

第 5 章 噴火履歴に基づく火山災害危険度評価

5.1 火山災害危険度の評価方法

火山災害危険度の評価の流れを以下に示す。

- ① 第 3 章で作成した噴火実績図、第 4 章で設定した損害区分別被災率、250m メッシュ別世帯数（木造／非木造別）※¹に基づき、噴火ごとの被災世帯数を推計する※²。
- ② ①で推計した噴火ごとの被災世帯数を合計し、それを噴火の考慮期間（通常噴火は 1 万 5 千年、大規模噴火は 12 万 5 千年）で除して、1 年あたりの被災世帯数を計算する。
- ③ ①、②の計算を全ての噴火について行い、足し合わせて 1 年あたりの被災世帯数合計を計算する。
- ④ 1 年あたりの被災世帯数合計を全国計世帯数で除して、全国平均の火山災害危険度を計算する。

※¹ 250mメッシュ別世帯数（木造／非木造別）は、「平成 27 年国勢調査に関する地域メッシュ統計」の世帯数を「平成 25 年住宅・土地統計調査（市区町村編）」から推定した市区町村別の非木造と木造の割合により按分した世帯数を用いた。（以下同じ）

※² 当該メッシュが複数の火山現象により被災する場合は、被害を重複して集計することがないように（被害程度別の被災率の合計が 1 以下となるよう）、大きな被害程度の被災率から調整して集計する。火山現象の被災範囲に含まれる 250m メッシュの抽出イメージを図 5.1.1 に示す。

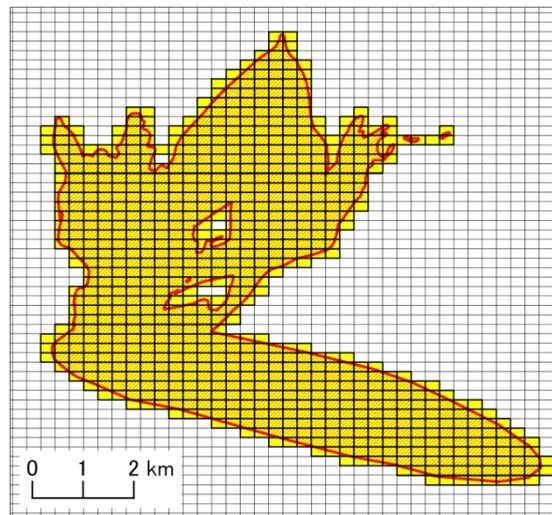


図 5.1.1 火山現象の被災範囲に含まれる 250m メッシュの抽出イメージ
(ある火山現象の被災範囲と 250m メッシュが交差するものを抽出する。)

5.2 被災世帯数の推計イメージ例

本節では、桜島 1779 年噴火を例として、被災世帯数の推計イメージを示す。この噴火による火山現象は、溶岩流、火山灰、噴石である。噴石の分布は、既往研究により示されていないが、対象とする全火山で火口から半径 4km まで 1km ごとに範囲を設定し、各範囲ごとに被災率を設定する。

桜島 1779 年噴火による火山現象を図 5.2.1 に、溶岩流被災率を図 5.2.2 に、火山灰被災率を図 5.2.3 に、噴石被災率を図 5.2.4 に、被災世帯数の推計イメージを図 5.2.5 に示す。

