

季刊

消防防災の科学

冬
2025

特集

大雨災害への防災・減災 (その4)
令和6年能登半島地震 (その3)

■ トピックス

御嶽山の火山噴火災害から10年に寄せて

御嶽山科学研究所 代表 國友 孝洋

■ 連載講座

歴史に学ぶ (第3回)

悪政が火事を招いた!..... 歴史家・作家 加来 耕三

知っておきたい気象用語の豆知識 (第7回)

温室効果..... 気象予報士(元気象庁) 饒村 曜

159

一般財団法人 消防防災科学センター

この季刊誌は、宝くじの社会貢献広報事業として助成を受け作成されたものです。





見附島（珠洲市） 写真協力：公益社団法人 石川県観光連盟



千枚田（輪島市） 写真協力：公益社団法人 石川県観光連盟

消防防災の科学

No.159 2025. 冬

巻頭随想

増える「内水氾濫」への備え

一般財団法人河川情報センター 理事長
池内 幸司 2
東京大学 名誉教授

特集 大雨災害への防災・減災（その4）

- 1 水害ハザードマップの活用について
政策研究大学院大学 教授 知花 武佳 5
- 2 近年の豪雨等による流木災害について
東京農工大学 名誉教授 石川 芳治 11
- 3 豪雨時における土砂災害の危険性評価
—清水寺における現地モニタリングシステムと警戒体制—
立命館大学 理工学部 環境都市工学科 准教授 藤本 将光 18

特集 令和6年能登半島地震（その3）

- 1 令和6年能登半島地震の被害に対する地形・地質の影響
金沢大学 地域創造学系 准教授 青木 賢人 23
- 2 能登半島地震の地震動と建物被害
東北大学 災害科学国際研究所 准教授 大野 晋 28
- 3 2024年能登半島地震のライフラインの被害と復旧
鳥取大学 工学部 社会システム土木系学科 教授 小野 祐輔 34

■特別寄稿

誰もが命を守れる安全確保行動がとれる社会の実現に向けて

新潟大学 危機管理センター 教授 田村 圭子 40

■トピックス

御嶽山の火山噴火災害から10年に寄せて

御嶽山科学研究所 代表 國友 孝洋 43

火災原因調査シリーズ（115）

一般住宅における爆発火災の原因調査事案について

千葉市消防局 50

■連載講座

歴史に学ぶ（第3回）

悪政が火事を招いた！ 歴史家・作家 加来 耕三 60

知っておきたい気象用語の豆知識（第7回）

温室効果 気象予報士（元気象庁） 饒村 曜 62

編集後記

カラーグラビア

バックナンバー

消防防災の科学バックナンバーは、右記のQRコードからご覧いただけます。



増える「内水氾濫」への備え

一般財団法人 河川情報センター理事長

東京大学 名誉教授

池内 幸司

昨年8月21日夕方、港区付近で1時間に約100mmの猛烈な雨が降り、「記録的短時間大雨情報」が発表された。この大雨により、道路の冠水やアンダーパスの浸水、地下鉄市ヶ谷駅の浸水などの内水氾濫が都内各地で発生したが、近年このような都市部における内水氾濫による被害が頻発している。本稿では、内水氾濫の発生原因や特徴、またそれに対してどのように備えればよいのかなどについて述べる。

●「内水氾濫」とは

浸水被害を引き起こす氾濫には、大きく分けて「外水氾濫」と「内水氾濫」の2種類がある。堤防決壊や越水などにより、河川から洪水が溢れて氾濫するのが「外水氾濫」であり、市街地などに降った雨を河川などに排水しきれずに溢れるのが「内水氾濫」である。また「内水氾濫」は、下水道や水路の排水能力を越える豪雨が発生した場合に溢れてしまう「氾濫型」内水氾濫と、排水先の河川の水位が上昇して下水道や水路などから排水できずに氾濫が発生してしまう「湛水型」内水氾濫に分けられる。2013年から2022年までの10年間の内水氾濫による一般資産等被害額は、水関連災害の被害額の

約1/3を占める¹⁾。

●内水氾濫をもたらす大雨の発生状況

図1は、全国の時間雨量50mm以上の年間発生回数の経年変化を示している。時間雨量50mm以上というのは、「滝のように降る（ゴーゴーと降り続く）」と表現される非常に激しい雨で、傘は全く役に立たなくなるとともに、水しぶきであたり一面が白っぽくなり、視界も悪くなり、車の運転も危険な状況である。最近10年間（2014～2023年）の平均年間発生回数（約330回）は、統計期間の最初の10年間（1976～1985年）の平均年間発生回数（約226回）と比べて約1.5倍に増加している²⁾（図1参照）。



図1 全国の1時間降水量50mm以上の大雨の年間発生回数の経年変化（1976～2023年）

（気象庁資料²⁾に加筆）

時間雨量50mm以上の大雨が降ると内水氾濫が発生する可能性が高くなる。例えば、東京都では、時間雨量50mmを整備目標として下水道の整備を進めている42地区のうち、22地区が完了、事業中13地区、未着手7地区である³⁾。すなわち、時間雨量50mm以上の大雨が降ると、事業が未完了の20地区では内水氾濫が発生する可能性が非常に高くなる。東京都は浸水対策に対して積極的に取り組んでいる自治体であるが、これが現状である。他の自治体でも時間雨量50mm以上の大雨が降ると内水氾濫が発生する可能性が高くなる。

さらに、地球温暖化に伴う気候変動により、洪水の発生頻度は現状の2～4倍程度に増加することが予測されている⁴⁾（表1参照）。排水対策の進捗が気候変動のスピードに追いつけないと、今後さらに内水氾濫の発生頻度が増加してしまうことになる。

表1 気候変動による降雨量や洪水発生頻度の変化

気候変動シナリオ	降雨量	流量	洪水発生頻度
2°C上昇(RCP2.6)	約1.1倍	約1.2倍	約2倍
4°C上昇(RCP8.5)	約1.3倍	約1.4倍	約4倍

(国土交通省資料⁴⁾を基に作成)

●避難について

日本においては、河川が氾濫して形成された沖積平野、すなわち浸水リスクのある地域に、多くの人口と資産が集中している。したがって、多くの人々が水害リスクをジブンゴト化し、ふだんから水害に対して備えていくことが求められている。水害からの避難方法については、外水氾濫と内水氾濫で異なる特徴がある。

外水氾濫が発生すると、2階の床上まで浸水する場合や、氾濫流の勢いによって家屋が流失してしまうことがある。したがって、このような危険性のある地区では、一刻も早く安全な場所に避難する必要があるが、外水氾濫は、雨が降ってから洪水が発生するまでに時間差があるので、その時

間差を利用して避難できる場合が多い。

内水氾濫では、大雨の発生から短時間で浸水が発生し、気が付いたときにはすでに周囲が浸水しまっていて避難できない場合も少なくない。一方、内水氾濫では浸水深が比較的浅く、自宅や付近の高い建物の上層階に避難すれば安全が確保できる場合が多い。

やっかいなのは、内水氾濫が外水氾濫の少し前に発生するケースである。2020年の球磨川の被害では、内水氾濫で市街地の道路が冠水して避難できなくなっている中で、球磨川が氾濫した。この水害では、多くの方々が適切な避難ができず、自宅で亡くなっている。このようなケースでは、内水氾濫の発生前に外水氾濫にも備えて一刻も早く安全な避難場所まで避難する必要がある。それができない場合は、身近な高台や高くて丈夫な建物のできるだけ上層階に避難することで命を守る行動を取ることが重要である。

●日頃からの備え

いざというときに的確な避難をするためには、日頃から住んでいる場所などの浸水リスクを把握しておくことが不可欠である。具体的には、①洪水ハザードマップ、②内水ハザードマップ、③デジタル標高地形図などをふだんから見ておく必要がある。

① 洪水ハザードマップには、想定し得る最大規模の降雨により河川が氾濫した場合に、浸水が想定される区域や浸水深などが示されている。例えば、浸水深が3メートルだったら2階の床下程度、5メートルだったら2階が水没するということがわかる。

② 内水ハザードマップには、想定し得る最大規模の降雨により内水氾濫が発生した場合に、浸水が想定される区域や浸水深などが示されている。

③ デジタル標高地形図（国土地理院）は、標高

の高い部分が暖色系に、低い部分が寒色系となるよう段階的に彩色し、さらに陰影をつけた図で、居住地等の地形的特徴を直感的に理解することができる。例えば、青いところは標高が低く、浸水のリスクがあることがわかる。また、台地でも、谷や窪地になっているところは、大雨の際に周辺から雨水が集中して浸水が発生しやすいことが分かる。

①と②は「ハザードマップポータルサイト」、③は「デジタル標高地形図」で検索していただくと容易に閲覧することができる。

次に、大雨の時に、どの川が危ないのか、どの地域に浸水リスクがあるのかについては、気象庁の「キキクル」と国土交通省の「川の防災情報」のウェブサイトを見る必要がある。

「キキクル」では、「洪水」、「浸水」、「土砂」の3つのボタンで画面を切り替えて、自分が住んでいる地域の水害・土砂災害の危険度を把握することができる。

「川の防災情報」では、川の水位情報、洪水予報、水害リスクライン、河川カメラ画像などの具体的な情報を把握することができる。

日頃から、これらのウェブサイトアクセスして、どのような情報がどこに掲載されているのかを確認しておくことが重要である。

今後、気候変動により、洪水の発生頻度が2～4倍程度に増加することが予想されている。水害をヒトゴトではなく、ジブンゴトとして捉えることが重要である。ふだんからハザードマップ、キキクル、川の防災情報などを確認し、いざというときの行動を具体的に考えておく必要がある。また、年に1度は、散歩などの際に自宅から避難場所まで実際に歩き、途中の経路で土砂災害やその他の危険がないか確認しておくことが求められる。

【参考文献】

- 1) 国土交通省（2024）：令和4年水害統計調査。
- 2) 気象庁ウェブサイト：大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化。 https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html
- 3) 東京都下水道局（2022）：下水道浸水対策計画2022。
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局（2021）：気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言。

□水害ハザードマップの活用について

政策研究大学院大学 教授 知花 武 佳

ハザードマップとは

ハザードマップは、「自然災害による被害の軽減や防災対策に使用する目的で、被災想定区域や避難場所・避難経路などの防災関係施設の位置などを表示した地図」といった定義がなされることが多く¹⁾、洪水（外水氾濫）、内水氾濫、高潮、津波、土砂災害、火山、地震（揺れやすさ、火事、液状化など）といった災害ごとに作られる。本来、これらの災害に備えるには、①元々の地形や地質といった自然の基盤条件を知り、②その上に堤防を築いたり、山を切って谷や沿岸域を埋め立てたり、地盤改良したりした結果、どのような地形、地盤条件になっているのかを調べ、③ある強度の大雨、台風、地震、火山噴火が発生した場合、どこでどのような被害が出る恐れがあるのかを予測し、④そうした災害時に、どこでどのように行動すべきなのかを考えて備える、という一連の作業が必要である。そこで、①②を踏まえてシミュレーションした③の結果をあらかじめ地図上に示しておき、④のために必要な情報を付け加えたものがハザードマップであると言える。ただし、断層の位置図など、①の情報だけでも広義のハザードマップとして機能する場合もある²⁾。

ハザードとは「なんらかの損失をもたらすポテンシャル（潜在的な力）」²⁾ のことであり、リスクとの違いは、 $\text{リスク} = \text{ハザード} \times \text{発生確率} \times \text{曝露量} \times \text{脆弱性}$ として表現することがある（発生確率

も考慮してハザードと言うこともある）。よく用いられる例で言うと、ライオンというハザードが存在しても、檻に入っていれば自らが曝露されていないためリスクはない。檻の無い状態で曝露されたとしても、ライオンより速く走れたり強かったりすれば、脆弱ではないのでリスクは低い。そして、おなかがいっぱいで人を襲う確率が低い状態のライオンであれば、やはりリスクは低い。ハザードマップには、発生確率も曝露量も脆弱性も示されておらず、例えば洪水ハザードマップは、「最低最悪の場合どこまで水に浸かりうるか」を示した図（浸水想定図）に、避難場所等の情報を追加したものである。具体的には、堤防は全部完成していると仮定した上で、とある規模（後述）の洪水で、とある場所で破堤したら、どこがどれだけ水に浸かるかを計算する。これが終わると、その破堤はなかったことにして、100～200m位置をずらして全く同じ計算をする。これを繰り返した結果、各地点の浸水深で一番深いものをその地点の「ハザード（＝浸水深のポテンシャル）」とする。この深さに応じて地図全体を色塗りしたものが洪水ハザードマップであり、いわば各箇所において、その場に現れる可能性が少しでもある最強のライオンをまんべんなく描いていった絵である³⁾。破堤を想定する点が未完成の堤防（暫定堤防という）か強化された堤防かといった脆弱性に関する情報や、住まい方といった曝露に関する情報までは示せず、リスクマップにはなっていない。

ハザードマップは、最悪どこまで浸水する可能性があり、そうなる前にどこにどのようなルートで避難するのかを検討するためのもので、リスクを踏まえた居住地選択や住まい方の工夫等には他の情報も必要となる。

想定している洪水（外水氾濫）・内水氾濫・高潮の外力

ここからは水害のハザードマップを取り上げる。一つの自治体でも、大河川の外水氾濫ハザードマップは河川ごとに作られ、中小河川の外水氾濫と内水氾濫のハザードマップはセットにされることも多いが大河川とは別に作られ、沿岸域では高潮または津波のいずれかについてまた別途作られるが、それぞれ想定している状況が異なる。例えば、多摩川沿川の東京都大田区では、多摩川本川に対するハザードマップに、「多摩川の全流域で48時間に588mmの降雨があった場合」と書いて

ている（図1）のに対し、その支川である呑川や丸子川等の氾濫と内水氾濫を合わせたハザードマップ（図2）は「1時間に153mmの降雨があった場合」を想定しており、総雨量690mmでシミュレーションしている旨が別ページに書かれている。これら想定時間の違いに関しては、一時間のゲリラ豪雨で中小河川や下水道の氾濫リスクが高まるのに対して大河川の水位上昇は限定的であり、一日二日大雨が降り続くと大河川が氾濫する恐れがあることと対応している。雨量に関しては、想定最大と呼ばれる規模に設定されており、年超過確率（毎年の発生確率）が1/1000の降雨をやや上回る程度である。なお、多摩川が安全に流そうとしているのは、48時間に457mmの降雨があった場合の洪水であり、これは年超過確率にして1/200である。しかし、この整備には時間を要するため、当面は昭和49年9月の狛江水害が発生したときの流量を目標としており、この時は48時間で330mmの降雨があった。これは年超過確率にして1/70～

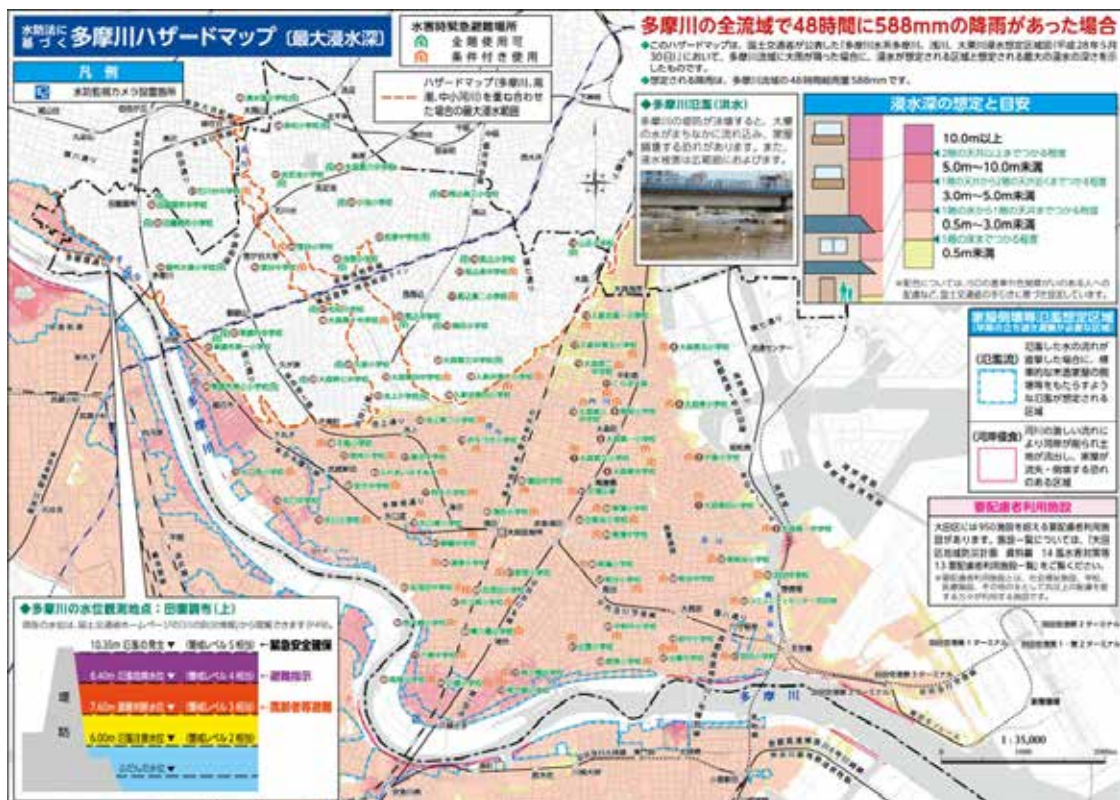


図1 大河川の外水氾濫ハザードマップの例（東京都大田区）⁴⁾

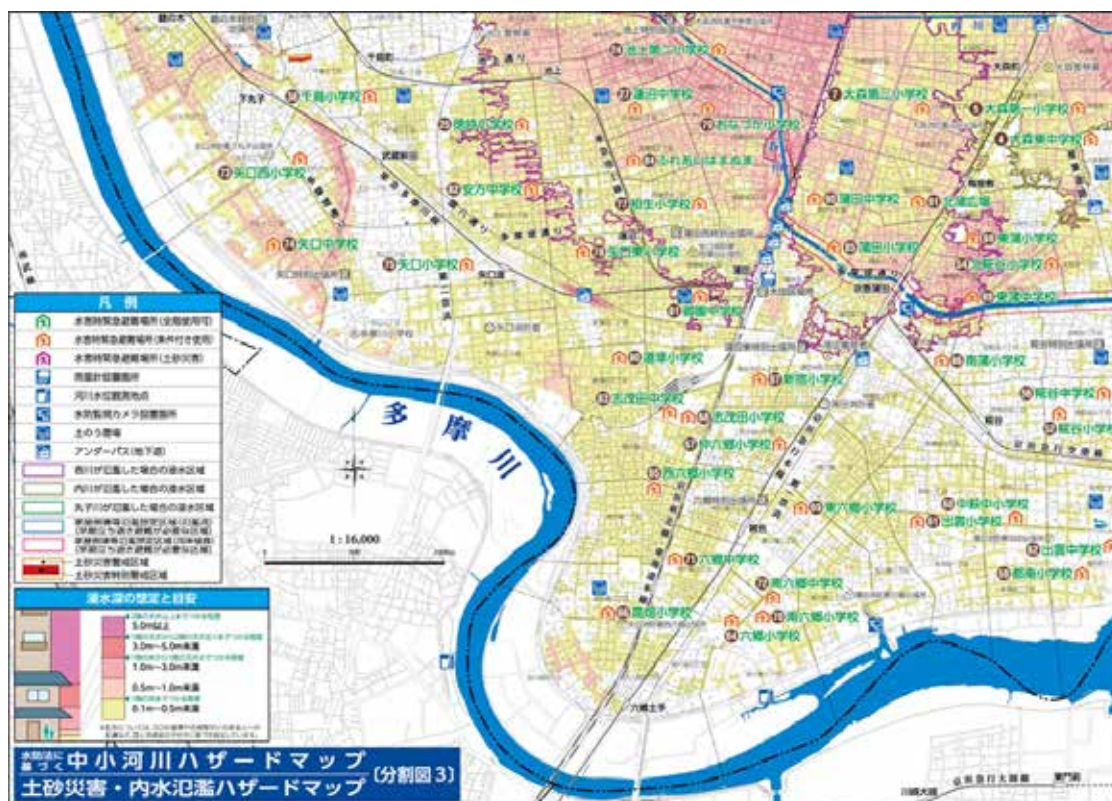


図2 中小河川の外水氾濫および内水氾濫のハザードマップの例（東京都大田区）⁴⁾

1/80程度である。すなわち、これ以上の降雨ではどこかで外水氾濫の可能性が高まるのだが、令和元年の台風第19号では48時間で490mmの降雨が観測されている。一方、多摩川の支川は1時間に50mmの降雨（年超過確率1/3程度）までは川で流せるようにし、1時間に75mmの降雨（年超過確率1/20）までは周辺で水をためるなどして氾濫を防ぐ計画である。高潮に関しては、「上陸時中心気圧910hPa、最大旋衡風速半径75km、移動速度73km/hの台風」が接近して海面が上昇した場合を想定している（図省略）が、この中心気圧は、日本に上陸した既往最大規模の台風である室戸台風（昭和9年）を想定しており、最大旋衡風速半径（台風の中心から台風の周辺で風速が最大となる地点までの距離）と移動速度は伊勢湾台風を想定している。これを東京湾で大きな被害をもたらした大正6年台風のルートとキティ台風（昭和24年）のルートに加え、伊勢湾台風のルートを東京湾に平行移動したルートの3ルートに、それ

ぞれを20km左右に平行移動させた6ルートを合わせた9ルートで通過した場合を想定し、高潮の浸水深を求めている。現在、この状況下でも溢れないように防潮堤や水門を整備しつつあるが、高さが足りていない堤防は所々に存在する。いずれも、今後の気候変動対策でより大きな値に変更されつつあるが、どれだけの外力に備えて、どこまで対策できているかは、リスクを捉える上では本来知っておかなければならない情報である。

ハザードマップに示されているもの

ハザードマップは各自治体で配付されているが、PCやスマートフォンで閲覧するには、ハザードマップポータルサイト (<https://disaportal.gsi.go.jp/>) が便利である。ここから「わがまちハザードマップ」を選択すれば、各自治体がWEB上で公開しているハザードマップを参照でき、「重ねるハザードマップ」を選択すれば、洪

水、土砂災害、高潮、津波の各ハザードマップを任意の領域について表示可能である。いずれにせよ、洪水（外水氾濫）ハザードマップには、東京都大田区の多摩川ハザードマップ（図1）にも示されているように、浸水深や避難所の位置に加え、浸水深に関わらず水の流れが直撃したり河岸をけずったりして家屋が倒壊する恐れがあり、早期の立ち退き避難が必要となる「家屋倒壊等氾濫想定区域（氾濫流）（河岸侵食）」が示されている。また、浸水継続時間（図省略）も避難の参考になる情報であるが、これはまだ作成されていない自治体もある。なお、「わがまちハザードマップ」から参照できる大田区のハザードマップでは、多摩川の氾濫では浸水せずとも内水氾濫や中小河川で浸水する可能性がある範囲が、多摩川の氾濫を想定したハザードマップ上に重ねて点線で示されており、自治体によって工夫や情報量は少し異なる。

また、大田区では、中小河川ハザードマップ、土砂災害・内水氾濫ハザードマップを一枚にしたものを地域ごとに分割したもの（図2）を作成しており、そこに各種情報を追記している。土砂災害に関しては、土砂災害警戒区域（通称：イエローゾーン）と、その中で特にリスクが高く、開発行為にも規制がかかる土砂災害特別警戒区域（通称：レッドゾーン）を黄色と赤色で示しているのはどの自治体にも共通している。水害に関しては、大田区のハザードマップには各種アイコンが記されており、これらと実際の写真を並べて示したものが図3である。上から、水防監視カメラ、土のう置き場、水害時緊急避難場所（条件付き使用）、アンダーパス（地下道）であり、写真はないが区役所横にある雨のマークが雨量計設置箇所である。監視カメラが設置されている場所であれば、このようにPCやスマートフォン等でいつでも安全に



図3 図2の部分的拡大図と現地の写真
（ギザギザの線は、香川が氾濫した場合の浸水区域の境界。）

川の状況を確認できる。また、都市部ではこのようにすでに土のうが公園等に設置されていることも多い。水害時の避難場所が浸水想定区域内に存在している地域は多いが、ここの中学校も「2階以上使用可」と記載されているように、上層階限定の「条件付き」避難場所（避難所ではない）である。アンダーパスは、道路と鉄道の交差点等で掘り下げられて窪地状になっている道路であるが、豪雨で湛水したところへ車両が侵入すれば被害にあう恐れのある場所である。どのような情報が示されているかは自治体によって異なるが、水害リスクを知る上で参考になる情報が示されていることも多い。

地域の「リスク」を知るために

このように様々な情報が含まれたハザードマップではあるが、避難ルートに関しては、個々人で異なるため、一部高台へ通じる道などを除き明

示されていないのが一般的である。避難ルートは、単に浸水想定深が浅いルートをとるのがベストとは限らず（前述したとおり、この通りの浸水深分布になるわけではない）、アンダーパスやハザードマップには示されていないような用水路、局所的な窪地、混雑しそうな道などを考慮し、実際に複数のルートを自分で書き込んでみるのが有効である。ハザードマップを単に見るだけでなく、実際にこれを見ながら避難場所へ歩いてみて、ハザードマップに避難ルートを書き込むという作業が、この地図に示された情報を深く理解する上で極めて有効である。実際、防災教育等で、地域の災害リスクを調べて、ハザードマップやリスクマップを自作するという取り組みも各地で行われつつある。

ハザードマップを超えて、より実態に即した「リスク」を知るためには、原点に帰って地形そのものを知ることから始めたい。もちろん、ハザードマップでも地盤の低いところほど浸水深は

