

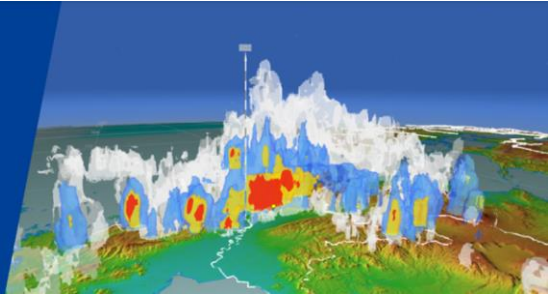
2021年10月2日

日本気象予報士会 千葉支部 例会
(レジメ)

災害対策基本法の改正で 新警戒レベル

NR5

線状降水帯観測・
予測システム開発



線状降水帯・キキクル（危険度分布図）新警戒レベル

伊東譲司

Q：線状降水帯による大雨となって、危険な状態となっていますとか、50年に一度という経験したことのない大雨が降るなどと呼ばれますがどういうことでしょうか？

A：令和2年7月豪雨(令和2年7月3日から31日)では、日本付近に停滞した前線の影響で、広い範囲で大きな被害が発生しました。このとき気象庁は7月9日に、顕著な災害をもたらした大雨の災害を、後世に経験や教訓を伝承することなどを目的に、7月3日からの豪雨に、「令和2年7月豪雨」と命名しました。

梅雨前線の停滞による大雨は、今後まだまだ続く時期であるにもかかわらず、一連の豪雨災害を「令和2年7月豪雨」（期間）令和2年7月3日～（継続中）として発表したのは異例の出来事でした。

日本付近に停滞した前線の影響で、暖かく非常に湿った空気が継続して流れ込み、九州北部地方や本州中部に至る広い範囲で大雨となり、九州では4日から8日は記録的な大雨となり、7月3日から8日間での総降水量は、九州南部、九州北部地方で1000ミリ、近畿地方で900ミリを超えるところがありました。（図1-5）

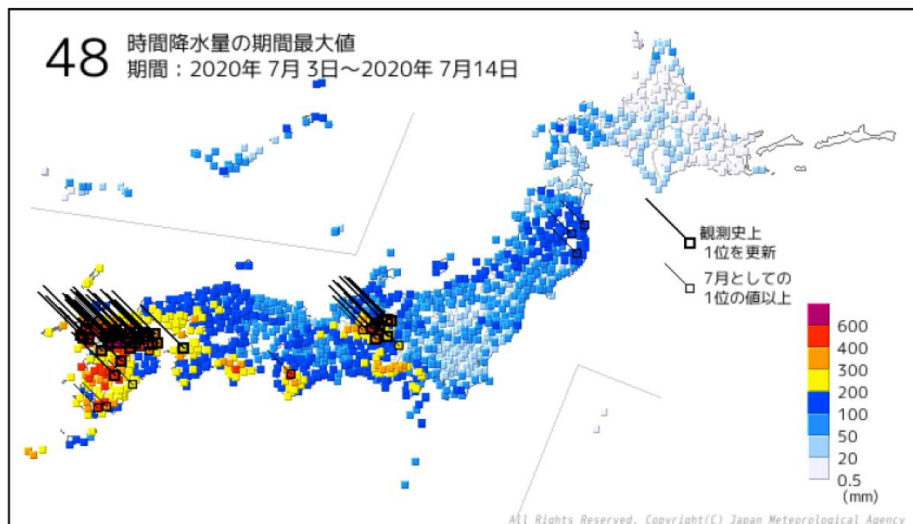


図1-5 48時間降水量の期間最大値（期間：7月3日～14日）

特に、九州南部、九州北部地方、東海地方、及び甲信地方では、24、48、

72 時間降水量が観測史上 1 位の値を超えるなど、7 月の月降水量平年値の 2 倍から 3 倍となる記録的な大雨となりました。

警戒レベル 5 となった熊本県、鹿児島県、福岡県、佐賀県、長崎県、岐阜県、長野県の 7 県には、大雨特別警報が発表され、最大級の警戒をするよう呼びかけられました。

