

# 降灰による影響の想定に用いる降灰分布

平成31年3月22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

# 想定に用いる降灰分布とその他の条件

- 総噴出量、噴出期間及び最終的な降灰分布については、宝永噴火の実績を基本とする。噴火終了までの降灰分布の時間変化は、シミュレーションにより得られた結果を降灰の影響の想定に用いる降灰分布とする。
- 以下の条件による想定を基本ケースとする。

## 基本ケース

- ・風向風速は、2018年12月16日～31日の館野の高層観測データ（気象庁）を採用する。  
（降灰分布は、風向風速の影響を大きく受けるものの、1つのケースとして、過去10年の12月16日～31日の風から、降灰終了後の最終層厚が最も宝永噴火の実績に近くなった2018年を選択。）
- ・日中（昼前）に噴火発生
- ・降雨なし

※ 降灰地域は噴火の推移（噴出率／噴煙柱の高さ）・風向風速によって異なる。宝永噴火時の風向風速は不明であるため、計算結果は想定のための一例である。

# 降灰シミュレーションの設定

○ シミュレーションは以下のモデル・設定を用いて実施。

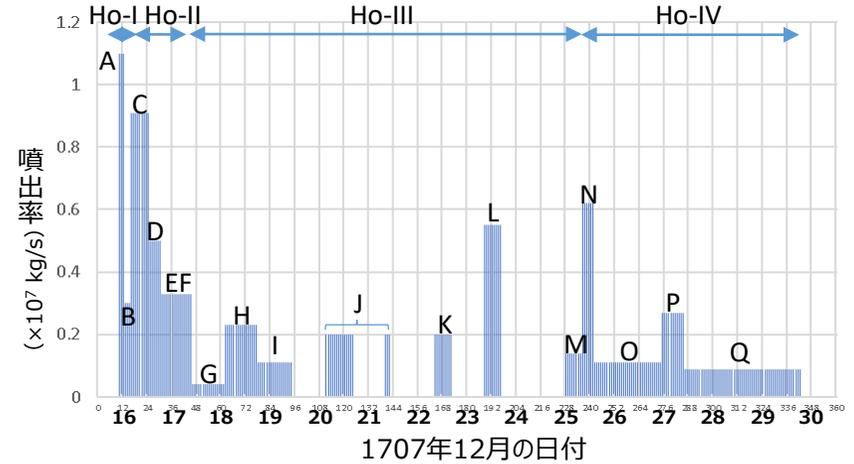
- **モデル**: 改良版Tephra2 (万年委員ご提供)
- **噴出量・噴出率**: Miyaji et al.(2011)の文献値を用いて設定。各噴火ユニット (A~Q) 毎に計算を実施。

宝永噴火各ユニット毎の噴出量・噴出率等 (Miyaji et al, 2011に内閣府加筆)

Group	Unit	Mass ( $\times 10^{10}$ kg)	Duration (h)	Flux ( $\times 10^7$ kg/s)	Hb (km)	Ht (km)
I	A	$5.7 \pm 0.3$	1.5	$1.1 \pm 0.4$	$17 \pm 3$	$23 \pm 5$
	B	$4.4 \pm 0.3$	4.0	$0.30 \pm 0.34$	$14 \pm 4$	$18 \pm 4$
II	C	$26 \pm 0$	8.0	$0.91 \pm 0.92$	$17 \pm 3$	$22 \pm 4$
	D	$8.9 \pm 0.8$	5.0	$0.50 \pm 0.54$	$15 \pm 4$	$19 \pm 5$
III	E	$13 \pm 1$	15.5	$0.33 \pm 0.35$	$14 \pm 4$	$18 \pm 4$
	F	$5.5 \pm 0.1$	15.5	$0.04 \pm 0.04$	$10 \pm 3$	$12 \pm 4$
	G	$2.1 \pm 0.1$	17.5	$0.23 \pm 0.26$	$13 \pm 3$	$17 \pm 4$
IV	H	$14 \pm 1$	16	$0.11 \pm 0.14$	$12 \pm 4$	$15 \pm 4$
	I	$6.6 \pm 0.8$	16.5	$0.20 \pm 0.22$	$13 \pm 4$	$16 \pm 4$
	J	$12 \pm 0$	8.5	$0.20 \pm 0.24$	$13 \pm 3$	$16 \pm 4$
	K	$6.2 \pm 0.5$	9.0	$0.55 \pm 0.64$	$15 \pm 4$	$20 \pm 5$
	L	$4.1 \pm 0.4$	8.0	$0.14 \pm 0.17$	$12 \pm 4$	$15 \pm 4$
	M	$10 \pm 2$	4.5	$0.62 \pm 0.77$	$16 \pm 4$	$20 \pm 5$
	N	$13 \pm 1$	33.5	$0.11 \pm 0.13$	$11 \pm 5$	$15 \pm 4$
	O	$11 \pm 1$	11.5	$0.27 \pm 0.32$	$13 \pm 4$	$17 \pm 5$
P	$18 \pm 3$	57	$0.09 \pm 0.11$	$11 \pm 4$	$14 \pm 3$	
Q						

噴出量 噴出率

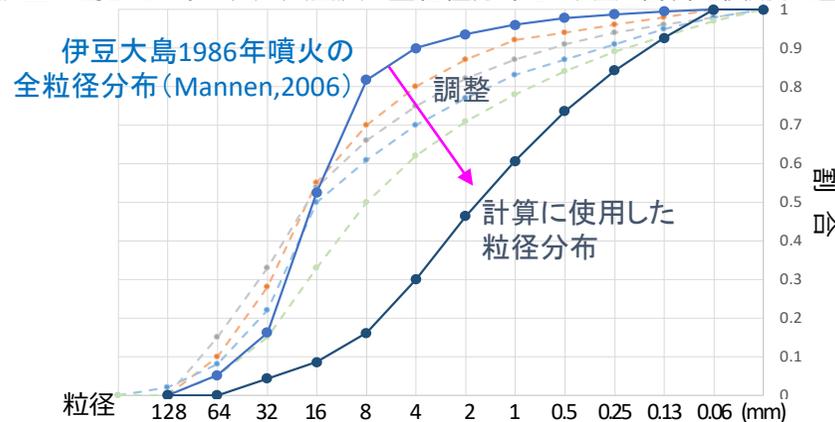
宝永噴火のユニット毎の噴出率の変化



※ Miyaji et al.,2011を元に内閣府作成

- **全粒径分布**: 宝永噴火について分析されたものはないため、同じ玄武岩質の伊豆大島1986年噴火の火山灰 (TB-2テフラ) を対象に推定された全粒径分布の値 (Mannen, 2006) をもとにしながら、最終層厚が宝永噴火に近づくよう調整。

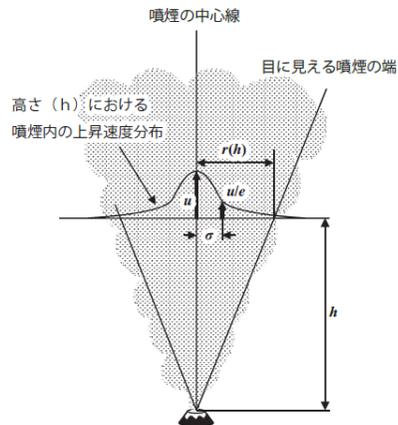
伊豆大島1986年噴火の火山灰の全粒径分布と、今回の計算に使用した全粒径分布



# 降灰シミュレーションの設定

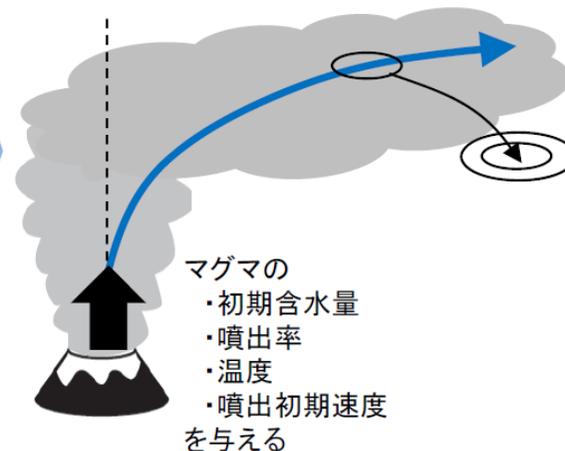
➤ **噴煙柱の形状**: 改良版Tephra2により、火口から垂直に上昇する噴煙柱が、上空で風に流されて傾くと仮定して給源を設定。

Tephra2の噴煙の概念図 (萬年, 2013)

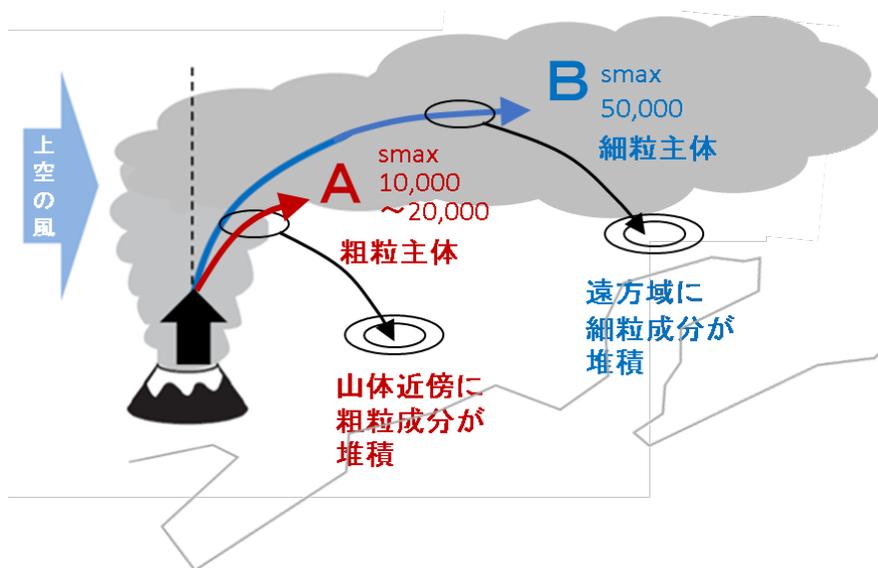


改良版Tephra2の噴煙の概念図

風データ  
 ・高度  
 ・風速  
 ・風向  
 ・温度  
 ・圧力  
 を与える



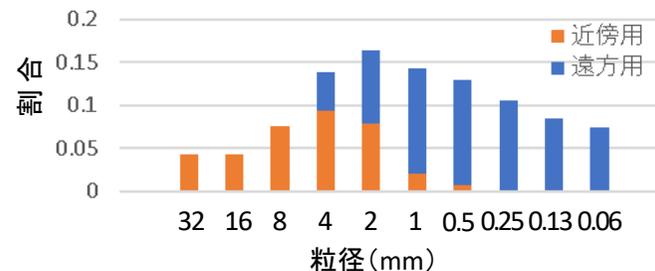
さらに、再現率向上のために、各噴火ユニットについて粗粒主体と細粒主体の2パターンのパラメータセットを作成して計算を実施。



