

# 土砂災害からの事前避難をサポート

～降雨指標を用いた土砂災害の発生危険予測～

危機管理技術研究センター 砂防研究室

室長

小山内信智

主任研究官

野呂 智之



## 1. はじめに

日本の国土の約7割を占める山地・丘陵地は、豊かな自然環境を我々に与えてくれる場であるが、毎年発生している多くの土砂災害の舞台でもある。土砂災害は突発的に発生するだけでなく、破壊力も大きいために、一度発生すると多くの被害をもたらす。

しかしその対策は十分に進んでいるとは言い難い。例えば、地形等から土石流の危険性が高いと把握されている場所は「土石流危険渓流」として全国で183,863 渓流（2002 年度公表）にのぼる。

そのうち人家が5戸以上含まれる等土石流発生が大きな被害に結びつく 89,518 渓流の中で、砂防えん堤等の整備で一定の安全が確保された渓流は約20%に過ぎない。しかもわが国の財政事情等を考慮すると今後急激に整備が進むことも考えにくい状況である。また、整備が行われた場所においても、これらの施設整備は一定の降雨規模等を想定して設計していることから、想定規模を超えるような自然現象が起きた場合、完全に安全であるとは言い切れない。

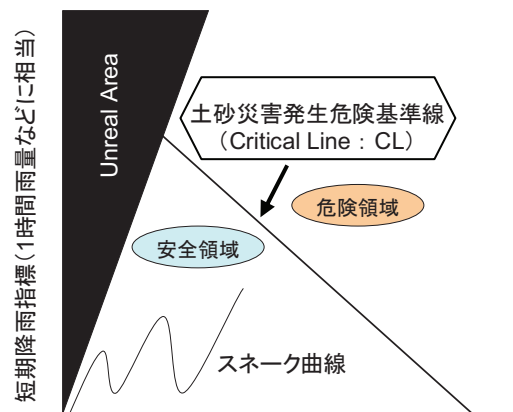
このため、土砂災害から人命を守るためには、事前の避難が重要となるが、住民が適切なタイミングで避難を行うためには「いつ、どこが危険か」「どう知らせるか」「どこに、どうやって避難するか」を予め決めておく必要がある。このうち「いつ、どこが危険か」を判断するため、砂防研究室では土砂災害の発生危険予測に関する研究を進めている。

## 2. CL という考え方

河川の氾濫が対象であれば、堤防高と水位を直接監視することが「いつ、どこが危険か」の判断材料となるが、土砂災害の場合は①監視すべき対象が地中にある、②監視すべき範囲が面的に広がっていることから斜面を直接監視することが困難である。そ

のため土砂災害の要因の一つである降雨を監視して間接的に危険度を予測している。

具体的には、土砂災害が発生した降雨（発生降雨）と発生しなかった降雨（非発生降雨）の記録を図上に並べ、発生降雨が多く分布する範囲を危険領域、非発生降雨が分布する領域を安全領域として分類し、現在降っている雨を時系列で結んだ線（スネーク曲線）が土砂災害発生危険基準線（Critical Line：以下、CL）と呼ばれる2領域の境界線を超えるか否かで土砂災害の発生を予測するものである（図-1）。この基準線は地形、地質、降雨特性等を踏まえて一定の地域（多くは単一または複数の市町村でまとめた範囲）毎に作成されている。なお、短期降雨より長期降雨が少ない範囲は、論理的にあり得ない（Unreal Area）範囲として図中で黒く着色している。



長期降雨指標(積算雨量などに相当)

図-1 CLを使った発生予測手法

### 3. 従来使われてきた手法とその課題

土砂災害を発生させる雨の降り方は前線豪雨等の長期降雨（例えば積算雨量）と夕立等の短期降雨（例えば1時間雨量）に注目すべき、との判断に立ち、この2指標を用いて境界線を決める方法が採用されてきた（図-1参照）。この手法では、境界線の精度を上げるためにはより多くの発生降雨データを収集することが必要になる。しかし、日本全国では毎年1,000件程度の土砂災害が発生しているものの、地域毎で見ると必ずしも十分な発生降雨データを確保できるわけではない。また、数少ない発生降雨データについても、発生箇所と雨量観測所が離れていたり、正確な発生時刻が不明であったりする場合があり、発生危険予測を行う上で必要不可欠なタイミングに関する信頼性を十分に確保できないことが多い。

