

令和4年2月8日（木）  
鹿児島市令和3年度火山防災に係る研修会

# 行政の火山防災を 支援する技術

---

鹿児島大学地震火山地域防災センター

中谷 剛

[tys.nakatani@km.kagoshima-u.ac.jp](mailto:tys.nakatani@km.kagoshima-u.ac.jp)





# はじめに： 防災には想像力が必要



火山災害（降灰）については、経験不足・・・



# 本日の話題：(降灰被害を対象に) 行政の火山防災を支援する技術

## 1. ハザードを知る

シミュレーションによる大規模噴火時の降灰ハザードマップ

## 2. リスクを知る

GISを利用したハザードから推定されるリスク

## 3. リスクを予測する

降灰リアルタイムハザードマップ



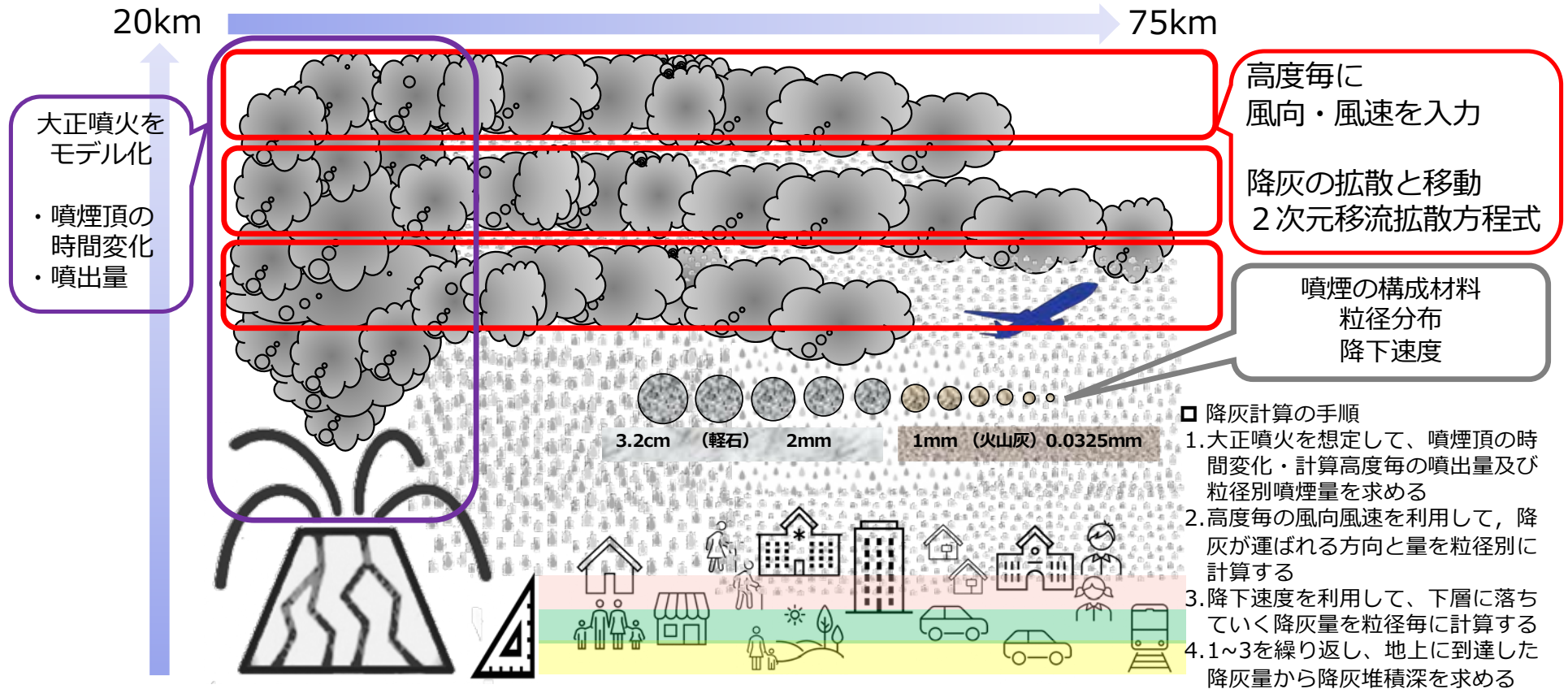
# 1. ハザードを知る技術

## □降灰シミュレーション

- 桜島の大規模噴火時の降灰ハザードマップの作成
- ハザード（降灰堆積深）の可視化

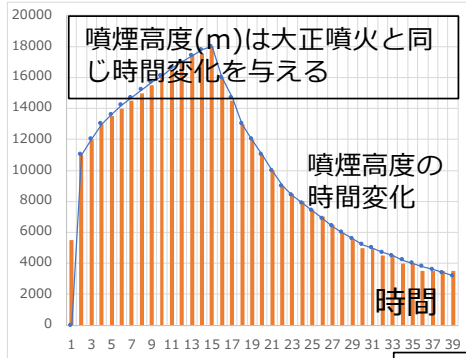


# 降灰シミュレーションの考え方





# (参考) 降灰シミュレーションの概要



$H(m) = 320(\Delta M)^{0.25}$  (kg/s)  
 $\Delta M$ : 噴出量

総噴出量6億m<sup>3</sup>となるように時間毎の噴出量を補正

Suzuki式  
 噴煙量の鉛直分布式(A=4, λ=2)  

$$S(z) = S_0 \left\{ \left( 1 - \frac{z}{H} \right) \exp \left[ A \left( \frac{z}{H} - 1 \right) \right] \right\}^\lambda$$

粒径分布はφスケールで正規分布を仮定  
 $f(\phi)$ : 粒径分布関数 (φスケール)  
 $\phi = -\log_2 d$  (d: 粒径mm)

$$f(\phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\phi} \exp \left[ -\frac{(\phi - \mu)^2}{2\sigma_\phi^2} \right]$$

