

# 土壌雨量指数・表面雨量指数・流域雨量指数 の概要と基準の設定方法について

---

気象庁予報部予報課 気象防災推進室  
洪水情報係長 太田琢磨

平成30年2月28日  
気象等の情報に関する講習会

## 1 . イントロダクション

## 2 . 指数の計算の仕組みと利用上の留意点

タンクモデルの原理

土壌雨量指数

表面雨量指数

流域雨量指数

指数の予測特性

## 3 . 警報等の基準の設定方法

基準設定の考え方

土砂災害を対象とする基準

大雨警報（浸水害）の基準

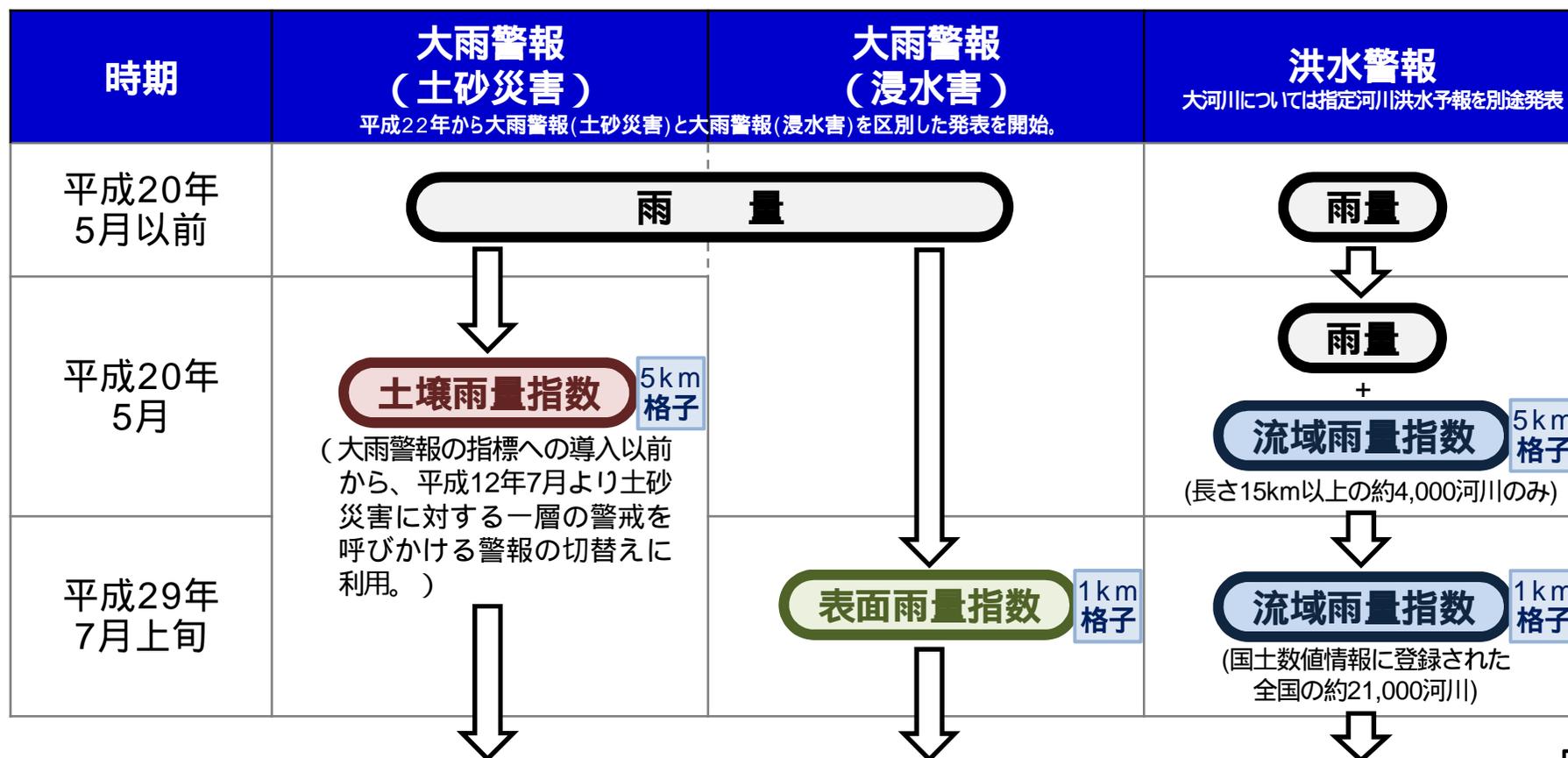
洪水警報の基準

# 1 . イントロダクション

---

# 雨に関する警報の技術開発 ～発表の判断に用いる指標の変遷～

当初、雨に関する警報は、「雨量」のみを用いて危険度の高まりを評価し、発表を判断。平成20年から「雨量」に加え、土砂災害・洪水害の危険度の高まりを評価する指標として「土壌雨量指数」及び「流域雨量指数」も導入。平成22年からは大雨警報(土砂災害)と大雨警報(浸水害)を区別した発表を開始。平成29年7月からは「表面雨量指数」の導入と「流域雨量指数」の精緻化により、土砂災害・浸水害・洪水害の危険度の高まりを3つの「指数」で評価し、警報の発表を判断。



# 誘因と素因

誘因：直接災害を引き起こす動的な発生要因

素因：災害の発生・拡大に関する潜在的な環境要因



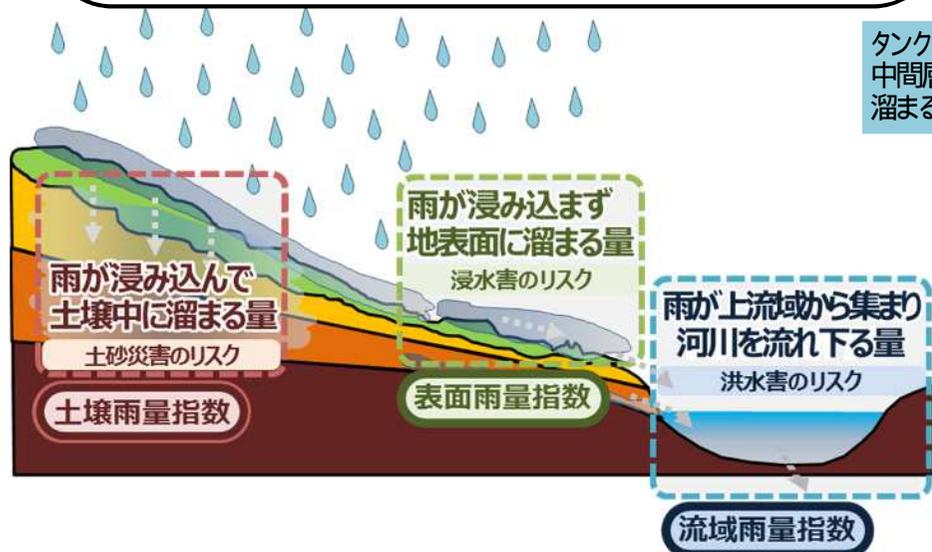
# 雨量から指数へ

災害をもたらすような現象に対して、降った雨の量だけに着目するのではなく、降った雨が「素因」の影響を受けて、どのような振る舞いをするかに着目。

降雨の地下浸透や河川への流出といったプロセスを「タンクモデル」で模式化して、各々の災害リスクの高まりを指数化した。

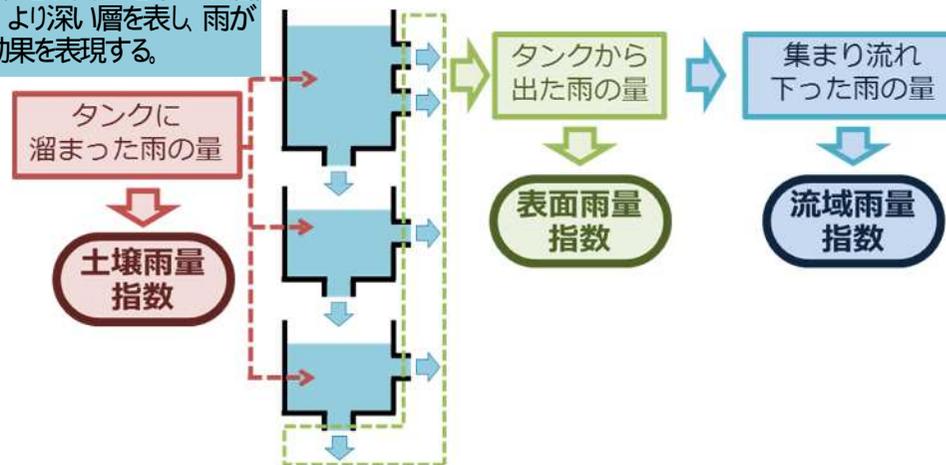
降った雨の量（誘因）に加え、素因の影響も考慮された「3つの指数」は、従来の雨量に比べ、それぞれ災害との結びつきが強くなり、その結果、大雨・洪水警報の精度向上につながった。

雨によって  
災害リスクが高まるメカニズム



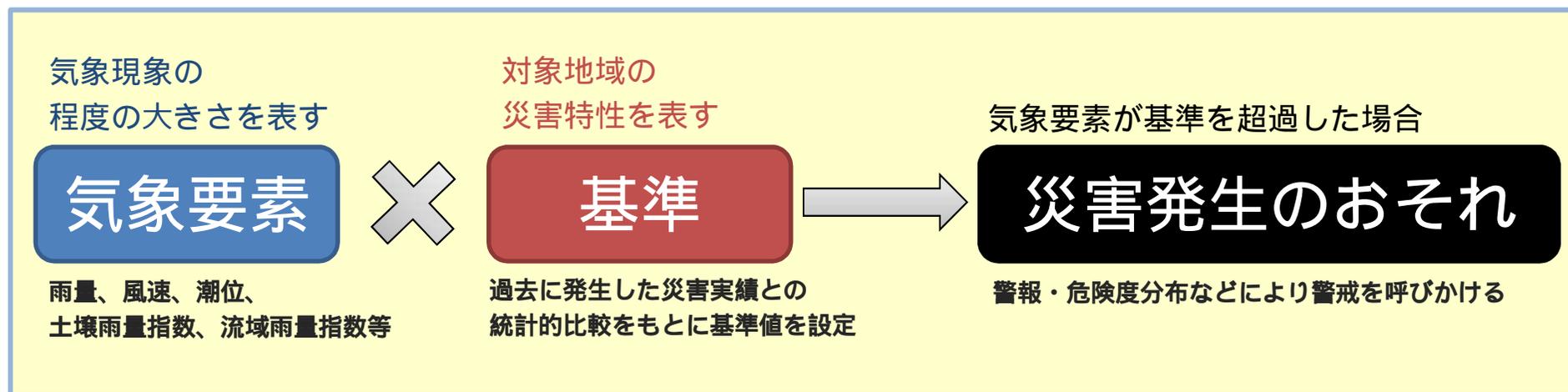
左のメカニズムを“タンクモデル”で表現し  
各々の災害リスクの高まりを“指数”化

タンクは、地表面や地中の表層、中間層、より深い層を表し、雨が溜まる効果を表現する。



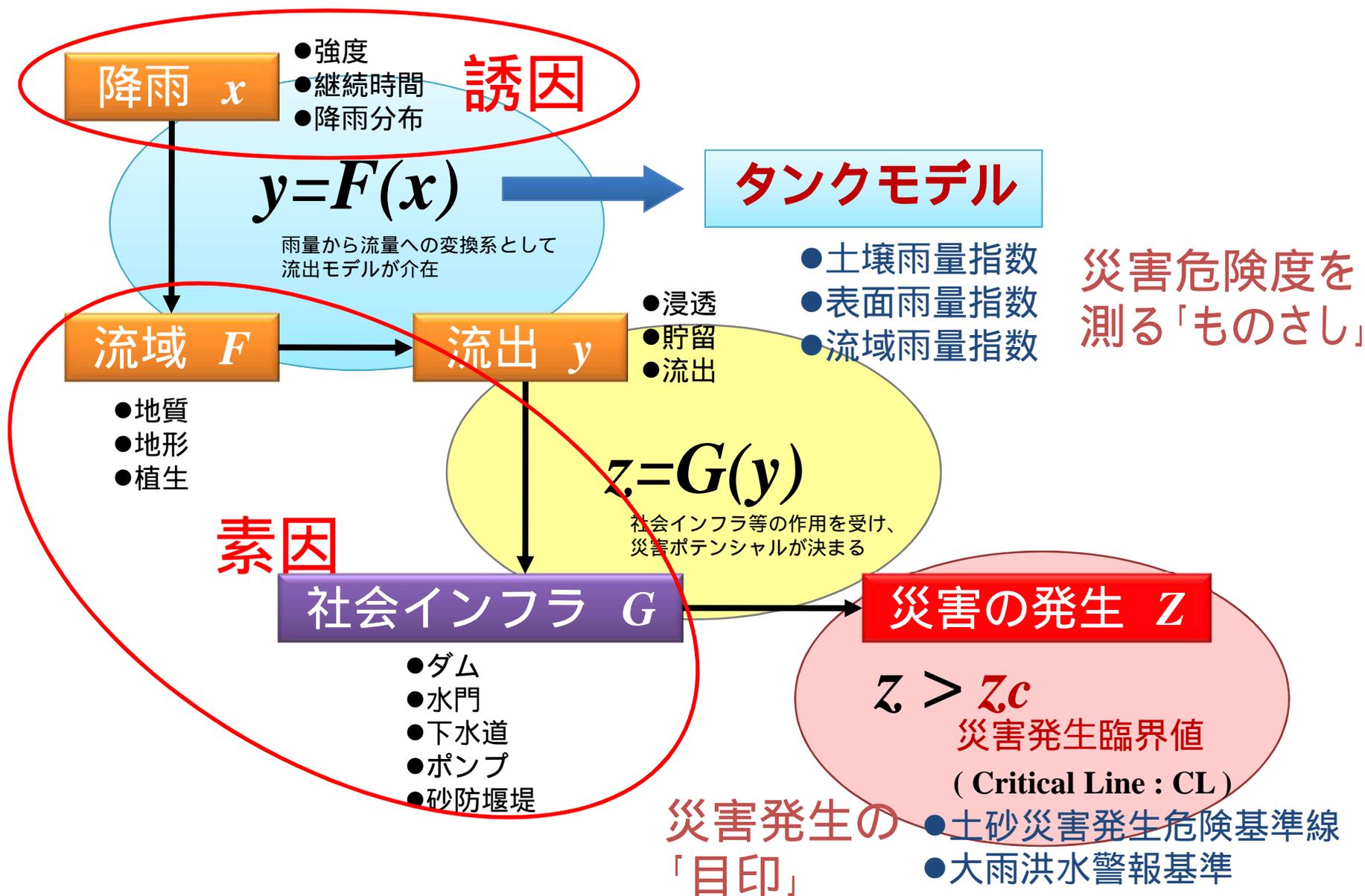
3つの指数は災害との対応の良い指標であるが、あくまで相対的な危険度を表すものである。指数の大きさだけをもって災害発生のおそれを直接判断することはできない。

災害発生のおそれは、過去の災害実績に基づいて設定した「基準」と比較して判断する必要がある。



インフラ整備状況は被害様態の変化として現れるので、過去の災害実績に基づいて設定した「基準」には、その効果が間接的に反映されている（整備の進んだ地域では基準が高くなる等。）

