

### 第 3 章 検討対象とする噴火の実績図作成

#### 3.1 概要

ある程度の規模以上の噴火の場合、一種類の火山現象のみ発生することは少なく、複数種類の火山現象が同時に発生するケースが多い。一連の噴火の実績が詳細に分かっている場合、例えば「火山灰+火砕流+溶岩流」の到達範囲を組み合わせた実績図（以降「実績図」）を作成できる。

そこで本章では、複数の火山現象を統合した一連の噴火の実績図を作成することを試みる。実績図を作成する噴火としては、火山現象の罹災範囲に 250mメッシュ別世帯数が 100 以上となるメッシュが複数包含されるものを対象とする。

#### 3.2 実績図を作成する通常噴火

噴火履歴調査の対象とした 86 活火山の噴火のうち、実績図の作成対象となったのは、表 3.2.1(1)～(2)に示した 32 火山数、105 噴火イベントである。表中の噴石については、到達距離を固定し一律に描画したものを被災範囲とするため、全イベントに○がついている。

作成した実績図の例を図 3.2.1 に示す。

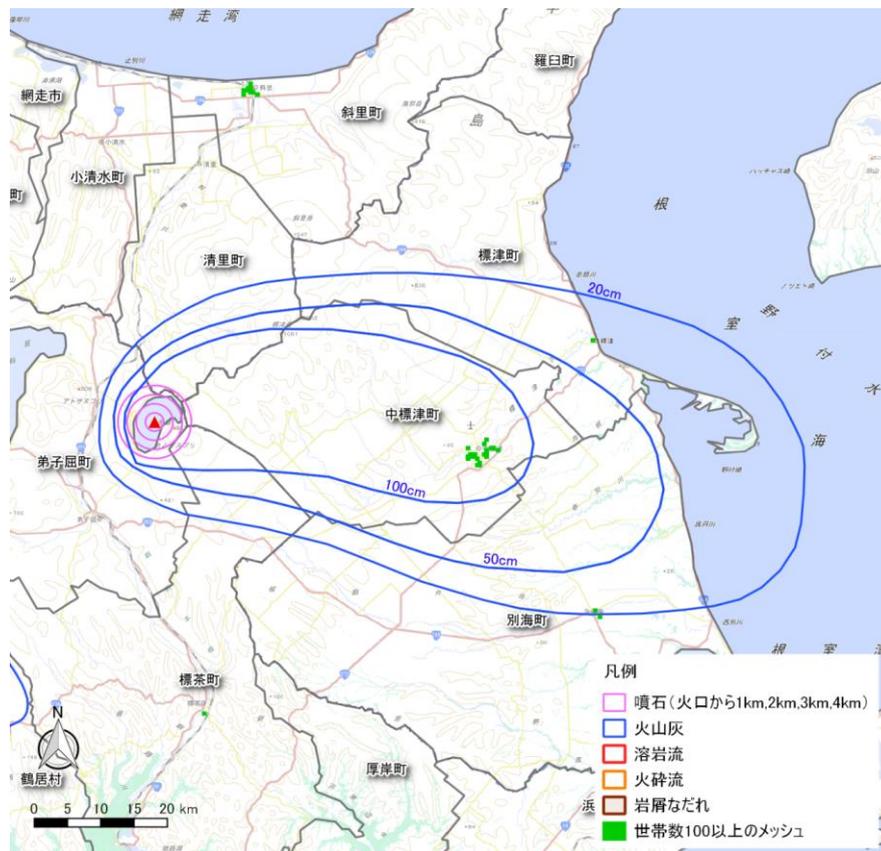


図 3.2.1 摩周(イベント ID : 004-14000) の実績図

表 3.2.1(1) 実績図を作成した通常噴火のリスト

No	イベント ID	火山名	噴石	降灰	火砕流	溶岩流	岩屑なだれ
1	004-14000	摩周	○	○	-	-	-
2	004-7590	摩周	○	○	-	-	-
3	004-7780	摩周	○	○	-	-	-
4	004-900	摩周	○	○	-	-	-
5	007-13861	雌阿寒岳	○	○	○	○	-
6	011-9075	利尻山	○	○	-	-	-
7	012-10000	樽前山	○	○	○	-	-
8	012-3000a	樽前山	○	○	○	-	-
9	012-3000b	樽前山	○	○	○	-	-
10	012-AD1667	樽前山	○	○	○	-	-
11	012-AD1739	樽前山	○	○	○	-	-
12	015-AD1663	有珠山	○	○	○	-	-
13	018-6300	北海道駒ヶ岳	○	○	○	-	-
14	018-6550	北海道駒ヶ岳	○	○	○	-	-
15	018-AD1640	北海道駒ヶ岳	○	○	○	-	○
16	018-AD1929	北海道駒ヶ岳	○	○	○	-	-
17	020-3660	渡島大島	○	○	-	-	-
18	020-669	渡島大島	○	○	-	-	-
19	024-6200	十和田	○	○	-	-	-
20	024-9400	十和田	○	○	-	-	-
21	024-AD915	十和田	○	○	○	-	-
22	027-6838	岩手山	○	-	-	-	○
23	028-13595	秋田駒ヶ岳	○	○	-	-	-
24	029-2500	鳥海山	○	-	-	-	○
25	032-12000	肘折	○	○	○	○	-
26	037-5350	沼沢	○	○	○	-	-
27	043-11138	榛名山	○	-	○	○	○
28	043-AD497	榛名山	○	○	○	-	-
29	043-AD522	榛名山	○	○	○	○	-
30	045-13225	浅間山	○	-	○	-	-
31	045-1600	浅間山	○	○	-	-	-
32	045-AD1108	浅間山	○	○	○	○	-
33	045-AD1128	浅間山	○	○	-	-	-
34	045-AD1783	浅間山	○	○	○	○	○
35	055-11650	富士山	○	-	-	○	-
36	055-1265	富士山	○	○	-	-	-
37	055-1510	富士山	○	-	-	○	-
38	055-1555	富士山	○	-	-	○	-
39	055-2200c	富士山	○	○	-	-	-
40	055-2220a	富士山	○	-	-	○	-
41	055-2300	富士山	○	○	-	-	-
42	055-2580a	富士山	○	-	-	-	○
43	055-2980	富士山	○	○	-	-	-
44	055-3010	富士山	○	○	-	○	-
45	055-3090	富士山	○	○	-	-	-
46	055-3110	富士山	○	○	-	-	-
47	055-3150	富士山	○	○	-	-	-
48	055-3750ad	富士山	○	-	-	○	-
49	055-3750t	富士山	○	-	-	○	-
50	055-4840	富士山	○	○	-	-	-
51	055-7330	富士山	○	-	-	○	-
52	055-8500a	富士山	○	-	-	○	-
53	055-8500b	富士山	○	-	-	○	-
54	055-8670	富士山	○	-	-	○	-
55	055-9000r	富士山	○	-	-	○	-
56	055-9000w	富士山	○	-	-	○	-