・噴出量の配分



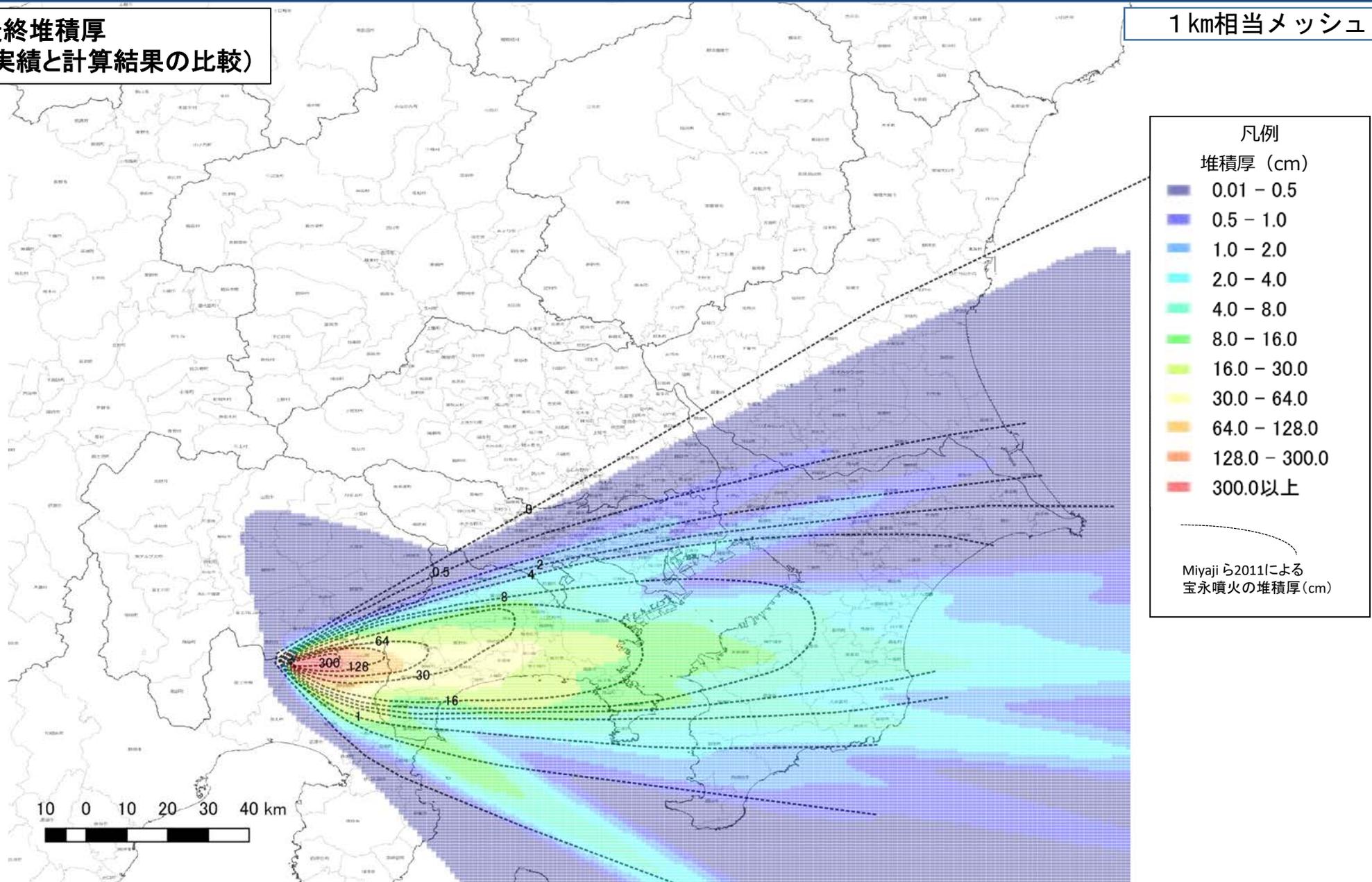
・粒径の度数分布の配分



# 計算結果(2018/12/16~2018/12/31の風)

最終堆積厚  
(実績と計算結果の比較)

1 km相当メッシュ

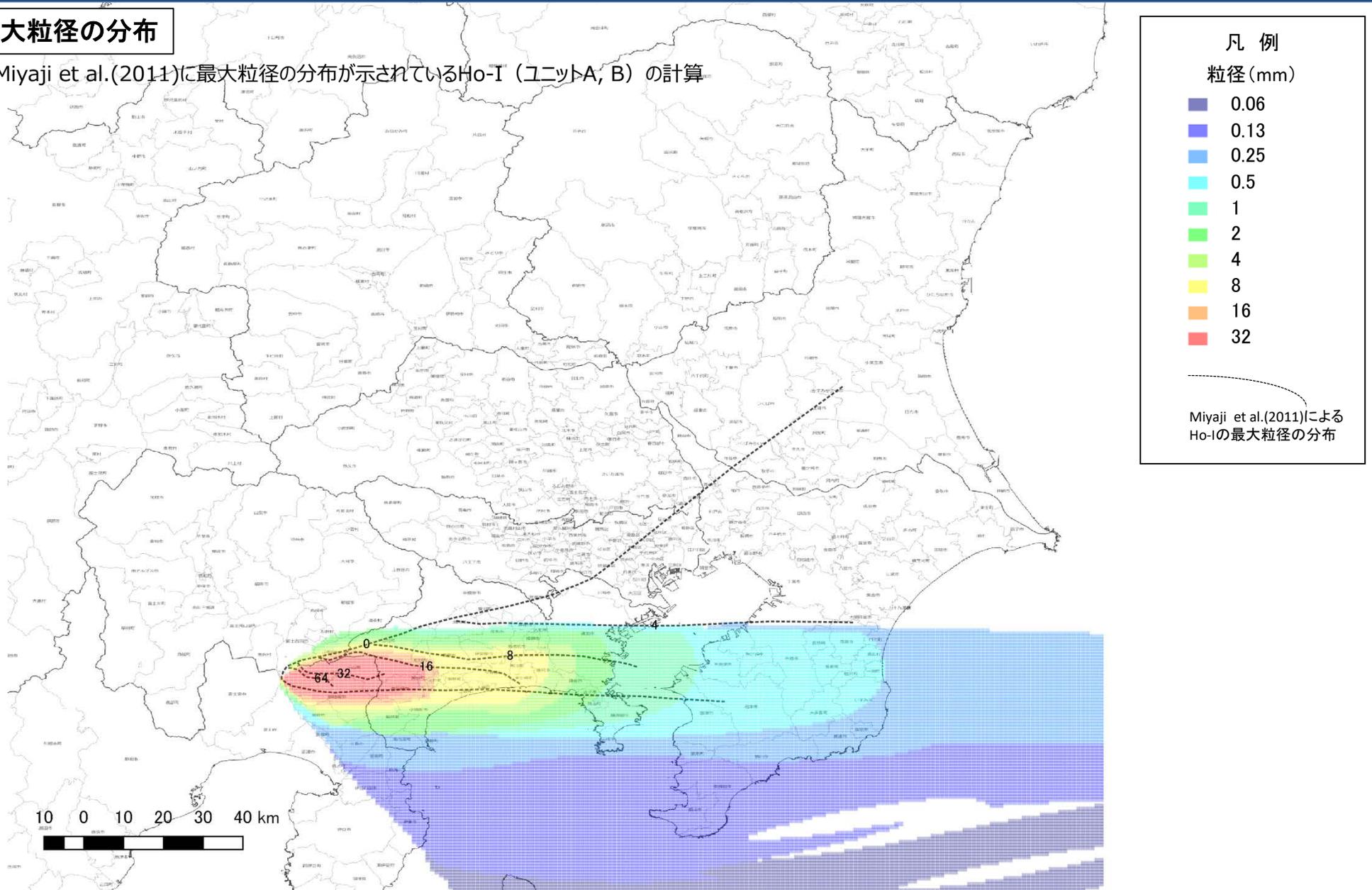


※ 降灰地域は噴火の推移(噴出率/噴煙柱の高さ)・風向風速によって変わる。宝永噴火時の風向風速は不明であるため、計算結果は想定のため一例である。

# 計算結果(2018/12/16~2018/12/31の風)

## 最大粒径の分布

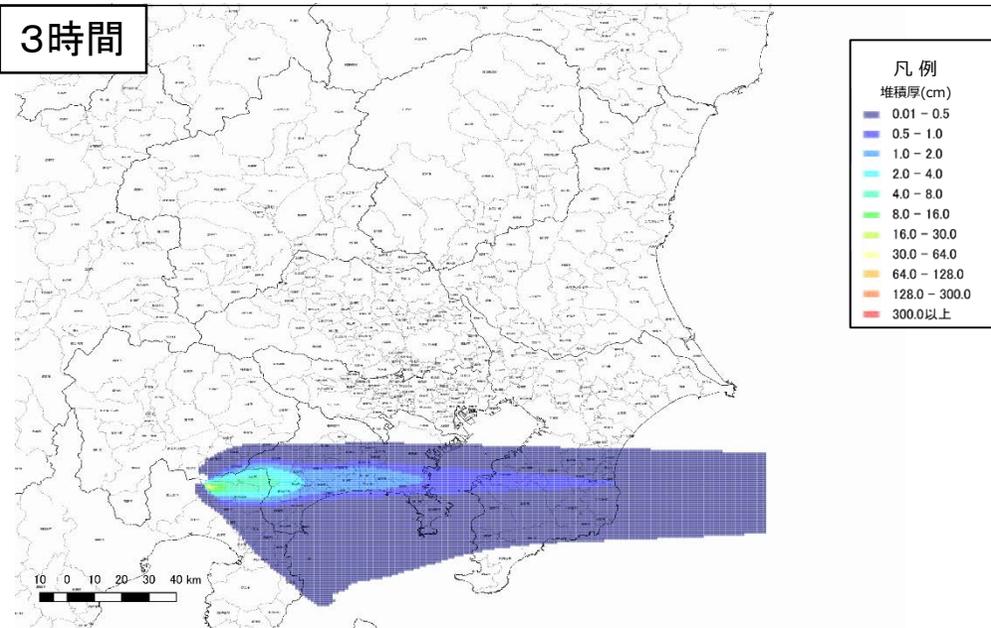
※Miyaji et al.(2011)に最大粒径の分布が示されているHo-I (ユニットA, B) の計算



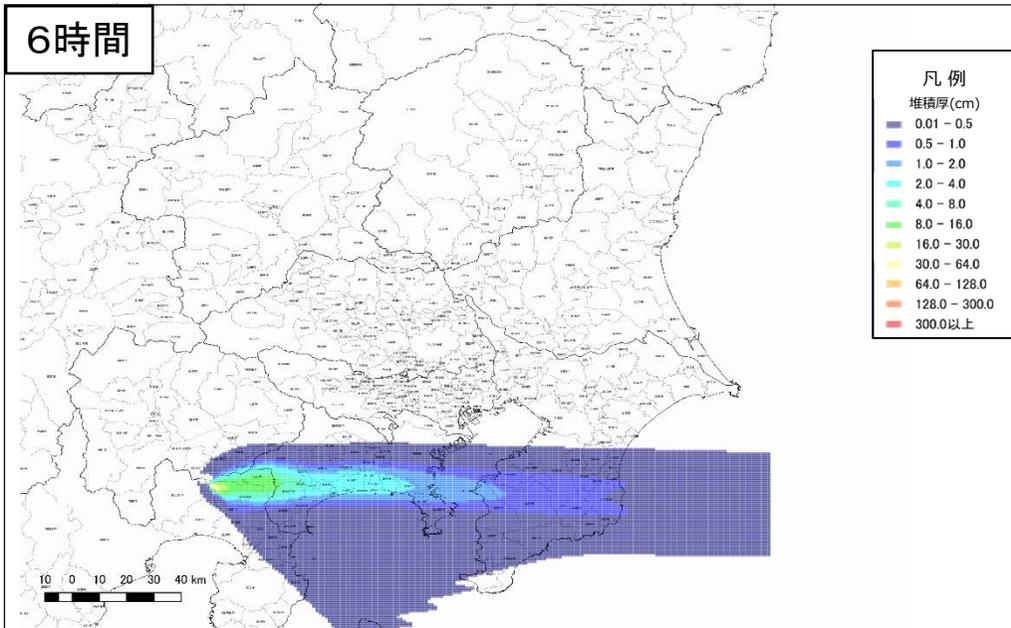
※ 降灰地域は噴火の推移(噴出率/噴煙柱の高さ)・風向風速によって変わる。宝永噴火時の風向風速は不明であるため、計算結果は想定のため一例である。

