

大雨・洪水警報に用いる 「指数・危険度分布」の精度検証

令和6年3月

気象庁 大気海洋部 気象リスク対策課

流域雨量指数の精度検証

- データと検証方法
- 検証結果

指数・危険度の予測精度

- データと検証方法
- 格子単位の検証
- 流域面積毎の検証

危険度と災害発生との統計評価

- 土砂災害の危険度と災害との関係
- 浸水害及び洪水害の危険度と災害との関係

近年の大雨事例での検証

- 令和元年東日本台風
- 令和4年8月3～4日新潟県特別警報事例

流域雨量指数の精度検証

データと検証方法

- 期間：2017～2022年の6年間
- データ：全国の水位周知河川の水位観測所*からランダムに抽出した204地点
※気象庁に水位データ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
- 検証事例：期間内の出水事例から各水位観測所の上位20事例（全3,901事例）
このうち氾濫危険水位に到達した事例は142事例。
- 検証方法
 - 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。
 - 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。
 - 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。

危険度分布の基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。

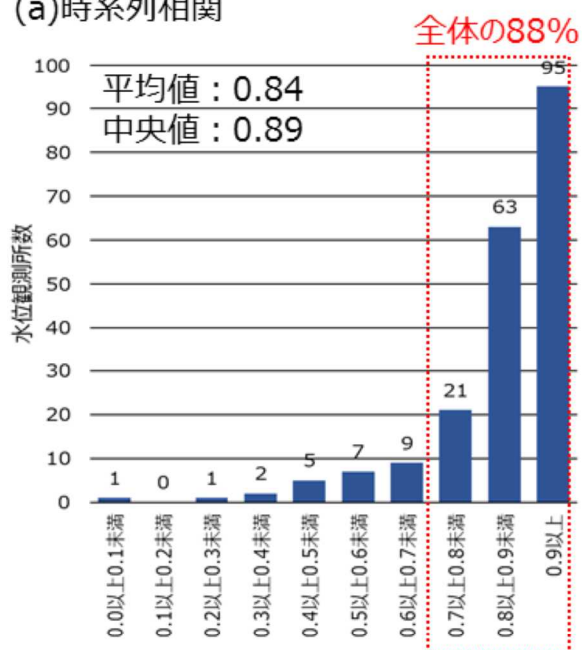
なお、データとして示している204地点の内訳は以下の通り。

- ・ 国管理の水位周知河川（150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が全22河川31地点
- ・ 都道府県管理の水位周知河川（1600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全701河川1062カ所からランダムに抽出した173地点。