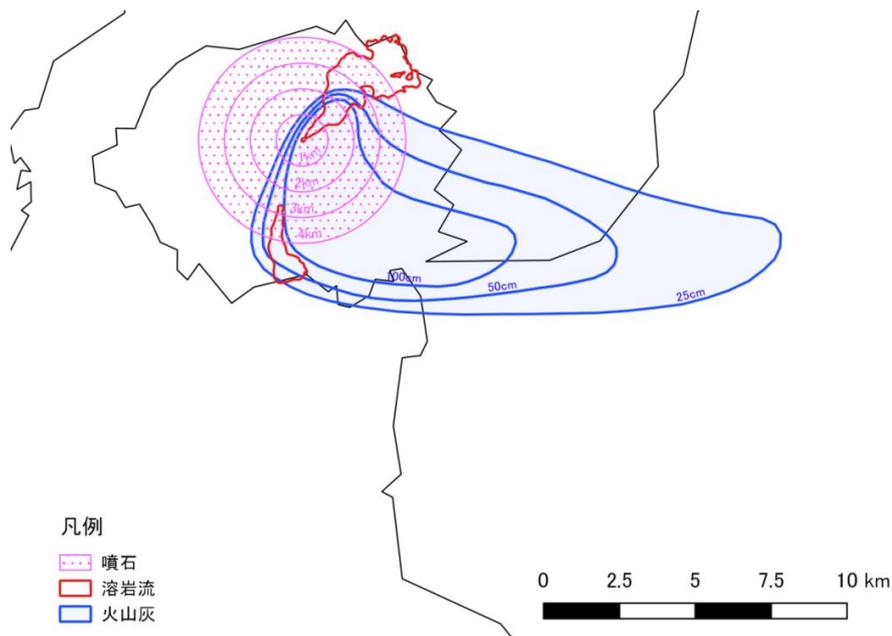


図 5.2.1 桜島 1779 年噴火による火山現象

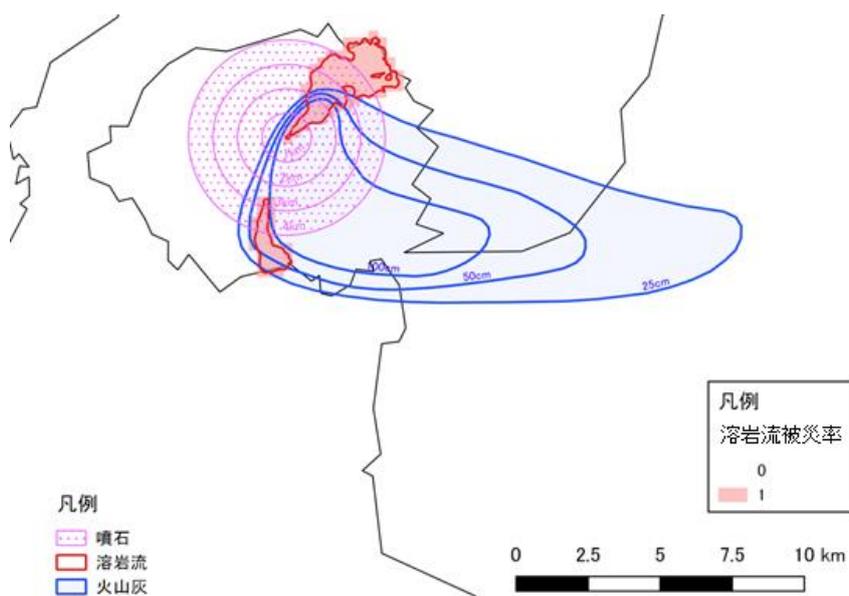


図 5.2.2 桜島 1779 年噴火による溶岩流被災率（全壊被災率、木造・非木造共通）

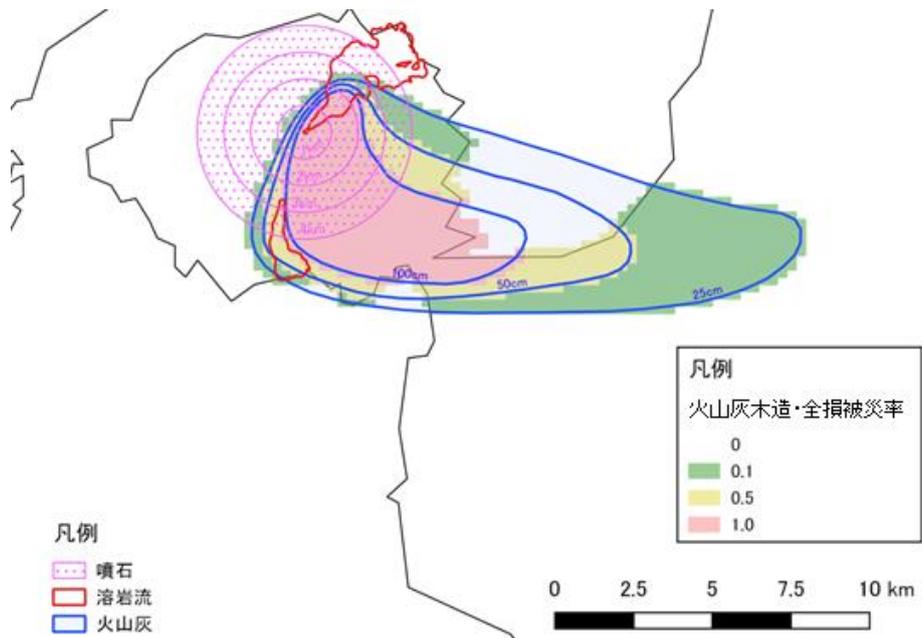


図 5.2.3 桜島 1779 年噴火による火山灰被災率（木造・全壊被災率）

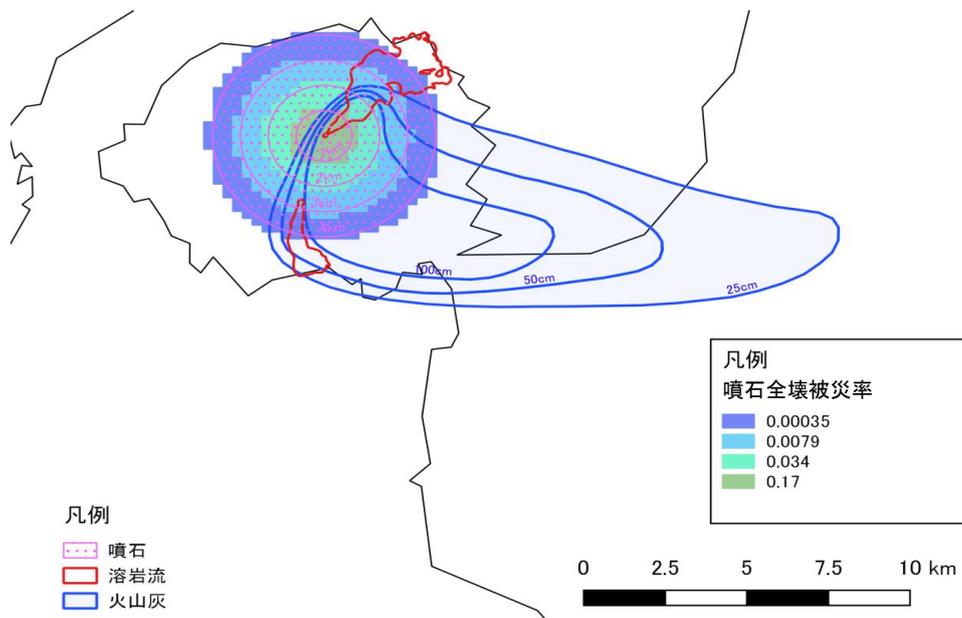


図 5.2.4 桜島 1779 年噴火による噴石被災率（全壊被災率、木造・非木造共通）

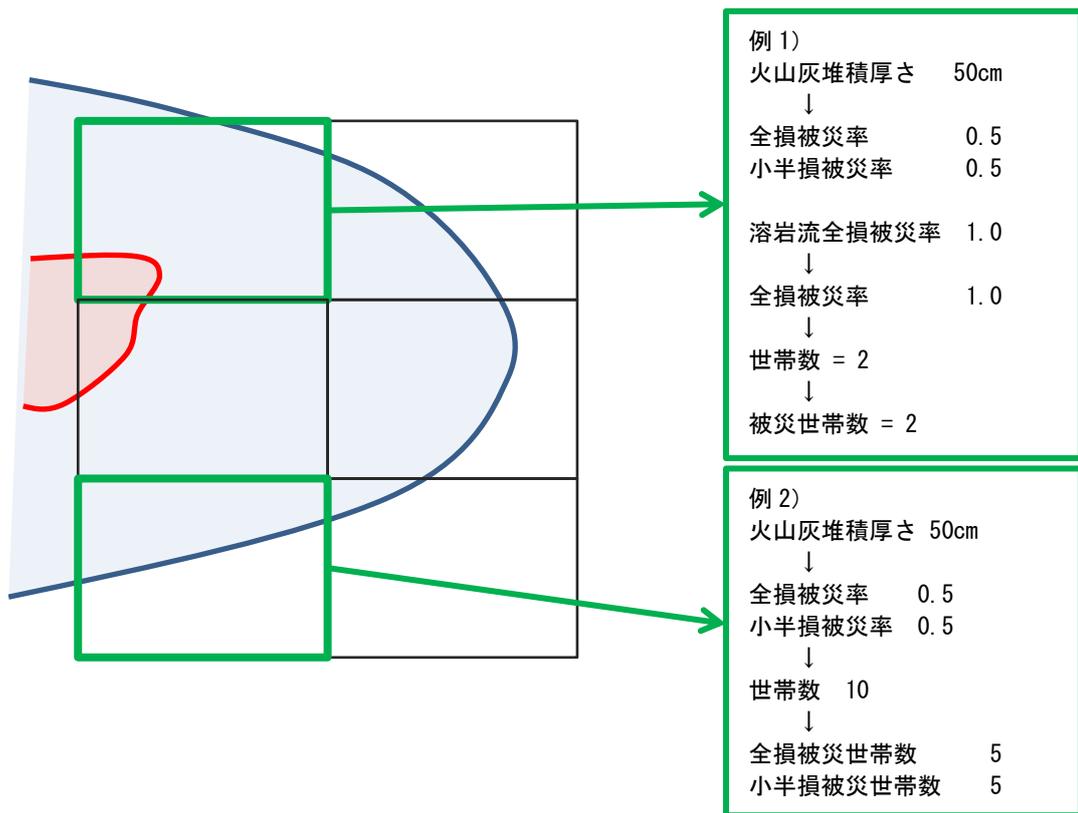


図 5.2.5 被災世帯数の推計イメージ

5.3 噴火実績図に基づく被災世帯数の推計結果

噴火実績図に基づく被災世帯数の推計結果として、表 5.3.1 に通常噴火の結果を、表 5.3.2 に大規模噴火の結果を示す。

通常噴火で被災世帯数の合計が最も多いのは富士山 1707 年噴火（表 5.3.1(1)）の 111 万件である。富士山 1707 年噴火では火砕流や溶岩流の実績はないが、火山灰が住宅の多い都心に大きな影響を与えるため、被災世帯数が多くなったと考えられる。また、火砕流（到達で全壊）の被災数が多いのは榛名山 497 年噴火（表 5.3.1(1)）の 9.8 万件である。これは、火砕流が前橋市、高崎市、渋川市に達したためである。

大規模噴火で被災世帯数の合計が最も大きいのは阿蘇カルデラ噴火（87,500yBP、表 5.3.2）の 2,900 万件である。火砕流の被災数が多いのは箱根噴火（62,500yBP、表 5.3.2）の 851 万件が最大で、阿蘇カルデラ噴火による 486 万件を上回っているが、箱根の場合は世帯数の多い東京都や神奈川県在市街地のほとんどに火砕流の被害がおよぶため、このような結果になったと考えられる。また、阿蘇の噴火による火山灰の厚さは、分布図としては最大 15cm までしか記載されておらず、本研究の調査の範囲ではそれ以上の厚さの分布に関する研究は入手できなかったため、今回試算を行った阿蘇カルデラ噴火による全壊被災件数は過少評価になっていると考えられる。

表 5.3.1(1) 通常噴火の実績図に基づく被災世帯数の推計

火山名・噴火名	被災世帯数 ^{注1} (火山現象別)					被災世帯数 ^{注2} (一部損壊以上)
	溶岩流 (全壊)	火砕流 (全壊)	泥流 (全壊)	噴石 (全壊)	火山灰 (一部損壊以上)	
摩周 900 年前	2	0	0	0	5,867	5,867
摩周 7590 年前	0	0	0	0	13,376	13,376
摩周 7780 年前	0	0	0	0	15,154	15,154
摩周 14000 年前	0	0	0	0	13,406	13,406
雌阿寒岳 13861 年前	0	0	0	0	250	250
利尻山 9075 年前	0	0	0	0	1,787	1,787
樽前山 1739 年	0	0	0	0	57,425	57,425
樽前山 1667 年	0	12	0	0	82,156	82,168
樽前山 3000 年前 a	0	0	0	0	8,547	8,547
樽前山 3000 年前 b	0	2	0	0	5,742	5,744
樽前山 10000 年前	0	0	0	0	1,815	1,815