11粒径  
 32mm~2mm (軽石)  
 1mm~0.03mm (火山灰)

粒径分布 (φスケール)  
 は高さ方向に一様

鹿児島気象台ゾンデ観測

12時間毎(9AM/9PM)  
 計算領域全体に利用する



風向風速

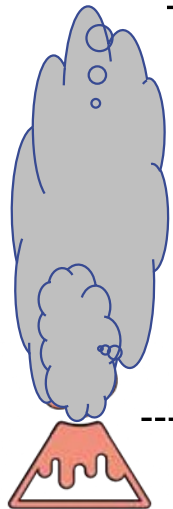
高さ毎に2次元移流拡散方程式を解く  
 下層に粒径別降下量を与える

$$\frac{\partial C_L}{\partial t} + W_x \left( \frac{\partial C_L}{\partial x} \right) + W_y \left( \frac{\partial C_L}{\partial y} \right) - W_{L,S} \left( \frac{\partial C_L}{\partial z} \right) = K_x \left( \frac{\partial^2 C_L}{\partial x^2} \right) + K_y \left( \frac{\partial^2 C_L}{\partial y^2} \right) + C_{L,source}$$

粒径別降下速度

$$w_s = \sqrt{\frac{4d_p g}{3C_D \rho_a} \exp(0.024z)}$$

地上堆積深(m)



噴煙高度

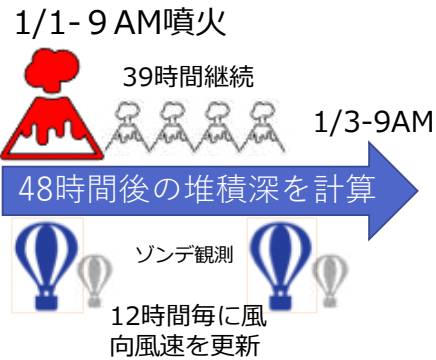
噴煙量の鉛直分布

Suzuki式

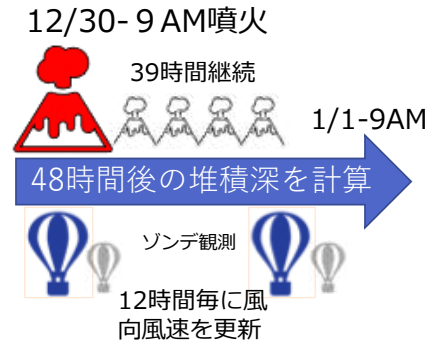


# 降灰ハザードマップの作成手順

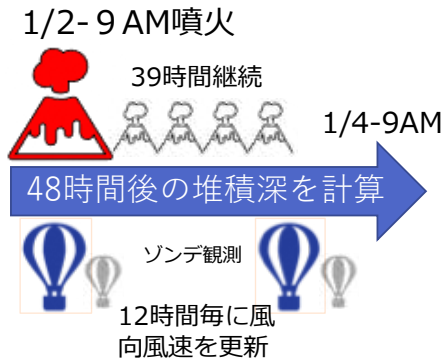
2020/1/1の降灰堆積深分布



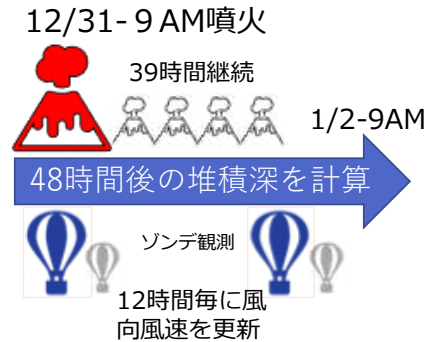
2021/12/30の降灰堆積深分布



2020/1/2の降灰堆積深分布



2021/12/31の降灰堆積深分布



2年分の  
計算

2年間の計算から、地点毎の最大降灰堆積深を求め、平面図にプロットしてハザードマップを作成した



# 降灰ハザードマップ作成方法の比較

火山	計算モデル	想定規模 (総噴出量)	風向風速	出力 間隔	空間解 像度	備考
富士山	3次元移流 拡散モデル	1707年宝永噴 火 (17億m <sup>3</sup> )	過去45年間 (1957~2001)の 富士山上空約1万 mの風向風速の解 析データを用いた 出現頻度の統計値	月単位	5km	降灰ドリルマップ (総噴出量=0.68km <sup>3</sup> DRE ) 噴火：16日間 <small>参考：災害教訓の継承に関する専門調査会 報告書 平成18年3月「1707 富士山宝永 噴火」,第2章 宝永噴火の推移と噴出物</small>
桜島	2次元移流 拡散モデル	1914年大正噴 火 (6億m <sup>3</sup> )	2020年1月1日~ 2021年12月31日 の鹿児島気象台に よるゾンデ観測値 (AM/PM)	日単位	500m~ 1330m	鉛直方向：500mメッシュ 噴火：39時間継続 噴煙高度:1時間毎に変 化

