

土砂災害警戒情報及びその施策展開を支える技術の確立

1. 研究・活動のアウトライン

災害	主な課題	研究内容	成果反映 (研究を踏まえて整備されたマニュアル等)
1999/6/29 平成11年広島 土砂災害	土砂災害警戒 避難基準雨量 の設定手法	<土砂災害警戒情報の関係> 研究① 土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(2003～2004年度) ・土砂災害発生危険基準線(CL)の精度が最も高くなる短期降雨指標及び、長期降雨指標を検討 ・気象庁の予測雨量を用いた実運用に向けての適用性の検討 研究② 土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法の高度化(2005～2018年度) ・既知の水文観測データを基に、土壌雨量指数に用いられているパラメータを簡易かつ精度良く同定する手法の開発	<土砂災害警戒情報に関するマニュアル等> 【土砂災害警戒情報の発表に関するマニュアル(警戒避難基準雨量の設定手法含む)】 ○平成14年度土砂災害警戒情報のあり方と今後の施策に関する報告書、土砂災害警戒情報に関する検討委員会、国土交通省・気象庁、2003.6.4 ○国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(案)、国土交通省河川局砂防部・気象庁予報部・国総研、2005.6 ○都道府県と気象庁が共同して土砂災害警戒情報を作成・発表するための手引き(改訂版):国土交通省砂防部砂防計画課、気象庁予報部業務課、(2005.6初版)2019.6改訂 ○土砂災害警戒情報の発表の判断に用いる基準の見直しについて、国土交通省砂防部・国総研・気象庁予報部、事務連絡2017.11.6
2004/7/13 平成16年新潟・ 福島豪雨	都道府県砂防 部局と気象庁 の連携による 土砂災害警戒 避難基準雨量 情報の全国展 開		
2004/10/20 台風第23号		研究④ 土砂災害発生確率頻度の算出手法(2014～2019年度) ・土砂災害警戒情報の補足情報として、活用可能な地形・地質情報に関する主題図を検討	【土砂災害警戒避難等に関する法律・マニュアル】 ★土砂災害防止法 2014.11.19改正、2015.1.18施行、同1.18付 土砂災害防止対策基本指針変更 ○「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン」の改訂(2014年9月以降随時改訂)、内閣府(防災)、2014 ○土砂災害警戒避難ガイドライン、国土交通省砂防部、2015.4改訂
2011/3/11 東北地方太平洋 沖地震 (東日本大震 災)	地震後暫定基 準による運用 の改善		
2011/8/30～ 2011/9/5 平成23年台風 第12号紀伊半 島大水害	警戒情報のレ ベル化(各種セ ンサー情報の 活用)		
2014/8/19～20 平成26年広島 豪雨土砂災害	法定化及び伝 達の義務化		
2016/4/14,16 平成28年熊本 地震	警戒情報の信 頼性向上		
2016/8/26～31 台風第10号			
2018/7/5～6 平成30年西日 本豪雨災害	運用への地 形・地質の反映		

1. 強

国土技術政策を支える研究開発

土砂災害警戒情報（図-1）は、降雨による土砂災害の危険が高まったときに、市町村長が避難指示等を発令する際の判断や住民の自主避難の判断を支援するよう、対象となる市町村を特定して警戒を呼びかける情報で、都道府県と気象庁が共同で発表している。

土砂災害警戒情報のあり方については、国土交通省砂防部と気象庁予報部が連携して2002年度に「土砂災害警戒情報に関する検討委員会」を設置し、消防庁も参加して検討され、2003年に「土砂災害警戒情報のあり方と今後の施策に関する報告書」を公表した。土砂災害警戒情報は、2005年9月から順次発表を開始して、2008年3月に全ての都道府県への展開が完了した。

国総研土砂災害研究部は、2003年以降これまでに土砂災害警戒情報の精度向上のための研究や手法に関するマニュアルの作成を継続的に行ってきた。

研究① 土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法（2003～2004年度）

土砂災害による人的被害の軽減に対しては、従来から土砂災害発生危険基準線（以下、「CL」※1）による土砂災害警戒避難基準雨量を用いた早期避難への取り組みが行われている。

