

第5章 浸水雨量指数と浸水害警戒判定メッシュ情報*

- 浸水害と対応の良い新たな指標 -

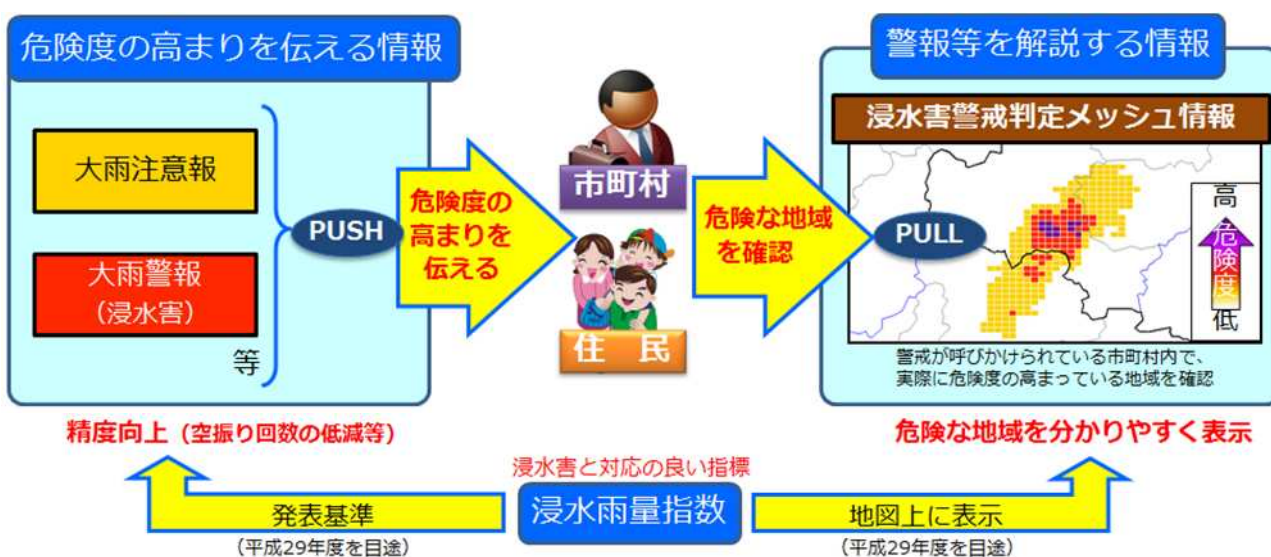
5.1 浸水雨量指数

5.1.1 目的と計画

浸水雨量指数は、現在、気象庁で開発・検証を進めている、浸水害発生の危険度を表すための新たな指標である。その目的は、大雨警報（浸水害）等の発表基準に導入し、大雨警報（浸水害）等の精度を向上させることで、市町村長の避難準備情報や住民の自主避難の判断をよりの確に支援することにある。また、浸水雨量指数の導入にあわせ、「浸水害警戒判定メッシュ情報（仮称）」という新たなメッシュ情報の提供を計画している。これは、浸水雨量指数を大雨警報（浸水害）等の発表基準でメッシュごとに判定したもので、このメッシュ情報により、大雨警報（浸水害）等で警戒が呼びかけられている市町村内のどこで実際に危険度が高まっているかを視覚的に確認することができる。

第5.1.1図に、浸水雨量指数による大雨警報（浸水害）等の改善計画と情報の利用イメージを示した。大雨警報（浸水害）等は、浸水害の危険度の高まりを伝える「気づき」を喚起する情報として、防災関係機関における体制立ち上げや市町村が発令する避難準備情報の判断等への活用を想定している。一方、浸水害警戒判定メッシュ情報は、警報や注意報をきっかけとして、市町村や住民自らが実際に市町村内のどこで浸水危険度が高まっているかを確認することにより、市町村が発令する避難準備情報の対象地域や住民が行う自主避難等の判断に活用してもらうことを期待している。

大雨警報（浸水害）等の発表基準への浸水雨量指数の導入と浸水害警戒判定メッシュ情報の提供は、平成29年度からの実施を目指しており、現在、指数の精度検証や関係省庁・都道府県等自治体への説明を進めているところである。



第5.1.1図 浸水雨量指数による大雨警報（浸水害）等の改善計画と情報の利用イメージ

*太田 琢磨（気象庁予報部予報課気象防災推進室）

5.1.2 浸水雨量指数の計算概要

浸水雨量指数の計算においては、降った雨が地表面を流出したり、土壌のより深いところに浸透したりする過程を表現するためにタンクモデルを用いている。タンクモデルのタンク側面には水がまわりに流れ出すことを表す流出孔が、底面には水がより深いところに浸み込むことを表す浸透孔がある。浸水雨量指数は、タンクモデルで算出した流出量（側面の孔から出てくる水量）に地形補正係数を乗じたもので、降った雨が河川に流れ出るまでの地表面付近の水の流れ（これを表面流出と呼ぶ）の強弱により浸水危険度を表すことをイメージした指標である。第5.1.2図に計算イメージを示した。

