

季刊

消防防災の科学

春
2024

特集

大雨災害への防災・減災（その1）

■ トピックス

令和6年能登半島地震から見える今後の災害への教訓

一般社団法人 ADI 災害研究所 理事長 伊永 勉

■ 連載講座

知っておきたい気象用語の豆知識（第4回）

黄砂 気象予報士（元気象庁）饒村 曜

156

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。





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/>



能登半島地震 (2024年) 災害



石川県能登町：白丸地区で津波により流された家屋等（2024年2月8日撮影）



石川県穴水町（役場横の崖）：地震により発生したがけ崩れ（2024年1月5日撮影）

消防防災の科学

No.156 2024. 春

巻頭随想

災害時のデマを減らすためには

兵庫県立大学 環境人間学部・大学院 環境人間学研究科 教授 木村 玲欧 2

特集 大雨災害への防災・減災（その1）

- 1 気候変動がもたらす最近の水害とその縮災ー
関西大学 社会安全学部 安全マネジメント学科 特別任命教授 河田 恵昭 6
- 2 集中豪雨をもたらす線状降水帯について
気象庁気象研究所 台風・災害気象研究部 部長 加藤 輝之 12
- 3 頻発・激甚化する水災害への備え：ハザードマップと洪水予報の現状と今後の展望
京都大学 防災研究所 教授 佐山 敬洋 20
- 4 流域治水について
熊本県立大学 特別教授 島谷 幸宏 26
- 5 令和4年8月大雨を踏まえた災害対策について～ハード・ソフト両面からの災害対策の充実～
福井県土木部砂防防災課 30
- 6 熊本県における「緑の流域治水」の取組の概要
熊本県企画振興部球磨川流域復興局 35

■トピックス

令和6年能登半島地震から見える今後の災害への教訓

一般社団法人ADI 災害研究所 理事長 伊永 勉 42

■地域防災実戦ノウハウ（119）

ー2024年能登半島地震から考える 被害規模の早期推定ー

Blog 防災・危機管理トレーニング 日野 宗門 46

火災原因調査シリーズ（112）

セラミックヒーターから出火した火災事例

広島市消防局 予防部 予防課 調査係 50

■予防レポート

令和5年度予防技術資格者の育成支援及び準備講習会受講者の予防技術検定合格体験談について

一般財団法人消防防災科学センター 消防支援室 59

■連載講座

知っておきたい気象用語の豆知識（第4回）

黄砂……………気象予報士（元気象庁） 饒村 曜 65

編集後記

カラーグラビア

能登半島地震（2024年）災害

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。



災害時のデマを減らすためには

兵庫県立大学 環境人間学部・大学院環境人間学研究科 教授

木村 玲 欧

○能登半島地震でもデマが発生した

「地震で家族が下敷きになっている（実際の住所が明記）」、「地震で車に閉じ込められて、身動きがとれない（実際の住所が明記）」、「地震が人工的に起こされた」、「能登半島に外国系の盗賊団が集結中」、「避難所を出ると仮設住宅に入れなくなる」。これらはすべて能登半島地震で発生した根拠不明な情報—デマ—である^{1)~2)}。

消防・防災の関係者ならばこのような投稿をX（旧ツイッター）で見かけても、これだけで信じることはないはずである。その情報自体の科学的妥当性や論理性を検討し（内在的チェック）、マスメディアの報道や自治体のサイトなどで情報のウラを取ってから（外在的チェック）、必要に応じて何らかの対応に移るはずである³⁾。

しかし一般市民は、そうはいかない。能登半島地震で、Xに具体的な住所とともに「息子が挟まって動けない。私の力では動かない。頼みの綱がXしかない。助けて」という投稿があった。この住所に住んでいた石川県の40代の女性に、知人や警察から多くの問い合わせがあった。しかし女性の自宅は、物が散乱する程度の被害で、そもそも息子がいなかった。身に覚えのない投稿をされた女性は、「災害時に警察の業務を妨害して許せない」と憤っている⁴⁾。

○災害時にデマが発生する3つの理由

災害時にデマが発生するのはなぜだろうか^{3),5)}。デマの発生理由の1つめは、災害発生後のあいまいな状況を理解して、不安な感情を解消したい、そして周囲にも情報を伝えたいという「人間の欲求」から発生するデマである。これは、悪意を持って意図的に作り出されたデマではない。このようなデマは「流言」（りゅうげん）や「誤情報」とも呼ばれて、いわゆる悪意を持って意図的に作り出される狭義の「デマ」と区別することもある。

2つめは、愉快犯だったり、他者を攻撃したりする目的からねつ造されるデマである。いわゆる「デマ」の語源であるデマゴギズム（扇動政治）に近い。災害という混乱に乗じて、悪意をもって意図的に作り出されるのである。「デマ」以外にも「偽情報」と呼ばれることもある。

2016年熊本地震の発生直後に、「地震で動物園のライオンが逃げた」と嘘の内容がツイッターに投稿された。動物園の業務を妨害したとして神奈川県に住む20歳の男性が逮捕されたが、警察の調べに「悪ふざけでやってしまった」と述べている。

3つめは、SNSなどでの表示数・再生数によって得られる広告収入・収益を目的に、ねつ造されるデマである。2023年にXの仕様が変更されて、投稿の表示回数（インプレッション）によって収

益が得られるようになった。そのため、表示回数を稼ぐために虚偽の投稿をするなど、今後、収益を目的としたデマは増えると予想される。

○ SNS がデマの拡散を加速させる

SNS の発達によって、誰もが様々な情報を不特定多数に広く発信できる。これにより、被災場所と被害状況を早期に特定して、効果的な救助・救援に結びつけることができるようになった。一方で、根拠のないデマも発信され、さらにそれを善意の第三者が拡散することで、消防や警察、地元自治体に問い合わせが殺到し、活動の大きな妨げになっている。

特に災害時のデマは、具体的な表現で人間の感情に訴えかけたり、興味・関心を惹くような内容であったりと、善意の第三者が「この内容を広めたい」と思えるような仕掛けで巧妙に作られている。そして「よかれ」と思って拡散した情報が、かえって支援の妨げになったり、差別に加担して人を傷つけたりしている。このような「よかれ拡散」を今後の災害で減らすことは、大きな課題である。

2011年 東日本大震災では、「痛い、皮膚が破れているかもしれない。失血がひどい。外から声が聞こえなくなってきた、もう騒ぎは沈静化しているのだろう。痛みで何度も身を振（もじ）り、しかし逃れることができず、口からは苦痛の発話が漏れる。言葉にはならない。痛い。その気になれば、痛みなんて完全に消しちゃえるんじゃないのか」というデマがツイッターで流れた。SNSが発達するまでは、デマは口伝による伝言ゲームのようなかたちで拡散していったが、SNSが発達すると、このような感情に訴えかける具体的な長文が、そのまま拡散されて人心を惑わすようになった。³⁾

○流言は智者に止まる

中国戦国時代の思想家である荀子は、その著書のなかで「語に曰く、流丸（りゅうがん）は甌臠（おうゆ）に止まり、流言は知者に止まる」と書いている（巻第十九大略篇第二十七）。つまり「古くから言われていることに、転がる玉は窪地に入れば止まり、流言は知者に至れば止まる」という意味である。荀子が生きたのは今から2,300年ほど前のことである。私たちの想像を超えるような古においても、現代と同じような課題を抱えていることに心を引きつけられる⁶⁾⁻⁷⁾。

ちなみに、秦の始皇帝が中国を統一していく過程を描いた漫画『キングダム』は、この頃の出来事を描いたものである。荀子のもとで学んだ李斯（りし）は、秦の宰相となって秦王政（後の始皇帝）を支えることになる。また同門の韓非（かんぴ）（韓非子の著者）を秦に招いたが、韓非は秦で自死することになる。もちろん漫画として脚色されているが、この顛末については『キングダム』第70巻に描かれているので、キングダムを読んでいる方は「あのときの言葉が、今のデマをまつわる状況でも使われているのか」と記憶に留めてもらえればと思う⁸⁾。

荀子の文章には続きがある。「是非疑わしければ、則ち之を度（はか）るに遠事（えんじ）を以てし、之を驗するに近物（きんぶつ）を以てし、之を參するに平心を以てすれば、流言は焉（ここ）に止まり、惡言（あくげん）も焉に死す。」、つまり、「正しいか正しくないかが疑わしければ、遠い聖賢や先王の事績と比較して考え、身近な事例と比較して検証し、公平な心をもって考察すればよい。このようにする知者の前ではついに流言も止まり、邪説も死に絶えるであろう。」という意味である⁶⁾⁻⁷⁾。過去の事例や教訓をもとにして比較検討することの重要性は、現代のデマへの対策にもつながる知恵である。

○時間経過とともに変わるデマ

過去の事例を概観すると、災害時のデマは時間経過によって減少するが、同時にデマの内容が変化していくことがわかってきた⁹⁾。

災害発生直後は、「災害の発生原因」や「災害の再来」などのデマが多く流れる。例えば、1995年阪神・淡路大震災では、「地震は〇〇（新興宗教名）の地震兵器の仕業だった」という非科学的な発生原因がデマとして流れた。また、2016年熊本地震では、「夜中の1時頃ごろ、佐賀に震度7の地震が来るかもしれないという予報が出ていて、いつでも逃げられるように準備して」とのデマが流れた。

救助・救援期は、「人的・物的被害」「二次被害」や「著名人の対応」などのデマが多くなる。1982年長崎水害では、「堤防切れと満潮でダムが決壊した」というデマが流れた。もちろん1923年関東大震災において、「朝鮮人が井戸に毒を投げている、集団で地震の混乱に乗じて来襲する」といったデマにおける虐殺事件は、私たちの教訓として忘れてはならない。

またこの時期は、著名人（政治家や芸能人など）の対応についてもデマになりやすく、1991年雲仙普賢岳噴火では、「〇〇市（具体的市名）の災害対策本部が市外に逃げ出した」とか、2011年東日本大震災では、「〇〇党の〇〇（具体的人物名）が東北大震災を『「ラッキー」』と表現した」などのデマも流れる。

復旧・復興期は、「被災生活」のデマが多くなる。1995年阪神・淡路大震災では、「避難所を出たら仮設住宅への入居資格がなくなる」というデマが流れたが、今回の能登半島地震でも、「二次避難をすると仮設住宅の抽選から漏れる」というデマが流れた。また、被災地外の人々を対象にした募金・義援金のデマも懸念される。著名人や慈善団体を騙って、具体的な URL や QR コードによって寄付を募る「詐欺メール」のようなデマに

も注意が必要である。

○デマへのリテラシーを向上させる

どうやって災害時のデマに立ち向かうべきなのか。まずは、過去の災害時のデマを知った上で、事前ルールを作ることが重要であると考ええる。

何か情報を目にした場合には、「本当か?」、「自分が広めるべき情報か?」と考えることである。このような「ファクトチェック」においては、2種類のチェックが必要である。

1つめは、受け取った情報について、内容が矛盾していたり日本語表記がおかしかったりするかという、内容そのものをチェックする「内在的チェック」である。

2つめは、信頼できる発信元か、特に発信元が普段はどんな情報を発信しているのか、もしくは国や自治体、マスコミなどの公式情報でも同様の内容について発表・報道がされているかという、内容のウラをとる「外在的チェック」である³⁾。

このように「情報を疑う」とことと「情報を確かめる」とことという情報リテラシーが必要である。そして、「根拠がわからないものの拡散には自分は加担しない」という判断をすることも重要である。

「令和4年度 国内外における偽・誤情報に関する意識調査」（みずほリサーチ&テクノロジーズ）によると、ファクトチェックという用語について、「内容や意味を具体的に知っている」が9.1%、「なんとなく内容や意味を知っている」が14.6%、「言葉は聞いたことがある」が20.1%、そして「知らない」が56.3%であった¹⁰⁾。ファクトチェックは、まだまだ国民には浸透しておらず、「デマ情報に対するリテラシー向上」は、消防・防災の専門家が積極的に取り組むべき課題である。

【参考文献】

- 1) NHK NEWS WESNS (2024) 「“人工地震が原因”
など不安あおる偽情報投稿 拡散」, 2024年1月2
日 19:27, <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240102/k10014307161000.html> (2024年3月27日
確認)
- 2) NHK NEWS WESNS (2024) 「地震後「外国系窃盗
団が能登半島に集結」 偽情報など SNS で拡散」,
2024年1月10日19:02, <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240110/k10014316541000.html> (2024年3月
27日確認)
- 3) 荻上チキ (2011) 「検証 東日本大震災の流言・
デマ」, 光文社新書
- 4) 共同通信 (2024) 「「息子挟まれた」虚偽投稿
SNS、不安募らせる女性」, 2024年1月2日22:17,
[https://news.yahoo.co.jp/articles/f4774f9457b20525
7741fe69ed992b3dcba6b630](https://news.yahoo.co.jp/articles/f4774f9457b205257741fe69ed992b3dcba6b630) (2024年3月27日確認)
- 5) 廣井修 (2001) 「流言とデマの社会学」, 文春新書
- 6) 塚本哲三(編) (1922) 「荀子：全」, 有朋堂書店
- 7) 河南殷人 (2016) 「新読荀子 (web サイト)」, [http:
//sorai.s502.xrea.com/website/xunzi/](http://sorai.s502.xrea.com/website/xunzi/)(2024年3月27
日確認)
- 8) 原泰久 (2023) 「キングダム 第70巻」, 集英社
- 9) Kimura, R. and Iwao, A (2020) “Study on Features
of Rumors Generated at the Time of Disaster:
Characterization of Actual Rumors”, 17th World
Conference on Earthquake Engineering Conference
Proceedings, No.7f-0001, 12pp.
- 10) みずほリサーチ&テクノロジーズ (2023) 「令和
4年度 国内外における偽・誤情報に関する意識
調査－報告書－ (概要)」, [https://www.soumu.go.
jp/main_content/000889637.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000889637.pdf) (2024年3月27日確
認)

□気候変動がもたらす最近の水害とその縮災

関西大学社会安全学部 特別任命教授

河 田 恵 昭

1. 気候変動は地球上の全自然災害の発生状況を変える

気候変動によって日本全土が、さらに雨が降りやすく、かつ雨量も多くなる国土に変わった時、地震の発生特性は変わるのだろうか？答えはYesである。たとえば、ハリケーンが豪雨を伴いカリブ海沿岸諸国に沿って時計回りに進行したとしよう。そうすると微小地震群が発生し、その中心位置がこの進行を追っかけることがわかっている。長期的に雨が降るようになると考えると、地下水位とか地層内の摩擦係数などもゆっくりと変化するから、地震の起こり方も変わるだろう、が正解である。火山噴火もそうだろう。たとえば、火口のカルデラに大量の雨が貯留するようになれ

ば、水蒸気爆発が誘起されやすいのではないだろうか。このように、気候変動は水害ばかりでなく高潮などの海象、地震や土砂災害などの地象災害というように、ほぼ全自然災害に影響するだろう。こうなると何が困るかと言えば、これまで災害が起こらなかった地域で未経験の災害が、しかもいきなり大規模災害が起こる危険性があるということだ。たとえば、2023年9月リビア洪水では数千人が死亡した。普段水が流れていない河道に突然、上流のアースダム決壊による鉄砲水が流れ、都市域を襲ったのである。2017年ハリケーン・ハーヴィーによる未曾有の豪雨によって、米国テキサス州・ヒューストンとその近郊に約千億トンの降雨があり、写真1のように、河川が氾濫して市内が広範囲に水没したほか、周辺の複数の調整地内の



写真1 米国テキサス州ヒューストン市の水没状況（2017年ハリケーンハーヴィーによる約千億トンの豪雨による河川の氾濫、ヒューストン市提供）

既成市街地も水没した。このような未経験の水害を経験すると、被害がそれほど大きくなくても政情そのものが不安定になることが起こる。たとえば、2021年7月ドイツを襲った洪水では、過去に経験しなかったような300人を超える死者・行方不明者を数え、その対応の混乱から政権与党のキリスト教民主同盟が信頼を失い、同年12月のメルケル首相の退陣につながった。これまで大きな災害が発生してこなかった諸国にとっては、気候変動は大変な脅威になっていることが理解できよう。

さて、国土交通省はすでに、1945年以降、風水害の人的被害は治水事業費によって着実に減少していることを明らかにしている¹⁾。これは、歴史的にどのように解釈すればよいのだろうか。調べてみると、過去1500年間に図1のように、死者

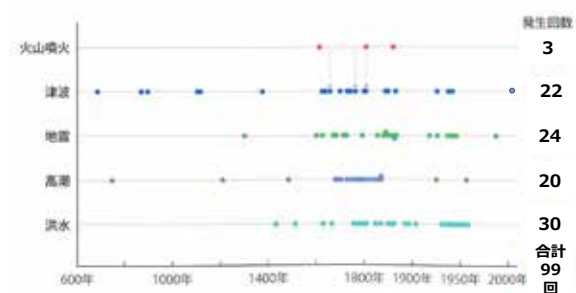


図1 わが国で過去1500年間で犠牲者が千人以上と判断できる巨大災害の災害別発生件数。世界の歴史上、これほどの激甚災害多発国は日本だけである。

が確実に千人以上だった洪水、高潮、地震、津波、火山噴火災害は99回発生し、平均15年に一回発生してきたことがわかっている²⁾。この巨大災害の中で洪水災害は最多で30回である。気候変動によってこの洪水災害がどのように変化するかは、防災対策を進める上で極めて重要な視点と言える。なお、次章以降では、風水害、洪水災害、高潮災害をすべて水害と扱うことにした。

2. 相転移「越流氾濫」が水害被害を激化させる

本当に異常出水に対してわが国の河川は大丈夫だろうか。実例を示そう。大阪湾に流入する一級河川の淀川下流の200年確率の計画高水流量は毎秒1万2,000m³である。でも複数の鉄道橋の桁高は100年確率の6,950m³のままであり、かけ替えの具体計画もない。写真2の鉄橋は、手前が100年、向こう側が200年確率で架橋されており、当然桁高が異なる。水害が発生していないのは、異常な豪雨が降らなかったからであり、河川技術者の手柄ではない。淀川水系でも上流のダム群で『流域治水』が進行中である。これを適合策と呼ぶのを躊躇したい。あくまでも改善策に留まっている。気候変動が顕著になる前から課題だったか



写真2 淀川に架かる鉄道橋（手前の阪急電鉄神戸線、宝塚線鉄橋は100年確率洪水対応、背景の京都線鉄橋は200年確率洪水対応で、前者より約1.5m 高くなっている。）（筆者撮影）

らである。同じことは利根川や荒川でも発生している。2020年東日本台風で両川が水害を起こさなかったのは、たまたま2日間で豪雨が止んだからである³⁾。台風来襲時に停滞前線が関東地方に存在しておれば、間違いなく溢れていた。水害が起こった時、どのような被害が致命的なのかを予測し、これを、事前対策を含む「縮災」として軽減するという方法を筆者が明らかにした。社会現象としての相転移の発生を未然に防ぐのである^{4,5)}。筆者が水害統計を補足した図2を見ると、1996年頃以降1ha当たりの被害額が過去の数倍に突然大きくなっている。でも浸水面積はむしろ減少気

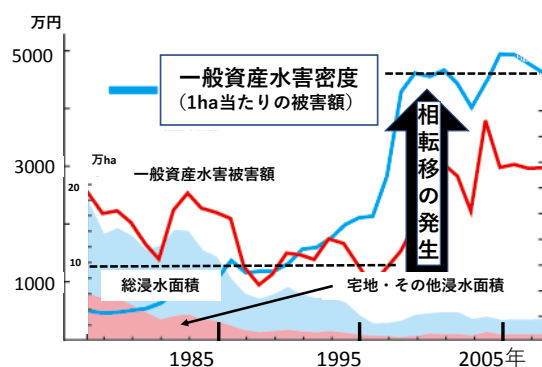


図2 国土交通省が発表した水害統計において、線状降水帯の豪雨によって、1996年辺りから破堤氾濫から越流氾濫への相転移が発生したと推定できる。

味である。この原因は、床下浸水に比べて床上浸水家屋が増加していると判断できた。筆者ら⁶⁾が2000年東海豪雨水害を調べたところ、床下浸水家屋1棟当たり0.62t、床上のそれは4.6tの水害廃棄物が発生することがわかった。後者は前者の7.4倍である。被害額もほぼこれに比例するだろう。これは社会現象としての相転移の発生の証拠であると推察され、多分、線状降水帯の発生は1996年頃から顕著になったのであろう。ではなぜ、床上浸水になるのか。それは洪水が破堤氾濫ではなく越流氾濫するからと考えられる。そのときには、内水氾濫も発生寸前だったのだろう。破堤は河川の増水過程でも起こるし、越流後にも起こるから、災害後の調査では両者の区別が難しい。しかし、2019年熊本・球磨川の水害では、堤防は3か所でしか破堤せず、橋梁群やJR肥薩線などが大被害を被ったのは高水位が長時間にわたって継続したからだと考えられる。写真3は、浸水深が深く、3階建て住宅の2階の天井まで水没したことを示している。少し高台にあった特別養護老人ホームで犠牲者が出たのは、氾濫水位の上昇が早かったからである。これは氾濫水が大量に早く堤内地に流入したからで、越流氾濫の特徴である。



写真3 2020年球磨川が越流氾濫し、堤内地では2階の天井まで水没した。浸水深が長期にわたって深くなり、鉄道橋梁の複数流失や300kmに及ぶ道床被害が発生した。写真の人吉市右岸地区ではタイムラインの発動は少し遅れたが死者はゼロだった（筆者撮影）。

つまり、破堤氾濫から越流氾濫に移行し、この相転移が市街地における床下浸水よりも床上浸水家屋が多くなっているという変化につながったと考えられる。

3. 令和6年能登半島地震で発生した相転移の教訓を水害に生かす

この地震では、耐震性に乏しい古い木造住宅を中心に全壊・倒壊によって直接死226人の80%以上が発生したことがわかっている。震度6弱以上の住民数（曝露人口と呼ぶ）が17万人であり、阪神・淡路大震災ではその13.6倍の232万人だった。したがって、能登地方にこの人口が住んでいたと仮定すれば、約3,100人が犠牲になったと推定される。この大震災では約5,000人が犠牲になったので、能登半島地震でも阪神・淡路大震災と同じ相転移が発生したのである。これは重要な事実である。被害の絶対値が小さいからと言って、相転移が起こらなかったと考えてはいけないのである。これは都市災害と共通する現象である。都市災害で相転移が起こる確率は、人口が過大になればなるほど大きくなるが、これと同じなのである。

このように考えれば、平成30（2018）年7月豪雨災害（西日本豪雨）で発生した13タイプの水害現象（連淹災害と呼ぶ）は、人口密度が大きな地域で起これば、相転移になって被害が大きくなるだろう。それらは、河川の上流では、土砂崩れ、斜面崩壊、大量の流木の発生、河床埋没、集落への濁流の直撃、ダムの緊急放流、中流では、橋梁での流木堆積、湾曲部での流砂の大量堆積、市街地や農地への洪水氾濫、下流では、内水と外水の同時氾濫、堤防決壊、浸水域の拡大、ライフライン被害などである。そして、気をつけなければならないのは、水害後の被害調査である。たとえば、2015年鬼怒川が洪水氾濫して多大な被害が発生したが、これは越流氾濫という相転移が起こした災害である。洪水後の調査では堤防の破堤箇所が広範囲に見つかっているので、増水して破堤によっ

て氾濫が卓越したと誤解しがちであるが、破堤前に越流氾濫がすでに始まっていたと考える方が合理的なのである。このように考えるとレジリエンスを国土強靱化と訳して、その政策を2013年から進める日本政府の方針を変更する必要があることに気づく。図3は縮災の模式図である。レジリエンスは“回復が早い”とか“打たれ強い”とかを表す事後対策である。これは欧米先進国のように被害が小さな自然災害が卓越する場合に適用できる。しかし、わが国のように未曾有の被害が想定される場合にはレジリエンスでは不十分で、図3のような事前対策としての予防力を発揮しなければならない。だから、縮災（災害レジリエンスとも呼ぶ）でなければならず、事前に相転移現象の発生が予測できれば、予防力が期待出来て、一般災害と見なすことができるのである。いま、発生が心配な南海トラフ巨大地震や首都直下地震では具体的な相転移を事前に見出すことができれば、被害は激減するのである。しかし、多くの災害研究者は、そもそも「相転移」なるものを理解できないという問題を抱えている。だから、何時まで経っても旧来の被害想定に縛られてしまって、有効な対策を見出せないのだ。