国総研土砂災害研究部は、「CLの精度が最も高くなる短期降雨指標及び長期降雨指標の組み合わせ」を検討するとともに、「気象庁の予測雨量を用いた実運用に向けての適用性」を検証した。これを基に国総研土砂災害研究部は、国土交通省河川局砂防部、気象庁予報部とともに2005年に「国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法（案）」を作成した。

また2005年に同時に、設定されたCLを用いて発表される土砂災害警戒情報（図-1）に関して、国土交通省砂防部と気象庁が「都道府県と気象庁が共同して土砂災害警戒情報を作成・発表するための手引き」を通知した。

※1 「CL」とは、Critical Line、土砂災害発生危険基準線。警戒避難のための二軸雨量法での発表有無の境界線。過去事象の発生・非発生に対応して統計的に定める。

研究② 土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法の高度化（2005～2018年度）

土砂災害警戒避難基準雨量は、気象庁が提供する「60分間積算雨量」と直列3段タンクモデルを利用した「土壌雨量指数」の2指標を用いて設定することとしている。このうち、土壌雨量指数に用いられているタンクのパラメータは、花崗岩の山地流域（写真-1）を対象とした値を全国で適用しているが、基準の精度向上を図るためには、対象地域ごとに地域特性を反映したパラメータを設定することが必要となる。しかし、当該パラメータの同定は多くの時間と労力を要するため、国総研土砂災害研究部は、既知の水文観測データを基に簡易かつ精度良く同定する手法を開発した。

従来ともすれば不十分な雨量データと少ない災害資料に基づいて地域毎にまちまちに設定せざるを得なかった雨量基準、CLについて、研究①で信頼性の高い包括的雨量DBを使用して、全国的に統一、標準化して設定出来る技術基盤として国総研土砂災害研究部で個別事例検証、データ感度解析を蓄積した上で設定手法を開発した。さらに研究②で、地質等の考慮、蓄積データによる「土砂災害警戒情報検証手法」、「土砂災害警戒情報の発表の判断に用いる基準の見直し」等の高度化した設定手法を確立した。本手

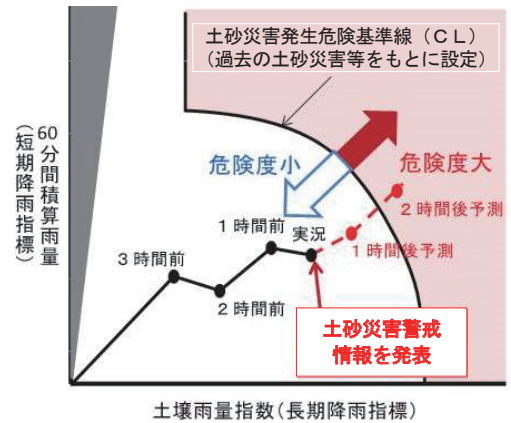


図-1 土砂災害発生危険基準線（CL）による土砂災害警戒避難基準雨量と土砂災害警戒情報
出典：国土交通省ホームページ
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/sabo_ken_link.html



写真-1 花崗岩地域の豪雨による土石流災害の例
(西日本豪雨 2018.7.10 国総研土砂災害研究部撮影
広島県呉市安浦町)

法により、具体的な避難行動の基礎として市町村等から要望の強い「説明性・透明性」の改善が図られた。

研究③ 土砂災害警戒情報の地震発生後の暫定基準の設定手法（2011～2012年度）

大規模地震が発生すると斜面が崩壊すると共に、斜面に亀裂等の緩みが生じ、しばらくは通常より少ない降雨でも崩壊が発生するとされてきた。このため都道府県と地方気象台が大雨時に共同で発表する土砂災害警戒情報では、大規模地震後、地震動による斜面の不安定化を考慮し、雨量基準となるCLを経験値に基づいて通常より引き下げた暫定基準を適用している。しかし、地震に伴う斜面崩壊のメカニズムは複雑で必ずしも明らかではなかった。そこで国総研土砂災害研究部は、東日本大震災後の降雨データ及び土砂災害発生データを用いて基準設定の妥当性等を定量的に検証し、改善方策を提案し、土砂災害警戒情報の運用方法の改善を図った。