# 降灰の分布状況の時間変化(2018年の風による、堆積厚の累積の計算結果)①

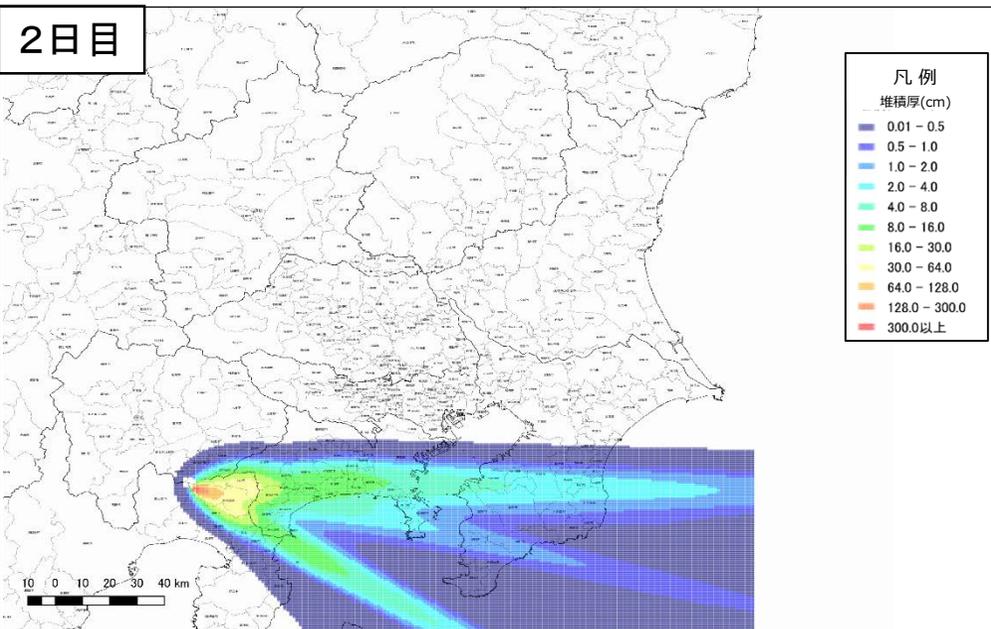
3時間



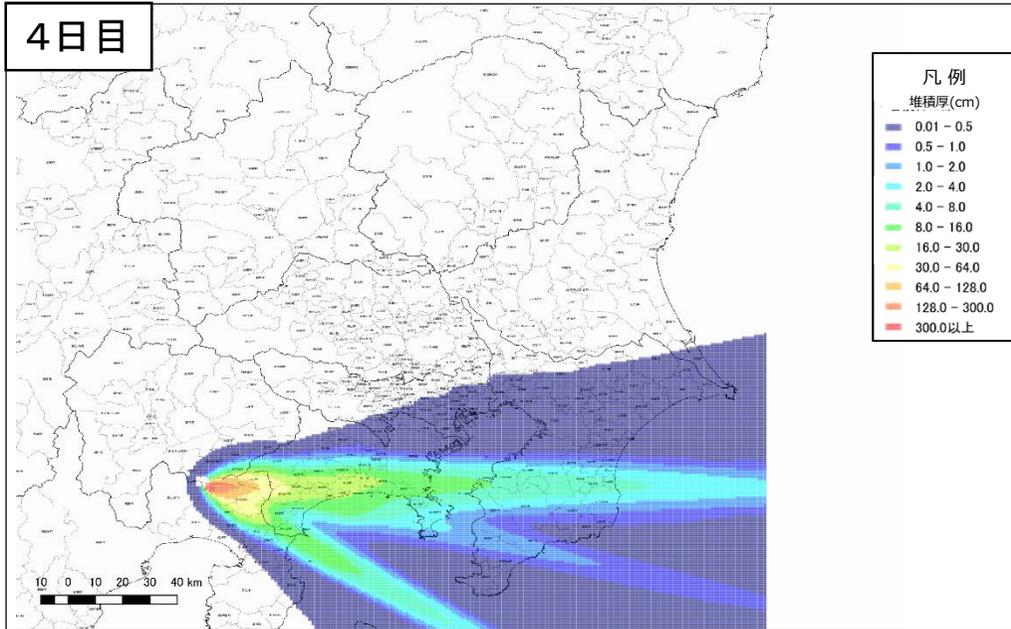
6時間



2日目



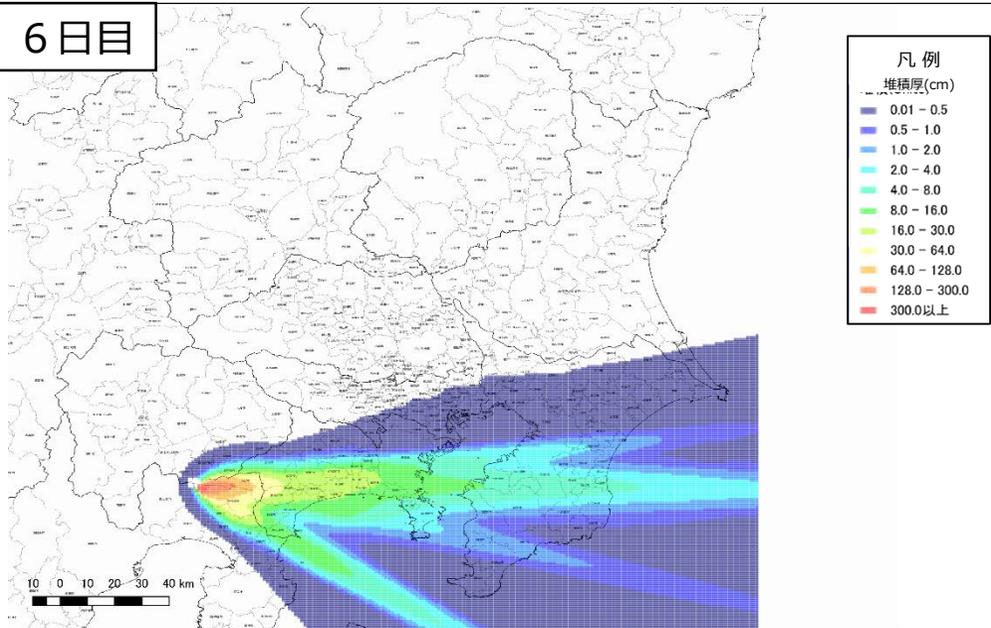
4日目



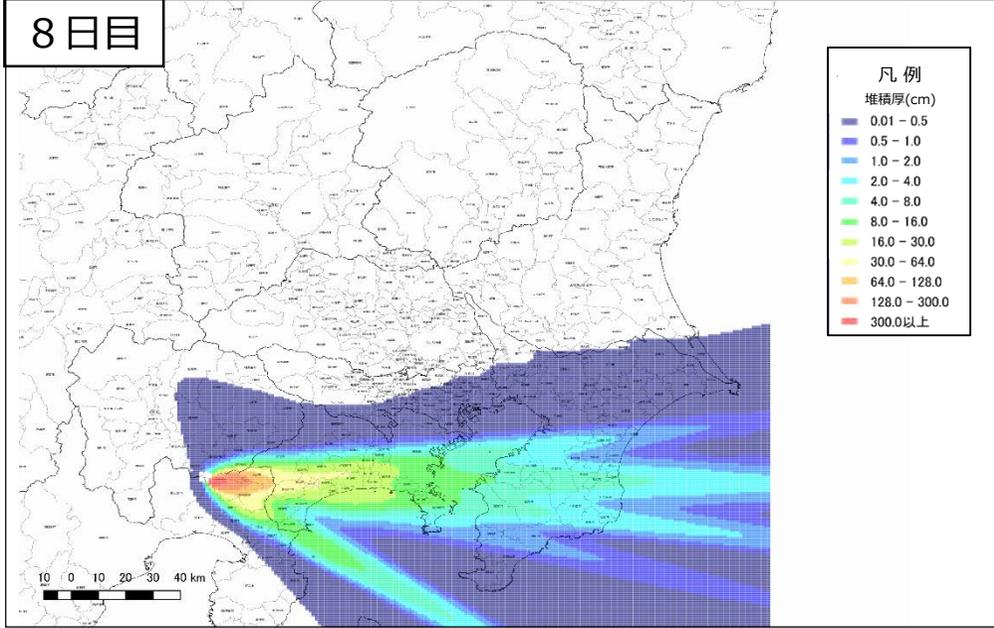
※ 降灰地域は噴火の推移(噴出率/噴煙柱の高さ)・風向風速によって変わる。宝永噴火時の風向風速は不明であるため、計算結果は想定のための一例である。