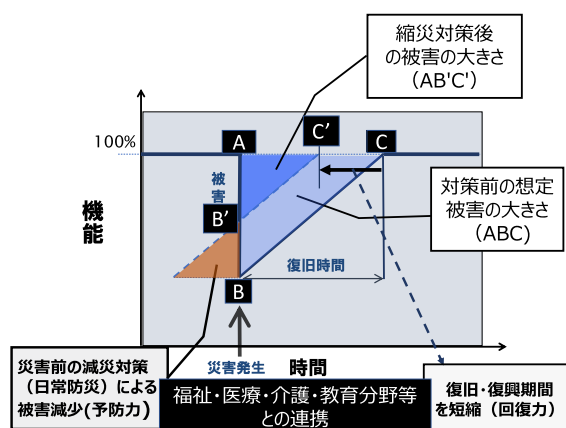


図3 縮災の模式図で、事前対策の予防力と事後対策の回復力（レジリエンス）を組み合わせる必要があることを示す図。縮災（災害レジリエンス）では、福祉、医療、介護、教育などの共通的社会資本も視野に入れた対策が必須

最近、土木学会は巨大災害の経済被害推計を報告した⁷⁾。ただし、この被害額を鵜呑みにしてはいけな。経済被害は、定量的に評価できる項目が全体のおよそ30%であるから、実際に起これば3倍に膨れ上がると考えておかなければならない。報告によれば、世界の平均気温が2度上昇し、降水量が増えると109水系の一級河川で合計537兆円の被害が出る可能性がある」と指摘している。実際には1,500兆円に達することも覚悟しておく必要があろう。たとえば、線状降水帯が東京都心部を襲えば、わが国の経済の中心である丸大有地区は、内水氾濫によって床下浸水や地下空間が浸水する危険が大きい。これに加えて日本橋川などが外水氾濫すれば、未曾有の地下空間水没災害になりかねない。すでに1945年以降、豪雨で皇居の堀の水が4度溢れ、浸水した日比谷交差点で魚が泳いでいたという話も伝わっている。東京メトロの出入り口には、この程度の出水に耐える浸水対策が講じてあるが、商業ビルでは床下浸水するだけで地下駐車場だけでなく、付近の地下通路網の浸水・水没は免れない。とくにJR東京駅付近では大深度地下空間利用が進んでいる。そして、浸水すれば長期化が避けられないことも広報していない。これは、高潮災害についても共通する危険の存在を提示している。なにしろ、土木学会によれば、東京の高潮災害被害は115兆円、大阪のそれは191兆円と想定されている。大阪の被害が大きいのはゼロメートル地帯が都心部と重なっているからであり、算定されていないが名古屋の被害もこれらに匹敵する額であろう。一級河川の洪水被害も、利根川、荒川、淀川などの大都市域を流れる河川の氾濫災害では、未曾有の被害になることは容易に想定される。とくに心配であるのは、電線の地中化の進行である。これが都心部の減災の切り札のように考えられているが、ゼロメートル地帯でこれを進めると、浸水災害が起これば逆に

停電が長期化することにつながりかねないことが忘れ去られている。なぜなら、市街地の送電系統には変圧器は必須であるが、熱が発生するから、外気を導入する必要がある、その過程で浸水する危険を勘案しておかねばならない。事業を進める側は長所しか言わないし、被害は発生しないことにしがちだからだ。図3に予防力と回復力に大きく関係するものとして医療や介護を指摘してあるのは、水害を念頭に入れた結果である。最近、都市で病院が開業される場合、高価な医療器具を用いる検査室は、2階以上のフロアに位置するのが標準となっている。これは水没すると被害が大きだけでなく、復旧に長時間を要し、医療活動の継続が困難になるという理由によるものである。

5. 水害対策では気候変動に対処する緩和策と適応策では不十分

これからの水害対策のあり方を図4によって説明しよう。この図は、温室効果ガスなどを減少して地球温暖化の進行を遅らす緩和策と防災対策を充実させて被害を少なくできるという適合策の関係を示す模式図である。そして、政府が進める「流域治水」などの水害対策は、学識経験者と行政者の合意の下で施行されている。何が問題なのか？

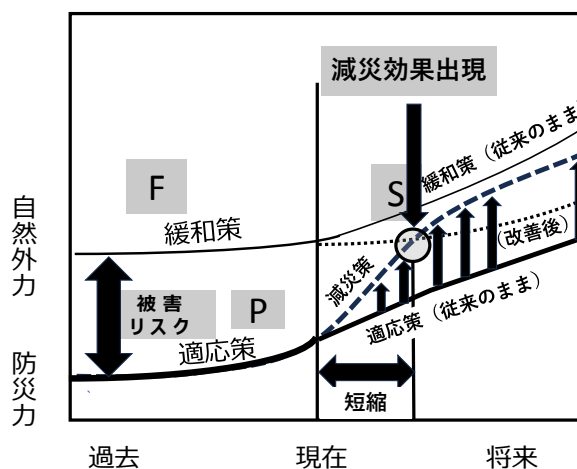


図4 縮災では、従来の気候変動の緩和策と防災力の適応策だけでは不十分で、新たな減災策によって相転移の発生を防ぐ必要があることを示す図

それは、実効的な対策までの時間的な悠長さは許されないということである。なぜなら、線状降水帯のような異常な豪雨が頻発する現状では、適応策が緩和策に次第に近づくような悠長な計画では破綻するということであろう。したがって、図中の破線で示した減災策のように至急強化して、緩和策を強力に進めてそれを示す点線との交点Sを早く実現させなければならないということである。破線のような減災策を施行しようとするれば、現在の災害対策基本法を改正しなければならない。この法律は、被害が先行することを前提としているからだ。図中矢印で「短縮」と書いたように、現在の防災政策の展開は後手後手になっているのである。たとえば、一級河川では起こり得る洪水規模（千年に一度程度起こると考えればよい）を対象としたハザードマップは公開されているが、どのような重大な被害が起こるのかについての情報は皆無である。どのような危険があるのかを示すのがハザードマップであり、浸水域を示せば終わりではないのである。しかも、学識経験者もこの具体的な減災策は行政当局（わが国の場合は国土交通省）の問題で、自分たちは適切なアドバイスをすることが役目だと誤解している。行政当局は条例や法律として明記されなければ仕事はできない、あるいは当面現状のままでも良いと判断している。だから、現在、一級河川で100年確率洪水に堪える鉄道橋と200年の鉄道橋が併存するという、写真2のような、危険な状態が継続しており、政府主導で早急に解決しようという努力が必要だろう。

現在進めている「流域治水」の限界は、2020年球磨川水害で露呈した。だから、熊本県は流水型の「川辺川ダム」建設に舵を切ったのである。あのような異常な豪雨があると、このダムがたとえ完成していても防げなかったことが明らかになったからである。だから従来の流域治水も同時に施行するという形で治水対策を進めることになった。これまで、適応策が必ずしも「適応できない」と

いう現実があった。しかし、筆者が社会現象として「相転移」を事前に見つけることができれば、事前対策として被害を劇的に減らせることを明らかにした。図3でABCからAB'C'のように、面積を小さくできるのである。

わが国では、防災分野に関心を持つ文系および理系の大学生、大学院生には、標準的な履修科目として熱力学が用意されておらず、「相転移現象」を知る機会がない。筆者は工学研究科土木系の大学院生時代にたまたま、機械工学科で流体力学と熱力学を履修することができた。その知識に基づきアナロジーを適用して社会現象としての相転移を発見し、それが大災害予防の特効薬の役目を果たすことを明らかにした。これから心配な水害に対しても、可及的速やかに相転移を利用した縮減対策を進めていただくことを期待したい。

【参考文献】

- 1) 国土交通省河川局防災課災害対策室作成資料 (2002)
<https://www.mlit.go.jp/river/dam/main/shinngikai/kondankai/dam/pdf3/no1-1.pdf> (3月20日確認)
- 2) 河田恵昭：自然災害の変遷と課題、そして今後の対応、土木学会誌、Vo.99、No.11、pp.46-49、2014
- 3) 河田恵昭：首都圏内での水害リスク、特集 水災害対策、積算資料公表価格版、経済調査会、pp.8-12、2020
- 4) 河田恵昭：巻頭随想 社会現象の「相転移」発生を防ぐのが防災対策の鍵、消防防災の科学、消防防災科学センター、No.144、pp.4-7、2021
- 5) 河田恵昭：相転移する社会災害への対処—COVID-19と豪雨災害の場合—、社会安全学研究、第11巻、pp.37-56、2021
https://www.kansai-u.ac.jp/Fc_ss/center/study/pdf/bulletin011_11.pdf (3月20日確認)
- 6) 平山修久・河田恵昭 (2005)：水害時における行政の初動対応から見た災害廃棄物発生量の推定手法に関する研究、環境システム研究、Vo.33、pp.29-36.
- 7) 「2023年度 国土強靱化定量的脆弱性評価・報告書」の第一弾の報告書（首都直下地震・巨大洪水・巨大高潮）：日本経済新聞：2024年3月15日朝刊記事参照

□集中豪雨をもたらす線状降水帯について

気象庁気象研究所 台風・災害気象研究部

部長 加藤 輝之

1. はじめに

毎年のように3時間降水量200mmを超える集中豪雨がしばしば観測され、土石流や河川氾濫などの災害が引き起こされて、多くの人命が失われている。集中豪雨の多くは、図1aの赤楕円で示した2023年7月10日朝に九州北部で発生した大雨のように、「線状降水帯」と名付けられたほぼ停滞する線状に伸びた降雨域（降雨バンド）によってもたらされている（吉崎・加藤，2007；津口，2016；Kato，2020；加藤，2022）。線状降水帯は、気象庁の用語集では「次々と発生する発達した対流セル（積乱雲）が列をなした、組織化した積乱雲群によって、数時間にわたってほぼ同じ場所を通過または停滞することで作り出される、線状に伸びる長さ50～300 km 程度、幅20～50 km 程度の

強い降水をともしう雨域」として定義されている。この定義からもわかるように、ほぼ同じ場所に強い雨が持続することから、寒冷前線などにもなつて移動する降雨バンドは線状降水帯を作り出さない。そのことを具体的に確かめてみる。気象レーダーによる特定の時刻の降水強度を示している図1aでは、壱岐島から福岡県北東部に東西に伸びる線状の降雨バンド（紫色の破線領域）がみられる。それは徐々に南側に移動しているため、図1aでは線状の降雨域であっても、降水量を3時間積算するとその降雨分布は線状にならない（図1b）。逆に、佐賀県北部から福岡県にかけて線状降水帯が解析されている赤楕円の領域には、表示している時刻では線状の降雨域はみられないが、前3時間降水量分布では線状の降雨域になり、線状降水帯だと判断される。

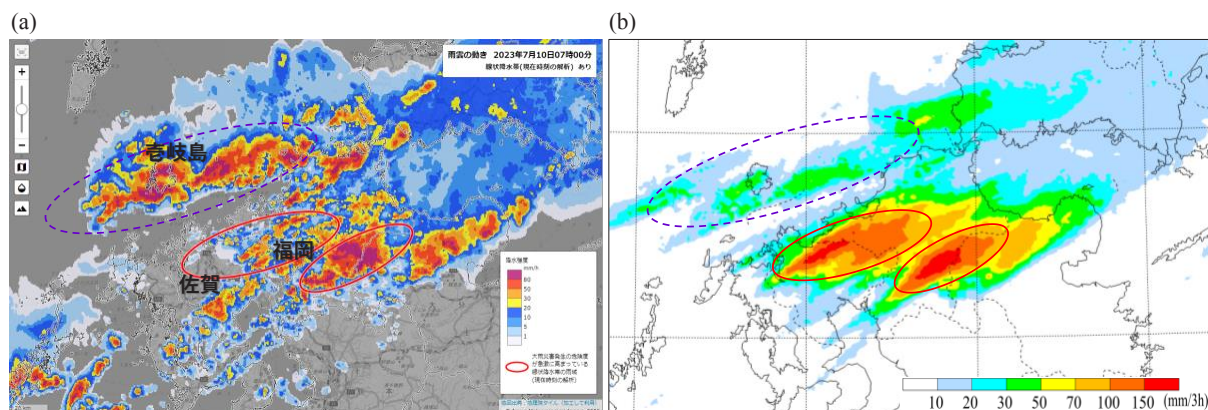


図1 2023年7月10日7時の（a）気象レーダーによる降水強度分布と（b）解析雨量から作成した前3時間降水量分布。赤の楕円域は気象庁が発表した線状降水帯の発生領域。

2. 線状降水帯という用語の由来と気象庁での情報発信

1980年代に気象庁が運用する気象レーダーのデータがデジタル化され、それらを全国で合成した雨雲レーダーが作成されるようになった。その後、1990年代にはアメダス等の雨量計で補正した1時間降水量分布（解析雨量）が作成され、そのデータを用いると集中豪雨の多くは線状の降水帯でもたらされることがわかってきた。「線状降水帯」という用語は2000年前後に気象研究所の研究者を中心に、九州の地形に由来する線状に伸びる降雨域を対象に用いられていたが、2007年発行された教科書「豪雨・豪雪の気象学（朝倉書店）」（吉崎・加藤，2007）で現在とほぼ同様の内容が定義された。その後、平成23（2011）年7月新潟・福島豪雨の発生要因として、気象研究所からの報道発表の中で初めて用いられた。特に、2014年8月20日の広島での大雨後に多くの報道機関で使われるようになり、2017年の流行語大賞にノミネートされたこともあり、世間に認知されるようになった。参考までに、「集中豪雨」という用語は1953年8月14日に京都府南部で発生した南山城水害を報道した新聞紙面上で初めて使われ、その水害は降水分布から線状降水帯による大雨だったと考えられる（京都府砂防協会，2004）。

気象庁では令和3年6月から災害に直結する線状降水帯に対し、面積や形状（前3時間降水量100mm以上の領域が500km²を超え、縦横比が2.5以上）の条件に直前までの降水量やキキクルも条件に加え、前3時間降水量が150mm以上に達した際に「顕著な大雨に関する気象情報」として発表している。キキクルとは、地域特性も考慮された大雨警報（洪水）の判断基準に用いている危険度分布である。令和5年5月からは予測技術を活用して10分先、20分先、30分先のいずれかにおいて上記の基準が満たされたときにも発表することになった。また、気象庁は線状降水帯による大雨

の半日程度前からの呼びかけを令和4年6月から開始し、令和6年の出水期には呼びかけを都道府県単位に細分化して行う予定である。

3. 集中豪雨と線状降水帯の出現特徴

集中豪雨と線状降水帯の発生頻度の特徴は、津口・加藤（2014）とKato（2020）が解析雨量を用いて、24時間および3時間降水量分布からそれぞれの閾値（年平均降水量12%、130 mm/3h）を定義することで調査し、最大3時間降水量の観測時での降水量50 mm以上の領域分布の縦横比で線状降水帯かどうかを判断している。その結果では、集中豪雨に対する線状降水帯の割合は約半分であり、台風・熱帯低気圧本体付近（中心から500 kmの領域）を除くと約3分の2に達する（表1）。九州を含む南日本では集中豪雨のほとんどが線状降水帯によるものである。南九州の月別発生数（図2）をみると、梅雨期（6～7月）に線状降水帯が頻発し、梅雨前線付近で発生する集中豪雨のほとんどが線状降水帯によってもたらされていることがわかる。

上述の集中豪雨を判断する閾値を用いて、加藤（2022）は1976～2020年のアメダスデータから、年単位および7月の集中豪雨の発生数の経年変化を調査した。年単位の変化（図3黒系色）では、気象庁の気候変動監視レポートにある1時間降水量50 mmおよび80 mm以上の発生数と同様

表1 1995～2009年の暖候期（4-11月）に発生した集中豪雨における領域別の線状降水帯とその他の事例数。台風・熱帯低気圧本体（台風・熱帯低気圧の中心から500km以内）で発生した集中豪雨は除く。また、領域は図2に示す。（津口・加藤，2014）

	北日本	東日本	西日本	南日本	合計
線状降水帯	25	38	45	60	168(64.4%)
その他	32	38	16	7	93(35.6%)
合計	57	76	61	67	261

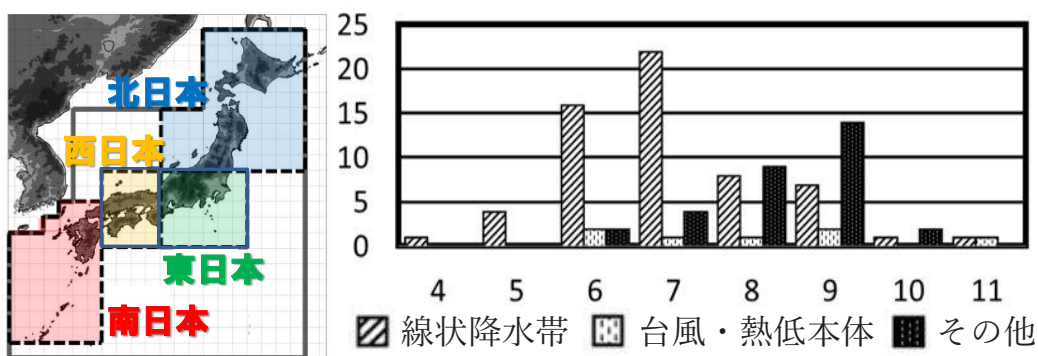


図2 1995～2009年における月別の南日本での台風・熱帯低気圧本体（台風・熱帯低気圧の中心から 500 km 以内）、台風・熱帯低気圧本体を除く線状降水帯、およびその他の要因による集中豪雨の発生事例数。（津口・加藤，2014）

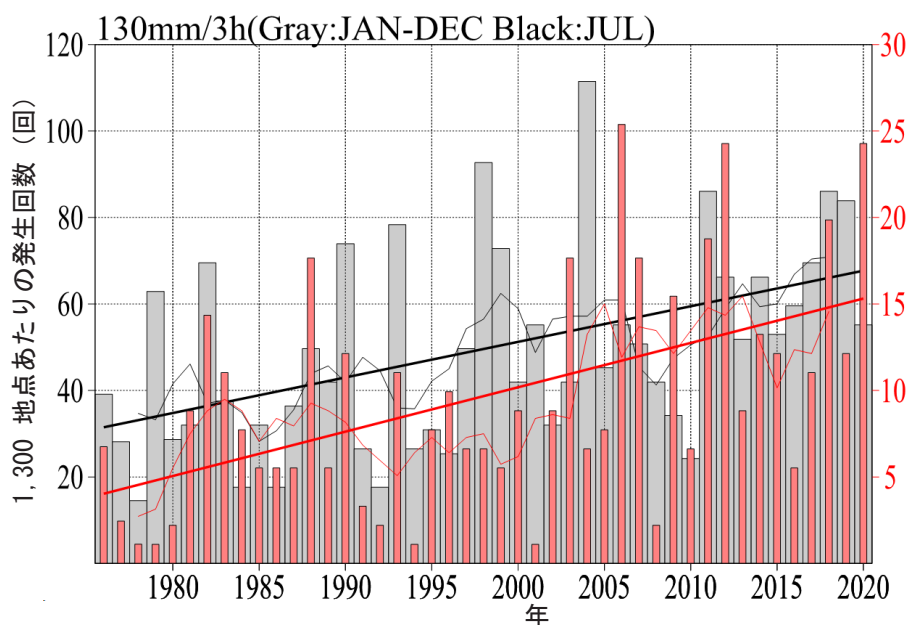


図3 アメダス3時間積算降水量 130 mm 以上の1300地点当たりの年単位（黒系色、左軸）と7月（赤系色、右軸）の発生回数の経年変化。細線は5年移動平均、太線は長期変化傾向。（加藤 2022）

に、集中豪雨の発生数は信頼水準 99%以上で増加傾向を示し、45年間で約2.2倍の長期増加傾向になっている。月別の変化では、梅雨期での集中豪雨の増加傾向が顕著で、7月の発生頻度（図3 赤系色）が45年間で約3.8倍に増大している。上述のように梅雨期の集中豪雨の大半が線状降水帯によってもたらされているので、同時期の線状降水帯による大雨も顕著な増加傾向にあると考えられる。

4. 線状降水帯の形成過程とバックビルディング型形成の例

線状降水帯の形成過程としては主に、大気下層の暖かく湿った空気（暖湿流）が滞留している寒気と暖気の境に作られる局地前線に流入して、前線上で同時に発生した積乱雲が線状に並ぶことで形成する破線型と、下層風の風上側に新しい積乱雲が繰り返し発生し、既存の積乱雲とともに線状に組織化するバックビルディング（BB）型形成

の2つに分類される（図4）。

BB型形成の例として、2014年8月の広島での大雨事例（図5）を紹介する。地上天気図をみると、広島市は東シナ海から日本海上にかけて停滞していた前線の約300 km南側に位置し、このような前線と大雨域との位置関係は梅雨期に大雨が発生する多くの事例と類似している。また、大雨をもたらした下層水蒸気は豊後水道から流入したことが報告されている（気象研究所報道発表資料、2014）。この下層水蒸気流入が継続したこと

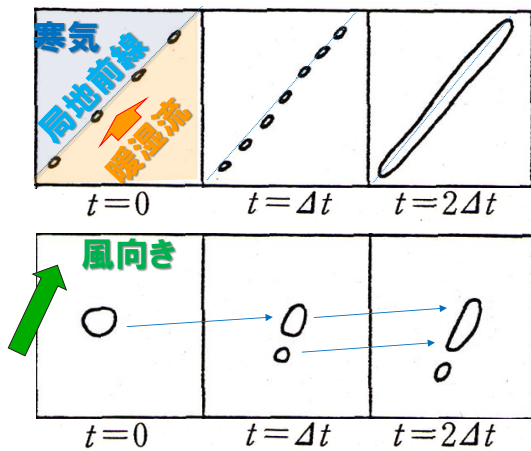


図4 線状降水帯の形成パターン。（上図）破線型と（下図）バックビルディング型。（上図）の破線は局地前線、（下図）の矢印は積乱雲（降水セル）の移動を示す。

で、下述するように、広島県と山口県との県境付近から降雨域が北東方向に伸びて停滞し、線状降水帯が形成されて3時間に200 mmを超える大雨となった。

10分ごとの降水強度分布の時系列（図6上図）をみると、20日00時40分には①～④、⑤～⑨の複数の積乱雲で構成されている2つの線状の積乱雲群AとBが存在し、発達した積乱雲は高度16 km（対流圏界面）に達している（図6下右図）。積乱雲群Bの形成過程に着目すると、19日23時40分頃に発生した積乱雲⑤が北東に動きつつ、その南西側に次々と積乱雲⑥～⑨が発生して積乱雲群Bを形成していることがわかる。このように積乱雲が進行方向の上流側（逆側）に次々と発生して、3～5個程度の積乱雲で構成された線状の積乱雲群を形成していることから、BB型形成であることが確認できる。また、積乱雲群AとBのように、複数の積乱雲群が連なることで線状降水帯が形成され、線状降水帯には積乱雲→積乱雲群という階層構造がみられる（図6下左図）。さらに、積乱雲群も次々とBB型形成で20日03時ごろまで作り出され、線状降水帯が維持されていた（図略）。