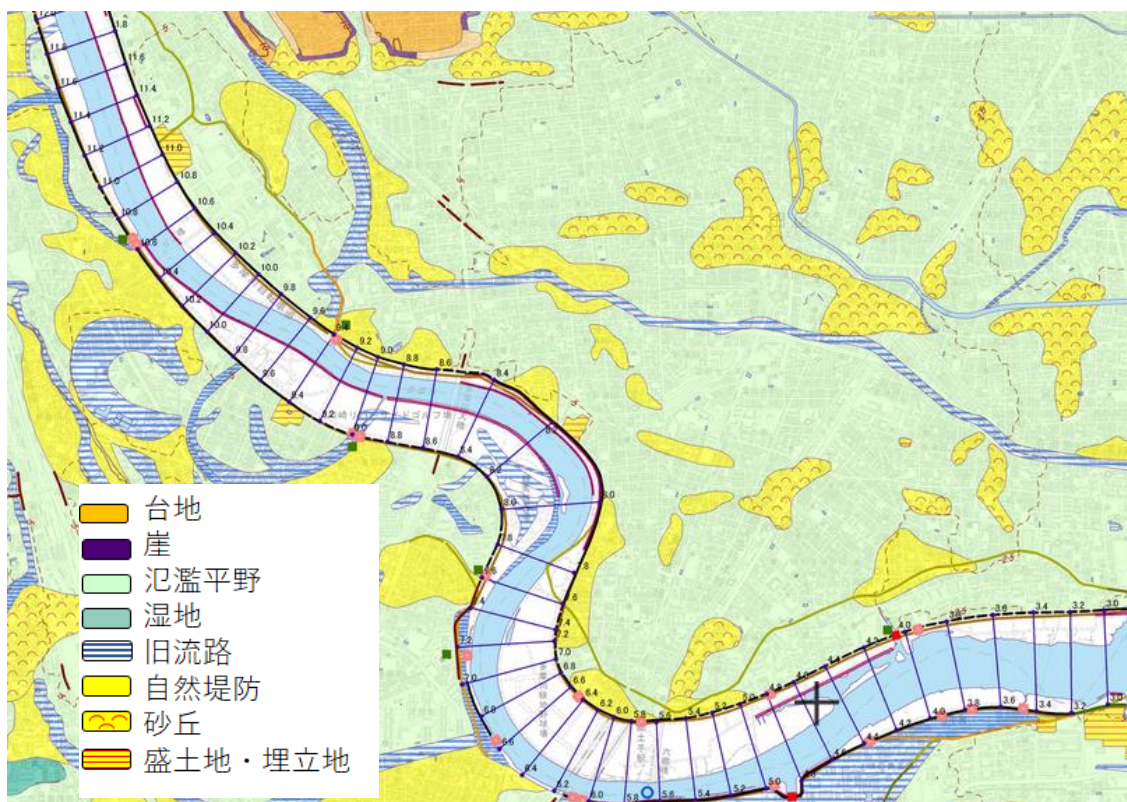


図4 図2と同じ領域における治水地形分類図

深くなるなど地形は反映されており、人工構造物等の影響も加味されたものになっている。しかしながら、冒頭に述べた①～③の情報をそれぞれ詳しく明示することはできず、確率や脆弱性や曝露状況を踏まえたものでもない。その土地のなりたちも含め、地域の特徴を詳しく知っておくことが、防災上により有効であり、地理に興味のある人であれば、楽しみながら情報を得ることができるはずである。例えば、図4は図2とほぼ同じ範囲の「治水地形分類図」と呼ばれるもので、一級河川周辺であれば国土地理院のホームページで閲覧できるが、前述した重ねるハザードマップで、「地形分類」を選択しても表示できる。図4に示されている範囲は、一部の台地を除き全て低地ではあるが、かつて川が流れていた旧河道や、川や海的作用で周辺より少し高く砂が堆積している自然堤防と砂丘や、その他細粒土砂が堆積し平坦な氾濫平野が区別されている。こうした地形分類を見ながら近隣を歩けば、地図では示しきれない土地の起伏や、道路の区画など土地利用が、地形ご

とに異なっていることが体感できる。これらと共に、地質も異なっているため、住まい方を考える際にはこうした情報を参照し、各種地形区分にどのような特徴があるのかを調べておきたい。そして、可能であれば河川の脆弱箇所（重要水防箇所や堤防未完成区間、水路合流部）などを見たり調べたりできるとなお良いが、いずれにせよ洪水あるいは内水氾濫でどこをどのように水が流れ、どこに溜まるのかを想像しつつ、マイタイムラインを作成するなどして避難計画や備えについて考えていただきたい。

【参考文献】

- 1) 国土地理院 <https://www.gsi.go.jp/hokkaido/bousai-hazard-hazard.htm>
- 2) 鈴木康弘 編 (2015)：防災・減災につなげるハザードマップの活かし方 岩波書店.
- 3) 知花武佳 (2023)：詳しく学ぶ「洪水」の基礎知識～河川工学入門～，季刊 Nextcom, Vol.53, KDDI 総合研究所, pp.13-21.
- 4) 大田区防災ハザードマップ 令和6年3月発行.

□近年の豪雨等による流木災害について

東京農工大学 名誉教授 石川 芳 治

1. はじめに

わが国の国土の約3/4は山地であり、その大部分は森林により覆われている。このため、河川上流域の溪流においては豪雨等により山腹崩壊、溪岸崩壊、溪岸・溪床侵食等が発生すると、土砂とともに多量の流木が発生して、下流へ流下する。それらの流木が溪流に架かる橋梁、カルバートボックス等を閉塞することにより土石流や洪水の氾濫が発生して、周辺の人家や施設に対する被害を増大させたり、人命を奪う事例がしばしば生じている。このような流木災害が近年目立つようになった原因としては次のような社会および自然条件の変化が考えられる。①近年、都市の近くでは山地溪流の出口付近で宅地開発等が進み被害を受けやすい家屋や施設が増加している。②山地溪流に架かる丈夫な鉄筋コンクリート製の小橋梁やカルバートボックスが増加した。③1950～1960年代に植林された人工林が成長してきており、材積、樹高、直径が増大した。④地球温暖化の影響で降雨強度が大きい豪雨が頻発するようになった。⑤山地溪流においては土砂災害対策として砂防・治山施設が整備されつつあるが、流木災害対策は相対的に遅れている。以下では主として近年の豪雨等による流木災害の事例と特徴、流木の発生メカニズム、流木災害の軽減策について述べる。

2. 流木災害の事例と特徴

流木による災害の形態は大きく分類すると①流木が橋梁・カルバート、水路等に詰まることにより土石流や洪水が河道から溢れて周辺や下流の人家、施設等に被害を与え、人命を奪う。②流木が橋梁等に詰まって上流で土石流や洪水がダムアップしこれらによる流体力や水圧により橋梁が押し流される。③取水堰や放水路の取水口に流木が詰まって取水機能や放水機能を低下させる。④流木の衝突による衝撃力により家屋あるいは河川に設置してある構造物等を破壊する。⑤貯水池等に貯って一部は沈積する。これらは腐敗し水質や景観を損ねる。⑥海に流出して船舶の航行の障害になったり、海岸に漂着してゴミとなる等がある。これらのうちでも特に人命等への危険性が高く人家等への被害も大きいのは①の被災形態である。近年の主な流木災害とそれらの特徴は次のようなものがある。

(1) 平成2年(1990)7月2日の豪雨により阿蘇山のカルデラ内を流れる古恵川(流域面積約10km²)の上流域では山腹斜面崩壊が多数発生して泥流とともに多量の流木が流下した。下流部の一の宮町市街地では古恵川に架かる長さ約10mの国道橋に多量の流木が詰まり、このため泥流および流木は周辺の人家密集地に氾濫して、死者7名、全半壊家屋百数十戸という大きな被害を発生させた¹⁾(図1)。この流木災害を契機

として、平成2年(1990)10月に建設省(現国土交通省)により「流木対策指針(案)」²⁾が策定され、後に述べるような流木対策施設が設置されるようになった。



図1 国道橋が流木により閉塞されたために土石流が周辺に氾濫し人命、人家等に甚大な被害を与えた(1990年7月、熊本県一の宮町古恵川)

(2) 平成11年(1999)年6月に発生した広島災害では多くの流木災害が発生した。一例として荒谷川では溪流に架かっていた橋梁に流木が詰まったことにより周辺への土石流の氾濫が引き起こされて人家が破壊され、死者4名の被害が発生した³⁾(図2)。



図2 溪流に架かる橋梁の流木による閉塞に伴う土石流の氾濫と人家の被害(1999年6月の広島災害における荒谷川)

(3) 平成16年(2004)は梅雨前線と度重なる台風の襲来により、全国各地で土石流による災害が発生したが、土石流とともに流下してきた流木が橋梁を閉塞することにより、土石流や洪水の

災害を拡大させたと考えられる事例が福井県、兵庫県、香川県、愛媛県等において数多く見られた。このうち、愛媛県では多くの溪流において多量の流木が流下して土石流や洪水の被害を拡大させた⁴⁾(図3)。



図3 愛媛県西条市長谷川における流木による橋梁の閉塞と周辺への洪水氾濫(2004年9月台風21号による災害、愛媛県提供)

(4) 平成25年(2013)台風26号により、伊豆大島は24時間雨量が800mmを超える豪雨に見舞われ、大金沢では大規模な土石流が発生し、死者・行方不明者39名の甚大な土砂災害が発生した。この土石流による崩壊・侵食面積率は約18%となったため多量の流木(約13,600m³)が発生・流下し、大金沢の中下流に存在していた橋梁が流木により閉塞されて、土石流が流路の外に氾濫したため家屋や人命に対する被害が拡大した⁵⁾(図4)。



図4 伊豆大島大金沢における流木による橋梁の閉塞と土石流の氾濫(2013年10月台風26号による災害)

(5) 平成29年(2017)7月の「九州北部豪雨」では、福岡県と大分県の県境付近一帯に24時間雨量が800mmを超える豪雨が発生した。この豪雨により多数の斜面崩壊や土石流が発生し、これに伴い多量の土砂や流木が溪流及び河川を流下して下流の谷底平野や扇状地に氾濫堆積し、死者・行方不明者41名とともに、人家、ライフライン等の施設等に甚大な被害を発生させた⁶⁾(図5)。



図5 流木により閉塞された橋梁(2017年7月九州北部豪雨、福岡県東峰村、大肥川支川宝珠山川)

(6) 平成30年(2018)7月には、「平成30年7月豪雨」により西日本および中部地方の広い範囲にわたって72時間雨量で400mmを超える強い豪雨が発生し、多数の斜面崩壊や土石流ならびに洪水が発生し、広域にわたる土砂災害により100名を超える甚大な被害が発生した。この豪雨では、特に広島県と愛媛県において多数の土砂災害が発生した。広島県では花崗岩ならびに流紋岩の地質の地域で土石流が多数発生し、こ

れに伴い流木も発生・流下して、橋梁等を閉塞して被害を拡大させた⁷⁾(図6)。



図6 広島県坂町総頭川における流木による橋梁の閉塞と土石流の氾濫(2018年7月豪雨)

(7) 令和4年(2022)8月4日未明、新潟県村上市小岩内地区の大沢川(流域面積約0.74km²)では、最大24時間雨量が410mmの豪雨により土石流が発生し、約1,000m³の流木が下流の小岩内集落に流下して橋梁を閉塞した。このため、土砂と流木は溪流の外に氾濫し、家屋12棟が全・半壊し、市道が埋まり、田畑も土砂や流木で埋まるなどの甚大な被害が発生した⁸⁾(図7)。

(8) 令和6年(2024)9月21日9時半ころ、石川県輪島市の塚田川(流域面積約5.8km²)では、それまでの24時間雨量がアメダス輪島で252mm、最大1時間雨量98.5mmの豪雨により上流で崩壊や土石流が発生した。集落のある下流の久手川地区の河床勾配は1~2°と比較的緩いためこの区間では流れは洪水に変化した。約6,300m³の流木が久手川地区に流下して4基の橋梁を閉



図7 流木による橋梁閉塞により氾濫した洪水による家屋被害(2022年8月豪雨による村上市小岩内大沢川)

塞し、このため橋梁上流の流路の土砂埋塞およびそれに続く流路外への洪水・土砂・流木の氾濫が引き起こされた（図8）。この洪水・土砂・流木の氾濫により、死者4名、流出したり破壊された家屋が数十棟という甚大な被害が発生した（図9）。

3. 流木の発生メカニズム

山地における土石流の発生、流下に伴い発生する流木の模式図を図10に示す。土石流の流下に伴い溪流沿いの森林が侵食されることによりそこに

あった立木が土石流に巻き込まれて流木になる（図11）。このため山地の溪流では土砂と流木が混じって一体となった土石流として流下する（図12）。下流の河川では河床勾配が緩くなるために土砂の濃度が低くなり、土石流は洪水に変化する。このようになると流木は洪水の水面付近を浮いた形で流下するようになる。

一般に流木の量は樹幹の体積である幹材積（単位は m^3 ）で表される。過去の主な流木災害における溪流毎の流域面積 A (km^2)とそれら流域内での流木の発生量（幹材積） V_g (m^3)の関係を図13に示す^{2),9)}。図13には2017年の九州北部豪雨に



図8 輪島市塚田川における流木による橋梁閉塞に伴う土砂・洪水・流木の氾濫（2024年9月）、1/25,000地形図（国土地理院）に加筆

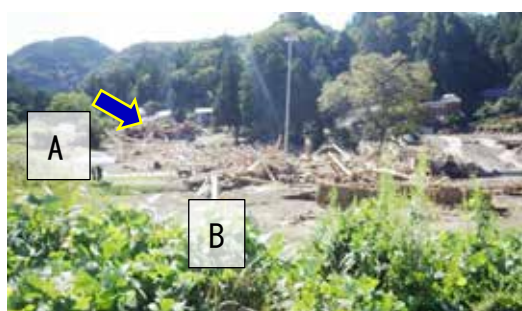


図9 塚田川のA, B地区における流木による橋梁の閉塞に伴う土砂・洪水・流木の氾濫状況（2024年9月）

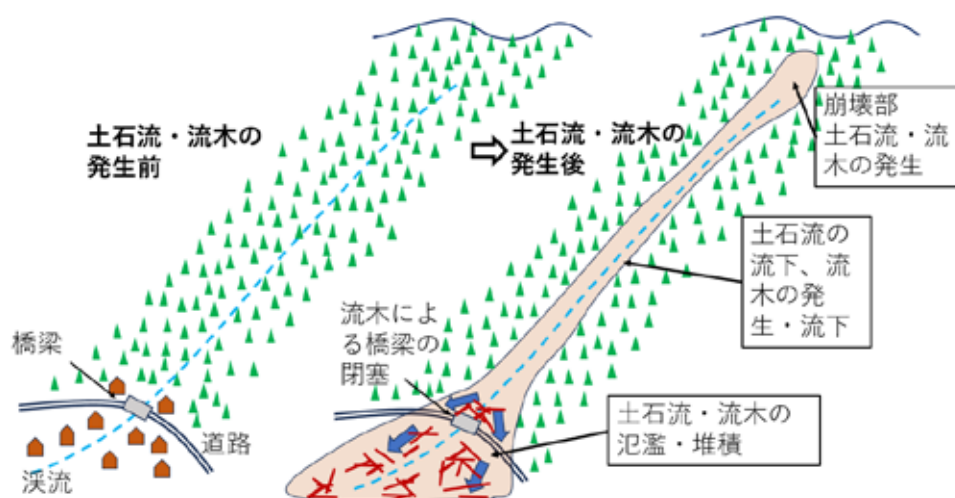


図10 山地溪流における流木の発生と橋梁の閉塞による土石流・流木の氾濫・堆積の模式図



図11 広島市の高松山における土石流・流木の発生・流下（2014年8月、国土地理院撮影）



図12 長野県南木曾町梨子沢における土石流先頭部における流木の流下状況（2014年7月、国土交通省多治見砂防国道事務所撮影）

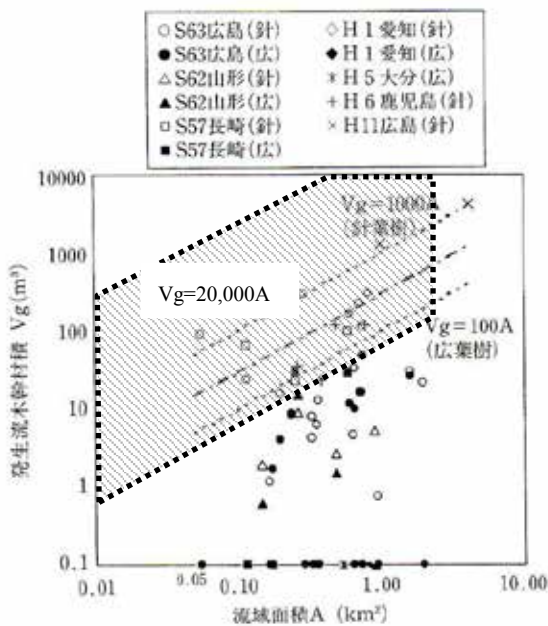


図13 流域面積と発生流木幹材積の関係²⁾、斜線部は九州北部災害(2017)時の溪流の分布(国土交通省⁹⁾、2017に加筆)

よる各溪流での概略の分布範囲⁹⁾も斜線で示す。溪流の流域面積が大きくなると発生する流木の量も比例して大きくなるのが分かる。また、流域面積が同一の場合、針葉樹林の方が広葉樹林よりも発生流木幹材積が多いことが分かる。これは一般に、流域面積1 ha 当たりの幹材積は2017年時点の全国平均で針葉樹（人工林）では324.5m³であり、広葉樹（天然林、二次林）の130m³に比べて多いためである¹⁰⁾。また、最近、流域面積当たりの発生流木量が増加している傾向が認められる。これは、我が国における単位面積当たりの森林の幹材積が年々増加していることが一つの理由である。例えば、人工林における平均の幹材積は1966年時点では70.6m³/haであったものが、2017年時点では324.5m³/haと約4.6倍に増加している。

また、図14^{2),11)}から、発生流木幹材積V_g (m³)の上限値は斜面崩壊や土石流による生産土砂量V_y (m³)の約2%であることが分かる。なお、流域で発生した流木のうち谷の出口まで流出した流木の割合（流出率）は実態調査¹¹⁾によれば各溪流によりバラツキは大きいものの施設が無い場合には約50~90%である。昭和63年(1988)の広島災害の8溪流の流木発生源での調査結果では、流木の長さは発生源の立木の長さの約1/2~1/3であり、流木の平均長は土石流の流下幅の最小値（狭窄部の幅）とほぼ同じであった^{11),12)}。

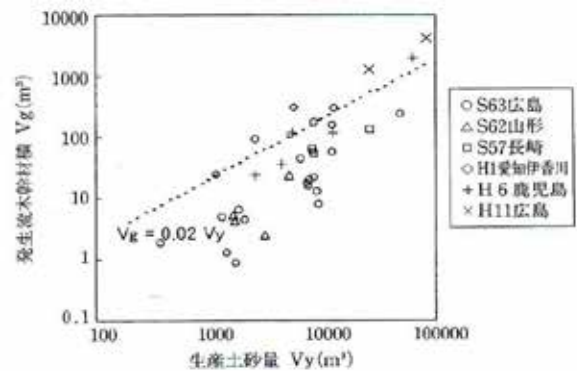


図14 生産土砂量と発生流木幹材積^{2),11)}

4. 流木災害を軽減するための対策

流木災害対策には、施設等によるハード対策と警戒・避難体制の整備等により人命に対する被害を防止するソフト対策がある。前述したように溪流や河川を流下した流木が橋梁を閉塞することで土石流や洪水の氾濫が助長され、周辺の人家や施設に対する被害を大きくする場合が多い。このため、ハード対策としては流木が下流の橋梁や人家付近に到達する前に、上流部において流木捕捉施設等を設置して流木量を減少させる手法が一般的にとられている（図15、図16）。このほかには、流木の発生源となる溪流沿いに生育している大きな樹木を伐採したり、針葉樹を広葉樹に植え替える事等により流木になる量を減らすなどの対策が採られている。ソフト対策においてはハザードマップの整備が重要である。しかしながら現状では、土石流のハザードマップである土砂災害（特別）警戒区域においても、また洪水浸水想定区域図においても流木による橋梁の閉塞による土石流や洪水の氾濫が考慮されておらない。このため、住民に流木災害に対する認識を高めていただき、的確な避難情報を提供するためには、土石流や洪水のハザードマップにおいても流木による橋梁の閉塞による影響を反映させることが必要である。



図15 鋼製透過型砂防堰堤による流木の捕捉例、福岡県田主丸町冷水川



図16 部分透過型砂防堰堤による流木の捕捉例、広島災害（1999年6月）荒谷川

5. おわりに

これまで述べたように、流木は山地溪流の上流において発生し、土石流とともに流れる間にその量を増して行き、下流の橋梁を閉塞することにより、土石流や洪水の氾濫を助長して被害を拡大させる。流木災害を防止・軽減するためには溪流の上流から下流まで連続的かつ総合的に流木の発生を抑制し、流量を減少させるための対策を進める必要がある。一方で、豪雨の際には多量の流木が下流に流下して道路や人家付近に氾濫・堆積する、このような流木を移動及び除去するためには土砂とは異なる特殊な資機材が必要である。さらには流木の仮置き場等の準備も必要である。このように山間地における土石流や洪水の被災現場での救助や捜索活動を迅速に行うためにはこのような資機材を事前に準備することも重要と思われる。

【参考文献】

- 1) Ishikawa, Y., Kusano, S., Fukuzawa, M.: Mudflow and floating logs disaster in Ichinomiya Town, Kumamoto Pref. in 1990, Proc. of Japan-U.S. Workshop on Snow Avalanche, Landslide, Debris Flow Prediction and Control, pp.487-496, 1991
- 2) 建設省砂防部砂防課：流木対策指針（案）計画編、設計編，pp.1-18, pp.1-17, 2000.
- 3) 海堀正博他：1999年6月29日広島土砂災害に関する緊急調査報告（速報）、砂防学会誌、第52巻、

- 第3号, pp.34-43, 1999.
- 4) 岡本敦：平成16年度愛媛県で発生した土砂災害の対策、第37回砂防学会シンポジウム講演集, pp.73-90, 2005.
 - 5) 石川芳治他：2013年10月16日台風16号による伊豆大島土砂災害、砂防学会誌、第66巻、第5号, pp.61-72, 2014
 - 6) 丸谷知己他：2017年7月九州北部豪雨による土砂災害、砂防学会誌、第70巻、第4号, pp.31-42, 2017.
 - 7) 海堀正博他：平成30年7月豪雨により広島県で発生した土砂災害、砂防学会誌、第71巻、第4号, pp.49-60, 2018
 - 8) 権田豊他：2022（令和4）年8月の大雨により新潟県村上市・関川村で発生した土砂災害、砂防学会誌、第76巻、第2号, pp.37-48, 2023
 - 9) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：平成29年7月九州北部豪雨による土砂災害の概要（速報版）Vol.6、2017、https://www.mlit.go.jp/river/sabo/h29_kyushu_gouu/gaiyou.pdf、（2024年12月28日参照）
 - 10) 林野庁：令和3年度森林・林業白書、p.207, 2022
 - 11) 石川芳治、水山高久、福澤 誠：土石流に伴う流木の発生及び流下機構、新砂防、第42巻、第3号, 4-10, 1989.
 - 12) 石川芳治、水山高久、鈴木浩之：崩壊・土石流に伴う流木の実態と調査法、土木技術資料、第31巻、第1号, pp.23-29, 1989.