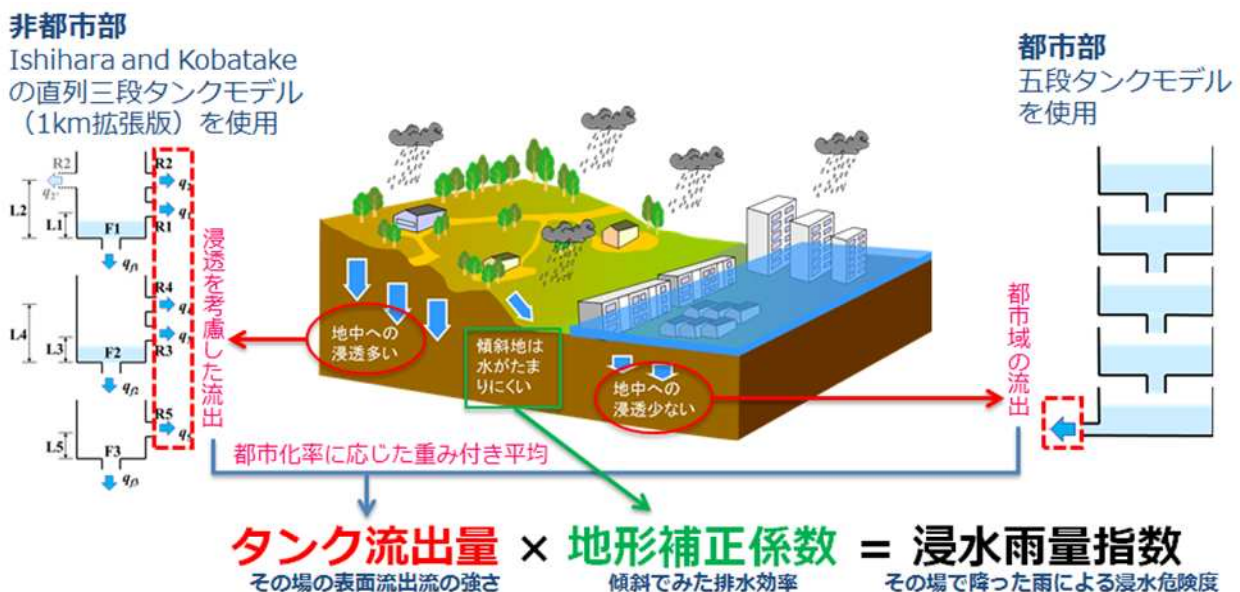
流出量の算出は、都市用と非都市用の二種類のタンクモデルを都市化率に応じて使い分けている。流出量の算出においては、地面の被覆状態を適切に評価することが重要である。特に、地表面の多くがアスファルトに覆われる都市部では、雨水の地中への浸透が少なく、降った雨は急速に河川に流れ込むという流出特性があるため、都市用タンクモデルは、流出が非常に早く、また、ピーク流量も大きくなるようなパラメータ設定としている。

地形補正係数は、浸水害発生に対する地形勾配の負の寄与を表すために導入したパラメータである。地形勾配の負の寄与とは、勾配が急な場所ほど降雨は速やかに下流へ排出されるため、その場所では水がたまりにくく、すなわち浸水しにくいというものである。タンクモデルによる流出量には、このような地形勾配による負の寄与が考慮されないため、タンクモデルによる流出量を地形勾配を変数とした補正係数により補正したものを、最終的な浸水害の危険度を表す指標 浸水雨量指数とした。

浸水雨量指数の計算処理の主な特徴としては、次の3点が挙げられる。

浸水の発生状況は、細かな地形の凹凸や地表面の被覆状況に大きく左右される。そこで、タンクモデルによる流出量の算出や地形補正係数による補正処理は 250m メッシュごとに行い、できるだけ詳細な地理分布情報を反映させるようにしている。ただし、最終的な出力は 250m メッシュの最大値をとった 1km メッシュごとである。

流出量は、流域雨量指数のような矩形領域（5km メッシュ単位）に対してではなく、該当 250m メッシュの集水域（上流域）を対象に算出している。この集水域及び集水域内の地表面の被覆状況は、



第5.1.2図 浸水雨量指数の計算イメージ

前述した浸水の局地性を踏まえ、100m メッシュの標高・土地利用データを用いて、それぞれ設定している。

地形補正係数の変数には、前述した地形勾配の負の寄与をより明確に反映させるため、当該メッシュの下流方向のメッシュのみを対象とした平均勾配を用いている。

なお、下水道や排水ポンプ等の排水施設の効果は浸水雨量指数では考慮していないが、これら排水インフラの影響は、結果的に浸水害の発生状況の変化として現れるので、浸水雨量指数と災害実績との対応により作成した大雨警報（浸水害）等の基準の中に含まれる。

以上が浸水雨量指数の計算方法の概要である。より詳細な計算方法については、太田・牧原（2015）を参照いただきたい。

5.1.3 浸水害警戒判定メッシュ情報

浸水雨量指数自体は浸水危険度の高低の傾向を表す指標であり、浸水雨量指数を用いて浸水害が発生するか否かを判別するためには、過去に発生した浸水害とその時の浸水雨量指数との関係を調査し、あらかじめ基準として設定しておく必要がある。大雨警報（浸水害）や大雨注意報は、これら基準に到達すると予想した場合に二次細分区域単位で発表するが、同基準に基づき浸水雨量指数をメッシュごとに判定したものが浸水害警戒判定メッシュ情報である。

浸水害警戒判定メッシュ情報の基準は、大雨注意報に相当する基準（ここでは浸水害警戒判定基準と呼ぶ。略して基準）、大雨警報（浸水害）に相当する基準（浸水害警戒判定基準、略して基準）に加え、浸水害警戒判定基準（略して基準）という基準を定める計画である（第5.1.1表）。基準の対象災害は基準と同じであるが、基準を設定する際には、特に適中率を重視することで災害発生 の蓋然性の高い基準とし、基準との差別化を図っている。

なお、浸水害警戒判定基準は、現在の雨量基準と同様、二次細分区域ごとに設定される（ただし、平坦地、平坦地以外による細分設定はしない）。

第5.1.1表 浸水害警戒判定基準

浸水害警戒判定基準	意味	算出方法
	重大な浸水害が発生するおそれが高い	警報対象災害に対して、適中率を重視して基準設定
	重大な浸水害が発生するおそれ [大雨警報（浸水害）の発表基準]	警報対象災害に対して、捕捉率を重視して基準設定
	浸水害が発生するおそれ [大雨注意報の発表基準]	注意報対象災害に対して、捕捉率を重視して基準設定

実際に部外機関へ提供するメッシュ情報は、上記判定基準をもとに算出した実況の警戒判定値と予想の警戒判定値のうちの最大の警戒判定値を出力・表示する予定である。第5.1.2表に、浸水害警戒判定メッシュ情報の判定値の意味を示した。これは土砂災害警戒判定メッシュ情報と同じ仕様であるが、何時間先までの予想値を用いるか等の詳細設計については現在検討を進めているところである。

