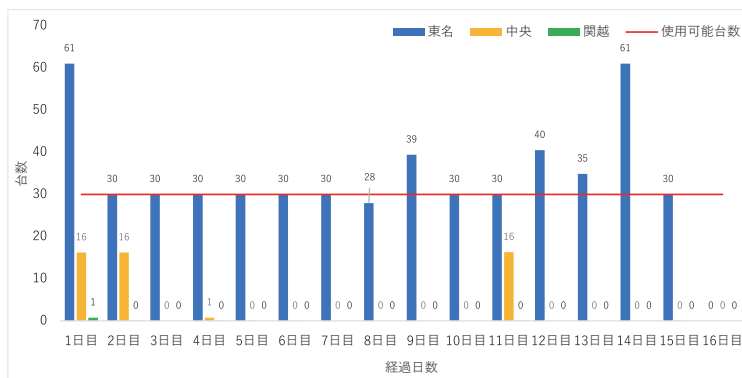


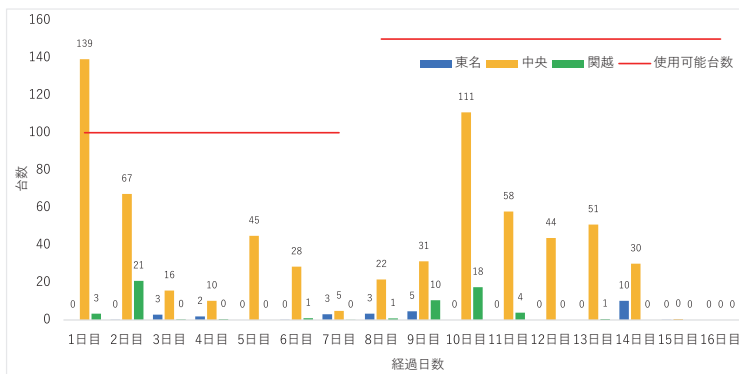
図6 冬のケースでの降灰除去に必要なホイールローダー、ロードスリーパーの台数

了した後、除灰を開始すると仮定し計算を行った。一般道への降灰量はケースごとに大きく差が出ないため、宝永噴火と同じ冬のケースで計算を行った。

また、高速道路への影響調査を行った。本研究では対象とする高速道路を、東名高速道路、中央自動車道、関越自動車道の東京から名古屋までの区間とし、計算を行う。東名第二高速道路は秋、冬のケースの降灰分布と重なっていないため今回

は計算対象としない。計算に用いる噴火時期は、宝永噴火と似たような降灰分布の傾向を有している冬(2019年)のケース、降灰軸が富士山から北東に向けて広がっているため、東名高速道路のう回路としての機能が期待される中央自動車道に多くの火山灰が堆積すると考えられる秋(2018年)のケース、上記2ケースの計算結果を用いて高速道路への影響を評価した。表5に降灰除去計算に用いた計算期間と対象とする高速道路をまとめた。

## ホイールローダー



## ロードスーパー

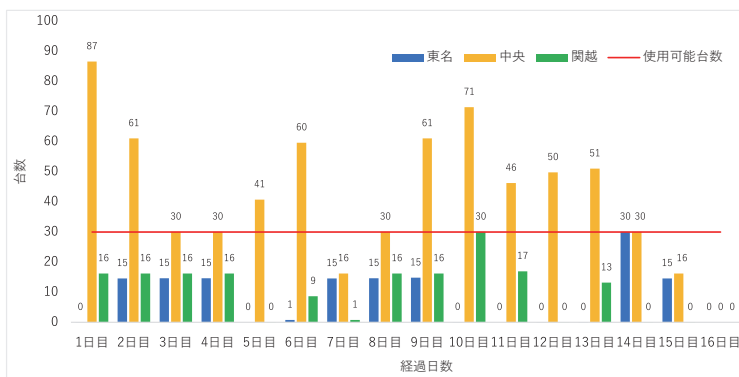


図7 秋のケースでの降灰除去に必要なホイールローダー、ロードスーパの台数

一般的に灰が終了したのち除灰作業を開始することが一般的である。しかし、大規模噴火時は除灰すべき火山灰の量が多く、噴火の終了を待ってから除灰を行うと道路の復旧に多くの時間が必要となる。大規模噴火時のワーキンググループ<sup>4)</sup>では富士山の大規模噴火時は降灰中も除灰を行うことを想定している。そのため本研究では、降灰除去を降灰発生と同時にを行うと仮定した。

