

土砂災害警戒情報の基準設定及び検証の考え方

令和5年3月

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

目 次

1. はじめに.....	1
(土砂災害警戒情報の基準設定について)	2
2. 適用.....	2
2-1. CL 対象災害.....	2
2-2. CL 適用地域と除外メッシュ.....	5
2-3. CL 設定に用いる降雨データ.....	5
3. CL 設定方法.....	6
3-1. CL 設定手順.....	6
3-2. 資料収集・整理	7
(1) 降雨資料の収集・整理	7
(2) 土砂災害資料の収集・整理	8
3-3. 土砂災害発生時の降雨の抽出	9
3-4. RBFN を用いた応答曲面の設定	10
(1) 降雨データ	10
(2) 応答曲面の設定	10
3-5. 等 RBFN 出力値データの抽出.....	11
3-6. CL の検討手順.....	12
(土砂災害警戒情報の検証について)	22
4. 土砂災害警戒情報の検証.....	22
4-1. 検証データの収集	23
(1) 土砂災害資料の収集（都道府県）	23
(2) 土砂災害警戒情報等の発表状況や降雨資料の収集（地方気象台等）	23
4-2. 検証作業	24
(1) 土砂災害警戒情報の発表回数、災害捕捉率等の統計的な調査	24
(2) 土砂災害警戒情報の適中事例の考察	31
(3) 土砂災害警戒情報の空振り・見逃し事例の考察	32
4-3. 検証結果を踏まえた CL の調整.....	33
◆別紙資料 1 土壌雨量指数について	
◆別紙資料 2 RBF ネットワークを用いた応答曲面の設定方法および解析モデルについて	
◆別紙資料 3 RBFN プログラムで設定するパラメータ	
◆別紙資料 4 土壌雨量指数の下限値の具体的な設定方法の一例	

1. はじめに

土砂災害警戒情報は、大雨による土砂災害発生の危険度が高まったときに、警戒レベル4相当情報として、市町村長による避難指示などの災害応急対応や住民による自主避難が適時適切に行われるよう支援することを目的として発表する情報である。

この情報を適切に運用していくためには、都道府県、地方気象台等が相互の役割のもと、協力して土砂災害警戒情報と災害発生の関係等を調査し、土砂災害警戒情報の発表基準である土砂災害発生危険基準線（Critical Line：以下、「CL」という。）等の有効性や運用方法等を継続的に検証し、精度の向上等を図りつつ、提供にあたっての課題や問題点を抽出し、その改善を適宜行うことが必要である。

本資料は、土砂災害警戒情報の基準の設定方法や土砂災害警戒情報の検証と改善の方針を解説するものである。本資料をもとに、都道府県と気象庁が共同して作成・発表する土砂災害警戒情報に係る基準策定や継続的な検証・改善、各都道府県・市町村等土砂災害関係部局における土砂災害防止のために広く活用頂くことを期待する。

本資料は、次のような基本的考え方に基づく。

- ・ 基準の設定にあたっては、短期降雨指標には60分雨量、長期降雨指標には土壌雨量指数の2指標の組み合わせを用いることとする。
- ・ CLは、土砂災害の危険性が低いと想定される降雨の発現する確率の高い領域（以下「CL非超過領域」という。）と、土砂災害の危険性が相対的に高いと想定される降雨の発現する確率の高い領域（以下「CL超過領域」という。）の境界として設定することとする。
- ・ CLは、ある一定の範囲の土砂災害の危険度を降雨に基づいて評価するために設定するものであり、個々の急傾斜地等における地形・地質および植生等の影響をも直接的に考慮して土砂災害の危険度を評価するために設定するものではない。
- ・ CLについては、設定した後においても、新たな降雨データや災害データを用いて5年に1度を目安に、もしくは甚大な災害の発生状況等を勘案して適宜見直すこととする。

なお、本資料は、今後新たな知見が得られた際には、適宜見直しを図るものとする。

(土砂災害警戒情報の基準設定について)

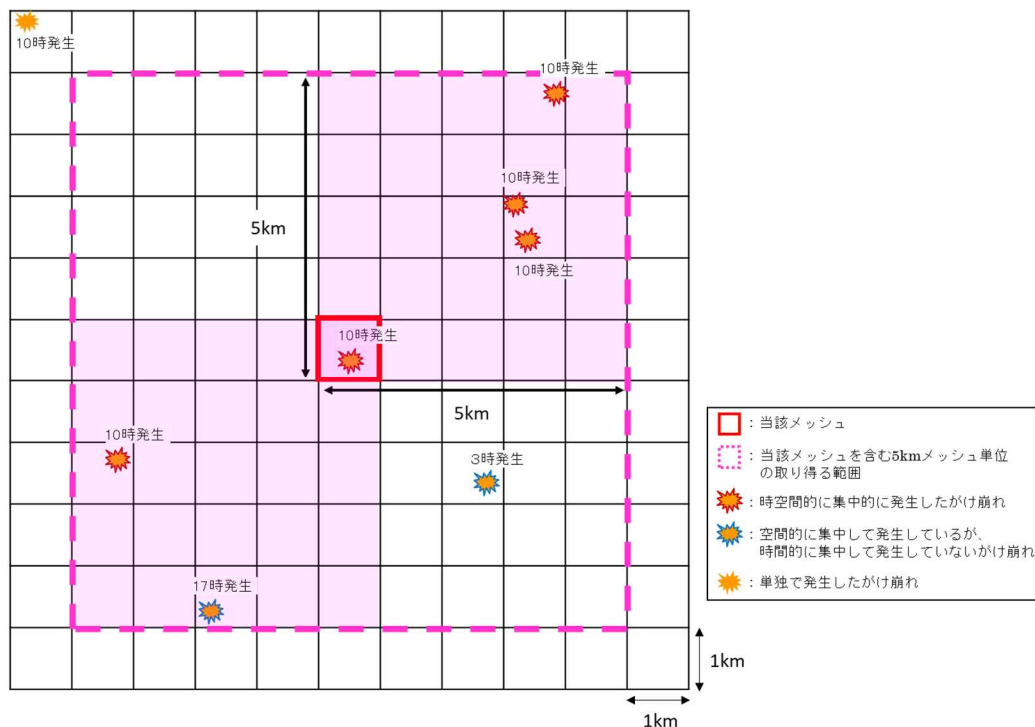
2. 適用

2-1. CL 対象災害

対象とする現象は、降雨により予測可能な「土石流」および「同時多発的ながけ崩れ」とする。土砂災害警戒情報が警戒レベル4相当情報であることに鑑み、これらは、市町村長による避難指示などの災害応急対応を必要とする規模の現象に限定される。

「同時多発的ながけ崩れ」は、一連の降雨のピーク付近で複数発生するという時間的な集中度合と、ある一定の範囲で複数発生するという空間的な集中度合の双方を考慮した、時空間的に集中して発生するがけ崩れとする。また、災害の種別に関わらず、災害発生時の土壌雨量指数および60分雨量が、一連の降雨のピーク付近のそれらと大きく異なる場合は対象としない。参考として、図-1 および図-2 に「同時多発的ながけ崩れ」の選定例を示す。

「同時多発的ながけ崩れ」における「同時多発的」の空間的な範囲については、当面は図-1 のとおり、当該メッシュを含む5km 四方位程度の広がりをもととする。また、「同時多発的ながけ崩れ」における「時間的な集中度合」については、スネークライン（一連の降雨を時系列的につないだ線）の形状や降雨パターン（ハイエトグラフ等により確認）を考慮したうえで決定する（図-2 参照）。



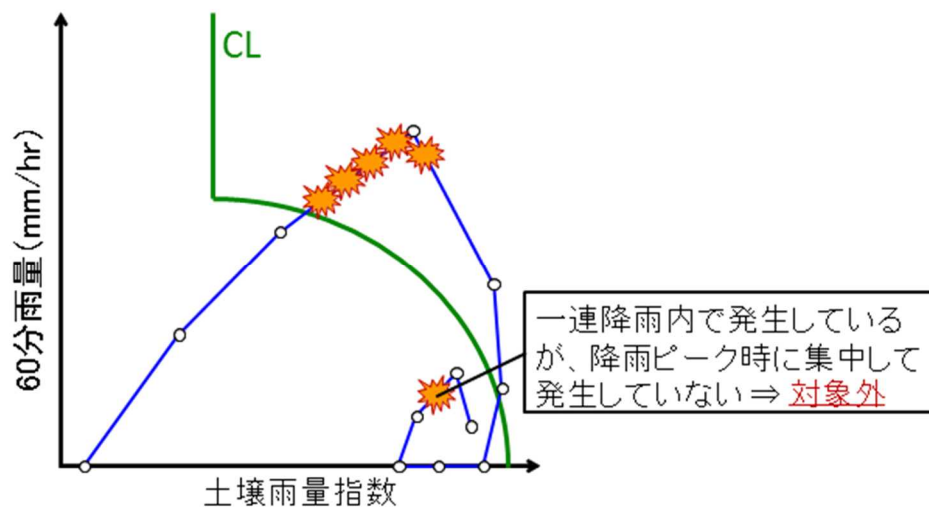


図-2 同時多発的ながけ崩れの選定例2

地すべりや深層崩壊等に限らず土石流やがけ崩れであっても、土壌雨量指数や60分雨量が高まっていない状態で発生する土砂災害もみられる。このような土砂災害は、土壌雨量指数と60分雨量の2軸による評価手法では危険度の評価が困難であることから対象としない。参考として、図-3に一連の降雨のピーク付近で発生しない土砂災害の例を示す。

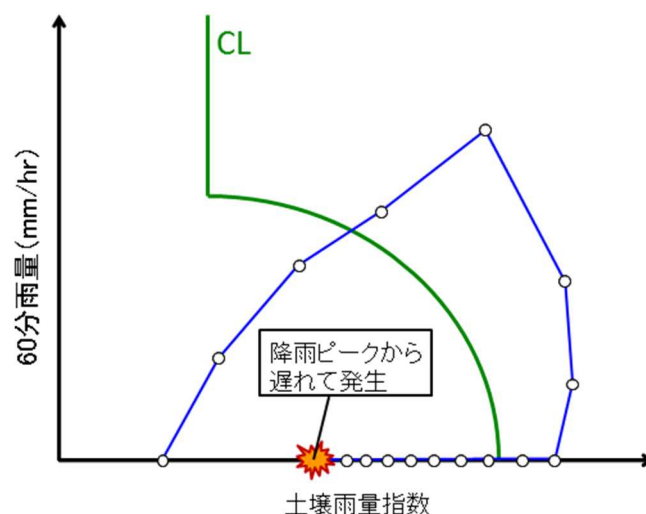


図-3 一連の降雨のピーク付近で発生しない土砂災害の例

「土石流」が長距離を流下した事例のように、現象の発生源を含むメッシュと被災地点を含むメッシュが異なる場合は、現象の発生源を含むメッシュを災害発生メッシュとする。

土砂災害の発生頻度の低い地域では、対象となる現象が少ないことにより、CL

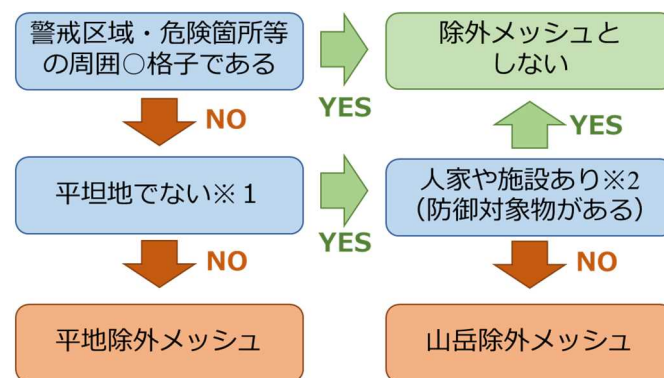
の設定が困難となるケースが少なくない。そのような場合は、3-6③の災害非発生メッシュにおける等 RBFN 出力値線の選定方法案を参考に CL を設定するものとする。また、道路・鉄道沿いの土石流やがけ崩れについて、斜面のタイプ、現象の規模等に関する一定の条件を定めたうえで、対象とする現象に含めることも1つの方法である。

＜コラム1＞「同時多発的ながけ崩れ」の概念

がけ崩れは、強風や凍結融解等の作用によって僅かな降雨量でも散発的に発生することがある。そのような現象は、降雨以外の要因に大きく影響されるため降雨による予測が困難である。それに対して、一連の降雨のピーク付近で同時多発的に発生するがけ崩れは、降雨を主な要因として発生する蓋然性が高いと言える。したがって、「同時多発的ながけ崩れ」は降雨により予測可能としている。

2-2. CL 適用地域と除外メッシュ

CL 適用地域は、CL の設定および超過判定が行われる領域を表し、1km 格子単位で定めることを基本とする。ただし、平坦で土砂災害が発生しえないメッシュや、建物がなく定常的に人が活動していないメッシュ等、自然的、社会的条件等の観点から勘案して、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、1km 格子単位で CL 適用地域から除外する。なお、除外メッシュでは、土砂災害警戒情報だけでなく、大雨警報（土砂災害）および大雨特別警報（土砂災害）における基準超過判定の対象からも除外されることに留意する。参考として、除外メッシュを設定するフローの例を図-4 に示す。山岳域で道路や登山道、観光地等があるメッシュの取扱いについては、総合的な検討が必要であり、市町村等と協議のうえ決定する。なお、隣接する都道府県との境界周辺においては、それぞれの都道府県による除外メッシュの考え方を把握しておく。



※1：（例）勾配〇度以下

※2：（例）国土数値情報で、土地利用が森林・荒地・河川
湖沼でない、もしくは、国勢調査で人口あり

図-4 除外メッシュを設定するフローの例

2-3. CL 設定に用いる降雨データ

CL 設定にあたっては、短期降雨指標、長期降雨指標の2指標の組み合わせを用いることとし、短期降雨指標には60分雨量、長期降雨指標には、降った雨が土壌中にたまっている状態を推計する土壌雨量指数（土壌雨量指数の詳細な説明については、別紙資料1を参照する他、地方気象台等から適宜必要な情報の提供を受けること。）を用いることとする。

3. CL 設定方法

3-1. CL 設定手順

本手法では、CL 非超過領域と過去の土砂災害の発生状況や避難指示の実態などを総合的に勘案して CL を設定する。

CL の設定手順（土砂災害警戒情報の検証を含む）は、図-5 のフローに示すとおりである。なお、CL 非超過領域の特定にあたっては、非線形判別に優れ、CL 設定の客観性向上が図られる RBF ネットワーク（以下「RBFN」という。）を用いることとする（RBFN の詳細な説明については、別紙資料 2 を参照）。