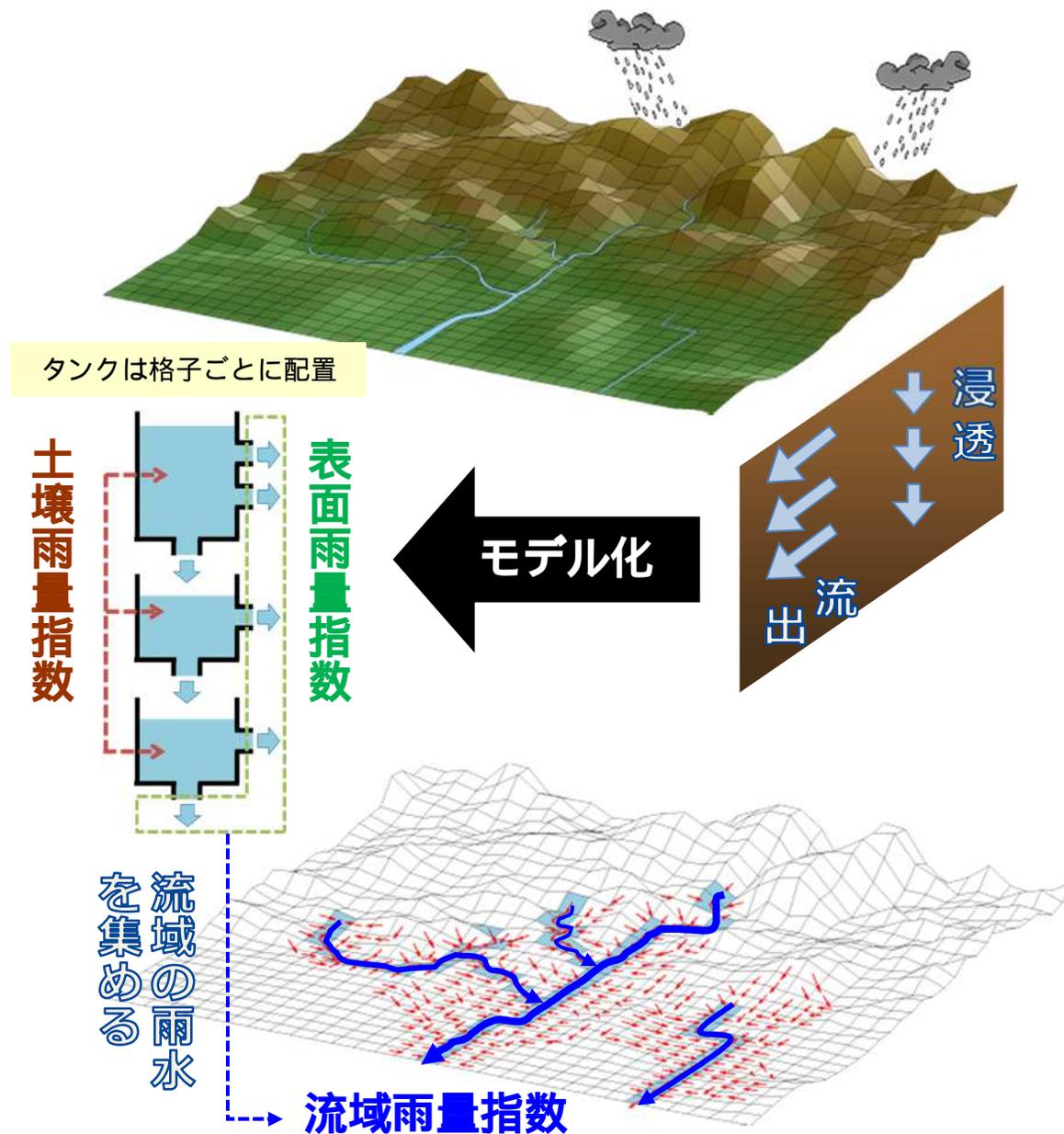
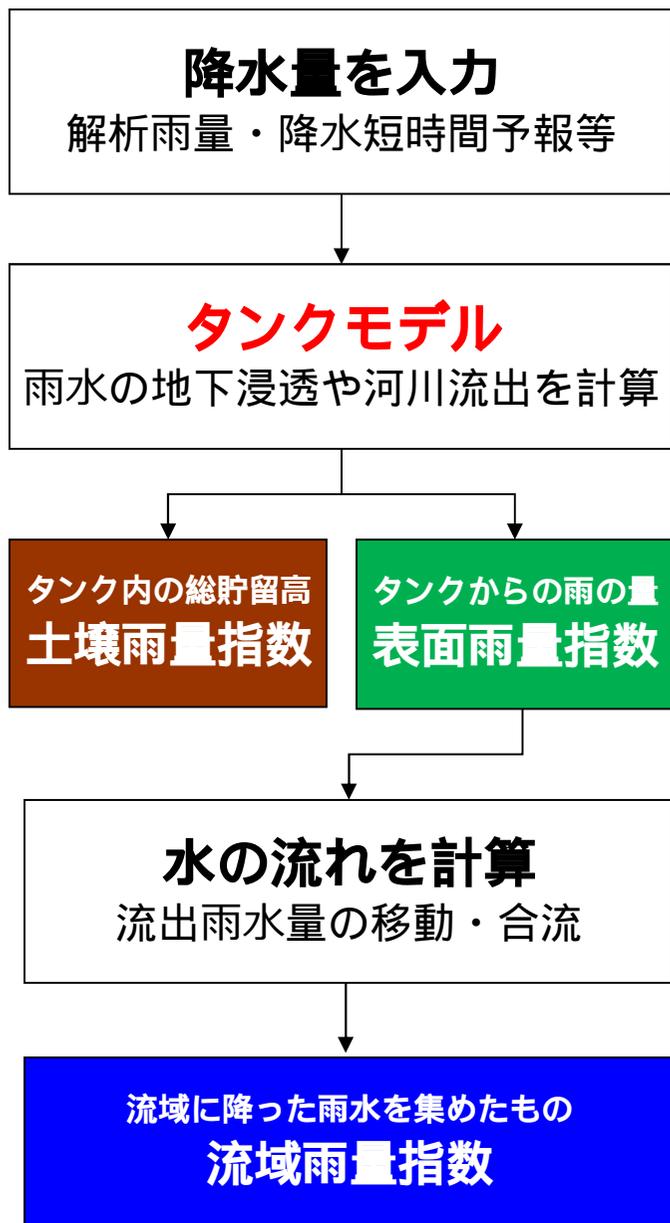
# 降雨から災害発生を予測するアプローチ



## 2 . 指数の計算の仕組みと利用上の留意点

---

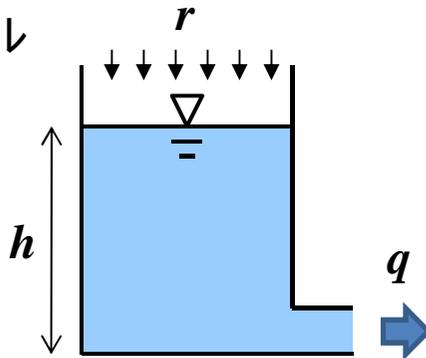
# タンクモデルと3つの指数



# タンクモデルの原理

流域を幾段か（3段や4段の例が多い）のタンクにおきかえ、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 河川流出」「底穴からの流出 より深層への浸透」になぞらえたモデル

タンクモデル  
基本形



タンク流出  $q = Rh$

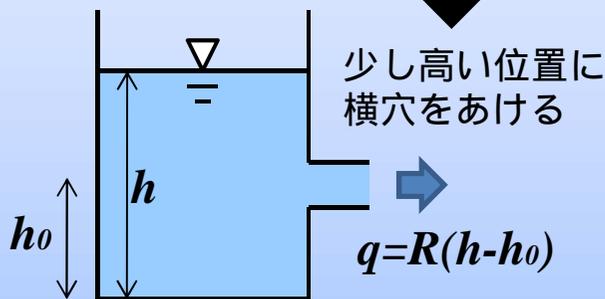
連続の式  $r - q = dh/dt$

$R$ : 穴の比例定数

$h$ : タンク水位

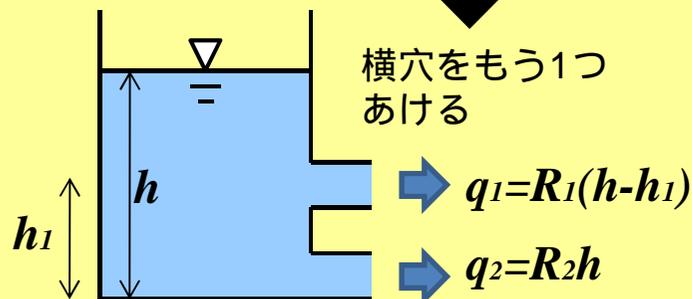
$r$ : 降雨

はじめに降った雨は目に見えた流出にならないことが多い



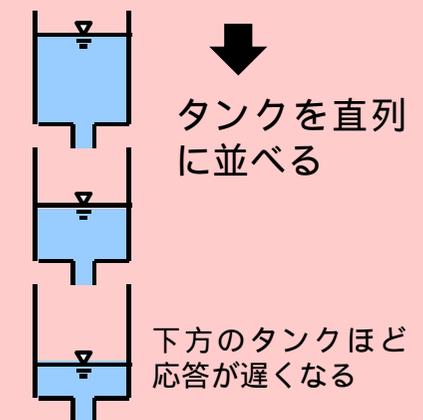
初期損失タンクモデル

洪水はある程度の雨が降った後、どっと出てくることが知られている



流出の非線型効果の再現

流出の遅れの効果

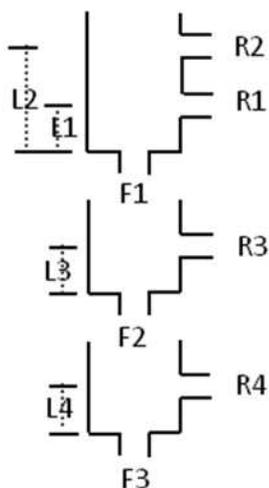


直列タンクモデル

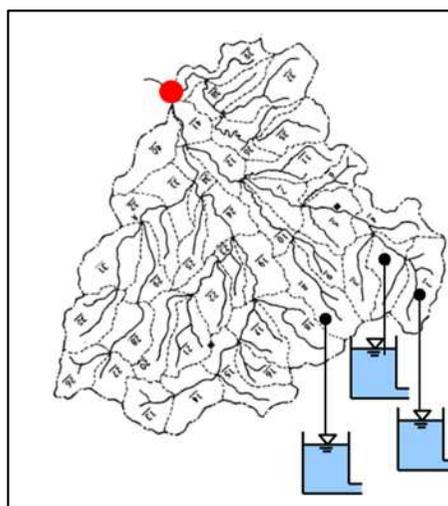
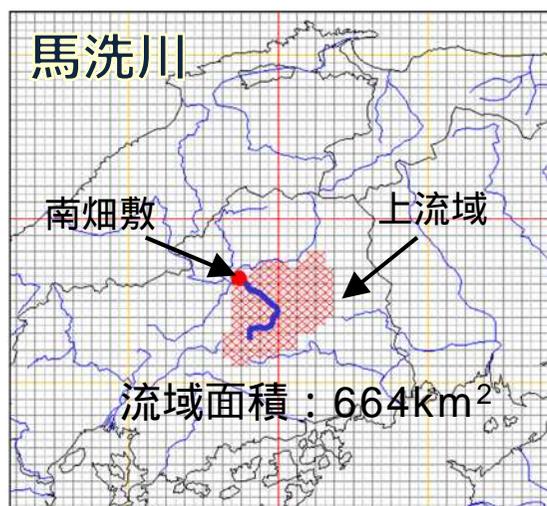
# 直列 3 段タンクモデル

土壌雨量指数で使用。表面雨量指数・流域雨量指数では主に山地地域で使用。

## 直列三段タンクモデルと石原・小葉竹の5種類のパラメータ



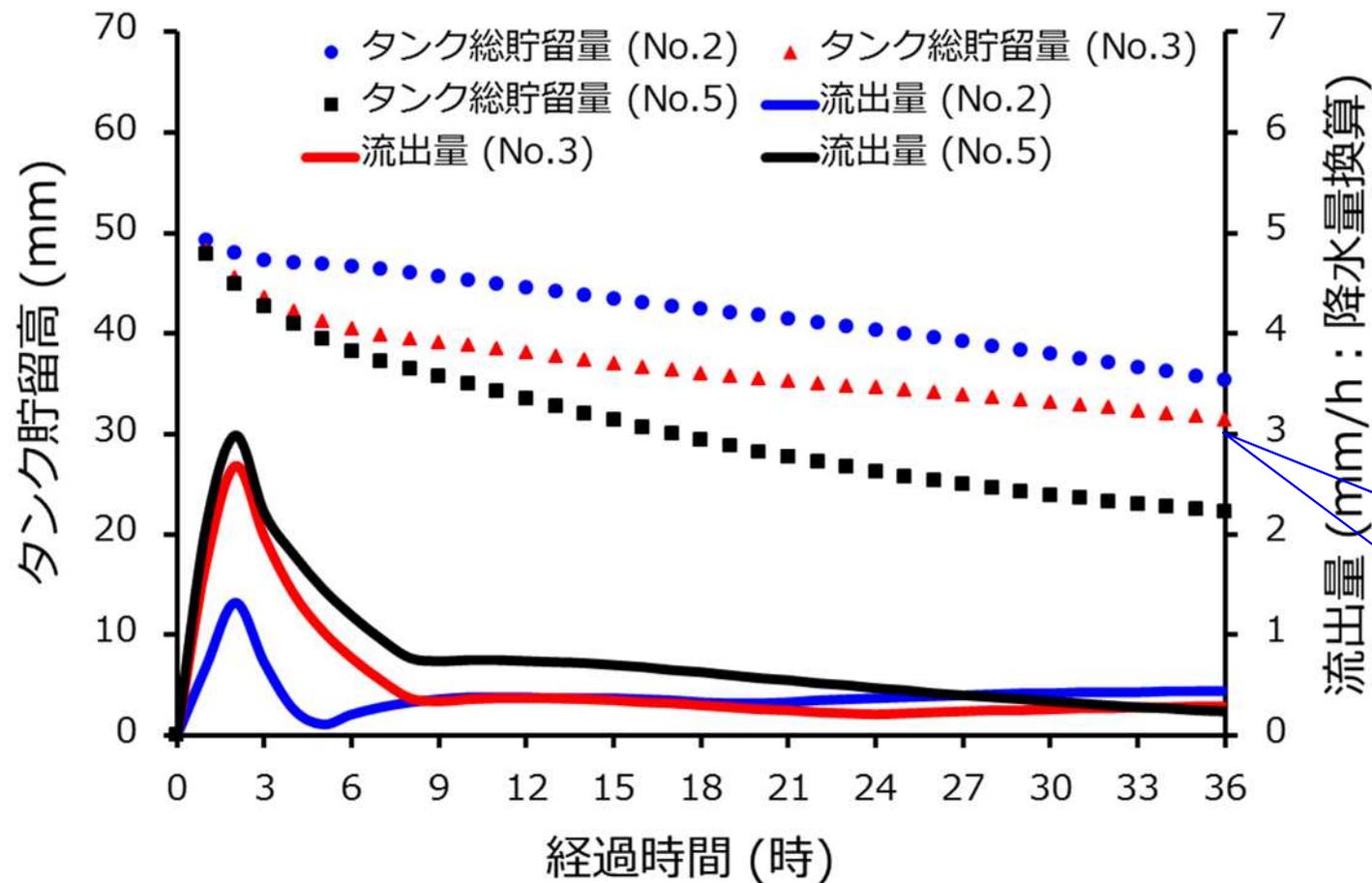
No.	河川名 (地域)	地質 (特性)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	F1 (hr <sup>-1</sup> )	F2 (hr <sup>-1</sup> )	F3 (hr <sup>-1</sup> )	R1 (hr <sup>-1</sup> )	R2 (hr <sup>-1</sup> )	R3 (hr <sup>-1</sup> )	R4 (hr <sup>-1</sup> )
1	筑後川 (小平)	安山岩・凝灰岩 (透水性大)	40	75	15	15	0.12	0.08	0.01	0.10	0.15	0.05	0.01
2	馬洗川 (南畠敷)	花崗岩	30	60	15	15	0.12	0.08	0.01	0.10	0.15	0.05	0.01
3	木津川 (月ヶ瀬)		15	60	15	15	0.12	0.05	0.01	0.10	0.15	0.05	0.01
4	長良川 (美濃)	第三紀層 (透水性小)	30	75	5	15	0.12	0.04	0.01	0.10	0.15	0.05	0.01
5	夕張川 (清幌橋)		15	40	5	15	0.12	0.04	0.01	0.10	0.15	0.05	0.01



- ◆ 水位観測地点の上流域をさらに小流域（約16km<sup>2</sup>）に分割
- ◆ 小流域ごとにタンクを設置し、最下流にあたる観測点の水位を再現するようなパラメータを設定

# 直列3段タンクモデルの特性 ~パラメータによる違い~

1時間に50mmの雨を与えた場合のタンク総貯留量と流出量



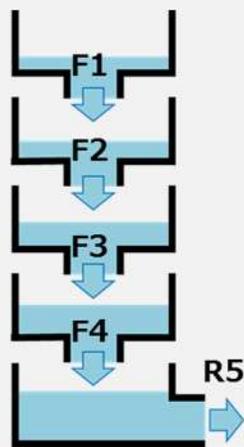
➡ 浸透・貯留・流出は、流域ごとにその振る舞いが異なる

# 5 段タンクモデル

表面雨量指数・流域雨量指数において、主に都市域で用いるタンクモデル

## 都市域用の5段タンクモデル

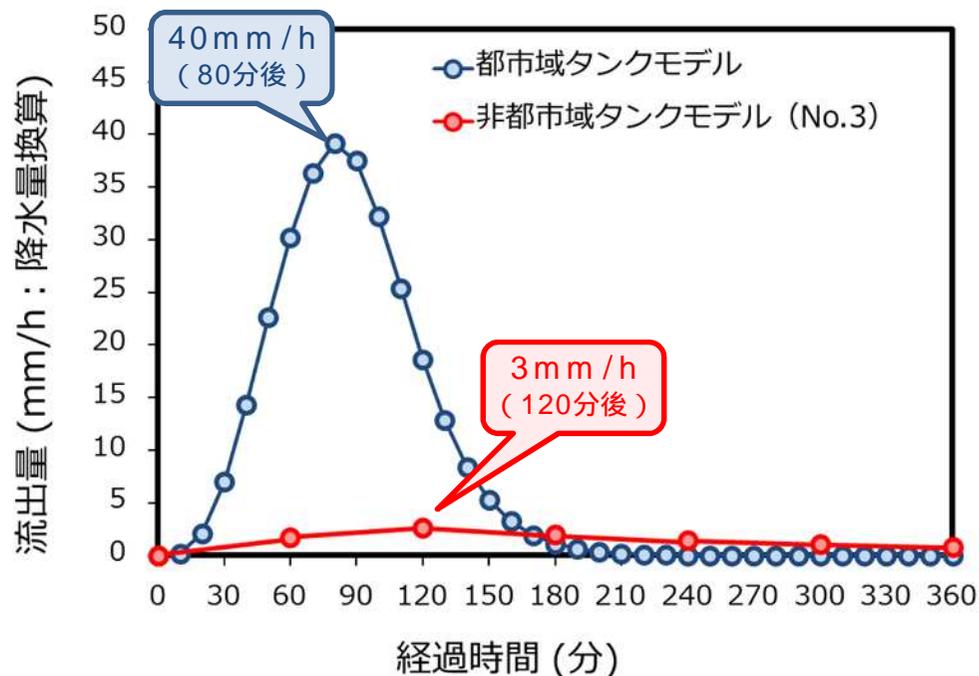
- タイムステップは1分
- 対象領域は1km四方
- 各係数F1~F4及びR5は同じ値
- 係数は傾斜に応じて異なる