備考) DRE : マグマ噴出量(km<sup>3</sup>) 。 Dense Rock Equivalent





# 桜島の大規模噴火時の降灰ハザードマップ

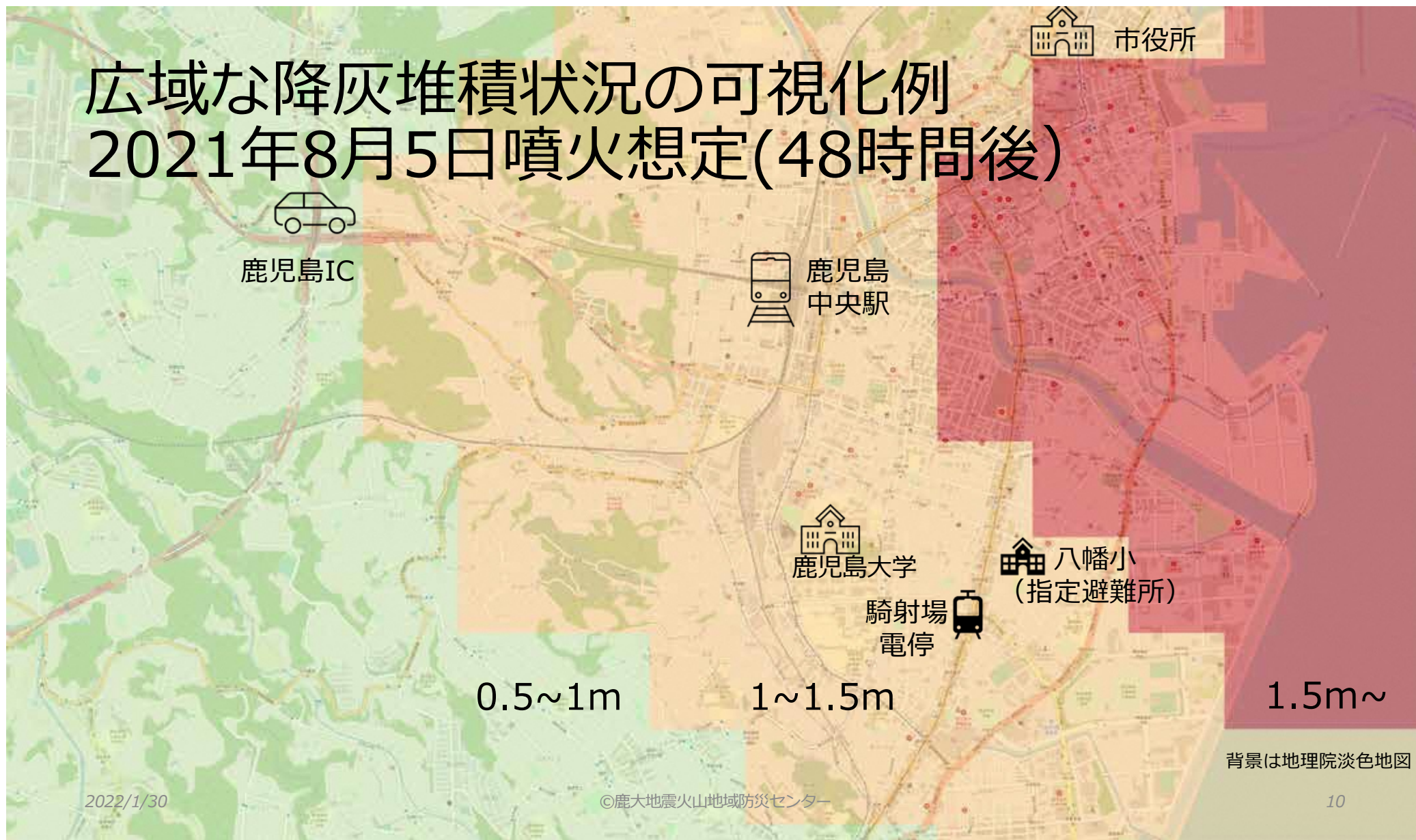


桜島火山防災マップ (H17) (抜粋), 国交省九州地整大隈河川国道事務所  
文明噴火時の排出量を想定。1476年に大爆発

# 市街地の降灰堆積を鳥瞰的に可視化した例 (2021年8月5日噴火\_48時間後)



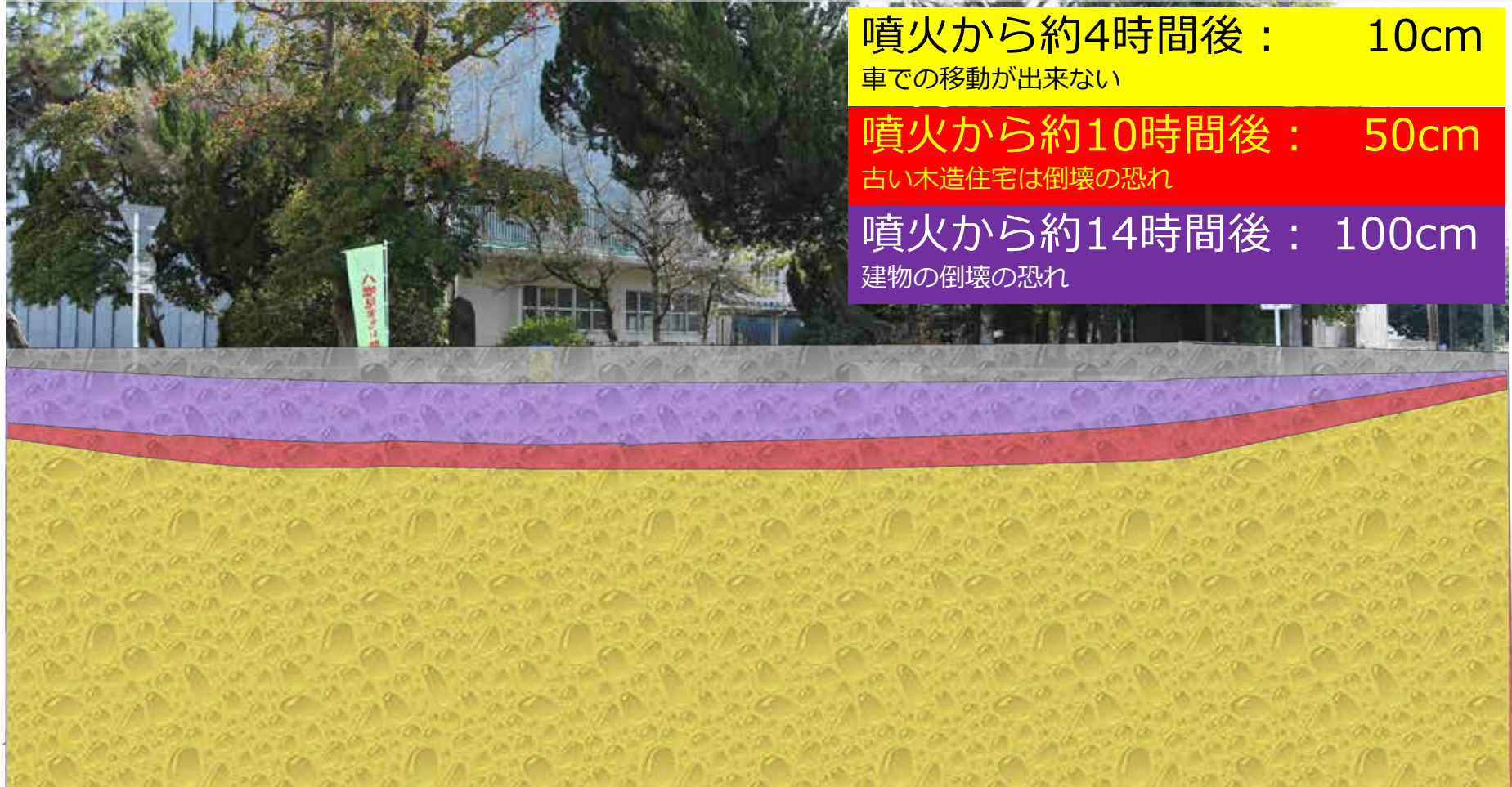
# 広域な降灰堆積状況の可視化例 2021年8月5日噴火想定(48時間後)