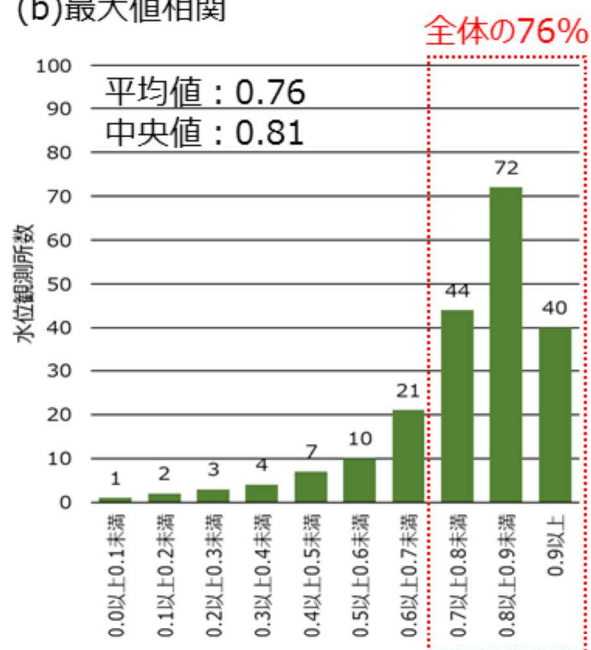
流域雨量指数の精度検証

検証結果（時系列相関・最大値相関）

(a)時系列相関



(b)最大値相関



時系列相関：この相関が高いほど洪水波形の再現性が良いことを示す。

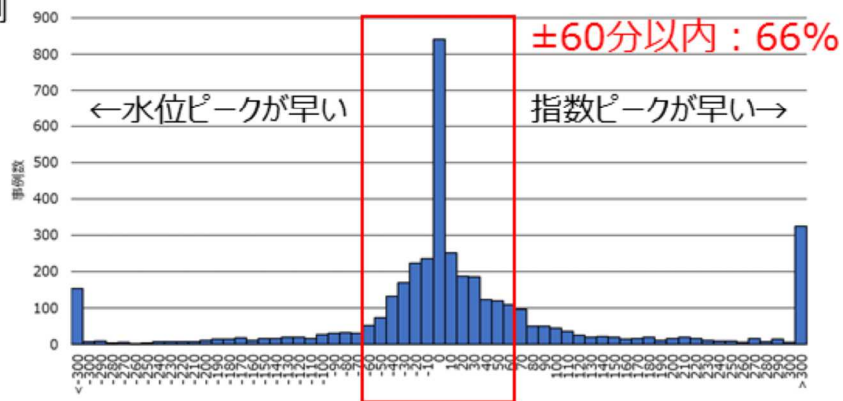
最大値相関：この相関が高いほど、洪水規模を的確に再現していることを示す。

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。

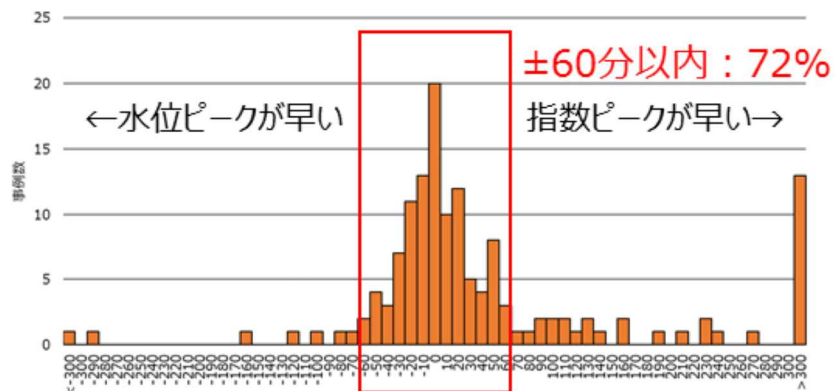
流域雨量指数の精度検証

検証結果 (ピーク時刻差)

(a) 全事例



(b) 氾濫危険水位超過事例



ピーク時刻差 (分、正 : 指数の方が水位よりピーク早)

ピーク時刻差 : 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。

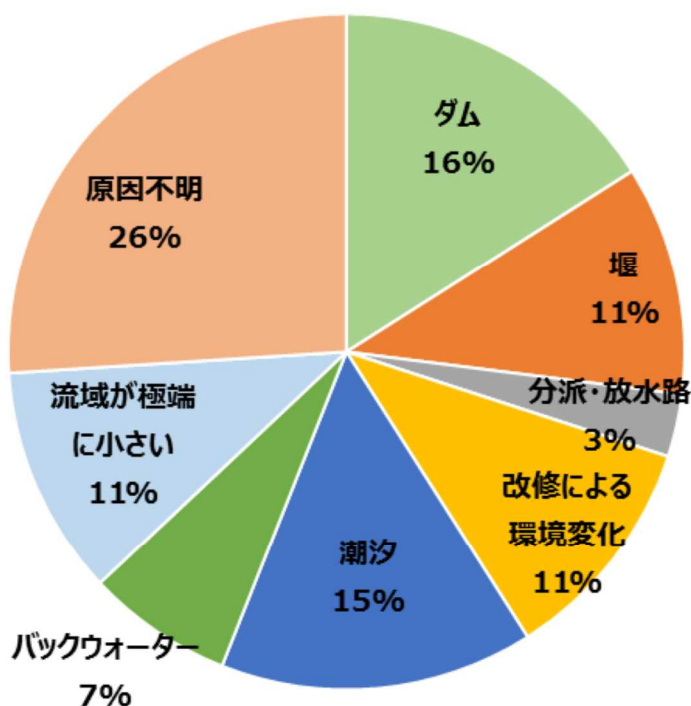
ピーク時刻差0分が最も度数(事例数)が多く、おおむね正規分布となっている。ここで、±60分以内の事例は全体の66%であり、氾濫危険水位を超過した事例に限ると±60分以内の事例は72%であった。