有珠山 1663 年	0	315	0	9	9,804	9,912
駒ヶ岳 1929 年	0	114	0	0	1,684	1,707
駒ヶ岳 1640 年	0	12	2,857	0	20,906	21,683
駒ヶ岳 6300 年前	0	359	0	0	2,460	2,819
駒ヶ岳 6550 年前	0	86	0	0	1,932	1,990
渡島大島 669 年前	0	0	0	0	6,297	6,297
渡島大島 3660 年前	0	0	0	0	3,569	3,569
十和田 915 年	0	0	0	6	21,651	21,651
十和田 6200 年前	0	0	0	6	19,178	19,178
十和田 9400 年前	0	5,854	0	0	27,861	30,788
岩手山 6838 年前	0	0	52,663	0	0	52,663
秋田駒ヶ岳 13595 年前	0	0	0	0	3,463	3,463
鳥海山 2500 年前	0	0	6,509	0	0	6,509
肘折 12000 年前	1	240	0	23	12,658	12,736
磐梯 1888 年	0	0	483	0	0	483
沼沢 5350 年前	0	9,845	0	3	41,493	44,259
榛名山 522 年	0	10,905	0	8	35,778	44,764
榛名山 497 年	0	97,519	0	8	7,375	97,519
榛名山 11138 年前	1	14	2,794	16	0	2,809
浅間山 1783 年	7	291	52,380	0	26,399	79,058
浅間山 1128 年	0	0	0	0	187,528	187,528
浅間山 1108 年	0	8,048	0	0	184,204	191,030
浅間山 1600 年前	0	0	0	0	98,261	98,261
浅間山 13225 年前	0	17,576	0	0	0	17,576
富士山 1707 年	0	0	0	0	1,105,279	1,105,279
富士山 937 年	5,964	0	0	0	0	5,964
富士山 864 年	453	0	0	0	0	453
富士山 925 年前	0	0	0	0	163	163
富士山 1265 年前	0	0	0	0	1,395	1,395
富士山 1510 年前	3,122	0	0	0	0	3,122
富士山 1555 年前	566	0	0	24	0	580
富士山 2200 年前 c	0	0	0	0	31,846	31,846
富士山 2220 年前 a	202	0	0	0	0	202
富士山 2300 年前	0	0	0	0	7,154	7,154
富士山 2580 年前 a	0	0	29,608	0	0	29,608
富士山 2980 年前	0	0	0	0	38,862	38,862
富士山 3010 年前	7	0	0	0	15,728	15,735
富士山 3090 年前	0	0	0	0	2,465	2,465
富士山 3110 年前	0	0	0	0	14,969	14,969
富士山 3150 年前	0	0	0	0	4,355	4,355
富士山 3750 年前 ad	8,639	0	0	0	0	8,639
富士山 3750 年前 t	4,945	0	0	0	0	4,945
富士山 4840 年前	0	0	0	0	3,509	3,509
富士山 7330 年前	4,568	0	0	0	0	4,568
富士山 8500 年前 a	429	0	0	0	0	429