# 降灰の分布状況の時間変化(2018年の風による、堆積厚の累積の計算結果)②

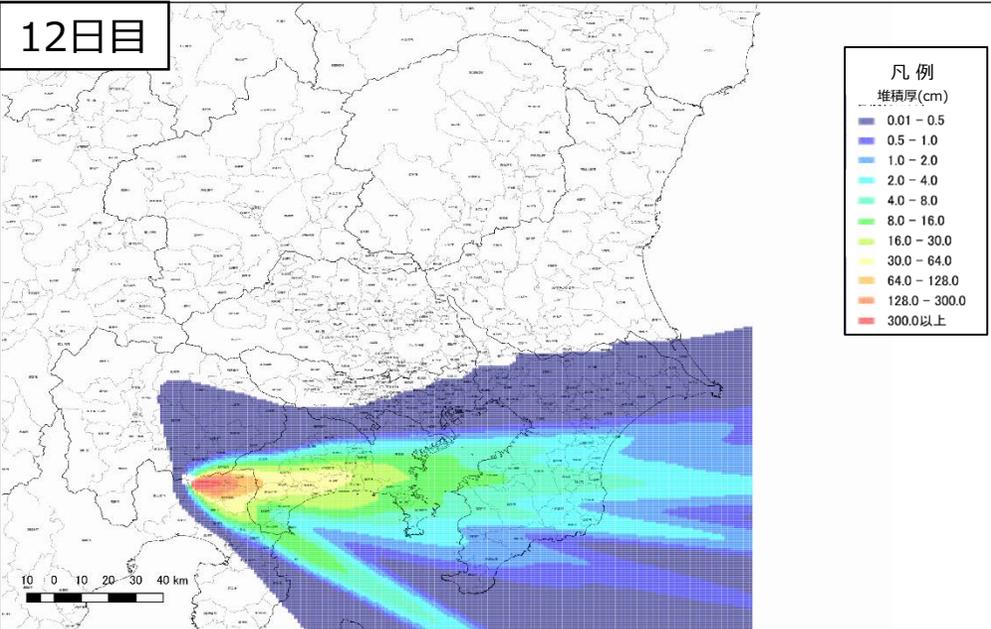
6日目



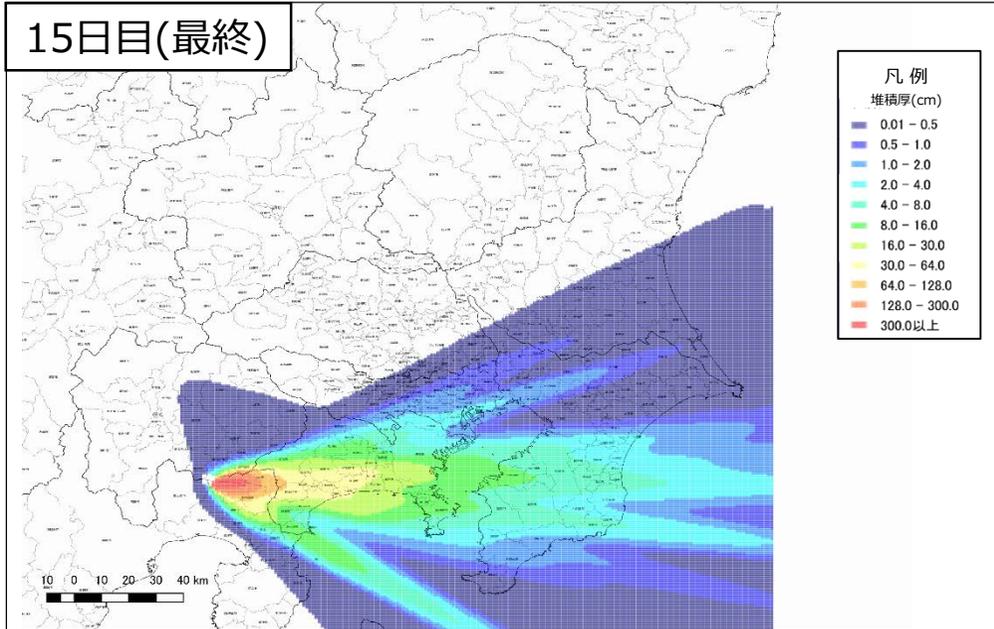
8日目



12日目



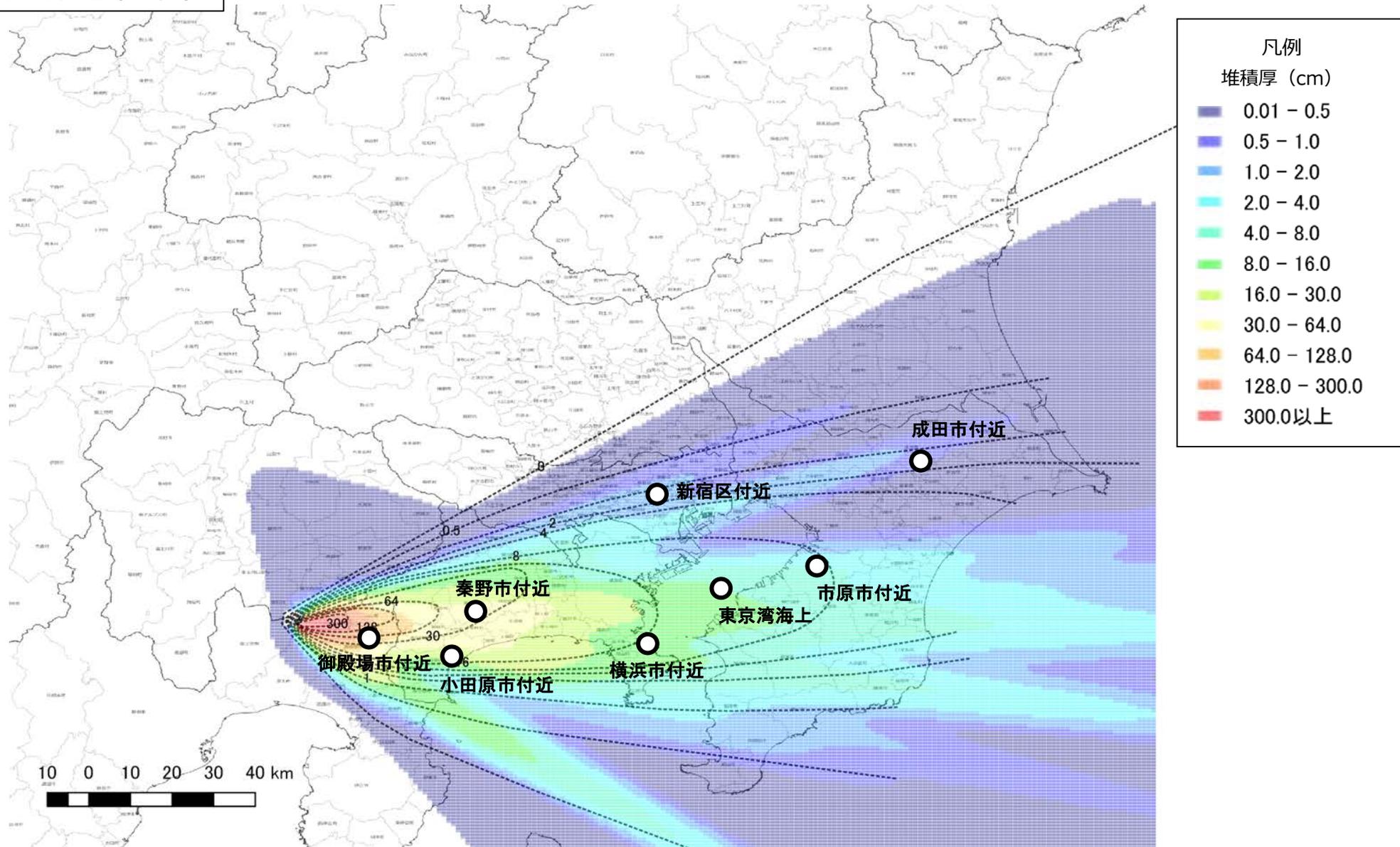
15日目(最終)