表 3.2.1(2) 実績図を作成した通常噴火のリスト

No	イベント ID	火山名	噴石	降灰	火砕流	溶岩流	岩屑なだれ
57	055-9030	富士山	○	-	-	○	-
58	055-925	富士山	○	○	-	○	-
59	055-9500b	富士山	○	-	-	○	-
60	055-9500f	富士山	○	-	-	○	-
61	055-9500h	富士山	○	-	-	○	-
62	055-9500j	富士山	○	-	-	○	-
63	055-9500k	富士山	○	-	-	○	-
64	055-9500l	富士山	○	-	-	○	-
65	055-9500n	富士山	○	-	-	○	-
66	055-9550	富士山	○	-	-	○	-
67	055-9975	富士山	○	○	-	-	-
68	055-AD1707	富士山	○	○	-	-	-
69	055-AD937	富士山	○	-	-	○	-
70	056-7906	箱根山	○	-	○	○	-
71	057-13306	伊豆東部火山群	○	○	-	○	-
72	057-2700	伊豆東部火山群	○	○	-	○	-
73	057-3125	伊豆東部火山群	○	○	○	○	-
74	057-4075	伊豆東部火山群	○	○	-	○	-
75	058-12700	伊豆大島	○	-	-	○	-
76	058-AD1338	伊豆大島	○	○	-	○	-
77	058-AD1421	伊豆大島	○	○	-	○	-
78	058-AD1684	伊豆大島	○	○	-	○	-
79	060-AD886	新島	○	○	○	○	-
80	061-AD838	神津島	○	○	○	○	-
81	062-1000	三宅島	○	○	-	-	-
82	062-1600	三宅島	○	○	-	-	-
83	062-1650	三宅島	○	-	-	○	-
84	064-10496	八丈島	○	○	-	-	-
85	064-12385	八丈島	○	○	-	-	-
86	064-14273	八丈島	○	○	-	-	-
87	064-3508	八丈島	○	○	○	-	-
88	064-6408	八丈島	○	○	○	-	-
89	064-7137	八丈島	○	-	-	○	-
90	065-2389	青ヶ島	○	-	-	○	○
91	065-3094	青ヶ島	○	-	○	-	-
92	065-3777	青ヶ島	○	-	-	○	-
93	067-11400	阿武火山群	○	-	-	○	-
94	071-3986a	阿蘇山	○	○	-	○	-
95	072-6020	雲仙岳	○	-	-	-	○
96	072-AD1792	雲仙岳	○	-	-	○	○
97	074-3162	霧島山	○	○	-	○	-
98	074-7400	霧島山	○	○	-	-	-
99	074-AD788	霧島山	○	○	-	○	-
100	075-8100	米丸・住吉池	○	○	○	-	-
101	077-10600	桜島	○	○	-	-	-
102	077-AD1471-76	桜島	○	○	-	○	-
103	077-AD1914	桜島	○	○	-	○	-
104	078-6400	池田・山川	○	○	○	-	-
105	079-1900	開聞岳	○	○	-	-	-

### 3.3 実績図を作成する大規模噴火

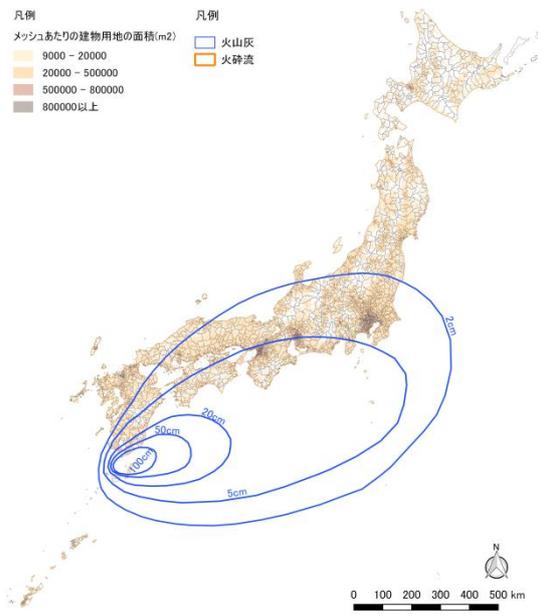
過去の大規模噴火について表 3.3.1 に整理した。噴火の規模が大きいため、火山灰は、火口近傍から遠方まで調査されており、分布範囲が調べられている。しかしながら、火口近傍では、前後に発生した火砕流の影響等により面的な分布を把握することが困難で、詳細な層厚の変化を追跡できない場合がある。一方、火砕流は年代が古くなると分布の断片的な情報しかなく、既往研究により分布が明らかにされていないケースがある。

