

土砂災害危険情報サービス（どしゃブル）の 構築と運用（判定評価）

いがらし たかひろ たけぼやし ひろし まとぼ もえみ ひらかわ りょうじ
五十嵐 孝浩¹・竹林 洋史²・的場 萌実¹・平川 了治¹

¹パシフィックコンサルタンツ(株) (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地)

²京都大学准教授 防災研究所 (〒612-8235京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

多発する土砂災害から住民自身の自発的な危険回避行動により迅速・的確な避難行動が行える情報提供サービスを構築するために、XRAIN雨量情報を用いた土壌雨量指数や、土砂災害危険箇所、地形の最大傾斜角情報を統合した土砂災害危険度判定方法を開発、土砂災害発生可能性のある場所のユーザーに直接情報提供を行う土砂災害危険情報サービスを開発した。

実際の土砂災害の発生と危険度判定の実績から、その的中率（災害発生率）、見逃し状況などを既存の方法と比較検討を行うとともに、空振り率、判定時刻と発生時刻の差について検討し、その有効性について確認した。土砂災害が発生している既往豪雨における気象庁による土砂災害警戒判定メッシュ情報と比較して、その判定区域が絞り込めていること、災害発生予測率が高いことを確認するとともに、土砂災害発生に対して危険度判定のあり・なしを確認し、見逃しはあるものの80%以上の災害を判定できていることを確認した。

Key Words : 土砂災害, XバンドMPレーダ, 自発的避難, アプリケーション, 土砂災害危険度判定

1. はじめに

近年、短時間かつ非常に降雨強度の大きい雨の発生頻度が増加し、それに伴い土砂災害も頻発している。2014年8月の広島豪雨、2015年9月の関東・東北豪雨、2016年8月の北海道・東北豪雨、2017年7月の九州北部豪雨、西日本を中心に大きな被害をもたらした平成30年7月豪雨など、高強度降雨による土砂災害は毎年のように発生している。

2014年8月の広島豪雨による土砂災害の発生以降、土砂災害に関する情報提供は一段と増え、マスメディアでの注意喚起も活発となっている。しかし、これらの情報は、複数の市民を対象とした注意喚起が主である。一方、個人に向けた個別の注意喚起も行われるようになっており、豪雨・地震等が発生した場合に通知を行う「Yahoo! 防災速報」¹⁾や、カメラ映像の上空部分にXRAINの降雨強度が重畳されるAR（拡張現実）により降雨の様子がわかりやすく表示する「Go雨探知機」²⁾や「アメミル」³⁾などが実施されているが、これらの研究は降雨強度から得られる情報のみを対象としており、地形情報なども考慮した土砂災害の危険度の評価は実施できていない。

また、予警報や避難情報の提供方法も改良が行わ

れているが、避難しない住民も多く、住民の主體的な災害被害からの回避行動に繋がる情報提供へのニーズが高まっている。

2. 土砂災害危険情報サービスの概要と機能

このような背景から、住民自身が各種情報を受信して自発的危険回避行動を行うことを支援する土砂災害危険度情報を直接ユーザーに提供するサービスの構築を行った。その特徴としては、以下の7つである。

- ①分かりやすく：シンプルな機能・情報を
- ②情報を入手しやすく：簡単に、屋内外でも
- ③いつでも：365日24時間
- ④どこでも：全国で、地域限定でなく
- ⑤誰でも：端末問わず、登録不要ですぐ使える
- ⑥その人が、その時に、その場所で必要な情報をアプリからユーザーに能動的に提供
- ⑦降雨情報と土砂災害危険情報を有機的に組み合わせた土砂災害危険度判定を提供

構築した土砂災害危険情報サービス（以下、本サービス）のモバイルアプリの画面と機能の概要を図-1に示す。



図-1 モバイルアプリ画面。

3. 土砂災害危険度判定

本サービスにおける「土砂災害危険度判定」は、地盤の最大傾斜角と各都道府県が公表している土砂災害危険箇所情報とXRAINデータを用いて得られた累加雨量や土壌雨量指数による「土砂災害雨量指数」から判定する。それぞれの項目の算定方法について以下に説明する。