# 降灰堆積の時間変化の可視化例

地点：指定避難所（備蓄物資、48時間後1.5m）

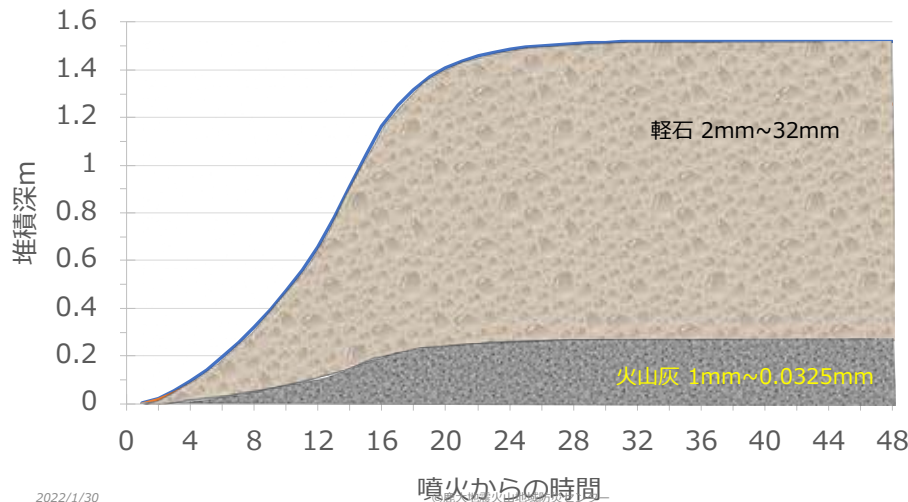




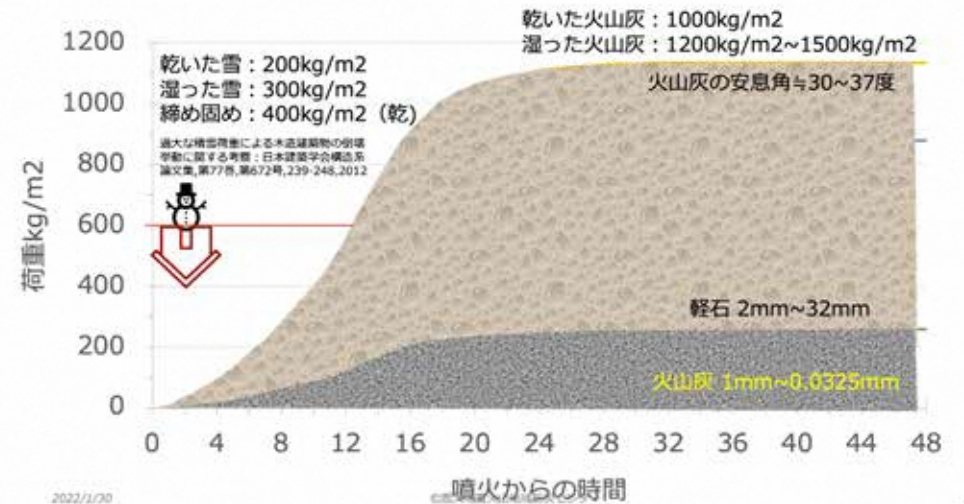
# 軽石火山灰別堆積深・堆積荷重の時間変化

## 地点：指定避難所

### 堆積深の時間変化



### 堆積荷重の時間変化



軽石火山灰の啓開計画、倒壊家屋想定等に参考情報を提供できる

## 2. リスクを知る技術



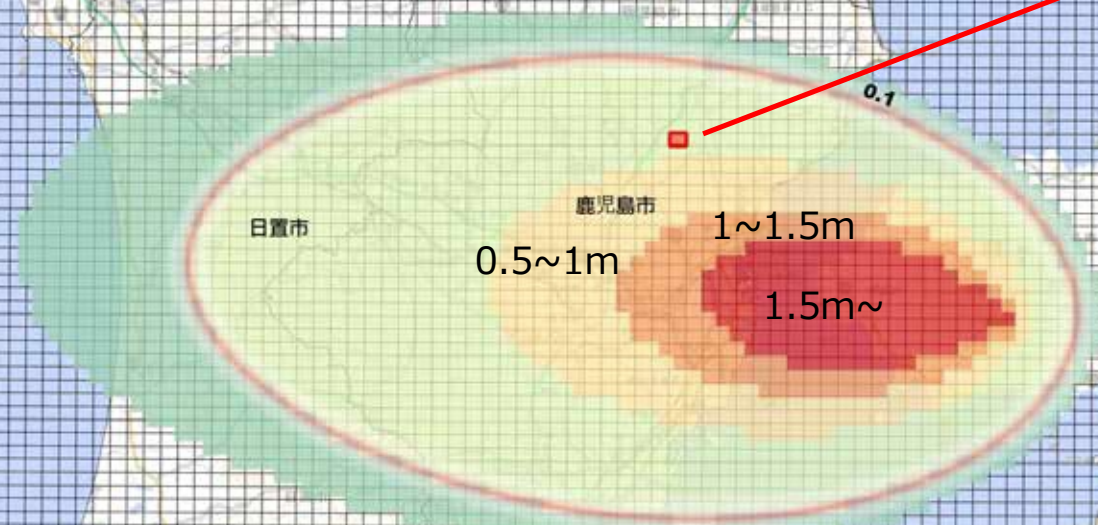
### □GISを活用したリスク評価

- 避難困難者人口、世帯数の推定