作成した実績図を図 3.3.1(1)～(6)に示す。

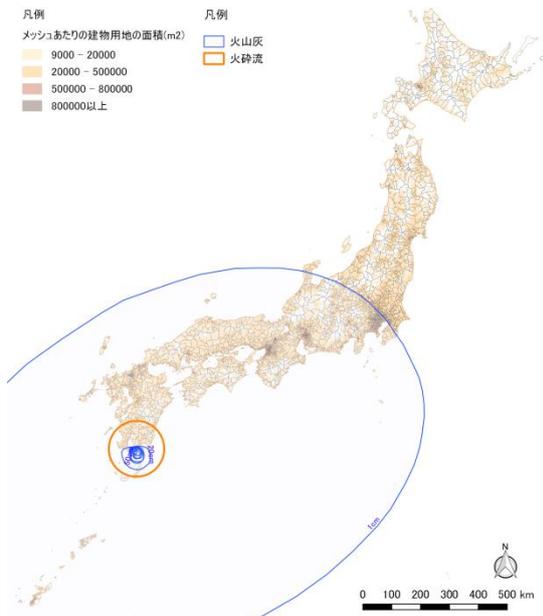
表 3.3.1 大規模噴火のリスト

火山名	噴火年代 yBP	噴火名	降灰 <sup>注</sup>	火砕流 <sup>注</sup>
鬼界カルデラ	95,000	鬼界葛原	○	×
阿多カルデラ	108,000	阿多噴火	○	○
始良カルデラ・桜島	29,000	始良火砕噴火	○	○
阿蘇カルデラ	87,500	阿蘇4	○	○
九重山	75,000	九重飯田	×	○
三瓶山	112,500	三瓶木次	○	×
大山	55,000	大山倉吉(DKP)	○	×
御嶽山	100,000	御岳第1(On-Pm1)	○	×
立山(弥陀ヶ原)	125,000	立山D(Tt-D)	○	×
箱根	62,500	箱根東京	○	○
赤城山	45,000	赤城鹿沼	○	×
鳴子	90,000	鳴子荷坂(Nr-N)	○	×
十和田カルデラ	15,000	十和田八戸	○	○
銭亀カルデラ	45,000	銭亀女那川(Z-M)	○	×
濁川カルデラ	15,000	濁川(Ng)	○	×
洞爺カルデラ	113,500	洞爺	○	○
クッタラ	49,000	Kt-3	○	○
支笏カルデラ	43,000	支笏第1	○	○
摩周カルデラ	117,500	クッチャロ羽幌	○	○
白頭山(中国-北朝鮮)	915	白頭山苦小牧	○	×
韓国鬱陵島	10,700	鬱陵隠岐	○	×

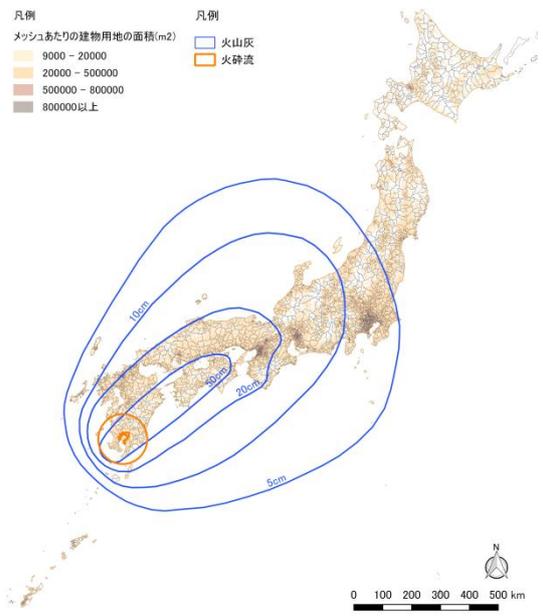
注：○は当該現象の分布が確認されている（分布図等がある）、×は確認されていないことを表す。



