

浅間火山におけるプリニー式噴火時の降灰評価

山元孝広

地質調査総合センター活断層・火山研究部門

Institute of Earthquake and Volcano Geology, Geological Survey of Japan, AIST

Takahiro Yamamoto (2016) Numerical assessment of fallout tephra from a Plinian eruption at Asama Volcano, Japan. Open-File Report of the Geological Survey of Japan, AIST, no.631, p.1-44.

1. はじめに

火山噴火で大気中に放出された火山灰は、気象条件次第であらゆる方向に到達可能であり、火山の風下にある地域では降灰の影響を避けることができない。日本では桜島火山の大正噴火以降、これを超える大噴火は起きておらず、主要都市圏が大規模な火山灰災害を被ることは幸い起きていないものの、いずれそのような火山災害が発生するものと考えておく必要がある。内閣府が2013年5月に公表した「大規模火山災害への提言」では、このような現状認識から大規模な降灰による都市型災害への備えの必要性が説かれている（広域的な火山防災対策に係る検討会、2013）。

群馬・長野県境に位置する浅間火山は、有史以来、爆発的噴火を繰り返してきた活火山である。特に天明三年（1783年）のプリニー式噴火では火口から東南東方向に噴煙が流され、現在の高崎市や熊谷市から関東平野の中央部にまで降灰が及んだことが記録されている（日野・都司, 1993）。また、この噴火で放出された降下火砕物の体積は、 0.17km^3 と見積もられている（荒牧, 1968）。天明噴火以降の浅間火山では、より規模の小さいブルカノ式噴火が繰り返されているものの、いずれ天明噴火規模の次のプリニー式噴火が起きることは最近10万年間の噴火履歴（Yasui et al., 2013）からみてほぼ確実である。このような関東の平野部に広がる都市圏を直撃し得る将来の大規模降灰災害に備えるためには、事前の降灰量予測とその評価が必要となろう。そこで本報告では潜在的な降灰災害リスクを理解するために、浅間火山のプリニー式噴火を対象とした移流拡散モデルによる降灰シミュレーションを実施し、噴火時の降灰量確率評価を試行した。なお、降灰シミュレーションによる確率計算はサンコーコンサルタント株式会社、天明噴火の噴火・粒子パラメータ決定のための予備解析は日本工営株式会社に外注している。

2. 降灰シミュレーションの実施方法

2.1 降灰シミュレーションソフトおよび実行環境

降灰シミュレーションソフトは、移流拡散モデルを軸にした降灰シミュレーションコードである「Tephra2 (Connor & Courtland, 2010)」を用いた。Tephra2はSuzuki (1983)によって定式化された大気中における粒子の拡散、大気中での粒子の落下速度、噴煙柱からの粒子離脱量の垂直分布について、数値的に求めるプログラムとしてConnor et al. (2001)によって開発され、Bonadonna et al. (2005)による並列演算化など、改善・改良がなされたものである(萬年, 2013)。Tephra2は各高度範囲で風向・風速を一定とする単純なコードであるものの、各地点の降灰量と降灰粒径が直接計算できる利点がある。

Tephra2の計算の実行には、1) 噴火パラメータ、2) 粒子パラメータ、3) 大気パラメータ、4) 地形パラメータのデータセットが必要であり、それぞれの以下のものから構成される。

- 1) 噴火パラメータ 火口位置 (座標値, 標高)・噴出量・粒径分布・噴煙柱高度
- 2) 粒子パラメータ 火山灰密度, 小噴石の密度・拡散係数・落下時間の閾値
- 3) 大気パラメータ 高度別の風向・風速
- 4) 地形パラメータ UTM 直交座標系の座標値 (x, y) および標高 (z)

噴火パラメータおよび粒子パラメータは、対象火山における実測値などを入力する。大気パラメータは、各高度間の風向・風速が線形補間されるため、高度の間隔に制限はないが、精度の向上には、鉛直解像度が高いデータを用意することが望ましい。地形パラメータは、入力データの解像度と範囲で出力結果が得られるため、求める改造と範囲に応じたデータセットを用意する必要がある。

2.2 入力パラメータ

2.2.1 噴火・粒子パラメータ

本報告では浅間火山の天明噴火規模ケースと新燃岳 2011 年噴火規模ケースのプリニー式噴火を対象とした。設定した噴火・粒子パラメータの一覧を表 2.2.1 に示す。天明噴火の規模については、付録に示す予備解析の結果を用いている。両噴火・粒子パラメータで異なる項目は噴出量総量と噴煙柱高度であり、新燃岳 2011 年噴火規模は天明噴火規模に比較して噴煙中高度が半分、噴出量総量が一桁下である。

表 2.2.1 設定した噴火・粒子パラメータの一覧

パラメータ	天明噴火規模	新燃岳 2011年 噴火規模	備考
Plume height	16,000	8,000	噴煙柱の海面からの高さ(m)
Eruptive mass	1.80E+11	1.80E+10	噴出量総量(kg)
Max grain size	-11	-11	粒子の最大径(ϕ)
Min grain size	13	13	粒子の最小径(ϕ)
Median grain size	0	0	粒子の中央値(ϕ)
STD grain size	4	4	粒径の標準偏差(ϕ)
Vent easting	277,889	277,889	給源火口の位置(UTM54直交座標系:x)(m)
Vent northing	4,031,875	4,031,875	給源火口の位置(UTM54直交座標系:y)(m)
Vent elevation	2,568	2,568	給源火口の標高(z)(m)
Eddy const	0	0	渦拡散係数(m/s^2)
Diffusion coefficient	1,000	1,000	拡散係数(m/s^2)
Fall time threshold	100,000	100,000	落下時間(s)
Lithic density	1,000	1,000	岩片密度(kg/m^3)
Pumice density	1,000	1,000	軽石密度(kg/m^3)
Col steps	100	100	計算間隔(s)
Plume model	0	0	
Plume ratio	0.1	0.1	噴煙柱の上部9割から粒子が放出

2.2.2 大気パラメータ

収集する高層気象データは、気象庁の提供する高層気象観測記録のうち、「館野」観測地点（世界測地系で北緯 36° 3.5′，東経 140° 7.5′，標高 27.4m）における日ごと 9 時のデータとした。収集したデータは、1988 年 1 月 1 日から 2015 年 9 月 30 日までの 10,135 日分である。

収集した気象庁の高層気象データはラジオゾンデで取得されたデータであり、無風状態の場合に風速が 0，風向が静穏として観測され、データの一覧には「-」として示される。また、高度はジオポテンシャル高度，風向は風上の北からの時計回りの角度で表される。Tephra2 の入力値には高度・風速・風向（風下の角度）の数値が必要であり、収集したデータの統計処理を実施する前に、下記のとおり整理した。

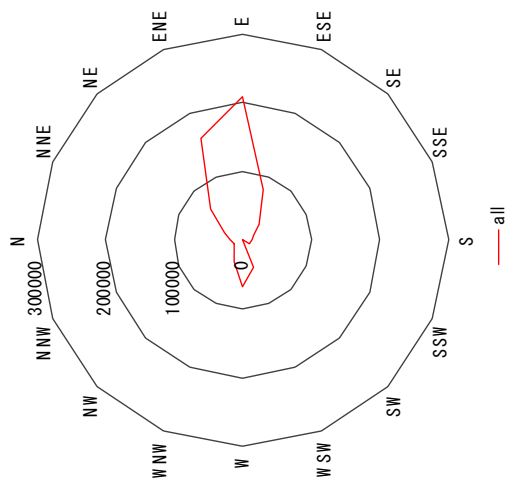
- ・高度はジオポテンシャル高度を用いる。
- ・風向は観測値に 180° 加えた（360° 以上になる場合は 180° 減じた）値とする。
- ・風速 0，風向静穏の場合は、隣接する上下の観測値を用いて線形補間によって風向の値を内挿する。内挿は、用いる上下の観測値のなす角が 180° 以下になる方向で行う。
- ・ただし、上下に観測値がない場合（観測高度の上端，または下端で風速 0，風向静穏が観測された場合）は、近傍の風向データと同値として補間する。

収集したデータの風向・風速を全データについて図 2.2.1 に、月ごとの風速・風向データの高度分布および平滑化スプラインによる近似曲線を図 2.2.2 に示す。風向は 16 方位で図示した。

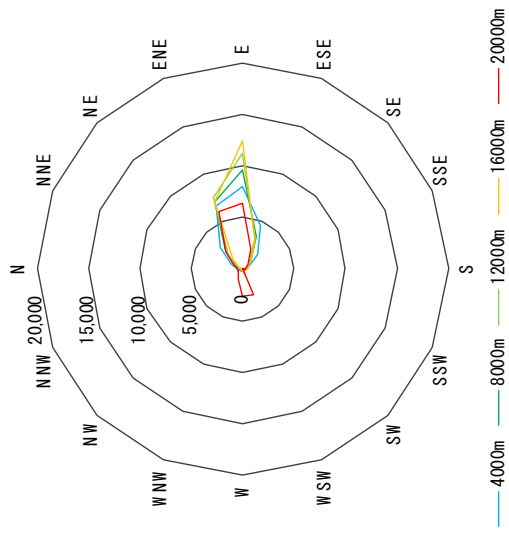
風速の高度分布は高度 12,000m 付近にピークを持つ単峰型の分布を示し、風速は冬期に大き

く（最大 120m/s 程度），夏期に小さくなる傾向を示した．風向の高度分布は高度 2,000m 付近と高度 20,000m 付近を境に傾向が異なった．高度 2,000m 以下の風向は，通年にわたり分布範囲が大きかった．高度 2,000～20,000m 間の風向は，夏期に分布範囲が大きいものの， 90° の風向が卓越した．高度 20,000m 以上の風向は夏期に 270° が卓越し，それらを除く月では 90° と 270° の二つが卓越する傾向が認められた．

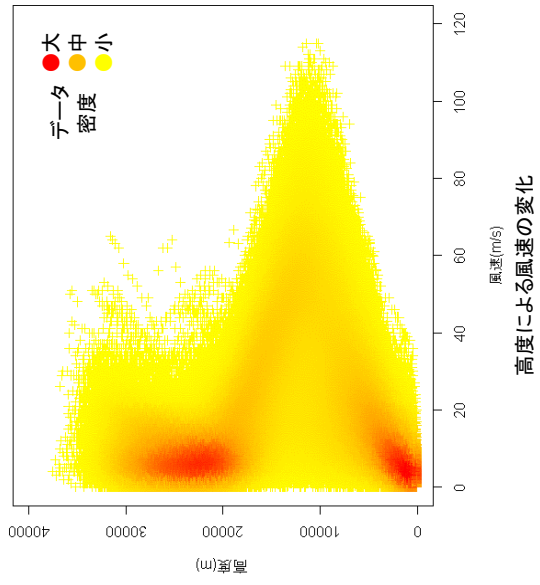
平滑化スプラインによる近似曲線は，データの分布が一つに集中する場合にはデータの密度の大きい箇所，データの分布範囲が大きい場合には中間的な箇所を通過した．風向の近似曲線は，高度 0m から高度 4,000m 付近まで高度の増加とともに 180° から 90° に変化した．高度 4,000m 以上における風向の近似曲線は夏期とそれらを除く月で傾向が異なり，夏期は高度 4,000m から高度 15,000m 付近までが 90° 付近に位置し，高度 15,000m 以上が高度の増加とともに $180^\circ \sim 270^\circ$ に変化した．夏期を除く月は概ね 90° 付近に位置した．



風向の出現件数(全データ)

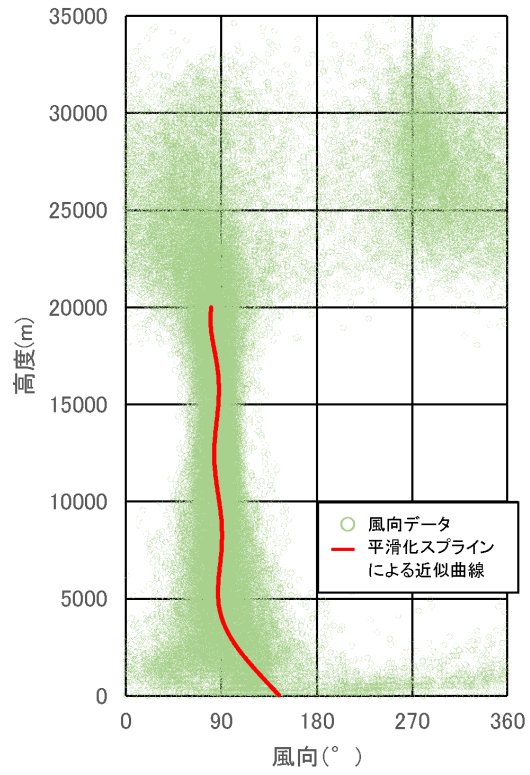
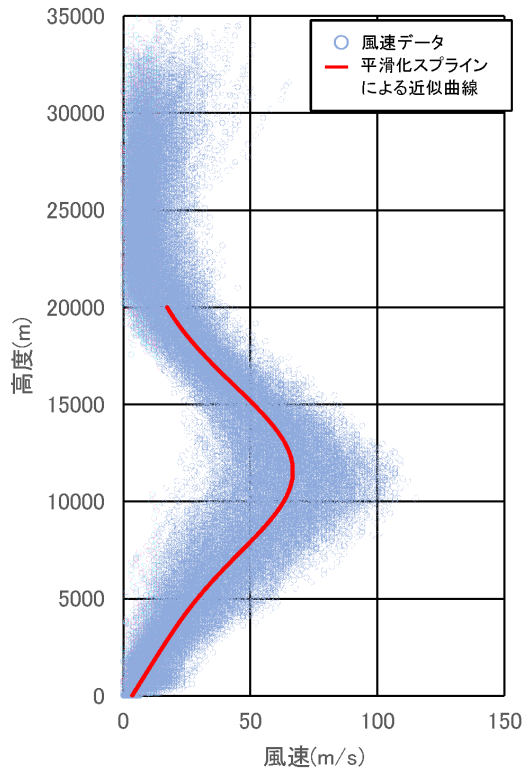


風向の出現件数 対象高度および近傍)

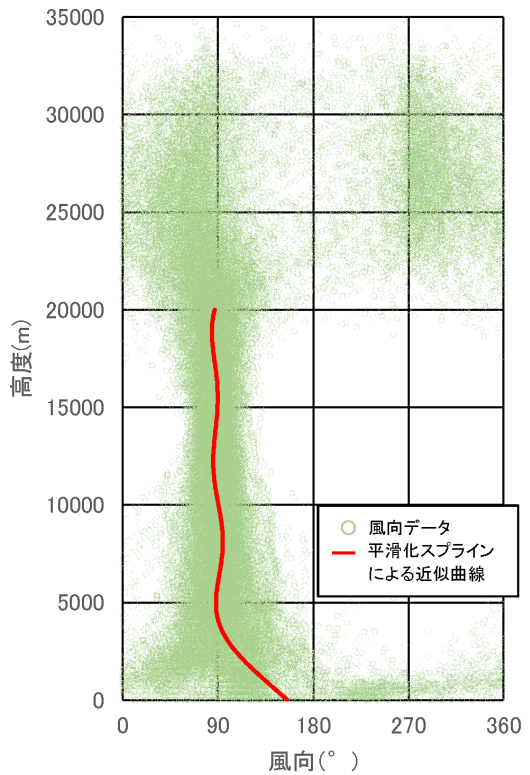
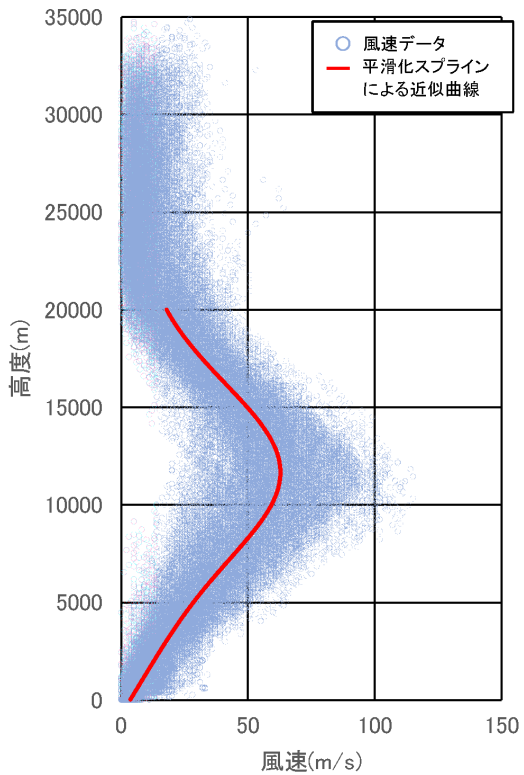


高度による風速の変化

図 2.2.1 収集した風データの風向・風速

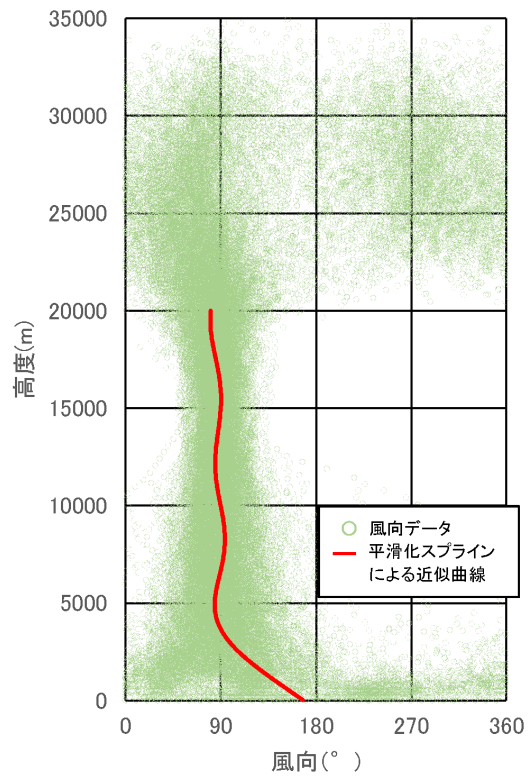
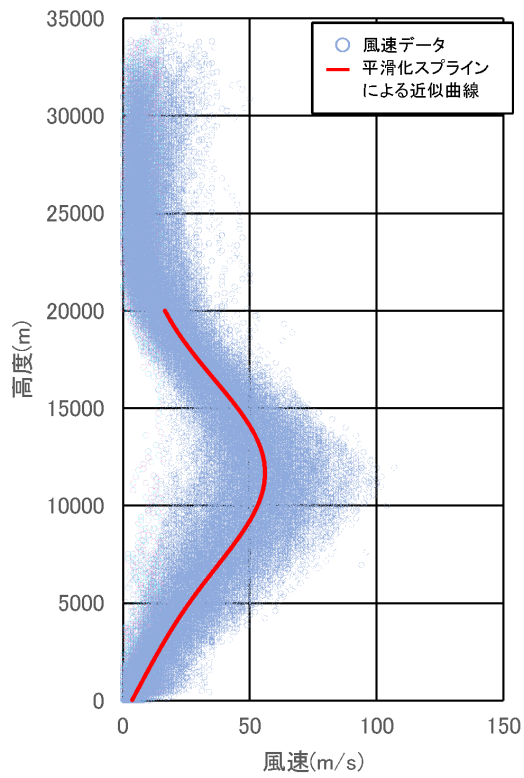


(a) 1月

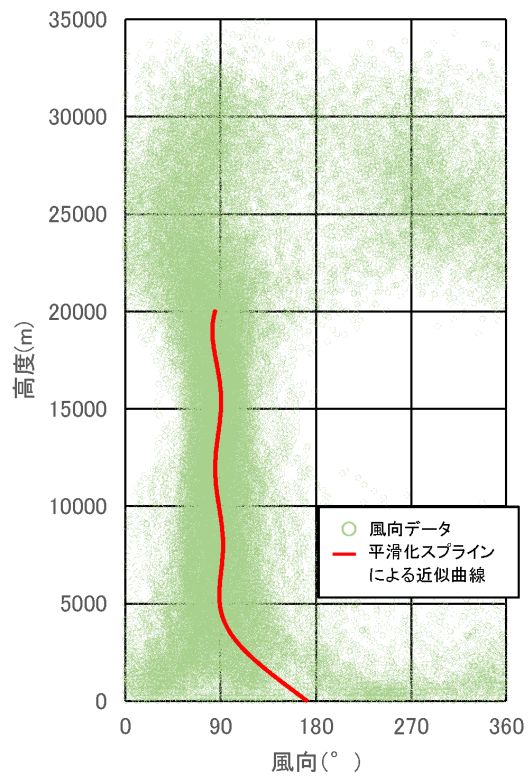
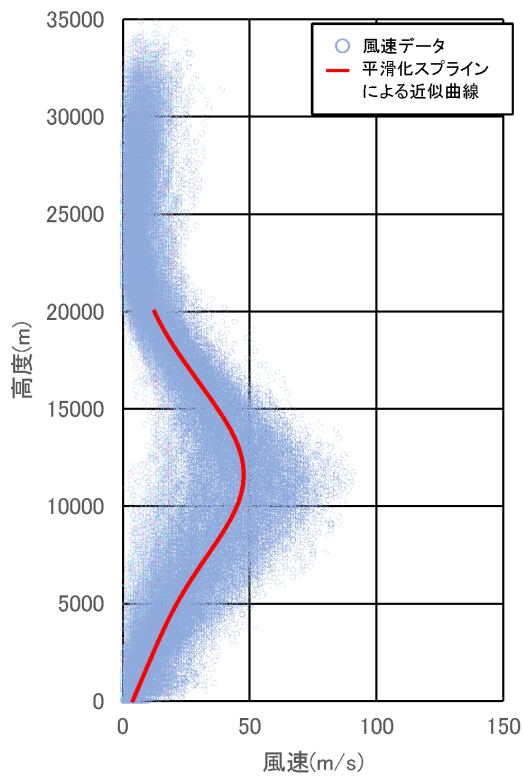


(b) 2月

図 2.2.2 月ごとの風速・風向データの高度分布および平滑化スプラインによる近似曲線

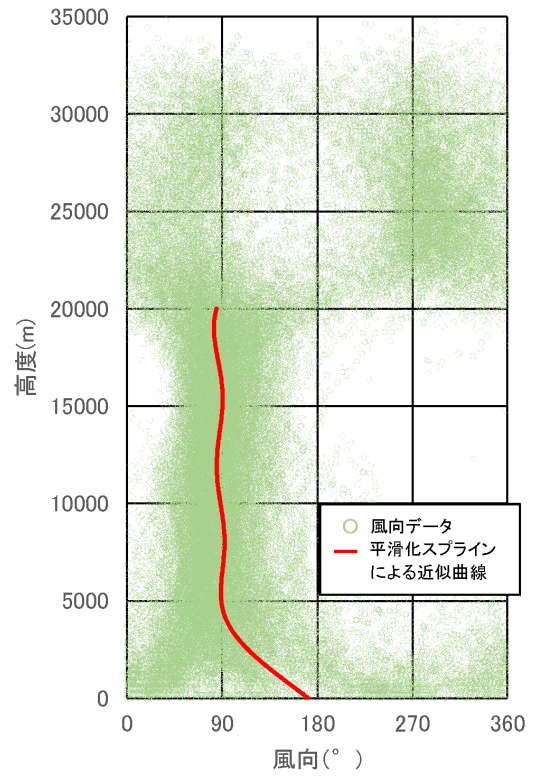
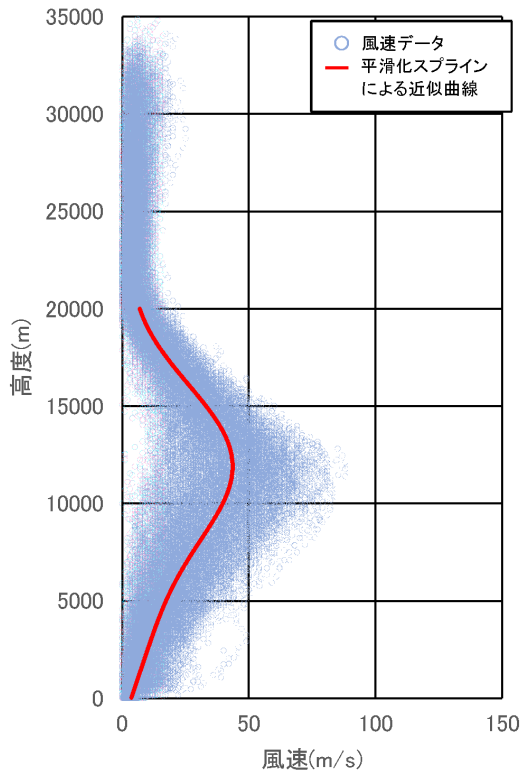