表 5.3.1(2) 通常噴火の実績図に基づく被災世帯数の推計

火山名・噴火名	被災世帯数 ^{注1} (火山現象別)					被災世帯数 ^{注2} (一部損壊以上)
	溶岩流 (全壊)	火砕流 (全壊)	泥流 (全壊)	噴石 (全壊)	火山灰 (一部損壊以上)	
富士山 8500 年前 b	16,548	0	0	0	0	16,548
富士山 8670 年前	1,758	0	0	0	0	1,758
富士山 9000 年前 r	2,467	0	0	0	0	2,467
富士山 9000 年前 w	979	0	0	0	0	979
富士山 9030 年前	25,976	0	0	0	0	25,976
富士山 9500 年前 b	16,693	0	0	0	0	16,693
富士山 9500 年前 f	878	0	0	0	0	878
富士山 9500 年前 h	4,675	0	0	0	0	4,675
富士山 9500 年前 j	1,702	0	0	0	0	1,702
富士山 9500 年前 k	1,410	0	0	0	0	1,410
富士山 9500 年前 l	2,554	0	0	0	0	2,554
富士山 9500 年前 n	22,406	0	0	0	0	22,406
富士山 9550 年前	25,349	0	0	0	0	25,349
富士山 9975 年前	0	0	0	6	6,083	6,086
富士山 11650 年前	39,143	0	0	0	0	39,143
箱根山 7906 年前	0	1,499	0	15	0	1,510
伊豆東部火山群 2700 年前	642	0	0	64	1,145	1,821
伊豆東部火山群 3125 年前	0	55	0	0	136,582	136,582
伊豆東部火山群 4075 年前	8,231	0	0	187	10,659	11,461
伊豆東部火山群 13306 年前	149	0	0	45	452	462
伊豆大島 1684 年	3,931	0	0	0	0	3,931
伊豆大島 1421 年	908	0	0	74	0	928
伊豆大島 1338 年	382	0	0	0	1,215	1,460
伊豆大島 12700 年前	0	0	0	0	770	770
新島 886 年	23	1,117	0	0	0	1,117
神津島 838 年	3	1,049	0	18	920	1,049
三宅島 1000 年前	0	0	0	51	447	459
三宅島 1600 年前	0	0	0	36	199	219
三宅島 1650 年前	440	0	0	1	0	441
八丈島 3508 年前	0	2,983	0	286	218	3,016
八丈島 6408 年前	0	2,983	0	36	1,800	3,169
八丈島 7137 年前	3,116	0	0	4	0	3,116
八丈島 10496 年前	0	0	0	286	3,453	3,454
八丈島 12385 年前	0	0	0	212	1,078	1,197
八丈島 14273 年前	0	0	0	10	1,590	1,590
青ヶ島 2389 年前	125	0	0	4	0	125
青ヶ島 3094 年前	0	125	0	4	0	125
青ヶ島 3777 年前	125	0	0	21	0	125
阿武火山群 11400 年前	414	0	0	105	0	449
阿蘇山 3986 年前 a	12	0	0	0	1,951	1,963
雲仙 1991-95 年	0	51	0	0	0	51
雲仙岳 1792 年	0	0	6,011	0	0	6,011
雲仙岳 6020 年前	0	0	2,232	0	0	2,232
霧島山 788 年	2	0	0	0	2,121	2,123
霧島山 3162 年前	114	0	0	13	80,487	80,488
霧島山 7400 年前	0	0	0	0	6,810	6,810
米丸・住吉池 8100 年前	0	2,678	0	118	1,662	2,703
桜島 1914 年	262	0	0	4	1,227	1,491
桜島 1779-82 年	64	0	0	0	332	377
桜島 1471-76 年	151	0	0	4	4,996	5,058
桜島 10600 年前	0	0	0	0	6,580	6,580
池田・山川 6400 年前	0	16,312	0	27	14,869	21,376
開聞岳 1900 年前	0	0	0	10	6,767	6,767
計	210,537	180,044	155,537	1,748	2,438,157	2,939,256

注1：溶岩流、火砕流、泥流、噴石および火山灰の各火山現象別に被災すると仮定して計算した被災世帯数

注2：各火山現象の内、一番大きな被災率に基づき計算した被災世帯数

表 5.3.2 大規模噴火の実績図に基づく被災世帯数

火山名・噴火名	被災世帯数 ^{注1} (火山現象別)		被災世帯数 ^{注2} (一部損壊以上)
	火砕流 (全壊)	火山灰 (一部損壊以上)	
始良カルデラ	1,010,476	14,709,019	14,709,019
赤城山	0	1,029,793	1,029,793
阿蘇カルデラ	4,861,020	28,814,291	28,814,291
阿多カルデラ	939,334	30,679	939,334
大山	0	1,081,713	1,081,713
箱根	8,509,324	3,215,734	8,767,106
鬼界カルデラ	0	128,770	128,770
九重山	1,505	0	1,505
クッタラ	4,313	186,640	186,654
摩周カルデラ	214,900	326,618	434,068
鳴子	0	101,638	101,638
濁川カルデラ	0	93,621	93,621
御嶽山	0	9,145,992	9,145,992
三瓶山	0	95,625	95,625
支笏カルデラ	624,947	563,865	939,285
立山	0	267,772	267,772
十和田カルデラ	784,896	0	784,896
洞爺カルデラ	35,632	2,034,830	2,034,830
銭亀カルデラ	0	16,679	16,679
大規模噴火計	16,986,346	61,843,280	69,572,590

注1：火砕流および火山灰の各火山現象別に被災すると仮定して計算した被災世帯数

注2：各火山現象の内、一番大きな被災率に基づき計算した被災世帯数

5.4 火山災害危険度の試算結果

5.3 で推計した被災世帯数に基づき計算した火山災害危険度の結果を表 5.4.1 に示す。

表 5.4.1 火山災害危険度試算結果

項目	被災世帯数(A)	年平均被災世帯数(B) B = A / 考慮期間	1戸あたりの 年平均被災率(C) [%] C = B / D × 1000
通常噴火 (考慮期間：1.5 万年)	2,939,256	196	0.0037
大規模噴火 (考慮期間：12.5 万年)	69,572,590	557	0.0104
通常＋大規模噴火 (年平均値)	—	753	0.0141
H27 国勢調査全国世帯数(D)	53,331,797		

第 6 章 まとめ・今後の課題

6.1 まとめ

本研究では、前回研究のアプローチを踏襲し、日本全国を対象に、噴火履歴に基づく火山災害危険度評価の検討を行った。

年代による噴火履歴情報の密度の違いや建物被災度の設定など、さまざまな課題がある中で、現在入手できる噴火履歴情報（過去の噴出物分布図）に基づく危険度評価手法という観点からは一定の成果が得られたと考えられる。次節に、本研究の検討を進める中で分かった課題、将来的な危険度評価のために必要な課題などについて主なものをまとめる。今後それらの課題について検討を進め、より精度の高い火山災害危険度評価を目指していく必要がある。