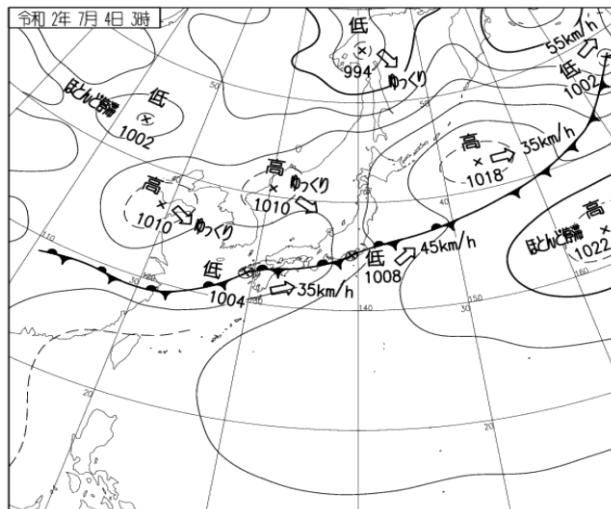


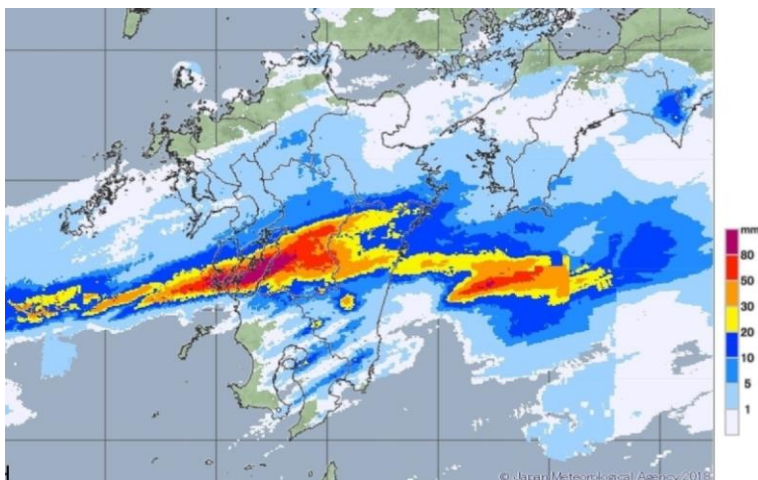
図 1 2020_7月4日3時の天気図

大雨による河川の氾濫・土砂災害

この時の大雨では、線状降水帯が複数の地域で局地的・集中的に長時間継続したことなどにより大河川を含む多くの河川で氾濫が発生し、また土砂災害も多発したなど広い範囲で顕著な被害をもたらした極めて特異な豪雨となりました。

(図 2)

ニュースを見るたびに、レーダー画像の降水域にみられる赤い



線状のエコ

図 2 線状降水帯
解析雨量 (7月4日2時30分~3時30分の1時間雨量)
(気象庁提供)

一が同一箇所並び続け、豪雨が発生した箇所では川の濁流が橋げたにぶつかる光景が映る状況となっていました。

九州7県で発生した土砂崩れは127件。浸水、損壊した家屋は少なくとも計1万1744件。10日現在、1799世帯4068人が避難所に身を寄せる状況でした。

死者の多くは土砂崩れや河川の氾濫に伴う住宅への浸水で命を落としたとみられます。

最も被害が大きかった熊本県では球磨川が氾濫し、特別養護老人ホーム「千寿園」（球磨村）で入所者14人の命が奪われました。

線状降水帯とは

線状降水帯とは、次々と発生する発達した雨雲（積乱雲）が列をなした、組織化した積乱雲群によって、数時間にわたってほぼ同じ場所を通過または停滞することで作り出され、線状に伸びる長さ50～300km程度、幅20～50km程度の強い降水をともなう雨域を言います。