□豪雨時における土砂災害の危険性評価

－清水寺における現地モニタリングシステムと警戒体制－

立命館大学 理工学部 環境都市工学科 准教授 藤本将光

1. はじめに

近年、豪雨の多発化、激化によって土砂災害のリスクの増加が懸念されている。豪雨に起因する斜面崩壊や土石流は道路や住宅地域などにおいて多大な被害を発生させる。豪雨時における土砂災害の危険性評価には、タンクモデルをベースとした土壌雨量指数やスネークカーブなどが用いられる。スネークカーブを用いる場合、短時間の雨量の強さおよび長期的影響を考慮した降雨指標をグラフの縦軸・横軸にプロットし、降り始めからの降雨状況をもとに危険度を判断する。実際、気象庁から提供される土砂災害に関わる大雨警報（土砂災害）や土砂災害警報情報等は雨量や土壌雨量指数を判断基準としている。この大雨警報（土砂災害）の危険度分布（土砂災害警戒判定メッシュ情報）は1kmメッシュ単位の情報であり、例えば住宅の裏山斜面などのピンポイントな個所の災害の危険性評価とは乖離がある現状は否めない。また、斜面は多種多様な地形、地質、地盤構造を有しており、雨量情報のみでは斜面崩壊などの土砂災害を発生させる主要因となる地盤内の水分状態を把握し、斜面安定性・斜面崩壊危険度を評価・予測することが困難である。そのため、豪雨時における斜面崩壊危険度を評価するためには、対象地の計測雨量情報に加えて、地盤内の水分状態や変形挙動を計測する現地モニタリングによって斜面の状況を把握することが望ましい。

京都盆地東縁に位置する清水寺は、過去に土砂災害を経験している。また、清水寺の下流域は観光客が訪れる観光地としての側面だけではなく、多くの住宅が存在し、地域住民や観光客が土砂災害に被災することが懸念される。そこで、清水寺周辺において広域の地下水流動特性を把握し、斜面崩壊の潜在的な危険性の評価を行った。また、土砂災害が発生する可能性が高い斜面として判定された重要文化財後背斜面において、現地モニタリングによる斜面崩壊の危険性を評価し、警戒監視を行うシステムを構築した。本稿では、清水寺周辺における土砂災害の評価や避難警戒に関する取り組みを紹介する。

2. 清水寺における土砂災害と斜面崩壊の発生の危険性評価

2.1 清水寺周辺における土砂災害

京都は周囲を山地に囲まれた盆地であり、盆地周縁部に立地する寺社仏閣は土砂災害を受けるリスクが潜在的に高いと言える。世界遺産である清水寺は近年には境内斜面において土砂災害が発生している。1972年7月には釈迦堂の後背斜面の崩壊によって釈迦堂が全壊、1999年6月には音羽の滝横の茶店が斜面崩壊によって全壊、2013年8月には大小合わせて5か所で斜面崩壊が発生した¹⁾。図-1は2013年に発生した音羽の滝南側の斜面崩壊の現場の様子である。1999年に崩壊した斜面の横



図-1 2013年の8月における音羽の滝横の斜面崩壊の様子
(発生から1日後)

の斜面が崩れ、崩壊土砂は茶店の屋根に到達した。また、2021年8月の豪雨において、名勝成就院庭園内の湯屋谷の斜面や音羽川沿いの斜面において複数の斜面表層崩壊が発生した。

2.2 清水寺周辺の地下水流動と斜面崩壊の危険性評価

斜面崩壊発生の危険性の評価には、主として素因である地形や地質等に支配される発生場の特徴と崩壊発生の誘因となる地下水流動等の水文的要因を把握する必要がある。地形情報に関しては、近年の航空計測技術の進展により、微地形も含めた詳細な表面地形の把握が可能となった。また、崩壊の発生に関与する地下水の流動は湧水位置および湧水の電気伝導度の空間分布特性を用いて把握する方法²⁾が提示され、簡便な調査による実態把握の可能性が報告されている。そこで、高精度・高密度の地形データを用いた地形解析と湧水の空間分布特性調査に基づく水文情報を得ることで清水寺周辺の斜面崩壊の潜在的危険度を評価した。

地形解析では航空レーザ測量によって得られた1mの数値地形モデル (DEM) (中日本航空株式会社提供) を用いて微地形図を作成した。微地形図には視覚的に立体的な地形判読が可能である立体図法³⁾を用いて、CS (Curvature and Slope)

立体図を作成した。CS立体図は、標高データから傾斜と曲率を計算し、異なる色調で彩色し重ねて透過処理することにより作製される。CS立体図と地質図を用いて表層崩壊跡地、浸食箇所、湧水地等の地形判読を行った後、湧水調査を行った。湧水の電気伝導度の計測は電気伝導度計 (HORIBA 社、ES-51) を用いて現地において行った。

清水寺周辺におけるCS立体図に土砂災害の発生位置、湧水の位置と電気伝導度の調査結果を重ねたものを図-2に示す。図中の数値は湧水の電気伝導度を示し、単位は $\mu S/m$ である。清水寺本堂東側に位置するリニアメントを境に谷の開析状況が大きく異なることが明確になった。これはリニアメント東側が主として砂岩、頁岩、チャートからなる丹波層群であるのに対し、西側は新生代第三紀末から第四紀更新世の大阪層群から構成されていることに起因している。リニアメント東側では深部にまで地下水が浸透し、西側のシルト、砂礫から構成されるエリアまで流動し、湧出すると考えられる。リニアメント西側は湧水が多く、湧水による浸食崩壊が卓越している。また、近年の

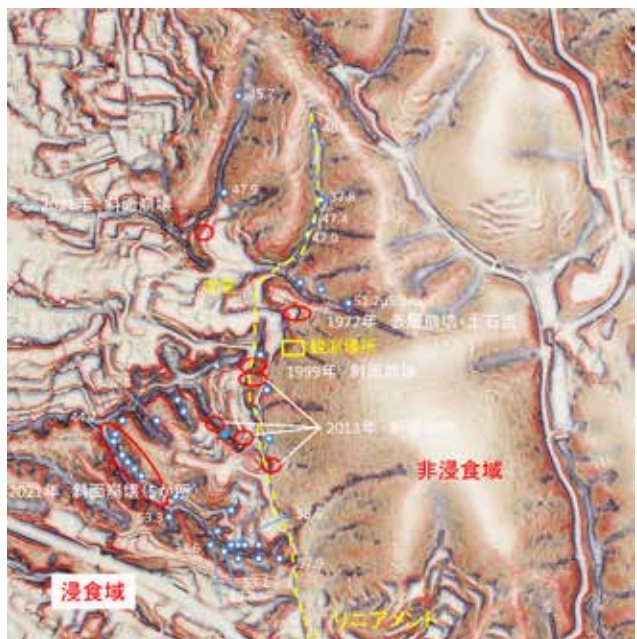


図-2 清水寺周辺のCS立体図，斜面崩壊の発生位置および湧水の位置 (参考文献⁴⁾に加筆)

崩壊がリニアメント周辺で発生していることは東側の非浸食域（浸食抵抗が強いエリア）で深部浸透した地下水が豪雨時に稀に地質境界であるリニアメント周辺で湧出することで引き起こされると考えられる。このように詳細な地形データと現地調査を組み合わせることで潜在的な土砂災害の危険度を評価できる可能性が示され、今後の土砂災害の予測への活用が期待される。

3. 現地モニタリングを用いた斜面監視システム・警戒体制

3.1 現地モニタリングシステムの概要

現地モニタリング対象斜面は重要文化財である奥ノ院の後背斜面を選定した。基岩は砂岩、頁岩、チャートからなる丹波層群で構成され、表土は崩積土で覆われている。図-2に示す観測場所（図中、黄色四角枠）において雨量、地盤内の間隙水圧、地温の計測を行った。間隙水圧を計測するテンシオメータの計測は2004年から開始し^{5), 6), 7)}、2012年に計測点を増設し、現在は調査対象斜面上に14観測場を設定した。テンシオメータはセラミック製のポーラスカップをつなげた塩ビパイプを土中に埋設し、パイプを介して圧力計をつなぎ、内部を脱気水で満たしたものである。セラミック製のポーラスカップ部分で、土中の間隙水圧とテンシ

オメータ内の脱気水の圧力が平衡することで、圧力センサによって間隙水圧を計測する仕組みである。地温は熱電対を用いて計測した。また、簡易動的コーン貫入試験の結果から土壌強度特性を把握するとともに基岩面までの土層深さを決定した。決定した土層深さを基準とし、鉛直方向に各点で2～6深度において計測点を設定し、テンシオメータを計51基設置し、計測地点1か所においてデータ集約を行った。データ収集には、ロガー（Campbell社、CR1000）を1台と計測チャンネルの増幅器であるマルチプレクサー（Campbell社、AM16/32B）を3台用いた。計測システムの概要を図-3に示す。

3.2 データ伝送と警戒システムの概要

本観測では収集した雨量、間隙水圧、地温のデータは無線通信を介してインターネット上でリアルタイムで確認できるシステムを構築した（図-4）。インターネットへの通信はモバイルカードを用いている。このシステムによって大学関係者と清水寺関係者の両者はリアルタイムでデータを確認することができる。また、計測された雨量データから雨量指標値を逐次解析し、設定した警戒基準を超えた場合に警戒メールが配信される仕組みとなっている。警戒基準に関して図-5に大規模降雨イベントにおける連続雨量と1時間雨量の関係を示す。図-5で示した雨量指標以外（土壌雨量指数、24時間半減期実行雨量、72時間半減期実行雨量）についても、計測結果をフィードバックさせて土砂災害の発生基準線（Critical Line）の設定を常時再検討している。このシステムを用いて、豪雨時に文化財や観光客に被害が及ばないように速やかに対応できる体制を整えている。また、この雨量基準に加え、後述する土中水分量の変動を確認し、参拝者や観光客の被災を避けるために通行できるルートに制限をかけるなどの対応を行っている。

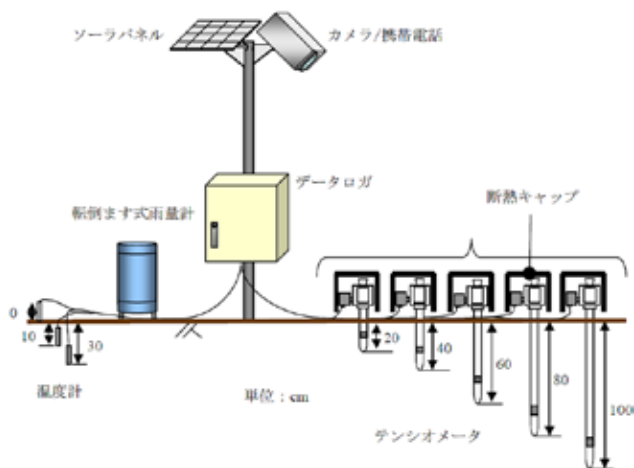


図-3 計測システムの概要⁵⁾

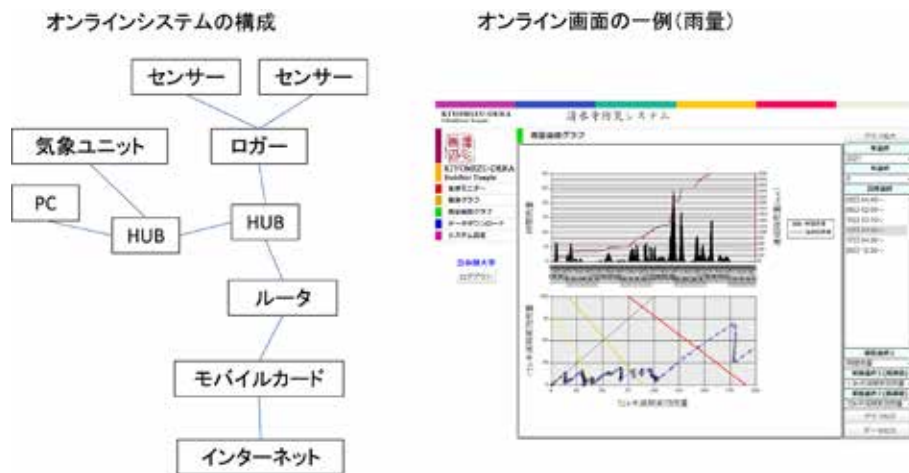


図-4 オンラインシステムの構成とシステム画面の一例

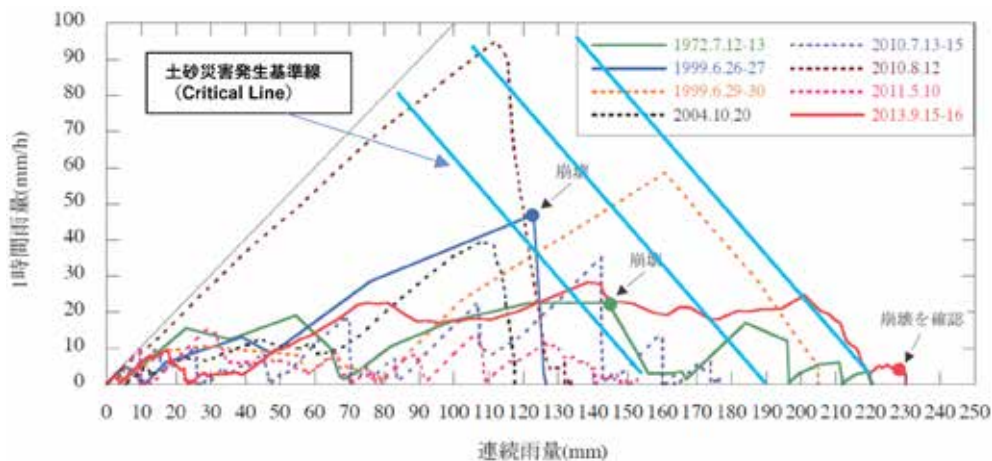


図-5 大規模降雨イベントにおける連続雨量と1時間雨量の関係(参考文献¹⁾を改変)

3.3 降雨浸透特性と斜面崩壊の発生危険性評価

間隙水圧の計測結果の一例を図-6に示す。本研究では、間隙水圧値が0 cmH₂O を超えると計測点が飽和したと定義した。間隙水圧が正圧(正の値)の場合、計測点付近は飽和し、地下水位が発生し、その値は地下水位に相当すると解釈できる。また、負圧(負の値)の場合、計測点は不飽和であり、値が小さいほど乾燥状態であることを意味している。計測結果から、降雨時に間隙水圧は素早く応答し、正圧になり、地下水位が発生する傾向が認められた。また、降雨後には地下水位が消失し、乾燥状態に移行するが計測深度が深いほど、湿潤状態が維持されることが示された。

雨量、間隙水圧の計測結果から、奥ノ院後背斜面では土層内において非常に素早い水の移動によって地下水帯が形成されることが認められる。これは土層が主として砂岩やチャートが風化した礫で構成されており、礫間の空隙を水が素早く移動することに起因していることが考えられ、地盤の基質となる地質要因を把握することが重要であるといえる。

また、間隙水圧の変動傾向は計測地点ごとに異なり、飽和後も累加降雨量の増加とともに間隙水圧値(地下水位)が上昇する地点が認められた。地下水位は斜面崩壊の発生と密接に関係しており、既往の降雨で到達した地下水位のレベルを超える

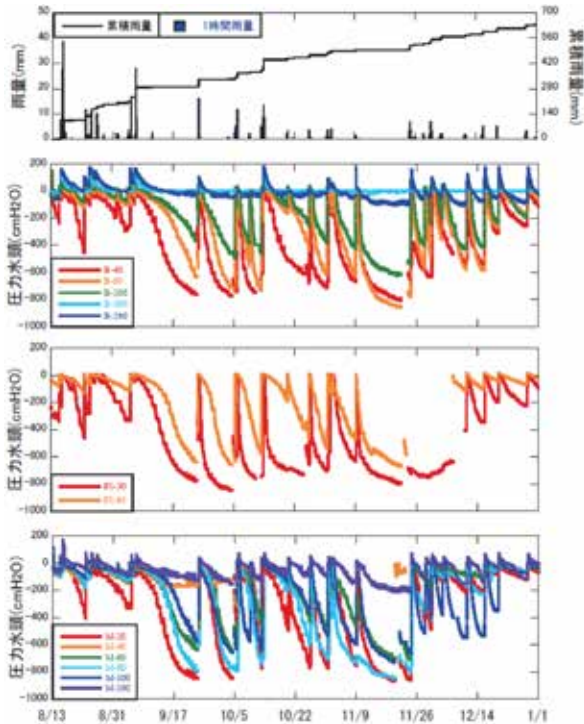


図-6 間隙水圧の計測結果の一例

降雨規模となった場合には、斜面崩壊が発生する可能性が高くなると考えられる。そのため、このように降雨に伴って地下水位の上昇がみられる計測点で水分状態をモニタリングすることは斜面崩壊の予測につながると期待される。以上のように、雨量情報に加えて、斜面の水分状態をリアルタイム計測が対象となる個別の斜面の危険性を的確に判断する材料となり、避難警戒に繋がるといえる。

4. おわりに

豪雨による土砂災害が多発する中、斜面崩壊を的確に予測し対策を講じることは急務である。急傾斜地崩壊危険箇所等は日本全国で33万箇所を超えること（平成15年の国土交通省の調査結果）が報告された。しかしながら、対策にかかる経済的コ

ストや時間的コストの点で、こうした危険性の高い斜面において現実的に早急に対策を実施することは困難である。そのため、レッドゾーンのように危険性が高いと判断された斜面においては、対策に代わる手段として、まず斜面の状態をモニタリングし豪雨時に刻一刻と変化する危険性を評価することが望ましい。本稿で紹介した斜面監視システムが低コスト化され、多くの場所で運用されることで、土砂災害の被害の軽減や防止につながると期待される。また、個別の警戒レベルの設定や避難行動の判断に活用可能であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 檀上徹, 藤本将光, 木村亘, 平岡伸隆, 深川良一 (2014), 台風18号に伴う清水寺境内の被害と後背斜面の地盤水分変動及び挙動に関する一考察, 歴史都市防災論文集, 8, 115-122
- 2) 地頭菌隆, 下川悦郎, 寺本行芳 (2006), 深層崩壊発生場予測法の提案—鹿児島県出水市矢筈岳山体を例にして—, 砂防学会誌, 59, 2, 5-12
- 3) 戸田堅一郎 (2014), 曲率と傾斜による立体図法 (CS 立体図) を用いた地形判読, 森林立地, 56, 2, 75-79
- 4) 藤本将光, 戸田堅一郎, 有光悠紀, 里深好文, 深川良一 (2016), 京都市東山地域における斜面崩壊の潜在的危険度評価, 歴史都市防災論文集, 10, 55-58
- 5) 酒匂一成, 深川良一, 岩崎賢一, 里見知昭, 安川郁夫 (2006), 降雨時の斜面防災防止のための重要文化財周辺斜面における現地モニタリング, 地盤工学ジャーナル, 1, 3, 57-69
- 6) 里見知昭, 酒匂一成, 安川郁夫, 深川良一 (2007), 京都市東山山麓周辺における現地計測データを用いた斜面安定度評価に関する研究, 歴史都市防災論文集, 1, 175-182
- 7) 深川良一, 酒匂一成, 里見知昭, 石田優子, 仲矢順子, 安川郁夫 (2008), 降雨時斜面災害防止のための重要文化財周辺斜面における現地多点モニタリング, 歴史都市防災論文集, 2, 99-104

□ 令和6年能登半島地震の被害 に対する地形・地質の影響

金沢大学 地域創造学系 准教授 青木 賢人

2024年1月1日に発生した能登半島地震から1年が経過した。12月にはようやく仮設住宅の建設が完了し（9月の豪雨による被災者分の建設はまだ終わっていないが）、能登の大動脈である国道249号線が全通した（一部、迂回路を利用しているが）。この間、調査や支援のために幾度となく能登に足を運んでいるが、被災者の皆さんが日々の暮らしを安心して送れる状況になるには、まだまだ長い時間がかかりそうである。

能登半島地震は、能登半島の先端部に位置する珠洲市を震源に発生したマグニチュード7.6の大地震であり、内陸活断層に起因する地震としては1891（明治24）年に発生した濃尾地震（マグニチュード8.0）に次ぐ、国内最大級の地震となった。輪島市・志賀町の一部で震度7に達したほか、奥能登（珠洲市、輪島市、穴水町、能登町）や中能登（七尾市、志賀町、中能登町）の広い範囲で震度6強～弱が観測された。2025年1月時点の直接死は228名（他 行方不明2名）であり、熊本地震（50名）や中越地震（16人）を大きく上回る被害となった。この地震では、強震動による建物の倒壊だけでなく、地盤の隆起、土砂崩れ、断層変位、液状化、津波、さらには大規模火災など、地震で起きるありとあらゆる現象が起きたということも大きな特徴である。

能登半島地震で生じた被害や初動対応、そこからの復旧・復興に対して、能登半島の地形・地質

条件が大きな影響を与えている。以下では、地形・地質条件と被害の関係について直接的な影響と間接的な影響に分けて整理してみたい。

直接的な影響として「半島」「隆起」「土砂崩れ・地すべり」の3つの地形・地質条件を取り上げる。

まず、半島という大地形の影響である。半島とは一般には「根元が細く、水域（海や湖）に突き出した土地」とされる。この土地の形が地震発生時の初動を非常に困難なものにした。能登半島には、細い根元の先に3つの市を含む7つの自治体が存在し、多くの住民が被災した。この被災者に対する陸路を経由した支援・救援は、すべて細い根元に集中することになった。震災直後には、県都の金沢から能登へ至る幹線道路である里山海道がいたるところで発生した盛り土崩壊によって使用不能となり、多くの車両が国道を利用した。特に被害が大きかった奥能登4市町の5万5千人を超える住民に対する支援車両はすべて中島～穴水間の国道249号線に集中した。国道249号線も部分的に通行不能となるなど損傷が激しく交通容量が小さくなっていたことに加え、能登に宿泊施設がなく、ほとんどの支援者が金沢からの日帰りでの対応となっていたことが合わさり、朝夕は慢性的な大渋滞となっていた。東日本大震災で「櫛の歯作戦」と名付けられた多数の陸路から同時並行に被災地に支援を送り込めたことと対照的に、まさ

に綱渡りのような支援状況となっていた。

次に、隆起の影響について述べる。能登半島地震による特徴的な地形変化として、外浦（能登半島北岸）側の地盤の隆起がある。能登半島北岸に沿って海底に存在する南下がりの逆断層が震源断層となったため、門前～輪島～曾々木～狼煙にかけての海岸で、最大4mを超える地盤の隆起が発生した。このため、外浦側の港湾・漁港は軒並み海底が露出したり水深が浅くなったりすることで使用することができなくなった。港を利用した海路による物資搬入も困難になり、海上自衛隊のホバークラフト（LCAC）などの限られた手段しか用いることができなかった。一方、能登半島地震では津波も発生している。海岸が隆起した外浦側では、海岸の隆起量と津波が相殺され、結果として大きな津波被害が生じなかった。一方、隆起がなく、むしろ沈降傾向にあった内浦（富山湾）側の珠洲市や能登町では大規模な津波の被害が生じている。これも地形・地質条件による震災の影響

と位置付けられる。津波によって港湾・漁港が破壊された内浦側でも海路による支援物資の陸揚げをすることができず、支援の初動が遅れる要因の一つとなった。また、漁港が干上がったことで能登の基幹産業である水産業の再開が進んでおらず、飲食や観光業にとってもダメージとなっている。この能登半島の隆起は、今回の地震に限ったことではなく、数10万年以上の長期にわたって継続している。外浦側で隆起量が大きく内浦側で小さい傾動をしていることにより、外浦側では河川の下刻が大きく、大きな平野が発達していない。そのため、外浦側では小さな浦々に小さな集落が発達する離散的な集落分布となった。この離散的な集落分布は後述の土砂崩れとも相まって、多くの孤立集落を生じさせる素因となっている。加えて、平野が少ない外浦側では仮設住宅や災害公営住宅を建設するまとまった土地を確保することも難しく、建設が遅れた要因の一つとなっている。（写真1）（写真2）



写真1 隆起した外浦の海岸（輪島市門前町深見：2024年4月29日 青木撮影）
干出した海底の岩盤に付着していたピリヒバ（石灰藻の一種）が枯死することで、隆起部分が白く見えている。



写真2 隆起によって干出した漁港（輪島市黒島漁港：2024年2月16日 青木撮影）

三点目が土砂崩れ・地すべりの影響である。能登半島地震とその後9月に発生した奥能登豪雨では、数多くの土砂崩れ・地すべりが発生した。外浦側は軟弱な第三紀の堆積物や風化した火砕岩から構成されている。これらの軟弱な地盤が隆起による急傾斜をなしていることが要因となって、地すべりや崩壊が多発している地域となっている。防災科学技術研究所が提供する「地震ハザードステーション」から地すべり地形分布図を確認すると、能登半島外浦側が地すべりの密集地帯であることが分かる。能登半島地震では、こうした地すべりの再活動や斜面崩壊が発生したことにより、家屋が埋積・流失したり、道路が寸断されるなどの被害が生じている。道路被害は深刻で、能登半島の主要道路である国道249号線も地すべりにより各地で寸断した。道路上に崩積土が載るだけでなく、地すべりによって路盤ごと破壊されてしまうため道路啓開は容易ではなかった。不安定土砂上に仮設道路をつくるのが難しく、隆起によっ

て露出した海底だった地盤を利用した迂回路も建設されるなど、国道の仮復旧まで1年を要することとなった。もともと能登半島では、地すべりによって生じた緩傾斜地を水田や畑地に利用することで自給的な農業がおこなわれてきた。その典型例が、景勝地として知られる輪島市白米の千枚田である。白米千枚田には対策工の水抜き井戸も設置されているアクティブな地すべり地であり、今回の地震でも流動したことが確認されている。こうした地すべり地も、人口増加期には離散的な集落形成の要因となってきた。そして、こうした離散的に分布する集落に至る副次的・枝道的な道路においても地すべり・土砂崩れによる寸断が生じ、多くの孤立集落が生じる要因となった。孤立集落対策としての広域避難や長期避難は、集落の紐帯を弱めることにもつながり、地域の復旧・復興に対して大きな障害となりつつある。(写真3)(写真4)



写真3 地すべりによって崩落した道路（輪島市ゾウゾウ鼻付近：2024年4月7日青木撮影）
地すべりの移動体の下方に崩落した道路（路面、電柱、ガードレール）が見える



写真4 白米千枚田の地形（2024年6月19日 青木撮影の写真に加筆）

地震被害や復旧・復興の障害となる直接的な要因として地形・地質が作用することに加え、「そもそも、震災前から能登が災害に対して脆弱な地域であった」ことに対しても、能登半島の地形・地質は影響を及ぼしている。

能登半島地震の人的被害を大きなものにした要因として、住宅の多くが1981年以前に建築された旧耐震基準の木造建築であったことが挙げられる。耐震性能が劣る住宅に居住していたために、家屋倒壊によって下敷きになり命を落とすケースが非常に多かった。能登では少子高齢化が進行しているため、住宅の新陳代謝が起きにくい状況となっていた。「自分の代で終わりの家」に高齢者が多額の投資をすることは難しい。能登半島地震による直接死が多くなった背景には、社会的な要因が存在している。加えて、上水道・下水道の復旧が遅れていることも指摘されている。上下水道は基礎自治体が地方公営企業法に基づいて独立採算制で運用している。したがって、過疎化が進展することによって収入が減少し、メンテナンスのためのコストをかけることが難しくなってくる。能登半島の各自治体の上水道も老朽化が進んでいて耐震性能が低かったことが、多くの箇所です断水を生じさせ、復旧に長い時間を要する原因となっている。また、平成の大合併を経て自治体職員が少なくなり、自治体の対応能力自体が低下してきていることも初動だけでなく復旧・復興を難しくしている。

こうした能登が災害に対して脆弱な地域の原因となった「過疎化」「少子化」「高齢化」にも能登半島の地形・地質条件が関わっている。そもそも半島は平時においても交通事情が悪く、到達が困難な地域である。輪島市や珠洲市は2003年の能登空港開港までは、離島を除く日本国内で東京からの移動時間が最も長くかかる地域のひとつとなっていた。半島振興法という法律が制定されて半島地域の産業支援や生活支援が国レベルでも行われていることが示すように、半島は「条件不利地」で