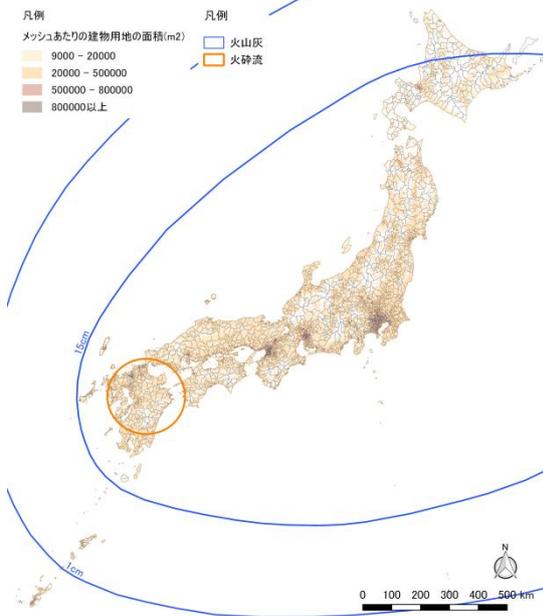
鬼界カルデラ（鬼界葛原）の実績図



阿多カルデラ（阿多噴火）の実績図

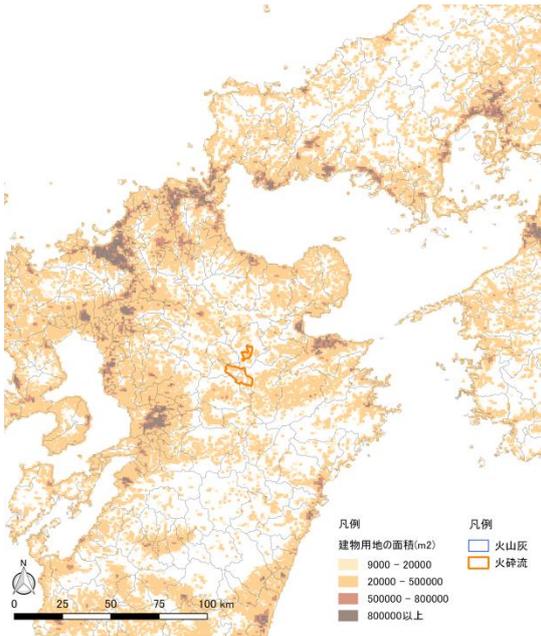


始良カルデラ・桜島（始良火砕噴火）の実績図

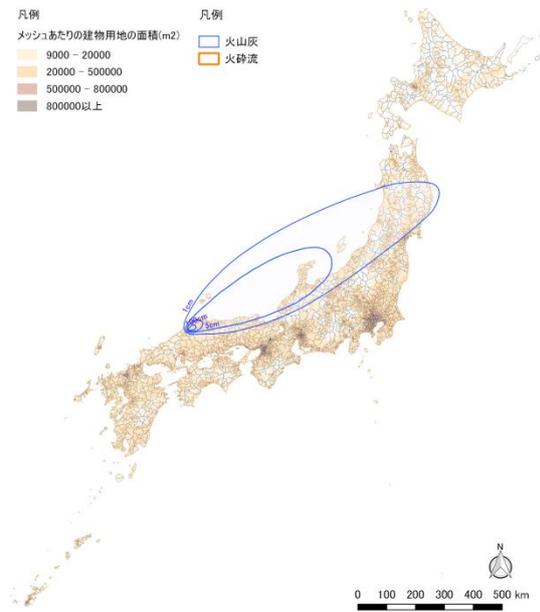


阿蘇カルデラ（阿蘇4）の実績図

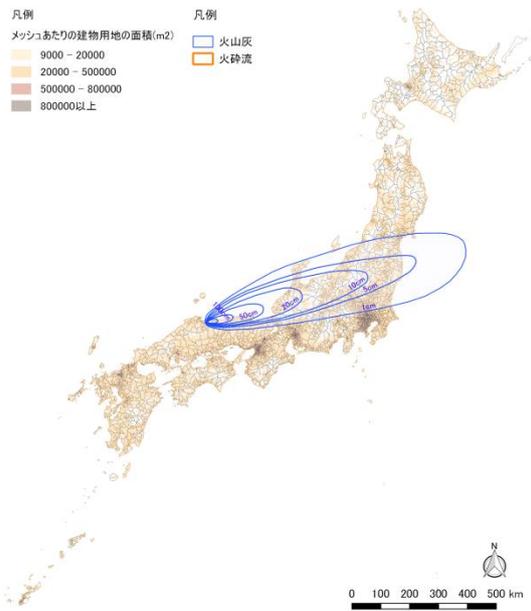
図 3.3.1(1) 大規模噴火の実績図



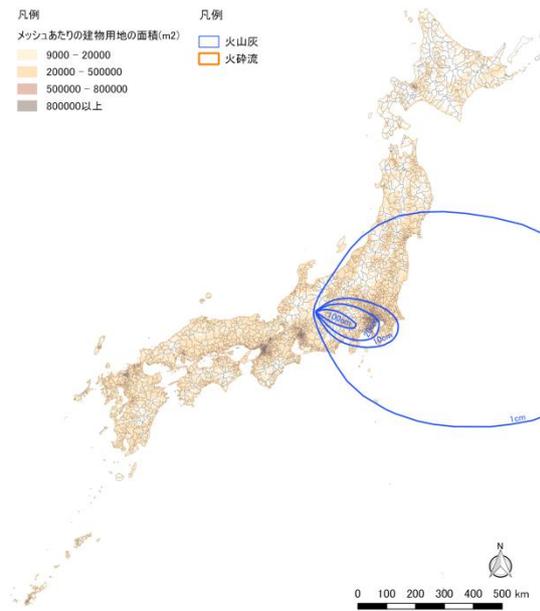
九重山(九重飯田)の実績図



三瓶山(三瓶木次)の実績図

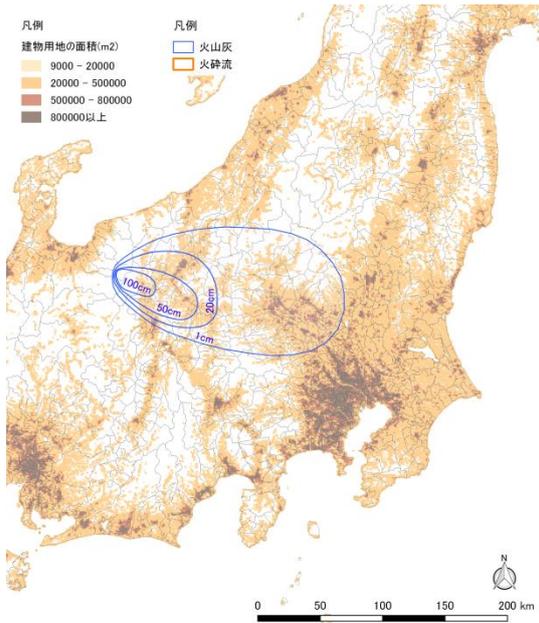


大山(大山倉吉(DKP))の実績図

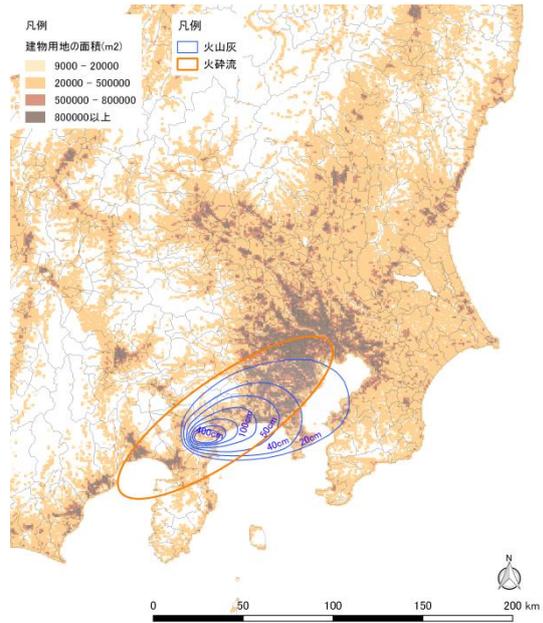


御嶽山(御岳第1(On-Pm1))の実績図

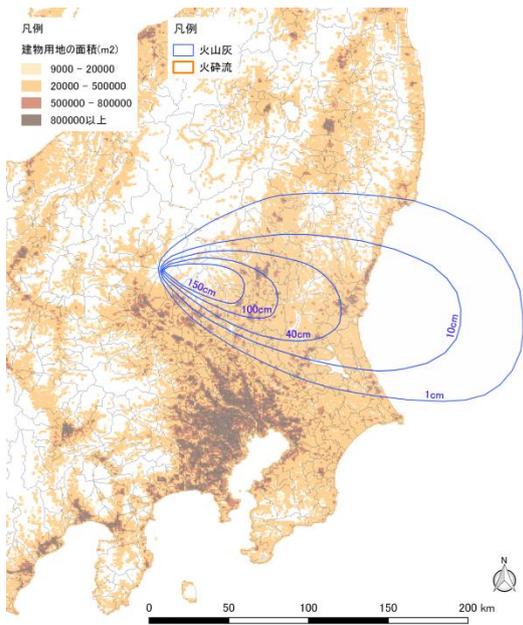
図 3.3.1(2) 大規模噴火の実績図



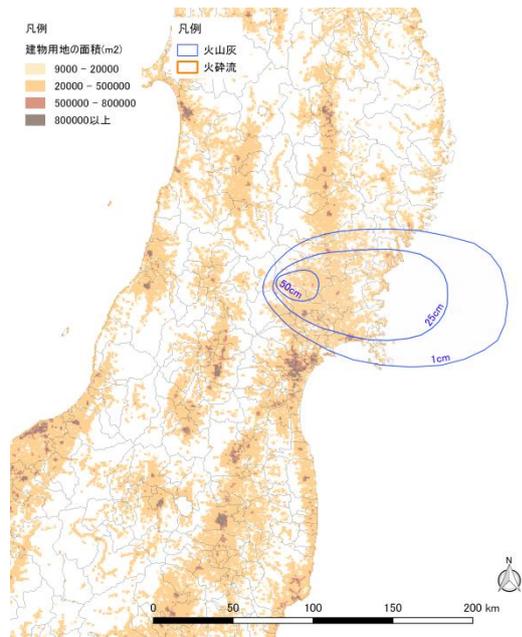
立山（弥陀ヶ原）（立山 D(Tt-D)）の実績図



箱根（箱根東京）の実績図

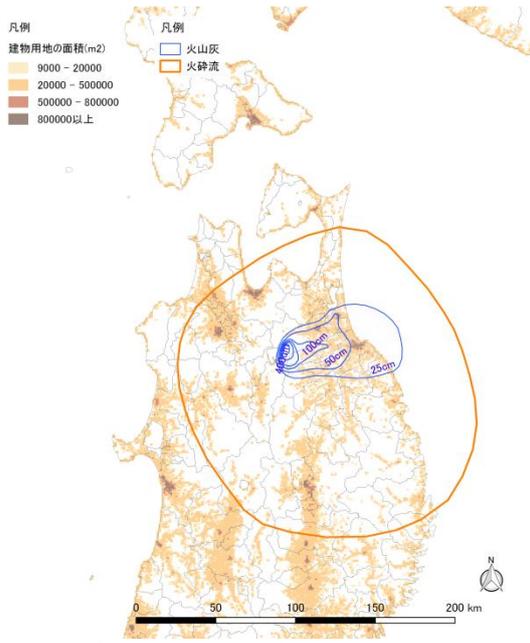


赤城山（赤城鹿沼）の実績図

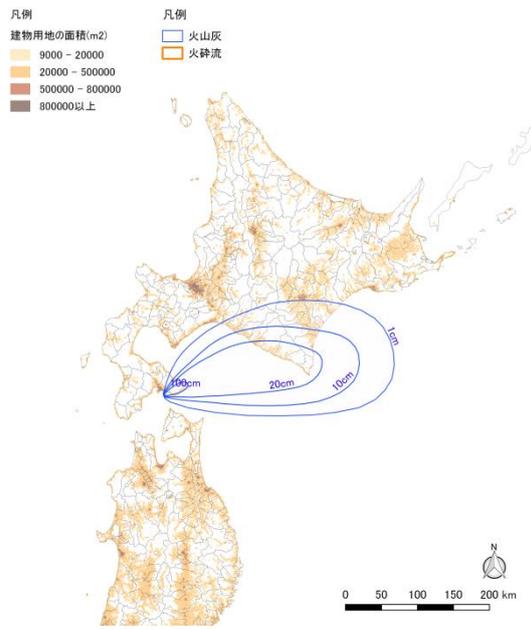


鳴子（鳴子荷坂 (Nr-N)）の実績図