(1) 土壌雨量指数と土砂災害危険度判定法の改良

リアルタイムのXRAINデータから250mメッシュの土壌雨量指数および60分累加雨量を1分毎に演算する。降雨データのみを用いた「土砂災害雨量指数」の基準値設定にあたっては、土砂災害が発生した2014年8月の広島市安佐南区八木三丁目、2013年9月の滋賀県栗東市下戸山、2014年8月の京都市右京区北地区のXRAINデータを用い、土砂災害非発生地域として、丹波市春日町、京都府南丹市園部御園のデータを用い、降雨状況をそれぞれの場所で通期的にモニタリングし、土砂災害発生時の特徴を抽出することで指標となる雨量値等を以下のように決定した。

a) 降雨状況のモニタリング方法

土砂災害発生時の特徴を把握するため、XRAINデータを用いて雨量演算の各値を算出し、通期的なモニタリングを実施するとともに、災害発生時刻とその1時間前の降雨状況を比較して検証を実施した。雨量演算は、対象地域全メッシュに対して、土壌雨量指数の計算における「Ishihara & Kobatake (1979)の直列3段タンクモデル」^{4), 5)}の各パラメータを1分換算の値に置き換えて、250mメッシュごとの値を第1タンク、第2タンク、第3タンクの貯留高および各タンクの貯留高の和（タンク全体値）を毎分算出するとともに、10分累加雨量、30分累加雨量、60分累加雨量についても毎分算出した。

b) 土砂災害発生時の特徴の抽出

前述の5ヶ所の降雨状況を整理した結果、タンク全体値からは、土砂災害発生有無の特徴を抽出することが出来なかった。また10分、30分、60分雨量値を個別に調べても特徴は抽出されなかった。一方、第1タンクの値は土砂災害発生時には100mm以上の高い値を示している。

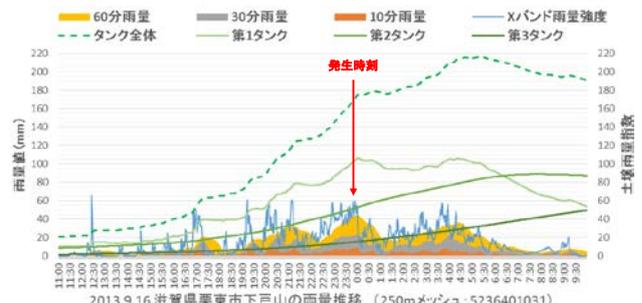


図-2 土砂災害発生時の雨量グラフ。

図-2に一例として、滋賀県栗東市下戸山での各時間雨量、土壌雨量指数、各タンクの貯留高の時間変化を示す。

第1タンクが100mm以上となる時間帯において、土砂災害発生の引き金となる強い降雨の値を調べたところ、10分、30分雨量に相関はみられなかったが、60分雨量の期間最大値となる時刻と土砂災害発生時刻は、ほぼ一致している。一方、60分雨量値が高くても、第1タンクが低い値の場合は土砂災害の発生がみられない。

以上より、第1タンクの値と60分雨量の相関により土砂災害の発生可能性が高まるものと仮定し、それぞれの値の閾値を定め、検証を行うことで土砂災害危険度判定の基準を定めることとした。

第1タンクと60分雨量値から求める危険度判定は「注意」と「危険」の2種類の基準を設けることとするが、どちらも「表層崩壊やがけ崩れ」+「土石流や泥流」が発生する現象であり、その中で発生確率が低いものを「注意」、高いものを「危険」とし、それぞれの基準値は避難に要する時間を考慮して土砂災害発生60分前の状況から設定した。

