

解 説

雨による災害危険度を表す指数と警報の危険度分布

大気海洋部気象リスク対策課¹

要 旨

気象庁では、雨による災害危険度を表す「指数」を用いて大雨・洪水警報等を発表するとともに、警報基準等への到達状況を地図上に示した「危険度分布」(キキクル)を提供して、大雨時に自治体が発令する避難指示の発令判断や住民の避難の判断等を支援している。本稿では、指数や危険度分布の歴史的経緯をまとめ、危険度分布の技術的背景となる指数の計算方法から基準の設定までを体系的に解説する。また、指数・危険度分布の精度や利用上の留意点を示し、危険度分布の効果的な活用方法について紹介する。

1. はじめに

気象庁では、平成 20 年(2008 年)以降、大雨・洪水警報等の発表基準として、雨量に代わる災害との対応の良い指数(土壌雨量指数・表面雨量指数・流域雨量指数)の導入を順次進めてきた。これら指数の導入によって警報・注意報等の精度を向上させるとともに、平成 29 年(2017 年)7 月からは、警報基準等への到達状況を地図上に表示した「危険度分布」(キキクル)の運用を開始した。さらに令和 4 年(2022 年)6 月には、大雨特別警報の基準超過状況を黒で表示するなど、警戒レベルに対応した危険度分布の提供を開始した。そして、危険度分布の運用開始から 6 年が経過し、これら危険度分布は、大雨時に自治体が発令する避難指示や住民の避難の判断に活用されるなど、な

くてはならない防災気象情報と 1 つとなっている。

開発当時の担当部署であった予報部予報課水理・防災班(後の気象防災推進室)、そして現在の大気海洋部気象リスク対策課において長年進めてきた、雨量を災害リスクに翻訳する一連の技術開発と防災気象情報の改善は、警戒レベルに対応した危険度分布の提供によって一つの節目を迎えたといえる。今後は、従前から取り組んできた危険度分布の普及啓発や自治体支援等をより一層強化・推進していくことが重要となる。

これまで、指数や危険度分布に関する技術改良や業務改善については、その都度、測候時報や研究時報、予報技術研修テキスト等で報告されてきたが、これらが体系的にまとめられた技術解説資料は存在しない。そこで今回、これまでの技術資

¹ 太田 琢磨(現 気象研究所応用気象研究部)、橋口 祥治、堀田 純司、傍嶋 明(現 大気海洋部予報課)、矢野 敦久(現 水管理・国土保全局砂防部)、長岡 岳(令和 5 年度在籍)、館野 聡、村上 喜章(現 情報基盤部情報利用推進課)、岡本 知也、千々松 聡(現 大気海洋部業務課)、坪井 嘉宏、竹 順哉(令和 6 年 2 月 16 日発行)

料を集約し、指数・危険度分布の総説としてあらためて報告することで、職員の知識・技術の向上及び防災関係機関等の参考に資することとした。

本稿ではまず、これまでの「改善の経緯」(第 2 章)を概観し、あらためて「各指数の最新の計算方法」(第 3 章)や「基準の設定方法」(第 4 章)を包括的に解説する。その後、「指数・危険度分布の精度」(第 5 章)や「利活用方法」(第 6 章)について述べ、最後に「今後の検討課題」(第 7 章)について展望する。

2. 改善の経緯

気象庁では、大雨による自然災害軽減に資するため、昭和 63 年(1988 年)の「レーダー・アメダス解析雨量」「降水短時間予報」の提供(立平, 1988)を皮切りに、大雨に関するさまざまな情報改善に取り組んできた。特に、「雨による災害危険度を表す指数」と「警報の危険度分布」は、大雨災害の発生リスクの高まりを評価する技術として、当時の開発担当部署である予報課水理・防災班(後の気象防災推進室)、そして現在の気象リスク対策課において、30 年以上にわたり開発が進められてきたものである。

第 2.1 図に、近年の主な豪雨災害と大雨・洪水警報等の改善の経過を示した。指数の開発や情報の改善は必ずしも順調に進んだわけではなく、毎年のように各地で発生する豪雨災害やそこで明らかとなった課題への対応という形で、有識者検討会等における提言・報告書等を受けて充実・改善が図られてきた。ここでは、第 2.1 図に示す 3 つの期間に分けて、情報改善の発端となった豪雨災害や検討会等での議論を踏まえた改善の経緯について概観する。

なお、本章では主に大雨・洪水警報等への各種指数の導入や危険度分布の提供に関する経緯について述べ、大雨特別警報の変遷や改善経緯に関しては第 4.5 節で触れることとする。

2.1 土壌雨量指数・流域雨量指数の導入と市区町村を対象とした警報等の運用開始(第 I 期)

大雨災害の危険度予測に関する取組は、まず死

者の多い土砂災害において先行して行われた。1983 年頃から土砂災害の新たな指標の開発に着手し、解析雨量を入力値としたタンクモデルの総貯留高を「SFIR(雨による斜面崩壊インデックス)」として、部内での試験運用を始めた。その後、牧原・平沢(1993)によって、斜面崩壊の免疫性に着目することで適切な基準設定が可能となることが示され、平成 11 年(1999 年)に広島県で発生した大規模な土砂災害を契機に、SFIR は「土壌雨量指数」(岡田, 2002)として正式に運用を開始した。また、平成 12 年(2000 年)には、過去 10 年間にさかのぼって算出した土壌雨量指数の最大値を実況値が上回った場合に「過去数年間で最も土砂災害の危険性が高まっている」と警戒を呼びかける情報改善(土砂災害に関する大雨警報の切替運用)を開始した(岡田ほか, 2001)。平成 14 年(2002 年)からは、国土交通省砂防部と連携して、土砂災害への警戒を呼びかける情報の伝達をより迅速・確実化し、かつ、各種防災活動や住民の警戒避難行動に資する新たな情報の検討を進め、平成 17 年(2005 年)から、都道府県と気象庁が共同で発表する「土砂災害警戒情報」の運用を開始した(立原, 2006)。土砂災害警戒情報は、全国に先がけて、まず鹿児島県において運用をスタートし、平成 19 年(2007 年)までに全ての都道府県で運用を開始した。

一方、洪水に関しては、平成 12 年(2000 年)に発生した東海地方での記録的な大雨を契機に、2001 年頃から、タンクモデルと分布定数系モデルを組み合わせた「分布型流出モデル」の開発に着手した。この洪水に関する新たな指標は、開発時には「洪水指数」と呼んでおり、完成後にいったん「流出雨量指数」と名称を変えたが、最終的には「流域雨量指数」という名称となった。流域雨量指数(田中ほか, 2008)は、水文・水理計算に基づき算出した流量の平方根をとったものであるため、流量の二次式で近似されることの多い河川水位との相関が高いという特徴を持つ。平成 16 年(2004 年)台風第 23 号での事例検証(牧原・太田, 2006)をはじめ、さまざまな河川・事例で流域雨量指数の有効性が明らかとなった(横田,

2007 ; 太田・横田, 2009) ことから, 洪水警報・注意報の発表基準への導入を目指して, 新基準の作成に着手することとした。

流域雨量指数のプロトタイプが完成し, 新たな基準設定の検討を進めていた 2004 年は, 平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨をはじめ 10 個の台風が日本に上陸するなど, 多くの豪雨災害は発生した年だった(原田・阿部, 2006)。これら豪雨災害を受けて, 内閣府では「集中豪雨時における情報伝達及び高齢者等の避難支援に関する検討会」を設置して検討を行い, 平成 17 年(2005 年) 3 月に「避難勧告等の判断伝達マニュアル作成ガイドライン」が策定された。この検討会の報告書において「避難勧告等の判断基準(具体的な考え方)に適合した基準で, 気象官署が警報等の防災関係情報を発表すること」とされたことを踏まえ, 大雨・洪水警報等の発表基準として単に指数を導入するだけでなく, 自治体の避難勧告等の判断に資する警報を発表するための, 新たな考え方による基準設定の検討も同時に進めることとした。

同じ頃, 平成 16 年度国土交通省政策レビューにおいて, 台風や豪雨に関する気象情報についての改善の方向性と具体的方策が示された。本政策レビューでは, 平成 16 年(2004 年)の風水害の経験・反省を踏まえた前述の検討会での議論も考慮され, 避難勧告等の基準に適合した防災気象情報の提供のほか, 市町村等を特定した警報の発表(地域細分化の推進)を目指すこと等が示された。

避難勧告等の判断に資するための, 指数を用いた大雨・洪水警報基準の全国的な見直しと市区町村を対象とした警報の運用に向けた準備には, 膨大な作業と調整を要することが想定された。具体的には, 全国市区町村の新基準の作成・検証をはじめ, 気象台の予報担当者が適切に警報・注意報を発表するための作業環境(予報作業支援システム, 実況監視画面, 報知システム)の整備, 防災関係機関・一般住民への説明・周知, 自治体や報道機関をはじめとする電文利用者における新たな電文形式への対応等である。このため, 改善は 2 段階で実施することとし, 第一段階として, 平成 20 年(2008 年)出水期から, 大雨及び洪水警

報・注意報の発表基準に, 従来の 24 時間雨量に代えて, 土壌雨量指数及び流域雨量指数を導入した。まずは災害との関連性の強い指数を導入することで, より適切なタイミングで, それぞれの災害に対して警戒が必要な地域を絞って警報を発表できるようにするという狙いである。そして, 平成 22 年(2010 年)出水期からは, 警報・注意報の細分区域を原則市区町村ごととし, 発表対象区域を全国 375 区域から 1777 区域に細分した(2010 年 5 月時点)。これら改善によって市区町村が行う避難勧告等の防災対応の判断や住民の自主的な避難行動を支援するための仕組みが整ったことになる。

市区町村を対象とした警報の運用開始に至るまでの経緯については, 佐々木(2011)に詳しくまとめられているので, 興味がある読者はそちらを参照されたい。

2.2 浸水害及び洪水に関する警報等の改善と危険度分布の運用開始(第Ⅱ期)

平成 20 年(2008 年)の流域雨量指数の実用化により, 洪水に関する情報の改善には大きな進展が見られたが, 大雨警報(浸水害)の発表基準については依然として雨量(1 時間雨量, 3 時間雨量)を使い続けていた。浸水に関する新たな指標についても, 流域雨量指数のプロトタイプ(洪水指数)ができた 2004 年頃には発想としてはあったが, 本格的に開発に着手したのは 2010 年以降である。この浸水に関する新たな指標は, 開発時には洪水との並びで「浸水指数」と呼んでいたが, 完成後にいったん「浸水雨量指数」と名称を変え, 最終的に「表面雨量指数」という名称となった。表面雨量指数の計算は, 土壌雨量指数や流域雨量指数と同様, タンクモデルをベースとした手法を採用しており, これによって概念的には, 「タンクモデルを柱として 3 つの指数—土壌雨量指数(タンク総貯留高), 表面雨量指数(タンク流出量), 流域雨量指数(タンク流出量をもとに流下・合流・分流)を包括的に算出している」という説明が可能となった。表面雨量指数の計算には土地利用や地形勾配などの浸水の素因に関わる情報が考慮

されており、その特徴として短時間に降る局地的な大雨による浸水害発生との相関が高いことがあげられる。太田・牧原（2015）により、表面雨量指数は1時間雨量や3時間雨量に比べ、対象災害の捕捉状況を改善したうえで空振りを大幅に減らすことが可能であることが統計的に示されたことから、2014年頃から、大雨警報（浸水害）の基準指標への導入を本格的に検討することとなった。

なお表面雨量指数の開発に際しては、並行して流域雨量指数の精緻化（太田，2017）の検討も進められた。ここで精緻化とは第2.1表に示す3つの内容を指すが、これにより、急激な水位上昇を示す中小河川の危険度の高まりをさらに的確に表すことができるようになった。

表面雨量指数の導入と流域雨量指数の精緻化により、大雨警報・洪水警報の基準要素は以下のとおり変更することとした。

- ・ 大雨警報（浸水害）・大雨注意報の基準は、雨量（1時間雨量，3時間雨量）から表面雨量指数に変更。
- ・ 湛水型の内水氾濫を対象に設定する洪水警報の複合基準は、流域雨量指数と雨量（1時間雨量，3時間雨量）の組み合わせから流域雨量指数と表面雨量指数の組み合わせに変更。
- ・ 流路長15km未満の河川の外水氾濫については、洪水警報・注意報の雨量基準（1時間雨量，3時間雨量）でカバーしてきたが、流域雨量指数の精緻化に伴い、多くの中小河川が

指数計算対象となったことから、雨量基準は廃止。

これら変更によって、大雨及び洪水警報・注意報の発表基準は、土壌雨量指数，表面雨量指数，流域雨量指数という「災害との相関の高い指数」のみとなり、基準指標として長く用いてきた雨量は廃止されることとなった。なお、表面雨量指数の導入や流域雨量指数の精緻化に伴う全国的な基準見直しを機に、浸水や洪水の基準に関して「警報基準よりも一段高い基準」を新たに設けた。これは、毎年のように発生する記録的な大雨に対し、警報が発表された後の更なる警戒呼びかけ等への活用を想定して設定したもので、危険度としては「土砂災害警戒情報の発表基準」に相当するものである。

ここまでが指数や基準に関する2010年以降の技術的な検討である。ここからは、実際の豪雨災害やそれを踏まえた各検討会の提言も交えながら、危険度分布の提供開始に至るまでの経緯を述べる。

■ 交通政策審議会気象分科会提言『『新たなステージ』に対応した防災気象情報と観測・予報技術のあり方』（2015年7月）

時間雨量が50mmを上回る豪雨が全国的に増加しているなど、近年、雨の降り方が局地化・集中化・激甚化していること等を踏まえ、国土交通省は「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」（2015年1月）をとりまとめ、「住民が防災情報をより自らに関わる情報として認識できる

第 2.1 表 流域雨量指数の精緻化に伴う主な変更。

	精緻化前	精緻化後
対象河川の拡大	国土数値情報に登録されている河川のうち、流路長が15 km以上の河川 (4,002河川)	国土数値情報に登録されている全ての河川 (21,394河川 [※])
計算格子の高解像度化	5 km格子	1 km格子
計算間隔の高頻度化	30分毎	10分毎

※平成29年（2017年）当時

よう、区域をより細分化して情報を提供することが必要である」という方向性が示された。

気象庁では、平成 25 年（2013 年）から、土砂災害警戒判定メッシュ情報（後の「大雨警報（土砂災害）の危険度分布」）の提供を開始していたが、交通政策審議会気象分科会における提言『『新たなステージ』に対応した防災気象情報と観測・予測技術のあり方』（2015 年 7 月）において、「土砂災害以外についても、警報の発表判断で用いるための適切な指数を導入し、その指数の活用により危険度を段階的に表した警戒判定メッシュ情報の更なる拡充にも取り組むべき」、「メッシュ情報と、予め都道府県が指定した土砂災害警戒区域等の危険な場所とを重ね合わせることで、避難勧告等の発令対象区域を絞り込む」といった対応策が示された。

■ 中央防災会議「水害時の避難・応急対策検討ワーキンググループ」

平成 27 年 9 月関東・東北豪雨では、鬼怒川（洪水予報河川）の堤防決壊による大規模な浸水被害が発生しただけでなく、茨城県の八間堀川や宮戸川、宮城県の渋井川といった洪水予報河川・水位周知河川以外（当時）の河川でも堤防決壊等が生じ、河川沿いの住宅が流失するなど甚大な被害が生じた。

この災害を受けて中央防災会議の下に設置された「水害時の避難・応急対策検討ワーキンググループ」では、「小河川は水位上昇が極めて速いため、水防団や住民からの通報があった時には、既に氾濫が始まっていることが多く、その時点から立退き避難するとかえって危険である」という課題が指摘されており、その対応として「累積降雨や予報等から危険度を予測するような技術開発を推進すべきである」との提言がなされた。これは、のちの洪水の危険度分布の提供開始につながる事となった。

■ 避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドラインに関する検討会

平成 28 年（2016 年）台風第 10 号による大雨で

は、二級河川である小本川が氾濫し岩手県岩泉町の高齢者福祉施設の入所者 9 名が亡くなったほか、北海道及び東北地方の各地で洪水予報河川・水位周知河川以外（当時）の河川でも再び大きな被害が発生した。

この災害を受けて内閣府により設置された「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドラインに関する検討会」の報告書（2016 年 12 月）では、「水位計は被災地域の下流に 1 カ所あるのみであり、上流側の水位を参考にして避難タイミングを設定すること等が困難な状態であった」という課題が指摘された。当時、気象庁では、精緻化した流域雨量指数と新たに設定した基準によって算出される洪水危険度の分布情報（警戒メッシュ情報）の検討を進めていたが、そのような中、このような痛ましい災害が発生した。

事後に当時の指数等の状況を検証したところ、小本川が氾濫して高齢者福祉施設に大量の水が流れ込んできたとされる時刻の約 1 時間前の時点で、精緻化した流域雨量指数が「警報基準を大きく超過する基準」に予測で到達していたことが確認された。この検証結果を踏まえ、同報告書において「避難勧告等の発令基準をよりの確にするため、河川管理者と気象台等が連携して、流域雨量指数の活用等を検討すべきである」という対策が明記されることとなった。

このような検討会における議論のもと、「避難勧告等に関するガイドライン」（内閣府：2017 年 1 月）では、中小河川において水位が急上昇する前の早い段階から避難勧告等の発令を可能とするため、水位の実況値に加え、その後の水位上昇の見込みに関する情報として洪水の危険度分布（流域雨量指数の予測値）等を活用することが新たに追記された。

これら各種検討会等での検討・議論を踏まえ、気象庁は、平成 29 年（2017 年）7 月から、従来の土砂災害警戒判定メッシュ情報（名称を「大雨警報（土砂災害）の危険度分布」に変更）に加え、「大雨警報（浸水害）の危険度分布」及び「洪水警報の危険度分布」の一般提供を開始した。また、

大雨警報等の発表基準への表面雨量指数の導入や流域雨量指数の精緻化等の改善をあわせて実施し、大雨・洪水警報の精度向上を図った。

以上が、市区町村を対象とした警報の運用開始以降の、指数に関わる主な防災気象情報改善の取組である。災害との相関の高い指数の警報基準への導入と危険度分布の提供によって、市町村長の避難勧告や住民の主体的避難の判断を支援するための取組に大きな進展が見られたものの、この改善以降も幾度となく甚大な災害が発生しており、引き続き、危険度分布の精度向上とともに、利活用促進や普及啓発にも取り組むことになる。

2.3 利活用促進の取組と警戒レベルへの対応 (第Ⅲ期)

危険度分布の運用開始(2017年7月4日)の翌日、後に「平成29年7月九州北部豪雨」と名称を定めることとなる大雨によって、山地部を流れる中小河川である福岡県赤谷川などで氾濫が発生し、多くの人的被害を伴う甚大な被害が生じた。この災害を受けて、内閣府に「平成29年7月九州北部豪雨災害を踏まえた避難に関する検討会」が設置され、現地調査やヒアリングで得られた情報をもとに、関係省庁に対して今後求められる対応が取りまとめられた。具体的には、地域防災力の強化として「災害発生との関連の強い“危険度分布”等の新たな情報の一層の理解・活用に向け、周知活動などの平時からの取組を促進」すること、避難勧告の発令・伝達の強化として「洪水予報河川・水位周知河川以外の河川について市町村による避難勧告等の発令基準の策定を促進」すること等が示された。そこで気象庁では、流域雨量指数の予測値や洪水警報の危険度分布の活用に関する研修や防災ワークショップの実施等、利活用促進の取組の一層の強化を図った。また、総務省消防庁においても「洪水警報の危険度分布」の変化と実際の河川氾濫の状況の関連性等の検証結果(総務省消防庁、2018)を全国の都道府県に対して通知するなど、関係省庁が一体となった普及啓発の取組も実施された。さらに、情報の利活用促進においてはデータ利用環境の充実も重要であ

ることから、テレビ報道や防災関係のアプリ等において洪水警報の危険度分布をより一層活用してもらえるよう、平成30年(2018年)5月からは、新たにシェープファイル形式によるデータ配信を開始した。

平成30年(2018年)7月には、西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な大雨となり、河川の氾濫、浸水害、土砂災害等が各地で発生し、死者・行方不明者数は200名を超えるなど、近年稀にみる甚大な災害となった。「平成30年7月豪雨」と名称を定められたこの豪雨事例では、気象庁が大雨特別警報を発表する可能性があるとの記者会見を行う等、重大な災害の起こるおそれ著しく高くなるため厳重な警戒が必要であることはマスメディア等を通じて事前に広く伝えられ、多くの被災地では自治体から避難勧告等による避難の呼びかけも行われていた。このように住民の避難行動を促す情報は出されていたものの、避難行動をとらず自宅に留まる等により、多くの方が亡くなるという結果となった。この豪雨災害を教訓とし、激甚化・頻発化する豪雨災害に対して、避難対策の強化を検討するため、中央防災会議防災対策実行会議の下に「平成30年7月豪雨による水害・土砂災害からの避難に関するワーキンググループ」が設置された。ワーキンググループ報告書(2018年12月)では、課題の1つとして「多種の情報ととるべき行動の関係が住民に理解されず、防災情報が避難行動に結びついていない」ことが示された。そして、実施すべき主な取組として、住民がとるべき行動を5段階に分けた警戒レベルと避難情報との対応を明確にするだけでなく、「住民が自ら行動をとる際の判断に参考となる情報」(防災気象情報等)に関しても、参考となる警戒レベルが分かるように発信すべきであるとされた。この提言を受け、国全体の取組として、令和元年出水期から、避難情報等に「警戒レベル」を導入するとともに、危険度分布等の防災気象情報に関しても「警戒レベル相当情報」として位置づけることで、警戒レベルとの関連が明確化された。

その後、東北、関東甲信越を中心に広域かつ甚

第 2.2 表 防災気象情報の伝え方に関する検討会を踏まえて実施した危険度分布の改善事項。

実施時期	改善内容	
令和元年6月	土砂災害の危険度分布の高解像度化	5 kmメッシュ単位から1 kmメッシュ単位に高解像度化
令和元年7月	危険度分布の通知サービス	危険度分布等が示す危険度の変化を伝えるプッシュ型の通知サービスを事業者と連携して実施
令和元年12月	危険度分布の表示改善	危険度分布に洪水浸水想定区域や土砂災害警戒区域等のリスク情報を重ね合わせて表示できるよう改善
令和2年5月	洪水警報の危険度分布の表示改善	湛水型内水氾濫の危険度を、本川流路の周辺にハッチをかけて表示
令和3年3月	危険度分布の愛称を「キキクル」に決定	危険度分布の認知度を上げるため、危険度分布の愛称を「キキクル」として周知広報
令和3年10月	最大危険度予測	1日先までの雨量予測を用いて算出した最大危険度予測の運用を開始（令和4年台風第14号時の記者会見ではじめて活用）

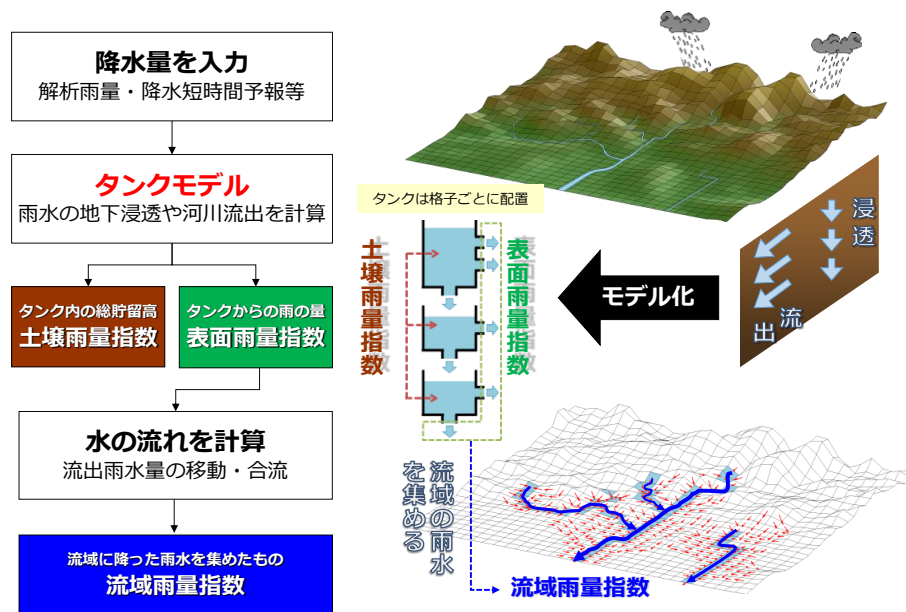
大な被害をもたらした令和元年東日本台風（台風第 19 号）を受けて設置されたワーキンググループ（令和元年台風第 19 号等による災害からの避難に関するワーキンググループ）では、避難勧告・指示のあり方に関する制度的な検討の必要性が示された。これを踏まえ、令和 3 年（2021 年）には災害対策基本法が改正され、警戒レベル 4 が避難指示に一本化されるとともに、警戒レベル 5 緊急安全確保の運用が新たに始まった。このような避難情報の制度変更に対応するべく、気象庁においても令和 4 年（2022 年）6 月から、危険度分布の警戒レベル 4 相当を「危険」（紫）に統合するとともに、警戒レベル 5 相当の「災害切迫」（黒）新設して、警戒レベルとの関連をより分かりやすく伝えるようにする改善を行った。

以上は政府全体の取組における気象庁としての対応であるが、気象庁自身も「平成 30 年 7 月豪雨」「令和元年東日本台風」「令和 2 年 7 月豪雨」等の甚大な豪雨災害を受けて、学識者、報道関係者、自治体関係者、関係省庁から構成する「防災気象情報の伝え方に関する検討会」を開催し、防災気象情報の伝え方を中心に改善方策の検討を行った。第 2.2 表に、検討会での議論を踏まえて実施した危険度分布に関する改善事項を示す。

以上、各豪雨災害や検討会等での議論を踏まえた防災気象情報の改善、とりわけ大雨・洪水警報の改善と危険度分布の運用開始・改善に至る背景や経緯について詳しく述べてきた。令和 4 年（2022 年）6 月の警戒レベルに対応した危険度分布の提供によって、自治体による避難情報の発令や住民の避難の判断を支援するための防災気象情報の改善の取組は一つの節目を迎えたといえ、今後は利活用促進や普及啓発の取組がより一層重要となってくる。一方で、モデルの高度化や基準見直し等、大雨・洪水警報や危険度分布そのものの精度向上に関する取組は今後も継続して実施していく必要がある。

3. 雨による災害危険度を表す指数

降雨によってもたらされる土砂災害、浸水害、洪水の危険度の高まりを定量化するためには、雨水の土壌への浸透・貯留や河川への流出といった過程を適切に取り扱う必要がある。気象庁では流出モデルの 1 つであるタンクモデルを採用し、土砂災害、浸水害、洪水それぞれの災害発生リスクに対して、土壌雨量指数、表面雨量指数、流域雨量指数の 3 つの指数を計算している。



第 3.1 図 タンクモデルと 3 つの指数.

第 3.1 表 土壤雨量指数・表面雨量指数・流域雨量指数の計算仕様 (2023 年 3 月現在).

	土壤雨量指数	表面雨量指数	流域雨量指数
対象格子 対象河川	<ul style="list-style-type: none"> 陸上格子 (約38万格子) 1格子 緯度0.00833度×緯度0.0125度 (約1km四方) 	<ul style="list-style-type: none"> 陸上格子 (約38万格子) 1格子 緯度0.00833度×緯度0.0125度 (約1km四方) 	<ul style="list-style-type: none"> 計算対象格子 (約44万格子) 1格子 緯度0.00833度×緯度0.0125度 (約1km四方) 全国約22,000河川
流出計算	<ul style="list-style-type: none"> 直列三段タンクモデル (1km格子毎、タイムステップ10分) 	<ul style="list-style-type: none"> 非都市域: 直列三段タンクモデル (1km格子毎、タイムステップ10分) 都市域: 直列五段タンクモデル (1km格子毎、タイムステップ1分) 	<ul style="list-style-type: none"> 非都市域: 直列三段タンクモデル (1km格子毎、タイムステップ10分) 都市域: 直列五段タンクモデル (1km格子毎、タイムステップ1分)
河道計算	/		<ul style="list-style-type: none"> マンニングの平均流速公式+連続の式 河川流路に沿って、1km格子をさらに6分割した区間ごとに計算 (平均的には約170m間隔に相当、計算領域は約260万領域、タイムステップ1分)
予報時間 入力雨量	<ul style="list-style-type: none"> 実況解析: 解析雨量・速報版解析雨量 (10分間解析雨量含む) 6時間先までの1時間毎の予想: 速報版降水短時間予報 30時間先までの1時間毎の予想: MSM平均降水量ガイダンス MSM最大降水量ガイダンス 	<ul style="list-style-type: none"> 実況解析: 解析雨量、速報版解析雨量 (10分間解析雨量含む) 1時間先までの10分毎に予想: 降水ナウキャスト 6時間先までの1時間毎の予想: 降水短時間予報 30時間先までの1時間毎の予想: MSM平均降水量ガイダンス MSM最大降水量ガイダンス 	<ul style="list-style-type: none"> 実況解析: 解析雨量、速報版解析雨量 (10分間解析雨量含む) 1時間先までの10分毎に予想: 降水ナウキャスト 6時間先までの1時間毎の予想: 降水短時間予報 30時間先までの1時間毎の予想: MSM平均降水量ガイダンス MSM最大降水量ガイダンス
計算頻度	<ul style="list-style-type: none"> 実況解析: 10分毎 6時間先までの1時間毎の予想: 10分毎 30時間先までの1時間毎の予想: 1時間毎 	<ul style="list-style-type: none"> 実況解析: 10分毎 1時間先までの10分毎の予想: 10分毎 6時間先までの1時間毎の予想: 30分毎 30時間先までの1時間毎の予想: 1時間毎 	<ul style="list-style-type: none"> 実況解析: 10分毎 1時間先までの10分毎の予想: 10分毎 6時間先までの1時間毎の予想: 30分毎 30時間先までの1時間毎の予想: 1時間毎

第 3.1 図はタンクモデルと 3 つの指数の関係を示した模式図である。タンクモデルの入力となる降水量データには解析雨量, 降水短時間予報等を用いている。概念的には, タンク内にたまっている水量が土壤雨量指数, タンクから流れ出る水量

が表面雨量指数, タンクから流れ出た水量を流域内で集めたものが流域雨量指数に該当する。第 3.1 表に, 現業運用している各指数の計算仕様を示した。ただし, この仕様は 2023 年 3 月時点のものであり, 今後の指数の高度化によって変更さ

れる可能性があることに留意されたい。

本章ではまず、タンクモデルの入力となる降水量データとその入力方法について説明した後、各指数で用いるタンクモデルについて述べる。その後、土壌雨量指数、表面雨量指数、流域雨量指数それぞれの計算方法と特徴について解説する。

3.1 降水量データ

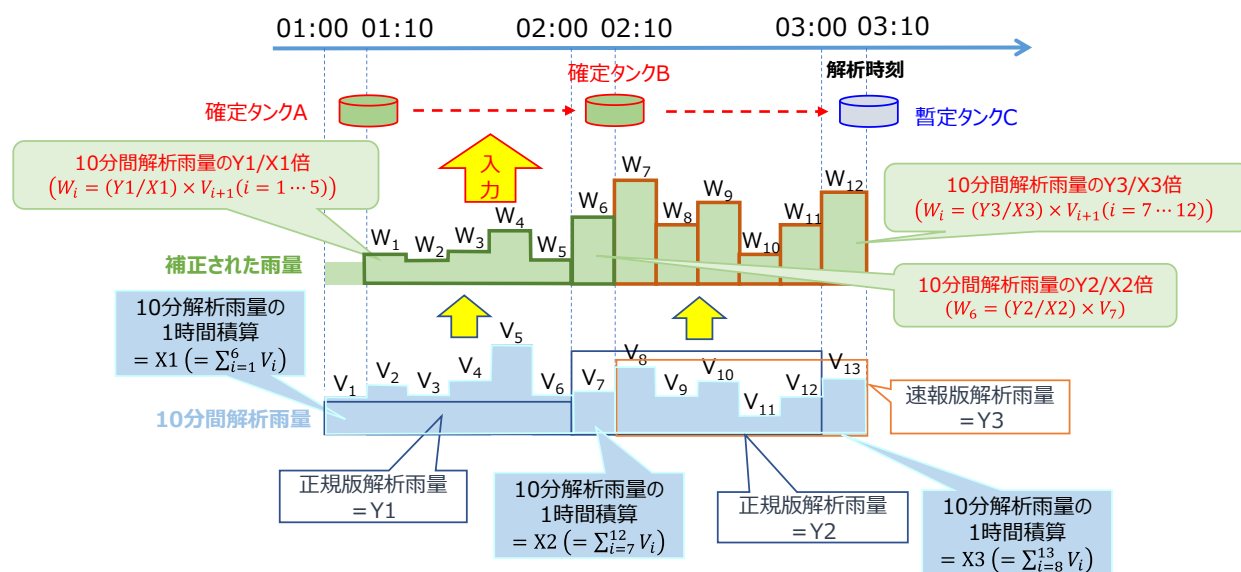
土壌雨量指数、表面雨量指数、流域雨量指数の算出には、入力値として、詳細な時空間分解能をもつ降水量データが必要となる。指数の計算分解能が基準地域メッシュ（JIS X 0410 で定義される標準地域メッシュの第3次地域区画：以下3次メッシュ）に相当する約1 km 四方（以下、単に1 km 格子と記述する）であることから、降水量データについてもそれと同等の空間分解能が望ましい。また、時間的にはタンクモデルの積分時間間隔である10分程度の分解能を有することが望ましい。ただし、時空間的に低分解能のデータであっても、適当な内挿処理等を施すことで指数を算出することは可能である。例えば、5 km 格子のデータを1 km 格子全て同じ雨量としたり、1時間雨量データを6等分して10分雨量としたりして、タンクモデルに入力することもできる。

気象庁では、各指数（タンクモデル）の入力となる降水量として、解析計算には解析雨量を、予

測計算には降水ナウキャスト、降水短時間予報、MSM 降水量ガイダンス等を入力している（第3.1表）。以下では、危険度分布の精度に直接関係する解析雨量と降水短時間予報の入力方法について詳しく述べる。

解析雨量及び降水短時間予報には、速報性を重視して利用可能な観測データを用いて解析したデータ（以下「速報版」と、より多くの観測データを用いて解析したデータ（以下「正規版」）の2つのデータが存在する（永田, 2019; 一川, 2019）。速報版は時間的な制約により、雨量計・レーダーの観測値など利用できるデータが限られ精度面では正規版に比して若干低下する場合はあるが、10分毎の高頻度で日本全国の雨量分布が得られる大きい利点がある。一方で、正規版は30分毎と作成頻度は低下するものの、速報版と比して多くの観測値等を反映することができ、速報版に比べ、より高精度の雨量分布を得ることができる。このような双方の雨量データの利点を活かすため、指数への入力に際しては、速報版・正規版の解析雨量、降水短時間予報を併用することにより、速報性と精度の両立を図っている。

第3.2図に、指数の解析計算における雨量の入力方法を示した。解析計算では速報版で得られる10分間解析雨量 V （青の棒グラフ）を用いるが、



第 3.2 図 各指数解析値（実況値）計算で用いる 10 分間解析雨量の補正。

そのままタンクモデルに入力するのではなく、正規版及び速報版で得られる 1 時間解析雨量 (Y1, Y2, Y3) による補正を行ったうえで、補正された 10 分間雨量 W (緑の棒グラフ) を入力するようにしている。こうすることで、10 分毎の降水変動(降水の強弱)を反映しつつ、より精度の高い雨量をタンクモデルに入力できるようになり、局地的大雨によって発生する浸水害や中小河川の急激な水位上昇への的確な対応が可能となることが見込まれる。

3.2 タンクモデル

タンクモデルとは、流域を幾段かのタンクに置き換え、タンクに 1~2 個の横穴と 1 個の底穴を設けて、横穴からの流出を河川流出、底穴からの

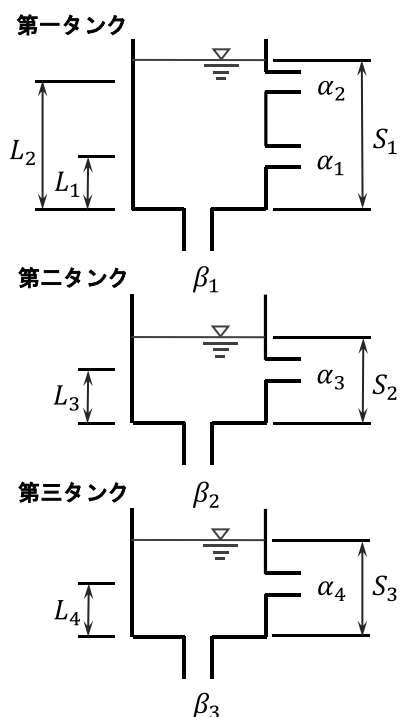
流出をより深層への浸透になぞらえたモデル (概念モデル) である。

気象庁では、各指数の計算に直列三段タンクモデルと直列五段タンクモデルを用いている。いずれのタンクモデルも、対象領域は 1 km 格子程度の流域を想定したものである。

直列三段タンクモデルは Ishihara and Kobatake (1979) をベースとしたもので、土壌雨量指数、表面雨量指数、流域雨量指数のそれぞれで使用している。ただし、モデルパラメータは土壌雨量指数と表面雨量指数・流域雨量指数とでそれぞれ異なる値を用いており、また、表面雨量指数・流域雨量指数のタンクモデルには一部改良も加えている。

直列五段タンクモデルは主に都市域を対象としたモデルで、表面雨量指数・流域雨量指数の計算に用いている。

本節では、それぞれのタンクモデルの計算方法や特徴などを解説する。



第 3.3 図 土壌雨量指数の算出で用いる直列三段タンクモデル。

3.2.1 直列三段タンクモデル (土壌雨量指数)

土壌雨量指数の計算には、Ishihara and Kobatake (1979) の直列三段タンクモデルを用いている (第 3.3 図)。下層タンクへの浸透量や横穴からの流出量は、タンクの水位に比例する。第一タンクには 2 つ、第二タンク及び第三タンクには 1 つの流出孔があり、それぞれ一定の水位を超過した場合に側面からの流出が発生する。Ishihara and Kobatake (1979) のタンクモデルでは、第一タンクからの流出は表面流出を、第二タンクからの流出は表層浸透流出を、第三タンクからの流出は地下水流出過程を表す。

なお、土壌雨量指数の算出では全国一律のタンクパラメータを用いている。具体的には、Ishihara and Kobatake (1979) で示された 5 つ流域のパラ

第 3.2 表 土壌雨量指数の算出で用いるタンクパラメータ。

L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	α_1 (hr ⁻¹)	α_2 (hr ⁻¹)	α_3 (hr ⁻¹)	α_4 (hr ⁻¹)	β_1 (hr ⁻¹)	β_2 (hr ⁻¹)	β_3 (hr ⁻¹)
15	60	15	15	0.10	0.15	0.05	0.01	0.12	0.05	0.01

メータのうち、月ヶ瀬（木津川）に該当するパラメータを使用している（第 3.2 表）。

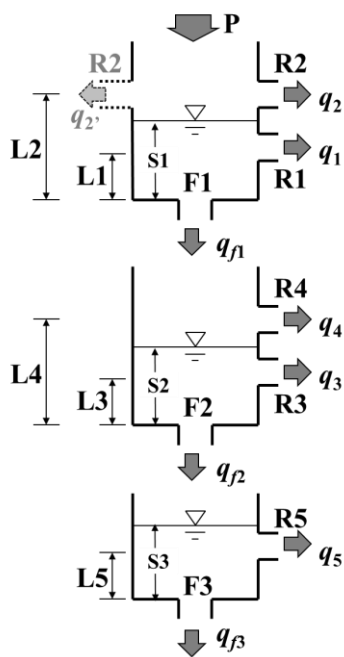
各タンクの貯留量は次の式で求められる。

$$S_1(t + \Delta t) = (1 - \beta_1 \Delta t) \cdot S_1(t) - q_1(t) \cdot \Delta t + R \quad (3.1)$$

$$S_2(t + \Delta t) = (1 - \beta_2 \Delta t) \cdot S_2(t) - q_2(t) \cdot \Delta t + \beta_1 \cdot S_1(t) \cdot \Delta t \quad (3.2)$$

$$S_3(t + \Delta t) = (1 - \beta_3 \Delta t) \cdot S_3(t) - q_3(t) \cdot \Delta t + \beta_2 \cdot S_2(t) \cdot \Delta t \quad (3.3)$$

ここで、 S_i ($i = 1, 2, 3$)は各タンクの水位、 β_i は 1 時間あたりの浸透率、 q_i は側面からの流出量、 Δt は計算時間間隔（土壌雨量指数の場合 10 分間隔）、 R は Δt 当たりの雨量である。



第 3.4 図 非都市タンクモデル。

また、各タンクの側面からの流出量は次の式で求められる。

$$q_1(t) = \alpha_1 \{S_1(t) - L_1\} + \alpha_2 \{S_1(t) - L_2\} \quad (3.4)$$

$$q_2(t) = \alpha_3 \{S_2(t) - L_3\} \quad (3.5)$$

$$q_3(t) = \alpha_4 \{S_3(t) - L_4\} \quad (3.6)$$

ここで、 α_i は 1 時間あたりの流出率、 L_i は各流出孔のタンク底面からの高さである。

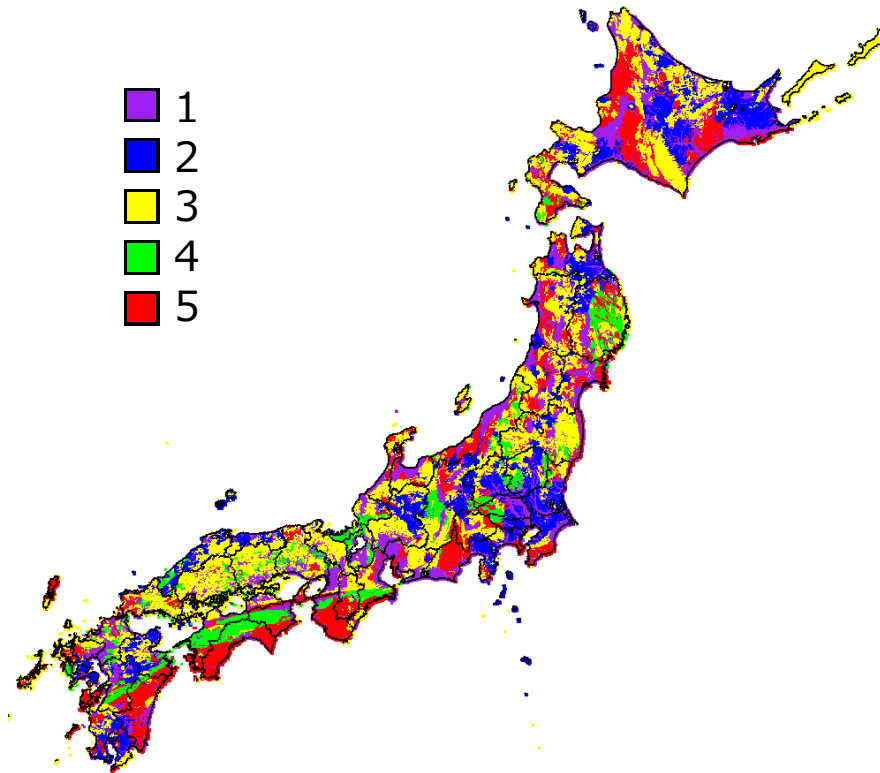
3.2.2 直列三段タンクモデル（表面雨量指数・流域雨量指数）

表面雨量指数、流域雨量指数では、Ishihara and Kobatake（1979）の直列三段タンクモデルをもとに、1 km 格子程度の小領域にも適用できるようにタンクの構造やパラメータを修正したものをを用いている（第 3.4 図）。このタンクモデルは主に非都市域を対象に用いるので、「非都市タンクモデル」と呼んでいる。ここで、非都市域の定義は、100 m メッシュ土地利用データの「田」「その他の農用地」「森林」「荒地」「ゴルフ場」「その他の用地」に該当するメッシュとしている。土壌雨量指数で用いる直列三段タンクモデルとの具体的な相違点は以下のとおりである。

- ・ Ishihara and Kobatake（1979）で示される 5 種類の特定の地質の流域で得られたパラメータを、地質の特性にあわせて全国で使い分けしている（第 3.3 表及び第 3.5 図）。
- ・ 自然の土の状態のような浸透能力の高い地表面であっても、非常に強い雨が降った場合には、ある程度は河川に流出する。これを表現するため、第一タンクに別の流出孔（第 3.4 図の流出量 $q_{2'}$ で示す孔）を設けている。この

第 3.3 表 非都市タンクモデルに用いるパラメータ。

No.	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	L5 (mm)	F1 (10min ⁻¹)	F2 (10min ⁻¹)	F3 (10min ⁻¹)	R1 (10min ⁻¹)	R2 (10min ⁻¹)	R3 (10min ⁻¹)	R4 (10min ⁻¹)	R5 (10min ⁻¹)
1	40	75	15	75	15	0.20	0.08	0.01	0.30	0.30	0.12	0.06	0.01
2	30	60	10	60	15	0.20	0.08	0.01	0.30	0.40	0.15	0.06	0.01
3	15	60	10	60	15	0.20	0.03	0.01	0.30	0.40	0.15	0.06	0.01
4	30	75	5	75	15	0.16	0.02	0.01	0.30	0.40	0.10	0.06	0.01
5	15	40	5	40	15	0.16	0.01	0.01	0.30	0.40	0.18	0.06	0.01



第 3.5 図 非都市タンクモデルに用いるパラメータの分布. 1 から 5 の数字は第 3.3 表の流域 No.を表す.

流出孔は, 第一タンクの水位 S_1 が L_2 を下回る状況で, かつ, L_2 を上回る入力雨量 P があった場合にのみ有効とする (齋藤・太田, 2013). 長時間継続する降雨によるヒドログラフの再現性を向上させるため, 第二タンクの上部 (底面からの高さ L_4) に新たな流出孔を設置している (太田・牧原, 2015).

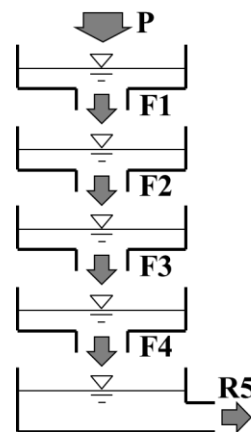
3.2.3 直列五段タンクモデル (表面雨量指数・流域雨量指数)

アスファルト等に覆われた都市部では, 降った雨は土壤に浸透しにくく, 速やかに地表を流れ下る. この過程を表現するために, 表面雨量指数, 流域雨量指数では, タンクを直列に 5 段並べたタンクモデルを導入し, 国土数値情報の土地利用区分により都市域と分類された地域に適用する. このタンクモデルは主に都市域で用いるので, 「都市タンクモデル」と呼んでいる. ここで, 都市域の定義は, 100 m メッシュ土地利用データの「建物用地」「道路」「鉄道」に該当するメッシュとしている.

都市タンクモデルを第 3.6 図に示す. 都市部では流出した水は急速に排水路や小河川に流れ込み, 地形勾配が流出における主な支配的要因になると考えられることから, 勾配 I の関数として, 各タンクの浸透係数 F_i ($i=1,2,3,4$) 及び流出係数 R_5 を以下のとおりと与える (太田・牧原, 2015).

$$F_i = R_5 = 0.6910 \cdot \ln(I) + 8.1234, I < 1\% \quad (3.7)$$

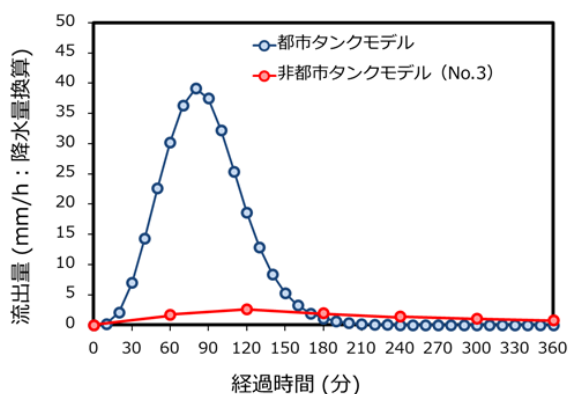
$$F_i = R_5 = 0.9879 \cdot \ln(I) + 8.1234, I \geq 1\% \quad (3.8)$$



第 3.6 図 都市タンクモデル.