(c) 3月

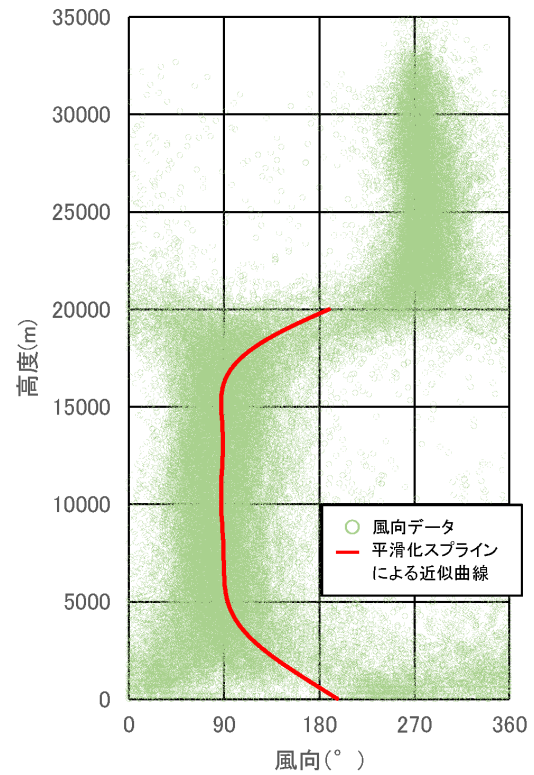
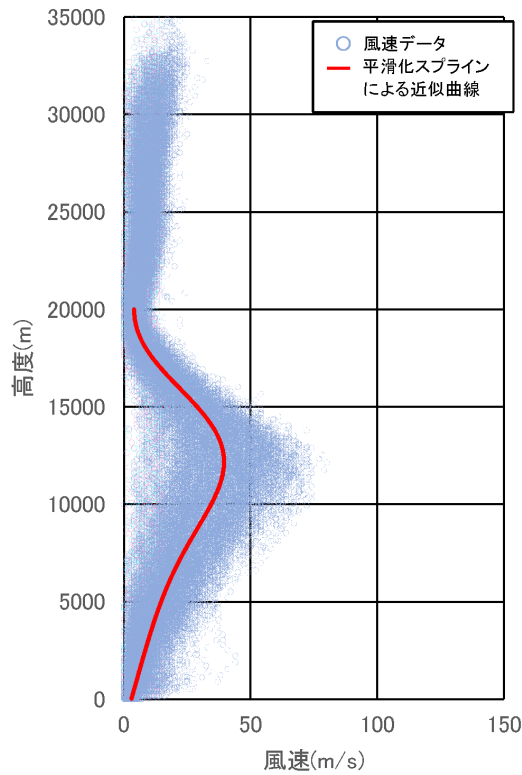


(d) 4月

図 2.2.2 (つづき)

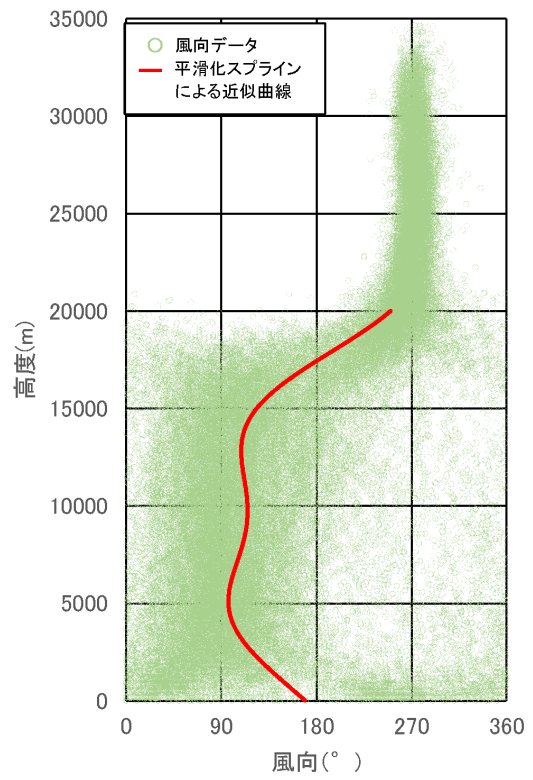
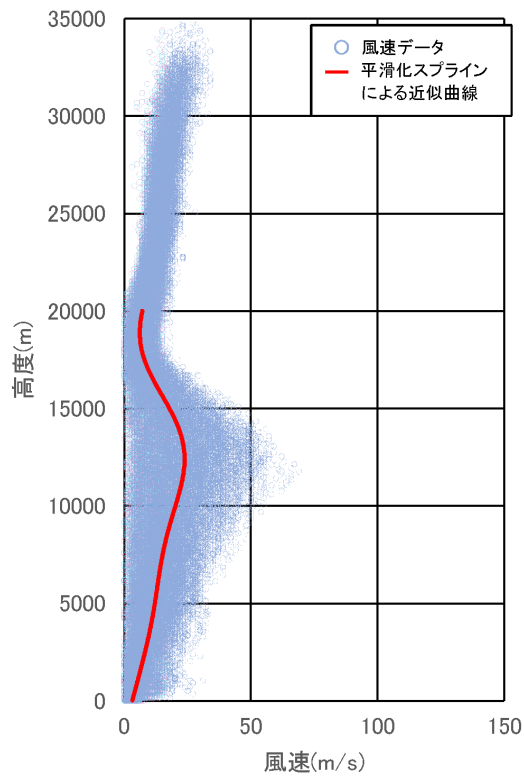


(e) 5月

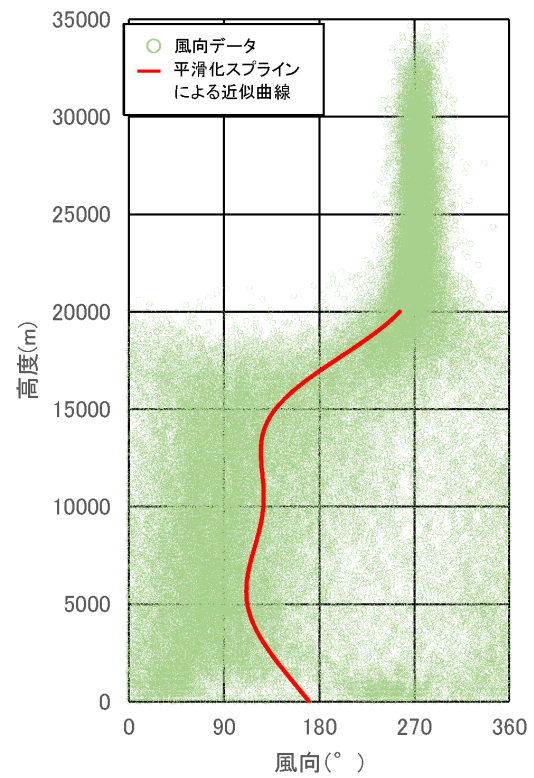
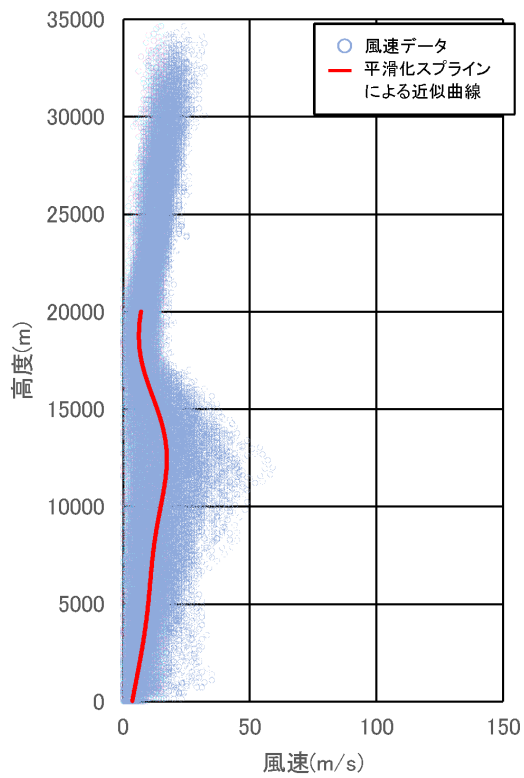


(f) 6月

図 2.2.2 (つづき)

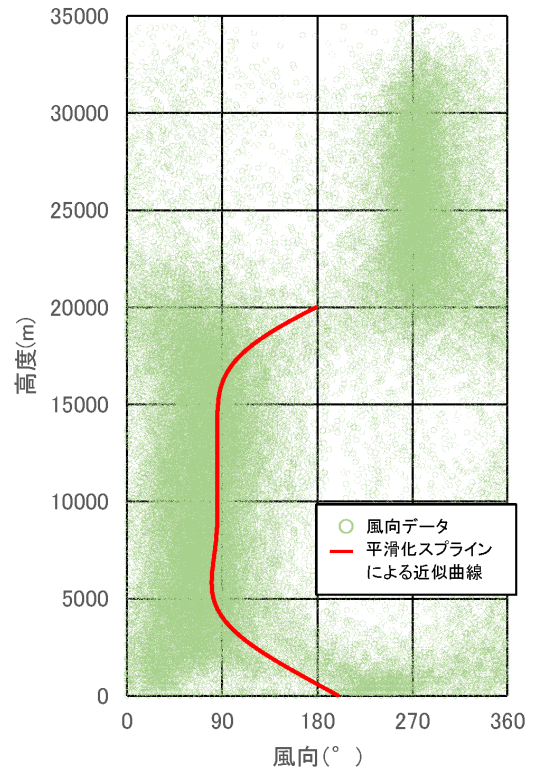
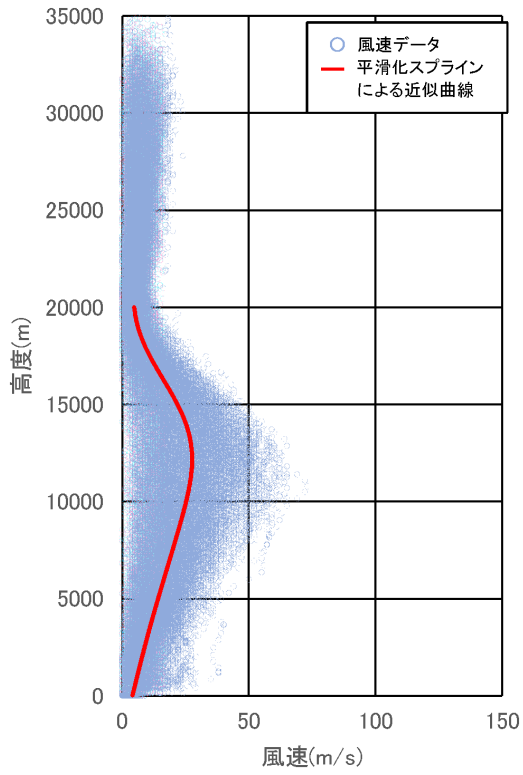


(g) 7月

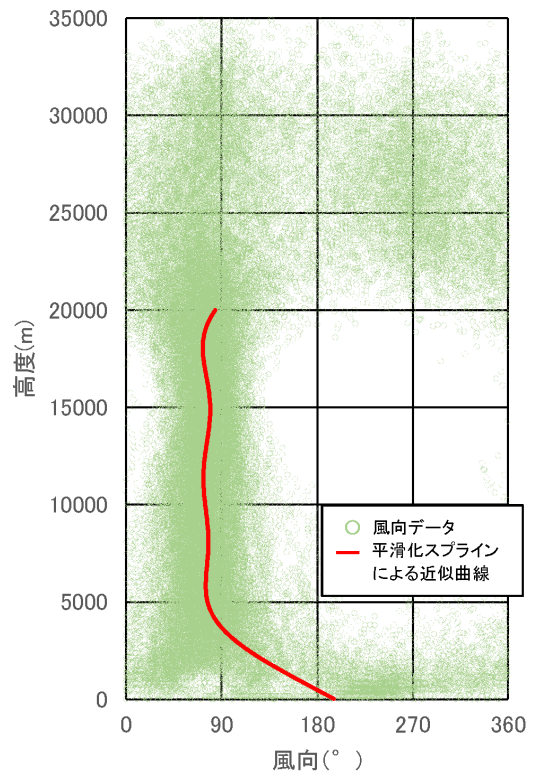
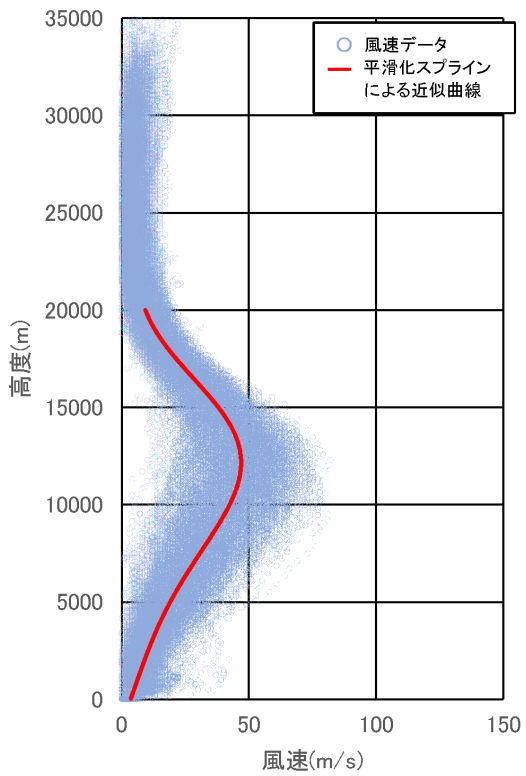


(h) 8月

図 2.2.2 (つづき)

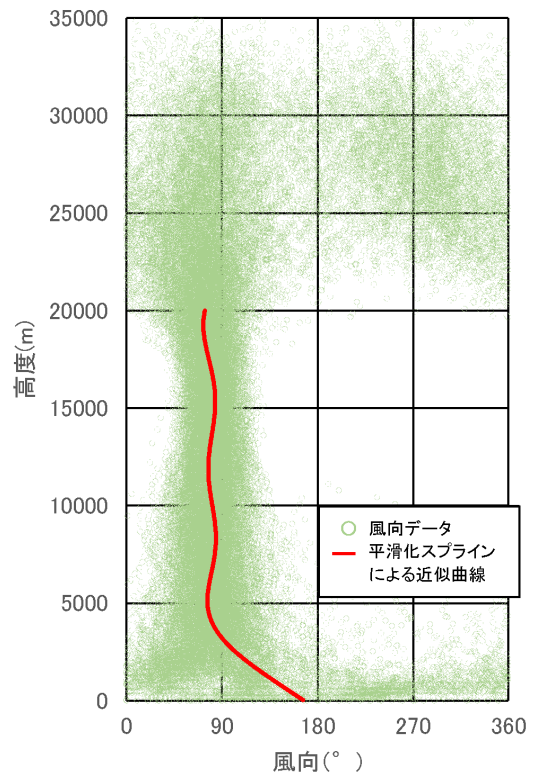
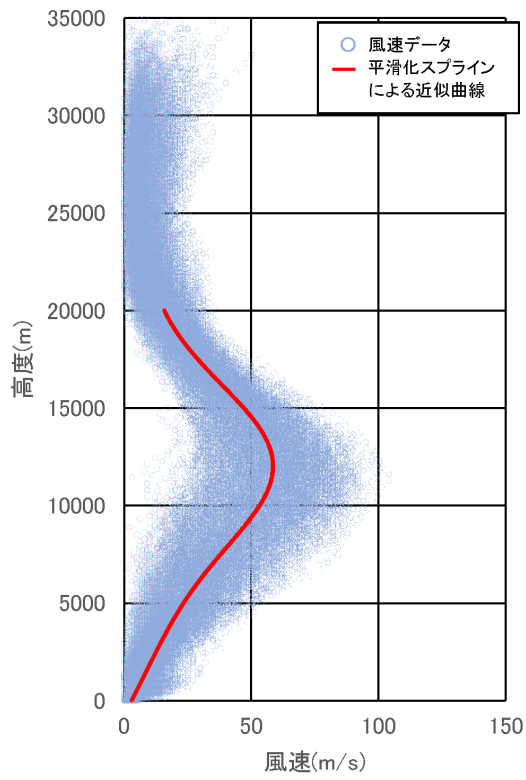


(i) 9月

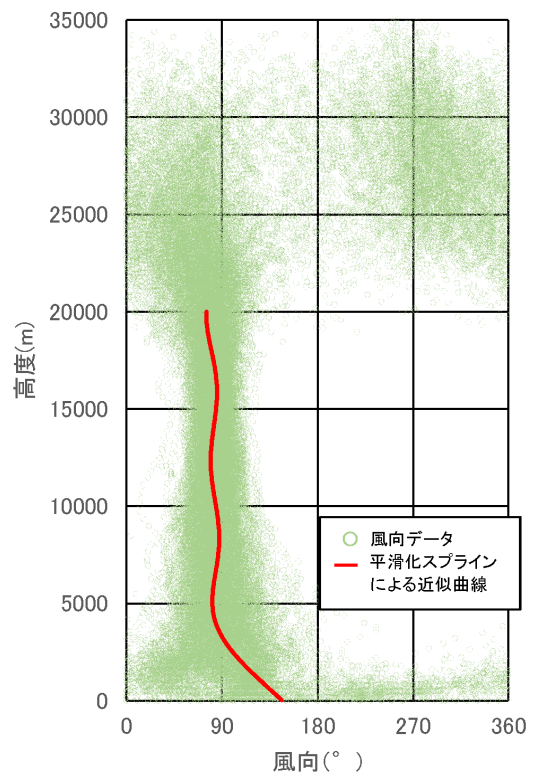
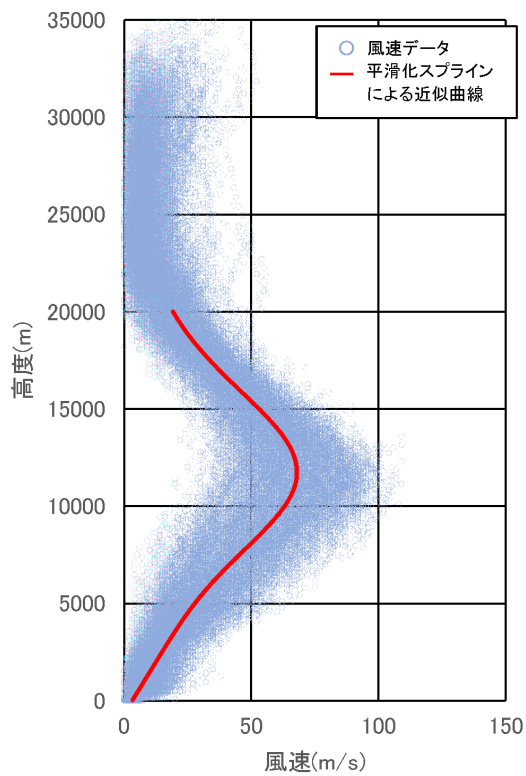


(j) 10月

図 2.2.2 (つづき)



(k) 11月



(l) 12月

図 2.2.2 (つづき)

2.2.3 地形パラメータ

解析対象および地形パラメータの収集範囲を図 2.2.3 に示す。解析の対象範囲は、関東地方を包括する半径 150km の円で囲まれる範囲とした。地形パラメータは、国土交通省の提供する標準地域 3 次メッシュ（約 1km グリッド）で整備された DEM データ（国土交通省，2015）を収集し，GIS で座標系を UTM54 直交座標系に変換して用いた。なお，収集した DEM データは海域の情報を含まないため，解析結果は海域について出力されない。

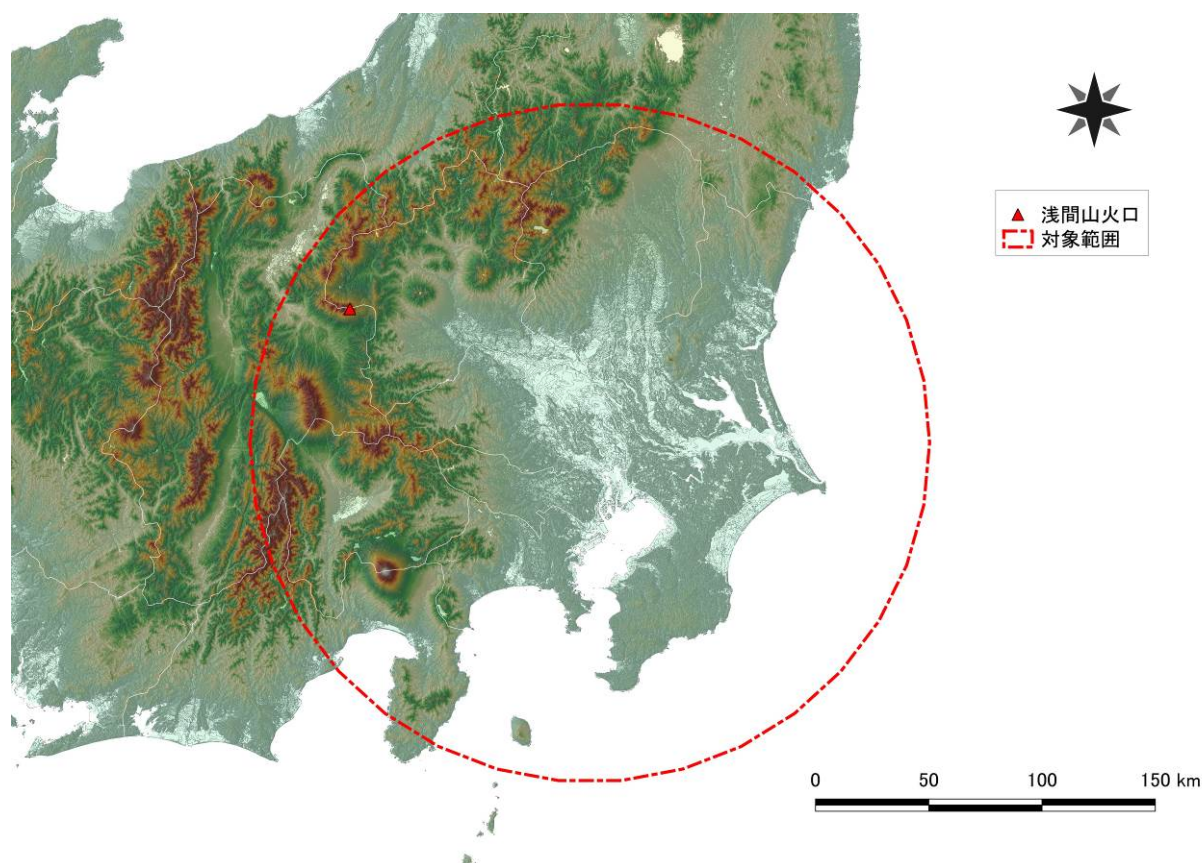


図 2.2.3 解析対象および地形データの収集範囲

2.3 各地点における降灰量と降灰主軸沿いの降灰粒度組成の評価

Tephra2 による火山灰拡散計算から出力した降灰量は，地形パラメータで設定した地点ごとに降灰量 $1\text{kg}/\text{m}^2 = \text{降灰層厚 } 1\text{mm}$ として降灰層厚に換算した上で，各月の平滑化スプラインによる近似曲線を代表的大気パラメータとして，月ごとにその分布を図示した。

降灰粒度組成は降灰主軸沿いかつ浅間火山から 50-100-150km 地点におけるものとし，降灰粒度組成を求める地点は GIS を用いて下記の手順で求めた。

- 1) 降灰層厚の分布図から降灰層厚の伸長方向の中心を通過する直線として降灰主軸を目視で設定する。ここでは災害規模が大きくなる降灰層厚 0.1~1cm 以上（例えば，広域的な火山防災対策に係る検討会，2013）の分布に着目した。
- 2) 浅間火山を中心とした半径 50-100-150km の円を設定する。

- 3) 設定した降灰主軸と円との交点を発生させる.
- 4) 発生させた交点を中心としたバッファを発生させる. なお, 地形パラメータのグリッド間隔が約 1km であるため, バッファの範囲は半径 1km とする.
- 5) 地形パラメータで設定した地点のうちバッファに含まれる地点を検索・抽出し, 降灰主軸沿いかつ浅間火山から該当距離に位置する地点とする.

