

富士山噴火時の広域降灰状況下における 水道被害のリスク分析

前川 凜・神場 千穂・高木 裕太
(アドバイザー教員：上田啓瑚様、庄司学先生)

1. はじめに

我が国には、世界の活火山の約7%に相当する111の活火山が存在する[1-1]。活火山とは、「概ね過去1万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山[1-2]」である。富士山も活火山であり、将来大規模噴火の可能性がある為、噴火時の被害予測に対する重要性が高まっている。これに対応し、富士山ハザードマップも2021年に改定が行われ、最新知見が反映された。

噴火が発生した際に様々な被害が生じることが想定されているが、とりわけ降灰による被害は広範囲の人々に影響を与える。実際に1707年の富士山の宝永噴火や、1914年の桜島の大正噴火では、大量の火山灰等を放出し、広い範囲に火山灰を堆積させた噴火が幾度も発生している。

そこで、本研究では降灰による被害の中で特にインフラ・ライフラインの被害に着目して研究を行うこととする。具体的には、水道施設の降灰による物理的並びに機能的な影響について内閣府や水道局等の資料に基づいて明らかにした上で、富士山火山防災対策協議会により想定されている富士山噴火時の水道施設の被害の問題をケーススタディーとしてとりあげ、我が国がかかえる水道施設の火山噴火時の降灰リスクについて水供給を受ける給水人口や給水エリアの暴露度の観点から考察を行う。

2. 既往研究・事例のレビュー

過去の噴火による被害や、過去の水道被害が生じた災害について述べる。

(1) 過去の噴火被害に関する既往研究

Catherin Annenら[2-1]は、1990年代の10年間に人的な影響を与えた52の火山から、65の噴火に関する情報を集約した。その情報には、負傷者や死亡者、避難人数、建物の破壊状況、陸路・空路の被害状況が含まれている。また、火山噴火のメカニズムについても言及されている。しかし、人的な影響が甚大な

降灰による水道被害については調査されていない。

また、雲仙・普賢岳噴火活動による災害は、平成3年の火砕流で、死者40人、行方不明3人、負傷者9人、建物被害179棟という、極めて悲惨な災害となった[2-2]。主な被害として国土交通省によると、国道57号は817日(平成3年6月3日～平成7年4月28日)、島原鉄道は1,698日(平成3年6月4日～平成9年4月1日)の通行止めが発生した。

このように、交通インフラの被害は十分に調査されているが、交通インフラと同程度の重要性をもつ水道インフラに関する研究は不十分である。

(2) 過去の水道被害が生じた災害に関するレビュー

高西ら[2-3]は、洪水による水道事業所の被害事例を集約した。2011年9月に発生した紀伊半島豪雨では洪水により3箇所の水道事業所で被害が生じた。それぞれの地域における断水戸数は6,800件、14,700件、3,700件と多くの家庭に影響を受けた。また、1947年9月に発生したカスリーン台風では、浄水場冠水などの被害が生じた。それに伴う断水人口は約58万人であった。浄水場などの事業所が被害を受けることで多くの家庭で断水状態になることがわかる。

噴火発生時にも河川や浄水場への降灰などにより水道施設が被害を受ける可能性が大きい。また、噴火時には生活用水だけでなく火山灰の洗浄作業等においても水が必要になるため、生活再建に向けて水が人々にとって更に重要なものになる。

(3) 本研究の意義

人々の生活に水道インフラはとても重要なものであり、水道インフラの被害が生じた災害では多くの人が水を確保できない状況に陥ってしまった。しかし、近年の噴火被害においても水道被害の調査や分析はあまり行われておらず、噴火被害と水道インフラの暴露度は明らかになっていない。噴火及び降灰による水道インフラの被害が市民に与える影響を調査するためには、単に降灰地域の人口分布を把握するだけでなく、水道被害の暴露人口分布を把握する必要がある。

そのため本研究では、人々の生活に欠かせない水道インフラについて富士山が噴火した際の影響を明らかにする。本調査によって、実際に被害が生じた際の行動の指針や火山災害への防災対策の一助となることを目指す。