複数の積乱雲が列状に並び、風上側で新しい積乱雲が発生しながら風下方向に移動する現象が繰り返し数時間継続するため記録的な大雨をもたらします。

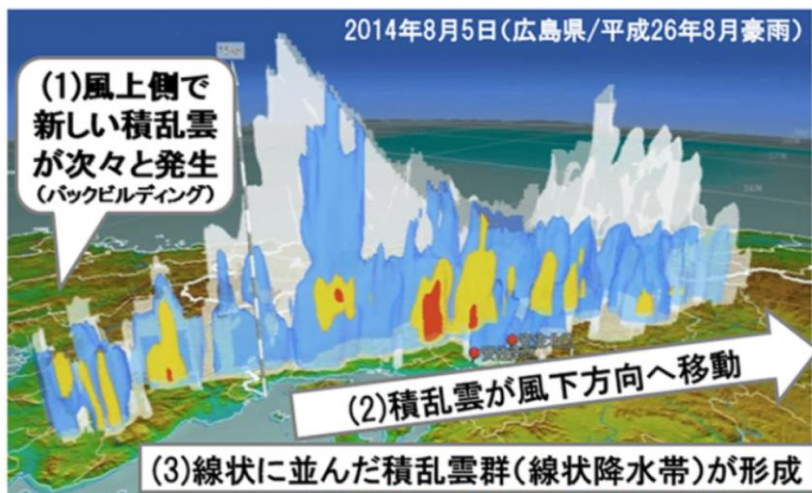


図3 線状降水帯の三次元構造 2014年広島豪雨

2021年5月20日の災害対策基本法の改正に伴い、防災気象情報が見直され、大雨による災害発生の危険度が急激に高まっているとき、線状の降水帯により非常に激しい雨が同じ場所で降り続けている状況を「線状降水帯」というキーワードを使って顕著な大雨への注意喚起をするようになりました。

その基準は解析雨量（5km メッシュ）において前3時間積算降水量が100mm以上の分布域の面積が500km²以上、形状が線状（長軸・短軸比2.5以上）、領域内の前3時間積算降水量の最大値が150mm以上、土砂キキクルにおいて土砂災害警戒情報の基準を実況で超過（かつ大雨特別警報の土壌雨量指数基準値への到達割合8割以上）又は洪水キキクルにおいて警報基準を大きく超過した基準を実況で超過した場合に発表されます。

線状降水帯という言葉の始まりは、2014年8月の広島県豪雨災害以降、頻繁に使われるようになりました。図3は線状降水帯の三次元構造を图示しています。

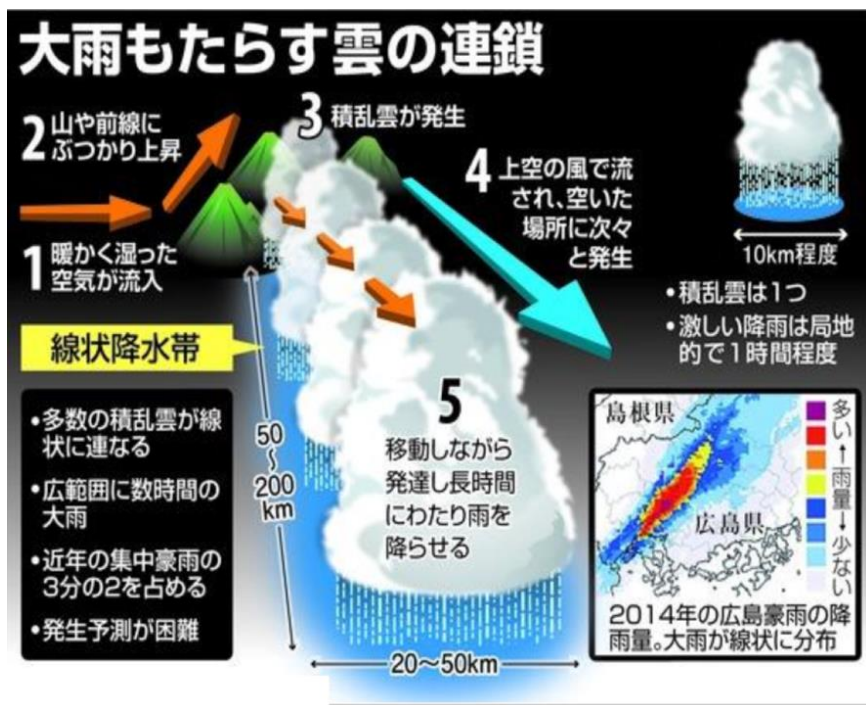


図4 大雨をもたらす雲の連鎖 線状の降水帯(このときは50~200km)

当時気象研究所予報研究部所属の加藤輝之氏が気象学会誌に発表した研究論文「梅雨前線帯と集中豪雨—積乱雲が発達するための条件—」で、「豪雨は発達した複数の積乱雲によりもたらされ、それらの積乱雲は階層構造を持つことで図4のように線状の降水帯を形成する」と言うものでした。

線状降水帯ができる場所は、温度差より水蒸気差が顕著となった「水蒸気前線」とも呼ばれる『梅雨前線帯内での活発な対流活動域』で風の収束が強まり、その領域に500m高度の水蒸気フラックス量（単位時間単位面積あたりに流れる水蒸気の量）が寄与することで、積乱雲が次々と発生することがわかってきました。