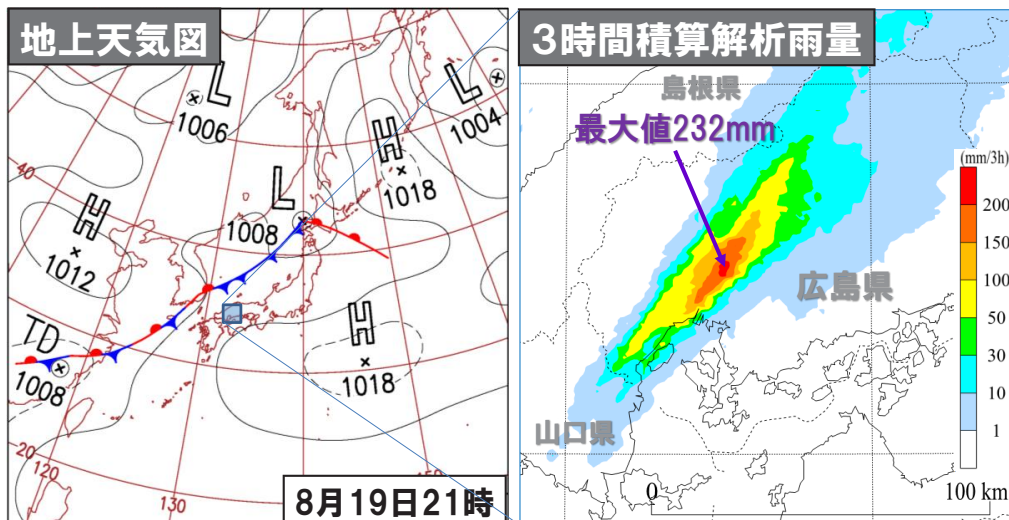


図5 （左図）2014年8月19日21時の地上天気図と（右図）同20日4時までの解析雨量から作成した前3時間降水量分布。

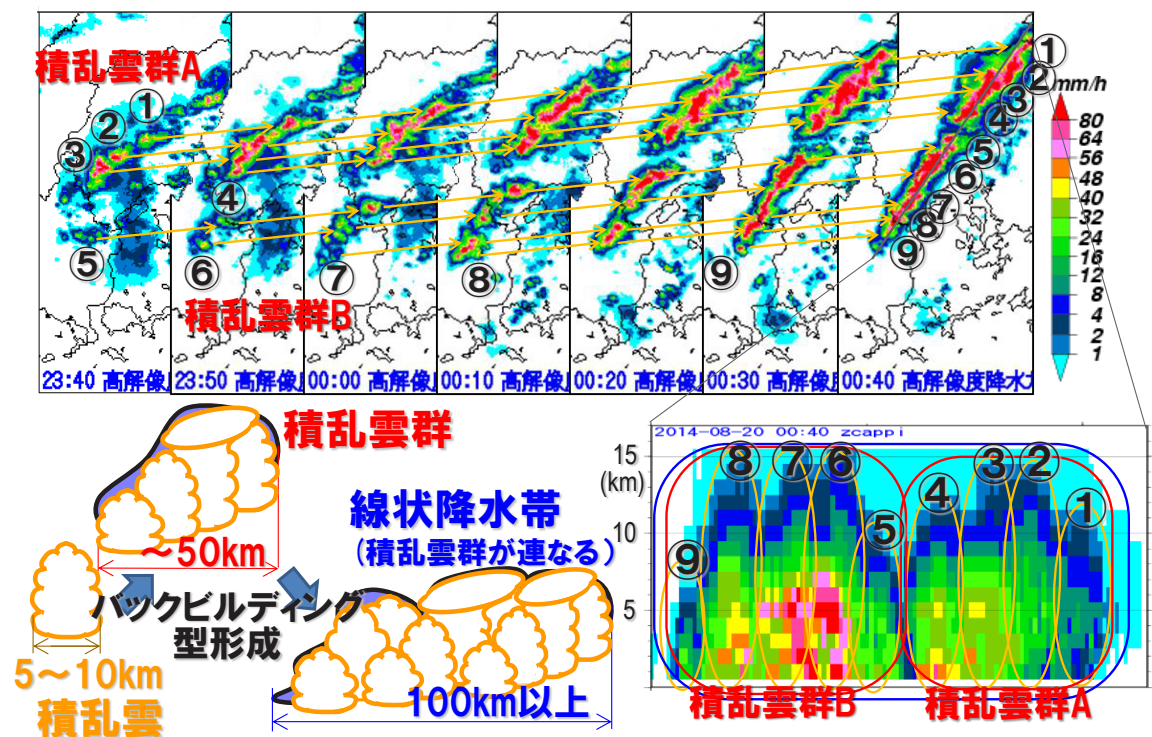


図6 (上図) 2014年8月19日23時40分～20日00時40分(10分毎)の降水強度分布(mm/h)、(下右図)(上図)の20日00時40分の線分上の南西－北東鉛直断面図と(下左図)線状降水帯の階層構造の模式図。(Kato 2020)

5. 線状降水帯の数値モデルでの予測可能性

広島での大雨事例で、数値モデルがどの程度の大雨を予測できたかを紹介する。2014年8月20日4時の水平解像度5km(気象庁メソモデルに対応)、2km(気象庁局地モデルに対応)と250mの数値モデルの予測結果を図7に示す。5kmモデル(図7a)では、線状の降水域の予測も不十分な上、最大降水量が32mmであり、この資料からだけでは大雨を予測するには無理がある。2kmモデル(図7b)では、山口と広島の間境付近の強い降水域の位置が北側に僅かずれているものの、実況(図5右図)とほぼ同じ最大降水量を予測することができている。250mモデル(図7c)ではより実況に近い降水量分布が予想されているが、本ケースでは2kmモデルを用いることで線状降水帯による大雨の予測は可能であった。なお、図6下右図のような積乱雲群が内在している線状

降水帯の構造を再現するには500m以下の数値モデルが必要である(図略)。

2kmモデルである気象庁局地モデルは、予報結果が初期値の1時間後に利用できるように運用されているので、8月19日19時過ぎ(大雨発生の6時間前)には“予報結果を信用すれば”大雨を予測できていたことになる。ここでは、現業運用されている数値モデルの予測結果を予報結果とよぶことにする。予報結果を信用すれば”と述べた。これは、この予測を導いた初期値が最適だったためで、本事例では初期値が新しくなるにしたがって予報結果がかなり変わっていた。一例として、1時間後(19日19時)の初期値を用いた2kmモデルの予測結果を図8aに示す。最大降水量は約半分になり、降水域も南側にかなりずれている。さらに新しい初期値になると、予測降水量はさらに減っていた(図8b)。このように初期値に存在する僅かな違いが予報結果に大きく影響する。1つの予報結果だけで、警報を出すかどうかを判断

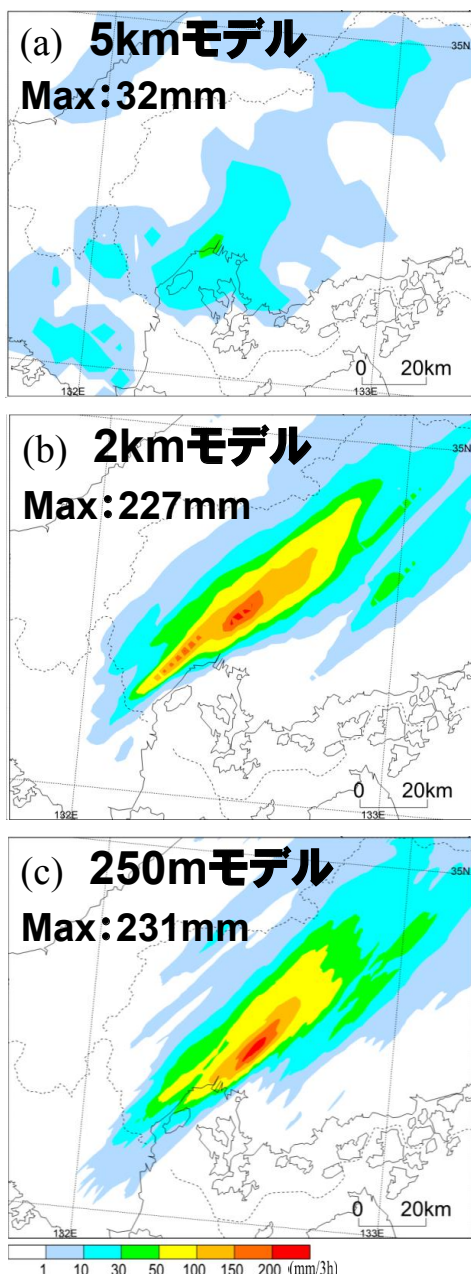


図7 2014年8月20日4時までの水平解像度 (a) 5km, (b) 2km と (c) 250m の数値モデルが予想した前3時間降水量分布 (初期値: 19日18時). (Kato 2020)

する難しさがここにある。また、大雨をもたらす大気下層の水蒸気は日本列島周辺の海上から流入する。陸上と異なり、海上での観測はほとんどなく、もっともらしい初期値の作成がかなり難しいことも大雨予測を困難にしている。その解決策の1つとして、初期値にわずかな変化を付けて、複数の初期値を作成して複数の予報結果を出すアン

サンプル予報という手法がある。この手法は週間天気予報などに用いられてきているが、気象庁局地モデルにも適応させ、線状降水帯予測の精度向上を図る試みがなされているところである。

6. 線状降水帯が発生するための条件

線状降水帯が発生するためには、4章で述べたように、積乱雲が繰り返し発生・発達して、同じ場所で強雨が続けることが必要である。その必要条件としては、まず“大雨のもと”になる大量の水蒸気が継続して大気下層に流入することが条件①になる (図9)。大量の水蒸気流入量は水平風速と水蒸気量の積であり、単に風速が大きいだけでは必ずしも積乱雲は発生できない。積乱雲が発生・発達するためには、流入する空気が暖かく湿っていることが必要であり、それが条件②となる。ま

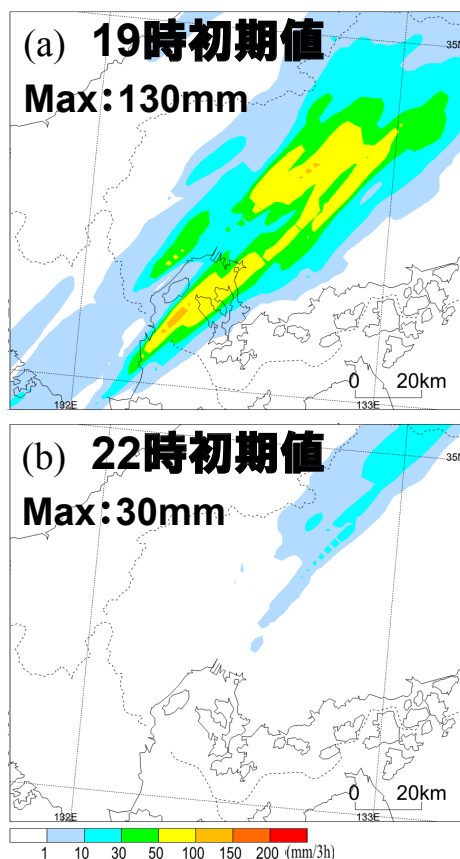


図8 図7bと同じ、ただし (a) 19日19時と (b) 19日22時初期値。

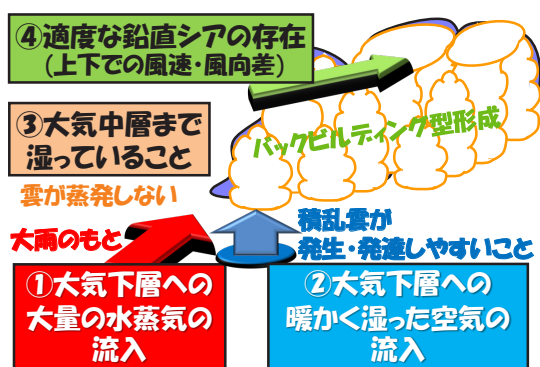


図9 線状降水帯が発生するための条件

た、積乱雲は上空に向かって発達していくが、大気中層が乾燥していると雲が蒸発してしまい、積乱雲の発達が抑制されることになる。積乱雲が背高く発達するためには大気中層が湿っている必要があり、これが条件③となる。

図6で示したように、線状降水帯は複数の積乱雲によって構成・組織化されている。この組織化には適度な鉛直シア（大気下層と上空の風速・風向差）が必要であり、この鉛直シアによって、BB型形成の線状降水帯が作り出される。この適度な鉛直シアの存在が条件④である。他に線状降水帯が発生しやすい条件として、数百kmスケールでみて、上空が上昇流場であることや、大気中層に暖かい空気の流入がないことなどの条件も見出されている。これらの条件と、上述の①～④の条件と合わせて、線状降水帯を診断的に予測するための6条件（加藤，2015；2016）として、2016年5月30日から気象庁の予報現業で利用されている。

7. おわりに

線状降水帯は土砂災害だけでなく、低地での内水氾濫や河川からの外水氾濫をしばしばもたらす。その災害への備えとしては各自治体が作成しているハザードマップ等で災害リスクの高い場所を確認し、その上で、それぞれの場所に応じて必要な

防災気象情報（気象庁が運用している“キキクル”など）を活用することが重要であるとともに、スマートフォン等でも容易に確認できる気象情報を普段からうまく利活用していることが賢明である。

線状降水帯は2章で説明したように、2000年以降に集中豪雨に関わる基礎研究によって生み出された用語だが、防災用語としての一面がある。最後に、気象庁のホームページの専門家向け資料集にある教科書「中小規模気象学」（加藤 2017）の中で、線状降水帯の説明の注釈として記載されている内容を転記させていただく。

集中豪雨と同様に、線状降水帯の統一的な定義はないが、1時間～数時間の積算降水量分布で明瞭に認識できるものである。“線状”と“帯”という同意義的な言葉が繰り返されており、違和感を持たれるかもしれないが、上述のように限定された降雨域のイメージを一般の方に持ってもらい、防災に役立ててもらいたいという思いが込められている。

【参考文献】

- Kato, T., 2020: Quasi-stationary band-shaped precipitation systems, named “senjo-kousuitai”, causing localized heavy rainfall in Japan. J. Meteor. Soc. Japan, 98, 485-509.
- 加藤輝之, 2015: 線状降水帯発生要因としての鉛直シアと上空の湿度について, 平成26年度予報技術研修テキスト, 114-132. (<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/20/chapter6.pdf>, 2024.3.8閲覧)
- 加藤輝之, 2016: メソ気象の理解から大雨の予測について～線状降水帯発生条件の再考察～, 平成27年度予報技術研修テキスト, 42-60. (<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/21/chapter2.pdf>, 2024.3.8閲覧)
- 加藤輝之, 2017: 図解説 中小規模気象学, 気象庁, 316pp. (https://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownexpert/pdf/textbook_meso_v2.1.pdf, 2024.3.8閲覧)
- 加藤輝之, 2022: アメダス3時間積算降水量でみた集中豪雨事例発生頻度の過去45年間の経年変化, 天気, 69, 247-252.
- 加藤輝之, 2022: 集中豪雨と線状降水帯, 朝倉書店, 168pp.

気象研究所報道発表資料, 2014: 平成26年 8 月 20日の広島市での大雨の発生要因～線状降水帯の停滞と豊後水道での水蒸気の蓄積～. (https://www.mri-jma.go.jp/Topics/H26/260909/Press_140820hiroshima_heavyrainfall.pdf, 2024.3.8閲覧)

京都府砂防協会, 2004: 京都府の昭和28年災害, 京

都府砂防協会, 192pp.

津口裕茂, 2016: 線状降水帯, 天気, 63, 727-729.

津口裕茂, 加藤輝之, 2014: 集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析, 天気, 61, 455-469.

吉崎正憲・加藤輝之, 2007: 豪雨・豪雪の気象学, 朝倉書店, 187pp.

□ 頻発・激甚化する水災害への備え：

ハザードマップと洪水予報の現状と今後の展望

京都大学防災研究所教授

佐 山 敬 洋

１．はじめに

全国各地で毎年のように水災害が発生し、多くの人的、経済的被害をもたらしている。近年の大規模水害を挙げれば、鬼怒川で堤防が決壊した平成27年9月関東・東北豪雨、中小河川で大規模な土砂・洪水氾濫が発生した平成29年7月九州北部豪雨、高梁川水系小田川や肱川などで氾濫して西日本を中心に232名の死者・行方不明者をもたらした平成30年7月豪雨（西日本豪雨）、千曲川や荒川上流で氾濫し関東・東北地方を中心に2兆1,800億円という統計開始以来最大の被害額となった令和元年東日本台風、さらには熊本県人吉市に84名の死者をもたらした令和2年7月豪雨など、枚挙にいとまがない。

最近の研究成果によれば、気候変動の影響は既に顕在化しており、例えば1980年以降の温暖化が令和元年東日本台風を強化し、千曲川の氾濫発生リスクを高めたことが分かっている^[1]。温室効果ガスの排出を軽減する気候変動の緩和策は世界各地で取り組まれているが、いかに排出抑制をしても2050年頃までには産業革命以降1.5～2度程度の気温上昇を避けることは困難であり、それに伴う豪雨の頻発・激甚化は避けられない状況である。

頻発・激甚化する豪雨に備えるためには、河川整備や遊水地の整備などのいわゆるハード対策

と、避難・保険・住まい方の工夫などに代表されるようなソフト対策の両者が大切である。最近では、気候変動の影響を踏まえた治水計画の見直しと、それに伴うハード対策の強化が進みつつある。他方、それだけでは不十分であり、市民、行政、民間企業などが協働して流域全体で取り組む治水、いわゆる流域治水を進めることも重要となる。本報では流域治水の中でもソフト対策に焦点を当て、個人レベルで取り組むことができる備えについて、現状と今後の方向性を展望する。

我が国の治水に対するソフト対策を議論するうえで、いわゆる災害のサイクルを基軸にすると分かりやすい。災害のサイクルは、災害の発生前・発生中・発生後にフェーズを分類する。事前に行える対策として代表的なものは、ハザードマップを確認する、タイムラインを用意する、水害保険に加入する、止水版を用意しておくなどがある。災害発生直前や時中の対策としては、気象防災情報を入手する、安全に避難するなどがある。自治体やコミュニティのレベルでは、水防団の活動を開始したり、避難所を開設したりといった対策を講じる。災害発生後のフェーズは、さらに復旧、復興の段階に分類され、特に大きな水害を受けた被災地では、どのように同じ災害を繰り返さない地域づくりを進めるかが大きな課題となる。このように様々なソフト対策があるが、本報では、もっ

とも身近な対策として、ハザードマップと洪水予警報を取り上げて解説する。両者の基本的な事項は自治体のホームページなどでも確認できるので、ここでは、それらがどのような技術的背景をもって構築されているかを中心に説明する。

2. ハザードマップの現状と技術的背景

日本の主要な河川は、国土交通省もしくは都道府県によって管理されている。国土交通省は一級水系の直轄区間を管理している。都道府県は一級水系の指定区間および二級河川を管理している。それ以外にも、市町村が管理する準用河川や河川法が適用されない普通河川が多数存在する。国交省や都道府県が管理する河川については、想定最大規模といって、生じ得る最大級の豪雨（1000年に1回程度の確率に相当）が発生した場合に、河川を流れる水量（流量）がどの程度に達し、洪水の水位がどの程度まで上昇し、さらに堤防が決壊、越水した場合にどのように浸水が生ずるかを数値シミュレーションで計算する。平成27年の水防法改正に伴い、シミュレーションの空間解像度は25 m と、それ以前に比べて詳細な計算が実施されるようになった。ただし、実際の河川は延長が長く、想定最大規模の豪雨に対して、どこで決壊や越水が生じるのかを事前に想定することは難しい。そのため、100～200 m 程度の間隔で氾濫想定地点を設けて、そこから洪水流が溢れることを想定して、多数の浸水シミュレーションを実施する。その結果、同じ地点においても、複数の想定地点からの氾濫で浸水する計算結果が得られる場合があるが、最も大きい値を選択することで、全ての地点において最大の浸水深を包絡する。このようにして作成された情報は浸水想定区域図と呼ばれ、ハザードマップの背景図となる。上記の方法に従うと、例えば利根川や淀川のような大河川における浸水想定区域図は、多数の市街地を含む広域の浸水エリアを示す。しかし、実際には全想定地点

から同時に氾濫することは無いので、一回の洪水で発生する浸水の状況は浸水想定区域図よりも小さくなることに注意する。また、市町村によっては国と都道府県が管理する河川が共存していることもある。さらに両者が接続していたり、隣接していたりする場合には相互に影響し、同時に氾濫する可能性もある。国管理と都道府県管理の浸水想定区域図は別に作成されることが多いため、市町村が各戸に配布するハザードマップは、どの河川の浸水想定区域図を基礎にするかを選択している。洪水ハザードマップには、どの浸水想定区域図を基礎にしているかという記載があるので、関心のある読者は一度確認いただきたい。また、河川は氾濫せずとも雨水のみで浸水が生ずる場合を内水氾濫とよび、内水ハザードマップが整備されている地域もある。なお、国土交通省はハザードマップのポータルサイトを公開するとともに、その背景となる浸水想定区域図も浸水ナビというウェブサイトで確認できる。

3. 洪水予報の現状と技術的背景

安全な避難を実現するうえで、洪水予警報の情報はハザードマップと両輪の関係にある。ハザードマップで、どの河川が溢れた場合に、どのような浸水が発生するかを事前に想定し、豪雨の発生時には、河川の水位がどのような状態にあるのかをリアルタイムで把握するとともに、数時間先まで予測する。市町村は、河川管理者による洪水予報の情報に基づいて避難指示等を発令する。ハザードマップと同様に、河川の情報は河川管理者が、具体的な避難情報は市町村が発令するという二段階の仕組みになっている。なお、河川管理者による水位の予報は、基本的には水位が観測されている地点に限られるため、全ての河川をカバーしている訳ではないことに注意が必要である。上流域の面積が大きい河川では、雨量の予測情報に基づいて、比較的精度よく水位を予測できる。そ

のため3～6時間先までの水位を予報する。このような洪水予報は指定河川洪水予報と呼ばれる。一方、流域面積が比較的小さい河川は水位の予測が難しいため、水位の観測情報に基づいて避難指示等が発令される。このような河川は水位周知河川と呼ばれる。これまでの洪水予報の多くは、流域や河川の貯留と流出を概念的にタンクのように見立てて解析する貯留関数法といった手法が広く用いられてきた。一方、近年では、河川の水位や流量を物理的に解析するモデルとして、地形、河川の位置、土地利用などの空間分布を反映できる分布型流出モデルの洪水予報への応用も進んでいる。いずれにしても、実際に観測された雨量と気象モデルによる予測雨量をこうしたモデルに入力することによって、数時間先までの水位を予測するというのが指定河川洪水予報の基礎となっている。水防などでも活躍されている本報の読者の方には、ぜひ地元の河川が、指定河川洪水予報の対象河川か、もしくは水位周知河川か、あるいはそのいずれにも該当しない河川かを確認いただき、さらに、それらの予報がどの地点の観測水位に基づいたものであるかを知っていただくとよい。豪雨の際に、それらの地点の水位変化や予測情報にアクセスすると、洪水予報の実態がよく理解いただけると思う。なお、河川水位の情報は『川の防災情報』というウェブサイトで確認することができる。

4. ハザードマップの課題と今後の展望

上述の通り、我が国のハザードマップとその基礎となる浸水想定区域図は精緻なシミュレーションに基づくものであり、対象とする河川も中小河川まで拡大している。現状のハザードマップは、想定最大規模の豪雨に伴う最悪の事態を把握しておくために有効な情報となる。一方で、様々な治水対策を検討する流域治水の実現のためには、10年から20年に1度発生するような、比較的高頻度の洪水に対して、どのような浸水が発生するのか

を把握することも大切となる。いわゆる水害リスクの高いエリアにおいて、どのような住まい方を考えるべきか、仮に水害が発生した場合に同じ場所に復旧・復興することが賢明な選択か、さらには工場、事業所、避難所等の立地に適する場所かなどを検討するうえでは、前章で述べた手順を得て作成されるハザードマップは情報が不足する。様々な確率規模に対する浸水深の情報は、水害リスクマップや多段階の浸水想定図と呼ばれ、直轄区間については国土交通省が近年新しい情報を公開しており、水害リスクマップで検索すると国交省のウェブサイトで確認することができる。こうした情報の充実化は今後さらに進むものと期待される。

ただし、現状、水害リスクマップは直轄区間に限られており、より高頻度で発生する河川は、都道府県管理の河川が多い。滋賀県による地先の安全度マップや、それに基づく流域治水の先進的な取り組みもあるが、そうした事例は限られている。さらに、これまで100年に1回発生すると考えられてきた規模の洪水が、温暖化の影響で、例えば30年に1回や10年に1回程度に頻発化することが最近の気候変動の影響評価研究で明らかになっている。それらの研究成果がハザードマップや水害リスクマップに反映されるまでにはもう少し時間がかかるが、今後、住まい方や土地利用を検討するうえでも、気候変動がどのように私たちの生活に影響を及ぼすようになるかを考慮に入れることは大切であり、そのための基礎的な情報を提供できるような研究も進みつつある。

以下では、著者らの研究を一例として紹介する。私たちのグループでは、日本全国の河川を対象とした洪水予測のシミュレーションモデルを構築している。基礎となるモデルは、降雨流出氾濫(Rainfall-Runoff-Inundation: RRI) モデルと呼ばれるものであり、著者が土木研究所 ICHARM に所属した頃から開発を進めてきたモデルである。このモデルは、地形や土地利用などの情報をメッ

シユ情報として準備し、降雨の時空間分布を入力することで、河川の流量や水位、氾濫に伴う浸水深を広域で解析するモデルである。川の断面情報を反映したり、過去に観測された流量データを用いてモデルの定数を調整したりすることで、その精度が向上する。全国版の RRI モデルは、150 m の空間解像度で全国を14の地域に区分して構築している。RRI モデルは、空間的に分布した情報を直接取り扱うので、分布型モデルに分類され、流域の内部の河川でも水位や流量を推定することができる。全国版 RRI モデルでは、中小河川を含めて、すべての河川で水位や流量を出力し、また 150 m という解像度に限定されるが、全国のあらゆる場所で浸水深を推定することができる。次節に示すように、このモデルをリアルタイムで駆動し、レーダなどで観測された雨量や予測雨量を入力すれば、リアルタイムの洪水予報モデルとなる。一方、水害リスクマップの基礎となるような情報を構築するためには、以下の二つの考え方がある。一つは、浸水想定区域図を作成するように100年や想定最大規模の雨を入力する方法。もう一つは、長期間の降雨データを入力して河川流量・水位などをモデルで計算し、それが何年に1回に相当するかを確率評価する方法である。前者は、計