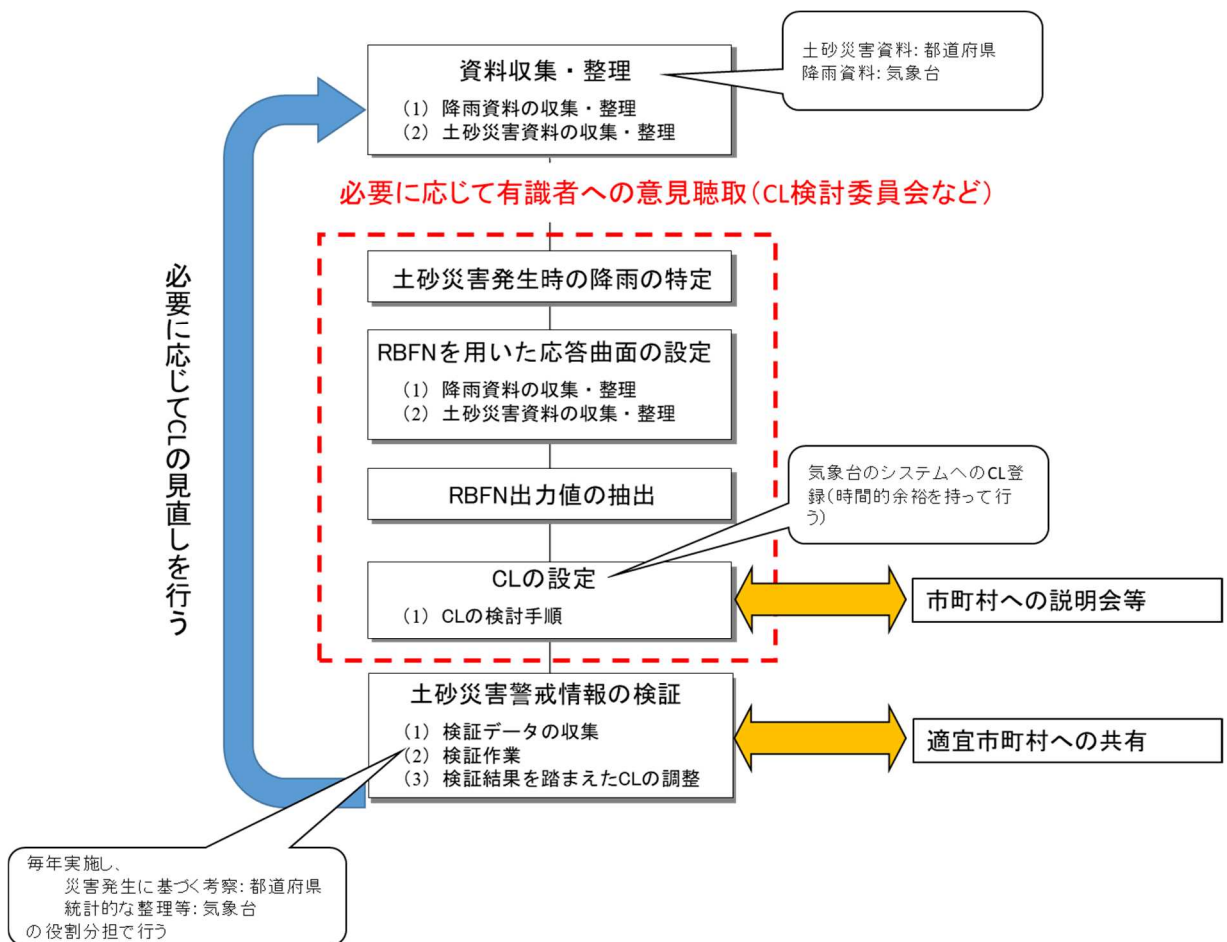


図-5 CL の設定フロー

3-2. 資料収集・整理

(1) 降雨資料の収集・整理

各メッシュにおける CL 設定に必要な過去の降雨データ（60 分雨量、土壌雨量指数）としては、気象庁の解析雨量、土壌雨量指数を用いることとする。これら降雨資料については、関係する地方気象台等と調整の上、当該地方気象台等から各都道府県へ提供する。

降雨資料の収集期間が短くなるほど、その場の降雨特性を表現できない可能性が高まる。したがって、3-4（2）における応答曲面の設定に必要な降雨資料の収集期間は、10 年以上を原則としたうえで、降雨経験の取りこぼしを防ぐ観点から、なるべく長期間の降雨資料を用いることが望ましい。その際、1km メッシュ解析雨量の提供が開始された 2006 年以降の降雨資料（1km メッシュの解析雨量、土壌雨量指数）に限らず、1991 年～2005 年の降雨資料（5km もしくは 2.5km メッシュの解析雨量、土壌雨量指数）も用いることができる。

CL 設定に用いる気象庁の解析雨量、土壌雨量指数については、毎正時 00 分のものである。

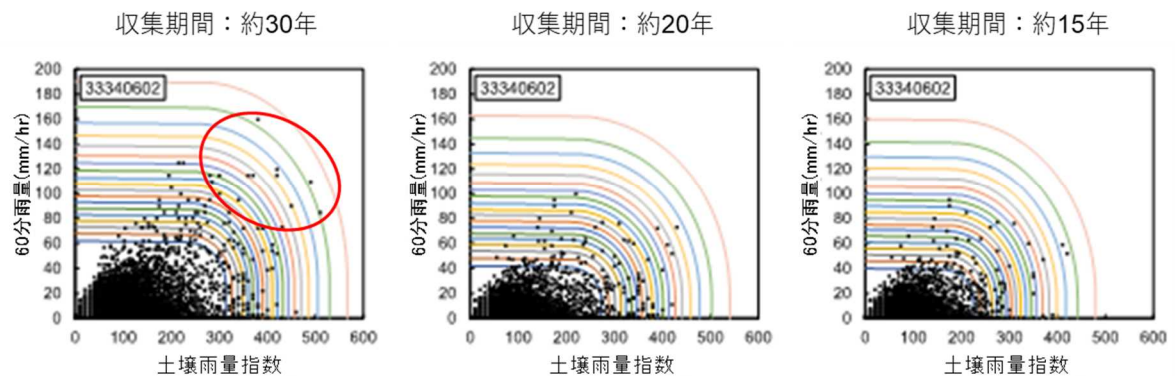
<コラム 2> 気象庁作成の解析雨量、土壌雨量指数について

気象庁作成の解析雨量、土壌雨量指数のデータ期間・解像度等を以下の表に示す。5km メッシュの解析雨量、土壌雨量指数を使用する場合は、1988 年からデータが存在するが、データの欠落等を踏まえ 1991 年からのデータを使用することを基本とする。また、解析雨量は 2003 年 6 月からは 00 分系（毎正時）だけでなく 30 分系があるが、応答曲面の作成には、補正に用いる雨量観測データ数がより多く精度の高い 00 分系を用いる。

解析雨量	期間	時間間隔	解像度	備 考
	1988.4～2001.3	1 時間	5km	補正にアメダスの雨量計のみ利用
	2001.4～2003.5	1 時間	2.5km	補正に国土交通省や地方自治体の雨量計も利用開始
	2003.6～2006.2	30 分	2.5km	
	2006.3～	30 分	1km	正規版解析雨量
	2018.3～	10 分	1km	速報版解析雨量

土壌雨量指数	期間	時間間隔	解像度	備 考
	1988.4～2001.3	1 時間	5km	
	2001.4～2006.2	1 時間	5km	
	2006.2～2022.5	30 分	5km	2021 年度に全 47 都道府県で解像度の 1km 化完了
	2006.4～	1 時間	1km	正時系再解析版土壌雨量指数 (運用ではなく CL 設定用に 00 分系で作成)
	2018.3～	10 分	1km	高頻度土壌雨量指数

降雨資料の収集期間と応答曲面の関係について、全国的な感度分析を国土技術政策総合研究所土砂災害研究室で行った。その結果、降雨資料の収集期間の始まりを2005年以前へ延ばしても、全国平均では影響が小さい一方、2005年以前に比較的大きな降雨を経験していたメッシュ（下図）では影響が大きいことが確認されている。したがって、過去の降雨状況によっては、比較的精度の低い2005年以前の降雨資料も用いることが望ましい場合がある。



なお、2018年3月から開始した速報版解析雨量、高頻度土壌雨量指数については、今後10年ほどデータが蓄積されれば応答曲面の作成に利用できるようになる可能性がある。

（2）土砂災害資料の収集・整理

降雨資料収集期間内に発生した土砂災害について、発生箇所（住所、緯度・経度）、溪流名もしくは箇所名、発生年月日（時間単位の精度を有することが望ましい）、災害種別（土石流、がけ崩れ、地すべり）、崩壊量、被害状況（死者、行方不明、負傷者、家屋損壊など）、避難指示の発令の有無などを収集・整理する。また、収集した土砂災害の住所、緯度・経度から、当該発生箇所が含まれるメッシュの番号についても整理する。これらは、都道府県砂防部局が地方気象台等と連携しながら行うものとする。

3-3. 土砂災害発生時の降雨の抽出

各メッシュについて、2-1で定義した現象による土砂災害の発生が確認されている一連の降雨（以下、「発生降雨」という。）を抽出する。また、2-1で定義した現象による土砂災害の発生が確認されていない一連の降雨（ただし、何らかの土砂移動現象の発生は確認）であっても、被害状況などから、発生降雨とすることが妥当であると判断される場合は、当該降雨を発生降雨として取り扱う。なお、収集した降雨資料のうち、発生降雨以外はすべて非発生降雨とする。ここで、一連の降雨とは、一例として、前後に24時間以上の無降雨期間があるひとまとまりの降雨と定義する（図-6 参照）。

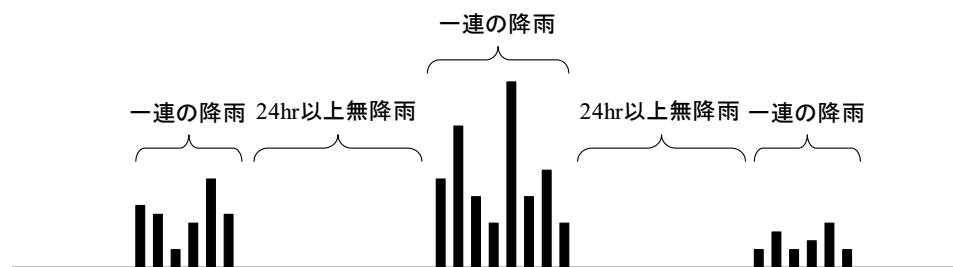


図-6 一連の降雨の概念図

3-4. RBFN を用いた応答曲面の設定

(1) 降雨データ

応答曲面は、過去に土砂災害が発生したかどうかに関わらず、全降雨データを用いて作成する。

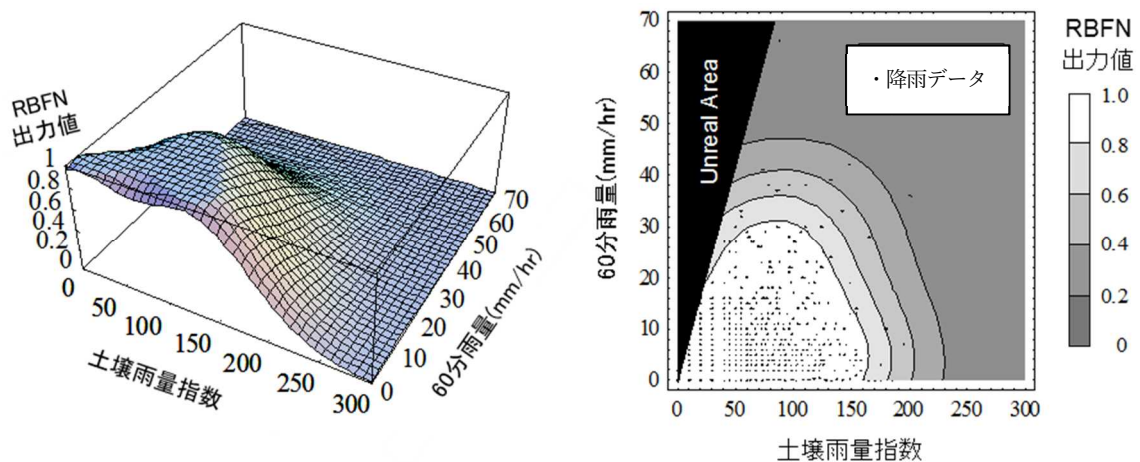
(2) 応答曲面の設定

各メッシュについて、RBFN を用いて、3-4.(1) で作成した全ての降雨データに基づく曲面（以下「応答曲面」という。）を設定する。

応答曲面は、x 軸・y 軸をそれぞれ土壌雨量指数・60 分雨量とする平面上の任意の点の降雨量がどの程度の確率で発現するかを表すものである。ここで、応答曲面の z 軸を RBFN 出力値と呼ぶ。また、応答曲面上で RBFN 出力値が同値となる点を結んだ線を等 RBFN 出力値線とし、これを表す座標の集合を等 RBFN 出力値データと定義する。

当該平面上において、降雨データが密にプロットされる領域では、RBFN 出力値が高く、また降雨データが疎の領域では、RBFN 出力値が低くなる（図-7）。

設定には、国土技術政策総合研究所土砂災害研究室より配布されている RBFN プログラムを使用することとする（別紙資料 3）。



(a) 3次元での表示例

(b) 2次元での表示例

図-7 応答曲面の設定例

3-5. 等 RBFN 出力値データの抽出

各メッシュについて、3-4にて設定した応答曲面から当該応答曲面の RBFN 出力値 0.05~0.95 (0.05 間隔) の等 RBFN 出力値データをそれぞれ抽出する (抽出したすべての等 RBFN 出力値データのうち、いずれかひとつは CL を設定する際の基本データとなる)。ここで、等 RBFN 出力値データの抽出間隔は y 軸方向 (60 分雨量) に 1mm/hr 単位とし、それぞれに対応する x 軸方向 (土壌雨量指数) の値を抽出する。

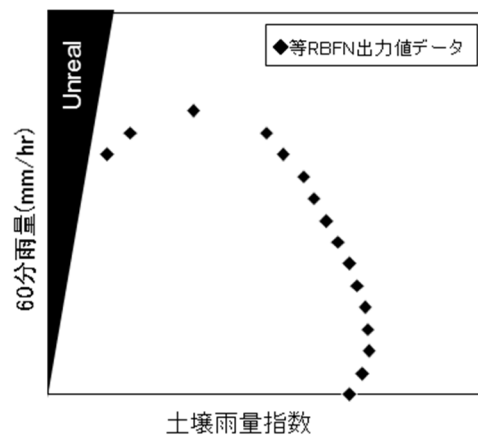


図-8 等 RBFN 出力値データの抽出例

3-6. CL の検討手順

以下①～⑤の手順で CL を検討する。

①等 RBFN 出力値データの修正

3-5 で抽出した各等 RBFN 出力値データは、実際の現象や危険度と矛盾が生じないようにそれぞれ以下の方法で修正する。

- 1) 図-9 に示すように、等 RBFN 出力値データの土壤雨量指数値が最大となる点 (A1) よりも 60 分雨量値が小さくなる点 (A2, A3) が存在する場合、A2、A3 の土壤雨量指数値は、A1 点の土壤雨量指数値と同値になるように修正する。