研究④ 土砂災害発生確率頻度の算出手法（2014～2019年度）

土砂災害の素因リスクについては、学際的に多岐にわたる分野から様々な提案がなされており、注目すべき地形要素・因子が絞り込まれておらず、結果として、日本全体で統一的に活用できる成果には至っていない。また、素因としての地形・地質データはアナログ的な判読図や主題図等のベクターデータであり、この多くは凡例等が統一されてきていない。更に、日本全国を統一的に解析するための素因情報となるデータについても、ラスタ化が十分図られておらず、日本全国を対象としたGIS等による解析に地形・地質の1次資料を直接活用することは困難であった。そこで国総研土砂災害研究部は、土砂災害警戒情報の補足情報として、活用可能な地形・地質情報に関する主題図を検討した。その上で、各種の地形・地質情報と国土交通省が所有する過去の災害資料を用いた整理・検討により、災害発生と強い相関を有する地形・地質素因の組合せをまとめ、学会誌等で公表すると共に、分かりやすい素因リスクマップを国総研資料第1120号の形で公表した。

2. 主な研究成果

◆研究① 土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法（2003～2004年度）

土砂災害警戒情報は、国土交通省砂防部、気象庁、消防庁が「土砂災害警戒情報に関する検討委員会」で連携し、2002年度からモデル県において土砂災害警戒情報の作成・伝達が試行運用された。当該試行運用では、土砂災害警戒避難基準雨量の超過状況と気象庁の土壤雨量指数の履歴順位を並行して検討し、両基準が共に高い危険度を示す場合（AND条件）、もしくは両基準のいずれか一方が高い危険度を示す場合（OR条件）に作成・伝達することとしていた。しかしながら、2つの基準を並行して運用する煩雑さなどから、土砂災害警戒情報の本運用に向けては、統一基準の策定が必要とされた。

そこで国総研土砂災害研究部は、土砂災害警戒情報の都道府県砂防部局及び気象庁予報部による連携・共同運用・本運用に向けて、統一基準の策定に不可欠な降雨指標を作成するために検討を行った。

まず、土砂災害警戒避難基準雨量について、1982年長崎豪雨災害を受けた建設省砂防部による「A/B案」、1993年鹿児島県8.6豪雨災害を受けた同「提言案」、気象庁予報部による土壤雨量指数を用いた履歴順位方式、等に関して文献レビューに基づいて比較検証を行った。国土交通省（建設省）方式と気象庁方式との併用（AND/OR）方式を具体的な計算機処理に適合するように判断フローとして整理し、モデル県における試行に基づいて具体的な手順案として整理した。国土交通省砂防部と気象庁の両部局の「連携案」として、縦軸の短期の降雨指標、横軸の長期の降雨指標、それぞれの候補を比較検討し、短期降雨指標として60分間積算雨量、長期降雨指標として土壤雨量指数が優れていることを確認した。

次に国総研土砂災害研究部は、二次元値を統合的に処理出来るよう、機械学習手法を援用してRadial Base Function Network（：動径基底関数ネットワーク、以下「RBFN」）手法を実証的に検討し、モデル地域での適合度を確認した。RBFN出力値を用いて非発生降雨の降雨量に基づく複数のCLを設定し（図-2）、各CLにおける災害の発生・非発生降雨に対する適中^{*2}率、空振り^{*3}率、見逃し^{*4}率を比較・検討した。比較は、長期降雨指標のみ、短期降雨指標と長期降雨指標の組み合わせについて行い、その結果、短期降雨