浸水害警戒判定メッシュ情報の具体事例については、第5.3節で紹介する。

第 5.1.2 表 浸水害判定警戒メッシュ情報の判定値

浸水害警戒判定値	意味
4	実況で浸水害警戒判定基準 以上に到達
3	予想で浸水害警戒判定基準 以上に到達
2	実況または予想で浸水害警戒判定基準 (大雨警報(浸水害)基準)以上に到達
1	実況または予想で浸水害警戒判定基準 (大雨注意報基準)以上に到達
0	実況および予想で浸水害警戒判定基準 (大雨注意報基準)未満

5.2 浸水雨量指数の特性と予測精度

5.2.1 浸水雨量指数の特性と警戒判定に関する従来との違い

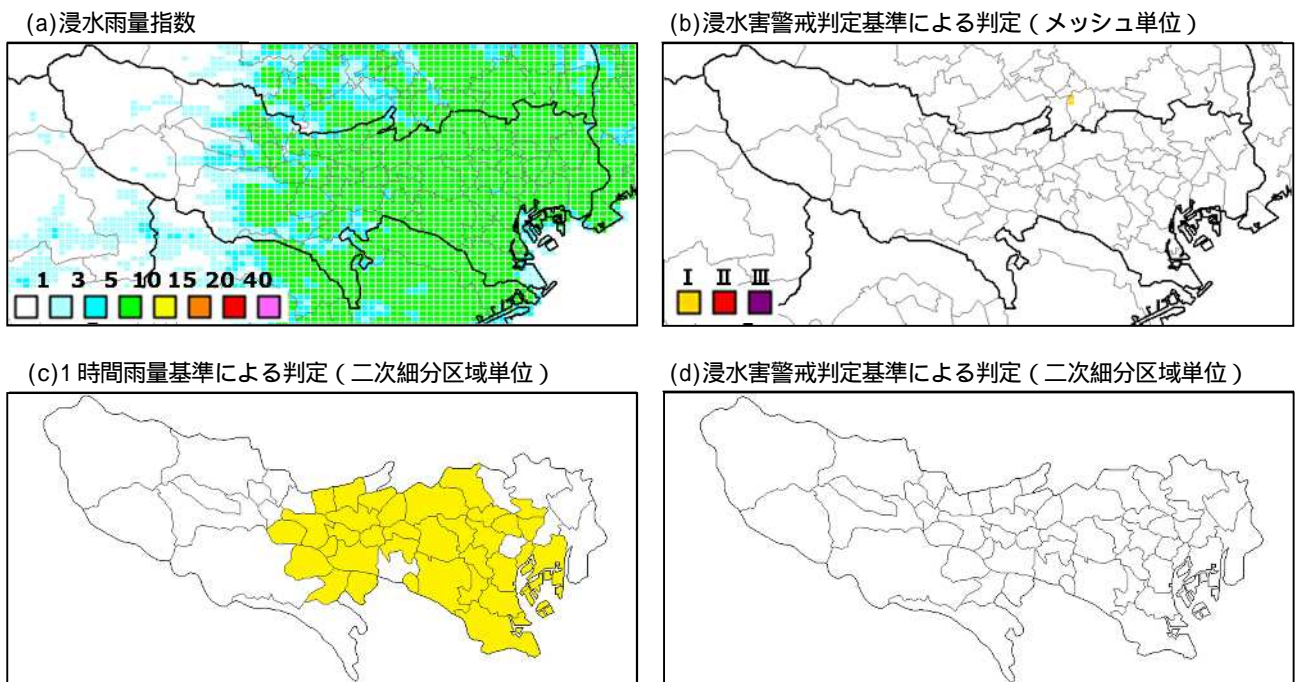
本項では、面的に一樣な雨を降らせた場合の浸水雨量指数シミュレーション結果をもとに、浸水雨量指数の特性や浸水害警戒判定に関する現行雨量基準との違いについて解説する。

第 5.2.1 図から第 5.2.4 図に示したのは、東京地方を対象に、面的に一樣な雨を降らせた場合の、(a)浸水雨量指数、(b)浸水害警戒判定基準によるメッシュ判定、(c)現行の大雨警報(浸水害)・大雨注意報基準による判定(二次細分区域単位)、(d)浸水害警戒判定基準による判定(二次細分区域単位)である。ここでは、1時間 30 ミリ(第 5.2.1 図)、1時間 50 ミリ(第 5.2.2 図)、1時間 70 ミリ(第 5.2.3 図)、3時間 90 ミリ(第 5.2.4 図)の 4 種類の降雨パターンを対象とした。