2.4 超過降灰確率の算出

出力データは, 地形パラメータで設定した地点ごとに, 層厚の合計と指定層厚以上となった日数を集計し, それぞれを解析対象日数で除して以下の様に超過降灰確率を算出した. 浅間天明噴火規模ケースのシミュレーションでは, 欠測日以外に, 高層気象データの高度が設定した噴煙柱の高度 16,000m に達していない 9 日, 新燃岳 2011 年噴火規模のシミュレーションでは, 同データが 8,000m に達していない 2 日を除き, それぞれ 10,124 日と 10,131 日を解析対象日数とした. なお, 欠測日を含む解析除外日は全体の 0.04~0.10% であるため, シミュレーション結果の評価に影響はないと考えられる.

$$\text{超降灰確率} = \frac{\text{指定層厚以上となった日数}}{\text{解析対象日数}}$$

指定層厚は, 天明噴火規模が 1cm と 10cm, 新燃岳 2011 年噴火規模が 0.1cm と 1cm とした.

3. 結果

3.1 降灰量の分布と降灰主軸沿いの降灰粒度組成

3.1.1 天明噴火規模ケース

天明噴火規模ケースの月ごとの出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km 地点の降灰粒度組成を図 3.1.1~3.1.12 に示す. なお, 背景に示す都道府県庁所在地は国土地理院 (2016), 都道府県境と鉄道と国道・高速道路は国土交通省 (2016a, b, c) による.

天明噴火規模ケースの月ごとの降灰層厚は, 大気パラメータの月ごとの変化と調和的な分布を示し, 風速が大きく移流の影響が大きい月では短軸の小さな楕円形の形状となり, 風速が小さく拡散の影響が増加する月では短軸の大きな楕円形の形状を示した. 降灰層厚 10cm 以上の分布範囲は浅間火山から 40km 以内に限られるものの, 降灰層厚 1cm 以上の分布範囲は風速の大きさによって浅間火山から 110~170km までの距離を推移した. また, 降灰層厚が小さいほど分布範囲が大きくなる傾向があり, とくに降灰層厚 1cm を境として分布の広がり異なった.

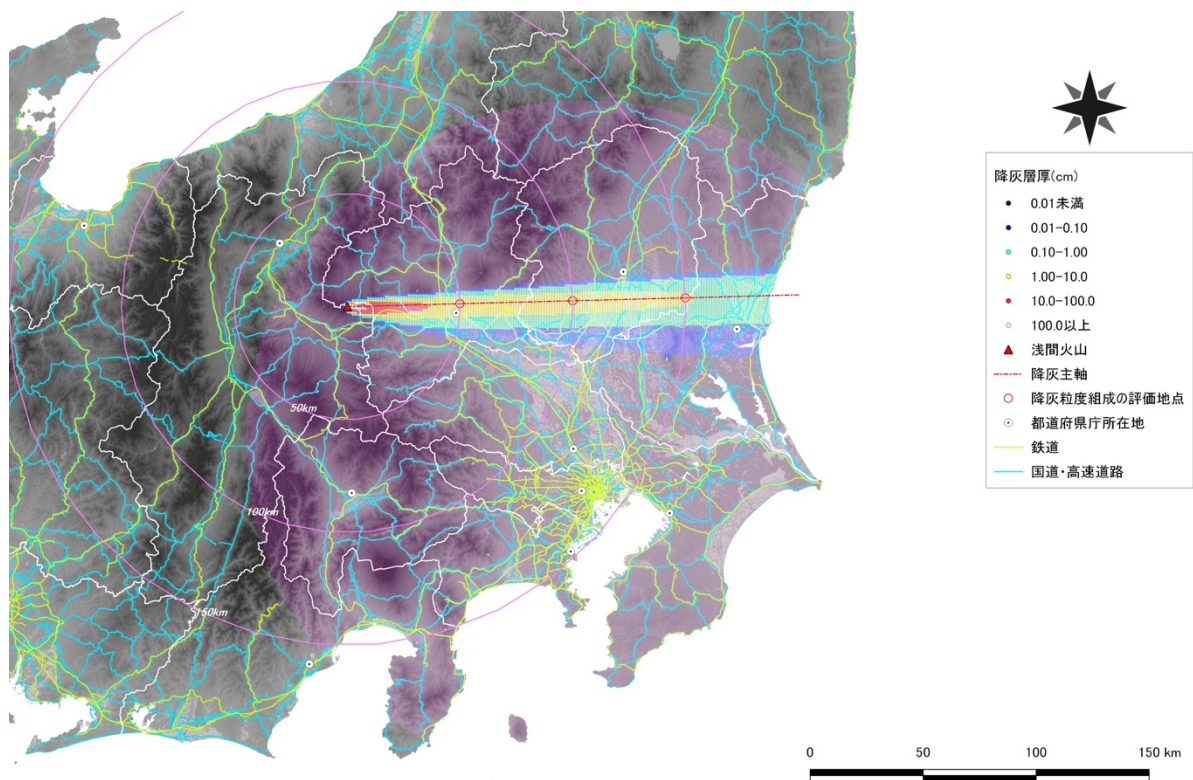
降灰粒度組成は, 浅間火山からの距離が大きくなるにつれて, 粒度の小さなものが増加した. また, 風速の大きさによって差異があり, 風速の大きな月では各地点において複数の粒度が認められるとともに, 150km 地点において双峰性を示すことがあった. 風速の小さな月では浅間火山からの距離が大きくなるにつれて単一の粒度が卓越する傾向を示した.

3.1.2 新燃岳 2011 年噴火規模ケース

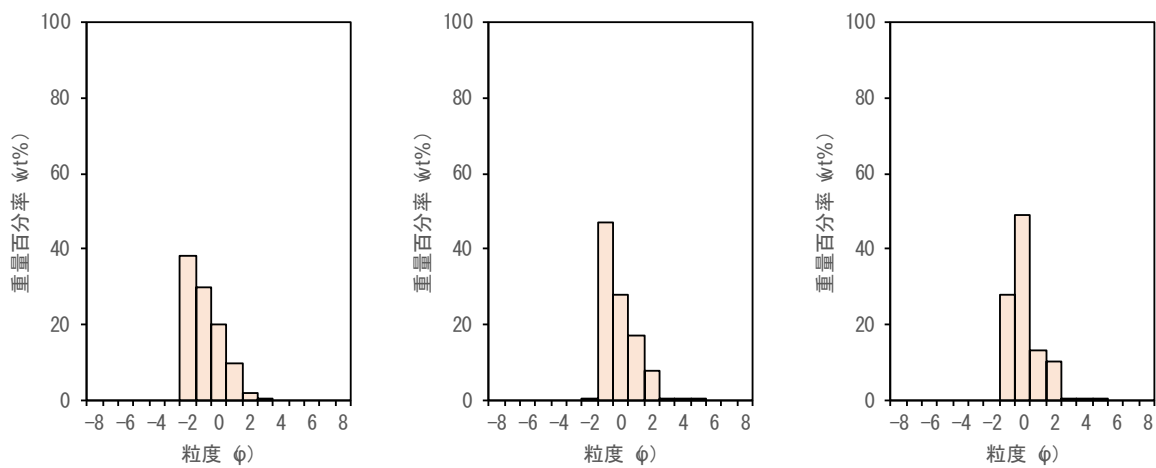
新燃岳 2011 年噴火規模ケースの月ごとの出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km 地点の降灰粒度組成を図 3.1.13~3.1.24 に示す。

新燃岳 2011 年噴火規模ケースの月ごとの降灰層厚は、天明噴火規模ケースの場合と同様に、大気パラメータの月ごとの変化と調和的な分布を示し、風速が大きく移流の影響が大きい月では短軸の小さな楕円形の形状となり、風速が小さく拡散の影響が増加する月では短軸の大きな楕円形の形状を示した。降灰層厚 10cm 以上の分布範囲は浅間火山から 10km 以内に、降灰層厚 1cm 以上の分布範囲は浅間火山から 20~40km 以内に限られた。また、降灰層厚が小さいほど分布範囲が大きい傾向が認められ、とくに降灰層厚 0.1cm を境として分布の広がりが異なった。

降灰粒度組成は、天明噴火規模の場合と同様に、浅間火山からの距離が大きくなるにつれて、粒度の小さなものが増加した。ただし、天明噴火規模の場合と比較すると、各地点で卓越する粒度は一桁小さかった。また、風速による差異が認められるものの、全体に単一の粒度が卓越する傾向が認められた。



(a) 降灰層厚の分布

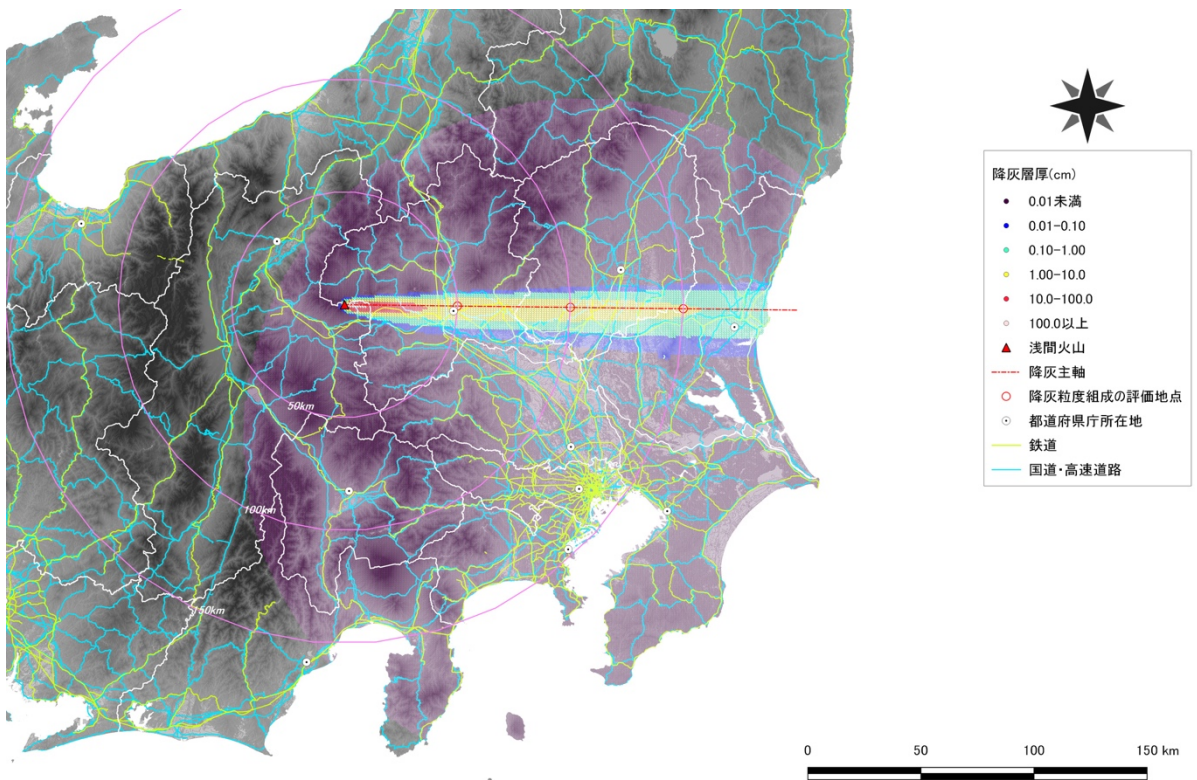


50km
(b) 降灰粒度組成

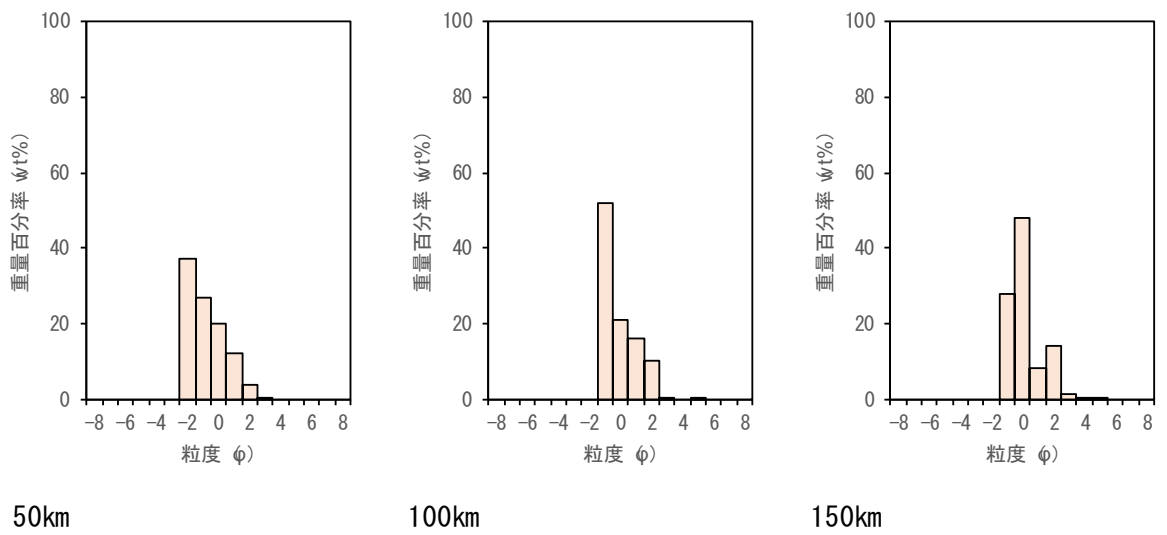
100km

150km

図 3.1.1 天明噴火規模ケースの 1 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

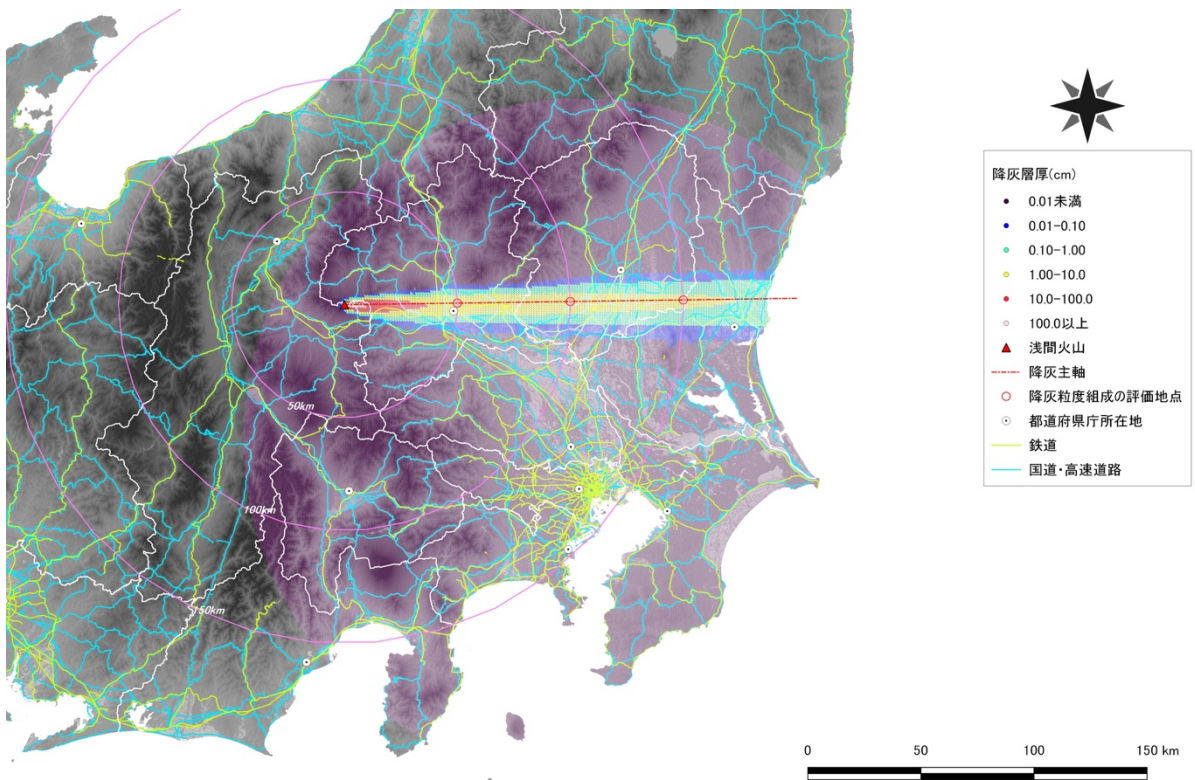


(a) 降灰層厚の分布

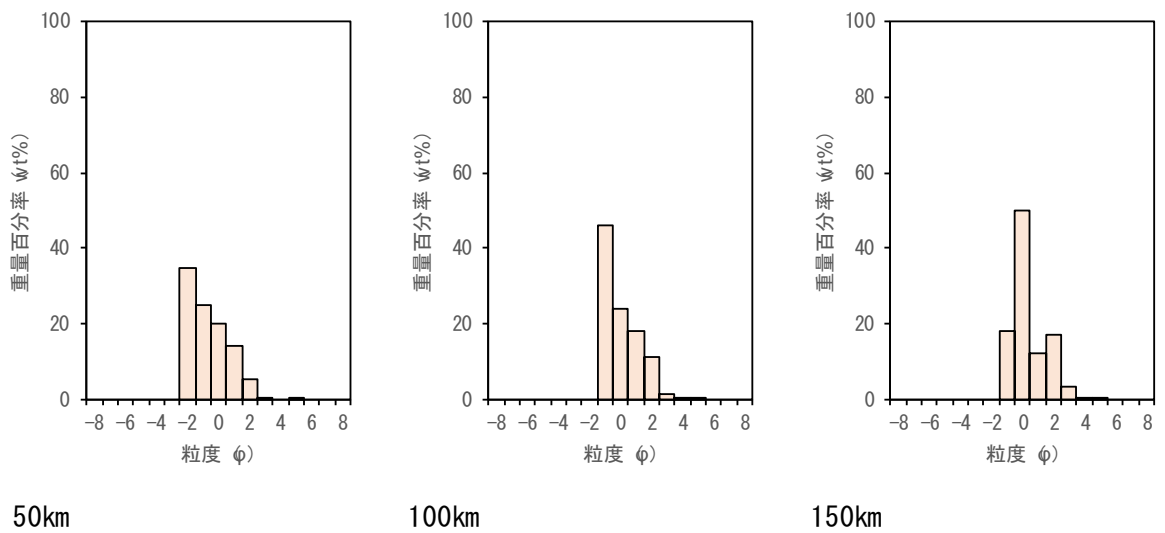


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.2 天明噴火規模ケースの 2 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

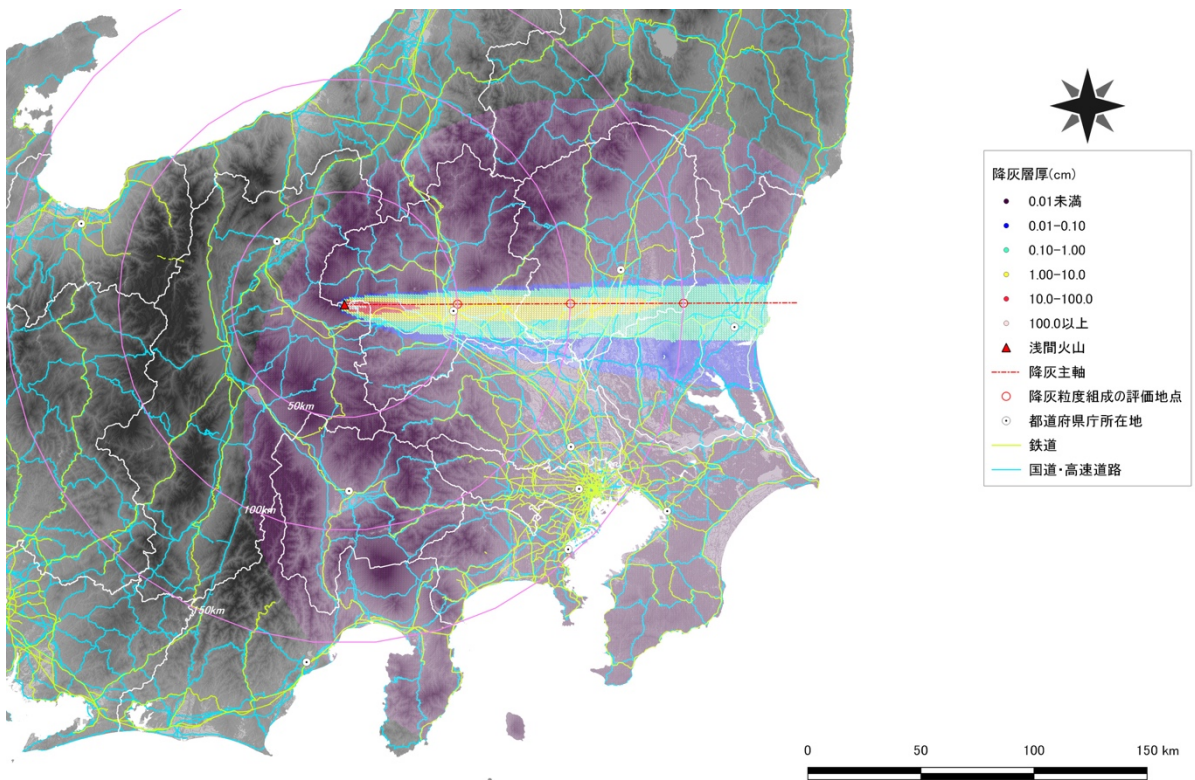


(a) 降灰層厚の分布

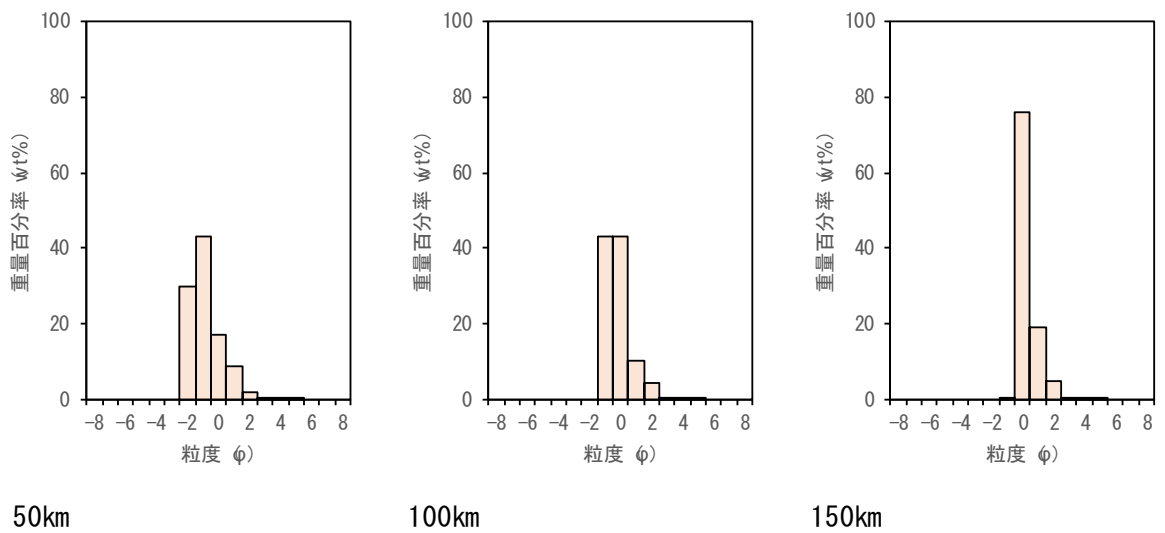


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.3 天明噴火規模ケースの3月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い50-100-150kmの降灰粒度組成

