

火山災害の被災想定分析と防災指針の提案

— 大分県別府市を対象として —

Estimation of Volcanic Disaster Damage and Proposal of Disaster Prevention Guidelines

-Case study on Beppu city, Oita prefecture-

○岩野 雄輝*¹ 小林 祐司*² 鶴成 悦久*³

Yuki IWANO*¹ Yuji KOBAYASHI*² and Yoshihisa TSURUNARI*³

*1 大分大学大学院工学研究科博士前期課程 大学院生

Graduate Student, Master's Course, Graduate School of Eng., Oita Univ.

*2 大分大学理工学部創生工学科 教授 博士（工学）

Prof., Dept. of Innov. Eng., Fac. of Sci. and Technol., Oita Univ., Dr.Eng.

*3 大分大学減災・復興デザイン教育研究センター 教授 博士（学術）

Prof., Ctr. for Educ. and Res. of Disaster Risk Reduction and Redesign, Oita Univ., Ph.D.

Summary: In Beppu City, Oita Prefecture, Mt. Tsurumi and Mt. Garandake, where the eruption alert level has been operating, are located. Beppu City is considering the “Location Normalization Plan”, and there is an issue regarding the positioning of volcanic disasters in the disaster prevention guidelines in that plan. In this study, firstly, the position of volcanic disaster prevention in the City Planning Operational Guideline is organized, and the damage assumptions under population decline are tabulated. Then, based on this damage assumption, the ideal way of disaster prevention guidelines is proposed.

Volcanic disasters are difficult to predict and can be long-term disasters. Therefore, the scale of the eruption was divided into three stages, and a scenario for a volcanic disaster were made, estimated damage scale were simulated. In addition, he showed a picture of the volcanic hazard area and the residential guidance area defined by Beppu City and suggested that it is necessary to remove the hazard area and the covered area from the residential guidance area in the long term. Finally, a disaster prevention guideline in the Location Normalization Plan of Beppu City was proposed in consideration of volcanic disaster prevention.

キーワード: 防災; 火山; 交通

Keywords: Disaster prevention; volcano; traffic.

1. 研究の背景と目的

日本は全国で活火山が 111 ある火山大国であり、世界の活火山の約 7%を有する。そのなかで九州地方には 17 の活火山があり、令和元年 12 月 28 日には鹿児島県の諏訪之瀬島において噴石を伴う爆発的な噴火が発生した。火山防災を扱った研究について、廣谷¹⁾は、作成した噴火シナリオやハザードマップから、広域防災の重要性、周辺住民だけでなく自治体の枠を超えて多くの人々にハザードマップの内容を理解してもらうことの必要性があることを明らかにした。田島²⁾は、広域防災対策では、行政の垣根を超える現象に対応を行う必要があり、行政組織を横断する検討の仕組みが不可欠であることを考察している。山田³⁾は、火山噴火の経験が地域防災計画に影響していることを明らかにしている。一方で、火山防災は事例が少なく、災害のイメージがしづらいため、都

市計画行政に反映するのが難しいといえる。地震や津波、洪水等だけでなく多様な災害に備えることが必要とされるなか、特に別府市においては、観光都市として火山防災に取り組みながら、日常の生活と観光産業をバランスよく取り組んでいく必要がある。本研究で対象とする大分県別府市 (Figure1) は、鶴見岳と伽藍岳の 2 つの活火山を有しており、噴火の危険性だけでなく、マグマの動きや熱水の活動等に関連して火山体のなかやその周辺で「火山性地震」が発生するなどの火山災害リスクがある。鶴見岳・伽藍岳は過去に噴火した事例が少なく、市民においては火山防災に対する認識は低いのが現状である。予知がしづらいため、一度噴火すると収束が難航し、中長期的な対策が必要となる。この中長期的な時間軸と、将来人口が減少していく時間軸を考慮した被害規模が具体的に明らかにされていない。