6.2 今後の課題

本研究の内容をふまえ、火山災害危険度評価の精度を向上させていく上での課題について述べる。

①火山現象別の住宅建物の損害区分別被災率の設定に関する課題

本研究では、過去の被害事例や既往研究などを参考に各火山現象による住宅建物の損害区分別被災率を設定した。しかしながら、（他の自然災害に比べて）火山噴火の発生頻度が低いこともあり、火山災害による被害事例が少なく、また被災建物について詳細な調査をした事例も多くないため、各火山現象と建物被害の関係はよく分かっていない部分が多い。

火山災害危険度を精度よく評価するためには、損害区分別被災率は非常に重要であるため、今後の火山災害において建物被害の調査を積み重ね、より多くのデータを蓄積していくことが重要である。

②噴火履歴情報に関する課題

第 2 章でみたように、古い年代の噴火履歴情報の密度が低いため、結果として火山噴火災害危険度を低めに評価してしまう可能性がある。実際、どの火山現象でも全体的には過去に遡って区間をとった方が発生頻度が低い値となる傾向があった。これは、古い時代の火山噴出物が新しい時代の噴出物に覆われてしまうと、その存在を確認したり、存在が確認できた噴出物の広がり（分布）を把握することが難しいという火山災害に特徴的な理由により噴火履歴情報が失われているためと考えられる。特に、小規模噴火の後に大規模噴火が発生すると、小規模噴火の痕跡が消えてしまう、あるいは、2つの噴火の区別がつかなくなるなどの問題点がある。また、火山により、調査研究の実施状況、噴火履歴の調査精度などが異なるため、あまり調査研究の進んでいない火山が存在することも理由の一つとして考えられる。した

がって、火山災害危険度の評価にあたっては、評価の目的に応じた適当な評価対象期間を設定していく必要がある。

噴火履歴情報に関するもう一つの課題としては、噴出物分布が得られていても、噴火の発生時期が定められていないものが存在する点が挙げられる。本研究では、年代が不明の噴火の発生時期を年代が既知の前後の噴火から内挿して設定したが、精度の高い危険度評価のためには、噴火発生時期の精度向上が必要である。

これらの課題については、今後の火山噴火や火山災害に関する調査研究の進展に期待したい。

③危険度評価の対象にすることができなかった火山現象

本研究では、多様な火山現象のうち、火山灰・火砕流・溶岩流・岩屑なだれ・噴石・火口の6つの現象について定量的な危険度評価を行った。その他の土石流・火山泥流、津波、地震などについては、噴出物分布や影響範囲の分布に関する情報がほとんど得られなかったため危険度評価の対象とすることができなかった。火山災害危険度という意味では、それらの火山現象についても考慮することが望ましいため、噴火履歴情報によらない評価手法について検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 損害保険料率算出機構、全国を対象とした火山噴火災害危険度評価に関する研究、地震保険研究 17、2008、http://www.giroj.or.jp/disclosure/q_kenkyu/17.html
- 2) United Nations、The Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR) 2015 (国連世界防災白書 2015)
- 3) 気象庁編、日本活火山総覧 (第 4 版) , 2013. 3
- 4) Goto, Y., Gouchi, N., Matsuda, I., Radiocarbon Dating of the Minamidake Debris-Avalanche Deposit, Shiretoko-izozan Volcano, Eastern Hokkaido, Japan. Bull. Volcanol. Soc. Japan 56 4-5 161-167, 2011
- 5) 勝井義雄・横山泉・岡田弘・高木博, 知床硫黄山-火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策-. 北海道防災会議, 98, 1982
- 6) 宮地直道・中川光弘・吉田真理夫, 羅臼岳火山における最近 2200 年間の噴火史. 火山, 45, 78-85, 2000
- 7) Goto, Y. , A Fallout Tephra from Tenchozan Volcano, Shiretoko Peninsula, Hokkaido, Japan. Bull. Volcanol. Soc. Japan, 56, 137-145, 2011
- 8) 山元孝広・伊藤順一・中川光弘・長谷川健・岸本博志, 北海道東部, 屈斜路・摩周カルデラ噴出物の放射炭素年代値. 地質調査研究報告, 61, 161-170, 2010
- 9) Katsui, Y., Yokoyama, I., Okada, H., Nishida, Y., Matsumoto, Y. and Kawakami, N., Atosanupuri and Mashu (Kamuinupuri) , Its Volcanic Geology, History of Eruption, Present State of Activity and revention of Disasters (Atosa-nupuri Mashu Kamuinupuri Kazan Chishitsu Funkashi Katsudo No Genkyo Oyobi Bosai Taisaku) .Committee for Prevention and Disasters of Hokkai-, 1986
- 10) 岸本博志・長谷川健・中川光弘・和田恵治, 最近約 1 万 4 千年間の摩周火山のテフラ層序と噴火様式. 火山, 54, 14-36, 2009
- 11) 勝井義雄, 阿寒・屈斜路火山群. 地球科学, 39, 19-29, 1958
- 12) 勝井義雄・横山泉・岡田弘・西田泰典・松本佳久・川上則明, アトサヌプリ摩周(カムイヌプリ)-火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策-. 北海道防災会議, 104, 1986
- 13) 町田洋・新井房夫, 新編火山灰アトラス{日本列島とその周辺}. 東京大学出版会, 336p, 2003
- 14) 廣瀬亘・岡崎紀俊・石丸聡・長谷川健・藤原伸也・中川光弘・佐々木寿・佐藤十一・札幌管区気象台・釧路地方気象台, 2006 年(平成 18 年)3 月の雌阿寒岳噴火: 噴火の経過および降灰調査結果. 北海道立地質研究所報告, 78, 37-55, 2007a
- 15) 廣瀬亘・岡崎紀俊・石丸聡・田近淳・高橋浩晃, 2006 年(平成 18 年)3 月の雌阿寒岳噴火で発生した泥流とその堆積物. 北海道立地質研究所報告, 78, 57-81, 2007b
- 16) 気象庁, 雌阿寒岳の 1998 年 11 月 9 日の噴火, 火山噴火予知連絡会会報, 73, 3-5, 1999