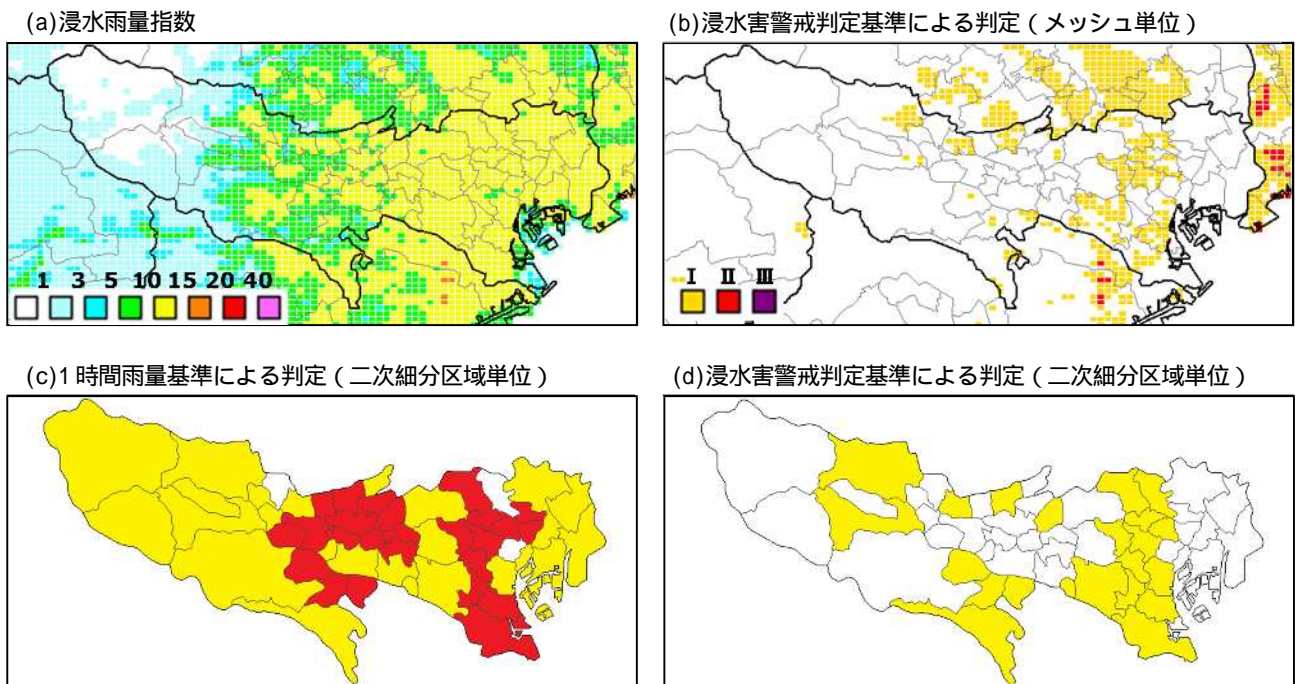
それぞれの降雨パターンについて、現行雨量基準による判定と浸水害警戒判定基準による判定を比較すると、判定結果がだいぶ異なっていることが分かる。例えば、第 5.2.3 図(c)(d)の奥多摩町と檜原村に着目すると、現行雨量基準(1時間 70 ミリ)では警報判定となるが、浸水害警戒判定基準では基準にも達していない。これは、浸水雨量指数が地形勾配や都市化率といった浸水に関連の深い「素因」を地理パラメータとして取り込んでいるため、山間部(勾配が急で都市化率が低い地域)では、そもそも指数値が大きくなるためである(第 5.2.3 図(a)で奥多摩町と檜原村の浸水雨量指数は 10 未満と相対的に小さい)。府県予報区内の浸水害警戒判定の特徴に関し、それぞれの予報担当者が理解を深めておくことは、予報作業においても役立つと思われる。

次に、第 5.2.1 図～第 5.2.4 図それぞれの(b)浸水害警戒判定基準による判定結果について解説する。これらの図から、面的に一樣な雨を与えているにもかかわらず、同じ二次細分区域内の各メッシュで判定結果が異なっていることが見て取れる。これは、浸水雨量指数そのものに素因に基づく浸水脆弱性の違いがメッシュ単位で反映されていることに起因するものだが、見方を変えれば、現在の平坦地、平坦地以外の区分をさらに細分して 1km メッシュ単位で基準設定したことと同じ意味を持つものと解釈できる。すなわち、メッシュごとの判定結果は、(二次細分区域単位に設定した基準による判定にもかかわらず、)そのままその場所の危険度を表すものとして利用できる。

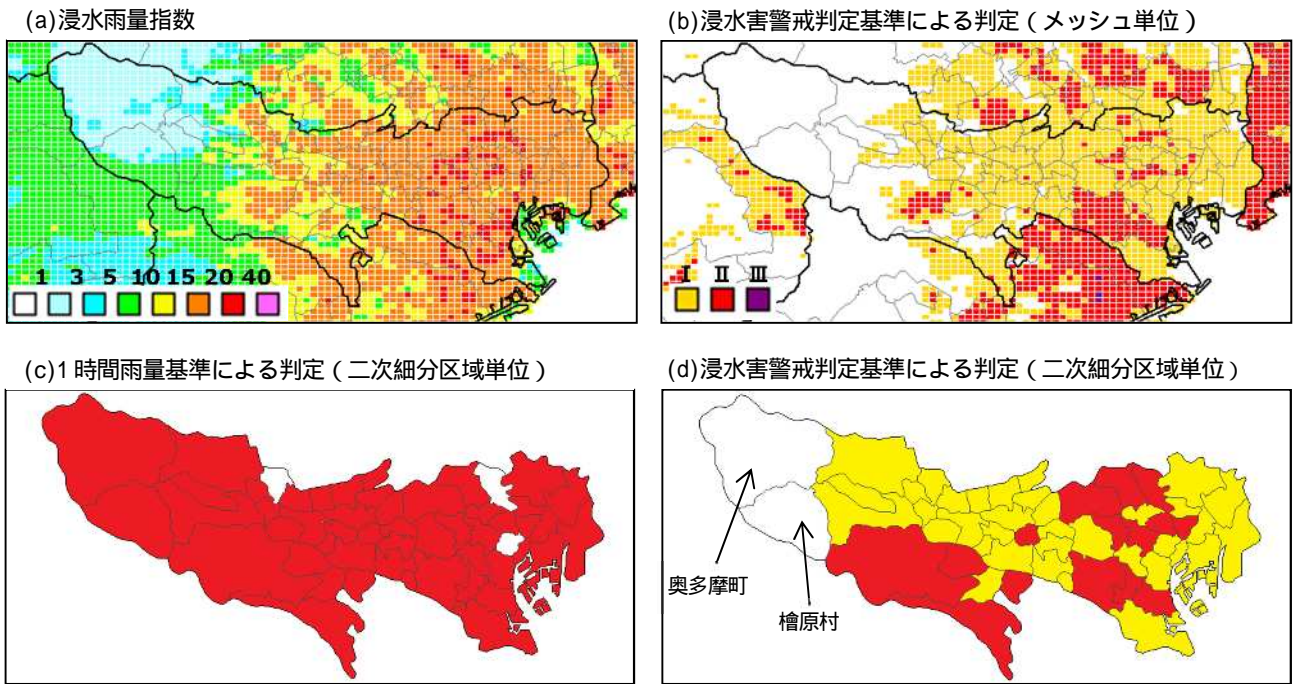
最後に、先行降雨の影響について触れておく。浸水雨量指数はタンクモデルを用いているので先行降雨の影響を反映させることができる。第 5.2.4 図(b)(d)は降雨強度 30mm/h の雨が 3 時間継続した場合の判定結果であるが、第 5.2.1 図(b)(d)の 1 時間継続した場合の判定結果とは大きく異なっている。また、第 5.2.3 図(b)(d)の 1 時間に 70 ミリの降雨を与えた場合の判定結果と比較すると、それに匹敵する判定結果となっている。これらの結果から分かることは、浸水危険度が単純な降雨強度で決まるものではなく、時間的な振る舞いにも大きく左右されるということである。予報作業の観点からは、このような先行降雨(降雨時系列)の違いによる浸水危険度の差は、最大 1 時間雨量の雨量予想だけではなく、積算雨量予想または適切な降雨時系列予想の重要性を示唆するものといえる。