- ・危険度判定「注意」：第1タンクと60分雨量の合計が100mm以上
- ・危険度判定「危険」：第1タンクと60分雨量の合計が160mm以上かつ60分雨量値が40mm以上

(2) 最大傾斜角と土砂災害危険箇所

上記、土砂災害雨量指数による危険度判定は、XRAINの降雨データのみによる判定であり、地形・地理的条件は考慮していない。より確度の高い土砂災害危険度判定を行うために、各都道府県が公表している土砂災害危険箇所を利用することで、土砂災害発生リスクの高い地域を抽出、危険度判定に反映させることとした。

ただし、現状の土砂災害危険箇所は、社会的な制約が指定状況（条件）に影響していることもあり、指定区域のみを危険度判定対象地域とすると実際に危険な箇所が網羅しきれない恐れがあるため、最大傾斜角が10度以上の地域を危険度判定対象地域に含めて補うこととした。最大傾斜角が10度以上の地域としたのは、例えば、2014年8月に広島市安佐南区と安佐北区で土石流が発生した溪流が概ね傾斜角10度以上であることが確認されたためである。

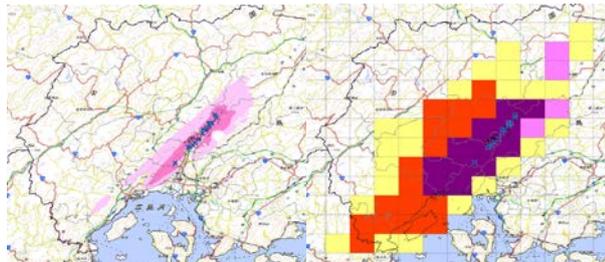


図-3 土砂災害警戒メッシュ判定情報と土砂災害危険度判定 (2014年8月20日広島豪雨 3:00時点)。

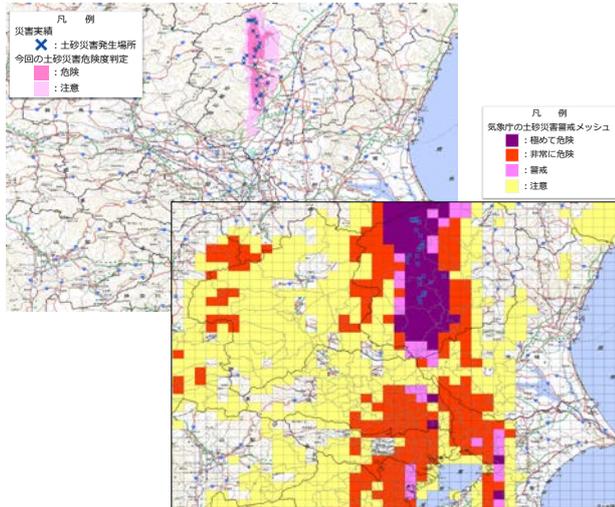


図-4 土砂災害警戒メッシュ判定情報と土砂災害危険度判定 (2015年9月10日関東・東北豪雨 3:00時点)。

4. 判定結果と発生実績の比較検討

(1) 土砂災害警戒メッシュ判定情報との比較

気象庁が公表している土砂災害警戒メッシュ判定情報 (以下、気象庁による警戒メッシュ) と本解析による土砂災害危険度判定メッシュのそれぞれに対する災害発生メッシュ数の比率を計算して、2014年8月20日の広島豪雨 (図-3)、2015年9月10日の関東・東北豪雨 (図-4) で比較検討を行った。これら2件の気象庁が公表している資料^{6), 7), 8)} から気象庁による警戒メッシュを整理し、本解析による土砂災害危険度判定結果と比較した。