なお、ピーク時刻差30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。

流域雨量指数の精度検証

検証結果

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地図や航空写真等から分類。



ダム・堰

ダム放流量や水位データを指数計算に取り込むことで改善できる可能性

潮汐・バックウォーター

現状の計算方法では表現できず、下流水位をもとに上流水位を逐次計算する不等流解析を導入する必要がある

流域が極端に小さい河川

現状の計算手法では再現できず、計算格子の細分化等モデルのさらなる改良が必要

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。

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を導入する必要がある。

流域が極端に小さい河川は、河道断面が小さく急激な水位変化を示す特徴を持つが、1km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ていないケースがある。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。

流域雨量指数の精度検証

- データと検証方法
- 検証結果

指数・危険度の予測精度

- データと検証方法
- 格子単位の検証
- 流域面積毎の検証

危険度と災害発生との統計評価

- 土砂災害の危険度と災害との関係
- 浸水害及び洪水害の危険度と災害との関係

近年の大雨事例での検証

- 令和元年東日本台風
- 令和4年8月3～4日新潟県特別警報事例

指数・危険度の予測精度

データと検証方法

- 期間
土砂災害は2019～2022年、浸水害・洪水害は2018～2022年
- データ
ルーチン運用で計算された毎正時の実況危険度と予測危険度*
- 検証方法
予測危険度と予測対象時刻の実況危険度を比較し、各基準それぞれに対し「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。
以下の計算で適中率・捕捉率・バイアスコアを算出。

$$\text{適中率} = \frac{\text{適中}}{\text{適中} + \text{空振り}}$$

$$\text{捕捉率} = \frac{\text{適中}}{\text{適中} + \text{見逃し}}$$

$$\text{バイアスコア} = \frac{\text{適中} + \text{空振り}}{\text{適中} + \text{見逃し}}$$

		予測	
		あり	なし
実況	あり	適中	見逃し
	なし	空振り	-

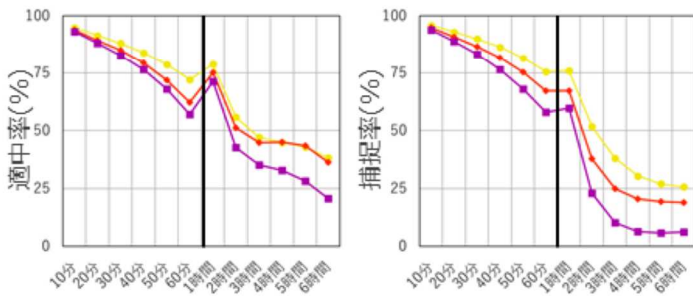
※ 予測危険度の入力となる雨量データが以下の通り異なる

種類	入力となる雨量データ
浸水害・洪水害	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
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

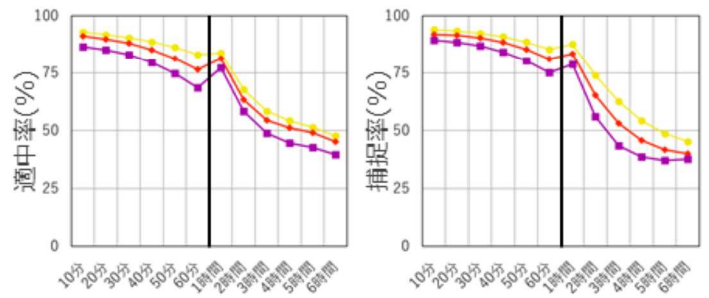
指数・危険度の予測精度

格子単位の検証 (適中率・捕捉率)

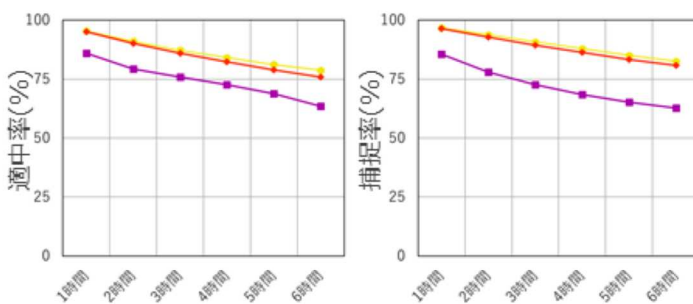
(a) 浸水害



(b) 洪水害



(c) 土砂災害



- 予測時間が長くなるほど精度低下
- 予測時間による精度低下の大きさ
浸水 > 洪水 > 土砂
- 浸水：予測雨量の精度の影響を受けやすい
- 洪水：上流域の大きさに依存
- 土砂：先行降雨の寄与が大きい