算コストが小さいが、全国の全ての地点を対象にした場合、100年や想定最大規模の雨とは何か？という根本的な問題に直面する。一方、後者を実現するためには、長期間で様々な豪雨を含めた降雨データを入力する必要がある。実際に観測された降雨データでは、観測期間が短いため、統計処理に足るような計算期間をとることができないという課題があった。それに対して、近年は、気候変動の影響を評価するために、領域気候モデルの開発が進み、さらに全国や全球をカバーするようなデータセットが充実してきた。例えば、気象庁気象研究所は、全国を 5 km の空間解像度でカバーし、60年分×12通り（全720年分）の降雨データを整備している（d4PDF-5km と呼ばれる）^[2]。さらに、温暖化の影響を加味したパターンとして、2度上昇、4度上昇を想定した結果も準備されている。領域気候モデルによる出力は、実際に発生した降雨の分布とは異なるが、現在、将来の気候を想定した場合の現実的な降雨分布として治水の計画や水害リスクの評価に応用できることがわかってきている。これらのデータを全国版 RRI モデルに入力して、各地域で3000～5000程度の豪雨を入力すれば、それに対応する流量や水位が出力される。その結果を統計的に処理すること

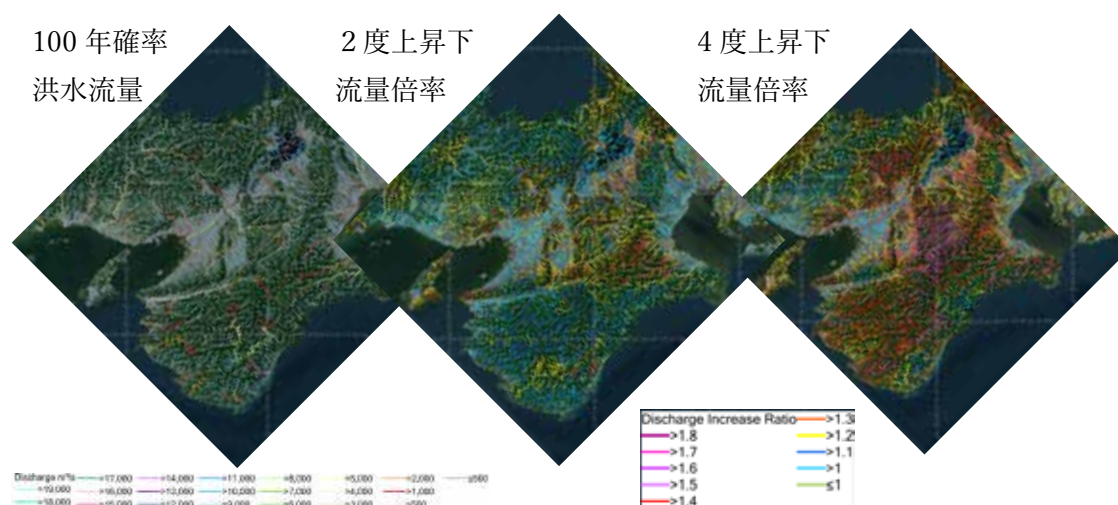


図 1: 全国を対象とした確率流量評価と温暖化の影響評価（図は近畿地方を中心に再現期間100年相当の洪水流量（左）と温暖化時の変化倍率（中：2度上昇想定、右：4度上昇想定）を表示）

で、例えば、10年、20年、50年、100年に1回といった流量と水位を全ての河川で求めることができる(図1)^{[3], [4]}。ちなみに、浸水深も同じように求められるが、その精度は現在検証中である。このようにして求められた河川の流量データを入力条件として、ローカルな浸水シミュレーションを実施すれば、ここで課題に挙げた、様々な確率に対する地先の浸水深分布を現在気候下、2度、4度上昇下で推定できる。このようにして、気候変動の影響を考慮に入れた新たな水害リスクマップを作成できるようになると考えている。

5. 洪水予報の課題と今後の展望

気象学・水文学・水工学を基礎にした研究の進展に伴って、リアルタイムの洪水予報も近年各段に進化している。気象レーダの整備や技術革新によって豪雨時の雨量の推定精度が向上してきた。また、詳細な地形情報や雲の物理的な過程を反映する気象モデルの進展により、短時間の豪雨の予測精度が従来に比べて格段に向上している。さらに、洪水を予測するモデルも、従来は流域単位で構成され、水位や流量の観測情報がある地点だけを対象にしていたものが、山地や平野部での雨水

の流動過程を物理的に計算する技術が進展し、観測情報が存在しない河川、とくに中小河川においても精度よく洪水を予測できるモデルの開発が進んできた。これらの先端技術を組み合わせることによって、従来は観測情報の存在する地点のみが洪水予測の対象であったのに対し、中小河川も含めて領域内全体で河川の水位や流量を予測する技術の開発が進む。筆者の知る範囲ではあるが、例えば兵庫県や京都府などでは、府県内の全ての河川を対象に、上記の RRI モデルを用いて6時間先までの水位変化を予測し、関係基礎自治体などに情報提供する新たな水位予測システムの開発が進んでいる。そうした中小河川では、豪雨時には河川が氾濫し、周辺道路などが浸水する可能性も高く、災害対応や避難にも影響する。そのため、河川の水位のみならず、浸水の状況をリアルタイムで予測する技術開発も進む。さらに、上述の全国版 RRI モデルに、気象庁によって提供されている長時間の気象予測情報を入力することによって、例えば24時間先に河川の流量がどのような状況になるのかを予測するような研究も進展している。気象庁による長時間の予測情報は、メソアンサンブル予報システム (MEPS) と呼ばれ、一日4回39時間先まで、5 km の空間解像度で雨量予測情報

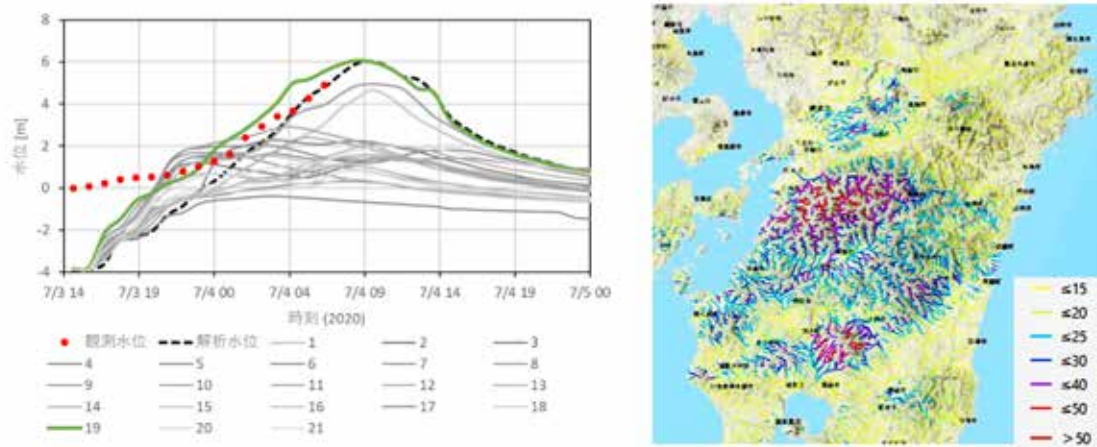


図2: 令和2年7月豪雨を対象とした球磨川流域人吉地点における39時間先アンサンブル洪水予測の結果(左図)。右図は、No. 19の雨量予測メンバーによる九州地方の予想最大流出高(赤い部分が単位面積当たりの流量が多いことを示す)。

を提供している。ただし、長時間の雨量を正確に予測することは難しいため、台風の予報円と同様に、複数の可能性（MEPS の場合は21通り）を提示する。台風の襲来や豪雨の発生前にこれらの情報を用いて洪水を予測し、さらにタイムラインと結びつけることで、例えば計画運休や車両の退避など、時間をかけて事前にできる対策を講じることができるようになる（図2）^[5]。

6. おわりに

本報では、ハザードマップと洪水予報について、既存の情報がどのような過程で作成されているかを解説した。また、最近の科学技術の進展に伴って、両者の情報がどのように進化を遂げているかを紹介し、その展望を概観した。頻発・激甚化する水害に対して、今後私たちはどのように備え、いかに安全な行動を取ることができるかが肝心であり、科学技術が進展し、新たな情報ができれば解決するという問題ではない。ただし、雨の降り方が変わり、土地利用も変化するなかで、実際にどのような洪水が発生し得るのか、その影響がどこまで及ぶのかを経験的に予期することはますます困難になっている。本報で紹介した様々な情報

が、自然の猛威を少しでも具体的にイメージするために寄与することを期待する。

【参考文献】

- [1] Yasuo Nihei, Koyo Oota, Hiroaki Kawase, Takahiro Sayama, Eiichi Nakakita, Takehiko Ito, Jin Kashiwada: Assessment of climate change impacts on river flooding due to Typhoon Hagibis in 2019 using nonglobal warming experiments, *Journal of Flood Risk Management*, Vol. e12919, doi:<https://doi.org/10.1111/jfr3.12919>, 2023.
- [2] Kawase, H., Nosaka, M., Watanabe, S. I., Yamamoto, K., Shimura, T., Naka, Y., et al.: Identifying robust changes of extreme precipitation in Japan from large ensemble 5-km-grid regional experiments for 4K warming scenario. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 128, e2023JD038513, 2023.
- [3] 佐山敬洋：民間企業による適切な浸水リスク評価に向けた今後の展望，*河川*，Vol. 922, No. 5, pp. 24-28, 2023.
- [4] Chen, J., Sayama, T., Yamada, M., Sugawara, Y.: Regional event-based flood quantile estimation method for large climate projection ensembles, *Prog Earth Planet Sci* 11, 16, <https://doi.org/10.1186/s40645-024-00618-x>, 2024.
- [5] 立川康人・中安正晃・佐山敬洋：アンサンブル予測を活用した長時間／広域洪水予測と社会実装，*河川*，Vol. 77, No. 1, pp. 86-92, 2021.

□流域治水について

熊本県立大学 特別教授 島 谷 幸 宏

はじめに

2020年、国土交通省は従来の河川改修やダムによる治水対策を、それらに加えて流域全体で洪水防御に当たる流域治水対策へと大きく方針を転換した。この背景には、気候変動による豪雨時の雨量の増加、それにとまう洪水の頻発がある。この流域治水対策は高度成長期に都市に人口が集中し、都市化により洪水量が増大に対処するために行われた総合治水対策の一般河川への拡張と国土交通省は言っている。総合治水対策と流域治水対策の大きな違いは、対象とする地域が拡大され農地、山地、既成市街地なども対象とされたこと、それ以降の技術進歩（計測技術や解析技術）や新しい概念に基づく技術（グリーンインフラや田んぼダム）などが登場したことなどがあげられる。また、流域治水の概念は河川に集まってくる水を対象としていた治水技術を流域全体で降った雨をどのように配分するのかという技術への大きな転換であり、治水のパラダイム転換が行われつつある。

流域治水でいうところの流域とは

流域とは、河川工学の用語で河川の集水域を指す。集水域とは、降った雨水が集まる範囲のことである。山地を持つ河川では山の稜線を境界として、集水域は決まっている。一方、国土交通省が

流域治水対策を実施するために定義した流域という概念は、河川工学でいう流域よりも広い概念であり、集水域＋氾濫域を流域としている。川の下流では氾濫流は集水域を超える場合があり、洪水防御の観点から、流域に氾濫域を加えている。

国土交通省によると、「流域治水とは、気候変動の影響による水災害の激甚化・頻発化等を踏まえ、堤防の整備、ダムの建設・再生などの対策をより一層加速するとともに、集水域（雨水が河川に流入する地域）から氾濫域（河川等の氾濫により浸水が想定される地域）にわたる流域に関わるあらゆる関係者が協働して水災害対策を行う考え方」とされる。すなわち、流域全体での全員参加の取り組みが必要とされる。

流域治水の基本概念

流域治水の洪水防御の基本概念は、降った雨を量的あるいは時間的にどのように分配するかという問題に帰着される。流域に降った雨はすべて下流に一気に流れていくわけではなく、一部は浸透、蒸発散、貯留、氾濫などにより、減少あるいは時間的な遅れを生じながら川を流下する。すなわち、川の流下能力を超える降雨を、貯留・浸透・蒸発させ、洪水流量を減らし、それでも氾濫する場合は、被害を最小限にする措置ということができる。

図に球磨川洪水時の市房ダムの集水域の平均雨量とダムへの流入高（流入量を雨量と比較できる

ように高さの次元に変換した値)の関係を示した。この図を見ると、流域平均雨量に比べて、流入高はなだらかな曲線を描き、ピーク雨量が54mm/hであるのに対し、ピークの流入高は26.3mm/hと半分以下になっている。また、雨がやんでもゆっくりとダム湖に流入している様子がわかる。これは、森林の土壌や樹皮、枝葉などで降った雨を、いったん受け止めゆっくりと流していることを示している。また、森林水文学の研究では、豪雨時も森林の降雨遮断量は10-20%相当あると言われており、洪水を減らすのに働いている。

一方、平地部は山地よりも速やかに雨水は排除される。特に、舗装面や屋根面は浸透が起こらず、降った雨はそのまま流れる。土の浸透能力は、雨量に対して決して小さくなく、グラウンドで1時間に7mm程度、手入れのされた庭では1時間に100mmを超えるなど、土の浸透による流出抑制効果は大きい。また、農村地帯の大部分を占める水田も一定の貯留効果を持っている。しかし、近年ではコンクリート化した排水路が整備されており、降った雨は、少しは水田に貯留されるが、ある程度雨が降ると排水口より、速やかに流出する。本流の流量は支流の中小河川の流量が集まって形成される。中小河川が自然の状態の場合、川幅は

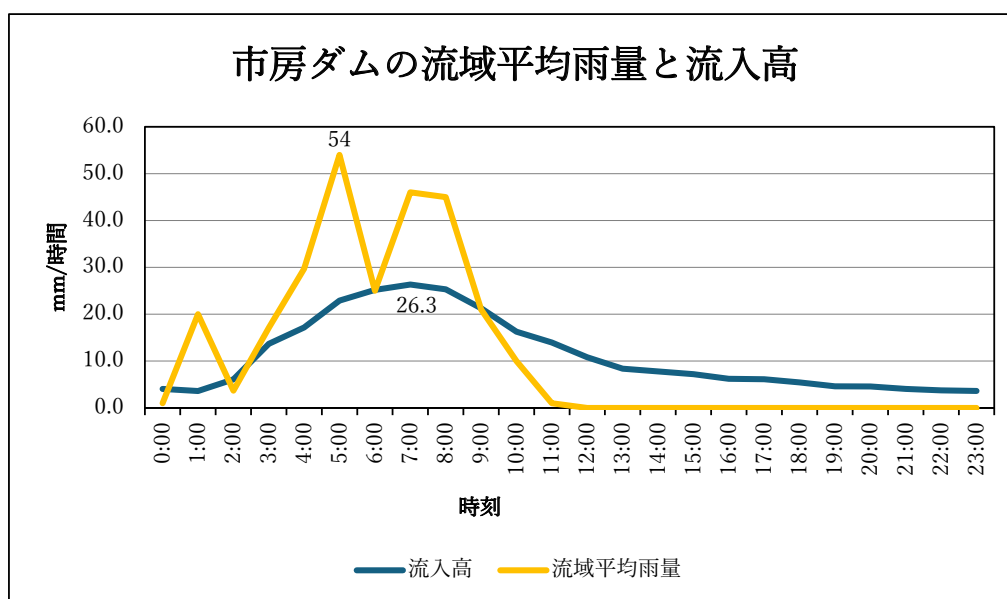
一様ではなく、蛇行し勾配もゆるく、断面も小さい。そのため、各所で河道内の貯留や氾濫が発生し、下流に流下する流量は小さかった。しかし整備が進み、中小河川の氾濫頻度が下がるとともに、河道の断面も一律化され、川の中での貯留空間も減少し、下流に流れる水の量が増えている。このように、近年、国土の排水システムは整い、下流への流出量は増えている。

これまでの治水対策が、河川に集まった水を堤防やダムの建設などの河川対策で対処しようとしたのであるが、それだけでは温暖化による豪雨に耐えられないので、流域対策が実施されることになった。

流域対策の基本は、これまで増やしてきた下流への流量を減らすことである。流域の浸透能力、蒸発散能力、貯留能力などを増強する、それでも氾濫する時には、氾濫流のコントロール対策や避難や土地利用コントロールなどのソフト対策を行い、被害を軽減する。

流域対策にはどのような手法があるのだろうか？

私たちの研究グループは2021年より、JST の競



争的資金である地域共創の場・本格型に採択され、熊本県立大学が実施機関、熊本県、肥後銀行が幹事機関として、「流域治水を核とした復興を起点とする持続社会」という名称の地域共創拠点を形成し、産官学で10年間という長期の研究開発、研究の実装に取り組んでいる。本拠点では流域治水の手法を流出抑制対策、氾濫流コントロール対策、流域治水ソフト対策の3手法に類型化し、実施している。

流出抑制対策とは、それぞれの土地から流出する流量を減らす対策のことで3つの手法がある。1つめは、発生源対策で、それぞれの場所に降った雨をその場所で減らす手法である。2番目は流達過程の対策で、発生源からある地点までの間で洪水を遅らせる、あるいは量を減らす対策である。3番目は合算時の対策で、水路や支流から流れてくる洪水に時間差を与え、合流するときに流量を減らす手法である。

発生源対策は、蒸発、貯留、浸透などの機能を使い実施される。蒸発は樹林からの遮断蒸発を利用する。遮断蒸発とは、樹木の葉や枝により降雨がトラップされ、その過程で蒸発され、地面に到達する雨を減らす現象のことである。その量は降雨量の10-20%もあることが森林水文学の知見として知られている。貯留とは、字のごとく雨水を一時的に貯留することによって、ピーク流量を減らし、洪水を遅らせる。地面をくぼませた雨庭での貯留や水田の畔を活用した貯留、湿地造成による貯留、氾濫域を確保するなどが手法である。浸透とは土の中に水をしみこませることにより、雨水を減少させる手法である。自然の状態では表面流の発生はほとんどないと言われており、私たちが思っているよりも土壌の浸透能力は大きい、浸透ますなどの施設を除いて十分に取り入れられていない手法である。また、森林の管理も重要である。森林の管理が悪いと浸透能の減少、土壌の流亡などが発生し、雨水や土砂の流出量が増大するので、森林伐採後の土壌流亡防止策・枝葉の存

置あるいは密生森林の間伐などが流域治水対策として有効と考えられる。

流達率を減ずるための方策として、氾濫域の確保（例えば霞堤）、蛇行再生、河道貯留量の増加、粗度上昇（粗度とは川の中の粗さで粗度が小さくなると流速が早くなる、川の中に植物が繁茂したり、巨石があると粗度は大きくなる）、などが想定される。これまでの河川整備では粗度を減少させ、直線化を図り、河道を同じ幅で整正し、貯留量を減少させかつ流速を増加させることを主として行っており、下流に対する流達率を以前より増加させていたものと考えられる。流達率を減少させるためにはこの逆を行う必要があり、河川や用水路の計画論・設計論を変える必要がある。

支流の洪水波形をずらすことによって合算時の流量を減少させることが原理的にありうる。都市化により同じ雨が降っても洪水流量が数倍になることが知られているが、これは浸透域の減少による流量増とピーク時間が短くなることによる合算時刻が重なることによる流量の増加が原因である。すべての支流の洪水の流下時間を長くすることによって、必然的に合算時流量は減少するものと想定されるが、その効果は未検証であり、積極的にピークをずらす対策も含めて研究が必要である。

氾濫流のコントロール対策とは、洪水を100%防ぐことはできないので、氾濫時に、氾濫流の流速や水深を低減させ、家屋や農地などの被害を低減させる手法である。水害防備林、洪水流を一部にとどめる横堤、住宅だけをまもる輪中堤などの手法があるが、現代ではあまり使われなくなった伝統的な技術である。

流域治水ソフト対策とは、流出抑制を進めるための法制度・補助制度・基準などの社会制度、氾濫域への土地利用規制や誘導策、保険制度などである。

流域治水対策の効果と普及の見込み

新たな流域治水対策は気候変動対応策として効果があるのだろうか？国土交通省によると、気温が2度上昇したシナリオ時の洪水流量はおよそ1.2倍になるとしている。前項で紹介した流域治水対策は、それに対応しうるほどの効果があるのかを考えてみたい。

住宅地や駐車場、グラウンドの対策として、雨庭などの流出抑制対策が提案されている。雨庭とは、屋根や駐車場などの不浸透域に降った雨を少し掘った緑豊かな空間に導き、貯留と浸透機能により、流出を抑制する施設である。熊本県立大学に2021年11月に雨庭を設置し、流出抑制効果のモニタリングを実施している。この雨庭は体育館の屋根178㎡の範囲の雨を集め、集水面積の1/5の面積、深さ約60cmで、底には小石を10cmの厚さで敷き詰めている。また、周りや底には在来の植物を植栽し、枯葉などが底にたまってそのままにした。2022年4月26日～2023年9月20日の約17ヶ月間（513日）に降った雨は3094mm、雨庭への流入量は657㎡、流出量は50㎡で、8%しか流出しておらず、約92%が浸透している。土壌浸透能は設置当初1時間に20mm/h程度であったが約1年半たつて40mm/hと2倍程度に大きくなっている。これは植物等の繁茂の影響と思われる。現在の浸透能で令和2年豪雨時の降雨時の計算をすると、総雨量に対する流出抑制率は46%、1時間の降雨に対するピーク流量は10%に低減すると推計され、洪水抑制効果もあることがわかる。土壌浸透能を100mm/hにすると、総量出抑制率76%、1時間当たりのピーク流量は41%低減され、大きな流出抑制効果があることがわかる。土壌改良手法の開発が今後の課題である。

また田んぼダムは、水田の流出口の大きさや形状を工夫し畝の高さを活用し、貯留することに

よって水田に直接降った雨をすぐに出ていかないようにカットする施設である。畔の高さが確保されていることが重要であるが、15～20cm程度の深さが貯水水深として活用できると考えられており、これは雨量換算で150～200mmに相当するため、効果的に活用できれば水田面積の割合が高いところでは、効果が大きい。新潟の見附市などでは、すでに普及し治水効果を上げている。農家の協力が必要なこと、地域によって対象降雨の大小が雨量により出口の構造を変える必要があることなど課題がある。

流達過程の対策として、河道の一部を拡張し河道貯留量を増加し、洪水の波形を変形させる研究が進んでいる。いわゆる自然に近い河道（多自然川づくり）にすることによって、下流に対する洪水流量を低減させることが名古屋工業大学の研究により明らかになりつつある。支流で10%程度のピーク流量の低減を目標に研究が進んでいる。

以上のように、流出抑制対策の要素技術について、その効果を高めるための研究が進みつつある。流域全体に流出抑制対策が導入されると、流域全体で10～20%程度の効果になると想定され、気候変動による流量増に対応できるレベルになると予想している。特に平地の割合が高い流域、都市化が進んだ流域では、その効果は顕著である。

それでは、このような流域対策を流域全体に進めるためにはどうすればよいのだろうか？道筋は2つあると考えている。1つは、流域対策を実施するときに、治水以外の便益が得られ、個々の土地所有者が導入したくなる仕組みを作り、広げるである。もう1つは、建築物、道路、河川などの設計基準に流出抑制対策を組み込み制度化・義務化することである。

以上のように、流域治水対策はこれまでの治水の枠組みを変える可能性のある面白い取り組みである。

□令和４年８月大雨を踏まえた災害対策について ～ハード・ソフト両面からの災害対策の充実～

福井県土木部砂防防災課

福井県では、令和４年８月に記録的な大雨に襲われ、県の北部にある勝山市、中央部にある南越前町などで甚大な被害が発生した。同年11月には、この災害の対応の課題や今後の改善策を議論するふりかえり会議を被災市町だけでなく、県内全ての市町や国、気象台等関係機関を交えて開催した。

現在、県や市町、国において、ふりかえり会議の結果を踏まえたハード・ソフト両面での対策を進めており、今回は、関係機関と連携して実施しているものも含めて、福井県の主な取り組みを紹介する。

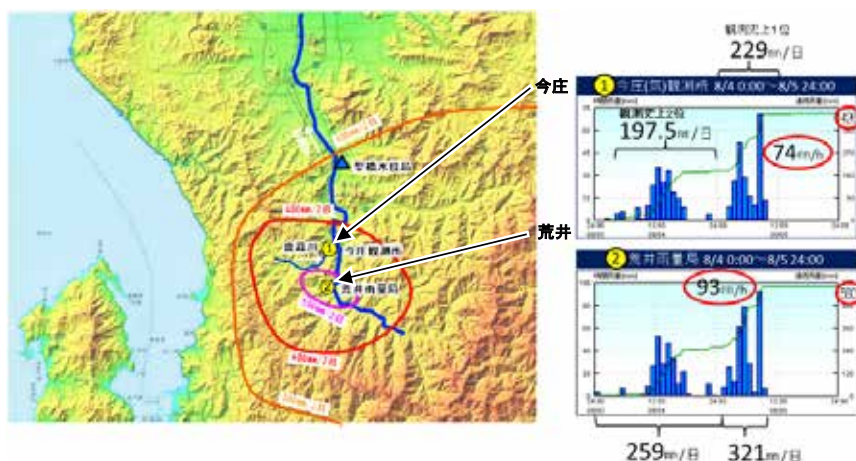
１．令和４年８月の大雨

令和４年８月４日から５日にかけて、北陸地方を通して日本の東にのびる前線が日本海からゆっくりと南下した影響で、次々と発達した積乱雲が流れ込み猛烈な大雨が降った。

４日昼前には、勝山市を中心とする奥越地方で線状降水帯が発生し、激しい雨が降り続いたことで、河川の溢水・越水、土石流等が発生し、大きな被害が生じた。

また、県の中央部に位置する南越前町の今庄観測所では、４日に日雨量197.5mm、５日に時間雨量74mm、日雨量229mm（ともに観測史上第１位）を観測し、荒井雨量局でも５日に時間雨量93mm、日雨量321mmを観測した（図－１）。