ある。そのため、産業の高度化・都市化の進展に伴って多くの人口が流出し、加速度的に過疎化・少子高齢化が進展してきている。水資源が乏しく、隆起傾向にあるために平地も少ない能登半島は、商業的な農業を行う上でも不利地であり、輸送の困難性から工業の立地も限定的となり、人口の維持が難しかった。震災前の奥能登4市町の高齢化率（65歳以上人口割合）が約50%であり、震災後には若齢層の流出が顕著であることから、一層の高齢化が進むことが確実視されている。能登半島地震における復興支援は、単純な被災者支援だけでなく、高齢者支援・福祉支援などとシームレスに行わなければならない、より難しいものとなっている。

ここまで、能登半島の地形・地質条件が震災対応を難しくしていることを述べてきた。しかしながら、平時においては能登半島の地形・地質条件は、能登の生活や文化・社会を成り立たせるための基盤として、多大な恵みをもたらしてきた。「能登はやさしや土までも」なのである。

白米の千枚田をはじめとして、地すべり地が農地として活用されることで集落の生産が維持されてきたことはすでに指摘したとおりである。それだけでなく、地震によって隆起した海岸部は海岸段丘という地形となり、海に近くて海水を運びやすいが日常的には波がかぶらないことから、外浦一帯で古くから行われてきた「揚浜塩田」の立地場所として活用されてきた。さらに高位の海岸段丘では、何度かの氷期―間氷期サイクルを経ることによって表土が赤色土化しており、その粘土質土壌を利用した農業で「赤土ジャガイモ」「赤土イチゴ」など、特産の農作物が生産されている。珠洲の七輪生産や輪島塗の「地の粉」として用いられている珪藻土は、およそ1,200万年前に日本海拡大に伴って深い海底で堆積したプランクトンの死骸が集積した堆積物であり、その後、日本列島周辺が圧縮場に転じたことによって能登半島が

隆起したため、陸上で採取が可能となっている。この珪藻土の地層を隆起させた地殻変動の一つが今回の能登半島地震であり、見方を変えれば「輪島塗や七輪は能登半島地震（と一連の地殻変動）の賜物」という言い方もできるのである。石川県では、震災復興の一つのアプローチとして、震災遺構を継承するとともに、こうした「能登の自然と人々の営み」を一体化して活用することを意図し「能登半島をジオパークにする」計画を進めている。ジオパークを通して整備を進めていくことで、多くの人に能登の地形・地質と、能登の暮らしと震災について、学んでもらえる機会を提供できるのではないかと考えている。(写真5)

能登半島地震とそれによる災害は、半島震災・半島災害ともいわれるようになった。全国には多くの半島が存在している。南海トラフ連動地震による被災が現実視される伊豆半島、紀伊半島、室戸岬など東海・近畿・四国の半島だけでなく、三浦半島のように陸域や沿岸域に地震発生確率が高い活断層を持つ半島も存在している。半島を有する自治体も、能登半島地震の実相に深い関心を寄せていただいているようである。能登半島地震で



写真5 海岸段丘上の古赤色土（赤土）を利用して栽培されたことをアピールしている能登町産の赤土ジャガイモ（青木撮影）

はっきりしたことは確認できていないが、MIS-7（20～25万年前）か MIS-9（32万年前）に離水し、隆起してきた海岸段丘で生産されていると思われる。

は、旧耐震の木造家屋の倒壊や、十分とは言えない避難所環境など、過去の災害の教訓を活かしきれなかったこともある一方で、津波から多くの住民が逃げ切ったことは、東日本大震災の教訓を踏まえて住民や行政が努力をしてきた成果だと筆者は捕えている。能登半島地震の教訓が日本各地の半島で活かされ、次の災害を防ぐことにつながれば幸いである。

□ 能登半島地震の地震動と建物被害

東北大学 災害科学国際研究所 准教授 大野 晋

1. はじめに

2024年1月1日に石川県北部で発生した令和6年能登半島地震は、マグニチュード7.6の地殻上部で発生した浅発地震であり、2024年12月時点で災害関連死を含む死者489名、住家被害は全半壊合わせて29,670棟に達する甚大な被害をもたらした¹⁾。石川県での震度7を含む広い範囲で大きな揺れを観測しているが、ここではこれまでに報告された各種調査や既往研究に基づき、観測された地震動の性質、特に地盤増幅の影響について解説するとともに、建物被害との関連についても述べる。

2. 広域震度分布と地震動の概要

図1は能登半島地震の断層モデルの地表投影

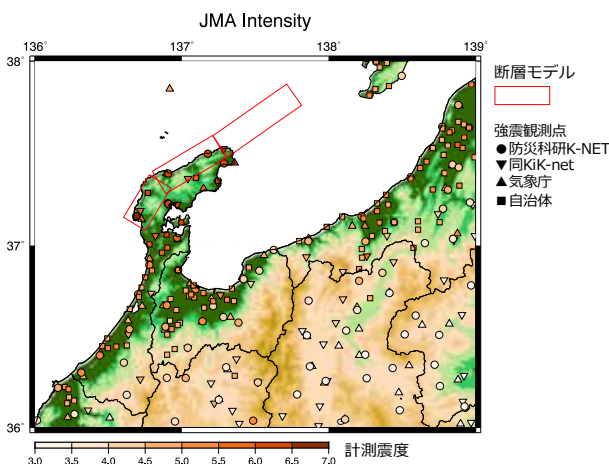


図1 能登半島地震の震源域と計測震度分布

面²⁾と震度分布を示したものである。東側の断層面は海域にあるが、西側2面は能登半島の北部を覆う形で広く分布している。断層の破壊過程のレビュー³⁾によると、破壊は中央の断層面の東端近く（珠洲市直下）から始まり、それぞれ東側と西側に伝播していること、断層の浅い位置で大きく滑っていることが報告されている。

各地点の計測震度の分布からは、震度6強以上の大きな揺れが震源域である能登半島北部に集中していることがわかる。また図1の背景は標高（緑が低地）であるが、震源から離れるとともに震度が小さくなる一方、石川県南部や新潟県では、低地で周辺よりも揺れが大きい傾向が確認できる。これは低地では山地よりも柔らかい地盤が多く、軟弱地盤による増幅があるためである。

図2は日本の内陸浅発地震で甚大な被害があった場所での観測記録について、左側に地震動の速度最大値と加速度最大値の関係を、右側に応答スペクトル図を示したものである。加速度最大値は短周期の揺れの、速度最大値は長周期の揺れの大きさの尺度として用いられており（計測震度は両者の中間的な性質を持つ）、大被害を受けた場所では両方が大きい値を示すことが指摘されている⁴⁾。兵庫県南部地震などの過去の被害地震と比較すると、複数の場所で同等の揺れであったことが確認できる。

一方、右側の応答スペクトルは建物を一質点系（1個の質量を1個の減衰つきバネで支える構造

で、揺れやすい固有の周期をもつ)に置き換えた時の応答最大値を固有周期に対して描いたものであるが、周期ごとの揺れの大きさの尺度として用いられる。日本の中低層建物の多くは、大地震で揺れる周期(等価固有周期)が1-2秒程度になり、被害が甚大になる場合はこの周期帯域で振幅が大きいことが指摘されている⁵⁾。図の過去の内陸地震の大被災域の記録でもその傾向が確認できる。能登半島地震で被害が大きかった場所の観測記録でも同様に、周期1-3秒程度で振幅が大きいことが確認できる。

3. 能登半島北部で観測された地震動と表層地盤

図3は能登半島北部で観測された強震動の速度波形である。前述の通り珠洲市直下から破壊が始まっているので、西側に行くにつれて初動が遅れて到達している。また、近接した観測点でも揺れの大きさに相違があることがわかる。地質図を併せて示しているが、図2で示した周期1-2秒振幅が大きい地点はいずれも完新世のいわゆる柔らかい地盤に属している。

各波形には震度階も示したが、志賀町 ISK006、

門前町67016、穴水町 ISK005の3地点で震度7を観測している。門前町と穴水町は速度波形の振幅も大きいものの、志賀町 ISK006では周囲の観測点と同等であり、震度7を観測した他2地点と異なる傾向を示している。

図4は図3の観測波形の応答スペクトルを市町別に重ね書きしたものである。速度波形同様、近接した場所でも周期特性が大きく異なることがわかる。また、図2右で示した通り、被害が大きかった輪島市門前町、同鳳至町47600、穴水町 ISK005、珠洲市正院町 ISK002は他の地点に比べて周期1-3秒の振幅が特に大きいことが確認できる。一方、震度7を観測した地点の一つである志賀町 ISK006では周期0.2-0.3秒程度が卓越しており、周期1-2秒の振幅は周辺よりもむしろ小さく、周辺では屋根瓦の被害はあるが倒壊建物は確認されていない。

図5は輪島市内の3観測点について、地質図上の位置、表層のS波速度構造⁽⁶⁾⁷⁾⁸⁾、観測点および周辺被害写真、2007年と2023年の地震の応答スペクトルを示したものである。河井町(ISK003)は新第三紀堆積岩(丘陵地のへり)に位置しており、鳳至町(47600)はISK003から西側に1kmほど離れた軟弱地盤上にある。門前町も軟弱地盤上に位

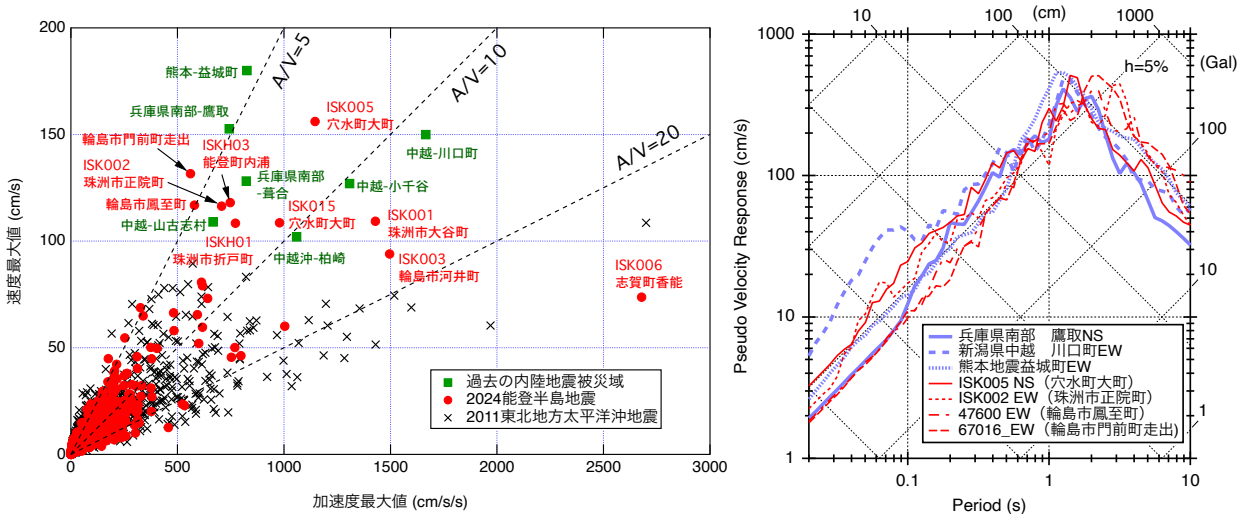


図2 甚大な被災域における過去の内陸地震と能登半島地震の観測記録の比較

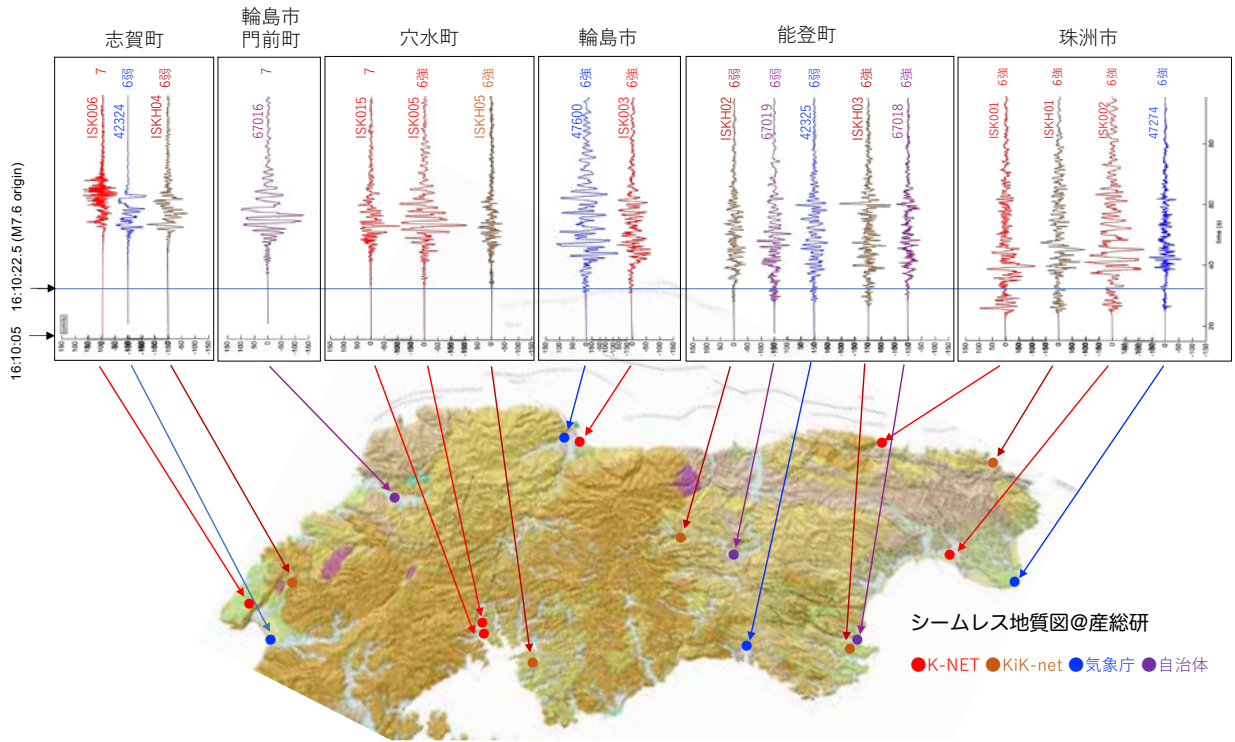


図3 能登半島北部の速度波形（東西成分）

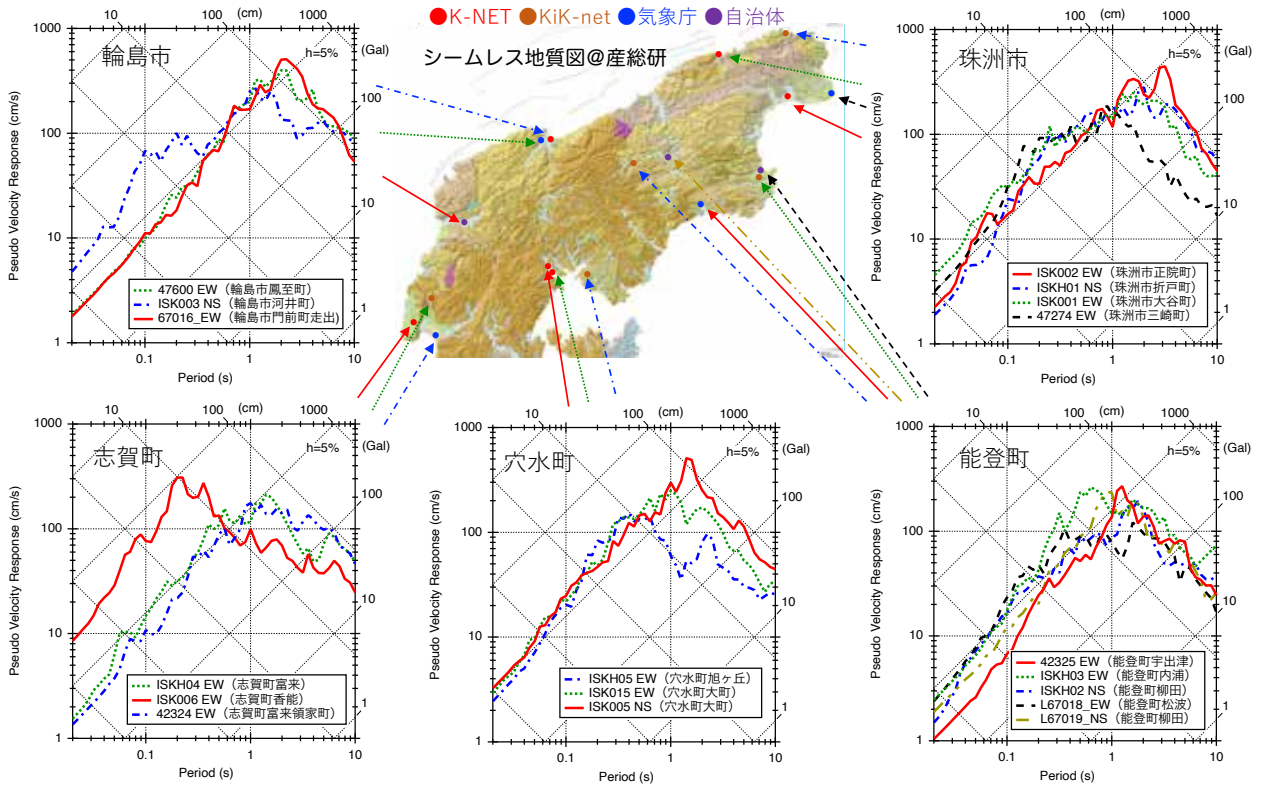


図4 能登半島北部の擬似速度応答スペクトル（水平2成分のうち大きい方）

置している。S波速度は地盤のせん断剛性に対応し、大きな値であるほど剛性が高いことを示す。通常工学的に基盤として扱われるのは400m/s程度、地震学的に基盤として扱われるのは3 km/s程度であり、河井町はごく表層の風化層を除いて工学的基盤とみなして良いが、鳳至町と門前町は深さ30-40mまでそれよりも低い（従って剛性が小さい）軟弱地盤である。

2007年能登半島地震後の常時微動計測や観測記録の分析などにより、軟弱地盤の2地点の卓越周期は概ね1秒程度と報告されている⁹⁾¹⁰⁾。図には2023年5月5日の能登半島沖の地震および2007年能登半島地震での応答スペクトルを重ね書きしているが、a) 2地震とも河井町よりも軟弱地盤の2地点の方が振幅が大きいこと、b) 振幅が小さい2023年の地震に対してはどちらも1秒程度にピークがあるが、2007年の地震（門前町は欠測）の鳳至町の卓越周期は2秒に伸びていることが確認できる。後者は振幅が大きくなると地盤剛性が

低下するためであり、2007年の地震の輪島市鳳至町や穴水町の記録でも確認されている⁷⁾。図4の2024年能登半島地震では2007年よりもさらに卓越周期が伸びている（剛性低下の度合いが大きい）ことが確認できる。

軟弱地盤の2地点周辺では写真に示すように家屋倒壊などの甚大な被害が発生した。河井町では、観測点ごく近傍の丘陵地に位置する建物の被害は限定的であるが、軟弱地盤の低地では他の2地点と同じような大きな被害を受けている。

図6は、志賀町・穴水町・珠洲市観測点の表層地盤のS波速度構造⁶⁾である。志賀町ISK006では薄い表層が短周期の揺れを増幅させたことが震度7の原因と思われる。穴水町ではISK005が震度7、ISK015とISKH05は震度6強であったが、ISK005の表層地盤は他2地点よりも明らかにS波速度が小さい（従って地盤増幅が大きい）ことが周辺での大被害の原因である。珠洲市では、特に大きな被害があった正院町（ISK002）では他の地

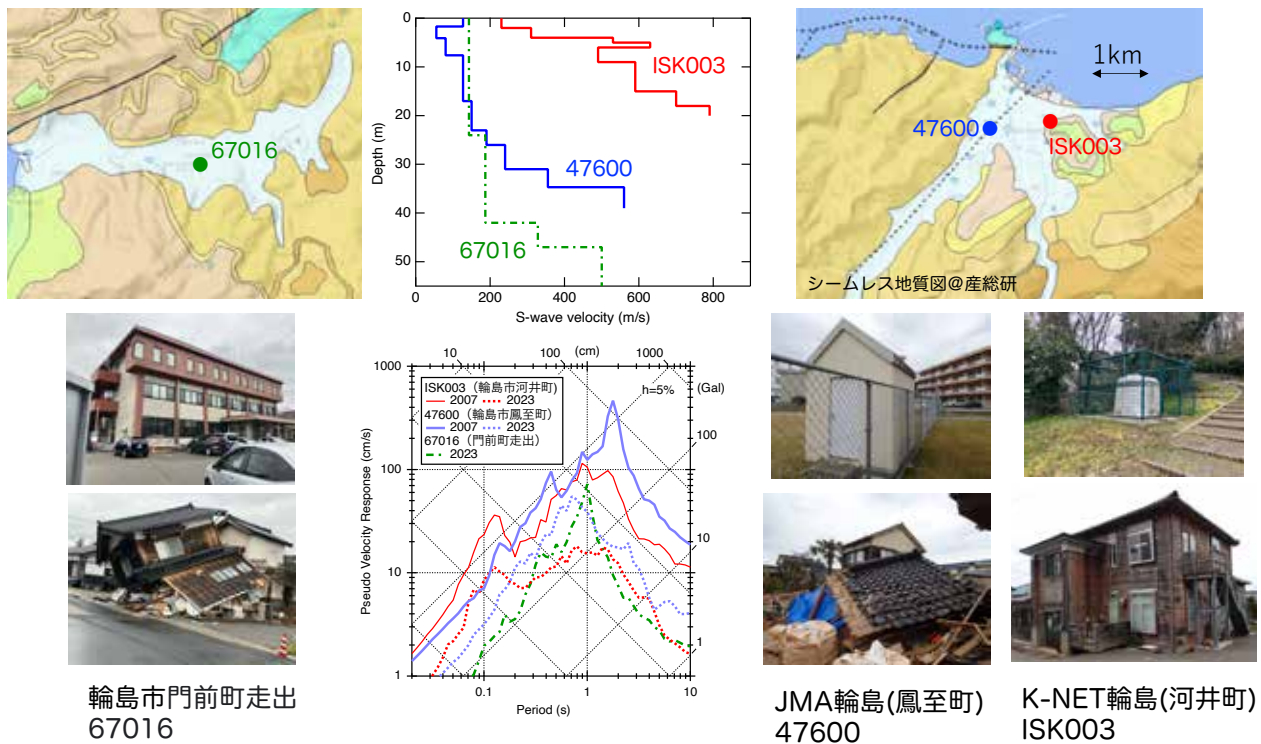


図5 輪島市3観測点の表層地盤のS波速度構造と2007年能登半島地震、2023年5月5日の能登半島沖の地震の擬似速度応答スペクトル。写真は上段が観測点、下段が2024年能登半島地震の周辺建物状況

点よりも S 波速度が小さく、1993年能登半島沖地震後の常時微動調査でも川沿いに表層地盤が厚く堆積していることが報告されている¹¹⁾。以上のように、図 2 右で示した大被害を生じた場所での周期 1-3 秒の卓越は、主に表層地盤の（大入力による剛性低下の影響を含んだ）増幅に起因すると思われる。なお、輪島や珠洲の地盤増幅については、より深部の（2次元・3次元性を含む）地下構造の影響も指摘されている¹²⁾。

4. 建物被害と地震動

建物被害については、各種機関による調査結果が速報として報告されている^{例えは¹³⁾}。それによると、構造種別では木造建物の倒壊・崩壊の被害が大きいこと、木造建物の被害率は建築年代による違いが大きく、現行基準である2000年以降に比べ、いわゆる新耐震基準である1981-2000年、旧耐震基準である1981年以前の順に古い年代ほど被害が大きいこと、これらは熊本地震での被害傾向と同様であることが報告されている。また、旧基準建物で耐震補強された建物に関する調査では、被害

を受けた建物でも倒壊・崩壊は報告されていない。

地震動と建物被害の関係については、これまで指摘されてきたように、周期 1-2 秒程度が卓越した場合に被害が大きくなっている。図 4 に示すように周期 2 秒強が卓越した地点もあり、耐力が低い古い木造住家に特に厳しい地震動となっている¹⁴⁾。

5. まとめ

2024年能登半島地震において、家屋倒壊などの被害が大きい場所で観測された地震動は、中低層建物の応答に影響が大きいと言われている周期帯（周期 1-2 秒程度）が卓越している。一方、震度 7 でも短周期のみが卓越している場所では、建物が倒壊するような被害は出ていない。これはこれまでの被害地震と同様の傾向である。

能登半島北部は山地が大部分を占めるが、市街地は主に河川・海岸沿いの低地に位置している。低地で（低層建物に影響が大きい周期帯の）地盤による増幅が大きいことが、地盤震動側から見た被害の大きな要因となっている。このことは、