本研究では、都市計画運用指針と火山防災との関連性の整理を行い、将来的に人口減少が想定される別府と火山（鶴見岳・伽藍岳）のハザードマップを比較して被災想定を定量的に検討する。まず、都市計画運用指針と火山防災の関係性を把握し、都市計画運用指針をもとに火山防災に関連することができる箇所を抽出し、課題や提案等をまとめる。次に、予測が難しく長期的で広域的な被害をもたらす火山災害は、時間軸を設けたリスクの把握が必要であることからシナリオ作成を行う。そして、将来を見据えたシナリオから、別府市が立地適正化計画の中で示すこととなる防災指針における火山防災の位置付けの検討を行う。最後に、火山防災を考慮した、別府市の立地適正化計画における防災指針のあり方の提案を行うことを目的とする。



Figure1. 別府市と道路ネットワーク⁴⁾

2. 対象地域について

研究対象地の大分県別府市は、大分県東部に位置しており、人口 114,992 人（令和 2 年 12 月）面積 125.3km²（東西 13km、南北 14km）となっている。総源泉数は日本の約 1 割を占める 2,291 箇所を有し、湧出量 87,390L/分（平成 31 年）で日本最多である。国際観光温泉文化都市として年間 8,335,773 人（令和元年）もの観光客が訪れる⁵⁾。活火山による恩恵を存分に有効活用してきた別府市であるが、火山防災の視点からみると都市の脆弱性が懸念される。本研究で対象とする鶴見岳・伽藍岳は別府市街地の西部に位置する活火山であり、標高はそれぞれ鶴見岳が 1,374m、伽藍岳が 1,045m である。別府市は火山噴火による二次的な流動現象の安山岩等の堆積物で形成された土地で、鶴見岳・伽藍岳の山嶺に広がる扇状地特有の地形を有している。記録されている噴火活動について、鶴見岳は約 7,300 年前、伽藍岳は約 1,200 年前に噴火が発生している⁶⁾。現在でも噴火活動は継続しており、気象庁が監視・観測を続けている。

3. 都市計画運用指針と噴火シナリオの作成について

「都市計画運用指針」とは社会経済状況の変化を踏まえつつ、都市の抱える諸課題を個別に取り上げ、都市計画

的視点からみた対応の基本的な考え方を明示することにより、各地方公共団体が目指すべき都市像を実現するための取り組みを支援するものである⁷⁾。

都市計画運用指針第 11 版内の防災に関してまとめられている要項をみると、「機能的で安全な都市構造を確保するため、立地適正化計画においては災害リスクを踏まえて居住や都市機能を誘導する地域の設定を行い、区域内に浸水想定区域等の災害ハザードエリアが残存する場合には適切な防災・減災対策を防災指針として位置付けることが必要である。」（運用指針IV-1-2 の(1)）とされている。そこで、防災指針についてみると、「様々な災害のうち、洪水、雨水出水、津波、高潮による浸水エリアは広範囲に及び、既に市街地が形成されていることも多いことから、この範囲を居住誘導区域から全て除くことは現実的に困難であることも想定される。」（運用指針IV-1-3-3 の(6)）とあるが、浸水エリアだけでなく、火山災害エリアも広範囲に及ぶことについては触れられていない。これは火山災害の事例が少なく、火山災害エリアの想定がしづらいためと考えられる。都市計画運用指針内で火山防災がどうあるべきか位置づけるためには、まず、火山災害エリアを規模別に段階を分けて構成し、対策を講じるべきである。超長期的な対策が必要な火山災害に対し、ハザードマップに時間軸を組み込み、規模を段階的に考慮することが必要と考えられる。

火山災害に時間軸を与えて被災想定を算出するために、噴火シナリオを作成する。噴火シナリオを中村⁸⁾は噴火イベントツリーと呼称し、「噴火イベントツリーとは対象火山で可能性の高い噴火様式や規模などを想定して、時系列的に予測される火山現象(イベント)を抽出して、系統樹(ツリー)構造で示したものである。活動推移のある時点で予測されるのは、発生頻度は高いが災害規模は小さいの現象や、頻度は低いが大規模災害となる現象がある。海外の火山国での導入実績から、噴火イベントツリーの作成が効果的な防災対応の一つとされている。」と説明している。2014 年の御嶽山の噴火によって「活動火山対策特別措置法」が改正され、指定された火山において火山防災協議会の設置と火山ハザードマップ、噴火シナリオの作成が義務化された。現在、鶴見岳・伽藍岳の火山ハザードマップと噴火シナリオは既に作成されているが、その被災想定規模を段階的に示したものは存在しない。