なお、5 段のタンクは、雨水が地表面を流れて対象流域の最下流から流出するまでの遅延時間を表現することを目的としたものであり、非都市タンクモデルにおける 3 段のタンクと比べて、より深層への浸透を表すというものではない。

次に、都市タンクモデルと非都市タンクモデルの流出特性を明らかにするため、第 3.7 図に、初めの 1 時間だけ 1 時間雨量 50 mm の降雨を入力した場合のシミュレーション結果を示す。非都市タンクモデルは第 3.3 表に示す No.3 のパラメータを使用した。都市タンクモデルの流出量のピークは降雨開始から 80 分後（降雨終了から 20 分後）、非都市タンクモデルの流出量のピークは 120 分後（降雨終了から 60 分後）となっており、流出のピークは都市タンクモデルの方が速いことがわかる。また、都市タンクモデルのピーク時の流出量は非都市タンクモデルの 10 倍以上に達し、都市タンクモデルでは降雨開始から 3 時間程度でほぼすべての雨量が河川に流出している（流出率 100%）。このように、都市タンクモデルは流出が非常に速く設定されており、都市域の実態を踏まえたものとなっている。



第 3.7 図 初めの 1 時間だけ 50 mm/h の雨をタンクモデルに与えた場合のシミュレーション結果。

3.3 土壌雨量指数

土壌雨量指数 (Soil Water Index: SWI) は第 3.3 図に示す直列三段タンクモデルを用い、各タンクの貯留量の総和、つまり式(3.1)から式(3.3)の和として以下のように定義される。

$$SWI = S_1 + S_2 + S_3 \quad (3.9)$$

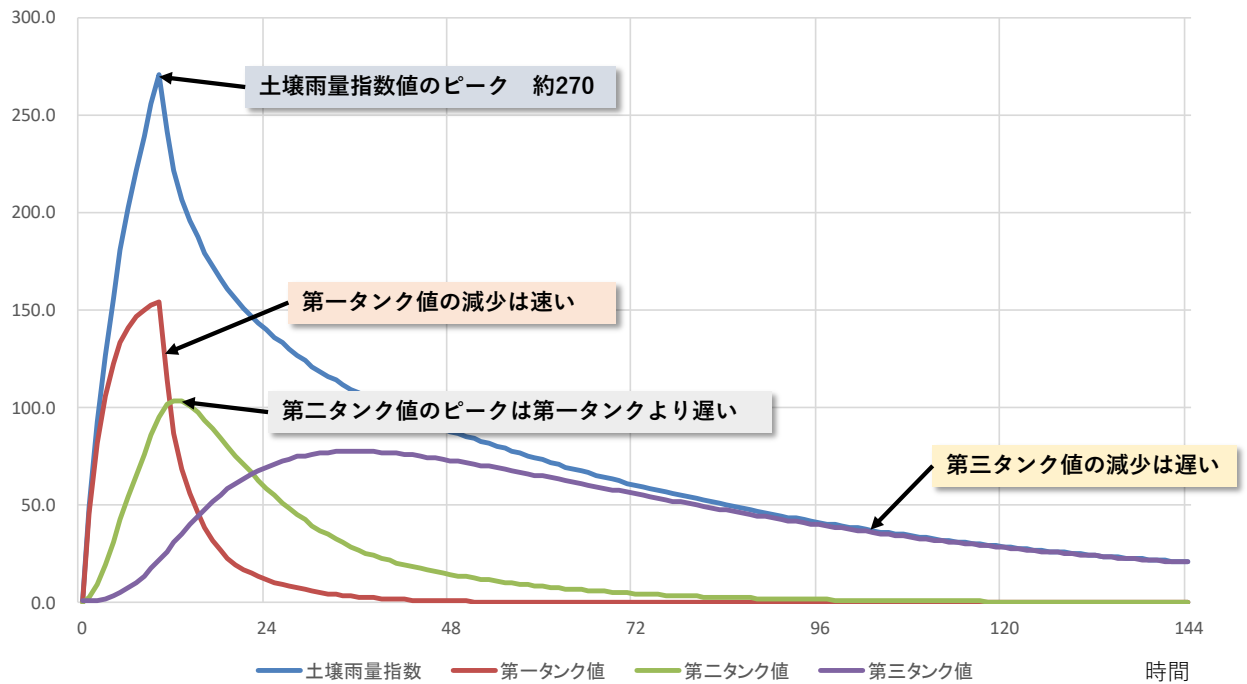
直列三段タンクモデルを用いることで、浸透や貯留の影響を踏まえた土壌水分量の傾向を評価できるようになり、単純な積算雨量よりも的確に土砂災害の発生ポテンシャルを表現できるようになった。

なお、各タンクのパラメータは第 3.2 表のとおり全国一律の値を用いているため、土壌雨量指数の計算には地質によって異なる浸透の傾向は反映されない。このため、異なる場所の土砂災害発生のポテンシャルを比較評価する際にはその点に留意が必要である。

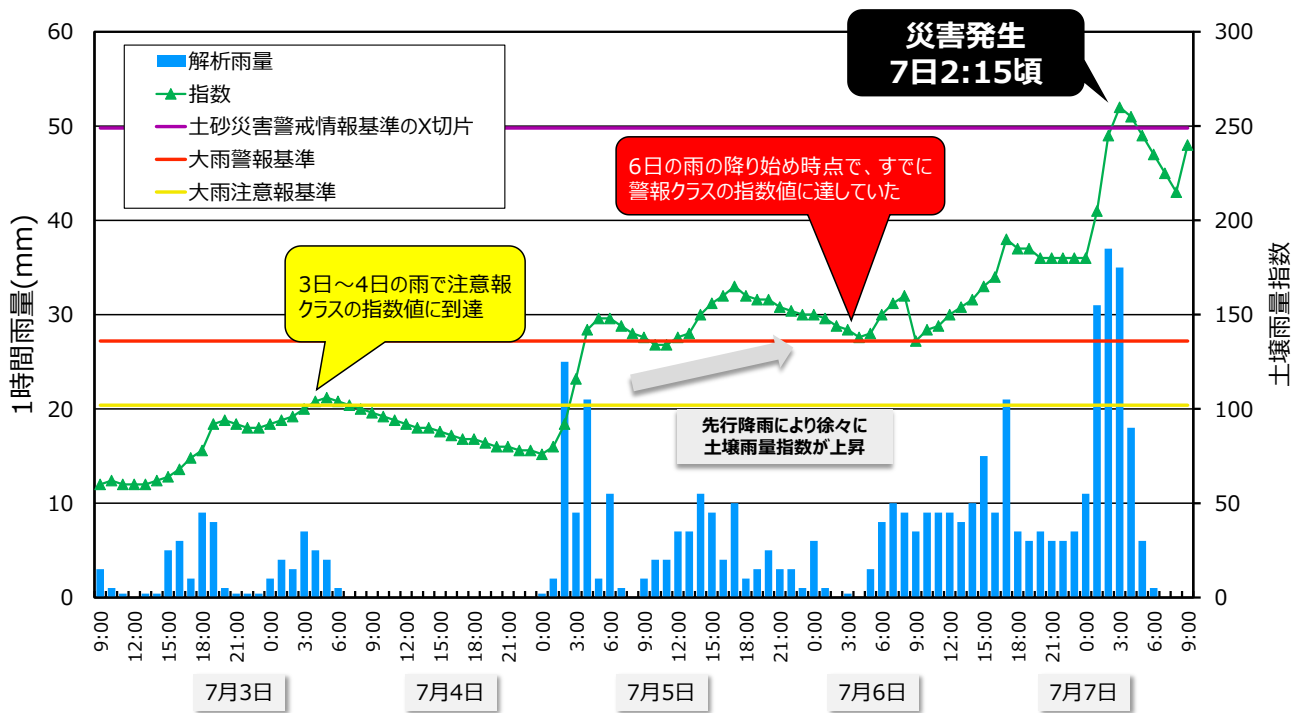
気象庁では、土砂災害の危険度の評価を、あらかじめ設定した基準との比較に基づいて行っている。基準は過去の災害事例を統計的に分析して設定するので、地質等の素因の影響は、結果的に基準に反映されることになる。したがって、土壌雨量指数の値そのものに注目するのではなく、素因の影響が反映された基準との比較によって危険度を判断することで、土壌雨量指数は土砂災害発生ポテンシャルを把握するための、より効果の高い指標となる。基準設定の考え方や具体的方法については第 4 章で詳しく述べる。

ここで、タンクモデルの振舞いをイメージしやすくするため、第 3.8 図に、全てのタンク値が 0 の状態から、1 時間 50 mm の雨が 10 時間降った場合の土壌雨量指数及び各タンク値の時系列を示す。ピーク値に着目すると、第一タンク値のピークが最も早く、続いて第二タンク値、第三タンク値の順となる。第三タンク値の減少は最も遅く 144 時間後でもタンク値は 0 になっていない。各タンク値の合計である土壌雨量指数は、降雨終了の時点（計算開始から 10 時間後）でピークを迎え、その値は、総雨量 500 mm に対し、約 270 となっている。これは、10 時間経過した時点で、54% の雨水が土壌中に残っており、46% の雨水が河川

土壤雨量指数値



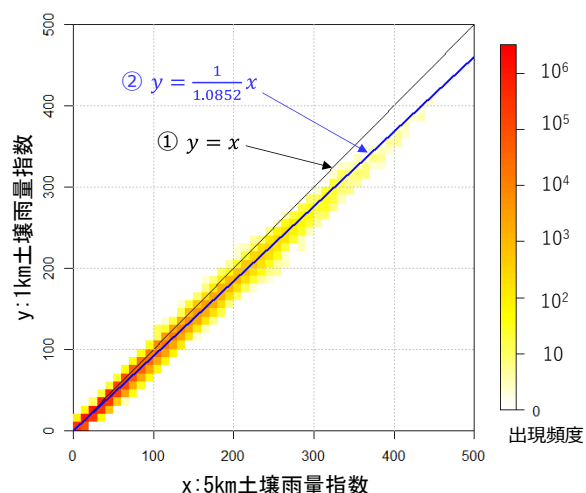
第 3.8 図 全てのタンク値が 0 の状態から、1 時間 50 mm の雨が 10 時間降った場合の土壤雨量指数と各タンク値.



第 3.9 図 平成 30 年 7 月豪雨における山口県岩国市周東町の解析雨量と土壤雨量指数. 土砂災害警戒情報基準, 大雨警報基準, 大雨注意報基準については第 4.2 節を参照.

に流出したことを表している。

次に、土壌雨量指数の特徴を示す具体事例として、平成 30 年 7 月豪雨における山口県岩国市周東町の解析雨量と土壌雨量指数を第 3.9 図に示す。土石流等が発生したのは 7 日 2 時 15 分ごろであり、土壌雨量指数はちょうどそのタイミングでピーク値の 260 を記録している。ここで、7 月 3 日からの雨量や土壌雨量指数の経過を追ってみると、3 日から 4 日明け方にかけての降雨によって注意報基準付近まで指数が高まっている様子が見て取れる。その後、いったん雨が止んで指数は低下したものの、5 日には降雨の強まりとともに指数が急上昇して警報基準を超過した。6 日にかけて降り続く雨により、指数は警報基準を少し超過したあたりを維持し続け、7 日未明に再び降雨が強まった段階で土砂災害警戒情報の基準を超過し、そのタイミングで土砂災害が発生した。本事例では、指数のピークと災害発生のタイミングが非常によくあっていたが、災害発生に至るまでの間に、先行降雨によって徐々に土壌雨量指数が上昇していく様子が表現されていることがわかる。



第 3.10 図 5 km 格子単位の土壌雨量指数（横軸）と精緻化された 1 km 格子単位の土壌雨量指数（縦軸）の比較。期間は 2018 年 5 月から 10 月。1 km 指数は 5 km 格子に含まれる格子のうち上位四分位平均値を 5 km 指数との比較に用いた。

以上、土壌雨量指数の特徴などを述べてきたが、本節の最後に、令和元年（2019 年）6 月に実施した土壌雨量指数の精緻化の経緯について簡単に触れ、若干の技術的補足を加える。

土壌雨量指数は、従来は約 5 km 格子単位で計算されていたが（以下「5 km 土壌雨量指数」）、令和元年（2019 年）6 月から 1 km 格子単位に高解像度化された（以下「1 km 土壌雨量指数」）。1 km 土壌雨量指数の入力雨量には、1 km 格子単位の解析雨量・降水短時間予報の値を周辺格子と自格子を含む 9 格子で相加平均した値を用いている。これは、1 km 格子単位の解析雨量・降水短時間予報の解析・予報誤差を緩和するための措置である。

一方、従来までの 5 km 土壌雨量指数の計算においては、1 km 格子単位の解析雨量を 2.5 km 格子単位で面積重み付け平均し、5 km 格子に含まれる 4 つの 2.5 km 格子の平均値の最大値を 5 km 格子の雨量として入力していた（竹田，2009）。このため、1 km 土壌雨量指数は従来の 5 km 土壌雨量指数と特性が若干異なり、平成 30 年（2018 年）事例による統計比較では、5 km 土壌雨量指数に比べて約 8 % 小さな値が算出される傾向となっていた（第 3.10 図）。土壌雨量指数の高解像度化に伴い、土砂災害警戒情報の基準や大雨警報（土砂災害）の基準についても、1 km 土壌雨量指数を用いた基準値に見直すことが望まれるが、当時は 1 km 土壌雨量指数の過去データの蓄積期間が十分でなかったことや基準見直し要する作業時間等を考慮して、当面は 5 km 土壌雨量指数に最適化された大雨警報（土砂災害）基準、土砂災害警戒情報基準を継続使用できるような移行措置を設けることとした。具体的には、1 km 土壌雨量指数に 1.0852（第 3.10 図の傾き 0.9215 の逆数）を乗じることで 5 km 土壌雨量指数との乖離をできるだけ小さくし、従来までの基準をそのまま使用できるようにしている。なお、1 km 土壌雨量指数による基準見直しが完了した地域に関しては、順次、補正なしの土壌雨量指数に移行している。

3.4 表面雨量指数

表面雨量指数は、タンクモデルにより算出される流出量に、地形勾配に応じた補正係数を乗じたものである。

$$IRI = Q \times C \quad (3.10)$$

ここで、 IRI は表面雨量指数、 Q はタンクモデルで算出した流出量、 C は補正係数を表す。

第 3.11 図に表面雨量指数の概要を示す。表面雨量指数が対象とするのは、下水道や側溝などの排水能力を超えた大雨によって発生する内水氾濫である。この現象の発生過程では、地表面付近の水の流れが本質的な役割を果たすと考えられる。概念的には、タンクモデルにより算出した流出量を、その対象領域内の表面流出流の強さを表すものとみなしている。一方で、傾斜地では速やかに水が標高の低い方に流れ、その場所では水がたまりにくくなるなど、雨水の排水には地形も大きく影響する。この効果を表現したものが地形勾配を変数とした補正係数である。

ここで、浸水の発生には下水道や排水ポンプ等の排水施設が大きく影響するが、現状の表面雨量指数ではこれらの排水インフラを計算に取り込

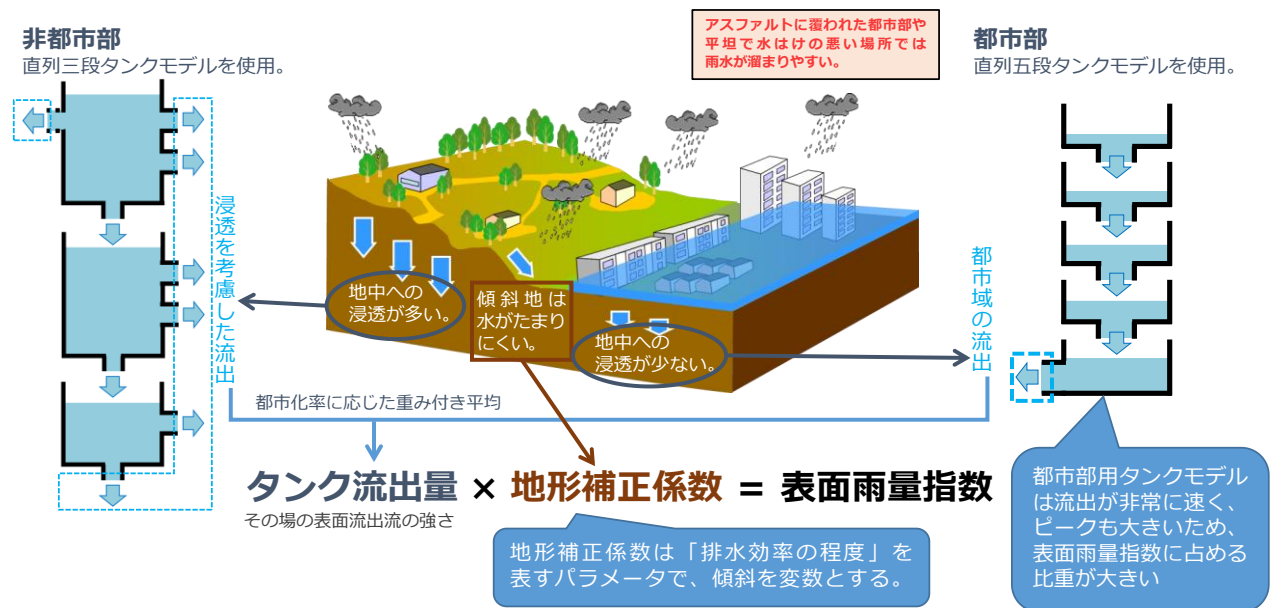
んでいない。一方で、表面雨量指数の値そのものに着目するのではなく、過去の災害発生状況をあらかじめ調査して設定した基準と比較することで、排水インフラの影響も間接的に考慮することができるようになり、表面雨量指数は浸水害発生ポテンシャルを把握するための、より効果の高い指標となる。基準設定の考え方や具体的方法については第 4 章で詳しく述べる。

本節では、表面雨量指数の算出方法の詳細について解説するとともに、実事例を通じて表面雨量指数の特徴を示す。なお、流出量の算出に用いるタンクモデルについては、第 3.2 節を参照のこと。

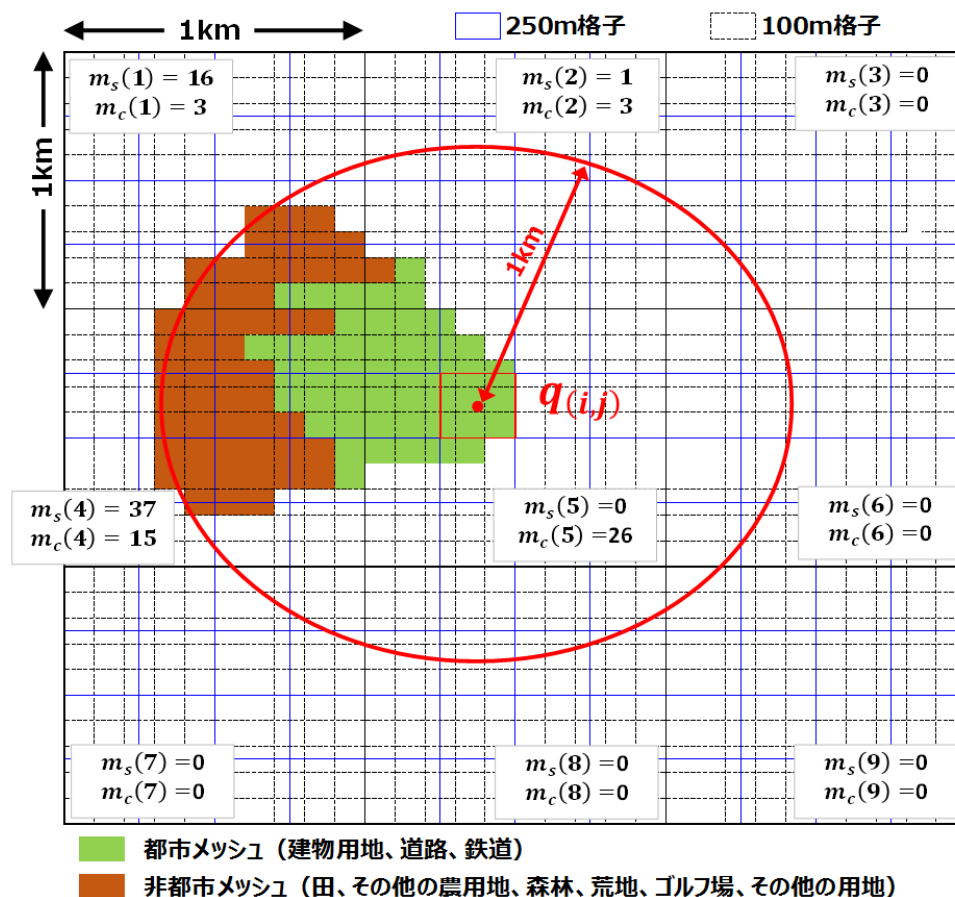
3.4.1 流出量の算出

流出量算出のための集水域の概念図を第 3.12 図に示す。第 3.12 図に沿って表面雨量指数における流出量の算出手順を記述する。

- ① 流出量（実際には流出高）は 250 m 格子単位で推定する。ただし、補正係数を乗じた後、最終的には 1 km 格子に含まれる 16 格子の最大値を当該 1 km 格子における表面雨量指数とする。



第 3.11 図 表面雨量指数計算の概要。



第 3.12 図 表面雨量指数計算における集水域．黒実線は 1 km 格子，青実線は 250 m 格子，黒破線は 100 m 格子を表す．図の中央付近にある赤の四角で表す格子に対する集水域は緑色格子（都市メッシュ）及び茶色格子（非都市メッシュ）となる．

- ② 自 250 m 格子の中心から半径 1 km を対象範囲として集水域を計算する．集水域の計算には 100 m メッシュの標高データを用いる．当該格子に向けて標高が低下する 1 km 以内の格子が集水域となり，集水域に含まれる 100 m 格子のうち土地利用状況により「都市メッシュ（建物用地，道路，鉄道）」と「非都市メッシュ（田，その他の農用地，森林，荒地，ゴルフ場，その他の用地）」の数をカウントする．
- ③ ②でカウントした都市メッシュ数・非都市メッシュ数及び第 3.2 節の非都市・都市タンクモデルから算出される 1 km 格子毎の流出量を用い，重み付け平均により流出高 $q(i, j)$ (mm/h) を以下の式で計算する．

$$q(i, j) = \frac{\sum_{n=1}^9 [W_s(n) + W_c(n)]}{\sum_{n=1}^9 [m_s(n) + m_c(n)] \cdot 100^2} \times 3600 \times 100 \quad (3.11)$$

$$W_s(n) = Q_s(n) \cdot \frac{m_s(n)}{100} \quad (3.12)$$

$$W_c(n) = Q_c(n) \cdot \frac{m_c(n)}{100} \cdot 0.7 + Q_x(n) \cdot \frac{m_s(n)}{100} \cdot 0.3 \quad (3.13)$$

ここで、 $W_s(n)$ は非都市メッシュからの流出量を、 $W_c(n)$ は都市メッシュからの流出量を表す． n は自格子を含む周辺 1 km 格子（全 9 格子）を示す添字で、 $m_s(n)$ は各周辺 1 km 格子における非都市 100 m メッシュ数、 $m_c(n)$ は都市 100 m メッシュ数、 $Q_s(n)$ は非都市タンクモデルからの流出量、 $Q_c(n)$ は都市タンクモデルからの流出量を示す．

式(3.11)の都市メッシュからの流出量は、都市タンクモデルからの流出量が 70 %、非都市タンクモデルからの流出量が 30 %寄与するものとして計算する．これは、完全に市街化した地域であっ

でも緑地等は存在しており，全ての降雨が短時間のうちに流出するわけではないという実態を踏まえたものである（田中ほか，2008）．式(3.11)の分母は集水面積を表しており，3600(秒)及び 1000 (mm) を乗ずることで， $q(i,j)$ は最終的に 1 時間あたりの流出高 (mm/h) として算出される．

3.4.2 地形補正係数

前項で述べた方法により，当該 250 m 格子の一定範囲の上流域を対象とした流出量が算出される．一方で，先述のとおり，実際の浸水の発生には地形勾配による排水の影響も無視できない．そこで，これを地形勾配の変数として係数化し，タンクモデルの流出量に乗じたものを表面雨量指数としている．この補正を加えることで，傾斜地では速やかに水が標高の低い方に流れ下るため排水されやすく（浸水リスクは低下），一方で傾斜が緩やかであれば標高の低い方に流れず滞留する（浸水リスクは上昇する）効果が表面雨量指数に反映される．

地形補正係数 C_I は，一定流量における，勾配 1% の径深 $R_{1\%}$ に対する勾配 I の径深 R の比として定義される．ただし，勾配が 1%未満の場合の補正係数は常に 1 とする．径深とは水路断面積を水路の底や壁に接している長さの総計で除したもので，水路を流れる水が接する壁の高さを考慮した水深である．

$$C_I = 1 \quad (I < 1\%)$$

$$C_I = \frac{R}{R_{1\%}} \quad (I \geq 1\%) \quad (3.14)$$

$$R = \left\{ \frac{Q}{\left(\frac{1}{n}\right) \cdot m I^2} \right\}^{\frac{3}{8}} \quad (3.15)$$

ここで， Q (m^3/s) は流量， n はマンニングの粗度係数 ($s/m^{1/3}$)， m は河道の断面形状に関するパラメータ (m) である．これらの式から，地形補正係数 C_I と勾配 I の関係が得られる．

$$C_I = \left(\frac{1}{I}\right)^{\frac{3}{16}} \quad (3.16)$$

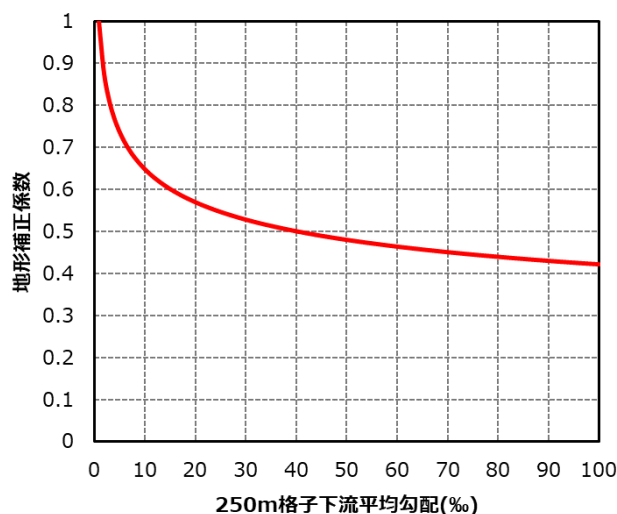
ここでの勾配 I には 250 m 格子単位の下流平均

勾配を用いる．下流平均勾配とは，当該格子から水が流れる方向（下流側）の格子のみを用いて平均勾配を計算したものであり，単純に周辺格子との勾配を用いるのに比して実際の浸水発生状況との対応が良く，排水効率をより正確に表すものと考えられる（太田・牧原，2015）．下流平均勾配と地形補正係数との関係は第 3.13 図に示すとおりである．勾配が急であるほど係数は小さな値となり，補正の効果が大きくなる（すなわち表面雨量指数は小さくなる）ことがわかる．

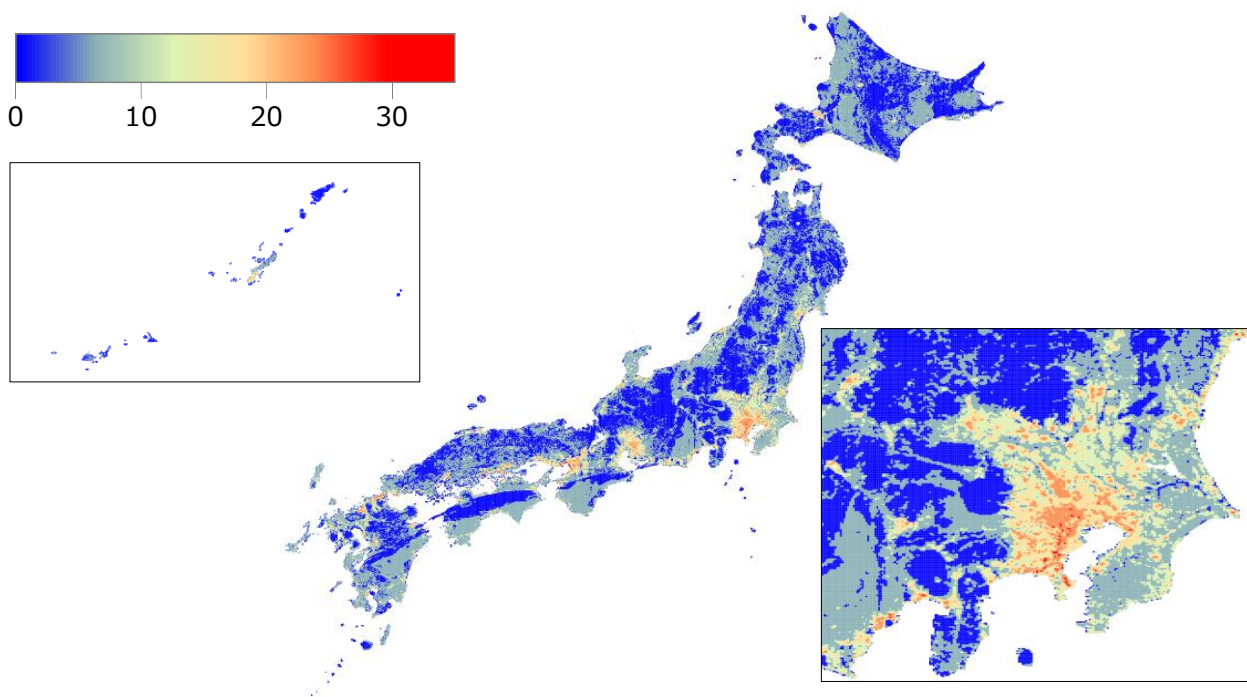
3.4.3 表面雨量指数の特性

ここまで述べたとおり，表面雨量指数は，地質や地形勾配，土地利用といった浸水に関わる地理的素因を十分考慮した指標である．このため，同一の降水に対する表面雨量指数の応答は格子毎に大きく異なる．

ここではそのような表面雨量指数の地理的傾向を明らかにするため，第 3.14 図に，先行降雨の影響が無い仮定の下で，最初の 1 時間だけ，面的に一樣に 80 mm/h の降雨を与えた場合の表面雨量指数のシミュレーション結果を示す．実際には先行降雨の影響を無視することはできないのでここでのシミュレーションはあくまで理想実験に過ぎないが，表面雨量指数の面的特性を把握するためには有用といえる．第 3.14 図から，大都市圏や沿岸の都市部などで表面雨量指数の値が大き



第 3.13 図 下流平均勾配と地形補正係数．

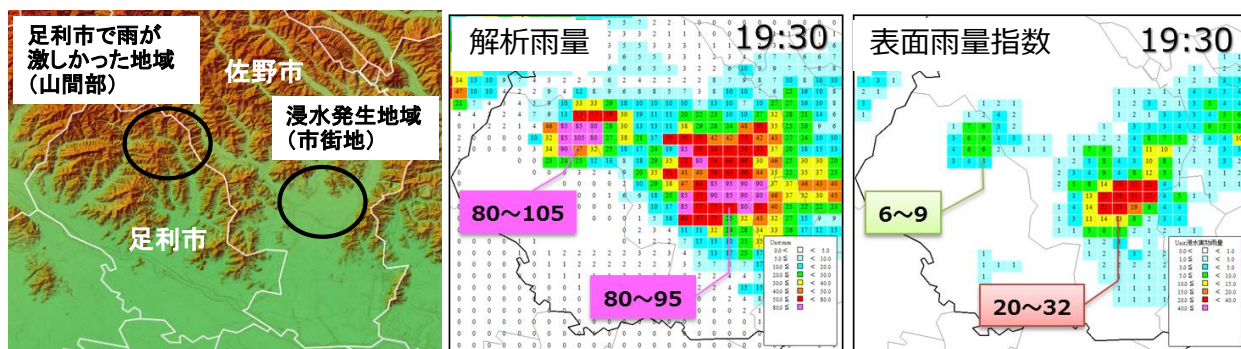


第 3.14 図 先行降雨が無い状況を仮定し、最初の 1 時間だけ、面的に一律に 80 mm/h の降雨を与えた場合の表面雨量指数シミュレーション結果（全国及び関東周辺の拡大図）。

く、都市化の進んでいない内陸の山地で表面雨量指数の値が小さくなっていることが分かる。面的に一律な降水を与えたにも関わらずこのような差が生じるのは、地形や地質、土地利用といった素因が反映された結果であることを示している。

次に、実事例を用いて表面雨量指数の特徴を示す。第 3.15 図は、2014 年 6 月 23 日に栃木県佐野

市で発生した浸水事例における、浸水発生場所、解析雨量、表面雨量指数を並べて比較した図である。解析雨量では、栃木県足利市の山間部及び佐野市の市街地のそれぞれで 100 mm/h 前後の雨量が解析されたが、表面雨量指数に関しては、佐野市の強雨域周辺で大きな値となっているの対



第 3.15 図 表面雨量指数の実例（2014 年 6 月 23 日：栃木県足利市・佐野市付近）。（左）地形図，（中）19 時 30 分までの解析雨量（mm/h），（右）19 時 30 分の表面雨量指数。

し、足利市の強雨域周辺では非常に小さな値となっている。実際に浸水被害が発生したのは佐野市の市街地の方であり、足利市では浸水被害の報告はなかった。足利市の山間部では、雨水の地下浸透を反映して非都市タンクモデルによる流出量が小さく算出されるのに加え、急峻な地形によって大きな地形補正もかかるため、100 mm/h 前後の強雨にも関わらず表面雨量指数が小さく算出されている。当時は、大雨警報（浸水害）の発表基準が1時間雨量であったため、佐野市と足利市の双方に大雨警報（浸水害）を発表していたが、表面雨量指数を発表基準に用いることで、本事例では、被害のなかった足利市で警報を発表せずにすむことになる。このような警報の空振り低減は、自治体や住民の警報に対する信頼性を高め、住民の主體的な避難にもつながるものとして極めて重要である。

3.5 流域雨量指数

流域雨量指数は、全国の河川の流路・流域情報、地理情報、土地利用情報に基づいて、降った雨が地中に浸透し河川に流れ出るまでの過程（流出過程）と河川に流れ込んだ水が河道に沿って下流に流れ下る過程（流下過程）を考慮しながら、1 km 格子単位で河川流量に相当する値を求めたものである（第 3.16 図）。実際には、算出した河川流量に相当する値の平方根をとったものを流域雨量指数としている。これは、大河川から中小河川

までを統一的に扱うためにデータを圧縮する必要があったこと、また、水位と流量の一般的な関係は二次式であらわされることから（日本河川協会, 1997）、流域雨量指数の変化傾向と水位の変化傾向が似通ったものになることが期待される、といった理由からである。

河川流出量は、表面雨量指数と同様、第 3.2 節の非都市タンクモデル（直列三段タンクモデル）と都市タンクモデル（直列五段タンクモデル）を用いて推定する。その後の流下過程は、マンニングの平均流速公式に基づいて、河道に沿った水の流れを計算する。このように、流域を格子で細かく区切り、細分メッシュごとに流出・流下を物理的に追跡する手法は「分布型流出モデル」とよばれる。

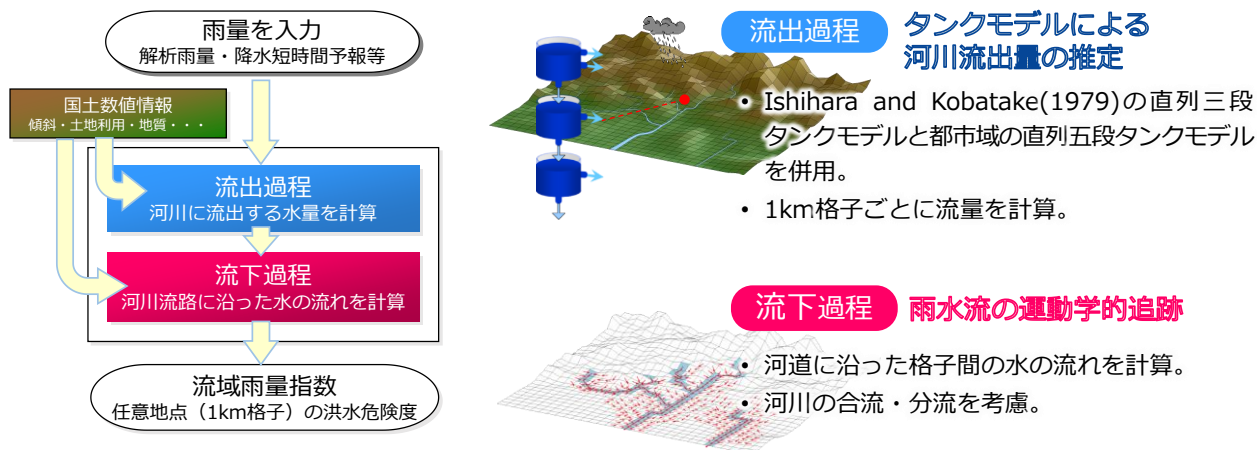
本節では、はじめに流域雨量指数の計算に用いる環境パラメータについて述べ、その後、流出過程と流下過程のそれぞれについて詳しく述べる。また、実事例での水位との比較から流域雨量指数の特徴を明らかにする。

3.5.1 環境パラメータ

洪水の素因に係る資料として、国土数値情報の以下のデータを利用している。

①河川位置・流域情報

全国の河川の流路が通る位置（緯度・経度）、河川の合流及び分流、流域に係る流域情報を、流域雨量指数における流下過程の計算処理で使用す



第 3.16 図 流域雨量指数計算の概要。

る。国土交通省国土政策局「国土数値情報（河川台帳）（単位黄流域台帳）（流路）S52」をもとに、実際の河川の流路や合流・分流の状況を反映したデータ（以下「河川流路データ」とする）を作成して、計算に用いている。

②標高・傾斜度 5 次メッシュ

流出した水が河道に沿って流下する際の流速計算にはマンニングの式（後述）を使用する。この式に用いる傾斜データは、国土数値情報「標高・傾斜度 5 次メッシュ」から河川の流路上の標高値を取得し、上流及び下流からそれぞれ単調減少、単調増加するよう包絡線を描いて、それぞれの包絡線から作成される 2 つの傾斜情報を平均して求めている。

また、5 次メッシュ（約 250 m 格子）単位の標高データを 1 km 格子単位で平均したものを、流域雨量指数の計算対象河川がない格子の流下先を決定する際に用いている。

③地質情報

表面雨量指数の計算と同様、非都市タンクモデルにおける Ishihara and Kobatake (1979) のパラメータを選択するために、国土数値情報の「自然地形メッシュ」を用いている。

④土地利用情報

1 km 格子単位での流出計算では、国土数値情報の「土地利用細分メッシュ」をもとに都市化率を算出し、都市タンクモデルの流出量と非都市タンクモデルの流出量を都市化率で按分して算出している。ここで都市化率とは、土地利用細分メッシュに含まれる各利用区分をもとに「(建物用地・道路・鉄道) / (全体 - 河川地及び湖沼・海浜・海水域)」と定義される指標で、地表面における人口構造物の割合を表している。

3.5.2 流出過程

タンクモデルの入力となる降水量については、樹木による降水遮断や地表面のくぼみ（以下「くぼ地」とする）にたまる等の理由で、(即時に)流出しない初期損失量を考慮している。これは、「初期損失モデル」という高さ 8 mm、浸透率 0.02 のタンクモデルにより表現し、タンクからあふれ

た量を河川への流出量を計算するタンクモデルに入力する雨量として取り扱っている。なお、「浸透率」は本来タンクの水が地下へ浸透し流出しない割合を意味するが、ここではタンクにある水が 1 時間あたりに蒸発等により損失する割合を指す。

次に、初期損失量を差し引いた降水量を入力値として、第 3.2 節で示した非都市用タンクモデルと都市タンクモデルをそれぞれ計算する。

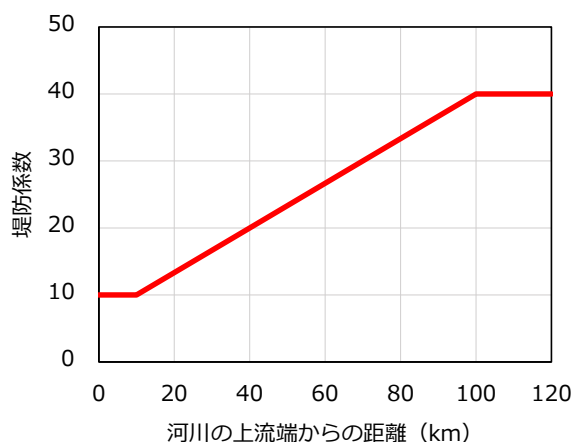
そして、非都市タンクモデルと都市タンクモデルの両方のモデルから得られる流出量を、都市化率に応じて加重平均したものを最終的な流出量としている。

なお、同一格子内に複数の河川が流れている場合は、流出量を河川数で等分してそれぞれの河川へ流出させている。その際、各河川の 1 km 格子内の最下流点（格子から出る地点）の河川流量にタンクモデルの流出量を加え、次項で述べる流下処理に渡される。

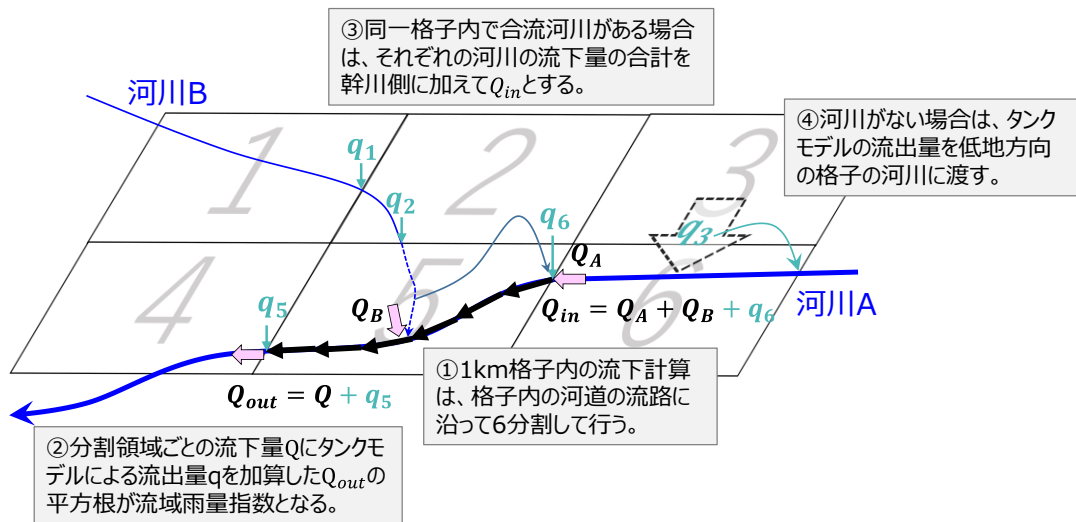
3.5.3 流下過程

河道を通る水の速さは水理学等で使われるマンニングの式によって求めることができる。マンニングの式によると、水の速さ（流速）は以下の式で与えられる。

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \tag{3.17}$$



第 3.17 図 河川上流端からの距離と堤防係数の関係。



第 3.18 図 流下過程の概念図. Q_A 及び Q_B はそれぞれ河川 A 及び B の流下量, Q_{in} は河川が 1 km 格子と交わる地点 (格子内の最上流) の流下量, Q_{out} は河川が 1 km 格子と交わる地点 (格子内の最下流) の流下量, q_i は格子番号 i 内のタンクモデルによる河川への流出量を表す.

ここで, v は流速 (m/s), R は径深 (m), I は勾配, n はマンニングの粗度係数 ($s/m^{1/3}$) である. 流量 Q (m^3/s) は, 流速に流水断面積 A (m^2) を乗じることで求められる.

$$Q = vA \tag{3.18}$$

径深 R と流水断面積 A は河川の断面形状により関係付けられる. 実際には河川によりその関係は様々だが, 流域雨量指数では深さ (径深) に比例して幅が広がる逆三角形の形状をした河道を仮定して計算している. 流水断面積と径深の関係は, 係数 m を用いて以下の式で与えられる.

$$A = mR^2 \tag{3.19}$$

係数 m は堤防幅の深さに対する比で, 河道断面形状に依存する値である (以下「堤防係数」とする). 実際の計算における堤防係数は河川の上流端からの距離で変化させており, 上流端からの距離が 100 km 以上の地点は 40, 10 km 未満の地点は 10, その間は比例配分で与えている (第 3.17 図).

式(3.17)から式(3.19)により, 河道内の流速は以下のとおりとなる. 傾斜 I , 堤防係数 m , マンニングの粗度係数 n が与えられれば, 流量 Q から河道内の流速が求まることを示す.

$$v = \left(\frac{Q}{m}\right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{1}{n}\right)^{\frac{3}{4}} \tag{3.20}$$

マンニングの粗度係数 n は, 土木学会 (1999) では自然河川で水深が深い直線路で 0.03 程度, 水深が浅い場合は 0.05 程度の値が示されているが, 流域雨量指数の計算では原則 0.04 を適用している. ただし, 都市部の中小河川の急激な水位上昇への対応を考慮して, 都市部を流れる中小河川 (都市化率 80% 以上の地域を流れる流路長 30 km 未満の河川) の粗度係数は 0.02 に設定している.