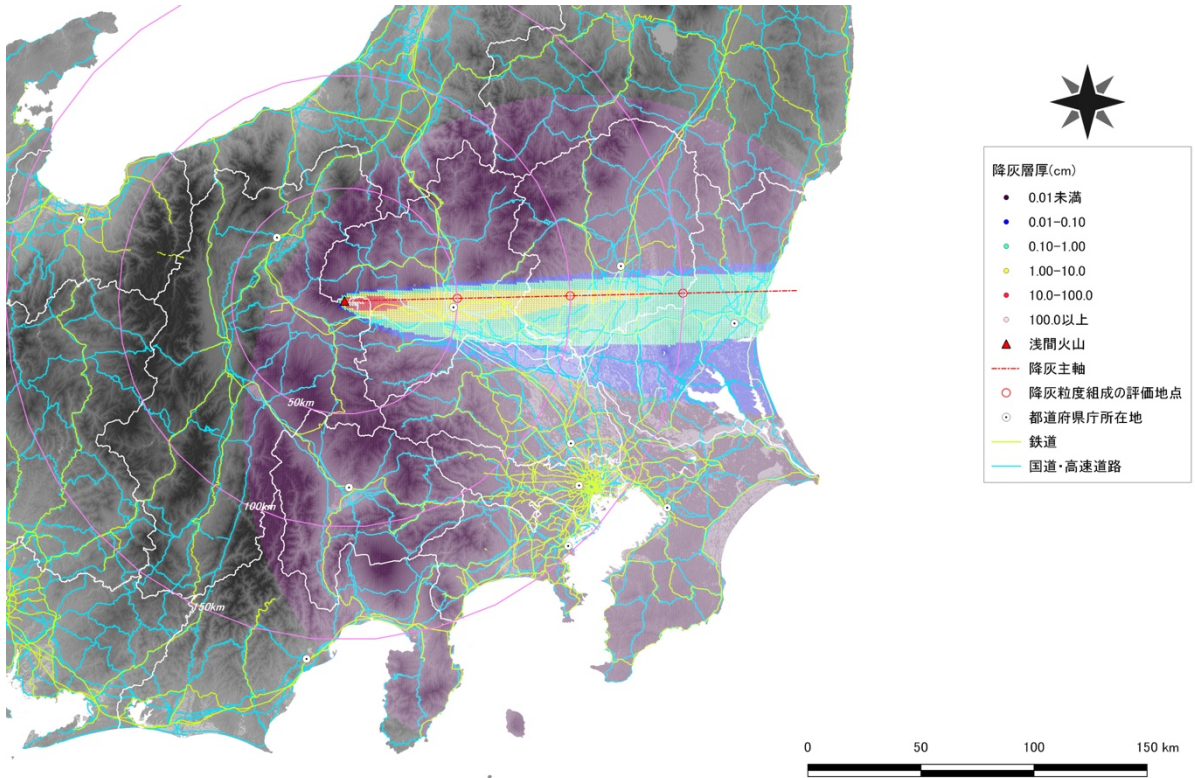


(a) 降灰層厚の分布

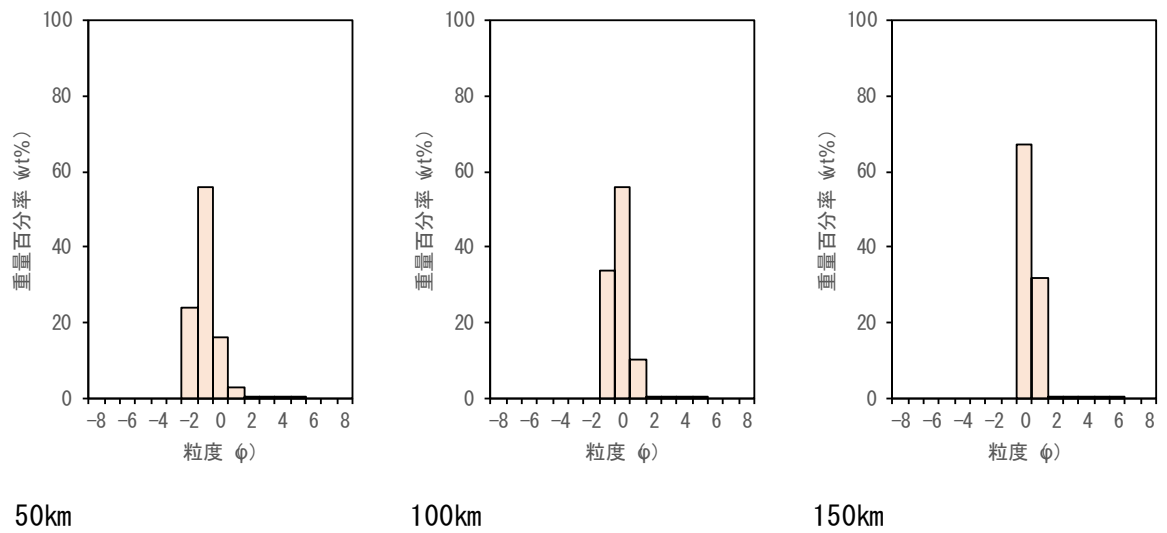


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.4 天明噴火規模ケースの 4 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

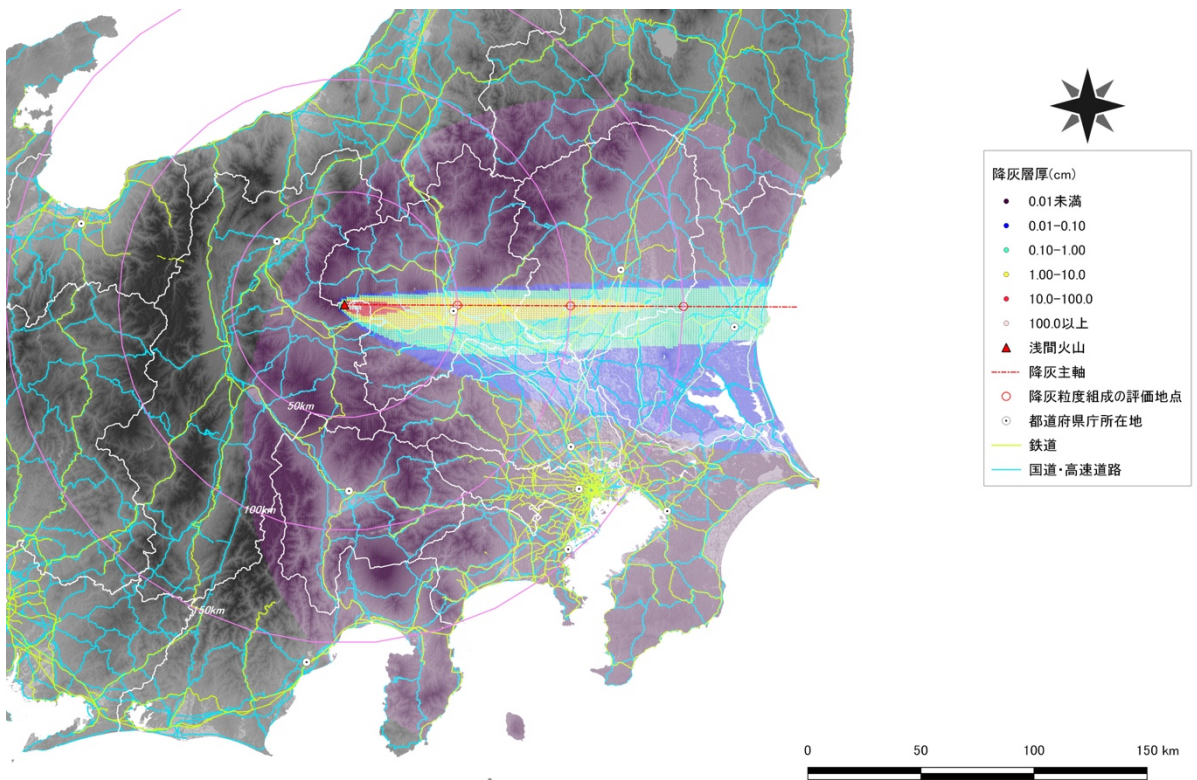


(a) 降灰層厚の分布

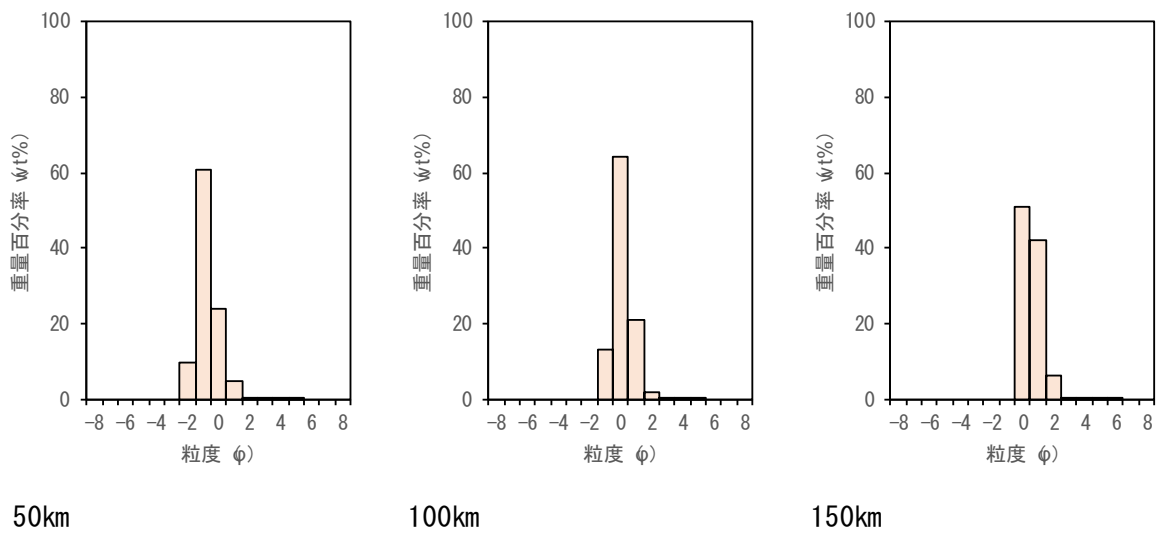


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.5 天明噴火規模ケースの5月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸
沿い50-100-150kmの降灰粒度組成

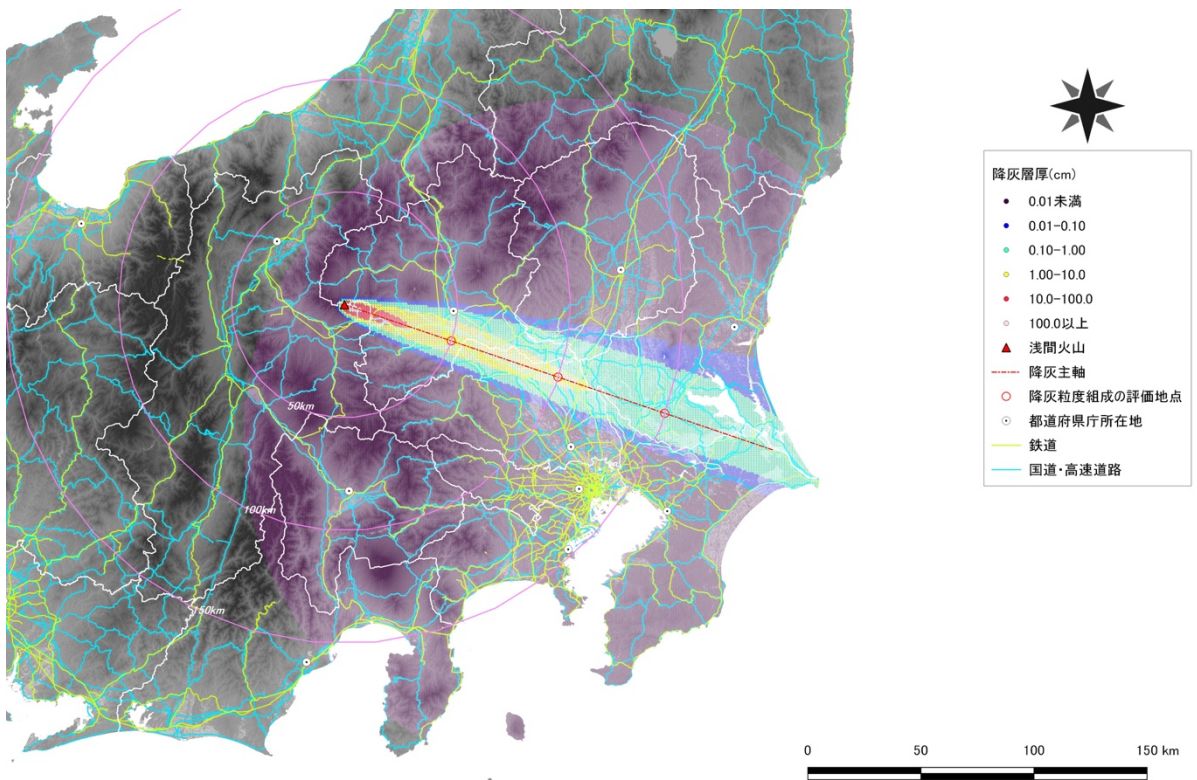


(a) 降灰層厚の分布

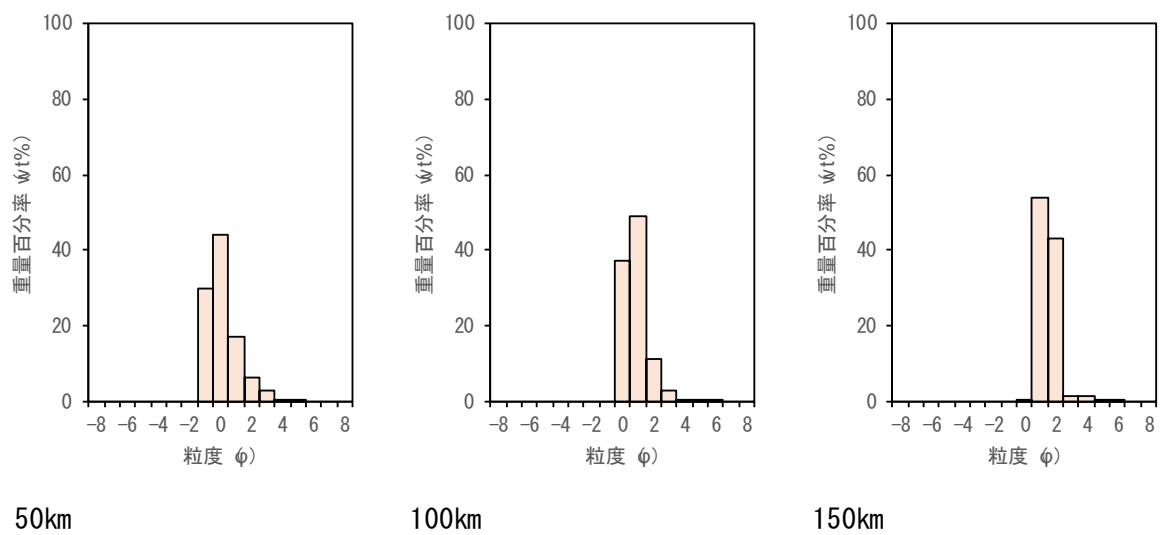


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.6 天明噴火規模ケースの 6 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

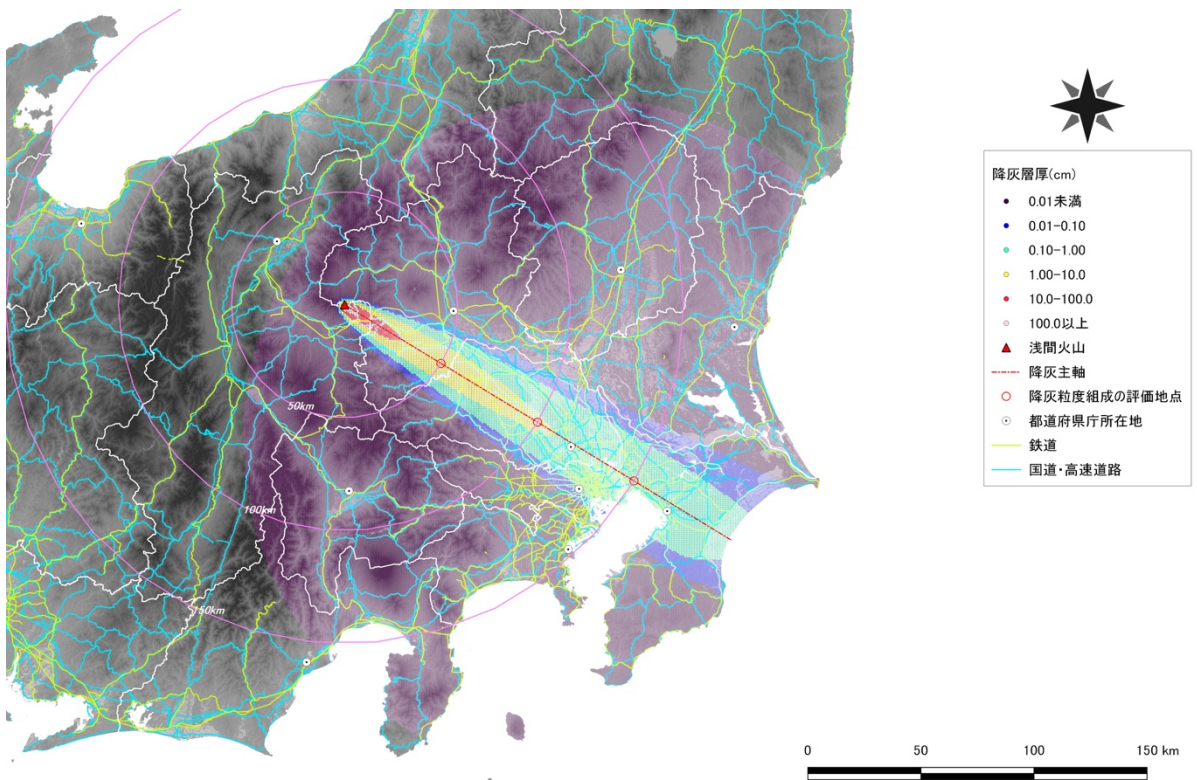


(a) 降灰層厚の分布

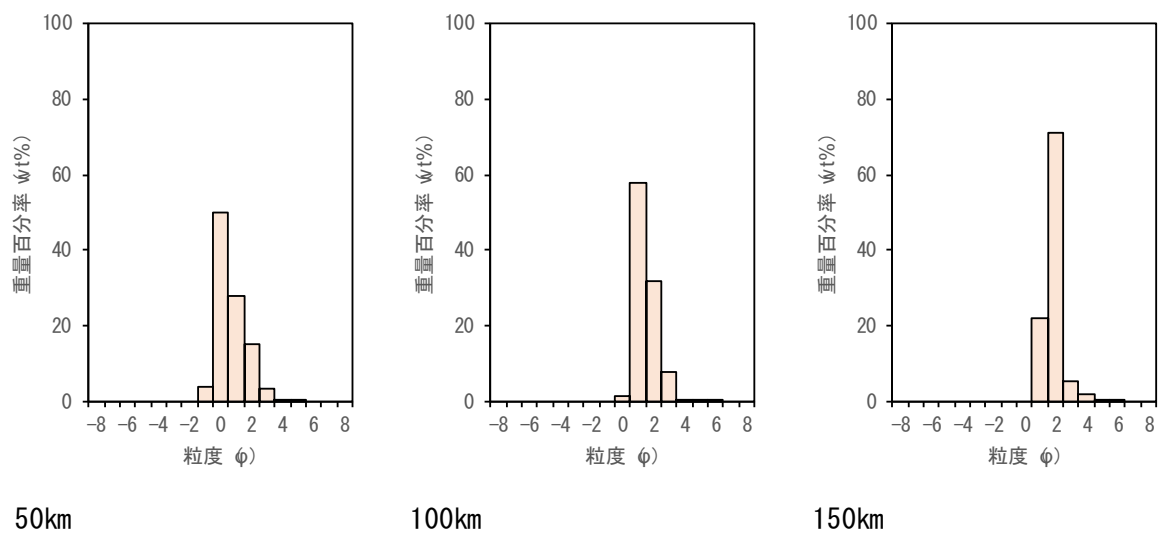


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.7 天明噴火規模ケースの7月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い50-100-150kmの降灰粒度組成