3. 分析対象とするハザードとリスクシナリオ

本研究では、富士山が噴火した際の水道施設における被害と市民への影響である、降灰リスクについて分析した。富士山の噴火による降灰想定には、富士山火山防災対策協議会「富士山ハザードマップ（改定版）検討委員会報告書」[3-1]を用いた。富士山ハザードマップ中の降灰のハザードマップにおける予測条件を以下に示す。

(1) ハザードとなる富士山の噴火規模及び想定火口

宝永噴火実績と同規模の7立方メートルとし、過去45年間の富士山上空約1万mの風向風速の解析データを用いて、富士山上空の風の風向き・風速の出現頻度の統計値を算出し、月ごとにシミュレーションを行っている。

また火口の位置は、富士山山頂を想定する。噴火による降灰分布を示す降灰のドリルマップは、噴煙柱の形成過程モデルと、火山灰の拡散・降下過程を大気中の粒子の3次元的な運動とする移流・拡散モデルによるシミュレーションにより作成されている。

(2) リスクシナリオの定義

富士山ハザードマップの噴火予想を元に、対象地域において想定する降灰規模が季節によって異なることから、降灰規模が最大の時と最小の時でシナリオを2つ定めた。降灰規模最大の場合と降灰規模最小の場合は、今回用いたハザードマップからそれぞれ8月と2月が該当する。降灰規模最大となる悲観的シナリオとして8月の噴火予想の分析、降灰規模最小となる楽観的シナリオとして2月の噴火予想の分析を行った。

4. リスクシナリオの影響度評価

(1) 分析方法

本研究においては、先に定義した楽観的シナリオと悲観的シナリオについて、それぞれ前出の「富士山ハザードマップ（改定版）検討委員会報告書」の「降灰のドリルマップ」[3-1]を用いて分析を行った。はじめに、「降灰のドリルマップ」の画像をそれぞれGISに取り込み、GIS上の地図と座標が一致する

ように調整を行った。このシナリオに含まれている50mm~0.1mmまでの各降灰深について、GISポリゴンデータ化を手動にて行った。

続いて、国土数値情報ダウンロードサイトより、上水道関連施設データ（給水区域ポリゴンデータを含む）[4-1]、500mメッシュ人口データ[4-2]をGISに取り込み、各降灰深ポリゴンデータと給水区域及び人口メッシュの重なりから影響人口を算出した。

なお、「降灰のドリルマップ」では、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、山梨県、長野県、静岡県の計10都県の全域と、周辺各県の一部が示されている。このことから本研究では、以上の全域が示されている10都県を分析対象とした。



図4-1 悲観的シナリオの各降灰深地域について、ArcGISProを用いてポリゴンデータ化を行った状態

(2) 影響人口の定義

本研究においては影響が出る人口について、2種類の算出方法を設定した。

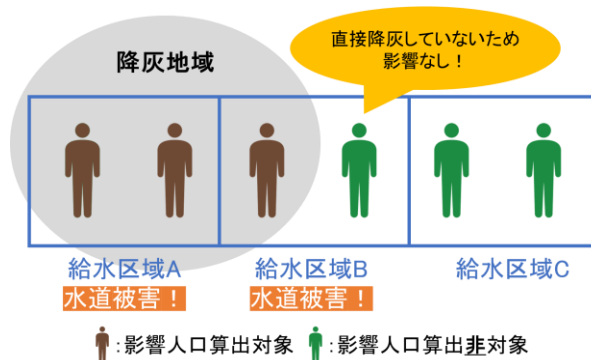


図 4-2 「純粋影響人口」の概念図

1 つ目は、各降灰深ポリゴンデータと人口メッシュが重なった範囲の人口のみを算出する「純粋影響人口」である。純粋影響人口では、降灰した地域の人口をそのまま算出している。