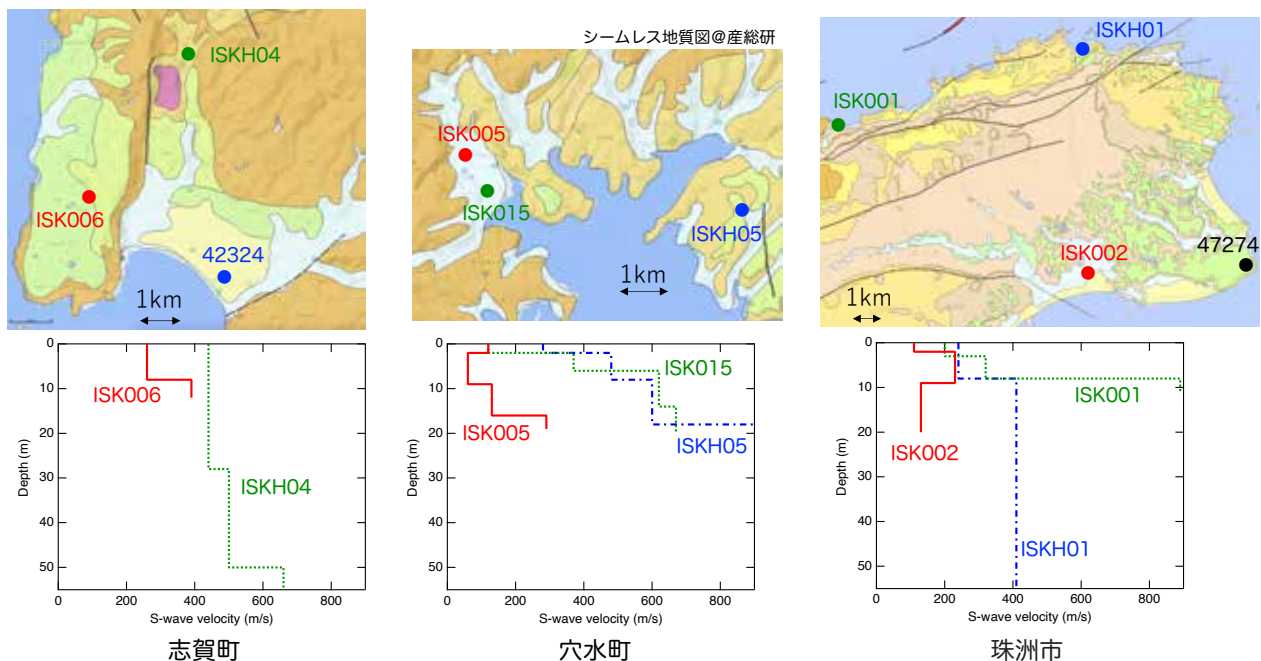


図 6 志賀町・穴水町・珠州市観測点の表層地盤の S 波速度構造

2007年能登半島地震後の調査でも既に指摘されていた。

一般に地震の被害集中域は、地盤増幅が大きい地区に古い脆弱な建物がある場合に生じる。例えば東北地方太平洋沖地震では、仙台の揺れが大きかった場所は概ね1978年宮城県沖地震と重なっていた。その結果同じ場所で同様の被害が出ているが、揺れが大きくても建物が建て替えが進んだ地区の被害は減少していた¹⁵⁾。能登半島地震で周期1-2秒の揺れが特に大きい場所でも現行基準の建物はほとんど倒壊していない。

地盤増幅は事前の地震観測や地下構造探査である程度評価できることから、地震被害を低減する上で、地盤震動側は地下構造の調査と強震時の地盤増幅率の評価、建物側は既存不適格建物の補強・建て替えが継続的な課題となっている。危険な場所に立つ建物を優先的に補強する方策があつていいように思われる。

謝辞

気象庁、防災科学技術研究所、自治体の強震記録を用いました。地図には、GMT¹⁶⁾と産業技術総合研究所のシームレス地質図を用いました。

【参考文献】

- 1) 消防庁，令和6年能登半島地震による被害及び消防機関等の対応状況（第116報）（令和6年12月24日14:00現在），<https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/20240101notohanntoujishinn116.pdf>
- 2) 久保久彦ほか：強震波形記録を用いた令和6年（2024年）能登半島地震（1月1日16時10分、M7.6）の震源インバージョン解析，https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/noto_20240101/inversion/inv_index.html
- 3) 浅野公之，2024：令和6年能登半島地震の震源モデル，第52回地盤震動シンポジウム，pp.3-12
- 4) 川瀬博，2001：建物の地震被害の予測とその軽減への展望，地学雑誌，110，pp.885-899
- 5) 境有紀ほか，2002：建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案，日本建築学会構造系論文集，555，pp.85-91
- 6) 防災科学技術研究所：観測点土質データ，<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/db/index.html>
- 7) 鈴木比呂子ほか，2009：2007年能登半島地震におけるK-NET穴水・JMA輪島の強震記録から推定した粘性土地盤の非線形性状，日本建築学会構造系論文集，645，pp.2003-2010
- 8) 山中浩明ほか，2008：2007年能登半島地震の余震観測と微動探査による輪島市門前町の地盤震動特性の評価，物理探査，61，5，pp.385-396
- 9) 岩田知孝ほか：森本・富樫断層帯における重点的な調査観測令和4年度成果報告書，3.3.2深部地盤構造モデルの構築と強震動予測，https://www.jishin.go.jp/database/project_report/morimoto_juten/morimoto_juten-r04/
- 10) 西川隼人ほか，2011：地震動指標の地盤増幅度と微動H/Vスペクトルによる増幅スペクトル推定，土木学会論文集A1，67，3，pp.454-463
- 11) 紺野克昭ほか，1993：珠洲市における常時微動特性 -1993年能登半島沖地震の被害と比較して-，地震工学研究発表会講演概要，22，pp.383-386
- 12) 川瀬博ほか，2024：2024年能登半島地震の大被災域（珠洲・輪島）における特異な地盤増幅特性，日本地震工学会第18回年次大会梗概集，Paper No. 20240089
- 13) 国土技術政策総合研究所・建築研究所，2024：令和6年能登半島地震建築物被害調査等報告（速報）国土技術政策総合研究所資料1296，建築研究資料212.
- 14) 境有紀ほか，2024：発生した地震動と建物被害，第52回地盤震動シンポジウム，pp.22-34
- 15) 大野晋ほか，2016：東北地方太平洋沖地震における仙台市悉皆調査区域の地震動と建物振動被害の関係の検討，日本地震工学会論文集，16，pp.3_201-3_212.
- 16) Wessel, P. et al., 2019: The Generic Mapping Tools Version 6. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20(11), pp.5556-5564

□2024年能登半島地震のライフラインの被害と復旧

鳥取大学 工学部 社会システム土木系学科 教授 小野 祐輔

1. はじめに

2024年1月1日16時10分頃に能登半島付近を震源としてM7.6の地震が発生した。気象庁によると、輪島市門前町走出と志賀町香能で最大震度7を観測した¹⁾。図1は、この地震の本震の震源と2024年1月1日から3日間で発生した地震の震源の位置²⁾、K-NET および KiK-net³⁾ で計測震度が4.5以上（震度階級で震度5弱以上）を記録した観測点を示し

ている。この図からわかるように、この地震の震源域が能登半島北部から佐渡島にかけて、富山県東部から新潟県の海岸線とほぼ平行するように伸びている。計測震度の分布からは、能登半島の北部が震度6強を上回る極めて強い揺れに襲われたこと、震央から150kmを超えた地点でも震度5弱から5強となった地点があり、広い範囲で地震の影響を受けたことが理解できる。

内閣府がまとめた資料⁴⁾によると、この資料が

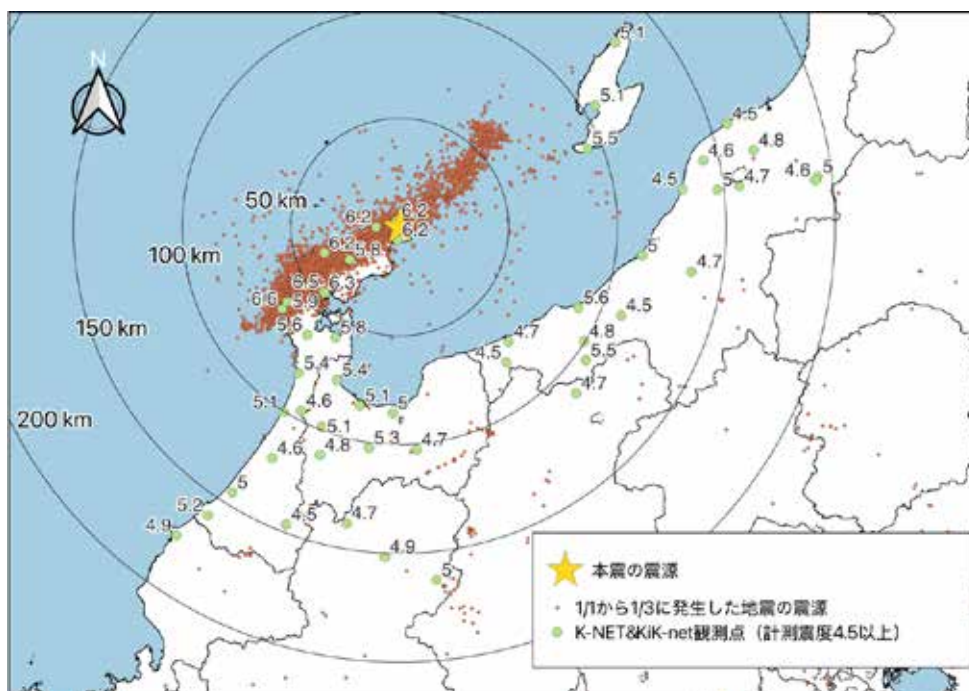


図1 2024年能登半島地震の本震の震源と周辺の地震活動及びK-NETとKiK-net観測点の計測震度の分布。震源を中心とした同心円は震央からの距離を示している。本震の震源と周辺の地震活動は気象庁震源リスト²⁾、K-NET及びKiK-netの計測震度は、国立研究開発法人防災科学技術研究所強震観測網（K-NET、KiK-net）³⁾から入手した値を利用した。

作成された時点での死者は489人であり、石川県で483人、新潟県で4人、富山県で2人である。このうち、災害関連死は石川県255人、新潟県4人、富山県2人であり、石川県以外の死者はすべて災害関連死となっている。住家被害は全体で全壊6,445棟、半壊23,225棟である。全壊の内訳は石川県6,077棟、富山県259棟、新潟県109棟である。半壊の内訳は石川県18,328棟、新潟県4,080棟、富山県805棟であり、福井県でも12棟が計上されている。また、この地震では津波も発生しており、石川県で6棟の床上浸水と新潟県で5棟の床上浸水、14棟の床下浸水が報告されている。

以下では、この地震により発生したライフラインの被害と復旧について、これまでに得られた情報を整理して紹介する。

2. ライフラインの被害と復旧

(1) 道路・鉄道

この地震では、道路が通行不能となったことで、石川県内で多数の小規模集落が孤立した。さらには、これらの小規模な集落だけではなく、道路の被害により奥能登地方へのアクセス性が極端に悪化し、物資の輸送、救助活動、医療支援、避難者の移動など、地震直後の重要な即時的な対応に支障が生じた。さらに道路の復旧作業の困難さが被災地の復旧を長期化させる要因の一つとなった。

図2は、国土数値情報による石川県の緊急輸送道路の線データ⁵⁾と、国土地理院による斜面崩壊・堆積分布のポリゴン⁶⁾が重なる地点をGISで求め、図化したものである。金沢市方面から奥能登地方へのアクセスの要となる緊急輸送道路は広い範囲で被害を受けている。特に、七尾市から穴水町にかけての区間と、輪島市から珠洲市にかけての海岸線区間で被害が顕著である。地震の発生からほぼ1年が経過した本稿執筆時点で、緊急輸送道路が被害を受けた箇所ほとんどで応急復旧が完了している。ただし、輪島市から珠洲市にか



図2 石川県の緊急輸送道路と斜面崩壊・堆積の交差箇所。石川県の緊急輸送道路は国土数値情報のデータ⁵⁾、斜面崩壊・堆積は国土地理院のデータ⁶⁾を用いて作成した。



図3 能登地方の鉄道路線。のと鉄道七尾線は全駅、JR西日本七尾線とIRいしかわ鉄道は主要な駅のみを示した。

けての海岸線の一部の区間では災害復旧関係の車両のみ通行可能⁷⁾であり、未だ完全復旧にはいたっていない。

鉄道では、のと鉄道七尾線と JR 西日本七尾線が被害があった⁸⁾。両路線の位置は図3に示したとおりである。のと鉄道七尾線は地震による被害のため、七尾駅から穴水駅までの全区間で運行休止となった。その後、表1に示すような過程で復旧が進められた。全線で通常ダイヤによる運行が再開されたのは2024年7月20日であり、約200日を要した。JR 西日本七尾線は、地震発生直後から運転が休止された。JR 西日本七尾線の復旧の過程は表2に示した通りであり、全線で運行再開までに46日間を要した。

表1 のと鉄道七尾線の復旧過程。

日付	事項
2024年1月1日	地震の影響により全線運行休止。
2024年1月29日	七尾駅・穴水駅間でバスによる代行運行を開始。七尾駅内販売所の営業再開。
2024年2月6日	能登中島駅の営業再開。
2024年2月15日	七尾駅・能登中島駅間の運行再開。能登中島駅・穴水駅間はバスによる代行運行を継続。
2024年3月1日	田鶴浜駅の営業再開。
2024年4月6日	全線で運行再開。ただし、本数を減らした臨時ダイヤによる運行。
2024年7月20日	通常ダイヤでの運行を再開。

表2 JR 七尾線の復旧過程。

日付	事項
2024年1月15日	金沢駅・羽咋駅間で運転再開。
2024年1月22日	羽咋駅・七尾駅間が運転再開。
2024年2月15日	七尾駅・和倉温泉駅が運転再開し、全線で運転再開となった。

(2) 上水道・下水道

国土交通省のとりまとめ⁸⁾によると、上水道施設の被害が発生したのは石川県、新潟県、富山県、福井県、長野県、岐阜県であり、全体で約136,440戸が断水した。図4は断水が発生した市町

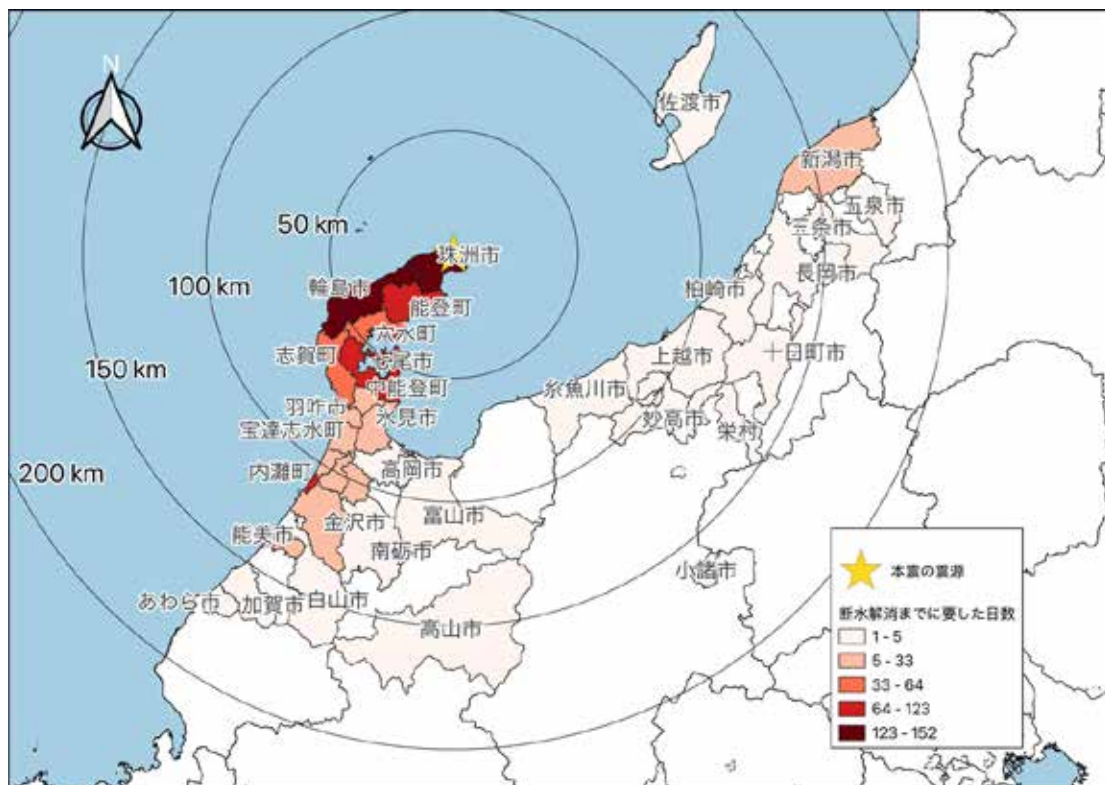


図4 断水が発生した市町村と断水解消までに要した日数。国土交通省の資料⁸⁾に基づき作成した。

村と断水解消までに要した日数を示している。最も断水が長期化した珠洲市、輪島市で断水が解消したのは5月31日であり、地震の発生から152日間を要した。なお、ここでの断水解消には、建物倒壊が激しい地域や私有地内の給水管の復旧は含まれていない。断水の原因のほとんどは配水管の破損によるものである。そのほか、浄水場、配水池、導水管・送水管、減圧弁の被害も報告されている。石川県水道用水供給事業（石川県水）の送水管が破損し七尾市への送水再開まで約2ヶ月を要した⁹⁾ことは、七尾市の上水道の復旧の遅れの原因となった。

上水道管路の被害率は、国土交通省によると表4のとおりである。ただし、これらの数値は2024年4月時点の暫定値であり、今後新しい情報によって変化する可能性がある。特に、輪島市、珠洲市の建物被害の激しかった地区や、内灘町の液状化被害の激しかった地区では、上水道管路の本格復旧作業が完了していない。今後、これらの地区の被害箇所数は増加する可能性が高い。

表4 上水道管路の被害率。国土交通省の資料¹⁰⁾から引用した。

事業体	被害率（箇所/km）
七尾市	0.26
輪島市	1.03
珠洲市	2.09
志賀町	0.33
穴水町	0.89
能登町	0.62

下水道の被害は、石川県、新潟県、富山県、福井県、長野県、岐阜県で発生した。国土交通省の資料¹⁰⁾によると、2024年8月9日時点での石川県内の自治体の下水道管路の被災率は表5の通りである。ここで、被災率は下水道管路全延長(km)を被災延長(km)で割った値である。この表の数値には輪島市、珠洲市における建物倒

壊の激しい地区のデータは含まれていない。さらに、地盤の液状化によって下水道管路に大きな被害が発生した内灘町のデータも含まれていない。

表5 石川県内の下水道管路の被災率。国土交通省の資料¹⁰⁾に基づき作成した。

自治体	被災率（%）
七尾市	28.0
輪島市	25.8
珠洲市	69.0
志賀町	6.2
穴水町	59.5
能登町	25.4

(3) 電力・ガス・通信

この地震では、石川県を中心に約4万戸が停電した。経済産業省の資料¹¹⁾によると、停電の主な原因は配電設備の損傷である。土砂災害や家屋の倒壊によりアクセスが困難な地域を除き、概ね1ヶ月程度で停電は解消された。図5は石川県が公表した資料である「被害等の状況について」¹²⁾の第1報から第116報までに示された情報から作成した電力の復旧率の日変化を示している。輪島市と珠洲市は、穴水町や能登町と比較して復旧に要する期間が長くなっている。

ガスの被害についても経済産業省の資料¹¹⁾から引用して紹介する。この地震で影響を受けた都市

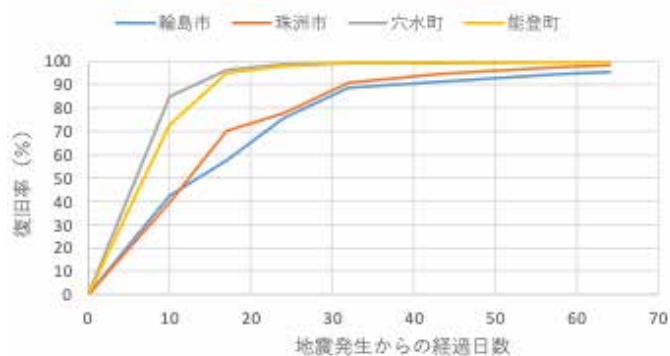


図5 電力の復旧率の日変化。石川県の発表資料¹²⁾に基づき作成した。

ガス事業者は、富山市の日本海ガス㈱と金沢市の金沢エネルギー㈱である。前者は液状化に伴う導管の損傷などにより27戸への供給が停止され、1月3日に復旧した。後者では、差し水の影響で121戸への供給が停止され、1月4日に復旧した。コミュニティガスは、志賀町、宝達志水町、能登町、珠洲市、津幡町、金沢市、内灘町で合わせて509戸への供給が停止された。これらのほとんどで3日から10日以内に供給が再開されたものの、能登町の40戸に対しては供給が再開されるまで 日を要した。LP ガスは基地や充填所が被災したものの、需要に対する供給の不足は生じなかった。

固定通信（固定電話、固定インターネット）、移動通信（携帯電話等）の被害と復旧状況は、総務省の令和6年版情報通信白書¹³⁾にまとめられている。この資料によると、固定通信は停電やケーブルの損傷により、輪島市、珠洲市、志賀町などで影響があった。NTT 西日本では固定電話7860回線、固定インターネット1,500回線に影響があった。なお、内閣府がまとめた資料⁴⁾によれば、2024年12月24日時点でも輪島市内でアナログ電話約150回線、ひかり電話約40回線、インターネット役50回線の復旧が完了していない。一方、移動通信では、固定通信と同様に停電やケーブルの損傷により、最大839の携帯電話基地局で停波が発生した。携帯電話事業者各社は移動基地局者、可搬型衛星アンテナ、可搬型発電機を導入した復旧作業を行い、地震発生後から約2週間後でアクセスが困難な一部地域を除いて応急復旧を完了した。

3. おわりに

2024年能登半島地震は、災害時における道路の重要性が広く認識される結果となった。さらに、上水道と下水道の復旧作業の長期化につながる要因が明らかになりつつある。国土交通省が設置した上下水道地震対策検討委員会は、その報告書¹⁴⁾において、今後は上下水道を一体化して地震対策

を進めることが重要であることを指摘し、その実現に向けた取り組みを提言している。今後、これらの取り組みが強力に推進されることを期待している。

最後に、この地震で被災された皆様には心よりお見舞い申し上げます。また、これまでに復旧・復興に尽力されてきた方々へ深く感謝申し上げます。さらに、現在も尽力されている皆様の安全と健康を心よりお祈り申し上げます。

参考文献

- 1) 気象庁：震度データベース検索,
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html#20240101161022>
- 2) 気象庁：震源リスト, https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/daily_map/index.html
- 3) 国立研究開発法人防災科学技術研究所：強震観測網 (K-NET, KiK-net),
<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 4) 内閣府：令和6年能登半島地震による被害状況等について（令和6年12月24日14:00現在）(PDF形式：3.3MB),
https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/pdf/r60101notojishin_54.pdf
- 5) 国土交通省国土数値情報ダウンロードサイト：緊急輸送道路データ,
https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N10-v1_1.html
- 6) 国土地理院：令和6年（2024年）能登半島地震に関する情報,
https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/20240101_noto_earthquake.html
- 7) 石川県：奥能登の道路通行状況,
<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/saigai/202401jishin-douro.html>
- 8) 国土交通省：令和6年能登半島地震における被害と対応（令和6年10月）(PDF形式), <https://www.mlit.go.jp/common/001854059.pdf>
- 9) 石川県：知事記者会見（令和6年1月27日）資料,
<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/chiji/kisya/documents/0127kaikenshiryoku.pdf>
- 10) 国土交通省：上下水道地震対策検討委員会資料3-1,
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000874.html

- 11) 経済産業省：令和6年能登半島地震の電力・ガスにおける復旧対応等について（PDF形式：1.3MB）、「令和6年能登半島地震を踏まえた災害対応検討ワーキンググループ」（第2回）令和6年7月31日，資料1-3，
https://www.bousai.go.jp/jishin/ното/taisaku_wg_02/index.html
- 12) 石川県：被害等の状況について，目的別・令和6年（2024年）能登半島地震に関する情報（復旧・復興本部、災害対策本部），<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/saigai/202401jishin-taisakuhonbu.html#higai>
- 13) 総務省：令和6年版情報通信白書，第I部，第1章，第2節，
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r06/pdf/n1120000.pdf>
- 14) 上下水道地震対策検討委員会：上下水道地震対策検討委員会報告書，2024年9月，
<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001765621.pdf>

□誰もが命を守れる安全確保行動がとれる 社会の実現に向けて

新潟大学 危機管理センター 教授 田村 圭子

不確実な災害発生と隣り合わせで生きる

地震や気象が引き起こす現象は、科学の進歩により「測定可能」となり、不確実な部分はあるが「リスクとして、ある程度想定できる」ようになった。一方で、令和6年能登半島地震災害の発生と、それに続く豪雨災害によって引き起こされた複合災害は、過去のデータや既存のモデルの組み合わせで、発生や被害の予測が難しい「不確実な事象」であった。

能登半島で起こったことは決して他人事ではない。われわれ全てが、あのような不確実な事象がいつ、自分の周りで顕在化してもおかしくない環境で暮らしていることを実感するべきである。

では、科学的根拠に基づいた災害発生予測は無意味かという、そうではない。「いつ」「どこで」「どのくらいの規模」の災害が起こる可能性があるかを、過去のデータやモデル構築によって「想定」することは、不確実な事象を「推定」するための根拠となる。

不確実な事象から、誰もが命を守ることができる社会の実現のためには、A) あらゆる主体が参画可能な多様性と包摂性を重視した地域・社会づくり、B) 不確実な事象に対して、柔軟で適応力のある課題解決力を実現することができる仕組みや決まり、が必要となる。

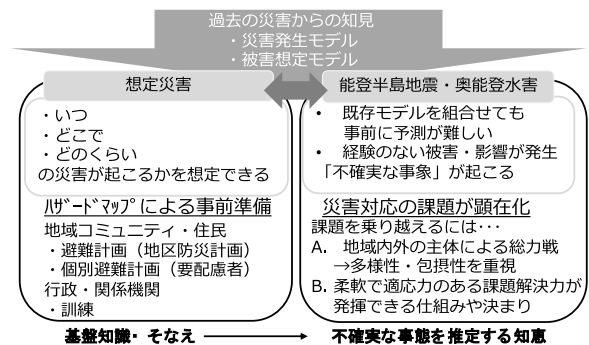


図1. 本稿の全体像

多様性と包摂性を重視した地域・社会づくり

A) あらゆる主体が参画可能な多様性と包摂性を重視した地域・社会づくりについては、ユネスコ（国際連合教育科学文化機関）が1994年に「インクルーシブの原則」発表している。健常者と障がい者の関係性を図示したものである*。この整理によれば、地域や社会において、障害者を①「排除」する（社会参加を拒むことで孤立・疎外感を生んでいる）、②「分離」する（合理的な配慮・支援はあるが交流は制限されている）、③「統合」する（同じ場に存在するが、合理的な配慮や支援がない）、④「包摂」する（合理的な配慮や支援があり共生している）の4タイプがある。