以前の線状降水帯の呼び名

今では**線状降水帯**は、マスコミにも浸透した用語となってきましたが、線状のメソ対流系の降水は、以前からいろいろ研究され、積乱雲群の移動速度の違いによってスコールラインまたは、降雨バンド（Rain Band）と表現されていました。

先に示した線状降水帯の多くは降雨バンドに当てはまりますが、スコールラインと降雨バンドの区別は明確に定義されたものではないため一般的に、線状降水帯と呼ぶ方が妥当と思われる。

線状降水帯を予測する取り組み

線状降水帯に伴う大規模水害が幾度も起きていることから、線状降水帯の発生を少なくとも半日前に、線状降水帯による大雨を数時間前に予測する技術の開発が急務の課題となっています。

これまでの研究によると、積乱雲の継続的発生および強雨域の停滞が発生するためには、積乱雲発生のエネルギー源となる水蒸気が大気下層に十分に存在することがカギとされています。

500m高度の水蒸気フラックス量を観測する技術が開発されてきたことから、気象庁は線状降水帯が多発する九州で先行的に予測することを目指し、観測船2船を東シナ海などに長期間派遣する考えでいます。

観測データはリアルタイムに伝送し、線状降水帯予測に使われる予定です。また、今後は電波で観測すると同時に気象衛星の観測から下層の水蒸気量を計算する方法で、その観測網を広げていくことが考えられています。

「線状降水帯」予測精度向上へ今年度から2隻の気象観測船を梅雨時期に東シナ海で定点観測するほか、アメダスに湿度計を設置、線状降水帯のもととなる水蒸気量の観測を強化、さらに現在の気象観測船に代わる新たな気象観測船の建造費、次世代型スーパーコンピューターの整備費など今年度の3.8倍にあたる53億6,900万円を概算要求に盛り込みました。

(2021.8.27)



写真は気象観測船 凌風丸

ニンジン状の雲

また、気象衛星の観測からは、梅雨前線が停滞していて活動が活発なときや、寒冷前線が接近しているときなど、衛星画像で南西方向に尖った雲の形を目にすることがあります。

それがテーパリング・クラウド（筆先のように先がとがった形状）、別名ニンジン状の雲です。（図5）

南の方の細くとがっているところには、暖かく湿った空気が集中的に流れ込んできていて、次々と活発な積乱雲が発生し、風下に向かって積乱雲の雲頂部でカナトコ雲が広がるため写真のような形になります。

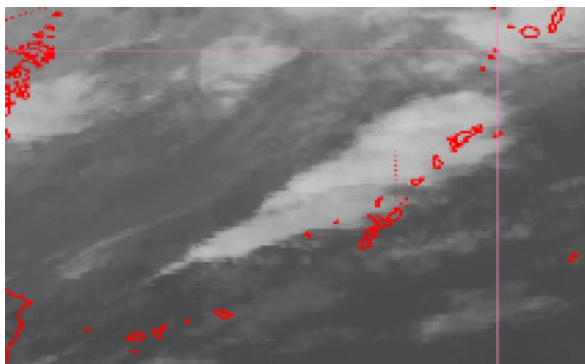


図5 ニンジン状の雲（衛星ひまわりの赤外面像）気象庁提供

この雲の近くでは、大気の状態が非常に不安定で落雷や突風はもちろん、集中豪雨や竜巻などの発生する恐れがあります。

藤原咲平の予言

私自身の思い出話ですが、かつて気象庁で予報官をしていた頃、「朝日新聞夕刊コラム」に伊東譲司の実名入りで、ニンジン雲と題して、線状降水帯の気象衛星画像の解説を書いたところ、気象庁の大先輩である故根本順吉氏が私のデスクを訪ねて来られ、若かりし頃、(第5代中央気象台長、藤原咲平(1884~1950)が気象養成所(現気象大学校)の教官だった当時、教壇に立ち、「時には、エンジンがかかったように、次々と大雨を降らせる機構が発生することがある」と弁をふるっていたことを語り伝えてくれました。

藤原咲平は、2個の台風が1000km以内に接近するとお互いに干渉し複雑な動きをする「藤原の効果」で有名な、東京帝大卒の優秀な気象学者でしたが、気象衛星がない時代にもかかわらず、線状降水帯を予言していた人だったと言えます。