5 段タンクモデルは、降った雨が地表面を流れ下るのに要する時間（降雨ピークに対して20~30分程度の時間遅れ）を表現できるように、タンクを直列に5つ並べたものである。

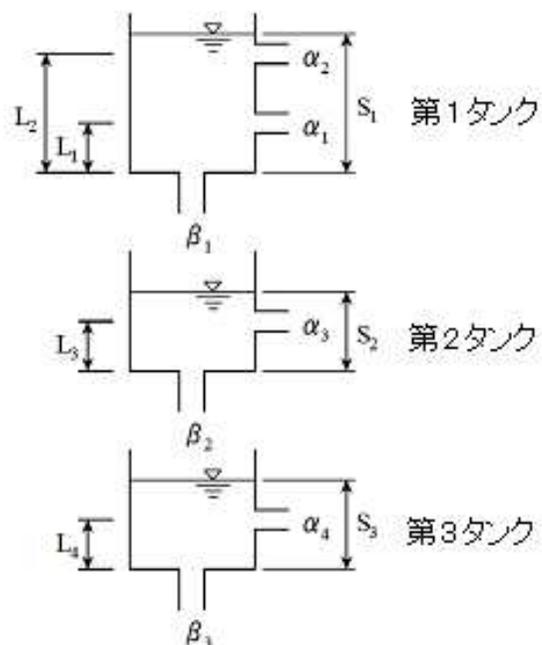
5段タンクモデルだからといって、直列3段タンクモデルよりもさらに深層への浸透を表しているというものではない。

1時間に50mmの雨を与えた場合の流出量



都市域で用いる5段タンクモデルは、非都市域の3段タンクモデルより流出が速く、ピークは10倍以上も大きい

土壌雨量指数は、直列3段タンクモデルの各タンクの貯留高の和 (  $S_1 + S_2 + S_3$  )。  
 タンクパラメータは全国統一で、Ishihara & Kobatake(1979) の No.3 を用いている。



各タンクの貯留高 (  $S_i : i = 1, 2, 3$  ) の計算式

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

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

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

ここで、時間刻み  $\Delta t$  は10分とし、 $R$  は1時間雨量を1/6したものである。

各タンクの側面孔からの流出量 (  $q_i : i = 1, 2, 3$  ) は以下の通り。

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

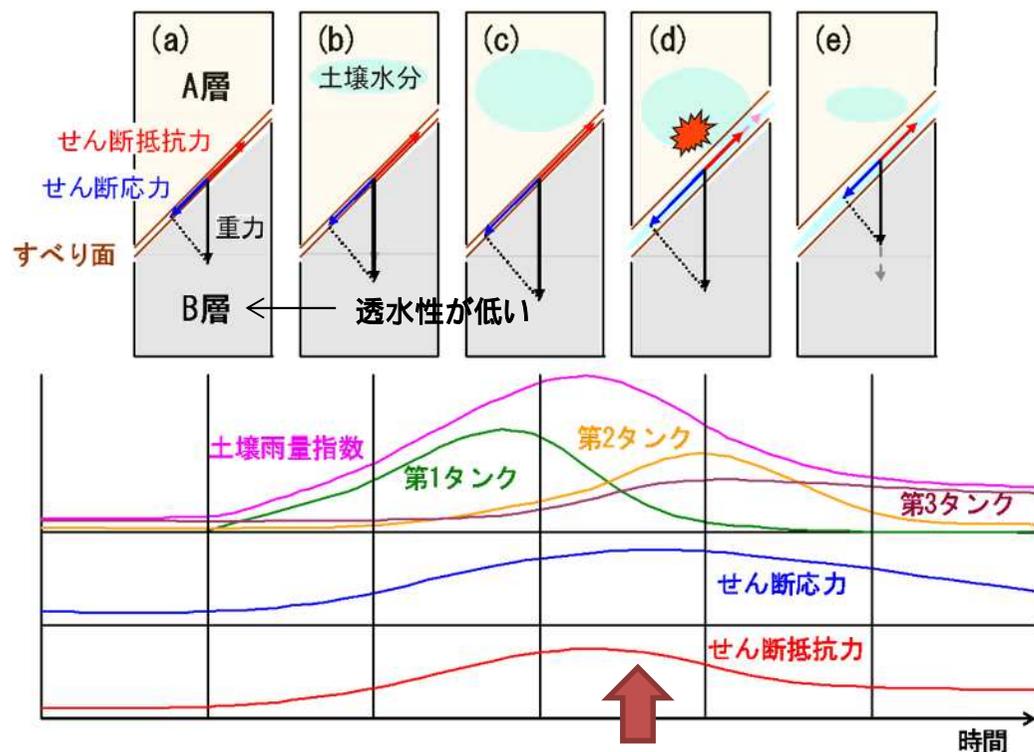
$$q_2(t) = \alpha_3 \{ S_2(t) - L_3 \}$$

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

## スペック

格子の間隔	0.05度(緯度)×0.0625度(経度)	約5km四方格子の大きさ
入力雨量・予報時間等	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 実況解析 ( <b>解析雨量</b> を入力 )</li> <li>● 6時間後までの1時間毎の予想 ( <b>降水短時間予報</b> を入力 )</li> </ul>	
作成頻度	30分毎 ( 実況の解析時刻、予想の初期時刻とも毎時00分と30分 )	

## 斜面崩壊発生メカニズムとタンク貯留高（土壌雨量指数）との関係



土壌水分の影響により、  
斜面を支える力が弱まる

### 斜面崩壊発生メカニズム

斜面崩壊は、せん断応力とせん断抵抗力のバランス問題。

雨が降って土壌水分が増えると、せん断応力が増大する。

土壌水分がすべり面に達すると、次第に飽和に近づく。飽和した土壌水分が水圧となって、せん断抵抗力を減少させる。

せん断抵抗力 < せん断応力となった時、斜面崩壊が発生する

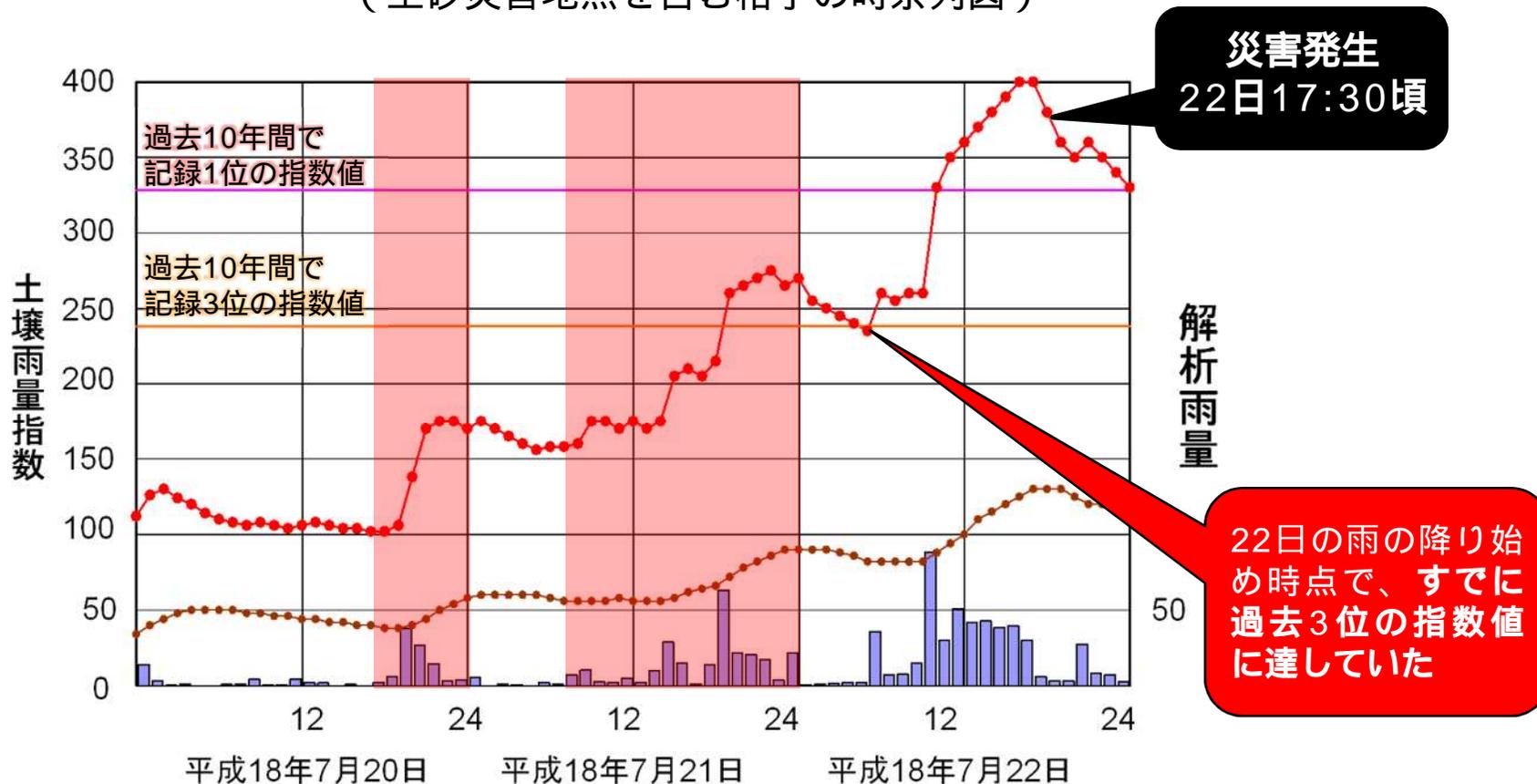
### 斜面崩壊と土壌雨量指数の関係

土壌雨量指数は3つのタンク貯留高の合計であり、崩壊するA層にしみこんでいる水分量をイメージしたものである。

この土壌水分量の重さが、せん断応力の増大に対応している。

# 土壌雨量指数の特徴

平成18年7月豪雨 における鹿児島県伊佐市（旧菱刈町）の雨量と土壌雨量指数  
（土砂災害地点を含む格子の時系列図）



タンクモデルにより「先行降雨」の影響を適切に反映することができる

平成18年7月豪雨・・・梅雨前線による大雨により、長野県、鹿児島県を中心に土砂災害や浸水害が発生し、死者が長野県で12名、鹿児島県で5名など、甚大な被害が生じた。

## 地質の違いを考慮していない

土砂災害の発生には、大雨の程度（土壌水分量）に加え、地質の違いが大きく影響するが、土壌雨量指数では地質の違いを考慮していない。タンクモデルのパラメータは全国全てのメッシュで同一のもの（Ishihara & Kobatake(1979)のNo.3）を用いている。

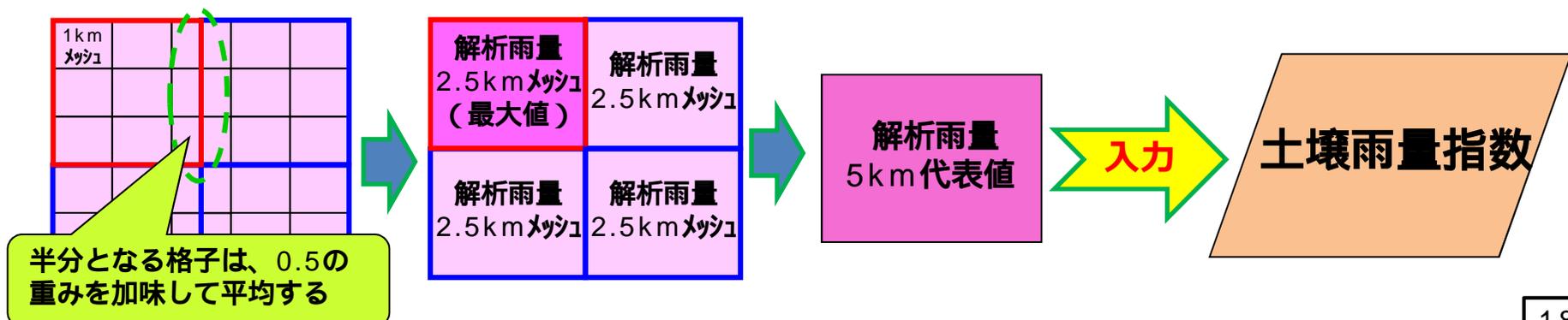
地質の違いといった素因の影響は、過去の災害との比較により基準値を設定する際に、結果的に**基準値に反映される**。土壌雨量指数の値そのものだけを用いるのではなく、**警報等の基準による判定結果とセットで活用**することが重要。

## 5kmメッシュ内の降雨状況の違いを考慮していない

現在の解析雨量は1km格子であるが、過去の解析雨量が5km格子や2.5kmであったことやレーダー観測の精度に起因する解析雨量の解析誤差等を考慮し、土壌雨量指数のタンクモデルに入力する雨量は、5km格子に変換したものをを用いている。

個々の斜面の危険度を表すものではなく、**5km格子という一定領域内における平均的な土砂災害の危険度を表す指標である**ことに留意。

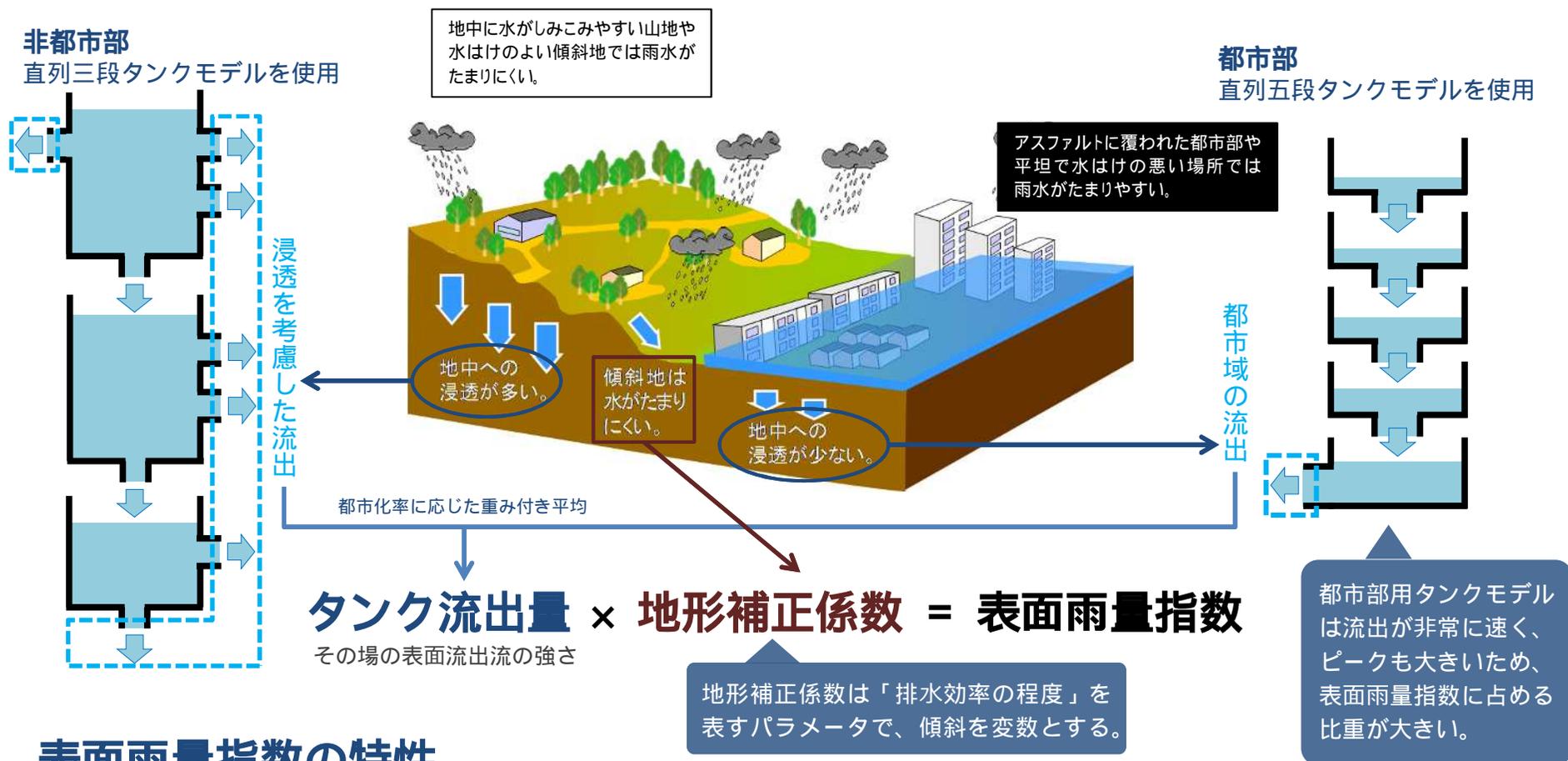
現在、土壌雨量指数の1km化についても検討を進めている。入力雨量と格子サイズが揃うことで、降雨分布に応じた指数が得られるようになり、災害との関連性がより明確になることが期待される。