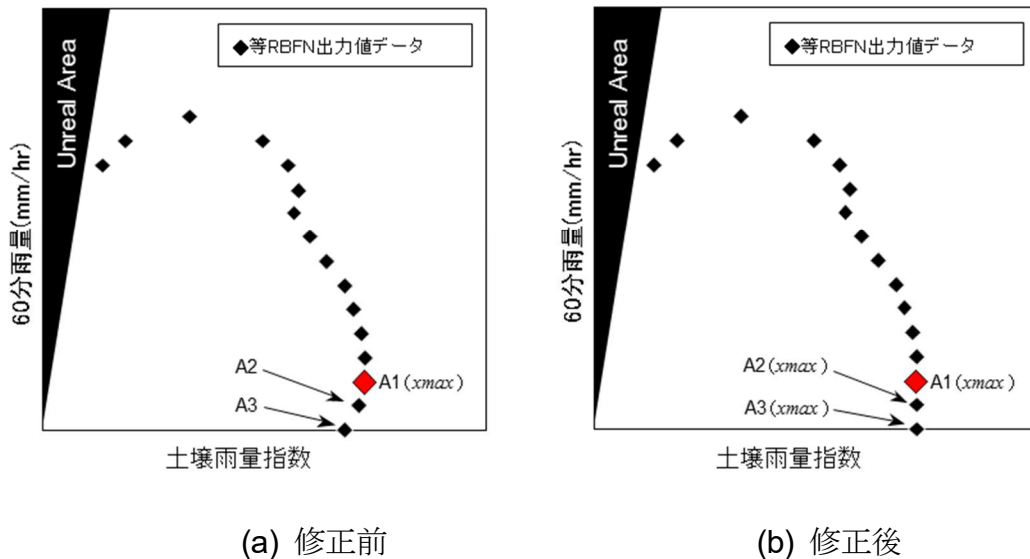


図-9 等 RBFN 出力値データの修正方法

(60 分雨量 $\neq$ min で土壤雨量指数 = max となる場合)

- 2) 図-10 に示すように、等 RBFN 出力値データの 60 分雨量値が最大となる点 (B1) よりも土壤雨量指数値が小さくなる点 (B2, B3) が存在する場合、B2、B3 の 60 分雨量値は、B1 の 60 分雨量値と同値になるように修正する。

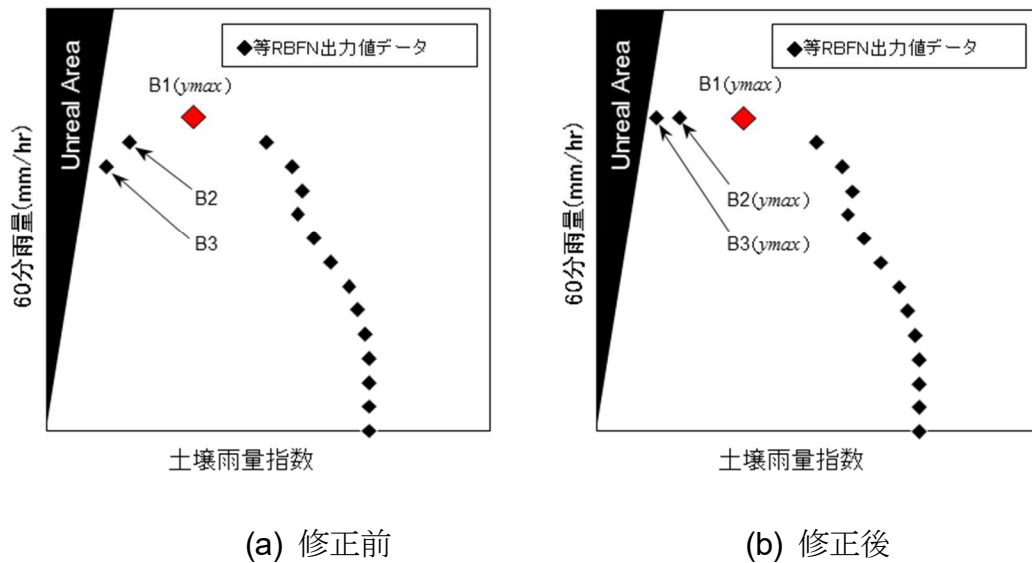


図-10 等 RBFN 出力値データの修正方法
(土壌雨量指数 $\neq \min$ で 60 分雨量 $= \max$ となる場合)

- 3) 上記 1)、2) を修正した場合であっても、図-11 に示すように、連続する 2 点の等 RBFN 出力値データ (C1, C2) を結んだ直線の傾きが 0 を越えるような場合、C2 の土壌雨量指数値は、C1 点の土壌雨量指数値と同値になるように修正する。

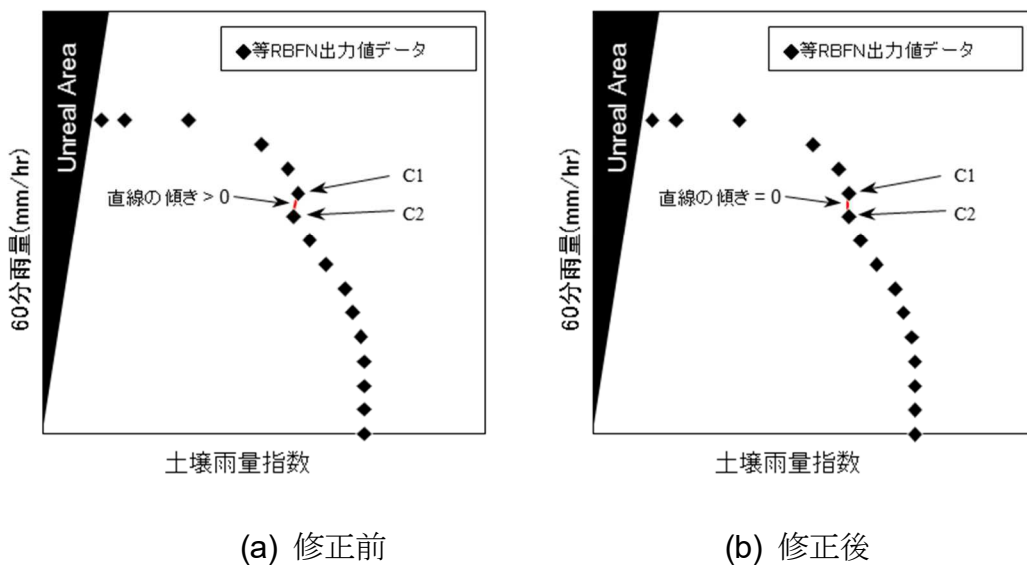
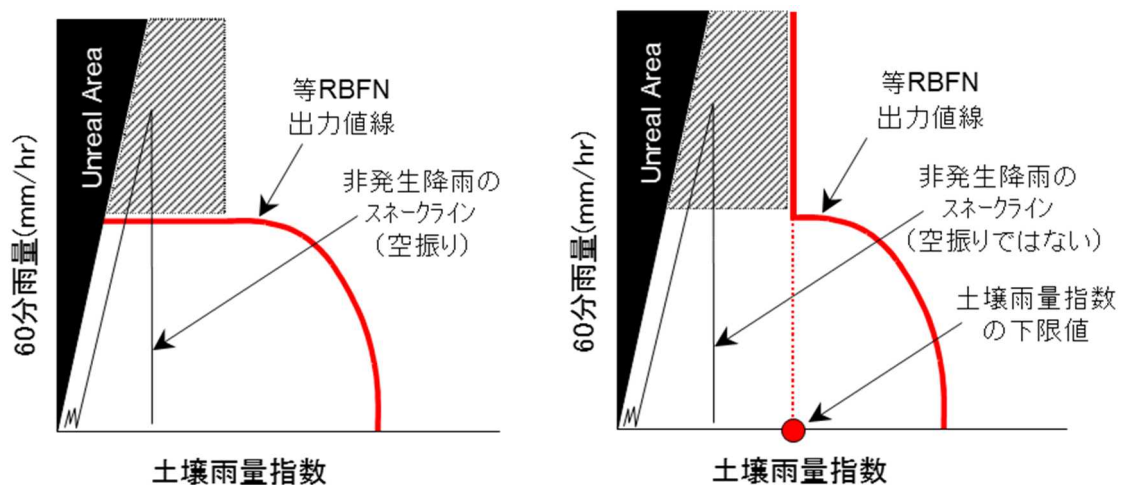


図-11 等 RBFN 出力値データの修正方法 (2 点間の直線の傾き > 0 となる場合)

②土壌雨量指数の下限値の検討

上記①に基づく曲線をそのまま CL とした場合、地域によっては図-12(a)の斜線（) で示す領域（先行降雨のほとんどない夕立等）で空振りが頻発することとも予想される。それらの空振りを回避するために、短時間強雨により発生したと考えられる対象災害の発生降雨・非発生降雨のスネークラインの傾向や関係等を参考に、土砂災害発生に対する CL 非超過領域と CL 超過領域を区分する境界線として、土壌雨量指数の下限値を設定する。土壌雨量指数に下限値を設定した場合、①で設定した曲線は、土壌雨量指数の下限値となる点から左側にある線を y 軸と平行になるように上向きに折り曲げるよう設置する（図-12(b)参照）。



(a) 土壌雨量指数の下限値の設定前 (b) 土壌雨量指数の下限値の設定後

図-12 土壌雨量指数の下限値の設定方法

なお、設定の際は、CL 超過領域の災害発生頻度や災害発生確率、降雨の未経験領域等に留意する。対象災害の発生実績が十分でない地域の場合、対象災害の発生降雨と非発生降雨の両方に着目することで、より有効な土壌雨量指数の下限値の設定ができると考えられる。また、対象災害の発生実績が十分にある地域においても、空振りにつながる可能性がある短時間強雨が多数存在する場合には、対象災害の精査等により、土壌雨量指数の下限値の有効性を確認することが重要である。参考として、図-13 に土壌雨量指数の下限値の設定イメージおよび留意点を示す。下限値は、ある割合もしくは数値を各メッシュへ展開することを基本とする（具体的な設定方法の一例は別紙資料 4 を参照）。

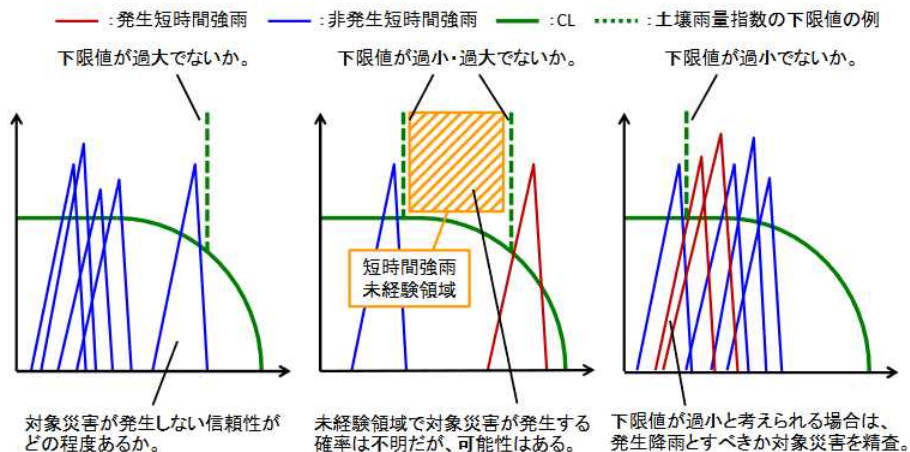
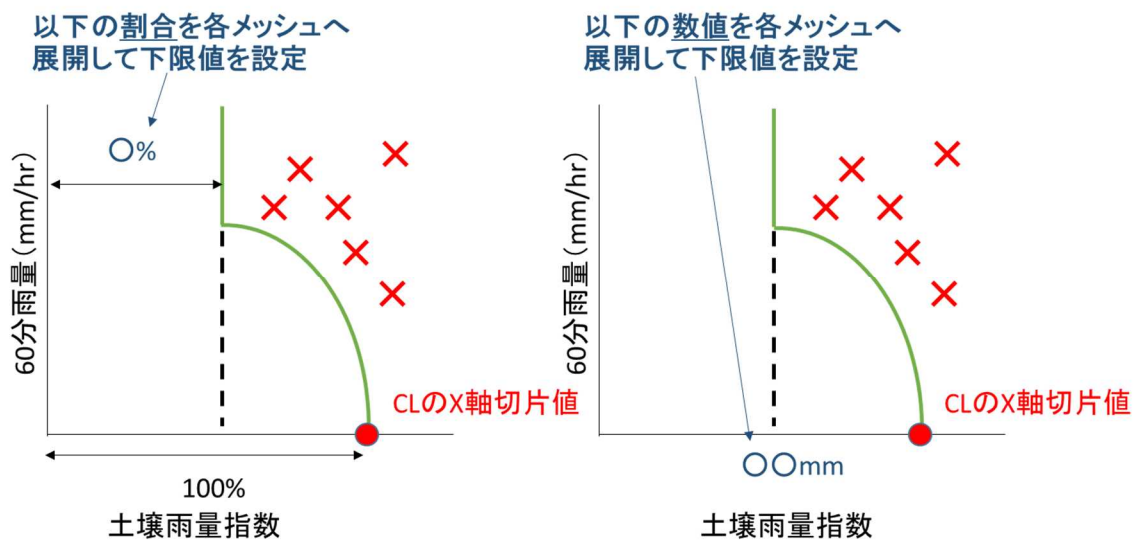


図-13 土壌雨量指数の下限値の設定イメージおよび留意点

<コラム 3> 60 分雨量の下限値について

溪流堆積土砂移動型の土石流の発生は、10 分間～数 10 分間ほどの短時間降雨強度とよく対応することが経験的に知られている。しかし、10 分間ほどの短時間強雨の予測精度が低いこと、10 分雨量による警戒避難体制の構築は困難なこと等から、短期降雨指標として 60 分雨量が採用されている。したがって、土壌雨量指数の下限値設定に併せて、土石流の発生状況や降雨予測の精度等を十分踏まえつつ、60 分雨量の下限値を設定する場合がある。