噴火イベントツリーを作成するにあたって、本研究では那須岳火山噴火緊急減災対策砂防計画⁹⁾を参考にした。那須火山群は栃木県と福島県の境に位置する第四紀の火山群であり、そのなかでも茶臼岳は現在も常時激しい噴気活動を行っており、有史以来何回かの噴火記録がある。鶴見岳・伽藍岳で想定されるすべての噴火ケースを抽出すると那須岳の噴火は四段階に区分されている (Table1)。

Table1. 噴火ケース

1	数十年に一回程度のごく小規模な噴火
2	数百年に一回程度の小規模な噴火
3	数千年に一回程度のブルカノ式噴火
4	数万年に一回程度の大規模ブルカノ式噴火

この噴火イベントツリーを参考として、火山防災が時系列的かつ噴火現象ごとに対応が必要であることを明らかにするために、ここでは、地球物理学や地球科学的な推測などは考慮せず、鶴見岳・伽藍岳火山噴火緊急減災対策砂防計画に基づいて定性的に作成した鶴見岳・伽藍岳の噴火イベントツリーを Figure2 に示す。過去の噴火履歴は鶴見岳が約 7,300 年前、伽藍岳が約 1,200 年前となっているため、数万年に一回の規模の噴火が発生する確率は低いものとして扱う。よって、本研究での被災想定は数十年に一回の規模、数百年に一回の規模の 2 つと数千年に一回の規模と数万年に一回の規模をまとめた 1 つを合わせた 3 段階で検討する。また、噴火に伴う現象は鶴見岳・伽藍岳ハザードマップ（2016 年作成）と 2006 年に作成された鶴見岳・伽藍岳ハザードマップを用いることとする。

4. 火山災害の被災想定について

作成した噴火イベントツリーをもとに、被災想定規模を 3 段階に分けた鶴見岳・伽藍岳ハザードマップを作成

した (Figure3~5)。規模ごとの構成は那須岳のイベントツリーと同様とし、土石流・火砕流・火砕サージ・溶岩流は現在公開されている鶴見岳・伽藍岳ハザードマップ（2016 年作成）と 2006 年に作成された鶴見岳・伽藍岳ハザードマップを用いた。数十年に一回の規模の噴火から段階ごとに 2015 年~2045 年における被災想定を検討する。また、将来人口については国立社会保障・人口問題研究所による将来人口推計を用いた¹⁰⁾。算出した被災総計、高齢者の被災数、被災割合は推定値であることに留意する。また、被災総計の別府市全体の人口に対する比率を被災割合（被災総計）、高齢者の被災数の別府市全体の人口に対する比率を被災割合（高齢者）とする (Table3~5)。被災想定において被災人数の想定を行なっているが、これは人口減少と少子高齢化が並行して推移していくなかで被災想定がどう変化していくかをみるためであり、総合的な防災・減災対策を進めるために建物だけでなく、人的被害をとらえる必要があるため、このような分析としている。

4.1 数十年に一回の規模の噴火による被災想定

数十年に一回の規模の噴火による被災想定を Figure3 に示す。構成は噴石・火砕流・火砕サージ（噴火口距離 1km）、土石流（現ハザードマップ）、降灰（噴火口距離 5km）とする。将来の人口減少とともに被災人口と被災割合は減少している (Table2)。一見高齢者の被災数は減少しているように見えるが、被災割合（高齢者の被災数）は減少していない。高齢者の被災数は 2045 年を除き、1 万人以上と想定される。