次に, 特定の河川流路区間に存在する総水量の変化は, 上流区間からの流入量, 下流区間への流下量, 及び, 周辺からの流入してくる水量 (タンクモデルによる流出量) により表すことができる. これは水量保存の式, すなわち連続方程式のことであり, 以下の式で示される.

$$\begin{aligned} \frac{d \int A dx}{dt} &= \int (r - i) dS + Q_{in} - Q_{out} \\ &= q(r) + Q_{in} - Q_{out} \end{aligned} \tag{3.21}$$

ここで r は降水強度, i は土壌への浸透量であり, 降水による水量から土壌の浸透量を除いたものがタンクモデルによる流出量 $q(r)$ であることを意味する. Q_{in} 及び Q_{out} は河川流路区間の上流端から

の流入量，下流端からの流下量である．式(3.21)を時間積分することで，単位流路の総水量が求まる．

第 3.18 図に流域雨量指数における流下過程の概念図を示す．流域雨量指数は 1 km 格子単位で出力されるが，流下過程の処理は，単純に 1 km 格子単位の落水方向に沿って流下させるのではなく，現実の河川流路をより忠実に反映できるように，以下のような処理を行っている．

- ① 1 km 格子内の流下計算は，格子内の河道の流路に沿って 6 分割して行う．河川・格子により格子を横切る流路長は様々なので，6 分割された流路長も河川・格子により異なる．ただし，格子を横切る流路長が短い場合計算不安定を起こす（CFL 条件を満たさない）場合は格子単位で流下を計算する．このように 1 km 格子内を流れる流路に沿って計算を行うことで，河川の形状によって異なる「格子内の流下時間」を的確に表現することができる．
- ② 分割領域ごとに流下量 Q を算出し，1 km 格子内の最下流地点（格子から出る地点）でタンクモデルによる当該 1 km 格子の流出量 q を加算した値 Q_{out} の平方根をとったものを流域雨量指数としている．
- ③ 同一格子内で合流河川がある場合，それぞれの河川の流下量を合流先河川（幹川）の上流端に加える．
- ④ 流域雨量指数の計算対象河川の流路が通らない格子についても周辺の 1 km 格子の標高から流下方向を計算し，その格子からのタンクモデルによる流出量を下流格子又は下流格子を通る河川に受け渡す．

3.5.4 計算処理上の留意点

流域雨量指数の計算処理において，以下の事項は考慮されていない．ただし，これら流域雨量指数の計算に考慮されない事項のうち(1)から(3)に関しては，第 4 章で述べる基準設定の中で考慮するようにしている．第 4.4.2 項の(6)をあわせて参照されたい．

- (1) ダム・堰・水門等による人工的な洪水調節

流域雨量指数の計算には，人工的な洪水調節は考慮されていない．そのため，ダム，堰，水門等による洪水調節が行われることにより，流域雨量指数と河川水位の関係にずれが生じる場合がある．

(2) 潮汐の影響

海岸付近の河川では潮位が高くなると河川の水が海に流れにくくなり，水位が上昇することがある．しかし，流域雨量指数では潮汐の影響は考慮しておらず，このようなときに流域雨量指数の上昇は表現できない．

(3) 幹川が支川に与える影響

幹川と支川の合流点付近では，幹川が高水位となった場合，支川からの水が本川に流れ込みにくくなること，場合によっては本川の水が支川に逆流することがある（この逆流現象を「バックウォーター」と呼ぶこともある）．しかし，流域雨量指数の計算は上流から下流に向かって一方向に流下させるのみのため，幹川が支川に与える影響を直接表現することはできない．

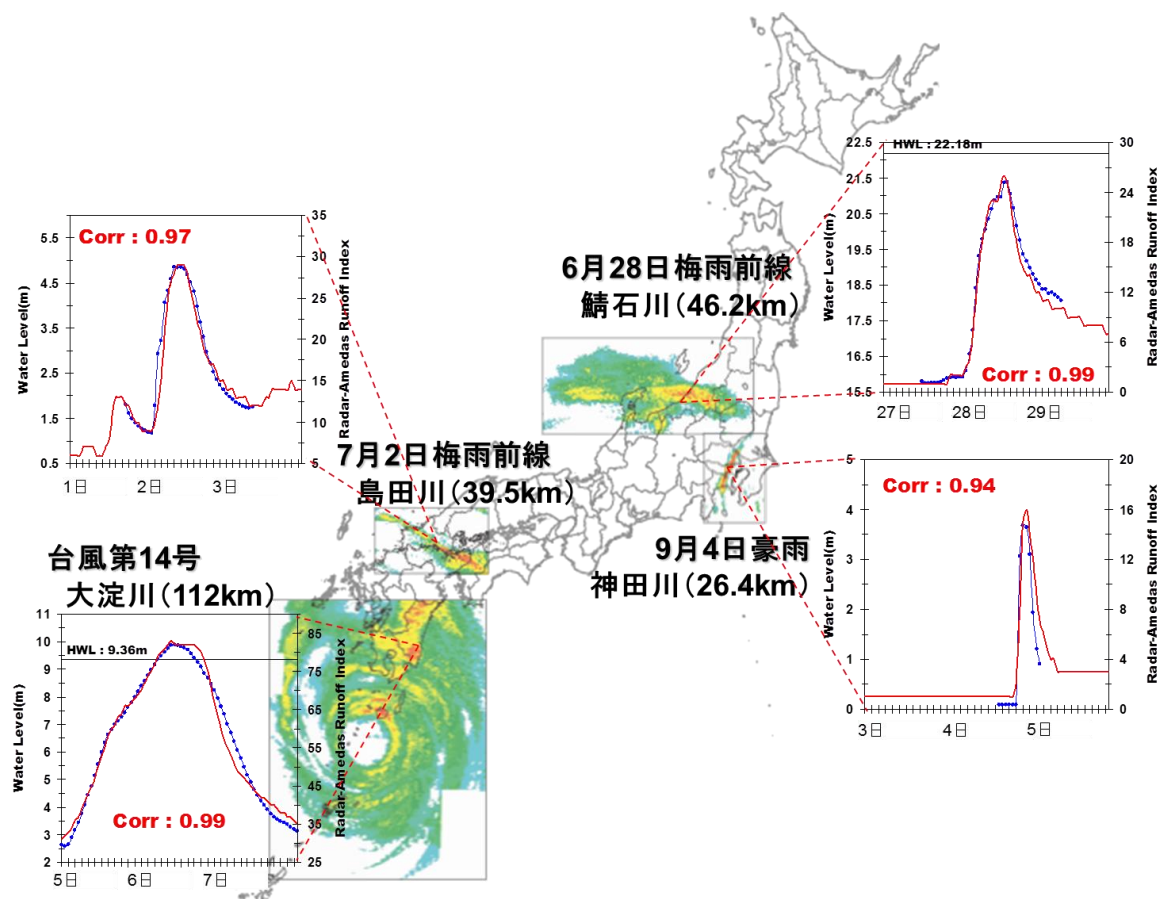
(4) 積雪や融雪の影響

流域雨量指数の計算では，入力となる降水量はすべて雨として処理されており，降った雪が積雪として地表に蓄えられる過程や，これが融けて地表面や地中を通して河川に流れ出す過程は考慮されていない．このため，降雪時に指数が上昇することがある一方，融雪水に起因する河川流出を指数で表現することはできない．これは，土壌雨量指数，表面雨量指数も同様である．

3.5.5 流域雨量指数の特性

ここでは，顕著な大雨事例における流域雨量指数と河川水位の比較等から，流域雨量指数の特性を明らかにする．

第 3.19 図は，2005 年に発生した豪雨事例における流域雨量指数と河川水位との比較結果である．ここでは，台風による広範囲の大雨や梅雨前線による集中豪雨等，降り方の異なる大雨事例を取り上げるとともに，河川についても，一級河川の大淀川（流路長約 112 km）から都市部を流れる中小河川の神田川（流路長約 26 km）まで，



第 3.19 図 2005 年豪雨事例における流域雨量指数と河川水位の比較。赤線は流域雨量指数（右軸）、青線は水位（左軸）、図中の数値は相関係数を表す。ピーク時刻のずれや上昇・下降傾向の比較を分かりやすく表示するため、指数と水位それぞれの最大値／最小値がおおむね一致するように縦軸を調整している。

さまざまなタイプのものを対象とした。なお、大淀川・島田川・神田川は洪水予報河川であり、本来、流域雨量指数の対象とする河川ではないが、ここでは流域雨量指数による水位の再現性を分かりやすく示す例として取り上げている。

第 3.19 図をみると、いずれの事例・河川においても指数と水位のピーク時刻や変化傾向が良く一致しており、流域雨量指数は、雨の降り方・河川の大小を問わず、水位との相関が高い指標であることがわかる。この理由としては、次のようなことが考えられる。

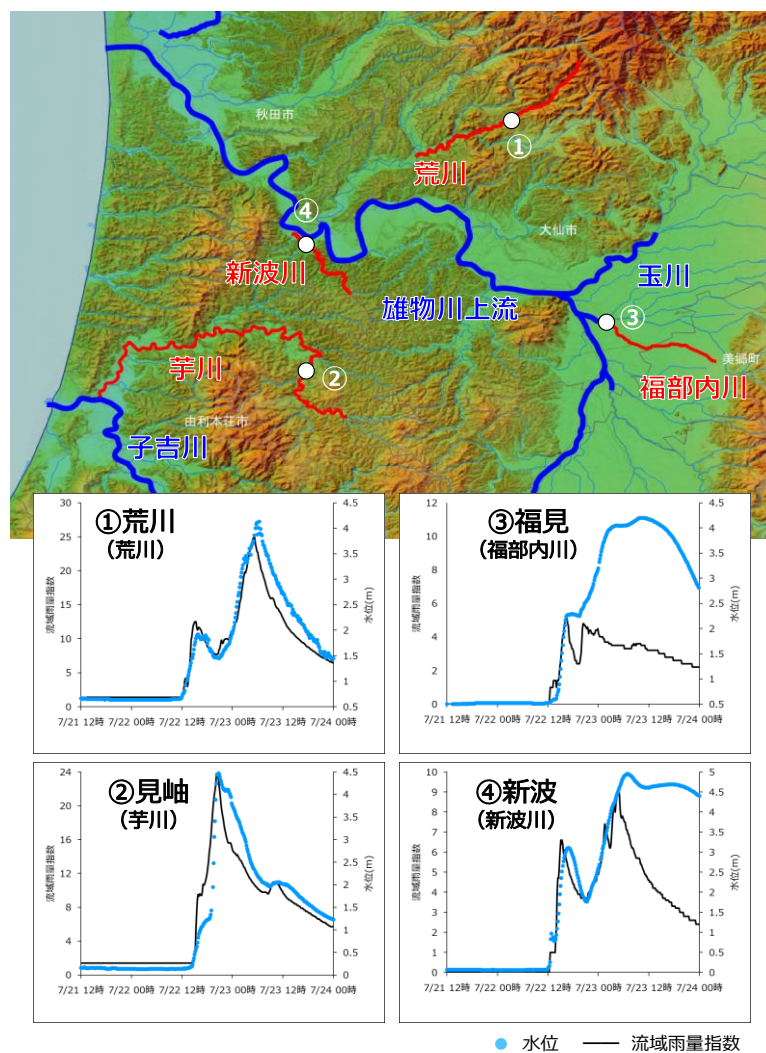
- 流域雨量指数は、降水の地下浸透や河川流出をモデル化し、河川上の水の流れを運動学的に追跡することで、河川の流量に相当する量を算出している。これにより、降雨からの流出・流下までの時間差を適切に表現できるようになり、ピーク時刻の推定精度が向上した。

- 水位と流量の一般的な関係が二次式で表されることを踏まえ、計算流量の平方根をとったものを流域雨量指数としている。このため、指数と水位の変化傾向が似通ったものになることが多い。
- 分布型モデルを採用することで、1 km 格子の稠密な雨量分布を流出計算に取り込めるようになった。特に、雨量解析として高い精度を有する「解析雨量」を入力値として用いることで、流域の小さい河川の精度向上が見込まれる。また、流域内で雨量分布が異なる場合の流量への影響も評価できるようになり、様々な降雨事例における水位の再現性が増した。
- 神田川のような都市域を流れる河川では降雨が急速に流出するため、山間部を流れる河川とは流出特性が大きく異なる。流域雨量指

数では都市タンクモデルと非都市タンクモデルを併用することで、都市部，郊外のいずれの河川においても水位との高い相関を得ることができるようになった。

次に、流域雨量指数の計算手法の観点から、水位の再現性に関する地理的特徴を分析する。第 3.20 図は、平成 29 年（2017 年）7 月 22 日から 23 日にかけての秋田県大雨事例における県内河川の水位と流域雨量指数の時系列を示したものである。①荒川（荒川）や②見岫（芋川）のように山間部を流れる中小河川では水位の変動と流域雨量指数の変動が概ね一致している。流域雨量指

数の計算には式(3.17)のマニングの式を用いているため、勾配が支配的な水の流れ（標高差に比べて水深が無視できるような水の流れ）であれば、一定程度の精度で水位の変動を再現することが可能である。流域雨量指数が対象とする中小河川の多くはこれに該当し、人工的な洪水調節が行われていない自然河川を中心に、水位との高い相関が得られる傾向にある。一方、③福見（福部内川）や④新波（新波川）といった雄物川の合流点付近の水位観測所では、水位が一旦上昇した後、高い水位を維持した状態が続いており、指数の変動と大きな隔たりが生じている。これは雄物川の水がそれぞれの支川に流れ込んだためと考えられる。



第 3.20 図 秋田県内の河川の水位と流域雨量指数の比較（平成 29 年 7 月 22 日の大雨事例）。ピーク時刻のずれや上昇・下降傾向の比較を分かりやすく表示するため、指数と水位それぞれの最大値／最小値がおおむね一致するように縦軸を調整している。

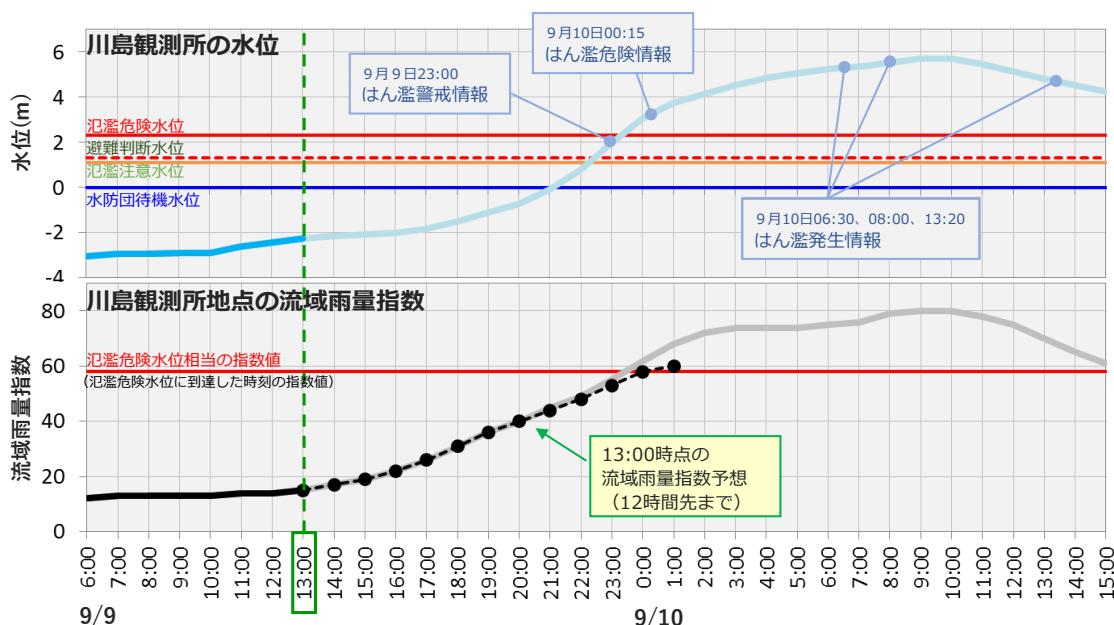
このような逆流現象を取り扱うには、水圧項まで考慮した拡散波方程式の導入や下流水位を用いた不等流計算等を行う必要があり、現在の流域雨量指数の計算方法ではこれを表現することができない。したがって、逆流等、幹川の水位上昇に伴う周辺河川の危険度の高まりに対しては、幹川の流域雨量指数に着目して危険度を評価することとしている（第 4.4 節で述べる洪水警報の複合基準がこれに対応する）。

最後に流域雨量指数の予測特性について示す。第 3.21 図は、平成 27 年（2015 年）関東・東北豪雨時の鬼怒川（川島水位観測所）における流域雨量指数予想と実際の水位を示したものである。なお、鬼怒川は洪水予報河川であり、本来、流域雨量指数の対象とする河川ではないが、ここでは流域雨量指数の予測特性を分かりやすく示す例として取り上げる。

第 3.21 図に示されるとおり、氾濫危険水位に到達したおよそ半日前の 9 月 9 日 13 時時点の流域雨量指数の予想は、8 時間程度先までは実況とほぼ一致し、その後わずかに過小傾向を示すものの、

11 時間後の 10 日 0 時には氾濫危険水位相当の指数値に達すると予想されている。これは実際の水位が氾濫危険水位に達したタイミングと概ね一致している。本事例では鬼怒川の上流域を中心に大雨となっており、特に栃木県日光市今市では 9 日 21 時の時点ですでに 9 月の月降水量平年値（280.0 mm）を超える雨量を記録していた。実際、日光市周辺で降った大雨が流れ下ることによって下流の川島地点の流域雨量指数の実況値は大きく上昇したが、この流下プロセスが予測計算にも反映されることで、半日程度という比較的長時間先までの予測が可能となった。これについては次のようなことが考えられる。

上流に降った雨が下流地点に到達するまでにはその距離に応じて相応の時間がかかるが、これは言いかえると、その場所を流れる水は、上流域で「過去降った雨」に起因していることを意味する。すなわち、流域面積が大きくなるほど予測値における実況降雨（解析雨量）の寄与が大きくなり、結果として（雨量の予測誤差の影響が相対的に小さくなって）予測精度が高くなるのである。



第 3.21 図 2015 年 9 月 9 日から 10 日かけての鬼怒川・川島水位観測所（茨城県筑西市）における水位（上）と、観測所地点での流域雨量指数実況・予想（下）。上図の水色線は観測された水位を示し、下図の黒実線及び灰色実線は流域雨量指数の実況値を、黒点線は 9 月 9 日 13 時におけるその後の予想値を示す。（鬼怒川は洪水予報河川であり、ここでは流域雨量指数の精度評価のために取り上げている。）

また、流域面積の大きい河川で予測精度が高くなるもう1つの理由として、予測雨量の空間的誤差の影響を受けにくいことが挙げられる。流域面積の小さい河川の場合、雨の降る場所が少しでもずれると全く異なる指数の予測結果を示すことになるが、流域が大きいと予測雨量の空間的誤差の影響は下流にいくほど緩和されて、指数予測への影響は小さくなる傾向がある。

第5章では流域面積毎の統計検証を行い、指数の予測特性をあらためて議論しているの、そちらもあわせて参照されたい。

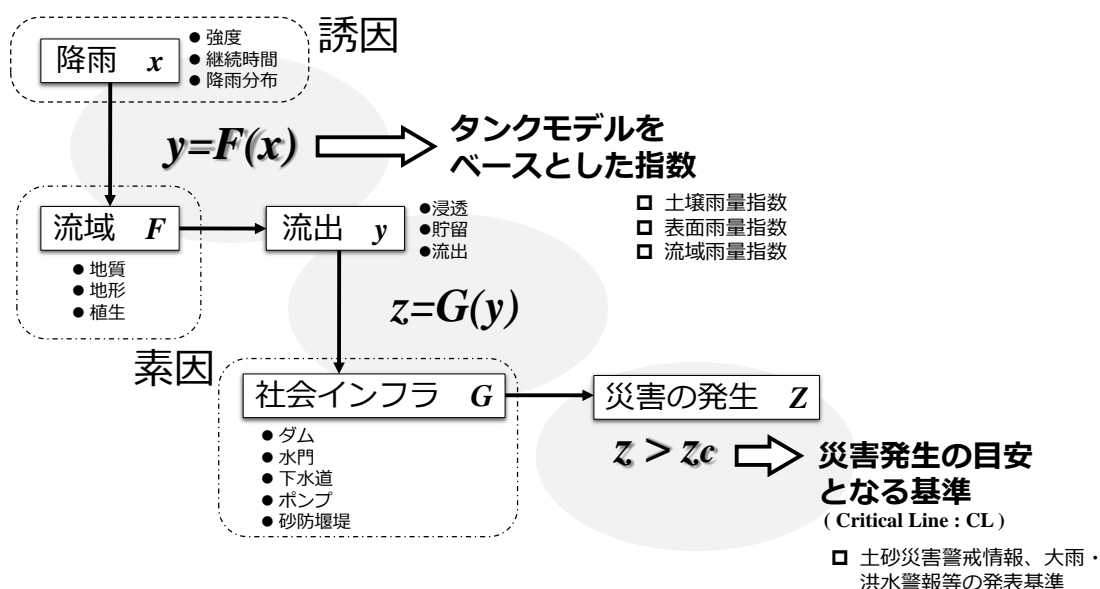
4. 警報の危険度分布

4.1 危険度評価の考え方

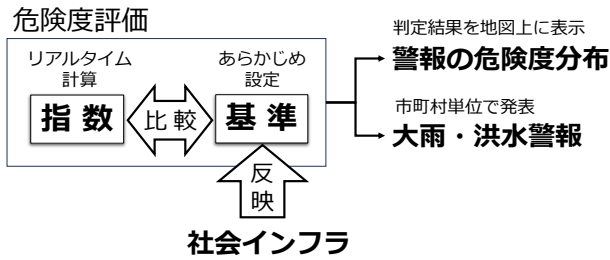
本章のはじめに、大雨・洪水警報等の発表基準及び警報の危険度分布の判定基準の基本的な考え方を示す。なお、両者は原則として同一の基準を用いており、特に断らない限り、大雨・洪水警報等の基準といった場合には危険度分布の判定基準も指すものとする。警報等と危険度分布との対応関係については第4.6節で詳しく述べる。

第4.1図は降雨から災害発生に至るまでの過程とそれを予測するためのアプローチを示している。まず災害発生の誘因となる降雨は、降雨強度や降雨継続時間、空間的な降雨分布によってその

特徴が決定づけられる。そこで、降雨を変数 x として定義し、降雨 x は、地質や土地の起伏、植生といった流域特性 F （自然素因）によって、流出 y に変換されるものと考え、降雨-流出過程は $y = F(x)$ という関数系とみなすことができる。関数 F には様々なモデルが考えられるが、気象庁ではタンクモデルを採用し、それをベースとした3つの指数を算出している。次に、流出 y について考える。防災対策の進んだわが国では、人の社会活動の及ぶ範囲において、自然状態のままの流出 y であることはあまりなく、実際にはさまざまな社会インフラ（社会素因）の作用を受けている。ここでは、この社会インフラの作用を関数 G と定義する。 G として考えられるものに、ダムや水門による人工的な洪水調節、下水道や排水ポンプによる内水排除、砂防堰堤による土砂災害防止などがある。これらはいずれも災害発生の抑止、被害拡大の軽減に寄与するものである。そして最後に、 G の作用によって決定づけられる災害発生ポテンシャルを z と定義し、 z がある臨界値 z_c を超えたときに災害が発生すると考える。この臨界値は Critical Line とも呼ばれ、気象庁では、災害発生の目安となる基準として大雨・洪水警報等の基準を設けている（ただし、気象庁の基準設定においては、社会インフラの作用 G を陽に取り扱ってはいない）。



第 4.1 図 降雨から災害発生に至るまでの過程。



第 4.2 図 指数に基づく危険度評価の考え方.

以上のような災害発生プロセスを踏まえたうえで、気象庁における危険度評価の考え方を示したものが第 4.2 図である。第 3 章で述べた各種指数は降雨による災害発生の危険度の高まりを表す指標であるが、あくまで相対的な危険度を表すものなので、これだけで災害発生に結び付くかどうかを判断することはできない。そこで過去の災害発生時の指数の値をもとに「基準」をあらかじめ設定し、リアルタイムで計算される指数とこの基準とを比較することで災害発生の危険度を評価するようにしている。基準設定に用いる災害データ（被害数）は社会インフラの影響を受けた結果であるため、過去の災害実績をもとに基準値を設定することで、社会インフラの影響も基準値に一定程度反映させることができる。例えば、イン

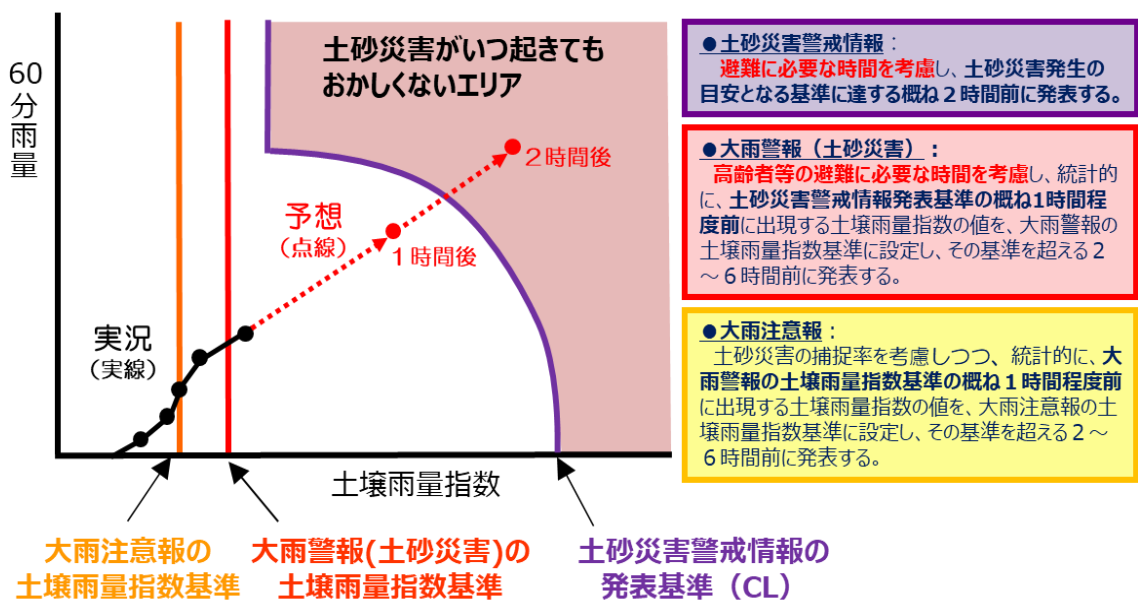
フラ整備の進んだ地域では、指数が高い場合でも被害が発生しない事例が多くなるため基準値が高く設定され、結果として危険度は出にくくなる傾向がある。

4.2 大雨警報（土砂災害）等の基準設定

4.2.1 土砂災害に関する防災気象情報

土砂災害に関する防災気象情報としては、大雨注意報、大雨警報（土砂災害）、土砂災害警戒情報、大雨特別警報（土砂災害）がある（第 4.3 図）。本節では、大雨注意報、大雨警報（土砂災害）、土砂災害警戒情報の基準設定を解説する。大雨特別警報（土砂災害）については、第 4.5 節で解説する。

土砂災害警戒情報は警戒レベル 4（避難指示）相当の情報として気象庁と都道府県が共同で発表する。その発表基準は、都道府県が気象庁と連携して設定している。メッシュごとの 60 分雨量（短時間降雨指標）と土壤雨量指数（長時間降雨指標）を用いて、過去に発生した「土石流及び集中的に発生するがけ崩れ」（対象災害）の降雨状況を整理し、「土砂災害がいつ起きてもおかしくないエリア」を設定する。この領域との境界が土砂災害警戒情報の発表基準（Critical Line, 以下「CL」という。）である。この CL をもとに、気象庁が、



第 4.3 図 土砂災害に係る各種防災気象情報.

大雨注意報や大雨警報（土砂災害）、大雨特別警報（土砂災害）の基準を設定している。令和元年（2019年）6月には、土壌雨量指数の計算を行うメッシュ単位が5 kmメッシュから1 kmメッシュに高解像度化された。これを受けて、土砂災害警戒情報の基準設定は従来5 kmメッシュごとであったが、1 kmメッシュごとの基準設定へ順次移行している。

大雨警報（土砂災害）は、警戒レベル3（高齢者等避難）相当の情報である。この基準は高齢者等要配慮者の避難に必要な時間を考慮し、統計的にCLの概ね1時間程度前に出現する土壌雨量指数の値を大雨警報（土砂災害）の土壌雨量指数基準に設定し、その基準を超える2～6時間前に発表している。大雨警報（土砂災害）の対象災害は、土砂災害警戒情報と同じである。

大雨注意報は、警戒レベル2の情報である。土砂災害にかかわる大雨注意報の基準は、大雨による土砂災害（土砂災害警戒情報や大雨警報（土砂災害）の対象災害以外の災害も含む）の捕捉を考慮しつつ、統計的に大雨警報（土砂災害）の土壌雨量指数基準の概ね1時間程度前に出現する土壌雨量指数の値を大雨注意報の基準に設定し、その基準を超える2～6時間前に発表する。

4.2.2 土砂災害の予測手法

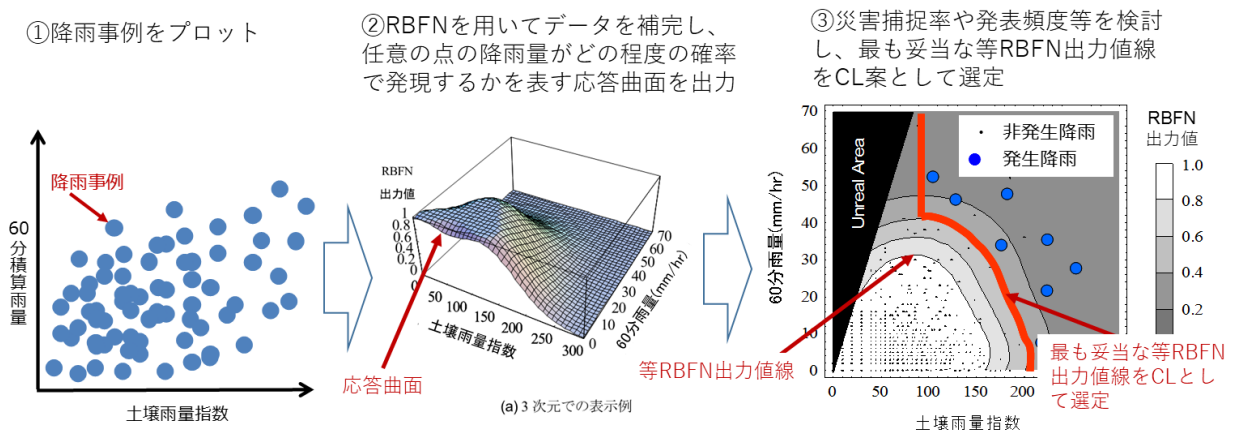
土砂災害の予測手法は「物理的手法」と「経験的手法」に大別される。物理的手法は、降雨の浸透や地下水水位の変動に関する物理モデルを構築し、土砂移動現象の発生プロセスを力学的に計算する手法である。一方の経験的手法は、過去の災害データ（発生場所・日時等）や降雨データを統計処理することで基準を設定する手法である。

物理的手法は、発生実績によらず予測が可能となるが、モデルのパラメータ（土層厚や透水係数等）を広域にわたって調査・準備することが現状では困難なため、全国的な土砂災害の予測手法の確立には至っていない。一方の経験的手法は、蓄積された過去の災害データ・降雨データを用いることで、全国的な基準設定が簡便に行える。したがって、土砂災害警戒情報においては、後者の経験的手法を採用している。

以下、土砂災害警戒情報、大雨警報（土砂災害）、大雨注意報それぞれの基準設定手法について解説する。

4.2.3 土砂災害警戒情報の基準設定手法

前述のとおり統計的手法である土砂災害警戒情報の基準設定では、RBFN（Radial Basis Function Network）という技術を用いる（国土交通省水管



第 4.4 図 CL 設定方法。発生降雨とは、土砂災害が発生した時の降雨を示す。非発生降雨とは、発生降雨以外の降雨を示す。RBFN（Radial Basis Function Network：放射状基底関数ネットワーク）とは、脳や神経回路網をモデルとした階層構造で入力層、中間層、出力層の3層からなり、中間層の出力にRBFN（放射基底関数）を用いている。このRBFNは、非線形判別に優れた手法とされる。

理・国土保全局砂防部他, 2023). RBFN とは放射基底関数を用いたニューラルネットワークの一種であり, 非線形関数の近似が得意という特徴をもつ. RBFN を降雨データに適用することで, ある降雨がどの程度の確率で発現するかを数値化し, これに基づき CL 基準を設定する. RBFN を用いた CL 設定方法の大まかな流れは以下のとおりである (第 4.4 図).

- ① X 軸に土壌雨量指数, Y 軸に 60 分雨量をとり, 降雨データをプロットする.
 - ② RBFN を用いてデータを補間し, 応答曲面を出力する. この応答曲面の Z 軸を RBFN 出力値と呼ぶ.
 - ③ 応答曲面上で RBFN 出力値が同値となる点を結んだ線 (等 RBFN 出力値線) を XY 平面に等値線図として描画する. その中で, 災害捕捉率, 発表頻度等を勘案した上で, 最も妥当な等 RBFN 出力値線を CL 案として選定する.
- ※XY 平面上において, 降雨データが密な領域では, RBFN 出力値が高く, また降雨データが疎な領域では, RBFN 出力値が低くなる.

RBFN によって, 災害発生降雨だけでなく災害非発生降雨も活用した, 降雨の発生頻度の高低に基づく CL 設定が可能である. 一般に, 発生頻度の高い降雨, すなわち降雨強度が強く, 総降水量も少ない降雨事例で土砂災害が発生することは稀である. したがって, このように設定した CL によって, 土砂災害の危険度を客観的に評価することが可能と言える.

なお, 土砂災害の危険性が認められないメッシュについては, 除外メッシュとして, CL の設定対象から除外する. 除外メッシュでは, 大雨警報 (土砂災害) 及び大雨特別警報 (土砂災害) の基準も設定しない. 一方, 大雨注意報については除外メッシュにおいても基準を設定する.

以上が土砂災害警戒情報の基準設定についての概要であるが, より詳細な内容に関しては, 国土交通省水管理・国土保全局砂防部他 (2023) 及び國友 (2018) を参照されたい.

4.2.4 大雨警報 (土砂災害) の基準設定手法

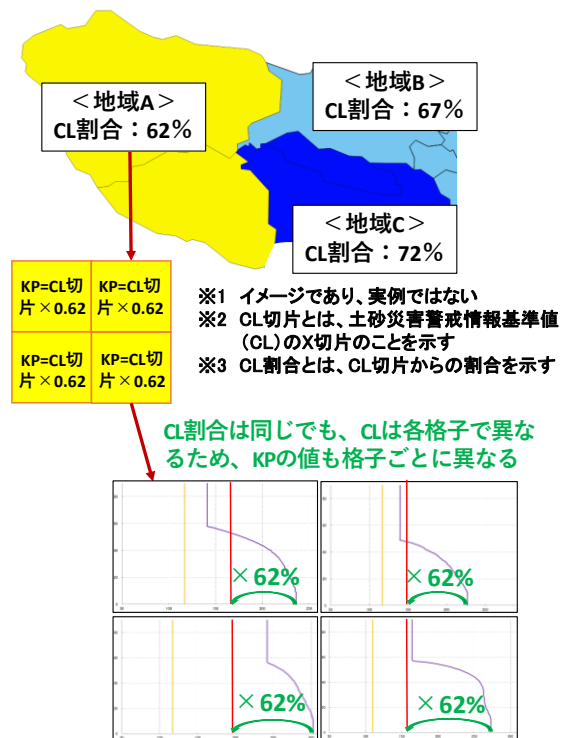
(1) 基準設定の流れ

大雨警報 (土砂災害) は, 避難準備や高齢者等の避難に必要とされる時間を確保するよう, 統計的に土砂災害警戒情報よりも 1 時間程度前 (以下, 「避難リードタイム」という.) に出現する土壌雨量指数の値を基準として定めることとしており, 土砂災害警戒情報発表基準 (CL) の X 切片に, 一定割合を掛け合わせて算出するものである. (以下, この割合を, 「CL 割合」という.)

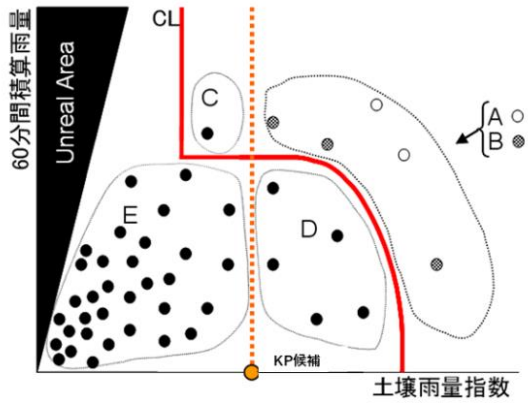
大雨警報 (土砂災害) の基準設定にあたっては, 災害特性や降雨特性が類似している地域ごとに, 一律の CL 割合を設定し, その CL 割合を当該地域内の各格子に掛け合わせていく (第 4.5 図). また, 先述のとおり, 大雨警報 (土砂災害) は, 避難リードタイムを確保する必要がある情報である. そのため, 基準設定にあたっては, 「大雨警報 (土砂災害) 基準値 (以下, 「KP」という.) 超過後の CL 到達の有無」と「CL 到達までのリードタイム (概ね 1 時間) 確保の可否」が着眼点となる.

基準値決定のイメージ

- (1) 降雨事例を地域ごとに整理する
- (2) 地域ごとに CL 割合を決定する
- (3) CL 割合を各格子に掛け合わせる



第 4.5 図 大雨警報 (土砂災害) 基準設定のイメージ.



第 4.6 図 降雨事例の分類. A:大雨警報基準(KP)案超過後に CL 基準に到達した降雨事例のうち避難リードタイムを確保できたもの. B:大雨警報基準(KP)案超過後に CL 基準に到達した降雨事例のうち避難リードタイムを確保できなかったもの. C:大雨警報基準(KP)案超過前に CL 基準を超過した降雨事例. D:大雨警報基準(KP)案超過後に CL 基準に到達しなかった降雨事例. E:大雨警報基準(KP)案と CL 基準のどちらにも到達しなかった降雨事例.

(2) 降雨事例の整理

地域ごとに、CL 割合を複数案設定する（以下、これらを「KP 候補」という.）。設定した KP 候補をもとに、過去 10 年以上の降雨事例に対し、第 4.6 図に示す A～E の分類を行う。

(3) 評価指標の算出

(2) で設定した KP 候補について、(1) に示した着眼点を満たす基準を評価するため、各地域で、以下のア)～オ) の指標を算出する。

ア) リードタイム確保率

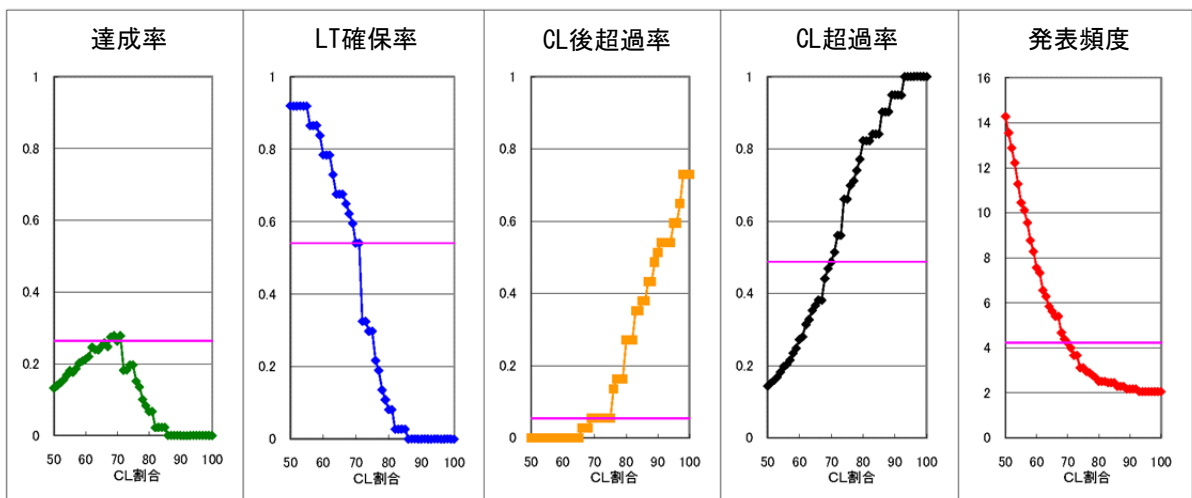
CL を超過した一連の降雨 A, B, C のうち、KP 候補の超過から CL 到達までの時間が 1 時間以上確保できた一連の降雨 A を (1) でまとめた地域毎に整理し、各 KP 候補における割合を算出する。

イ) CL 超過率

KP 候補もしくは CL を超過した一連の降雨 A, B, C, D と当該一連の降雨のうち CL を超過した一連の降雨 A, B, C を (1) でまとめた地域毎に整理し、各 KP 候補における割合を算出する。

ウ) CL 後超過率

CL を超過した一連の降雨 A, B, C と当該一連の降雨のうち CL 超過後に KP 候補に到達した一連の降雨 C を (1) でまとめた地域毎に整理し、各 KP 候補における割合を算出する。



第 4.7 図 KP 候補選出に用いる各指標の例.

エ) 達成率

KP 候補もしくは CL を超過した一連の降雨 A, B, C, D のうち KP 候補超過から CL 到達までの時間が「避難リードタイム」以上確保できた一連の降雨 A を (1) でまとめた地域毎に整理し, 各 KP 候補における達成率 (%) を算出する。

オ) 発表頻度

想定される 1 年あたり的大雨警報 (土砂災害) の発表回数を算出する。KP 候補もしくは CL を超過した一連の降雨数 A, B, C, D を (1) でまとめた地域毎に整理し, 検証対象期間で除して算出する。

(4) KP の作成

各評価指標の算出後, KP 候補の中から, 現行基準と比較して, すべての指標を改善するものを 1 つ選出する。なお, 現行基準を改善するものが複数ある場合は, 原則, 達成率が一番高いものを選出する。

すべての指標を改善するものがない場合は, 達成率を改善するものの中から, 他の指標の改善状況を考慮し KP 候補を選出する (第 4.7 図)。

最終的に, 1 格子毎に定められた CL に対して, 選出した KP 候補の CL 割合を掛け合わせることで, KP が設定される。

4.2.5 大雨注意報の基準設定方法

(1) 基準設定の流れ

土砂災害に関する大雨注意報の基準値 (以下, 「CP」という.) は, 過去の土砂災害事例の捕捉率を考慮しつつ, KP の概ね 1 時間程度前 (以下, 「警報リードタイム」という.) に出現する土壌雨量指数基準として設定される。CP の設定方法は KP とほぼ同様であり, KP 設定でまとめた地域ごとに, KP に一定割合を掛け合わせて算出される。

(以下, この割合を, 「KP 割合」という.)