図は左が適中率、右が捕捉率

● 基準 I 超過 ◆ 基準 II 超過 ■ 基準 III 超過

基準 I：注意報基準
 基準 II：警報基準
 基準 III：警報基準を大きく超過した基準
 土砂災害の場合は土砂災害警戒情報の発表基準
 以下同じ



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。

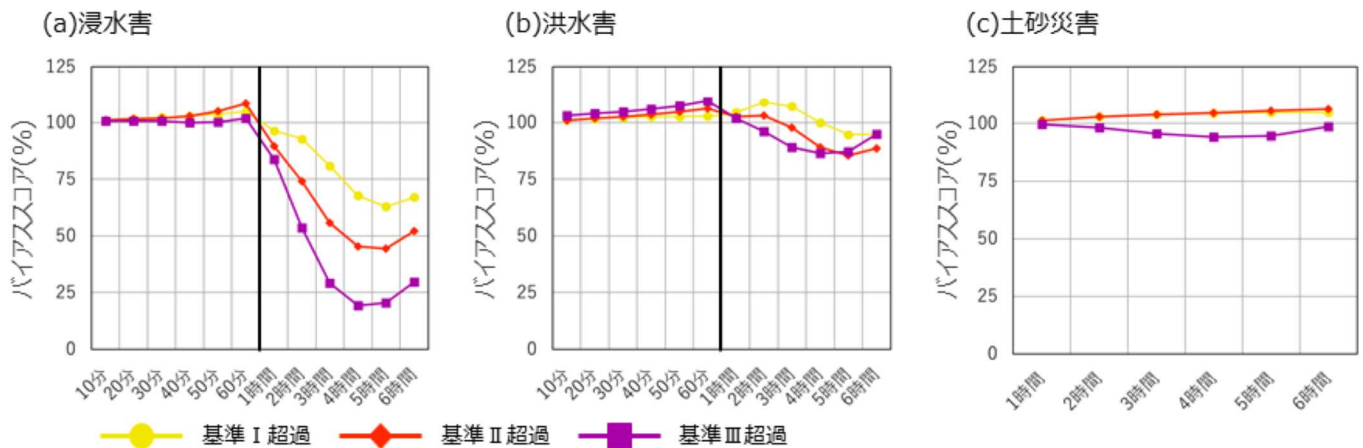
一方で、浸水害は予測時間による精度の低下が最も大きかった。表面雨量指数はタンクモデルの横穴からの流出量をもとに計算されるので、土壌雨量指数と比べて先行降雨の寄与が小さく、予測雨量の精度の影響を受けやすくなるためと考えられる。

洪水害については、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。

表面雨量指数と流域雨量指数は60分までの10分毎の予測に降水ナウキャストを利用し、6時間先までの1時間毎の予測には降水短時間予報を利用している。その違いにより、1時間を境に精度にギャップが生じている。

指数・危険度の予測精度

格子単位の検証 (バイアスコア)



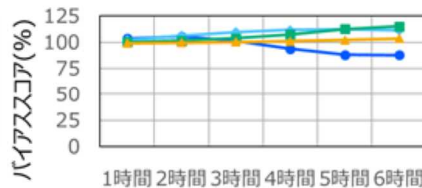
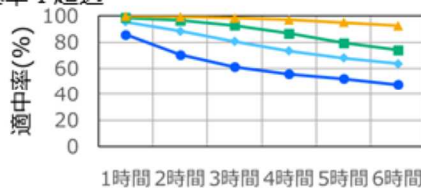
- 浸水害と洪水害は降水ナウキャストの予測はやや過大だが、降水短時間予報は過小バイアス傾向
特に浸水害は上位の基準ほど過小バイアスが顕著であり、数時間先以降の危険度予測が特に難しいことを示している
- 土砂災害は6時間先でもほぼ中立を維持

浸水害と洪水害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。

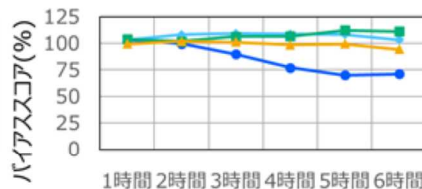
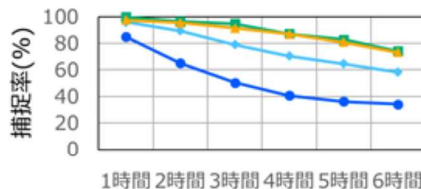
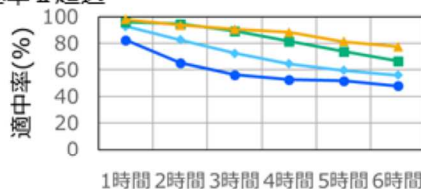
指数・危険度の予測精度