※ 降灰地域は噴火の推移(噴出率/噴煙柱の高さ)・風向風速によって変わる。宝永噴火時の風向風速は不明であるため、計算結果は想定のため一例である。

# 主な地域における降灰の状況の時間変化(2018年の風による計算結果)

## 描画地点とその位置

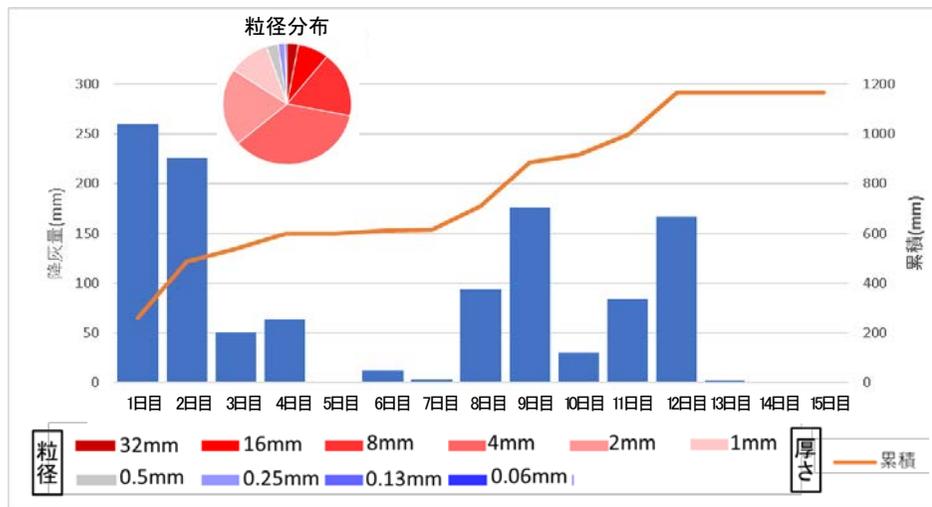


※ 降灰地域は噴火の推移(噴出率/噴煙柱の高さ)・風向風速によって変わる。宝永噴火時の風向風速は不明であるため、計算結果は想定のための一例である。

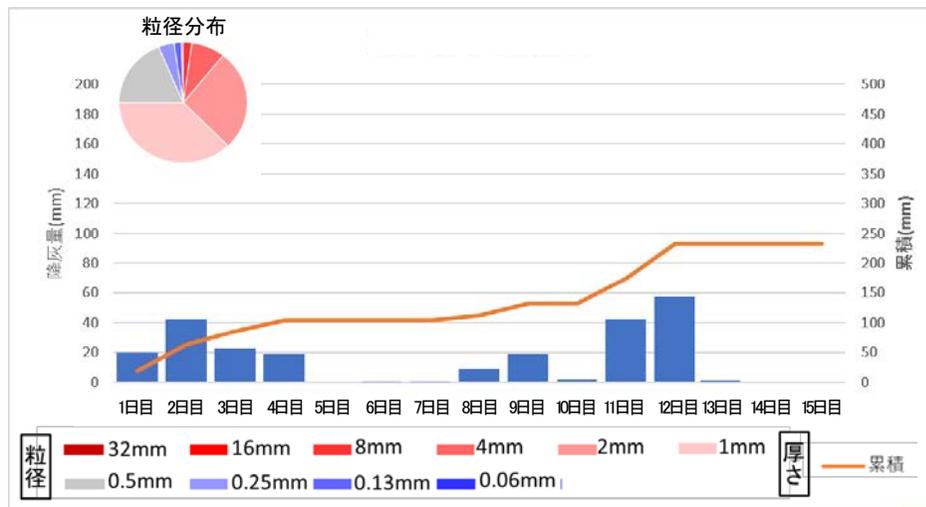
# 主な地域における降灰の状況：日単位(2018年の風による計算結果)①

※ ユニット毎の堆積厚を噴火の継続時間で等分し、日単位に振り分けて算出。

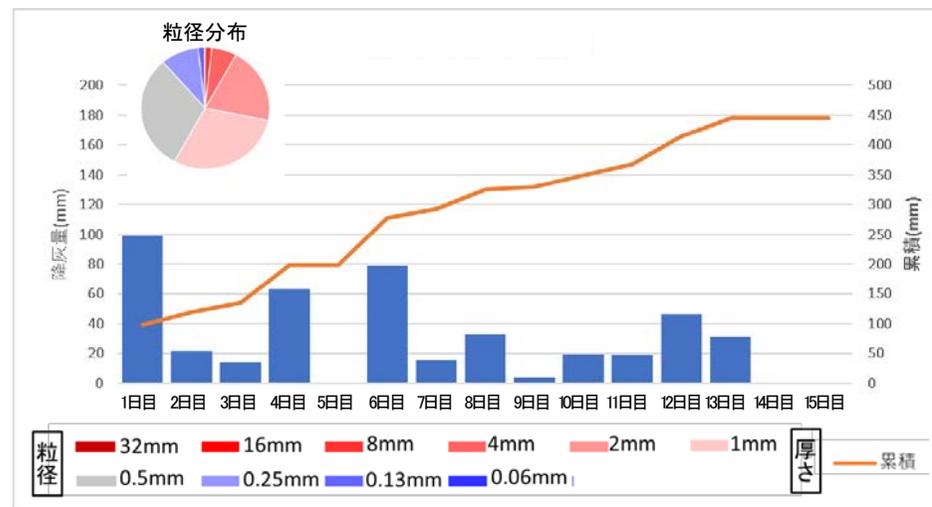
## 御殿場市付近



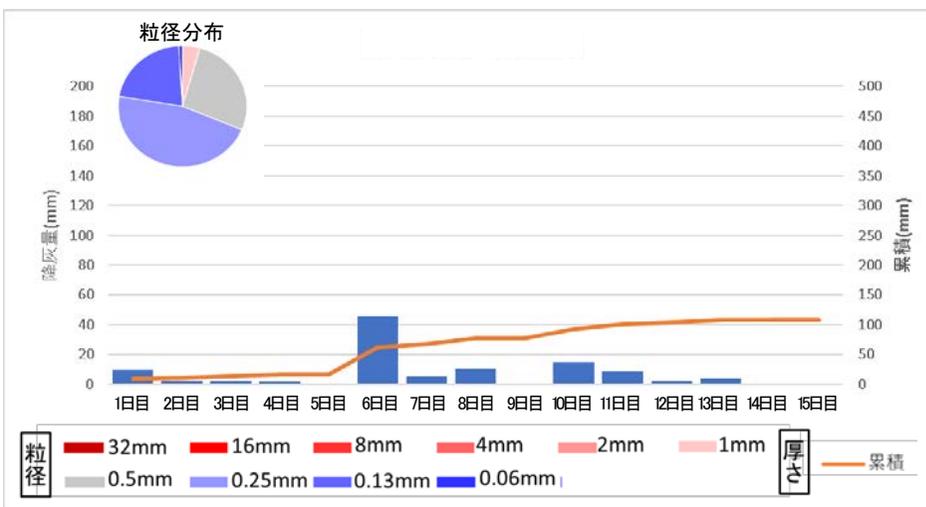
## 小田原市付近



## 秦野市付近



## 横浜市付近

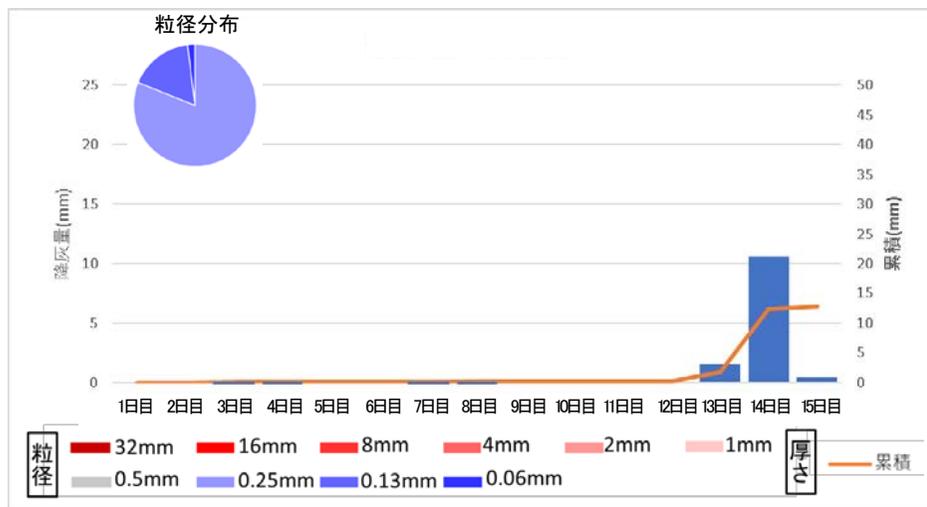


※ 降灰地域は噴火の推移（噴出率／噴煙柱の高さ）・風向風速によって変わる。宝永噴火時の風向風速は不明であるため、計算結果は想定のための一例である。

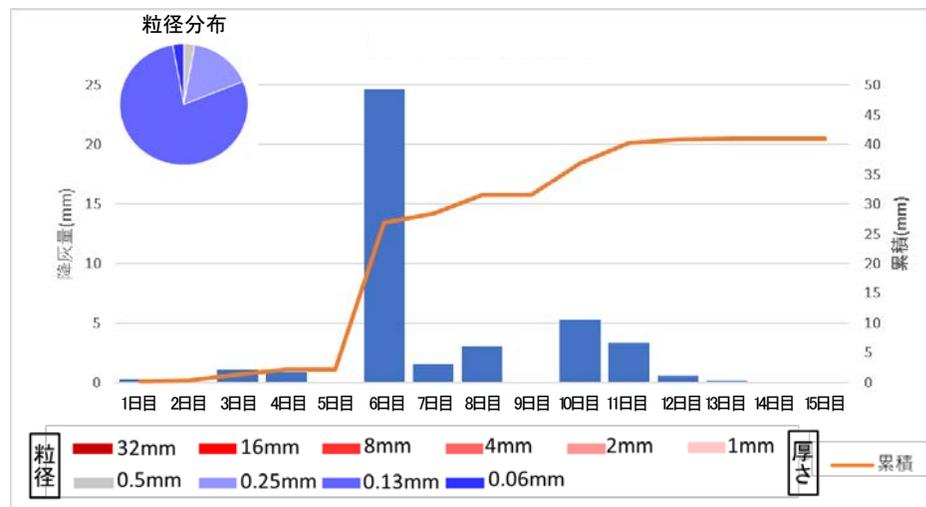
# 主な地域における降灰の状況：日単位(2018年の風による計算結果)②

※ ユニット毎の堆積厚を噴火の継続時間で等分し、日単位に振り分けて算出。

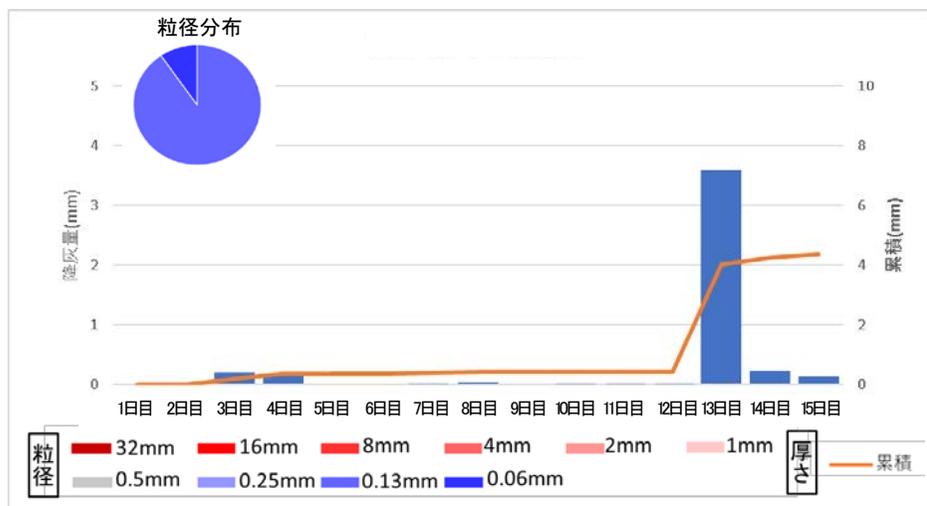
## 新宿区付近



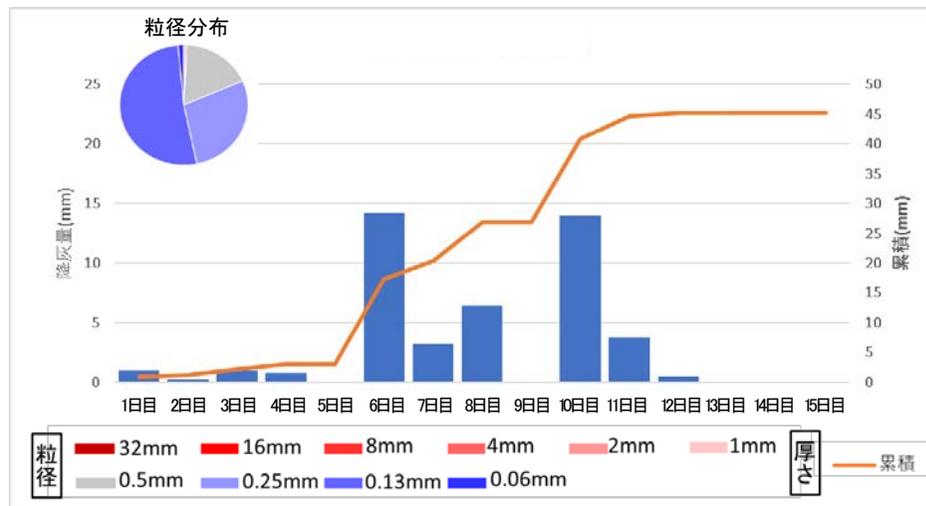
## 市原市付近



## 成田市付近



## 東京湾海上

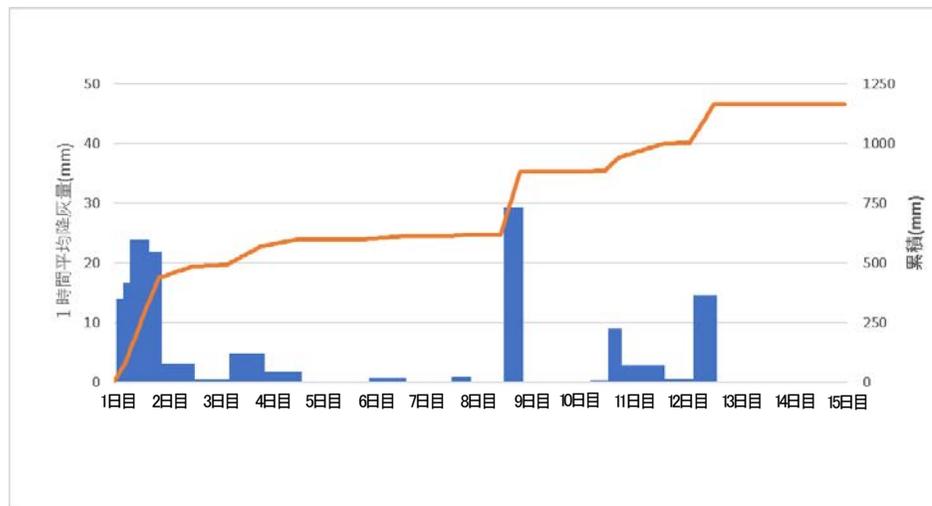


※ 降灰地域は噴火の推移（噴出率／噴煙柱の高さ）・風向風速によって変わる。宝永噴火時の風向風速は不明であるため、計算結果は想定のための一例である。

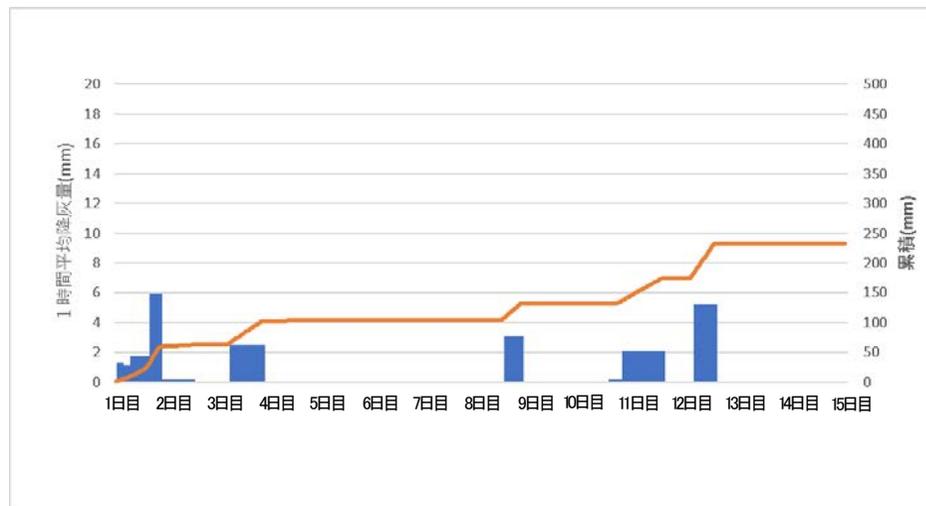
# 主な地域における降灰の状況：1時間平均降灰量(2018年の風による計算結果)①