また、降雨の地域特性に関わらず境界線が一律に直線で引かれること、引き方の判断に苦慮すること（図-2）、一つの基準で少なくとも市町村程度の広さをカバーしなければならないため、結果として空振りが増えることが課題としてあげられてきた。

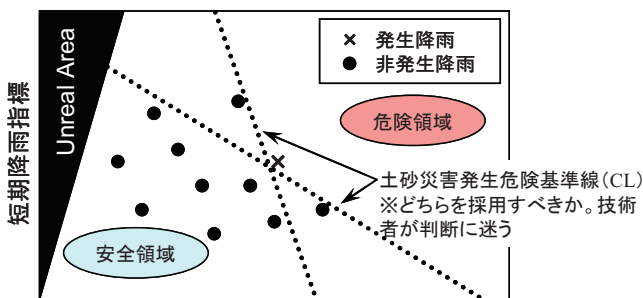


図-2 従来手法で設定に迷う例

### 4. 今回開発した手法

従来の手法の課題を解決するためには、①発生降雨データが少ない地域でも境界線を引くことができ、②境界線の決め方に合理性と再現性（誰がやっても同じ結果となる）があることが必要である。特に②については、一定のルールの下、降雨データの分布に応じて直線だけでなく非線形の境界線も引ける手法が望まれた。また、市町村単位より小さな範

囲（集落あるいは危険箇所毎等）毎に設定しようとするれば、必然的にこれまでとは比較にならないほど基準を多く設定する必要があるため、作業の効率性も求められる。

これらの解決策として、ニューラルネットワークの一種であるRBFネットワーク（Radial Basis Function Network、放射状基底関数ネットワーク：以下、RBFN）を用いて境界線を決める方法を開発した。

RBFNは、脳や神経回路網をモデルとした階層構造で、計算の過程は入力層（素子数  $n$  個）、中間層（素子数  $m$  個）、出力層（素子数 1 個）の3層から構成される（図-3）。

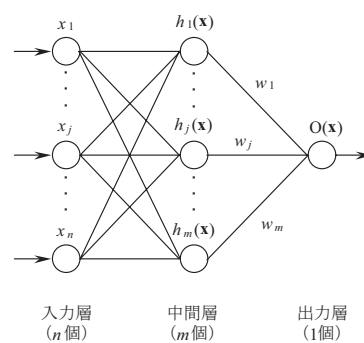


図-3 RBFNの概念

わかりやすく説明すると、実際に観測された雨量を並べ（入力層）、雨量データの位置関係（遠近、多寡）を相互に比較しながら（中間層）、出現確率の大小として計算（出力層）をするものである。通常、人間が点の集合範囲を一括りにして線引きをする場合は、点の分布状況を見ながら妥当と思われる境界を引く（図-4(a)）。この際、遠く離れた単独の点は「まれにしか出現しないので除外」等の判断を脳の内部で行っている。この作業に客観性と再現性を持たせるために計算結果を用いて線引きをできるようにした（図-4(b)）。

この方法を使うことにより、従来技術者が経験等に基づいて主観的に決めていた境界線の位置、形状について、一定のルールの下で客観的に効率よく設定することが可能となった。

また、「安全領域と危険領域の境界を探す」従来

## ●特集1：今までにない自然災害に立ち向かう

の方法から、「安全領域の外縁を探す」方法に転換することにより、使用する降雨データを非発生降雨のみに限定したため、災害発生の有無に関わらず設定することが可能となった。

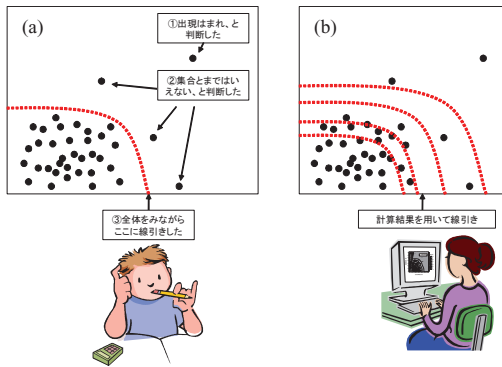


図-4 点の集合範囲をまとめる作業のイメージ

### 5. RBFN を使ったCL の設定

本手法では、非発生降雨の入力値を1として学習させ、長期降雨指標、短期降雨指標をそれぞれ x 軸、y 軸とした平面図上において、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値を表現した曲面を設定するところから始める (図-5)。