# 表面雨量指数

～計算概要～

定義は「タンクモデルで算出した1時間流出量に地形補正係数を乗じたもの」。  
1時間流出量は流域面積で割って「流出高」として算出（単位は[mm/h]）。  
降った雨の地表面でのたまりやすさを、表面流出流の強弱により表現することをイメージ。



## 表面雨量指数の特性

平坦な場所や都市域で大きな値を示す傾向がある。  
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。

## 250m格子ごとに計算

- 局地的な地形の凹凸（傾斜）や地表面の被覆状況（都市化率）を反映。
- ただし最終出力は1km格子（250m格子の最大値）。

## 集水域を考慮

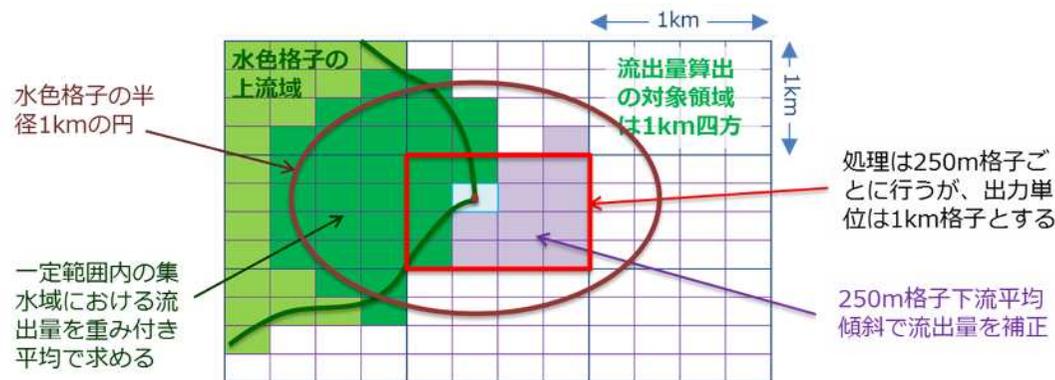
- 流出量算出において上流域（集水域）の降雨を考慮。
- 対象領域を格子単位ではなく、一定範囲内の集水域（100m格子で定義）とする（上図の緑格子）。

## 下流平均傾斜

- 排水効率を的確にあらわすパラメータとなるよう、地形補正係数の変数には、対象地点よりも下流側の格子のみ（標高が自格子以下のみ）を対象とした「下流平均傾斜」を用いる。

## スペック

格子の間隔	0.0083度(緯度)×0.0125度(経度)	約1km四方格子の大きさ
入力雨量・予報時間等	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 実況解析（<b>解析雨量</b>を入力）</li> <li>● 1時間後までの10分毎の予想（<b>降水ナウキャスト</b>を入力）</li> <li>● 6時間後までの1時間毎の予想（<b>降水短時間予報</b>を入力）</li> </ul>	
作成頻度	実況の解析時刻、降水ナウキャストによる予想は10分毎 降水短時間予報による予想は30分毎	



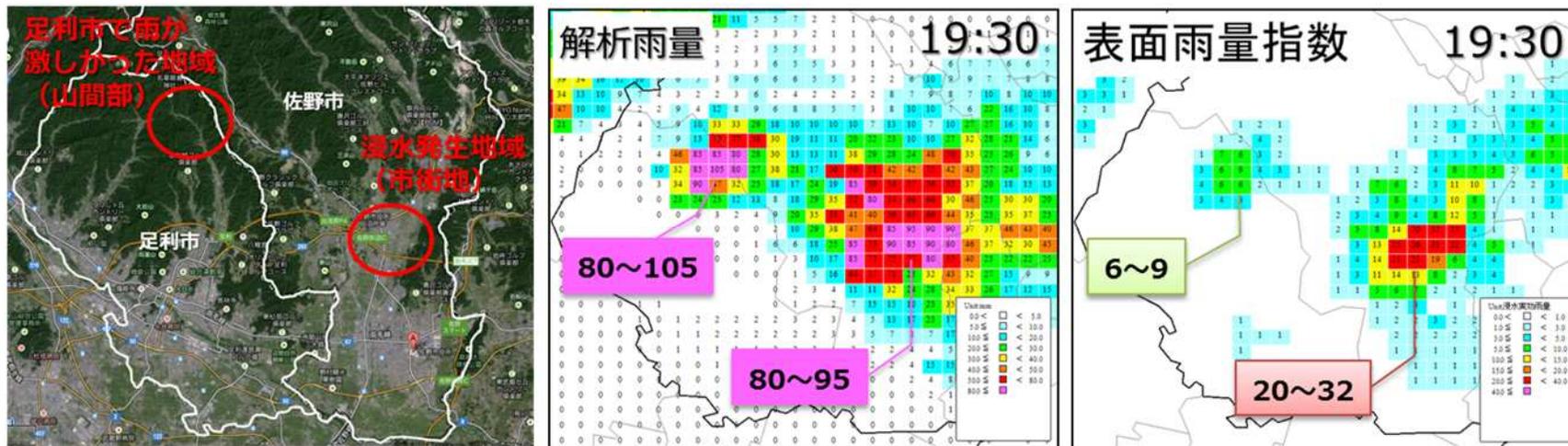
## 下水道や排水ポンプの整備状況等は考慮していない

浸水害の発生には、大雨の程度に加え、下水道や排水ポンプの整備状況が大きく影響するが、表面雨量指数ではそれらを考慮していない。

これらの要素は、過去の災害との比較により基準値を設定する際に、結果的に**基準値に反映される**。表面雨量指数の値そのものだけを用いるのではなく、**警報等の基準による判定結果とセットで活用**することが重要。

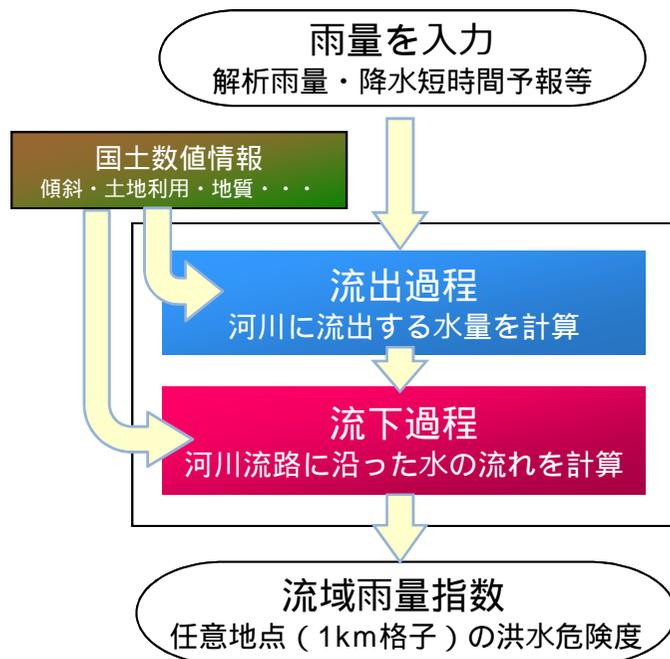
# 表面雨量指数の特徴 ～浸水地域の絞り込み～

2014年6月23日栃木県足利市・佐野市で時間100ミリ前後の大雨  
佐野市では床上2件、床下3件等の浸水被害が発生（足利市は被害報告なし）



- 同じ100ミリ前後の猛烈な雨が降っても、山間部で降った足利市では浸水害の報告はなく、市街地で降った佐野市では浸水害が発生した。
- 表面雨量指数は、都市化率や傾斜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（足利市）で大きな値にならず、市街地（佐野市）で大きな値が算出される。
- 表面雨量指数を大雨警報（浸水害）の指標に用いることで、足利市で不要な警報を発表する必要がなくなる。

国土数値情報に登録されている河川（全国で約21,000河川）が対象。  
河川の上流域に降った雨水が、地表面や地中を通して河川に流れ出し、河川に沿って流れ下る量を数値化したもの。  
河川の形状や計算に必要なパラメータは、実際に即したのではなく仮定に基いている。また、ダムや堰等による人為的な流量調節の効果も考慮していない。  
したがって、流域雨量指数は実際の河川の水位や流量をあらわすものではなく、特定地点の上流域に降った雨の量による洪水リスクの高まりを示すものとして、過去の災害発生時との比較から危険度を判定して洪水警報に活用している。

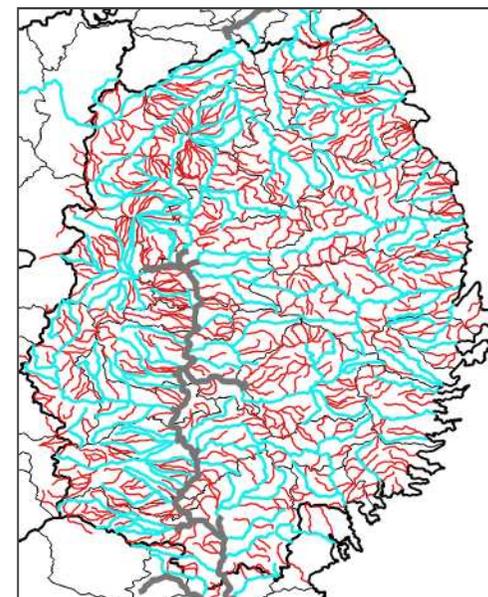


上記計算から河川の流量に相当する値が算出されるが、その平方根を流域雨量指数としている。

# 流域雨量指数の計算スペック

対象河川	<ul style="list-style-type: none"><li>国土数値情報に登録されている、全国約21,000河川 (ただし、指定河川は危険度分布の表示対象外)</li></ul>
流出計算	<ul style="list-style-type: none"><li>都市域：5段タンクモデル(1kmメッシュ、タイムステップ1分)</li><li>非都市域：3段タンクモデル(1kmメッシュ、タイムステップ10分)</li><li>計算格子数は約38万格子</li></ul>
河道計算	<ul style="list-style-type: none"><li>1次元不定流モデル(マンニングの平均流速公式+連続の式)</li><li>河川流路に沿って、1kmメッシュをさらに6分割した区間毎に計算 (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)</li></ul>
予報時間 (入力雨量)	<ul style="list-style-type: none"><li>実況解析(解析雨量を入力)</li><li>1時間後までの10分毎の予想(降水ナウキャストを入力)</li><li>6時間後までの1時間毎の予想(降水短時間予報を入力)</li></ul>
計算頻度	<ul style="list-style-type: none"><li>実況の解析時刻、降水ナウキャストによる予想は10分毎</li><li>降水短時間予報による予想は30分毎</li></ul>

## 岩手県の計算対象河川 (855河川)



水色：H29年6月までの対象河川  
(長さ15km以上)

赤色：H29年7月以降の対象河川  
(全ての河川)

灰色：洪水予報河川の予報区間  
(洪水警報の対象外)

流域雨量指数の計算には

ダムや堰、水門等の人為的な流水の制御は考慮していない。

潮位の影響は反映されない。

水位や流量による実況補正の処理は行っていない。

本川と支川の合流点付近では、本川の水位が高いときには支川から流れ込みにくくなるが、流域雨量指数はこれを反映しない。

流域雨量指数 ⇨ 実際の水位、流量を推計したものではなく、降った雨が下流の地域へどの程度影響するかを指数化したもの。

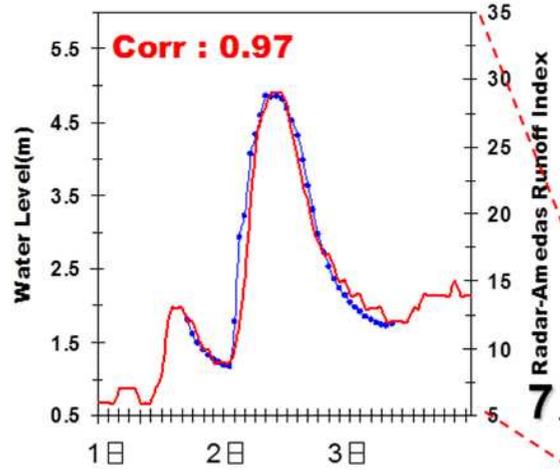
流域雨量指数の計算に考慮されない事項は、基準値設定により補われ、当該基準値との比較により災害発生のおそれを判断し、警報発表に活用している。

# 流域雨量指数の特徴 ~河川水位との相関~

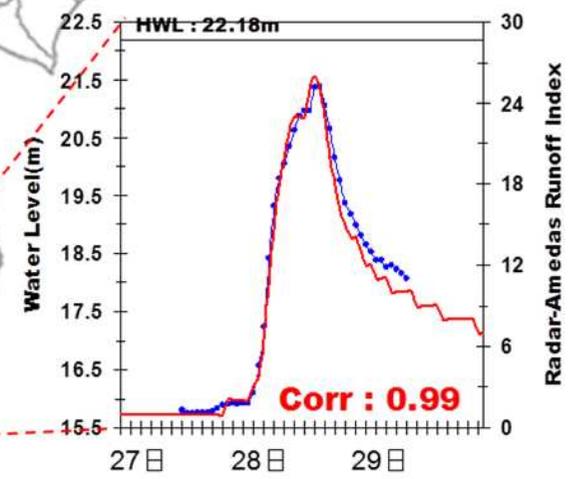
2005年の豪雨事例

赤：指数  
青：水位

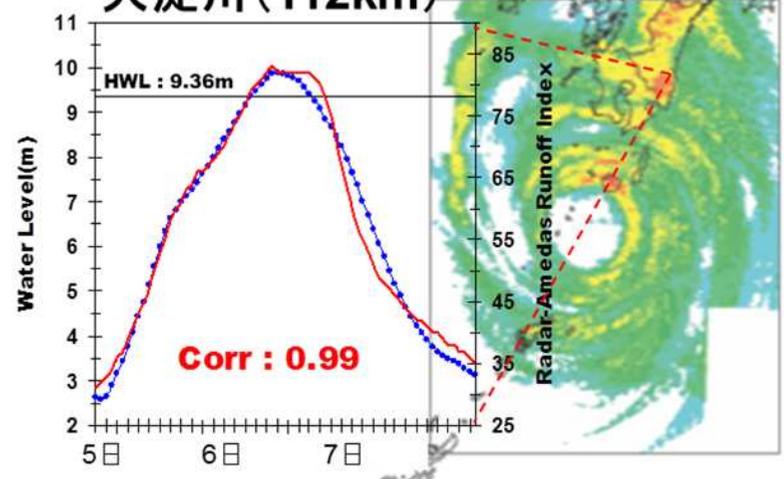
各グラフは、ピーク時刻の水位と指数が一致するように縦軸を調整して描いた



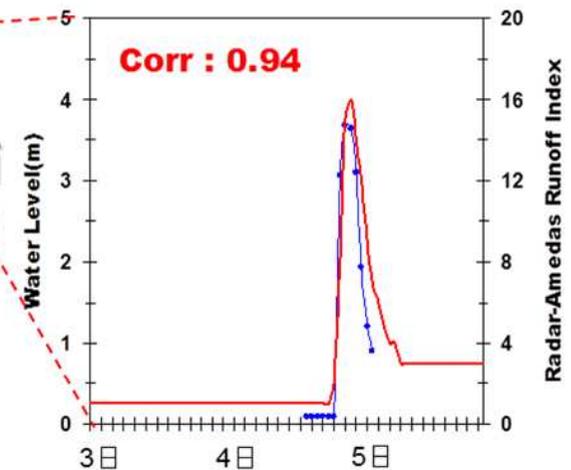
6月28日梅雨前線  
鯖石川 (46.2km)



台風第14号  
大淀川 (112km)



9月4日豪雨  
神田川 (26.4km)



雨の降り方・河川の大小を問わず、水位変化との相関が高い (ピーク時刻・変化傾向が一致)