※ ユニット毎の堆積厚をユニットの継続時間で除算して、1時間平均降灰量を算出。

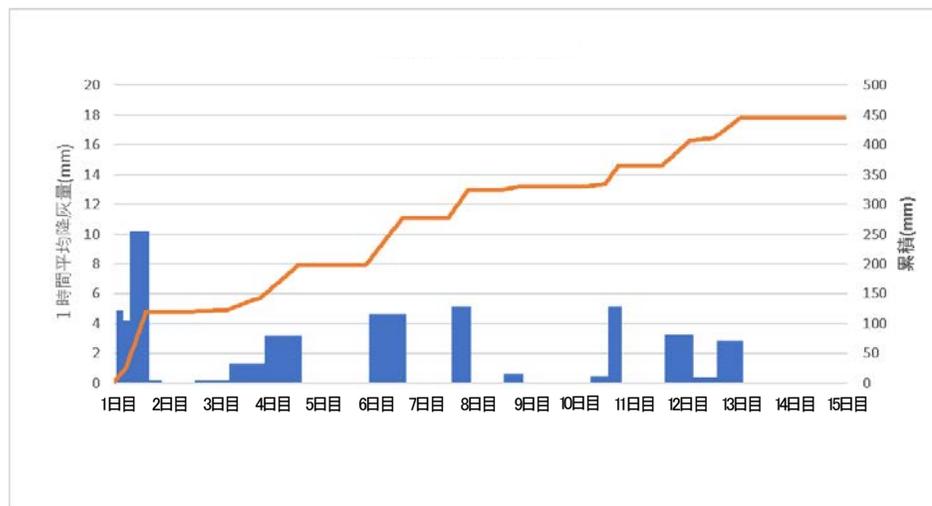
## 御殿場市付近



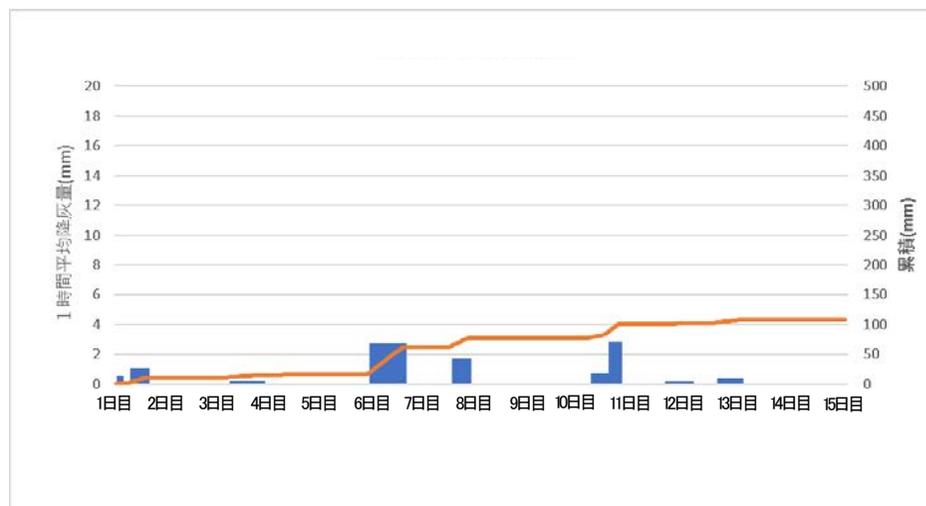
## 小田原市付近



## 秦野市付近



## 横浜市付近

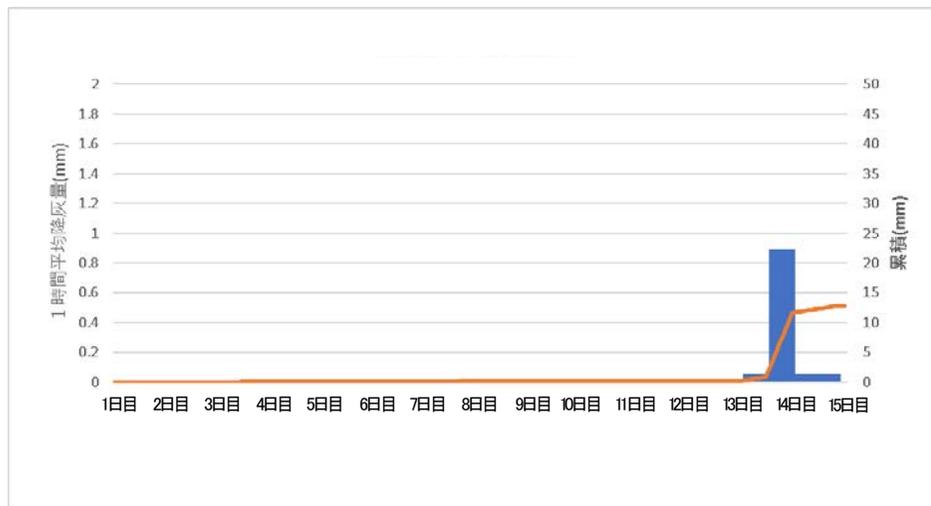


※ 降灰地域は噴火の推移（噴出率／噴煙柱の高さ）・風向風速によって変わる。宝永噴火時の風向風速は不明であるため、計算結果は想定のための一例である。

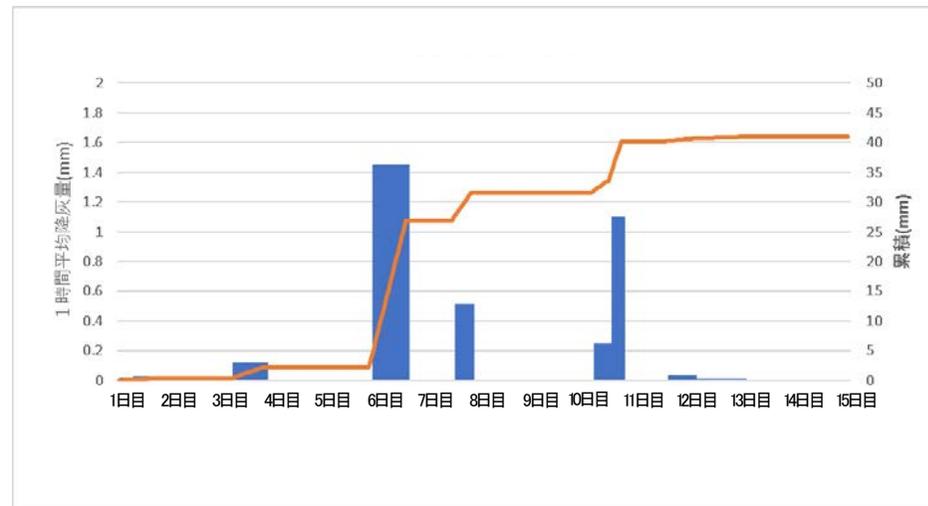
# 主な地域における降灰の状況：1時間平均降灰量(2018年の風による計算結果)②

※ ユニット毎の堆積厚をユニットの継続時間で除算して、1時間平均降灰量を算出。

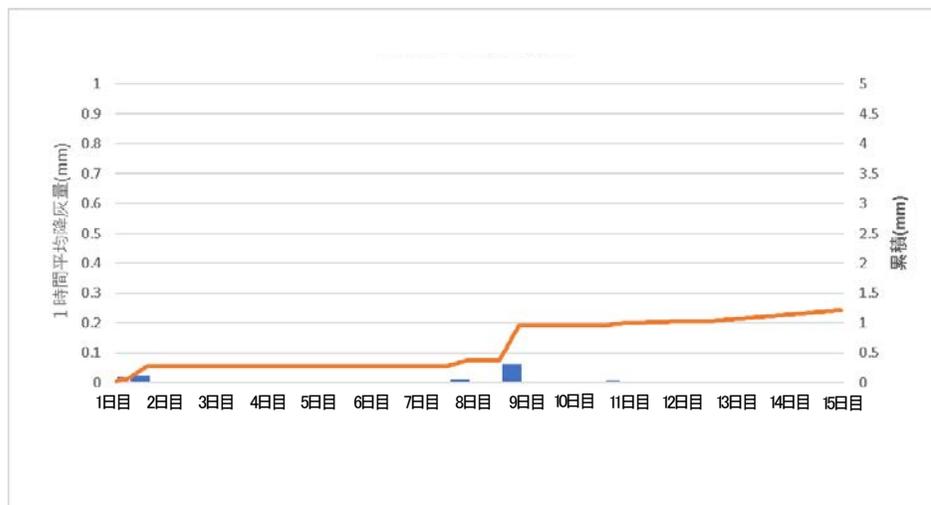
## 新宿区付近



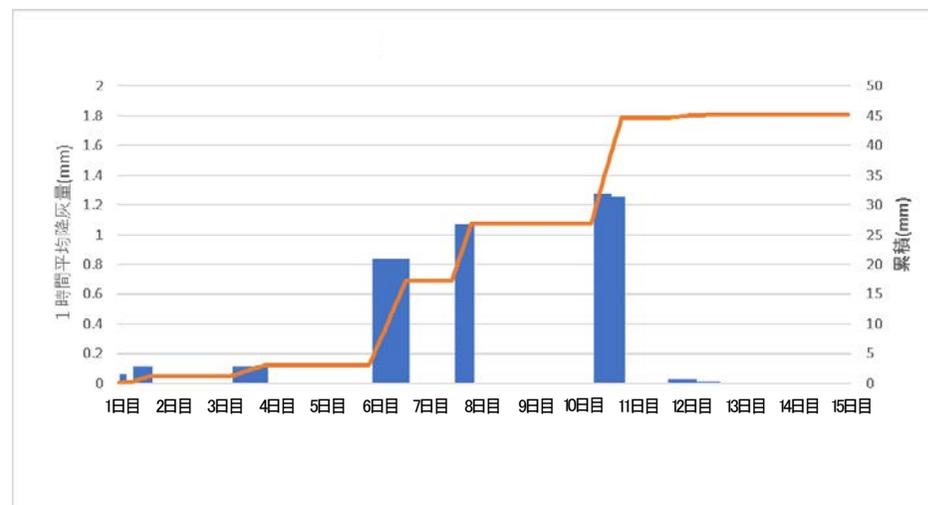
## 市原市付近



## 成田市付近



## 東京湾海上



※ 降灰地域は噴火の推移（噴出率／噴煙柱の高さ）・風向風速によって変わる。宝永噴火時の風向風速は不明であるため、計算結果は想定のための一例である。

# (参考)シミュレーションの概要①

## ○降灰シミュレーションの構成

- ①噴煙柱モデル (給源)
- ②火山灰移流拡散モデル (時間発展)
- ③降灰量の算出

宝永噴火の各ユニット毎に算出し、  
結果を積算して降灰分布を求める。

## ○降灰シミュレーション (改良版Tephra2) のモデルやパラメータ

### ①噴煙柱モデル

#### 噴煙柱の主な構成要素

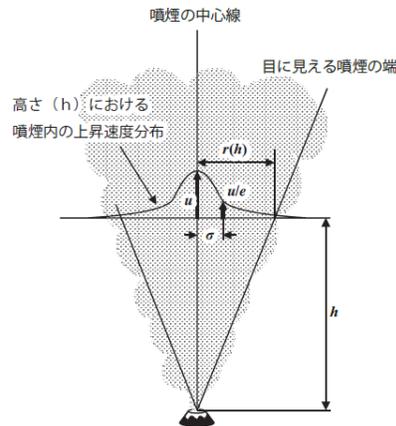
形状

噴出物の総量、噴出率

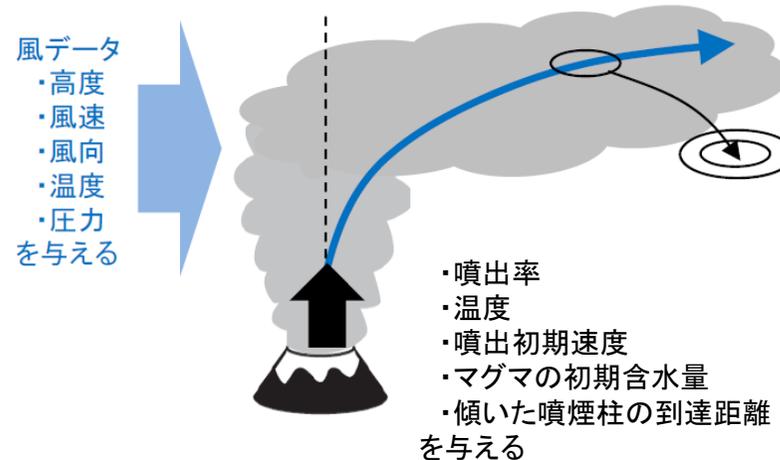
火山灰の粒径分布

【形状】火口から垂直に上昇する噴煙柱が、上空で風に流されて傾くと仮定して給源を設定。

Tephra2の噴煙の概念図 (萬年, 2013)