### 3.2 計算結果

まず、一般道に堆積した火山灰の除去に必要な日数を表6に示す。完全に除灰が終了するまで1カ月以上を要することが分かった。

降灰除去に必要なホイールローダー、ロードスーパの台数の計算結果を図6、図7に示す。

1日に稼働可能なホイールローダーについては内閣府が公表している建設機械動向調査を参照に評価を行う。建設機械動向調査<sup>22)</sup>によると、関東中部地方に23,194台のホイールローダーが存在し、そのうち、官公庁が所有している台数は1,033台である。噴火直後に使用可能で、かつそれぞれ的高速道路に手配できるホイールローダーの台数を1割ほどと考えると、噴火直後に高速道路に使用できるホイールローダーの台数は100台ほどとなる。また、噴火から1週間で手配できるホイールローダーの台数が増加すると考え、噴火8日目からは150台のホイールローダーが使用可能と考える。

さらにロードスーパについては、東京都道路清掃協会が68台所有していることを考慮し、そ



それぞれの高速道路に使用可能なロードスイーパーは30台として評価を行った。

以上を踏まえた計算結果を図5, 図6に示す。秋のケースでは, 中央自動車道で降灰の量が卓越し, 冬のケースでは東名高速道路で降灰の量が卓越していたため, 除灰に必要な車両数もその傾向を反映した結果となった。秋のケースと比較し, 冬のケースの方が1日当たりに必要な車両数が多くなっており, 冬のケースでは東名高速道路に降灰が集中する可能性があることがわかった。

### 3.3 高速道路網への影響の考察

一般道に堆積した火山灰の除去に必要な時間は1カ月以上必要であることが分かった。そのため, 道路の降灰除去は優先順位をつけて行う必要がある。まずは高速道路や緊急輸送路といった重要な道路に降灰除去に必要な車両を集中配置させる必要がある。したがって, 富士山の大規模噴火時には高速道路の降灰除去に必要な時間や車両数を把握しておくことが非常に重要であると考えられる。

秋のケースは降灰軸が富士山から北東に向けて伸びているため中央自動車道に降灰が集中する結果になったと考えられる。東名高速道路は富士山の近くを通過しており降灰以外の要因で通行が不可能になる可能性が高い。そのことを考慮すると秋のケースでは中央自動車道, 東名高速道路ともに噴火期間中及び噴火終了直後も通行不能になることが予想される。その場合, 名古屋ー東京を結ぶ輸送路として, 関越道がう回路として機能することが期待される。関越道では1日当たりに必要な車両の数が, 噴火発生時に手配可能と想定される車両数を下回っているため, 噴火後に堆積する火山灰は即日除去することが可能である。

一方で冬のケースは東名高速道路で降灰の量が卓越しており, 処理に必要な車両の台数が多くなっている。しかしながら, 中央道や関越道に堆積する火山灰の量は少量であり, 中央道が名古屋ー東京を結ぶ輸送路のう回路として機能することがわかった。冬のケースでは, 秋のケースと比較してう回路が確保しやすく, 交通網への影響は少ないと考えられる。以上の結果を表7に整理した。

表7 降灰による高速道路網への影響

噴火期間	2018/10/01~ 2018/10/16	2019/12/16/~ 2019/12/31
	降灰中の使用	
東名	日によっては可*	不可
中央	不可	可
関越	日によっては可	可