判定メッシュ (M_j) と土砂災害発生メッシュ (M_d) の比率として発生メッシュ率 (R_d) の関東・東北豪雨での算定結果を表-1に示す。ここでは、本解析による土砂災害雨量指数のみによる判定結果 (①) を、②最大傾斜角情報と重ね合わせることで約60%に、③土砂災害危険箇所と重ね合わせることで約30%以下に、④双方を組み合わせた範囲と重ね合わせることで約60%まで削減できたことが分かる (④は2つの組み合わせと重ねているため、それぞれ単独の②③よりも大きくなります)。特に人口⁹⁾ での比較では④の組み合わせで10%程度まで削減できており、雨以外の情報を考慮することにより、土砂災害危険度判定の通知範囲を大きく絞り込むことで効率的に通知可能となることが分かる。

表-1 本解析による土砂災害危険度判定による発生メッシュ率 (2015年9月10日関東・東北豪雨 3:00時点)。

判定メッシュの種類	領域	判定メッシュ (M_j)		発生メッシュ (M_d)		発生メッシュ率 ($R_d = M_d / M_j$)	見逃しメッシュ数
		メッシュ数	①に対する比率	メッシュ数	メッシュ数		
		人口		人口	人口		
① 土砂災害雨量指数判定メッシュ全体	注意	12,249		21		0.171%	0
	危険	528,261		8		0.002%	0
	危険	6,874		135		1.964%	0
	危険	117,223		1,243		1.060%	0
	計	19,123	100%	156		0.816%	0
	計	645,484	100%	1,251		0.194%	0
② ①+傾斜角10度以上	注意	6,889		21		0.305%	0
	危険	22,476		8		0.036%	0
	危険	4,921		135		2.743%	0
	危険	26,161		1,243		4.751%	0
	計	11,810	61.8%	156		1.321%	0
	計	48,637	7.5%	1,251		2.572%	0
③ ①+危険箇所	注意	3,089		21		0.680%	0
	危険	23,218		8		0.034%	0
	危険	2,342		135		5.764%	0
	危険	24,044		1,243		5.170%	0
	計	5,431	28.4%	156		2.872%	0
	計	47,262	7.3%	1,251		2.647%	0
④ ②+危険箇所→危険度判定	注意	7,113		21		0.295%	0
	危険	32,723		8		0.024%	0
	危険	5,055		135		2.671%	0
	危険	34,006		1,243		3.655%	0
	計	12,168	63.6%	156		1.282%	0
	計	6,729	10.3%	1,251		1.875%	0

また、判定結果 (計算結果) だけでなく実際に土砂災害が発生したメッシュの比率 (R_d) で見ても、①では0.8%程度であるが、②では1.3%、③では2.9%、④では1.3%となっており、雨以外の情報を組み合わせることで、判定の効果が向上している。特に人口の比率で見ると、①の約0.2%が、約1.9%まで向上しており、組み合わせによる通知は、被災可能性の高い住民に対する被害軽減効果が大きいことがわかる。

(2) 災害発生時刻と判定時刻の比較

土砂災害雨量指数は、雨量による指数で、閾値も全国一律のため、地形・地質の異なる地域では危険判定のタイミングも異なる。2014年8月広島豪雨と、2015年7月以降に発生した土砂災害のうち、発生時刻・場所が明確で、土砂災害危険度判定の結果が確認できる事例ものについて、発生と判定の時間差 (リードタイム) を整理した。

その結果によると、危険判定では長くても2時間30分前で、危険判定が出る前に災害が発生している事例や、危険判定終了後に発生している事例もあるが、すべての事例において発生時には、いずれかの判定は継続していることが確認できた。

事例のリードタイムを平均すると、注意判定で災害発生1時間~2時間前、危険判定で1時間程度前には判定していることを確認できた。

表-2 土砂災害危険度判定結果.