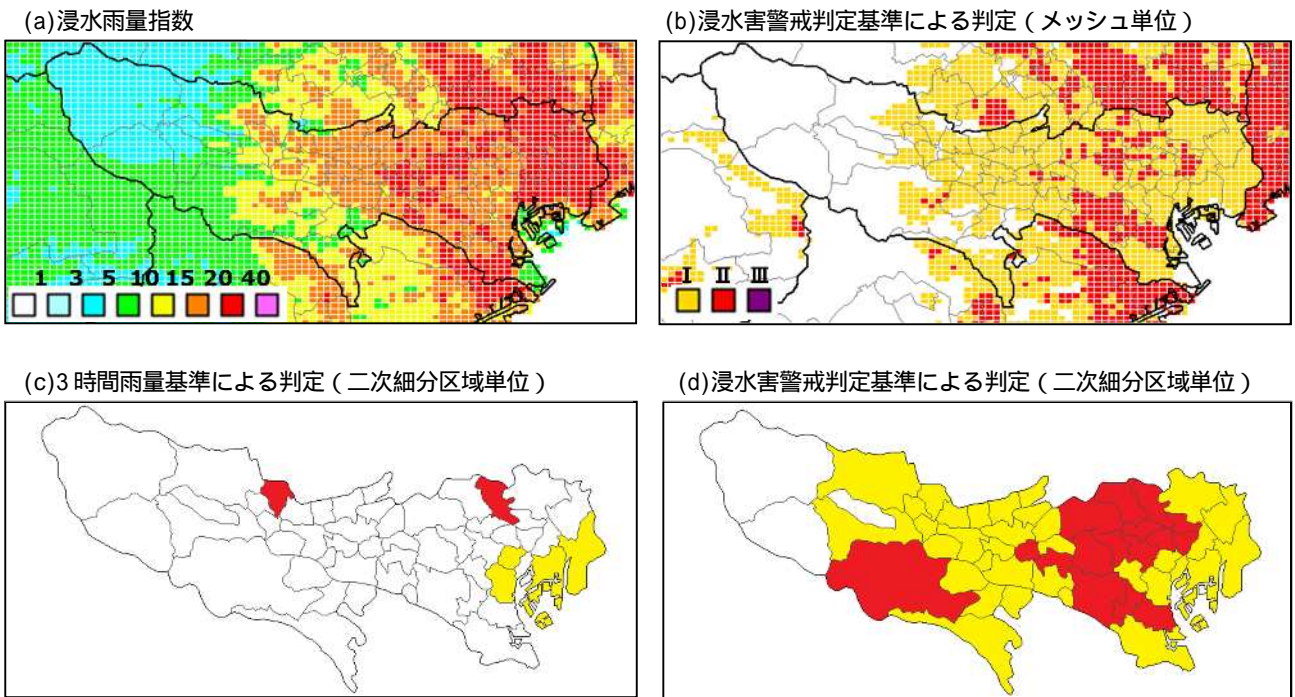
第5.2.1図 1時間30ミリの雨量が面的一様に降った場合の、(a)浸水雨量指数、(b)浸水害警戒判定基準によるメッシュ単位の判定、(c)現行の大雨警報（浸水害）・注意報基準（1時間雨量基準）による二次細分区域単位の判定、(d)浸水害警戒判定基準による二次細分区域単位の判定。(c)における黄色は注意報基準超過、赤色は警報基準超過を表す。また、(d)における黄色は基準超過、赤色は基準超過、紫色は基準超過を表す。



第5.2.2図 第5.2.1図と同じ。ただし、1時間50ミリの雨量が面的一様に降った場合。



第5.2.3図 第5.2.1図と同じ。ただし、1時間70ミリの雨量が面的に降った場合。



第5.2.4図 第5.2.1図と同じ。ただし、3時間90ミリ（1時間30ミリが3時間継続）の雨量が面的に降った場合。また、(c)は現行の大雨警報（浸水害）・注意報基準（3時間雨量基準）による二次細分区域単位の判定である。

5.2.2 浸水害警戒判定基準の統計的精度

浸水害警戒判定基準の統計的な精度を示すため、第 5.2.1 表に、浸水害警戒判定基準と現行の大雨警報（浸水害）・大雨注意報基準のそれぞれについての災害捕捉率や空振り率等の評価結果を示した。これは、浸水雨量指数と浸水害との対応性を、雨量との対比により評価した結果ともいえる。評価は、1991 年から 2012 年に発生した浸水害（外水氾濫によるものは除く）を対象に行った。

第 5.2.1 表 浸水害警戒判定基準と現行の大雨（浸水害）警報・大雨注意報基準の評価

	浸水基準	浸水基準	現行警報基準	浸水基準	現行注意報基準
対象二次細分区域	1110 区域（全体の 63%）			1674 区域（全体の 95%）	
発表頻度	0.08 回/年	0.5 回/年	0.6 回/年	1.5 回/年	3.2 回/年
災害捕捉率	28%	66%	50%	72%	71%
災害見逃し率	72%	34%	50%	28%	29%
災害空振り率	61%	77%	86%	78%	89%
災害適中率	39%	23%	14%	22%	11%

全国の気象官署が収集整理した 1991 年～2012 年の災害資料（外水を除く）を使用。
対象二次細分区域とは、対象災害が 1 事例以上発生した二次細分区域をさす。