③災害非発生メッシュにおける等 RBFN 出力値線の選定方法案

災害非発生メッシュにおける CL の設定において、CL とする等 RBFN 出力値線の選定は、⑦地質特性等の素因条件が同等とみなせる災害発生メッシュの選定

結果を参考に、降雨の発生頻度や発生確率、履歴順位等を用いて選定する方法、
①当該地域の大規模降雨を参考に選定する方法等が案として考えられる。

⑦の方法については、RBFN 出力値は、降雨の出現確率の相対的な高さを表すものであるが、どの程度の確率で土砂災害が発生するかという絶対値として取り扱うためには工夫が必要となる。等 RBFN 出力値線の選定方法として、以下に2つの案を示す。

- (a) 災害発生メッシュで設定した CL の RBFN 出力値、降雨の発生頻度や発生確率、空振り降雨の発生頻度や発生確率を参考に、災害発生メッシュと同等な条件を用いて災害非発生メッシュの RBFN 出力値を選定する。
- (b) 既往研究では、履歴順位の高い降雨は、土砂災害の発生確率が高い可能性があることが示されている。これを参考に、対象災害発生降雨の履歴順位から対象災害が発生すると想定される履歴順位基準を設定し、災害非発生メッシュへ適用して RBFN 出力値を選定する。なお、ここでの履歴順位とは、対象とする降雨とそれ以前の降雨を比較したときの大きさ（例えば RBFN 出力値や土壌雨量指数など）の順位である。

①の方法については、地震後における CL の暫定基準の考え方にもあるように、複数回の降雨を経験していることを踏まえて、履歴順位2位以下の降雨を参考に RBFN 出力値を選定する方法が考えられる。ただし、大規模降雨の発生頻度が少なく、図-14 のように地域によって RBFN 出力値が大きくばらつく場合は、履歴順位1位を参考とするのも1つの方法である。

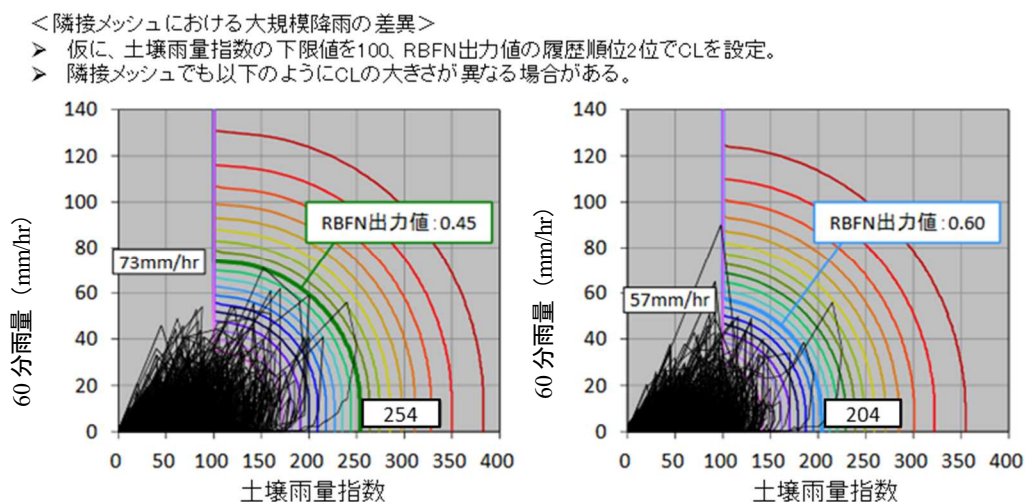


図-14 大規模降雨を参考に選定する場合の留意点

<コラム4>地形・地質等の素因リスクに応じた危険降雨量設定手法の標準化に向けた取り組み事例

土砂災害防止対策基本指針五により、法第27条第1項に定められた危険降雨量（降雨基準、以下「CL」と言う）の設定においては、「過去の降雨の状況…土砂災害の発生状況等を総合的に勘案する」とされ「降雨状況＋発生状況」の方式となっている。発生状況のデータには発生タイミング（時）に影響する降雨データ（誘因）と、発生する場所に影響する素因としてのハザードが両方反映されている。すなわち降雨の要素は「降雨状況」だけでなく「発生状況」にも含まれており、以降の説明をしやすいよう、学術的な整理にならって「誘因＋素因＝発生」と考える。もちろん、土砂災害となる土砂移動は必ず起きる訳ではない。「発生しやすい、ないし、することが多い」という意味である。データサイエンスとしては土砂災害の発生データは典型的な「不均衡データ」であるため、その分類を、信頼性を持って行うことは原理的に難しい。そのため、短い期間の狭い限られた領域から得た発生状況のデータで誘因と素因を試行錯誤すると、偏った、誤った学習結果となる。誘因については、気象庁側の技術向上により実用上ほぼ安定したと見なせる品質で一般的な解析雨量プロダクトが使用されている。他方、素因については、都道府県ごとに試行錯誤（工夫）してきた一方、国側からの技術的参考情報が十分でない面があった。

そこで、既往の各都道府県別の素因を用いた地域分割を補い、評価する補助線となるように1996～2018年の23年間分の全国の発生状況を用いて素因リスクを整理・マップ化した国総研資料第1120号及び付属図書を公開・提供している（図-a）。使用している元データは従来と変わらない。期間が長く、全国共通の仕方で分類した素因区分を使っている点が新しい点となっている。十分な追加調査や学術的な調査資料に基づいて素因マップを確立している都道府県であれば、これを使用することで現行の設定区分を検証することが出来る。素因マップにやや客観性に難がある、あるいは工学的・実務的判断で使用してきた都道府県においては、これ自体を使う、もしくは調査資料や解析を追加することでより詳細化した素因リスクマップを作ることが出来る。

CL設定は災害発生メッシュと災害非発生メッシュとで大きく異なる。災害発生メッシュにおいては単純に過去の信頼できる発生状況、発生推定時刻までの降雨データからほぼ一意に、自動的に決まる。素因区分が必要になるのは災害非発生メッシュに対してである。土砂災害発生数は多いものの、国土の圧倒的多数のメッシュが災害非発生メッシュであり、特に1kmメッシュ化してからこの比率は大きく増大した。この災害非発生メッシュに対して素因リスクの考慮をすることになる。

具体的な使用方法としては、従来からの素因リスク地域分割の使い方と同様で、「同じ区分内では同じCL設定法にする」であり下記のようなになる（頻度法の一つ

である現行の RBFN による場合を想定。別種の水文指標を短期や長期のものに使う場合でも基本は同様になる。))。

- ①同じ区分内の災害発生メッシュについて推定発生ないしピーク時の RBFN 値のヒストグラムを得る。
- ②このヒストグラムの代表値を選ぶ（標準的には中央値や平均値に近い値自体、または3－6③に記載のある上位の履歴順位。ただし、基準設定レベルでの捕捉率を徹底的に重視の場合には変曲点で決めることもありえる。))。
- ③CL 設定の手掛かりのないいわゆる「災害非発生メッシュ」について、上記の区分ごとの災害発生メッシュ代表値を基準案として試算へ移る。
- ④検証期間における適中率や空振り率（場合によっては発表頻度で代替することもある）を算出。
- ⑤責任を持って運用出来る妥当な範囲にあれば適否を有識者に図って確定。調整が必要な場合には上記の代表値選定を試行錯誤する段階へ戻って再度試す。

この方式で検討して合意を得た 2020 年度山梨県の事例を図-b に示す。

直接この方式ではなく、素因リスクには従来からの県独自の分割を用いた上で、検証に国総研資料第 1120 号の資料を用いた 2020 年度熊本県の事例を図-c に示す。

前者はより直接的に、後者はより間接的に使用した事例となっている。危険降雨量 CL には従来から地形・地質の素因情報が陰に陽に反映されているが、本手法を援用することで、既に CL に反映されてきている素因の全国的な共通化で標準化に向けた取り組みが強化されるとともに、CL 検討段階での負担のかかっている裁量性が減り、透明性・客観性が高まると期待出来る。

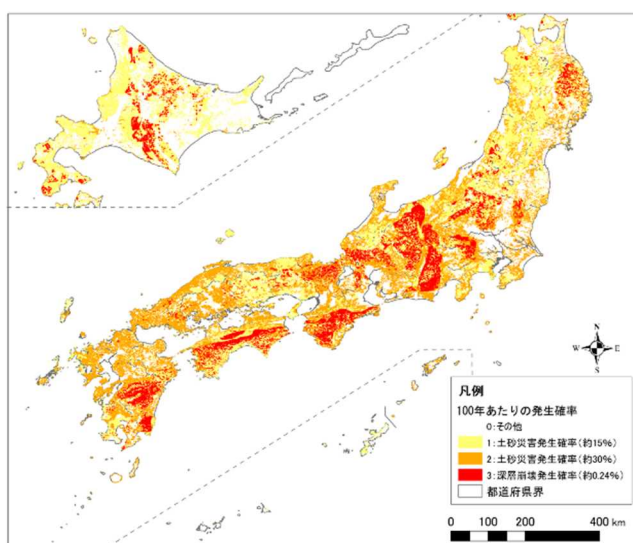


図-a: 地形・地質素因に基づく土砂災害発生確率マップ案
(国総研資料第 1120 号による)

	手法 A (A-1) <<参考>>	手法 B (B-3)	手法 C (C-2)
考え方	現行 CL と同様	国総研 土砂災害発生確率マップ (案) を使用	降雨履歴順位 3 位を使用
設定単位	市町村	1km メッシュ	1km メッシュ
CL 対象災害がある地域での CL 設定	—	CL 対象災害の発生 RBFN 下限を捕捉可能な等 RBFN 出力値線を選定	
CL 対象災害がない地域での CL 設定	CL 対象災害がない市町村では、その市町村が属する二次細分区分の発生時 RBFN の特徴を適用する。	地形・地質素因に基づく土砂災害発生確率マップ (案) から、ランク別に Rank0 で履歴 2 位、Rank1 で履歴 3 位、Rank2 で履歴 3 位を適用する。	CL 対象災害がないメッシュでは、履歴順位 3 位での RBFN 出力値を適用する。
設定結果			
手法の特徴	・市町村単位で統一した CL を設定するため市町村内での大きな差はない。	・各メッシュの降雨特性と、類似する地域の特性を反映した CL が選定できる。	・各メッシュの降雨特性のみ反映した CL となる。
災害発生地域の特性	考慮する	考慮する	考慮しない
各メッシュの降雨特性	あまり反映されない	反映される	反映される
空振り率	全県平均 0.55 回/年 × 全県平均; 0.56 回/年 市町村ごと 1 回/年 × 並崎市、南アルプス市、鳴沢村で 1 回/年より多い。	○ 全県平均; 0.49 回/年 ○ 1 回/年を超える市町村はない。	○ 全県平均; 0.52 回/年 ○ 1 回/年を超える市町村はない。
総合判定	× 空振り率が目標に達していない。	◎ ・空振り率が最も低く抑えられている。 ・各メッシュの降雨特性が反映されていることに加え、地形・地質ごとの土砂災害発生確率が反映されているため、地域特性に応じたきめ細かな設定ができている。	○ ・県内一律で同一の降雨履歴 3 位を適用しているだけで、災害実績等の地域特性が全く考慮されていない。

図-b: 国総研資料第 1120 号による素因リスクマップを直接的に使用した事例
(山梨県砂防課提供)

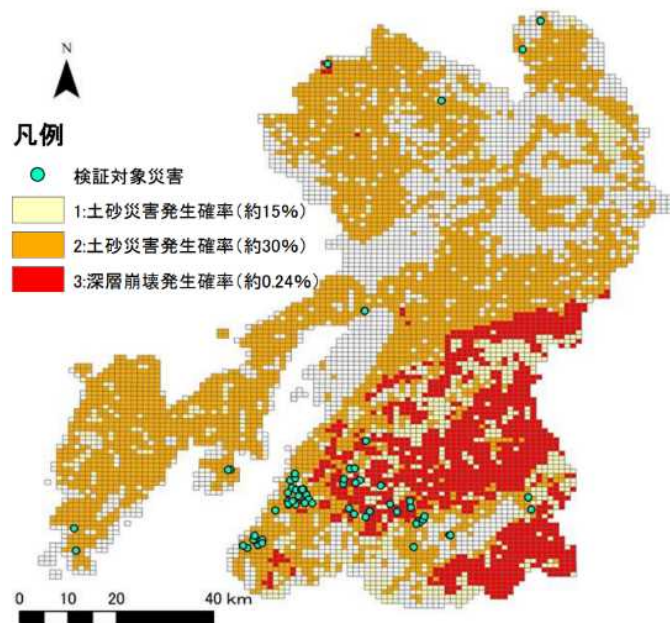


図-c: 国総研資料第 1120 号による素因リスクマップを間接的に使用した事例
(熊本県砂防課提供)

<参考文献>

松田昌之・中谷洋明(2020)『地形・地質に関する主題図を用いた全国における土砂災害発生リスク推定法に関する考察』、国総研資料第 1120 号
能登ら(2021)『令和 2 年 7 月豪雨を踏まえた熊本県の土砂災害警戒情報について』、2021 年度砂防学会研究発表会概要集、P1-055

④最終 CL 案の選定

上記①、②、③を踏まえて修正した各 CL 案（それぞれ RBFN 出力値 0.05～0.95 に対応）について、当該 CL および情報発表単位（市町村等）における災害捕捉率、発表頻度等を検討した上で、最も妥当と判断される最終 CL 案を選定する。

災害捕捉率、発表頻度の算出方法

●災害捕捉率

発生降雨がある各 CL 適用地域について、3－6に基づき検討した各 CL 案（それぞれ RBFN 出力値 0.05～0.95 に対応）に対する発生降雨の超過数・非超過数をそれぞれ求める。超過数・非超過数は CL 案（RBFN 出力値 0.05～0.95 に対応）別に、ある一定領域（各 CL 適用地域や複数の CL 適用地域をまとめた情報の発表単位など）で整理し、以下の定義にしたがい、各 CL 案における災害捕捉率(%)を算出する。

$$\text{災害捕捉率（\%）} = \frac{\text{発生降雨の超過数}}{\text{発生降雨の超過数} + \text{発生降雨の非超過数}}$$

●発表頻度

各 CL 適用地域について、3－6に基づき検討した各 CL 案（それぞれ RBFN 出力値 0.05～0.95 に対応）を超過した一連の降雨数をそれぞれ求める。超過した一連の降雨数は CL 案別に、ある一定領域で（各 CL 適用地域や複数の CL 適用地域をまとめた情報の発表単位など）整理し、以下の定義にしたがい、各 CL 案における 1 年あたりに基準を超過する頻度を算出する。

$$\text{発表頻度（回/年）} = \frac{\text{CL案を超過した一連の降雨数}}{\text{対象期間（年）}}$$

⑤CL の決定

上記④により選定した最終 CL 案について、過去に甚大な土砂災害の発生や避難指示の対象となった発生降雨が捕捉されているかを確認し、万一当該発生降雨が捕捉されない場合には②、③、④の再検討を行うほか、適宜、図-15(a)又は(b)の方法等にて、CL の形状を補正するものとする。