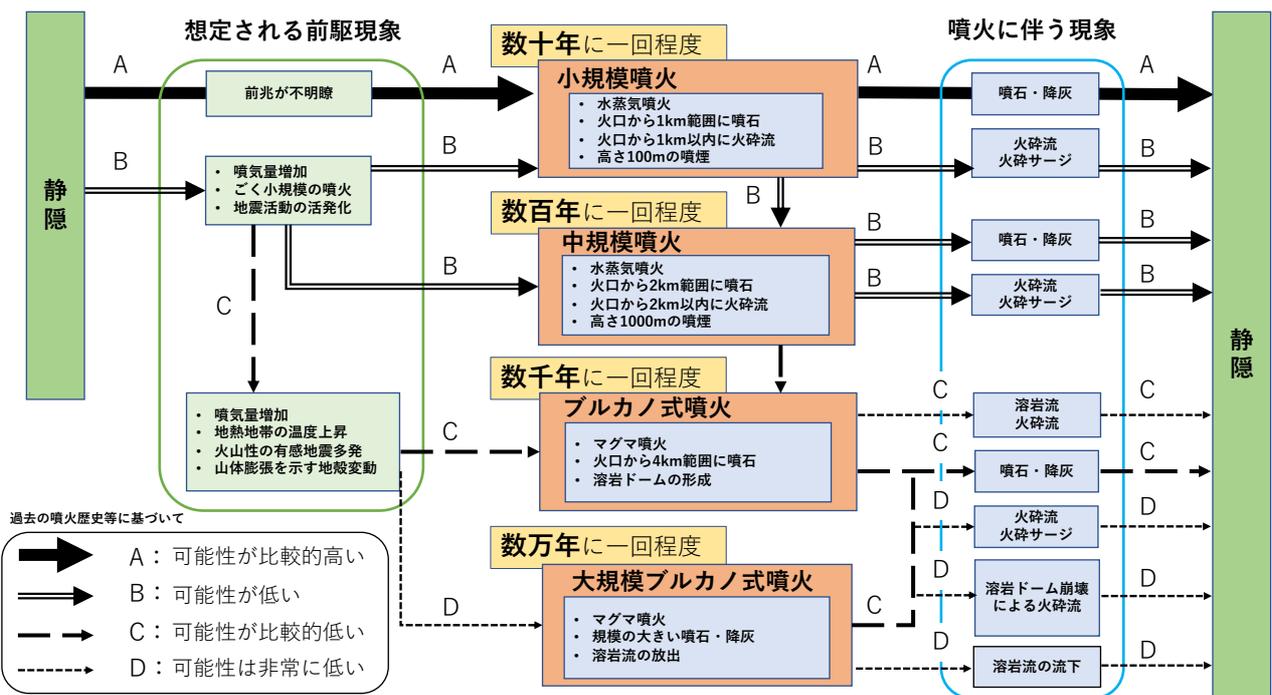


Figure2. 鶴見岳・伽藍岳噴火イベントツリー

4.2 数百年に一回の規模の噴火による被災想定

数百年に一回の規模の噴火による被災想定を Figure4 に示す。構成は噴石（噴火口距離 2km）・火砕流・火砕サージ（旧ハザードマップ：2006 年），土石流（旧ハザードマップ：2006 年），降灰 10cm（噴火口距離約 10km）とする。降灰 10cm の被害は市域全域に及ぶため，被災想定を算出するうえで今回は考慮していない。Table3 より，将来の人口減少とともに被災人口と被災割合（被災総計）は減少している。しかし，被災割合（高齢者の被災者数）は Table2 と同様に減少していない。Table2 と比べると，