Q：記録的短時間大雨情報ってどういうときに出されるものですか？

「川崎市高津区付近で約90ミリ」という場合の、「付近」とか「約…ミリ」という表現は、どうしてそういうのですか？

A：記録的短時間大雨情報とは、大雨警報が発表されているときに、数年に1回程度発生する激しい短時間の大雨を観測、または解析雨量が記録されたときに発表する気象情報です。現在の降雨がその地域にとってまれない激しい状況であることを周知するため、大雨警報を補完する意味で発表されるものです。

神奈川県記録的短時間大雨情報 第1号

平成19年5月31日18時23分 横浜地方気象台発表

18時神奈川県で記録的短時間大雨

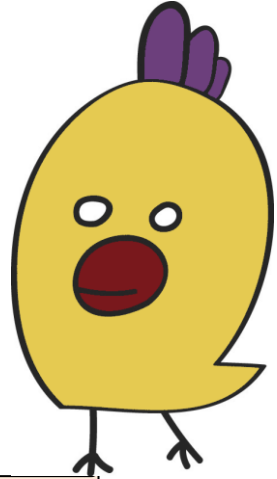
川崎市中原区付近で約90ミリ

川崎市高津区付近で約90ミリ

発表される基準は、市町村単位に決められています。上の川崎市の例では、発表基準は1時間雨量が90ミリ以上となっています。

アメダスで降水量が実測されたデータの場合は、場所と数字はそのまま報じられますが、解析雨量で記録された場合は、「…付近」で「約…ミリ」という表現されることになっています。身近に大雨の危険が迫っていると思って、身の安全を測ることが大事です。

解析雨量の計算される時間は、1時間おきの正時と間の30分おきにされているので、発表時刻はデータがみられる時刻のすぐ後の時刻になります。また、記録的短時間大雨情報は、基準を超えた記録が続いて出た場合は、第1号、第2号と出されることとなります。



Q: 「解析雨量」とは何ですか？

また、どういうふうに使われるのでしょうか？

A: 正しくは国土交通省「解析雨量」といいます。国土交通省河川局・道路局と気象庁が全国に設置しているレーダー、アメダス等の地上の雨量計を組み合わせて、それぞれの観測の長所を生かして、降水量分布を1km四方の細かさで解析したものです。解析雨量は30分ごとに作成されます。

例えば、9時の解析雨量は8時～9時、9時30分の解析雨量は8時30分～9時30分の1時間雨量となります。

解析雨量を利用すると、雨量計の観測網にかからないような局所的な強雨も把握することができるので、的確な防災対応に役立ちます。

Q: もっと詳しく教えてください。

A: アメダスは雨量計により正確な雨量を観測しますが、雨量計による観測は面的には隙間があります。一方、レーダーでは、雨粒から返ってくる電波の強さにより、面的に隙間のない雨量が推定できますが、雨量計の

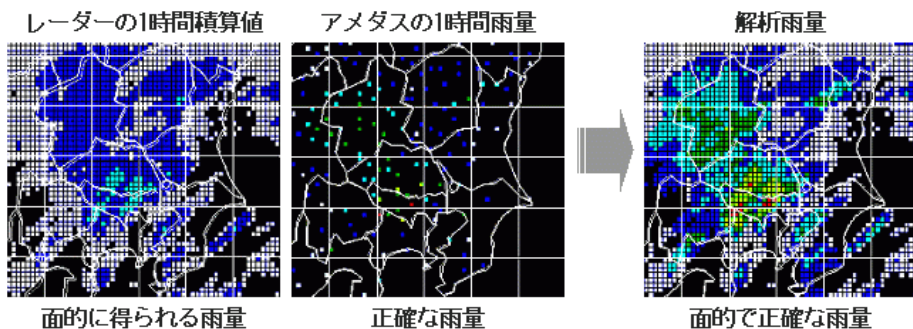
観測に比べると精度が落ちます。両者の長所を生かし、レーダーによる観測をアメダスによる観測で補正すると、面的に隙間のない正確な雨量分布が得られます。

レーダーと全国約 1300 か所のアメダスの雨量計データを合成して、格子点ごとの雨量を解析し「レーダー・アメダス雨量合成図」として、FAX 図が配信されたのが始まりで、1988 年からは、解析雨量を使った降水短時間予報が出されるようになりました。