基準 は、現行警報基準に比べて、災害捕捉率が向上し、かつ、災害空振り率を低減している。基準 は、現行注意報基準に比べて、災害捕捉率はほぼ変わらないが、災害空振り率を低減している。これらから、浸水害警戒判定基準は、現行基準よりも、浸水害発生に対して確度の高い判定基準であるといえる。なお、基準 は、基準 に比べて、災害適中率が高く、発表頻度は 0.08 回/年とかなり少ない。これは、基準設定のコンセプト通りの結果であるが、基準 に関する災害との対応及び想定される発表頻度の妥当性については、今後の実事例も踏まえながら引き続き確認していく予定である。

第 5.2.1 表に示したのは、警報・注意報それぞれの対象災害に対する厳密な評価結果であるが、第 5.2.5 図に示すのは、基準 ・ に到達した事例のうち、どの程度の割合で浸水害（注意報の対象となる軽微な浸水害も含む）が発生していたかを検証した結果である。基準 の災害発生割合は 7 割弱にまで達しており、浸水害発生の蓋然性が極めて高い状況にあることを示す基準といえる。また、基準 の災害発生割合も 4 割に達しており、「基準を超過した 10 回のうち 4 回は何らかの浸水害が発生する」という確度を有する基準といえる。

(a) 浸水基準



(b) 浸水基準



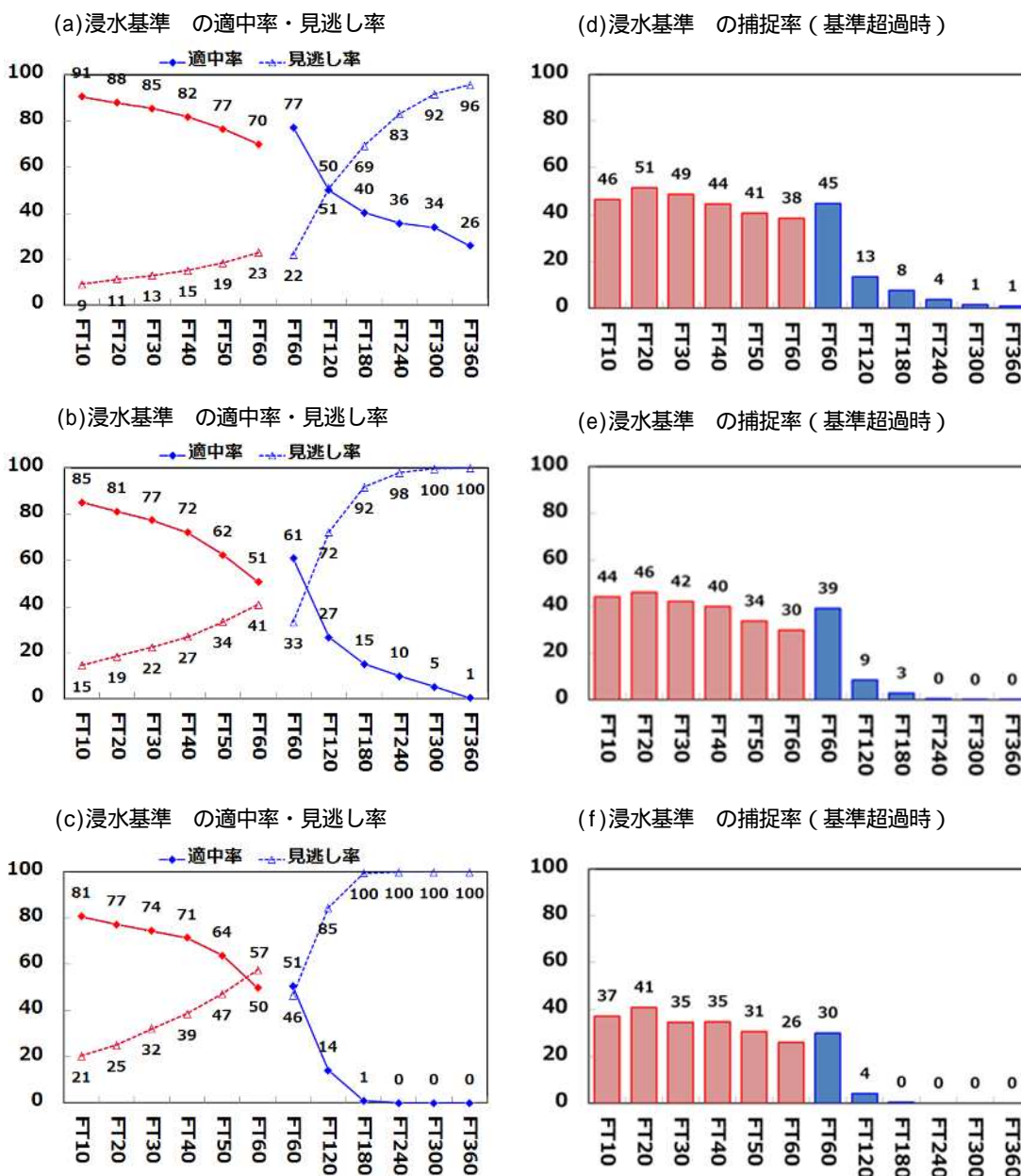
第 5.2.5 図 浸水害警戒判定基準の評価。(a) 基準、(b) 基準。評価に用いた災害資料は第 5.2.1 表と同じ。

5.2.3 降水予測資料を用いた指数の予測精度

浸水雨量指数の入力として降水予測資料を用いた場合の予測精度を第5.2.2表に従って検証した。

第5.2.2表 浸水雨量指数予測の検証方法

期間	2015年5月1日から7月31日まで
対象	降水ナウキャストを入力した毎10分の浸水雨量指数予測値（10分後、20分後、…、60分後） 降水短時間予報を入力した毎30分の浸水雨量指数予測値（1時間後、2時間後、…、6時間後）
方法	浸水害警戒判定基準（ ）に対して、「実況あり/なし」「予報あり/なし」の2×2分割表を作成し、捕捉率・見逃し率・適中率を算出。