(2) 降雨事例の整理・評価指標の算出

地域ごとに, KP 割合を複数案設定する (以下, これらを「CP 候補」という.)。設定した CP 候補をもとに, KP 設定時と同じ降雨事例に対し, 第 4.8 図に示す A~E の分類を行う。その後, 各種評価指標 (リードタイム確保率, KP 後超過率, 発表

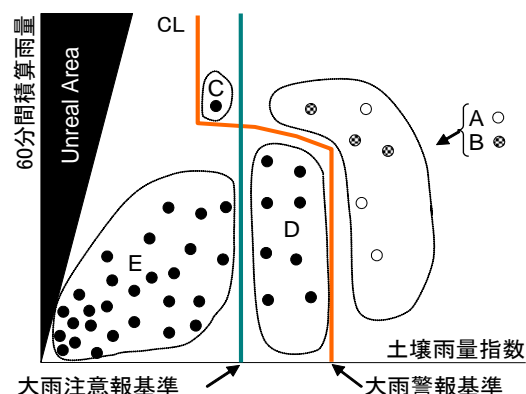
頻度および災害捕捉率) を算出する。CP 設定における KP 設定との違いは, KP 超過率や達成率の代わりに災害捕捉率を算出することである。これは, CP においては, 上述のとおりリードタイムだけでなく土砂災害の捕捉率も考慮するためである。

(3) CP の作成

各評価指標の算出後, CP 候補の中から, 現行基準と比較して, すべての指標を改善するものを 1 つ選出する。なお, 現行基準を改善するものが複数ある場合は, 原則, KP 割合が一番高いものを選出する。

すべての指標を改善するものがない場合は, リードタイム確保率及び KP 後超過率を改善する最も高い CP 候補と, 災害捕捉率を改善する最も高い CP 候補のうち低いほうの CP 候補を選出する。

最終的に, 1 格子毎に定められた KP に対して, 選出した CP 候補の KP 割合を掛け合わせることで, CP が設定される。



第 4.8 図 降雨事例の分類。A:大雨注意報基準超過後に大雨警報基準に到達した降雨事例のうちリードタイムを確保できたもの。B:大雨注意報基準超過後に大雨警報基準に到達した降雨事例のうちリードタイムを確保できなかったもの。C:大雨注意報基準超過前に大雨警報基準に到達した降雨事例。D:大雨注意報基準超過後に大雨警報基準に到達しなかった降雨事例。E:大雨注意報基準に到達しなかった降雨事例。

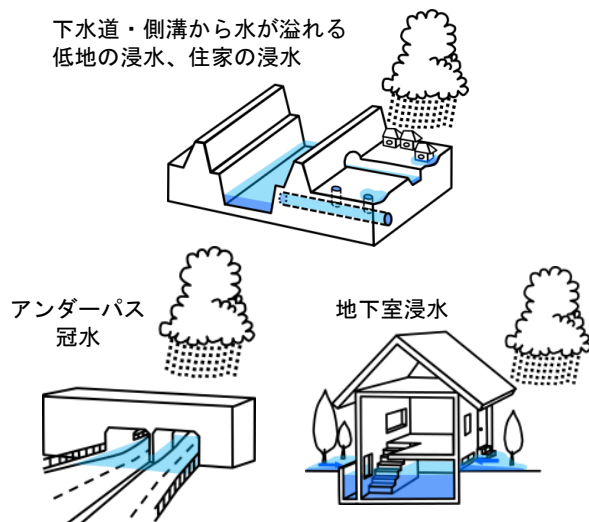
4.3 大雨警報（浸水害）等の基準設定

4.3.1 対象とする現象

大雨警報（浸水害）等が対象とするのは、第 4.9 図に示すように短時間強雨等により雨水の排水能力が追い付かずに発生する内水氾濫である。高橋（1978）は、これを「氾濫型の内水氾濫」と呼んでいる。氾濫型の内水氾濫の発生は、その場所の降雨強度と下水道等の排水施設の処理能力の関係によって決まるが、雨水の排水には地形も大きく影響するため、この種の内水氾濫は低平地やくぼ地で発生することが多く、また、河川から離れた地域でも発生する。

氾濫型の内水氾濫による被害としては、道路の冠水や床上・床下浸水等が挙げられるが、アンダーパスや住宅の地下室等といった潜在的なリスクを抱える場所では生命に関わるような重大な災害が発生するおそれもある。過去には、1999 年に東京都新宿区で地下室が浸水した例（国土交通省，2001）や、2008 年に栃木県鹿沼市で冠水したアンダーパスに乗用車が進入して立ち往生した例（鹿沼市，2010）などで人的被害が発生した。それぞれ、発生箇所の周辺では 1 時間に 91 mm、67 mm と短時間強雨を観測していた。

このように氾濫型の内水氾濫の発生過程には、上流降雨に伴う河川水位の上昇というよりは、降雨域周辺の地表面の水の流れが関係している。



第 4.9 図 大雨警報（浸水害）等の対象とする現象。

このため、大雨警報（浸水害）等の基準指標には表面流出流の強さを指標化した表面雨量指数を用いることとしている。

4.3.2 基準設定方法

(1) 対象災害と基準設定の考え方

大雨警報（浸水害）等の基準には、第 4.1 表のとおり特別警報基準、警報基準を大きく超過した基準、警報基準、注意報基準の 4 つの基準を設けている。特別警報基準の設定方法に関しては第 4.5 節で述べることとし、本節ではその他の 3 つの基準について述べる。

警報基準を大きく超過した基準及び警報基準は、過去に発生した重大な浸水害事例をもとに設定する。ここで、重大な浸水害事例とは、あらかじめ市区町村と協議して決めた「浸水家屋」の被害規模（浸水棟数）を超える災害事例を指す（これを「警報対象災害」という）。例えば東京都特別区の場合、1 つの区で「浸水 50 棟以上」の浸水害が発生するような災害事例を警報対象災害としている。警報基準を大きく超過した基準は、市区町村が発令する「警戒レベル 4 避難指示」や住民の避難判断への活用を想定し、警報対象災害を高い確度で適中させるように設定する。また、警報基準については、市区町村が発令する「警戒レベル 3 高齢者等避難」や防災関係機関の体制強化等への活用を想定し、警報対象災害は基本的に見逃さないという捕捉率重視の考え方に基づいて設定している。

注意報基準に関しては、警報まで至らない軽微な災害、具体的には道路・農地冠水や床下浸水等

第 4.1 表 大雨警報(浸水害)等の基準設定の考え方。

基準	基準設定の考え方
特別警報基準	大規模な浸水害を高い確度で適中させるように設定
警報基準を大きく超過した基準	重大な浸水害を高い確度で適中させるように設定
警報基準	重大な浸水害を見逃さないように設定
注意報基準	浸水害（警報まで至らない軽微なもの）を見逃さないように設定

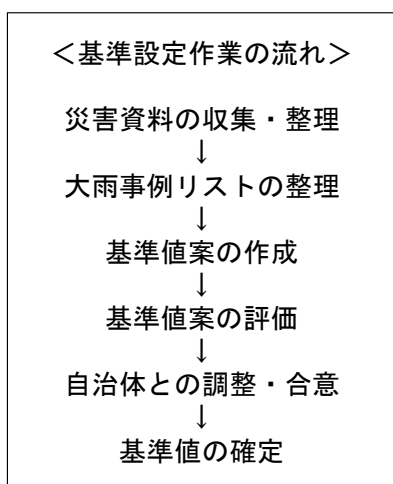
を注意報対象災害とし、それらをできるだけ見逃さないように設定することとしている。

なお、警報等の基準の設定領域は「二次細分区域」を基本としている。二次細分区域は、面積が広域である等の理由から市町村を分割している一部の区域を除き、「市区町村」に該当する。

(2) 基準設定方法の概略

ここでは、大雨警報（浸水害）等の基準設定方法の概略を示す。設定方法に関する個々の詳細については(3)以降に示す。

大雨警報（浸水害）等の基準は、第 4.10 図に示す基準設定作業の流れによって決定する。過去に発生した浸水害事例の表面雨量指数の値に加え、災害が発生しなかったときの表面雨量指数も用いて、統計的に調査して設定する。このため、まずは過去の災害事例の情報を収集・整理し、それらが警報あるいは注意報のどちらの対象災害に該当するかを分類したうえで、大雨事例リストとして整理する。次に、コストロスモデルの概念に基づく客観的かつ統計的手法により二次細分区域ごとの基準値案を作成する。その後、個別の災害事例の捕捉状況や捕捉率、見逃し率等の統計評価を確認し、必要に応じて基準値案からの修正を行った上で、最終的に都道府県・市区町村の合意を得て基準値を決定する。基準値は二次細分区域ごとに決めているため、二次細分区域内の全ての 1 km 格子に同じ値を設定し、危険度の判定を行う。



第 4.10 図 大雨警報（浸水害）等の基準設定作業の流れ。

このとき、市区町村による避難指示等の対象とならない地域では、大雨警報（浸水害）等の発表判断の対象外の格子として「除外格子」を設定している。

なお、基準値は一度設定すれば終わりというものではなく、定期的に確認・評価を行わなければならない。各気象台では、原則として 1 年に 1 回、最新の災害資料を追加して災害発生状況と基準超過状況との関係を精査し、もし両者の間に乖離がみられるようであれば、適切な基準値への見直しを行うようにしている。このような定期的な見直し作業によって、インフラ整備による防災・減災効果を危険度判定に反映させるようにするとともに、災害の見逃しがなく、かつ、できるだけ空振りが少なくなるような適切な基準値の維持に努めている。

(3) 過去の災害発生状況の整理

大雨警報（浸水害）等の基準を設定するにあたり、まずは過去の災害発生状況の整理が必要である。そこで、過去の指数データが存在する 1991 年以降を対象に、国土交通省が公表している「水害統計（一般資産等水害統計基本表）」や自治体に取りまとめている災害資料等を収集し、二次細分区域ごとに災害発生期間、内水氾濫や外水氾濫の分類、床上・床下浸水の被害棟数等を整理する。それぞれの災害事例は、(2) で述べたように市区町村との協議によりあらかじめ決定された対象災害の定義にしたがって、警報対象災害と注意報対象災害に分類する。

なお、この災害統計資料の整理結果は洪水警報・注意報の基準設定においても利用するため、床上・床下棟数といった被害情報は、二次細分区域での集計に加え、二次細分区域内の河川流域単位でも集計するようにしている。

こうして整理した災害統計資料に、該当日の表面雨量指数や雨量データを加えた「大雨事例リスト」を作成している。大雨事例リストには、災害は発生しなかったものの表面雨量指数が高かった事例も含めている。基準設定においては災害が発生していなかったという情報も重要なためである。

(4) コストロスモデルによる基準値案の作成
 一般に、警報対象災害に対して、災害捕捉率が
 高くかつ空振り回数が少なくなるような基準値
 が最も適切な基準値といえる。その際、指標とな
 る表面雨量指数と災害の発生状況に一定の相関
 が認められる場合には基準値の決定は比較的容
 易である。例えば、表面雨量指数の値が大きい事
 例で災害が発生し、値が小さい事例では災害が
 発生していないという傾向があれば、両者を切り
 分ける基準線は簡単に引くことができる。しかし、
 災害の発生事例と非発生事例が完全に分離して
 いるわけではないので、実際には基準値の設定に
 迷うケースもある。また、原則として警報対象
 災害が基準値で捕捉すべき事例となるが、被害
 数が数百棟にも及ぶような甚大な災害事例は
 確実に捕捉すべきであるし、警報対象災害の
 目安にぎりぎり届かない被害数の事例であ
 っても発表頻度が増えないのであれば捕捉対
 象とした方が良いケースもあり得る。しかし、
 これらのことを考慮しながら手作業で基準値
 の検討を行う場合、基準設定の根拠が作業
 者の主観に依存してしまう懸念があることに
 ともに、膨大な量の大雨事例データを取り
 扱うことになるため、作業量の点からも非
 現実的である。

この課題を解決するため、気象庁では、
 基準設定作業にコストロスモデルの概念に
 基づく客観的手法を導入している。以下に、
 気象庁が基準設定に用いているコストロス
 モデルの概要を述べる。

- ・ コストとは情報（警報等）の発表に
 応じて対策をとるための費用で、ロス
 とはその対策によって軽減できる損
 失額（すなわち対策をとらないこと
 による損失額）を表す。対策をと
 っても損失がゼロにならないモデル
 を用いる研究例もあるが、ここでは
 個々の災害に立ち入って防災機関
 の防災活動を評価することは考
 慮せず、第 4.2 表のとおり、ある
 災害が生じたとき、対策をとって
 いないと被害規模に応じた損失が
 あり、対策をとっていれば損失は
 ゼロという最も簡単なモデルを設
 定する。

第 4.2 表 設定したコストロスモデル。

	対策をとる	対策をとらない
災害あり	C (対策費)	L (損失)
災害なし	C (対策費)	0

- ・ コスト C は、ある基準値 WL を達した
 ときにその対策として発生するとし
 て (4.1) 式のように設定する。

$$C = \begin{cases} 0, & X < WL \\ 100, & X \geq WL \end{cases} \quad (4.1)$$

ここで X は過去の表面雨量指数の値
 である。ある気象事例において「指
 数値が基準値以上となる場合は警
 報等の情報を発表し、その対策と
 して 100 のコストを要する」と考
 える (100 とは規格化した数で固
 定値である)。

- ・ ロス L は、ある基準値 WL に達し
 なかった場合にその損失として発
 生するものとして (4.2) 式のと
 いうように設定する。

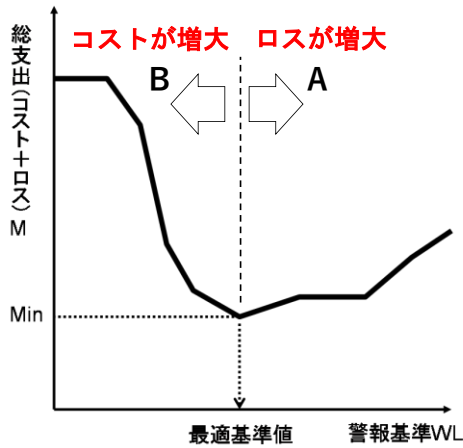
$$L = \begin{cases} P_{up} \times N_{up} + P_{down} \times N_{down}, & X < WL \\ 0, & X \geq WL \end{cases} \quad (4.2)$$

- ・ P_{up} は単位床上浸水棟数あたりの
 ロス-パラメータ、 P_{down} は単位
 床下浸水棟数あたりのロス-パラ
 メータ、 $N_{up} \cdot N_{down}$ はある災
 害事例における床上・床下浸水
 棟数である。

- ・ 例えば、 $(P_{up}, P_{down})=(2,2)$ と
 は床上・床下浸水 1 棟あたりの
 ロスが 2 であることを意味する。
 この場合、床上浸水 20 棟・床
 下浸水 30 棟という災害事例に
 おけるロスは 100 となる。コス
 ト 100 は固定値であるから C/L
 比は 1 となり、これより小さい
 被害規模に対しては対策費より
 も軽減できる損失額が少ないと
 いうことで対策をとる必要がな
 いことを意味する。ロス-パラ
 メータを変化させることで床上
 浸水と床下浸水の重みに差をつ
 けることができ、さまざまな C/L
 比が設定可能となる。
- ・ ある基準値 WL のもと各事例の
 「コスト+ロス」の積算値 M を
 算出すると、

$$M = \sum(C + L) \quad (4.3)$$

M は WL で警報等の情報を運用
 した場合における資料期間の総
 支出を表す量である。



第 4.11 図 基準 WL と総支出 M の関係。A 側の領域は大きな災害への対策をとらない場合に見逃し事例の損失が大きいため総支出が増えることを意味する。一方、B 側の領域は小さな災害の対策をとることにより空振り事例の発表コストが増加するため総支出が増えることを意味する。すなわち総支出が最小になるものが「できるだけ少ない発表回数」で「できるだけ大きな災害を捕捉する」基準値となる。

したがって、さまざまな WL を仮定して M をそれぞれ算出した場合に、M が最小となるときの WL がコストロスモデルによって導かれる最適な基準値となる（第 4.11 図）。

- ・ 実際の基準設定においては、床上・床下浸水のロス-パラメータを変化させながら、M が最小となる基準値をそれぞれ算出し、警報基準を大きく超過した基準についてはその中で最も適中率が高いものを、警報基準及び注意報基準については対象災害の捕捉率ができるだけ高いものを選んで、それぞれの基準値案を決定する。

以上がコストロスモデルを利用した基準設定方法である。コストロスモデルを用いることにより、適中率や捕捉率に加えて災害事例の被害規模も考慮した基準値案を客観的に選ぶことができるようになるとともに、基準設定作業を効率的に進めることができるようになった。なお、洪水警報等における河川毎の流域雨量指数基準の設定に関しても、同様の手法・考え方でコストロスモデルによる基準設定を行っている。

コストロスモデルによる基準値案算出の手順

①市町村等をまとめた地域

➢ 「市町村等をまとめた地域」単位で、基準値の1次案を作成する。

「A市+B町+C村」でグルーピングしたデータをコストロスモデルで評価し、基準値の1次案を決める

②市町村ごと

➢ ①で得られた基準値の1次案から、 $\pm\sigma$ の範囲内で市町村ごとに最適化を行い、基準値案を作成する。

「警報基準を大きく超過した基準」… $\sigma=5$
「警報基準」、「注意報基準」… $\sigma=3$

第 4.12 図 基準値案算出の具体的手順。

次に、大雨警報（浸水害）等の基準の具体的な設定手順を説明する（第 4.12 図）。まず、近隣の二次細分区域を 1 つのグループとした「市町村等をまとめた地域」ごとにコストロスモデルによる基準値案を算出し、これを当該地域に含まれる各二次細分区域の基準値の 1 次案とする。その後、二次細分区域ごとに再度コストロスモデルを実行し、あらためて二次細分区域ごとの基準値案を作成するが、この時、1 次案から大きく乖離しない範囲内（警報基準を大きく超過した基準は±5、警報基準及び注意報基準は±3）で基準値案を算出する。このように 2 段階で基準の検討を行う理由の 1 つに、事例数の少ない二次細分区域ではコストロスモデルで作成した基準値案の統計的信頼性が十分に担保できない可能性があることが挙げられる。少ない災害事例で基準値を設定した場合、それが本当にその二次細分区域の災害特性を表す基準となっているか判断が難しい。そこで地理特性や災害特性の似かよった「市町村等をまとめた地域」で災害データを集約し、事例数を増やしてからコストロスモデルを実行することで、統計的に信頼性の高い基準値案が算出されること

を期待している。また、2 段階で基準の検討を行うもう 1 つの理由として、周辺二次細分区域との間で基準値に極端な差が生じないようにする、すなわち隣接二次細分区域で警報等の発表タイミングに大きな差が生じないようにする、といったことも挙げられる。

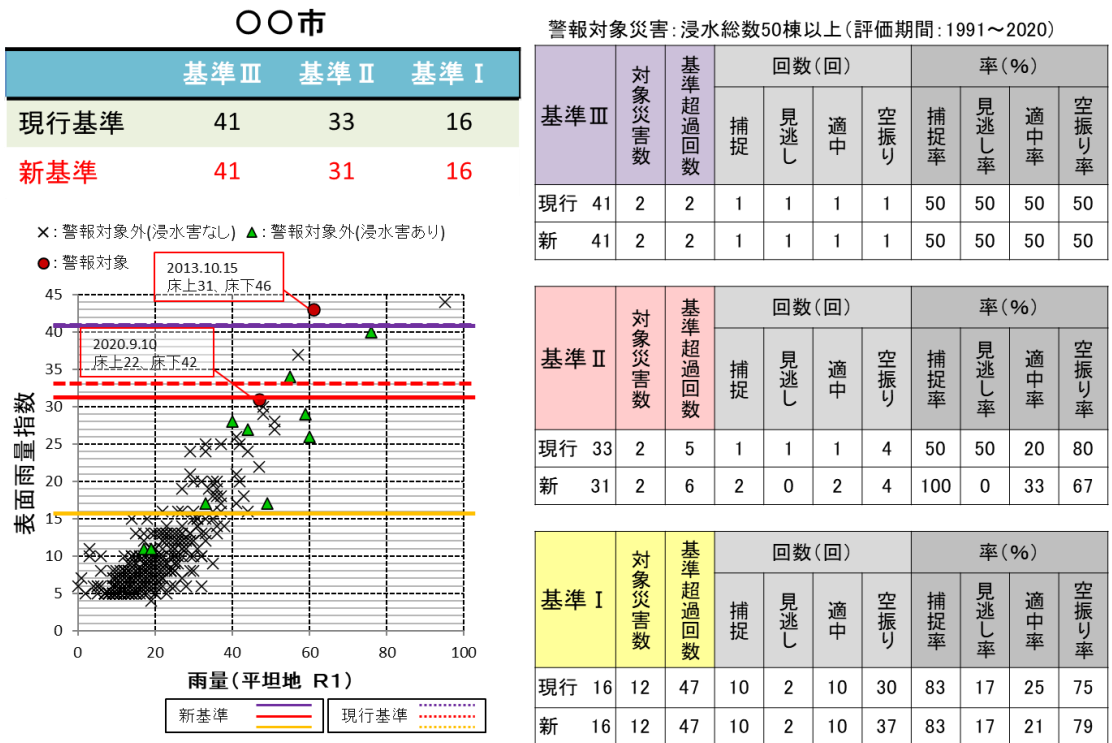
(5) 基準値案の評価

コストロスモデルにより算出された基準値案は、表面雨量指数と災害発生状況を散布図にプロットして個々の災害事例の捕捉状況や適中率、見逃し率等の統計評価を確認し（第 4.13 図）、必要に応じて修正を行った上で、最終的に市区町村の合意を得て決定している。

(6) 排水施設等の影響

大雨警報（浸水害）等の基準値は二次細分区域ごとに設定しているが（二次細分区域内の 1 km 格子はすべて同じ値を設定）、ここでは基準設定領域と素因（排水能力）の関係について考察する。

浸水害の発生のしやすさは、地形勾配や地質による自然排水のほかに、雨水を排水するためのインフラ施設（河川、下水道、排水ポンプ、小規模な側溝等）による排水能力にも大きく左右される。



第 4.13 図 大雨警報（浸水害）等の基準値評価・検討例。

しかし、これら排水施設は二次細分区域内に数多く存在し、その排水能力もさまざまであることから、個々の排水路の能力を把握して基準値に反映させることは難しい。仮に雨量（1 時間雨量や 3 時間雨量など）を用いて二次細分区域で同一の基準を設定しようとした場合、排水能力の低い地域の基準に合わせざるを得ないため、二次細分区域内で排水能力が大きく異なると、結果的に空振りが多くなるおそれがある（平地で浸水をもたらすような雨が排水能力の大きい傾斜地（山地）で降ったとしても浸水は起こらない）。設定領域を細分することによって領域ごとに排水能力の差を反映した基準値を設定することも可能にはなるが、基準設定に用いる災害資料は必ずしも浸水発生場所が特定できているわけではないし（市区町村単位の浸水棟数で集計されていることが多い）、作業量も膨大なものとなるため、細分するにしても限界がある。しかし、第 3.4 節で述べたように、表面雨量指数には地形勾配と排水能力に一定の傾向があると仮定して（地形補正係数）、指標自体にその傾向を考慮しているため、1 km 格子ごとに地形に応じた排水能力の効果を反映させることができる。すなわち、排水能力の低い地域の基準値を二次細分区域内の全ての 1 km 格子に設定したとしても、同じ雨が降った時、地形的に排水能力の高い別の地域の表面雨量指数は大きくなることから、空振りを増やすことにはならない。いわば、表面雨量指数の地形補正のアルゴリズムは、1 km 格子単位で基準設定したことと同等の効果をもたらすものともいえる。

なお、第 4.1 節で述べたとおり、表面雨量指数の計算には下水道の整備状況や排水ポンプの能力といった要素は考慮していないが、それらインフラ施設の効果や整備状況は被害様態の変化として現れるので、過去の災害実績との対応から作成する大雨警報（浸水害）等の表面雨量指数基準にはその効果が間接的に反映されているといえる。このとき、インフラ整備の効果が明確にわかっている場合には、整備後の災害資料を用いて基準値を設定することで、最新のインフラ整備状況を反映することができる。

(7) 除外格子の設定

山岳地域には、1 km 格子内に定住者がいない、日常的に社会活動が行われていない、といった格子が存在する。これらは市区町村による避難指示等の対象とならない地域であり、警報対象災害も起こりえないことから、大雨警報（浸水害）等の発表地域の対象外とすることで、災害に対する警報等の空振り回数の低減につながることを期待される。そこで、このような格子を「山岳除外格子」とし、警報基準を大きく超過した基準及び警報基準を持たせないようにしている。ただし、避難指示等の対象とならない山岳地域であっても、登山者や工事関係者等、特定目的で人が立ち入る可能性があるため、そういった人への注意喚起や警報の前段階としての情報発表等、幅広く注意を呼びかけることを目的とする大雨注意報に関しては山岳除外格子を設定しない。

また、無人島や海岸付近には、河川、建物、道路、農地のいずれも存在しないなど、浸水害をもたらす素因が一切存在しない格子が存在する。このような格子は「離島海岸除外格子」とし、大雨警報（浸水害）だけでなく大雨注意報も含めて基準を持たせないようにすることで、警報・注意報の発表地域の対象外としている。

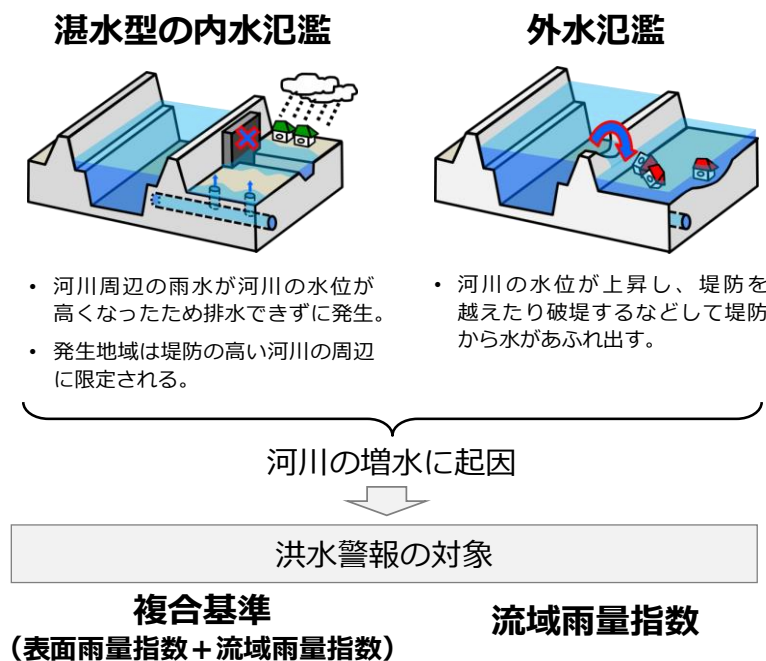
4.4 洪水警報等の基準設定

4.4.1 対象とする現象

洪水警報等が対象とするのは、第 4.14 図に示すような河川の増水に起因する洪水災害であり、大きく分けて 2 つの発生要因がある（日本災害情報学会、2016）。

1 つは外水氾濫であり、これは降雨により河川の水位が上昇し、河川の水（これを外水と呼ぶ）が堤防からあふれ出る「越水」、又は河川の堤防が切れる「決壊」により、家屋や農地等が浸水することをいう。外水氾濫発生リスクは流量の増大に伴って高まることから、洪水警報等の基準指標には河川流量を指標化した流域雨量指数を用いている。

もう 1 つの発生要因は、幹川の水位が高いために、その地域で降った雨水が幹川に流れ込まなく



第 4.14 図 洪水警報等の対象とする現象.

なることである。これにより、幹川周辺で浸水したり、支川であふれたりすることがある。高橋（1978）はこれを「湛水型の内水氾濫」と呼んでいる。湛水型の内水氾濫は、大河川流域における平野部や、中小河川が大河川に合流する付近で発生しやすい。例えば、2005 年台風第 14 号では、宮崎県宮崎市で 4,000 棟近い住家被害が発生したが、これは幹川である大淀川の水位が高かったために支川の水が極端に流れ込みにくくなり、各地で河川の氾濫が発生したものである（宮崎市総務部危機管理室）。また、平成 30 年 7 月豪雨では、岡山県倉敷市の高梁川で水位が上昇し、支川である小田川の水が高梁川に流れ込みにくくなることで氾濫が発生し、多数の人的被害が発生した（土木学会，2019）。さらに、令和元年東日本台風では、東京都世田谷区や大田区において多摩川の水位が上昇し、支川である谷沢川等や下水管の排水が滞り、多数の浸水被害が発生した（世田谷区，2020；大田区，2020）。湛水型の内水氾濫は、河川の増水の状況を表す流域雨量指数と、（いずれは河川に流れ込む）地表面の水の流れを表す表面雨量指数の双方が高まった時に最も発生リスクが高まると考えられる。このため、流域雨量指数と

表面雨量指数を組み合わせた複合基準についても洪水警報等の基準指標として用いている。

4.4.2 基準設定方法

(1) 対象災害と基準設定の考え方

洪水警報等の基準には、第 4.3 表のとおり警報基準を大きく超過した基準、警報基準、注意報基準の 3 つの基準を設けている。

警報基準を大きく超過した基準及び警報基準は、過去に発生した重大な洪水災害事例をもとに設定する。その目安となる警報対象災害（あらかじめ市区町村と協議して決めた「浸水家屋」の被害規模（浸水棟数））は大雨警報（浸水害）と同じだが、外水氾濫に起因するものと内水氾濫に起因するものを区別し、それぞれで流域雨量指数基準と複合基準を設定する。基準設定の考え方も基本的には大雨警報（浸水害）と同じであり、警報基準を大きく超過した基準については適中率重視、警報基準については捕捉率重視の考え方に基づいて設定している。

注意報基準に関しては、警報まで至らない軽微な災害、具体的には床下浸水や道路・農地冠水、河川施設の被害等を注意報対象災害とし、それら

第 4.3 表 洪水警報等の基準設定の考え方.

基準	基準要素	基準設定手法
警報基準を大きく超過した基準	流域雨量指数基準	河川流域で発生した外水氾濫に起因する重大な浸水害を高い確度で適中させるように設定
警報基準	流域雨量指数基準	河川流域で発生した外水氾濫に起因する重大な浸水害を見逃さないように設定
	複合基準 (表面雨量指数+流域雨量指数)	河川流域で発生した湛水型の内水氾濫に起因する重大な浸水害を見逃さないように設定
注意報基準	流域雨量指数基準	河川流域で発生した外水氾濫に起因する浸水害(警報まで至らない軽微なもの)を見逃さないように設定
	複合基準 (表面雨量指数+流域雨量指数)	河川流域で発生した湛水型の内水氾濫に起因する浸水害(警報まで至らない軽微なもの)を見逃さないように設定

をできるだけ見逃さないよう設定することとしている。

洪水警報等の基準値は、原則、流域雨量指数を計算している全ての河川を対象とし、河川ごとに 1 km 格子単位で設定する。1 つの 1 km 格子に複数の河川が存在する場合には、それぞれの河川に対して基準値を設定する。また、全国の陸上格子の中には流域雨量指数の計算対象河川のない格子も存在するが、そのような格子についてもタンクモデルによる流出量の算出及び地形に沿った流下計算を行っており、その値を用いて基準値を設定している。

流域面積が大きく、洪水により大きな損害を生ずるおそれのある河川については、国土交通省又は都道府県と気象庁が共同で指定河川洪水予報を発表している。これらの河川の洪水予報区間では、水位の実況及び予測に基づき外水氾濫のおそれと呼びかけていることから、流域雨量指数基準を設けていない。一方で、湛水型の内水氾濫に関しては、河川の増水に加えて河川周辺の降雨状況も加味する必要があるため、洪水予報区間であっても複合基準を設定し、洪水警報等で警戒・注意を呼びかけている。なお、指定河川洪水予報のうち「氾濫発生情報」「氾濫危険情報」「氾濫警戒情報」が発表された場合は当該河川の氾濫水の影響が及ぶと想定される市区町村に洪水警報を、「氾濫注意情報」が発表された場合には沿川市区町村に対して洪水注意報を発表することとしている。

最後に、洪水の特別警報について触れておく。洪水による重大な災害が発生するおそれが著しく大きいことを予測しようとする場合、雨量等の気象現象に加え、ダム等の人為的な流水の制御、潮汐や支川合流の影響、インフラの整備状況等も踏まえて行うことが必要となる。洪水警報の基準指標である流域雨量指数にはこれら要素が直接は考慮されていないこと、また、流域面積が大きな河川については水位に基づき指定河川洪水予報を実施していること等から、現在は洪水の特別警報は行わないこととしている。

(2) 基準設定方法の概略

ここでは、洪水警報等の基準設定方法の概略を示す。設定方法の個々の詳細については(3)以降に示す。

洪水警報等の基準は、大雨警報(浸水害)等と同様に、過去の災害事例の収集・整理、コストロスモデルに基づく基準値案の作成、個別の災害事例の捕捉状況や統計評価の確認による基準値案の修正を経て、市区町村との合意により決定される。また、市区町村による避難指示等の対象とならない地域においては、大雨警報(浸水害)と同様、洪水警報等の発表判断の対象外の格子として「除外格子(山岳除外格子・離島海岸除外格子)」を設定している。

なお、基準値は、その妥当性を毎年確認・評価するとともに、必要に応じて適切な基準値への見直しを行っている。特に、流域雨量指数の計算に

考慮されていない要素（貯留施設等の影響）に関しては、過去の災害実績をもとに設定する基準値に一定程度反映させることができることから、最新の災害資料を追加した定期的な基準の見直し作業は洪水警報等の精度を維持する上で非常に重要である。

(3) 過去の災害発生状況の整理

洪水警報等の基準設定においても、第 4.3.2 項 (3) で述べた過去の災害統計資料を利用する。床上・床下浸水棟数といった被害情報は、二次細分区域ごとに河川流域単位で集計し、あわせて外水氾濫か内水氾濫かの分類をしておく。流域雨量指数基準は外水氾濫に起因する災害事例のみを用いて基準値案を作成するが、複合基準については外水氾濫と内水氾濫を区別はせずに、また、内水氾濫に関しても湛水型と氾濫型（大雨警報（浸水害）の対象）の区別はせずに、すべての災害事例を用いて基準値案を作成している。これは、外水氾濫が発生した事例では、その前段階として湛水型の内水氾濫の発生リスクが高まっていると考えられること、また、過去の災害資料を収集・整理する際に、内水氾濫を湛水型と氾濫型に分類することが極めて難しいといった理由による。ただし、実際の複合基準の設定にあたっては、コストロスモデルの概念に加え、大雨警報（浸水害）等の表面雨量指数基準による捕捉状況も考慮して過度に空振り回数が増えないような調整を行っている。このため、最終的には表面雨量指数基準

と複合基準の両者をあわせて内水氾濫全体を捕捉しているということになる。内水氾濫事例を湛水型と氾濫型に分類し、それぞれの事例を用いて表面雨量指数基準と複合基準を設定することは今後の課題の 1 つである。

(4) 基準値案の作成

基準値案の作成にあたっては、流域雨量指数の計算対象である約 22,000 河川のうち、重点的に調査する河川をあらかじめ選定しておく（以下、これを「主要な河川」という）。主要な河川は、過去の災害記録の有無や災害と直結しない山岳河川の除外等を考慮の上、市区町村からの要望も踏まえて決定する。令和 5 年（2023 年）6 月現在、延べ約 8,300 河川が「主要な河川」として登録されている。主要な河川のうち、過去の災害履歴があるものはコストロスモデルによる基準計算を行い、それ以外の河川に関しては統計値をもとに基準値を設定する。それぞれの基準値案の作成方法を第 4.4 表に示す。

洪水警報等の基準設定に用いる災害データは二次細分区域内の河川流域単位で集計されているため、コストロスモデルによる基準計算も河川流域単位で行う。この際、主要な河川の流域雨量指数（計算格子）は二次細分区域内に複数存在するが、市区町村の中心部や水害多発地域など、監視上重要な格子を 1 つ選択し、その格子の指数値を用いてコストロスモデルを実行する（以下、この格子を「代表格子」という）。

第 4.4 表 洪水警報等の基準値案の作成方法。

基準	河川の分類	主要な河川		主要な河川以外の流域雨量指数計算対象河川	流域雨量指数計算対象河川のない格子
		過去災害あり	過去災害なし		
流域雨量指数基準	警報基準を大きく超過した基準	50年値	50年値	50年値	50年値～50年値の1.2倍
	警報基準	コストロスモデル	30年値	30年値	30年値～50年値
	注意報基準	コストロスモデル	警報基準の7～8割	警報基準の7～8割	警報基準の7～8割
複合基準	警報基準	コストロスモデル	設定しない	設定しない	設定しない
	注意報基準	コストロスモデル	設定しない	設定しない	設定しない

なお、主要な河川の代表格子は気象庁ホームページの「流域雨量指数の予測値」の監視地点として登録されるとともに、その基準値は気象庁ホームページの「警報・注意報発表基準一覧表」に掲載される。

ア) 主要な河川の基準設定

主要な河川のうち、過去に災害が発生した河川の代表格子の警報・注意報基準について、コストロスモデルを用いて流域雨量指数基準及び複合基準を作成する。コストロスモデルの条件は第 4.3.2 項 (4) で述べた大雨警報（浸水害）等て利用したものと同じであるが、洪水警報・注意報の場合は個々の代表格子ごとに基準計算を行い、複数の代表格子をグループにして計算することはしない。これは、河川によってインフラ整備の状況が大きく異なることに加え、流域雨量指数の値は流域の大きさによって大きく異なるため、グループにまとめて計算することができないためである。

コストロスモデルで算出された代表格子の基準値案を当該河川の他の格子にそのまま当てはめることはできない。なぜなら、同一河川における流域雨量指数の値は下流ほど高くなり、また支川合流後に値が大きく変化することもあるからである。そこで、代表格子以外の各格子の基準値は (4.4) 式に基づき、代表格子と同等の水準になるよう基準値を設定している。

各格子の基準値 =

$$\text{各格子の 50 年値} \times \frac{\text{代表格子の基準値}}{\text{代表格子の 50 年値}} \quad (4.4)$$

主要な河川のうち過去の災害記録がない河川に関しては、コストロスモデルによる基準値が算出できないため、極値統計（グンベル分布）により求めた統計値（以下、N 年に一度の頻度で出現する指数値を「N 年値」とする。）を基準値として設定する。これは稀な現象であるほど、災害発生リスクが高いという考えに基づくものである。統計値は、1991 年以降の流域雨量指数をもとに 1 km 格子ごとに算出し、流域雨量指数基準については、警報基準は 30 年値、注意報基準は警報基準の 7～8 割の値を設定している。なお、複合基準に

関しては、流域雨量指数及び表面雨量指数の 2 つの指標を用いた（極値統計に基づく）統計値を一意に決定することができないことから設定しない。

イ) 主要な河川以外の基準設定

主要な河川以外の河川及び流域雨量指数の計算対象河川のない格子については、コストロスモデルによる基準計算は行わず、1 km 格子ごとの統計値を警報・注意報基準として設定する。具体的には、流域雨量指数基準について、警報基準は 30 年値～50 年値、注意報基準は警報基準の 7～8 割の値を設定している。複合基準は設定しない。

ウ) 警報基準を大きく超過した基準

警報基準を大きく超過した基準については、河川の分類を問わず、全河川・全格子に対して、50 年値（警報基準を 50 年値としている一部の格子については 50 年値の 1.2 倍の値）を流域雨量指数基準として設定する。統計値を用いるのは、前述のとおり、稀な現象ほど災害発生リスクが高まるという考えに基づくものである。また、外水氾濫に起因する災害事例は内水氾濫に比べて事例数が限られるため、コストロスモデルによる基準計算では警報基準との差が出ない（同じ基準値になる）ことが多いことも理由の 1 つとしてあげられる。

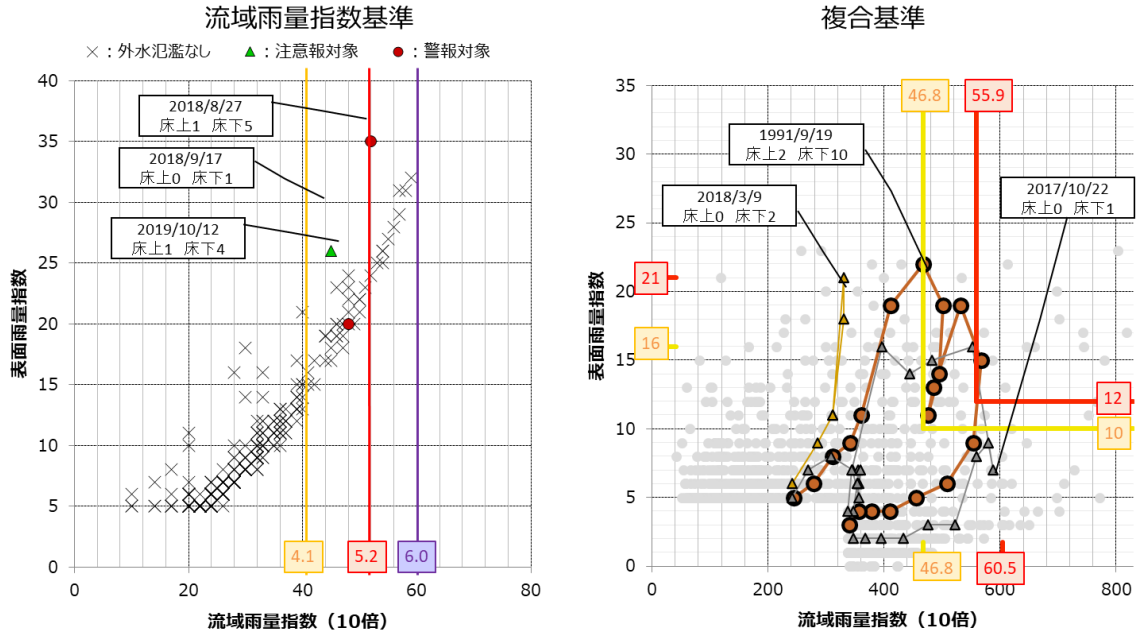
なお、警報基準を大きく超過した基準では複合基準は設定しない。警報基準を大きく超過するような状況では、すでに外水氾濫が発生する危険性が高まっていると想定されるため、流域雨量指数基準による判定に基づいて警戒を呼びかけることとしている。

(5) 基準値案の評価

コストロスモデルにより算出された主要な河川の代表格子の基準値案は、個々の災害事例の捕捉状況や適中率、見逃し率等の統計評価を確認し（第 4.15 図）、必要に応じて修正を行った上で、最終的に市区町村の合意を得て決定している。

(6) 流域雨量指数の計算で考慮されない事項についての取扱い

これまで述べてきたとおり、洪水警報等の基準値は過去に発生した災害事例をもとに設定する



第 4.15 図 洪水警報等の基準検討例。

ことを基本としている。洪水災害の発生には貯留施設（ダム等）の有無や堤防のかさ上げ等の改修状況等が大きく関わるが、これら治水対策の効果は被害様態の変化として現れるので、災害実績との統計的關係から設定する基準値に間接的に反映されることになる。ここでは、第 3.5.4 項で述べた流域雨量指数の計算で考慮されない幾つかの事項について、基準設定の観点から補足を加える。

ア) ダム・堰・水門等による人工的な洪水調節
ダムや堰、水門等による人工的な洪水調節が行われると、流域雨量指数と河川水位のピーク時刻や変化傾向にずれが生じる場合がある。ただし、過去の災害実績にはこれらの効果が織り込まれているため、災害実績との統計的關係から設定する基準値にもその効果は一定程度反映されているといえる。一般的には、ダムの規模が大きくなれば、実用上あまり大きな問題にはならないことも多い。また、広い流域を持ち、多数のダム・堰・水門等の河川管理施設を有する河川の多くは、指定河川洪水予報の対象となっている。

イ) 潮汐の影響

海岸付近の河川では潮汐の影響と上流からの

洪水が重なると水位が大きく上昇することがあるが、流域雨量指数では潮汐の影響は考慮していない。ただし、基準計算には潮汐の影響と洪水が重なって発生した災害事例も含まれているため、潮汐の影響を受ける河川の基準値にはその影響が一定程度反映されている。なお、高潮のみに起因していることが明らかな災害事例は基準計算からは除くようにしている。

ウ) バックウォーターの影響

流域雨量指数の計算は、地形勾配に沿って一方向（下流方向）に流下させるのみで、幹川の高水位の影響が支川に及ぶ現象、いわゆるバックウォーター（背水又は逆流）は表現できない。一方で、幹川の水位上昇に伴う支川氾濫は湛水型の内水氾濫による災害事例として整理されるので、この種の災害は複合基準によってカバーされていることになる。ただし、複合基準は表面雨量指数を基準要素の 1 つとして用いていることから、雨が全く降っていない中で純粋に幹川の逆流によって支川の危険度が高まる状況では、その危険度を正確に表現できない場合がある点に留意が必要である。

4.5 大雨特別警報の基準設定

4.5.1 大雨特別警報の概要

気象庁では、平成 25 年（2013 年）8 月から、警報の発表基準をはるかに超える大雨等が予想され、重大な災害の起こるおそれが高まっている場合、「特別警報」を発表して最大級の警戒を呼びかけている。

このうち、大雨特別警報については、一定時間（短時間指標では 3 時間、長時間指標では 48 時間）の降水量及び土壌雨量指数において、50 年に一度の値以上となった 5 km 格子が、ともに一定数（短時間指標では 10 格子、長時間指標では 50 格子）以上まとまって出現している地域の中で、危険度分布で最大危険度が出現している二次細分区域に発表するという方法で令和 2 年（2020 年）7 月まで運用してきた。

上述の手法による大雨特別警報の運用実績を検証したところ、多大な被害発生にも関わらず、発表に至らなかった事例や、発表したものの多大な被害までは生じなかった事例が見られた。平成 30 年度に設置された外部有識者会議「防災気象情報の伝え方に関する検討会」における議論も踏まえ、雨量に替えて災害発生との結びつきが強い「指数」を用いて地域毎に基準値を設定することにより、大雨特別警報をより精度の高い情報に改めるべく方針を掲げた。

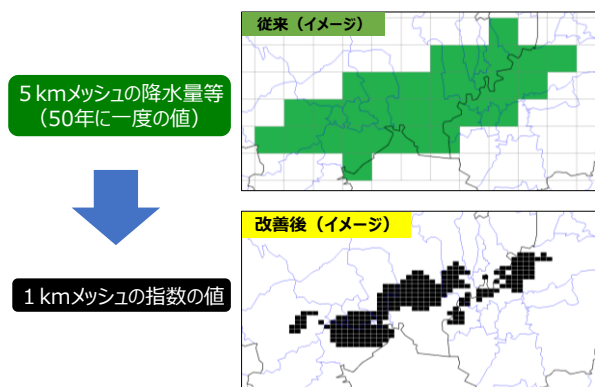
大雨特別警報の発表判断に用いる指標として、前述のとおり令和 2 年（2020 年）7 月までは 5 km 格子の降水量等を用いていたところ、新たな手法

では災害発生との結びつきが強い 1 km 格子の「指数」の値を用いる（第 4.16 図）。この改善により、より細かなメッシュ毎に危険度が判定されるため、島しょ部や単一市区町村であっても特別警報の発表対象になりうる他、「50 年に一度」に満たない雨量で多大な被害が発生する地域に対しても、適切に大雨特別警報が発表されることが期待される。また、「50 年に一度」という雨量の生起確率に基づいた基準値ではなく、災害発生との結びつきの強い指数に基づいた基準値を用いることにより、多大な被害までは生じなかった事例に対するの発表回避や対象地域を大幅に絞り込んだ発表が可能となることから、警戒レベル 5 相当の情報としての信頼度が高まり、自治体の防災対応を強力に支援するといった効果が期待される。

本項の最後に、大雨特別警報の指標改善に関する変遷を第 4.17 図に示す。大雨特別警報は「50 年に一度の値」のみを指標として平成 25 年（2013 年）8 月に運用を開始した。その後、平成 29 年（2017 年）7 月に危険度分布の技術を活用し、50 年に一度の大雨となっている地域の中で、危険度が高まっている二次細分区域に絞り込んで発表する手法に変更した。令和 2 年（2020 年）7 月には大雨特別警報（土砂災害）の短時間指標について、50 年に一度の値に替えて、土壌雨量指数の新たな基準値を設定し、基準値に達した 1 km 格子が概ね 10 個以上まとまって出現した場合に発表する手法に変更した。その後、令和 3 年（2021 年）6 月には上述の手法を長時間指標にも拡大した。令和 4 年（2022 年）6 月には大雨特別警報（浸水害）について、表面雨量指数と流域雨量指数に基づく基準値を設定し、基準値に達した 1 km 格子が概ね 30 個（表面雨量指数）ないしは 20 個（流域雨量指数）以上まとまって出現した場合に発表する手法に変更した。

4.5.2 大雨特別警報（土砂災害）

大雨特別警報（土砂災害）の新たな指標では、土砂災害警戒情報の発表基準のさらに高い領域に、過去に多大な被害が発生したときの土壌雨量指数の値を基準値として設定する。この基準値に



第 4.16 図 発表判断に用いる指標の変更。

指標		50年に一度の値 < 5 kmメッシュ>			危険度分布の技術（指数） < 1 kmメッシュ>			
		48時間 雨量	3時間 雨量	土壌 雨量 指数	極めて危険 （濃い紫）		大雨特別警報の指標 に用いる基準値	
					土砂災害	浸水 又は洪水	土砂災害	浸水 洪水
土砂災害	長時間指標	50格子	—	50格子	出現	—	—	—
	短時間指標	—	10格子	10格子	出現	—	—	—
浸水害	長時間指標	50格子	—	50格子	—	出現	—	—
	短時間指標	—	10格子	10格子	—	出現	—	—
土砂災害	長時間指標	50格子	—	50格子	出現	—	—	—
	新たな指標	—	—	—	—	—	10格子	—
浸水害	長時間指標	50格子	—	50格子	—	出現	—	—
	短時間指標	—	10格子	10格子	—	出現	—	—
土砂災害	新たな指標	—	—	—	—	—	10格子	—
	浸水害	長時間指標	50格子	—	50格子	—	出現	—
浸水害	短時間指標	—	10格子	10格子	—	出現	—	—
	土砂災害	新たな指標	—	—	—	—	—	10格子
浸水害	新たな指標	—	—	—	—	—	—	30格子 20格子

平成29年 7月7日～

土砂災害の新たな指標の全国的運用

令和2年 7月30日～

土砂災害について新たな指標へ一本化

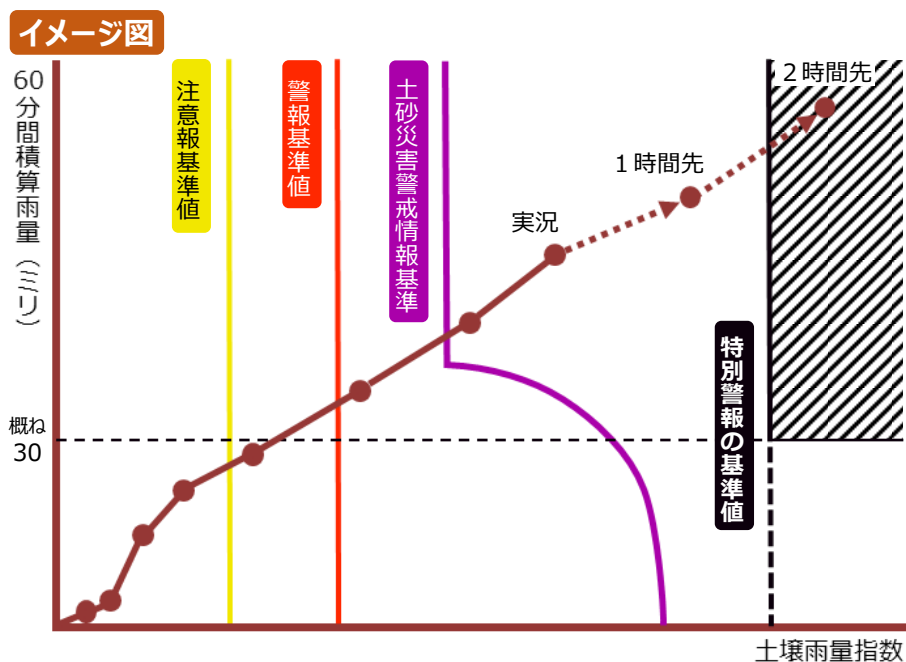
令和3年 6月8日～

浸水害の新たな指標の運用開始

令和4年 6月30日～

※ 東京都伊豆諸島北部では令和元年10月11日より土砂災害の新たな指標を先行的に導入
 ※ 1kmメッシュ土壌雨量指数への移行が完了していない一部地域では、土砂災害の新たな指標を用いず短時間指標を引き続き運用

第 4.17 図 大雨特別警報の指標改善に関する変遷。



第 4.18 図 大雨特別警報（土砂災害）の発表条件。黒斜線領域の状況を予想した場合に特別警報を発表する。

第 4.5 表 大雨特別警報（土砂災害）の主な対象災害.