解析雨量は、雨量計データの数が多くなるほど解析の精度が上がり、雨量計のない領域についても品質の良い情報となることから、計算機の脳力の向上とともに、国土交通省や都道府県などの雨量データやレーダーデータの取り込みを多くすることが進められてきました。この結果、2001 年頃は約 2.5km の細かさで、1 時間ごとの計算でしたが、2006 年 3 月からは細かさは約 1km、計算は 30 分ごとに改善されました。



2011 年 6 月以降は、全国 26 か所のレーダーとアメダスデータに加え、国土交通省の雨量計 3200 地点、都道府県の雨量計約 5500 地点が利用されており、実況地との誤差はほとんどなくなっています。



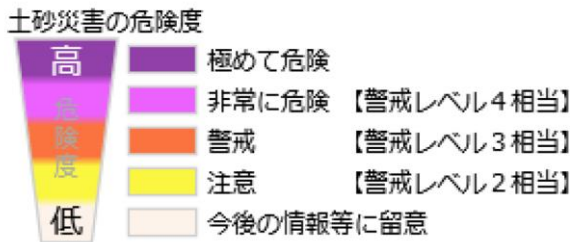
解析雨量は、降水短時間予報や降水ナウキャストの予測処理において、初期値の作成や雨域の移動に関する情報を求めるためにも利用されています。

Q: 「キキクル」って何ですか？

土砂キキクルにおいて土砂災害警戒情報の基準を実況で超過（かつ大雨特別警戒の土壌雨量指数基準値への到達割合 8 割以上）又は洪水キキクルにおいて警戒基準を大きく超過した基準を実況で超過とは？

A：大雨警戒（浸水害）の危険度分布図、大雨警戒（土砂災害）の危険度分布図、洪水警戒の危険度分布図を総称し、「キキクル」という名称を使用することになりました。

気象庁では、ホームページを改善し、大雨による浸水害や土砂災害の発生、また、洪水発生の危険度の高まりを 5 段階で判定し、その 5 段階を色分けして 6 時間前からの危険度分布を 10 分ごとに地図上に表示することにより、自治体による避難情報の発令判断や住民の自発的な避難を促すための判断材料として活用できるようにしています。



土砂キキクル

過去に発生した土砂災害をくまなく調査した上で「この基準を超えると、過去の重大な土砂災害の発生時に匹敵する極めて危険な状況となり、この段階では命に危険が及ぶような土砂災害がすでに発生していてもおかしくない」という土壌雨量指数を用いた基準が設定されています。

避難にかかる時間を考慮して 2 時間先までに基準に到達すると予測されたとき土砂キキクル（大雨警戒（土砂災害）の危険度分布）で「非常に危険」（うす紫色）となり、この段階で地元気象台からは土砂災害警戒情報が発表されます。

危険な場所からの避難が必要な警戒レベル4（避難指示）に相当し、土砂災害警戒情報が発表された場合は、土砂キキクルと土砂災害警戒区域をハザードマップポータルサイトの重ねるハザードマップに重ねて確認し、市町村長の避難指示が発令される前でも自主避難の判断をする必要があります。

重ねるハザードマップ

～災害リスク情報などを地図に重ねて表示～

洪水・土砂災害・高潮・津波のリスク情報、道路防災情報、土地の特徴・成り立ちなどを地図や写真に自由に重ねて表示できます。

地図を見る

場所を入力

例：茨城県つくば市北郷1 / 国土地理院

表示する情報を選ぶ

- 洪水(想定最大規模)
- 土砂災害
- 高潮(想定最大規模)
- 津波(想定最大規模)
- 道路防災情報
- 地形分類

わがまちハザードマップ

～地域のハザードマップを入手する～

各市町村が作成したハザードマップへリンクします。地域ごとの様々な種類のハザードマップを閲覧できます。

地図で選ぶ

まちを選ぶ

都道府県 市区町村



Q：浸水キキクル（大雨警報（浸水害）の危険度分布）とは？

A：「浸水キキクル」（大雨警報（浸水害）の危険度分布）は、1時間先までの雨量予測を用いた表面雨量指数の予測値が大雨警報（浸水害）等の基準に到達したかどうかを地図上に5段階で色分け表示して示されます。

これにより、大雨警報（浸水害）等が発表されたときに、実際にどこで浸水害発生の危険度が高まっているのかが一目で確認できます。

表面雨量指数とは、降った雨が地中にしみ込みやすい山地や水はけのよい傾斜地では、雨水が地表面に溜まりにくいという特徴がある一方、地表面の多くがアスファルトで覆われている都市部では、雨水が地中にしみ込みにくく地表面に溜まりやすいという特徴があることから、地面の被覆状況や地質、地形勾配など、その土地がもつ雨水の溜まりやすさの特徴を考