第5.2.6図 全国の陸上格子（1km格子単位）の浸水雨量指数予測の評価

赤は降水ナウキャストによる指数予測、青は降水短時間予報による指数予測。評価データ数は両者で異なる。

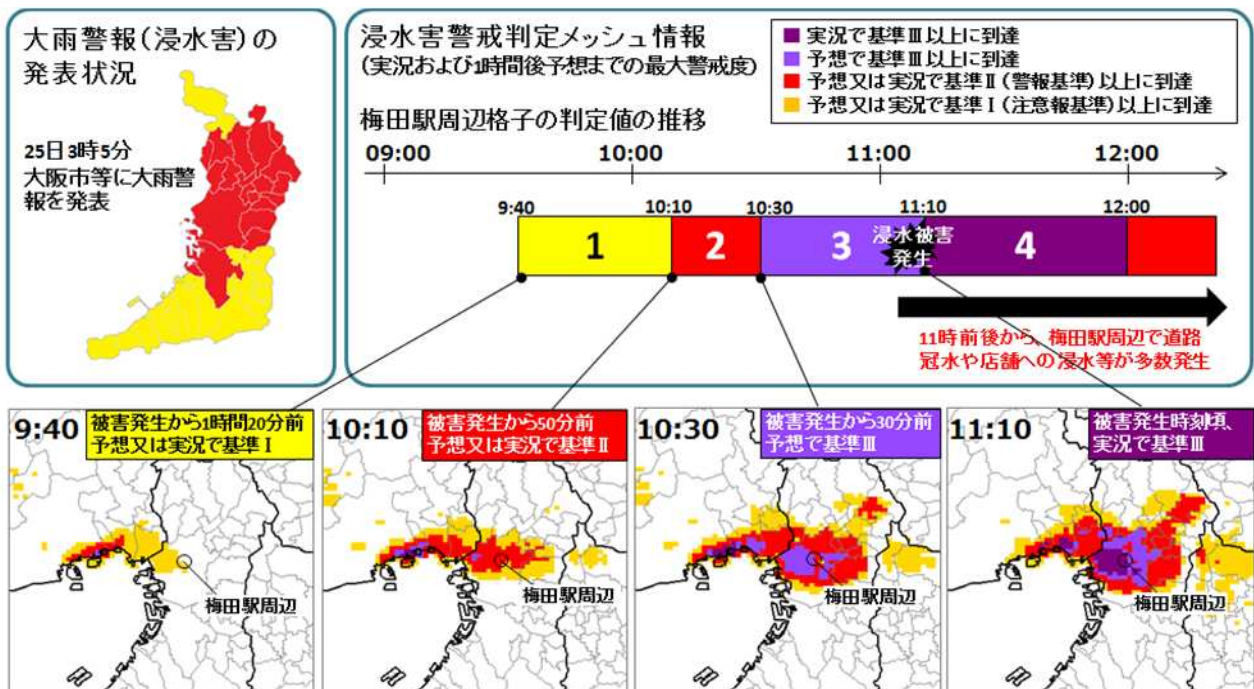
第 5.2.6 図(a)～(c)は全国の陸上格子(1km メッシュ)毎に算出した適中率・見逃し率、(d)～(f)は基準超過時のみのデータを用いて算出した捕捉率である。(a)～(c)は浸水雨量指数の一般的な予測精度を表すのに対し、(d)～(f)は実況で基準を初めて超過した時のみのデータを用いて捕捉率を算出しているため、いわば「予測のリードタイムがどの程度確保できるか」を検証したものと見える。

第 5.2.6 図(a)～(c)から、ナウキャストによる指数予測、降水短時間予報による指数予測ともに、予報時間が延びるほど適中率が低下することがわかる。特に、降水短時間予報の 2 時間先 (FT120) 以降で、適中率の急速な低下がみられる。(d)～(f)の捕捉率についても、(a)～(c)と同様、降水短時間予報の 2 時間先 (FT120) 以降の精度低下が著しいが、降水ナウキャストによる指数予測については予報時間が延びることによる捕捉率の低下はあまり見られない。降水ナウキャストによる 60 分先予測 (FT60) の捕捉率は、基準で 38%、基準で 30%、基準で 26%であり、10 分先予測 (FT10) と比較して、2～3 割程度の捕捉率の低下に留まっている。予測資料を用いたリードタイム確保の観点において、降水ナウキャストによる 60 分先予測 (FT60) には一定の実用性があると考えられる。

なお、降水短時間予報を用いた 1 時間先予測 (FT60) が、降水ナウキャストを用いた 60 分先予測 (FT60) よりも精度が高いのは、入力となる予測資料の初期値の精度に起因していると考えられる。降水ナウキャストはレーダーをベースに初期値を解析しているが、降水短時間予報についてはより高度な解析手法(解析雨量と同様の手法)により初期値を作成しているため、一般的に降水ナウキャストの初期値に比べ精度が高いといえる。

5.3 具体的事例

浸水害警戒判定メッシュ情報の具体事例として、本節では、平成 25 年 8 月 25 日に大阪市梅田駅周辺で発生した大規模な浸水事例を取り上げ、浸水害警戒判定メッシュ情報の有用性について説明する。