大淀川・島田川・神田川は洪水予報河川であり、洪水警報基準の設定対象ではない。ここでは、流域雨量指数の技術的な特徴を示すことを目的として取り上げた。

# 流域雨量指数の特徴 ~上流降雨の反映~

## 洪水警報の危険度分布（平成29年7月から提供）

2016年台風第10号の事例を検証したもの

### 平成28年8月30日昼過ぎ



上流側から危険度が高まる。

### 平成28年8月30日昼過ぎ



上流で「警戒」や「非常に危険」が出現！

### 平成28年8月30日夕方



下流でも「警戒」や「非常に危険」が出現。

### 平成28年8月30日夕方



上流で「極めて危険」が出現！

### 平成28年8月30日夜のはじめ頃



下流でも「極めて危険」が出現。

### 平成28年8月30日夜のはじめ頃



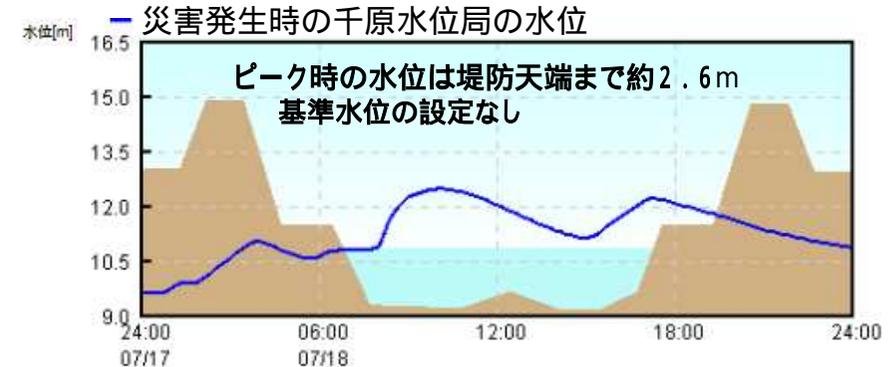
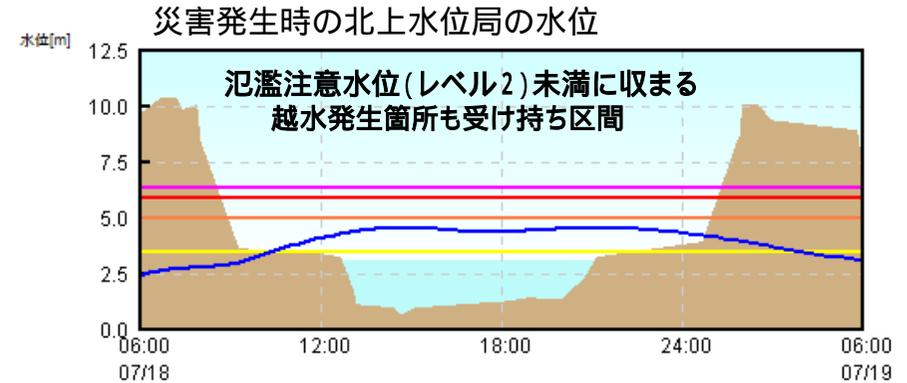
上流から危険度が徐々に低下。

任意の河川・地点における洪水の危険性及び警戒を要する時間帯を把握することができる。  
上流に降った雨が、支川を流れ下って徐々に下流に集まって伝播する様子が表現される。

# 流域雨量指数の特徴 ～水位計のない上流域での危険度把握～

H29.10.17 第3回 流域雨量指数に基づく水害危険性周知体制の確立に係る勉強会  
新潟県土木部河川管理課作成資料より

## 新潟県五泉市能代川の越水事例



- 越水地点の危険度は、7:40に薄い紫（3時間以内に基準 を超過する予想）が出現  
越水時刻の20分～1時間20分前
- 水位周知河川においても、河道断面が小さい上流部等で効果的

**水位計では捕捉できない危機を検知**

能代川は水位周知河川かつ水防警報河川

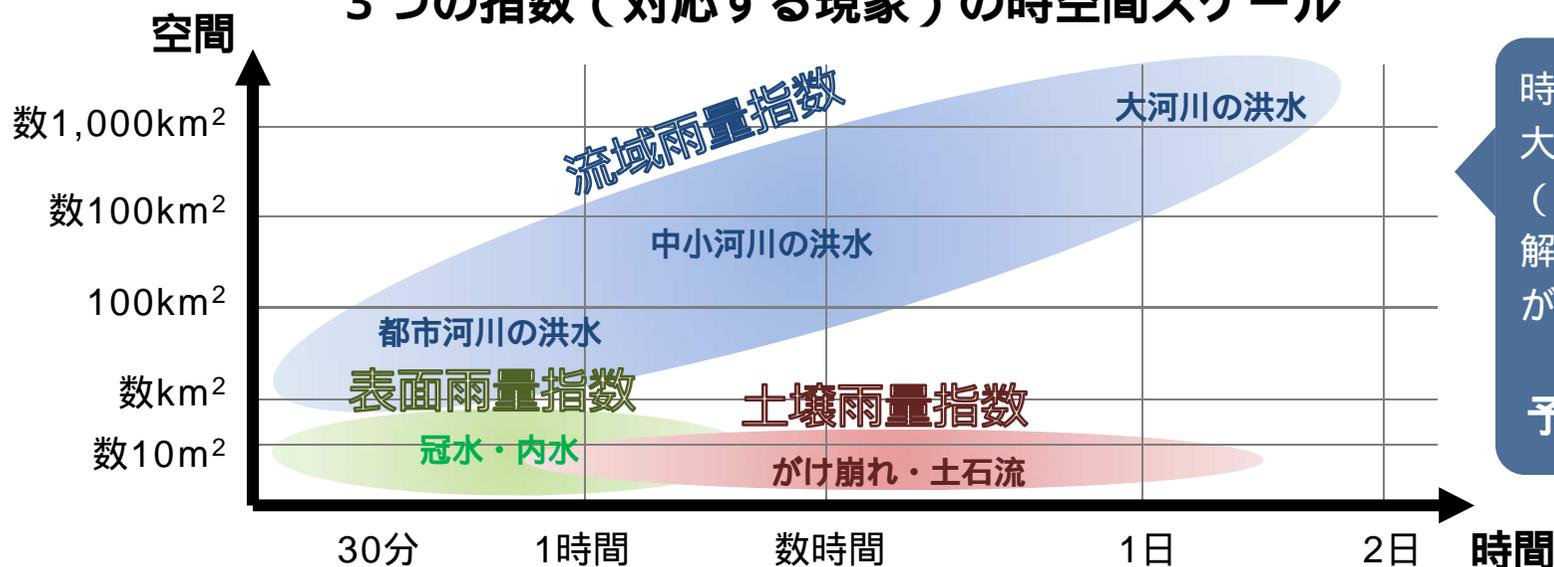
# 指数の時空間スケールと予測特性の関係

タンクモデルの入力に雨量予測値（降水短時間予報等）を与えることで指数の予測値を算出しているが、**指数の予測精度は**単純に雨量の予測精度に依存するのではなく、**指数の時空間スケールに密接に関連している。**

雨量予測値を入力した場合にもタンク内の水には過去に降った雨（解析雨量）も含まれる。したがってタンクモデルをベースとする3つの指数は、その**時間スケール（解析雨量の寄与率）**に応じて、**雨量よりも予測精度が高くなる**という特性がある。

流域雨量指数の場合は、タンクの時間的積算効果に加え、**流下にかかる時間効果（洪水到達時間）**も反映されるため、解析雨量の寄与率はさらに高まる。また、流域内であれば、**予想雨量の位置誤差もある程度吸収**することができる（これらは流域面積が大きい河川ほど、その効果が大きい）。

### 3つの指数（対応する現象）の時空間スケール

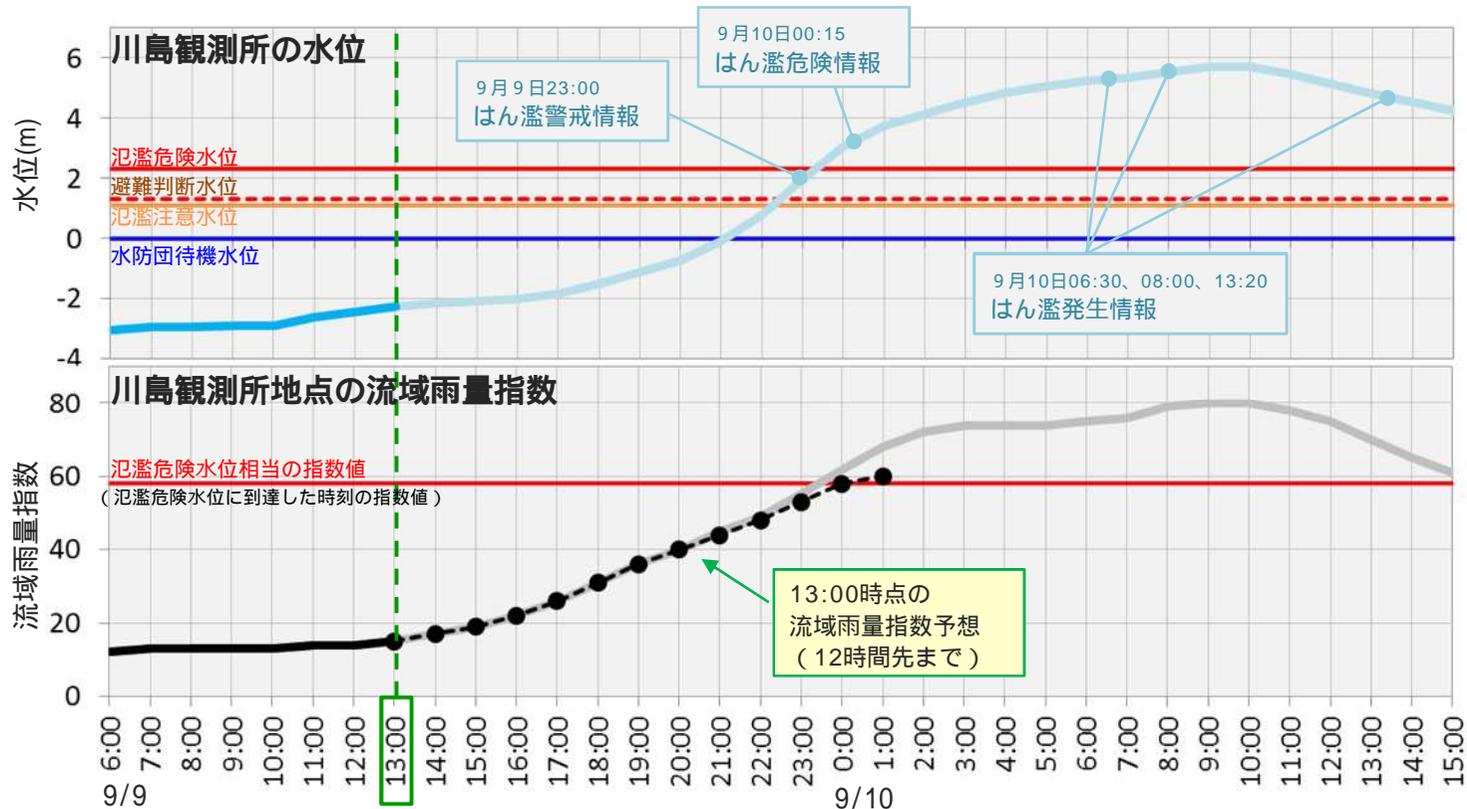


時空間スケールが大きくなるほど（図の右上ほど）解析雨量の寄与率が高くなる。

予測精度が高い

# 流域雨量指数の予測精度 大河川の例

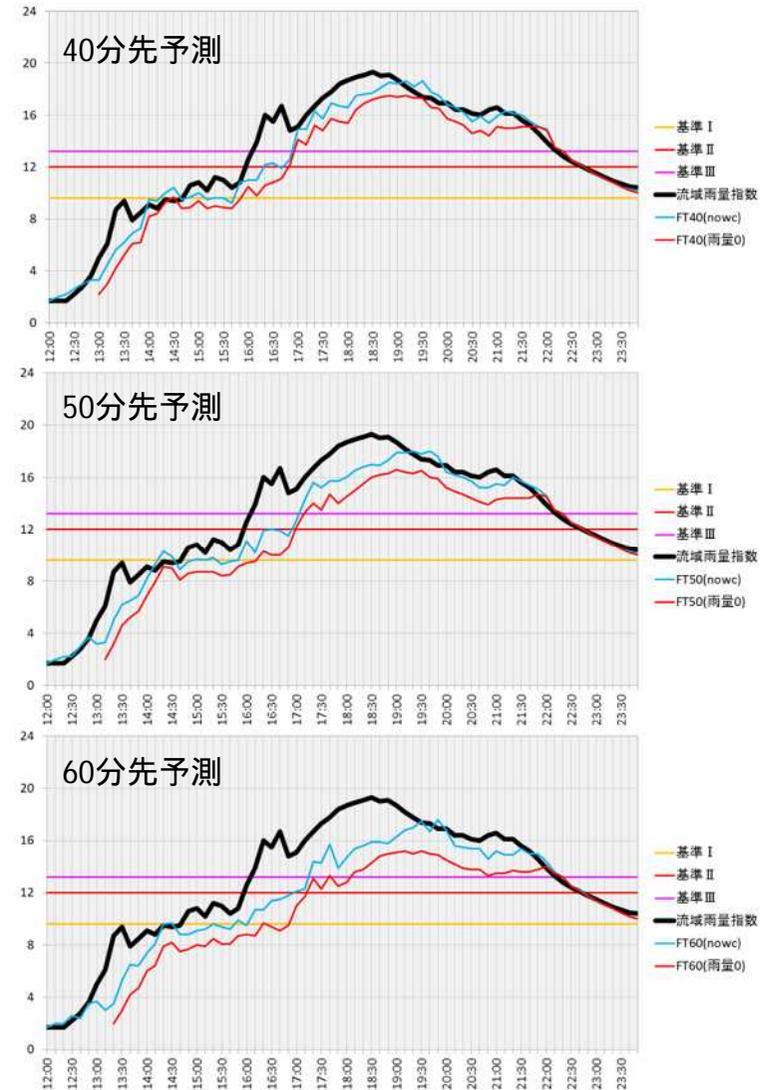
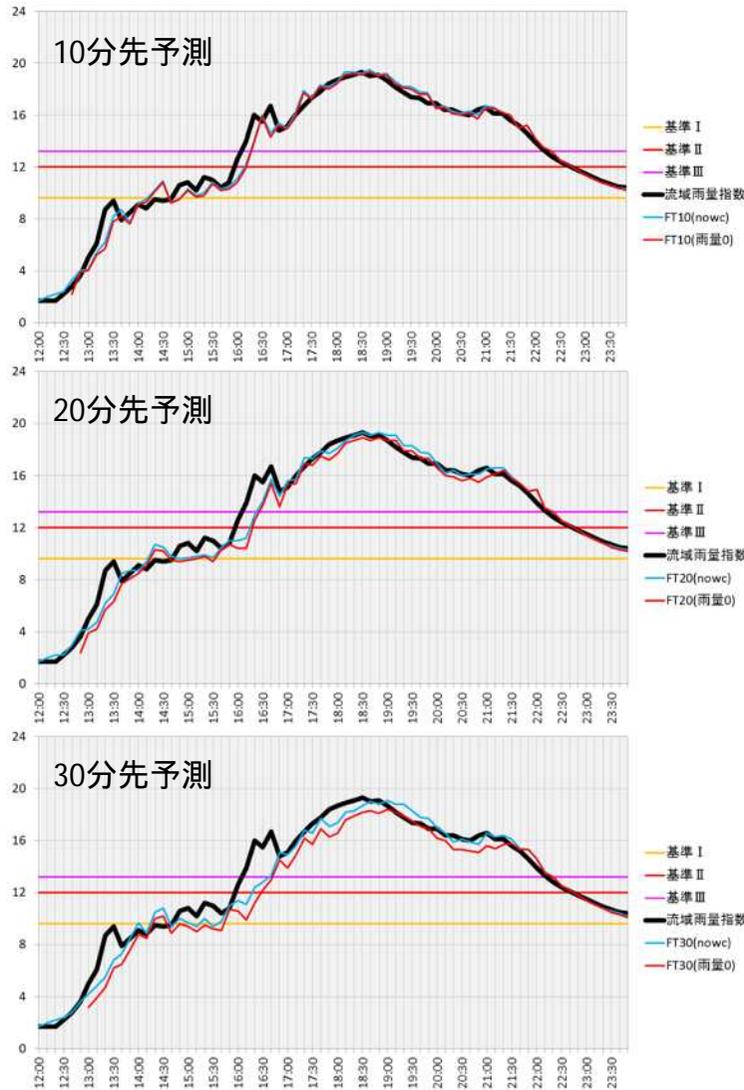
平成27年9月関東・東北豪雨：川島水位観測所の流域雨量指数予想



- 水位の実況と流域雨量指数の実況は、ピーク時刻・変化傾向が一致。
- 9日13時に、11時間先（翌日0時）の流域雨量指数が、氾濫危険水位相当の指数値を超えることを予想
- 上流に降った雨が該地点に流れ下るまでにはタイムラグがあるので、流域雨量指数予想には実績降雨の寄与が反映される。その影響は流域が大きいほど顕著で、流域雨量指数は大河川ほど予測精度が高い傾向にある。