\* 東名高速道路は富士山の直下を通過するため降灰以外の理由で通行できない可能性がある。

輸送の高速道路の代替案として, 高速道路を迂回させるほかに海上輸送や鉄道輸送を活用することが挙げられる。日本の輸送の約55%が陸上輸送で, 約40%が海上輸送であり, 鉄道輸送が約5%である<sup>23)</sup>ことを考えると海上輸送を活用することも視野に入れるべきである。一方で, 大規模噴火時のワーキンググループ<sup>4)</sup>では, 富士山の大規模噴火時, 降灰による視野の低下により東京湾のフェリーの運航は不可能と想定している。本研究の富士山から東に降灰が広がる冬のケースでは海に降灰範囲が重なることからフェリーの運航が難しいと考えられるが, 富士山から北東に降灰が広がる秋のケースでは, 降灰範囲がほとんど内陸であるため海上輸送が可能である可能性が高い。

従って富士山の大規模噴火が冬に発生した場合は, 東名高速道路のう回路として中央自動車道を使用し, 秋に噴火した場合は, 関越自動車道をう回路として使用しながら, 海上輸送を活用することで降灰による輸送能力の低下に対応可能であると考えられる。

また, 以上の結果からロードスイーパーが必要な車両数に対し, 使用可能なロードスイーパーが少なく, ロードスイーパーの不足により作業が円滑に進まない可能性があることがわかった。本研究により, 季節による降灰の傾向明らかになった。そのため, 噴火が予知されていた場合は除灰に必要な車両を降灰が集中するエリアや高速道路や緊急輸送等の重要な道路にあらかじめ移動させておくなどの対応をすることで, 対処していく必要があると考える。

本研究では, 定量的な評価は一般道, 高速道路への影響に留まっている。そのため, 高速道路以

外の海上輸送や鉄道輸送、航空輸送など各分野の定量的な影響を含めた包括的な議論が今後の課題である。

#### 4. まとめ

本研究では、WRF-FALL3D 連携モデルを用いた季節ごとの降灰分布予測計算と、降灰が高速道路網に与える影響の定量的評価を行った。

その結果、宝永噴火が発生した冬以外のケースで東京都心に被害が集中する可能性があることがわかった。特に秋のケースは富士山から北東に向けて降灰軸が伸びていき、東京都心にも最大で30 cm 程の降灰が発生することがわかった。このように季節ごとの上空の風の傾向により、季節ごとの降灰分布にも傾向がある。そのため、今後は富士山噴火季節ごとの傾向を踏まえ、ケースごとに噴火への対策を講じる必要があると考えられる。

また、本研究では、降灰が道路網に与える影響の定量的評価を行った。一般道の降灰除去には1カ月半ほどを要するため、現状の体制では不十分であることが分かった。そのため、高速道路や緊急輸送路などの重要な道路を優先的に降灰除去するなど、優先順位をつけて対応する必要がある。

また、冬のケース、秋のケースで計算を行い、高速道路に堆積した火山灰の量から降灰除去に必要な車両数を検討した。その結果、冬のケースでは東名高速道路に、秋のケースでは中央自動車道に降灰が集中し、上述の高速道路の使用の維持が出来なくなる可能性があることがわかった。その場合は関越自動車道や海上輸送を用いることで影響を最小限に留めることが出来ると考えられる。