現象	発生日	発生地城
平成24年7月九州北部豪雨	7月12日	熊本県阿蘇市等
	7月14日	福岡県八女市
平成25年台風第26号	10月16日	東京都大島町
平成26年8月豪雨	8月17日	兵庫県丹波市
	8月20日	広島県広島市
平成29年7月九州北部豪雨	7月5日	福岡県朝倉市～東峰村
平成30年7月豪雨	7月6日	広島県広島市、呉市、坂町等
	7月7日	愛媛県宇和島市
令和元年東日本台風	10月12日	宮城県丸森町

到達している又は到達することが予想される 1 km 格子が概ね 10 個以上まとまって出現する状況において、当該格子が存在し、かつ、激しい雨（1 時間に概ね 30 mm 以上）がさらに降り続けると予想される二次細分区域に大雨特別警報（土砂災害）を発表する（第 4.18 図）。

特別警報は重大な災害が発生する可能性が著しく高まった場合に限り発表するものであり、現状の災害発生予測の技術水準では 1 格子のみの判定によってその蓋然性を担保することは困難なため、超過格子が複数個まとまって出現することを要件としている。具体的には、局所的な土砂災害を引き起こす「溪流の広さ」が 1 km 格子で数個×数個の領域に対応することを踏まえ、基準値を超過する格子が 10 個以上まとまって出現するときに大雨特別警報（土砂災害）を発表することとしている。

(1) 大雨特別警報（土砂災害）の対象災害

「大規模または同時多発的な（一定の領域に集中的に発生する）土石流」を大雨特別警報（土砂災害）の対象災害と定める。“大規模“かどうかについては崩壊量（容積）をもとに判断し、平成 23 年（2011 年）台風第 12 号による紀伊半島での土石流、平成 25 年（2013 年）台風第 26 号による伊豆大島での土石流などがこれに該当する。一方、発生時刻が数時間程度の幅に収まり、かつ、発生箇所分布の密集度として、数市区町村以内の領域で概ね 20 件を超えるような事例を“同時多発的”

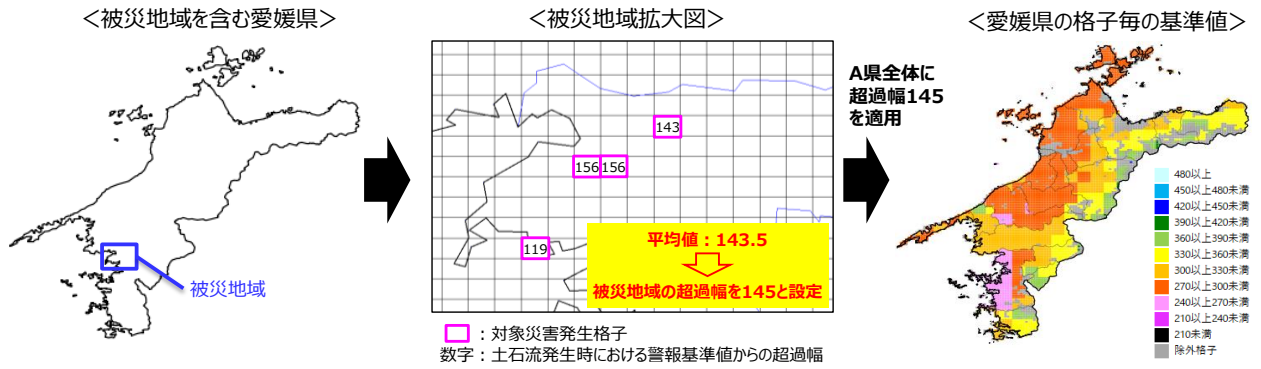
と整理する。これらの条件を満たす主な対象災害を第 4.5 表に示す。

(2) 基準値の設定手法

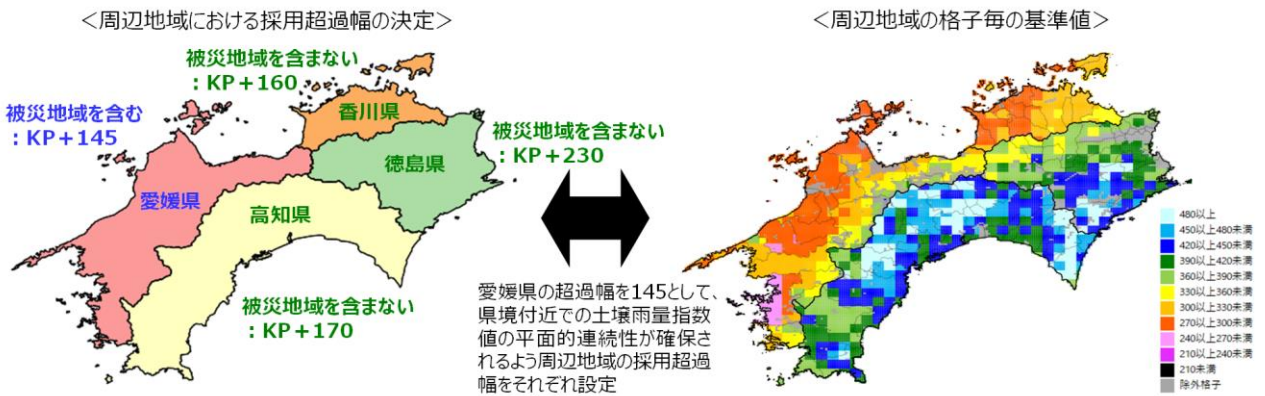
地域毎の災害特性を反映した基準値を設定するという考え方のもと、土壌雨量指数について、特別警報の指標に用いる基準値を 1 km 格子毎に設定する。

第 4.19 図のとおり、災害発生格子について対象災害が発生した時間帯における基準Ⅱからの超過幅（の平均値）を求め、被災地域を含む都道府県全体に対して、被災地域と同一の超過幅を適用する（当該都道府県の各格子について、基準Ⅱに超過幅 145 を加えた値を特別警報の基準値として設定）。また、第 4.20 図のとおり、被災地域を含まない都道府県については、被災地域を含む都道府県で設定した基準値（土壌雨量指数の値）が都道府県境付近で連続的になるよう、基準Ⅱからの超過幅を選択して基準値を設定する。なお、そのように設定した基準値をそのまま採用すると空振りが多発するような場合は、一定の連続性が確保される範囲で基準値に調整を加える。

このように設定した基準Ⅱからの超過幅は地域によってばらつきがみられる。その 1 つの理由としては、土砂災害警戒情報が対象とする災害が都道府県によってばらつきがあるためと考えられる。つまり、同じ規模の災害に対して、土砂災害警戒情報の基準が相対的に高い・低いといった地域間での差異が生じており、この影響は警報基



第 4.19 図 被災地域を含む地域の基準値設定方法。



第 4.20 図 被災地域を含まない地域の基準値設定方法（四国地方の例）。

発表頻度（事例数）は増加

- 従来の指標：25事例
- 新たな指標：28事例

例えば、以下の事例についても発表されるようになる。
 ・「平成25年台風第26号」（伊豆大島の土砂災害）
 ・「平成26年8月豪雨」（広島市の土砂災害）
 ・「平成30年7月豪雨」（愛媛県宇和島市の土砂災害）

多大な災害をより的確に捕捉（捕捉率の維持）

- 従来の指標
⇒ 大規模または同時多発的な土石流等が発生した60市区町村のうち、49市区町村（82%）に発表。
- 新たな指標
⇒ 大規模または同時多発的な土石流等が発生した60市区町村のうち、49市区町村（82%）に発表。

発表範囲が大幅に絞り込まれる（適中率の改善）

- 従来の指標
⇒ 1323市区町村に発表。そのうち、49市区町村（4%）で大規模または同時多発的な土石流等が発生。
- 新たな指標
⇒ 190市区町村に発表。そのうち、49市区町村（26%）で大規模または同時多発的な土石流等が発生。

※ 検証期間は平成18年～令和2年の15年間。
 ※ 平成20年以降は危険度分布の最大危険度による発表市区町村の絞り込みを実施した場合の集計結果。

第 4.21 図 新たな指標による大雨特別警報（土砂災害）の想定される運用成績。

準値にも反映されているためである。新たな指標における特別警報基準値は、こうしたばらつきや差異を吸収し、全国的に均整の取れたものとしている。

(3) 運用成績の比較

新たな指標による大雨特別警報（土砂災害）の想定される運用成績について、平成 18 年（2006 年）～令和 2 年（2020 年）の 15 年間を対象として従来指標と比較した結果を第 4.21 図に示す。

発表頻度（事例数）は従来の指標で 25 事例、新たな指標で 28 事例となり、1 割程度増加する。その一方で、捕捉率は従来と同様の 80%程度を維持したまま、発表範囲（市区町村数）は 1,323 市区町村から 190 市区町村へと大きく絞り込まれ、適中率は 4%から 26%へ大幅に改善していることがわかる。

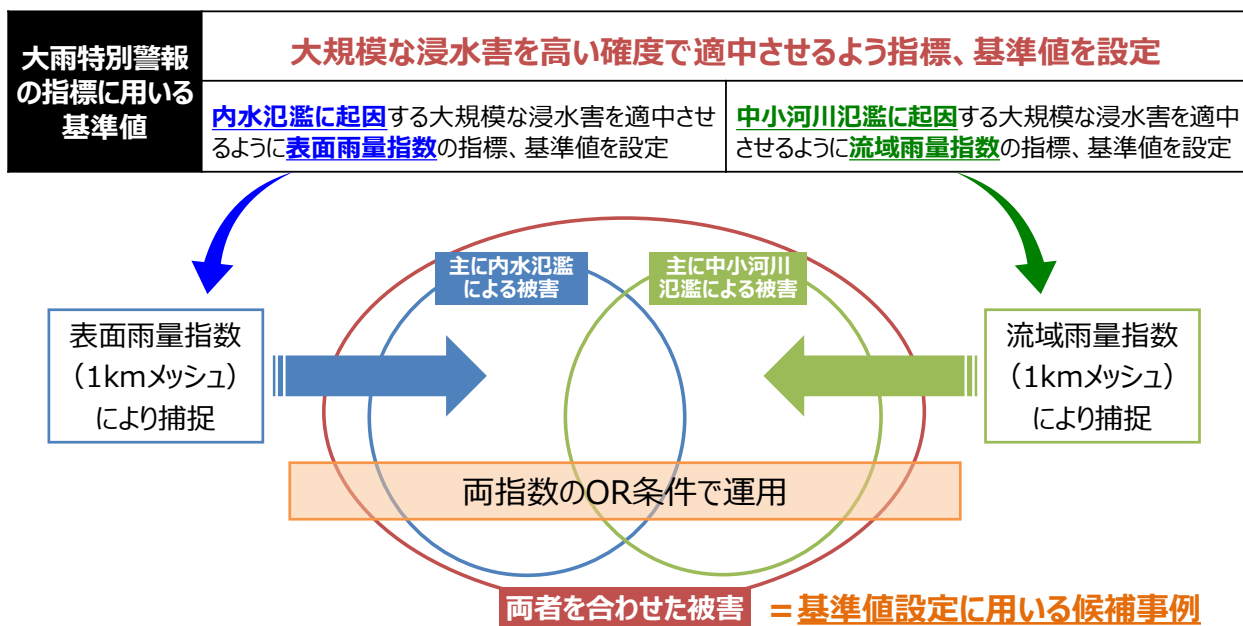
4.5.3 大雨特別警報（浸水害）

大雨特別警報（浸水害）の新たな指標では、過去の大規模な浸水害を高い確度で適中させることができるよう、表面雨量指数及び流域雨量指数の値を特別警報の基準値として設定する。この基準値に到達している又は到達することが予想さ

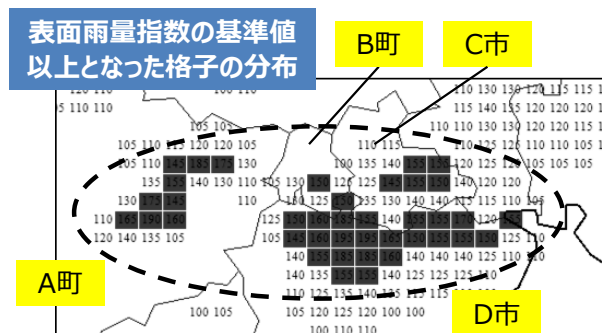
れる 1 km 格子が、表面雨量指数では概ね 30 個以上、流域雨量指数では概ね 20 個以上まとまって出現する状況において、当該格子が存在し、かつ、激しい雨（1 時間に概ね 30 mm 以上）がさらに降り続けると予想される二次細分区域に大雨特別警報（浸水害）を発表する（第 4.22 図）。

特別警報は重大な災害が発生する可能性が著しく高まった場合に限り発表するものであり、土砂災害と同様、現状の災害発生予測の技術水準では 1 格子のみの判定によってその蓋然性を担保することは困難なため、超過格子が複数個まとまって出現することを要件とする。同じ捕捉率で最も高い適中率が期待されるよう格子数を変えて検証を実施した結果を踏まえ、基準値を超過する格子が表面雨量指数では 30 個以上、流域雨量指数では 20 個以上まとまって出現するとき、大雨特別警報（浸水害）を発表する。

表面雨量指数の基準値により発表対象となる二次細分区域の例を第 4.23 図に示す。この例では基準値を超過する格子がまとまって 39 格子、A 町、B 町、C 市、D 市にまたがって出現しており、その 4 市町が大雨特別警報（浸水害）の発表対象となる。



第 4.22 図 大雨特別警報（浸水害）の発表条件。



第 4.23 図 表面雨量指数の基準値により大雨特別警報（浸水害）の発表対象となる二次細分区域。

(1) 大雨特別警報（浸水害）の対象災害
 「内水氾濫または中小河川氾濫による床上浸水と住家全半壊の合計が 1 市区町村で 300 棟以上」を大雨特別警報（浸水害）の対象災害と定める。主な対象災害を第 4.6 表に示す。

(2) 基準値の設定手法
 地域毎の災害特性を反映した基準値を設定するという考え方のもと、表面雨量指数、流域雨量指数それぞれについて、特別警報の指標に用いる基準値を 1 km 格子毎に設定する。

内水氾濫又は中小河川氾濫による大規模な浸水害を従来の指標と同程度の割合で捕捉しつつ、

第 4.6 表 大雨特別警報（浸水害）の主な対象災害。

現象	発生日	発生地域
平成23年台風第12号	9月4日	和歌山県那智勝浦町
平成28年台風第10号	8月30日	岩手県岩泉町
平成29年7月九州北部豪雨	7月5日	福岡県朝倉市
令和元年8月前線による大雨	8月28日	佐賀県佐賀市等
令和元年東日本台風	10月12日	宮城県丸森町

第 4.7 表 流域雨量指数の基準値の検討手法（大分県の例）。

基準値	発表事例		回避されるロス				①コスト	②ロス	①+②
	期間	市町村	床上浸水	全半壊	計	総計			
105	2012/7/3	中津市	10	10	20	694	100	911	1411
		玖珠町	0	0	0		100		
	2012/7/12	竹田市	112	80	192		100		
		豊後大野市	7	1	8		100		
	2017/7/5	日田市	171	303	474		100		
110	2012/7/12	竹田市	112	80	192	674	100	931	1231
		豊後大野市	7	1	8		100		
	2017/7/5	日田市	171	303	474		100		
115	2012/7/12	竹田市	112	80	192	666	100	939	1139
	2017/7/5	日田市	171	303	474		100		
120	2012/7/12	竹田市	112	80	192	192	100	1413	1513
125			0	0	0	0	0	1605	1605

※総被害数（2006～2019年）床上浸水829 全半壊776 計1605

※コスト100

※床上浸水または住家全半壊が発生した事例について、しきい値に達していれば情報（ここでは大雨特別警報（浸水害））を発表することとする。このとき、発表に対する費用（コスト）が発生する代わりに損失（ロス）は0にできるものとする。しきい値に達していなければ情報は発表せず、被害棟数に応じた損失が生じるものとする。しきい値（基準Ⅲからの超過率）を様々な値に変化させ、調査期間における各事例のコストとロスの総和を求めたとき、総和が最小となるレベルが「できるだけ少ない情報発表回数で、被害規模の大きい災害事例を可能な限り捕捉する」とみなすことができ、これを当該都道府県における最適な超過率として採用する。

適中率が可能な限り改善されるような水準を念頭に、コストロモデルの考え方にに基づき、表面雨量指数、流域雨量指数それぞれについて基準Ⅲからの超過率が都道府県単位で一定となるよう基準値を設定する(第4.7表)。さらに、被害経験のない都道府県については被害経験のある都道府県における超過率の平均を採用して基準値を設定する。

(3) 運用成績の比較について

新たな指標による大雨特別警報(浸水害)の想定される運用成績について、平成18年(2006年)～令和元年(2019年)の14年間を対象として従来指標と比較した結果を第4.24図に示す。

発表頻度(事例数)は従来の指標で22事例、新たな指標で28事例となり、3割程度増加する。捕捉率は従来の指標では58%に対して新たな指標では47%とやや劣るが、死者・行方不明者を伴う事例に絞れば捕捉率は維持される(64%)。一方、発表範囲(市区町村数)が591市区町村から130市区町村へと大きく絞り込まれることになり、適中率は10%から38%へ大幅に改善することが可能となる。

4.5.4 運用上の留意点

(1) 島しょ部の取扱い

島しょ部においては、指数が計算される1km格子が少なく、それぞれの規定格子数(土壌雨量指数:10個、表面雨量指数:30個、流域雨量指数:20個)に満たない島がいくつか存在する。これらの島については、周辺海上等での降雨状況(解析雨量)や近隣の島(本土に近い場合は本土)における危険度などから、それぞれの規定格子数の要件を満たすかどうかを推測して発表を判断する。例えば線状降水帯などが島全体を完全に覆い、すべての格子が基準値に達するような状況では発表対象となり得る。

(2) 実況監視

「50年に一度の値」を用いた従来の指標では、複数の市区町村にまたがる一定以上の範囲に発表するという想定のもと、5km格子毎、30分毎の計算結果をもとに発表を判断していた。一方、新たな指標ではより局所的な現象をも発表対象に含めており、単一市区町村への発表も想定していることから、1km格子毎、10分毎の計算結果をもとに発表を判断する。

中小河川氾濫または内水氾濫

・発表事例数：28

・適中率：38%

(延べ130市区町村に発表 → うち、49市区町村で大規模な浸水害*が発生)

・捕捉率：47%

(延べ104市区町村で大規模な浸水害*が発生 → うち、49市区町村に発表)

※中小河川氾濫または内水氾濫による床上浸水と住家全半壊の合計が300棟以上

(参考) 従来の発表条件
 ・発表事例数：22
 ・適中率：10% (60/591)
 ・捕捉率：58% (60/104)

死者・行方不明者を伴う事例に絞ると、

※2022年度版の基準Ⅲをもとに設定した基準Ⅳを2006年～2019年の期間において評価したもの(流域雨量指数については下限値3.0を設定)

捕捉率64% (28/44) ※従来：捕捉率64% (28/44)

<参考> 中小河川氾濫

流域雨量指数の基準値のみにより捕捉

・発表事例数：22

・適中率：25%

(延べ102市区町村に発表 → うち、26市区町村で大規模な浸水害*が発生)

・捕捉率：58%

(延べ45市区町村で大規模な浸水害*が発生 → うち、26市区町村に発表)

※中小河川氾濫による床上浸水と住家全半壊の合計が300棟以上

(参考) 従来の発表条件
 発表事例数：21
 適中率：6% (30/526)、捕捉率：67% (30/45)

<参考> 内水氾濫

表面雨量指数の基準値のみにより捕捉

・発表事例数：12

・適中率：43%

(延べ46市区町村に発表 → うち、20市区町村で大規模な浸水害*が発生)

・捕捉率：36%

(延べ55市区町村で大規模な浸水害*が発生 → うち、20市区町村に発表)

※内水氾濫による床上浸水と住家全半壊の合計が300棟以上

(参考) 従来の発表条件
 発表事例数：20
 適中率：7% (21/297)、捕捉率：38% (21/55)

第4.24図 新たな指標による大雨特別警報(浸水害)の想定される運用成績。

このため、発表判断に際して、降雨域の移動方向や盛衰状況などを時間的・空間的に従来よりも細かく先を見通すことが求められる。特別警報は社会的な影響が極めて大きい情報であることも踏まえると、これらの状況を本庁と地方官署の間で常に認識を共有するに際して、より一層緊密な連携が必要とされる。

4.6 警報の危険度分布

第3章で解説した雨による災害危険度を表す指数と前節までに述べた土砂災害、浸水害、洪水の警報等の基準値を用いて、大雨による災害発生の危険度を判定し、それを地図上に色分けして表示したものが危険度分布である。危険度分布には3種類あり、土砂災害の危険度を表すものが大雨警報（土砂災害）の危険度分布、浸水害の危険度を表すものが大雨警報（浸水害）の危険度分布、洪水の危険度を表すものが洪水警報の危険度分布である。

なお、危険度分布をより多くの方に知っていただき、避難の判断に活用していただくことを目的として、危険度分布には「キキクル」という愛称がつけられている（気象庁，2021）。愛称を用いる場合、土砂災害、浸水害、洪水の危険度分布は、それぞれ「土砂キキクル」「浸水キキクル」「洪水キキクル」のように表記される。

本節では、危険度の判定方法や気象庁ホームページ

での表示方法のほか、利用にあたっての留意事項について述べる。

4.6.1 危険度の判定方法

1 km 格子ごとに各指数の実況値・予測値と基準値を比較して危険度判定値を算出し、解析時刻及び予測時刻における危険度判定値のうち最大のものを当該格子における危険度とする。

危険度分布の判定基準は、高い方から順に、基準Ⅳ（特別警報基準）、基準Ⅲ（警報基準を大きく超過した基準、土砂災害については土砂災害警戒情報の基準）、基準Ⅱ（警報基準）、基準Ⅰ（注意報基準）の4つの基準がある。また、危険度の色分け、危険度の持つ意味は、自治体から発表される警戒レベルと整合を図り、第4.8表のとおりとなっている（警戒レベルとの関係については第6.2節で述べる）。

判定には実況値のほか予測値も用いるが、避難に要する時間や各種指数の予測精度を考慮し、利用する指数の予測時間がそれぞれ異なっている。具体的には、大雨警報（土砂災害）の危険度分布は2時間先、大雨警報（浸水害）の危険度分布は1時間先、洪水警報の危険度分布は3時間先までの指数の予測値を利用している。各危険度分布で利用している指数値とその入力となる雨量の詳細に関しては第4.9表に示した。

第 4.8 表 危険度分布の色と判定基準と表示条件.

色	意味	基準	表示条件		
			大雨警報（土砂災害）の危険度分布	大雨警報（浸水害）の危険度分布	洪水警報の危険度分布
黒	災害切迫	基準Ⅳ 特別警報基準	すでに基準Ⅳに到達した場合	すでに基準Ⅳに到達した場合	すでに基準Ⅳに到達した場合
紫	危険	基準Ⅲ 警報基準を大きく超過した基準	2時間先までに基準Ⅲに到達すると予測される場合	1時間先までに基準Ⅲに到達すると予測される場合	3時間先までに基準Ⅲに到達すると予測される場合
赤	警戒	基準Ⅱ 警報基準	2時間先までに基準Ⅱに到達すると予測される場合	1時間先までに基準Ⅱに到達すると予測される場合	3時間先までに基準Ⅱに到達すると予測される場合
黄	注意	基準Ⅰ 注意報基準	2時間先までに基準Ⅰに到達すると予測される場合	1時間先までに基準Ⅰに到達すると予測される場合	3時間先までに基準Ⅰに到達すると予測される場合
白 (水色)	今後の情報に留意	—	2時間先までに基準Ⅰに到達しないと予測される場合	1時間先までに基準Ⅰに到達しないと予測される場合	3時間先までに基準Ⅰに到達しないと予測される場合

第 4.9 表 各危険度分布で利用している指数値とその入力雨量.

	大雨警報（土砂災害） の危険度分布	大雨警報（浸水害） の危険度分布	洪水警報の危険度分布
実況	土壌雨量指数の実況値 入力雨量：解析雨量 速報版解析雨量	表面雨量指数の実況値 入力雨量：解析雨量 速報版解析雨量	流域雨量指数及び表面雨量指数 の実況値 入力雨量：解析雨量、速報版解析雨量
予測	2時間先までの1時間毎の 土壌雨量指数の予測値 入力雨量：速報版降水短時間予報	1時間先までの10分毎の 表面雨量指数の予測値 入力雨量：降水ナウキャスト	1時間先までの10分毎の流域雨量 指数及び表面雨量指数の予測値 入力雨量：降水ナウキャスト
			3時間先までの1時間毎の流域雨量 指数及び表面雨量指数の予測値 入力雨量：降水短時間予報

以上が危険度分布の基本的な判定方法の説明となるが、実際にはより適切な危険度を提供するために様々な処理を加えている。以下では、危険度判定に関わる処理について、さらに詳しく解説する。

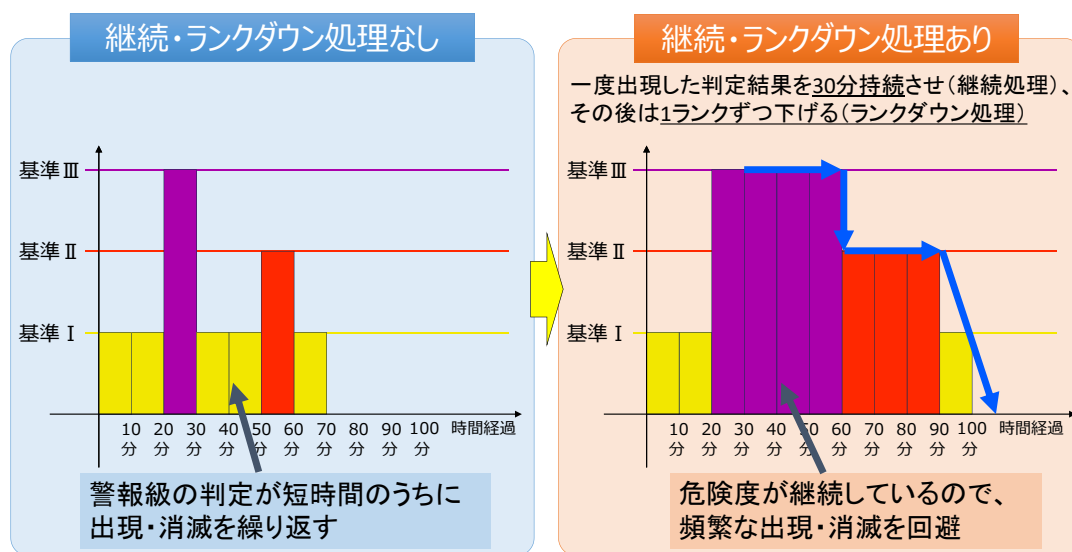
(1) 危険度の継続・ランクダウン処理

土砂災害、浸水害、洪水の各危険度の算出にあたっては、雨量予測の誤差を緩和し、危険度の頻繁な出現・消滅を回避するため、実況あるいは予測の危険度の判定が一度出たときに、その判定が一定期間（現在は 30 分）下がらないように継続させる「継続処理」を適用している（第 4.25 図）。また、浸水害と洪水の危険度分布に関しては、継

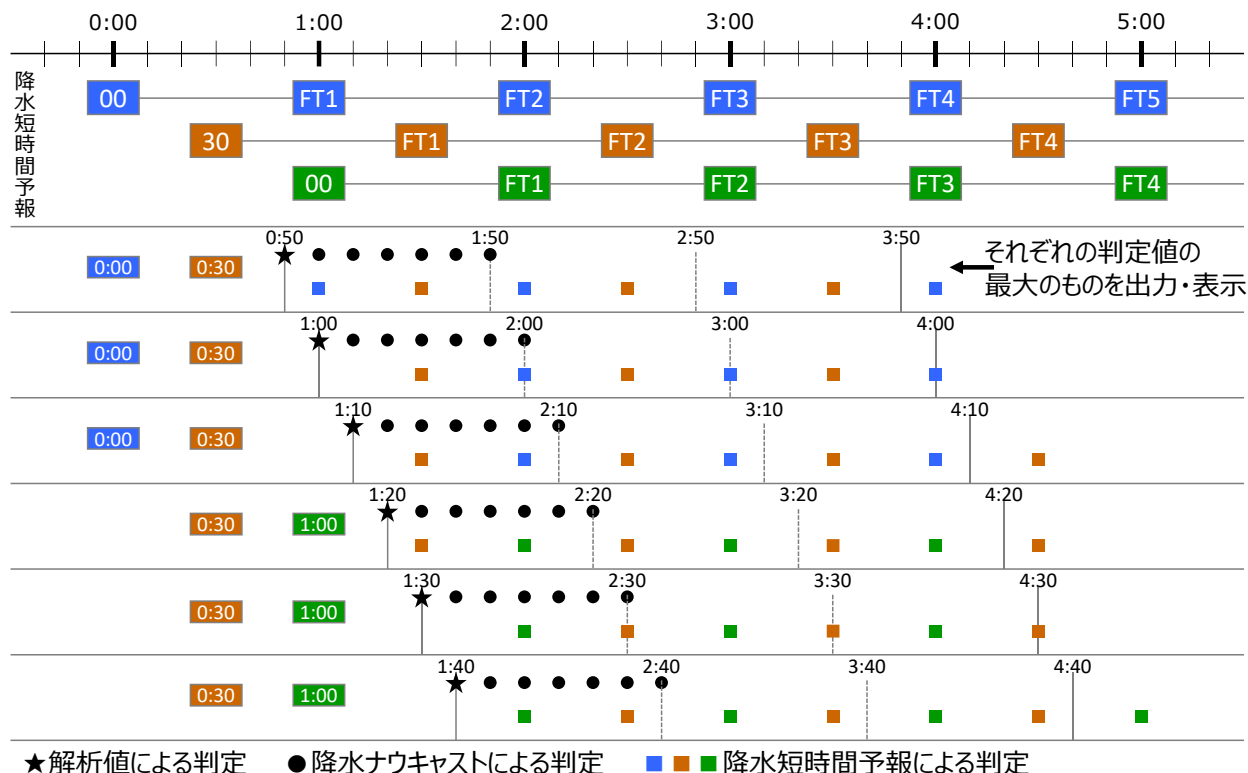
続処理に加え、危険度を 1 段階ずつ下げる「ランクダウン処理」を適用している。ランクダウン処理は、表面雨量指数や小河川の流域雨量指数が、特に 10 分毎に急激な変化を示すという特性を持つことから、危険度の急激な変化を避けることを目的に導入している。なお、土壌雨量指数に関しては指数値の急激な低下がほとんどみられないことから、土砂災害の危険度分布にはランクダウン処理を適用していない。

(2) 洪水危険度における降水短時間予報の取扱い

洪水危険度の算出にあたっては、直近の降水短時間予報を入力した指数予測値に加え、1 初期値



第 4.25 図 継続処理とランクダウン処理のイメージ.



第 4.26 図 洪水危険度の判定に用いる入力雨量の取扱い. 初期時刻ごとに★ (解析値), ● (降水ナウキャスト), ■ (降水短時間予報) が示す危険度のうち最大のものを採用している.

前の指数予測値も判定に利用している. これは次の理由による.

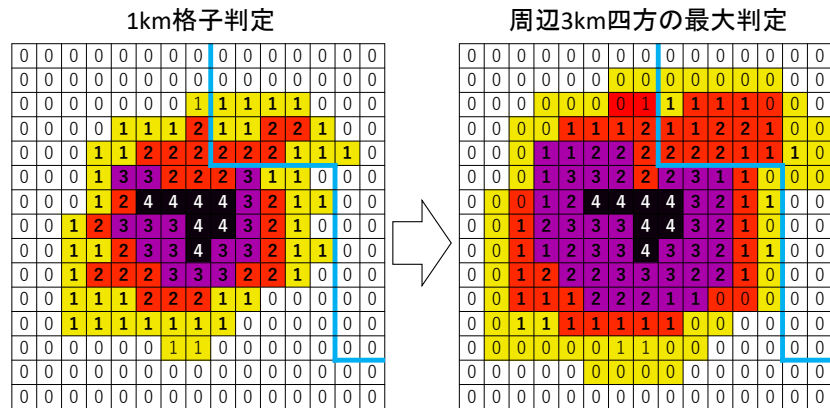
流域雨量指数の計算に用いる降水短時間予報は, 30分毎に6時間先までの前1時間雨量が計算されるが, 作成までに初期時刻から18分ほどかかるため, 10分毎に計算される洪水警報の危険度分布では対象時刻より20~40分前の初期値のものしか利用できない. そこで洪水警報の危険度分布では, 危険度の見逃しをできるだけ避けることと, 降水短時間予報の初期値変わり(予測のブレ)による危険度の頻繁な変化の緩和を目的に, 1初期値前の降水短時間予報による予測値も利用している. これはいわばラグ予報法(Lagged Forecast法)の1つといえる. 例えば, 00時50分~01時40分初期値の洪水警報の危険度分布で利用する降水短時間予報の初期時刻は第4.26図に示すとおりである.

(3) 土砂危険度の判定方法

土砂危険度の判定にあたっては, 雨量の解析予測誤差等を考慮し, 災害の取りこぼしを回避するように, 周辺3km四方で判定されたうち最大の危険度を当該メッシュの危険度としている(第4.27図). ただし, 都道府県境界をまたがるメッシュの判定は利用しない. また, 大雨特別警報の基準である基準IVを超過した格子に対しては, この処理は行わない. 第4.5節で述べたとおり, 大雨特別警報(土砂災害)の発表条件は, 基準値に達した1km格子が概ね10個以上まとまって出現した場合としており, 雨量の解析予測誤差は複数格子による判定によって緩和されるからである.

(4) 除外格子の取扱い

第4.2節から第4.4節では, 土砂災害, 浸水害, 洪水の警報基準等における除外格子の設定について述べた. 危険度分布の危険度についても, 除外格子となっている格子では判定は行わない. ただし, 洪水警報の危険度分布については, 上流で大雨となっている状況を可視化する観点から, 除



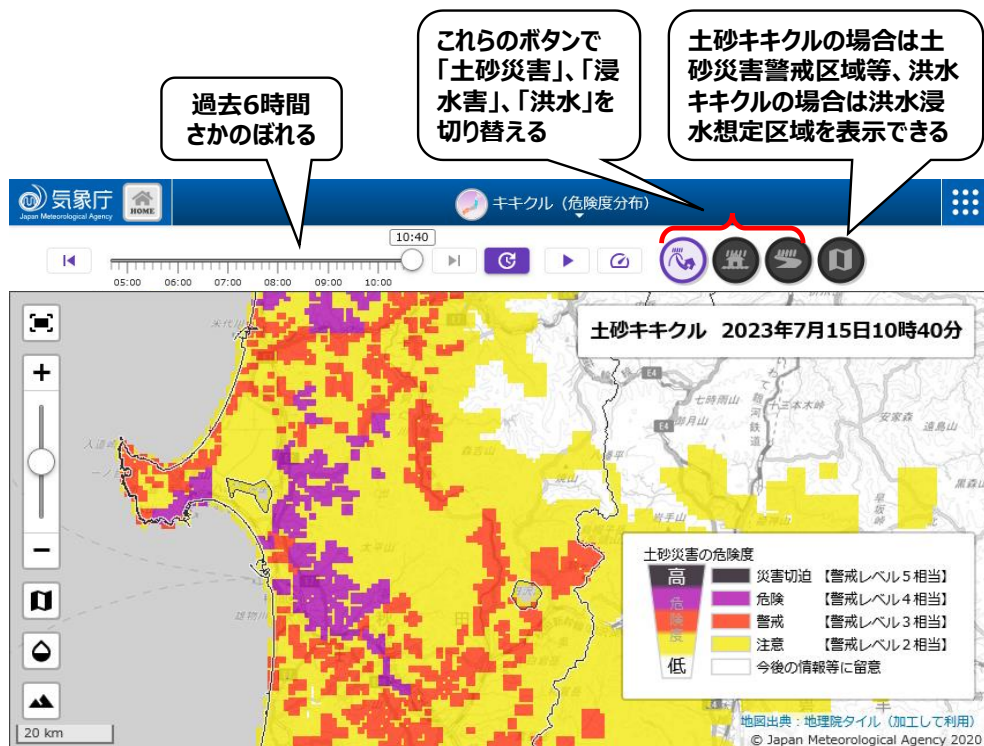
第 4.27 図 土砂危険度の判定イメージ (左 : 1 km 格子判定, 右 : 周辺 3 km 四方の最大判定). 数字は 1 km 格子毎の判定結果, 色は実際の危険度を表す. 水色の線は都道府県の境界を示す.

外格子であっても災害切迫を示す黒色以外の危険度判定を行い, 地図上に表示するようにしている.

4.6.2 気象庁ホームページでの表示

気象庁ホームページにおいて, 土砂災害, 浸水害, 洪水の危険度を, 土砂キキクル, 浸水キキク

ル, 洪水キキクルとして公開している. 第 4.28 図に土砂キキクルの表示画面を示した. 地理院地図を背景に最新の危険度がリアルタイムで表示され, 情報は 10 分ごとに更新される. また, 過去の危険度は 6 時間前までさかのぼって確認できるようになっている.



第 4.28 図 土砂キキクルの表示画面.

土砂キキクル、洪水キキクルの重要な表示機能に「災害リスクがある場所の重ね合わせ表示」がある。土砂キキクルでは土砂災害警戒区域（土砂災害が発生した場合に、住民の生命または身体に危害が生ずるおそれがあると認められる区域）が、洪水キキクルでは洪水浸水想定区域（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）がそれぞれ危険度の表示に重ねて表示できるようになっている。適切な避難行動に結びつけるためには、がけの近くや川の近くといった災害リスクのある場所をあらかじめ確認・認識しておくことが重要であり、これら静的な情報と、大雨の状況に応じて時々刻々と変化する危険度の情報を組み合わせることで、より効果的にキキクルを活用することができる。

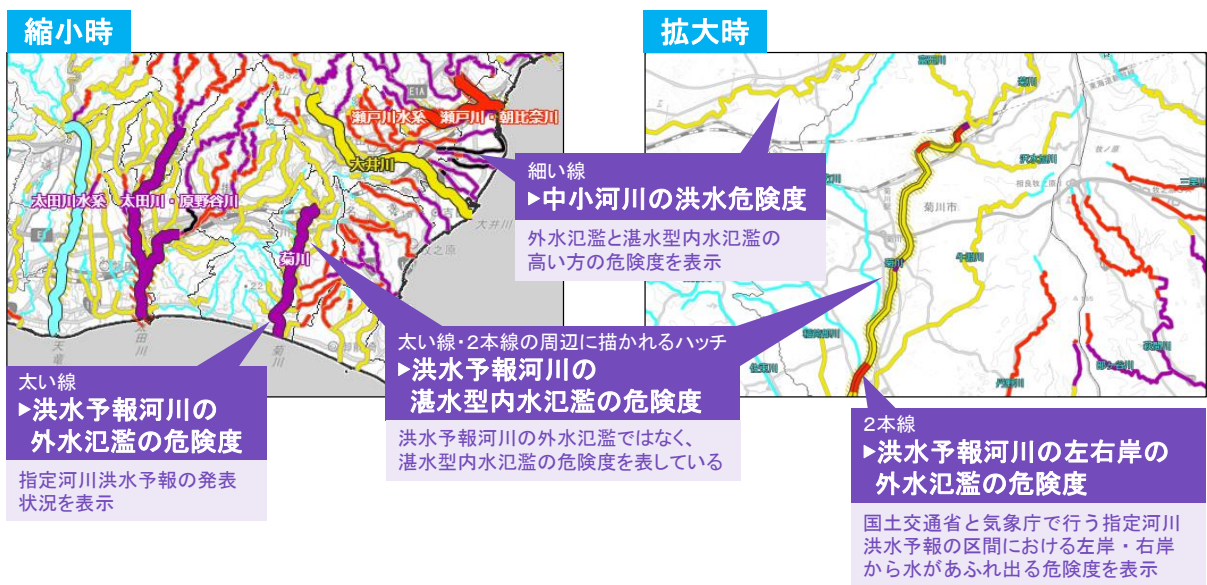
最後に洪水キキクルの表示方法について解説する。洪水キキクルに関しては、土砂キキクルや浸水キキクルのように危険度を格子単位で表示するのではなく、流路に着色して危険度を表示するようにしている。これは、危険度をメッシュで面的に塗りつぶすと、あたかも氾濫した水が周辺に広がっているように見えてしまうことを懸念したためである。流路表示により、どの河川で危険度が高まっているかを視覚的に分かりやすく認識できるようになり、自分の身近な河川の危険

度の高まりを我が事感を持って感じられるようになったと考えられる。なお、洪水キキクルで表示する河川には流域規模の大きい大河川や都市部を流れる中小河川など様々なものがあり、河川によっても危険度の判定方法は様々である。それらを分かりやすく伝えるため、洪水キキクルでは各危険度を第 4.29 図のように表示している。

(1) 洪水予報河川の表示

指定河川洪水予報の対象河川では、地図縮小時には指定河川洪水予報の発表状況を表示する。拡大すると、国管理の指定河川洪水予報区間は「国管理河川の洪水の危険度分布」（水害リスクライン）、都道府県管理の指定河川洪水予報区間は縮小時と同じく指定河川洪水予報の発表状況を表示する。

水害リスクラインとは、国土交通省と気象庁で行う指定河川洪水予報の区間において水があふれ出る危険度を、河川の左右岸それぞれ概ね 200m ごとに表示したもので、国土交通省水管理・国土保全局が運用している。危険度の判定には、現在から 6 時間先までの断続的な計算水位を用いており、堤防の高さをもとに定めた基準水位によって危険度が算出される。水害リスクラインの計算方法等の詳細については、Tsuchiya and Kawasaki (2019) を参照されたい。



第 4.29 図 洪水キキクルで表示される危険度。

(2) 湛水型の内水氾濫

湛水型の内水氾濫の危険度（複合基準による判定結果）に関して、洪水予報河川においては、河川の堤防または流路に沿ってハッチを表示している。中小河川においては、流域雨量指数基準と複合基準の判定のうち、より危険度の高いほうに色分けして表示している。

(3) メッシュ形式の危険度表示

流域雨量指数の計算対象河川のない格子も含む、すべての格子における危険度は、別途、メッシュ形式の洪水キキクルで確認することができる。これは流路ではなく 1 km 四方の格子毎に危険度を表示したもので、ひとつの格子に複数の河川が流れている場合は、それぞれの河川の危険度のうち、より高いほうの危険度を表示している。

4.6.3 利用にあたっての留意事項

ここでは、危険度分布の利用にあたっての留意点について、各危険度分布で共通する事項と個別の事項をそれぞれ説明する。避難への活用に関しては、第 6 章で詳しく解説する。

(1) 共通事項

- ・ 危険度分布は警報等の発表根拠となる情報である。大雨時に危険度の高まりを伝える“気づきの情報”として警報等が発表された場合に、危険度の高まるタイミングやエリアを危険度分布で把握するといった使い方が効果的である。なお、警報等は気象状況等を総合的に判断して発表するため、これらの発表状況と危険度分布は完全には整合しない場合がある。
- ・ 大雨特別警報の発表状況と危険度分布で出現する黒の危険度には、次のような関係がある。
 - 大雨特別警報は、過去の多大な被害をもたらした現象に相当する指数の基準値に到達する 1 km 格子が複数個まとまって出現すると予想され、かつ、激しい雨がさらに降り続けると予想される場合に発表する。

➤ 危険度分布は、過去の多大な被害をもたらした現象に相当する指数の基準値に実況値が到達したときに「災害切迫」（黒）を表示する。

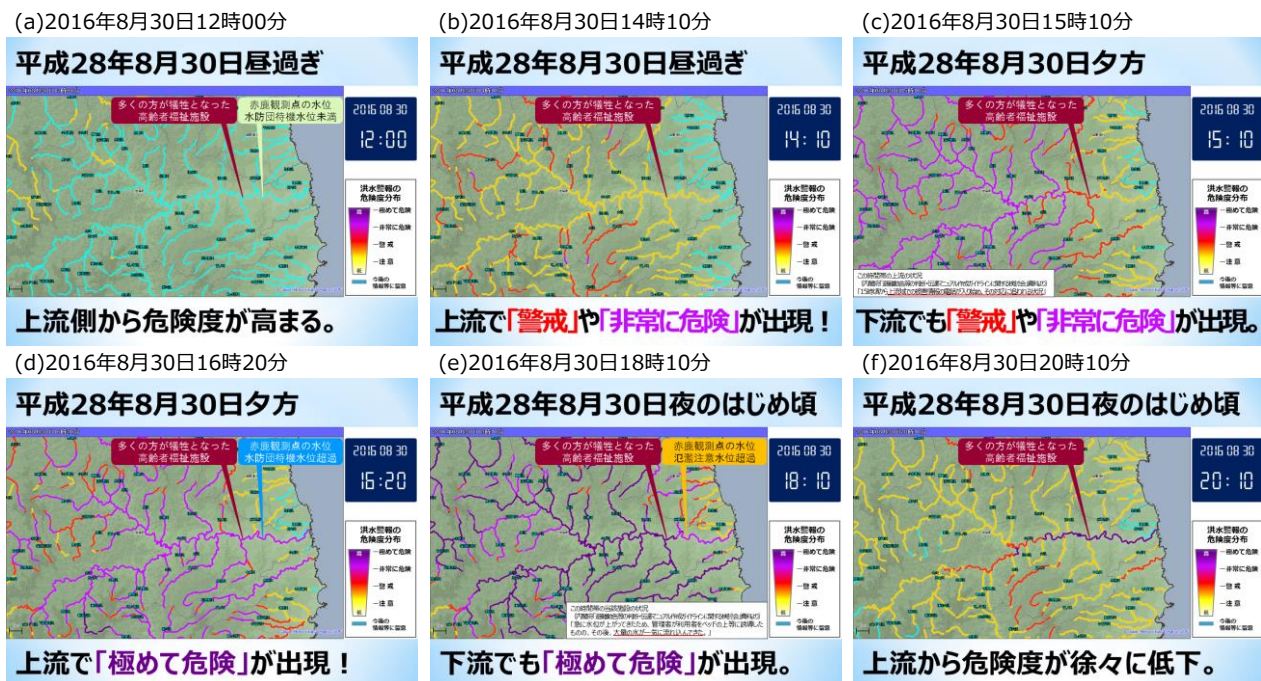
- ・ 第 4.6.1 項の (4) で述べたとおり、重大な災害の危険性が認められない場所では除外格子が設定され危険度が表示されない（洪水警報の危険度分布を除く）。これらのような場所で活動をする場合には、雨の実況・予測の最新状況を確認し、危険な場所から離れることが重要である。
- ・ 各種指数の計算には降った雪が積雪として地表に蓄えられる過程やこれが融けて地中に浸透し河川に流れ出る過程を考慮していないため、降雪時・融雪時の災害発生リスクの高まりを正確に表現できない場合がある。融雪に起因する災害発生リスクの把握は、気象台から発表される融雪注意報や洪水警報・注意報を活用する。

(2) 大雨警報（土砂災害）の危険度分布

- ・ 避難等の判断は、危険度が高まっている領域内の土砂災害警戒区域等に絞り込んで行う必要がある。該当する領域（メッシュ）の周辺の危険度も参考にするなど、危険度の面的な広がりにも着目する。

(3) 洪水警報の危険度分布

- ・ 上流に降った大雨は時間をかけて下流に影響する傾向があるので、上流地点の危険度も含めて確認することが重要である。
- ・ 洪水警報の危険度分布の表示例として、第 4.30 図に、2016 年台風第 10 号における岩手県岩泉町周辺の洪水警報の危険度分布を示す。この事例では、岩泉町を流れる二級河川の小本川の氾濫により、高齢者福祉施設の入所者 9 名が犠牲になるという被害が発生した。被害発生時刻は 18 時ごろとされるが、15 時 10 分の時点ですでに小本川上流の広い範囲で「うす紫（予測値が基準Ⅲを超過）」が広がっていた。その後、下流地域にも「うす紫」



第 4.30 図 岩手県岩泉町周辺の洪水警報の危険度分布 (2016 年台風第 10 号)．当時はまだ危険度分布は運用しておらず，事後のシミュレーション結果として示している．また，危険度の色は 2022 年 6 月以前のもので表示している．

や「濃い紫 (実況値が基準Ⅲを超過)」が広がり，雨が止んだ 20 時 10 分には小本川本川のみに危険度が残っている状況だった．このように，上流に降った雨が支川を流れ下って徐々に下流に集まり伝播していく様子が，あたかも危険度が流れているかのように可視化されるのが洪水警報の危険度分布の特徴である．

- ・ 洪水警報の危険度分布では，氾濫が発生した場合の氾濫水の移動は表示されない．氾濫が発生した場合の影響範囲については，「洪水浸水想定区域」を重ねて表示して確認する．
- ・ 湛水型の内水氾濫の危険度は，当該河川の水位が上昇することにより，周辺の支川や下水道が氾濫するおそれがある状況を複合基準により判定している．雨がまったく降っていない場合は，複合基準の表面雨量指数を満たさないことがあり，この危険度の高まりを正確に表現できない場合がある．