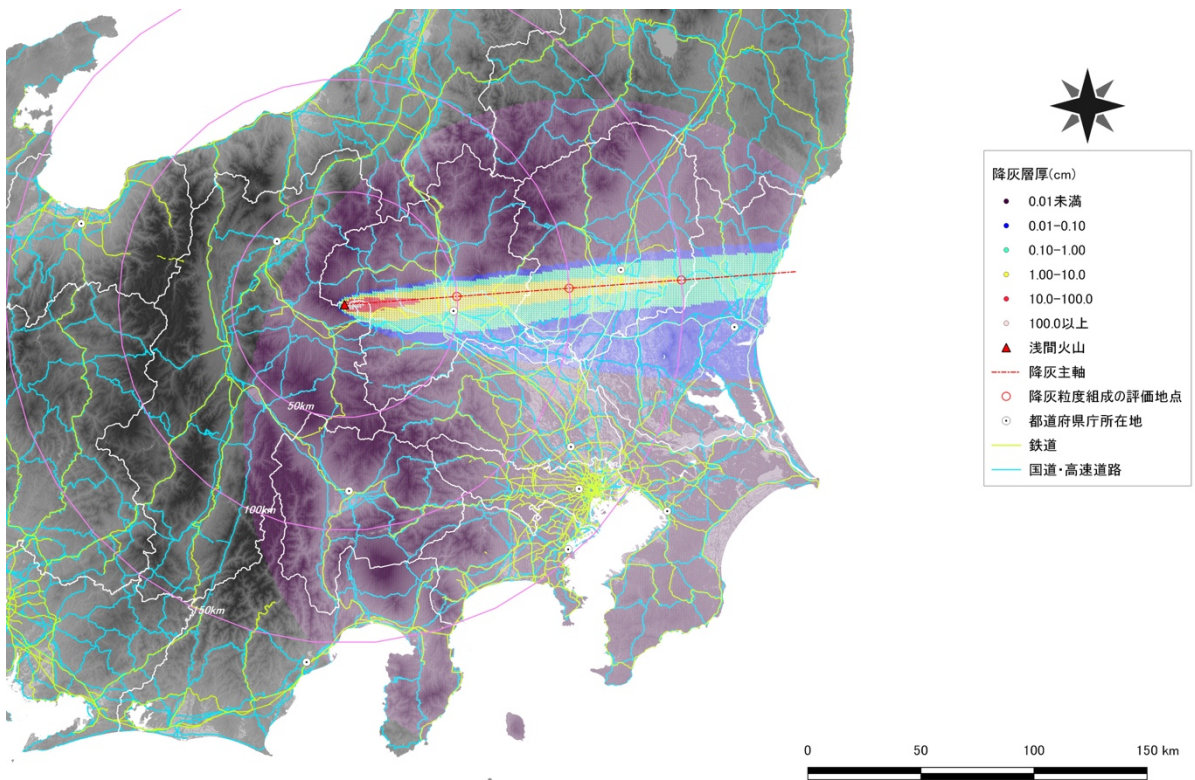


(a) 降灰層厚の分布

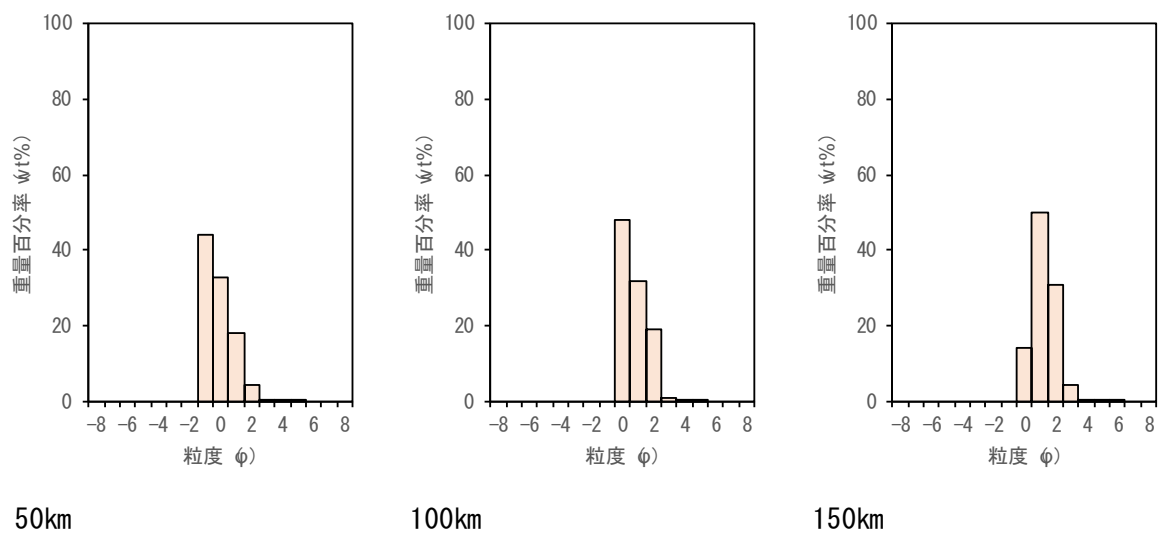


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.8 天明噴火規模ケースの 8 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

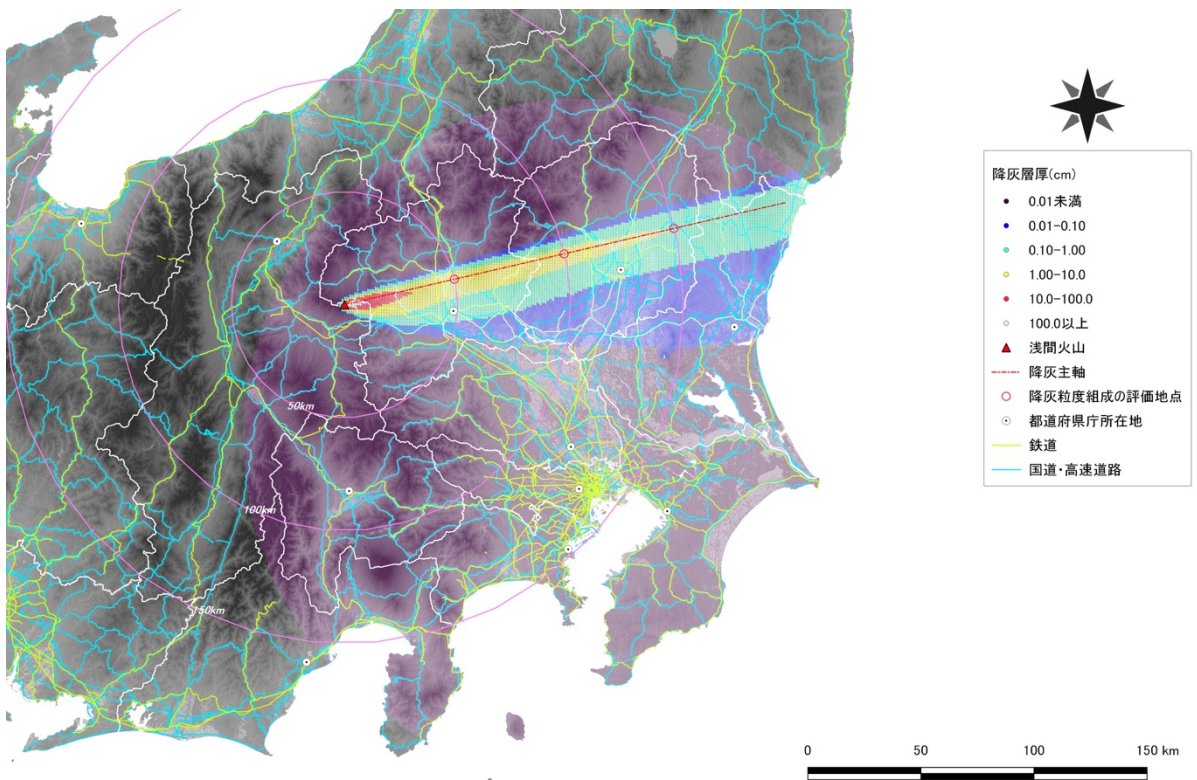


(a) 降灰層厚の分布

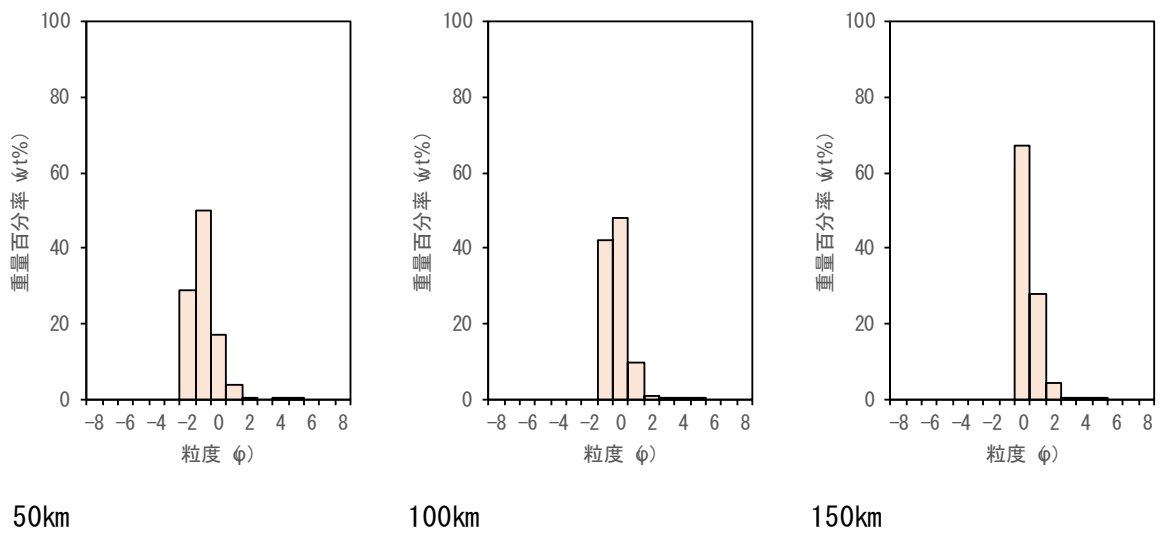


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.9 天明噴火規模ケースの 9 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

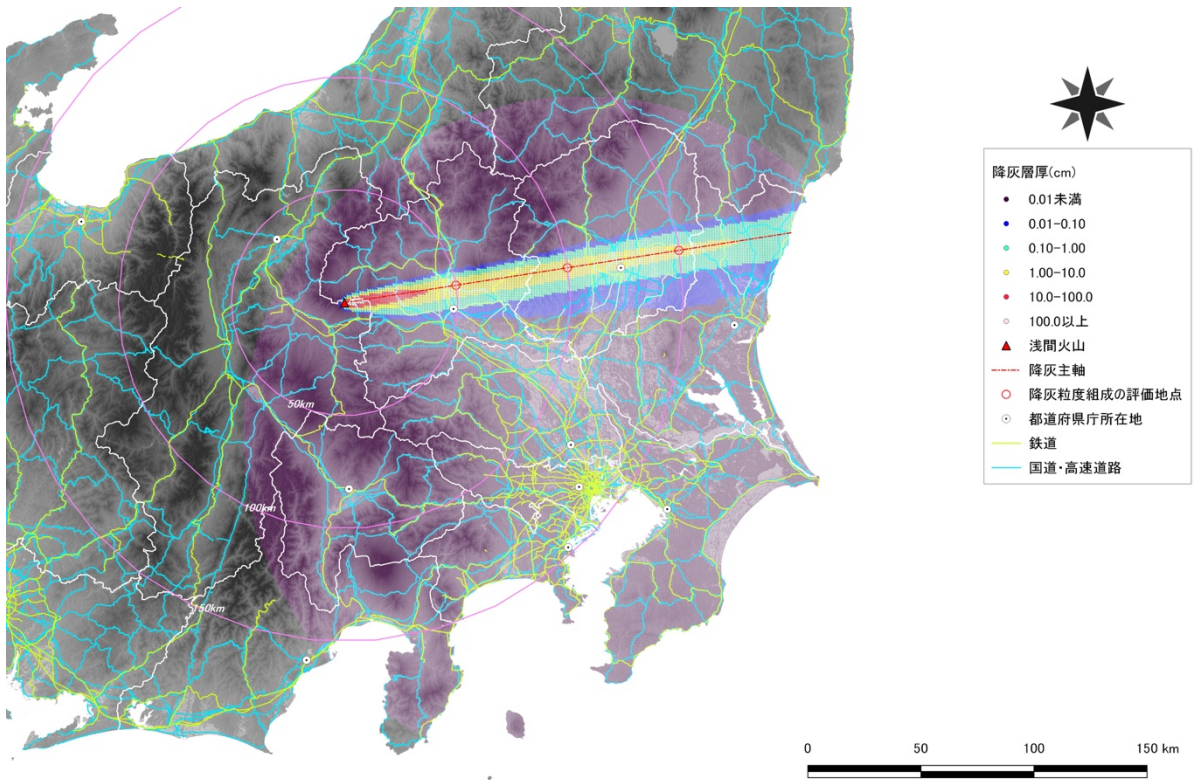


(a) 降灰層厚の分布

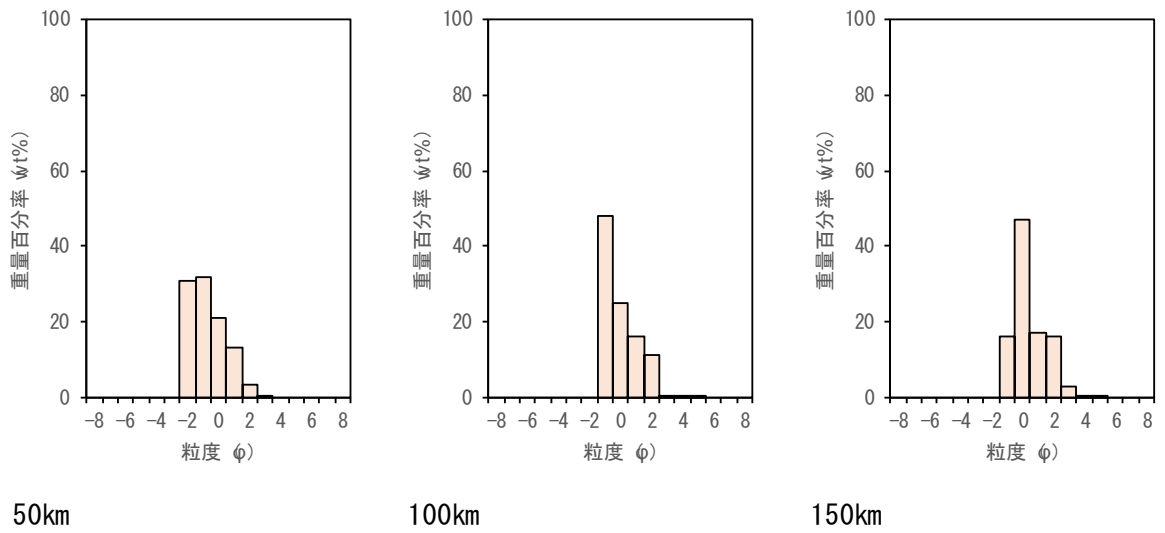


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.10 天明噴火規模ケースの 10 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

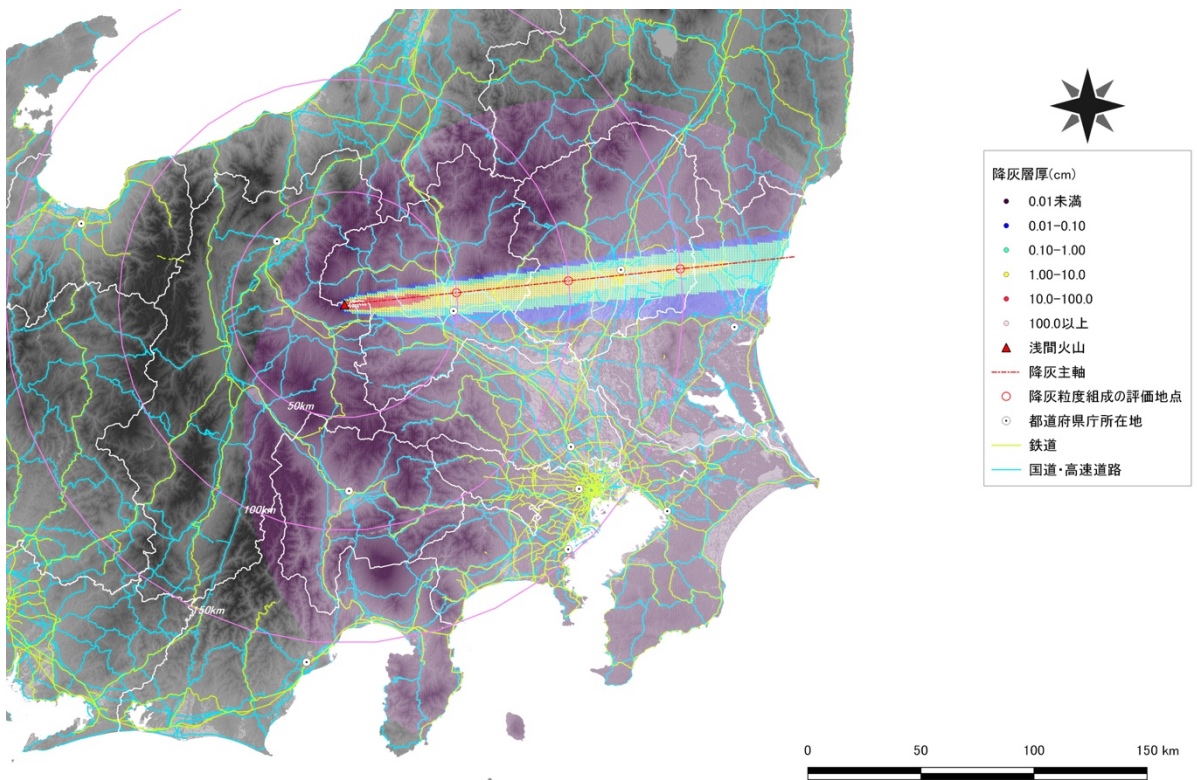


(a) 降灰層厚の分布

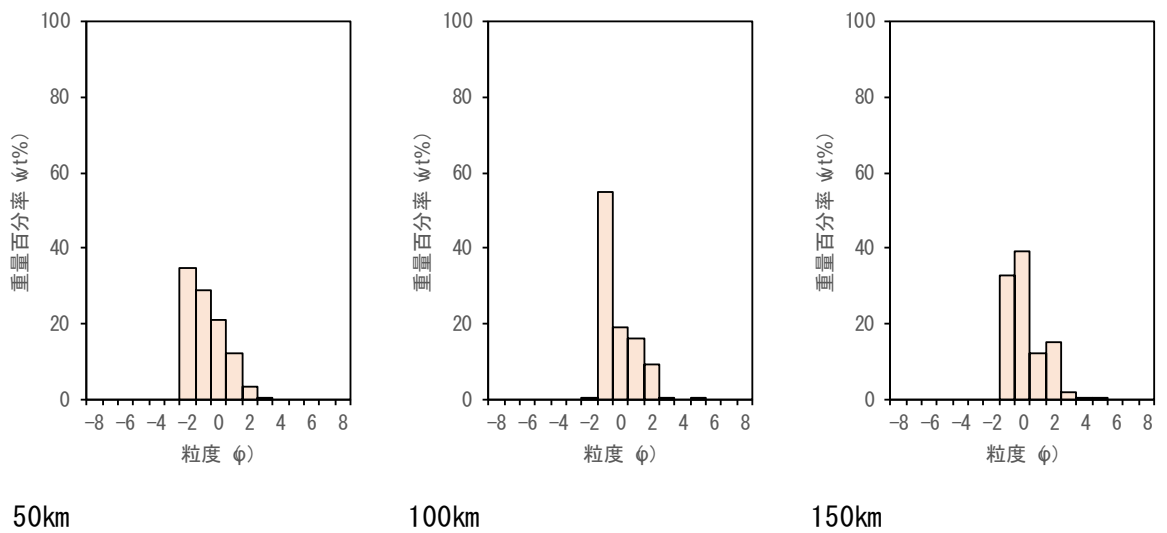


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.11 天明噴火規模ケースの 11 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

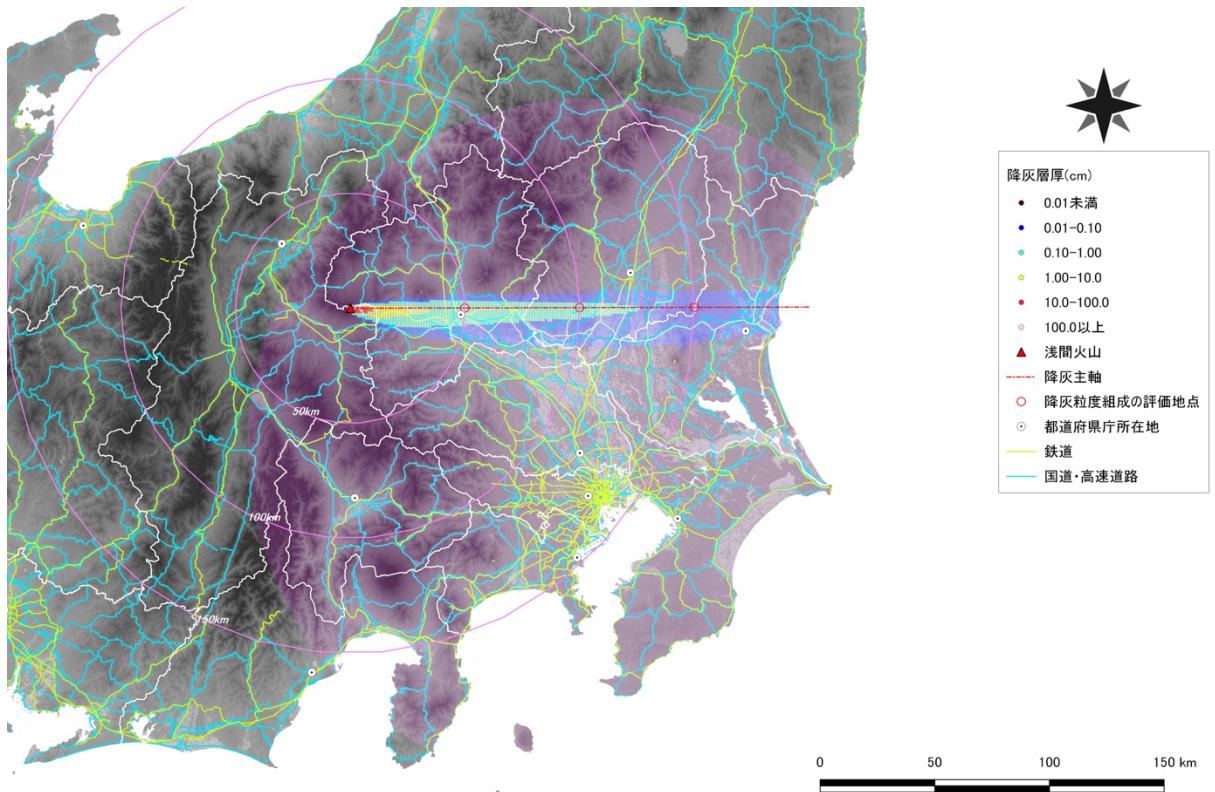


(a) 降灰層厚の分布

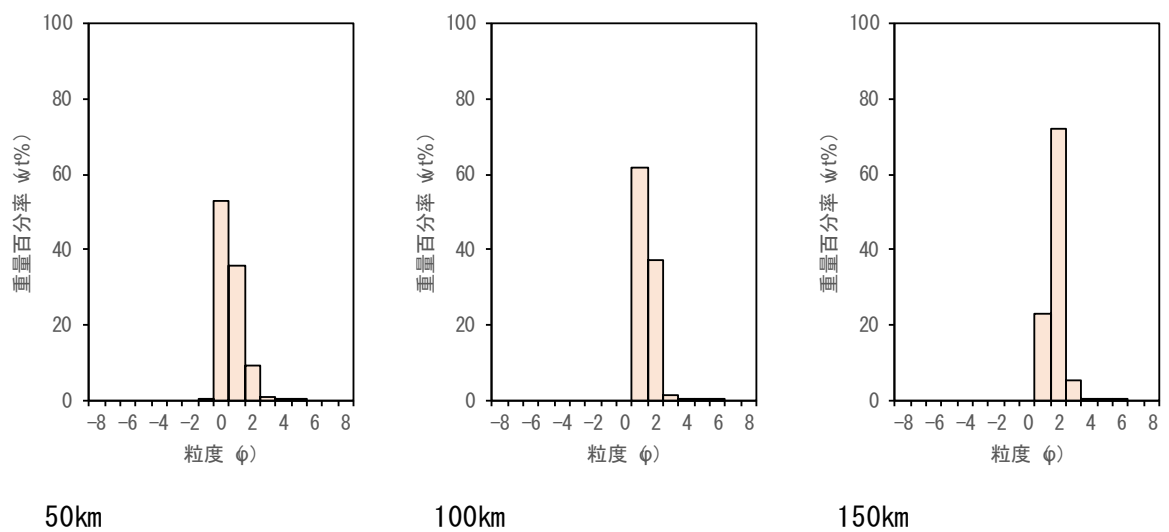


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.12 天明噴火規模ケースの 12 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