鬼怒川は洪水予報河川であり、洪水警報基準の設定対象ではない。ここでは、流域雨量指数の技術的な検証を目的として取り上げた。

## 赤谷川の「ナウキャスト予測」と「予測雨量を0ミリとした場合のシミュレーション」

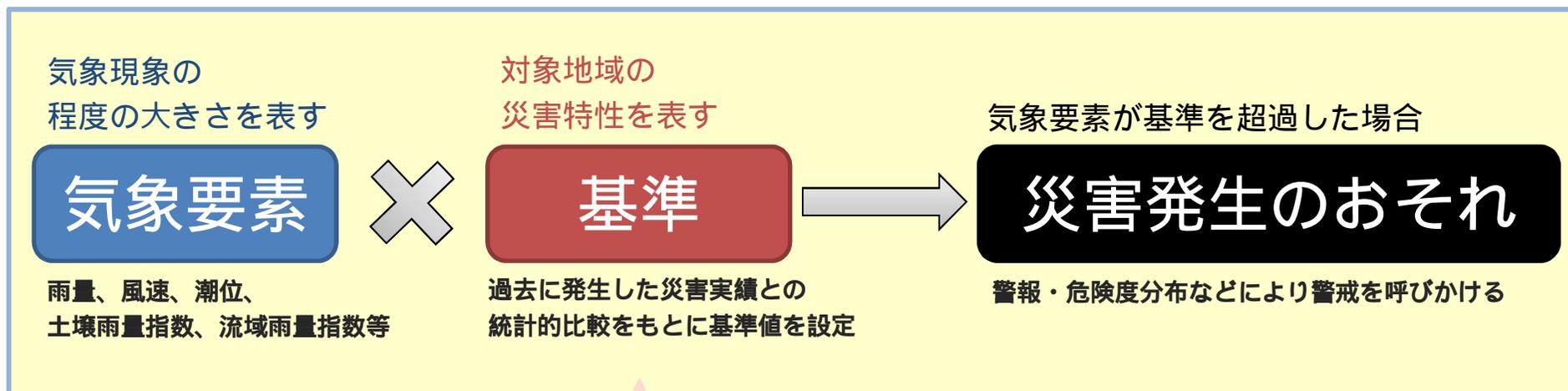


急激な水位上昇が特徴の山地の中小河川でも、20～30分程度は実況降雨が寄与

## 3 . 警報等の基準の設定方法

---

# 気象庁の発表する警報の基本的考え方



インフラ整備状況は被害様態の変化として現れるので、災害実績との対応から作成した基準には、その効果が反映される（整備の進んだ地域では基準が高くなる等。）

- 気象庁は、土壌雨量指数や流域雨量指数などの災害との対応の良い指数(気象要素)の開発に取り組んでいるが、指数(気象要素)の大きさだけで災害発生に結びつくかを直接判断することはできない。
- 指数(気象要素)による**災害発生のおそれは「基準」と比較して判断**する必要がある。



自治体や住民の方には、「指数」そのものの値ではなく、基準で判定した結果である「警報」や「危険度分布」を活用いただく

# 基準設定の考え方と大まかな流れ（浸水害と洪水害の例）

基準値は、過去20年分以上の災害発生 / 非発生時の指数値を統計的に調査して設定する。

インフラの整備状況は災害頻度や被害規模として現れるので、災害実績に基づき設定する基準値には、その効果が間接的に反映されている（ex. 整備が進む等の理由から過去に災害が発生していない地域では、基準値が高く設定される）。

下水道や河川堤防の整備状況などが違うため、同じ雨が降ったとしても災害の起こりやすさには地域差がある。基準値はその地域差を表現するものである。

基準値の妥当性は定期的に確認・評価（1年に1回、最新の災害資料等を追加して、災害との関係を精査）するとともに、必要に応じ、適切な基準値への見直しを行う。

## 災害資料の収集整理

- 「水害統計」等をもとに過去20年分以上の災害資料を整理。
- 自治体（都道府県）と協議のうえ、あらかじめ、警報や注意報の対象となる災害を定義しておく。

## 大雨事例の整理

- 調査期間における毎時の表面雨量指数と流域雨量指数を計算。
- 一雨ごとに災害と指数の値をとりまとめ、大雨事例ファイルとして整理する。

## 基準値案の作成

- 統計処理（コストロスモデル）により、基準値案を作成する。
- できるだけ少ない基準超過頻度で、多く対象災害を捕捉できるような基準値案を算出する。

## 基準値案の評価

- 災害捕捉率や適中率といった統計評価をもとに基準値案の妥当性を確認する。
- 基準値の妥当性は定期的に確認評価する。

# 土砂災害を対象とした基準

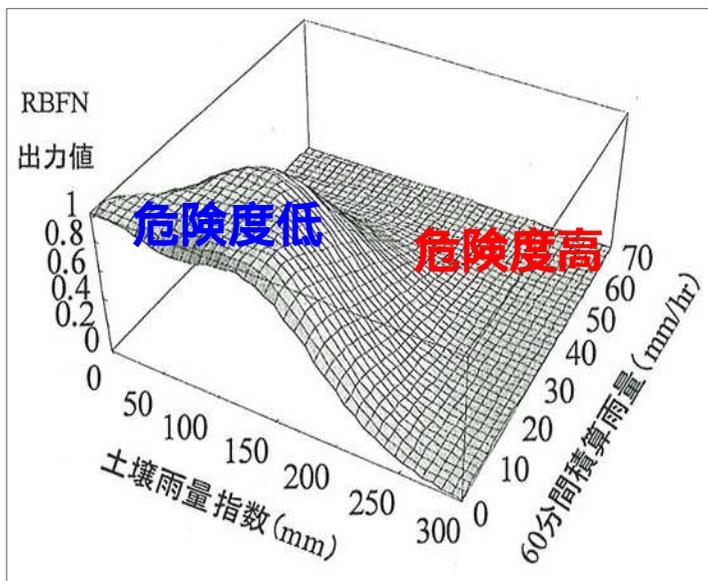
	基準作成の 対象とする災害	用いる指標	設定方法
土砂災害 警戒情報	<ul style="list-style-type: none"><li>土石流(注1)</li><li>集中的に発生する がけ崩れ(注2)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>土壌雨量指数</li><li>60分間積算雨量</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>RBFN (次頁で説明)</li></ul>
大雨警報 (土砂災害)	<ul style="list-style-type: none"><li>同上</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>土壌雨量指数</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>土砂災害警戒情報の基準の 1時間程度前に出現する指数値</li></ul>
大雨 注意報	<ul style="list-style-type: none"><li>すべての土砂災害</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>土壌雨量指数</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>大雨警報(土砂災害)の基準の 1時間程度前に出現する指数値</li><li>できるだけ多くの災害を捕捉 できるように設定</li></ul>

注1：土石流はすべて対象。

注2：がけ崩れは、5km四方格子で2箇所以上、あるいは気象予報区(市町村をまとめた地域)で5箇所以上など、都道府県の災害状況によって、対象とする災害抽出条件に差異がある。

# RBFNによる基準設定

## 降雨発現確率の応答曲面

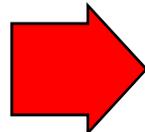


- RBFNとは、データ補間手法（有限個のデータから近似関数を導く）の1つで、Radial Basis Function Network（放射基底関数）の略。
- RBFNを用いて、有限個の降雨事例データから「非発生降雨の発現確率」を求め、その確率分布をもとに基準線を設定する。

平面上において、非発生降雨データが密な領域ではRBFN出力値が高く、疎らな領域ではRBFN出力値が低くなる。

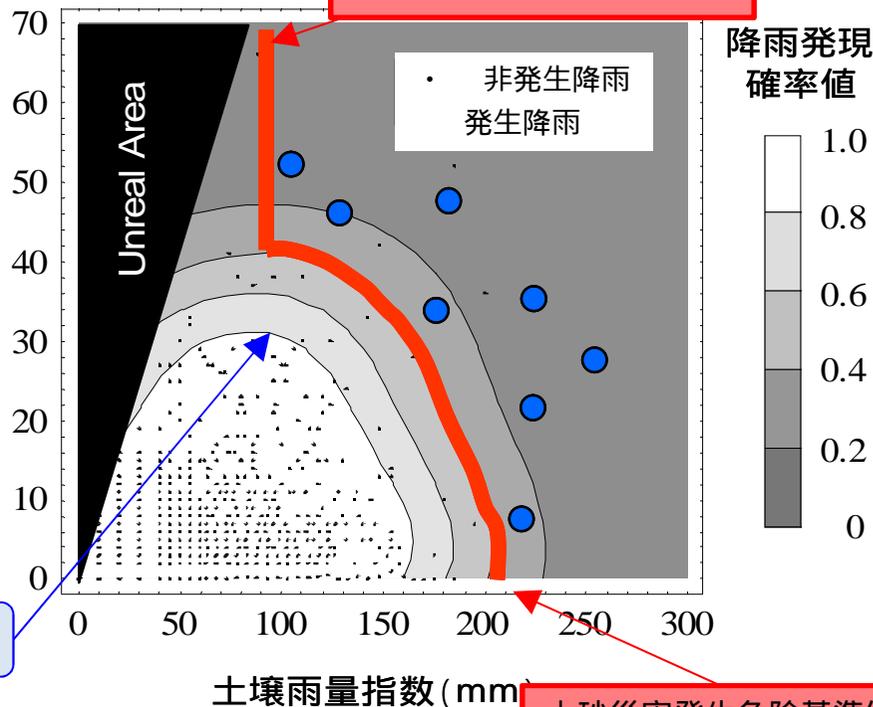
土壌雨量指数による下限値

2次元化



60分間積算雨量(mm/hr)

等RBFN出力値線

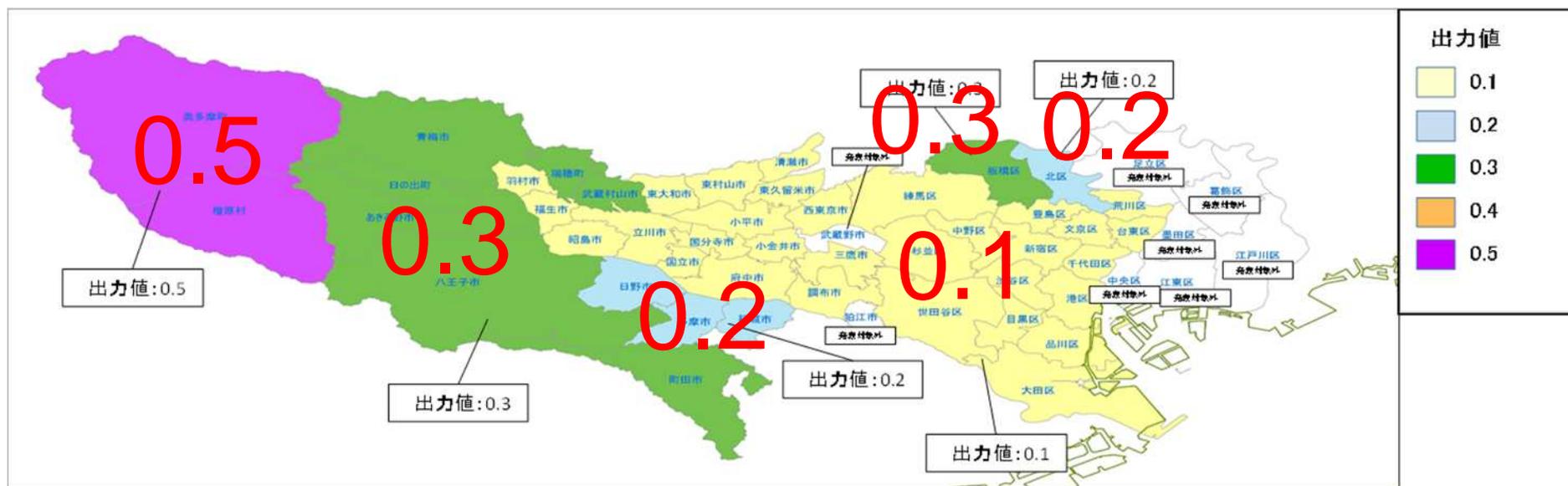


土砂災害発生危険基準線  
(Critical Line)

土砂災害発生危険基準線(Critical Line)は、発生降雨が存在せず、かつ、非発生降雨の上限付近のRBFN出力値を設定する。

これは「災害が発生しない降雨を何度も経験したから、ここまでは安全」という考え方に基づいている。

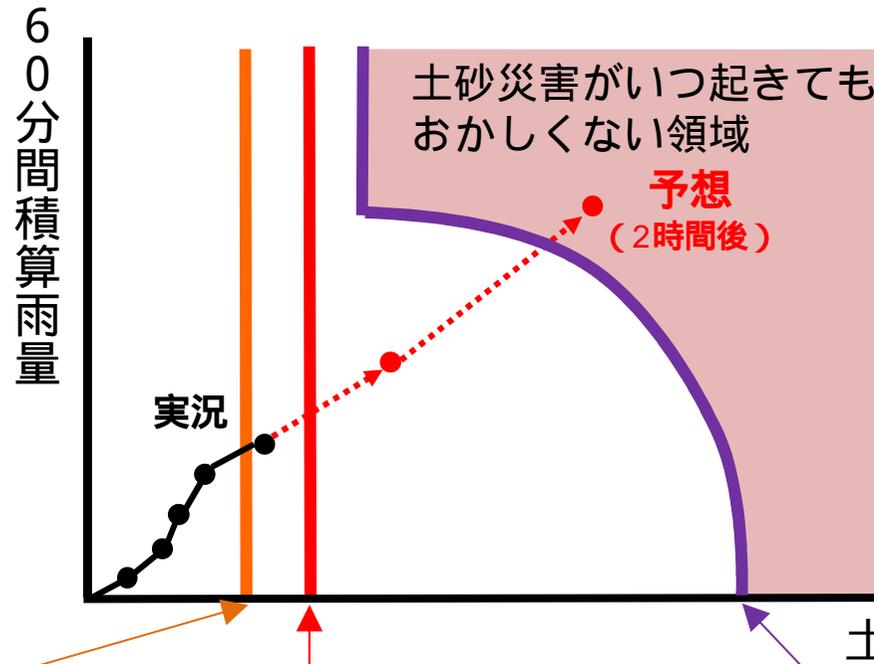
# 東京都におけるCL基準（等RBFN値）の設定例



上図は東京都土砂災害警戒情報に関する実施要領から抜粋。

東京都では、土砂災害警戒情報の基準を検討する際、RBFN出力値、土砂災害危険箇所の分布状況、地形条件、地質条件等を考慮し、グルーピング設定を行っている。

# 大雨警報(土砂災害)・大雨注意報の基準と運用ルール



スネークライン図は、刻々と変化する土壌雨量指数と60分間積算雨量の状態を一定時間毎につないだ線で、スネークラインが土砂災害警戒情報の基準線を超えると土砂災害の危険性が非常に高まっていることを示す。

大雨注意報の  
土壌雨量指数基準

大雨警報の  
土壌雨量指数基準

土砂災害警戒情報の  
判断基準(CL)

## 大雨注意報

大雨警報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基準に設定。

基準を超える2～6時間前に大雨注意報を発表。

## 大雨警報(土砂災害)

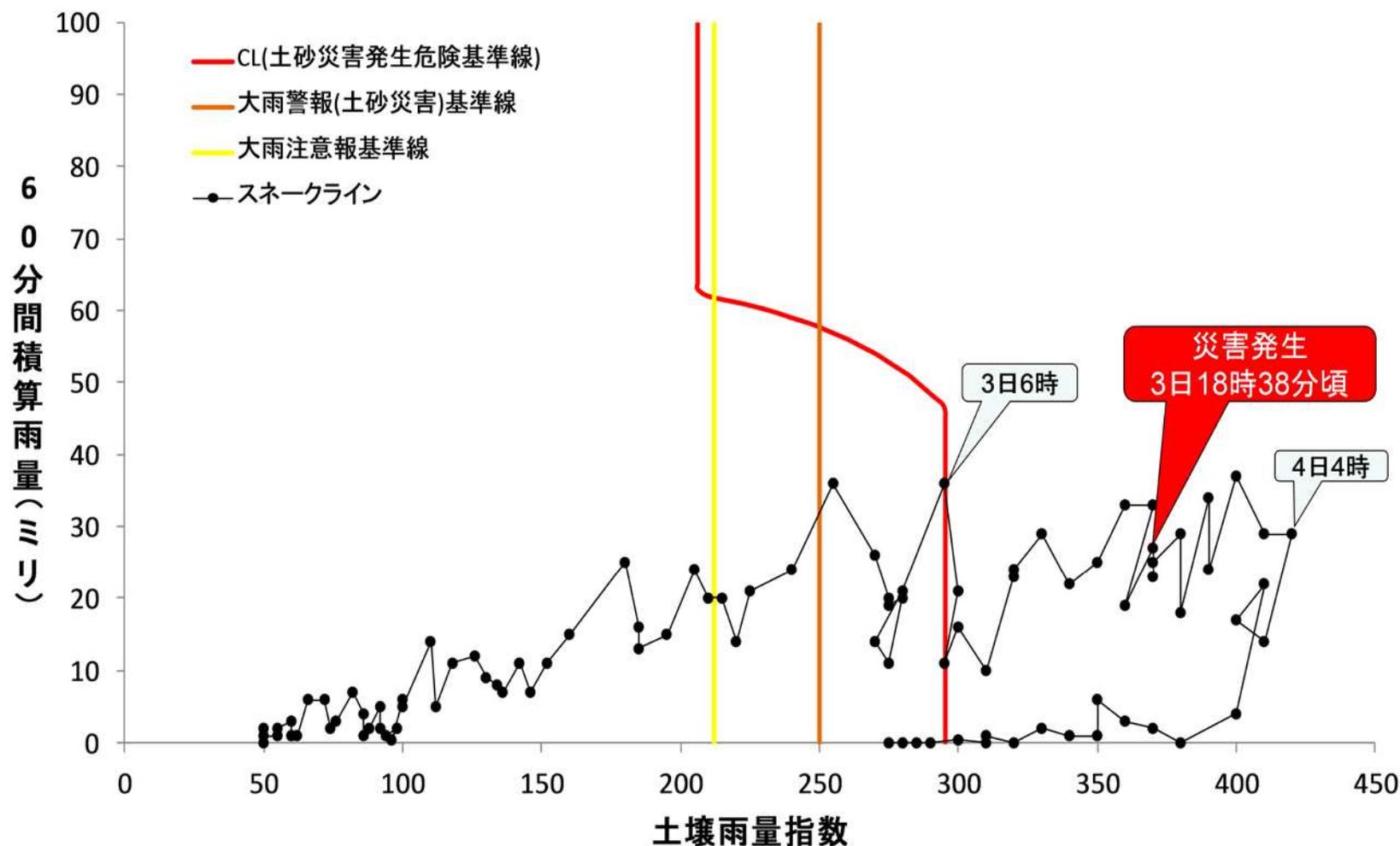
要援護者の避難に必要な時間を考慮し、土砂災害警戒情報判断基準の概ね1時間程度前に出現する土壌雨量指数の値を、基準に設定。