5. 危険度分布及びそのもととなる指数の精度検証

指数・危険度分布の精度については，太田 (2019) にまとめられているが，危険度分布の運用開始から 5 年が経過し，データの蓄積が進んでいることから，本章では，危険度分布やそのもととなる指数がどのくらいの精度を有しているか，あらためて検証を行う．

はじめに第 5.1 節で，危険度分布のもととなる指数の精度を検証する．ここでは，流域雨量指数と河川水位の比較を行い，洪水予測モデルとしての流域雨量指数の妥当性を議論する．土壌雨量指数と表面雨量指数については，土壌水分量や浸水深など比較データの収集が困難なことから，今回の検証では割愛する．次に第 5.2 節で，土砂災害，浸水害，洪水の各危険度の実況値に対する予測値の精度を統計的に評価し，各危険度がどのような予測特性を持っているかを考察する．さらに第 5.3 節では，土砂災害，浸水害，洪水の各危険度と災害発生状況との対応を統計的に評価する．最後に

第 5.4 節で、実事例として「令和元年東日本台風」と「令和 4 年 8 月 3 日～4 日新潟県の特別警報発表事例」の 2 事例を取り上げ、危険度分布と災害発生状況の比較結果を示す。

5.1 流域雨量指数の精度検証

ここでは、流域雨量指数と河川水位との比較から、洪水予測モデルとしての指数の妥当性を検証する。

(1) 期間

2017 年～2022 年の 6 年間。

(2) データ

検証地点は、全国の水位周知河川（約 1,750 河川）のうち、気象庁に水位データが入電している水位観測所かつ水位周知区間内の水位観測所からランダムに抽出した 204 地点とした。

検証事例は、各水位観測所で期間内の出水事例のうち上位 20 事例を抽出した。全事例数は 3,901 事例で、そのうち氾濫危険水位に到達した事例は 142 事例あった。各事例で、ピーク前後 24 時間の水位及び流域雨量指数（実況値）の毎時時系列データを検証に用いた。

(3) 方法

以下の 3 つの指標により、水位と流域雨量指数の相関を算出し、指数による水位の再現性を検証

した。

①時系列相関

各事例において、水位と流域雨量指数の時系列データから相関係数を算出し、全事例の相関係数を平均したもの。この相関が高いほど、洪水波形の再現性がよいことを示す。

②ピーク時刻差

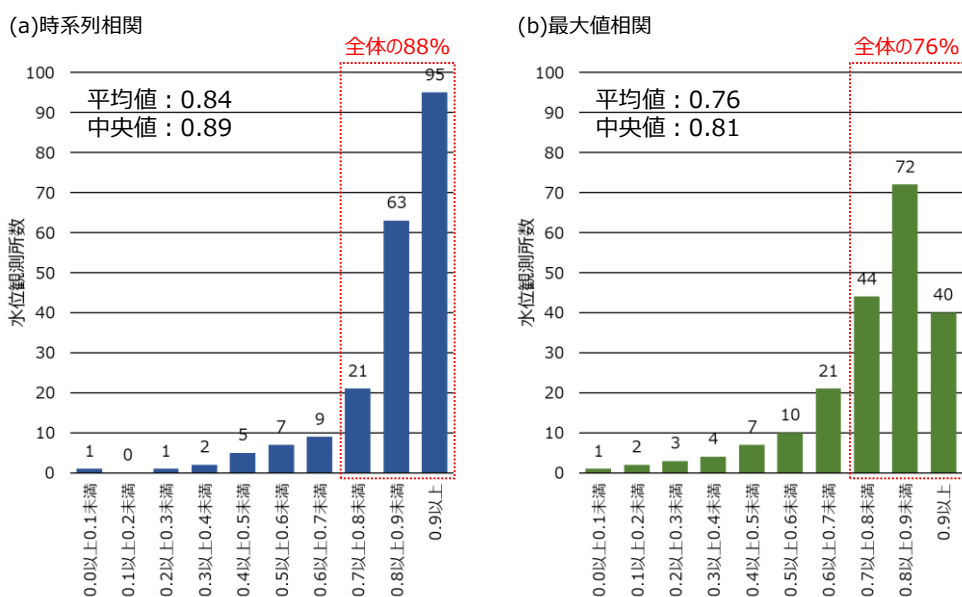
各事例において、水位と流域雨量指数のピーク時刻の差を算出したもの。差が小さいほど、洪水予測モデルとして適切であることを示す。

③最大値相関

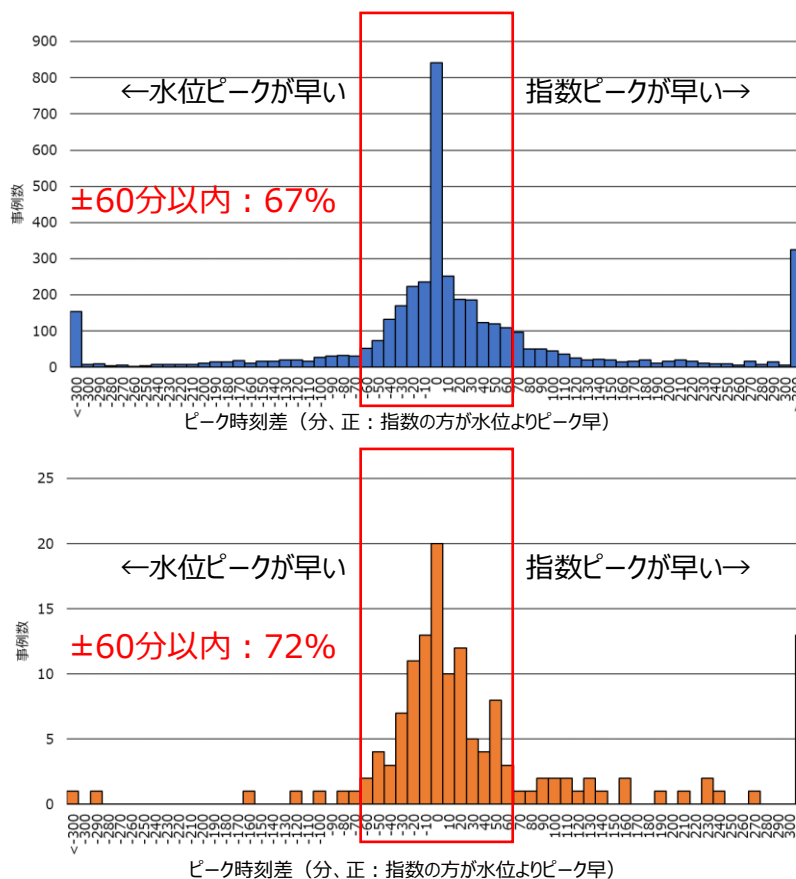
各事例の水位及び流域雨量指数それぞれの最大値の相関をとったもの。この相関が高いほど、洪水規模を的確に再現していることを示す。これは、適切な流域雨量指数基準の設定によって、精度の高い（見逃しや空振りのない）危険度が提供可能であることを意味する。

(4) 結果

第 5.1 図に、時系列相関と最大値相関のヒストグラムを示す。相関係数 0.7 以上の高い相関を示す水位観測所は、時系列相関が全体の 88 %、最大値相関が全体の 76 %であった。時系列相関、最大値相関ともに 0.7 以上となった水位観測所は全体の 68 %であり、多くの河川で流域雨量指数は水位との相関が高いことがわかる。



第 5.1 図 流域雨量指数と水位の(a)時系列相関と(b)最大値相関のヒストグラム。



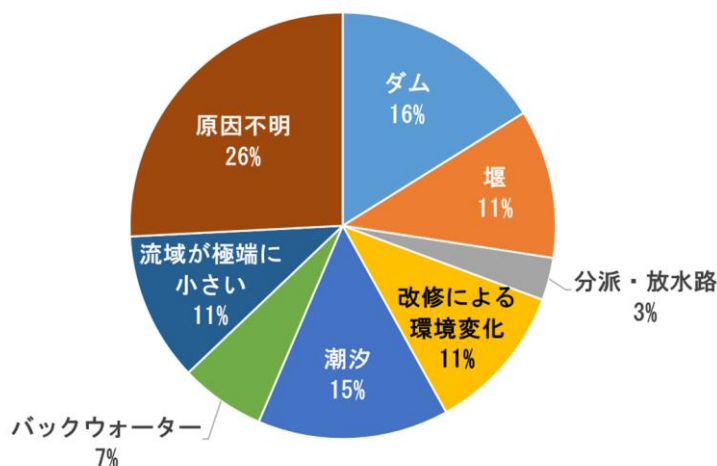
第 5.2 図 流域雨量指数とピーク時刻差のヒストグラム。(上段) 全事例, (下段) 氾濫危険水位超過事例.

次に, 各事例における水位と流域雨量指数のピーク時刻差のヒストグラムを第 5.2 図に示す. ヒストグラムは全事例の場合と氾濫危険水位事例のみを抽出した場合のそれぞれを示した. いずれの場合もピーク時刻差 0 分が最も度数 (事例数) が多く, おおむね正規分布となっている. ここで, ± 60 分以内の事例は全事例の 67% が該当しており, 氾濫危険水位を超過した事例に限ると ± 60 分以内の事例は 72% であった. なお, ピーク時刻差 300 分を超えるものが (プラス, マイナスどちらにも) 少なからずあるが, このような大きな誤差が生じた原因としては, ダム等の貯留施設の存在や 1 出水事例に複数のピークが存在していたこと等が挙げられる.

最後に, 時系列相関または最大値相関のいずれかが相関係数 0.7 未満であった 62 地点 (検証地点の約 3 割) について, 相関係数の低下をもたらすと考えられる要因を, 地図や航空写真等から特定

した (第 5.3 図).

精度低下の原因として考えられるものとして, ダムや堰等の貯留施設の影響や改修による水位観測所周辺の環境変化等, 指数の計算に考慮していない要素が挙げられる. これらはダム放流量や水位データを指数計算に取り込むことによって改善できる可能性がある. 一方, 潮汐やバックウォーターは下流側の水位変化の影響を受けて生じる現象であり, 現状の流域雨量指数の計算方法ではこれら現象を表現することはできない. これらを直接取り扱うためには, 下流水位をもとに上流水位を逐次計算する不等流解析等を導入する必要がある. また, 流域が極端に小さい河川では, 河道断面が小さく急激な水位変化を示す特徴を持つため, 1 km 格子の流出計算をベースとした流域雨量指数ではこれを十分再現することができない場合がある. これについては計算格子の細分化等, モデルの更なる改良が必要と考えられる.



第 5.3 図 精度低下の原因として考えられる要因. 時系列相関または最大値相関のいずれかが相関係数 0.7 未満であった地点で, 相関係数の低下をもたらすと考えられる要因を分類. ダムは治水目的のほか, かんがい用・発電用を目的としたものも含む.

5.2 指数・危険度の予測精度

5.2.1 格子単位の検証

以下の方法で, 土砂災害・浸水害・洪水の各危険度の実況値 (以下, 「実況危険度」という) に対する各危険度の予測値 (以下, 「予測危険度」という) の精度検証を行った.

(1) 期間

土砂災害は 2019 年～2022 年の 4 年間, 浸水害・洪水は 2018 年～2022 年の 5 年間である.

(2) データ

ルーチン運用で計算された毎正時の実況危険度・予測危険度を使用した. ただし, ここでの危険度は, 第 4.6.1 項の (1) で述べた継続処理等の各種処理を加えてない, 当該 1 km 格子で判定したそのままの危険度である. なお予測危険度の入力となる雨量データは第 5.1 表のとおり, 土砂災

害と浸水害・洪水とで異なる点に留意されたい.

(3) 方法

指数計算されている全格子を対象に, 予測危険度と予測対象時刻の実況危険度を比較し, 各基準 (注意報基準 (以下, 「基準Ⅰ」という), 警報基準 (以下, 「基準Ⅱ」という), 警報を大きく超過した基準 (土壌雨量指数は土砂災害警戒情報の発表基準) (以下, 「基準Ⅲ」という)) それぞれに対して第 5.2 表のとおり「実況超過あり/なし」「予測超過あり/なし」の適中・見逃し・空振りを判定し, 以下の計算方法で適中率・捕捉率・バイアススコアを算出した.

$$\text{適中率} = \text{適中} / (\text{適中} + \text{空振り})$$

$$\text{捕捉率} = \text{適中} / (\text{適中} + \text{見逃し})$$

$$\text{バイアススコア} = (\text{適中} + \text{空振り}) / (\text{適中} + \text{見逃し})$$

第 5.1 表 各予測危険度の入力となる雨量データ.

種類	入力となる雨量データ
土砂災害	速報版降水短時間予報を入力した6時間先までの1時間毎の予測危険度
浸水害・洪水	降水ナウキャストを入力した1時間先までの10分毎の予測危険度、及び、降水短時間予報を入力した6時間先までの1時間毎の予測危険度

第 5.2 表 適中・見逃し・空振りの判定方法.

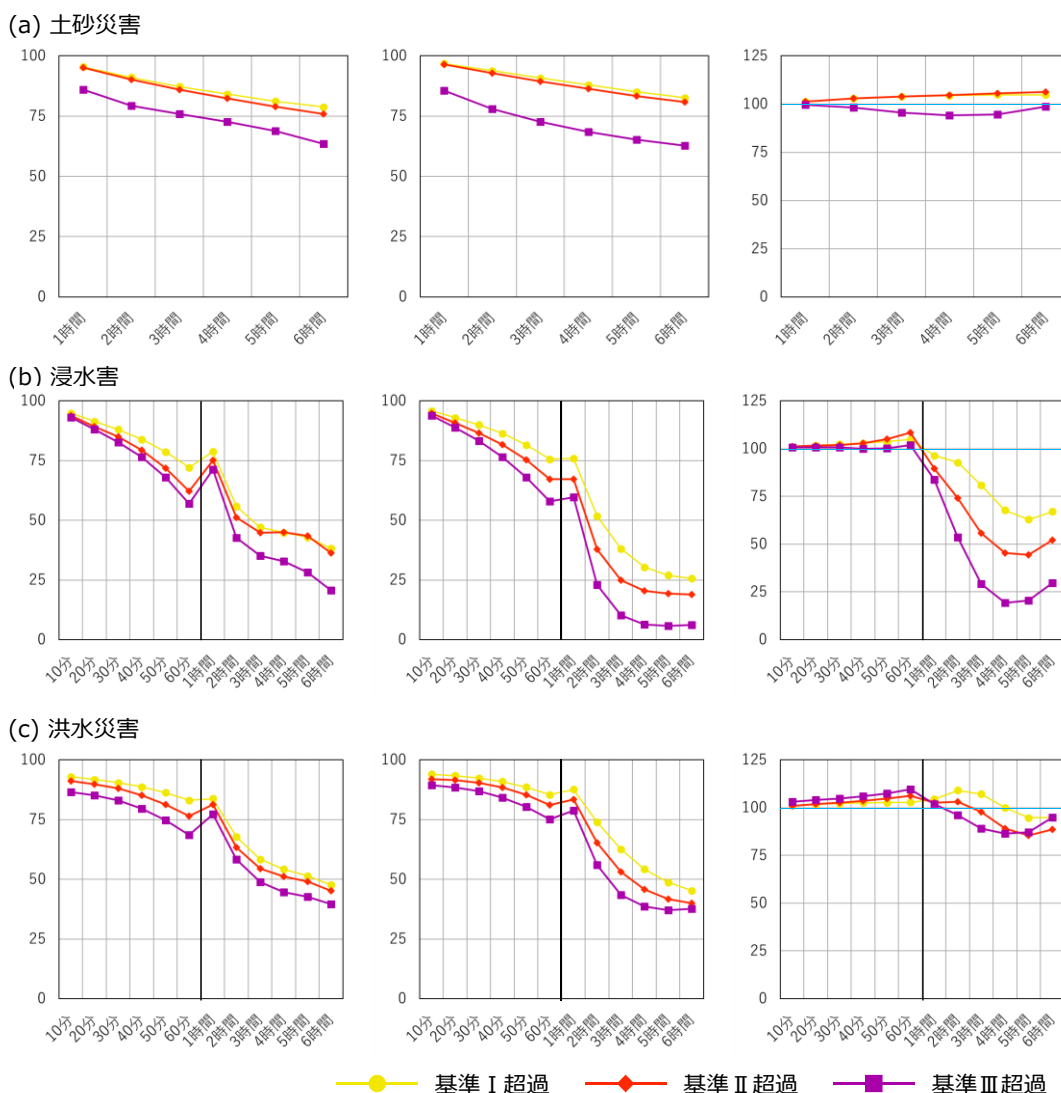
		予測	
		あり	なし
実況	あり	適中	見逃し
	なし	空振り	—

(4) 結果

結果を第 5.4 図に示す. 適中率・捕捉率を見ると, 土砂災害・浸水害・洪水いずれも予測時間が長くなるほど精度が下がっていく傾向は同じだが, 予測精度の低下の仕方には大きな違いが見られた.

土砂災害は, 3 つの要素の中で最も予測時間による精度の低下が緩やかだった. これは土壌雨量指数がタンクモデルの貯留量の総和として計算され, 新たにタンクに貯まる予測雨量に加え, すでにタンクに貯まっているこれまで降った先行降雨も指数の値に関係しているためと考えられる.

一方で, 浸水害は予測時間による精度の低下が最も大きかった. 表面雨量指数はタンクモデルの横穴からの流出量をもとに計算されるので, 土壌雨量指数と比べて先行降雨の寄与が小さく, 予測雨量の精度の影響を受けやすくなるためと考えられる.



第 5.4 図 (a)土砂災害, (b)浸水害, (c)洪水災害の各危険度の統計評価結果. 左図が適中率, 中図が捕捉率, 右図がバイアスコアを表す. 浸水害・洪水は縦線の左右で入力している予測雨量が異なることに注意.

洪水については、土砂災害・浸水害の中間程度の精度であった。流域雨量指数は流出・流下処理によって流域内に降った雨が対象地点に集まってくることから、その精度は上流域の大きさに依存する。一般に、大河川は予測精度が高く、小河川は予測精度が低い傾向があるため、今回の検証ではその平均的な傾向がみられているものと考えられる。なお、上流域の大きさごとの予測特性については、次項で別途詳しく議論する。

第 5.4 図の(b)浸水害と(c)洪水の縦線の左右でギャップが見られるが、これは降水ナウキャストを入力とした 1 時間後の予測より降水短時間予報を入力とした 1 時間後の予測のほうが適中率・捕捉率ともに高いことを示している。降水短時間予報は、その初期値の作成に国土交通省レーダ雨量を活用していること（降水ナウキャストの初期値には利用していない）、指数の実況値を算出するために用いている解析雨量が降水短時間予報の初期値となっているため降水短時間予報の方が降水ナウキャストよりも対解析雨量の精度が良いことなどから、降水ナウキャストを入力とする 60 分先の予測精度よりも 1 時間先の予測精度がより高いと考えられる。

最後に、バイアススコアを見てみると、浸水害と洪水に関しては降水ナウキャストでは予測がやや過大である一方、降水短時間予報は過小バイアスの傾向となった。特に浸水害では上位の基準ほど過小バイアスが顕著となっており、数時間先以降は危険度の予測が特に難しいことを示している。一方で、土砂災害については 6 時間先でもほぼ中立を維持している。危険度分布の判定に用いる指数の予測時間は、それぞれの現象に応じて必要となる避難のリードタイムとともに、このような指数毎の予測精度を踏まえてそれぞれ定められている。

5.2.2 流域面積毎の検証

前項で述べたとおり、洪水危険度（流域雨量指数）の精度は、上流域の大きさに依存する。ここでは、流域面積と予測精度の関係を明らかにするため、主要な河川の代表格子を対象に、上流格子

数でグループ分けして予測危険度の精度検証を実施した。具体的な検証方法は以下のとおりである。

(1) 期間

2018 年 6 月～2022 年のおよそ 5 年間。

(2) データ

ルーチン運用で計算された毎正時の実況危険度、及び降水短時間予報を入力した 6 時間先までの 1 時間毎の予測危険度を使用した。

(3) 方法

気象庁ホームページの「流域雨量指数の予測値」に掲載されている主要な河川の代表格子を対象に、前項と同様の方法で適中率・捕捉率・バイアススコアを算出した。統計スコアの算出の際には、対象となる格子が同河川の最上流の格子から何格子目にあたるかにより、「1～30 格子」「31 格子～60 格子」「61 格子～90 格子」「91 格子～」の 4 つのグループに分けた。

(4) 結果

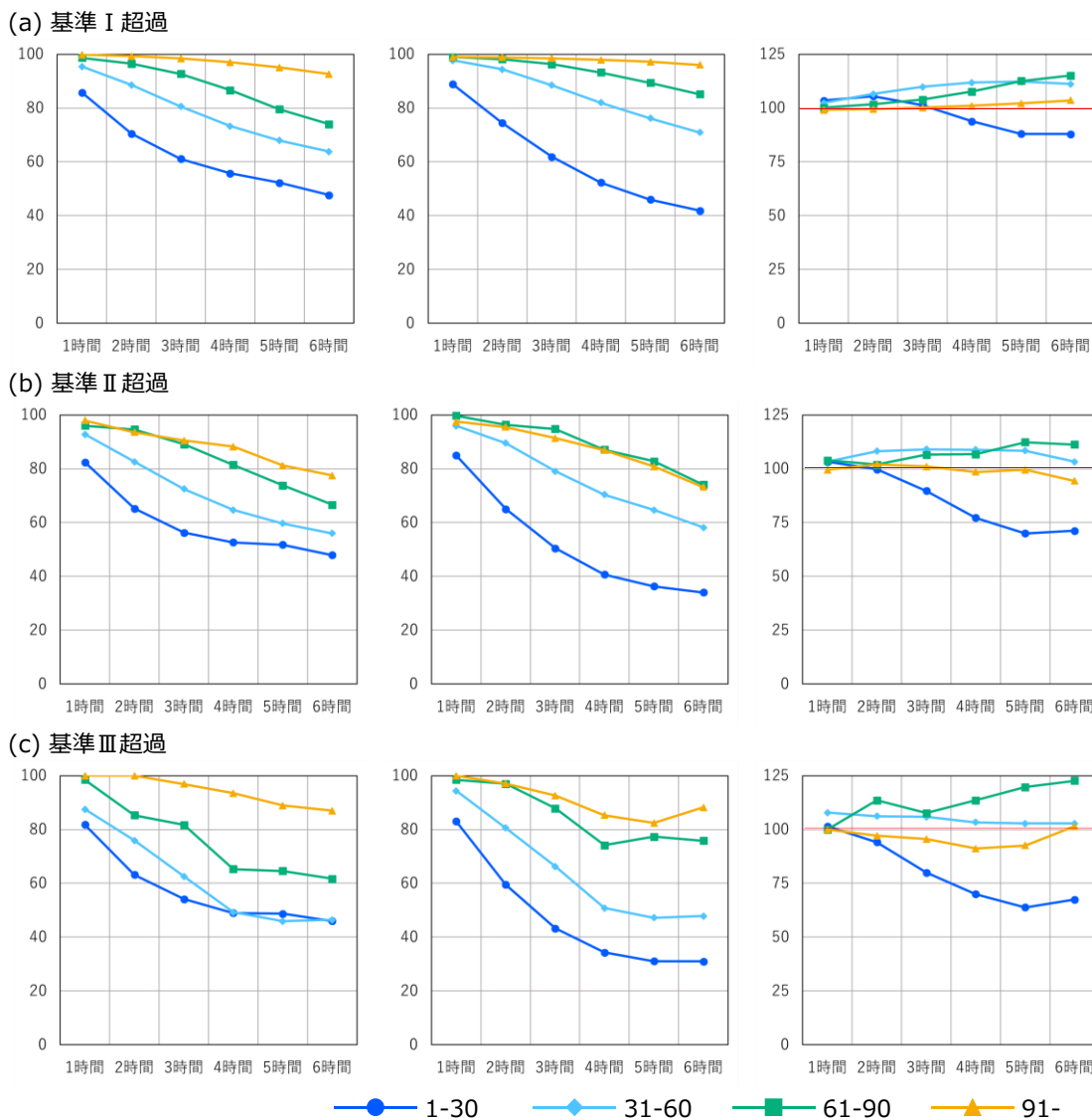
結果を第 5.5 図に示す。データ数が少ない「91 格子～」を除けば、(a)(b)(c)いずれの基準でも代表地点の上流格子数が多い（≒流域が大きい）ほど適中率・捕捉率が高い傾向があることがわかる。

一般に、流下距離が長いほど、雨が降ってからその場所に水が到達するのに時間がかかるが、これは言い換えると、流域が大きいほど過去に降った雨が関係してくることを意味する。すなわち、流域の大きい河川のほうが精度が高いのは、予測指数に対する実況降雨（解析雨量）の寄与が相対的に大きくなるためと考えられる。

また、流域の大きい河川の予測精度が高くなるもう 1 つの理由として、予測雨量の空間的誤差の緩和が考えられる。流域の小さい河川では雨量の位置誤差の影響を大きく受ける一方、流域の大きい河川では多少の位置ずれは（流域から外れることがなければ）指数の予測に大きくは影響しない。

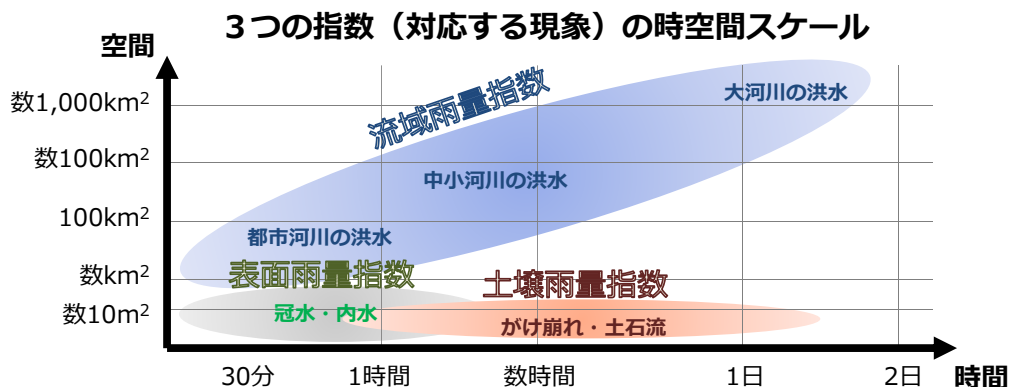
前項からここまでの結果をまとめると、各指数（各危険度）の予測特性は以下のとおりとなる。

- ・ 指数の計算はタンクモデルを用いていることから、指数の予測値には先行降雨（実績降



第 5.5 図 流域面積別でみた洪水危険度の統計評価結果. 左図が適中率, 中図が捕捉率, 右図がバイアスコアを表す. 凡例の数字は, 上流格子数で分けた各グループの格子数を示す.

- 雨)が反映される. このため, 単純に雨量予測の精度がそのまま指数予測の精度となるわけではない.
- ・ 先行降雨は時間的に過去に遡って降った雨として予測計算に取り込まれるため, 指数の予測値には解析雨量の寄与が含まれている. 結果として, 雨量の予測誤差の影響が相対的に小さくなって, 雨量の予測精度に比べ, 指数の予測精度は高くなる傾向がある.
 - ・ 現象によって先行降雨の影響度合いが違うため, 3つの指数の予測精度(予測特性)は異なる. 先行降雨の寄与が相対的に大きい土壌雨量指数は先の予測時間でも精度を維持する傾向がある一方で, 先行降雨の寄与が小さい表面雨量指数は予測時間が進むと急速に精度が低くなる傾向がある.
 - ・ 流域雨量指数は上流域が大きいほど, 流下の時間が長くなり先行降雨の寄与が増大するとともに, 雨量の空間的誤差の影響も受けにくくなるため, 予測精度が高くなる傾向がある.



第 5.6 図 3つの指数の時空間スケール。

これらのことを現象の時空間スケールでイメージ化したものが第 5.6 図である。図の右側にいくほど時間スケールの長い現象，上側にいくほど空間スケールの大きい現象であることを表しており，この中に 3つの指数に対応するそれぞれの現象が示されている。時空間スケールが大きいほど先行降雨（実績降雨）の寄与が大きくなるため，指数の予測精度が高くなるということは，この図において右上の現象ほど予測がしやすく，左下の時空間スケールの小さい現象ほど予測が難しいことを意味している。こうしたイメージは一般的な予測特性に関する理解と一致するものといえる。

5.3 危険度と災害発生との統計評価

前節では，各危険度の予測値が実況値に対してどの程度の精度を持っているかを説明したが，ここでは実況危険度が実際に発生した災害とどの程度の結びつきがあるか，土砂災害と浸水害・洪水に関してそれぞれ示す。

5.3.1 土砂災害の危険度と災害との関係

第 4.2 節で述べたとおり，土砂災害警戒情報や大雨警報（土砂災害）等の基準値，すなわち土砂災害の危険度分布の判定に用いる基準値は，都道府県の砂防部局と气象台とで協力しながら基準値の見直しを実施している。本項では，土砂災害の危険度のうち，土砂災害警戒情報の発表基準

(CL) の超過状況に関して，実際に発生した土砂災害との関係を見ていく。

(1) 期間

2009 年～2020 年の 12 年間。

(2) データ

災害データ：各都道府県の砂防部局から収集したものを使用。

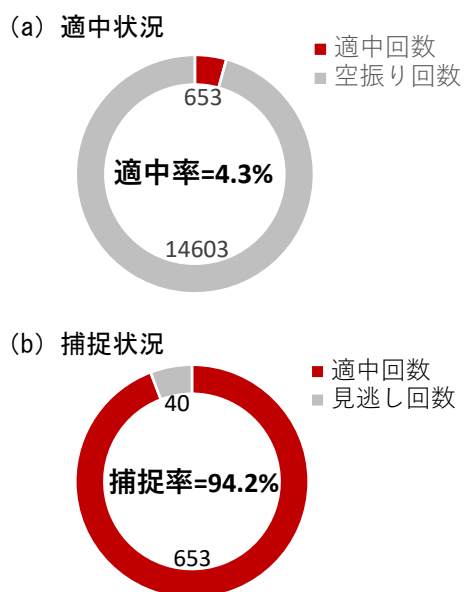
危険度データ：リアルタイムで計算した 10 分毎の土砂災害の危険度を使用。

(3) 方法

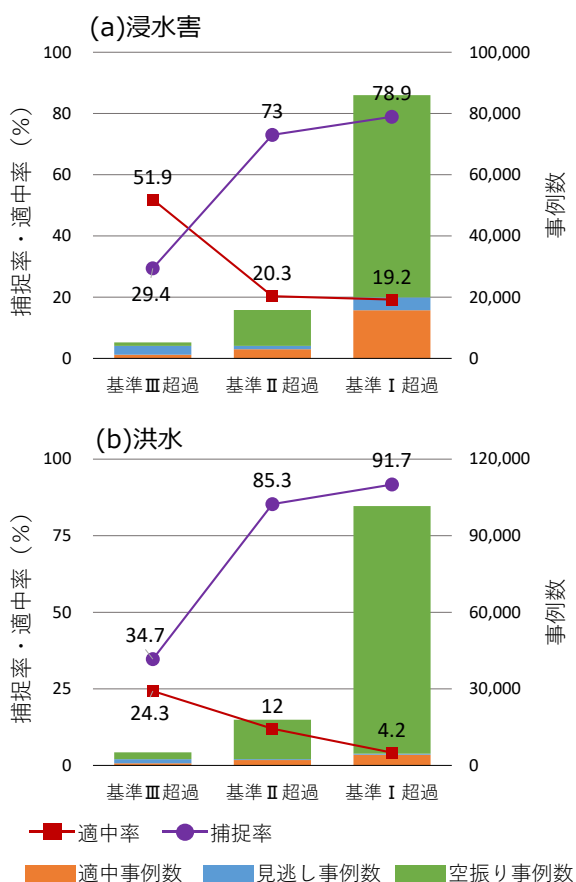
土砂災害警戒情報の発表単位で，CL 対象災害発生状況と CL 超過状況を比較し，「CL 対象災害発生あり/なし」「CL 基準超過あり/なし」の適中・捕捉・見逃し・空振りを判定し，その合計数を算出した。

(4) 結果

第 5.7 図に，CL 対象災害に対する適中・捕捉状況を示す。適中率は約 4 %と低い一方で，捕捉率は約 94 %と高いことがわかる。この原因として，土砂災害に関する観測データ不足やその予測の難しさ，ひとたび現象が発生した場合の被害（人的被害等）への影響等を理由に CL がより安全側に設定されていることが考えられる。ただし，CL 対象災害ではなく「全ての土砂災害」を対象とした場合は，適中率が約 2 倍となる結果も示されており（国土交通省，2021），対象とする土砂災害によってこの成績は変わることにも留意が必要である。本検証では土砂災害の規模（多発的と散発



第 5.7 図 CL 対象災害に対する CL 超過状況の(a)適中状況, (b)捕捉状況。



第 5.8 図 (a)浸水害, (b)洪水の危険度の適中状況と捕捉状況。

的の区別)が考慮できていないため,土砂災害の規模も含めた総合的な検証が今後の課題である(岸本・中谷, 2022)。

5.3.2 浸水害及び洪水の危険度と災害との関係

第 4.3 節, 第 4.4 節で述べたとおり, 大雨警報(浸水害)及び洪水警報等の基準値, すなわち危険度分布の危険度判定に用いる基準値は, 気象台において毎年見直しを実施しており, 見直し作業の中で統計評価を行って, 結果をまとめている。ここではその統計評価結果を活用して浸水害・洪水の各危険度と災害の関係を見ていく。

(1) 期間

1991 年～2019 年の 29 年間。

(2) データ

災害データ: 国土交通省で取りまとめている水害統計資料及び自治体等から提供いただいた災害資料を気象台において整理したものを使用した。

危険度データ: 2022 年 5 月 26 日当時の基準値で再計算した, 過去 29 年分の毎正時の浸水害及び洪水の危険度を使用した。

(3) 方法

二次細分区域ごとに, 警報・注意報対象災害(二次細分区域ごとに異なる)の発生事例/非発生事例を整理し, 各基準(基準Ⅰ, 基準Ⅱ, 基準Ⅲ)の「対象災害発生あり/なし」「基準判定超過あり/なし」の適中(捕捉)・見逃し・空振りの合計数及び割合を算出した。

(4) 結果

浸水害と洪水に関する検証結果を第 5.8 図に示す。浸水害・洪水ともに上位の基準ほど適中率が高く, 捕捉率が低くなる傾向がある。これは, もともと基準Ⅲが基準Ⅱより適中を重視した基準として設定されていること, 注意報の指標となる基準Ⅰは幅広い災害に対して注意を呼びかけるものであることから低めに基準が設定されていること等が反映された結果と言える。

浸水害について詳しく見てみると, 基準Ⅲを超過した場合はその半数以上で災害が発生してお

り、基準Ⅲは極めて適中率が高い基準であるといえる。一方で、基準Ⅲ、基準Ⅱの見逃し率はそれぞれ約 71%、27%となっている。このことは、短時間強雨により局地的に発生する浸水害を適切に捕捉することの難しさを表している。そのうえで、市町村等の防災対応に支障をきたさないよう、現在の基準値は過度に空振り回数が増えないように設定されている。

次に洪水について見ると、対象災害事例数が浸水害より少ないにも関わらず、基準超過回数及び空振り数は浸水害より多くなっていることがわかる。このため、基準Ⅲを超過した場合の適中率は約 25%と低めの値になっている。一方で、対象

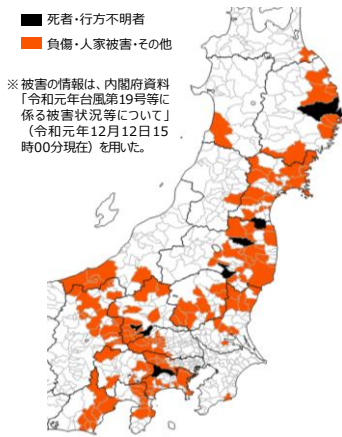
災害の捕捉率は基準Ⅱが約 85%、基準Ⅰが約 92%となっており、捕捉重視の基準設定となっていることがわかる。その理由として、洪水氾濫は発現頻度が低い一方で、発生時には大きな被害をもたらすこともあるため、浸水害とは逆に、基準超過回数の許容範囲内で可能な限り災害を捕捉するよう設定されているということが考えられる。

5.4 近年の大雨事例での検証

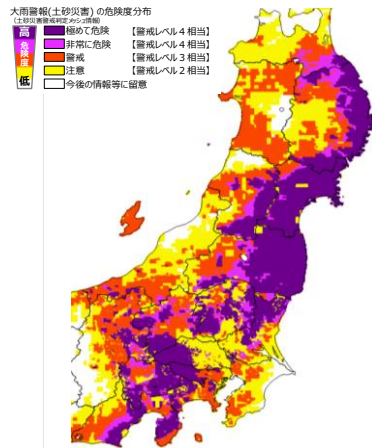
ここまでは指数や危険度の統計的な精度を見てきたが、最後に実事例での危険度と災害発生状況の関係について検証する。

(a) 土砂災害

土砂災害のあった市町村

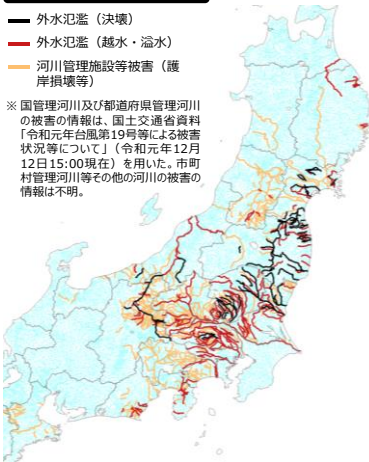


土砂キキクル 令和元年10月11日9時～14日9時の最大危険度

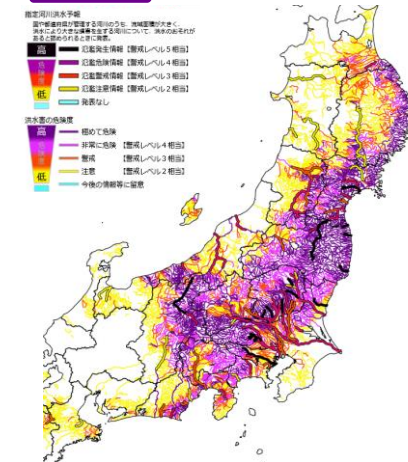


(b) 洪水

洪水被害のあった河川



洪水キキクル 令和元年10月12日～10月14日の最大危険度



第 5.9 図 令和元年東日本台風における災害発生状況と危険度分布の比較。被害の情報は内閣府資料「令和元年台風第 19 号等に係る被害状況等について」(令和元年 12 月 12 日 15 時 00 分現在)を使用。

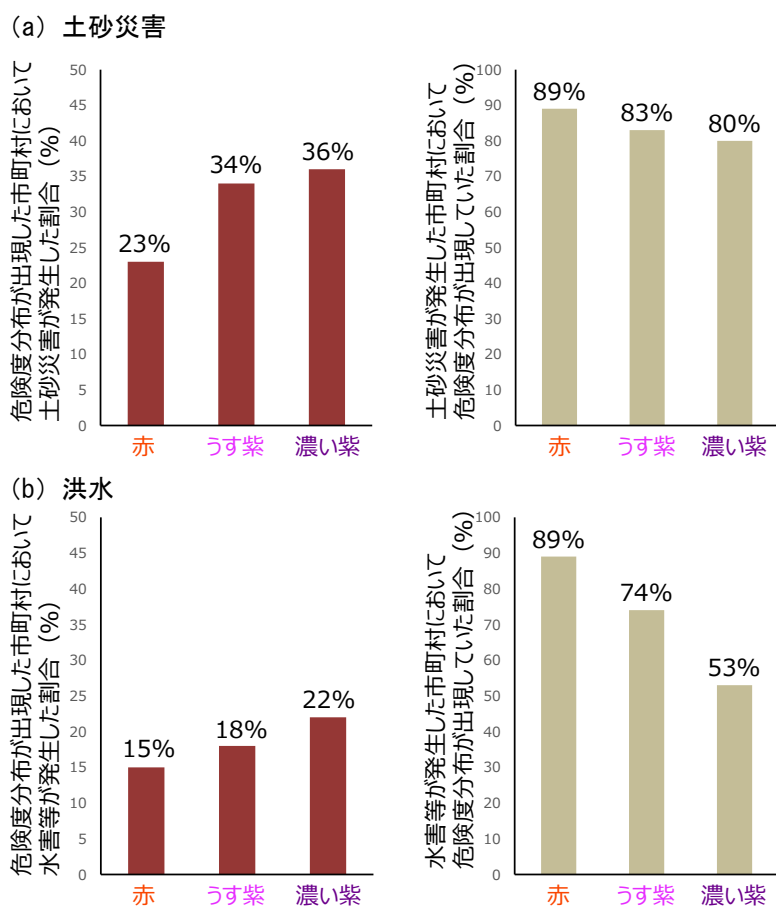
5.4.1 令和元年東日本台風

令和元年東日本台風（台風第 19 号）は、大型で強い勢力を維持したまま、令和元年（2019 年）10 月 12 日 19 時前に伊豆半島に上陸した後、関東地方を通過し、13 日未明に東北地方の東海上を抜けた。この台風により、静岡県や新潟県、関東甲信地方、東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨となり、河川の氾濫が相次いだほか、土砂災害や浸水害が多数発生した。

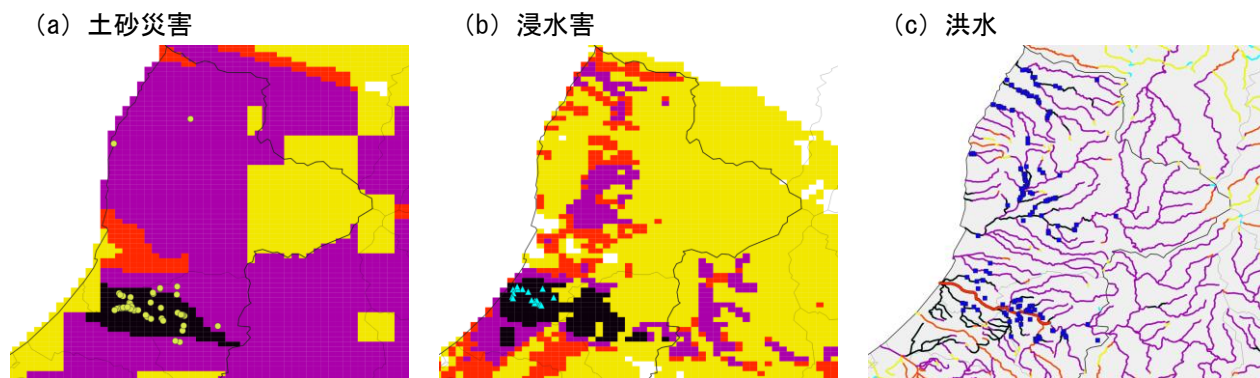
第 5.9 図に、土砂災害、洪水被害の発生状況と当時の危険度分布の期間最大値の比較を示す。土砂災害・洪水ともに、危険度分布で「警戒」（赤）以上が出現した地域・河川において必ずしも被害発生は確認されていないものの、被害のあった市区町村・河川では概ね危険度分布で「警戒」（赤）以上が出現していることがわかる。さらに、死者・

行方不明者を伴う土砂災害が発生した市区町村、又は、決壊による外水氾濫が発生した河川では、その多くで、当時の危険度分布で最大の危険度であった濃い紫（指数が警戒を大きく超えた基準、あるいは土砂災害警戒情報の発表基準を実況で超過）が出現していた。

第 5.10 図に示すのは、災害発生に対する土砂災害及び洪水の危険度の適中率・捕捉率である。土砂災害については市区町村単位、洪水については河川単位でスコアを集計している。土砂災害・洪水ともに危険度が高くなるほど適中率が高くなっており、濃い紫の適中率は土砂災害の危険度が 36%、洪水の危険度は 22%となっている。一方で、捕捉率は危険度が低いほど高くなる傾向が見られ、赤の捕捉率は土砂災害・洪水ともに 89%となっている。



第 5.10 図 令和元年東日本台風における災害発生に対する危険度の適中状況と捕捉状況。土砂災害は市区町村ごとに、洪水は河川ごとにスコアを集計。被害の情報は内閣府資料「令和元年台風第 19 号等に係る被害状況等について」（令和元年 12 月 12 日 15 時 00 分現在）を使用。



第 5.11 図 令和 4 年 8 月 3 日～4 日の新潟県における土砂災害（がけ崩れ，山腹崩壊，土石流），浸水害（内水氾濫），洪水災害（溢水・越水・護岸損傷）の災害発生箇所（各図のプロット）と危険度分布の期間最大値の比較。土砂災害・洪水災害の情報は新潟県土木部提供。浸水害の情報は，国土地理院が作成した浸水推定図をもとに，浸水想定域が含まれる 1 km 格子をプロットした。

5.4.2 令和 4 年 8 月 3, 4 日新潟県特別警報事例

令和 4 年(2022 年)8 月 3 日から 4 日にかけて，前線や前線上の低気圧の影響で，山形県や新潟県の多数のアメダス観測地点で 1 時間雨量や 24 時間雨量の記録を更新するなど記録的な大雨となり，線状降水帯が複数発生したほか，山形県と新潟県に大雨特別警報が発表された。この大雨の影響で河川の氾濫，浸水害，土砂災害が発生し，人的被害，住家被害等が発生した。

危険度が高まった 3 日 12 時～4 日 12 時の最大危険度の分布と新潟県村上市及び関川村で発生した災害発生状況のプロットを第 5.11 図に示す。被害の発生状況を見ると，土砂災害，浸水害，洪水災害で災害発生が多い地域が異なっているが，最大危険度の分布でも，それぞれの災害が多かった地域において「黒」（災害切迫）の危険度が出現していたことがわかる。なお，ここでの検証は災害発生時刻を考慮していないため，必ずしも災害発生のタイミングで黒が出現したとは限らないことに留意する必要がある。

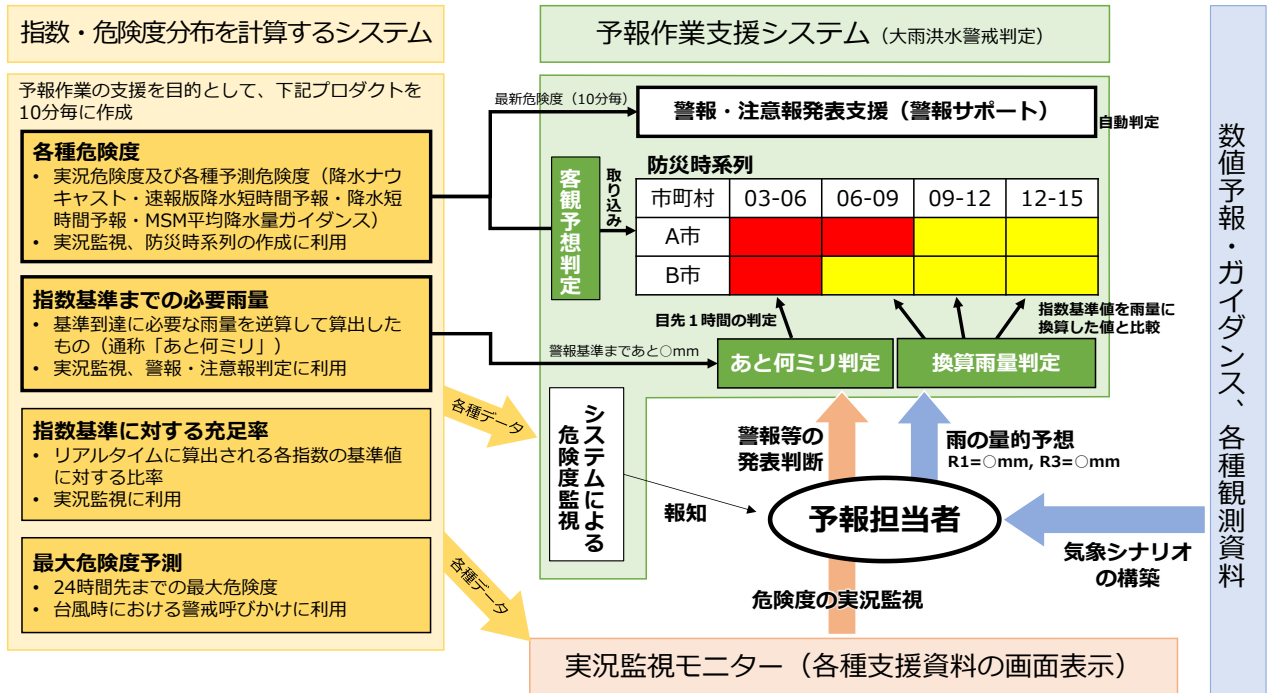
6. 指数・危険度分布の利活用

6.1 指数に基づく予報・警報作業

気象庁では，2008 年に，土砂災害に関する大雨警報・注意報の発表基準として土壌雨量指数を，洪水警報・注意報の発表基準として流域雨量指数

をそれぞれ導入した（これに伴い，24 時間雨量基準は廃止）。また，2017 年には，浸水害に関する大雨警報・注意報の発表基準として表面雨量指数を導入するとともに，計算格子を 5 km 格子から 1 km 格子に変更する等による流域雨量指数の精緻化の改善を実施した（これに伴い，1 時間雨量基準及び 3 時間雨量基準は廃止）。こうして現在，大雨及び洪水警報・注意報の発表基準は，土壌雨量指数，表面雨量指数，流域雨量指数という「災害との相関の高い指数」のみとなっている。

一方で，予報担当者の予報・警報作業に関しては従前と大きくは変わっていない。すなわち，数値予報資料や実況解析に基づくシナリオの検討，雨量の予想，防災時系列の適切な維持管理等が予報・警報作業の中心となる。これは，予報担当者が指数を直接予測し基準超過の判断を行うことは事実上不可能なため，予報担当者はあくまで雨量の予想に専念し，その予想雨量をもとにシステム側で指数計算・警戒判定を行い，警報・注意報を発表することを基本としているからである。しかしながら，予報担当者の雨量予想を指数や警戒判定に反映させるのは容易ではない。指数の計算には 1 km 格子毎/1 時間毎の雨量データが必要になるが，予報担当者が予想するのは，基本パターンとして設定された一定領域内の，3 時間毎の最大 1 時間雨量（または 3 時間雨量）で



第 6.1 図 指数に基づく予報・警報作業. 各矢印はデータや情報の流れを表している.