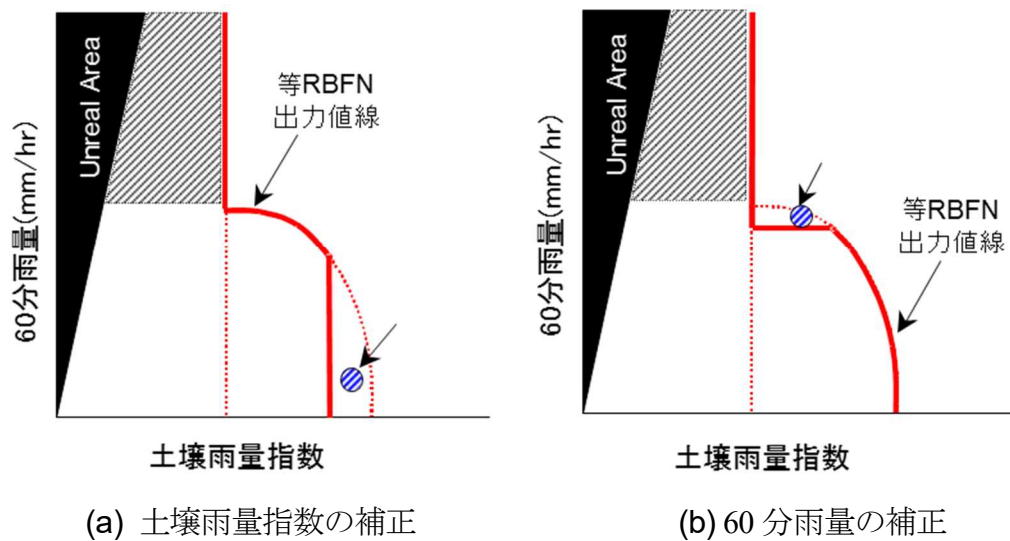


図-15 CL 案の修正方法

CL 決定にあたっては、市町村長が防災活動や住民等への避難指示などの災害応急対応を適時適切に行えるよう、都道府県と地方気象台等は密接な連携を図るとともに、市町村長等の利用者や有識者などの意見を踏まえて決定することが望ましい。なお、隣接する都道府県との境界周辺においては、それぞれの都道府県による CL 設定の考え方を把握しておく。

また、決定した CL は、気象庁が土砂災害警戒情報の作成・発表作業用に準備した情報処理システムに登録する必要がある。このためのデータフォーマットは、地方気象台等と調整の上、設定することとする。また、メッシュごとに決定された CL の情報処理システムへの登録にあたっては、約 1km 格子単位にて登録することとするが、2-2で決定した自然的、社会的条件等の観点から勘案して、土砂災害の危険性が認められない格子については、当該決定 CL の登録を除外するものとする。

各自治体が整理・設定した土砂災害発生データや CL データ等は、土砂災害発生の危険度評価において非常に重要なものである。今後の CL 設定方法の見直し等に活用するため、CL の見直しを検討した際は、以下のデータを国土技術政策総合研究所土砂災害研究室へ提出すること。

- 1) 土砂災害発生データ一覧表
- 2) 対象災害発生データ一覧表
- 3) 応答曲面データ (Surface ファイル)
- 4) CL の XY 座標データ

(土砂災害警戒情報の検証について)

4. 土砂災害警戒情報の検証

都道府県、地方気象台等が協力して土砂災害警戒情報と災害発生の関係等を調査し、土砂災害警戒情報の発表基準である CL 等の有効性や運用方法等を継続的に検証し、精度の向上等を図りつつ、提供にあたっての課題や問題点を抽出し、その改善を適宜行うことが必要である。この検証は毎年実施することとし、以下の検証項目を基本とする。

- 土砂災害警戒情報の発表回数、災害捕捉率等の統計的な調査
- 土砂災害警戒情報の適中事例の考察
- 土砂災害警戒情報の空振り・見逃し事例の考察

統計的な整理及び図表作成、並びに雨量予測を踏まえた各種考察は、地方気象台等が主体的に行う。一方、災害発生状況を踏まえた各種考察は、都道府県が主体的に行う。なお、検証結果は、CL 見直しに活用するほか、都道府県等の HP での公表や市町村等への情報共有での利用を検討する。

4-1. 検証データの収集

(1) 土砂災害資料の収集（都道府県）

表-1 土砂災害データ

収集データ	収集内容
土砂災害発生箇所	位置（市町村名、地区名等）、緯度経度
土砂災害発生日時	年月日時分※ ¹
種別	土石流、がけ崩れ、（その他土砂災害※ ² ） CL対象災害の適否
規模※ ³	流出土砂量又は崩壊土砂量
被害状況※ ³	死者数（行方不明を含む）、負傷者数 家屋破損数（全壊、半壊、一部破損）等
避難状況※ ³	自主避難、避難指示の日時、避難世帯数（人数）、避難完了時間等
メッシュ番号※ ⁴	災害発生メッシュ番号

※¹：土砂災害の発生日時は、検証をおこなう上で非常に重要な情報であり出来るだけ詳細に把握する。

※²：必要に応じて「その他土砂災害」の種別をつくり、地すべり、深層崩壊、山体の崩壊等に対応させる。
なお、散発的ながけ崩れ、その他土砂災害はCL対象災害ではないが、CLの調整等の参考資料となるため可能な限りデータを収集する。

※³：規模、被害状況、避難状況は、土砂災害警戒情報の運用体制を改善する時の基礎資料となるので収集する。

※⁴：災害発生メッシュ番号について、被災地点と現象の発生源でメッシュが異なる場合は、両方のメッシュ番号を特定しておき、2-1に記載のとおり、CL設定の際は後者を用いることとする。

表-2 土砂災害警戒区域等データ

収集データ	収集内容
土砂災害警戒区域等の指定箇所	土砂災害警戒区域等の指定箇所の区域の基礎調査調書等※ ⁵ （土石流、急傾斜地の崩壊、地滑り）

※⁵：土石流については多くの場合、土砂災害警戒区域等の範囲に発生源が含まれないため、基礎調査で判明した溪流の位置が災害発生メッシュと合致しているかを検証する。

(2) 土砂災害警戒情報等の発表状況や降雨資料の収集（地方気象台等）

表-3 土砂災害警戒情報等の発表データ

収集データ	収集内容
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）発表状況	発表日時、対象市町村

表-4 降雨データ

降雨データ	提供時間間隔	格子間隔	備考
警戒判定メッシュデータ	10分ごと	1kmメッシュ	
1時間降水量解析値	10分ごと	1kmメッシュ	
1時間降水量予測値	10分ごと	1kmメッシュ	予測時間1～6時間先
土壌雨量指数解析値	10分ごと	1kmメッシュ	
土壌雨量指数予測値	10分ごと	1kmメッシュ	予測時間1～6時間先

※なお、検証の結果、より詳細な検証が必要となった場合には、検証の目的に応じて地上雨量計データ（国土交通省及び都道府県の観測データについては、都道府県でデータを収集する。）等を収集する。

以後、説明の便宜上、「1 時間降水量解析値」を「実況雨量」、「1 時間降水量予測値」を「予測雨量」と記載する。

4－2. 検証作業

(1) 土砂災害警戒情報の発表回数、災害捕捉率等の統計的な調査

土砂災害警戒情報の有効性等を検証するため、土砂災害警戒情報の発表時、実況雨量又は予測雨量により CL を超過した時を対象に土砂災害の捕捉率や空振り率、土砂災害発生までの時間等を統計的に調査する。

①土砂災害警戒情報の年間の発表回数

土砂災害警戒情報の年間の発表回数、地域あたりの年間発表回数について整理する。図-16 に整理のイメージを参考までに示す。

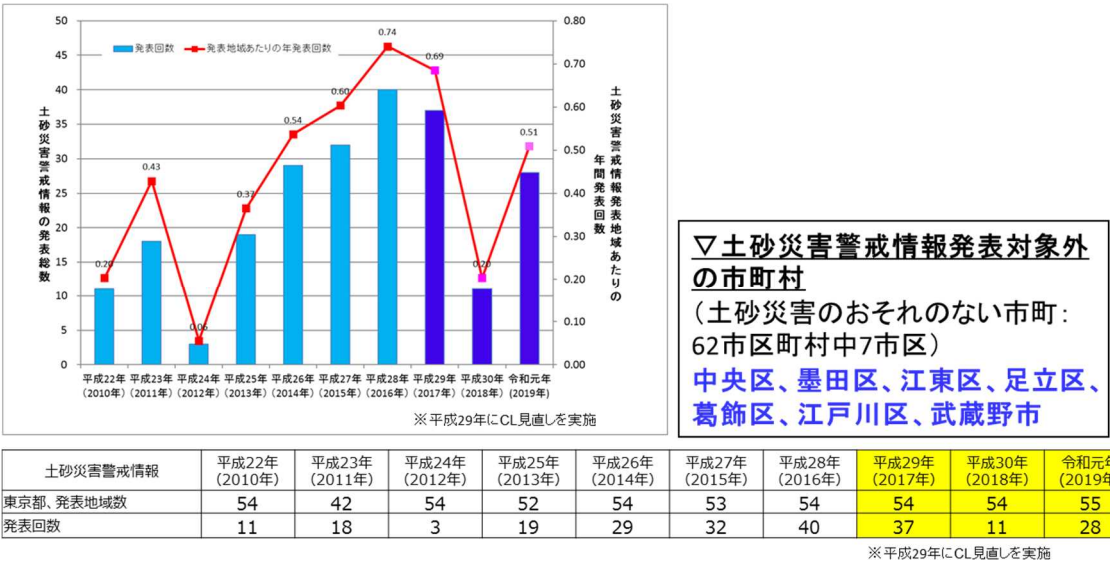


図-16 土砂災害警戒情報の年間発表回数の整理のイメージ

②土砂災害警戒情報と CL 対象災害の関係

土砂災害警戒情報の発表地域数、CL 対象災害の発生数について整理する。CL 対象災害が発生した場合は、災害発生率 (適中率)、災害捕捉率及び見逃し率も整理する。図-17 に土砂災害警戒情報の発表時における土砂災害の捕捉判定例を示す。図-18 に整理のイメージを参考までに示す。

CASE	CL超過と災害発生状況	災害捕捉判定
土砂災害警戒情報による捕捉	災害発生前に土砂災害警戒情報発表	○
	災害発生と同時に土砂災害警戒情報発表	○
	災害発生後に土砂災害警戒情報発表	×

図-17 土砂災害の捕捉の判定例（土砂災害警戒情報）

		平成22年 (2010年)	平成23年 (2011年)	平成24年 (2012年)	平成25年 (2013年)	平成26年 (2014年)	平成27年 (2015年)	平成28年 (2016年)	平成29年 (2017年)	平成30年 (2018年)	令和元年 (2019年)	東京都 10年間通算
土砂災害警戒情報の発表市町村の総数		11	18	3	19	29	32	40	37	11	28	228
土砂災害警戒情報「発表あり」	CL対象災害発生数	0	1	0	1	0	1	2	3	0	0	8
	災害発生率	0.0%	5.6%	0.0%	5.3%	0.0%	3.1%	5.0%	8.1%	0.0%	0.0%	3.5%
土砂災害警戒情報「発表なし」	災害捕捉率	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100.0%
	CL対象災害発生数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
土砂災害警戒情報「発表なし」	見逃し率	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	CL未超過数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※平成29年にCL見直しを実施

【表の説明】

- ① 土砂災害警戒情報の発表総数：発表単位（市町村）ごとの発表の総数
ただし、暫定運用期間の対象市町村を除いている。
- ② 災害発生率（通中率）：土砂災害警戒情報の発表した時に、CL対象災害が発生した割合。
- ③ 災害捕捉率：災害が発生したときに、土砂災害警戒情報を発表していた割合。
- ④ 見逃し率：土砂災害警戒情報の発表なしで、CL対象災害が発生した割合。
- ⑤ 検証期間：平成22年6月1日～令和元年12月31日（暫定基準適用期間の集計は除外）。
- ⑥ 災害データは東京都河川部防災課による。

【運用期間中に発生した土砂災害】

10年間で、東京都に報告された土砂災害は、がけ崩れ48件（うち29件は発生時刻不明）、土石流21件発生している。

【東京都のCL対象災害の考え方】

土石流及び同一地域で複数発生し、住家や公的施設などに被害が及んだがけ崩れ。

○上記に加え、CL見直し時に試算している見込みの空振り率・災害捕捉率についても併記してください。

※表記の例

CL見直し時の見込みの空振り率、災害捕捉率（見直し後の想定値）	
CL見直し：平成●年●月●日	
見込みの空振り率	84.2%
見込みの災害捕捉率	100.0%

図-18 土砂災害警戒情報とCL対象災害の関係の整理のイメージ

各指標の算出方法（土砂災害警戒情報の検証）

●土砂災害警戒情報の災害捕捉率

CL対象災害の発生状況（降雨数及び件数）及び土砂災害警戒情報中のCL対象災害発生状況（降雨数及び件数）をある一定の領域（土砂災害警戒情報の発表単位や、複数の発表単位をまとめた領域等）で整理し、以下の定義にしたがい災害捕捉率（％）を算出する。

$$\text{災害捕捉率【降雨数】（％）} = \frac{\text{土砂災害警戒情報発表中にCL対象災害が発生した一連の降雨数}}{\text{CL対象災害の発生した一連の降雨数}} \times 100$$

注）同一領域内で複数件のCL対象災害が確認されている場合には、最初に発生したCL対象災害について評価する。

$$\text{災害捕捉率【件数】（％）} = \frac{\text{土砂災害警戒情報発表中に発生したＣＬ対象災害発生件数}}{\text{ＣＬ対象災害の発生件数}} \times 100$$

●土砂災害警戒情報のリードタイム

土砂災害警戒情報の発表時刻及びＣＬ対象災害の発生時刻をある一定の領域（土砂災害警戒情報の発表単位や、複数の発表単位をまとめた領域等）で整理し、以下の定義に従いリードタイム（h r 時間）を算出する。

$$\text{リードタイム（時間）} = \text{土砂災害警戒情報発表時刻} - \text{ＣＬ対象災害発生時刻}$$

注）同一領域内で複数件のＣＬ対象災害が確認されている場合は、最初に発生したＣＬ対象災害までの時間を整理する。

●土砂災害警戒情報の発表頻度

土砂災害警戒情報を発表した一連の降雨数をある一定の領域（土砂災害警戒情報の発表単位や、複数の発表単位をまとめた領域等）で整理し、以下の定義にしたがい年間の発表頻度を算出する。

$$\text{発表頻度（回／年）} = \frac{\text{土砂災害警戒情報を発表した一連の降雨数}}{\text{対象期間（年）}}$$

③実況 CL 超過と CL 対象災害の関係

CL の有効性を検証する資料とするため、実況 CL 超過後の土砂災害の発生状況等を整理し、災害捕捉率、実況 CL 超過頻度、見逃し率等を整理する。図-19 に土砂災害の捕捉の判定例を示す。図-20 に整理のイメージを参考までに示す。必要に応じて予測 CL 超過時の土砂災害の発生状況を整理し、予測 CL による災害捕捉率や発表頻度等を整理する。