基準を超える2～6時間前に大雨警報(土砂災害)を発表。

## 土砂災害警戒情報

避難に必要な時間を考慮し、土砂災害警戒情報の判断基準に達する概ね2時間前に発表

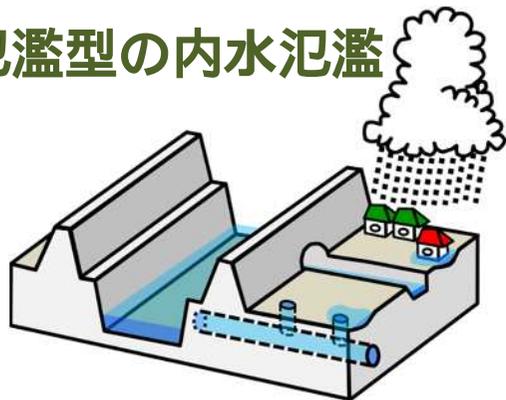
## 平成23年台風第12号 奈良県十津川村のスネークライン図



スネークライン図は、刻々と変化する60分間積算雨量と土壌雨量指数の状態を一定時間毎につないだ線で、スネークラインがCL(土砂災害発生危険基準線)を超えると土砂災害の危険性が非常に高まっていることを示す。

# 大雨警報(浸水害)・洪水警報が対象とする災害

## 氾濫型の内水氾濫



- ✓ 短時間強雨等により**雨水の排水能力が追いつかず**、発生する浸水。
- ✓ 河川周辺地域とは**異なる場所でも発生**する。

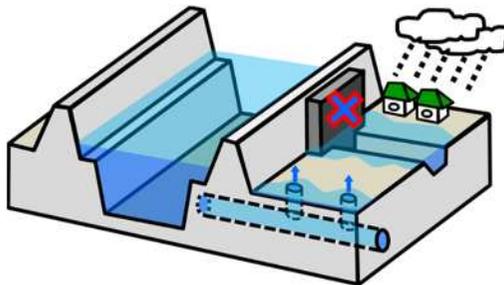
河川の増水によらない



大雨警報(浸水害)の対象

表面雨量指数

## 湛水型の内水氾濫



- ✓ 河川周辺の雨水が**河川の水位が高くなったため**排水できずに発生。
- ✓ 発生地域は堤防の高い河川の周辺に限定される。

河川の増水に起因

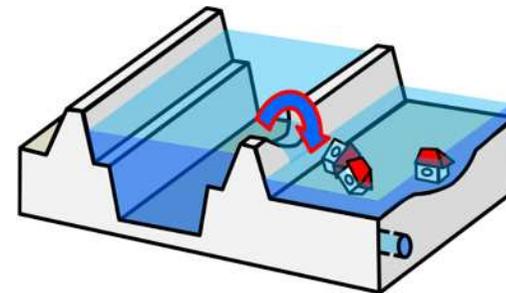


洪水警報の対象

複合基準

(表面雨量指数 + 流域雨量指数)

## 外水氾濫

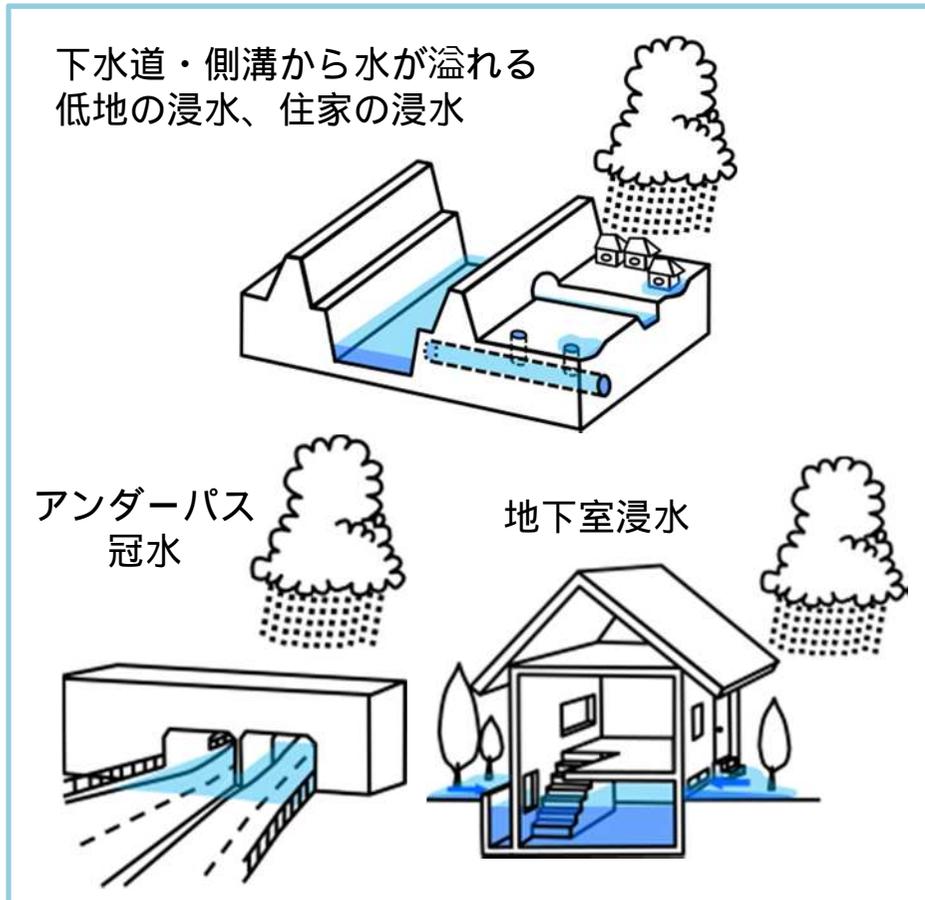


- ✓ 河川の水位が上昇し、堤防を越えたり破堤するなどして**堤防から水があふれ出す**。

流域雨量指数

# 大雨警報(浸水害)の基準

## 対象となる災害



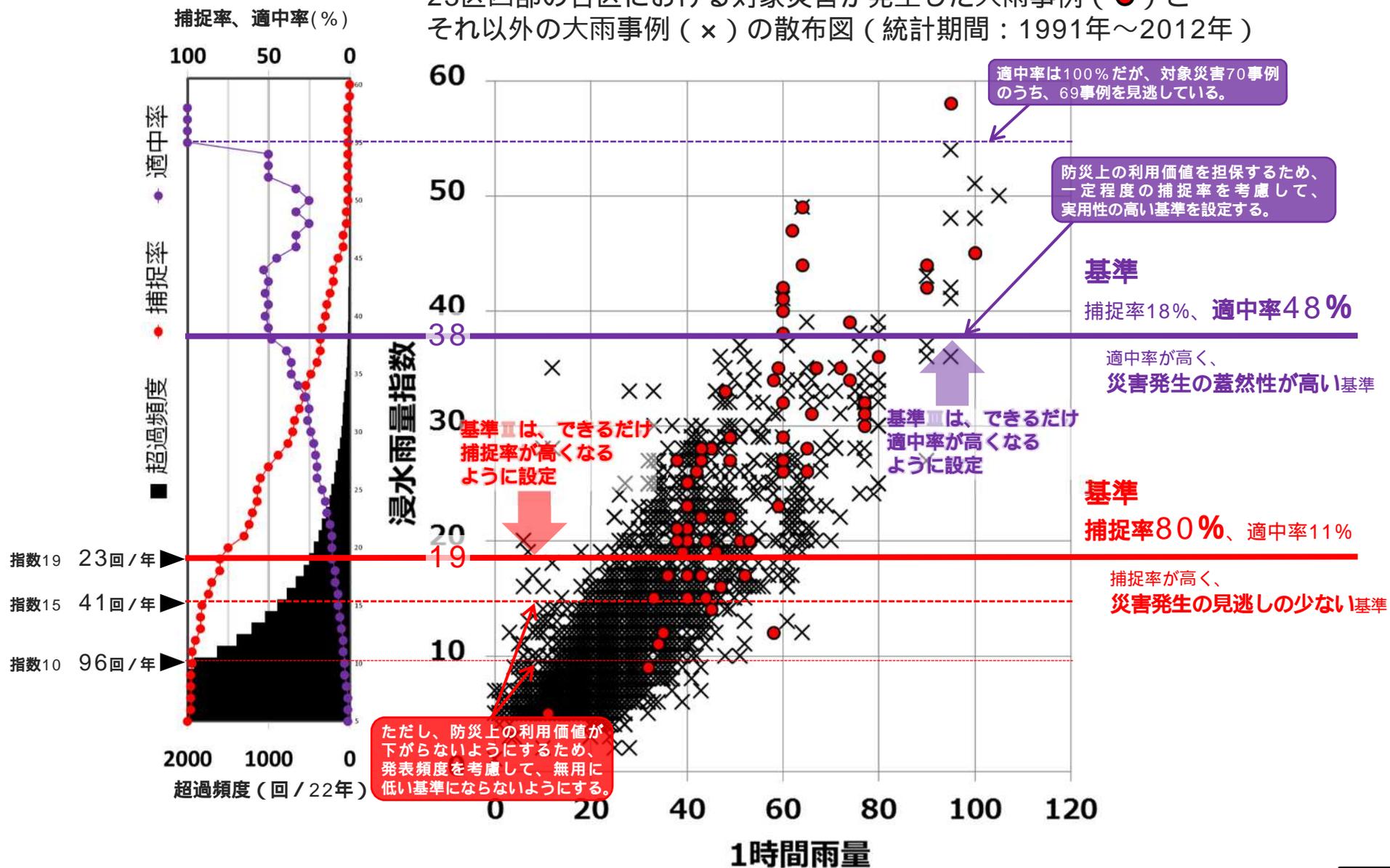
## 各基準の設定の考え方

警報の一段上の基準	<p><b>重大な浸水害が発生するおそれが高い</b></p> <p>警報対象災害に対して、<b>適中率</b>を重視して表面雨量指数基準値を設定。</p>	警報相当
大雨警報の基準	<p><b>重大な浸水害が発生するおそれ</b></p> <p>警報対象災害に対して、<b>捕捉率</b>を重視して表面雨量指数基準値を設定。</p>	
大雨注意報の基準	<p><b>浸水害が発生するおそれ</b></p> <p>注意報対象災害に対して、捕捉率を重視して表面雨量指数基準値を設定。</p>	注意報相当

過去に発生した浸水害との関係や、それぞれの値に達する頻度等を調査の上、基準を設定する。

# 散布図でみる基準 と基準 の違い

23区西部の各区における対象災害が発生した大雨事例 (●) とそれ以外の大雨事例 (×) の散布図 (統計期間: 1991年~2012年)



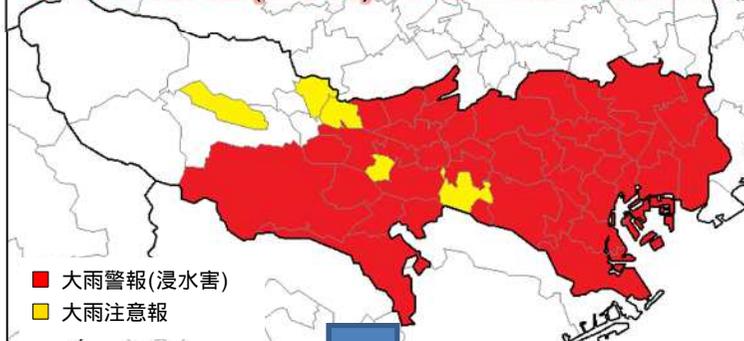
# 浸水害事例

～旧雨量基準との比較～

平成26年9月10日、上空の寒気の影響により大気の状態が非常に不安定となり、23区を中心に雷を伴った猛烈な雨が降った。千代田区大手町では1時間に71.5ミリの非常に激しい雨を観測。当日の雨量予想（23区：90ミリ、多摩北部・南部：60ミリ、多摩西部：40ミリ）に基づく表面雨量指数シミュレーションからは、多摩北部・多摩南部で不必要な大雨警報(浸水害)の発表を回避できることが分かった。

大雨警報(浸水害)の危険度分布は、浸水害が発生した区市町村との対応が良く、浸水危険度が高まっている地域を絞り込んで表示することができている。

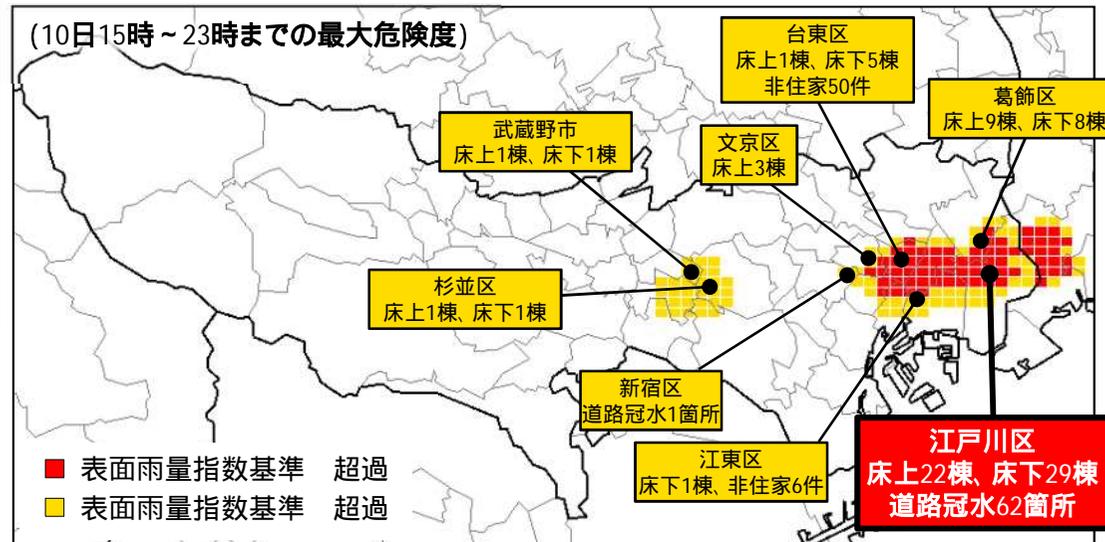
当日の大雨警報(浸水害)・大雨注意報の発表状況



当日の予想雨量に基づく、表面雨量指数基準による発表シミュレーション

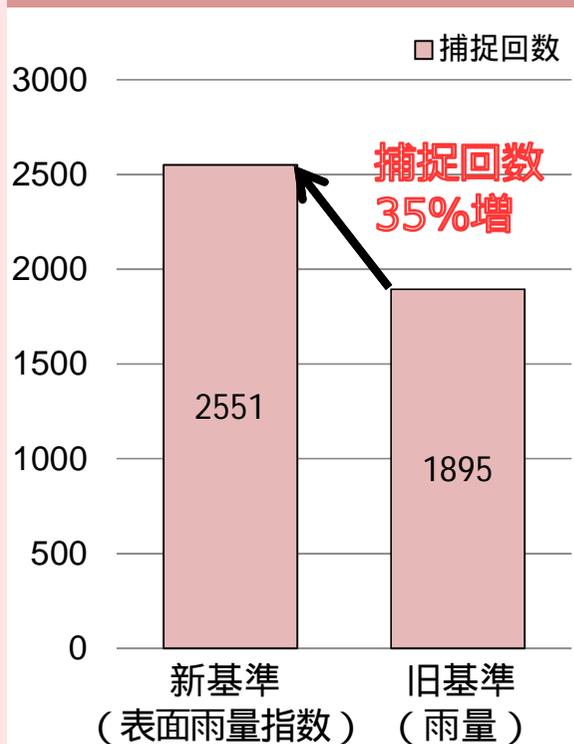


大雨警報(浸水害)の危険度分布

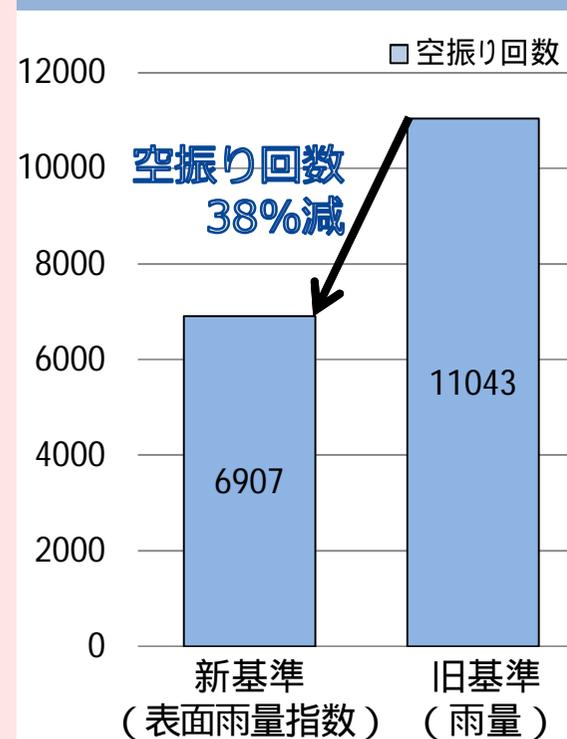


## 大雨警報(浸水害)の基準の新旧比較

### 対象災害の捕捉状況



### 空振りの状況



1991年から2012年にかけて、全国市町村で発生した浸水害に対して、平成29年7月に導入した表面雨量指数基準とそれまで使用していた雨量基準の災害捕捉状況を検証した。