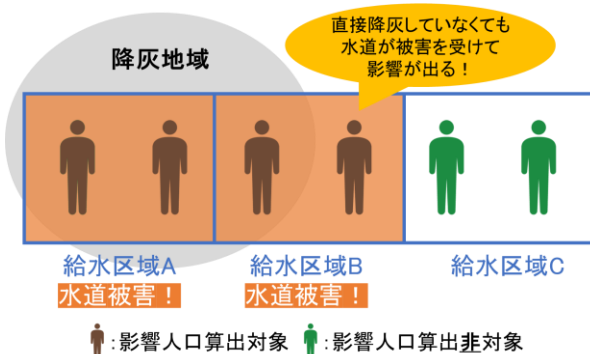


図 4-3 「全体影響人口」の概念図

2 つ目は、各降灰深ポリゴンデータと給水区域ポリゴンデータの重なりを確認し、重なっている給水区域では全域に影響が出ると想定して給水区域全体の人口メッシュを算出する「全体影響人口」である。給水区域の一部が降灰地域に含まれていれば、その給水区域全体の市民が影響を受けているとして影響人口に含む考え方である。これは、一部の施設が降灰により被害を受けると給水区域全体に影響が出る可能性がある、水道インフラの特徴を盛り込んだものである。

算出した数値を比較することにより、各降灰深時の影響の大きさを具体的な数値をもって把握するとともに、降灰地域と降灰により影響が出る給水区域の範囲の差も把握することが可能となる。

(3) 降灰状況下における水道被害の定義

浄水場のろ過方式には、緩速ろ過方式、急速ろ過方式、膜ろ過方式の3種類がある[4-3]。このうち、緩速ろ過方式は、微生物が息している生物ろ過膜を用いて、かび臭原因物質などの溶解成分を分解し、砂や砂利を用いて、濁りを除去している[4-4]。電気や薬品を必要としないため、費用を抑えることができるという利点がある反面、他のろ過方式と比べ、ろ過装置が目詰まりが発生してしまいやすいという欠点がある[4-3,4]。本研究では、上水道関連施設データから浄水場のろ過方式を区別することが困難であったため、全ての浄水場が緩速ろ過方式であると仮定し、最悪の被害が生じた場合を想定した。

内閣府[4-5]は、緩速ろ過方式の浄水場において、降灰深と水道被害の関係を調査している。同調査に

おいて、過去の事例より、降灰深が 2mm 以上のエリアに位置する浄水場では水の濁度が上昇する被害が発生するとの想定が、また、降灰深が 10mm 以上のエリアに位置する浄水場ではろ過池の機能低下の発生が想定されている。

本研究においては、以上の既往研究の想定を援用し、降灰深が 2mm 以上の場合は、濁度が上昇し水道水が飲用不可になるとし、降灰深が 10mm 以上の場合は、ろ過装置が目詰まりし水の供給が停止すると定義した。

5. 水道施設の降灰リスク評価

分析において、降灰により水道に影響を受ける人口の割合を算出した。影響人口の割合は、給水人口を分母として算出した。給水人口は、都県ごとに、給水区域ポリゴンデータと 500m メッシュ人口データの重なりから算出した。対象各都県の給水人口と、各都県給水人口の対象 10 都県給水人口合計に対する割合は、表 5-1 に示される。

表 5-1 対象各都県の給水人口と、各都県給水人口の対象 10 都県給水人口合計に対する割合

	給水人口	割合
茨城県	約 321 万人	約 6%
栃木県	約 205 万人	約 4%
群馬県	約 220 万人	約 4%
埼玉県	約 867 万人	約 16%
千葉県	約 687 万人	約 13%
東京都	約 1,373 万人	約 26%
神奈川県	約 950 万人	約 18%
山梨県	約 95 万人	約 2%
長野県	約 223 万人	約 4%
静岡県	約 394 万人	約 7%
対象都県合計	約 5,334 万人	100%