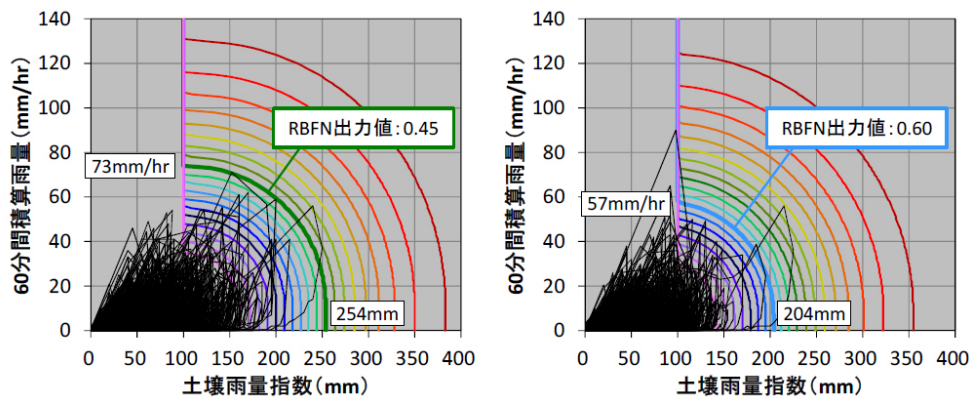


図-2 実績降雨の蛇線とRBFN値の関係

過去の雨量データベースから、横軸(土壤雨量指数)と縦軸(60分間積算雨量)について、ニューラルネットワークを用いて数値的に「起こりやすさ」として整理し、最大値1.0で規格化したもの。曲線が外側に行くほど「稀」な事象となる。例えば、RBFN等値線で0.1であれば、使用した過去データに基づけば3~4年に1度超過するおそれがある。

指標と長期降雨指標の組み合わせが有効であることを示した。また、短期降雨指標、長期降雨指標に対しては、それぞれ10分間雨量、土壤雨量指数の組み合わせの精度が最も高くなることを示した。

また国総研土砂災害研究部は、気象庁の予測雨量を用いた実運用に向けての適用性の検討を行い、これらの結果を踏まえて、CLの設定手法(図-3参照)を取りまとめ、国土交通本省、気象庁とともに2005年に「国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(案)」を作成した。さらにその後の、各都道府県におけるCL設定の際には、技術的助言を行った。

土砂災害警戒避難基準雨量の設定における役割分担は、国総研土砂災害研究部がCLの設定方法を決める。国土交通省本省が、設定・運用者である都道府県へ技術的助言をする。都道府県砂防部局と地方气象台等が開催するCL設定のための見直し委員会に国総研土砂災害研究室長が参画し、地域の実情、災害の発生状況に応じてきめ細かく技術的に指導をする。この経緯で決められたCLは、気象庁の防災気象情報(特別警報やホームページ上でのメッシュ危険度分布)を含む全体の基礎となる判定基準として活用されている。

- ※2 「適中」とは、発表した際に事象を伴った警報等のこと。
- ※3 「空振り」とは、発表した際に事象を伴ったと確認出来なかった警報等のこと。
- ※4 「見逃し」とは、事象発生の際に警報等発表を伴わなかった場合のこと。

◆研究② 土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法の高度化(2005~2018年度)

土砂災害研究部は、都道府県砂防部局の設定した警戒避難基準雨量について、気象庁予報部の算出するレーダー・アメダス解析雨量、土壤雨量指数等に基づく運用が改善出来るよう、雨量と当該指数の特性を蓄積データを用いて分析した。土壤雨量指数の根拠となる花崗岩と安山岩を主体とする流域における観測結果を用いて較正した3段タンクモデルを代表として全国の様々な地域に適用する際の課題を整理し、改良方法を検討した。合わせて、各都道府県からの災害報告を精査し、警戒避難基準雨量の設定に用いる土石流、がけ崩れ等の災害資料からの抽出する際の改良法を検討した。

広島市・鹿児島市等のモデル地域において上記2指標を用いた基準雨量の改良案を検討し、各指標の傾向を分析した。また、より高度な指標開発に向けて、地質別8箇所の水文観測データを用いて上記2指標のタンクモデルのパラメーターセットを検証した。研究結果を踏まえて学会発表を行うと共に、知見に基づいて関係都道府県へ技術的助言を行った。