- 複合災害（洪水）のリスク推定  
（一時的に治水安全度が低下する河川）
- 道路交通阻害の推定





# 避難困難者人口、世帯数の推定 (2021年8月5日噴火想定)



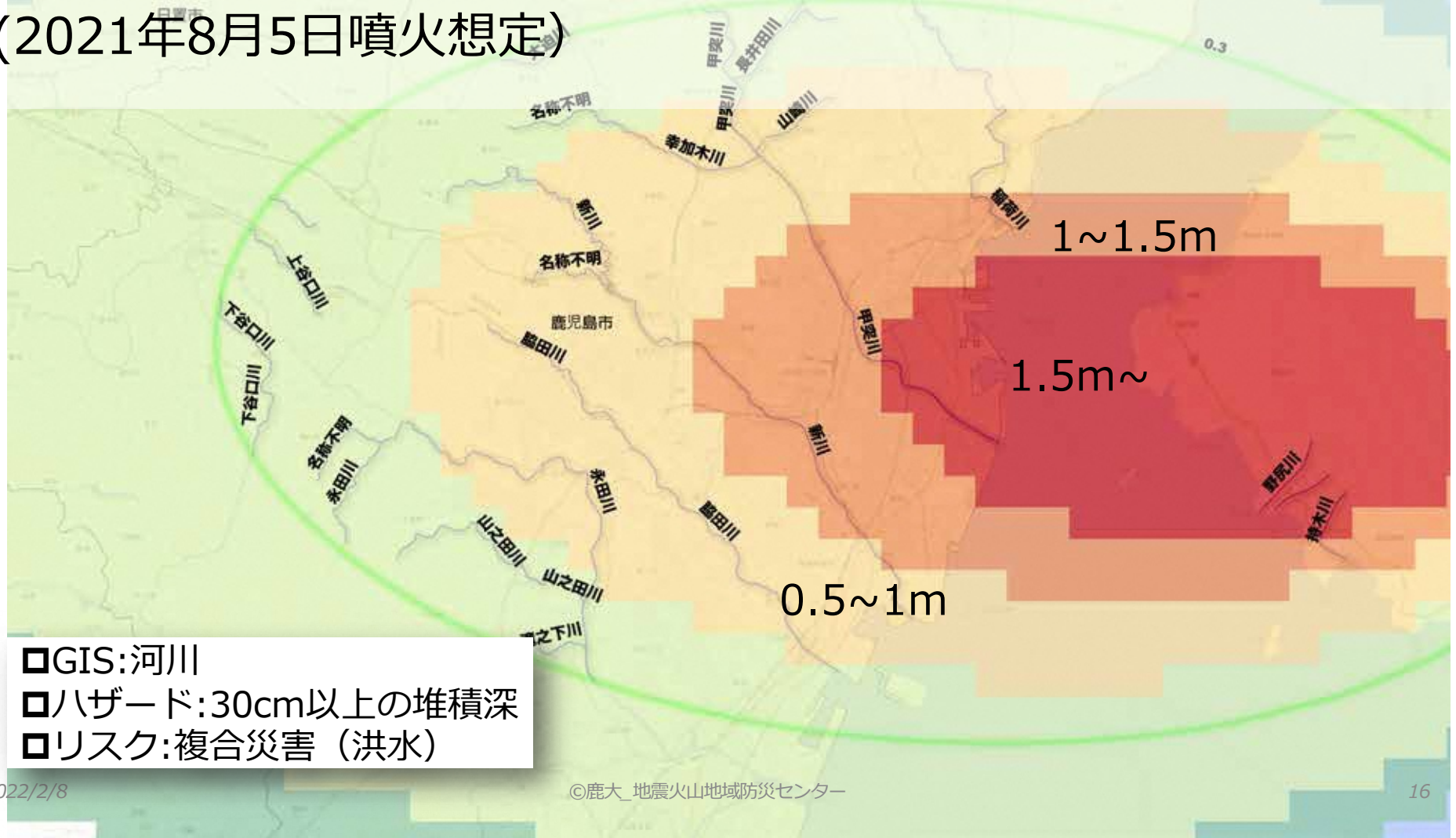
地物	値
MESH4_ID	3
OBJ_ID	10215
layer	MESH04730
path	/Volumes/Mac...
tPop	2026
Pop0_14	435
Pop15_64	1325
Pop65_	255
Pop75_	115
Pop_f	1
tHouse	685
House_6	105
House65_	153
House65_1	29
House65_2	59