特に、南越前町の南西部を流れる、^{かひるがわ}鹿蒜川の流域では、至る所で溢水・越水が発生し、堤防の決壊や護岸の損壊、河道埋塞等、住宅の浸水（全壊５戸、半壊39戸、床上・床下浸水95戸）などの被害が発生した。



図－１ 降雨状況

並走する道路においても複数箇所で土砂の流出や倒木、落橋などにより通行止めとなり、集落の孤立も発生した。

2. ふりかえり会議

この災害を受け、福井県では被災市町だけでなく、県内全市町や国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所、福井地方气象台等関係機関や有識者を交えて、知事をトップとする「令和4年8月の大雨に関するふりかえり会議」を11月14日に開催し、課題の洗い出しや今後の改善の方向性について議論した。

会議では、①住民向けのハザードマップの周知・活用が不十分であったこと、②中小河川の水位計・監視カメラ整備が進んでいなかったこと、③避難情報発令の具体的な基準が定められていなかったこと、④災害対応に追われる中で全ての情報伝達手段を活用できなかったことなどが主な課題として挙げられた。

現在県では、これら課題への対策を国や市町と連携して進めるとともに、被災した公共土木施設の復旧を鋭意進めている。

3. 鹿蒜川流域 防災・減災プロジェクト

現在、大雨の被害が集中した鹿蒜川流域の復旧・復興を迅速かつ確実に進めるため、県と南越前町が連携しながら、流域全体の被害軽減を目指す「鹿蒜川流域防災・減災プロジェクト」を策定し、対策を進めている。

具体的には、原形復旧に加え、全国初となる「流域治水型災害復旧」の採択を受け、早期に効果を発揮する輪中堤の整備を進めるとともに、住民の迅速な避難行動につなげる水位計・河川監視カメラ整備等のソフト対策により、流域全体の防災力の向上に努めている。（表－1）

(1) ハード対策

流域治水型災害復旧

復旧方法を検討するにあたっては、被災施設の原形復旧のみでは甚大な家屋浸水の被害を解消できないため、鹿蒜川の断面を大きくする改良復旧を検討することとした。

しかし、一般的な手法である堤防嵩上げ、引堤、河道掘削等では改修延長が長く、改修が完了するまでに長期間を要することが懸念された。

そこで、(i) 流域の地形：集落が山あるいは県道盛土といった高い土地に隣接している、(ii) 土

表－1

鹿蒜川流域 防災・減災プロジェクト						
○福井豪雨に次ぐ災害となった令和4年8月大雨において、被害が集中した鹿蒜川流域の復旧・復興を迅速かつ確実に進めるため、被災施設の復旧に加え、早期に効果が発揮される輪中堤などの新たなハード整備および迅速な避難行動につながるソフト対策を一体的に進めます。 ○県と南越前町が連携しながら、流域全体の被害軽減を目指して実施する対策を「鹿蒜川流域 防災・減災プロジェクト」として、進捗状況を情報発信。流域全体の再度災害防止、防災力向上につなげます。						
区分	対策内容	実施主体	工 程			
			R 4年度	R 5年度	R 6年度	R 7年度～
氾濫をできるだけ防ぐ・減らす 【防災機能の強化】	輪中堤整備（一級河川 鹿蒜川）	県	用地取得	整備		
	河道拡張（一級河川 鹿蒜川）		用地取得・整備			
	砂防設備整備（鹿蒜川、鹿蒜川支川）		用地取得	整備		
	治山ダム整備		整備			
氾濫をできるだけ防ぐ・減らす 【被害を受けた施設の早期復旧】	河川・道路・農地・農林施設・水道等の復旧	県、市		復旧		
被害対象を減少させる	災害危険区域の指定による土地利用規制	市	指定		土地利用規制	
被害の軽減、早期復旧・復興	浸水害・土砂災害対応タイムラインの作成・運用 ※的確な避難情報発令の判断に活用（水位計・カメラも参照） WE B や S N S 等を活用し、住民に避難情報を確実に伝達する体制・手段の改善	県、市	本計画「防災計画」策定	タイムライン作成	運用・改善	
				検討・整備	運用	
	自主防災組織未結成集落への組織設置に関する説明会実施 既自主防災組織の活動（備品購入・避難訓練等）支援	市		説明会等、随時開催		

地利用形態：河道沿いの土地は集落以外では農地が多くを占める、(iii) 集落の立地状況：集落は河道沿いに点在している等を勘案し、現況河川断面を変えずに集落を囲むように輪中堤を新設することで浸水家屋の解消する輪中堤整備を計画し、令和4年度に創設された「流域治水型の原形復旧」として国土交通省に申請した。(図-2、図-3)

国土交通省との事前協議、令和4年12月の災害査定を経て、令和5年1月末に全国で初めて「流域治水型の原形復旧」を適用した災害復旧事業に採択され、現在、整備を進めている。

(2) ソフト対策

県では、災害発生後、速やかに鹿蒜川の南今庄地区に危機管理型水位計と河川監視カメラを設置するとともに、県 HP（河川砂防総合情報システム、福井県防災ネット）でリアルタイムに提供している。

また、南越前町が鹿蒜川上流の大桐地区に設置した水位計・河川監視カメラのデータについても、

県 HP で確認できるように連携を図った。

4. 水位計・カメラ整備

県では、鹿蒜川流域だけでなく、住宅への浸水被害の恐れがある全ての県管理河川への水位計設置、過去に浸水被害がある箇所への河川監視カメラ設置を進めている。

これらの情報については、市町の避難情報発令判断に活用するだけでなく、住民の自主的な避難行動に結びつくよう、市町と連携して普及啓発を進めていく。

5. ふくい県域タイムライン

災害が頻発化・激甚化する中、国や県、市町、関係機関が災害発生を前提として、あらかじめ行動計画を決めておくことが、市町が避難情報を的確に発令するうえで有効なことから、県では関係機関と連携し、「誰が」「いつ」「何をするか」等、



図-2 輪中堤計画位置図



図-3 輪中堤計画断面図

災害時に取るべき行動を時系列で整理したタイムラインの作成を進めている。

従来のタイムラインは、水系や流域単位で関係者を集め、体制をつくることが一般的であったが、タイムライン防災の第一人者である東京大学大学院の松尾一郎客員教授より、「面積が小さく、小規模な水系が多い福井県では、県全域をカバーしたタイムラインをつくるのが有効」との助言を受け、全国初となる県域全体を対象とするタイムラインの検討を開始した。

(1) 策定部会における検討

タイムラインの検討にあたり、令和5年3月には、松尾客員教授を招いて勉強会を開催し、あわせて関係機関と策定に向けた意見交換を行った。

令和5年5月には、第1回目となるタイムライン策定部会を開催し、ふくい県域タイムラインにおける、警戒ステージの移行基準や各ステージにおける主な防災行動、出水期における関係者間の危機感の共有を図ることを目的として開催する「Web 危機感共有会議」について検討を進めるとともに、関係者間における情報共有のためのメーリングリストの構築や防災情報を一元的把握できる情報共有プラットフォーム開発について検討を行った。（表－2、図－4）

(2) 試行運用開始

令和5年6月9日には知事や各市町の首長、福井河川国道事務所長、福井地方気象台長など関係機関のトップが一堂に会し、「ふくい県域タイムラインスタートアップ式典」を開催した。

表－2 各警戒ステージと防災行動

警戒ステージ	行動目標	行動目標の内容	主な防災行動
0	備え	出水期の水害対応に備え日頃から防災やTLの理解促進、TL運用訓練の実施TL防災の醸成、ハザード情報の充実等を図るステージ	防災やTLの勉強会・訓練の実施 TLのふりかえり・改善
1	準備	気象予測を基に通常モードから災害モードに切り替え、災害対応に必要な事前の調整や確認を行うステージ	web危機感共有会議の開催 人員の調整・確保 資機材の点検・準備
2	警戒	厳しくなる状況に対し、迅速に災害対応ができるよう体制強化・状況確認を行うステージ	web危機感共有会議の開催 連絡体制の確認 職員参集等の体制確認 避難所開設の準備
3	早期避難	災害発生の可能性が高まる状況に対し、事前の避難準備を必要とする行動等について早期対応を行うステージ	web危機感共有会議の開催 高齢者等避難の発令 避難所の開設 避難行動要支援者への支援
4	避難	災害発生が見込まれる状況に対し、災害リスクの高い地区にいる人々の避難を完了させるステージ	web危機感共有会議の開催 災害対策本部等の設置 避難指示の発令 住民等の避難誘導 県から各市町へのリエゾンの派遣
5	緊急避難	切迫した状況に対し、逃げ遅れた人や現場対応者の命を守るための緊急的な対応を行うステージ	緊急安全確保の発令 避難が完了していない住民への垂直避難呼びかけ
6	応急復旧	災害発生後の応急・復旧の対応を行うステージ	被災状況の確認 自衛隊やTEC-FORCEの派遣



図－4 情報共有プラットフォーム

式典を公開形式で実施し、策定部会の長である、松尾客員教授から杉本知事へ手交を行うなど、試行運用開始にあたり、外部に広く情報発信した(写真)。

(3) 試行後の取り組み

出水期

出水期を迎えた6月からは、大雨警報等が発表される前のタイミングにおいて、関係者がWeb上で一同に会し、気象台からの情報をもとに、今後の雨の見通しなどの危機感とあわせて、洪水予測、ダムの事前放流、各機関の防災体制等の情報を確認・共有する「Web 危機感共有会議」を計16回開催した。

また、これらとあわせ、関係者のメーリングリストや情報共有プラットフォームを活用して、平常時からの連携体制の強化や早い段階での危機感共有、出水期の防災対応にあたるとともに、大きな被害が発生した後は、避難情報を発令した市町から当時の状況を伝えてもらうなど、災害対応のふりかえりを都度行い、タイムラインの改善等に努めている。

非出水期

出水期が終わった後は、Web 危機感共有会議の内容や各機関の防災対応についてふりかえりを行うとともに、線状降水帯や土砂災害警戒情報等の気象に関する知識や被災市町の得た経験を学ぶ勉強会を開催し、次の出水期に向けた準備を進め

ている。

(4) 今後の取組

現在、ふくい県域タイムラインについては、令和8年度からの本格運用を目指し、内容の改善の他にも、市町毎のタイムライン作成や地域に向けたコミュニティタイムライン作成の普及啓発を進めていく予定である

今後とも、タイムラインを活用した防災の取組を進めることにより、市町の的確な避難情報発令を支援に繋げていく。

6. おわりに

災害はいつでも、どこでも、発生するものという前提を持ち、災害対策を進めていくためには、従前のハード対策のみでは限界がある。ソフト対策との両輪で被害の防止・軽減策を検討する必要がある。

また、ハード対策についても、河川管理者のみで議論するのではなく、「流域治水」の考え方にに基づき、国や市町、企業、住民など、流域全体の関係者と被害の防止・軽減策について議論を進めていく必要がある。

今後ともハード・ソフト両面で対策を進めることにより、令和4年8月大雨からの1日も早い復旧・復興を図るとともに、事前防災の観点から、今後発生する災害に対しても万全の体制で当たれるよう努めていきたい。



写真 ふくい県域タイムライン スタートアップ式典

□ 熊本県における「緑の流域治水」の取組の概要

熊本県企画振興部球磨川流域復興局

1. はじめに

近年、地球温暖化等の影響により、全国各地で豪雨等による水害や土砂災害が発生し、人命や社会経済への甚大な被害が生じている。令和2年（2020年）には7月3日から31日にかけて、日本付近に停滞した前線の影響で、暖かく湿った空気が継続して流れ込み、各地で大雨となり、人的被害や物的被害が発生した。気象庁は、顕著な災害をもたらしたこの一連の大雨について、災害の経験や教訓を後世に伝承することなどを目的として「令和2年7月豪雨」と名称を定めた。

この令和2年7月豪雨により、熊本県南部の球磨川流域において甚大な被害が発生。これを受け、国、県、市町村等は、流域のあらゆる関係者が協働して取り組む「緑の流域治水」という球磨川流

域の新たな治水の方向性のもと、流域の安全・安心の確保や創造的復興に向けた様々な取組を推進している。本稿では令和2年7月豪雨の概要や当時の被害状況などに触れ、蒲島郁夫知事（当時）（以下「知事」）が「緑の流域治水」の推進を決断した経緯やその具体的取組について紹介する。

2. 球磨川の地形と洪水の特徴

球磨川（図-1参照）は、熊本県の南部、また、宮崎県及び鹿児島県の一部を流域に含む延長115kmの一級河川で、国内有数の良好な水質を誇り、日本三急流の1つに数えられる。県内最大である球磨川の流域面積は1,880km²であり、県土の約1/4を占め、また、その約8割を森林が占める。

球磨川流域における、想定氾濫区域内の人口は

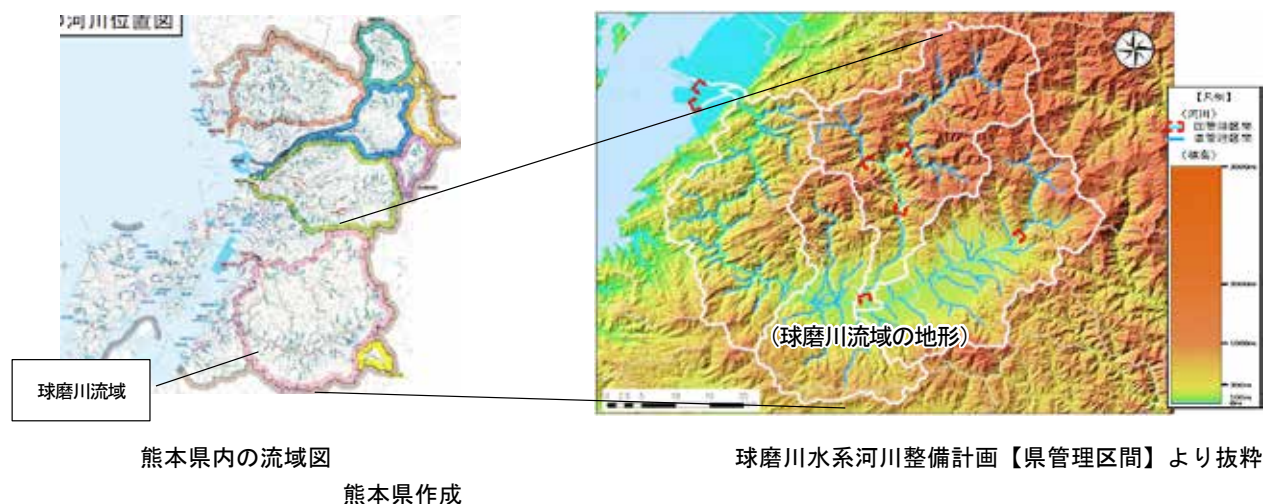


図-1

13.3万人であり、最下流に位置する八代市に約8割、中流部に位置する人吉市に約1割強の人口が集中している。

球磨川流域においては、多くの急流支川が人吉・球磨盆地に流入しており、山地部に降った雨がすり鉢状の盆地に集まる地形となっていることから、繰り返し洪水被害が発生している。

3. 令和2年7月豪雨の概要

7月3日夜には梅雨前線が九州北部地方まで北上、低気圧や前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込み、九州では大気の状態が非常に不安定となり7月3日から4日の2日間の雨量は7月の平均雨量（人吉（気）雨量観測所 7月平均値 471.4mm）を観測する大雨となった。球磨川流域では線状降水帯が形成され、時間雨量30mmを超える激しい雨が7月4日未明から朝にかけて8時間にわたって連続して降り続いた。

その結果、令和2年7月降水時の観測雨量（人吉 24時間 410mm）や観測水位（人吉 年最大水位 6.12m）は、球磨川流域に戦後最大の洪水被害をもたらした昭和40年洪水や、昭和57年洪水を上回るものとなった。



広範囲の浸水被害（人吉市街地）

提供：熊本日日新聞社

4. 熊本県の被害状況

前線性の降雨に起因した令和2年7月豪雨では、球磨川とその支川である川辺川の洪水のピークがほぼ同時刻となり、特に川辺川の合流地点から下流は、流量が増大し、氾濫により甚大な被害となった。人的被害については、死者67名（災害関連死2名含む）、行方不明者2名にのぼり、住家被害については、全壊1,493棟、半壊3,117棟、床上浸水286棟、床下浸水420棟の被害が発生した。被害総額は5,222億円と昭和以降に熊本県で発生した災害のうち、平成28年（2016年）の熊本地震に次ぐ被害額となった（人的被害及び住家被害については令和4年（2022年）4月1日確定値。被害総額については令和3年（2021年）3月30日時点）。

豪雨災害による死者の多くが、球磨川流域の65歳以上の高齢者であり、球磨村の特別養護老人ホーム「千寿園」では14名が犠牲となった。

交通インフラでは、人吉市と八代市を結ぶ国道219号や球磨川に架かる橋梁、JR肥薩線などで甚大な被害が発生した。

5. 「緑の流域治水」の表明に至った経緯

熊本県では、このような未曾有の被害を受けた球磨川流域の本格的な復旧・復興に当たり、その基本的な考え方や方向性を整理するとともに、復



流出した西瀬橋（人吉市）

出典：熊本災害デジタルアーカイブ

図-2

旧・復興に向けた道筋を明確にし、その加速化を図るため、故五百旗頭真氏（公立大学法人兵庫県立大学 理事長（当時））を座長とする「くまもと復旧・復興有識者会議」を令和2年(2020年)8月29日に開催し、この会議における議論をまとめた提言書が令和2年(2020年)10月26日に知事に手交された。提言書では、単に水害からの復旧を求めるのではなく、「緑豊かな地域の特性を活かした流域総合振興としての熊本独自の“グリーンニューディール”」の提案や、今後の治水対策の方向性として、「ダムだけではなく、すべての減災手法の有効性と限界を科学的に検証しつつ、持続可能なベストミックスを求める流域治水の考え方が重要」という復興の哲学などが示された。

また、令和2年7月豪雨災害を科学的・客観的に検証するため、流域の安全に責任を負う国、県、流域市町村が連携し、「令和2年7月球磨川豪雨検証委員会」を同年8月に立ち上げた。この検証では、今次洪水のピーク流量について推定、精査を行った結果、市房ダムがなく、上流で氾濫がなかった場合、人吉地点で約7,900 m^3/s となり、当時の河川整備基本方針の基本高水のピーク流量（人吉地点7,000 m^3/s ）を上回る流量であることが確認された。また、仮に川辺川ダムが存在した場合の効果については、人吉地点のピーク流量は今次洪水の約7,400 m^3/s （市房ダム洪水調節後、上流での氾濫がなかった場合の推定流量）から、約2,600 m^3/s 低減し、約4,800 m^3/s となることが確認された。また、川辺川ダム洪水調節後の河道の水位を算定したところ、今次洪水の水位（痕跡水位）に比べ、例えば人吉市街部で約1.9m程度低下すると推定された。このような効果が確認されたものの、現行の川辺川ダム計画^(※1)だけでは、全ての被害を防ぐことはできないことが示された。

また当該委員会では、洪水だけではなく初動対応についても検証が行われ、住民への情報伝達や避難行動要支援者に対する避難支援等の観点から課題が明らかになった。

検証委員会構成

国	九州地方整備局長
県	熊本県知事
流域市町村	八代市長、人吉市長、芦北町長、錦町長、あさぎり町長、多良木町長、湯前町長、水上村長、相良村長、五木村長、山江村長、球磨村長



住民等の御意見・御提案をお聴きする会
(球磨村 (R2.10.22))

さらに、復旧・復興や治水の方向性の検討に当たり、知事は、被害に遭われた住民の方や被災地域の様々な団体などから、計30回、延べ467名の御意見・御提案を直接お聴きした。この他にも、知事は、新聞への投書や知事への直行便などにも漏らさず目を通し、あらゆる民意と向き合った。

<意見の一部抜粋>

- 住まいの再建に対する支援をしてほしい。
- 速やかな避難体制づくりが必要。
- ダム、遊水地、河道掘削、嵩上げなど、あらゆる治水対策が必要。
- 森林整備による治水効果の向上を進めてほしい。
- 美しい球磨川を残してほしい。 等

これらを踏まえ、知事は「現在の民意は「命」と「環境」を守ることである」と受け止め、令和2年(2020年)11月19日、県議会全員協議会におい

て、河川の整備だけでなく、遊水地の活用や森林整備、避難体制の強化を進め、更に、自然環境との共生を図りながら流域全体の総合力で安全・安心を実現する「緑の流域治水」という球磨川流域の新たな治水の方向性を示した（図-3参照）。知事による「緑の流域治水」の表明後、県では、令和2年7月豪雨からの球磨川流域の創造的復興を目指し、「緑の流域治水」を核とした「令和2年7月豪雨からの復旧・復興プラン」を同年11月24日に策定した。



図-3 「緑の流域治水」のイメージ図

6. 「緑の流域治水」の取組

「緑の流域治水」の理念を踏まえ、流域のあらゆる関係者が協働して流域全体で水害を軽減させる治水対策の全体像としてとりまとめた「球磨川水系流域治水プロジェクト」を令和3年(2021年)3月30日に公表した。令和2年7月豪雨では、戦後最大の洪水により甚大な被害が発生したことや人吉・球磨盆地が急峻な山々に囲まれたすり鉢状の地形となっており、複数の急流支川が流れ込み、さらに盆地の下流側が山間狭窄部となり、豪雨時には水位が上昇しやすいという流域の特徴を踏まえ、国、県、市町村等が連携し、河道掘削、堤防整備（堤防補強）、輪中堤・宅

地かさ上げ、遊水地等の取組を集中的に実施することにより、令和2年7月洪水と同規模の洪水に対して、越水による氾濫防止^(※2)（人吉市の区間等）、家屋の浸水防止^(※3)（中流部）など、流域における浸水被害の軽減を図ることを目標とした。

さらに、国土交通省九州地方整備局と県において、「緑の流域治水」の理念を具体的に盛り込んだ「球磨川水系河川整備計画」を令和4年(2022年)8月9日にそれぞれ策定した。本計画は、「気候変動」と「流域治水^(※4)」の新たな視点を踏まえた点と、国管理区間と県管理区間の策定を同時に進め、球磨川本川、支川及び流域の連携推進を図った点において、全国初の計画である。

ここで、「緑の流域治水」の特徴的な取組を取り上げる。

▷流水型ダム

球磨川流域における洪水被害の防止・軽減を目的とした洪水調節専用ダムとして熊本県相良村に計画されているダムである。普段は水を貯めず、大雨が降り一定規模の洪水（ダム地点で600m³/s以上の洪水）になるとダムに水を貯め下流に流れる流量を調節し、洪水被害を防ぐ。流量が減り下流の水位が下がったことが確認できたら、ダムに貯めていた水を放流して普段の川の状態に戻す。

また国において、中央の3門の河床部放流設備



流水型ダムの完成イメージ図

第8回球磨川流域治水協議会資料

や、ダム下流への減勢工等の設計に工夫を施し、ダムサイトで確認されたすべての魚類の移動経路を確保するなど環境影響の最小化に向けた検討及びダム本体の調査・設計等が進められている。

▷雨庭

雨水を排水路に直接放流することなく、ゆっくりと地中に浸透あるいは流出を遅らせる構造を持つよう人為的に改変された空間で、治水（流出抑制）や地下水涵養の効果が期待される。令和5年（2023年）3月に熊本県球磨地域振興局に整備された雨庭では、隣接する人吉第一中学校の生徒や熊本県立大学とともに雨庭への植栽活動などを行った。現在、熊本県立大学・肥後銀行・熊本県等が連携した「流域治水を核とした復興を起点とする持続社会」地域共創拠点（プロジェクトリーダー：熊本県立大学特別教授島谷幸宏氏）において治水効果の定量化に向けた効果検証が進められている。



球磨地域振興局の雨庭

▷まちづくりと連携した高台への居住誘導など

安全に住み続けられる宅地の確保のため、球磨村渡地区などでは高台等への新たな宅地造成や避難路整備等を実施し、まちづくりと連携した安全な生活基盤の整備を進めている。また、県では球磨川流域復興基金^(※5)を活用し、令和2年7月豪雨による災害からの生活の再建並びに市街地及び集落の復興の推進等を図るため、災害リスクの低い場所への移転やピロティ化等を行う住民に対し費用を助成する市町村を支援している。