防災面から、この4タイプを考える。②「分離」において、障がい者は施設等で生活する場合、災害時の避難支援は施設職員に任されている場合が

多い。③「統合」においては、地域で暮らしてはいるが、障がいを持つ当事者やその当事者と家族だけが小さなグループとして分離されている。②③においては、局所的な災害であれば、公助の助けを得ながら、施設職員や家族で、障がい者の避難行動などの支援が可能であろう。一方で、想定を超える不確実な災害が発生したときは、その対応は十分行き届かない。

一方で④「包摂」においては、どのような障がいを持った人が、平時はどのような支援を受けながら生活しているかを、多くの人に関わりながら理解しているため、想定が難しい事象が発生した際においても、その人の状況に寄り添って、柔軟に、かつ、その場その場で最適な対応ができるのではないかと期待される。また、平時の支援から災害時の支援へとシームレスに切り替えることができるようになれば、理想的である。災害状況が落ち着けば、外部の支援を要請しながら、継続して避難生活等を支えることが可能になることが期待される。

地域で暮らす高齢者の増加

障がい者のみならず、地域には多くの高齢者が暮らしている。社会の高齢化が進行し、加齢とともに、身体的にも知的にも精神的にも脆弱な人口割合が、地方のみならず都市部でも増加している。日常生活で支援が必要な高齢者は、施設入所だけでなく、地域の中で生活する割合が増加している。

避難行動要支援者名簿が支援の基本情報

平成23年東日本大震災においては、高齢者や障害者等が多数犠牲になり、消防職員・消防団員、民生委員等の多くの支援者も犠牲となった。この教訓を踏まえ、平成25年災害対策基本法の改正により、避難行動要支援者名簿の作成が義務化され、対象者の同意がなしで各市町村が避難行動要支援者の抽出条件を決定し、名簿を作成することになった。令和3年に同法が改正され、自らの避難

困難な高齢者・障害者の避難行動要支援者ごとの避難支援を実施するための計画として「個別避難計画の作成が、市町村の努力義務」とされた**。

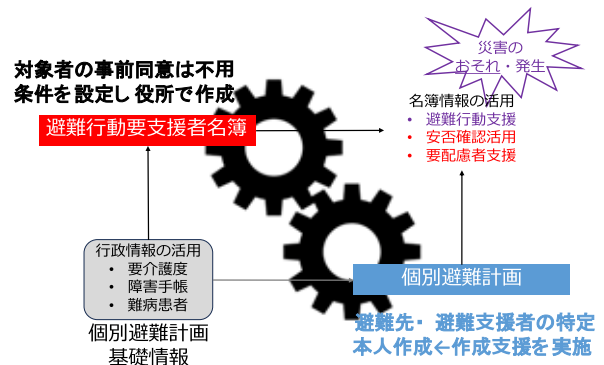


図2. 個別避難計画の概要

個別避難計画で避難先・支援者を特定

個別避難計画においては、①地域のリスクを確認する、②避難場所を決定する、③避難支援者を決める、④支援方法を決める、が必須要件である。

水害を事例とすると、①地域のリスクはハザードマップで確認し、対象者の自宅等が、1) 河川の近傍に位置している場合は、家屋等氾濫想定区域（早期立ち退き避難が必要な区域）でないか確認し、その場合は、十分な高さがある避難場所を選定することで水平避難を実現する。2) 河川の近傍ではないが浸水が想定されている区域（屋内安全確保が可能な区域）であれば、想定浸水深さより、十分な高さが確保できる自宅もしくは近隣の堅牢な建物への垂直避難を実現する、3) 浸水が想定されない地域の場合は、避難の必要はないが、土砂災害の被害が想定される区域でないかどうかを確認する。

②水平避難の場合の避難場所は、1) 緊急避難場所、2) 浸水が想定されない避難所、3) 個別避難計画において、事前に特定した福祉避難所へ直接避難、4) 浸水が想定されない親戚・友人宅／ホテル・旅館、である。垂直避難の場合は、前述のとおり、想定浸水深さより、十分な高さが確保できる自宅・近隣の堅牢な建物、が望ましい。

③避難支援者は個人が望ましいが、関係者や関係機関でも可である。具体的には「避難支援者：地域（近所）にお住まいの方」「避難支援関係者：自主防災組織、消防団/水防団」「避難支援等関係者：民生委員」「避難支援等関係機関：警察、消防、社協」である。

④支援方法は、「声かけ（避難のタイミングを知らせる）」「見守り（垂直避難の状況を見守る）」「つきそい（避難場所まで同行する）」「支援行動（車いすを押す等、手を貸す）」があるが、対象者の特徴や支援者の可能な範囲により決定する

⑤避難訓練・避難支援訓練で実効性を高めるために、避難路や避難行動を確認する、可能であれば、対象者と避難訓練を実施する

個別避難計画の策定支援

策定主体は、原則対象者本人であり、他の主体は作成支援を実施する。①本人が作成、②自治会長、自主防で作成支援、③民生委員が作成支援、④ケアマネジャーが作成支援、⑤保健師が作成支援、等、多様な主体が連携しながら、作成支援を展開することで、避難支援が必要な人全てに計画策定を実施することが期待されている。

個別避難計画に期待される「柔軟な」支援

個別避難計画の中で、作成の中でまず前提とするのは「想定可能」な事象に関してである。一方で、本稿の最初に述べたように、想定が不可能な事態も発生するのが災害である。では計画策定は、

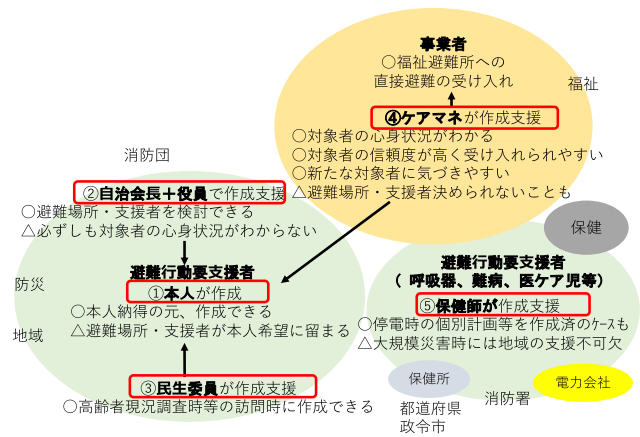


図3. 個別避難計画の策定主体

災害の実際では役に立たないのか。「B」不確実な事象に対して、柔軟で適応力のある課題解決力を実現する」ためには、シナリオ・プランニング手法が有効であるとされている。想定される災害から、地域において発生する災害の特徴を知り、支援対象者の状況や暮らしを知り、関係者と計画策定を通じて交わることで、不確実性を織り込んだシナリオが、対象者・支援者・関係者の間で反芻される。この作業が、まさに不確実性を織り込んだシナリオプランニングであり、個別避難計画策定はその第一歩である。

防災において、個別避難計画の策定過程は「一人の取り残しのない避難」につながり、社会的包摂（インクルーシブ）によるレジリエンス社会の実現の基盤となることが期待されている。

- * Australian Government of Foreign Affairs and Trade, “Disability-Inclusive Education”, 2019.
- ** 内閣府, “避難行動要支援者の避難行動支援に関する取組指針（令和3年5月改定）”, 2021.

御嶽山の火山噴火災害から10年に寄せて

御嶽山科学研究所 代表 國 友 孝 洋

2024年9月27日、63名の死者・行方不明者を出して戦後最悪の火山噴火災害となった2014年の御嶽山噴火から10年が経過した。この10年間で御嶽山のみならず日本全体で火山防災・減災に対するさまざまな取り組みが行われており、2022年の「消防防災の科学」の「特集 火山噴火災害に備える（その1～3）」でも取り上げられた。御嶽山に関しては、2015年の「消防科学と情報」の「特集Ⅱ 御嶽山噴火災害」および2022年の「消防防災の科学」の「特集 火山噴火災害に備える（その1～3）」で、2014年の噴火前後の状況や消防等の救助活動、その後の自治体等の防災・減災に関する取り組みが紹介されているものの、御嶽火山のハザードや噴火後のトピックスについては取り上げられていない。筆者は、長野県から名古屋大学への寄附により2017年7月2日に開所した名古屋大学「御嶽山火山研究施設」で約5年間勤務した後に2022年3月に退職、その後は個人で運営する「御嶽山科学研究所」において御嶽山に年10回以上登山をして観測や観察を行ってきた。本稿では、御嶽火山全体のハザードを復習し、火山防災・減災について考える。また、噴火後の御嶽火山のトピックスについてもいくつか紹介する。

1. 御嶽山の2014年噴火と地獄谷火口

2014年に御嶽山で発生した水蒸気噴火は、有史

以来初の噴火である1979年の噴火口（列）ではなく、南西側に少し離れた場所に新たな噴火口（列）を形成し、大量の火山灰と噴石とを噴出した（図1）。大規模噴火ではなかったが、紅葉の時期、好天の土曜日の昼で、沢山の登山者が噴火口に近い剣ヶ峰周辺に滞在していたために多くの死傷者を出した。2014年噴火以前は、1979年の火口列（北西側から1～10の数字が割り当てられている）のうち、1991年と2007年にもごく小さな噴火を起こした7番目の火口（79-7火口）を主たるターゲットとして観測がなされ、この火口からの距離で噴火警戒レベルに応じた警戒が必要な範囲が設定されていた。噴火8年後の2022年には噴火警戒レベルの改定が行われ、1979年と2014年の噴火口列全体をその範囲に含む長円（陸上トラック型）の想定火口（地獄谷火口）が定義されて、噴火警戒レベル毎の警戒範囲もその外周からの距離で定められるようになった。噴火警戒レベル2では火口から1 km以内に大きな噴石が飛散すると想定されており、79-7火口を中心とした同心円で警戒範囲を設定する場合は、2014年の噴火で大きな噴石により屋根が突き破られた二ノ池ヒュッテ（当時、二ノ池新館）は含まれない。

2014年噴火を経験した立場からは、1979年以降の噴火口を面的に包含する火口を想定するのは合理的であると言える。しかし、噴火するたびに想定火口を漸次拡大していくやり方は、説明がしや

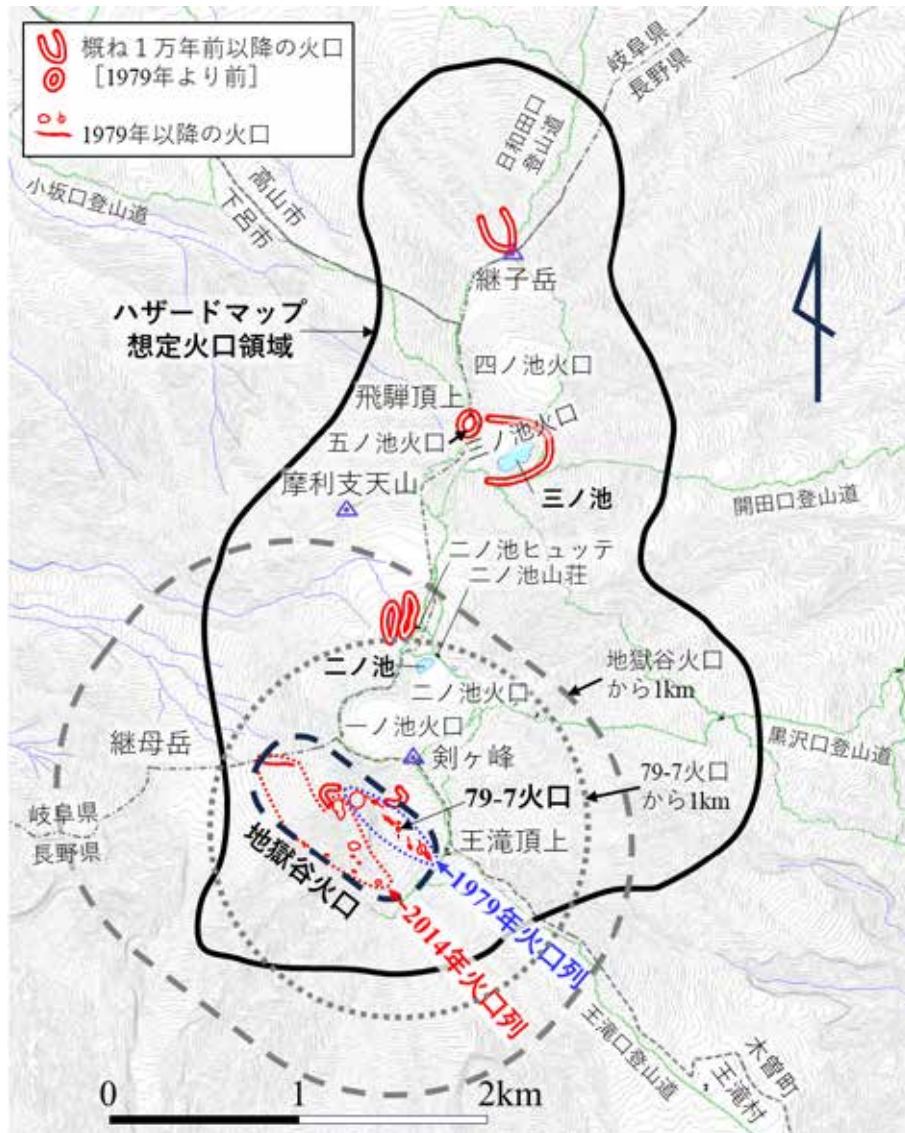


図1. 御嶽山の火口およびハザードマップの想定火口領域

概ね1万年前以降の火口 [1979年より前] (及川・他、2014)、1979年火口列 (国土地理院、2012)、2014年火口列 (地理院地図掲載の2014/9/30暫定版推定火口)、灰色の細い一点鎖線：長野・岐阜県境、灰色の細い破線：市町村境界、登山道 (カラーでは緑色) は立入規制区間も含めて描画。地図データ <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>.

すいという利点はあるが、被害を受ける登山者だけでなくリスクを伝える側にも「そこだけ」あるいは「それだけ」、「その程度だけ」に気を付けていけば良いという空気を醸成する可能性があり、想定外の噴火 (噴火場所が移動、噴火様式が異なる、規模が拡大など) の際には事態を悪化させる場合も考えられる。実際、2014年9月27日の噴火の際には、噴火の数週間前に火山性地震が活発化したものの (9月10日52回、9月11日85回)、気

象庁から発せられた火山の状況に関する解説情報は、2007年噴火で活発な前駆的火山活動があったもののごく小さな噴火しかなかった経験から「御嶽山では、2007年にごく小規模な噴火が発生した79-7火口内及びその近傍に影響する程度の火山灰等の噴出の可能性がありますので、引き続き警戒してください」というものであり、これを受けた自治体や山小屋関係者が事前に登山者の安全を確保するための対策を講ずることはなかった。

2. 御嶽山火山ハザードマップ

御嶽山の1979年以降の噴火は全て御嶽山南西斜面（地獄谷火口）で発生した水蒸気噴火であるが、御嶽山火山ハザードマップでは、北は継子岳、南は地獄谷火口を含む広い範囲（南北約5km）が想定火口領域として設定されている（図1）。噴火様式は、水蒸気噴火およびマグマ噴火が想定されており、大きな噴石・火砕流・火砕サージ・融雪型火山泥流の到達範囲が地図上に図示されている。約4万年前以降、御嶽山では、継子岳の山体や四ノ池・一ノ池・二ノ池・三ノ池・五ノ池の各火口を形成した噴火など、火口位置が移動してきた（例えば、御嶽山火山防災協議会，2024）。概ね1万年前以降に限っても、火口は、継子岳から地獄谷までの範囲で移動し、マグマ噴火・水蒸気噴火を繰り返している（及川・他，2014）。想定火口領域は、これらの火口位置を考慮して設定された。活火山の定義「概ね1万年前以降に噴火したことがある火山」に従えば、御嶽山は、現在活動している地獄谷火口だけではなく、山頂域のどこでも噴火する可能性があり、例えば継子岳だけをとっても活火山ということになる。現在も活発な噴気活動がある地獄谷火口を中心に防災・減災対策を講じることは必要であるが、十分ではないことは認識すべきであろう。2018年1月23日の草津白根山の噴火は、主たる監視対象であった湯釜ではなく2km近く離れた本白根山からの水蒸気噴火であった。本白根山は、観測や防災対応の対象となっておらず、前駆的な火山活動が観測されることなく突然噴火して、噴石がスキー客やロープウェイ客を襲った。御嶽山では地獄谷火口から三ノ池や飛騨頂上までの距離が約2kmである。2024年には、御嶽山の北部（飛騨頂上）に岐阜県側としては初めてとなるシェルターが設置された。岐阜県の濁河温泉（小坂口）からの登山者は、最終目的地を飛騨頂上や三ノ池、摩利支天山や継子岳としていることも多く、離れた場所にある地獄

谷火口については遠くのことという意識があるようにも見受けられる。御嶽山の北部、飛騨頂上付近で噴火が近々に発生する可能性は低いかもしれないが、シェルターの存在は、御嶽山全体が活火山であり北部でも噴火することがあり得るとして、登山者の火山防災意識向上に一定の効果があると考えられる。

3. 御嶽山の2014年噴火から10年かけて二ノ池が消失

2014年噴火の火砕流により山頂域の南側は火山灰に厚く覆われ、剣ヶ峰周辺は一面が灰色の世界になった。噴火後、火山灰（特に灰色の粘土やシルトのような細かい成分）は、降雨や雪解け水によって流され、現在では山頂部もほぼ元の山肌の色に戻っている（図2）。その一方で、二ノ池火口では2014年の火山灰が溜まり続けている。これは、一ノ池火口底に大量に溜まった火山灰が、隣接する二ノ池火口に流入し続けているためである。二ノ池は火砕流の直撃を免れ、降ってきた火山灰が数cm程度積もっただけなので、噴火直後の水域（深さ約3.5mの窪地）の面積は噴火前とほとんど変わらなかった。しかし、一ノ池火口から流入する火山灰に埋め立てられて水域面積が年々縮小し、2024年にととう干上がってしまった（図3）。現状では、雪解け期や降雨の際に浅い水たまりができる程度である。常時水を湛える日本最高所（2905m）の池として知られたエメラルドグリーンの美しい池は、噴火後10年で失われてしまった。現在の二ノ池火口底は、粘土やシルトの細かい成分が下流に流れていくため、主に砂や礫が残り砂漠のような景観となっている。今後は2014年噴火によって失われた池として噴火災害を語り継ぐ場になればと考えている。

二ノ池火口では、二ノ池の美しい景観が失われたのみならず、噴火の後遺症と言うべき災害が発生している。2019年5月21日（6時40分頃）の雪

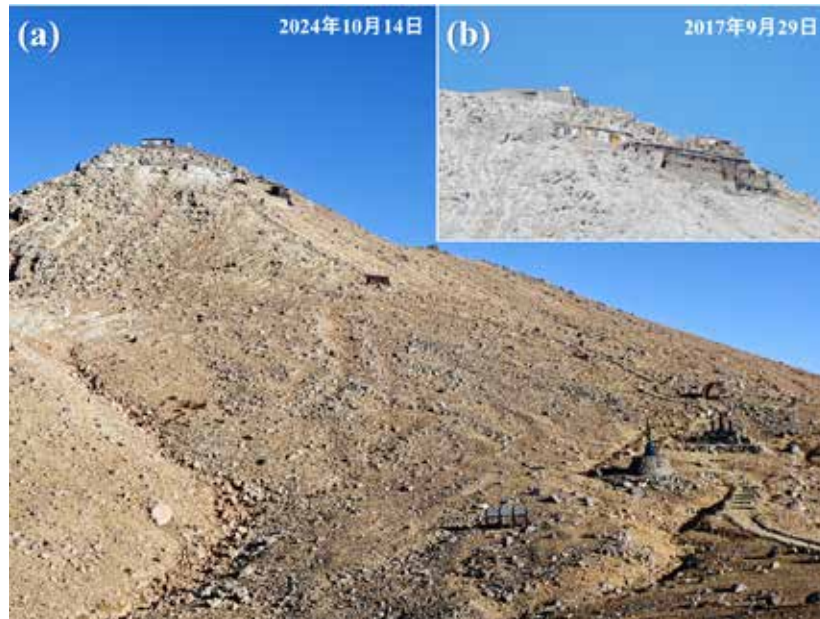


図2. 八丁ダルミ・剣ヶ峰の景観の変化

(a) 2024年10月14日撮影 (b) 2017年9月29日。噴火3年後の剣ヶ峰付近には火山灰がまだかなり残っている



図3. 剣ヶ峰から見た噴火後の二ノ池の縮小と消失

(a) 2017年8月28日撮影。二ノ池山荘建築中 (b) 2020年8月1日撮影。2019年の雪泥流で破壊された給水施設（4基のタンクなど）は撤去されている (c) 2024年10月13日撮影。2023年までは二ノ池には常時水があったが、2024年には、火口壁の残雪がなくなり雨がしばらく降らないと干上がるようになった

崩によって誘発された雪泥流である（図4）。前夜からの降水によって一ノ池火口に溜まった水が、二ノ池火口へと流れ込む際に斜面にあった厚

さ2.5mを越える積雪を刺激して、規模の大きな全層雪崩が発生した。雪崩は、二ノ池火口底の水と2014年火山灰とを巻き込み、雪泥流となって登



図4. 2019年5月21日に発生した雪崩と雪泥流 2019年5月27日撮影

(a) 二ノ池火口南西側火口壁で発生した全層雪崩と雪泥流 (b) 給水施設の全壊と火口縁尾根への遡上 (c) 二ノ池山荘南東側の一部損壊。岩塊と雪がなだれ込み壊れた窓や玄関入口が板で応急補修されている

山道を横切り二ノ池北東側火口縁を遡上し、二ノ池の水を利用するための給水施設（4基の大型タンクと制御盤）を全壊し、新築の二ノ池山荘を一部損壊した。二ノ池山荘は、迅速に補修が行われ同年7月1日のオープンに間に合ったが、給水施設が全壊したため御嶽山の山小屋は二ノ池の潤沢な水資源を使えなくなってしまった。雪崩と泥流の発生が、登山シーズン前であった、早朝であった、悪天であった、などの条件から発生時に登山者はおらず、人的な被害が出なかったことは幸いであった。このような大きな雪崩や泥流災害が二ノ池火口で発生したことは、地元の人にとっても体験したことがなく、寝耳に水の出来事であった。噴火後には、このような泥流災害が発生する可能

性があることに留意しておく必要がある。

4. 2022年2月23日の火山活動活発化

2014年の噴火以降、山体の収縮が継続し、火山性地震発生数や噴煙（噴気）の最高高度・温度などが年々減少・低下していくなかで、2022年2月23日に火山活動が突然活発化した（図5）。気象庁の発表によると14時15分頃から火山性地震が増加し、14時台だけでレベル2の基準である50回を超え、80回をカウントした。火山性地震の活発化から約4分後の14時19分には、火山性微動が発生し、ほぼ同時に地獄谷側が持ち上がる傾斜変化が観測された。火山性微動の振幅は、気象庁田の

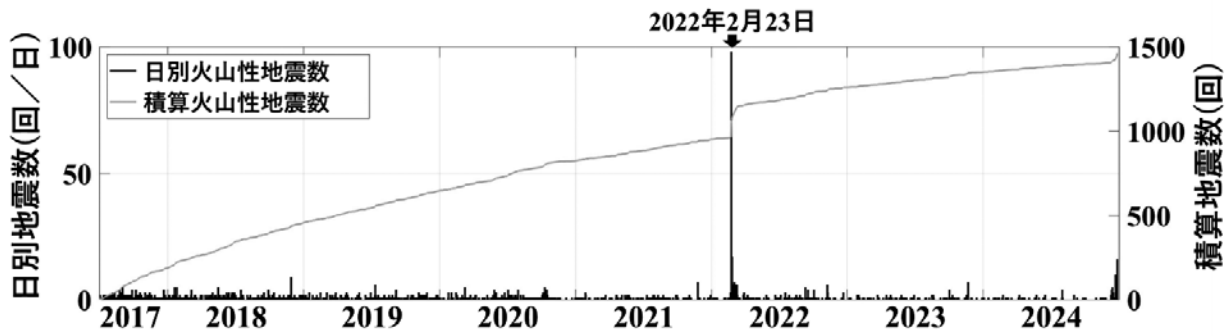


図5. 2017年7月1日から2024年12月26日までの火山性地震数の推移

気象庁「御嶽山の火山観測データ」から集計

原上観測点で $20\mu\text{m/s}$ を超えていた（レベル2の基準は $10\mu\text{m/s}$ 以上）。火山性地震の活発化からわずか5～6分程度の中に御嶽山の噴火警戒レベルを1から2に上げる基準に到達したことになる（2014年の噴火では、噴火数週間前から火山性地震の活動が活発化、11分前に火山性微動が発生、7分前に傾斜変化が観測された）。これに伴い同日16時35分（火山性微動・傾斜変化開始から2時間16分後）に噴火警戒レベルが1から2に引き上げられた。ごく小規模な噴火が発生した可能性も考えられるため、気象庁は中部地方整備局の防災ヘリ（筆者も同乗）で上空から御嶽山の山頂域を観測したが、積雪した御嶽山山頂域に火山灰や熱泥などの噴出物や新たな噴煙などは認められず、噴火はしておらず未遂に終わったことが確認された。傾斜変化などの地殻変動は、地下から熱水が上昇したことによると考えられるが、噴火が未遂に終わったのは、深部からの流体の供給が少なかったために地表まで達しなかったためという推定もなされている。2022年の火山活動活発化は、噴火警戒レベル2に相当する火山活動の活発化があっても噴火しない場合があることを示した。同時に、火山性地震の活発化から熱水の上昇までのプロセスが急速に進む場合があり、前駆的火山活動が観測されたとしても噴火までに時間的猶予のない場合があることを示唆したと考えられる。この場合、気象庁からの情報は間に合わず、自治体