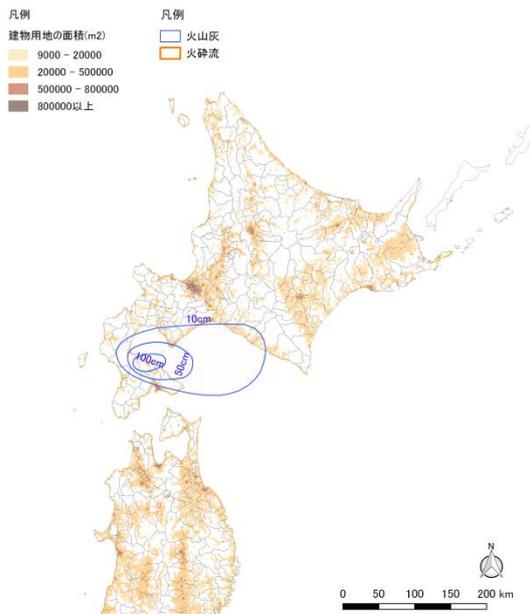
図 3.3.1(3) 大規模噴火の実績図



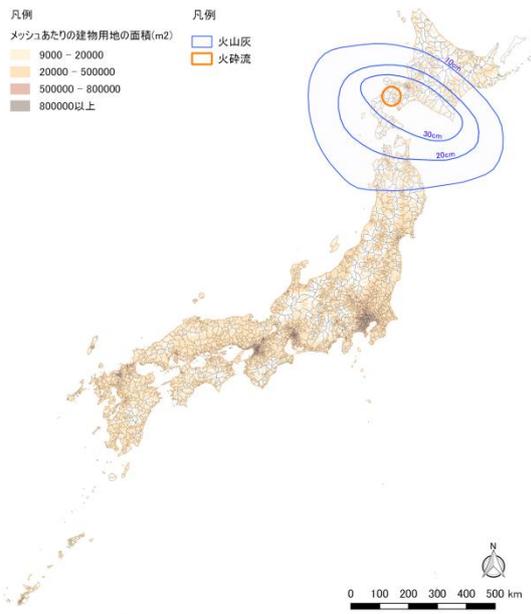
十和田カルデラ(十和田八戸)の実績図



銭亀カルデラ(銭亀女那川(Z-M))の実績図

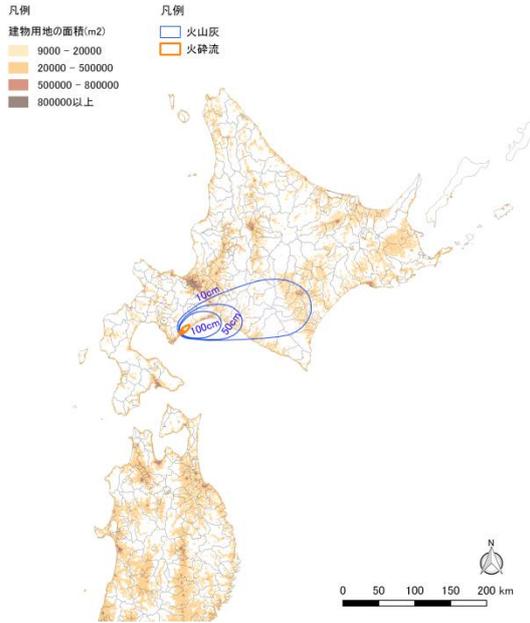


濁川カルデラ(濁川(Ng))の実績図

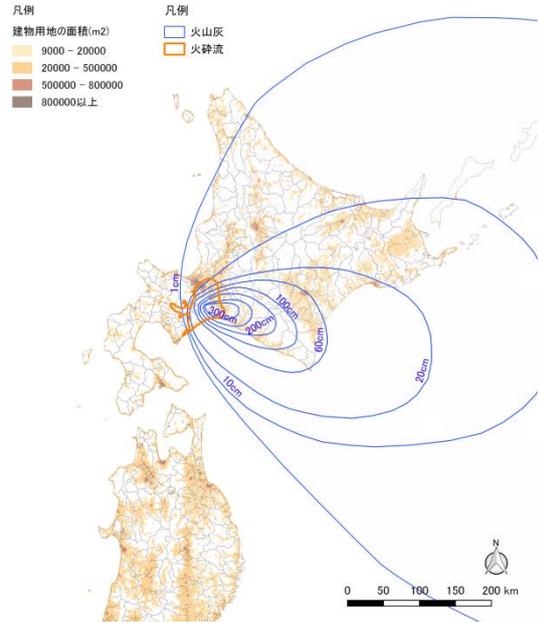


洞爺カルデラ(洞爺)の実績図

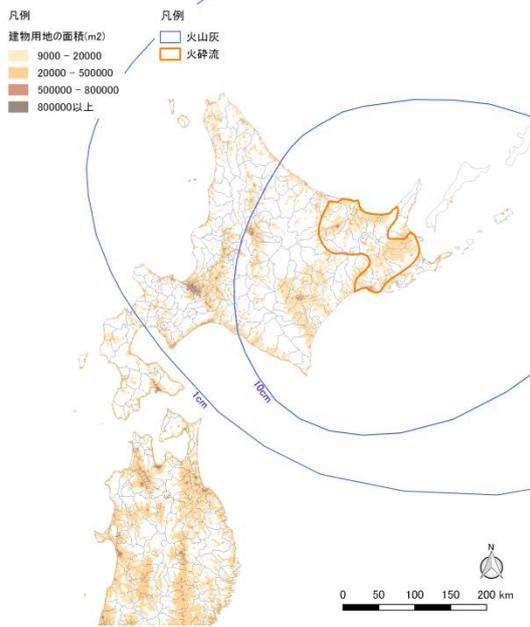
図 3.3.1(4) 大規模噴火の実績図



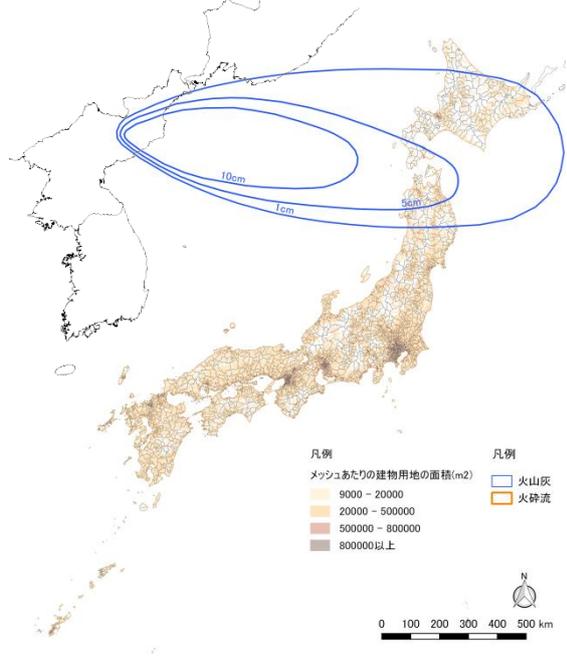
クッタラ(Kt-3)の実績図



支笏カルデラ(支笏第1)の実績図

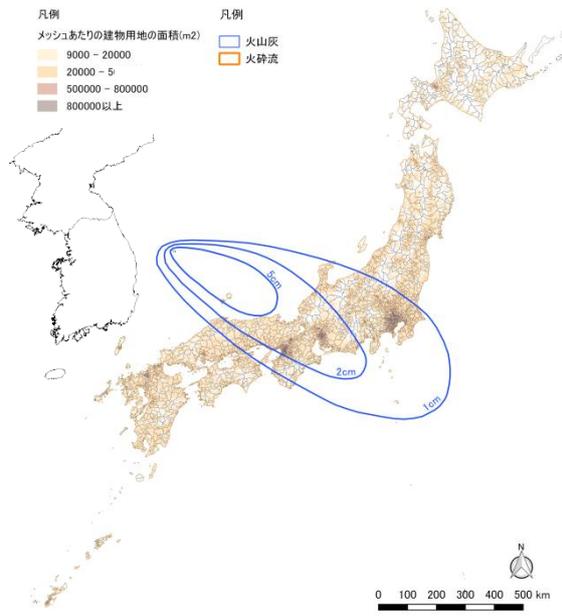


摩周カルデラ(クッチャロ羽幌)の実績図



白頭山(中国-北朝鮮)(白頭山苦小牧)の実績図

図 3.3.1(5) 大規模噴火の実績図



鬱陵島(鬱陵隠岐)の実績図

図 3.3.1(6) 大規模噴火の実績図

## 第 4 章 各火山現象の損害区分別被災率

### 4.1 概要

本研究では、火山現象ごとに住宅建物（木造・非木造別）の被害評価（損害区分別被災率）を検討する。損害区分は、「災害に係る住家の被害認定基準運用指針」<sup>98)</sup>を参考に「全壊」、「大規模半壊」、「半壊」、「一部損壊」の4種類の区分を想定する。