- GIS:メッシュ人口
- ハザード:10cm以上の堆積深
- リスク:車を利用した移動困難

総人口	高齢者人口 (over65)	総世帯数	高齢者世帯数	高齢者 独居世帯数
535,308	126,849	243,764	83,510	29,048



# 一時的に治水安全度が低下する河川 (2021年8月5日噴火想定)





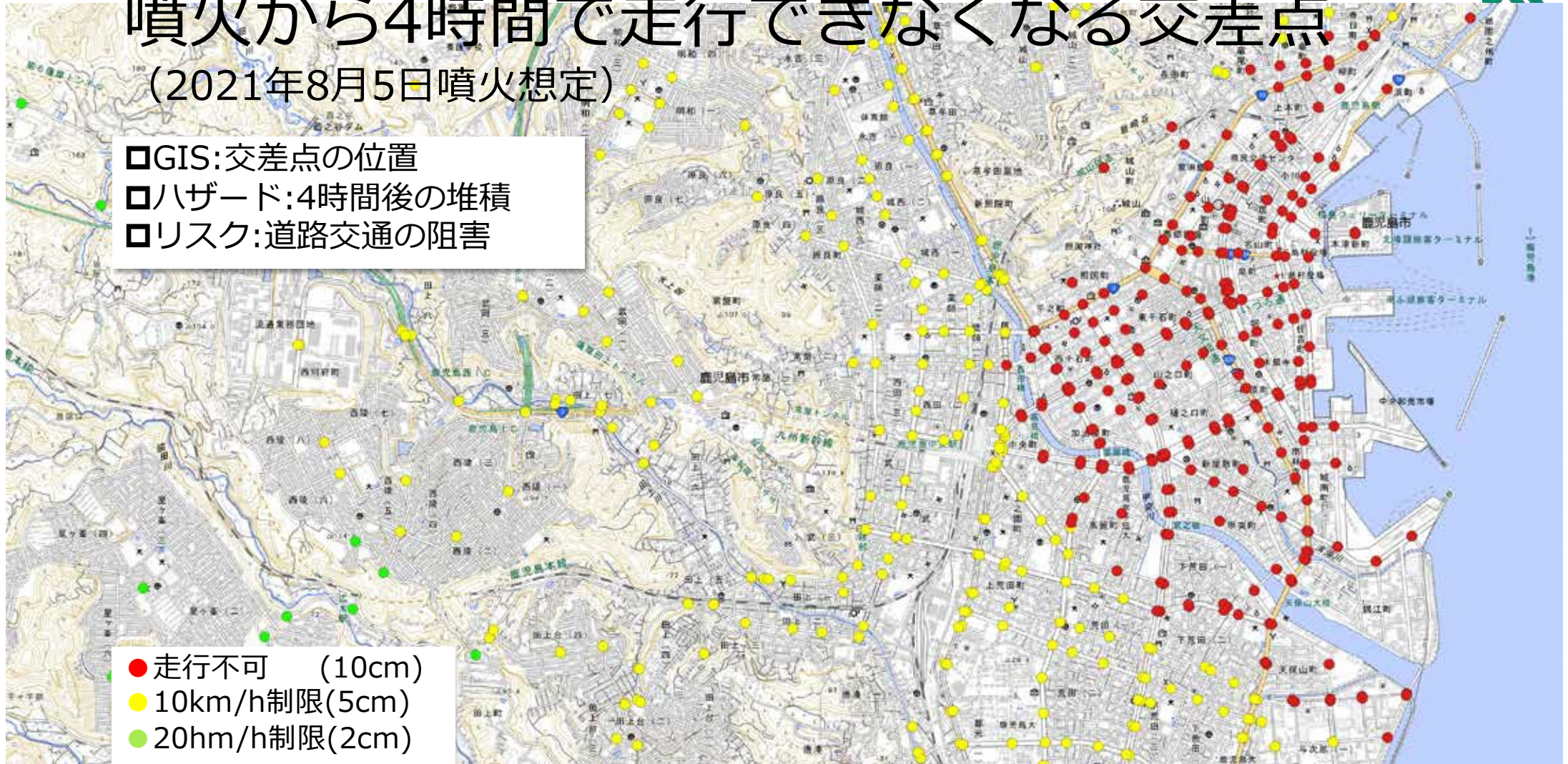


# 噴火から4時間で走行できなくなる交差点

(2021年8月5日噴火想定)

- GIS:交差点の位置
- ハザード:4時間後の堆積
- リスク:道路交通の阻害

- 走行不可 (10cm)
- 10km/h制限(5cm)
- 20km/h制限(2cm)