- 17) 気象庁札幌管区气象台, 雌阿寒岳の火山活動解説資料(平成 18 年 3 月 22 日), 2006
- 18) 石丸聡・田村慎・廣瀬亘・村山泰司・岡崎紀俊・柴田智郎・中川光弘・吉本充宏・長谷川健・上澤真平・西本潤平・小杉安由美・松本亜希子・馬場彰・佐々木寿・高橋浩晃・一柳昌義・山口照寛・河野裕希・本多亮・笠原稔・札幌管区气象台・釧路地方气象台・網走地方气象台, 2008 年 11 月に噴火した雌阿寒岳の調査報告. 北海道立地質研究所報告, 80, 115-126, 2009
- 19) 南里智之・槇納智裕・米川康・原田憲邦・安藤裕志・山田孝, 十勝岳・富良野川における火山泥流発生履歴に関する研究. 砂防学会誌, 60, 23-30, 2008
- 20) 石塚吉浩・中川光弘・藤原伸也, 十勝岳火山地質図地質調査総合センター, 2010
- 21) 石塚吉浩・高亮・鈴木雄介・小林淳・中野俊, トレンチ調査から見た富士火山北 - 西山腹におけるスコリア丘の噴火年代と全岩化学組成. 地質調査研究報告, 57, 357-376, 2007
- 22) 藤原伸也・石塚吉浩・山崎俊嗣・中川光弘, 十勝岳北西麓で新たに発見された 4,700 年前の火砕流堆積物と十勝岳の完新世の活動の再検. 火山, 54, 253-262, 2009
- 23) 藤原伸也・中川光弘・長谷川撰夫・小松大祐, 北海道中央部, 十勝岳火山の最近 3,300 年間の噴火史. 火山, 52, 253-271, 2007
- 24) 近藤玲介, OSL 年代測定法による北海道北部, 利尻火山における側火山群の形成年代. 駿台史学, 153, 17-36, 2015
- 25) 勝井義雄・横山泉・岡田弘・安孫子勤・武藤晴達, 倶多楽(日和山)-火山地質・噴火史・活動の現況及び防災対策-. 北海道防災会議, 99, 1988
- 26) Goto, Y., Toriguchi, Y., Sasaki, H., Hatakeyama, A., Multiple Vent-forming Phreatic Eruptions after AD 1663 in the Noboribetsu Geothermal Field, Kuttara Volcano, Hokkaido, Japan. Bull. Volcanol. Soc. Japan, 60, 241-249, 2015
- 27) Goto, Y., Sekiguchi, Y., Takahashi, S., Ito, H., Danahara, T., The 18-19 ka Andesitic Explosive Eruption at Usu Volcano, Hokkaido, Japan. Bull. Volcanol. Soc. Japan, 58, 529-541, 2013
- 28) 星住リベカ, 羊蹄火山における最近 2 万年の噴火活動史. 日本第四紀学会講予稿集, 119-120, 2004
- 29) 廣瀬亘・大津直・川上源太郎, 羊蹄火山における完新世側噴火の 14C 年代. 日本地球惑星科学連合大会講演要旨集, V156-P207, 2007
- 30) 上澤真平・中川光弘・草江匡倫, 南西北海道, 羊蹄火山の完新世噴火史の再検討. 火山, 56, 51-63, 2011
- 31) 吉本充宏・宮坂瑞穂・高橋良・中川光弘・吉田邦夫, 北海道駒ヶ岳火山, 噴火活動史の再検討. 地質学雑誌, 114, 336-347, 2008
- 32) 久利美和・栗田敬, 十和田火山二の倉スコリア群の層序区分の再検討-二の倉スコリア期の噴火活動の推移-. 火山, 48, 249-258, 2003

- 33) 工藤崇・佐々木寿, 十和田火山後カルデラ期噴出物の高精度噴火史編年. 地学雑誌, 116, 653-663, 2007
- 34) Hayakawa, Y. , Pyroclastic Geology of Towada Volcano. Bulletin of the Earthquake Research Institute University of Tokyo, 60, 507-592, 1985
- 35) 工藤崇, 十和田火山、御倉山溶岩ドームの形成時期と噴火推移. 火山, 55, 89-107, 2010a
- 36) 広井良美・宮本毅・田中倫久, 十和田火山平安噴火（噴火エピソード A）の噴出物層序及び噴火推移の再検討. 火山, 60, 187-209, 2015
- 37) 町田洋・新井房夫・森脇広, 日本海を渡ってきたテフラ. 科学, 51, 562-569, 1981
- 38) 土井宣夫, 岩手山の地質：火山灰が語る噴火史. 滝沢村文化財調査報告, 234p, 2000
- 39) 伊藤順一・土井宣夫, 岩手火山地質図. 火山地質図. 産総研地質調査総合センター, 13, 2005
- 40) 伊藤順一・土井宣夫・星住英夫・工藤崇・岸本清行, 岩手火山地質データベース. 数値地質図 V-2 (CD-ROM), 産総研地質調査総合センター, 2006
- 41) 藤縄明彦・巖寄正幸・本田恭子・長尾明美・和知剛・林信太郎, 秋田駒ヶ岳火山, 後カルデラ活動期における噴火史：火山体構成噴出物と降下テフラ層の対比. 火山, 49, 333-354, 2004
- 42) 和知剛・土井宣夫・越谷信, 秋田駒ヶ岳のテフラ層序と噴火活動. 火山, 42, 17-34, 1997
- 43) 林信太郎・毛利春治・伴雅雄, 鳥海火山東部に分布する十和田 a 直下の灰色粘土質火山灰. 歴史地震, 16, 99-106, 2000
- 44) Miura, K., Ban, M., and Yagi, H. , The Tephra Layers Distributed around the Eastern Foot of the Zao Volcano -Ages and Volumes of the Za-To1 to 4 Tephra-. Bull. Volcanol. Soc. Japan, 53. 151-157, 2008
- 45) 伴雅雄・及川輝樹・山崎誠子, 火山地質図 18 蔵王火山. 地質調査総合センター, 2015
- 46) 伴雅雄・佐川日和・三浦光太郎・田中勇三, 蔵王山の火山防災マップ. 月刊地球, 27, 317-320, 2005
- 47) 村山磐, 日本の火山 (I). 大明堂, 314p, 1978
- 48) 巨智部忠承 (1896) 蔵王山爆裂調査概報. 地学雑誌, vol. 8, 183-189, 239-244, 285-, 1896
- 49) 山元孝広, 福島県, 吾妻火山の最近 7 千年間の噴火史：吾妻-浄土平火山噴出物の層序とマグマ供給系. 地質学雑誌, 111, 94-11, 2005
- 50) 福島地方気象台, 1977 年の吾妻山の火山活動. 火山噴火予知連絡会会報, 12, 45-47, 1978
- 51) 気象庁, 日本活火山総覧 (第 3 版) . 大蔵省印刷局, 635p, 2005
- 52) 中馬教允・千葉茂樹, 磐梯山・押立溶岩上位の灰色火山灰の 14C 年代-日本の第四紀層の 14C 年代 (153)-. 地球科学, 38, 440-442, 1984
- 53) 千葉茂樹・木村純一, 磐梯火山の地質と火山活動史-火山灰編年法を用いた火山活動の解析-. 岩石鉱物科学, 30, 126-156, 2001