なお、本章で検討する各火山現象の損害区分別被災率の多くは、広域の住宅被害評価（被災世帯数評価）を行うために、決して十分とは言えないデータから判断した設定値であり、今後の被害データの蓄積等にあわせて適宜見直す必要がある。

表 4.1.1 災害に係る住家の被害認定基準<sup>99)</sup>

	全 壊	半 壊	
		大規模半壊	その他
①損壊基準判定 住家の損壊、焼失、流失した部分の 床面積の延床面積に占める損壊割合	70% 以上	50% 以上 70% 未満	20% 以上 50% 未満
②損害基準判定 住家の主要な構成要素の経済的被害 の住家全体に占める損害割合	50% 以上	40% 以上 50% 未満	20% 以上 40% 未満

### 4.2 各火山現象の損害区分別被災率の設定

#### 4.2.1 火砕流・溶岩流・岩屑なだれ・火口形成

火砕流・溶岩流・岩屑なだれ・火口形成の4現象については、住宅建物がその到達範囲に含まれた場合は全壊になると想定されるため、木造・非木造とも全壊被災率を1とする。

#### 4.2.2 火山灰

火山灰の堆積による建物被害については、国内外とも屋根の崩落に着目した研究がほとんどであり、損害区分別被災率を詳細に設定できるほどの知見はない。したがって、下記の方針で建物被災率を設定する。

- ・木造の全壊被災率は、既往研究での倒壊率などのデータから設定する。
- ・木造の大半壊・小半壊・一部損壊被災率、および非木造の全被害程度の被災率については研究事例がないため、「災害に係る住家の被害認定基準運用指針」<sup>98)</sup>の水害の例（図 4.2.2）を参考に、浸水深を火山灰の厚さと読み替え、被災率を設定<sup>\*</sup>する。