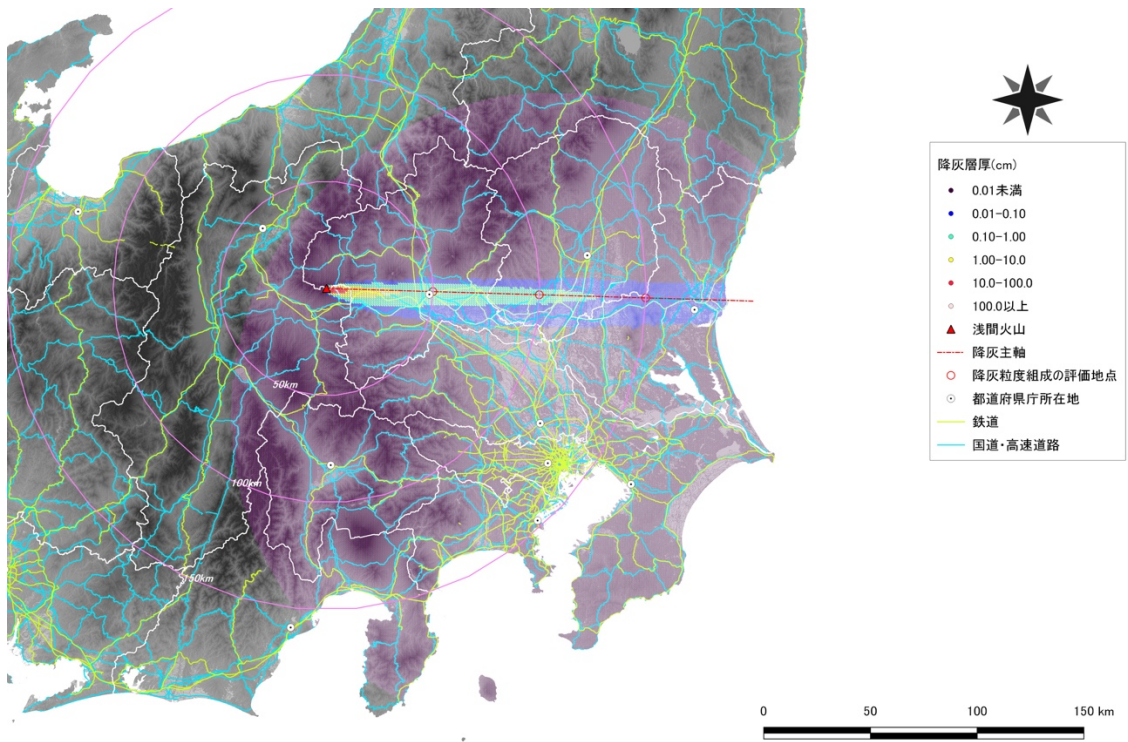


(a) 降灰層厚の分布

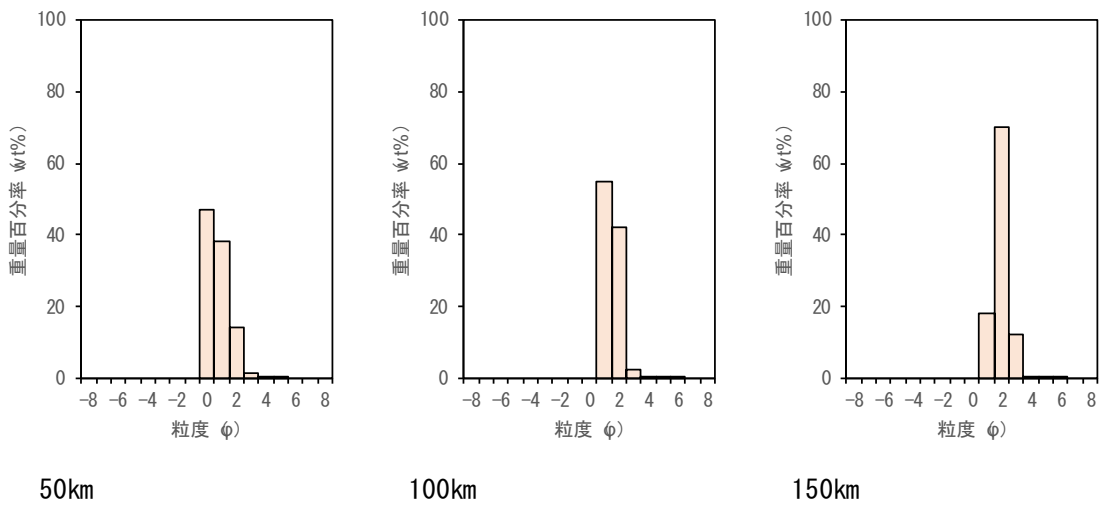


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.13 新燃岳 2011 年噴火規模ケースの 1 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

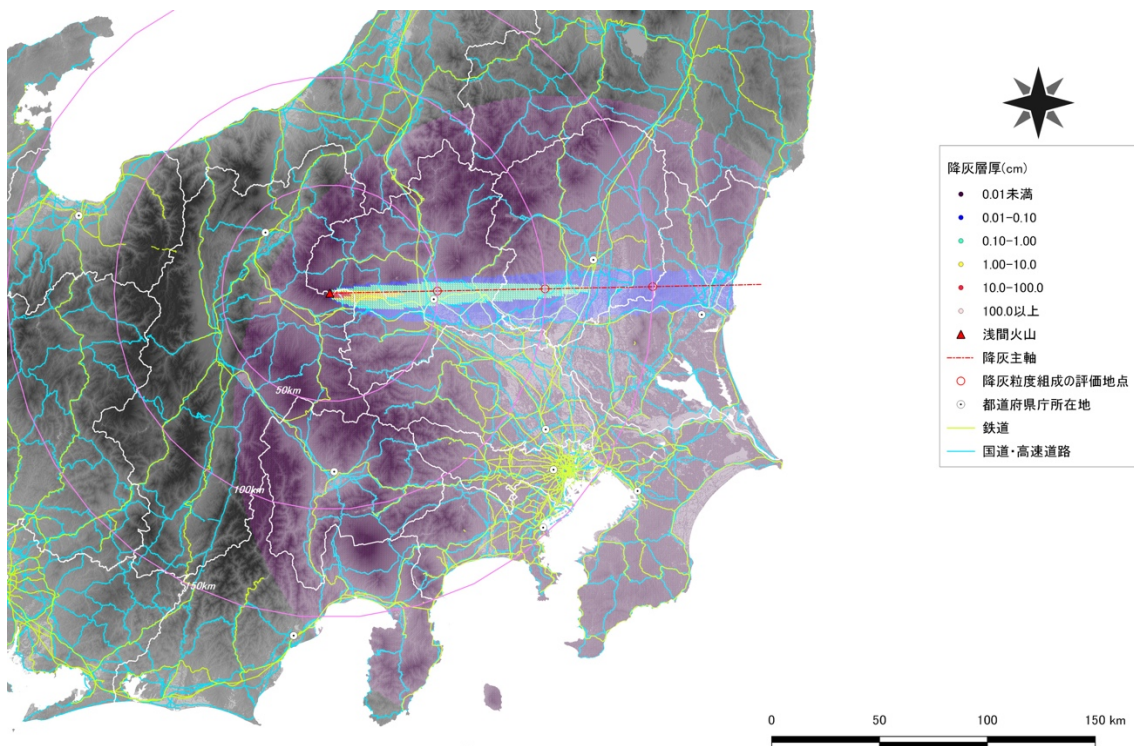


(a) 降灰層厚の分布

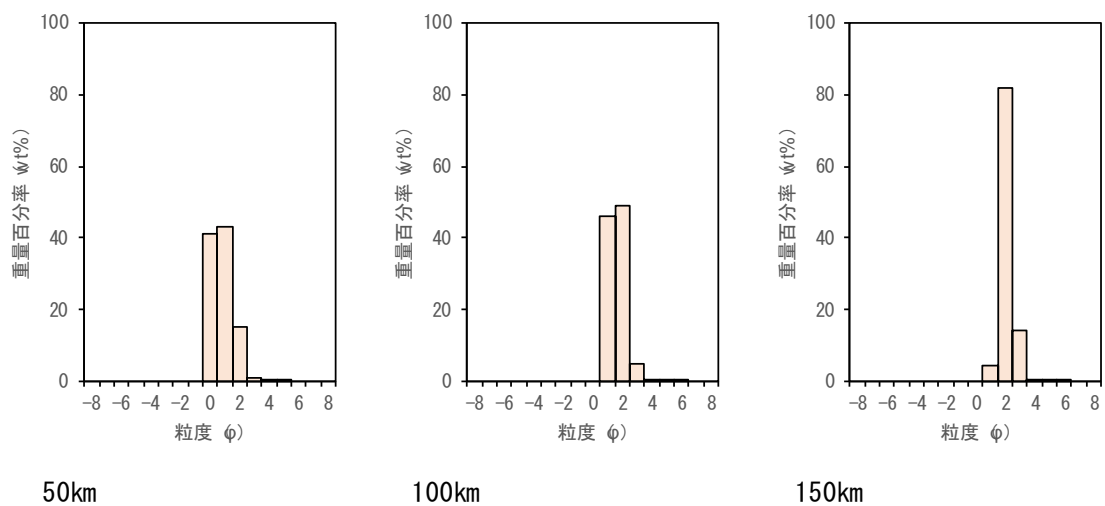


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.14 新燃岳 2011 年噴火規模ケースの 2 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

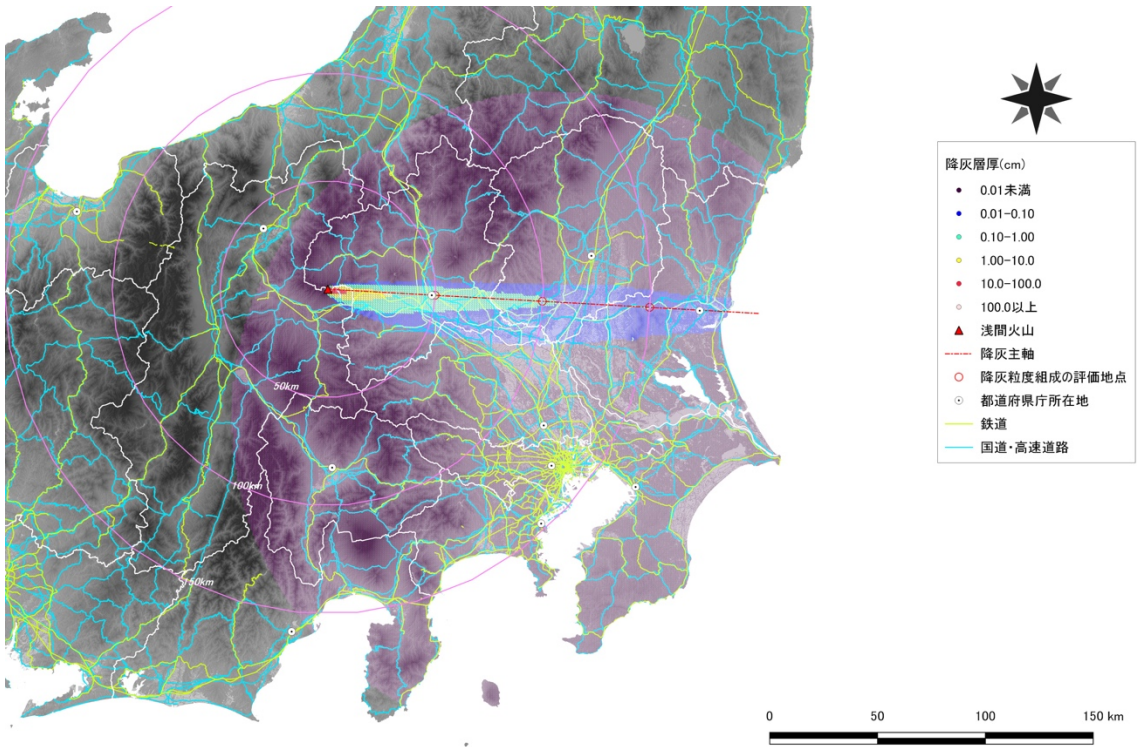


(a) 降灰層厚の分布

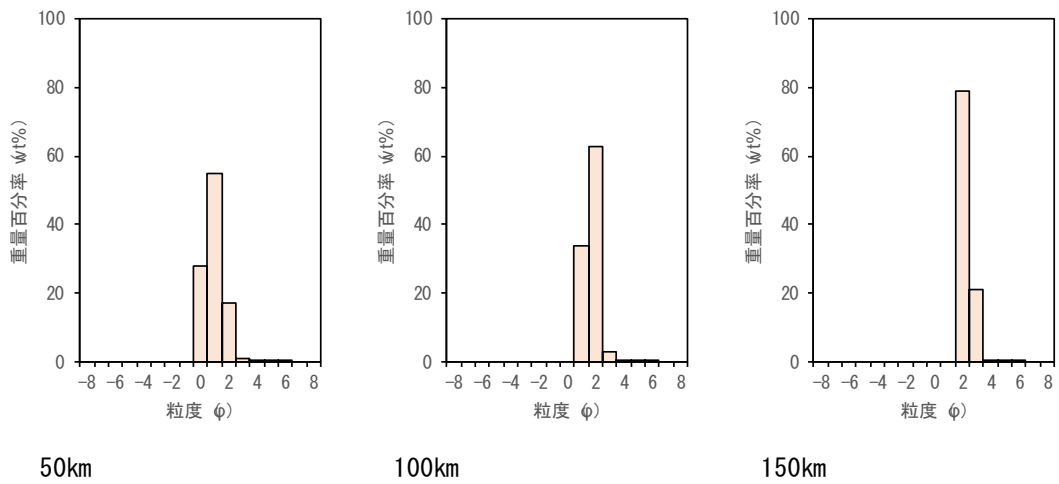


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.15 新燃岳 2011 年噴火規模ケースの 3 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

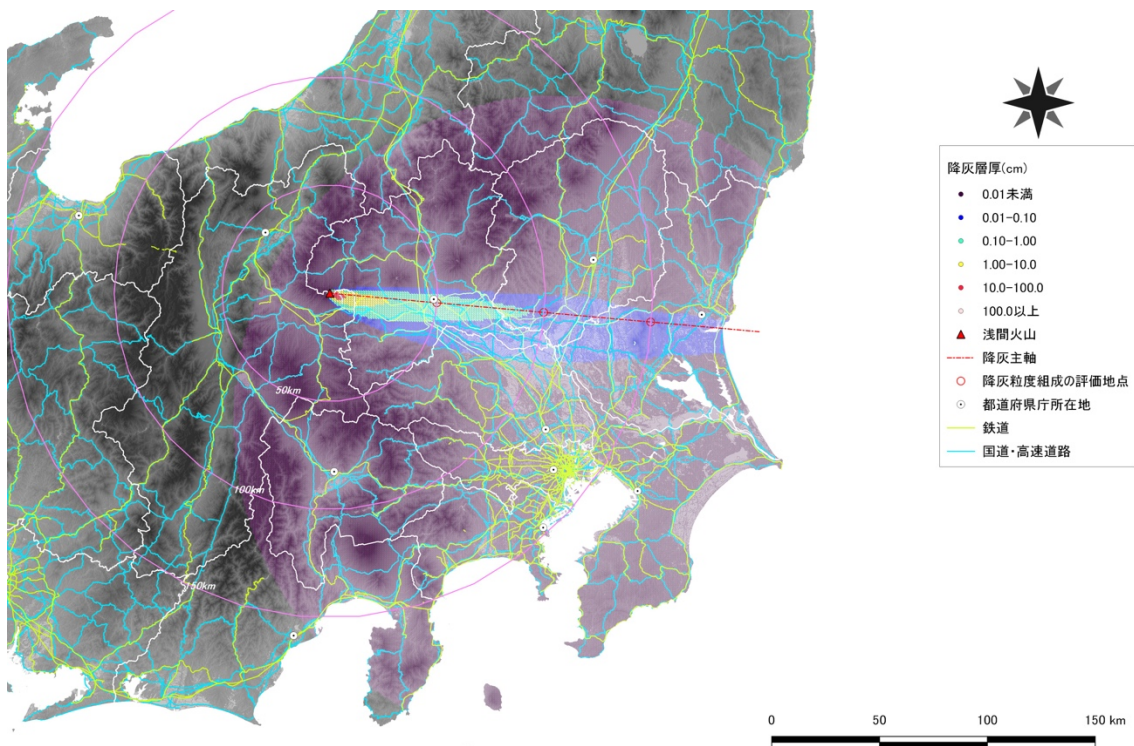


(a) 降灰層厚の分布

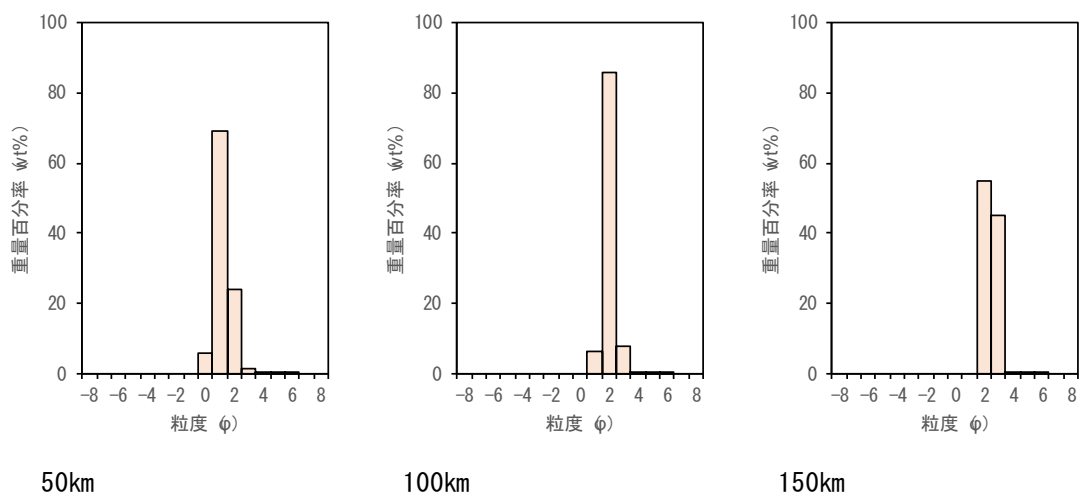


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.16 新燃岳 2011 年噴火規模ケースの 4 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

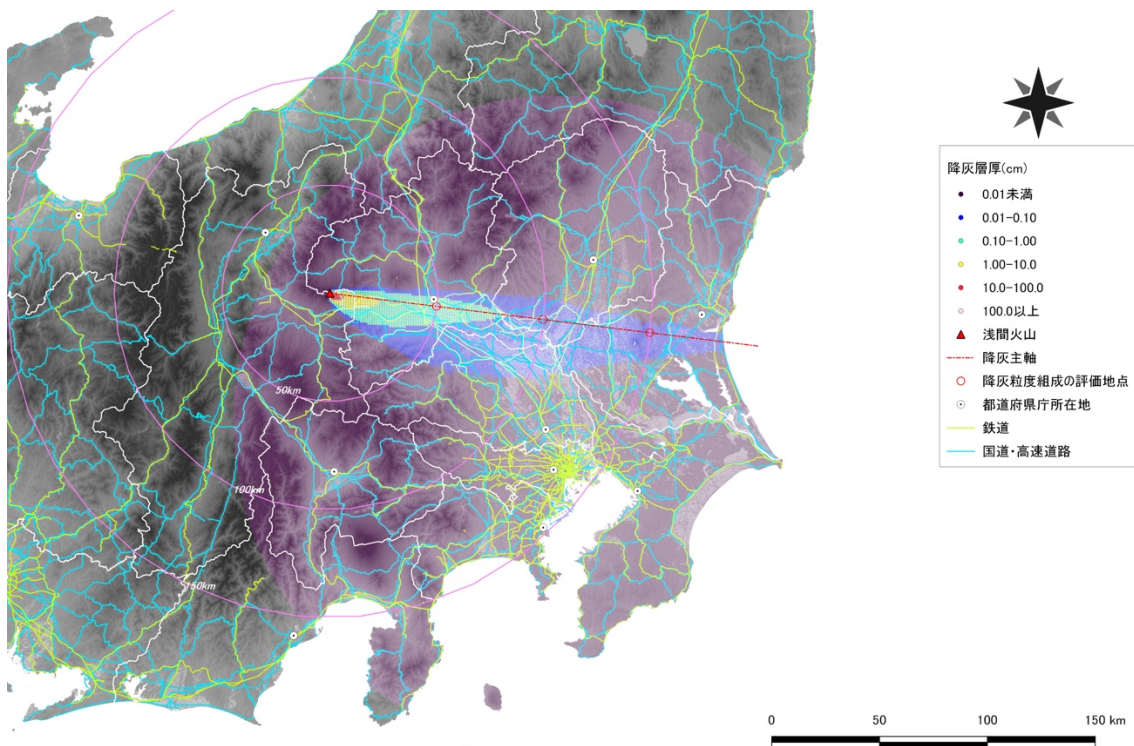


(a) 降灰層厚の分布

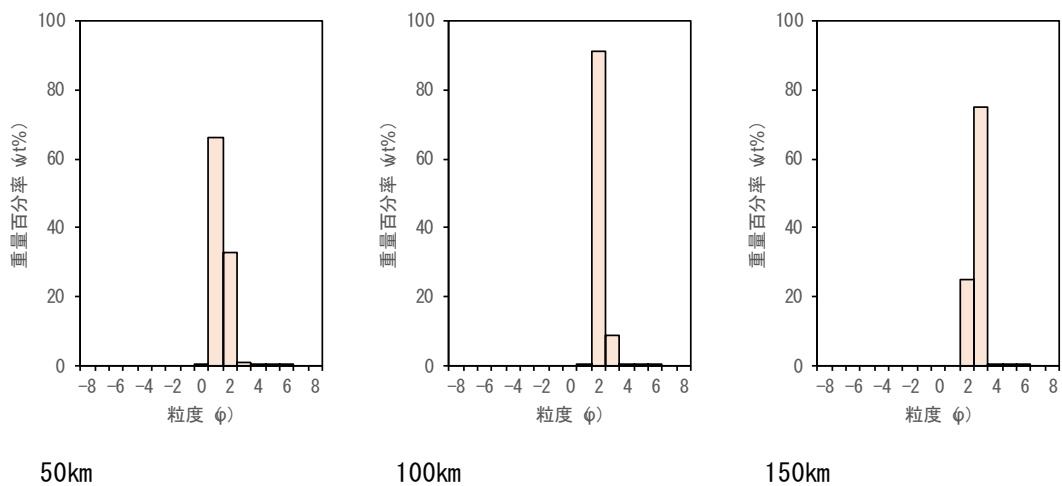


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.17 新燃岳 2011 年噴火規模ケースの 5 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