あるから、指数計算の入力値には適していない。そこで、予報担当者による雨の量的予想と指数基準による警戒判定を統合的に行うためのさまざまな工夫が組み込まれている。

第 6.1 図に指数に基づく予報・警報作業及びそれを実現するための各システムの概念図を示した。予報担当者の予報・警報作業を支援する仕組みとしては大きく分けて 2 つある。1 つは指数・危険度分布を計算するシステムで作成される各種支援資料であり、もう 1 つは予報作業支援システムによる警戒判定機能である。

各種支援資料には、実況危険度や各種予測危険度のほか、指数基準到達までの必要雨量（通称「あと何ミリ」）、指数基準に対する充足率、最大危険度予測などがある（各資料の詳細は付録を参照されたい）。これら支援資料は指数・危険度分布を計算するシステムでそれらとともに 10 分毎に作成され、実況監視モニターで画面表示されるとともに、予報作業支援システムに常時送信されて、警戒判定やシステムによる危険度監視に利用される。

警報・注意報の発表作業時における、予報作業

支援システムの指数警戒判定には「客観予想判定」「あと何ミリ判定」「換算雨量判定」の 3 つの判定機能がある（田口，2018）。また、顕著現象発生時など、頻繁な大雨・洪水警報等の発表に至る状況下でも、出し遅れを回避し、適切なリードタイムを確保して警報等を発表できるよう支援することを目的として、予報作業支援システムには「警報・注意報発表支援（警報サポート）」という機能も整備されている。以下それぞれについて説明する。

(1) 客観予想判定

指数・危険度分布を計算するシステムで作成される各種危険度を防災時系列に取り込み、地域別・時間帯別に各種危険度データを集約し警報等を判定する機能である。降水短時間予報等の客観予想資料に基づく危険度の利用が適切と考えられる場合など、作成された危険度データをこの判定によって防災時系列に適宜反映する。

(2) あと何ミリ判定

10 分毎に計算される指数基準到達までの必要雨量と防災時系列で入力した直近の 1 時間雨量の予想値との比較に基づき警報等を判定する機能

である。この必要雨量は実際の降雨（先行降雨）と1時間後までの降水の時間変化を仮定した降水量から格子毎に計算され時々刻々と変化する。基準到達に迫っているときは「あと10ミリ」といった小さな値になる。

(3) 換算雨量判定

事前準備された雨量基準値と防災時系列で入力した雨量予測値との比較に基づき警報等を判定する機能である。この雨量基準値は、タンクが空の状態を初期値として大雨警報（浸水害）の表面雨量指数基準に到達するまでの必要雨量を事前シミュレーションしておき、格子毎の雨量基準値として予報作業支援システムにあらかじめ設定しておく。ただし、判定のための基準値が一定の仮定（タンクが空の状態、時空間的に一様な降り方）を置いたシミュレーションに基づくものであるため、あと何ミリ判定のような実際の降雨（先行降雨）が反映された判定ではないこと、客観予想資料による予想雨量は反映されないことに留意する必要がある。

(4) 警報・注意報発表支援（警報サポート）

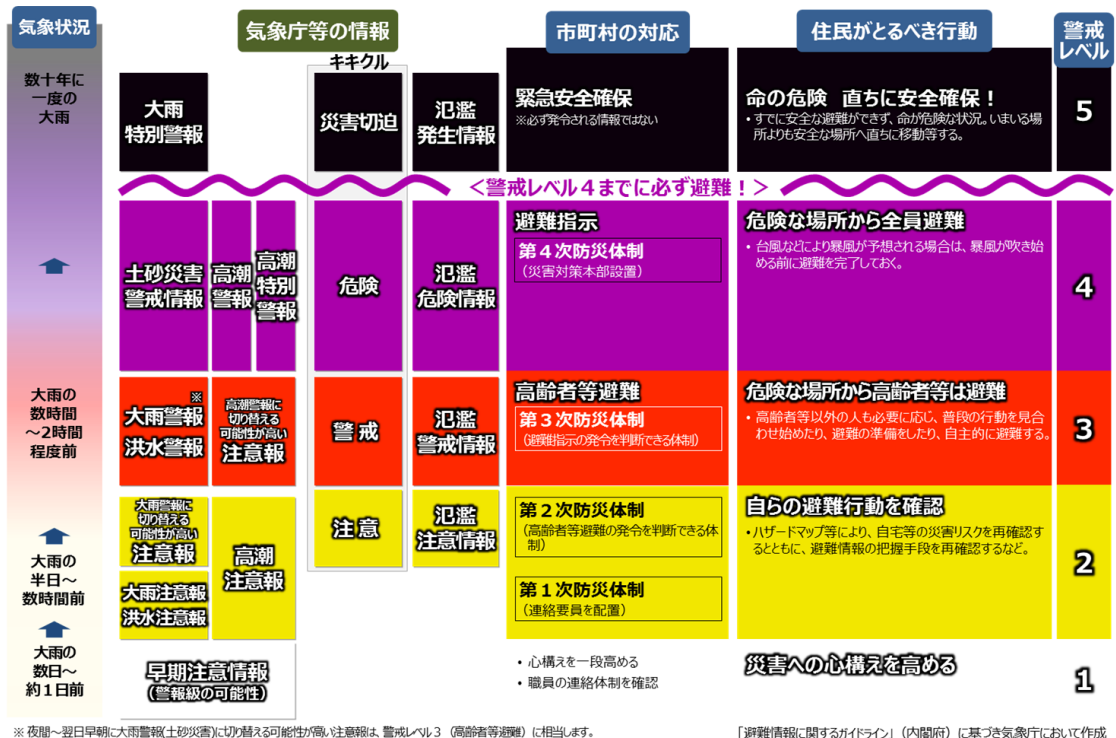
警報サポート機能は、顕著現象発生時の警報・

注意報の発表作業で利用するものである。警報サポートを起動すると、最新危険度（実況危険度及びあらかじめ設定した予報時間までの予想危険度）の取り込み及び判定から警報等の発表案の作成までが最短10分間隔の自動で行われる。予報担当者は作成された発表案を確認し警報等を発表する。

6.2 避難への活用（警戒レベル相当情報）

6.2.1 5段階の警戒レベルと防災気象情報

気象庁は、注意報、警報、特別警報、土砂災害警戒情報、指定河川洪水予報など、様々な防災気象情報を段階的に発表し、大雨や暴風等とそれにより引き起こされる災害への警戒を呼びかけている。また、災害時にとるべき避難行動が直感的にわかるよう、市区町村が発令する避難情報等が5段階の警戒レベルに整理されており、大雨や洪水、高潮、土砂災害に係る防災気象情報は、住民が自ら避難行動をとる際の判断に参考となる警戒レベル相当情報として、5段階の警戒レベルと関連付けられている（第6.2図）。



第 6.2 図 5 段階の警戒レベルと防災気象情報。

キキクル（危険度分布）は、数時間先までの大雨による災害発生危険度を予測する防災気象情報である。例えば、土砂キキクルや洪水キキクルの「危険」（紫）は、危険な場所から全員避難する必要がある警戒レベル4に相当する情報、「警戒」（赤）は、危険な場所から高齢者等は避難する必要がある警戒レベル3に相当する情報とそれぞれ位置付けられている。警戒レベル5に相当するキキクルの「災害切迫」（黒）は大雨特別警報の発表判断にも用いられる基準である。この基準値は、土砂災害警戒情報の発表基準等のさらに高い領域に設定されていること、また、「災害切迫」（黒）の表示には予測値は用いず、実況で基準値を超過したときのみ表示されること等から、「災害切迫」（黒）は災害が発生する前にいつも現れるとは限らず、災害がすでに発生している状況も想定される点に留意が必要である。このため、キキクル「災害切迫」（黒）を待ってはならず、遅くとも「危険」（紫）となったときには、すぐに安全な場所へ移動することが非常に重要となる。

6.2.2 地方公共団体によるキキクルの活用

避難情報の発令基準や伝達方法、防災体制等を検討するにあたって、参考とすべき事項が示されている「避難情報に関するガイドライン」（内閣府（防災担当））では、警戒レベル3高齢者等避難や警戒レベル4避難指示等の発令基準の設定例としてキキクルが位置付けられている。

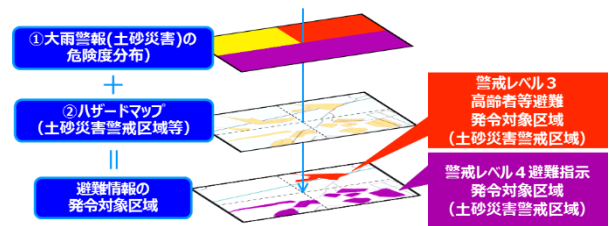
また、防災基本計画では、市区町村におけるキキクルの活用に関して、次のように明記されている。

- ・ 洪水予報河川等以外の河川についても、命の危険を及ぼすと判断したものについては洪水キキクルにより具体的な避難指示等の発令基準を策定する。
- ・ 土砂キキクル等を用いて危険度の高まっている領域の土砂災害警戒区域等に絞り込んで避難指示等を発令できるよう、発令対象区域をあらかじめ具体的に設定する（第6.3図）。これらに基づき、約5割の地方公共団体が土砂キキクルを、約4割の地方公共団体が洪水キキクルを

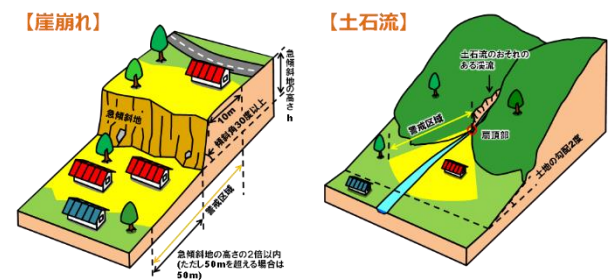
ルを地域防災計画等に記載しており、避難情報の発令対象区域の判断に用いられている（気象庁、2023）。

6.2.3 住民によるキキクルの活用

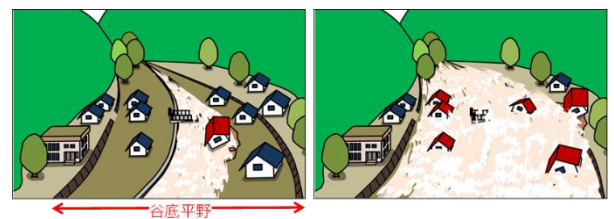
住民が自らの判断で避難行動をとるためには、崖の近くや川の近くといった災害リスクのある区域についてあらかじめ確認・認識しておくことが重要である。土砂災害のリスクのある区域は土砂災害警戒区域として（第6.4図）、洪水災害のリスクのある区域は洪水浸水想定区域として都道府県又は国により指定されており、市区町村のハザードマップ等に掲載されている。なお、中小河川であっても、川沿いの低地（谷底平野（第6.5図）等）では家屋流失を伴う洪水災害が過去に発生し



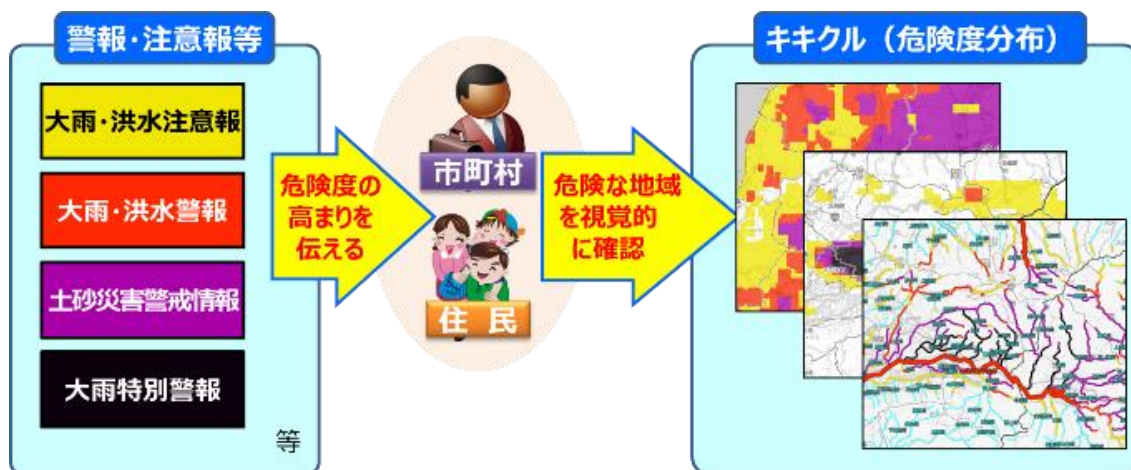
第6.3図 区域を絞り込んだ避難情報の発令。



第6.4図 土砂災害警戒区域。



第6.5図 中小河川沿いの低地（谷底平野）。



第 6.6 図 キキクルと警報等の一体的な活用.

ている（例えば「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」による福岡県朝倉市の洪水災害）ことには留意が必要である。気象庁ホームページでも、土砂災害警戒区域を土砂キキクルに、洪水浸水想定区域を洪水キキクルに重ね合わせて表示できるようにしており（第 4.28 図）、リアルタイムの危険度の高まりとあわせて災害リスクのある区域を確認できる。

キキクルは、第 6.6 図に示したように、警報等と一体的に活用すると効果的である。大雨となったときには、気象台から大雨や洪水に関する注意報、警報、土砂災害警戒情報等が発表されるが、警報等が発表されたときにキキクルを確認することで、危険度が高まっている地域を詳細に把握することができる。一方で、キキクルは詳細な分布情報ではあるものの、10 分ごとに更新しており、

刻一刻と危険度が変化するため、危険度の高まりにすぐに気付けないこともある。そこで、危険度の高まりを住民に確実に伝えられるよう、スマホアプリやメールでプッシュ通知するサービスを民間事業者の協力のもと実施している（第 6.7 図）。キキクルの通知サービスを活用することで、避難の判断のきっかけとなる危険度の変化を確実に入手できるとともに、離れた場所に暮らしている家族の場所を登録しておけば、いざという時に家族に避難を呼びかけることもできるようになる。

6.2.4 土砂キキクルの活用

土砂災害は、突発的に発生することが多く発生してから避難することは困難である。また、木造住宅を流失・全壊させるほどの破壊力があるため、



第 6.7 図 キキクルの通知サービス.

屋内で身の安全を確保することができることも限らない。このため、土砂災害警戒区域等の居住者等の避難行動は、事前の立退き避難が基本とされている。なお、内閣府（2006）によれば、市区町村が避難情報を発令し、住民が避難完了するまでには概ね 2 時間が必要とされていることから、2 時間先までに「危険」（紫）の基準を超過することが予測された時点で「危険」（紫）が表示されるようにしている。このため、遅くとも「危険」（紫）となったときには、速やかに安全な場所に移動する判断をすることが大変重要である。

6.2.5 浸水キキクルの活用

床下までしか浸水しなかったり、氾濫流により家屋流失をもたらすおそれがなかったりする水路や下水道等の氾濫については、浸水しない上階に移動する屋内安全確保（垂直避難）することが可能であり、避難情報の発令対象としなくても良いこととされている（内閣府，2022）。このため、こうした短時間の大雨による浸水害を対象とする浸水キキクルは、警戒レベルと明確には紐付けられていない。一方、住宅の地下室や道路のアンダーパスでは、雨水の溜まりうる体積が小さいため、浸水や冠水の深さが短時間のうちに急激に上昇する傾向があり、命を奪われる危険性もある。このため、大雨の時には浸水キキクルも活用して、これらの場所に近づかないようにすることが重要である。

6.2.6 洪水キキクルの活用

中小河川（特に山間部を流れる山地河川）は、流域面積が小さいため上流域に降った雨が河川に集まるまでの時間が短く、勾配が比較的急であることから、河川の幅が狭い場所では流れが深く速くなりやすい。このため、大雨が降ると短時間のうちに急激な水位上昇が起こりやすい。また、自分がいる場所での降雨はそれほどではなくても、上流域の降雨により急激に河川の水位が上昇することがある。このような特徴をもつ中小河川に対しては、現地の水位情報だけでなく、3 時間先までの予測が考慮された洪水キキクルも活用

して、自らの判断で主体的な避難行動をとる必要がある。特に、水位を観測していない中小河川においては、水位上昇の見込みを判断するための情報として洪水キキクルを活用することが有効である。危険度の高まった「危険」（紫）や「警戒」（赤）の表示は上流から下流へ移動してくる傾向があるため、上流地点の危険度も含めて確認することで、早めに危険を察知することが可能となる。

7. 今後の課題

7.1 指数・危険度分布の技術的課題

7.1.1 流域雨量指数への観測水位データ同化

洪水の危険度分布は流域雨量指数をもとに危険度を算出しているが、流域雨量指数の計算には実際の河川水位の状況が反映されていないため、危険度分布の危険度と河川水位に乖離がみられるケースがある。この課題の解決に向け、流域雨量指数への観測水位のデータ同化手法として「粒子フィルタ」に着目し、その実装に向けた開発を進めている。

粒子フィルタとは多数の粒子を時間遷移させながら状態の事後分布を求めるもので、実装が容易かつ非線形・非ガウスモデルを扱うことができるため、近年、盛んに研究が行われるとともに、国管理河川を対象とした「水害リスクライン」にもその技術が導入されている。

太田・千々松（2023）によると、粒子フィルタを実装した流域雨量指数によって、実況水位の再現性が改善されるとともに初期値改善を通じて予測精度が向上し、その結果、危険度分布の精度が改善される可能性があることが報告されている。今後、本手法の導入にあたっては、他河川での検証事例を積み重ねるほか、指数の出現特性に変化が生じた場合の基準見直し方法についても検討していく必要がある。

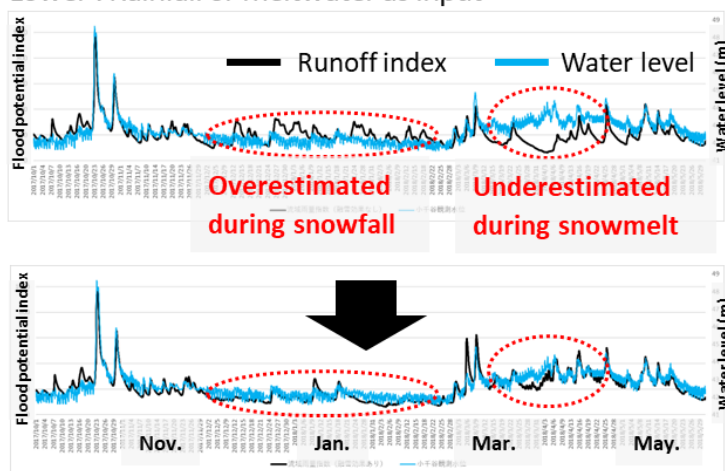
7.1.2 各種指数への融雪効果の反映

現在の各指数の計算では、降った雪が積雪として地表に蓄えられる過程やこれが融けて地表面や地中を通して河川に流れ出す過程が考慮されていない。その結果、降雪時に意図しない危険度

Example of comparison between Runoff index and water level.

Upper : Rainfall as input

Lower : Rainfall or meltwater as input



第 7.1 図 融雪の有無による流域雨量指数の比較（信濃川小千谷観測所）。

の上昇がみられ、融雪に起因する土砂災害や洪水の危険度を適切に表現できないといった課題がある。

そこでタンクモデルの入力値に、解析雨量ではなく、積雪モデルで計算される積雪最下層から流出する水量（底面流出量）を用いることで、指数に融雪効果を反映させることを検討している。これにより、降雪時の指数上昇を抑止するとともに、融雪時の危険度を適切に算出できるようになることが期待される。

現在、積雪変質モデル SMAP (Niwano *et al.*,2012) で算出した底面流出量をタンクモデルの入力することで、融雪期の指数の精度向上が図れないか検証を行っている（第 7.1 図）。

7.1.3 アンサンブル予測の活用

現在の危険度分布の予測対象時間は、予測精度の観点から、土砂災害が 2 時間、浸水害が 1 時間、洪水が 3 時間となっている。住民の早期避難のためにはより長時間のリードタイムを確保することが望ましく、特に、夜間早朝に発生する災害に対して前日の明るいうちから避難を開始するためには、少なくとも半日程度のリードタイムが必要となる。現在の気象予測技術の水準では、半日

程度先までの災害発生危険度を決定論的に精度よく予測することは困難であることから、気象予測の不確実性も含めたアンサンブル予測手法の導入を今後予定している。

現在、メソアンサンブル予報システム (MEPS) による 21 メンバーの雨量予測を入力値としたアンサンブル危険度予測の開発とともに、アンサンブル予測結果の効果的な活用方策についても検討を進めている。

7.2 警報等の災害発生率

第 5.3.1 項でみたように、土砂災害の危険度分布の判定をもとに発表される土砂災害警戒情報等の課題として、空振りが多く適中率が低いことが挙げられる。また、向井・牛山 (2021) は、警戒レベル 3 高齢者避難に相当する大雨警報（土砂災害）の発表回数が大雨特別警報（土砂災害）や土砂災害警戒情報に比べて特に多いこと、大雨警報（土砂災害）を発表しても土砂災害警戒情報基準に到達しない事例が多いこと等を指摘している。これらの課題に対し、現在気象庁では、大雨警報（土砂災害）の発表に関して、リードタイムの減少や見逃しの増加を伴うことにも留意しつつ、災害発生率を重視した発表手法へ抜本的に見

直す検討を進めている。

一方、大雨警報（浸水害）や洪水警報等についても、災害発生を目安となる基準値を定期的に確認・評価し、必要に応じて基準の見直しを実施しており、引き続きこの取組を行っていくことで、警報等の災害発生率の向上に努めていく必要がある。

7.3 シンプルでわかりやすい防災気象情報の再構築に向けて

気象庁では、水管理・国土保全局や都道府県と連携して、注意報、警報、特別警報、土砂災害警戒情報、指定河川洪水予報など様々な防災気象情報を段階的に発表し、大雨等によって引き起こされる災害への警戒を呼びかけている。しかし、「情報の数が多すぎる」「名称がわかりにくい」などの指摘がされており、シンプルかつ分かりやすい情報体系に整理することが求められている。そこで、気象庁では、防災気象情報全体の体系整理や個々の情報の抜本的な見直し、受け手側の立場に立った情報への改善などの検討を行うため、学識者、報道関係者等による「防災気象情報に関する検討会」を立ち上げ、令和4年（2022年）1月の第1回以降、議論や検討を重ねている。

令和4年（2022年）9月の中間とりまとめでは、防災気象情報の基本的な役割と位置づけとして、「対応や行動が必要な状況であることを伝える簡潔な情報」と「対応や行動が必要な状況であることの背景や根拠を丁寧に解説する情報」の2種類に整理できることが示されている。前者の「簡潔な情報」として国等が発表する「警戒レベル相当情報」があるが、災害ごとに各レベルに最適な基準を設定しつつ、警戒レベル相当情報全体もわかりやすい体系に整理することは重要かつ難しい課題であることから、これについては検討会にサブワーキンググループを設けて、別途具体的な検討が進められている。

謝辞

第5.11図に用いた土砂災害、洪水害の災害発生状況の情報は、新潟県土木部に提供いただきました。

た。また、図の作成に用いた災害データは、新潟地方気象台向井防災気象官に作成いただきました。感謝申し上げます。

警報の改善と危険度分布の提供は、特にその技術基盤の1つである「基準」に関して、各気象台の職員による基準作成・見直し作業、関係機関との調整、住民等への周知広報等があつて実現したものです。また、気象庁内の関係課室をはじめ、国土交通省水管理・国土保全局、内閣府、総務省消防庁等の関係府省庁、自治体、報道機関の皆様にも多大な理解と協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 土木学会（1999）：水理公式集 [平成11年版]，丸善，p.89
- 土木学会（2019）：2018年7月西日本豪雨災害調査団（中国地区）報告書。
- 原田育郎，阿部世史之（2006）：平成16年の顕著現象と災害の概要。気象庁技術報告「平成16年（2004年）梅雨期豪雨と顕著台風」，129，5-28。
- 一川孝平（2019）：速報版降水短時間予報，平成30年度予報技術研修テキスト，159-163。
- Ishihara, Y. & Kobatake, S.（1979）：Runoff Model for Flood Forecasting. Bull. D.P.R.I., Kyoto Univ., 29, 27-43.
- 鹿沼市（2010）：鹿沼市における集中豪雨対策－「安全・安心なまちづくりを目指して」－。道路行政セミナー，2010年4月号。
- 岸本優輝，中谷洋明（2022）：土砂災害警戒情報の災害捕捉特性に関する検討。日本災害情報学会誌，No20-1，33-40。
- 気象庁（2021）：「危険度分布の愛称は「キキクル」」。令和3年3月17日報道発表，https://www.jma.go.jp/jma/press/2103/17a/20210317_kikendoaishou.pdf（2023.9.1閲覧）
- 気象庁（2023）：市区町村における風水害への対応状況と気象庁による支援への評価に関するアンケート報告書。
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/hyouka/man>

- zokudo/R4manzokudo/R4manzokudo_data.pdf
(2023.9.1 閲覧)
- 国土交通省 (2001): 地下空間における浸水対策
ガイドライン.
[https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_](https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/saigai/tisiki/chika/)
[keikaku/saigai/tisiki/chika/](https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/saigai/tisiki/chika/) (2023.9.1 閲覧)
- 国土交通省 (2021): 国及び都道府県で実施して
いる洪水及び土砂災害の予報について.
[ntoukai/arikata/part1/siryu2.pdf](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/shingikai/ke
<a href=) (2023.9.1
閲覧)
- 国土交通省水管理・国土保全局砂防部, 気象庁
大気海洋部, 国土交通省国土技術政策総合
研究所 (2023): 土砂災害警戒情報の基準
設定及び検証の考え方.
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline
[/sabo/dsk_kizyun_kensho_r0503.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline)
(2023.9.1 閲覧)
- 國友優 (2018): 土砂災害に対する警戒避難の基
礎知識(7)~いつ逃げればよいか②~. 砂
防と治水, **245**, 43-49.
- 牧原康隆, 平沢正信 (1993): 斜面崩壊危険度予
測におけるタンクモデルの精度. 気象庁研
究時報, **45**, 35-70.
- 牧原康隆, 太田琢磨 (2006): 流域雨量指数. 気
象庁技術報告「平成 16 年 (2004 年) 梅雨
期豪雨と顕著台風」, **129**, 237-247.
- 宮崎市総務部危機管理室: 平成 17 年台風 14
号災害の概要.
<https://www.city.miyazaki.miyazaki.jp/fs/4/1/6>
[/3/6/0/_/4c5a5f68002.pdf](https://www.city.miyazaki.miyazaki.jp/fs/4/1/6) (2023.9.1 閲覧)
- 向井利明, 牛山素行 (2021): 大雨警報 (土砂災
害) の運用実績と課題 -警戒レベル 3 相当
情報としてみた場合-. 日本災害情報学会
第 23 回学会大会予稿集.
- 永田和彦 (2019): 速報版解析雨量. 平成 30 年
度予報技術研修テキスト, 153-159.
- 内閣府 (2006): 災害時要援護者の避難支援ガイ
ドライン.
<https://www.bousai.go.jp/taisaku/youengo/060>
[328/pdf/hinanguide.pdf](https://www.bousai.go.jp/taisaku/youengo/060) (2023.9.1 閲覧)
- 内閣府 (2022): 避難情報に関するガイドライ
ン.
<https://www.bousai.go.jp/oukyu/hinanjouhou/r>
[3_hinanjouhou_guideline/pdf/hinan_guideline.](https://www.bousai.go.jp/oukyu/hinanjouhou/r)
[pdf](https://www.bousai.go.jp/oukyu/hinanjouhou/r) (2023.9.1 閲覧)
- 日本河川協会 (1997): 建設省河川砂防技術基準
(案)同解説・調査編. 技報堂, p.52.
- 日本災害情報学会 (2016): 災害情報学事典, 朝
倉書店, pp.68-69.
- Niwano, M. *et al.* (2012): Snow Metamorphism and
Albedo Process (SMAP) model for climate
studies: Model validation using
meteorological and snow impurity data
measured at Sapporo, Japan, *J. Geophys. Res.*,
117, F03008
- 岡田憲治, 牧原康隆, 新保明彦, 永田和彦, 国
次雅司, 斎藤清 (2001): 土壌雨量指数.
天気, **48**, 349-356.
- 岡田憲治 (2002): 土壌雨量指数. 測候時報,
69, 67-100.
- 大田区 (2020): 令和元年台風 19 号における田
園調布地区内水解析 検証結果.
<https://www.city.ota.tokyo.jp/seikatsu/chiiki/b>
[ousai/suigai/2019t19_denen-chofu_kensyo-](https://www.city.ota.tokyo.jp/seikatsu/chiiki/b)
[kekka.html](https://www.city.ota.tokyo.jp/seikatsu/chiiki/b) (2023.9.1 閲覧)
- 太田琢磨, 横田茂樹 (2009): 流域雨量指数を用
いた洪水警報の考え方とその特徴. 平成
20 年度量的予報研修テキスト, 20-30.
- 太田琢磨, 牧原康隆 (2015): 大雨警報における
浸水雨量指数の適用可能性 -タンクモデル
を用いた内水浸水危険度指標-. 気象庁研
究時報, **65**, 1-23.
- 太田琢磨 (2017): 大雨・洪水警報作業に用いる
新しい指数. 平成 28 年度予報技術研修テ
キスト, 30-41.
- 太田琢磨 (2019): 大雨・洪水警報に用いている
「指数と基準」の精度検証. 平成 30 年度予
報技術研修テキスト, 33-47.
- 太田琢磨, 千々松聡 (2023): 中小河川を対象と
した現業洪水予測モデルへの粒子フィルタ
の実装に向けた検討. 水文・水資源学会/

- 日本水文科学会 2023 年度研究発表会要旨集.
- 齋藤公一滝, 太田琢磨 (2013): 土壌雨量指数と流域雨量指数の改善. 平成 24 年度予報技術研修テキスト, 116-125.
- 佐々木洋 (2011): 気象警報をはじめとする防災気象情報の改善の経緯. 平成 22 年度予報技術研修テキスト, 1-11.
- 世田谷区 (2020): 令和元年台風第 19 号に伴う上野毛・野毛地区, 玉堤地区における浸水被害の検証について (最終報告).
https://www.city.setagaya.lg.jp/mokuji/kurashi/005/003/010/d00188081_d/fil/saisyuuhoukou.pdf (2023.9.1 閲覧)
- 総務省消防庁 (2018): 「洪水警報の危険度分布」の活用について.
https://www.soumu.go.jp/main_content/000532669.pdf (2023.9.1 閲覧)
- 立原秀一 (2006): 土砂災害警戒情報の発表開始について. 天気, **53**, 43-45.
- 田口晴夫 (2018): 新しい指数を使った予報作業の概要. 平成 29 年度予報技術研修テキスト, 2-6.
- 高橋裕 (1978): 水文学講座 11 河川水文学, p.119.
- 竹田康生 (2009): 土壌雨量指数と土砂災害警戒情報・大雨警報・注意報. 平成 20 年度量的予報研修テキスト, 1-19.
- 田中信行, 太田琢磨, 牧原康隆 (2008): 流域雨量指数による洪水警報・注意報の改善. 測候時報, **75**, 35-69.
- 立平良三 (1988): 「短時間予報」の業務化. 気象, **369**, 4-7.
- Tsuchiya, S. and Kawasaki, M. (2019):
Development of a Practical River Water Level Prediction Method Using Data Assimilation Technique, *Journal of Disaster Research*, **Vol.14, No.2**.
- 横田茂樹 (2007): 流域雨量指数を用いた洪水注意報・警報. 平成 19 年度量的予報研修テキスト, 17-22.

付録 A ホウチクライシス

A-1 目的

第 4.5 節で述べたとおり、大雨特別警報（以下「特別警報」という。）は、指数ごとに「過去の多大な被害をもたらした現象に相当する基準値（以下「基準値」という。）を満たすと予想される格子がまとまって規定の個数を満たして出現し、かつ、激しい雨がさらに降り続けると予想される二次細分区域に発表する。このため、特別警報の発表判断を行うにあたっては、基準値を満たす格子が現在何個出現しているか、また、今後どの程度出現すると予想されるかなどを把握する必要がある。しかしながら、全国各地の格子の出現状況を常時目視で確認するのは非常に困難である。そこで、特別警報の発表タイミングを逸することなく、適切に発表作業を行えるよう、一定の条件を満たした場合に、気象庁職員の携帯電話等に対して、基準値等を満たした格子数をメールで通知するようにしている。この配信メールのことを「ホウチクライシス」と呼んでいる（第 A-1 図）。

A-2 配信条件

ホウチクライシスの判定指標には大雨特別警報（土砂災害）の指標である土壌雨量指数と大雨特別警報（浸水害）の指標である表面雨量指数・流域雨量指数の 3 つがあり、それぞれ 4 つの配信条件（令和 5 年（2023 年）6 月時点）を設定している（ただし、条件 2 と 3 については、その中にさらに複数の格子数のしきい値がある）。具体的には、充足率（1 km 格子ごとの基準値に対する実況値や予測値の指数の値の割合のこと。詳しくは付録 E を参照。）を満たす格子がまとまりとして

出現しているときの格子数を条件としている（第 A-1 表）。これらの条件は、過去事例をもとに、メール配信のタイミングや頻度等の検証作業を実施したうえで、最適と考えられる条件を設定している。

これらの条件を満たした際には、第 A-2 図のような文面でメール配信を行う。指数ごとに条件を満たした格子数が記載されているので、目視による常時監視を行わなくとも、特別警報発表可能性の有無を覚知することができるようになっている。

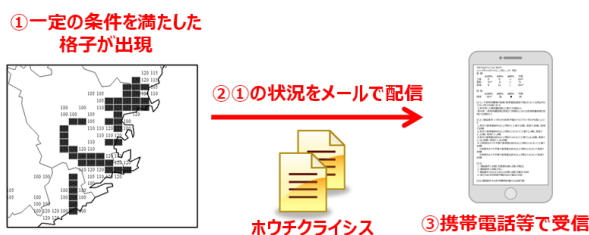
A-3 特別警報発表作業における利用

4 つの条件をもとに配信されるホウチクライシスについて、気象庁では、以下のとおり特別警報の発表作業に利用している。条件を満たした際の留意点とあわせて述べる。

「条件 1」及び「条件 2 の 1 個」は、「初動」の目安として設定している。「条件 1」は、充足率が 80 % に達している格子が当該府県予報区内で特別警報発表の規定の個数に達している状況である。また、「条件 2 の 1 個」は充足率が 90 % に達している格子が 1 個以上出現している状況である。これら条件をもとにメールが配信された場合には、今後の気象状況等によっては特別警報を発表する可能性があることに留意する必要がある。気象状況の実況監視を強化するとともに、特別警報発表となった場合に備えて、手順や体制の確認をしておくことが求められる。

「条件 2 の 4 割」は、日勤の担当職員が職場へ「参集する目安」であり、充足率が 90 % に達している格子が特別警報発表の規定の 4 割の個数以上出現している状況である。この条件をもとにメールが配信された場合には、今後特別警報を発表する可能性が高まっていることを示唆している。特別警報を発表した場合には、気象庁本庁では予報課長による記者会見を行うことから、その対応に係る職員はこの条件をトリガーに職場に参集し、準備を行うこととしている。

「条件 3」は実況で充足率が 100 % に達している格子が、それぞれ 1 個以上、4 割以上、10 割以



第 A-1 図 ホウチクライシス配信イメージ。

上出現した場合にメールが配信される。これは特別警報の基準値を満たしている格子数が増加しており、特別警報発表の可否を判断する段階が迫っている状況であることを意味している。

「条件 4」は予測で充足率が 100%に達している格子が特別警報発表の規定格子数を満たした場合にメールが配信される。予測どおりに推移した場合は特別警報を発表する必要があるため、予

測の確からしさを吟味し、実際に特別警報発表の可否を判断する必要がある。

このようにハウチクライシスとは、特別警報の発表タイミングを見逃すことなく、適切に発表作業を行えるようにするという目的に特化したものである。その配信条件については、日々の事例検証の結果を踏まえて見直しが図られることがある点に留意されたい。

第 A-1 表 ホウチクライシスの配信条件と活用方法。

条件	指数	実況 or 予測	充足率	出現格子数			備考（活用方法）
				規程の格子数に対する割合			
				1個	4割	10割	
1	土壌雨量指数	実況	80%	—	—	10個	10割：初動
	表面雨量指数			—	—	30個	
	流域雨量指数			—	—	20個	
2	土壌雨量指数	実況	90%	1個	4個	—	1個：初動 4割：参集目安
	表面雨量指数			1個	12個	—	
	流域雨量指数			1個	8個	—	
3	土壌雨量指数	実況	100%	1個	4個	10個	1個、4割：今後の見通しの確認 10割：実況超過の確認
	表面雨量指数			1個	12個	30個	
	流域雨量指数			1個	8個	20個	
4	土壌雨量指数	予測		—	—	10個	10割：参集目安
	表面雨量指数			—	—	30個	
	流域雨量指数			—	—	20個	

【共通事項】

- 各充足率を満たす格子数が増加して、それぞれの格子数以上となったときに配信する。ただし、「報知条件 1」、「報知条件2及び3」の1格子の条件については、それぞれ、前回の配信から6時間を超え、新たに当該条件を満たした場合に限り配信する。
※例えば土壌雨量指数において、まとまって出現する格子数が0→①→3→④→4→⑩→4→⑩→1と時間変化した場合、丸数字の時に配信
- 報知条件 4 は報知条件 3 を満たしていないときのみ配信する。
- 報知条件 2、3 及び 4 では、超過格子数は府県予報区をまたいで数える。

(メール件名) クライシス

チホウメルクライシス2 タカマツ
 ××××年××月××日△△時△△分 現在

愛 媛

	≥100%	≥90%	≥80%	予測
土 壌	0	0	×	10#*
表 面	5#*	6	×	6
流 域	8	12	○	15#*

高 知

	≥100%	≥90%	≥80%	予測
流 域	15#*	20	●	20

↓以下、説明文 (内容は固定)

注 1) 大雨特別警報の指標:基準値超過格子数(まとめて出現)が以下のいずれかを満たすとき
 土砂災害:土壌雨量指数(土壌)で10個以上
 浸水害 :表面雨量指数(表面)で30個以上または流域雨量指数(流域)で20個以上

注 2) 報知条件:いずれかの府県予報区で以下のいずれかを満たしたとき
 1.実況で基準値80%以上が新たに土壌で10個、表面で30個、流域で20個
 2.実況で基準値90%以上が新たにまとめて土壌で1,4個、表面で1,12個、流域で1,8個
 3.実況で基準値100%以上が新たにまとめて土壌で1,4,10個、表面で1,12,30個、流域で1,8,20個
 4.2時間先までの予測で基準値100%以上が新たにまとめて土壌で10個
 1時間先までの予測で基準値100%以上が新たにまとめて表面で30個
 3時間先までの予測で基準値100%以上が新たにまとめて流域で20個

注 3)
 ○:報知条件1を満たす(黒塗りは新しく満たす場合)
 ×:報知条件1を満たさない
 *:報知条件2または3または4を新しく満たす場合に付加
 #:格子のまとまりが府県予報区をまたぐ場合に付加

注 4) 報知条件4は各予測時刻の最大となる格子数

・府県予報区ごとに表示
 ・報知条件1について、条件を満たす場合は「○」、満たさない場合は「×」を表示。新しく報知条件を満たす場合は「●」とする。

・報知条件2、3、4について、大雨特別警報の指標に用いる基準値までの各割合に到達する格子のまとまりのうち、府県予報区をまたいで最大となる格子数を表示。
 ・新しく報知条件を満たす場合は「*」を付加。
 ・府県予報区をまたぐまとまりの場合は「#」を付加。
 ・各格子数は同一のまとまりではない場合もあることに留意。

第 A-2 図 ホウチクライシスのメール文面。

付録 B 大雨危険度通知

B-1 概要

土砂災害・浸水害・洪水の危険度の高まりを地図上で表示する「危険度分布（キキクル）」は、10分毎に内容が更新されるため、その危険度の変化に市区町村の防災担当者や住民がすぐに気付くことができないことが課題の一つとして挙げられる。そこで、2019年7月から、民間事業者の協力を得て、警戒レベル4に相当する「危険」（紫）などへの危険度の高まりをプッシュ型で通知するサービスを開始した。この通知サービスの実施に必要なXML電文のことを「大雨危険度通知」と呼んでいる。ここでは、大雨危険度通知の内容や利用にあたっての留意点などを述べる。

B-2 情報の内容

大雨警報・洪水警報の危険度分布の危険度（土砂災害、浸水害、洪水）と、その変化状況を10分毎に判定し、二次細分区域等の単位で提供する。また、危険度分布の危険度だけでなく、早期注意情報（警報級の可能性）、気象警報・注意報、土砂災害警戒情報、指定河川洪水予報の発表状況も含めて総合的に判定した危険度（以下、「警報等から判定した危険度」という。）もあわせて提供している。これは、気象庁が大雨時に発表する各種防災気象情報に対応する避難情報や住民のとるべき行動を、危険度分布も含めて一元的に把握できるようにすることを目的としたものである。なお、警報等から判定した危険度については、土砂災害、浸水害、洪水に加え、これらのうちの最も高い危険度を「大雨危険度」としてあわせて提供している。大雨危険度の通知を受けることによって、繁忙時に土砂災害、浸水害、洪水の危険度の通知を別々に受けなくとも、地域の災害危険度の高まりに気付くことができる。第B-1表に大雨危険度通知の内容を、第B-2表から第B-5表には各要素について「危険度」と「意味する内容」の対応を示した。

B-3 利用上の留意事項

① 大雨危険度通知は、「危険度分布の危険度」及

び「警報等から判定した危険度」について、対象領域の最大値及びその変化状況を通知するものである。例えば、府県予報区を対象領域とする場合は、府県予報区内で最も高い危険度及びその変化状況が通知され、すでに通知された危険度を超えない範囲での各市区町村で危険度の変化は通知されない。

② 洪水の危険度に関しては、「危険度分布の危険度」では、危険度分布で示す中小河川の外水氾濫等による洪水危険度の高まりを示している。一方、「警報等から判定した危険度」では、中小河川に加えて、指定河川洪水予報で示す洪水予報河川の外水氾濫による洪水危険度の高まりも示している。ただし、2023年3月現在、危険度の判定には氾濫注意情報及び氾濫警戒情報のみを用いている。

③ 「大雨危険度」は、土砂災害、浸水害、洪水の危険度を別々に確認しなくとも、地域の災害危険度の高まりに直ちに気付くことができるように、対象領域内の各危険度のうち最も高い危険度を表している。そのため、すでに通知された大雨危険度を超えない範囲での各種別の危険度の変化は表現されない。

④ 大雨危険度通知には、10分毎の危険度分布の計算が完了した時点において収集できた気象警報・注意報、指定河川洪水予報、土砂災害警戒情報等を用いるため、本電文を利用者が受信した時点におけるこれら警報等の発表状況と整合しない場合もある。各情報の発表状況を確認するためではなく、危険度の高まりを概括的に把握するためのものである。

⑤ 融雪時、融雪により生じた水が地面を浸透して河川に流れ出す状況であっても、土壌雨量指数や流域雨量指数の計算ではこの過程を考慮していない。一方、大雨警報や洪水警報は、融雪の状況も考慮しながら発表している。そのため、「大雨危険度通知」で通知される危険度のうち「危険度分布の危険度」では融雪時でも危険度が「上昇」しないことがある一方、「警報等から判定した危険度」では大雨警報等の発表状況も含めて判定するため、融雪

の状況も加味した危険度が提供される。

⑥ 気象レーダーはレーダーから発した電波の反射波（エコー）を受信することで降水を観測するが、実際には降水がない場所でエコーが観測されたり（非降水エコー）、実際の降水よりもはるかに強い降水を示すエコーが観測されたりすることがあり、このような場合、危険度分布においても実際よりも高い危険度が算出されることがある。このような非降

水エコー等による異常な危険度の高まりに伴う通知を抑止するため、危険度コード 21, 22, 23, 24, 31, 32, 33, 34, 41, 42, 43, 44, 51, 52 については、大雨注意報以上（大雨特別警報・警報・注意報）又は洪水注意報以上（洪水警報・注意報）が当該二次細分区域等において発表されている場合に限り判定することとしている。

第 B-1 表 大雨危険度通知の内容。

データ形式	XML（気象庁防災情報XML形式）	
解析時刻	毎10分	
対象領域	府県予報区	各府県1区とするが、北海道と沖縄県は地域ごとにさらに細分された区域。
	一次細分区域	府県天気予報を定常的に細分して行う区域。気象特性、地理的特性により府県予報区を分割して設定する。
	市町村等をまとめた地域	二次細分区域ごとに発表する特別警報・警報・注意報の発表状況を地域的に概観するために、災害特性や都道府県の防災関係機関等の管轄範囲などを考慮してまとめた区域。
	二次細分区域	特別警報・警報・注意報の発表に用いる区域。市町村（東京特別区は区）を原則とするが、一部市町村を分割して設定している場合がある。
	土砂災害警戒情報の発表区域	地域特性に応じて市町村を分割している場合がある。要素の「警報等から判定した危険度」又は「危険度分布の危険度」が土砂災害の時のみ利用。
	区	政令指定都市の場合のみ。
要素	警報等から判定した危険度	対象地域内の警報等及び危険度分布のうち、最も高い危険度を表す。大雨（土砂災害、浸水害、洪水の危険度のうち最大の危険度）、土砂災害、浸水害、洪水の4要素。
	危険度分布の危険度	対象地域内の危険度分布の危険度を表す。土砂災害、浸水害、洪水の3要素。
	警報等から判定した危険度の変化状況	警報等から判定した危険度について、「上昇」、「下降」、「継続」等の前回の危険度からの変動（状況の変化が算出できないときは「欠測」。）
	危険度分布の変化状況	危険度分布について、「上昇」、「下降」、「継続」等の前回の危険度からの変動（状況の変化が算出できないときは「欠測」。）

第 B-2 表 「警報等から判定した危険度」の危険度と意味（土砂災害，洪水）.