※ 災害に係る住家の被害認定基準運用指針<sup>98)</sup>は、地震・水害・風害による住宅建物被害を対象に作成されており、これら以外の災害で住宅建物に被害が生じた場合は、本運用指針の考え方等を参考に適切に被害認定を行うこととされている。

##### (1) 木造の全壊被災率

富士山ハザードマップの検討<sup>113)</sup>では、木造建築物の耐力計算と北海道駒ヶ岳噴火の事例から、降灰厚 45~60cm で全壊 30%、降灰厚 60cm 以上で全壊 60%と設定している

(図 4.2.1)。また、国会等移転審議会(1999)<sup>114)</sup>では、10cm 以上から木造建物に影響が出てくることが示されている(表 4.2.1)。

図 4.2.1、表 4.2.1 から、木造建物の全壊被災率は、火山灰の厚さ 1m で 1.0、厚さ 50cm で 0.5、厚さ 30cm で 0.3、厚さ 10cm で 0.1 と設定した。

### 建築物

#### 【富士山噴火による被害想定調査 報告書 平成14年3月 内閣府】

- 富士山(1707)、浅間山(1783)、北海道駒ヶ岳(1929)、ピナツボ(1991)で、建築物が倒壊した堆積量は60cm～300cm
- 家屋の積雪に対する耐荷重基準は地域によって異なる。静岡県では約30cm。  
これを灰の厚さに換算すると10cm(湿潤)～15cm(乾燥)(雪密度0.2g/cm<sup>2</sup>、灰の空隙率0.55、粒子密度2.5g/cm<sup>2</sup>の場合)
- 実際の建築物は耐荷重基準を上回っていると想定。別途調査による木造平屋の最も弱い部分の垂直荷重は525kg/m<sup>2</sup>  
これを灰の厚さに換算すると灰の厚さは30cm(湿潤)～45cm(乾燥)
- 富士山噴火による被害想定では、  
降灰が乾燥時は、45cmから倒壊が発生し、45～60cmで倒壊率30%、60cm以上で倒壊率60%と仮定  
降灰が湿潤時は、30cmから倒壊が発生し、30～45cmで倒壊率30%、45cm以上で倒壊率60%と仮定

建築物の耐荷重は構造その他の要因により差異が大きいため、倒壊が発生する降灰量を一律に設定することは困難。

図 4.2.1 火山灰による建築物への影響<sup>112)</sup>

表 4.2.1 火山灰の厚さと建物被害等の目安<sup>113)</sup>

火山灰の厚さ	主な被害
1 cm	車が普通に走れない。交通機関に支障をきたす。
2 cm	気管系などの異常を訴える人が多くなる。
数 cm	交通機関がマヒする。
10 cm	古い木構造などに被害が出る(屋根が落ちる)。
20～30 cm	多くの木構造などに被害が出る。
50 cm	半数以上の木構造が倒壊する。
1 m	ほとんどの木構造が倒壊する。

#### (2) 木造の大半壊・小半壊・一部損壊被災率および非木造の全被害程度の被災率

先述した方針のとおり、既往研究事例がないため、災害に係る住家の被害認定基準運用指針<sup>98)</sup>の水害の例(浸水深による判定基準、図 4.2.2)を参考に、浸水深を火山灰の厚さと読み替え、水と火山灰の比重を勘案して被災率を仮定した。その結果を表 4.2.2 示す。

表 4.2.2 火山灰による損害区分別被災率

火山灰の厚さ [cm]	木造				非木造			
	全損	大半損	小半損	一部損	全損	大半損	小半損	一部損
200	1.0	0	0	0	1.0	0	0	0
100	1.0	0	0	0	0	1.0	0	0
50	0.5	0	0.5	0	0	0	1.0	0
30	0.3	0	0	0.7	0	0	0	1.0
10	0.1	0	0	0.4	0	0	0	0.5

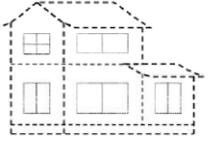
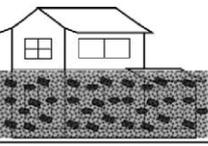
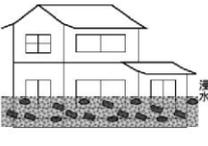
 	<p>住家流失</p> <p>又は</p> <p>1階天井まで浸水 (浸水深の最も浅い部分で測定)</p>	<p>住家の損害割合 50%以上</p>	<p>全壊</p>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<p>床上1mまで浸水 (浸水深の最も浅い部分で測定)</p>	<p>住家の損害割合 40%以上</p>	<p>大規模半壊</p>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<p>床上浸水 (浸水深の最も浅い部分で測定)</p>	<p>住家の損害割合 20%以上</p>	<p>半壊</p>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<p>床下浸水 (浸水深の最も浅い部分で測定)</p>	<p>住家の損害割合 20%未満</p>	<p>半壊に至らない</p>	<input checked="" type="checkbox"/>

図 4.2.2 浸水深による判定基準<sup>98)</sup>

#### 4.2.3 噴石

##### (1) 噴石による建物の被害程度

噴石は上空から落下してくる現象であるため、屋根の損傷が最も多くなる。屋根に穴が開くと、室内へ火山灰等が堆積するため、建物利用が困難となる可能性がある。そこで、大きな噴石が屋根を貫通した場合の被害程度は全壊として扱うこととする。

以降では、建物の木造・非木造別に、噴石が屋根を貫通する条件を検討し、建物の全壊被災率を設定する。屋根の貫通は、噴石の衝突エネルギーと屋根の素材を貫通する衝突エネルギーを比較して評価する。さらに、それらの結果に基づき建物の被災率を設定する。

##### (2) 噴石の衝突エネルギー

噴石の衝突エネルギーは衝突速度と重量(大きさ)から求められる。

既往研究<sup>100)</sup>により噴火時の画像解析や噴石分布等から推定された噴石の初速度は、概ね 100~200m/s 程度である。建物への衝突速度は地形によって変化するものの、初速度と大きくは変わらないと考えられることから、100~200m/s 程度と推定される。

2014 年御嶽山噴火で山小屋(木造)の屋根を貫通した噴石の大きさは 17~26cm で平均は 20cm である。ここでは、直径 20cm 以上の噴石(以降「大きな噴石」)を対象と