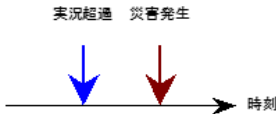
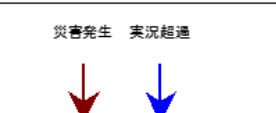
CASE	CL超過と災害発生状況	災害捕捉判定
実況雨量による捕捉	災害発生前に実況雨量によるCL超過 	○
	災害発生と同時に実況雨量によるCL超過 	○
	災害発生後に実況雨量によるCL超過 	×

図-19 土砂災害の捕捉例（実況雨量）

	平成22年 (2010年)	平成23年 (2011年)	平成24年 (2012年)	平成25年 (2013年)	平成26年 (2014年)	平成27年 (2015年)	平成28年 (2016年)	平成29年 (2017年)	平成30年 (2018年)	令和元年 (2019年)	東京都 10年間通算
実況でCLを超過した総数	21	23	5	12	12	18	40	17	9	28	185
実況でCL超過時	CL対象災害発生数	0	1	0	1	0	1	2	3	0	8
	災害発生率	0%	4%	0%	8%	0%	6%	5%	18%	0%	4%
	災害捕捉率	--	100%	--	100%	--	100%	100%	--	--	100%
実況でCL未超過時	CL対象災害発生数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	見逃し率	--	0%	--	0%	--	--	0%	0%	--	0%
	FT1あるいはFT2予想でもCL未超過数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※平成29年にCL見直しを実施

図-20 実況CL超過とCL対象災害の関係の整理のイメージ

各指標の算出方法（実況雨量による検証）

●実況雨量による災害捕捉率

ＣＬ対象災害の発生状況（降雨数及び件数）及び実況雨量によるＣＬ超過後のＣＬ対象災害の発生状況（降雨数及び件数）をある一定の領域（1km メッシュ単位、土砂災害警戒情報の発表単位や複数の発表単位をまとめた領域等）で整理し、以下の定義にしたがい土砂災害捕捉率（％）を算出する。

災害捕捉率【降雨数】（％）

$$= \frac{\text{実況雨量によるＣＬ超過後にＣＬ対象災害が発生した一連の降雨数}}{\text{ＣＬ対象災害が発生した一連の降雨数}} \times 100$$

注）同一領域内で複数件のＣＬ対象災害が確認されている場合には、最初に発生したＣＬ対象災害について評価する。

$$\text{災害捕捉率【件数】（％）} = \frac{\text{実況雨量によるＣＬ超過後のＣＬ対象災害発生件数}}{\text{ＣＬ対象災害の発生件数}} \times 100$$

●実況雨量による災害空振り率

$$\text{災害空振り率（％）} = \frac{\text{実況雨量によりＣＬ超過した一連の降雨におけるＣＬ対象災害非発生降雨数}}{\text{実況雨量によりＣＬ超過した一連の降雨数}} \times 100$$

注）同一領域内で複数件のＣＬ対象災害が確認されている場合には、最初に発生したＣＬ対象災害について評価する。

●実況雨量によるリードタイム

実況雨量によるＣＬ超過時刻及びＣＬ対象災害の発生時刻をある一定の領域（1km メッシュ単位、土砂災害警戒情報の発表単位や複数の発表単位をまとめた領域等）で整理し、以下の定義に従い整理する。

$$\text{リードタイム(時間)} = \text{実況雨量によるＣＬ超過時刻} - \text{ＣＬ対象災害発生時刻}$$

注）同一メッシュで複数件のＣＬ対象災害が確認されている場合は、最初に発生したＣＬ対象災害までの時間を整理する。

●実況雨量によるＣＬ超過頻度

実況雨量によりＣＬを超過した一連の降雨数をある一定の領域（土砂災害警戒情報の発表単位や、複数の発表単位をまとめた領域等）で整理し、以下の定義にしたがい年間のＣＬ超過頻度を算出する。

$$\text{ＣＬ超過頻度（回／年）} = \frac{\text{実況雨量によりＣＬを超過した一連の降雨数}}{\text{対象期間（年）}}$$

各指標の算出方法（予測雨量による検証）

●予測雨量による災害捕捉率

土砂災害の発生状況（降雨数及び件数）及び予測雨量によるＣＬ超過後のＣＬ対象災害の発生状況（降雨数及び件数）をある一定の領域（1km メッシュ単位、土砂災害警戒情報の発表単位を基準として、土砂災害警戒情報の発表単位や複数の発表単位をまとめた領域等）で整理し、以下の定義にしたがい災害捕捉率（％）を算出する。

$$\text{災害捕捉率【降雨数】（％）} = \frac{\text{予測雨量によるＣＬ超過後にＣＬ対象災害が発生した一連の降雨数}}{\text{ＣＬ対象災害が発生した一連の降雨数}} \times 100$$

注）同一領域内で複数件のＣＬ対象災害が確認されている場合には、最初に発生したＣＬ対象災害について評価する。

●予測雨量による災害空振り率

災害空振り率（％）

$$= \frac{\text{予測雨量によりＣＬ超過した一連の降雨におけるＣＬ対象災害非発生降雨数}}{\text{予測雨量によりＣＬ超過した一連の降雨数}} \times 100$$

注）同一領域内で複数件のＣＬ対象災害が確認されている場合には、最初に発生したＣＬ対象災害について評価する

●予測適中率

予測雨量によるＣＬ超過メッシュ（予測超過メッシュ）数及び予測適中メッシュ数をある一定の領域（土砂災害警戒情報の発表単位や複数の発表単位をまとめた領域等）で整理し、以下の定義にしたがい予測適中率（％）を算出する。

$$\text{予測適中率（％）} = \frac{\text{予測適中メッシュ数}}{\text{予測超過メッシュ数}} \times 100$$

注）予測適中とは、予測雨量によるＣＬ超過の後に、実況雨量によりＣＬ超過したものである。なお、同時刻にＣＬ超過の場合は、予測適中とカウントしない。

●予測雨量によるリードタイム

予測雨量によるＣＬ超過からＣＬ対象災害発生までの時間をある一定の領域（1km メッシュ単位、土砂災害警戒情報の発表単位や複数の発表単位をまとめた領域等）で整理し、以下の定義に従い整理する。

$$\text{リードタイム(時間)} = \text{予測雨量によるＣＬ超過時刻} - \text{ＣＬ対象災害発生時刻}$$

注）同一領域内で複数件のＣＬ対象災害が確認されている場合は、最初に発生したＣＬ対象災害までの時間を整理する。

●予測雨量によるＣＬ超過頻度

予測雨量によりＣＬを超過した一連の降雨数をある一定の領域（土砂災害警戒情報の発表単位や、複数の発表単位をまとめた領域等）で整理し、以下の定義にしたがい年間のＣＬ超過頻度を算出する。

$$\text{ＣＬ超過頻度（回／年）} = \frac{\text{予測雨量によりＣＬを超過した一連の降雨数}}{\text{対象期間（年）}}$$

④土砂災害警戒情報発表タイミング

CL の有効性を検証する資料とするため、土砂災害警戒情報発表のタイミングと実況 CL 超過有無、気象現象別の関係や、CL 対象災害発生時の土砂災害警戒情報のタイミングを整理する。図-21、図-22 に整理のイメージを示す。

- ・土砂災害警戒情報を発表した事例のうち、67%で実際にCLを超過している。
- ・土砂災害警戒情報を発表した事例のうち、57%で実際にCLを超過する前に土砂災害警戒情報を発表できている。

土砂災害警戒情報発表のタイミング	平成22年 (2010年)	平成23年 (2011年)	平成24年 (2012年)	平成25年 (2013年)	平成26年 (2014年)	平成27年 (2015年)	平成28年 (2016年)	平成29年 (2017年)	平成30年 (2018年)	令和元年 (2019年)	東京都 10年間通算
予想で発表して実況でも達した (割合)	3	5	0	2	6	7	13	6	0	13	55
	27%	28%	0%	11%	21%	22%	33%	16%	0%	46%	24%
予想で発表したが実況達せず (下段：割合)	2	2	0	8	18	14	7	21	3	0	75
	18%	11%	0%	42%	62%	44%	18%	57%	27%	0%	33%
実況で発表した (下段：割合)	6	11	3	9	5	11	20	10	8	15	98
	55%	61%	100%	47%	17%	34%	50%	27%	73%	54%	43%
土砂災害警戒情報発表総数	11	18	3	19	29	32	40	37	11	28	228

※平成29年にCL見直しを実施

- ・気象現象別に見ると台風事例が一番多く8割あり、他の気象現象に比べ予想で発表している割合が高い。
- ・停滞前線と不安定では、予測の不確かさもあり実況で発表する割合が高くなっている。

土砂災害警戒情報発表のタイミング	台風		低気圧		停滞前線		不安定		10年間通算	
予想で発表して実況でも達した	51	28%	6	25%	2	22%	1	10%	60	26%
予想で発表したが実況達せず	67	36%	7	29%	0	0%	2	20%	76	33%
実況で発表した	67	36%	11	46%	7	78%	7	70%	92	40%
土砂災害警戒情報発表総数	185		24		9		10		228	

図-21 土砂災害警戒情報発表タイミングの整理のイメージ

- ・8件全て台風事例によるものである。実況で発表した3件のうち2件は、予想超過した時点で発表作業に入ったが、実況超過後に発表となった事例である。

土砂災害警戒情報発表のタイミング	平成22年 (2010年)	平成23年 (2011年)	平成24年 (2012年)	平成25年 (2013年)	平成26年 (2014年)	平成27年 (2015年)	平成28年 (2016年)	平成29年 (2017年)	平成30年 (2018年)	令和元年 (2019年)	東京都 10年間通算
予想で発表して実況でも達した (割合)	0	0	0	1	0	1	1	2	0	0	5
	---	0%	---	0	---	---	50%	67%	---	---	63%
予想で発表したが実況達せず (下段：割合)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	---	0%	---	0%	---	---	0%	0%	---	---	0%
実況で発表した (下段：割合)	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	3
	---	100%	---	0%	---	---	50%	33%	---	---	38%
土砂災害警戒情報発表総数	0	1	0	1	0	1	2	3	0	0	8

※平成29年にCL見直しを実施

図-22 土砂災害警戒情報発表タイミング（CL 対象災害）の整理のイメージ

(2) 土砂災害警戒情報の適中事例の考察

土砂災害警戒情報の適中事例(災害が捕捉できた事例)のうち代表的な事例について、土砂災害警戒情報や各種警報、土砂災害の危険度分布の状況を整理する。土砂災害の発生状況を時系列的にわかりやすく把握するため、必要に応じてハイトグラフやスネークライン等を作成する。なお、グラフを作成するための降雨データは、原

則として土砂災害が発生したメッシュ又は近傍のメッシュの内、実況雨量によりCLの超過が認められたメッシュの実況雨量データを用いることとする。また、必要に応じて近傍の地上雨量計のデータを用いることとする。図-23 に参考までにスネークライン等を用いた例を示す。

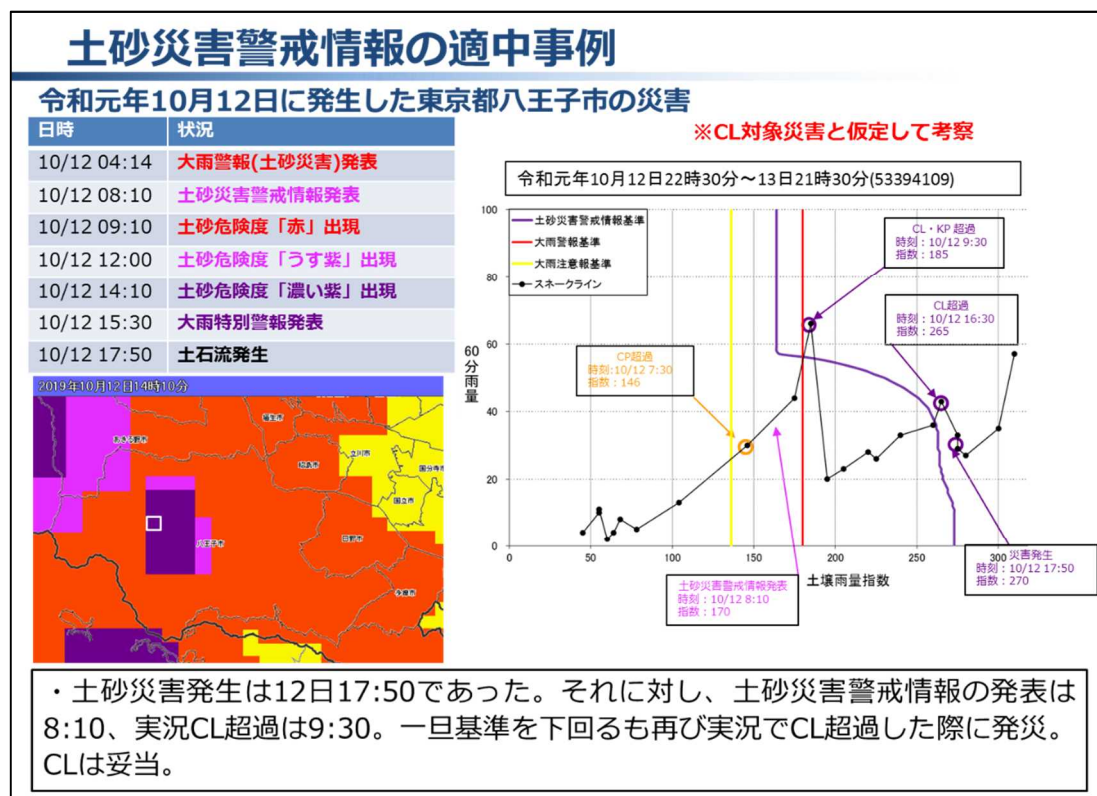


図-23 土砂災害警戒情報の適中事例の考察のイメージ

(3) 土砂災害警戒情報の空振り・見逃し事例の考察

土砂災害警戒情報の空振り事例、見逃し事例のうち代表的な事例について、土砂災害警戒情報や各種警報、土砂災害の危険度分布の状況を整理する。土砂災害の発生状況やCLの超過状況を時系列的にわかりやすく把握するため、必要に応じてハイトグラフやスネークライン等を作成する。なお、グラフを作成するための降雨データは、原則として土砂災害が発生したメッシュ又は近傍のメッシュの内、実況雨量によりCLの超過が認められたメッシュの実況雨量データを用いることとする。