(1) 想定される最も大きな被害

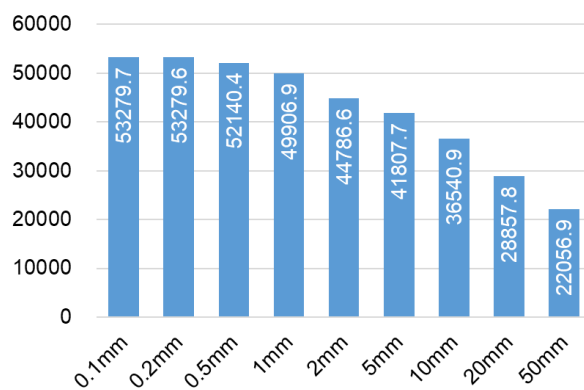


図 5-1 悲観的シナリオにおける対象都県合計の全体影響人口^{注1} (単位：千人)

(単位：千人)

降灰状況下における水道被害は、悲観的シナリオにおいて、全体影響人口を算出した際に最も大きいことが予想される。悲観的シナリオにおける対象都県合計の全体影響人口は、図 5-1 に示される。降灰深が 2mm 以上、すなわち、水道水が飲用不可となる被害を受ける人口は、約 4,479 万人(84.0%)であった。また、降灰深が 10mm 以上、すなわち、水の供給が停止する被害を受ける人口は、約 3,654 万人(68.5%)であった。

農林水産省 [5-1] によると、飲料用と調理用だけで 1 人当たり 1 日 3 リットルの水が必要とされている。したがって、水道水が飲用不可となる被害を受ける 4,479 万人に対し、1 日当たり 13,437 万リットルもの飲料水の供給が必要となる。

災害時の応急給水の方法として、給水車の活用が考えられる。日本水道協会正会員を対象としたアンケートの結果 [5-2] によると、日本全体における給水車の保有台数は、1,286 台であった。南海トラフ巨大地震の発生時の給水車派遣体制を検討した先行研究 [5-2] では、給水車の容量は 2t から 4t、給水車の 1 日当たりの往復回数は、6 回が標準とされている。仮に、容量が 4t の給水車 1,286 台が、1 日当たり 6 回往復するとしても、応急給水可能量は、約 3,086 万リットルであり、飲料水の必要量である 13,437 万リットルの 4 分の 1 程度にとどまる。給水車の保有台数の調査は、日本水道協会正会員のみを対象としているため、実際の保有台数は、1,286 台より多いこと、また、給水車による応急給水に加え、各自が備蓄している保存水や公共施設などに設置されている貯水槽が利用されることなどが考えられるが、それでも全員が必要量の飲料水を確保できるとは考えにくい。以上より、降灰リスクは、非常に大きいということがわかる。

(2) 純粋影響人口と全体影響人口の比較

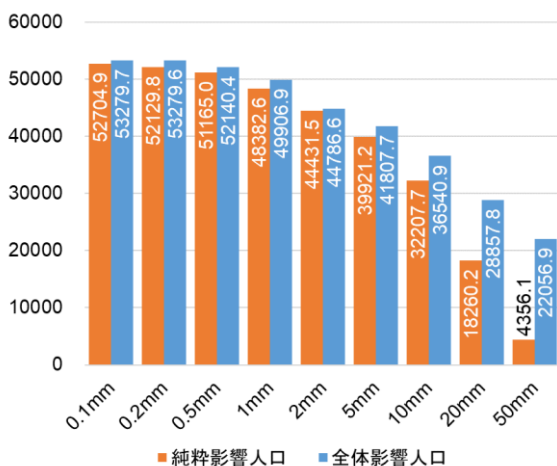


図 5-2 悲観的シナリオにおける対象都県合計の純粋及び全体影響人口^{注1}

悲観的シナリオにおける対象都県合計の純粋影響人口と全体影響人口は、図 5-2 に示される。降灰深が浅い「0.1mm 以上」から「5mm 以上」の場合、純粋影響人口と全体影響人口の差は、約 190 万人程度またはそれ以下と他の降灰深と比べ小さい。一方で、降灰深が深い「10mm 以上」から「50mm 以上」の場合、純粋影響人口と全体影響人口の差は、大きく、「50mm 以上」の場合に約 1770 万人で最大になる。これは、降灰深が深くなるにつれて、降灰範囲が、狭まっていくことが関係していると考えられる。降灰深が 0.1mm 以上のエリアは、対象都県のほぼ全域であるのに対し、降灰深が 50mm 以上のエリアは、対象都県のうちのごく一部の地域である。そのため、降灰深が浅い場合、純粋影響人口を算出する際の対象エリアと全体影響人口を算出する際の対象エリアが、ほぼ同様になってしまう。しかし、対象都県を広げることで、降灰深が浅い場合においても、純粋影響人口と全体影響人口の差が大きくなることが想定される。また、水道は、一部の施設が降灰により被害を受けると給水区域全体に影響が出る可能性を持つ。以上より、降灰リスクを考える際、全体影響人口の方がより現実に即していると言える。以降、全体影響人口を対象に分析を進めた。