2022/2/8

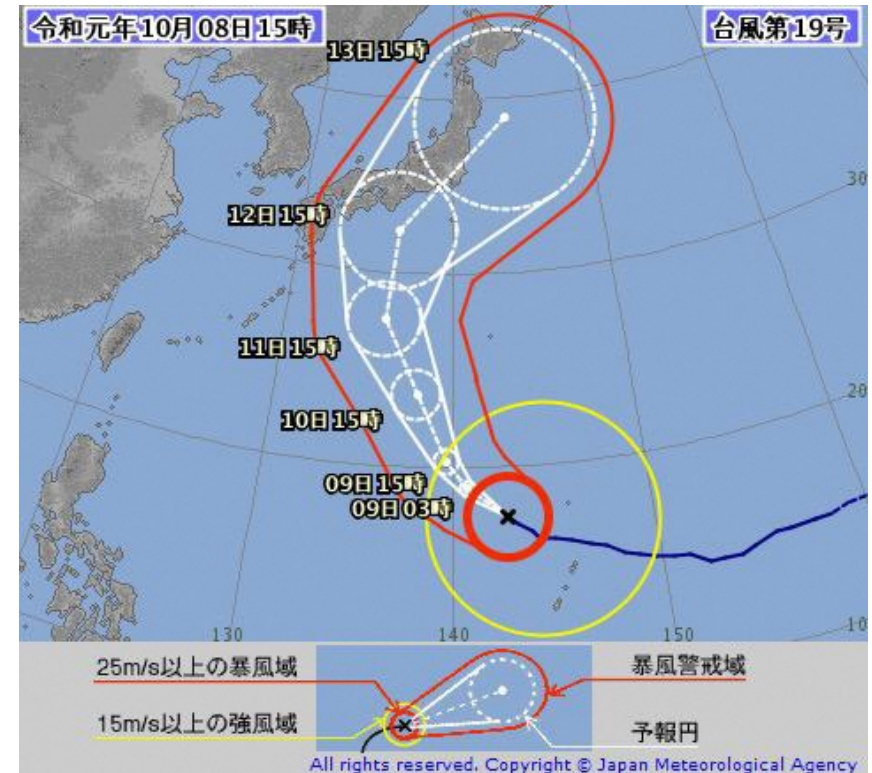
©鹿大\_地震火山地域防災センター

17



# 3. リスクを予測する技術

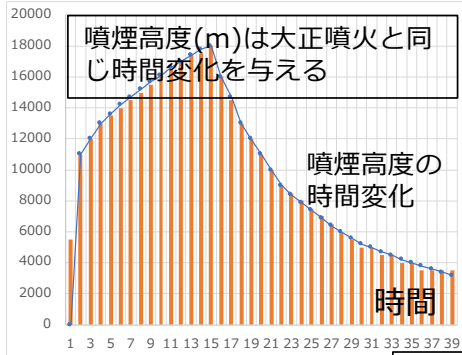
降灰シミュレーション  
+  
GIS  
+  
気象庁数値予報モデルGPV  
=  
降灰リアルタイムハザード  
マップ (待ち受け計算)



気象庁台風情報 (実況と5日先までの予報) より  
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/typhoon/7-1.html>



# (参考) 降灰リアルタイム計算の概要



Suzuki式  
噴煙量の鉛直分布式(A=4, λ=2)

$$S(z) = S_0 \left\{ \left( 1 - \frac{z}{H} \right) \exp \left[ A \left( \frac{z}{H} - 1 \right) \right] \right\}^\lambda$$

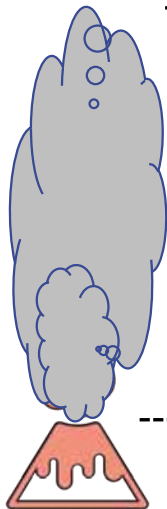
粒径分布はφスケールで正規分布を仮定

$f(\phi)$  : 粒径分布関数 (φスケール)  
 $\phi = -\log_2 d$  (d: 粒径mm)

$$f(\phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\phi} \exp \left[ -\frac{(\phi - \mu)^2}{2\sigma_\phi^2} \right]$$

$H(m) = 320(\Delta M)^{0.25}$  (kg/s)  
ΔM: 噴出量

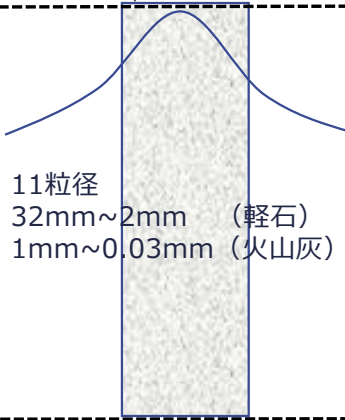
総噴出量6億m<sup>3</sup>となるように時間毎の噴出量を補正



噴煙高度

Suzuki式

噴煙量の鉛直分布



粒径分布 (φスケール) は高さ方向に一様

気象庁数値予報モデルGPV(GSM)

風向風速

6時間毎に取得  
計算格子点の風向風速を線形補完より算出



高さ毎に2次元移流拡散方程式を解く  
下層に粒径別降下量を与える

$$\frac{\partial C_L}{\partial t} + W_x (\frac{\partial C_L}{\partial x}) + W_y (\frac{\partial C_L}{\partial y}) - W_{L,s} (\frac{\partial C_L}{\partial z}) = K_x (\frac{\partial^2 C_L}{\partial x^2}) + K_y (\frac{\partial^2 C_L}{\partial y^2}) + C_{L,source}$$

粒径別降下速度

$$w_s = \sqrt{\frac{4d\rho_p g}{3C_D \rho_a}} \exp(0.024z)$$

地上堆積深(m)