- 54) 奥野充, 古土壌の加速器 14C 年代による噴火年代の推定. 名古屋大学加速器質量分析器業績報告書, 6, 43-53, 1995
- 55) 山元孝広, テフラ層序からみた那須茶臼岳火山の噴火史. 地質学雑誌, 103, 676-691, 1997
- 56) 山元孝広・伴雅雄, 那須火山地質図. 地質調査所, 9, 1997
- 57) 竹本弘幸・久保誠二, 群馬の火山灰. みやま文庫, 180p, 1995
- 58) Soda, T. , Explosive activities of Haruna volcano and their impacts on human life in the sixth century A.D. Geogr. Rep. Tokyo Metropol. Univ. 31, 37-52, 1996
- 59) 下司信夫・竹内圭史, 榛名山地域の地質地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 79p, 2012
- 60) 早田勉, 6 世紀における榛名火山の 2 回の噴火とその災害. 第四紀研究, 27, 297-312, 1989
- 61) 早川由紀夫・中村賢太郎・藤根久・伊藤茂・廣田正史・小林紘一, 榛名山で古墳時代に起こった渋川噴火の理学的年代決定. 群馬大学教育学部紀要自然科学編, 63, 35-39, 2015
- 62) 老川和寛・宮地直道, ニツ岳降下軽石の層序と運搬堆積様式. 関東平野, 2, 63-74, 1985
- 63) 山元孝広, 東北日本、沼沢火山の形成史：噴出物層序、噴出年代及びマグマ噴出量の再検討. 地質調査研究報告, 54, 323-340, 2003
- 64) 新井房夫, 関東地方北西部の縄文時代以降の示標テフラ層. 考古学ジャーナル, 157, 213-221, 1979
- 65) 宮原智哉, 浅間火山 1108 年噴出物における密度と化学組成の変化. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 26, 39-49, 1991
- 66) 早田勉, 第 2 章地形と地質, 第 2 節テフラからさぐる浅間山の活動史. 御代田町誌・自然編, 22-43, 1995
- 67) Aramaki, S. , Geology of Asama Volcano. J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II, 14, 229-443, 1963
- 68) Yasui, M., Koyaguchi, T. , Sequence and eruptive style of the 1783 eruption of Asama Volcano, central Japan: a case study of an andesitic explosive eruption generating fountain-fed lava flow, pumice fall, scoria flow and forming a cone Bull. Volcanol. 66, 243-262, 2004
- 69) 気象庁地震火山部火山課, 浅間山の火山活動-2009 年 1 月～2009 年 5 月-. 火山噴火予知連絡会会報, 103, 27-34, 2010
- 70) 早津賢二, 新瀉焼山火山・早川火砕流の 14C 年代-日本の第四紀層の 14C 年代(79)-. 地球科学, 26, 262-2, 1972
- 71) 早津賢二, 妙高火山群-その地質と活動史. 第一法規, 344, 1985

- 72) 早津賢二, 新潟焼山火山の活動と年代-歴史時代のマグマ噴火を中心として-. 地学雑誌, 103, 149-1, 1994
- 73) 奥野 充・中村俊夫・新井房夫・守屋以智雄, 乗鞍岳火山, 位ヶ原テフラ層の 14C 年代 名古屋大学古川総合研究資料館報告, 11, 109-112, 1995
- 74) 尾関信幸・奥野充・原田暁之・伊藤英之・中村俊夫・片山健, 本州中部, 乗鞍岳火山の最近 1 万年間の噴火活動. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, 8, 165-171, 1997
- 75) 気象庁地震火山部, 御嶽山火山の状況に関する解説情報. 第 4 号, 2014
- 76) 山崎正男・清水智・守屋以智雄, 白山火山大白川岩屑流堆積物. 文部省科学研究費自然災害特別研究成果, 197-199, 1986
- 77) 北原哲郎・堀伸三郎・小川義厚・前川秀和・石田孝司, 新白山火山の層序区分-年代測定結果による検討-. 日本火山学会講演予稿集, 2, 1, 2000
- 78) 東野外志男, 白山火山の歴史時代の活動. 白山火山噴火活動調査報告書. 石川県白山自然保護センター, 93-107, 1991
- 79) 高柳一男・守屋以智雄, 白山火山の火山灰層. 白山火山噴火活動調査報告書, 石川県白山自然保護センター, 75-92, 1991
- 80) 山元孝広・石塚吉浩・高田亮 (2007) 富士火山南西山麓の地表及び地下地質: 噴出物の新層序と化学組成変化. 荒牧重雄・藤井敏嗣・中田節也・宮地直道編, 富士火山. 山梨県環境科学研究所, 97-118, 2007
- 81) 山元孝広, 富士火山南西部の地質. 地質調査総合センター研究資料集, 606, 1-27, 2014
- 82) 高田亮・山元孝広・石塚吉浩・中野俊, 富士山火山地質図. 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2016
- 83) 笠間友博・山下浩之・萬年一鋼・奥野充・中村俊夫, 複数回の噴火で形成された箱根火山二子山溶岩ドーム. 地質学雑誌, 116, 229-232, 2010
- 84) 袴田和夫・杉山茂夫, 箱根町湯本茶屋で出現した信濃屋火砕流と 14C 年代. 神奈川自然誌資料, 16, 51-52, 1994
- 85) 町田洋, 南関東のテフロクロロジー(1)-下末吉期以降のテフラの起源および層序と年代について-. 第四紀研究, 10, 1-20, 1971
- 86) 長井雅史・高橋正樹, 箱根火山の地質と形成史. 神奈川博調査研報(自然), 13, 25-42, 2008
- 87) 気象庁地震火山部, 箱根山の火山活動解説資料(平成 27 年 6 月 30 日), 2015
- 88) 山元孝広, 1/20 万「白河」図幅地域の第四紀火山: 層序及び放射年代値に関する新知見. 地質調査研究報告, 57, 17-28, 2006
- 89) 池辺伸一郎・藤岡美寿夫, 文化十三年(1816)の阿蘇『湯の谷大変』-古文書・絵図資料による水蒸気爆発記録-. 火山, 46, 147-163, 2001
- 90) 筒井正明・奥野充・小林哲夫, 霧島・御鉢火山の噴火史. 火山, 52, 1-21, 2007
- 91) 下司信夫・宝田晋治・筒井正明・森健彦・小林哲夫, 霧島火山新燃岳 2008 年 8 月 22 日噴火の噴出物. 火山, 55, 53-64, 2010