なお、長期降雨指標、短期降雨指標は、一定の精度を確保しながら運用のし易さを考慮して、土壌雨量指数<sup>注1</sup>と60分間積算雨量の組み合わせとし、それぞれ気象庁が提供する土壌雨量指数およびレーダー・アメダス解析雨量を用いることとしている。図-5 (a) は、出力値が高い部分ほど非発生降雨の発現確率が高い、つまり土砂災害がほとんど発生していない降雨が多く観測された領域であるので安全領域と言え、出力値が低い部分はその逆に土砂災害が発生する確率が高い領域であることを示している。図-5 (b) は同じ図を2次元で表現したものであるが、原点に近い白い領域は非発生降雨が高い確率で現れる領域である。図では出力値0.2ピッチで計4本の境界が示されているが、土砂災害の発生危険予測を行う基準とするには何れか1本に絞る必要がある。その際、境界が内側にあれば捕捉精度は高くなるが、逆に基準に達する頻度は増える。円滑な避難勧告等の発令に使われるよう、「適切に捕

捉できるか」「基準に達する回数が過大すぎないか」等のバランスを考える必要があり、ルールとして0.1ピッチで引いた計9本の候補の中から1本を選ぶこととしている。

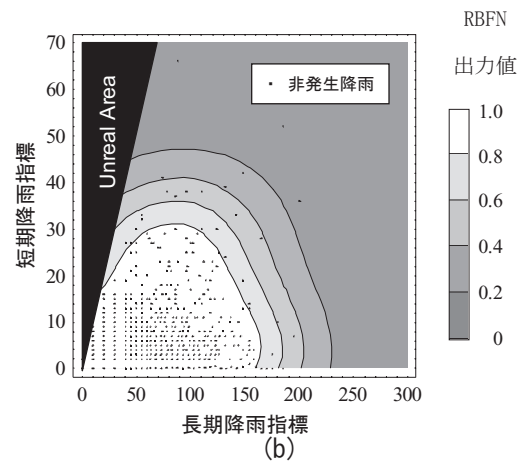
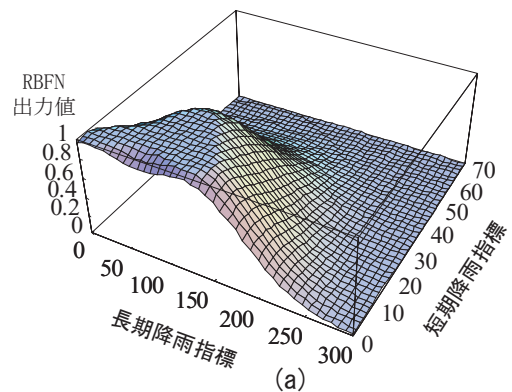


図-5 曲面の設定例

さらに、設定した曲面が実際の現象と矛盾しないよう修正を行う (図-6)。図中点線で囲まれた範囲は接線の傾きが正となっているが、このような境界線の設定では、同一の短期降雨指標にも関わらず長期降雨指標が大きい方が安全領域 (境界線の内側)、小さい方が危険領域になってしまうためである。

注1) 土壌雨量指数

直列3段のタンクモデル貯留高の合計値によって求められ、指数値が高くなると土砂災害の危険性が高い、と推定する。TV等で気象予報士が『過去数年間で最も土砂災害の危険性が高い』と警戒を呼びかけるのを耳にされた方も多いと思うが、この指数に基づいて判断している。