流域面積毎の検証

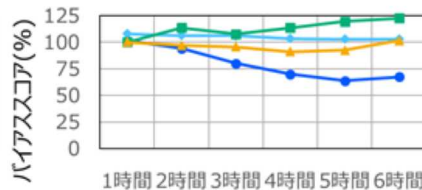
(a)基準Ⅰ超過



(b)基準Ⅱ超過



(c)基準Ⅲ超過



左から適中率、捕捉率、バイアスコア



● 上流格子数が多いほど適中率・捕捉率が高い傾向がある

- ・ 流域が大きいほど過去に降った雨が関係してくるため、実況降雨の寄与が大きくなる
- ・ 予測雨量の空間的誤差が緩和され、多少の位置ずれが指数の予測に大きく影響しない



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。

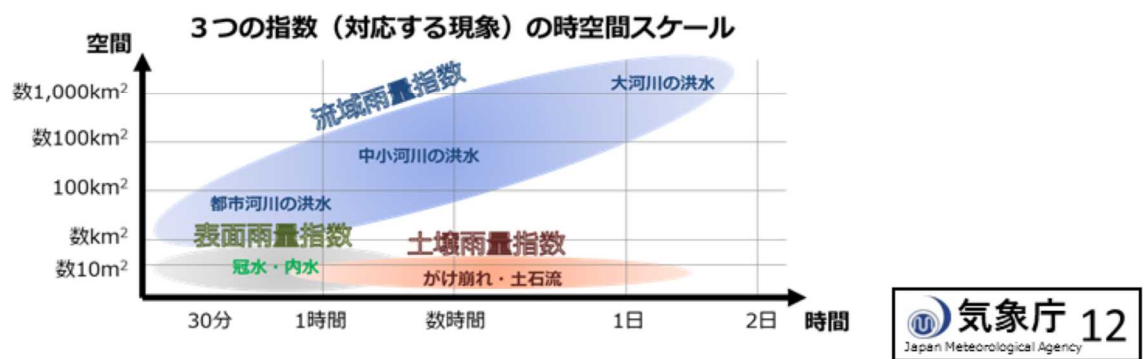
一般に、流下距離が長いほど、雨が降ってからその場所に水が到達するのに時間がかかるが、これは言い換えると、流域が大きいほど過去に降った雨が関係してくることを意味する。すなわち、流域の大きい河川のほうが精度が高いのは、予測指数に対する実況降雨（解析雨量）の寄与が相対的に大きくなるためと考えられる。

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。

指数・危険度の予測精度

まとめ

- 指数の予測値には先行降雨（実績降雨）が反映されるため、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。また、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、雨量の予測誤差の影響が相対的に小さくなり、雨量の予測精度に比べて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異なるため、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、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。



- 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異なるため、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。

もくじ

流域雨量指数の精度検証

- データと検証方法
- 検証結果

指数・危険度の予測精度

- データと検証方法
- 格子単位の検証
- 流域面積毎の検証

危険度と災害発生との統計評価

- 土砂災害の危険度と災害との関係
- 浸水害及び洪水害の危険度と災害との関係

近年の大雨事例での検証

- 令和元年東日本台風
- 令和4年8月3～4日新潟県特別警報事例

危険度と災害発生との統計評価

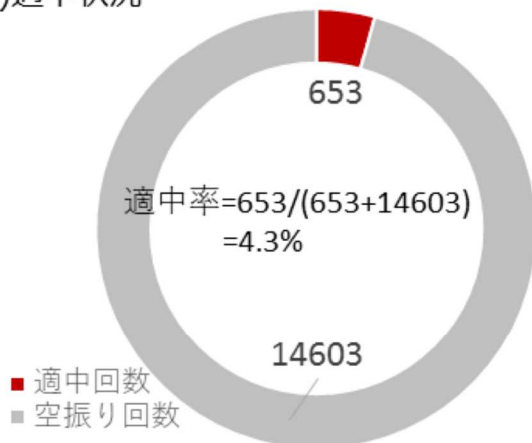
土砂災害の危険度と災害との関係

- 期間
2009～2020年の12年間
- 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
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
- 検証方法
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
※ CL：土砂災害警戒情報の発表基準