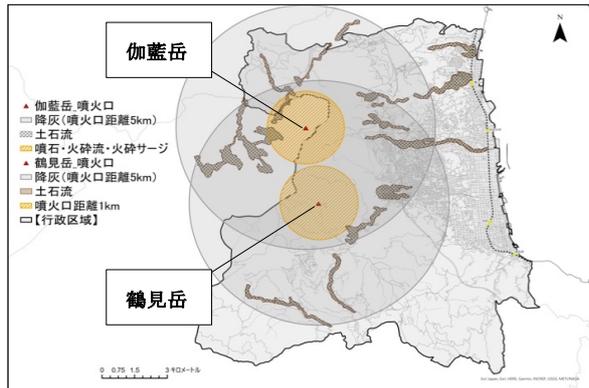


Figure3. 数十年に一回の規模の噴火による被災想定

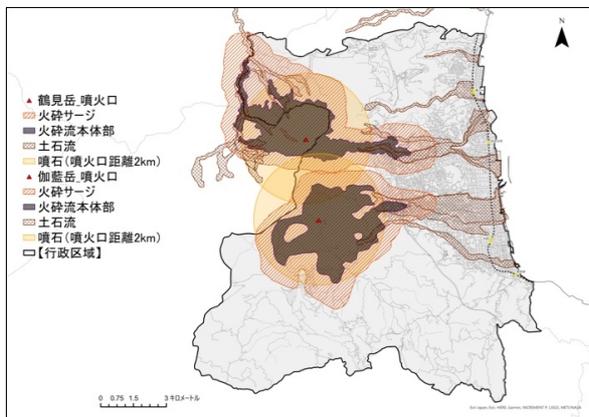


Figure4. 数百年に一回の規模の噴火による被災想定

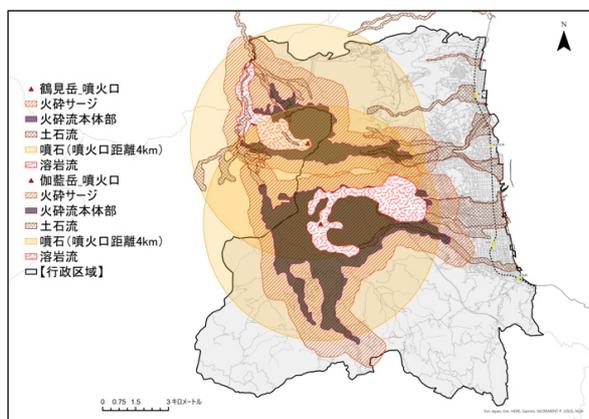


Figure5. 数千年に一回の規模の噴火による被災想定

いずれの値も約 1.5 倍増加しており，被災割合（被災総計）は約 40～46%と高い割合になっている。市区域全体に及ぶ降灰 10cm の被害があることも考慮した場合，壊滅的な被害が想定される。

4.3 数千・数万年に一回の規模の噴火による被災想定

数千・数万年に一回に規模の噴火による被災想定を Figure5 に示す。構成は噴石（噴火口距離 4km），土石流（旧ハザードマップ），火砕流・火砕サージ・溶岩流（現ハザードマップ），降灰 10, 20, 30cm とする。降灰 10cm の被害は数十年に一回の規模と同様に市区域全域に及ぶため，被災想定を算出するうえで今回は考慮していない。

Table4 より，いずれの年でも被災割合が 8 割を超えていることから，市区域全体に被害が出るのが明らかである。いずれの値も被災総計，被災割合（被災総計）が人口減少とともに減少傾向にあるのはどの規模でも同じであると考えられる。しかし，別府市全体の人口に対する被災者数（高齢者）の比率は同様の減少傾向がみられなかった。

4.4 小括

数十年に一回，数百年に一回，数千・数万年に一回の 3 段階に分けて被災想定を算出した。今回考慮しなかつ

Table2. 被災想定（数十年に一回の規模の噴火）

	被災者数（人）		被災割合（%）	
	被災総計（別府市全体）	高齢者の被災者数	被災総計	高齢者の被災者数
2015年	36,368 (122,151)	11,622	29.77%	9.51%
2020年	35,002 (118,206)	12,262	29.61%	10.37%
2025年	33,154 (113,623)	12,147	29.17%	10.69%
2030年	30,896 (108,862)	11,551	28.38%	10.61%
2035年	28,444 (103,969)	10,899	27.35%	10.48%
2040年	25,775 (99,082)	10,318	26.01%	10.41%
2045年	23,088 (94,385)	9,635	24.46%	10.21%