(3) 楽観的シナリオと悲観的シナリオの比較

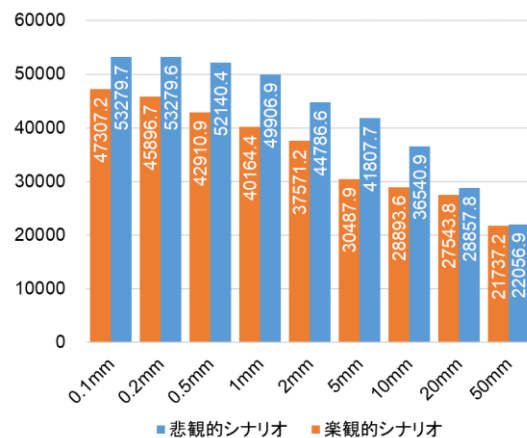


図 5-3 楽観的シナリオ及び悲観的シナリオにおける対象都県合計の全体影響人口^{注1} (単位：千人)

楽観的シナリオと悲観的シナリオにおける対象都県合計の全体影響人口は、図 5-3 に示される。楽観的シナリオと悲観的シナリオで、降灰深が「2mm 以上」のエリアでの全体影響人口の差は、約 722 万人、降灰深が「10mm 以上」のエリアでの全体影響人口の差は、約 765 万人であった。以上より、楽観的シナリオにおいても降灰リスクは大きい、楽観的シナリオと悲

観的シナリオの間には、影響人口に大きな差があるということがいえる。

一方で、降灰深が「20mm 以上」、「50mm 以上」の場合、楽観的シナリオと悲観的シナリオの全体影響人口の差は、小さく、それぞれ約131万人と約32万人である。これは、楽観的シナリオと悲観的シナリオで、降灰深が20mm 以上、50mm 以上のエリアがほぼ同様であることが関係していると考えられる。

本研究では、想定される最も大きな降灰リスクを分析するため、以降、悲観的シナリオを対象に分析を進めた。

(4) 対象都県ごとの比較

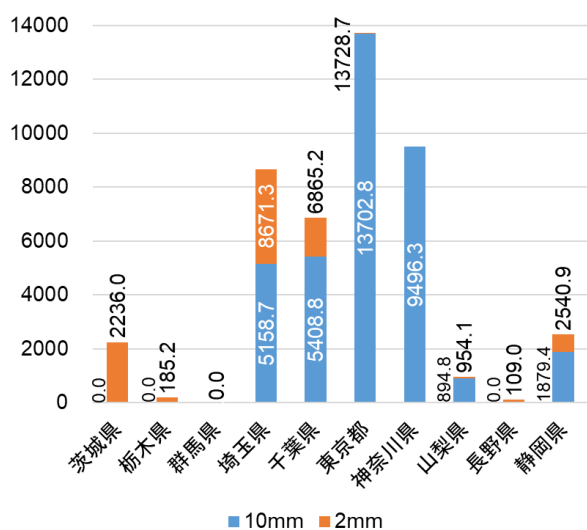


図 5-4 悲観的シナリオにおける降灰深 10mm 以上及び 2mm 以上のエリアでの全体影響人口^{注2} (単位：千人)