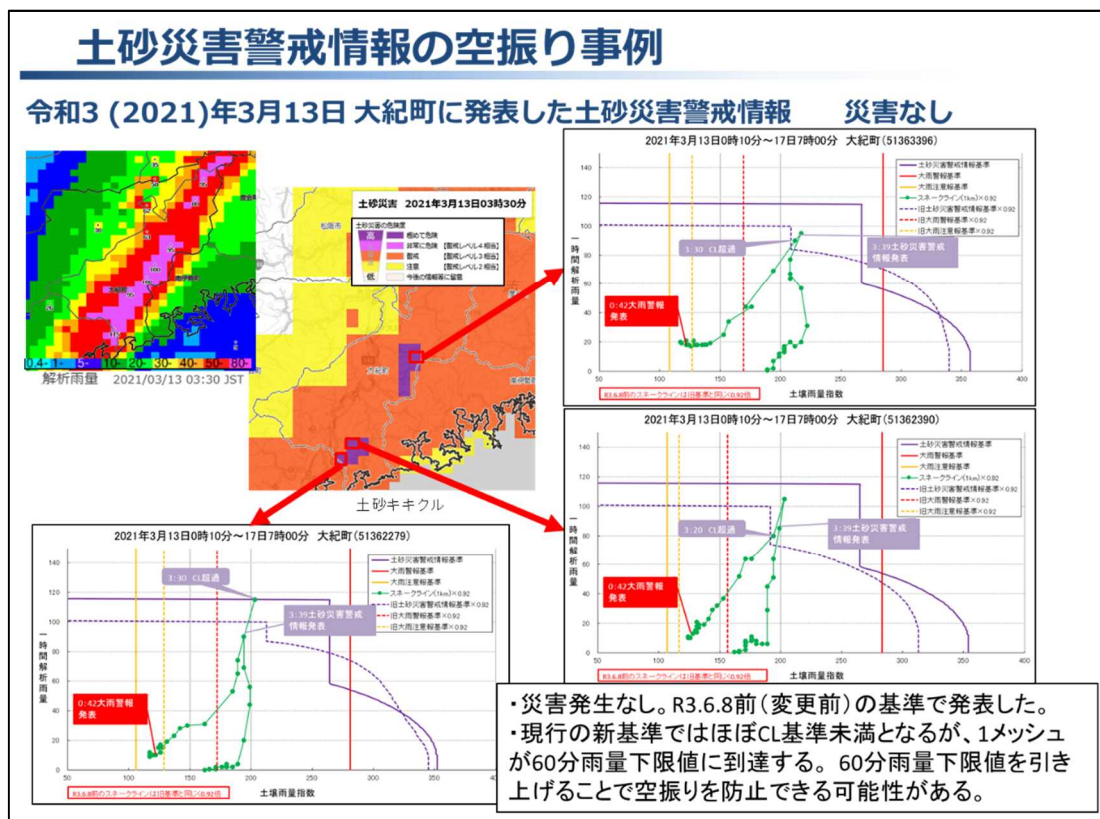


図-24 土砂災害警戒情報の空振り事例の考察のイメージ

4-3. 検証結果を踏まえた CL の調整

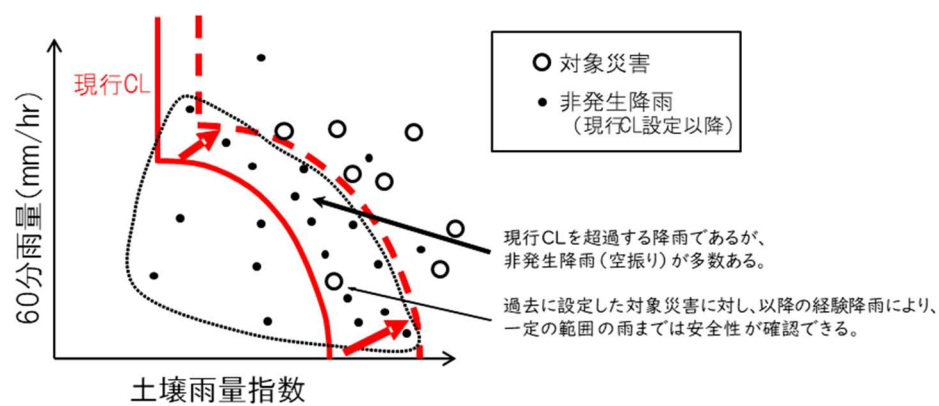
土砂災害警戒情報等の整理結果は、土砂災害警戒情報の有効性の検証及び改善の検討に用いる。土砂災害警戒情報による災害捕捉率や発表頻度等を整理し、課題があると判断される場合には、必要に応じて CL の調整等を考える。また、CL の調整等を必要としない場合であっても、さらにデータを蓄積することで、土砂災害警戒情報の課題等の抽出に努めるものとする。

●実況雨量による CL の調整

実況雨量による CL 超過時の災害捕捉率（降雨数及び件数）がきわめて劣る場合や、空振り率が極めて高い場合、発表頻度が過度に多い場合には、CL 対象災害の発生状況等を考慮の上、CL の調整を考える。

参考に CL を拡大する検討を行うケース、CL を縮小する検討を行うケースの具体例を図-25 に示す。

(a) CL を拡大する検討を行うケース例



(b) CL を縮小する検討を行うケース例

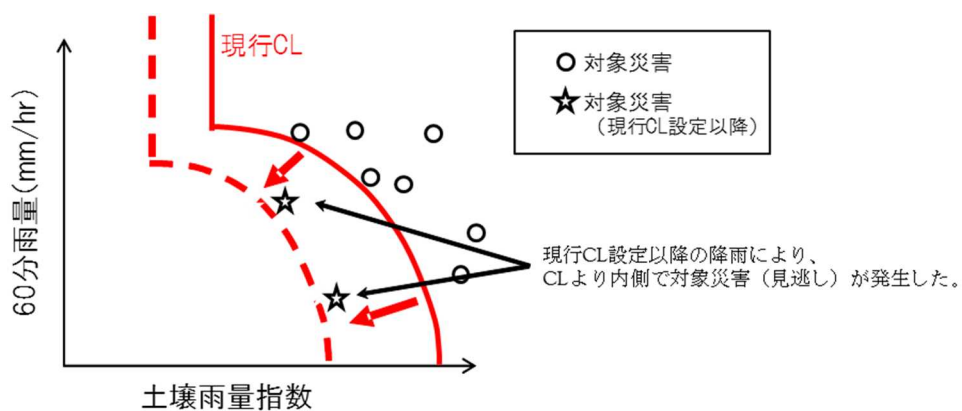


図-25 土砂災害発生状況と CL の関係

◆土壌雨量指数について

1. 用いる雨量データ

気象庁ではピンポイントで正確な雨量を観測する地上のアメダスや国土交通省、自治体等の雨量計と、広い範囲を面的に観測できる気象レーダーの長所を結合し、全国をくまなく格子に区切って雨を正確に算出する「解析雨量」を開発、運用している。

雨量計は正確な雨量を観測できるが、雨量計による観測は面的には隙間がある。一方、気象レーダーでは、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るが、雨量計の観測に比べると精度が落ちる。「解析雨量」では、両者の長所を活かし、気象レーダーによる観測をアメダスや国土交通省、自治体等の雨量計による観測で補正して、面的に隙間のないより正確な雨量分布を 1km 四方の細かさで算出している。「解析雨量」は 30 分ごとに、「速報版解析雨量」は 10 分ごとに、1 時間の雨量を作成している。

基準設定に用いる土壌雨量指数は、この「解析雨量」を用いて 1km×1km 格子で 10 分ごとに算出しているものである。

2. 土壌雨量指数

土壌雨量指数とは、降った雨による土砂災害危険度の高まりを把握するための指標である。大雨に伴って発生する土砂災害（がけ崩れ・土石流）には、現在降っている雨だけでなく、これまでに降った雨による土壌中の水分量が深く関係しており、土壌雨量指数は、降った雨が土壌中に水分量としてどれだけたまっているかを、タンクモデルを用いて数値化したものである。土壌雨量指数の計算には、図-1 に示すように降った雨が土壌中を流れていく様子を孔の開いたタンクを用いてモデル化した「タンクモデル」を使用する。土壌雨量指数は、各タンクに残っている水分量（貯留量）の合計として算出され、これは、土壌中の水分量に相当する。

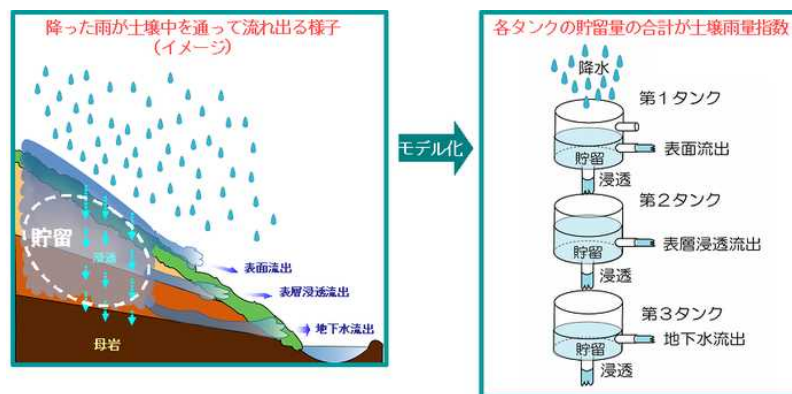


図-1 雨が土壌中にたまっていく様子とタンクモデルとの対応

◆土壌雨量指数の各タンクとパラメータ

土壌雨量指数に用いている直列3段タンクモデル(図-2 参照)中の1段目のタンクからの流出量は表面流出に、2段目のタンクからのものは表層浸透流出に、3段目のタンクからのものは地下水流出にそれぞれ対応していると考えられ、各流出量は以下のように記述される。

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

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

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

ここで、 α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 ：各流出孔の流出係数

L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 ：各流出孔の高さ

S_i ($i=1, 2, 3$)： i 段目のタンク貯留量

β_1 、 β_2 、 β_3 ：各浸透流出孔の浸透係数

R ：降雨量

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

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

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

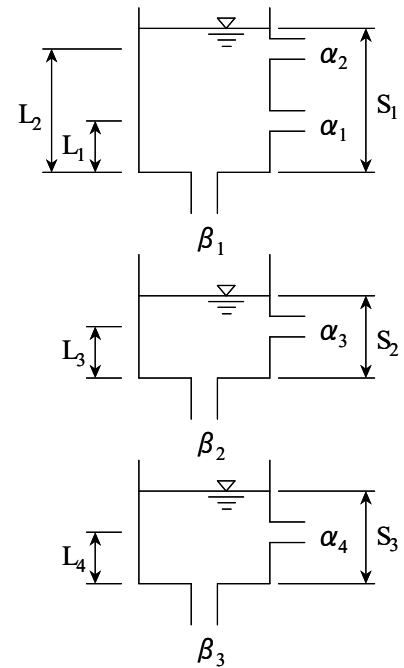


図-2 直列3段タンクモデル

土壌雨量指数の指数値は、各タンクの貯留高の和(= $S_1 + S_2 + S_3$)で定義する。

なお、タンクモデルの特徴として、指数値が同じであっても、その後の指数値の変化は各タンクの貯留高に依存することに注意が必要である。

2012年5月17日13時(日本時間)に、タンクモデルへの入力雨量および指数計算のタイムステップが変更された。これにより、00分系(毎正時)と30分系間の指数値の上下変動が解消された。

◆土壌雨量指数履歴順位

履歴順位とは、各格子において、過去の一定期間内で出現した指数値を高い順に並べ直して順位付けしたものである。履歴順位を用いることによって、現在降っている雨による指数値の相対的な順位を把握することが可能となる。この手法により、例えば現在の降雨の履歴順位と同等の履歴順位の降雨で過去に土砂災害が発生していれば、土砂災害発生の危険度が高いと推定できる。また、土砂災害の発生危険度と土壌雨量指数値との対応は地域によって異なるが、土砂災害の発生と履歴順位との対応は地域によって大きな差がない。このことを利用して、過去の土砂災害発生記録が得られない格子であっても、災害記録が入手できる格子の情報から危険度を類推することができる。

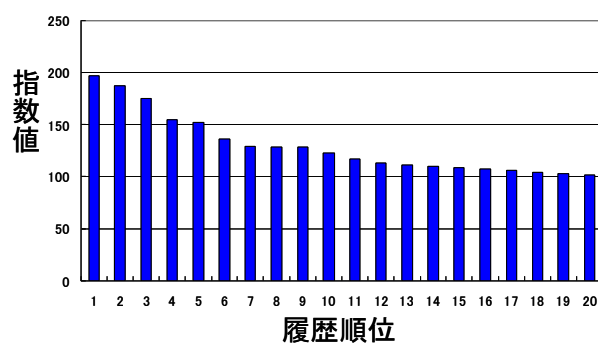


図-3 土壌雨量指数値と履歴順位の関係の例

<参考文献>

牧原康隆(2020)『気象防災の知識と実践』、気象学ライブラリー1、朝倉書店
齋藤公一・滝田琢磨(2012)『第4章 土壌雨量指数と流域雨量指数の改善』、量的予報技術資料（予報技術研修テキスト）第18巻

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/18/chapter4.pdf>

別紙資料 2

◆RBF ネットワークを用いた応答曲面の設定方法および解析モデルについて

1. RBF ネットワークの概要

(1) RBF ネットワークの構成

RBFN は、脳や神経回路網をモデルとした階層構造で、図-1 に示す通り入力層（素子数 n 個）、中間層（素子数 m 個）、出力層（素子数 1 個）の 3 層からなっている。各層は入出力を行う素子から構成されており、各層間の素子は結線によって結ばれているが、同じ層内の素子同士は結合されていない。

中間層における j 番目の素子の出力は主として基底関数の一つである釣鐘状のガウス関数（図-2）を用いる。ガウス関数は式(1)に示す通りであり、基底関数の中心から同心円状にその影響を考慮していくものである。

$$h_j(\mathbf{x}) = \exp(-\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_j\|^2 / r^2) \quad (1)$$