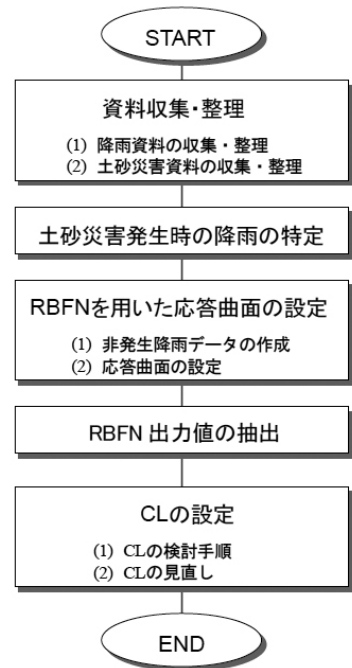


図-3 CLの設定フロー

さらにその後も、土砂災害警戒情報の精度向上の取り組みを継続的に実施した。

◆研究③ 土砂災害警戒情報の地震発生後の暫定基準の設定手法（2011～2012年度）

地震後の土砂災害警戒避難基準雨量については、地震後の土砂災害に関する個別の調査研究成果に基づき、経験的に地震後一定期間に亘り経過観察的に引き下げた運用が行われてきた。これについて、土砂災害研究部は、2011年度までの調査データと東日本大震災後の32事例について検証・検討（図-4）を行い、この成果に基づき国土交通省砂防部砂防計画課と国総研砂防研究室と気象庁予報部業務課は2013年度に運用案を定めた。その後、2020年度には更に5年間の土砂災害発生データを追加し、計149事例に基づいて、対象とするべき揺れ（震度）、地理的範囲、期間、引き下げ率を実証的に検討（中谷ら、2020）した。

その結果、土砂災害警戒避難基準雨量の長期降雨指標を引き下げる必要性が低い場合として、下記の場合であることを明らかにした。

①西南日本地域、②強い余震が少ない場合、③最大震度5強の余震発生後、191日以上超過した場合。

逆に、経験的であるにせよ、長期降雨指標に関して7～8割へ引き下げる必要がある場合として、下記の場合であることを明らかにした。

①余震が多発した場合、②緩い堆積層の場合、③火山岩・火砕岩及び堆積段丘の混在する境界に位置する地下水の豊富な地域の場合（但し、いずれも限られた資料に基づく知見であるため、個別に地質と地下水の関係について詳細な調査を要件とした）。

国総研土砂災害研究部は、これらの成果を逐次関係学会に発表すると共に、都道府県向けの技術図書あるいは技術的助言の形で改善方法の普及・実装に努め、土砂災害警戒情報の運用方法の改善を図った。

◆研究④ 土砂災害発生確率頻度の算出手法（2014～2019年度）

国総研土砂災害研究部は、土砂災害警戒情報の補足情報として活用するため、各種の地形・地質情報と国土交通省が所有する過去の災害資料を用いて、災害発生と強い相関を有する地形・地質素因の組合せをまとめた。

具体的には、地形・地質特性を含んだ調査資料のうち、全国を網羅する代表的な3種類（土砂災害警戒区域・深層崩壊推定マップ・地すべり地形分布図）の主題図についてGIS解析に適するよう、共通的な手法で国土数値情報三次メッシュを基本単位としてラスタ化した。ラスタ化したメッシュ単位の素因と、過去約23年間の土砂災害発生状況とを照合することで、災害発生と最も適合性の良い素因の組合せが明らかになった。

適合性の高い素因（主題図ベースの地形・地質）とその組合せに基づき土砂災害発生確率マップ（案）（図-5）を作成した。具体的には下記の3つ区分を導入した。
・発生確率区分1：土砂災害警戒区域（WY）・深層崩壊推定頻度マップ（DAB）・地すべり地形分布図（S）のいずれかに該当するエリアで、地形・地質の素因を有し、土砂災害に留意が必要なエリア。各メッシュ