等の対応もないまま、登山者がいきなり噴火に遭遇することになる。

4. おわりに

御嶽山の2014年噴火では、火山性地震が8月末頃から観測され、9月10日に急激に活発化した。気象庁は9月11日以降3回に渡って火山の状況に関する解説情報で火山性地震の増加とごく小規模な噴火に対する警戒を呼び掛けた。その情報は、自治体に通達され、またNHKのローカルニュースでも放送されたが、御嶽山で登山者に対して規制や注意喚起されることはなかった。また、登山者の多くは長野県・岐阜県以外からであり情報はほとんど伝わっていなかったとみられる。噴火後に信濃毎日新聞が実施した遺族や登山者に対するアンケートでは、御嶽山が活火山であることを知らなかった方が39%、噴火に注意すべきと思っていなかった方が遺族らの91%、登山者らの76%であった。多くの登山者が活火山の予備知識もなく現在の火山活動の状況も知らないまま噴火に遭遇したとみられる。立ち昇る噴煙を目にしても、御嶽山が噴火したこと、命の危険が迫っていることを即座には認知できずに避難が遅れ、また、適切な避難場所が見つけられず避難方法も分からず、降りそそぐ噴石により多くの命が失われてしまった。火山性地震の活発化を観測して大きな噴火が

起きる可能性があると思定できていれば、事前に噴火警戒レベルを上げることができたかもしれない、入山規制できたかもしれない。火山情報や避難方法を登山者に的確に伝えることができていれば、亡くならず済んだかもしれない。この10年間で、気象庁や自治体などの行政、研究者（大学など）、御嶽山火山マイスター、マスコミなどは、それぞれの立場でこの状況を打破すべく努力してきた。紙面の都合でその詳細を述べることはできないが、例えば、御嶽山地域で行われてきた火山防災のハードおよびソフト対策については、「消防防災の科学」の金・山岡（2022）で詳細に紹介されている。

今後もそれぞれの立場で火山防災・減災の努力を積み重ねていくことが大切だが、2018年の本白根山の噴火や2022年の御嶽山の火山活動の突然で急激な活発化が示唆するように、再び、登山者が突然の噴火に遭遇する可能性は否定できない。活動火山対策特別措置法の一部を改正する法律（令和5年法律第60号）では、登山者に対して、登山届の提出に加えて「立ち入ろうとする火山の爆発のおそれに関する情報の収集、関係者との連絡手段の確保その他の火山現象の発生時における円滑かつ迅速な避難のために必要な手段を講ずるよう努めなければならない」という努力義務が規定されている。登山者のリテラシー向上のための活動が今後ますます重要になっていくと考えられる。2024年には、「火山調査研究推進本部」が設置され火山防災・減災の体制も変わりつつある。8月26日に「火山防災の日」がスタートした（長野県では9月27日が「信州火山防災の日」）。火山防災に関するシンポジウムや報告会なども各地で行われている。こうした取り組みが一層進み、火山の

防災・減災へと結実することを切に願うものである。最後になりましたが、御嶽山2014年噴火災害によって犠牲になられた方々のご冥福をお祈りいたします。

【参考文献】

- 1) 御嶽山火山防災協議会，2019，御嶽山火山防災避難計画，102pp.
- 2) 御嶽山火山防災協議会，2024，御嶽山火山防災避難計画，2. 噴火の想定，2-5.
- 3) 及川輝樹・鈴木雄介・千葉達朗，2014，御嶽山の噴火ーその歴史と2014年噴火，岩波科学12月号，1218-1225.
- 4) 気象庁，2022，御嶽山の噴火警戒レベル判定基準，1pp.
- 5) 気象庁地震火山部・火山監視・警報センター，2022，御嶽山の火山活動解説資料（令和4年2月），12pp.
- 6) 木股文昭，2017，御嶽山 二度と犠牲を出さない，サンライン，96pp.
- 7) 金 幸隆・山岡耕春，2022，大学と自治体が連携した御嶽山の火山防災ービクターセンター整備、火山防災タイムライン授業、避難訓練ー，消防防災の科学，150，11-16.
- 8) 国土地理院，2012，1：25，000火山土地条件図解説書（御嶽山地区），国土地理院技術資料D2-No.83，23pp.
- 9) 総務省消防庁広域応援室，2015，御嶽山噴火災害における消防の活動，消防科学と情報，121，33-37.
- 10) 藤井敏嗣，2015，御嶽山の噴火災害と我が国の火山防災対策について，消防科学と情報，121，24-27.
- 11) 前田裕太・寺川寿子・山中佳子・堀川信一郎，2022，2022年2月～3月の御嶽山の地震活動活発化について，日本火山学会講演予稿集，A3-05.
- 12) 山岡耕春，2015，噴火後の救助隊サポート，消防科学と情報，121，28-32.

一般住宅における爆発火災の原因調査事案について

千葉市消防局

本事案は一般住宅において、可燃性ガスの漏洩による爆発が疑われた事案である。

1 火災概要

(1) 被害状況

2階建一般住宅1棟全焼、4棟部分焼、1棟ぼや

(2) 気象状況

天候：曇、風向：南東、風速：5m/s、気温：13℃、相対湿度：48%

2 出火原因

何らかの要因により室内に発生した可燃性ガスが、ガスファンヒーターの背面から吸気とともに吸い込まれガスファンヒーター内のバーナーの炎により引火し爆発したものの。

3 出火時の状況

居住者が1階居室において、ガスファンヒーターを点火し、左側臥位になって暖をとっていたところ、概ね5分が経過したところに、突然、ガスファンヒーターが炎に包まれて跳ね上がり、部屋の掃き出し窓が庭に吹き跳んだ。

家族が確認したところ、ガスファンヒーター横に干していた洗濯物が燃えており、天井裏に炎が見えたため、119番通報し屋外へ避難したものの。

4 関係者からの情報

(1) 居住者

- ア ガスファンヒーターは飛び上がって90°右に回転して床に落ちた。
- イ 天井に直径30cm位の穴が3箇所空いており、そのうちの1箇所の穴から炎が見えた。
- ウ テレビ前側付近にスプレー缶が2本置かれていた。
- エ 台所のガス漏れ警報器の警報音は聞いていない。
- オ ガス臭気は感じていない。

(2) ガス事業者

- ア 当該住宅は3年前の定期保安点検の際にガスファンヒーターのガスコードのソケット部からのガス漏れが確認されており、居住者には交換するように伝えている。
- イ ガスメーターのエラー表示等については確認ができていない。
- ウ ガスメーターは7ℓ/min以上のガス漏れを検知すると、即時にガスを遮断する。
- エ ガス漏れが7ℓ/min未満の場合は漏れが30日以上続くとガスを遮断する。

5 焼損状況

居室の焼損状況（図1、写真1、2）
建物内の居室を見分すると、台所側以外の壁面は認められない。

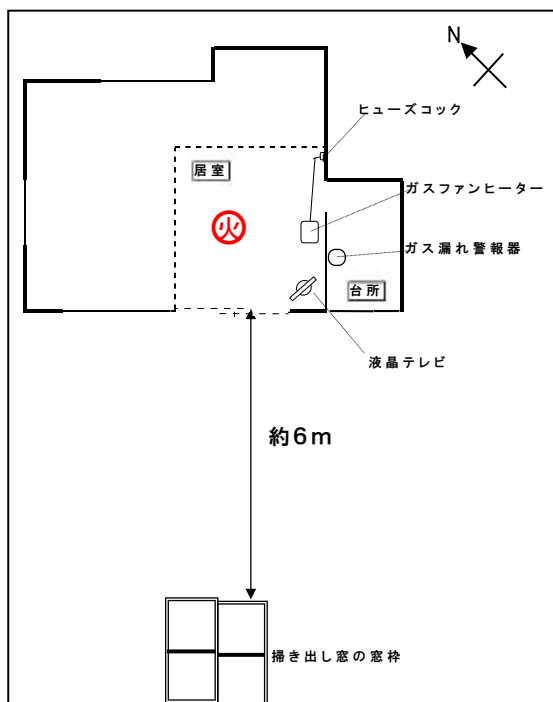


図 1

南側の掃き出し窓は、枠ごと外れて約6m離れた敷地内に落下している。

室内南東側壁面前には、焼損したガスファンヒーターが認められる。

室内東側角にはヒューズコックが設けられており、ガスコードが接続されているが、ガスファンヒーター側のガスコードのソケットは認められない。

残渣物を確認すると、スプレー缶5本が発見される。台所には壁面にガス漏れ警報器が設置されている。

6 調査概要

本火災事案は、可燃性ガスが、ガスファンヒーターのバーナーの炎によって引火・爆発した事案である可能性が極めて高いと考えられたことから、これを想定した現場調査を進めることとした。

(1) 配管の気密確認

出火建物敷地内の都市ガス配管からのガス漏洩の有無を確認する。

ア 第1回目

ガスメーターは消火活動時にガス事業者によって取り外されていたため、ガスメーターの2次側配管（屋内への供給側）からの気密試験を実施する。（写真3）

一般的な都市ガスの圧力は2.3kPa～3.3kPaであることから、3.5kPa以上まで空気に加



写真1 ガスファンヒーター



写真2 発見されたスプレー缶



写真3 気密試験

押し、圧力変化を計測すると、圧力が保てないことから、建物のどこかで気密漏れが生じていることが確認できる。(写真4)

屋内からのガス漏洩を疑い、屋内側のガス管の接合部全てに試験液をかけて、気泡の発生を確認すると、居室東側角に設置されたヒューズコック周囲から気泡が発生することがわかる。(写真5、6)



写真4 試験結果

左記ヒューズコックと配管とを切り離し、切り離し部分を閉塞ねじで塞いで、再度、気密試験を実施するものの、依然圧力が保持できないことがわかり、他の箇所からもガスが漏洩していることが疑われる。(写真7、8)

イ 第2回目(写真9)

地中埋設配管(亜鉛メッキ鋼管)の異常の有無の確認を実施する。

なお、ガスメーター2次側配管から、順次掘削して埋設配管を追跡することとする。

掘削を進めると、建物1階において、ガス配管が屋内へ引き込まれている箇所への配管に腐食・破損は認められない。

さらに掘削を進めると、配管は2階への配管立ち上がり部まで接続されている。

立ち上がり部は、2階壁面に設置されたヒューズコックに接続されており、当該箇所に試験液を掛け、ガスメーター2次側配管か



写真5 居室東側角ヒューズコック周囲



写真6 気泡の状況



写真7 閉塞ねじの設定状況



写真8 試験結果

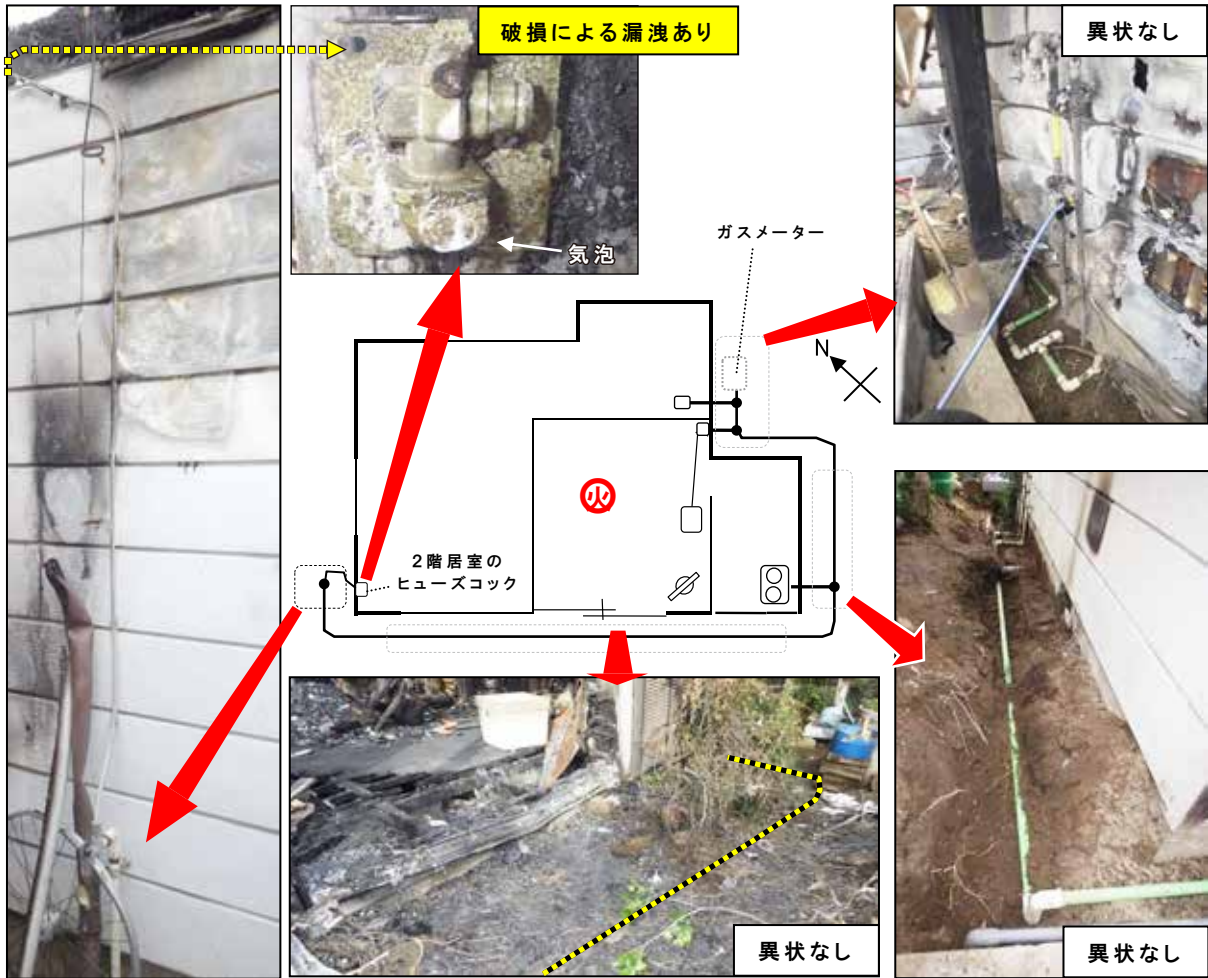


写真9 ガスの配管状況

ら気密試験を行うと、気泡が生じ、破損による気密漏れが確認できる。

なお、当該ヒューズコックに接続されている配管の先端を塞いで、再度ガスメーター2次側配管から気密試験を実施すると、圧力が

保持され、気密が取れていることが確認できる。(写真10)

ウ 気密試験結果

上記ア・イから、出火室のある1階における気密漏れ箇所は居室東側角に設置された

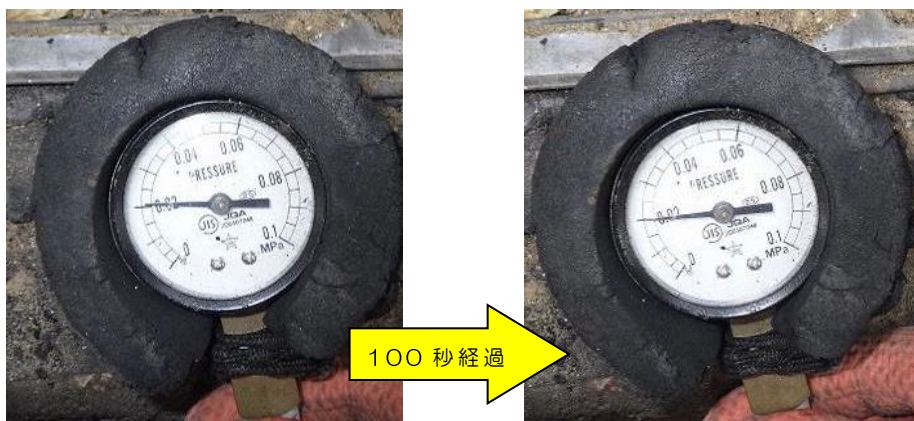


写真10 試験結果

ヒューズコックのみであり、埋設配管の腐食によるガス漏洩は否定された。

(2) 居住者の衣類の見分

ズボンと靴下を、実際に左側臥位で着用している状態を想定して確認すると、ズボン・靴下はともに、足底部側から受熱したことが推察される。

また、ズボン・靴下に山吹色の物質が付着しており、その形状から足底部方向から飛散して付着した可能性が高いと考えられる。(図2、3)

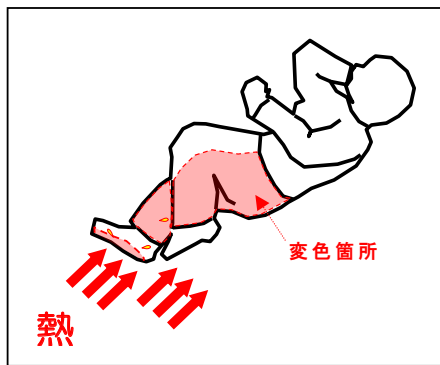


図2 受熱想定図



図3 飛散想定図

(3) 鑑識1 (ガスファンヒーター)

ア 外観 (写真11)

全体的に焼損しており、左上部が変形し潰れているが、本体が膨張した形跡は認められない。



写真11 外観

イ 内部 (写真12)

燃焼部外板は左上部が潰れているものの膨張した形跡は認められない。



写真12 内部

ウ 各構成部品

(ア) バーナー (写真13)

バーナーに破損・変形は認められない。



写真13 バーナー及びバーナー内部

(イ) ガス配管 (写真14)

ガス配管に破損・変形は認められない。



写真14 ガス配管

(ウ) 電磁弁 (写真15)

電磁弁は金属部品に変形・溶融は認められない。



写真15 電磁弁

(エ) 点火プラグ (写真16)

点火プラグは配線接続部及び放電部いずれにも破損・溶融は認められない。



写真16 点火プラグ

エ 鑑識結果

上記ア～ウの見分から、ガスファンヒー

ター内部でガス漏洩が生じ、爆発した痕跡は認められない。

(4) 鑑識2 (ヒューズコック)

ア ガス事業者によるガス漏洩量確認

現場見分において、ヒューズコックからの気密漏れが確認されていることから、分解見分前に、ガス事業者に漏洩量の測定を依頼したところ、「試験圧力：2.5kPa、試験気体：空気」の条件において、10.5ℓ/h（都市ガス換算）の漏洩が生じることが確認された。

イ 漏洩量による試算

上記アにおいて確認された漏洩量で、出火室にメタン（都市ガスの主成分）の爆発下限界である5%の都市ガスが滞留する時間を計算すると以下の通りとなる。

・ 出火室を8畳間（13.2㎡）・天井高さ2.5mと仮定

→空間容積は13.2㎡×2.5m

$$=33.0\text{m}^3 (=33,000\text{ℓ})$$

・ 爆発下限界の5%に達するのに必要なガス量

$$\rightarrow 33,000\text{ℓ} \times 0.05 = 1,650\text{ℓ}$$

・ 出火室に爆発下限界のメタンが滞留するために必要な時間

$$\rightarrow 1,650 (\text{ℓ}) \div 10.5 (\text{ℓ/h}) \approx 157\text{h}$$

$$\approx 6.6\text{日間}$$

ウ 分解見分 (写真17)

ヒューズコックは、全体的に焼損し煤が付着しているが、上部の筐体内部の煤の付着が濃く、また筐体には錆が認められる。

現場見分において気密漏れが確認された箇所について、内部のパッキンを見分すると、硬化しているものの、ほぼ原形を保った状態で残存している。

その他の構成部品に、変形・破損等の異常は認められない。

エ 鑑識結果

上記ア～ウより、ヒューズコックは気密漏

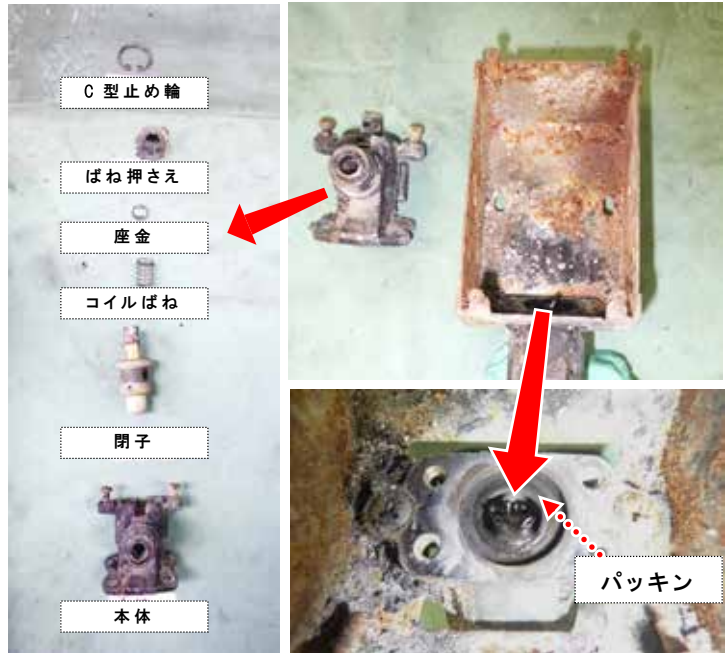


写真17 ヒューズコック

れが認められているものの、その量は微量であり、可燃性ガスが漏洩したと仮定すると、爆発下限界の濃度に達するまでには相当の時間が掛かるものと考えられる。

また、内部のパッキンは概ね原形をとどめていることから、火災熱によって2次的にパッキンのシール性が低下した可能性も否定できないと考えられる。

(5) 鑑識3 (ガスコード)

ア 見分状況 (写真18~20)

ソケット部は表面の一部に焼損が認められるのみであるが端部が破損し、内部のスプリングが露出しており、また、ソケット部と逆

の端部は焼損し、欠損している状況である。

ガスコードの長さを測定すると、約117cm (正規品約120cm) であり、ソケット部と逆の端部は約3cm欠損していることがわかる。

イ 定期点検時に異常があったガスコードとの比較

ガス事業者から3年前の定期保安点検時の記録写真提供を受け、今回見分したガスコー

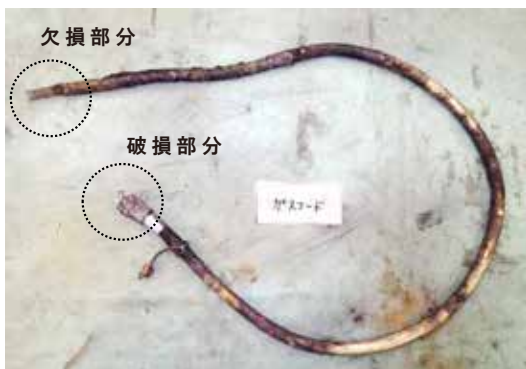


写真18 ガスコード



写真19 ガスコード破損部分



写真20 ガスコード表面の表記

ドと比較すると、形状が異なることから、ガスコードは不良品から交換されていたことが推察される。

ウ 鑑識結果

ガスコードは交換されており、また残存部分にはガス漏洩を生じた痕跡は認められないが、破損部分及び欠損部分については亀裂・ピンホール等の漏洩箇所が存在したか否かの確認はできない。

(6) 鑑識 4 (スプレー缶)

見分状況 (写真21、22)

スプレー缶5本について見分すると、No.5は破裂して側板が開いている状況であり、またNo.3、No.4については、上蓋が欠損し内部が見える状態となっている。

No.1、No.2については、開放箇所は認められないが、No.1は上蓋に若干の膨張が認められ、No.2は上から押しつぶされた状態となっている。



写真21 スプレー缶上面



写真22 スプレー缶側面

No.2、No.3、No.5については、商品名等の表記は確認できないが、No.1はメーカー名の表記が確認でき、ヘアカラスプレーであることがわかる。(写真23)

また、No.4は「ラッカーうすめ液」の表記が確認できることから何らかの塗料であることが



写真23 No.1の表記



写真24 No.4の表記

推察される。(写真24)

(7) 分析試験 1 (衣類に付着した塗料)

居住者の衣類に付着している山吹色の物質が何に由来するものであるかを特定するために、分析試験を実施する。

ア 使用機器

日本分光(株) 赤外分光光度計 (FT/IR-4200 ST)

イ 測定方法

靴下2箇所、ズボン1箇所に付着した山吹色の塗料状の物質を削り取り、KBr錠剤透過法による測定を実施する。

ウ 測定結果

赤外線吸収スペクトルからは、物質名の特定はできなかったものの、いずれもほぼ同一の赤外線吸収スペクトルが得られたことから、

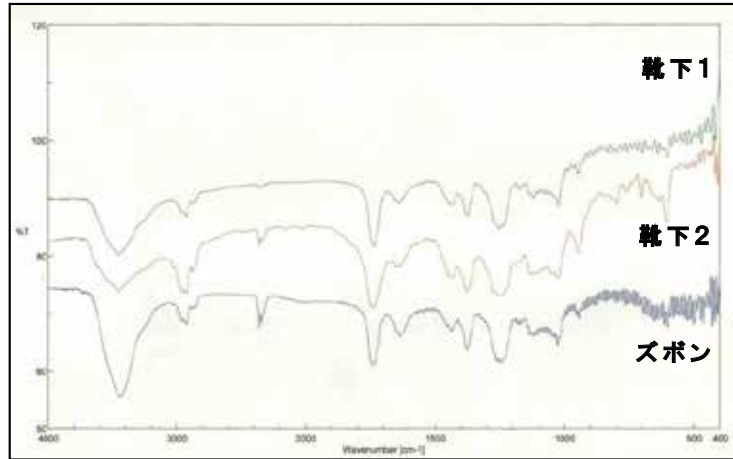


図4 赤外分光光度計測定

3試料はいずれも同一の物質であると推察される。

7 関係者からの追加情報

ここまでの調査内容を基に、関係者から追加で以下の情報を得る。

- (1) 衣類に付着した山吹色の物質には思い当たるものがない。
- (2) 塗料は所持しているが、白色のみでペール缶に入っており、スプレー式ではない。
- (3) 出火室にあったスプレー類は殺虫剤のみ。
- (4) ズボンと靴下は複数を着まわしており、同じ組み合わせになることは少ない。
- (5) 家族が塗料スプレーを持っているかもしれないが、はっきりはわからない。