Table3. 被災想定（数百年に一回の規模の噴火）

	被災者数（人）		被災割合	
	被災総計（別府市全体）	高齢者の被災者数	被災総計	高齢者の被災者数
2015年	56,506 (122,151)	18,130	46.25%	14.84%
2020年	54,515 (118,206)	18,623	46.11%	15.75%
2025年	51,821 (113,623)	18,064	45.60%	15.89%
2030年	48,463 (108,862)	17,061	44.51%	15.67%
2035年	44,941 (103,969)	16,074	43.22%	15.45%
2040年	41,143 (99,082)	15,381	41.52%	15.52%
2045年	37,285 (94,385)	14,498	39.50%	15.36%

Table4. 被災想定（数千年に一回の規模の噴火）

	被災者数（人）		被災割合	
	被災総計（別府市全体）	高齢者の被災者数	被災総計	高齢者の被災者数
2015年	113,278 (122,151)	36,556	92.73%	29.92%
2020年	110,398 (118,206)	38,117	93.39%	32.24%
2025年	105,767 (113,623)	37,397	93.08%	32.91%
2030年	99,470 (108,862)	35,400	91.37%	32.51%
2035年	92,673 (103,969)	33,371	89.13%	32.09%
2040年	85,335 (99,082)	31,706	86.12%	31.99%
2045年	77,849 (94,385)	29,750	82.48%	31.51%

た降灰が 10cm 積もった場合には、道路通行不能や鉄道運行停止などインフラに大きなダメージを与える¹¹⁾。したがって、噴火した際の被害想定は今回算出した結果より大きく、市区域全体に及ぶと考えられる。噴火の規模が変わるとハザードエリアが変化し、被災想定が大きくなることから、火山災害へ対処を講じる際には段階的に時間軸を入れた検討が必要であると考えられる。

5. 災害対応を視野に入れた防災指針の提案

5.1 火山災害と居住誘導区域

立地適正化計画で定められる居住誘導区域は、「災害リスクの現状及び上来の見通しを勘案しつつ、居住誘導区域外にわたる良好な居住環境を確保し、地域における公共投資や公共施設の維持運営などの都市経営が効率的に行われるよう定めるべきである。」【都市計画運用指針、(3) 居住誘導区域、① 基本的な考え方、p.39 より引用】とある。

発生する可能性の比較的高い「数十年に一回の規模の噴火」のハザードエリアと別府市が定める居住誘導区域¹²⁾を重ねて表示した絵を Figure6 (鶴見岳)、Figure7 (伽藍岳) に示す。降灰(噴火口距離 5km) と土石流の影響