**表面雨量指数基準は、雨量基準に比べ、災害捕捉状況を改善した上で、空振り回数を大幅に低減**

## 警報の一段上の基準（基準）と警報基準（基準）の比較

基準 の評価

基準 となったのべ1917市町村のうち、浸水害が発生したのはのべ1284市町村（67％）。

軽微な災害も含む

基準 : 1917市町村

浸水害発生 : 1284市町村  
(67%)

633市町村

基準 の評価

基準 となったのべ13523市町村のうち、浸水害が発生したのはのべ5411市町村（40％）。

軽微な災害も含む

基準 : 13523市町村

浸水害発生 : 5411市町村 (40%)

8122市町村

1991年から2012年にかけて、全国市町村で発生した浸水害に対して、基準 ・ となった場合の浸水害発生割合を検証した。

基準 は、基準を超過した10回のうち7回は何らかの浸水害が発生する...という基準

基準超過時は「**災害発生の蓋然性が極めて高い**状況にある」ことを示している

# 洪水警報の基準の考え方

基準	基準要素	基準設定手法	
		調査対象期間に災害発生あり	調査対象期間に災害発生なし
警報相当	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 <u>高い確度で適中させる</u> ように設定。	災害ありの河川で設定された基準を参考に、それと同等レベルの基準値を設定。 ( <u>基準 と基準 の比が「災害発生ありの河川」と同程度</u> になるように設定)
	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 <u>見逃さない</u> ように設定。	基準超過頻度を考慮し、 <u>30年確率値</u> を設定。 (調査期間(25年間程度)で1回基準超過するレベルに設定)
	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内水氾濫に起因する重大な浸水害を <u>見逃さない</u> ように設定。	設定しない。
注意報相当	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 <u>見逃さない</u> ように設定。	基準超過頻度を考慮し、基準 の7～8割に設定。
	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 <u>見逃さない</u> ように設定。	設定しない。

流域雨量指数基準は、災害の有無に関わらず、流域雨量指数を計算している全ての河川に設定する。ただし、洪水予報河川については、指定河川洪水予報により氾濫への警戒を呼びかけるので、流域雨量指数基準は設定しない。

複合基準は、過去に対象災害（内水氾濫に起因する浸水害）が発生していた河川についてのみ設定する。対象災害が発生していなければ、複合基準は設定しない。

# 洪水警報の基準の設定手順

洪水警報の基準値は、流域雨量指数を計算している全ての河川・格子に設定する。

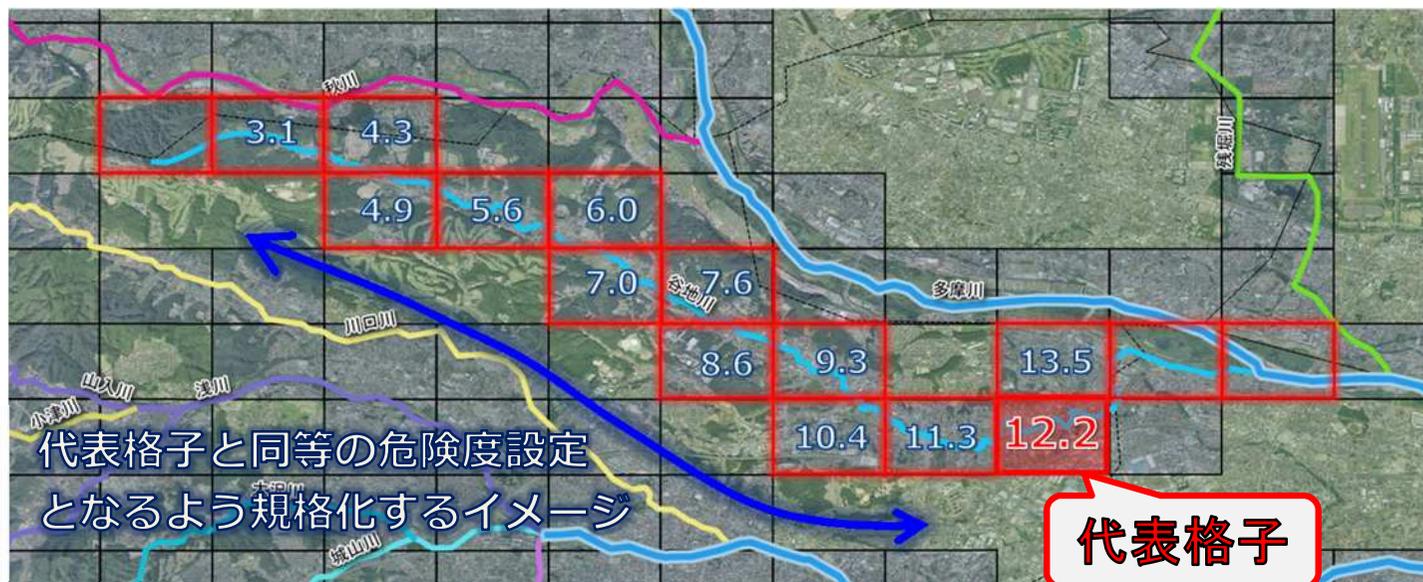
各格子の基準値の設定手順は、以下のとおり。

河川毎かつ市町村毎に「代表格子」を1つ決める。

災害と指数の比較に基づく統計調査を行い、代表格子の「基準値（基準I、 $\quad$ 、 $\quad$ ）」を設定する。

代表格子の基準値に基づいて、同じ市町村内の同じ河川を含む別の格子の基準値を設定する。

## 谷地川（東京都八王子市）の基準 の設定例



各格子の基準値

$$= \text{各格子の30年確率値} \times \frac{\text{代表格子の基準値}}{\text{代表格子の30年確率値}}$$

- 災害との統計調査を実施する格子
- 市内中心部や水害多発地域などを選択

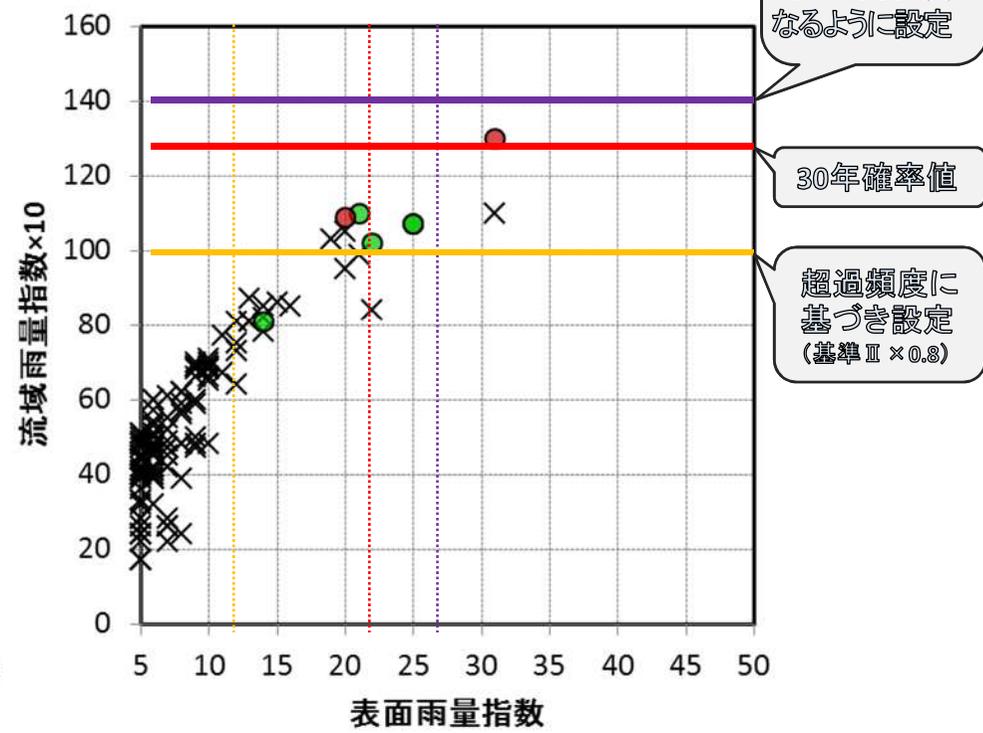
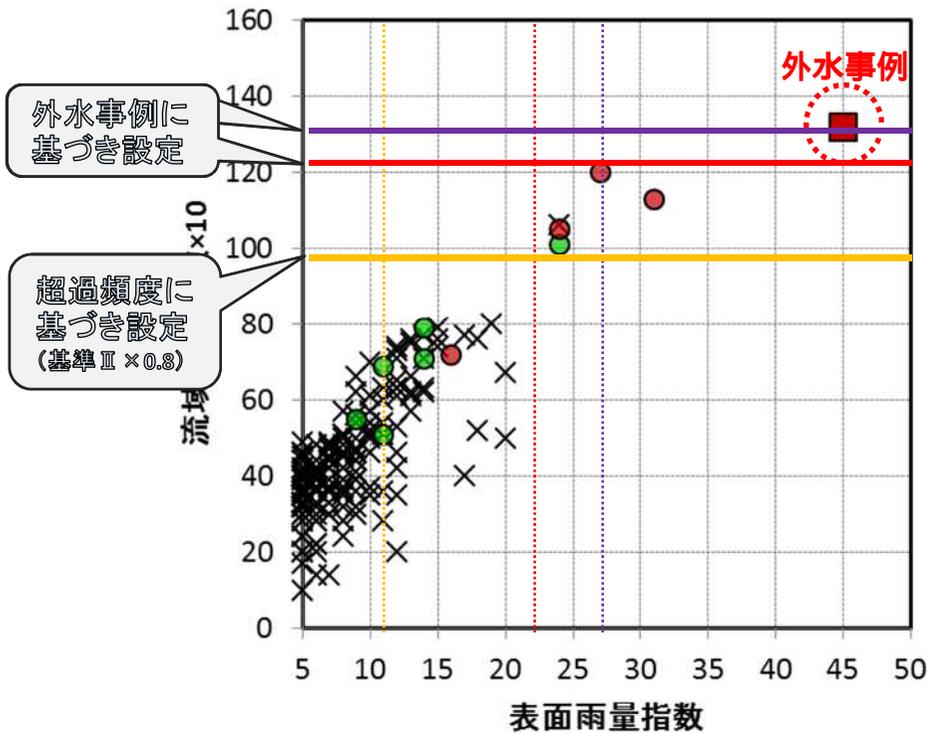
# 代表格子の流域雨量指数基準の具体例

谷地川  
(外水事例あり)

大栗川  
(外水事例なし)

■ : 警報相当事例(外水)    ● : 警報相当事例(内水)  
 ■ : 注意報相当事例(外水)    ● : 注意報相当事例(内水)  
 × : 災害なし

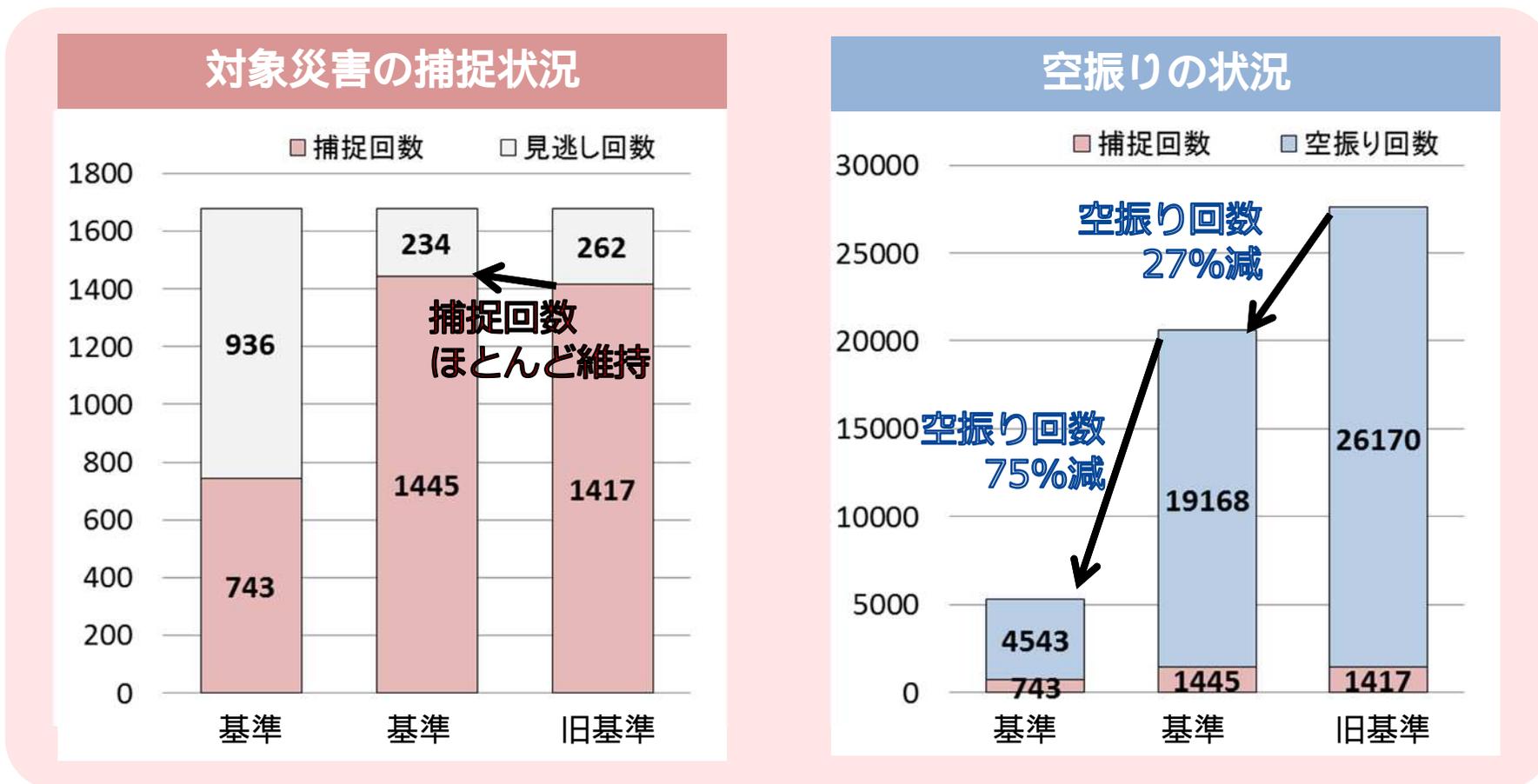
■ : 警報相当事例(外水)    ● : 警報相当事例(内水)  
 ■ : 注意報相当事例(外水)    ● : 注意報相当事例(内水)  
 × : 災害なし



上図は、1991年から2013年までの23年間に発生した大雨事例を対象に、表面雨量指数と流域雨量指数のグラフ上に災害の有無をプロットしたもの。

内水事例は、複合基準または大雨警報の基準（表面雨量指数基準）でカバーするよう基準を設定する。

## 洪水警報の基準の新旧比較



1991年から2012年にかけて、全国市町村で発生した外水氾濫に起因する水害事例に対して、平成29年7月に導入した新基準とそれまで使用していた旧基準の災害捕捉状況を検証した。

基準 は、旧基準に比べ、災害の捕捉状況は維持したまま、空振り回数を3割弱程度減らすことができる

基準 は、基準 に比べ、災害捕捉率は低下するが、空振り回数が大幅に減り、結果として適中率が2倍高い基準となっている（適中率7% 14%）。

気象庁では、大雨警報・洪水警報等の指標として、従来の雨量に代えて、災害発生との結びつきが強い3つの「指数」（土壌雨量指数、表面雨量指数、流域雨量指数）を導入するとともに、各指数に基づいて災害危険度がどこでどのくらい高まるのかを示した「危険度分布」の提供を新たに開始した。

3つの指数は、降った雨が「素因」の影響を受けてどのように浸透・流出するかを、国土数値情報とタンクモデルを組み合わせで計算したものであり、それぞれ「**先行降雨の反映**（土壌雨量指数）」、「**浸水発生地域の絞り込み**（表面雨量指数）」、「**河川水位との相関が高い**（流域雨量指数）」といった特徴がある。

指数の予測精度は単純に雨量の予測精度に依存するのではなく、指数の時空間スケールに密接に関連しており、「タンクの時間的積算効果」「洪水到達時間」「予想雨量の位置誤差の吸収」などの理由から、**雨量よりも予測精度が高くなる**傾向がある。

指数の利用にあたっては、**計算に考慮していない事項（土壌雨量指数における地質の影響、下水道・河川堤防の整備状況等）**があることに留意が必要。これらは過去の災害との比較により基準値を設定する際に、結果的に基準値に反映される。したがって、指数の値そのものだけを用いるのではなく、**警報等の基準による判定結果とセットで活用することが重要。**

基準設定にあたっては、**膨大な災害データの活用や災害との対応付けの工夫により基準値の最適化**を図っている。警報や危険度分布を適切に利用する上で、基準設定に関する理解を深めておくことは大きな価値がある。