改良版Tephra2の噴煙の概念図



## ②移流拡散モデル (萬年, 2013)

- ・着地した粒子の濃度が分布中心で最も高いと仮定し、分布中心の座標が風による移流を計算した結果得られる座標と考える。

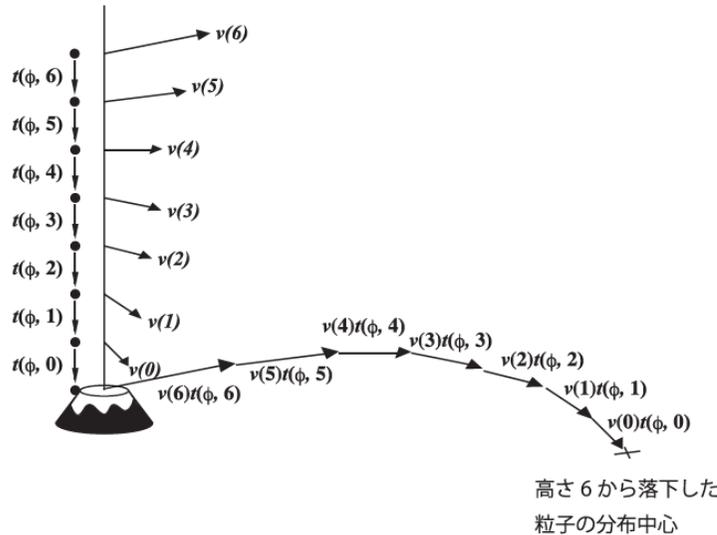


図3 移流の概念図

火口直上の風が、高さ0から6までそれぞれベクトル  $v(0) \sim v(6)$  で表されるとする。各高さ区間  $n$  を落下する間に粒子が流されるベクトルは  $v(n)t(\phi, n)$  で表されるので、高さ6から放出される粒子はこれら全ての積算が分布の中心のベクトルとなる。

$$x_v(\phi_i, j_{\max}) = \sum_{j=0}^{j_{\max}} v_j \cos \theta_j t_j(\phi_i) \quad (1)$$

$$y_v(\phi_i, j_{\max}) = \sum_{j=0}^{j_{\max}} v_j \sin \theta_j t_j(\phi_i)$$

- ・  $x(\phi_i, j_{\max})$  及び  $y(\phi_i, j_{\max})$  : サイズ  $\phi_i$  の粒子が高さ区間  $j_{\max}$  から落下したときの火口の標高における分布中心の南北方向および東西方向の座標 (北方向が  $x$  の正, 東方向が  $y$  の正) .
- ・  $j$  : 高さ方向に一定の幅で設けられた区間 ( $j=0$  のものが火口の高さ  $h_v$  から  $h_v + \Delta h$  の範囲。  $j_{\max}$  は落下開始高度  $h_z$  から  $h_z - \Delta h$  の範囲)
- ・  $v$  : 風速                      ・  $\theta$  : 風向                      ・  $t$  : 落下時間

- ・分布中心から  $r$  離れた地点の粒子の堆積量  $S(x, y)$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) は2次元のガウス分布の式を用いて表現されている。

$$S(x, y) = \frac{M_{ij}}{\pi \sigma_{ij}^2} \exp\left(-\frac{\Delta r^2}{\sigma_{ij}^2}\right) \quad (3)$$

- ・  $M_{ij}$  : 粒径  $i$  の粒子が高さ  $j$  から放出される量 ( $\text{kg}$ )
- ・  $r$  : 分布中心と地点 ( $x, y$ ) との距離 ( $\text{m}$ )
- ・  $\sigma_{ij}$  : 粒径  $i$  の粒子が高さ  $j$  から放出された時のガウス分布の分散 ( $\text{m}$ )

- ・分散の式は、粒径の大小、落下に要する時間が考慮されている。

粗粒用  $\sigma_{ij}^2 = 4K(t_{ij} + t^*)$

- ・  $K$  : 拡散係数
- ・  $t_{ij}$  : 粒径  $i$  の粒子が高さ  $j$  から落下して地表に到達するまでの時間
- ・  $C$  : みかけ渦拡散係数

細粒用  $\sigma_{ij}^2 = \frac{8C}{5}(t_{ij} + t^*)^{2.5}$

細粒の方がべき数が多いのは、粒子の落下時間が大きくなると、粒子を輸送する乱流構造が落下時間とともに大きくなるという現象を記述

# (参考)シミュレーションの概要③

## パラメータ設定

○文献に知見のある項目、及び通常用いる値が初期値として設定されている項目は固定とし、その他の項目で、最終層厚が宝永噴火に近くなるように調整。

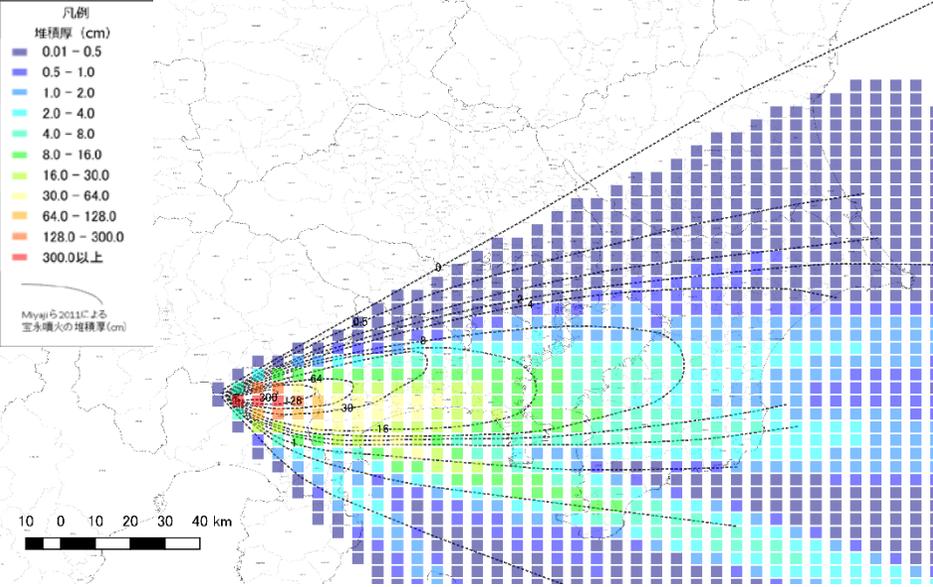
主な設定パラメータ (Ho-I ユニットAの計算の設定例)

パラメータ	値	備考
ERUPTION_MASS	57000000000	総噴出量 (kg) [富士山の文献]
DIFFUSION_COEFFICIENT	500	拡散係数
EDDY_CONST	0.04	みかけ渦拡散係数 (m <sup>2</sup> /s) [モデル初期値]
FALL_TIME_THRESHOLD	144000	分散の式を粗粒用・細粒用に切り替える落下時間 (秒)。 [調整可]
PLUME_DENSITY LITHIC_DENSITY	800	密度 (kg/m <sup>3</sup> ) [富士山の文献]
VENT_EASTING VENT_NORTHING VENT_ELEVATION	295464.583 3913472.701 2590	火口の座標 [富士山の文献]
INITIAL_WATER_CONTENT	0.03	マグマの初期含水量 [モデル初期値]
MAGMA_DISCHARGE_RATE	11000000	マグマの噴出率 (kg/s) [富士山の文献]
MAGMA_TEMPERATURE	1200	マグマの温度 (°C) [モデル初期値]
INITIAL_PLUME_VELOCITY	140	噴火時の初期速度 (m/s) [モデル初期値]
S_MAX	20,000 (粗粒) 50,000 (細粒)	プルーム中心の計算長さ (m) [調整可]