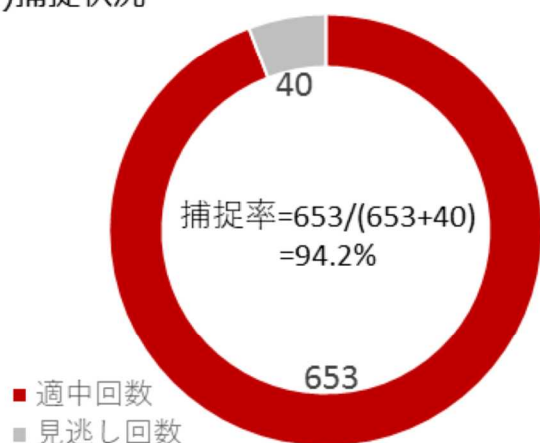
危険度と災害発生との統計評価

土砂災害の危険度と災害との関係

(a)適中状況



(b)捕捉状況



適中率は約4%と低い一方、捕捉率は約94%と高い

土砂災害に関する観測データ不足、その予測の難しさ、ひとたび現象が発生した場合の被害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。

対象となる土砂災害によってこの成績が変わることにも留意が必要。

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（洪水及び土砂災害の予報のあり方に関する検討会,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（多発的と散發的の区別）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）

危険度と災害発生との統計評価

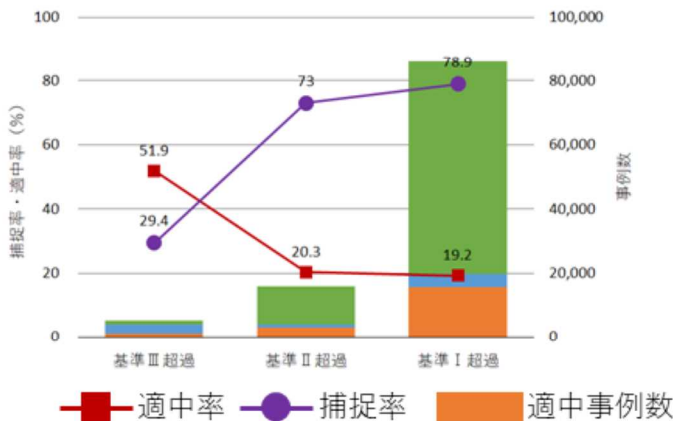
浸水害及び洪水害の危険度と災害との関係

- 期間
1991～2019年の29年間
- 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
危険度データ：リアルタイムで計算した10分毎の浸水害及び洪水害の危険度
- 検証方法
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、Ⅱ、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・見逃し・空振りの合計数及び適中率と捕捉率を算出

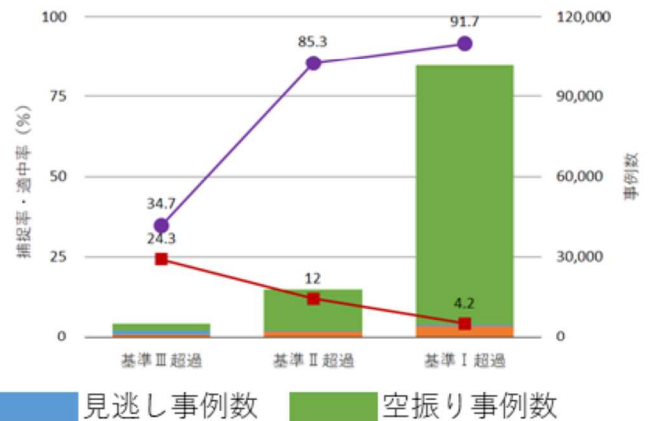
危険度と災害発生との統計評価

浸水害及び洪水害の危険度と災害との関係

(a) 浸水害



(b) 洪水害



- 基準Ⅲは極めて適中率が高い。一方で基準Ⅲ、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。
- 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。

- 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、対象災害の捕捉率は基準Ⅱが約85%、基準Ⅰが約92%と捕捉重視の基準設定となっている。
- 洪水氾濫は発現頻度が低い一方、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。



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。次に洪水害について見ると、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。

各基準における適中・見逃し・空振りの事例数は以下の通り。

【浸水】

- 基準Ⅰ：適中15,714、見逃し4,191、空振り66,056
- 基準Ⅱ：適中2,979、見逃し1,101、空振り11,714
- 基準Ⅲ：適中1,200、見逃し2,880、空振り1,114