ここで、 $h_j(\mathbf{x})$ ：中間層素子からの出力値

$\mathbf{x}=(x_1, \dots, x_n)$ ：入力層素子からの入力データ

$\mathbf{c}_j$ ：基底関数の中心点

r ：基底関数の半径

式(1)に示す基底関数は、 r が大きくなるほど広がり、また、その出力値は入力データが基底関数の中心に近いほど大きな値となる。なお、 $\mathbf{c}_j=\mathbf{c}_{j1}, \dots, \mathbf{c}_{jn}$ とするとき、式(2)によって楕円形の基底関数とすることもできる。

$$h_j(\mathbf{x}) = \exp(-\sum_{k=1}^n (x_k - c_{jk})^2 / r_k^2) \quad (2)$$

RBFN におけるデータの流れは入力層から出力層への一方通行であり、入力層からのデータは中間層の出力関数によって処理され、出力層に向けて出力される。その際、中間－出力層間は荷重係数と呼ばれる重み付きの結線により両層間の素子が結合され

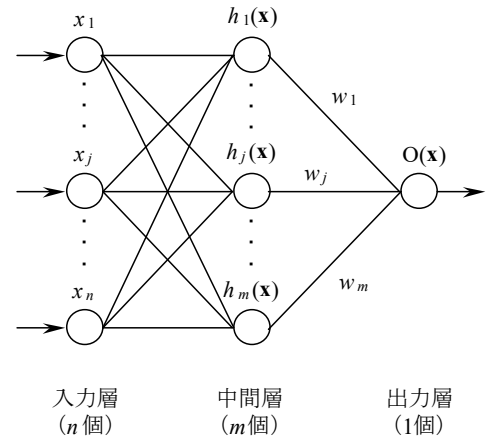


図-1 RBF ネットワークの構造

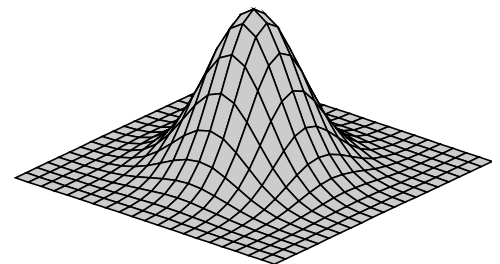


図-2 ガウス関数の形状

ているため、出力層素子への出力は**式(3)**に示す通りそれぞれの中間層素子の出力と結合係数（重み）の積の総和として表される。

$$O(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^m w_j h_j(\mathbf{x}) \quad (3)$$

ここで、 $O(\mathbf{x})$ ：出力層素子の出力値
 w_j ：結合係数

(2) 学習

ニューラルネットワーク（Neural Network）による関数近似の場合、与えられた入出力のデータセットをいかに正確に再現させ、さらにその近傍で汎化性を持たせるかが問題となる。RBFNにおいても同様に、与えられたデータセットを正確に再現させることが重要であるが、そのためには最適な結合係数を決定する必要がある。RBFNにおいては、その結合係数を決定するプロセスを学習と称することとする。

RBFNの学習においては、 p 個の学習データ $\mathbf{x}_i (i=1, \dots, p)$ と教師データ $y_i (i=1, \dots, p)$ 、ならびに m 個の基底関数を用いて教師値と出力値の差の2乗和を考え、それに結合係数 $w_j (j=1, \dots, m)$ （以下「 $\mathbf{w}$ 」という。）の抑制項を加えた**式(4)**が最小となるような $\mathbf{w}$ を求める。

$$E = \sum_{i=1}^p (y_i - O(\mathbf{x}_i))^2 + \sum_{j=1}^m \lambda_j w_j^2 \rightarrow \text{Min} \quad (4)$$

ここで、 λ_j ：正則化パラメータ

式(4)の右辺を w_j で偏微分し、それぞれの式を $=0$ として $\mathbf{w}$ について解くと求める $\mathbf{w}$ が得られる。中間層の出力行列 $\mathbf{H}$ と教師データのベクトル $\mathbf{y}$ をそれぞれ**式(5)**とすると、 $\mathbf{w}$ は**式(6)**で表せる。

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_1(\mathbf{x}_1) & h_2(\mathbf{x}_1) & \cdots & h_m(\mathbf{x}_1) \\ h_1(\mathbf{x}_2) & h_2(\mathbf{x}_2) & \cdots & h_m(\mathbf{x}_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_1(\mathbf{x}_p) & h_2(\mathbf{x}_p) & \cdots & h_m(\mathbf{x}_p) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_p \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{w} = (\mathbf{H}^T \mathbf{H} + \Lambda)^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{y} \quad (6)$$

ただし、 Λ は $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ を対角成分とする対角行列である。以上のことから、RBFNにおける学習は、逆行列 $\mathbf{A}^{-1} = (\mathbf{H}^T \mathbf{H} + \Lambda)^{-1}$ を求めることと同等であり、さらに出力に対して Λ が一定値であるとする、出力に無関係に学習でき、**式(6)**によってそれぞれ出力値に応じて結合係数を決定していけばよいことになる。すなわち、このことは入力のみで学習が終了することを意味している。

2. RBF ネットワークを用いた応答曲面の設定

RBFN においては、基本的に各データセットに対して基底関数を設定し、それらの重ね合せによって応答曲面を設定する。しかしながら、膨大なデータ量を取り扱う場合、すべてのデータセットに基底関数を割り当てると完全学習が望める反面、行列サイズが大きくなり計算が困難になる。しかも、データの分布に偏りが生じることで、汎化能力の低い応答曲面になる危険性がある。したがって、RBFN において効率的で、かつ汎化能力の高い応答曲面を設定するためには、できる限り基底関数の数を減少させることやデータの密度を均等化させることが重要である。そこで、図-3 に示す通り、雨量データの存在する範囲内に x 軸、 y 軸それぞれ一定間隔 (ΔR_x , ΔR_y) の格子を設定し、設定した格子の中にデータが存在する場合に限り、当該格子の左下に基底関数を設定することとする。また、雨量データについては、格子ごとに重心法によるクラスタリングを行い、当該領域内にクラスタの代表点を設定する (図-4 参照)。当該代表点は RBFN における学習用のデータセットとして用いる。さらに、基底関数は、その周辺に含まれるデータ数の違いによって信頼度が異なるため、それについては各格子に含まれるデータ数に応じてそれぞれ λ を変化させ、信頼度をシステムに反映させる。なお、データ数に伴う λ は式(7)によって与える。

$$\lambda = \lambda_{\min} + \frac{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}{1 + count} \quad (7)$$

ここで、 $\lambda_{\max}$: λ の最大値

$\lambda_{\min}$: λ の最小値

$count$: 各格子に含まれるデータ数

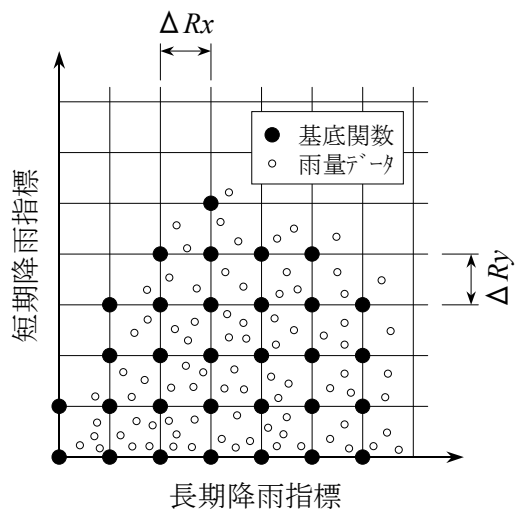


図-3 格子および基底関数の設定

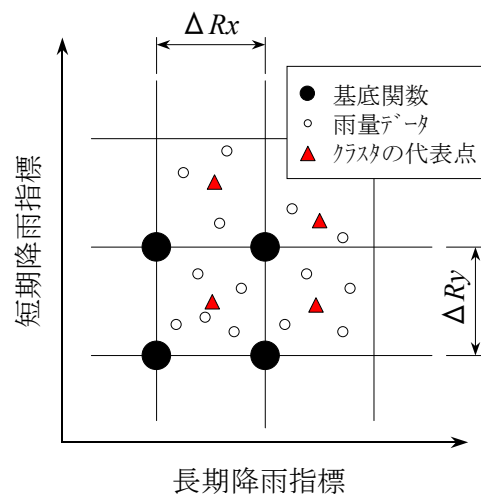


図-4 クラスタリングの概念図

式(7)の $\lambda_{\max}$ 、 $\lambda_{\min}$ の値は $\lambda_{\max} \geq \lambda_{\min}$ の関係を満足する範囲内であれば任意に設定することができる。

これにより、基底関数の数を効率的に減少させ、データの頻度も均等にすることが可能である。また、基底関数の信頼度をシステムに反映させることで、より客観的に降雨による危険度を表現することも可能である。

◆RBFN プログラムで設定するパラメータ

1. RBFN プログラムで設定するパラメータ

応答曲面は、国土技術政策総合研究所土砂災害研究室より配布されている RBFN プログラムを用いて作成するが、計算の際に設定するパラメータは、表-1 における新推奨値を基本とする。新推奨値は、近年の降雨特性等を踏まえて、等 RBFN 出力値線の XY 平面上の超過確率が同等に近づくよう調整されたパラメータである。なお、この新推奨値は、全国の 5km 格子が平均して同等な超過確率に近づくように調整されている。

表-1 RBFN プログラムで設定するパラメータ

パラメータ名	旧推奨値 (プログラムデフォルト値)	新推奨値 (2017.11.6～)
グリッド間隔 X 軸	5	5
グリッド間隔 Y 軸	1	1
半径 X 軸	75	145
半径 Y 軸	15	80
正則化パラメータ λ max	500	10,000
正則化パラメータ λ min	1	1

2. 設定方法

計算パラメータダイアログで Ctrl キーと Insert キーを同時に押すことによりパラメータの変更が可能となる。各項目に数値を入力し、更新をクリックした後閉じる。

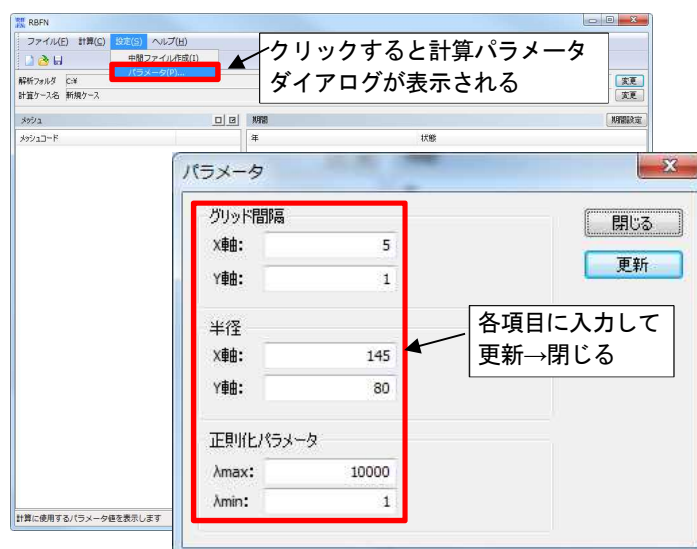


図-1 RBFN プログラム計算パラメータの設定

別紙資料 4

◆土壌雨量指数の下限値の具体的な設定方法の一例

土壌雨量指数の下限値を例えば市町村単位で設定する場合、以下①～③の手順が1つの方法である。

①まずは、土壌雨量指数の下限値を設けない段階での RBFN 出力値の検討を行い、RBFN 出力値を決定する（図-1）。

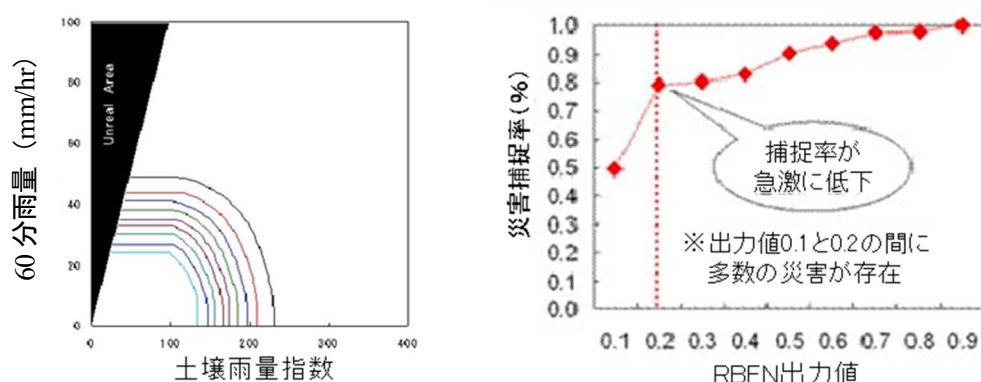
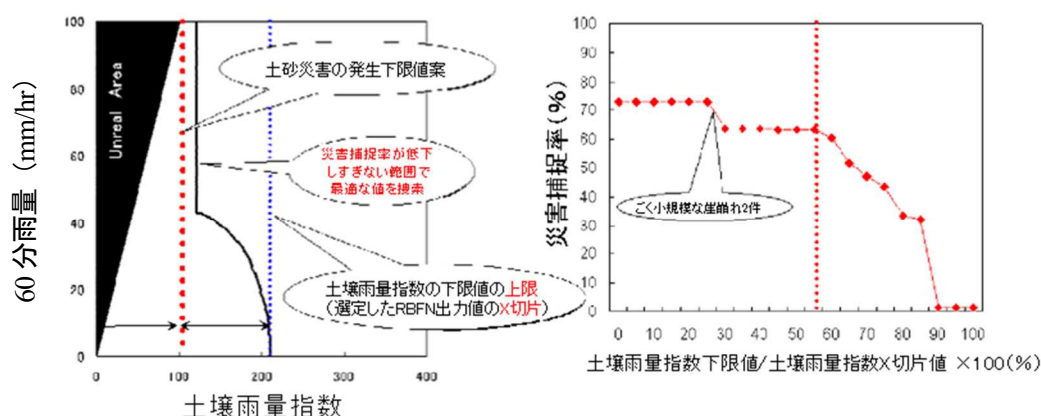


図-1 RBFN 出力値検討例（上記の市町村では RBFN=0.2 を採用）

②決定した RBFN 出力値を元に、適中率の向上（空振りの低減）や発表頻度の低減の観点から、災害捕捉率が極端に低下しない範囲で、土壌雨量指数の下限値を検討する（図-2(a)）。土壌雨量指数の下限値を設定することによって、災害捕捉率が低下する場合には、各災害事例の詳細について十分確認して、当該市町村についての最終的な下限値の割合を決定する（図-2(b)）。



(a) 土壌雨量指数下限値検討

(b) 災害事例の詳細確認

図-2 RBFN 出力値決定後の下限値検討例

③決定した下限値の割合を、当該市町村内の全格子に適用し、各格子の下限値を演算する。(上記図-2 の例では、この市町村の各メッシュ下限値は、各メッシュ
土壌雨量指数 $\times$ 切片値 $\times 55$ (%) とした。)