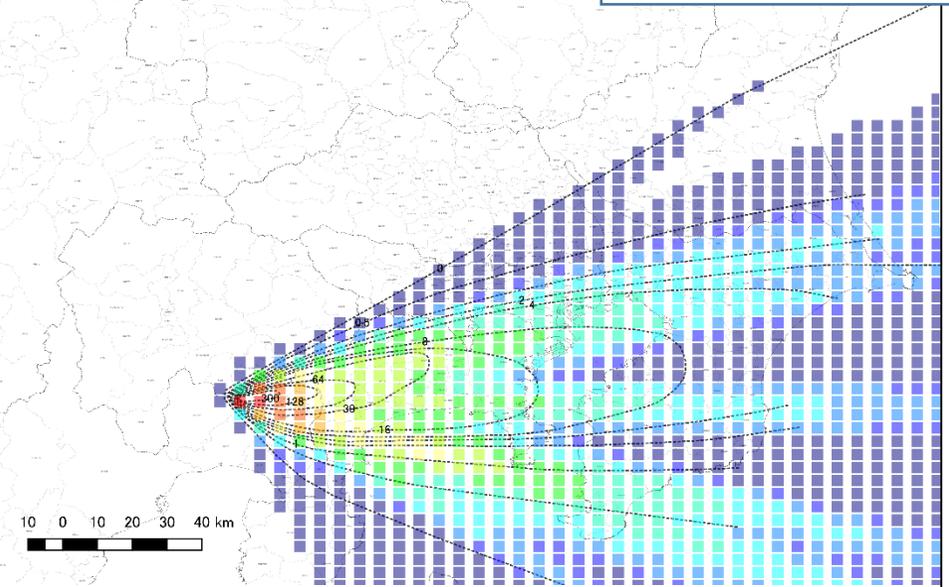
この他、高度毎の風向風速[調整可]、全粒径分布[調整可]をテーブルで設定。

# (参考) 過去10年の12月16日～31日の風向・風速による試算結果①

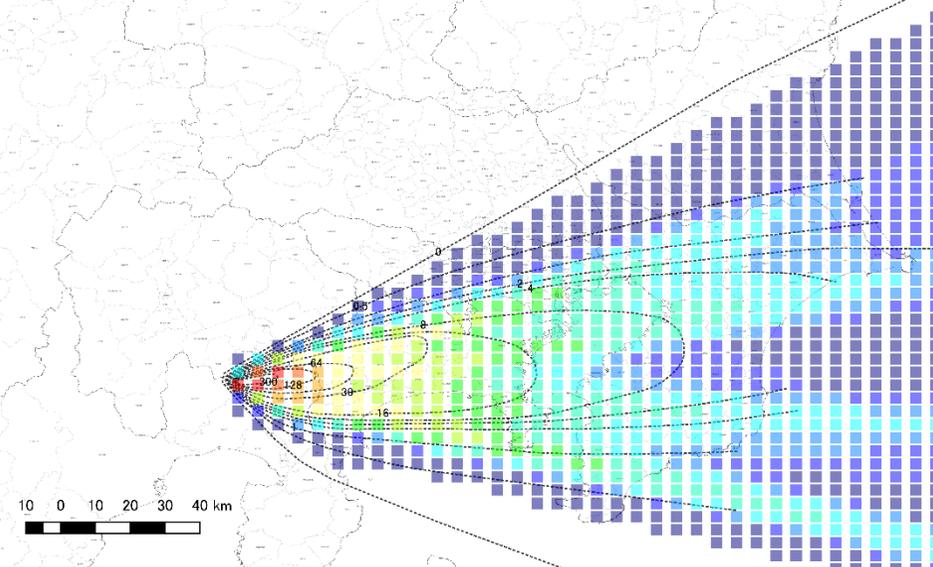
2009年



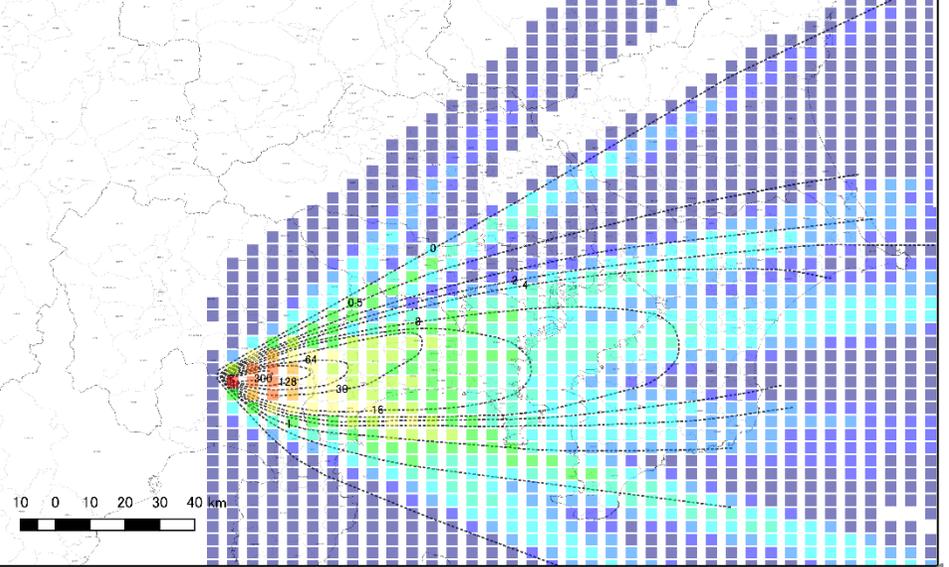
2010年



2011年

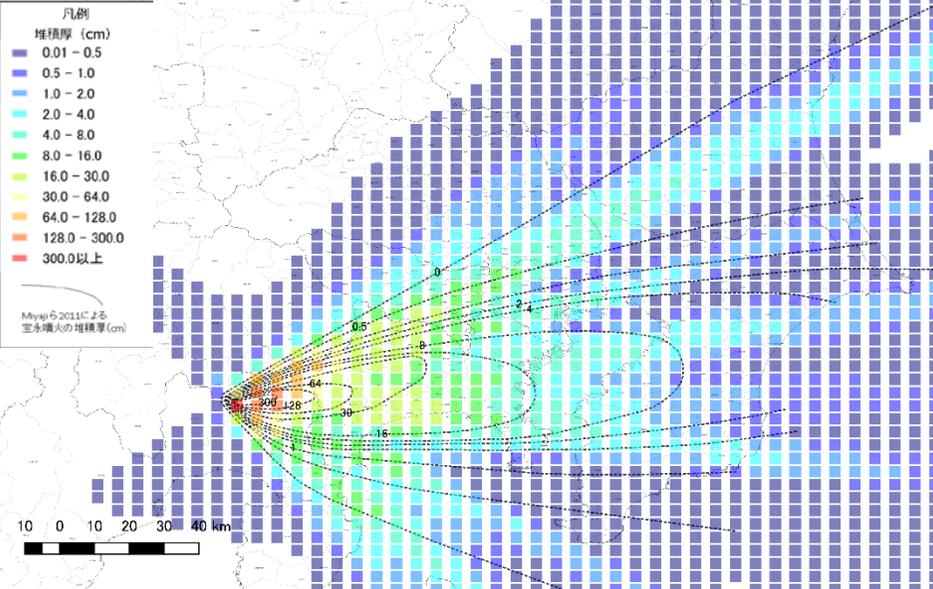


2012年

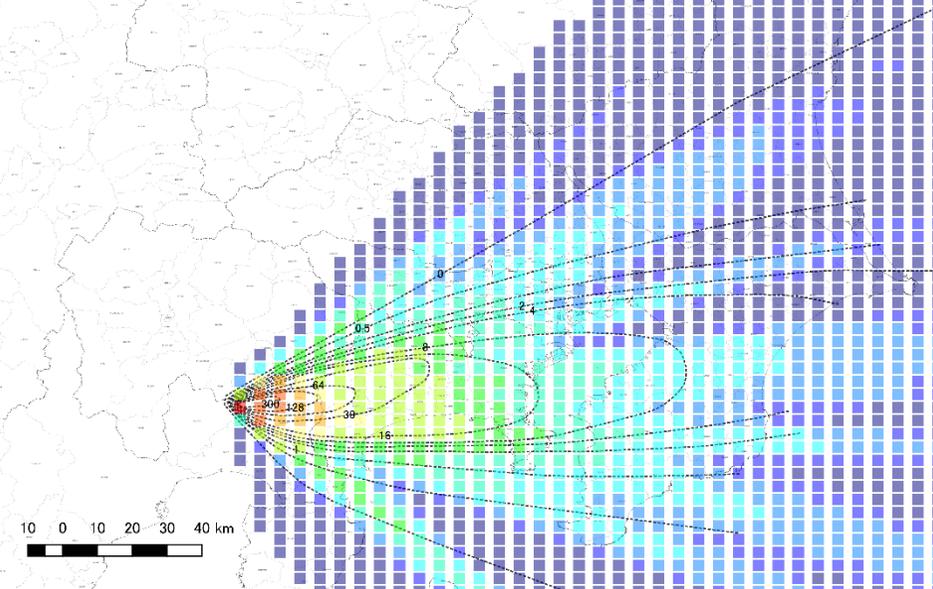


# (参考) 過去10年の12月16日～31日の風向・風速による試算結果②

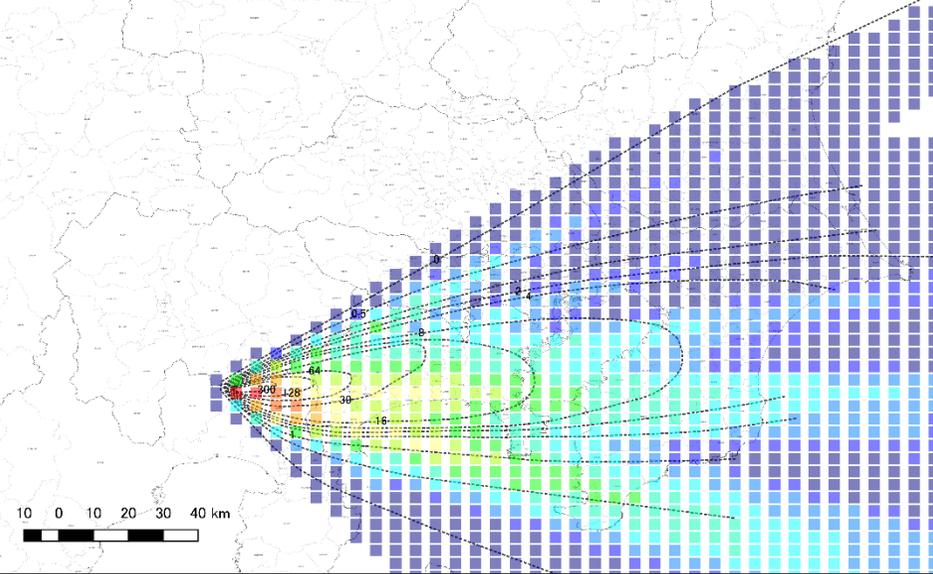
2013年



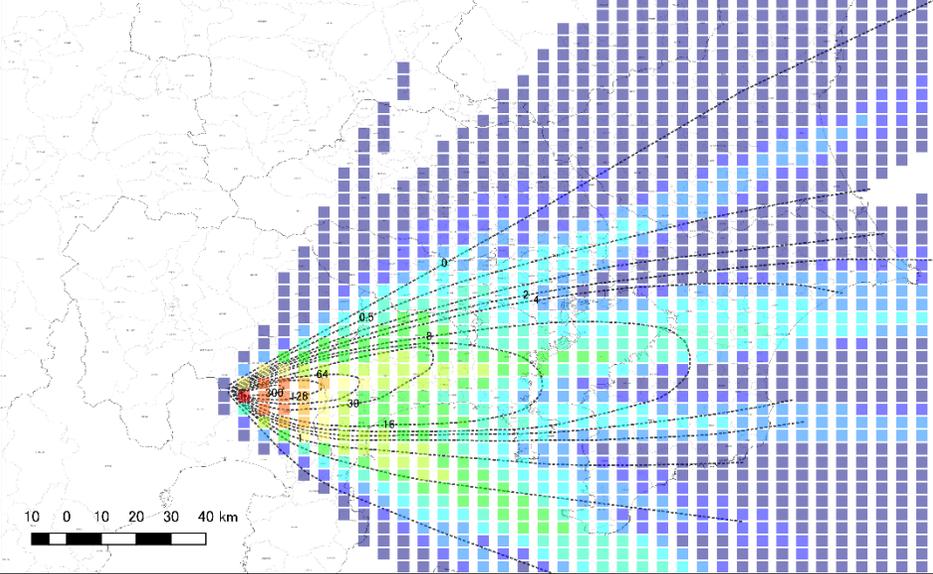
2014年



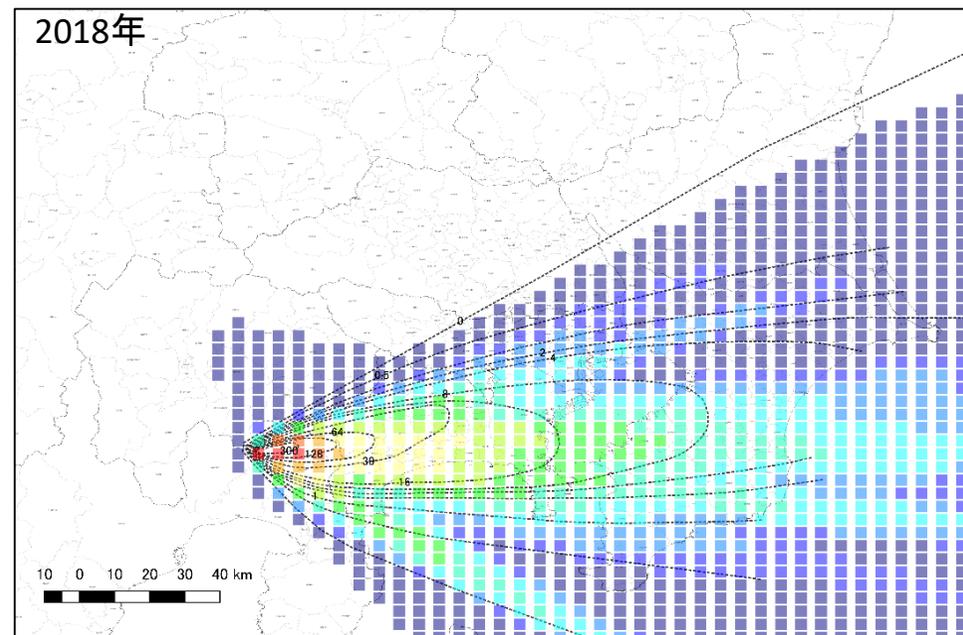
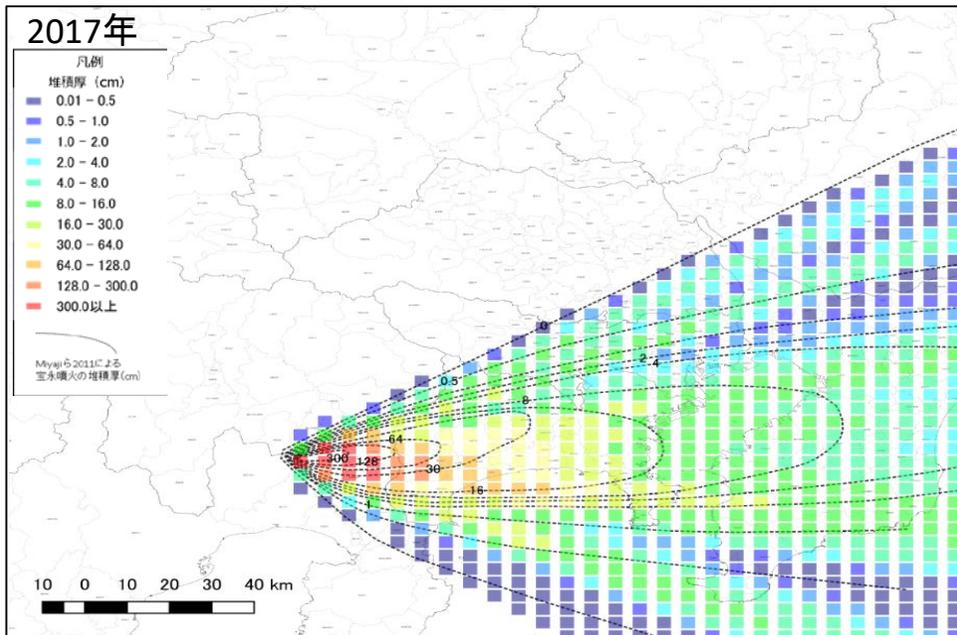
2015年



2016年



# (参考) 過去10年の12月16日～31日の風向・風速による試算結果③



- Kazutaka Mannen(2006)Total grain size distribution of a mafic subplinian tephra, TB-2, from the 1986 Izu-Oshima eruption, Japan: An estimation based on a theoretical model of tephra dispersal, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 155, 1-17.
- Naomichi Miyaji, Ayumi Kan'no, Tatsuo Kanamaru, Kazutaka Mannen(2011)High-resolution reconstruction of the Hoei eruption (AD 1707) of Fuji volcano Japan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 207, 113-129.
- 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, 4, 173-187.