慮して、降った雨が地表面にどれだけ溜まっているかを、タンクモデルを用いて数値化したものです。

黄色（注意報級）の危険度が出現した場合には、周囲より低い場所で側溝や下水が溢れて道路が冠水し、住宅の地下室や道路のアンダーパスに水が流れ込むおそれがあります。

大雨警報（浸水害）の危険度分布の色に応じた住民等の行動の例

色が持つ意味	住民等の行動の例※	想定される周囲の状況の例
極めて危険	《重大な浸水害が すでに発生 しているおそれが高い極めて危険な状況。》	
非常に危険	周囲の状況を確認し、各自の判断で、屋内の浸水が及ばない階に移動する。	道路が一面冠水し、側溝やマンホールの場所が分からなくなるおそれがある。道路冠水等のため鉄道やバスなどの交通機関の運行に影響が出るおそれがある。周囲より低い場所にある多くの家屋が、床上まで水に浸かるおそれがある。
警戒	安全確保行動をとる準備が整い次第、早めの行動をとる。高齢者等は速やかに安全確保行動をとる。	側溝や下水が溢れ、道路がいつ冠水してもおかしくない。周囲より低い場所にある家屋が、床上まで水に浸かるおそれがある。
注意	今後の情報や周囲の状況、雨の降り方に注意。ただし、 各自の判断で、住宅の地下室からは地上に移動し、道路のアンダーパスには近づかないようにする。	周囲より低い場所で側溝や下水が溢れ、道路が冠水するおそれがある。住宅の地下室や道路のアンダーパスに水が流れ込むおそれがある。周囲より低い場所にある家屋が、床上まで水に浸かるおそれがある。
今後の情報等に留意	今後の情報や周囲の状況、雨の降り方に留意する。	普段と同じ状況。雨のときは、雨水が周囲より低い場所に集まる。

※ 浸水キキクル（大雨警報（浸水害）の危険度分布）に関わらず、自治体から避難指示等が発令された場合や下水道管理者から氾濫危険情報等が発表された場合は速やかに避難行動をとってください。

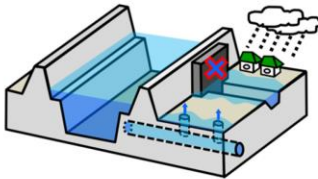
Q：洪水キキクル（洪水警報の危険度分布）とは？

A：洪水キキクル（洪水警報の危険度分布）は、大雨による中小河川（水位周知河川及びその他河川）の洪水災害発生の危険度の高まりを5段階に色分けして地図上に示したものです。危険度の判定には3時間先までの流域雨量指数の予測値を用いており、中小河川の特徴である急激な増水による危険度の高まりを事前に確認することができます。また、大河川で洪水

のおそれがあるときに発表される指定河川洪水予報についても表示しており、中小河川の洪水危険度とあわせて確認することができます。

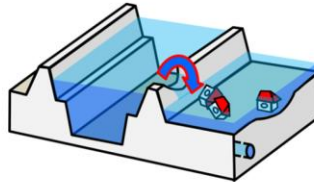
洪水警報は、河川の増水に起因する災害を対象としており、これには河川の水位が上昇し堤防を越えたり破堤するなどして堤防から水があふれる「外水氾濫」と、河川の水位が高くなることで周辺の支川や下水道から水があふれる「湛水型の内水氾濫」（本川から支川への逆流によるものや、人為的な水門閉鎖によるものも含まれます）とがあります。