復興基金を活用した住まいの安全確保の取組

▷危機感共有と命を守る災害報道連携会議

令和2年7月豪雨で大きな被害を受けた球磨川流域を中心とした県南地域で、発災前から危機感を高め地域住民の命を守るために、国と県が事務局となり、国、県、市町村、報道機関等が防災情報の共有により防災・減災力を強化することを目的として令和3年（2021年）5月に設置した会議である。本会議で発案され、令和4年度（2022年度）に在熊本TV5局共同で制作された、早期避難を呼びかけるテレビスポット「逃げるスイッチ、オン！」は、令和5年度（2023年度）も5月29日から9月30日まで放送され、水防思想の普及に貢献した。また、報告会を開催し、アドバイザーによる基調講演や構成員によるこれまでの成果発表、パネルディスカッション等を通じ、連携強化を進めている。



早期避難を呼びかける TV スポット放送開始
第7回球磨川流域治水協議会資料より抜粋

▷自然環境を活かした地域活動の取組

相良村の瀬戸堤自然生態園（村有）では損害保険会社（MS&AD ホールディングス）の協力のもと、里山的な生物多様性が高い環境の再生、雨水流出抑制の強化が開始されるなど、グリーンインフラの取組も並行して実施している。また、前述の地域共創拠点の研究開発課題の1つとして、地元の自然保護団体や相良村による日常的な環境管理や地域ステークホルダーとの連携構築、大学等による治水や環境に対する調査・研究など、産官学民連携の体制の構築が進められている。



湿地保全活動

7. 「緑の流域治水」の見える化

ここまで紹介した取組の推進にあたっては、「緑の流域治水」について球磨川流域をはじめとする県民に理解いただくことが何より重要である。特に、ソフト対策については、県民に日頃から防災への関心を持ってもらうことが重要であり、「緑の流域治水」の“見える化”を進めている。

“見える化”の取組として、球磨川の地形や河川の特徴、「緑の流域治水」の取組内容を分かりやすく伝えるコンテンツを制作（図-4）、これらを活用し、防災会議や各種イベント等で周知・啓発を行っている。特に、若い世代の「緑の流域治水」に対する理解や防災意識の向上を図るため、球磨川流域の小・中・高校生を対象に出前授業を行っている（図-5）。令和5年度（2023年度）には、動

画視聴回数が3,407回（令和6年（2024年）3月時点の再生回数）にのぼり、また、約1,400人の生徒を対象に出前授業を実施した。出前授業後のアンケートでは、『球磨川流域の地形を学び、洪水や氾濫の仕組みを理解した』『災害に備え自分にできることを考えるきっかけになった』といった、防災意識の向上に繋がる回答が得られた。

さらに、「緑の流域治水」の理解を深めることを目的として、行政職員や球磨川流域の中高生を対象とした勉強会を令和5年度（2023年度）から熊本県立大学に委託を始め、令和5年度（2023年度）は11回（延べ183名）実施した。

今後も、“見える化”により広く「緑の流域治水」を県民に周知し、取組を推進していくこととしている。



図-4 「緑の流域治水」の取組を紹介する動画

QRコード（動画）→



図-5 立体地図を活用した出前授業

8. まとめ

令和2年7月豪雨災害から間もなく4年を迎える中、住まいや生業の再建、さらには道路、橋梁などのインフラの復旧など、被災地の復旧・復興は着実に進んでいる。また、遊水地や引堤、輪中堤、宅地かさ上げが着工するとともに、新たな流水型ダムについても、法と同等の環境アセスメントが実施されるなど、球磨川流域の治水対策は国、県、流域市町村等の連携のもと目に見える形で進んでいる。

令和6年(2024年)4月16日に就任した木村敬知事のもと、今後も流域の皆様とともに、球磨川流域の創造的復興と緑の流域治水に全力で取り組んでいく。

(※1) 昭和41年(1966年)に発表された熊本県相良村に建設が予定されていた貯留型のダム建設に関する計画。

(※2～3) 従来から検討してきた貯留型ダム並びに再開発後の市房ダムによる洪水調節の効果を含む。

(※4) 現在、国において全国的に取り組んでいる「流域治水」の概念については国交省のホームページを参照されたい。(https://www.mlit.go.jp/river/kasen/suisin/index.html)

(※5) 球磨川流域における生活の再建並びに市街地・集落の復興の推進等、安全・安心な地域づくりを目的に、令和2年(2020年)9月に設置。

【参考文献】

- ・球磨川流域治水協議会・令和2年7月球磨川豪雨検証委員会
https://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/river/r007_after/r0207_ryuikitisui_gouukensho/index.html
- ・「川辺川の流水型ダムの事業概要」
<https://www.qsr.mlit.go.jp/kawabe/dam/ryuusugatadamunogaiyou/index.html>
- ・球磨川水系河川整備計画【国管理区間】
https://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/river/kumagawa_kasen/index.html
- ・球磨川水系河川整備計画【県管理区間】
<https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/105/146442.html>
- ・令和2年7月豪雨 熊本県はいかに動いたか
- ・テキスト 緑の流域治水 スタディツアー

令和6年能登半島地震から見える 今後の災害への教訓

一般社団法人 ADI 災害研究所 理事長 伊永 勉

令和6年は、元旦の能登半島地震という災害で新年を迎え、豪雪と夏日に近い暖かさが日替わりに起こるという気候変動もあり、阪神・淡路大震災から来年で30年、東日本大震災から13年目を迎えますが、いつ起こるか分からない災害への備えの大切さを痛感するスタートとなりました。国難といわれる南海トラフ地震の発生確率が、今後30年以内に80%近くと云われている中で、4月早々には台湾花蓮の地震で、沖縄に津波警報が発表されましたが、県民の素早い避難行動が注目されました。過去の災害での教訓を踏まえて、令和時代に想定される災害の傾向と対策の課題について、次のように整理してみました。

1. 地震の直接被害だけでなく、遠隔地に及ぶ液状化への備え

日本海側は、マグニチュード7以上の地震が続いて起こるという事例があり、1964年の新潟地震は6月16日と7月12日、1983年の日本海中部地震は5月24日と6月21日、1993年の北海道南西沖地震は7月12日と8月8日と続きました。熊本地震も2日目に新たに発生したように、能登半島でも再び起こることが懸念され、地震大国日本では、地震に見舞われない地域はないと云えます。また、東日本大震災でも注目されたように、離れた地域で震度は小さくても、地面の沈下や砂と水が噴き

出し、建物が傾くなどの液状化が広がっています。液状化で最も懸念される事態が、下水管の浮上です。能登半島地震でも1.5メートルも浮き上がっています。これで水を流せない事態が長期間に渡り、断水は回復しても、生活用水が流せないために、トイレが使えず入浴もできない、不衛生な環境が続き、感染症等を引き起こすことにもなります。耐震化だけでなく、老朽化した上下水道管の点検と、地盤に応じた基礎の強化も求められます。さらに、地域に想定される災害について、作成されておるハザードマップには、浸水・洪水・震度・液状化等の被害の程度は明記されていても、液状化で上下水道管がどうなるのかは、誰も分かりません。自治体の職員も知らないのではないのでしょうか。避難計画を作成するには、このような不測の事態への対処法を検討できる情報も提供すべきではないでしょうか。



1.5メートル浮き上がったマンホール（輪島市）

2. 気候変動による風水害の激甚化対策

この冬、北陸から東北にかけて日本海側に発生した豪雪は、日本海寒帯気団収束帯（JPCZ）の発生という、海水温の上昇によるものと云われ、気候変動による災害は季節を問わず発生し続けています。海水温が、エルニーニョ現象での上昇と、ラニーニャ現象で下降を繰り返し、台風や豪雨災害による被害が大きくなり、気象庁の危険度情報（キキクル）等の防災気象情報は、年々制度を上げていますが、市町村の避難情報の発令については、警戒レベルを判断するタイミングの遅れやそれに伴う避難情報の発令と避難所の開設、さらに要配慮者の福祉的避難の準備には、まだ大きな課題が残されています。私たち住民は、ハザードマップを熟知して、大雨時には聞こえ難い防災行政無線等役所からの避難情報の発令を待つだけでなく、気象庁が発表する大雨による浸水・洪水・土砂災害等の危険度を見る習慣を身に付けることを勧めます。

3. 高齢化で増加する災害犠牲者を減らす対策

能登半島地震で被災した輪島市では、高齢化率が50%を超えていました。今の日本では3人に1人が65歳以上という時代を迎えており、その過半数が75歳以上を占めるようになり、フレイルと呼ばれる要介護認定予備軍も40%近く、高齢者の認知症患者も20%を超える傾向にあります。災害による死者に占める高齢者が東日本大震災で60%、西日本豪雨災害では80%、能登半島地震でも70%に及び、死因は瓦礫や土砂に埋まる場合や、火災による焼死、津波による流失等で、自力で逃げ切れないことが最大の原因ということで、高齢者が災害で真っ先に犠牲になることが立証されています。高齢者だけでなく障がい者手帳を持つ人たちの災害犠牲も増えています。さらに、地震等での

直接死に加えて、長期に渡る避難所生活や孤独による災害関連死も増えています。このような自力避難が困難な要配慮者の避難支援を推進するために、個別避難計画の策定が、市町村の義務になっていますが、1,741市町村での策定率はあまりにも低く、地方の過疎化と都市部のコミュニティの希薄化で、地域の共助体制が育たず、日本の防災力の脆弱化は急速に進んでいます。今まさに“明日は我が身”と考えての自助力の強化と、地域共助体制を築き直すまちづくりが急務となっています。自助力とは、「災害に先手を打つ力」であり、災害から生き残るために、家庭の備蓄や連絡網の完備、ハザードマップの周知等、家族における意識を向上することです。共助力とは、起こってしまう「災害を迎え撃つ力」であり、生き残った後生き延びるための行動です。そのためには自主防災組織を作ることと、地域共通のルールや避難計画等を決めることになります。



倒壊した木造家屋（輪島市）

4. ライフラインの復旧の長期化と備蓄問題

能登半島地震では、30を超える集落の孤立が問題になりました。半島という地形の問題なのか、産業振興の期待が薄いのか、主要幹線道路が少なく、土砂崩れや路面の沈下で、自動車も鉄道も、空港さえ使えないという状況は、南海トラフ地震の被害が想定されている太平洋岸の三重、和歌山、

徳島、高知、宮崎などの地域でも同じ事態が懸念されます。さらに、地方の人口流出による過疎化と、都市部での人口密集と高層ビル化は、いずれも生活の基盤である電気・上下水道の復旧の遅れが人の生死に関わってきます。特にオール電化が推進される中で、感電ブレーカー等による火災防止は進められても、停電対策は必須課題です。例えば、在宅療養者が使用している酸素吸入器等が停電で使えないために、救急車を呼び病院に運ばれることで、病院では治療に支障をきたすというレスパイト入院も問題になっています。また、事業所等では自家発電や蓄電装置を備えていても、延長コードが足らず困ったという例が多くあります。さらに、個人は当然ながら企業等でも飲料水や食糧の備蓄量は見直すべきであり、今まで云われてきた3日分ではなく、最低1週間分を保有することが望まれます。また、ローリングストックという日常食べ慣れた食糧を2～3倍保存しておく方法を広めていくことが必要です。

5. 遅れている帰宅困難者対策

都市部における大地震は、公共交通機関の運休と、道路の交通規制で、突然大量の帰宅困難者が発生します。政府は、危険回避のための一斉帰宅の抑制を呼び掛けていますが、ターミナルや企業内での滞留空間が不足している現状では、辛くても帰りたい人を留めるのは困難です。また、公共交通機関を使えない帰宅者のための帰宅困難者サービスステーション構想も、ガソリンスタンドやコンビニ等の善意に頼るだけでは、十分な支援が提供できるとは思えないことと、自治会等では、地元住民以外の人を受け入れることを躊躇する場合もあり、緊急事態における経済の観点からの防災問題として、企業はもちろん地方自治体のBCPに加える等の議論をするべきと考えます。

8. 遠隔地二次避難と、サプライチェーンの見直し

能登半島地震では、石川県が孤立集落住民の安全確保と、ライフラインの復旧の長期化対策として、県南部への二次避難を進めました。その結果、元に戻っても今まで通りの仕事や生活の保証が見えないという不安から、帰還しないと判断する被災者も出ています。能登半島地震は、半島の西北部85キロに渡る海底を隆起させ、漁業が再開できないことや長期の断水等で、地場産業のダメージが大きく、建物等の倒壊・焼失だけでなく、人手が戻ってこないという不安から、事業の再開を諦める企業もあり、避難した先で新たに事業を始めるなど、地元産業の衰退を招くのではないのでしょうか。企業として、自社の損益だけでなく、地域の活性化にも貢献出来るように人財の育成等も考慮した“まちおこし”を期待します。また、地方に点在している大企業の子・孫請け事業所の多くが、災害への対応力が弱いという問題があります。西日本豪雨災害では、山口県の小さなネジを製造する工場が浸水したことで、自動車の出荷が止まるということもありました。利益効率の良い生産ラインを維持するためには、企業のBCPの作成に、サプライチェーンである下請け事業所の被害や、純正部品の保存等を含む、実効性のある計画作成に、もっと力を入れることが望まれます。

9. BCPの発動基準の明確化

製造業等の事業継続計画と、サービス業の業務継続計画は、両方ともにBCPと表記されますが、災害に備える防災計画と別に業務継続計画を作成している事業所の少なさが問題です。福祉の業界では介護サービス事業所のBCP作成が、今年4月1日に義務化されたのですが、ほとんど出ていないのが実態です。私自身50を超える事業所のBCPの検証を担当しましたが、根本的な問題

は、政府のひな型の不十分さで、誰でも記入すればでき上がりますが、その実効性は全く担保されません。さらに作成済みの計画を精査できる専門家が、自治体にも政府省庁にもいないというのが問題です。熊本地震では、ある企業が地震発生3時間以内に実施した対策が高く評価されました。職員の安全確保から避難まで素早い連絡体制が行われ、その後も特別休暇や融資の開始、事業再開への応援体制の整備と、申し分のない対策が進められ、見事な事業継続計画が実行されました。このようにBCPが見事に成果を挙げた企業は珍しいのではないのでしょうか。

10. 地方自治体のBCP

企業とは違って、地方自治体のBCPは、市民へのサービス業として、被害を軽減するための人的な災害対応のあり方を問うものとなります。地方自治体には、地域防災計画という基本的な災害対応の指示書がありますが、予防編よりも災害発

生時の応急対応編が主であり、予防への力の入れ方が足りないのではないのでしょうか。予防対策に力を入れている例としては、耐震化の推進で、制震構造や免震構造の建築と補強工事を進めている例が増えていますが、補助金制度があっても、自己負担は大きいいため、個人宅や中小企業等では、簡単な補強が精いっぱい、しかも木密集合地区では、火災予防対策として、消防車両が通れる区画整理も進まず、住民の力では解決する見通しが立ちません。また、大阪市では地下鉄全駅の入出口に止水板の設置が完了したのですが、その周辺の民間の建物は浸水対策が執られていない入り口もあるため、下水がオーバーフローして、道路上に溜まった雨水は、民間施設から流入していくことが予想されます。

今回の能登半島地震は、将来の防災力を高めるために、過去の全ての災害に共通する警告を発信しています。明日は我が身の言葉を忘れず、心しておきたいものです。

地域防災実戦ノウハウ (119)

— 2024年能登半島地震から考える 被害規模の早期推定 —

Blog 防災・危機管理トレーニング
(<http://bousai-navi.air-nifty.com/training/>)

主 宰 日 野 宗 門

(消防大学校 客員教授)

1. 地震発生時における被害規模の早期推定の重要性

地震が発生した際、自治体にとって最も重要なことは、できるだけ速やかに的確な「活動規模」^(※)を決定し対応にとりかかることです。そのためにはその前提となる被害規模を早期に推定する必要があります。

(※) 職員の配備規模、支援（特に都道府県から被災市町村への支援）規模、受援規模、アウトソーシング（協定業者等への食料、生活必需品、仮設トイレ、段ボールベッド等の調達依頼）の規模のこと。

しかし、地震発生初期の段階では、被災地で情報収集に割ける職員が少ないこと、通信事情の悪化、日没等により現地からの被害情報は遅延し、その質・量も限られたものとなります。この被害情報に合わせて活動規模を決定した場合、被害の実相にはるかに届かないレベルとなり、その結果、対応はきわめて不十分かつ後手に回ったものになります。

そのため、地震発生初期の段階では、現地からの被害情報とは別の方法で被害規模を「推定」することが求められます。このことは、市町村にも該当することですが、広域を支援対象とする都道府県においてより重要です。

そこで本稿では、本年1月1日16:10に発生し

た令和6年（2024年）能登半島地震（以下「能登半島地震」）を例に、地震発生時における被害規模の「早期推定」方法を解説します。

2. 能登半島地震における住家被害の推移

能登半島地震における石川県の被害状況は、「令和6年能登半島地震による被害等の状況について」（以下「被害等の状況」という）により知ることができます。

この「被害等の状況」では各市町から石川県に各種被害情報が報告されていますが、その中の「住家被害」が被害規模の判断に最も適しています。表1は、被害の大きかった輪島市と珠洲市の住家被害の推移をみたものです。

被災地では地震発生から35分ほどで日没を迎えています。夜間での被害情報収集は目視がきかないことや二次被害の危険があることからきわめて制約されます。第1報、第2報からはその様子が伺えます。

被害情報収集が本格化したのは2日の日出以降です。日出後の報告である「被害等の状況」第3報（1月2日8時30分現在）は、輪島市、珠洲市とも「倒壊家屋多数」と記されています。「倒壊家屋多数」からは、それなりに被害が大きいことは推定できますが、その量的規模（数百なのか数

千なのかといったこと）がわからないため活動規模を定めるのに苦労しそうです。さらには、このときまでに既に地震発生から16時間が経過しています。対応が「後手に回らない」ためには、もっと早期の量的な被害推定が必要です。その方法を次の3で紹介します。

なお参考として、表1ではその後の住家被害の推移も記載しています。

輪島市、珠洲市での住家被害把握は困難を極め、輪島市では1月19日まで、珠洲市では1月20日まで、「全壊」、「半壊」、「一部損壊」がいずれも「多数」と表記されています。

具体的な数字が入ったのは、それぞれ翌日の1月21日（珠洲市）、1月20日（輪島市）でした。

実に、住家被害把握に約20日間を要しているということです。ただし、この場合も「全壊」、「半壊」、「一部損壊」を一括りにした数字であって、罹災証明発行に必要な区分ごとの把握はされていません。

区分ごとに表示されるのは、珠洲市では1月30日、輪島市では2月6日の時点からです。

3. 能登半島地震における被害規模の早期推定方法

2の検討を踏まえ、ここでは現地からの被害情報に代わる被害規模の推定方法を2つ紹介します。

表1 能登半島地震における輪島市、珠洲市の住家被害（棟）の推移

日 時	輪島市	珠洲市
1月1日16時10分	地震発生	
1月1日16時45分	日没（輪島）	
1月1日19時30分現在（第1報）	被害状況不明	被害状況不明（寺家地区 家屋の倒壊多数有との情報）
1月2日1時30分現在（第2報）	被害状況確認中	被害状況確認中
1月2日7時6分	日出（輪島）	
1月2日8時30分現在（第3報）	倒壊家屋 多数	倒壊家屋 多数

以下、参考

1月19日14時00分現在（第57報）	全壊 多数 / 一部損壊 多数	全壊 多数 / 一部損壊 多数
1月20日14時00分現在（第58報）	870 (全壊・半壊・一部損壊 一括)	同 上
1月21日14時00分現在（第59報）	1006 (全壊・半壊・一部損壊 一括)	2000 (全壊・半壊・一部損壊 一括)
1月30日14時00分現在（第73報）	1993 (全壊・半壊・一部損壊 一括)	全壊 2092 / 一部損壊 1444 / 半壊 1036
2月6日14時00分現在（第81報）	全壊 1806 / 一部損壊 2269 / 半壊 1139	全壊 3071 / 一部損壊 2418 / 半壊 1860
4月2日14時00分現在（第117報）	全壊 3824 / 一部損壊 7127 / 半壊 3865	全壊 2601 / 一部損壊 3452 / 半壊 2144

(1) ＜地震発生から約 5 分後＞ 消防防災 GIS の地震被害推定機能を活用する

消防防災GISは、都道府県、市町村、消防本部の消防防災業務全般を支援することを目的に（一財）消防防災科学センターにおいて開発されたパソコン上で動作するシステムであり、無料で提供されています。

このGISのメニューの中に「地震被害」として搭載されているのが、「地震被害推定」機能です。この機能を用いれば地震発生後 5 分程度で気象庁から発表される震源情報（規模、震源の位置）の速報値を入力することにより「被害推定」結果を得ることができます。

図 1 は、地震被害推定機能の震源情報入力画面です。この画面では、地震発生 5 分後頃に気象庁から発表された以下の震源情報（速報）を入力しています。

- マグニチュード：7.6
- 発生場所：石川県能登地方（輪島の東北東 30km 付近）ごく浅い

図 1 地震被害推定機能の震源情報入力画面

ただし、発生場所については以下のように処理しました。

- ・ 輪島の東北東30km 付近 ⇒入力画面の「震源指定」で地図上にプロット
- ・ ごく浅い ⇒ 3kmと仮定

震源情報や発生日時を入力後、最下部の「計算開始」をクリックすれば、木造家屋被害数、火災件数などが算定されます。

表 2 には震源に近い 5 市町分の木造家屋被害の推定結果を示しました。

いずれの市町でも甚大な被害が推定されています。

なお、この地震被害推定機能は推定に簡易的な方法を採用しているため得られた結果は「目安」ですが、「木造家屋≒住家」と仮定して表 1 の輪島市、珠洲市の値（全壊＋半壊）と比較すると活動規模を決定する上で実用上十分であることがわかります。

表 2 地震被害推定結果（震源の深さ 3km）

市 町	木造家屋被害（棟） ^(注)
珠洲市	2,679
輪島市	2,421
能登町	1,760
穴水町	395
七尾市	1,651

（注）全壊及び半壊の合計

気象庁はその後、震源の深さを16km に修正しました^(※)。それを用いた被害推定結果が表 3 です。被害数は表 2 から減少しますが、それでも大きな数字であることは変わりません。

（※）「令和 6 年能登半島地震」について（第 3 報）（気象庁、1 月 1 日 21：30）

表3 地震被害推定結果（震源の深さ16km）

市 町	木造家屋被害（棟） ^{（注）}
珠洲市	1,047
輪島市	1,212
能登町	657
穴水町	252
七尾市	1,348

（注）全壊及び半壊の合計

（2）＜地震発生から約15分後＞ 気象庁の推計震度分布図を活用する

ご存知の方も多いと思いますが、気象庁では観測された震度等から推計された震度をメッシュ表示で発表しています。これを推計震度分布図といいます。2023年2月以降はそれまでの1kmメッシュから250mメッシュへとさらに詳しく表示されるようになりました。

さて、図2は2023年奥能登地震（以下「奥能登地震」）と能登半島地震の推計震度分布図を比較したものです。震度6弱以上^{（※1）}の範囲は、能登半島地震の方が圧倒的に広いことが一目瞭然です。また、震度6強のエリアは奥能登地震

では局所的でしたが、能登半島地震では各所に分布しその合計面積は奥能登地震よりも格段に大きなものとなっています。

このことを念頭に置けば、能登半島地震では奥能登地震における石川県内の住家被害（全壊40棟、半壊311棟、一部損壊3042棟）^{（※2）}をはるかに上回る被害が生じていると考えるのが自然です。

このように、推計震度分布図を上手に活用すれば被害規模の早期推定が可能です。

（※1）気象庁震度階級関連解説表では、「耐震性の低い木造建物（住宅）」について以下のように記述されています。

○ 震度5強：壁などにひび割れ・亀裂がみられることがある。

○ 震度6弱：壁などのひび割れ・亀裂が多くなる。壁などに大きなひび割れ・亀裂が入ることがある。瓦が落下したり、建物が傾いたりすることがある。倒れるものもある。（下線は筆者）

このように、一般的に耐震性の低い木造建物（住宅）が傾いたり、倒れたりするのは震度6弱からですので、それ以上の震度の範囲で比較するのが妥当としました。

（※2）Wikipedia 「能登群発地震」による。



令和5年（2023年）奥能登地震

地震発生：2023年5月5日14:42
推計震度分布図発表：同日14:47



令和6年（2024年）能登半島地震

地震発生：2024年1月1日16:10
推計震度分布図発表：同日16:26

図2 二つの地震の推計震度分布図の比較

セラミックヒーターから出火した火災事例

広島市消防局 予防部予防課調査係

1 はじめに

本火災は、リコール発表されているセラミックヒーターから出火した製品火災で、総務省消防庁消防大学校消防研究センター（以下、「消防研究センター」という。）及び独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）の技術支援を受け、出火原因を究明した事例である。