- 92) Nakada, S., Kobayashi, T., JMA, VAAC, Kirishima (Japan) Large eruption of Shinmoe-dake begins in January 2011. Bulletin of the GlobalVolcanism Network, 35, 12, 2-4, 2010
- 93) 気象庁, 平成 24 年地震火山月報(防災編), 2012
- 94) 前野深・谷口宏充, 薩摩硫黄島におけるカルデラ形成期以降の噴火史. 火山, 5071-85, 2005
- 95) 奥野充, 南九州の第四紀末テフラの速器 14C 年代, 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(VII), 89-109, 1996
- 96) 奥野充, 南九州に分布する最近約 3 万年間のテフラの年代学的研究. 第四紀研究, 41, 225-236, 2002
- 97) 下司信夫・小林哲夫, 口永良部島火山の火山地形と地質. 火山, 51, 1-20, 2006
- 98) 内閣府(防災担当)、災害に係る住家の被害認定基準運用指針、
<http://www.bousai.go.jp/taisaku/pdf/shishinall.pdf>
- 99) 内閣府(防災担当)、災害に係る住家の被害認定基準運用指針 参考資料(損傷程度の提示)、
<http://www.bousai.go.jp/taisaku/pdf/jirei-1t.pdf>
- 100) 内閣府(防災担当)、活火山における退避壕等の充実に向けた手引き、
http://www.bousai.go.jp/kazan/shiryo/pdf/201512_hinan_tebiki3.pdf
- 101) 中央防災会議災害教訓の継承に関する専門調査会、災害教訓の継承に関する専門調査会報告書 1914 桜島噴火、
http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1914-sakurajimaFUNKA/pdf/05_chap02.pdf
- 102) 常松佳恵, ゴメス クリストファー, レベッカ フィッツジェラルド, ベン ケネディー, 山岡耕春 (2017) Features of Numerical Model "Ballista"; the Ballistic Simulator of Explosive Volcanic Eruption, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会(千葉)
- 103) 駒ヶ岳火山防災会議協議会、北海道駒ヶ岳、
<http://www.town.hokkaido-mori.lg.jp/docs/2015030900013/files/kanmatushiryo.pdf>
- 104) 損害保険料率算定会、地震保険調査研究 42 火山災害の研究、1997
- 105) 内閣府(防災担当)、火山防災マップ作成指針、
http://www.bousai.go.jp/kazan/shiryo/pdf/20130404_mapshishin.pdf
- 106) Tsunematsu K, Ishimine Y, Kaneko T, Yoshimoto M, Fujii T and Yamaoka K, Estimation of ballistic block landing energy during 2014 Mount Ontake eruption, Earth, Planets and Space, 68:88, 2016, DOI: 10.1186/s40623-016-0463-8
- 107) 立山 耕平・成田啓司郎・山田浩之・奥矢 恵・吉本充宏(2017) 噴石衝突に対する木造建築物屋根の安全性. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SVC49-12.

- 108) Sato M, Yamada H, Ogasawara N, Kitajima T and Yui A, Collision Test of Abrasive Projectile Against Steel Sheet by Using Large Scale Launching System, 10th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 062, 1-6, 2015
- 109) 佐々木 寿・向山 栄, 高分解能衛星画像を用いた浅間山2004年9月1日噴火の噴石着弾痕分布図. 火山, 51, 63-73, 2006
- 110) Fitzgerald RH, Tsunematsu K, Kennedy BM, Breard ECP, Lube G, Wilson TM, Jolly AD, Pawson J, Rosenberg MD, Cronin SJ (2014) The application of a calibrated 3D ballistic trajectory model to ballistic hazard assessments at Upper Te Maari, Tongariro. J Volcanol Geotherm Res, 286, 248-262.
- 111) 気象庁, 降灰予報の高度化に向けた検討会, 第1回検討会参考資料2, <http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kouhai/kentokai/1st/sankou2.pdf>
- 112) 広域的な火山防災対策に係る検討会, 大規模火山災害対策への提言 参考資料, http://www.bousai.go.jp/kazan/kouikibousai/pdf/20130516_teigen_sanko.pdf
- 113) 富士山ハザードマップ検討委員会, 富士山ハザードマップ検討委員会第4回活用部会資料, <http://www.bousai.go.jp/kazan/fujisan-kyougikai/report/pdf/houkokusyo7.pdf>
- 114) 国会等移転審議会：国会等移転審議54会答申, 1999. 12.
- 115) 河辺 賢・久下康太朗・堀江 啓, 噴火リスク評価手法の提案(その1) 工場建屋を対象とした降灰被害関数の構築, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 67-68, 2016
- 116) Valentine GA, Damage to structures by pyroclastic flows and surges, inferred from nuclear weapons effects, Journal of Volcanology and Geothermal Research 87 (1), 117-140, 1998
- 117) 産業技術総合研究所安全科学研究部門爆発安全研究グループ, 爆風被害予測プログラム, <http://explosion-safety.db.aist.go.jp/damage.html>
- 118) 津久井雅志・川辺禎久・新堀賢志, 三宅島火山地質図, 2005
- 119) 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 1万年噴火イベントデータ集, <https://gbank.gsj.jp/volcano/eruption/>
- 120) Garcia-Aristizabal A, Marzocchi W, Fujita E, A Brownian model for recurrent volcanic eruptions: an application to Miyakejima volcano (Japan), Bulletin of Volcanology, 74, 545-558, 2012
- 121) 小山真人, 伊豆の大地の物語. 静岡新聞社, 303p, 2010a
- 122) 小山真人, 火山がつくった天城の風景-伊豆東部火山群(南西部)のジオマップ-. 伊豆新聞本社, 変形A2版, 2010b

123) 富士見市立市民総合体育館屋根崩落事故調査委員会, 富士見市立民総合体育館屋根崩落事故報告書

<http://www.city.fujimi.saitama.jp/40shisei/04gyouseizaisei/shingikai/files/tyousa-tosin.pdf>

謝辞

本研究を実施するにあたり、高橋徹教授（千葉大学工学部）および IAVCEI2017（国際火山学地球内部化学協会学術総会 2017）参加者の方々に技術的助言をいただきました。また、内閣府や気象庁等の資料を使用させていただきました。

ここに記して謝意を表します。