8 出火原因の検討

以上の調査結果を基に出火原因を検討する。

出火原因の検討にあたり、本事案は可燃性ガスの爆発によるものと考えられ、また発火源は出火室に他の火気が認められていないことから、発火源はガスファンヒーターのバーナーの炎であり、吸気ファンから吸い込んだ可燃性ガスに着火したものと考えられる。

可燃性ガスの発生元については、見分結果から可能性が残るものとして、「ヒューズコックからの漏洩」、「ガスコードからの漏洩」、「スプレー缶からの漏洩」が考えられることから、以下検討する。

(1) ヒューズコックからの漏洩

ヒューズコックは、気密試験で漏れが認められているものの、外部全体が焼損しているにも関わらず、内部のパッキンは概ね原形をとどめていることから、火災発生前は気密が取れていた、または気密が取れていなかったとしても微量の漏れであったことが推察されるため、可燃性ガスの濃度が爆発下限界に達するまで6.6日間以上の長期間、居住者がガス臭気に気がつかず、台所のガス漏れ警報器も検知しないことは不自然であることから、ヒューズコックからのガス漏洩による出火は考えられないと判断した。

(2) ガスコードからの漏洩

ガスコードは、3年前にガス漏れの指摘を受けたものからは交換されていることから、定期保安検査時の不良箇所による漏洩は否定される。なお、焼損したガスコードの残存部分にはガス漏洩を生じた痕跡は認められないものの、破損部分及び欠損部分についてはピンホール・亀裂等の漏洩箇所の有無を確認できておらず、もし当該部分でマイコンメーターが30日間作動しな

い「7ℓ/分未満」のガス漏れが生じていた場合は、比較的短時間（4～5時間程度）で爆発下限界に達する可能性もあることから、ガスコードの欠損箇所から都市ガスが漏洩し、室内上方に滞留した可能性は完全に否定することはできないと判断した。

(3) スプレー缶からの漏洩

スプレー缶については、居住者がテレビ前に2個置いてあったことを申述していること、残渣物の中から複数の開放したスプレー缶が発見されていることから、何らかのスプレー缶が、ガスファンヒーターの近傍に置かれていたために過熱によって膨張・破裂した可能性は考えられ、また、居住者のズボンと靴下には同一の塗料状の付着物が足底部方向から飛散した状況が認められ、更に発掘されたスプレー缶にはヘアースプレーや塗料スプレーなどが含まれていることから、ガスファンヒーター近傍でスプレー缶が破裂して、その内容物が暖をとっていた居住者の衣類に付着した可能性は考えられる。

しかしながら、複数の破裂したスプレー缶の中から、出火元となった可能性があるスプレー缶が特定できなかったこと、分析の結果、付着物がスプレー缶に由来するものか否かを特定で

きなかったことから、スプレー缶からの漏洩について否定はできないものの、明確に肯定する物証も揃っていないと判断した。

(4) 結論

以上(1)～(3)の検討から、本事案は、室内に発生した可燃性ガスが、ガスファンヒーターの背面から吸気とともに吸い込まれ、ガスファンヒーター内のバーナーにより引火し爆発したものと考えられるものの、その可燃性ガスの発生源は、「ガスコードからの漏洩」・「スプレー缶の破裂」のいずれも可能性が残ることから、明確に特定はできないとの結論に至った。

9 おわりに

本事案は、最終的には可燃性ガスの漏洩元の特定には至らなかったが、ガスの漏洩元を居住者やガス事業者の申述を鵜呑みにして結論付けることなく、敷地内の掘削、気密試験、ガス機器の鑑識、そして付着物の分析試験等、客観的な視点で可能な限り詳細に調査活動を実施したことで、2箇所までは明確に絞り込み、これを基に信憑性の高い結論を火元者に示し、理解を得ることができたものであると考える。

連載
講座

悪政が火事を招いた！

歴史家・作家 加来 耕三

封建制の時代、名もなき民百姓を火事の猛火から守ろうという為政者の発想が、そもそもなかったことは前回でふれた。

では、火事の被害者である庶民は、ただ一方的に焼け出され、時に生命すら失いかねない火事どのように捉え、対処していたのだろうか。

平安時代の都＝平安京に暮らす人々は、火災そのものを日々、大いなる脅威として恐れていた。

人々がまばらな地方とは異なり、都では大邸宅を構える貴族とは違って、庶民は狭い空間に家屋を密集させて生活している。

そのため、一度火事が起きると、周囲はたちまち延焼し、大災害となった。

平安京において疫病（はやりやまい、伝染病）、地震と並んで、人々に最も恐れられた災害が火事であった。

当時の記録をみていると、しきりと「焼亡」（じょうぼう、しょうもう、とも）という言葉が使われている。

ただ大正12年（1923）9月1日に発生した関東大震災や、平成7年（1995）1月17日に発生した「阪神淡路大震災、などと比べて、大きく異なっていたのは、これら近代の地震は大地の揺れによる被害よりも、地震後に発生した火災による死者が圧倒的に多かった点であった。

つまり、都市における地震の被害は、地震発生直後の火災が深刻であったわけだ。

けれども、平安京においては地震は、必ずしも火事を誘発しなかった。

たとえば、安元3年（1177）4月に起きた「京都大火」、いわゆる「安元大火」、一のちに「太郎焼亡」と呼ばれた一がわかりやすい。ときの天皇は第80代の高倉帝（後白河天皇の第7皇子）で

あり、父の後白河法皇が院政をしいていた。

執政は、「平家にあらずんば、人にあらず、——正しくは、「此一門にあらざらむ人は、皆人非人なるべし」（『平家物語』巻一）といわれた、平家を率いる平清盛の全盛であり、彼の娘・徳子（建礼門院）が第81代となる安徳天皇を、高倉帝との間に産んだのは、治承2年（1178）のこと。だが、世はすでに平家の全盛を迎えていた。

大内裏・大極殿・八省院ほか2万余家が焼亡したといわれている。

そもそもは樋口小路（現・京都市下京区）と富小路通（現・京都市中京区）の交差する辺りで、火事は発生した。条坊制（都城計画の一つ・方格状街路で構成）によれば、左京六条の東の端あたり、すぐ東を鴨川が流れている。平安京でいえば、場末であった。地震は発生していない。

すぐにも消えるかと思われたが、遮るものない中を強風が吹き抜け、それに勢いを増した火は、やがて多数の公卿の邸宅へ燃え移り、大極殿をはじめ、大内裏の殿舎（御殿、屋形）を焼き尽くした。

去、安元三年、四月二十八日かとよ。風烈しく吹きて、静かならざりし夜、戌の時（午後7時から9時の間）ばかり、都の東南より火出で来て、西北に至る。はてには朱雀門・大極殿・大学寮・民部省などまで移りて、一夜のうちに、塵灰となりにき。火元は、樋口富小路とかや、舞人を宿せる飯屋より、出で来たりけるとなん。吹き迷ふ風に、とかく移り行くほどに、扇を広げたるが如く、末広になりぬ（鴨長明『方丈記』・成立は建暦2年（1212））。

おそらく大衆相手の舞踊する者が、宿泊してい

た小さな家屋が出火元であったのだろう。

それが風にあおられ、「飛ぶが如くして、一二町を越えつつ移りゆく」（同上）

筆者が興味を引いたのは、「そのたび、公卿の家、十六焼けたり。ましてその外、数え知るに及ばず。すべて、都の内、三分が一に及べりとぞ」（同上）

という惨状でありながら、「男女死ぬる者数十人。馬牛たぐい へんざいの類、辺際を知らず」という『方丈記』のくだりだ。

火事による死者が、極端に少ないのである。

平安時代における最大規模の火災にしては、亡くなった方が少なかった。これは逃げること、避難することだけが、生命の助かる方法ということを人々は知っていたのだろう。わが身はわが身で守る以外、他に頼れる者はなかったのだ。

それにしても、平安時代の火災記録を見ていると、「家」が一度の火事で何百という単位で焼亡していた。

けれどもこの「家」は官衙かんが（役所・官庁）で働く官衙町のことであった場合が多かった。内裏の護衛に当たる衛府関係者の官衙町も、都には幾つか存在した。場所はおおむねわかっているのだが、彼らの「家」の構造については、実はいまだに十分には明らかにされていない。

江戸時代の下級武士の「家」のように、小規模な家屋であったかとは思われるが、長屋のように収容効率のいい施設——井戸を中心とした食事を作る場所に、かまどを据えていたことは間違いのないのだが、厳しい冬に暖をとるためには、炊事場と居間を近づけねばならない。

そうなれば火事も、起きやすかったであろう。

現在でも暖をとるためのストーブなどが、失火の原因となっている。ましてや庶民の「家」（と呼べるか？）は、冬は寒く、夏は暑くて仕方がなかったろう。そのうえ、火事に巻き込まれてはたまったものではあるまい。

平安京に暮らす公卿や清盛たち武家貴族は、わが身さえ無事であれば、生活再建に努力する必要はなかった。邸宅はすぐにも建て直されたであろうし、彼らの生活水準が低下することもなかったはずだ。

だが、庶民はそうはいかなかった。

火事で生命が助かってもし焼け出されれば、即座に生きていくのに困ってしまう。

高貴な人々は、来世への期待に仏教にのめり込むが、名もなき人々は、今日明日のわが身を心配しなければならなかった。

結果として、彼ら下層の民は火事の焼け跡にむらがる。焼け残った日用品、焼けた釘、焼けた金物、焼け残りの木片でも、何でもかんでも拾い歩いた。ときに奪い合いとなり、殺し合うような事態にも。何しろ拾う行為が、そのまま生きることにつながっていただけに、彼らも必死であった。

当時（今日）出火の節など、町家の下郎どもみな盗賊となり、取り除くる衣類・諸道具を我がちに盗み取るなり。依つて常に火災ある事を待ち、また風烈の節など火を付くるなり。（武陽隱士著「諸町人中辺以下の事」・『世事見聞録』所収）

上の随筆は、平安時代のものではない。

江戸時代の後期（序が文化13年〈1816〉）のものであるが、下層の人々が盗賊となり、火事跡に残る衣類や諸道具をことわりなく拾って持ち帰る＝盗みは、平安京とてかわりはなかった。

人間の考えることである。が、為政者が庶民を保護することをせず、無視したらどうなるか。

庶民は火事跡で物を拾うことから、一步悪知恵を働かせて火事を発生させようと、家屋に火をつけることを考える。放火、火付けである。

清原国賢書写本の『莊子抄』（室町幕府12代將軍・足利義晴の治世、享祿3年〈1530〉）に、「盗ぬすみをして火付くびはねをして人に刑たるか」とあった。

とくに「下剋上」の洗礼を受けた戦国時代のあと、江戸時代に入ると、火付けが流行した。

アメリカ東インド艦隊司令長官ペリーが、黒船4隻を率いて浦賀へ姿を現わす4年前に生まれた鹿島万兵衛は、自著『江戸の夕榮』の中で、江戸の火災の原因に二つあることを挙げていた。

一つは、伝馬町の牢に入っている者を、仲間が救い出そうとして火付けすること。

もう一つが、火災の後に発生する仕事を期待して、消火をなおざりにすることだという。

後者には、火事場泥棒、焼け跡拾いも、無論、含まれていた。（了）

連載
講座

温室効果

気象予報士（元気象庁） 饒 村 曜

1 太陽からの放射と地球からの放射

太陽からの熱は、主に紫外線や可視光線という比較的短い波長帯（主に可視光線）でエネルギーを放射しています。太陽から届いたエネルギーのうち、約3割は雲や地表面で反射されて、残りの約7割が地球を暖めます。温度をもつあらゆる物体はエネルギーを放射するので、地球から宇宙空間へもエネルギーを放射しています。ただ、地球は太陽よりもずっと温度が低いので、長い波長帯（主に赤外線）でエネルギーを放射していますが、地球が太陽から受け取るエネルギー量と宇宙空間に放射するエネルギーの量は同じで、地球は一定の温度を保っていられるのです。地球の大気は、可視光線を通しますが、赤外線は吸収する性質があります。このため、太陽からの熱の多くは地表に届きますが、地表からの熱は大気中の物質に吸収され、再度赤外線が放射されますので、宇宙空間に逃げていた熱の一部が地表に戻されています。このため、地表付近が温まるのですが、これを温室効果と言います（図1）。

なお、実際の温室（ビニールハウス）は、温められた空気の対流・拡散がビニールシート等で妨げられるために暖かいのですが、大気の温室効果は、大気中の物質が対流・拡散を妨げるビニールシート等の役割をするのではなく、熱を吸収し、それを地表に送り返す性質を持っていることから温

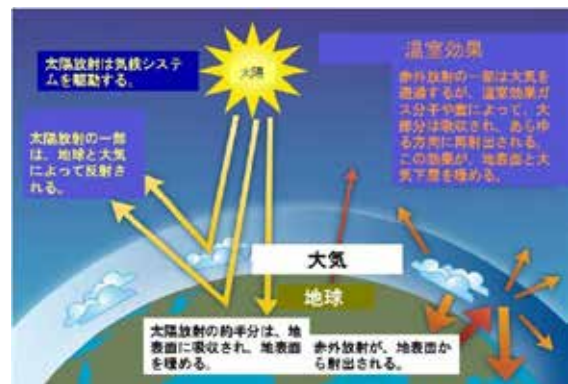


図1 温室効果の概念図

出典：気象庁ホームページ。

まりますので、実際の温室の仕組みとは違います。

大気中の物質により、温室効果の度合いは異なります。温室効果をもたらす物質を温室効果ガスといい、水蒸気、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、オゾン等があります。ただ、これら温室効果ガスをすべて加えても大気中の気体の1%程度の濃度しかなく、大気中の多くを占める窒素（大気中の78%）と酸素（21%）はほとんど温室効果をもちません。また、水蒸気と二酸化炭素以外の温室効果ガスの量は極めて少なく、地球温暖化に寄与している温室効果ガスは、主に水蒸気と二酸化炭素の2つです。

温室効果ガスとして二酸化炭素が注目されているのは、自然界に存在する二酸化炭素に、人間活動によって放出された二酸化炭素が加わったことで温室効果が強まっているのではないかという懸

念によるものです。人間活動によって放出された分については、工夫により削減できる可能性があります。水蒸気も温室効果が大きいのですが、人間活動で多くなったり、少なくなったりする物質ではないため、地球温暖化対策を考えるときは、水蒸気の影響は省いて考えています。

地球は、温室効果がなかったら地球表面の平均気温が -19°C の氷の星になってしまいます。しかし、温室効果ガスによって温暖化が起こり、平均気温が 14°C という、生活するのに適した星となっています。すでに、 33°C も温暖化しているのですが、これが、さらに 1°C とか、 2°C とかの温暖化が進むというのが問題になっているのです。

2 過去の二酸化炭素濃度

大気中の二酸化炭素が増え、地球温暖化が進むといっても、過去にはもっと二酸化炭素が多い時代がありました。地球誕生後の大気中には二酸化炭素が今よりも大量にあったのですが、その後、海に溶けこみ、石灰石等の岩石になったり、太古に繁栄した植物によって消費されました。これにより二酸化炭素は減ってきましたが、恐竜が生息していた約5億年前の古生代になっても、大気中の二酸化炭素は、現在よりもはるかに多かったの

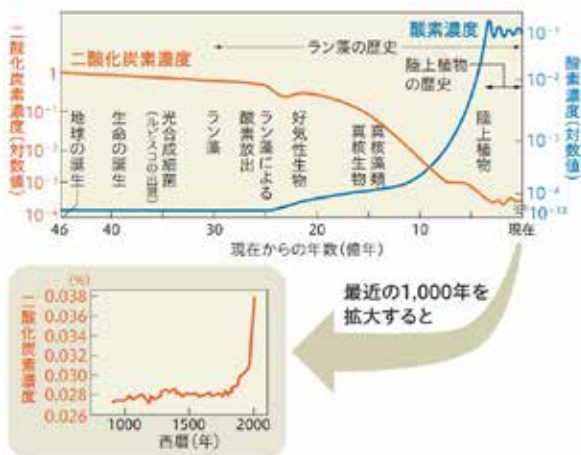


図2 地球上の二酸化炭素濃度の推移（葛西奈津子著、「植物と地球大気の世界」、化学同人(2007)より）
出典：饒村曜（2014）、天気と気象100、オーム社。

です（図2）。当時の地球は、温室効果で非常に暖かく、巨大な植物が繁茂していました。

南極大陸の氷は、水が凍ったものではなく降った雪が溶けずに降り積もり、長い年月をかけて自身の重みで押し固められたものです。雪といっしょにそのときの空気や塵、火山灰等も積み重ねられ、氷の中にしっかり封印されます。降った雪の層は、当時の空気を閉じ込めたまま積み重なり深くなればなるほど圧密されていきます。空気には地球環境の情報が込められていることから「南極の氷は地球環境のタイムカプセル」と言われています。南極大陸の氷床を掘削して過去の氷を取り出し、地球環境の変化に関わる情報を得ようとする計画が進み、掘削に最適とされる地点に日本の南極観測基地「ドームふじ基地」（図3）を1994年に建設しました。1996年の第37次越冬隊は、深さ2503メートルまでの氷床掘削に成功し、過去34万年間の氷の分析から、地球は約10万年単位で寒い時と暖かい時の繰り返しがあり、二酸化炭素も増減を繰り返していたこと等がわかりました（図4）。



図3 南極での日本の基地
出典：饒村曜（2014）、天気と気象100、オーム社。

3 地球温暖化とデメリットメリット

北極の氷のほとんどは海に浮いているので、溶けたとしても海水面はたいして上昇しません。しかし、南極大陸やグリーンランドの陸上にある氷は、溶けると海水面が大きく上昇します。また、海水温が現在よりも高くなると海水は膨張し、こ

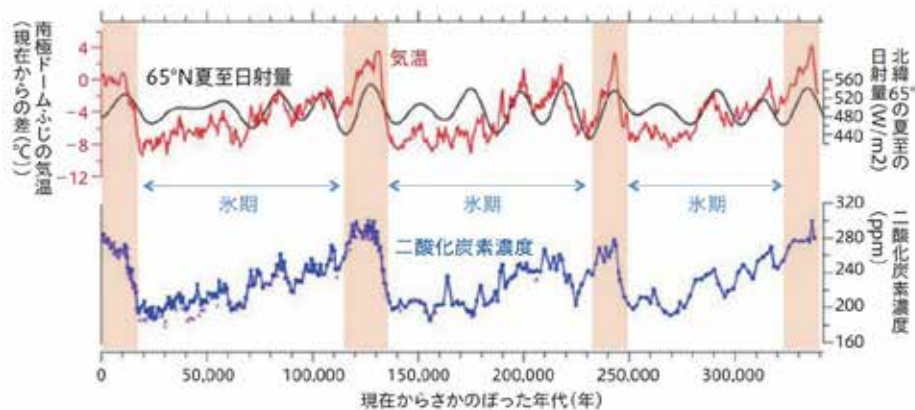


図4 南極大陸ドームふじ基地の氷床コアから再現した過去34万年間の気温と二酸化炭素の濃度

出典：饒村曜（2014）、天気と気象100、オーム社。

れによっても海水面が上昇することになります。海水面が上昇すると、珊瑚礁でできた高度が低い島国では、生活そのものが奪われる深刻な事態となりますし、日本も、低い土地が水没したり、高潮被害が大きくなることが懸念されています

地球温暖化による海面上昇が起こったり、農作物が撮れなくなったりするなどのデメリットが強調されています。その通りなのですが、逆に地球温暖化によって住みやすくなる地域もあると考えられています。気温が低いために穀物ができない地域では、地球温暖化によって穀物がとれるようになりますし、地球温暖化により雨が極端に少なかった地方で降水が増え、農作物がとれるようになることもあるでしょう。また、夏の間だけでも北極海の氷が溶けてくれれば、地下資源の発掘が可能となり、加えて従来の中東まわりの航路より早くヨーロッパとを結ぶ北極海航路が可能となります（図5）。

このように、地球温暖化によって非常に困る地域だけでなく、逆に住みやすくなるというメリットを受ける地域もたくさんあります。ただ、マイナスの分だけ、プラスの地域もあると単純に考えることはできません。デメリットを受ける地域が出る一方、メリットを受けることが可能な地域でも、そのメリットを受けることができるように体制を整えるには時間がかかり、メリットを受けな

いうちに、さらに温暖化が進んでしまうということも起こりうるからです。

つまり、二酸化炭素が多いこと自体は大きな問題ではありません。問題は、二酸化炭素が増えるペースです。長い時間をかけて二酸化炭素が増えるなら、私たちも含めた生物はそれに対応していけます。しかし、現在の増加速度は、地球誕生以来、かつてないほどのスピードですので、生物がそれに対応できないのではないかという懸念から、大問題となっているのです。私達に対応できる範囲での地球温暖化でないと、地球上に住みやすい地域はなくなってくるからです。地球温暖化を止めるというより、少しでも地球温暖化を遅らせて、対応するための時間を確保するというのが現実的な地球温暖化対策と思われます。

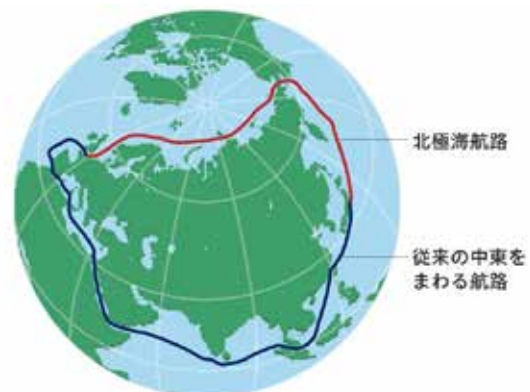


図5 北極海航路

出典：饒村曜（2014）、天気と気象100、オーム社。

編集後記

明けましておめでとうございます。今年は巳年となりますが、巷(ちまた)では、干支の「へび」は、「再生」や「再生の吉兆(?)」などいわれていますが、世間でよく使われている「へびをあしらったマーク」について、次のようなことを思い出しました。

全国の消防本部の中には、救急車の車体に「へびと杖が描かれた青いマーク」を描いている本部があります。



この描かれた杖は「アスクレピオスの杖」と呼ばれるもので、アスクレピオス(エスクラピウス)とは「ギリシャ神話に登場するへびつかい座の守護神」

で、医術の神といわれています。

ギリシャ神話では、アスクレピオスが大きなへびをもっていることについて、「脱皮するへびは不死の象徴」、「死んだ蛇にほかの蛇が薬草を飲ませて生き返らせたところを、アスクレピオスが目撃し、死者を蘇らせる方法を身につけた」など諸説あるようですが、現在、WHO(世界保健機構)をはじめ世界中の医療機関などで、このロゴマークが医学・医療の象徴として使われています。



もう一つ、「商業」のシンボルマークとして使われているものもあります。二匹のへびが棒(杖)を這い上がる形に

なっているカードウケウスの図像で、商業系の高校や大学の校章にも使用されています。

なお、カードウケウス(伝令使の杖)とは、「聖なる力を伝える者が携える呪力を持った杖」とされ、王権の象徴「笏杖(しゃくじょう)」のように所持者を守る力があるといわれ、その多くは、大地の力を象徴する二匹の蛇が棒を這い上がる形になっているとのことです。

ところで、今回の編集では、「大雨災害への防災・減災(その4)」と「令和6年能登半島地震(その3)」をテーマとして、特集を組み編集させていただきました。

まず、「特集:大雨災害への防災・減災(その4)」において、大雨時の土砂災害や流木被害、水害ハザードマップなど、大雨災害時の被害と対策をテーマとして編集いたしました。

次に、「特集:令和6年能登半島地震(その3)」において、能登半島地震に伴って生じた各種被害の状況等(建物の被害、ライフラインの被害、地形の影響等)をテーマとして、特集を編集いたしました。お忙しい中にもかかわらずご執筆いただきました先生方に、深く感謝申し上げます。

次回以降の特集につきましても、引き続き、「大雨災害への防災・減災」と「令和6年能登半島地震」をテーマとして、(巳年にちなみ)復旧・復興など「再生」の内容も含め、特集を組もうと考えております。

今回の特集が、消防・防災関係者にとって、地震災害への防災・減災を考える上で、少しでもお役に立てば幸いです。

[本誌から転載される場合にはご連絡願います。]

季刊「消防防災の科学」 No. 159 2025. 冬季号

発行 令和7年2月20日

発行人 福浦裕介

発行所 一般財団法人 消防防災科学センター

〒181-0005 東京都三鷹市中原三丁目14番1号

電話 0422 (49) 1113 代表

ホームページ URL <https://www.isad.or.jp>





一輪車



宝くじ桜



子宮がん検診車



宝くじは、みんなの暮らしに役立っています。



救急普及啓発広報車



宝くじドリームジャンボ絵本



集会用テント



「健康手帳」(冊子)



ベンチ



リスザル展示施設

宝くじは、少子高齢化対策、災害対策、公園整備、教育及び社会福祉施設の建設改修などに使われています。



一般財団法人日本宝くじ協会は、宝くじに関する調査研究や公益法人等が行う社会に貢献する事業への助成を行っています。

一般財団法人 **日本宝くじ協会**
<https://jla-takarakuji.or.jp/>