2 火災概要

本火災は、一般住宅居室内において、セラミックヒーターを焼損したものである。

居室内において、当該機器を使用していたところ白煙が噴出したため、庭に持ち出した。数分後、多量の煙と炎の発生を確認したため、家人が119番通報した。早期に発見・製品の移動を行ったことにより、死傷者は発生していない。

（写真1参照）



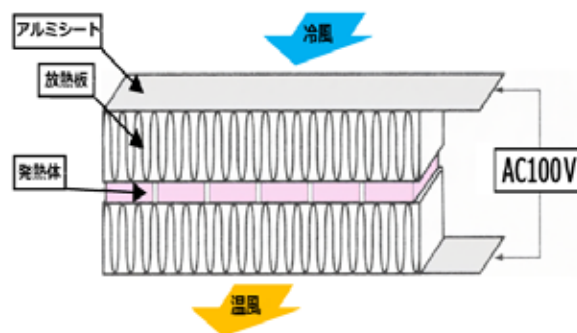
【写真1 焼損品：全景】

3 セラミックヒーター

セラミックヒーターとは非燃焼系暖房器具の1つで、発熱体に電圧をかけることで熱を帯び、ファンの送気で温風を出す電気製品である。

構造は、PTC素子を発熱体に使用し、発熱体をアルミ放熱板とアルミシートで挟み、一体化したものである。アルミシートに電圧をかけると、放熱板を通じて発熱体に電流が流れ発熱する。その後、送風機で送られた空気は、放熱板を通過すると温風となって吹き出す構造である。

（図1参照）



【図1 セラミックヒーターの構造】

4 製品情報

(1) 製品名

セラミックヒーター

(2) 製造・販売期間

2013年9月～2014年3月

(3) 製造・販売台数

23,512台

(4) リコール情報

2016年1月20日発表。製造上の不具合によりヒーター接続部が異常発熱し、火災に至る可能性があることから、リコール対象となっている。なお、販売開始から令和6年3月1日時点までに本製品による火災が8件発生している。

(5) 使用電力

「弱」：600W 「強」：1,200W



【写真2 焼損品：差し刃】

5 出火時の状況（家人の供述）

(1) 出火前の状況

家人がセラミックヒーターの電源を入れ、「強」の状態で使用。

(2) 発見状況

使用開始から約50分後、家人がセラミックヒーターから糸状の白煙が出ていることに気づき、庭に持ち出し数分後、多量の煙と炎の発生を確認。

(3) 通報状況

家人は炎を確認した後、家族に状況を伝え、家族が119番通報を実施。

(4) 初期消火状況

初期消火なし。

6 現場見分状況

セラミックヒーターを見分すると、下方の土台付近は大半が残存しており、上方部分に向かうにつれて黒く変色し、外郭が溶融、変形している。

前面ガード部分について見分すると、内側には一部焼損物が固着しているものの、外側に焼損物等の固着は認められない。

電源コードについて見分すると、コード及び差し刃に焼損や断線等は認められない。

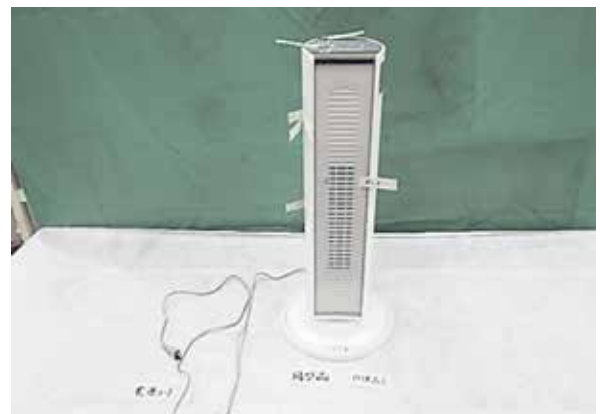
（写真2参照）

7 鑑識見分

見分実施にあたり、製造業者から同型品の提供を受け、焼損品と比較し見分を行う。

(1) 外観の状況

同型品で製品構造を確認すると、本体部分と



【写真3 同型品：前カバー側】



【写真4 同型品：後カバー側】

ベース部分で構成され、本体部分は前面に前カバー及びガード、後面には後カバーがあり、天面には操作盤が認められ、本体部分が首振り可能な構造である。

(写真3、4参照)

焼損品の外観を見分すると、前カバーは上部が前傾しながら溶融しているのに対し、後カバーの下部側面は原形を保持し、ベースに焼損は認められない。ガードは前面に脱落し、ヒーター部がガード上に覆い被さっている。電源コードに焼損は認められない。

(写真5、6参照)



【写真5 焼損品：前カバー側】



【写真6 焼損品：後カバー側】

(2) 内部の状況

同型品の後カバーを取り外すと、上パネルの内側に操作基板があり、その下には上から順に、ファン、ファンモーター及びギヤードモーター

があり、ファンの前側にはヒーター部、その下には電源基板が配置されている。各基板は信号ケーブルにより接続されている。ベースの底面には二重安全転倒スイッチが配置されている。

(写真7参照)



【写真7 同型品：展開状況】

焼損品内部を見分すると、ファンは大半焼失し原形は認められない。

ベースを取り外し、二重安全転倒スイッチを見分するも焼損は認められない。

首振りケース底面の本体取付板を取り外し、内部を見分すると、本体取付板の内側に合成樹脂の溶融物が固着しているが、ケース内部及びケース内の電源コードに焼損は認められない。さらに首振りケースを取り外し、下パネル内部を見分するも焼損は認められない。

(写真8参照)



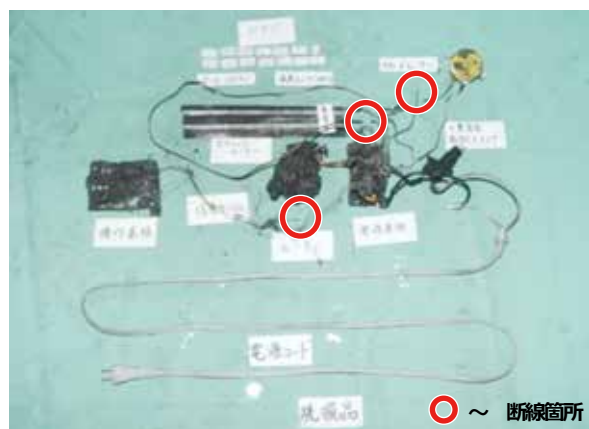
【写真8 焼損品：二重安全転倒スイッチ】

(3) 内部配線及び各部の状況

焼損品の内部配線を見分すると、ギヤード



【写真9 同型品：電気配線】



【写真10 焼損品：電気配線】

モーター、信号ケーブル及びヒーター部のリード線（青）に断線が認められる。露出している信号ケーブルの素線に溶融は認められない。

（写真9、10、図2参照）

ア サーモスタット（恒温器）及び温度ヒューズ

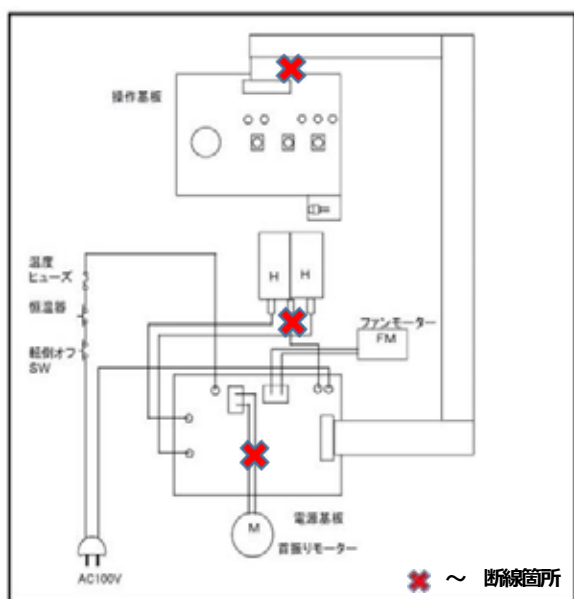
サーモスタットを見分すると、接点に荒れや溶着は認められず、接続端子に溶融は認められない。

温度ヒューズを見分すると、接続端子に溶融は認められず、配線を切断し抵抗値を測定すると、2.598MΩの値を示す。

（写真11、12参照）



【写真11 焼損品：サーモスタット】



【図2 回路図】



【写真12 焼損品：温度ヒューズ】

イ ギヤードモーター及びファンモーター

ギヤードモーターを見分すると、モーター本体に焼損は認められず、リード線接続部のゴムチューブも残存している。リード線の片

方に断線が認められるが溶融は認められない。
(写真13、14参照)



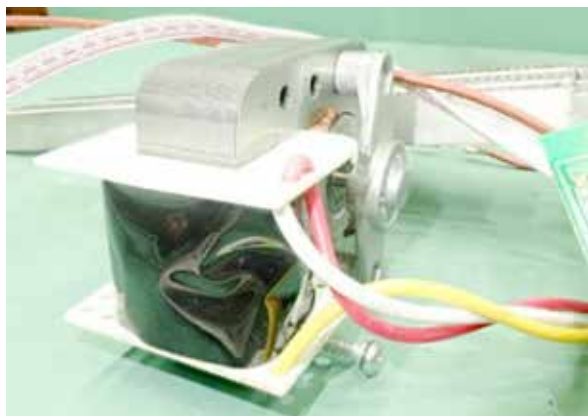
【写真13 同型品：ギヤードモーター】



【写真14 焼損品：ギヤードモーター】

ファンモーターを見分すると、コイル部に合成樹脂の固着物が認められ、鉄心にさびが付着しているが変形、変色は認められない。モーターに接続されているリード線は被覆が残存し、モーター上部には合成樹脂製のファンが一部残存している。

(写真15、16参照)



【写真15 同型品：ファンモーター】

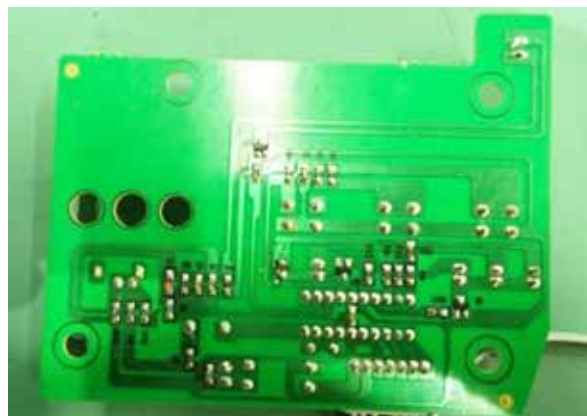


【写真16 焼損品：ファンモーター】

ウ 操作基板及び電源基板

操作基板を見分すると、全体的に焼損し部品面は電子部品が認められない。はんだ面はパターンが露出し一部剥離しているが、パターンの溶融は認められない。

(写真17、18参照)



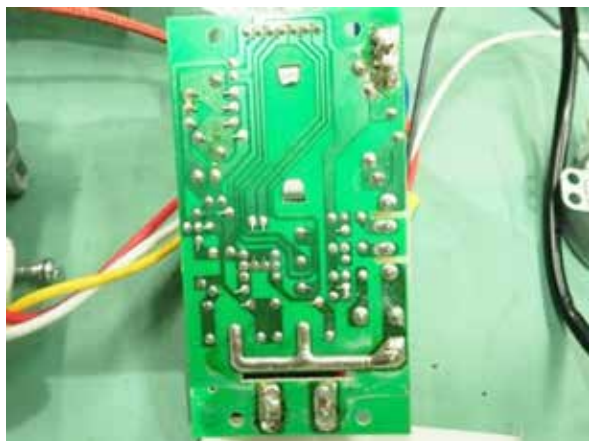
【写真17 同型品：操作基板】



【写真18 焼損品：操作基板】

電源基板を見分すると、全体に焼損が認められるが、電子部品は残存し基板に穿孔は認められない。基板周辺の配線は一部被覆が焼失し、心線が露出しているが、熔融は認められない。

(写真19、20参照)



【写真19 同型品：電源基板】



【写真20 焼損品：電源基板】

エ ヒーター部

製造業者の説明によると、「発熱体は2組あり、1組につき600Wでスイッチで600Wと1,200Wを切り替える。3本のリード線の電流値は、両端の赤色と黄色が6A、青色は最大12Aとなる。」とのことである。

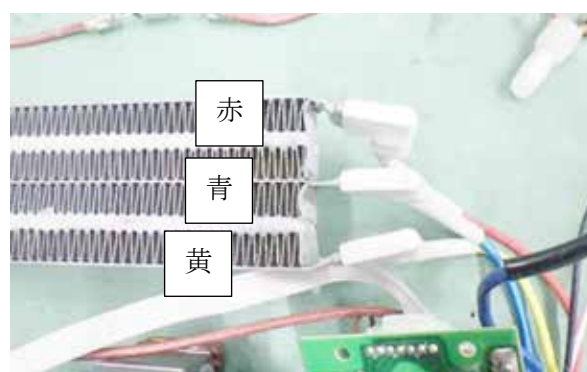
また、リコール内容については、「ヒーター部とリード線は2箇所のハトメで接続する。製造上の不具合によりハトメの接続部分

が接触不良で発熱し、その熱がリード線先端の圧着端子に伝わりリード線が断線、断線箇所でアーク放電が発生し亜酸化銅が生成され異常発熱することが判明し、端子の接続方法を改良した。」と説明する。

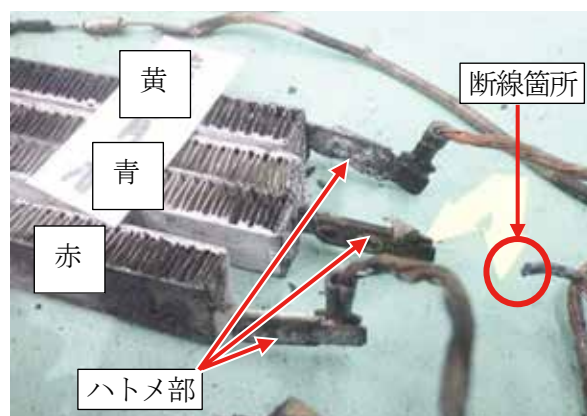
ヒーター部を見分すると、全ての発熱体が放熱板から外れ、発熱体を境に放熱板が3つに分かれている。放熱板に変形、変色及び熔融は認められない。

リード線及び接続端子を見分すると、ヒーター部と接続端子は2箇所のハトメで接続され、接続端子とリード線は圧着端子で接続されている。黄色及び赤色のリード線は端子に接続状態で熔融は認められない。青色のリード線は圧着端子の接続部で断線しており、圧着端子のリード線側は熔融し先端部が焼失している。

(写真21、22参照)



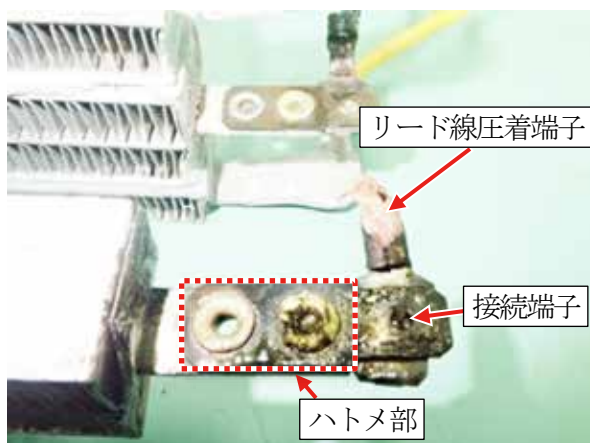
【写真21 同型品：ヒーター部】



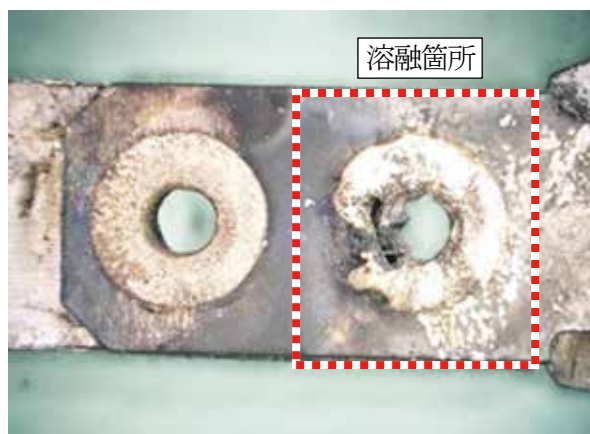
【写真22 焼損品：ヒーター部】

断線している青色のリード線のハトメ及び端子部分をデジタルマイクロスコープにより拡大見分すると、リード線側のハトメに溶融が認められる。

(写真23、24参照)



【写真23 青色リード線端子部】



【写真24 ハトメ部 (30倍)】

リード線圧着端子のカシメ部にはV字状の溶融が認められ、素線とカシメ部の隙間を埋めるように素線の周囲にはルビー色の固着物が認められる。

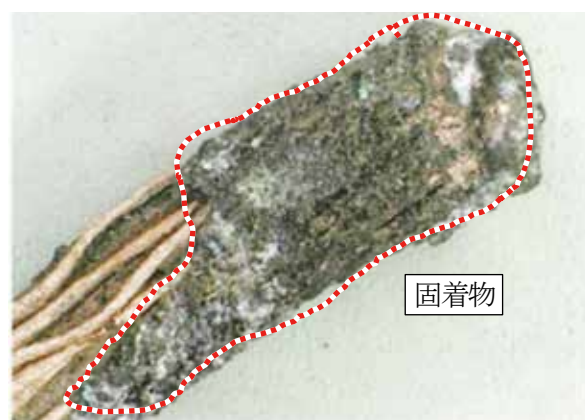
(写真25参照)

青色リード線断線部の固着物を除去し素線の先端部を見分すると、先端部は溶融し、素線の断面にはカシメ部同様のルビー色の固着物が認められる。

(写真26～28参照)



【写真25 青色リード線素線 (50倍)】



【写真26 青色リード線断線部 (50倍)】



【写真27 固着物除去 (200倍)】



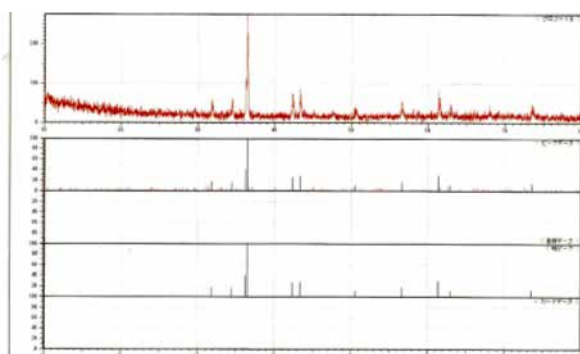
【写真28 素線断面 (500倍)】

8 鑑定

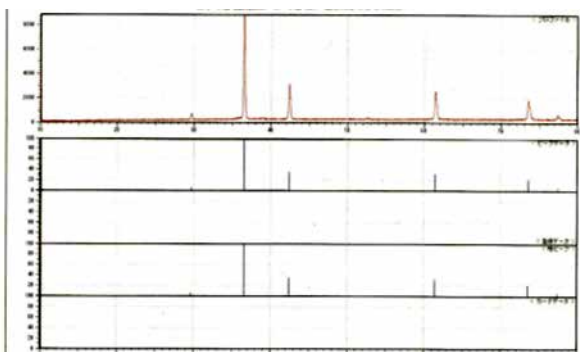
リード線圧着端子のルビー色の固着物について消防研究センターへ鑑定を依頼した。

消防研究センターによりX線回析装置を用いて検査した結果、ルビー色の固着物のスペクトルが亜酸化銅標準試料のスペクトルと非常に類似しており、収去した試料に亜酸化銅の含有が判明した。

(図3、4参照)



【図3 ルビー色の変色物の測量結果データ】



【図4 亜酸化銅の測量結果データ】

9 考察

セラミックヒーター各部から出火した可能性について以下のとおり考察する。

- (1) 後カバーは一部原形をとどめており、ベース及び電源コードに焼損が認められないことから、本体下部から出火した可能性は低い。
- (2) ヒーター部の青色リード線を除く他の配線に溶融は認められず、各接続部、接続端子にも溶

融が認められないことから、これらの半断線、短絡及び接触部過熱による出火は否定できる。

- (3) 操作基板は全体に焼損が認められるが、基板に穿孔及び局所的な焼損は認められないこと。また、仮に基板上でトラッキング又は電子部品の異常で出火した場合、青色リード線の断線及び圧着端子の溶融、焼失が2次的に発生することは考えられないことから、操作基板からの出火は否定できる。
- (4) 電源基板は、基板に穿孔は認められず電子部品も残存していること。また、基板周辺の配線に溶融も認められないことから、電源基板からの出火は否定できる。
- (5) ギヤードモーターに焼損は認められず、ファンモーターにも変形、変色がなくリード線及び上部の合成樹脂製のファンが一部溶融せず残存していることから、各モーターからの出火は否定できる。
- (6) ヒーター部は、青色リード線及び同接続端子に溶融が認められている。

出火直前は「強」の状態で使用し、青色リード線には12Aの電流が流れていたと考えられる。

青色リード線は端子部で素線が溶断しており、リード線の圧着端子は先端部が焼失している。カシメ部及び内側の素線も溶融していることから、同部位で異常発熱したと考えられる。カシメ部内側の素線周囲に亜酸化銅が認められることから、この部位で発熱したと考えられる。

また、ヒーター部と接続端子のハトメも溶融しており、同部位においても接触不良による発熱が起きていたことが考えられる。

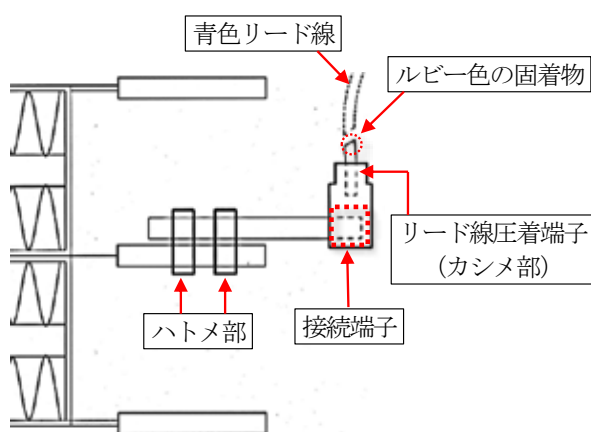
- (7) (1)から(6)の考察から、ヒーター部の青色リード線の接続端子部における発熱により出火した可能性が高い。

また、当該製品のリコール内容は「ハトメ接続箇所 contacts 接触不良が発生しその熱が圧着端子に伝わりリード線が断線、断線箇所であーク放電が発生し亜酸化銅が生成され異常発熱する」と

発表されており、本事案の焼損状況とリコール内容が一致する。

以上のことから、製造上の不具合により、青色リード線接続端子部において接触不良が発生し、その状態で継続使用したことにより、同部位が異常発熱しリード線の被覆などの周囲の可燃物に着火したものと考えられる。

(図5 参照)



【図5 青色リード線端子部詳細図】

10 結論

出火原因は、製造上の不具合により、青色リード線接続端子部において接触不良が発生し、その

状態で継続的に使用したため、同部位の接触抵抗が増加し異常発熱した結果、リード線の被覆などの周囲の可燃物に着火したものと判定する。

11 おわりに

今回の鑑識を経て、今後の課題を2点挙げる。

1点目に、火災発生時の製品特定についてである。本事案は残存した外装部分に製造業者及び型番の記載があったため、リコール情報の特定が容易であったが、仮にその部分が焼失していれば、リコール情報の特定が困難であった。

今後は製品特定の観点から、比較的燃えにくい素材に型番等を刻印する等の対応が必要と思料する。

2点目に、リコール情報が発表されている製品の回収についてである。同様の火災を未然に防ぐにはリコール製品の回収率を上げることが必要である。

市民に自分が購入した製品がリコール対象か否かを消費者庁HPで確認してもらうよう、消防においても広報活動を展開していくことが必要である。

令和5年度予防技術資格者の育成支援及び準備講習会 受講者の予防技術検定合格体験談について

一般財団法人消防防災科学センター消防支援室

1 はじめに

予防技術資格者制度は、予防行政の根幹を支える制度として、消防力の整備指針(平成12年1月20日消防庁告示第1号)が平成17年に改正され、各消防本部及び消防署には予防技術資格者を一人以上配置するものと規定されました(第32条第3項)。

平成26年の改正では、兼務の警防隊員が消防用設備等の設置が必要な共同住宅に立入検査を実施するに当たっては、予防技術資格者である警防要員を充てることとされました(第33条第4項)。

しかしながら、近年、予防業務に関する豊富な知識、技術、経験を持つ予防技術資格者の退職に伴って、消防本部によっては有資格者の不足への対応や資質の向上が課題となっております。

このことから、予防技術資格者の充足を図るため一般財団法人消防防災科学センター(以下「当センター」という。)では、総務省消防庁、全国消防長会、各消防本部等の指導、助言をいただき、平成28年度から予防技術資格者の資格取得支援事業を行っています。