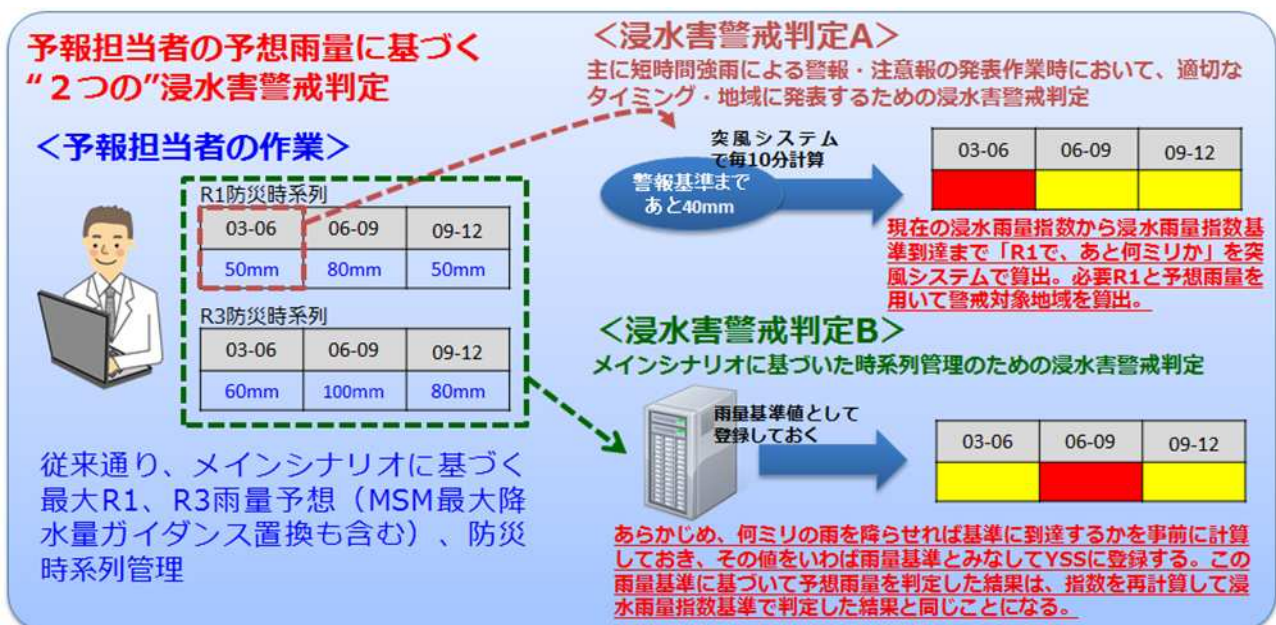
第 5.3.1 図 平成 25 年 8 月 25 日の大雨警報(浸水害)の発表状況、浸水害警戒判定メッシュ情報の梅田駅周辺格子の判定値の推移及び分布図。

本事例の気象状況の概要及び災害の発生状況は次のとおりである。平成 25 年 8 月 23 日から 25 日にかけて、西日本をゆっくり南下した前線に向かって、南海上から暖かく湿った空気が、太平洋高気圧の縁を回って流れ込んだため、大気の状態が非常に不安定となった。大阪市では、25 日昼前に非常に激しい雨が降り、最大で 1 時間 60 ミリ程度の雨量を解析した。この大雨により、25 日 11 時前後から、大阪市北区の阪急梅田駅周辺で道路冠水や店舗への浸水等が多数発生した。

第 5.3.1 図に、大雨警報（浸水害）の発表状況、浸水害警戒判定メッシュ情報の梅田駅周辺格子の判定値の推移及び分布図を示した。ここでは、実況値とともにナウキャストによる 60 分先までの予測値を用いてメッシュ情報の判定値を算出している（判定値の定義は第 5.1.2 表を参照）。浸水害警戒判定メッシュ情報の各時刻の分布図からは、大雨警報（浸水害）が発表された市町村の中でも、浸水危険度の高まっている地域が、刻一刻と変化していく様子が見て取れる。また、11 時前後の発災時刻から時間を遡ってみた場合に、梅田駅周辺格子では、被害発生から 1 時間 20 分前に判定値「1」、50 分前に判定値「2」、30 分前に判定値「3」、被害発生前後の 11 時 10 分に判定値「4」が現れた。浸水害警戒判定基準 に実況で到達（浸水害警戒判定メッシュ情報では判定値「4」）とは、第 5.2.2 項で述べたとおり、浸水害が発生する蓋然性が高い状況にあることを示すものである。本事例では、それを 30 分のリードタイムを確保して予測し、発災前にメッシュ情報として危険度を表示できたことから、市町村が発令する避難準備情報等の対象地域の絞り込みや住民が行う自主避難等の判断に資する情報になるものとする。

5.4 予報作業形態と予報作業支援システムにおける支援機能

平成 29 年度から予定している、浸水雨量指数導入後の警報発表作業に関するイメージを持ってもらうため、本節では、現時点で検討中の予報作業形態及び予報作業支援システムの機能の概略について説明する。ただし、ここでの内容はいずれも現時点での案段階のものであり、今後変更となる可能性がある旨留意されたい。



第 5.4.1 図 予報作業支援システムによる浸水害警戒判定機能（案）

予報作業支援システムでは、降水ナウキャストや降水短時間予報に基づく浸水雨量指数予想値を浸水害警戒判定基準で判定した結果（突風等短時間予測システムにおいて算出）を取り込んで利用する。しかし、第 5.2.3 項で示したとおり、降水短時間予報による指数予測は、2 時間先以降の予測精度が十分ではない。このため、大雨警報（浸水害）・大雨注意報の発表基準に浸水雨量指数を導入した際に、適切なリードタイムを確保して警報・注意報を発表するためには、「基準到達前の浸水雨量指数の状況把握（例えば、あと何ミリ降れば基準に到達するか）」や「予報担当者の予想雨量を浸水雨量指数に反映させて、基準判定を行う」等の予報作業をサポートする仕組みが不可欠である。

第 5.4.1 図に、予報作業支援システムによる大雨警報（浸水害）等の判定イメージを示した。大雨警報（浸水害）等を適切に運用するためには、2 種類の判定機能が必要になると考えている。1 つは、主に短時間強雨による警報・注意報の発表作業時において、適切なタイミング・地域に発表するための判定機能である（浸水害警戒判定 A）。もう 1 つは、メインシナリオに基づいた危険度時系列を運用するための判定機能である（浸水害警戒判定 B）。いずれの機能も「あと何ミリ降れば浸水害警戒判定基準に達するか」に着目して警戒判定を行うものである。イメージとしては、第 5.2.1 項のシミュレーション（第 5.2.1 図～第 5.2.4 図）で、面的に一様な降雨を与えるのではなく、予報担当者の予想雨量を与えた場合にどのような判定結果になるか、というものに近い。この 2 つの警戒判定機能により、「従来通りの予報作業形態の踏襲（予報担当者は雨量予測に専念）」と「予報担当者の予想雨量に整合的な、浸水雨量指数に基づく警戒判定」の両立を実現させる計画である。

予報作業支援システムの詳細設計については今後さらに検討を進めることとしており、浸水雨量指数導入後の予報作業も含め、別の機会にあらためて解説することとしたい。

参考文献

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.