危険度 (コード)	対応する警報等	内容
0 (00)	(警報・情報等の発表なし)	今後の情報等に留意
1 (11)	雨に関する早期注意情報（警報級の可能性）	警戒レベル 1（心構えを高める）
2 (21)	危険度分布の「注意」、大雨・洪水注意報、指定河川洪水予報の氾濫注意情報	警戒レベル 2（避難行動の確認）
3 (31)	危険度分布の「警戒」、大雨・洪水警報、指定河川洪水予報の氾濫警戒情報	警戒レベル 3（高齢者等は避難）相当
4 (41)	危険度分布の「危険」、土砂災害警戒情報	警戒レベル 4（避難）相当
5 (51)	危険度分布の「災害切迫」、大雨特別警報	警戒レベル 5（災害切迫）相当

第 B-3 表 「警報等から判定した危険度」の危険度と意味（大雨，浸水害）.

危険度 (コード)	対応する警報等	内容
0 (00)	(警報・情報等の発表なし)	今後の情報等に留意
1 (13)	雨に関する早期注意情報（警報級の可能性）	心構えを高める
2 (23)	危険度分布の「注意」、大雨注意報	注意
3 (33)	危険度分布の「警戒」、大雨警報（浸水害）	警戒
4 (43)	危険度分布の「危険」	危険
5 (51)	危険度分布の「災害切迫」、大雨特別警報	警戒レベル 5（災害切迫）相当

第 B-4 表 「危険度分布の危険度」の危険度と意味（土砂災害，洪水）.

危険度 (コード)	対応する危険度分布の危険度	内容
0 (00)	危険度分布の「今後の情報等に留意」	今後の情報等に留意
1 (12)	-	-
2 (22)	危険度分布の「注意」	警戒レベル 2（避難行動の確認）相当
3 (32)	危険度分布の「警戒」	警戒レベル 3（高齢者等は避難）相当
4 (42)	危険度分布の「危険」	警戒レベル 4（避難）相当
5 (52)	危険度分布の「災害切迫」	警戒レベル 5（災害切迫）相当

第 B-5 表 「危険度分布の危険度」の危険度と意味（浸水害）.

危険度 (コード)	対応する危険度分布の危険度	内容
0 (00)	危険度分布の「今後の情報等に留意」	今後の情報等に留意
1 (14)	-	-
2 (24)	危険度分布の「注意」	注意
3 (34)	危険度分布の「警戒」	警戒
4 (44)	危険度分布の「危険」	危険
5 (52)	危険度分布の「災害切迫」	警戒レベル 5（災害切迫）相当

付録 C 最大危険度予測

C-1 目的

令和元年度に開催された「防災気象情報の伝え方検討会」では、防災気象情報の伝え方の改善策の1つとして『台風による大雨など可能な現象については、1日先までの雨量予測を用いた「危険度分布」や「流域雨量指数の予測値」による、より長時間のリードタイムを確保した警戒の呼びかけを検討』することが求められた。その背景には、「災害の1日程度前から市町村が適切な状況判断を行う上で、現場では必要な情報が決定的に不足している」「1日先の危険度に関する情報は、市町村における警戒レベル3発令の準備など早期の体制整備に有効である」といった自治体からの要望がある。

1日程度先までの大雨の見通しに関しては、気象情報の中で「予想される24時間雨量は〇〇地方で300ミリ」等の予想雨量を記載しているが、雨量の多さだけではどこで災害の危険度が高まっているかを十分に伝えることは難しい。自治体や一般住民に具体的な災害のイメージを持ってもらうには、24時間雨量などの予想雨量に加え、「1日程度先までの災害危険度の分布」をあわせて示すことが有効だと考えられる。

そこで、24時間先までの雨量予測を用いて算出した危険度分布に、時空間的な予測誤差による見逃しを回避するための処理を施した「最大危険度予測」の技術開発を進めるとともに、予測精度を考慮した呼びかけ方や表示方法の検討を行い、最大危険度予測を用いた警戒呼びかけを令和3年(2021年)出水期から開始した。

C-2 計算方法

24時間先までの雨量予測を入力値とした指数及び危険度分布を計算すること自体は難しくないが、問題はその予測精度である。現状の雨量予測の精度では、24時間先までの1km格子ごとの危険度を実用的な精度で予測することは難しく、特に、雨量の予測精度が低く危険度を過小評価してしまった場合に、「危険度は高くない」と安心情報として受け取られかねないことに大きな懸念

がある。

このように長時間の危険度予測は技術的にまだ発展途上の段階にあり、雨量予測の精度向上とともに、アンサンブル予報に基づく確率的手法を導入することが将来的な課題の1つである。しかし、危険度予測へのアンサンブル予報の導入までの間は決定論的な雨量予測をもとに危険度を算出せざるを得ないため、最大危険度予測の計算にあたっては「災害発生のおそれがある地域を見逃さずに示すこと」を第一優先とし、以下の処理を施している。

(1) 入力雨量

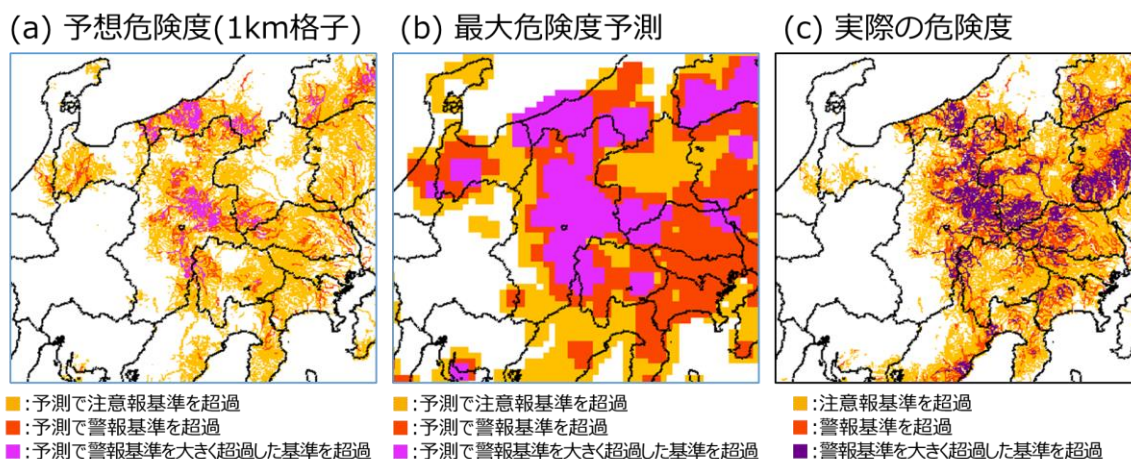
入力雨量は、捕捉率を重視して、従来から用いていた平均降水量ガイダンスではなく、最大降水量ガイダンスを用いている。具体的には、1時間先から6時間先までは降水短時間予報を入力し、7時間先以降はMSM3時間最大降水量ガイダンスを入力して、24時間先までの指数の計算を行い、警報等の基準値を用いて危険度の判定を行う。ここまでの処理は、入力雨量と予報時間が異なること以外は危険度分布と全く同様であり、1km格子ごとの危険度が一旦算出される。

(2) 格子分解能

現状の雨量予測の精度では、24時間先までの1km格子ごとの危険度を正確に予測することは困難であり、1km格子の危険度には空間的な不確実性が含まれる。そこで、ある程度の領域の最大値をとることで位置ずれを吸収しつつ、危険度の見逃しをできるだけ回避するようにしている。具体的には、1km格子ごとの危険度に対して、5km格子最大をとって5km格子の危険度に変換した上で、さらに自格子も含め周辺9格子の最大値をとって、それを当該5km格子の危険度とする。

(3) 期間最大値の取り方

予測には空間的な位置ずれに加え、時間的な不確実性も含まれているため、危険度の見逃しを避けるためには、ある程度期間の幅をもって最大値をとる必要もある。ここで、最大危険度予測は本庁の記者会見や共同取材、気象庁連絡事項等での利用を想定しているため、1枚の図で端的に危険度を示すことが求められる。そのため、最大値を



第 C-1 図 実際の危険度と予想危険度との比較（令和元年東日本台風）. (a)2019 年 10 月 11 日 21 時時点の 24 時間先までの予想最大危険度（1 km 格子）, (b)同時刻の最大危険度予測, (c)2019 年 10 月 11 日 21 時 10 分～12 日 21 時 00 分までの実況最大危険度.

とる期間をなるべく長くして時間ずれを吸収しつつ、今後警戒が必要な地域をもれなく伝えられるよう、1 時間前から 24 時間先までの最大危険度を 1 枚で示すこととした。

最大危険度予測の特徴を示す具体例として、第 C-1 図に令和元年東日本台風における実際の危険度との比較結果を示す。ここでは最大危険度予測のもととなる 1 km 格子の予想危険度もあわせて示した。警戒基準を大きく超過した基準の超過領域（予想：ピンク、実況：紫）に着目すると、1 km 格子の予想危険度では長野県中部や新潟県上越を中心にピンクの表示となっているものの実況に比べて表示範囲は狭く、群馬県や栃木県についてはほとんど予想できていない。一方、最大危険度予測では、長野県や新潟県に加え、山梨県や埼玉県の一部にもピンクの表示が広がっており、これらの地域では紫の表示を概ね包含できていることがわかる。ただし、富山県など一部の地域では過大な危険度を示すとともに、群馬県吾妻地域や栃木県に関しては、1 km 格子の予想危険度と同様、ほとんど予想できていない。最大危険度予測の特性として、見逃しを回避することを優先させているため過大な危険度を表示する傾向にあること、そもそも 1 km 格子の予想危険度で周辺に

危険度を予想できていなければ最大危険度予測で表現することはできないことに留意されたい。

C-3 利用上の留意事項

- ① 最大危険度予測は、警戒・注意報等と同一の基準値を用いて、危険度分布よりも長時間の予測を行うものであり、位置付けとしては「警戒レベル 1 を補足する情報」となる。
- ② 最大危険度予測は、災害発生のおそれがある地域をできるだけ見逃さずに示すよう、計算処理や表示に工夫を施しているものの、そもそも 1 km 格子の予想危険度で周辺に危険度を予想できていなければ最大危険度予測でも表現することはできない。
- ③ 現状の雨量の予測精度では、線状降水帯による大雨等の予測は困難である。一方、雨量の予測精度が比較的良いとされる台風事例に関しては、1 日程度先までの危険度を一定程度の精度で予測することは可能である。
- ④ このようなプロダクトの現状を踏まえ、当面の間は、台風事例に限って、土砂災害警戒情報の基準または洪水の「基準Ⅲ」（警戒基準を大きく超過した基準）の超過が広く予想される場合に、本庁の記者会見や共同取材、気象庁連絡事項等において、24 時間予想雨量など

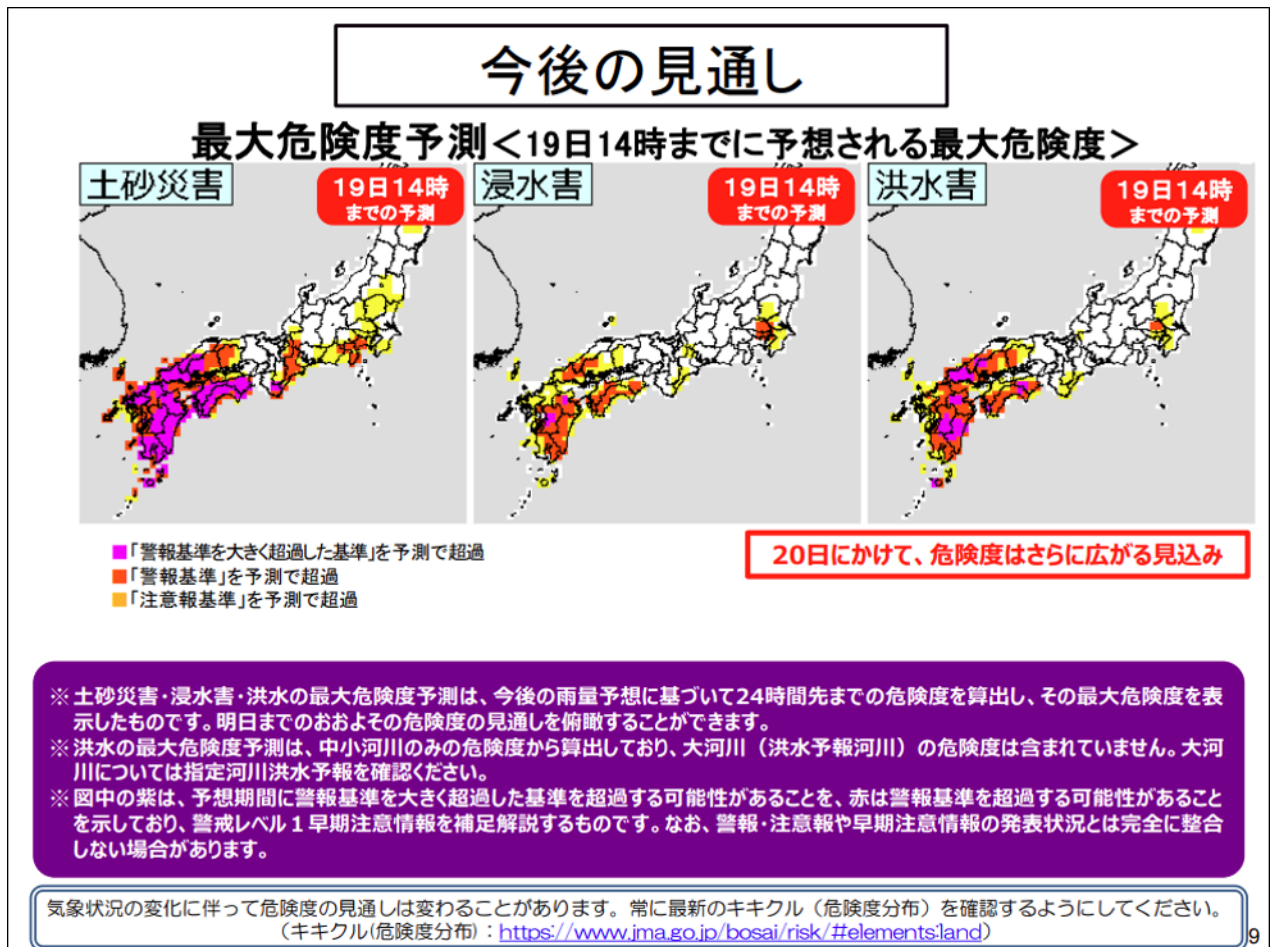
とあわせて提供する。

C-4 最大危険度予測を用いて警戒を呼びかけた事例（令和4年台風第14号）

令和4年（2022年）9月17日に小笠原近海で発生した台風第14号は、日本の南を北西に進み、18日19時頃には大型で非常に強い勢力のまま鹿児島県に上陸し、19日朝にかけて九州を縦断した。この台風の接近、通過により、九州や四国地方では台風周辺や台風本体の雨雲が長時間かかり続け、複数の地点で期間総降水量が9月の平年値の2倍となるなど大雨となり、土砂災害や河川の氾濫、低地の浸水による被害等が発生した。

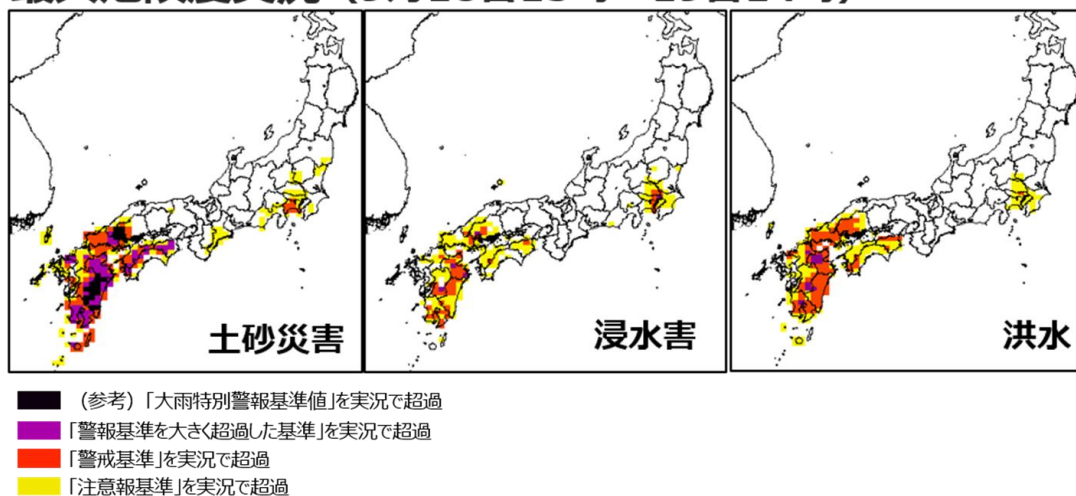
気象庁及び各気象台は、台風接近前から台風説明会や気象情報等により厳重な警戒を呼びかけ、

台風が接近、通過した18日から19日にかけては、宮崎県の15の市町村に大雨特別警報（土砂災害）を発表した。そして、大雨特別警報発表後の記者会見では、地域毎の予想雨量（24時間雨量）に加え、最大危険度予測の図も用いながら、どの地域でどのような災害の危険度が高まる予想となっているかを具体的に解説した。当時の記者会見資料を第C-2図に、会見資料の最大危険度予測の対象期間に対応する実況危険度を第C-3図に示す。近畿地方における土砂災害の危険度予測など一部予測が過大となった領域はあるものの、黄、赤、紫（最大危険度予測ではピンクで表示）の各危険度について、最大危険度予測は実際に危険度が高まった領域を概ねカバーしていることがわかる。



第 C-2 図 令和4年台風第14号時の記者会見資料（最大危険度予測のスライドのみ抜粋）。

最大危険度実況 (9月18日15時~19日14時)



第 C-3 図 期間内の最大危険度の実況 (9月18日15時~19日14時).

付録 D 指数基準到達までの必要雨量（あと何ミリ）

D-1 目的

気象庁では、2008年に、土砂災害に関する大雨警報・注意報及び洪水警報・注意報の発表基準として土壌雨量指数・流域雨量指数をそれぞれ導入し、また、2017年には、浸水害に関する大雨警報・注意報の発表基準として表面雨量指数を導入した。これにより、大雨及び洪水警報・注意報の発表基準は「災害との相関の高い指数」のみとなったが、指数と基準から算出される各実況危険度は災害の発生状況と非常に良く対応しており（第5章）、警報・注意報の発表基準として優れた指標といえる。

一方、実際の警報の運用では、降水短時間予報等の客観雨量予測の精度が十分でない場合など、予報担当者がそれを補って適切なタイミングで警報を発表しなければならないケースもでてくる。ここで、予報担当者は、モデルの不確実性や地形特性等、予報に関するさまざまな知見をもとに雨量を修正することはできても、その雨量の修正によって指数の値がどれだけ変化するか、そしてその結果、基準値を超過するかどうかの判断を客観的に行うことはほぼ不可能である。

そこで、予報担当者の予想雨量に基づく客観的な警戒判定を行うことを目的に、「あと何ミリ降れば指数基準に到達するか」という雨量をリアル

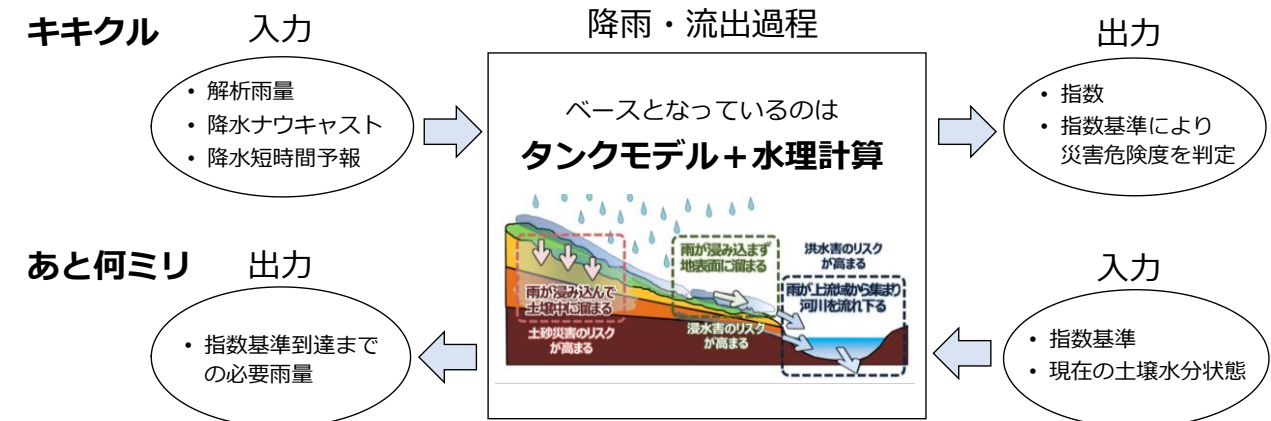
タイムで毎10分算出し、予報・警報作業の支援資料として活用している。これを「指数基準到達までの必要雨量」（通称「あと何ミリ」）と呼んでいる。

なお、指数基準到達までの必要雨量を算出しているのは土壌雨量指数と表面雨量指数のみであり、流域雨量指数については後述の技術的課題があるため必要雨量を算出していない。洪水警報・注意報の発表作業に関しては、主に付録 E「指数基準に対する充足率」という支援資料を活用している。

D-2 計算方法

D-2.1 コンセプト

第 D-1 図に、あと何ミリの計算方法の概念図を示した。第 4.1 節の危険度評価の考え方で示したとおり、指数・キキクルの計算は、降雨・流出過程における、雨量を入力とした場合の出力結果と捉えることができる。「あと何ミリ」の計算は、この入出力の関係を逆にし、あらかじめ与えられた指数基準と計算時点の土壌水分状態を出発点として、降雨・流出過程に基づき、指数基準到達までに必要な雨量を導出するものである。計算プログラム上は、雨量を少しずつ変えて指数計算と基準判定を反復し、指数基準に到達する最小雨量を探し、といったアルゴリズムにより実装されている。



第 D-1 図 あと何ミリの計算概念図。

あと何ミリを求める際の入力雨量について、土壌雨量指数と表面雨量指数に関しては自格子を含む周辺 9 格子の雨量から与えられるが、それらを一様 (9 格子の雨量はすべて等しい) と仮定することで、各 1 km 格子のあと何ミリの値は一意に決まる。一方、流域雨量指数については流域内の雨量分布が計算に反映されるため、指数基準と現在状態をもとに逆計算をしようとしても、流域内の雨量分布は無数に存在することになり、あと何ミリの値は一意に決まらない。流域に一様な降雨を仮定してあと何ミリを計算すればあと何ミリの値は一意に決まるが、ある程度流域が大きくなると一様降雨の前提があてはまらなくなり、非現実的な雨量 (非常に小さな雨量) が算出されてしまう。このような技術的課題があるため、現時点では、流域雨量指数基準到達までの必要雨量 (洪水あと何ミリ) は算出していない。

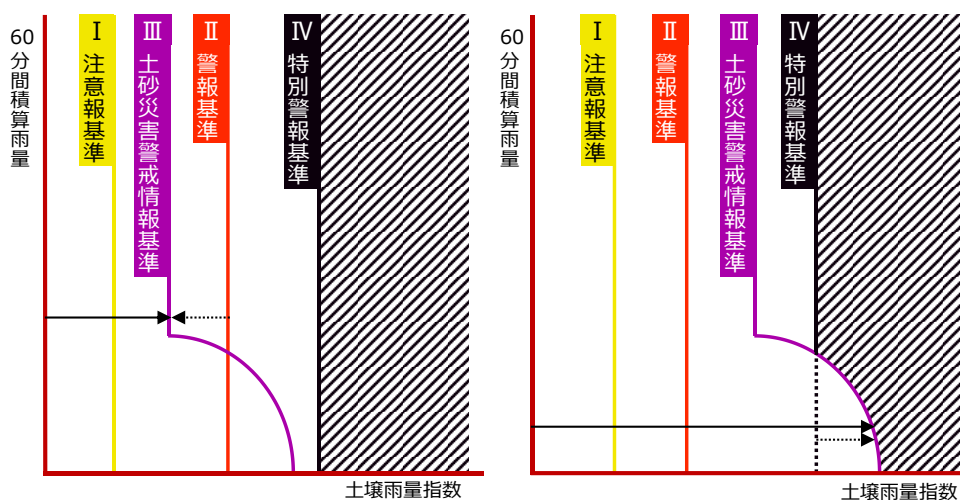
最後に、あと何ミリと同様の考え方を持つプロダクトとして、米国の Hydrologic Reseach Center が開発した「鉄砲水ガイダンス」(FFG: Flash Flood Guidance) を簡単に紹介する。FFG (Georgakakos, 2005) は、現在の土壌水分量と河道が蓄えられる水量から、氾濫発生までに必要な流域雨量を解析したもので、1 時間雨量、3 時間雨

量、6 時間雨量の 3 つの時間スケールがある。FFG の解析には、土壌の湿潤・乾燥プロセスを考慮した面積集中型の概念モデルである SAC-SMA (Burnash *et al.*, 1973) が用いられており、タンクモデルを採用している気象庁とはその点が異なるが、降雨・流出過程を表す概念モデルを用いて現在の状態から閾値を超える雨量を推定するという発想は両者とも同じといえる。なお、WMO によると、FFG を現業システムに組み込んだ FFGS (Flash Flood Guidance System) は、効果的な鉄砲水警報発令の支援を目的として、60 か国以上の国の予報官・防災機関に導入されているとのことである。

D-2.2 土砂あと何ミリ

土砂あと何ミリとは、1 時間雨量と 3 時間雨量それぞれについて、大雨注意報、大雨警報 (土砂災害)、土砂災害警戒情報、大雨特別警報 (土砂災害) の各基準に到達するまでの必要雨量を算出したものである。

具体的な計算手順は次のとおりである。まず、現在時刻の土壌雨量指数を計算する。次に、その計算結果 (土壌水分量) を初期値として、下限値



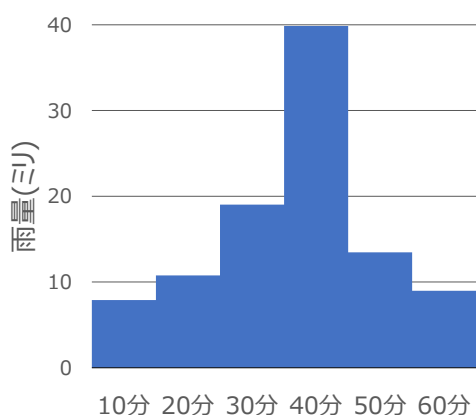
第 D-2 図 土砂災害に関する各基準の関係。左：土砂災害警戒情報の基準と大雨警報の基準に逆転が見られるケース、右：大雨特別警報の基準と土砂災害警戒情報の基準に逆転が見られるケース。

の雨 (0 mm) と上限値の雨 (256 mm) の間で二分法による土壌雨量指数の反復計算を行い、基準に到達する際の最小の雨量を求める。ここで、二分法とは、下限値と上限値の値を 2 分割して解が存在する範囲を調べ、これを繰り返すことで基準に到達する値を求めるという方法である。その後、大雨特別警報 (土砂災害) の基準以外の基準では、自格子を含めた周辺 9 格子で最小となる値をその格子の土砂あと何ミリの算出結果としている。

なお、土砂災害警戒情報の基準は、第 D-2 図に示すように、1 時間雨量の値に応じて土壌雨量指数の基準値が変わるため、1 時間雨量が大きいところでは大雨警報基準と逆転する場合がある (第 D-2 図左図)。この場合は、警報基準のあと何ミリの値を、土砂災害警戒情報のあと何ミリの値に揃えるようにしている。また、特別警報と土砂災害警戒情報との間で逆転が起こっている領域 (第 D-2 図右図) では、特別警報基準のあと何ミリの値を土砂災害警戒情報のあと何ミリの値に揃える。

D-2.3 浸水あと何ミリ

浸水あと何ミリとは、大雨注意報、大雨警報 (浸水害)、警報基準を大きく超過した基準、大雨特別警報 (浸水害) の各基準に到達するまでの必要雨量を算出したものである。土砂あと何ミリとは異なり、浸水あと何ミリは 1 時間雨量のみを対象としている。



第 D-3 図 浸水あと何ミリの 1 時間雨量配分方法。
棒グラフ上の各数値は、1 時間雨量 100 mm の場合の配分を示す。

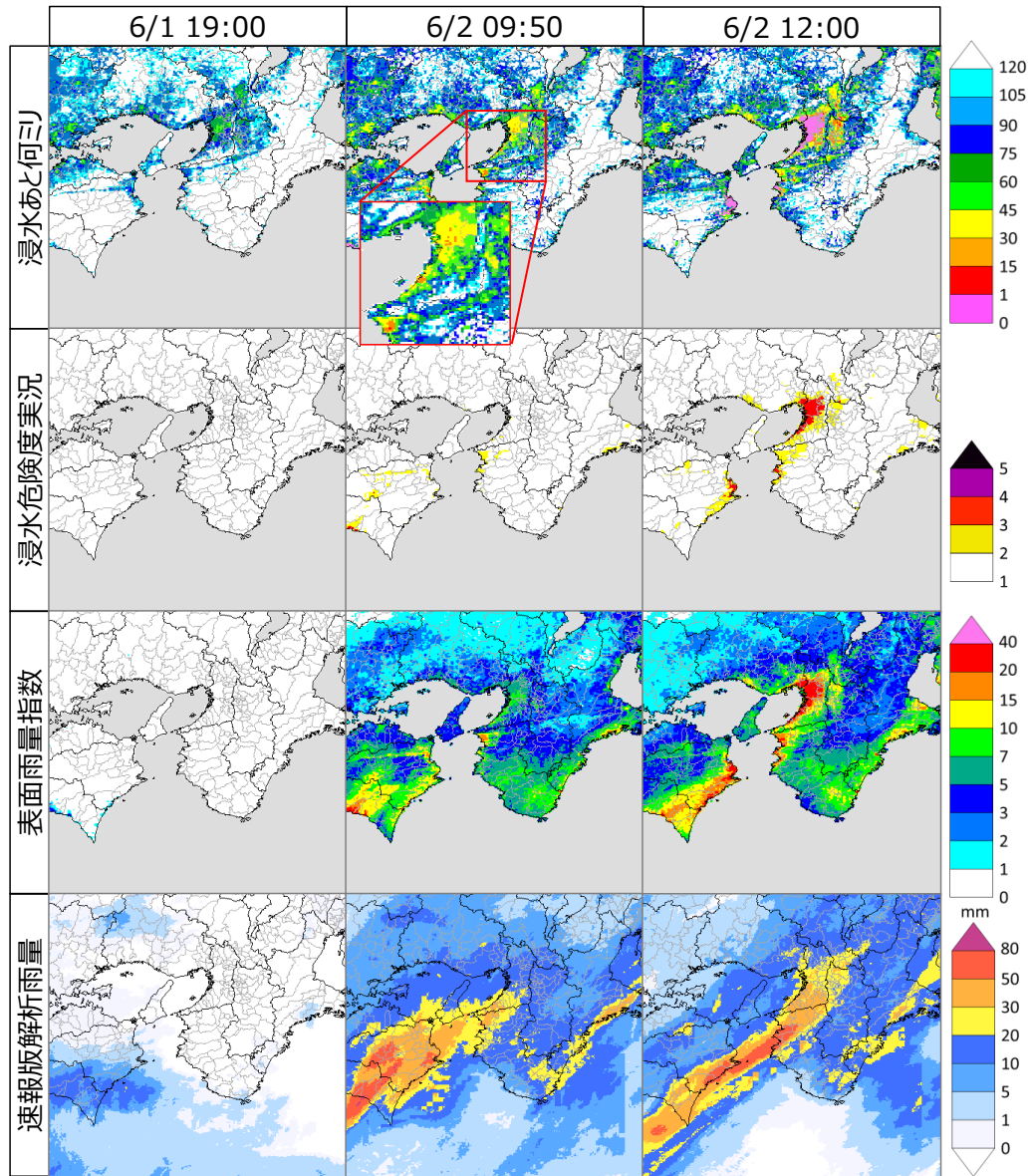
具体的な計算手順は次のとおりである。まず、現在時刻の表面雨量指数を計算する。その計算結果 (地表面や土壌内に蓄えている水分量) を初期値として、0 mm から 100 mm まで 5 mm 刻みで面的に一律な 1 時間雨量を入力値として表面雨量指数を反復計算し、基準に到達する際の最小の雨量を求め、これを浸水あと何ミリの算出結果としている。このとき、現在時刻からちょうど 1 時間後時点での基準の超過状況を見ているため、1 時間より前 (例えば現在時刻から 40 分後等) に基準を超過したが 1 時間後の時点では基準を下回るような場合には、浸水あと何ミリの計算では基準到達していないものと扱われてしまう。これを補うため、現在時刻の 50 分前から当該時刻までの浸水あと何ミリのうちの最小値をその時刻における浸水あと何ミリとして算出している。なお、浸水あと何ミリの計算処理で与えられる 1 時間雨量は、第 D-3 図のとおり、中央集中型で 10 分毎に配分して、表面雨量指数に入力している。

D-3 具体事例

第 D-4 図に大雨警報 (浸水害) 基準までの「浸水あと何ミリ」の例を示す。

2023 年 6 月 1 日 19 時 00 分時点では紀伊半島で雨はほとんど降っておらず、表面雨量指数の値も上昇していない。このような状況における浸水あと何ミリは、タンクが空の状態を初期値としてシミュレーションした「表面雨量指数基準相当雨量」 (第 6.1 節) に近い値を示しているといえる。

2 日 09 時 50 分時点では四国から紀伊半島にかけて雨が強まってきており、雨が強まっている地域で表面雨量指数の値も上昇している。ここで浸水危険度 (実況) をみると、近畿地方に関しては和歌山平野を中心に「注意」 (黄) の危険度が表示されているのみである。一方、浸水あと何ミリでは、和歌山平野から大阪平野にかけて、10~25 mm など小さな値の格子が複数存在し、今後少ない雨量でも警報基準に達する切迫した状況にあることがわかる。特に、大阪平野では、和歌山平野に比べて表面雨量指数も小さく、この時点では危険度が出ていないにもかかわらず、あと何ミ



第 D-4 図 浸水あと何ミリの例 (2023 年 6 月 1 日～2 日 紀伊半島周辺). 1 段目: 大雨警報 (浸水害) 基準までの「浸水あと何ミリ」、2 段目: 浸水危険度 (実況値), 3 段目: 表面雨量指数, 4 段目: 速報版解析雨量, 左から 6/1 19 時 00 分, 6/2 09 時 50 分, 12 時 00 分 (日本時間).

りは和歌山平野周辺と同程度の値になっている点は注目に値する。大阪平野のように平坦で都市化の進んだ地域では、同じ雨でも相対的に表面雨量指数が大きく上昇する傾向があること、水害が多い地域のため基準値が低めに設定されていること等がその理由として考えられる。このように、それまでに降った雨量 (先行降雨) のみならず、指数の出現特性や基準値の設定状況などが反映されることもあと何ミリの大きな特徴である。こ

の後、南西にある強雨域が紀伊半島に進んでくる予想となっており、予報担当者は、浸水あと何ミリの値を予想雨量と照らし合わせることでどの地域で基準を超えそうかを容易に把握することができる。なお、第 6.1 節で述べたとおり、実際の警戒判定は、予報作業支援システムの「あと何ミリ判定」機能を用いて、防災時系列の 1 コマ目の 1 時間雨量とあと何ミリとの比較に基づき行われる。

その後、12時00分時点ではさらに雨が強まり、大阪平野を中心に多数の格子で大雨警報（浸水害）の基準を超過した。基準を超過するとあと何ミリの表示は0 mmとなる。ただし、以下のような場合において、表示が0 mmでも当該時刻の実況値で基準を超過していないケースがあることに留意されたい。

- ・ タンクモデルの特性で、降雨から表面雨量指数の上昇までにはタイムラグが生じる。これにより、当該時刻における雨によって数10分後に基準を超過する場合。
- ・ 浸水あと何ミリは前1時間の最小値として算出している。このため、当該時刻より前の初期時刻で超過する予測となっている場合。

参考文献

Georgakakos, K.P. (2006) : Analytical results for operational flash flood guidance. *Journal of Hydrology* **317**, 81-103.

Burnash, R.J.C., Ferral, R.L., McGuire, R.A. (1973) : A generalized streamflow simulation system: conceptual modeling for digital computers. *US National Weather Service and California Department of Water Resources*.

Flash Flood Guidance System with Global Coverage (FFGS),
<https://public.wmo.int/en/projects/ffgs>
(2023.9.1 閲覧)

付録 E 指数基準に対する充足率

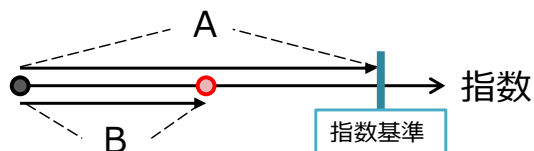
E-1 目的

土砂災害（土壌雨量指数）や浸水害（表面雨量指数）については、予報・警報作業の支援資料として「基準到達までの必要雨量（あと何ミリ）」を算出しているが、洪水（流域雨量指数）に関しては技術的課題があるため、現時点では必要雨量を算出していない（詳細は付録 D 参照）。そこで、これに代わるものとして、指数の実況値が警報・注意報等の基準値に対してどの程度まで高まっているかを面的に把握できる「指数基準に対する充足率」を算出している。この充足率は、洪水に限らず、土砂や浸水に関する基準に対しても算出しており、実況監視の他、ハウチクライシスの報知条件にも利用している（詳細は付録 A 参照）。以下では、土砂、浸水、洪水に関する基準に対する充足率を、それぞれ「土砂充足率」「浸水充足率」「洪水充足率」と呼ぶことにする。

E-2 情報の内容

「指数基準に対する充足率」とは、各基準値に対する指数実況値の割合のことであり、考え方としては至ってシンプルである。具体的には、第 E-1 図で示すように基準までの指数の到達割合を充足率として算出する。

土砂充足率、浸水充足率、洪水充足率に含まれる情報を第 E-1 表に示した。これらはいずれも 10 分毎に作成される。ここでは、第 E-1 表で示した一覧の充足率のうち、※1、※2 を付記した充足率の計算方法や目的等について補足する。



充足率は基準までの到達割合で求める。
 (充足率) = B/A

第 E-1 図 充足率の算出方法。黒丸は指数値 0 を、赤丸は当該時刻の指数値を表す。

※1 洪水警報・注意報基準に対する充足率

洪水警報・注意報基準には、流域雨量指数の単独基準と流域雨量指数と表面雨量指数を組み合わせた複合基準の 2 種類がある。そこで、2 種類の基準に対してそれぞれ充足率を算出し、そのうち高い方の値を洪水警報・注意報基準に対する充足率としている。この際、複合基準は流域雨量指数と表面雨量指数の 2 つの基準があるため、第 E-2 図に示すような手法で充足率を算出する。例えば、表面雨量指数の基準を超過している場合には（図中①の赤丸）、原点からの距離 A と流域雨量指数基準までの最短距離 B との関係で充足率を算出する。流域雨量指数の基準を超過している場合（図中②の赤丸）もこれと同様である。表面雨量指数と流域雨量指数の基準をどちらも超過していない場合には（図中③の赤丸）、流域雨量指数基準及び表面雨量指数基準の最小値までの距離を B として充足率を算出する。このような方法によって、2 軸を持つ複合基準の充足率を簡易的に算出している。

※2 複合基準の流域雨量指数基準に対する充足率

複合基準の表面雨量指数基準や流域雨量指数基準はそれぞれの単独基準よりも低く設定されるため、基準超過を見落とすリスクがより高い。そこで、複合基準の 2 つの基準の中でも特に流域雨量指数基準の超過を見逃さないことを重視して、複合基準の流域雨量指数基準に対する充足率を第 E-1 図に示すような 1 軸の割合で算出している。

E-3 具体事例

第 E-3 図に洪水警報基準に対する充足率の例を示す。2023 年 8 月 16 日 07 時 30 分時点で静岡県に強い雨が降り始めていたが、まだ充足率はそれほど高まっていない。08 時 00 分時点で非常に激しい～激しい雨が降っており、洪水危険度はほとんど出ていない状況だが、充足率をみると 70～75% の格子が広がっており、徐々に警報基準到達まで近づいてきている様子が見える。その後も

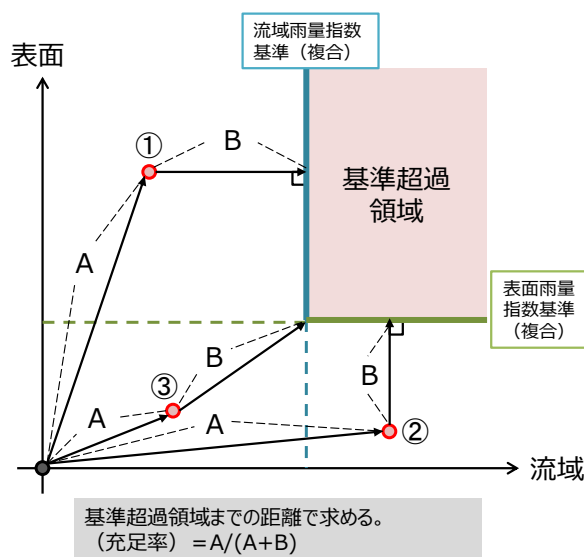
非常に激しい～激しい雨が続き、09時00分では充足率が100%の格子が出現するほか、90%以上の格子が複数出現している。

5段階表示の洪水危険度では、雨の強まりによ

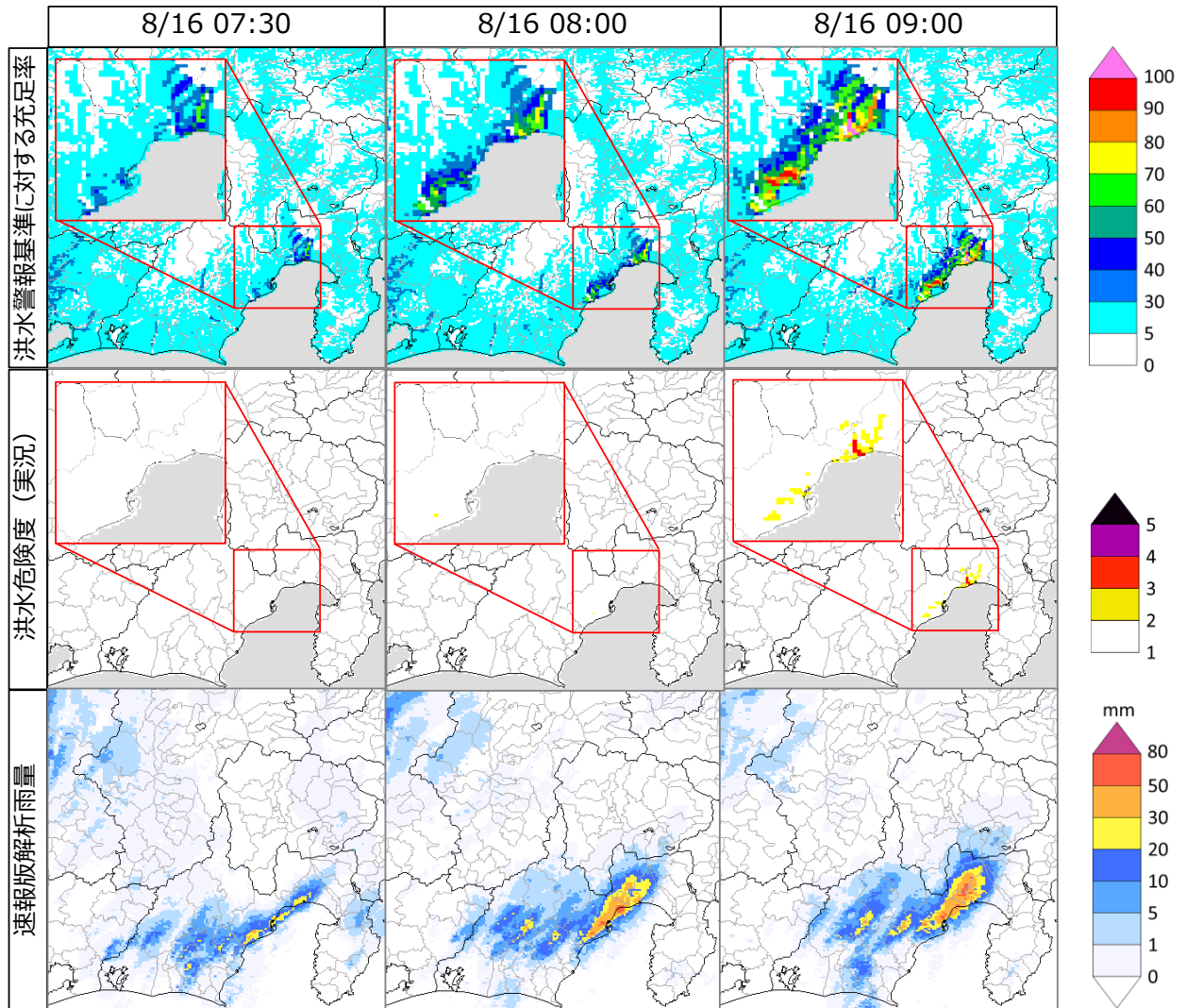
って突然危険度が出現することもあるが、充足率を活用することで、各基準に到達するまでの間に、徐々に危険度が高まっていく様子を確認することができる。

第 E-1 表 各充足率に含まれる情報。

充足率	情報の内容
土砂充足率	・ 土壌雨量指数基準Ⅳに対する充足率
浸水充足率	・ 表面雨量指数基準Ⅰに対する充足率 ・ 表面雨量指数基準Ⅱに対する充足率 ・ 表面雨量指数基準Ⅲに対する充足率 ・ 表面雨量指数基準Ⅳに対する充足率
洪水充足率	・ 洪水注意報基準に対する充足率※1 ・ 洪水警報基準に対する充足率※1 ・ 流域雨量指数基準Ⅰに対する充足率 ・ 流域雨量指数基準Ⅱに対する充足率 ・ 流域雨量指数基準Ⅲに対する充足率 ・ 流域雨量指数基準Ⅳに対する充足率 ・ 複合基準Ⅰの流域雨量指数基準に対する充足率※2 ・ 複合基準Ⅱの流域雨量指数基準に対する充足率※2 ・ 流域雨量指数基準Ⅰに関する変化傾向 ・ 流域雨量指数基準Ⅱに関する変化傾向 ・ 流域雨量指数基準Ⅲに関する変化傾向 ・ 流域雨量指数基準Ⅳに関する変化傾向 ・ 複合基準Ⅰに関する変化傾向 ・ 複合基準Ⅱに関する変化傾向



第 E-2 図 複合基準に対する充足率. 赤丸は当該時刻の指数値を表す. ここでは3つのパターンを示している.



第 E-3 図 洪水充足率の例 (2023 年 8 月 16 日, 静岡県中部・東部付近). 上: 洪水警報基準に対する充足率, 中: 洪水危険度 (実況), 下: 速報版解析雨量, 左から 07 時 30 分, 08 時 00 分, 09 時 00 分を表す.