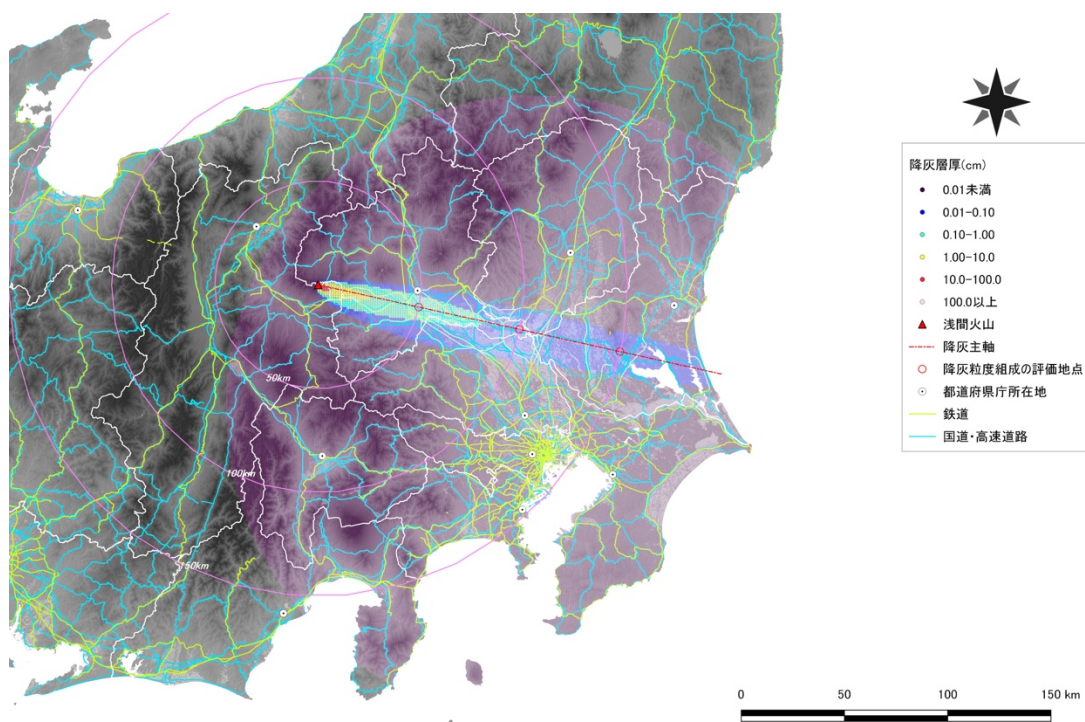


(a) 降灰層厚の分布

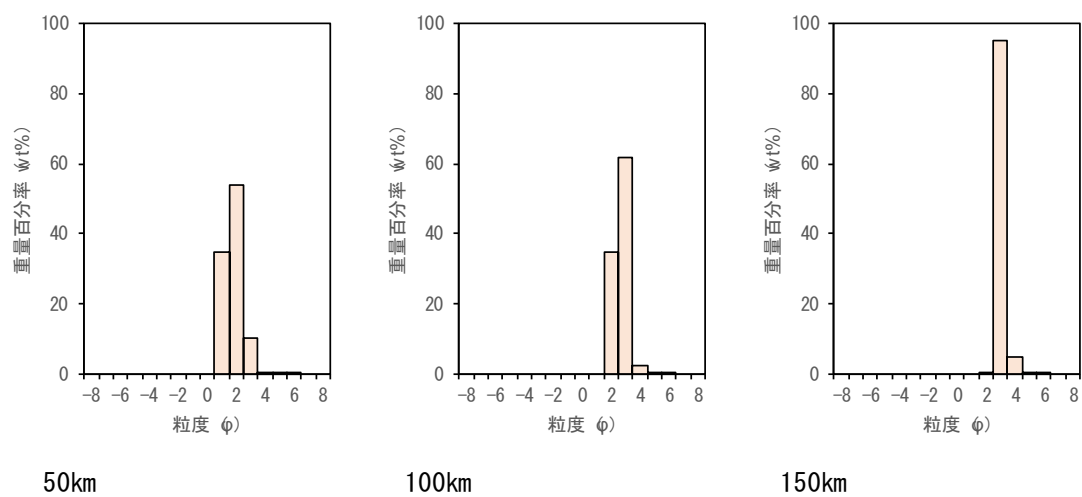


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.18 新燃岳 2011 年噴火規模ケースの 6 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

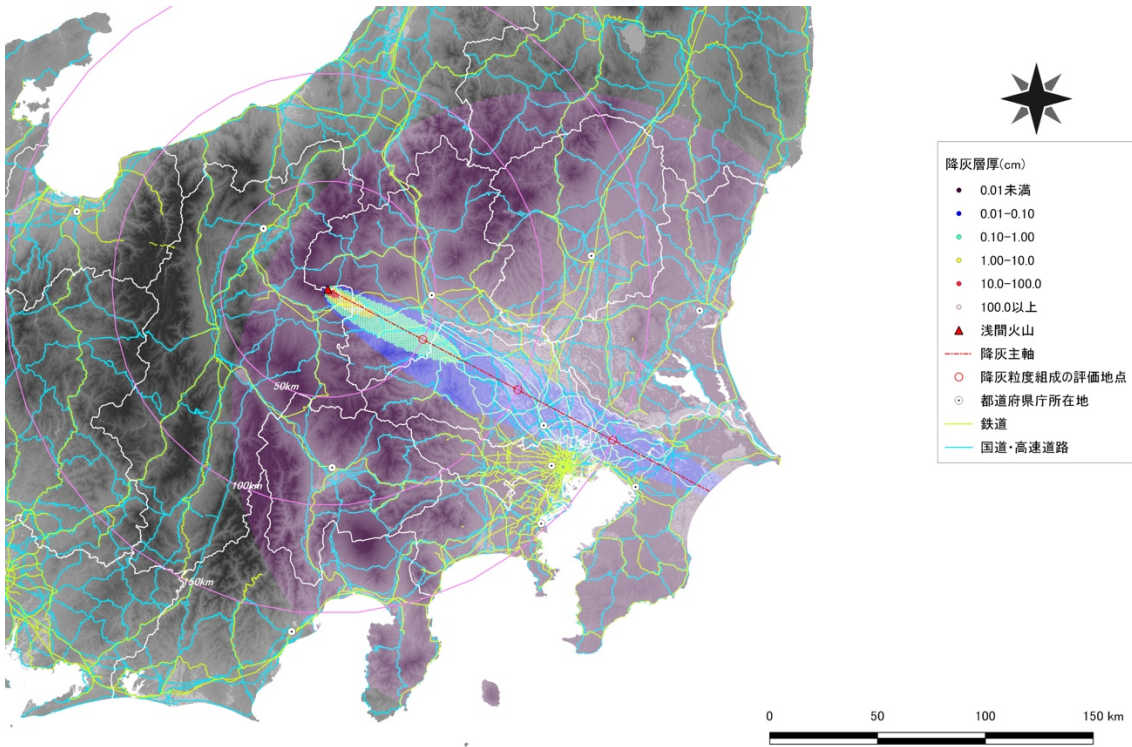


(a) 降灰層厚の分布

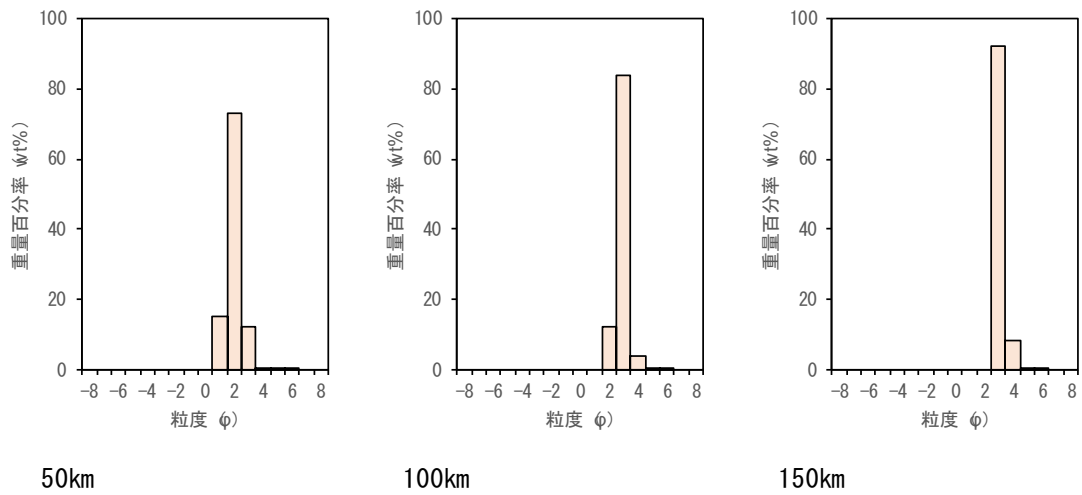


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.19 新燃岳 2011 年噴火規模ケースの 7 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

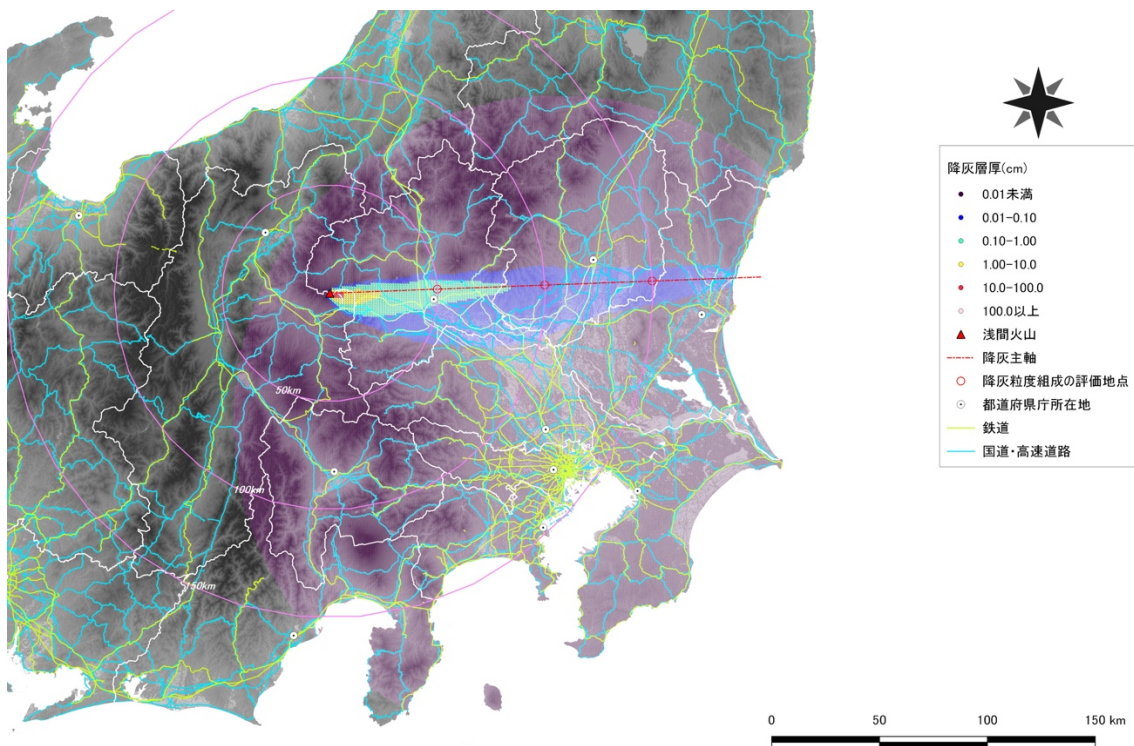


(a) 降灰層厚の分布

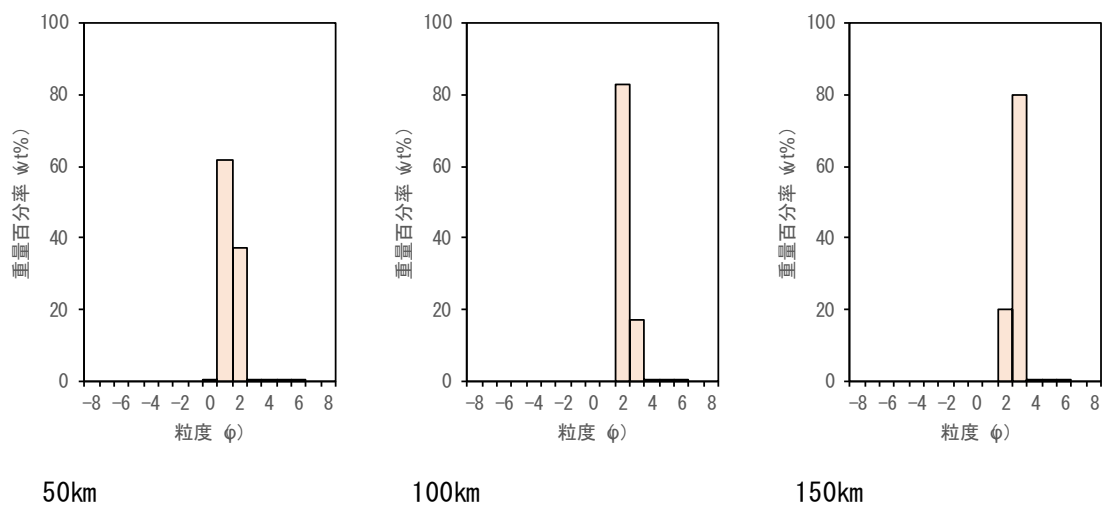


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.20 新燃岳 2011 年噴火規模ケースの 8 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

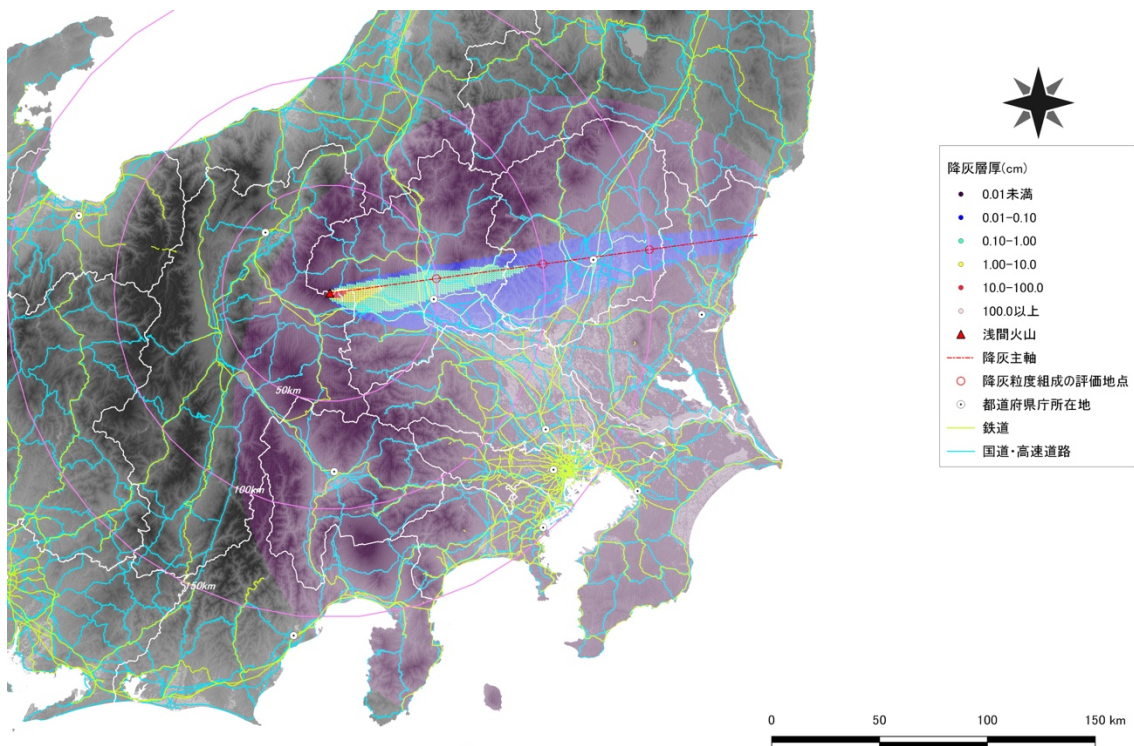


(a) 降灰層厚の分布

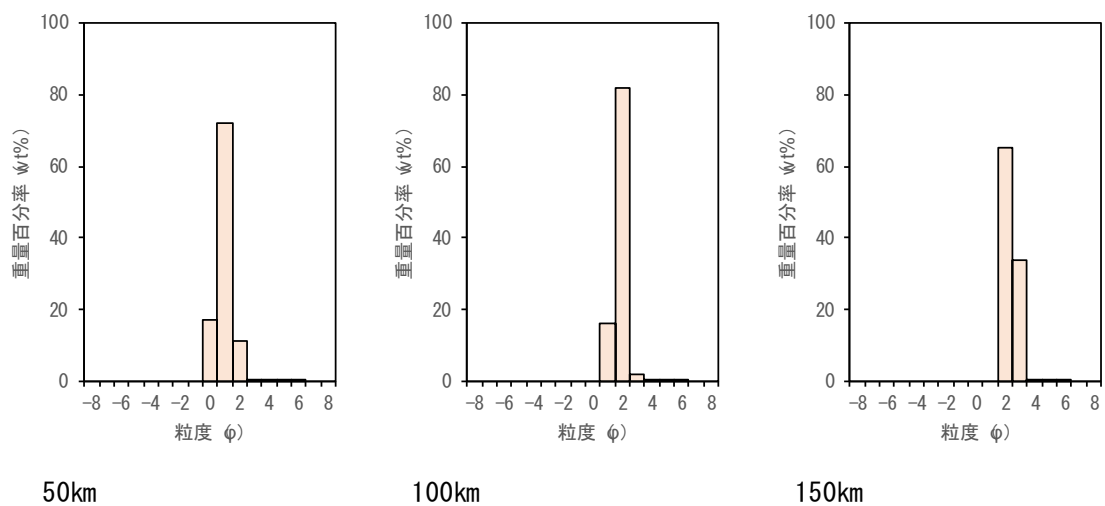


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.21 新燃岳 2011 年噴火規模ケースの 9 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

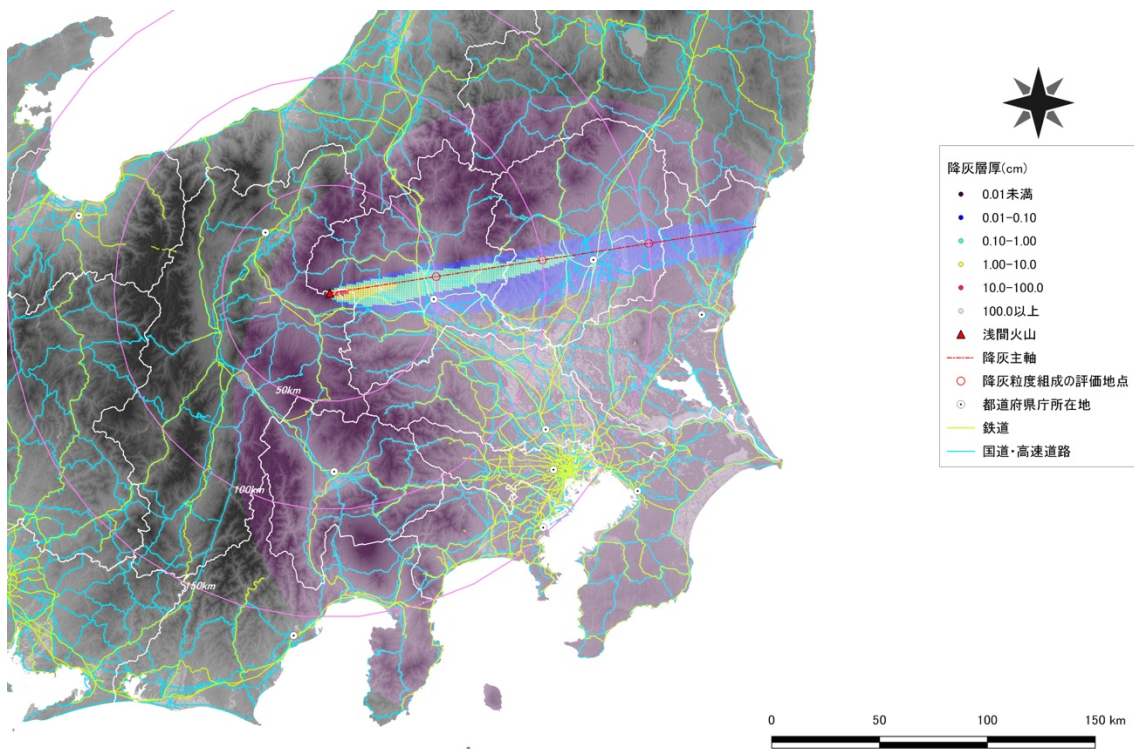


(a) 降灰層厚の分布

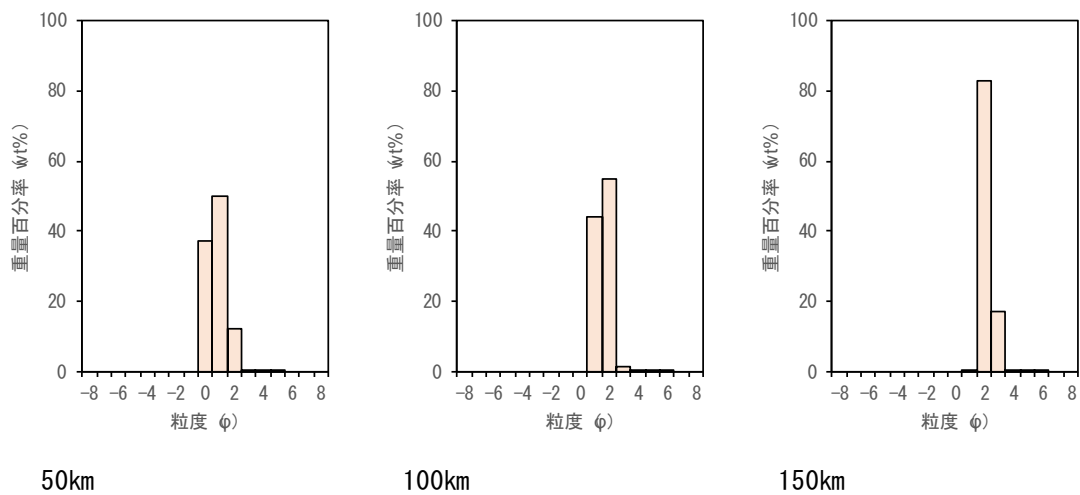


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.22 新燃岳 2011 年噴火規模ケースの 10 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