図-4 検討区域及び東日本大震災の暫定基準の対象地域

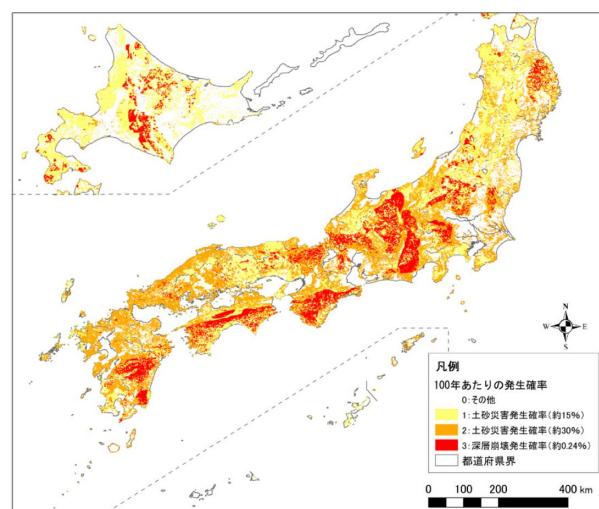


図-5 地形・地質素因に基づく土砂災害発生確率マップ（案）

において、100年間で1回以上の災害が発生する確率は約15%となった。

- ・発生確率区分2：当該確率区分は、土砂災害特別警戒区域（WR）に該当し、降雨による土砂災害が発生した場合、木造家屋の倒壊等の被害が生じる可能性が高いエリア。各メッシュにおいて、100年間で1回以上の災害が発生する確率は約30%となった。
- ・発生確率区分3：当該確率区分は、深層崩壊推定頻度マップ（DAB）と地すべり地形分布図（S）ともに該当し、深層崩壊等の大規模崩壊の発生確率の高いエリア。各メッシュにおいて、100年間で1回以上の大規模崩壊が発生する確率は約0.24%となった。

この研究成果は、土砂災害警戒情報の発表基準の地域分割を定めるための資料として活用され始めている（基準の見直し委員会開催の節目で、従来の行政的な分割や予報区単位での分割から切り替えを進めている）。

3. 関係する報告書・技術資料一覧

(1) 研究報告書・研究資料

- 1) 松田昌之、中谷洋明：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、2020.6
- 2) 中谷洋明、瀧口茂隆、岸本優輝、山田拓、池田寛：地震後の降雨による土砂災害事例に関する統計分析、砂防学会誌、Vol.73, No.4, p.35-40, 2020

(2) 公表・運用しているマニュアル（国土交通省砂防部等と共同）

- 1) 国土交通省河川局砂防部、気象庁予報部、国総研：国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法（案）、2005.6
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/sabo/dsk_tebiki_h1706.pdf
- 2) 国土交通省砂防部砂防計画課、気象庁予報部業務課：都道府県と気象庁が共同して土砂災害警戒情報を作成・発表するための手引き、2019.6改訂（2005年6月初版、2015年2月改訂）
https://www.mlit.go.jp/river/sabo/seisaku/tebiki_r106.pdf
- 3) 国土交通省砂防部、気象庁予報部、国総研砂防研究室：土砂災害警戒情報検証手法、2008.3
https://www.mlit.go.jp/river/sabo/pdf/kensho_080304.pdf

4. 今後の展望

全国の都道府県の土砂災害警戒情報の発表基準作りは、土砂災害研究部が実施してきた本研究に準拠している。また、その成果は気象庁連携の中で土砂災害を対象とした大雨警報関係プロダクトを始め、気象庁があまねく社会に提供する各種データの基盤となっている。更に、地震時の暫定基準運用方法、地域分割方法の全国的指針の提供、個別事案への技術的指導によって、実務者を切れ目なく支援する体制を取っており、技術図書等の形式知の提供に留まらず、過去の経験に基づく実務的な運用に関する暗黙知をオンライン相談も活用して日常的・継続的に提供することにより、気象災害への防災・減災に不可欠な要素としてビルトインされている。

今後は、豪雨に伴う土砂災害により激甚な被害が頻発する近年の土砂災害発生状況や砂防に関する施策の動向等を踏まえ、土砂災害予測技術の向上に努め、次の研究を重点的に実施する。

- ・ より信頼性の高い土砂災害の危険度情報を提供するため、素因特性（地質、地形等）と誘因特性（降雨）の組み合わせによる分析・評価手法の検討。
- ・ 線状降水帯等の発生状況を迅速に把握するなど、土砂災害の切迫度の速報性を向上するための土砂災害危険度評価システムの開発。
- ・ 土砂災害警戒情報の空振りを減らすため、降雨半減期を様々に変化させて組み合わせた警戒避難基準雨量の開発。