湛水型の内水氾濫



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

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。

河川の増水に起因



洪水警報の対象

複合基準

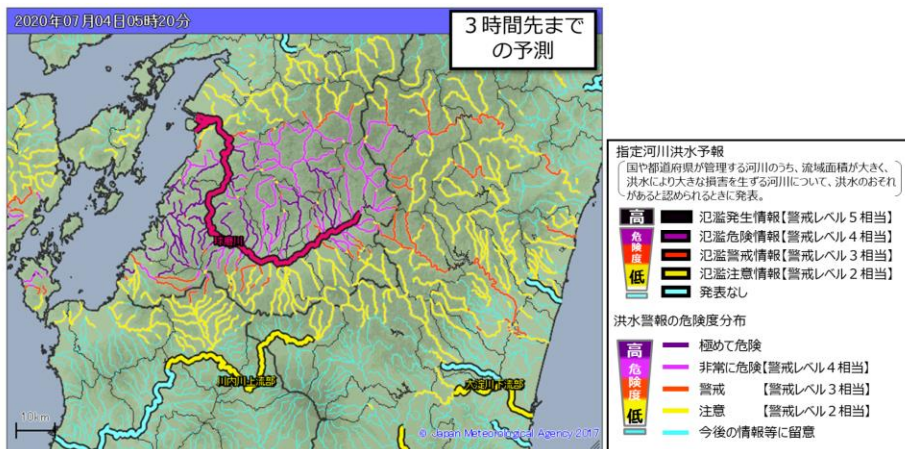
(表面雨量指数 + 流域雨量指数)

流域雨量指数

「外水氾濫」に対しては、当該河川の流域雨量指数による基準（流域雨量指数基準）を設定します。過去約 30 年間の洪水災害発生時の流域雨量指数の値を調査し、「流域雨量指数がこの数値を超えると重大な洪水災害がいつ発生してもおかしくない」という値を洪水警報の基準として設定しています。過去に重大な洪水災害の発生が確認されていない河川については、流域雨量指数の過去データを統計的に処理して、30年に一度超えるか

どうかという値（30年確率値）を洪水警報の基準として設定しています。

また「洪水警報の基準を大きく超過した基準」については、50年に一度超えるかどうかという値（50年確率値）を設定することを基本としています。なお、洪水警報の基準は、1km四方の格子毎に設定しています。全国の格子の中には、流域雨量指数を計算している河川（約20,000河川が対象）が通っていない格子もありますが、そのような格子にお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簡易的に行っており、この値を用いて基準値を設定しています。



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	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。	基準超過頻度を考慮し、50年確率値を設定。
	警報基準 流域雨量指数基準 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。 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見逃さないように設定。	基準超過頻度を考慮し、30年確率値を設定。（調査期間(約30年間)で1回基準超過するレベルに設定） 設定しない。
注意報相当	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。	基準超過頻度を考慮し、警報基準の7〜8割に設定。
	注意報基準 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）を見逃さないように設定。	設定しない。

洪水キクル危険度分布（気象庁）

Q：防災気象情報と警戒レベルのことを教えてください？

A：災害対策基本法改正及び避難情報ガイドラインの改定を受けた警戒レベル及び相当情報の見直しが行われました。この結果、警戒レベル5に「災害の切迫」がある状況も含まれることに伴い、大雨特別警報、高潮氾濫発生情報を警戒レベル5相当として位置付け、緊急安全確保の発令基準として「避難情報に関するガイドライン」に盛り込まれました。

警戒レベル	取るべき行動	市町村長が発令	気象庁が発表*
黒 5	命の危険 直ちに安全確保	緊急安全確保	大雨特別警報 氾濫発生情報
紫 4	危険な場所から 全員避難	避難指示 避難勧告	土砂災害警戒情報 氾濫危険情報 高潮特別警報 高潮警報
赤 3	危険な場所から 高齢者等は避難	高齢者等避難	大雨警報 洪水警報 氾濫警戒情報
黄 2	避難行動の確認	—	氾濫注意情報 大雨注意報 洪水注意報 高潮注意報
白 1	心構えを高める	—	早期注意情報(警報級の可能性)

* 警報等の種類の組み合わせや、時間帯、今後の見直し等によって、相当するレベルが変わる場合があります。

防災気象情報と警戒レベルの対応（気象庁ホームページより）

土砂災害警戒情報・氾濫危険情報・高潮警報・高潮特別警報は地元の自治体が警戒レベル4（紫）避難指示を発令する目安となる情報です。

大事なことは、自らの命は自らが守る意識を持つことで、上図の防災気象情報と警戒レベルの対応のとおり、警戒レベル4（紫）までに危険な場所から避難することです。

令和4年度以降、新たな大雨特別警報の基準値に実況または予想で到達を示す「キキクル（危険度分布）」の「災害切迫(仮)」(黒)を警戒レベル5相当に位置付けるとともに、土砂災害警戒情報の基準値に実況又は予想で到達した場合のキキクル（危険度分布）の警戒レベル4相当も「危険(仮)」(紫)に一本化される予定です。