【洪水】

- 基準Ⅰ：適中4,223、見逃し380、空振り96,999
- 基準Ⅱ：適中2,104、見逃し362、空振り15,433
- 基準Ⅲ：適中856、見逃し1,610、空振り2,665

もくじ

流域雨量指数の精度検証

- データと検証方法
- 検証結果

指数・危険度の予測精度

- データと検証方法
- 格子単位の検証
- 流域面積毎の検証

危険度と災害発生との統計評価

- 土砂災害の危険度と災害との関係
- 浸水害及び洪水害の危険度と災害との関係

近年の大雨事例での検証

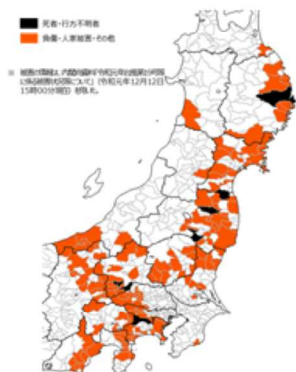
- 令和元年東日本台風
- 令和4年8月3～4日新潟県特別警報事例

近年の大雨事例での検証

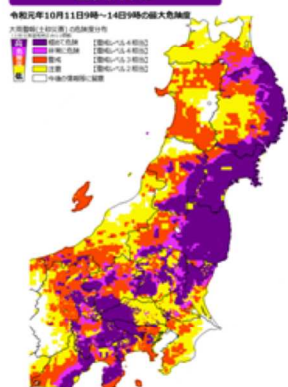
令和元年東日本台風（土砂災害、洪水被害の発生状況と当時の危険度分布の期間最大値の比較）

(a) 土砂災害

土砂災害のあった市町村



土砂キキクル



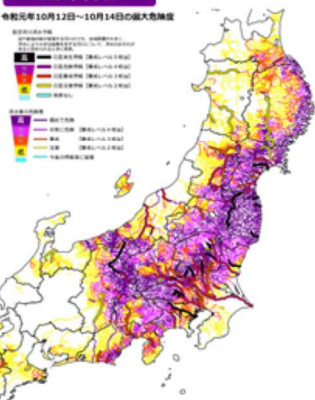
- 危険度分布で「警戒」（赤）以上が出現した地域・河川において必ずしも被害発生は確認されていないものの、被害のあった市町村・河川では概ね危険度分布で「警戒」（赤）以上が出現している。
- 死者・行方不明者を伴う土砂災害が発生した市町村、または、決壊による外水氾濫が発生した河川では、その多くで、当時の危険度分布で最大の危険度であった濃い紫（指数が警報を大きく超えた基準、あるいは土砂災害警戒情報の発表基準を実況で超過）が出現していた。

(b) 洪水害

洪水被害のあった河川



洪水キキクル



※ 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

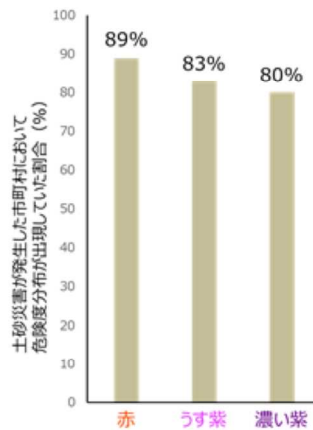
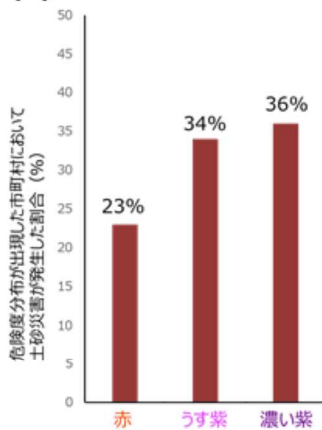


土砂災害・洪水害ともに、危険度分布で「警戒」（赤）以上が出現した地域・河川において必ずしも被害発生は確認されていないものの、被害のあった市町村・河川では概ね危険度分布で「警戒」（赤）以上が出現していることがわかる。さらに、死者・行方不明者を伴う土砂災害が発生した市町村、または、決壊による外水氾濫が発生した河川では、その多くで、当時の危険度分布で最大の危険度であった濃い紫（指数が警報を大きく超えた基準、あるいは土砂災害警戒情報の発表基準を実況で超過）が出現していた。