その事業の一環として、予防技術検定を受検する職員の参考となるよう、予防技術検定学習テキストとして「共通科目編」、「防火査察科目編」、「消防用設備等科目編」、「危険物科目編」の4科目編について編集し、受検者を支援しています。

また、受検準備講習会の開催希望も多く、令和5年度は全国消防長会のご協力を得て、全国9ブロック25箇所ですべて予防技術検定受検準備講習会(以下「準備講習会」という。)を実施しました。

2 予防技術検定の概要

(1) 予防技術資格者とは、

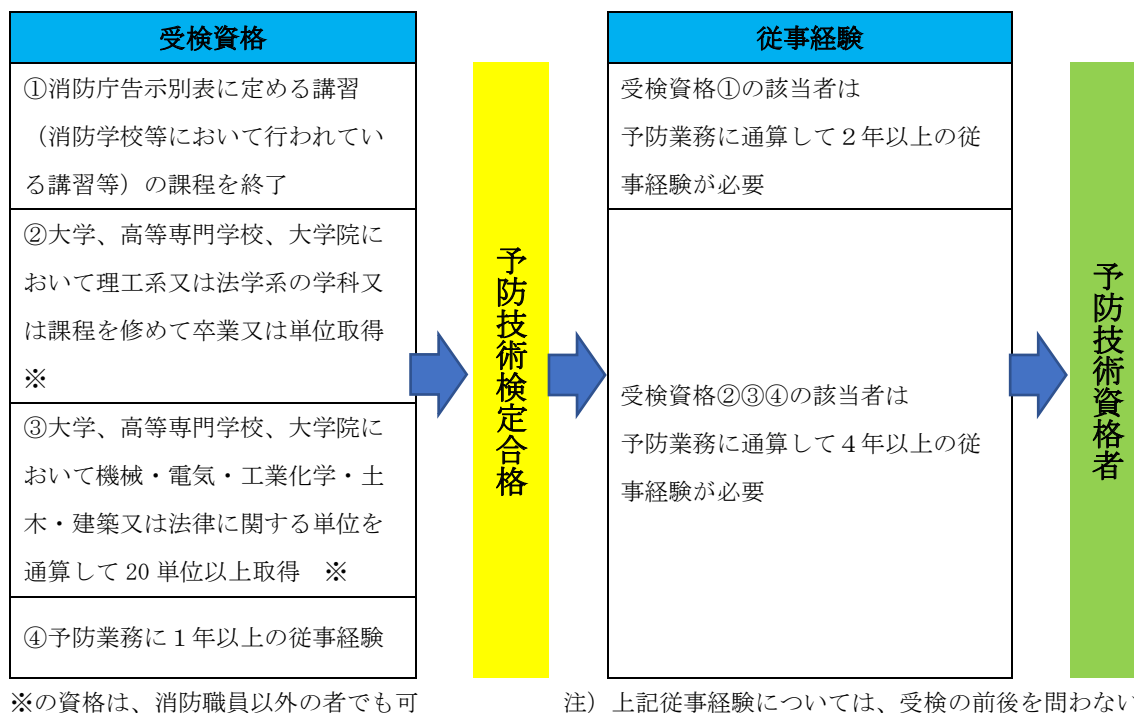
消防本部及び消防署には、建築物の大規模化・複雑化等に伴い高度化・専門化する予防業務を的確に行うため、火災の予防に関する高度な知識及び技術を有する「予防技術資格者」を配置することとされています。

(2) 予防技術検定とは、

予防技術資格者になるためには、予防技術検定に合格する必要があります。

(3) 予防技術検定の受検資格

予防技術資格者になるための受検資格と予防業務従事経験は、次のとおりです。



3 予防技術検定実施機関

一般財団法人 消防試験研究センター

4 令和5年度予防技術検定実施日時

令和5年12月3日(日)

5 合格発表

令和6年1月11日(木)

6 令和5年度の予防技術検定の結果

令和5年度予防技術検定の受検者数、合格者数等については、次のとおりです。

検定区分	受検 申請者数	受検者数	合格者数	合格率
防火査察	4,139	3,903	1,905	48.8%
消防用設備等	2,183	2,018	772	38.3%
危険物	1,808	1,710	809	47.3%
合 計	8,130	7,631	3,486	45.7%

(一般財団法人消防試験研究センターによる。)

7 予防技術検定学習テキスト

予防技術検定の受検促進と合格率の向上を目的に、令和5年度も受検準備に即応した予防技術検定学習テキストとして「共通科目編」等の4科目編について編集、作成しました。

更に、予防技術検定受検のみならず、予防技術資格者の資格取得後の予防業務の現場においても活用できるように配慮しています。

8 準備講習会の開催状況

当センターが開催した、令和5年度の準備講習会の開催状況は次のとおりです。

	ブロック名	開催場所	科目／参加人員（人）			
			防火査察	消防用設備等	危険物	計
1	北海道	旭川市、札幌市	42			42
2	東北	秋田市、仙台市 新潟市	18	16		34
3	関東	高崎市、さいたま市 東京都北区(2回) 横浜市	146	58	49	253
4	東海	名古屋市、岐阜市 四日市市	57	32		89
5	東近畿	金沢市、京都市	34			34
6	近畿	大阪市(2回)、神戸市	76	41	40	157
7	中国	岡山市、広島市	14	11		25
8	四国	高松市	9			9
9	九州	福岡市、北九州市		22	16	38
関東追加		常総市、佐倉市	44			44
計		25箇所	440	180	105	725



【準備講習会の様子】

9 準備講習会受講者の体験談

埼玉西部消防局

受検区分：「防火査察」

氏名 小 西 志 朗

体 験 談

私は昨年まで、救急隊として勤務していました。そのため、なかなか予防業務に携わる機会と動機がなく、予防業務に対して苦手意識がありました。そんな中、本年度から消防隊として勤務していく上で、予防に関しての知識は重要性が高く、苦手意識を克服するためにも予防技術検定を受検しようと思いました。

市販の参考書と問題集を通じて、普段の勉強や仕事で得た知識と経験がどれだけ問題に応用できるか、またどの程度理解しているのかを試される機会となりました。その中で自分の課題や知識不足が浮き彫りとなりました。しかし、消防防災科学センター主催の準備講習会に参加したところ、講師の方が内容の説明や、出題傾向等をわかりやすく解説してくださり、今まで漠然としていた部分の理解を深めることができました。また、防火査察テキストは、ポイントをわかりやすくまとめてあるので、実際の査察業務にも重宝しております。

検定当日は、準備講習会のおかげで十分な準備をすることができたため、自信を持った状態で臨むことができ、検定に合格することができました。しかしながら学習を進めていく中で、予防業務の奥深さを実感し、まだ入り口にしか立っていないと感じました。今後も自己研鑽を忘れず、さらなる検定試験にも挑戦して、自己の成長につなげていきたいと思います。

一宮市消防本部

受検区分：「防火査察」

氏名 森 舞 子

体 験 談

私が予防技術検定を受検したきっかけは、予防業務に関する知識が不十分で、何から勉強すれば良いか悩んでいた時に、当時の上司が受検を勧めて下さったからです。

いざ勉強を始めると、意外にも楽しくなってきました。なぜなら、資格試験に合格するという目標ができたからです。その中でも、違反処理分野は興味を引きました。理由は、大学生の頃に学んだ行政法と関連していると感じたからです。当時は、行政法の内容を具体的に想像することが難しく、理解するのに苦しみました。しかし、予防技術検定の勉強を通して、ようやく以前学んだ行政法と違反処理分野が繋がったと感じました。

勉強は楽しくなってきましたが、問題はなかなか解けるようになりませんでした。受検まで3ヶ月を切った日に予防技術検定受検準備講習会を受講し、模擬試験問題を試したところ、全然解けませんでした。焦りは募る一方、日頃、自宅で十分に勉強時間を確保できないことが悩みでした。なぜなら、当時子どもが2歳で手が離せなかったからです。そのため、通勤電車内や子どもが寝ている間など、空いた時間に勉強するようにしました。また時には休暇を取得し、こっそりお気に入りのカフェで勉強することで、集中できる環境を作っていました。(笑)そして何より受検直前期に上司や同僚が、勉強に費やす時間を作って下さったり対策を練って頂いたことが、合格という結果に結びついたのだと思います。改めてお礼を伝えたいです。ありがとうございました。

予防技術検定を通して勉強したことを、今後の業務に生かせるようにしたいです。

広島市消防局

受検区分：「消防用設備等」

氏 名 青 野 訓 尚

体 験 談

私が予防技術検定受検準備講習を受講した理由は、自身の知識の向上を図るためです。

今年は、広島市で予防技術検定受検準備講習会が開催されるということでしたので、はじめて参加させていただきました。

準備講習会は、検定合格に向けての要点を絞った講習でした。

担当していただいた講師の方から、テキストに沿って予防技術検定で出題されやすい箇所や注意すべき点などを項目ごとに分かりやすく説明していただき、非常に分かりやすい内容でした。

また、出題傾向を基に重要なポイントやアドバイスをいただき、自己学習のみでは見逃しているポイントもありましたので、大変有意義な講習となりました。

講習時に使用するテキストについては、科目ごとに要点が絞られており、通常の予防業務でも活用出来るほどの内容で非常に読みやすく分かりやすい内容でした。

講習後の受検対策は、講習時に説明していただいた出題頻度の高い項目順に計画的に学習し、過去の予防技術検定の問題を解くことにより、出題傾向を徐々に把握でき、効率の良い学習に繋げることができました。

検定時は、講習で重点的に教えていただいた内容に類似した問題も多いように感じました。

講習を受け、計画的に学習できたことが今回の合格という結果に繋がりました。

今後、本講習を通して習得した知識を日々向上させ、予防業務に活かしていきます。

受検区分：「危険物」

氏 名 渡 邊 雄 磨

体 験 談

私は今回、予防技術検定を初めて受検させていただきました。予防業務に従事してから二年目になりますが、危険物に関する知識や業務での経験が少ないことから、検定区分「危険物」を受検しました。予防技術検定を受検するにあたり、テキストを活用した勉強を行っていましたが、テキストの内容で理解しにくいところ、検定対策の不安などがあり、消防防災科学センターが開催している予防技術検定受検準備講習を受講しました。

準備講習では、講師の経験談を交えた解説はとても分かりやすく、内容を深く理解することができました。また、検定の出題傾向や重要なポイントを知ることができ、予防技術検定合格へ自信を持つことができました。

今回の検定は、無事合格することができました。まだまだ、理解していない部分があるので、テキストや法令集の内容をさらに詳しく理解し、今回得た知識を忘れることがないように継続して学習していきたいです。今後は、「防火査察」・「消防用設備等」の合格を目指し、予防に関する知識向上を怠ることなく、日々の業務に取り組んでいきたいと思います。

10 おわりに

予防行政の中核を担う予防技術資格者の確保及び資質の向上は今後も重要課題であることから、当センターでは消防庁の指導の下、全国消防長会、各消防本部と連携しご協力を得て、引き続き資格取得の支援を行ってまいりますので、今後とも当センターに対するご支援、ご協力をお願い致します。



連載
講座

黄 砂

気象予報士（元気象庁） 饒 村 曜

1 増えてきた黄砂と減っている黄砂観測日数

黄砂という現象は、東アジアの砂漠域や黄土地帯から強風で上空高く巻き上げられた多量の砂じんが偏西風に乗って運ばれ、中国東部、朝鮮半島、日本などにゆっくり降下して地表面付近に達する現象で、中国大陸が乾燥する春に多く、空を黄褐色にし、視程障害などの被害をもたらします。黄砂が11～12月に日本へ来ることがないというわけではありませんが、何ととっても春先に一番多くやってきます（図1）。

水平視程（見通せる距離）が短くなる現象のうち、水蒸気が細かい水滴になって大気中に浮いている場合は、水平視程が1km未満の場合が霧、1km以上が靄（もや）となります。水平視程が水滴以外の原因の場合は煙霧と呼ばれ、その原因が

特定できた場合のみ、「黄砂」や「けむり」など、その原因が記録されます。観測員が目視による観測を行っていない気象官署では、黄砂が含まれているかもしれませんが、常に煙霧として記録されます。なお、大規模な黄砂の場合などは、各気象台の判断で目視観測を実施し、地方情報や府県情報に付して発表することになっており、このときは普段は観測していない地方気象台等でも黄砂を観測することになりますが、自動作成されている観測原簿では煙霧と記載されます。

黄砂の飛来日数は、大陸の地表面の状態や上空の風に大きく左右されるために年ごとの差が大きいのですが、昔の黄砂観測日数の月別平年値は、国内76地点の観測で4月が一番多く7.6日、次いで3月の5.7日でした（図2）。その後、2008年に使われていた平年値は、国内59地点の観測で、4月が9.0日、3月6.9日と、測候所閉鎖による観測

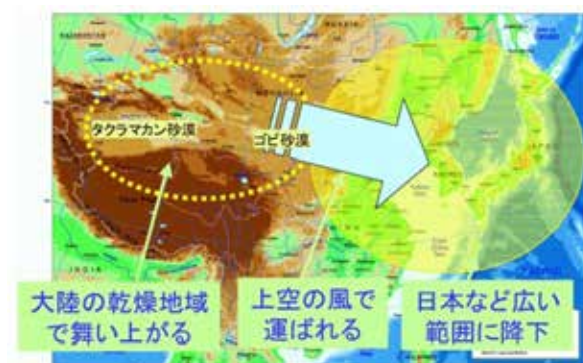


図1 黄砂解説図

出典：気象庁ホームページ

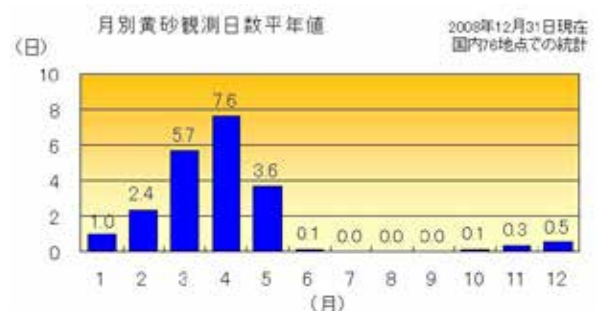


図2 昔の月別黄砂観測日数平年値（2008年12月31日現在のもの）

出典：気象庁ホームページ

地点数減少にもかかわらず、増加しています。これは、中国大陸の都市化や森林伐採で砂漠化が進んだためで、これからも黄砂は増加すると思われます。しかし、気象庁では地方気象台観測の無人化を進めたため、平均値を求めた黄砂の観測地点数は全国11地点と大きく減っていますので、黄砂観測日数の平年値は、数値的には減っています(図3)。

ただ、月別には4月が一番発生多く、次いで3月であることや、春だけでなく晩秋にも黄砂が飛来することがあるなど、定性的には同じ傾向を示しています。

ただ、令和6年4月からは、黄砂の観測が2地点(東京、大阪)になりますので、このような統計はとれなくなります。

2 気象衛星による黄砂観測

発生初期の黄砂は、気象衛星ひまわりの可視画像で灰色に写りますが、日本付近に到達する頃には黄砂が拡散して識別しにくくなります。ただ、黄砂は赤外線の波長により写り方に差がでますので、波長が約 $11\mu\text{m}$ と、波長が約 $12\mu\text{m}$ の赤外線の画像の差をとると(赤外差分画像にすると)、黄砂域が鮮明な白色になります(図4)。

また、平成26年に打ち上げられたひまわり8号以降は、可視光の3つの色(青、緑、赤)で観測して合成し、トゥルーカラー画像と呼ばれる、実際の見た目での観測が加わっています。これは、静止気象衛星としては世界初めてカラー画像での観測で、黄砂や火山の噴火などの観測も可能となっています。このカラー画像での観測が始まるまでは、見やすさのために色を付けて表示するこ

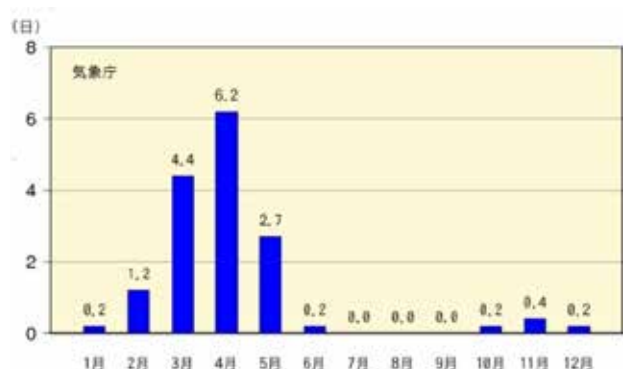


図3 現在用いられている月別黄砂観測日数平年値(1991年~2020年の国内11地点の30年平均値)

出典: 気象庁ホームページ

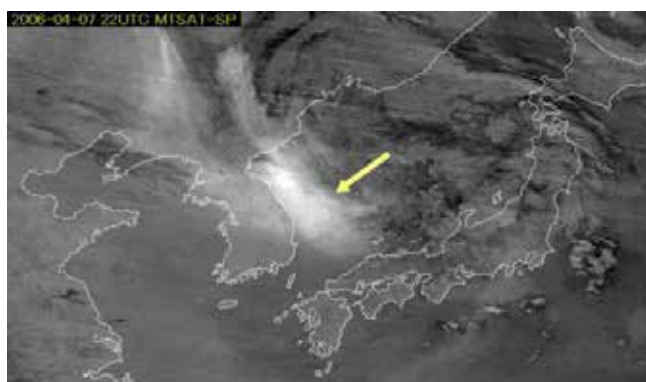


図4 気象衛星ひまわりの赤外差分画像(2006年4月8日7時)

出典: 気象庁ホームページ

とがありましたが、新しい情報が得られていたわけではありません。

黄砂の観測は、人間の目視による観測から気象衛星を用いた観測に大きく変わっています。

3 黄砂予報

気象庁では、交通機関や国民による適切な黄砂対策に資するよう、黄砂に関する観測の実況と予測の結果から、黄砂情報として、黄砂観測実況図を随時発表し、黄砂予測図（4日分の予想）を毎日6時頃頃に気象庁ホームページで発表しています。また、屋外の洗濯物や車などに黄砂が付着することへの対策を呼び掛けたり、視程が5km未満となった場合は、交通への障害が発生するおそれがあるとして警戒を呼び掛けています。

表 黄砂観測（2023年4月12日～14日）

地点名	黄砂観測期間（視程が10キロ未満の時間）
札幌	4月12日16時10分～13日5時50分（10時間10分）
仙台	4月12日17時20分～13日13時00分（なし）
新潟	4月12日15時20分～13日18時30分（9時間50分）
東京	4月13日6時30分～14日7時50分（なし）
名古屋	4月12日17時30分～14日11時30分（7時間20分）
大阪	4月12日17時00分～13日20時00分（なし）
広島	4月12日9時50分～13日16時30分（なし）
高松	4月12日14時00分～13日19時30分（15時間00分）
福岡	4月12日9時40分～13日5時50分（3時間50分）
鹿児島	4月12日13時50分～13日13時00分（2時間20分）
那覇	なし（なし）

出典：気象庁ホームページをもとに筆者作成

2023年4月12日～14日にかけて、日本列島は沖縄を除く各地で黄砂を観測しました（表）。このとき、衛星観測等をもとに地上付近の黄砂分布を見ると、黄砂の発生源に近い日本海や朝鮮半島より、日本列島の濃度が高くなっています（図5）。これは、日本列島は移動性高気圧におおわれ、上空は下降流になっていたことから、中国内陸部で巻き上げられ、偏西風によって日本付近に飛来していた黄砂が地表付近に降下したからです。黄砂によって視程が10km未満になった時間帯が5時間を超えていたのは、高松と札幌、新潟、名古屋で、ほとんどの時間帯の視程は10km以上でした。中でも、黄砂の飛来が少ない札幌で、視程が10km未満だったのがのべ10時間10分もあり、最小視程は5kmというのが目立ちました。

4 越境大気汚染

中国大陸から飛来するのは自然起源の黄砂だけではありません。人工起源の目に見えないPM2.5なども飛来します。PM2.5は、自然起源のもの目で見える黄砂より粒径が小さく、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の目に見えない非常に小さい粒子で、喘息や気管支などの呼吸器系の疾患を引き起こすとされています。中国の経済発展に伴う大気汚染によるPM2.5の増加は、対岸の火事ではありません。

冬季、北京などの大都市では石炭を使った暖房

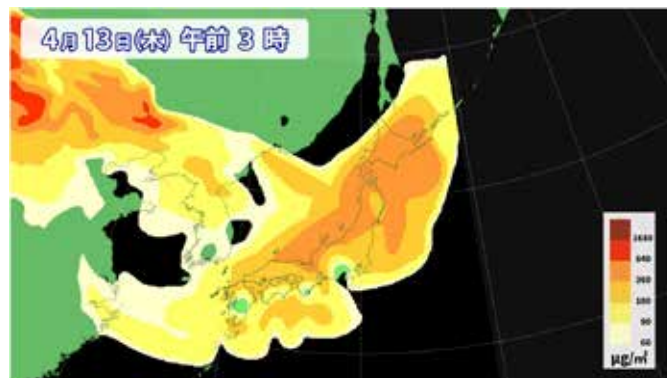


図5 日本列島を襲った黄砂の分布（2023年4月13日3時）

出典：ウェザーマップ提供

が行われますので、街中にPM2.5が充満し、その一部が上空に巻き上げられることから、日本にくるPM2.5は、冬から春が多くなっています。黄砂が多いとPM2.5も多いというわけではありませんが、どちらも日本上空に運ばれた後、地表付近の降りてくることから、日本付近に移動性高気圧が通過して下降流になっているときに多くなります。

隣国から飛来するのは黄砂やPM2.5だけではありません。

汚染物質が大気などによって発生源から遠く離れた地域に運ばれることを越境汚染といい、ヨーロッパや北米では早くから問題となっていました。近年のアジアの経済成長に伴い、アジア上空に褐色雲（黄砂や大気汚染物質など、浮遊する微粒子が高密度に集まった褐色の雲）が目立ってきたため、アジアでも越境汚染が問題になってきました。

光化学スモッグは、工場や自動車の排ガスに含まれる窒素酸化物などが太陽からの紫外線で化学反応を起こして発生するもので、日差しが強く風

が弱い日などに大気中に滞留して、目やのどの痛みなどを引き起こします。日本では昭和40年代（1965年から1974年）をピークとして公害対策が進んで汚染物質の排出が減り、光化学スモッグがほとんど発生していませんでした。しかし、2007年5月8日～9日には、九州北部から関東の20都府県で光化学スモッグ注意報が発表され（大分・新潟両県では観測史上初）、その後もときどき西日本を中心に広い地域で光化学スモッグ注意報が発表されました。大気には国境がありませんので、根本的な防災対策には国際協力が不可欠です。気象庁では光化学スモッグの発生しやすい気象状況が予想される場合にスモッグ気象情報を発表し、都道府県へ通知していますが、2010年（平成22年）春からは越境汚染も加味しました。

黄砂とPM2.5や大気汚染物質、成因もその振る舞いも大きく違いますが、情報入手に努め、健康留意して春を乗り切りたいと思います。

編集後記

今回の春号から、「大雨災害への防災・減災」をテーマとして編集させていただきましたが、本年1月1日に、能登半島において非常に大きな地震が起きました。

これまでの経験で、『大地震の場合、最初の頃の被害状況報告は、全体のほんの一部で、その後になって数十倍になることがあり、被害の大きいところほど被害状況がつかめず、報告もできず、遅れてしまう。』という傾向がみられたため、その後の被害が増えなければよいがと心配しておりました。

最近、世界的にも大地震や火山噴火が頻発しており、日頃から大地震に備えておくことが重要になることから、前回まで、本誌においても大地震を特集として編集を行っていたところです。

能登半島については、数年前から群発地震が発生し、2021年から23年にかけて震度5弱から震度6強の強い地震が発生した後、しばらく沈静化の方向に向かっていたかに思われていたところですが、間をあけて、本年1月に震度7の大地震が発生しました。

当初、発生した能登半島地震がマグニチュード7.6、最高震度7であったという地震の大きさ、強さに驚かされましたが、被害の状況については全容がなかなか掴めない状況でした。その後、能登半島北部での大規模な地盤隆起のほか、広範囲にわたる津波被害の発生、山間部や海底等でがけ崩れの発生、液状化現象の発生、また、大規模な地震火災の発生、そして、能登半島における道路・鉄道の損壊や崩壊、電線・ガス管・水道管の損壊など、非常に多数の且つ幾種類もの地震被害が発生していたことなど、詳しい情報が伝わって来るにつれ、その被害の大きさ、種類の多さに改めて驚かされたところです。

そこで、次回から「大雨災害への防災・減災」と「令和6年能登半島地震災害」の2つの特集を組み編集していきたいと考えております。

本誌が、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。

また、最後になりましたが、今回の大地震、津波、液状化、火災等により被害にあわれた方々には、改めて心よりお見舞い申し上げます。

〔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. 156 2024. 春季号

発行 令和6年5月20日

発行人 荒川 敦

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>