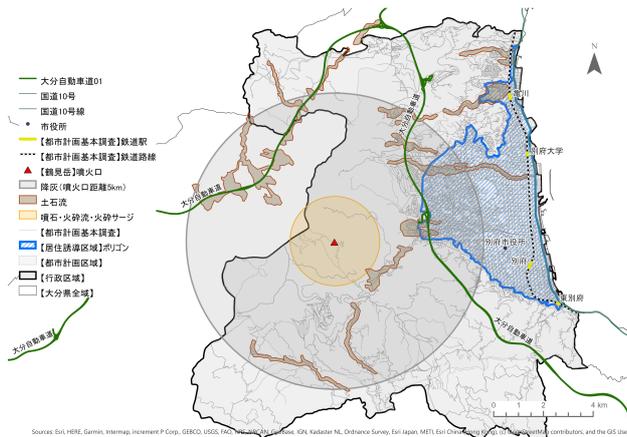


Figure6. 鶴見岳と居住誘導区域⁴⁾

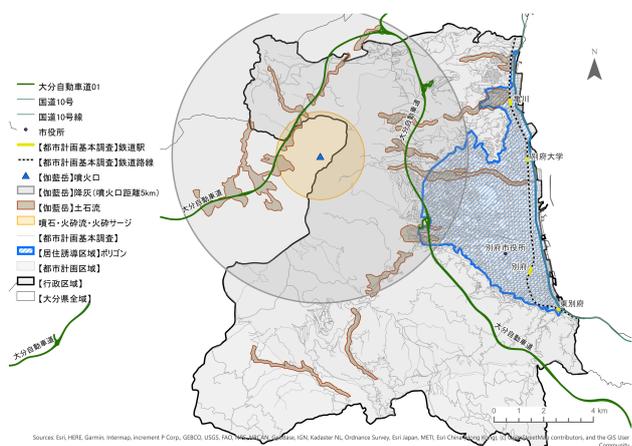


Figure7. 伽藍岳と居住誘導区域⁴⁾

が居住誘導区域まで及ぶことが想定される (Figure6,7)。

居住誘導区域では、災害リスクの高いエリアは避ける必要がある。全ての災害リスクから避けた区域の設定は現実的ではないため、災害発生率や想定被害規模などを考慮して定めるべきである。さらに、居住誘導区域内での災害が発生した場合、避難所や避難路の設定が必要であり、火山災害においては、地形改変等による居住地の喪失の可能性もある。よって、ハザードエリアから居住誘導区域に住宅または施設を移転が必要であるとするとともに、長期的に居住誘導区域からハザードエリアと被っているエリアを外す必要がある。

5.2 火山防災を考慮した防災指針の提案

立地適正化計画における防災指針の基本的な考えは、「防災指針は、居住や都市機能の誘導を図る上で必要となる都市の防災に関する機能の確保を図るための指針であり、当該指針に基づく具体的な取組と併せて立地適正化計画に定めるものである。」(都市計画運用指針より引用)である。立地適正化計画は、20年後の将来に向けた計画であり、5年ごとに見直しが行われる。その間にハザード情報に変更があれば、随時検討される。火山災害はいつ発生するか不明であり、立地適正化計画で想定している目標年次(2040年)までの20年以内に発生する可能性もある。

近年、市街地に影響を及ぼした噴火災害としては雲仙・普賢岳(島原市)と有珠山(壮瞥町)の噴火災害がある。そのなかで、島原市の地域防災計画¹³⁾では特定災害応急対策計画として、災害対策本部の設置・運営から情報の収集・伝達、避難対策などが検討されている。壮瞥町の地域防災計画¹⁴⁾では火山災害対策計画として、火山現象に関する情報等の収集・伝達計画から避難体制整備、防災訓練計画などが検討されている。一方で、都市計画については島原市が都市計画マスタープランを有しているが、立地適正化計画は策定されておらず、防災については書かれているものの、昨今求められる防災指針については触れられていない。

そこで、防災指針における火山防災の位置づけ・検討方法の提案を Figure8 に示す。災害リスクを踏まえた上で、今後20年後を目標として災害リスクをできるだけ、回避あるいは低減することを掲げている。そのため適宜検討を重ね更新していくことが可能である。火山災害においては、前章で取り上げたシナリオのなかで[数十年に1回程度の噴火規模]の小規模災害が立地適正化計画の期間に定まるものである。

人口減少がどのような形で推移し、どのくらいの被災想定がされるのか把握した上で、ひとつひとつのシナリオごとに提示することが必要となってくる。こうした細かな対策を行うためには、まず Figure8 で示すようなフ

ローで将来の人口推移、高齢化、被災想定算出、避難時の課題を示すことが必要である。

段階的な手段を取り入れた防災指針を示すことで、火山災害における噴火シナリオに沿った対応策を検討することが可能である。まず、起こりうる可能性が高いものから順に、災害時の被災想定や避難計画、行政などの連携強化、訓練等を積み上げていき、課題を改善しながら検討や対策を行い、防災指針を更新するような形で持続的に定めていくことが現実的である。このようなプロセスを経ることで、結果的に火山防災の意識向上に資するものと考えられる。