近年の大雨事例での検証

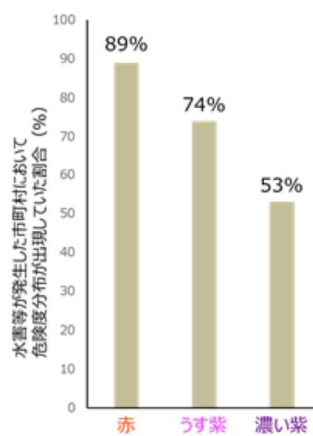
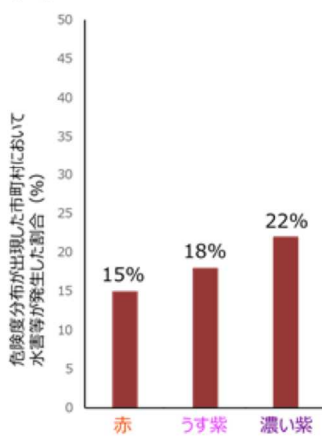
令和元年東日本台風（災害発生に対する土砂災害及び洪水害の危険度の適中率・捕捉率）

(a)土砂災害



- 土砂災害・洪水害ともに危険度が高くなるほど適中率が高くなっている。
- 捕捉率は危険度が低いほど高くなる傾向がみられる。

(b)洪水害



- ※ 土砂災害については市町村単位、洪水害については河川単位でスコアを集計
- ※ 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

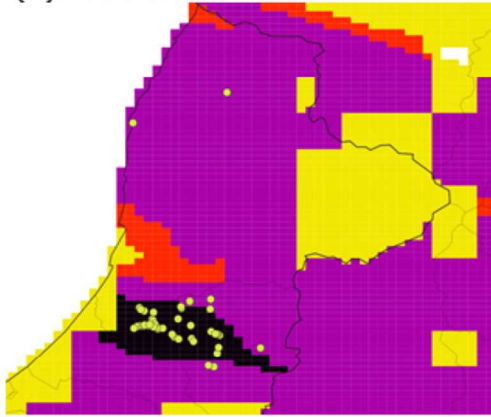


土砂災害については市町村単位、洪水害については河川単位でスコアを集計している。土砂災害・洪水害ともに危険度が高くなるほど適中率が高くなっており、濃い紫の適中率は土砂災害の危険度が36%、洪水害の危険度は22%となっている。一方で、捕捉率は危険度が低いほど高くなる傾向が見られ、赤の捕捉率は土砂災害・洪水害ともに89%となっている。

近年の大雨事例での検証

令和4年8月3～4日新潟県特別警報事例

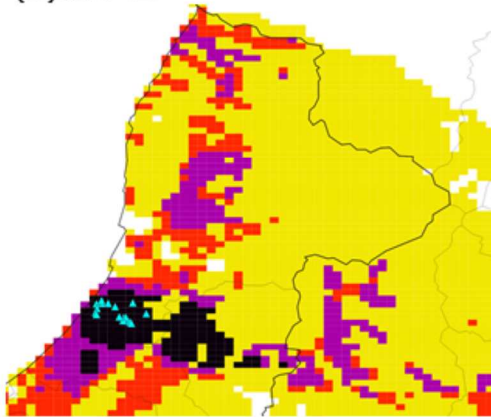
(a)土砂災害



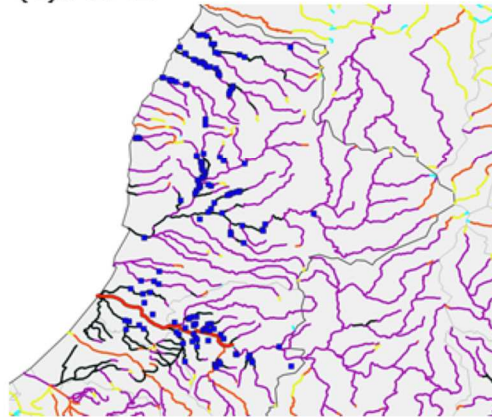
- 土砂災害、浸水害、洪水害で災害発生が多い地域が異なるが、最大危険度の分布でも、それぞれの災害が多かった地域において黒が出現していたことがわかる。
- なお、ここでの検証は災害発生時刻を考慮していないため、必ずしも災害発生タイミングで黒が出現したとは限らないことに留意する必要がある。

図：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

(b)浸水害



(c)洪水害



※ 土砂災害・洪水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1km格子をプロットした。



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示す。被害の発生状況を見ると、土砂災害、浸水害、洪水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。