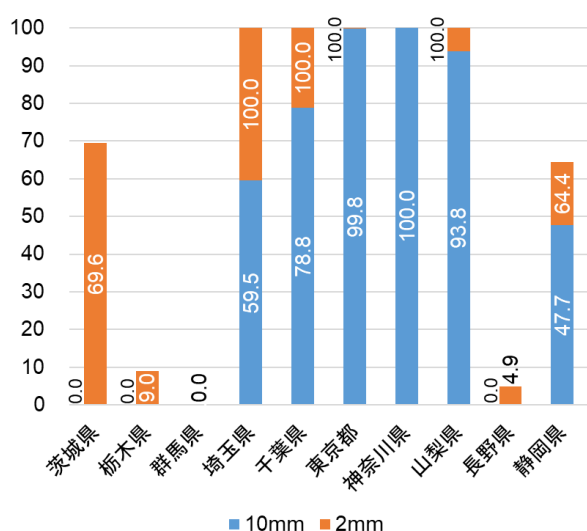


図 5-5 悲観的シナリオにおける降灰深 10mm 以上及び 2mm 以上のエリアでの全体影響人口の割合^{注2} (単位：%)



図 5-6 悲観的シナリオにおける降灰深 10mm 以上と 2mm 以上の範囲 (図 4-1 より抽出)

悲観的シナリオにおける対象各都県の全体影響人口と全体影響人口の各都県人口に占める割合は、図 5-4 と図 5-5 に示される。また、図 5-6 では、悲観的シナリオにおける降灰深が「10mm 以上」及び「2mm 以上」の範囲を示している。

東京都において、降灰深が 10mm 以上のエリアでの全体影響人口は、約 1,370 万人 (99.8%) であった。これは、東京都に住むほぼ全員に対する水の供給の停止を意味する。東京都には、首都機能や企業の拠点、人口などが集中しているため、富士山噴火がもたらす被害は、甚大なものとなることが想定される。

一方で、長野県、群馬県、栃木県において、降灰が水道に与える影響はほぼ見られなかった。富士山噴火により生じた降灰は、風によりおおそ東の方向へと流されるため、3 県には、降灰深が 2mm 以上のエリアがほぼないことが関係していると考えられる。

また、茨城県は、降灰深が 10mm 以上のエリアはなかったが、降灰深が 2mm 以上のエリアとして、茨城県南部が該当していた。そのため、水道水が飲用不可となる被害を受ける人口は、約 224 万人 (69.6%) であった。水の供給が停止するまではいかないものの、水道水が飲料水として使えなくなる被害を茨城県に住む 7 割近くの人が受けることが明らかになった。

6. おわりに

(1) まとめ

本研究では、我が国に多数存在する活火山の水道インフラへの降灰リスクの検討として、富士山が噴

火した場合を対象として分析を行った。その結果、悲観的シナリオ（8月）で富士山が噴火した場合、関東甲信及び静岡県の人口の84.0%で水道水の飲用が不可能になり、68.5%で水道水の供給が完全に停止することが明らかになった。また、水道水が飲用不可となる被害を受ける4,479万人に対し、1日当たり13,437万リットルもの飲料水の供給が必要となる可能性があることも明らかになった。水道インフラに焦点を当てて噴火被害を検討したが、極めて大きな被害が出るであろうことが具体的数値をもって示された。

(2) 今後の課題

本研究の「全体影響人口」では、国土数値情報ダウンロードサイトの給水区域データを基に、給水区域の一部が降灰地域に含まれた場合、給水区域全体に影響が及ぶものとして計算を行った。しかしながら、一部の給水区域は非常に広大であり、この想定が適切ではないと考えられる事例も存在する。今後は、個々の水道施設の特性も考慮しながら、より精密な分析が求められる^{注3}。

また、水道施設の火山対策を行う動きも散見される[5-3]が、浄水場改修や給水車増備等をはじめとする公助には性質上限界がある。飲料水備蓄などの自助や、井戸の整備・使用体制確保などの共助も同時に促進していく必要がある。

注釈

注1: 棒グラフ及びグラフ中に示された各降灰深の人数（割合）の数値は、各降灰深以上の人数（割合）を全て包含するものである。例えばグラフ中における「5mm」の人数（割合）は、5mm以上10mm未満の人数（割合）だけでなく、10mm以上20mm未満、20mm以上50mm未満、そして50mm以上の人数（割合）も含んでいる。