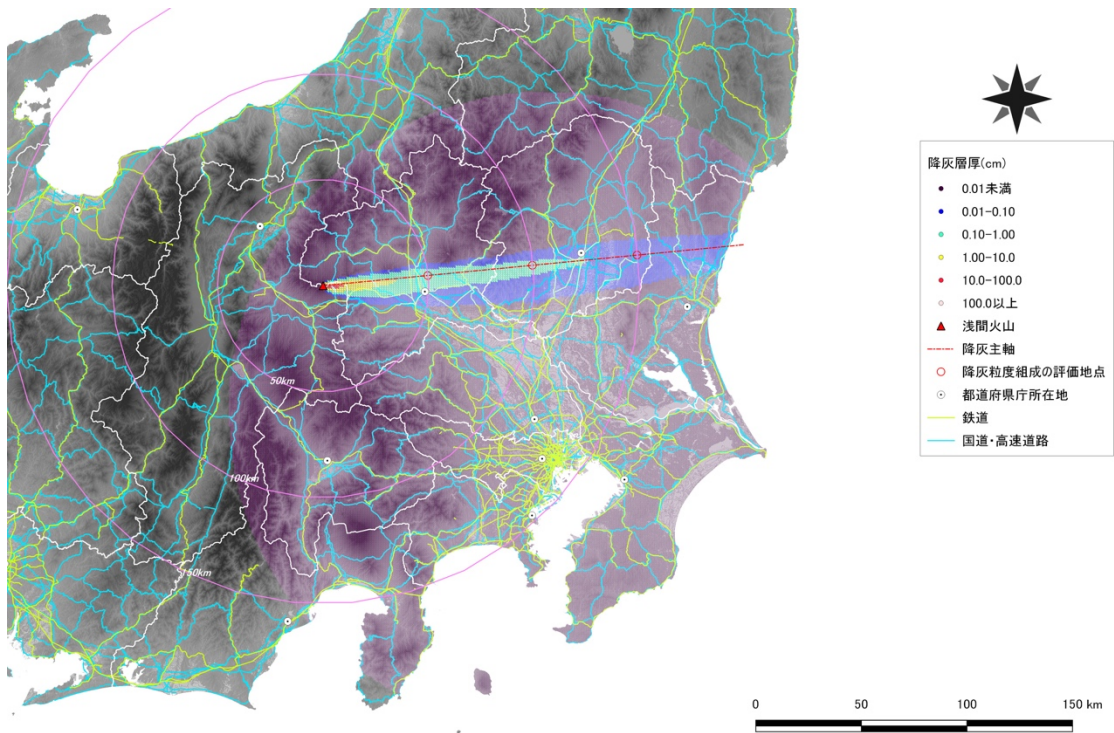


(a) 降灰層厚の分布

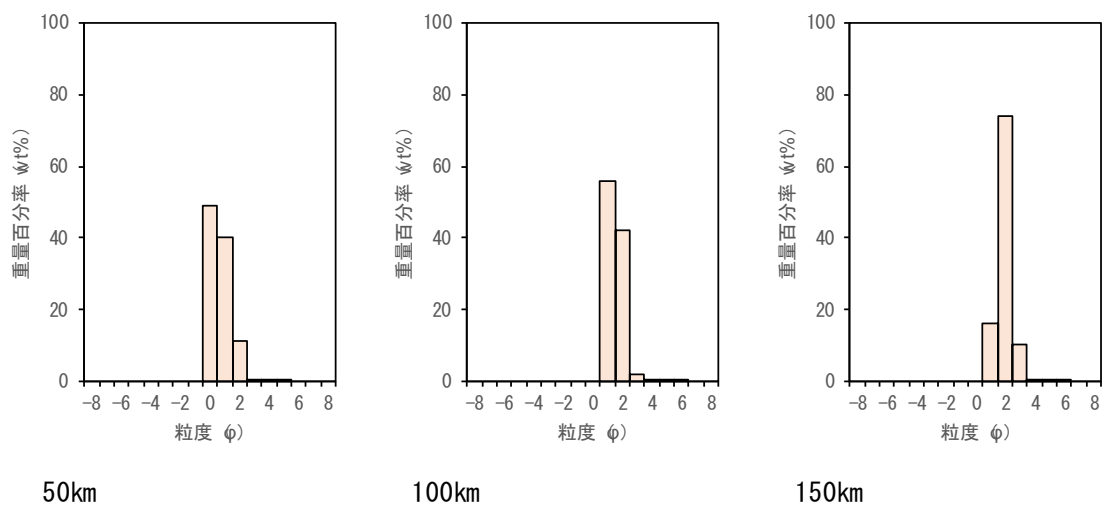


(b) 降灰粒度組成

図 3.1.23 新燃岳 2011 年噴火規模ケースの 11 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成



(a) 降灰層厚の分布



(b) 降灰粒度組成

図 3.1.24 新燃岳 2011 年噴火規模の 12 月の出力による降灰層厚の分布および降灰主軸沿い 50-100-150km の降灰粒度組成

3.2 超過降灰確率

3.2.1 天明噴火規模ケース

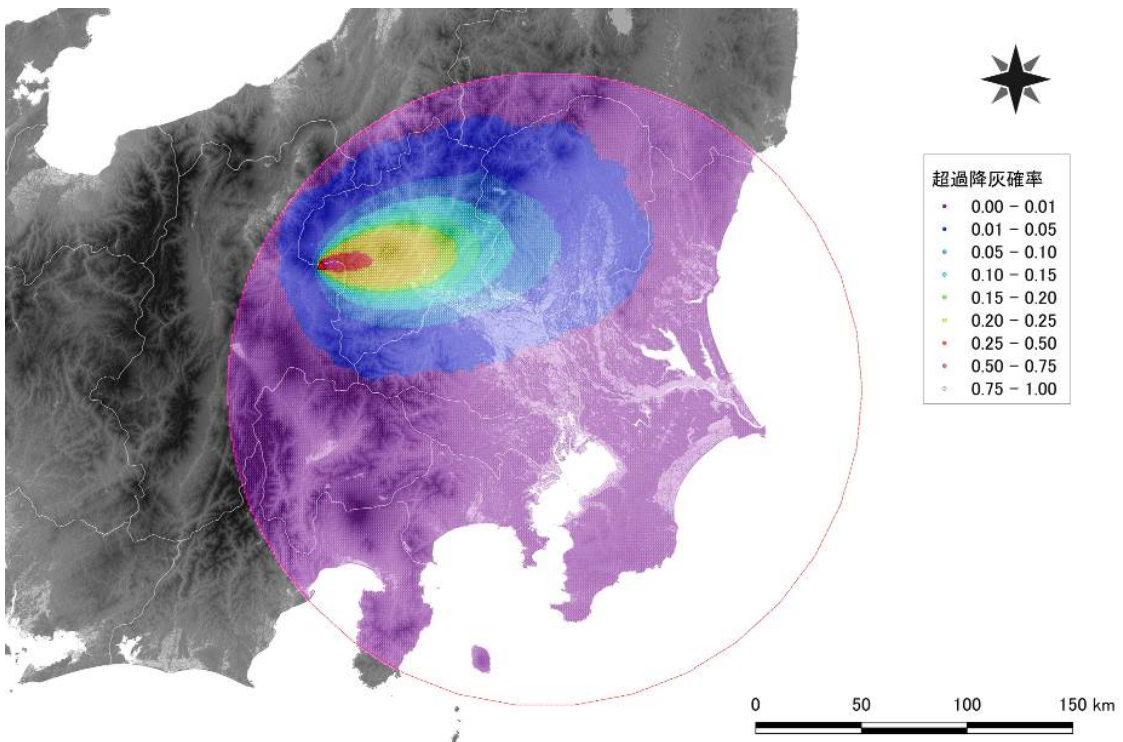
天明噴火規模ケースの全 10,124 出力による超過降灰確率の分布を図 3.2.1 に示す。

天明噴火規模ケースによる超過降灰確率は、東北東～東西方向へ偏平に伸びる楕円形状で西から東に向かい小さくなる分布を示した。0.01（1%）以上となる地域は層厚 1cm 以上の場合が群馬県・栃木県・埼玉県北部で火口から最大で 150km 程度までの地域、層厚が 10cm 以上の場合が群馬県西部で火口から最大で 30km 程度までの地域となった。0.5（50%）以上となる地域は、層厚が 1cm 以上の場合で火口から最大 20km 程度まで、層厚が 10cm 以上の場合で火口から 10km 程度までの範囲となった。

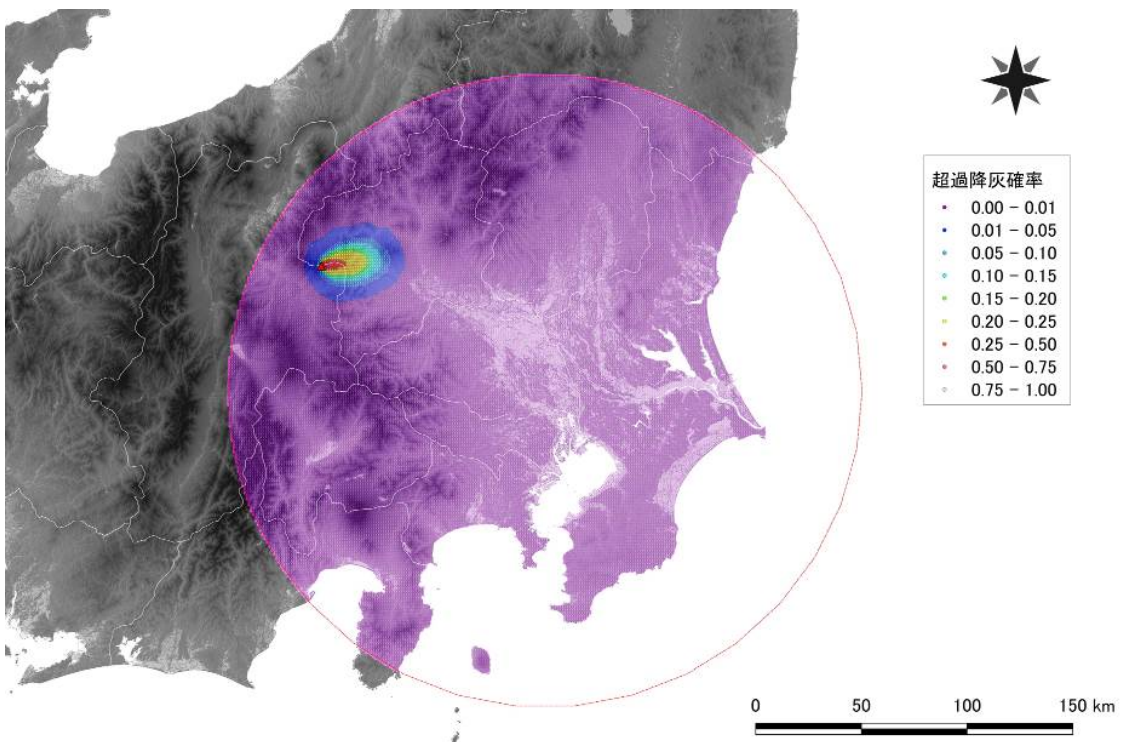
3.2.1 新燃岳 2011 年噴火規模ケース

新燃岳 2011 年噴火規模ケースの全 10,131 出力による超過降灰確率の分布を図 3.2.2 に示す。

新燃岳 2011 年噴火規模ケースによる超過降灰確率も、東北東～東西方向へ伸びる楕円形状で西から東に向かい小さくなる分布を示した。0.01（1%）以上となる地域は、層厚 0.1cm 以上の場合が群馬県・栃木県西部・埼玉県北部で火口から最大で 120km 程度までの地域、層厚が 1cm 以上の場合が群馬県西部で火口から最大で 40km 程度までの地域となった。0.5（50%）以上となる地域は、層厚が 0.1cm 以上の場合で火口から最大 15km 程度まで、層厚が 1cm 以上の場合で火口から 10km 程度までの範囲となった。

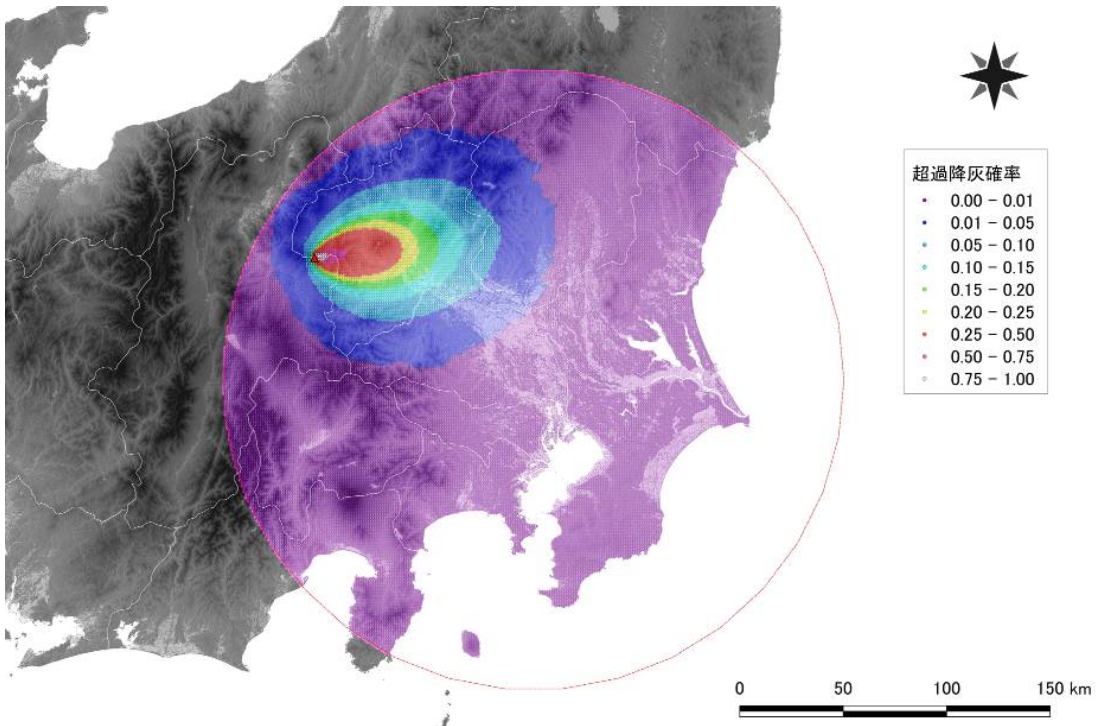


a) 層厚 1cm 以上の超過降灰確率

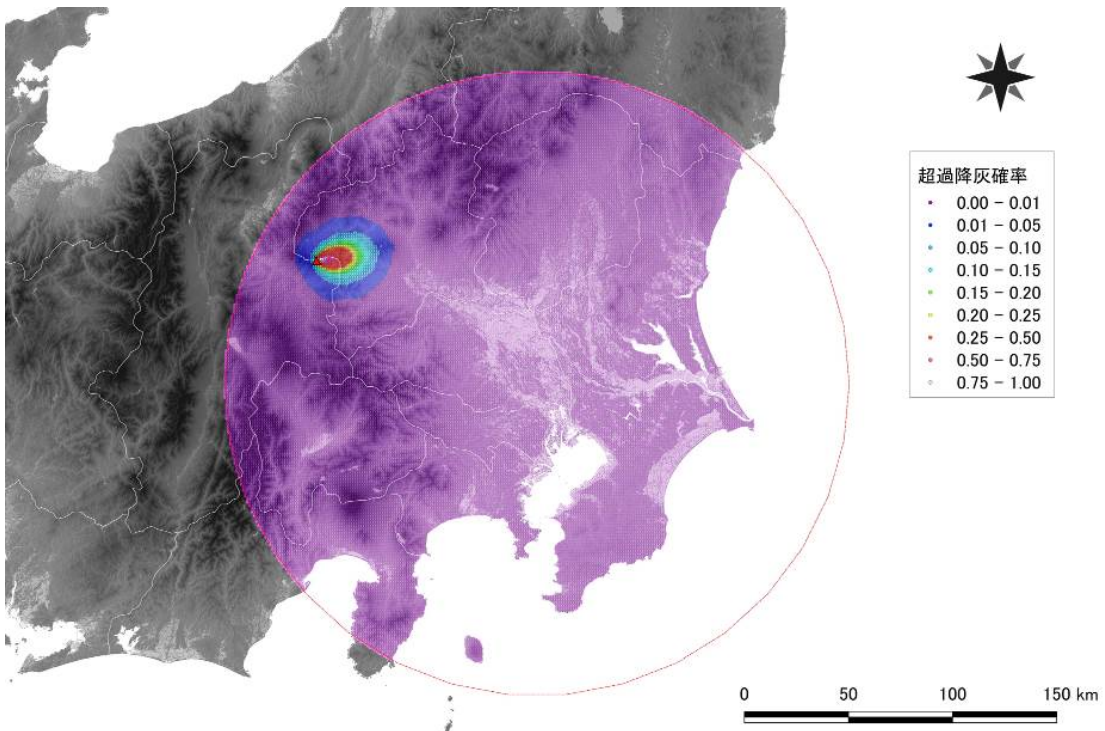


b) 層厚 10cm 以上の超過降灰確率

図 3. 2. 1 天明噴火規模ケースの超過降灰確率の分布



a) 層厚 0.1cm 以上の超過降灰確率



b) 層厚 1cm 以上の超過降灰確率

図 3. 2. 2 新燃岳 2011 年噴火規模ケースの超過降灰確率の分布

4. 降灰災害への適用

Tephra2 をはじめとする降灰シミュレーション手法は、いずれも噴火現象を単純化した仮想的なモデルであり、手法毎の特徴を踏まえた評価が必要となる。特に、Tephra2 は各高度範囲で風向・風速を一定とする単純なモデルであること、噴煙柱からの火砕物離脱量の垂直分布を一定とするため火口近傍の体積量が観測量と合わないことなどの問題あるものの、各地点の降灰量と降灰粒径が直接計算できる利点がある（萬年，2013）。少なくとも本報告で評価対象とした関東平野部に対する浅間火山の位置関係では、これらの Tephra2 の仮定はあまり大きな問題とはなり得ない。

偏西風帯にある日本では、火山の東側に位置する群馬・栃木県下で降灰リスクが高くなるのは当然であり、図 3.2.1-図 3.2.2 の超過降灰確率分布にその特徴が強く表れている。ただし、夏場に特徴的な風条件では、図 3.1.8-図 3.1.20 のように都心部にまで降灰が及ぶこともあり得よう。また、降灰粒径は、天明噴火規模ケースの場合、前橋付近の 50km 程度では細礫混じりの砂サイズの火山灰（ ϕ ・2~2），より遠方の関東平野部では砂サイズの火山灰（ ϕ ・1~3）となり、新燃岳 2011 年噴火規模ケースでも関東平野部で砂サイズの火山灰（ ϕ 0~3）であることが確認できた。ただし、この粒径は火山灰の凝集が全くないとした場合のものであり、気象条件、特に降雨等の条件が重なった場合には ϕ 4 以上のシルトや粘土サイズのより細粒の火山灰が関東平野部でも降下しよう。

噴火時の降灰は、様々な交通機関やインフラ施設に影響を及ぼし得る（例えば広域的な火山防災対策に係る検討会，2013）。特に航空機は火山灰に対する脆弱性が極めて大きく、例えば欧州の航空網を麻痺させたアイスランドのアイヤフィヤトラヨークトル火山の 2010 年噴火時には、僅か 4 mg/m³ の火山灰大気濃度以上で全面飛行禁止の措置が取られている（Alexander, 2013）。仮に細粒砂サイズ（ ϕ 2~3）の火山灰を仮定すると（終端速度~0.3m/s），この大気濃度は時間当たり約 4 g/m² の降灰量に相当し、まばらに火山灰が滞積する程度でしかない。従って、本報告で検討したような 2 つの噴火ケースよりも更に小規模な噴火で関東地方の航空網に影響が出ることになる。鉄道の場合は、レール上に火山灰が積もることによる短絡不良や火山灰がレール間に詰まることによる分岐器転換不良等の事故が桜島や新燃岳の噴火時に起こっている（井口，2011；浦越ほか，2015）。車輪とレール間の短絡不良は 1mm 程度の降灰量でも起こりえる事象であり、天明噴火規模ケースでは関東平野の降灰主軸沿い、新燃岳 2011 年噴火規模ケースでも降灰主軸沿いの火口から 100km 前後以内の範囲でそのリスクが大きい。道路交通については数 mm 程度の降灰からスリップ等の影響が出始め、徐行運転が必要となろう。新燃岳 2011 年噴火のデータから算出された道路途絶フラジリティ曲線からは、降灰量 1cm 程度で機能停止になる道路が出てくる可能性が高くなり、4cm を越せばほとんどの道路が機能停止になると予測されている（玉置・多々，

2014). 従って、天明噴火規模ケースでは降灰主軸沿いの火口から 100~150km 以内の範囲、新燃岳 2011 年噴火規模ケースでは降灰主軸沿いの火口から 40km 以内前後の範囲に、道路途絶のリスクが存在する。降灰の影響は電力施設にも及び、火山灰自体は電気を通さないものの、火山灰の表面には火山ガス成分の硫酸ミストが付着しており、噴煙中の水や降雨で表面が濡れていると通電性が良くなる。そのため碍子に湿った火山灰が付着すると絶縁低下が起きて短絡事故が起き易くなる (Wardman et al., 2012a)。ニュージーランドのルアペフ火山の噴火事例のように僅か 3mm 厚の火山灰で短絡事故が起きた事例もあるが (Wardman et al., 2012b)、この事象は火山灰の化学的特性、気象条件、器機の耐電圧等の要因が関係して起きるものであり、単純に降灰量だけからリスクを評価することは出来ない。いずれにせよ、降灰域では碍子等の電気施設からのすみやかな除灰作業が必要となる (黒木・瀬戸, 2015)。

文献

- Alexander, D. (2013) Volcanic ash in the atmosphere and risks for civil aviation: A study in European crisis management. *International Journal of Disaster Risk Science*, 4, 9-19.
- 荒牧重雄 (1968) 浅間火山の地質 (地質図付). 地団研専報, 14, 45p.
- Banadonna C., Connor C.B., Houghton B.F., Connor L., Byrne M., Laing A. and Hincks T. (2005) Probabilistic modeling of tephra dispersion: hazard assessment of a multiphase rhyolitic eruption at Tarawera, New Zealand. *Jour. Geophys. Res.*, 110, B03203.
- Connor, C.B. and Courtland, L.M. (2010) Tephra2 Source Code.
<https://vhub.org/resources/88>.
- Connor C.B., Hill B.E., Winfrey B., Franklin N.M. and LaFemina P.C. (2001) Estimation of volcanic hazards from tephra fallout. *Natural Hazards Review*, 2, 33-42.
- 日野貴之・都司嘉宣 (1993) 天明三年(1783)の浅間山噴火による降下堆積物に関する古文書記録と数値シミュレーション. 東京大学地震研究所集報, 68, 71-90.
- 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, 33-37.
- 広域的な火山防災対策に係る検討会 (2013) 大規模火山災害対策への提言.
<http://www.bousai.go.jp/kazan/kouikibousai/index.html> (閲覧 2016/5/2)
- 国土交通省 (2015) 国土数値情報 標高・傾斜度 3次メッシュデータ.
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G04-a.html> (閲覧 2015/10/22).

- 国土交通省 (2016a) 国土数値情報 行政区域データ.
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03.html> (閲覧 2016/5/2).
- 国土交通省 (2016b) 国土数値情報 鉄道データ.
http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N02-v2_2.html (閲覧 2016/5/2).
- 国土交通省 (2016c) 国土数値情報 道路. <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gmlold/index.html> (閲覧 2016/5/2).
- 国土地理院 (2016) 都道府県庁の緯度経度.
<http://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHOKENCHO/kencho.html> (閲覧 2016/5/6).
- 黒木光広・瀬戸 学 (2015) 噴火に対する電力設備事故防止対策. 電気評論, no.617, 22-26.
- 萬年一剛 (2013) 降下火山灰シミュレーションコード Tephra2 の理論と現状-第四紀学での利用を視野に. 第四紀研究, 52, 173-187.
- Suzuki T.(1983) A theoretical model for dispersion of tephra, Shimozuru, D. and Yokoyama, I. (eds.) *Arc Volcanism: Physics and Tectonics*, 95-116, Terra Scientific Publishing.
- 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, 26051-26147.
- 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. 鉄道総研報告, 29, 47-52.
- Wardman, J.B., Wilson, T.M., Bodger, P.S., Cole, J.W., Stewart, C. (2012a) Potential impacts from tephra fall to electric power systems: a review and mitigation strategies. *Bull. Volcanol.*, 74, 2221-2241.
- Wardman, J.B., Wilson, T.M., Bodger, P.S., Cole, J.W., Johnston, D.M. (2012b) Investigating the electrical conductivity of volcanic ash and its effect on HV power systems. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 45-46, 128-145.
- Yasui, M., Takahashi, M., Tsutsumi, T., Aramaki, S., Takeo, M., Aoki, Y. (2013) B02:ActiveVolcanoinCentralJapan:AsamaVolcano. *IAVCEI 2013 Field Trip Guide*. Volcanological Society of Japan.