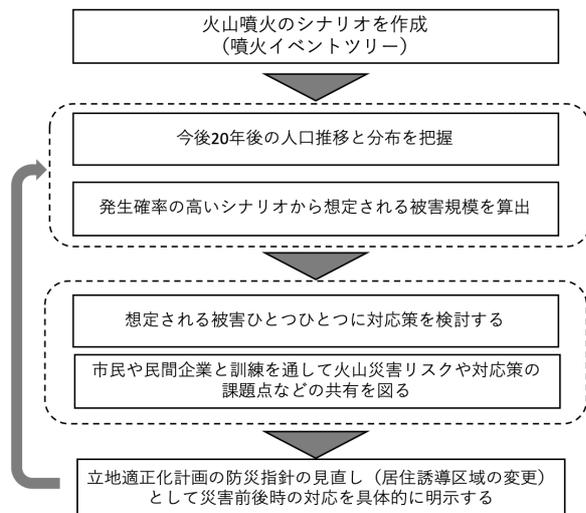


Figure8. 防災指針における火山防災の位置付けの提案

6. 総括

本研究では、立地適正化計画の防災指針において、火山防災の位置づけの課題を有している鶴見岳・伽藍岳を対象に、都市計画運用指針と火山防災との関連性の整理を行い、火山災害の規模を段階的に分け、被災想定を定量的に把握し、想定される被害の対応策を事前に検討しておく、すなわち災害対応の必要性を明らかにした。最後に、防災指針における火山防災の位置付けの提案を行った。

今後の課題として、火山災害は広域的で甚大な被害となりうるため、都市計画運用指針などの都市計画の見直しや改訂が必要である。また、土地利用だけでなく、交通ネットワークの課題も考慮しながら防災指針を検討・改定していき、都市機能や居住機能のあり方を示していく必要がある。さらには、地震や津波、洪水等が中心になりがちであるが、多様な災害に備えた防災指針のあり方を地域特性に応じて策定していくことが求められる。

[参考文献]

1) 廣谷志徳:火山防災対策のための噴火シナリオ・火山ハザ

- ードマップの作成, 日本火山学会講演予稿集, p.9, 2018
- 2) 田島靖久:火山ハザードマップと噴火シナリオが火山防災対策に果たす役割, 火山, 62巻, 2号, pp. 61-82, 2017
 - 3) 山田忠:火山噴火の経験が市町村の地域防災計画における火山災害対策に与える影響 -九州地方の事例として-, 土木学会論文集(安全問題), vol73, No.1, pp. 71-81, 2017
 - 4) 国土数値情報ダウンロードサービス
<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/cohort-v2> (2021.2.3 最終閲覧)
 - 5) 別府市ホームページ
<https://www.city.beppu.oita.jp> (2021.1.27 最終閲覧)
 - 6) 国土交通省気省庁:鶴見岳・伽藍岳
https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/fukuoka/513_Tsurumidake_Garandake/513_index.html
 - 7) 国土交通省:都市計画運用指針第11版(2020.9.7一部改正)
https://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/content/001362301.pdf (2021.01.22 最終閲覧)
 - 8) 中村洋一:噴火イベントツリー, 火山災害リスク評価を活用した火山防災, 季刊消防科学(消防科学と情報) No.102, pp.27-32, 2010.10.31
https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=201002240878510384 (2021.2.7 最終閲覧)
 - 9) 那須岳火山噴火緊急減災対策砂防計画
<https://www.ktr.mlit.go.jp/nikko/nikko00169.html> (2021.1.18 最終閲覧)
 - 10) 国立社会保障・人口問題研究所:日本の将来人口
http://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2017/pp_zenkoku2017.asp (2021.1.27 最終閲覧)
 - 11) 大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ:降灰による閾値の考え方(2012.4)
<http://www.bousai.go.jp/kazan/kouikikouhaiworking/index.html> (2021.1.29 最終閲覧)
 - 12) 別府市立地適正化計画(2021.3公表)
https://www.city.beppu.oita.jp/seikatu/sumai_tosi/tosi_keikan/ricchitekiseika.html (2021.9.25 最終閲覧)
 - 13) 島原市地域防災計画(2021改訂)
https://www.city.beppu.oita.jp/seikatu/sumai_tosi/tosi_keikan/ricchitekiseika.html (2021.9.25 最終閲覧)
 - 14) 壮瞥町地域防災計画(2016公表)
https://www.town.sobetsu.lg.jp/chosei/gyosei/pdf/seisaku/bousai/H28_chiikibosai_keikaku.pdf (2021.9.25 最終閲覧)