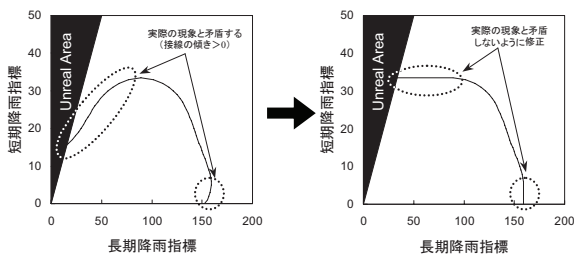


図-6 実現象との矛盾を修正

## 6. 降雨特性が変化しても…

本手法では、降雨データが多ければ多いほど、現実の降雨特性を反映した曲面が形成される。CL設定後も新たな降雨データの追加や、その後に発生した災害を適切に捕捉できるか否かの検証を継続して行うことが重要であるが、その更新作業も容易に行える手法であると考えている。更新を継続することで、気候変動が原因と思われるような従来経験していない短期雨量や長期雨量が出現してもそのつど境界線を見直すことができ、適切な事前避難を支援できるものと考えている。

## 7. おわりに

2005年9月より、土砂災害に関する警戒情報を発表する取り組みが鹿児島県において始まっている。

これは、鹿児島地方気象台と鹿児島県砂防課が共同で土砂災害の発生予測を行い、マスコミ等を通じて住民や市町村向けに出す情報である。土砂災害が発生する前に避難を開始してもらうことを期待して発表する内容となっている。

全国に先がけて鹿児島県で運用が開始されたが、その直後に接近・上陸した台風14号に合わせて発表された同情報にはいくつか課題が見いだされた。警戒を促す最小範囲を市町村毎としているが、これでは具体的にどの場所の危険性が高まっているかの区別がつかず、適切な事前避難に十分結びついていないこと等が明らかになった。図-7は、住民に警戒情報をわかりやすく提供する内容の方向性を示したものである。現状は市町村毎の表示でしかないが、さらに細かなエリアに区分してレーダー雨量を使って降雨状況が面的にわかるような工夫や、避難の対象地域や切迫度が一目で分かる工夫（避難準備、避難勧告、避難指示の区別）の必要性を訴えている。

多くの犠牲を伴った土砂災害だが、大事な教訓として今後の情報提供に反映させていくことが必要であり、そのための技術的支援を行っていきたいと考えている。

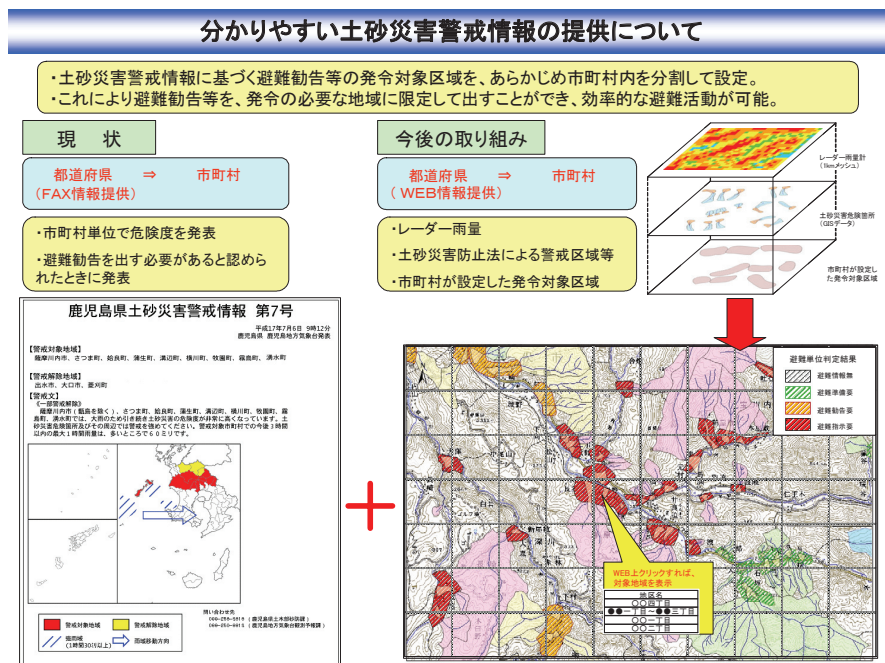


図-7 わかりやすい警戒情報の方向性  
(大規模降雨災害検討会土砂災害分科会(第3回)資料を一部修正)