する。大きな噴石の衝突エネルギーを表 4.2.3 に示す。衝突エネルギーは速度の 2 乗に比例するため、速度が大きいほど大きい値となる。

表 4.2.3 噴石の衝突エネルギー

噴石の直径 [m]	換算重量※ [kg]	衝突エネルギー [J]			
		速度[km/h]			
		100	150	200	250
0.2	10.5	52,360	117,810	209,440	327,249
0.5	163.6	818,123	1,840,777	3,272,492	5,113,269
1.0	1309.0	6,544,985	14,726,216	26,179,939	40,906,154
1.5	4417.9	22,089,323	49,700,978	88,357,293	138,058,271

※ 噴石の密度は 2,500kg/m<sup>3</sup>とした。

### (3) 建物の屋根を貫通する衝突エネルギー

#### 1) 木造住宅建物

立山ら(2017)<sup>107)</sup>は、衝突実験により板厚 18mm の試験体の貫通の境界エネルギーを 1200J 程度と求めている。本研究でもこの研究を参考に、木造建物の屋根は 1200J を超えると貫通する(破壊する)と考える。表 4.2.3 に示した大きな噴石の衝突エネルギーは、屋根貫通の境界エネルギー1200J を大きく超えており、大きな噴石が木造の屋根に衝突した場合、屋根を貫通することとなる。

#### 2) 非木造住宅建物

ここでは、非木造住宅建物として鉄筋コンクリート造(RC造)を考える。

噴石の衝突によるRC造の破壊モードを「活火山における退避壕等の充実に向けた手引き」<sup>100)</sup>を参考に計算した結果を表 4.2.4、図 4.2.3 に示す。図表から、直径 0.2m の噴石が 100m/s で衝突すると、厚さ 14.4cm 以下の鉄筋コンクリートは貫通となる。また、14.4cm より厚い場合でも、42.3cm 以下であれば裏面剥離が発生する。

表 4.2.4 噴石の直径と鉄筋コンクリートの破壊モード

噴石の直径 [m]	換算重量※ [kg]	衝突速度 [m/s]	コンクリート強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	貫通限界 厚さ [cm]	裏面剥離 限界厚さ [cm]	衝突エネルギー [kJ]
0.2	10	100	24	14.4	42.3	52
0.5	164	100	24	39.2	112.8	818
1.0	1,309	100	24	83.6	236.3	6,545

※ 噴石の密度は 2,500kg/m<sup>3</sup>とした。

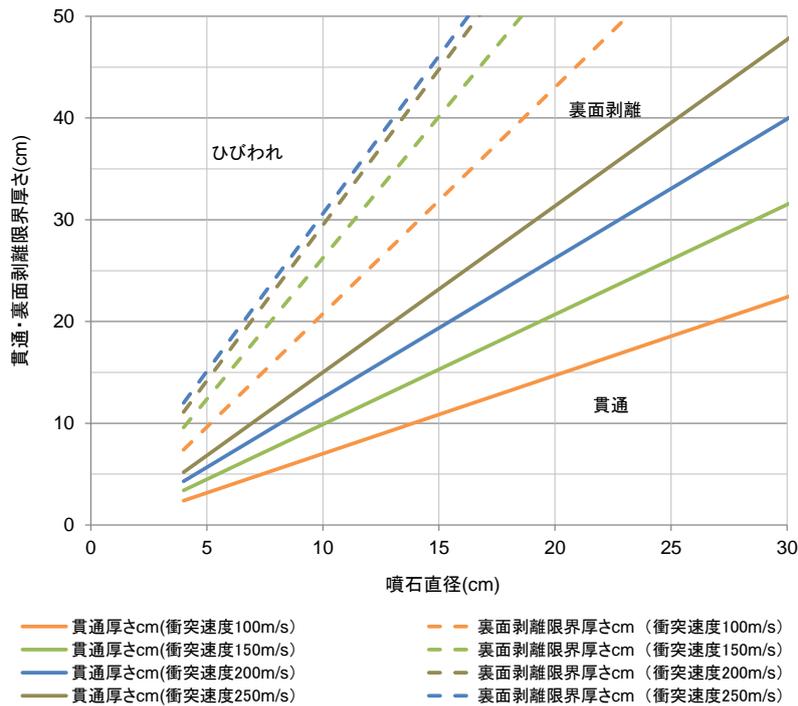


図 4.2.3 噴石の直径と鉄筋コンクリートの破壊モードの関係

(※噴石の密度は $2,500\text{kg}/\text{m}^3$ 、コンクリート強度 $F_c$ は $24\text{N}/\text{mm}^2$ とした)

### 3) 検討のまとめ

木造は、直径 20cm 以上の大きな噴石が屋根に衝突すると貫通することが明らかとなった。一方、非木造（RC造）は、屋根の厚さが 15cm 以下の場合、直径 20cm 以上の大きな噴石が屋根に衝突すると貫通する結果となった。屋根の厚さを精査することは困難なため、本研究では非木造（RC造）においても、直径 20cm 以上の大きな噴石が屋根に衝突すると貫通するものとした。

### (4) 建物の全壊被災率

(2)(3)の検討の結果、大きな噴石が建物に到達すると、屋根が損傷し全壊となる。したがって、建物の全壊被災率を決定する要因は大きな噴石の分布密度となる。

大きな噴石の分布密度は、最近公開されたプログラム (Ballista<sup>102</sup>) を用いて、数値シミュレーションを行い求めた。大きな噴石の個数は 10,000 個と仮定した。噴火様式はより遠方まで噴石が到達するマグマ噴火を、火山地形は水平地形を想定した。また、被害想定に用いるメッシュサイズが 250m であることや計算精度を考慮し、火口から 1km ごとの噴石個数を求めた。建物の建築面積は、木造・非木造とも 100 m<sup>2</sup> と仮定した。

以上の条件に基づき求めた 100 m<sup>2</sup>あたりの噴石個数を表 4.2.5 に示す。さらに、建物の全壊被災率（木造、非木造）は、表 4.2.5 をもとに有効数字 2 桁で設定した。その結果を表 4.2.6 に示す。

表 4.2.5 噴石の面積あたりの分布個数

火口からの距離	面積 [m <sup>2</sup> ]	噴石個数	噴石個数/100 m <sup>2</sup>
0-1 km	3,141,593	5210	0.16584
1-2 km	9,424,778	3190	0.03385
2-3 km	18,849,556	1490	0.00790
3-4 km	31,415,927	110	0.00035

表 4.2.6 噴石によるの建物の全壊被災率（木造、非木造）

火口からの距離	建物の全壊被災率
0-1 km	0.17
1-2 km	0.034
2-3 km	0.0079
3-4 km	0.00035