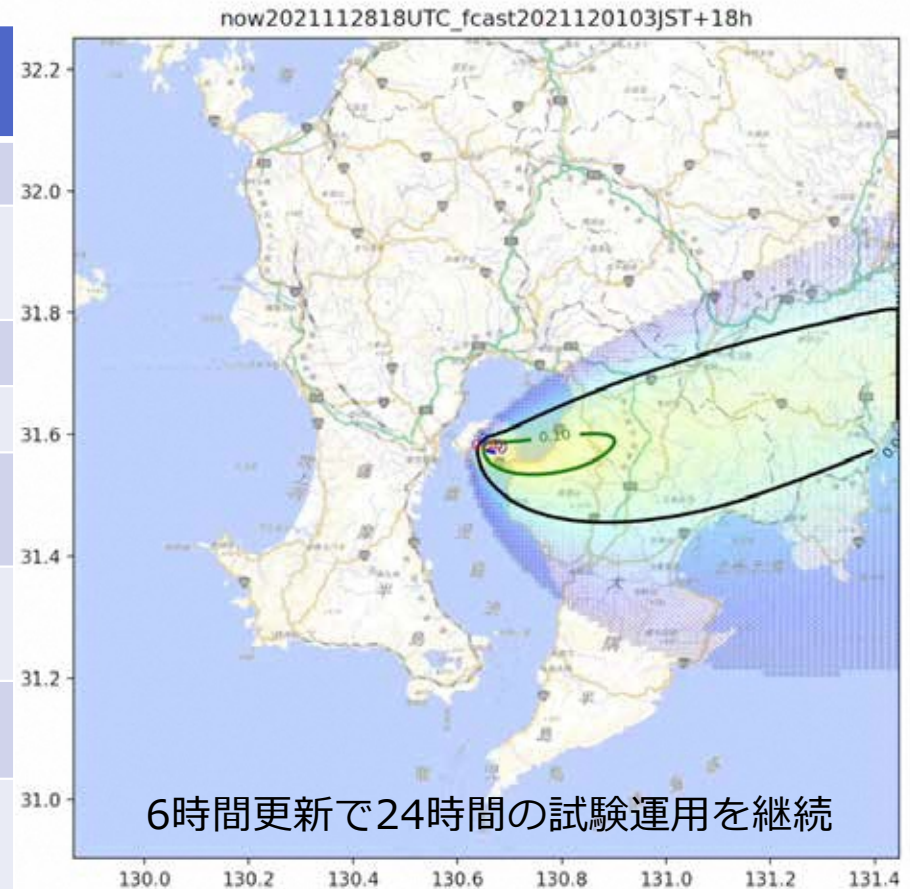
WEB





# 降灰リアルタイムハザードマップシステム概要

項目	降灰ハザードマップ	降灰リアルタイムハザードマップ
噴火規模	大正噴火級	→
計算モデル	2次元移流拡散方程式	→
水平解像度	500m~1330m	700m~1400m
垂直解像度	500m	1000m
風向風速	鹿児島気象台1地点	20km四方 (指定気圧面)
風向風速の更新時間	12時間	6時間
計算時間	48時間後の堆積深	18時間後の堆積深 (24時間堆積深の80~90%)
備考		2日後,1.5日後に噴火を想定





# 公開用ホームページ（一般には非公開）

地震火山地域防災センター 降灰リアルタイムハザードマップ  
(研究用の試用運用)

噴灰予測

42時間前予測

now2021100318UTC\_fcst2021100603JST+18h

- 現時刻から48時間後に噴火を想定し、その18時間先の予測堆積深分布を表示
- カラーコンターは、0.1mm~10mの範囲
- 等高線は、1cm,10cm,30cm,50cmの4種類を表示

30時間前予測

現時刻から36時間後に噴火を想定し、その18時間先の予測堆積深分布を表示

now2021100318UTC\_fcst2021100515JST+18h

避難の支援情報として、堆積深が10cm以上となるエリアを通過している道路(通行できない区間がある)を抽出

豪雨による複合災害を想定して、堆積深が30cm以上となるエリア内を流下する河川を、一時的に治水安全度が低下する河川として抽出

堆積深が10cm以上のエリア内人口・世帯数 (2015年国勢調査)と、支援が必要となる高齢者(一人世帯, 夫婦世帯)情報を合わせて表示

人口	世帯数	65歳以上人口	65歳以上の一人世帯数	65歳以上の二人世帯数
418377	197395	92255	22266	18801

30時間前降灰予測による災害リスクの推定 (試験的運用)

車での移動が困難なエリア内 (堆積深が10cm以上) の人口と世帯数

人口	世帯数	65歳以上人口	65歳以上の一人世帯数	65歳以上の二人世帯数
418377	197395	92255	22266	18801

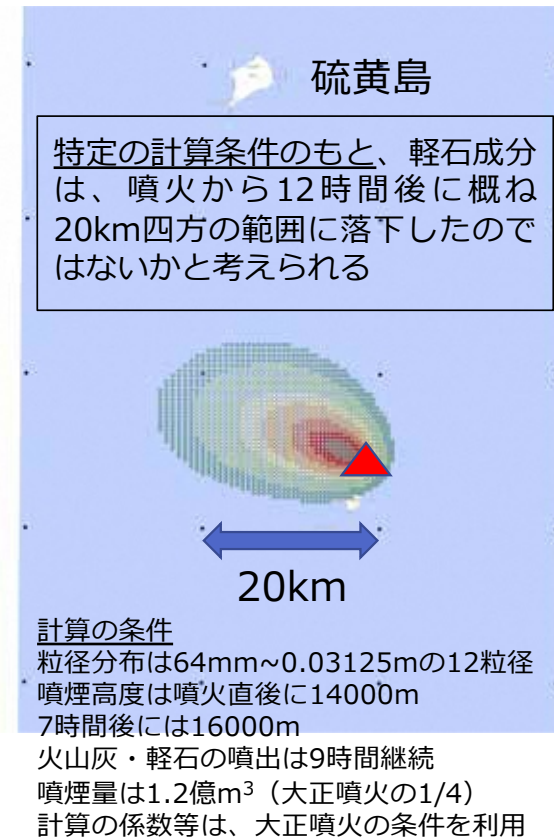
通行止め区間のある道路と一時的に治水安全度が低下する河川

通行止め区間のある道路	治水安全度が低下する河川
九州縦貫自動車道	船田川
国道10号線	山之田川
国道224号線	持木川
国道225号線	新川
国道226号線	水之下川
国道3号線	永田川
国道5号線	湯之下川
福岡県道インテック線	稲佐川
高良大宮街道線	稲佐川
西鹿野川線	持木川
山崎川線	
徳島県道山崎川線	
徳島県道山崎川線	
徳島県道山崎川線	
徳島県道山崎川線	
徳島県道山崎川線	

# まとめ

- 火山の大規模噴火は稀な現象で経験が少ないので、火山防災（降灰）には想像力が必要になる。降灰シミュレーションとGISを融合することで、リスク評価が可能になり想像力を向上するのに役立つ。
- 噴火の予測は困難だが、噴火を想定した降灰被害と災害リスクの予測は可能。
- 今回の計算やGISに利用したソフト、データ類は全てオープンソース。
- 今回の手法はどの火山にも応用が可能。
- リスクの予測情報は自治体だけでなく、民間企業や市民にとっても役立つと思われるが、その利用方法は今後の課題である。

福徳岡ノ場海底火山への応用例（試験的）





# おわりに：防災には想像力が必要



火山防災を支援する技術の活用で、防災対応力の向上を期待している