さらに、降灰除去作業を行う際にロードスイーパーが不足する可能性が高いことが明らかになった。噴火の時期により降灰除去に必要な車両を降灰が集中するエリアや高速道路や緊急輸送路等の重要な道路に集中配置するなどの対策が必要であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 内閣府：防災情報のページ, <https://www.bousai.go.jp/kazan/taisaku/k101.htm>, 2022年7月2日.
- 2) 永原慶二：富士山宝永大爆発, 吉川弘文館, 2015.
- 3) 鎌田浩毅：富士山噴火と南海トラフ, 講談社, 2019.
- 4) 大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ：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）、2019.
- 5) E. Collini, M.S. Osores: Volcanic ash forecast during the June 2011 Cordón Caulle eruption, *Nat Hazards* (2013) 66 pp389-412, 2012.
- 6) 服部康男・須藤仁・土志田潔・平口博丸：数値シミュレーションによる降下火山灰の輸送・堆積特性評価法の開発（その1）、新燃岳噴火の降灰挙動における気象影響評価、電力中央研究所報告：N14004, 2014.
- 7) 服部康男・須藤仁・土志田潔・平口博丸：数値シミュレーションによる降下火山灰の輸送・堆積特性評価法の開発（その2）、気象条件の選定法およびその関東地方での堆積量・気中濃度に対する影響評価、*Nuclear Risk research Center Rep.No.O15004*, 2016.
- 8) 気象庁、令和3年度数値予報解説集 1.7.5メソモデル, [https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpkaisetu/latest/1\\_7\\_5.pdf](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpkaisetu/latest/1_7_5.pdf), 2022年12月26日.
- 9) 新堀敏基・相川百合・福井敬一・橋本明弘・清野直子・山里平：火山灰移流拡散モデルによる量的降灰予測、2009年浅間山噴火の事例、*気象研究所研究報告*, 第61巻, pp.13-29, 2010.
- 10) Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M.G., Huang, X.-Y., Wang, W. and Powers, J.G.: A description of the advanced research WRF version 3. *NCAR/TN-475+STR*, 113p, 2008.
- 11) 日下博幸：領域気象モデル WRF の都市気候研究への応用と課題、*地学雑誌 (Chigaku Zasshi) Journal of Geography* 120 (2), pp285-295, 2011.
- 12) Folch A., Coast A., Macedonio G.: FALL3D7.0 USER'S MANUAL, 2014.
- 13) Folch A., Costa A., Macedonio G.: FALL3D: A computational model for transport and deposition of volcanic ash, *Comput. Geosci.*, 35, 1334-1342, 2009.
- 14) Y. Tomii, T. Shibayama: Estimation of volcanic ashfall deposit and removal works based on ash dispersion simulations, *Natural Hazards* (2020)

1) 内閣府：防災情報のページ, <https://www.bousai>.

- 103, pp3377-3399, 2020.
- 15) N. Miyaji, A. Kan'no, T. Kanamaru, K. Mannen: High-resolution reconstruction of the Hōei eruption (AD 1707) of Fuji volcano, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 207, pp113-129, 2011.
- 16) 気象庁：過去の気象データ検索, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2021年2月10日.
- 17) Bursik, M.: Effect of wind on the rise height of volcanic plumes. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3621-3624, 2001.
- 18) 新堀敏基：火山灰輸送，モデルと予測火山，第61巻(2016)第2号，pp.399-427, 2016.
- 19) QGIS：QGIS フリーでオープンソースの地理情報システム, <https://qgis.org/ja/site/>, 2022年5月30日.
- 20) 藤田修照：建設機械経費の積算入門，経済調査会出版部, 1985.
- 21) 玉木哲也・多々納裕一：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, *日本自然科学 J. JSNDS* 33 特別号, pp165-175, 2014.
- 22) 内閣府：e-Stat 建設機械動向調査, [https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&toukei=00600080&result\\_page=1](https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&toukei=00600080&result_page=1), 2022年6月30日.
- 23) 総務省統計局：日本の統計第13章 運輸・観光, <https://www.stat.go.jp/data/nihon/13.html>, 2022年12月28日.
- (投稿受理：2022年9月30日  
訂正稿受理：2023年1月10日)

## 要 旨

日本には111の活火山が存在し，火山噴火への対策が急務となっている。1707年の宝永噴火によって大きな被害を出した富士山噴火についての降灰分布予測計算を行った。降灰分布予測計算には WRF-FALL3D 連携モデルを用いて季節ごとに宝永噴火規模の噴火を再現した。降灰分布予測計算の結果から，一般道や高速道路の復旧に必要な時間や対応に必要な車両などを定量的に検討した。その結果，富士山噴火時の降灰分布は季節ごとに特徴を有して，特に秋期に噴火が発生した場合には降灰軸が北東に向かって関東北部にまでに到達し，名古屋ー東京を結ぶ高速道路に多大な影響が出ることがわかった。