注2: 積み上げ棒グラフのオレンジ部分は、降灰深2mm以上10mm未満のみを表している。棒グラフの降灰深2mm以上についてはオレンジ部分と青色部分を組み合わせで確認されたい。一方でグラフ中に示されたオレンジ部分の数値は、降灰深2mm以上の人数（割合）を全て包含しており、降灰深10mm以上の人数（割合）も含んでいる。

注3: ただし、個々の水道施設データは一般公開されていないため、施設データの入手方法も課題の一つである。信頼のおける分析機関に水道事業者が施設データを提供し、正確な予測値を算出する事が望ましい。

参考文献

- ・土木学会 地盤工学委員会 火山工学研究小委員会: 火山工学入門, 土木学会, 2009/07.
- ・土木学会 地盤工学委員会 火山工学研究小委員会: 火山工学入門

応用編 土木学会, 2014/12.

・日本自然災害学会 編: 自然災害科学・防災の百科事典, 丸善出版, 2022/01.

引用文献

- [1-1] 国土技術研究センター: 世界有数の火山国, 最終閲覧日 2023/10/13, <https://www.jice.or.jp/knowledge/japan/commentary13>[1-1]
- [1] 国土技術研究センター: 世界有数の火山国, 最終閲覧日 2023/10/13, <https://www.jice.or.jp/knowledge/japan/commentary13>
- [1-2] 国土交通省 気象庁: 活火山とは, 最終閲覧日 2023/10/13, https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/to-kyo/STOCK/kaisetsu/katsukazan_toha/katsukazan_toha.html
- [2-1] Gatherin Annen, Jean-Jacques Wagner, The Impact of Volcanic Eruptions During the 1990s, Natural Hazard Review 2003, ASCE.
- [2-2] 国土交通省, 雲仙・普賢岳噴火活動による災害, 2003, 最終閲覧日 2023/10/13, http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai/index_c11.html.
- [2-3] 西 春二, 中野 晋, 宇野 宏司, 仁志 裕太, 近年の豪雨災害による水道事業者の被災とその対応調査, 土木学会論文集F6 (安全問題), Vol. 68, No. 2, I_130-I_137, 2012.
- [3-1] 静岡県ホームページ, 富士山ハザードマップ, 2023, <https://www.pref.shizuoka.jp/bosaikinkyu/sonae/kazanfunka/fujisankazan/1030190.html>
- [4-1] 国土交通省: 国土数値情報ダウンロードサイト 上水道関連施設 第1.1版, 最終閲覧日 2023/10/13, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P21.html>
- [4-2] 国土交通省: 国土数値情報ダウンロードサイト 500mメッシュ別将来推計人口データ (H30 国政局推計) (shape形式版), 最終閲覧日 2023/10/13, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-mesh500h30.html>
- [4-3] 安中市 安中市水道事業: ろ過方式について, 最終閲覧日 2023/10/13, <https://www.city.annaka.lg.jp/site/water-works/2265.html>
- [4-4] 東京都水道局: 緩速ろ過, 最終閲覧日 2023/10/13, <https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/suigen/topic/31.html>
- [4-5] 内閣府 大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ: 降灰による影響の閾値の考え方, 最終閲覧日 2023/10/13, https://www.bousai.go.jp/kazan/kouikikouhaiwork-ing/pdf/syutoshiryo_02.pdf
- [5-1] 農林水産省: 大事な水、どうやって備えますか?, 最終閲覧日 2023/10/13, https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/food-stock/imadoki/imadoki02_10.html
- [5-2] 日本水道協会: 地震等緊急時対応特別調査委員会 応援体制検討小委員会報告書, 2017, http://www.jwwa.or.jp/houkokusyo/houkokusyo_31.html
- [5-3] 東京都: 東京水道施設整備マスタープラン～東京を支える強靱で持続可能な水道システムの構築, 2021, 最終閲覧日 2023/10/13, <https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/files/items/20370/File/all.pdf>