判定あり	判定なし	XRAIN範囲外・ 欠測・降雨なし	不明
78	14	89	72

5. 土砂災害の発生状況と見逃し状況

2016年6月～8月に発生した日本国内の土砂災害の発生状況を把握するために、インターネットのメディア（ニュースサイト、Twitter、行政のWebサイト等）に報告にされる土砂災害情報を収集・整理した。

土砂災害の報告は土砂崩れ等による被害報告（住宅被害、通行止めなど）がほとんどで、土砂崩れそのものの発生場所や発生時刻は曖昧なものが多い。このため、複数のニュースソースを検索し、場所や時刻の特定を進めるとともに、その周辺での危険度判定について確認を行った。

整理に当たっては、発生場所が市町村レベルまでしか特定できていない場合でも、市町村全体に危険度判定が出ているケースについては判定ありとし、発生時刻についても日あるいは午前・午後レベルでしか特定できていないケースでもその期間に判定がでている場合は判定ありとした。以上、土砂災害危険度判定結果を表-2に整理した。

表-2における「不明」とは土砂災害の発生原因が降雨かどうか確認出来なかったもの。「XRAIN範囲外・欠測・降雨なし」の範囲外とは当時のXRAINでは観測されていないエリアであり、欠測とは、強雨による電波消散での観測不能エリアの発生などのことである。

整理した土砂災害の253件の内、XRAINの雨雲が観測されたのは89件であった。さらに災害発生時刻・場所あるいはその周辺で、危険度判定が確認できたものは78件（約85%）であり、残りの14件（約15%）では判定は確認出来なかった（見逃した）。

6. おわりに

本研究では、XRAINデータを用いた土壌雨量指数を改良した土砂災害雨量指数と地盤の最大傾斜角、土砂災害危険箇所情報を統合した土砂災害危険度判定法を開発した。また、広島や関東・東北の過去の大規模な土砂災害や、土砂災害危険情報サービスの試験運用期間中に発生した土砂災害に対して、土砂災害危険度判定での災害発生率（的中率）や、判定

が出て災害が発生しない状況（空振り）の量、災害が発生しているにも関わらず判定がでていない（見逃し）について比較検討を行った。

災害発生率については、判定区域の大きさ、発生率の高さにおいても気象庁の警戒メッシュよりも小さい区域に高い発生率の判定が実施されている、つまり的中率が高く、空振りが少ないことを確認した。

試験期間中の発生状況と判定状況を整理したが、災害発生時に判定が出ていたものが85%に対して、今回は15%程度の見逃しが発生していた。これは、弱い降雨の長時間にわたる継続や、短時間の強い降雨現象による土砂災害の発生を評価できていないためと考えられる。本解析で使用している土壌雨量指数第1タンクが長時間の弱い降雨の影響を評価できないことや、60分累加雨量を用いることで、それよりも短い豪雨では判定できないことが原因と思われる。今後の改善が必要な点である。

参考文献

- 1) Yahoo! 防災速報 <http://emg.yahoo.co.jp/>, (参照 2018-08-02).
- 2) Go 雨探知機 <http://www.jwa.or.jp/go-tan/>, (参照 2018-08-02).
- 3) アメミル <http://tenki.shimadzu.co.jp/ameapp/>, (参照 2018-08-02).
- 4) 岡田憲治：土砂災害の軽減に向けた「土壌雨量指数」の開発，消防科学と情報，No. 60，2000.
- 5) 岡田憲治：土壌雨量指数，測候時報，No. 69(5)，pp. 67-100，2002.
- 6) 気象庁：気象業務はいま 2015，p. 57，2015年6月，<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/hakusho/2015/HN2015.pdf>，(参照 2018-08-02)
- 7) 気象庁：災害時気象報告～平成27年9月関東・東北豪雨及び平成27年台風第18号による大雨等，気象庁 災害時自然現象報告書 2015年第1号，p. 15，2015年12月4日，http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_2015/saigaiji_201501.pdf，(参照 2018-08-02)
- 8) 気象庁ウェブサイトの「土砂災害警戒判定メッシュ情報」，<http://www.jma.go.jp/jp/doshamesh/>，(参照 2018-08-02)
- 9) 総務省統計局のウェブサイト政府統計の総合窓口（e-Stat）より「平成22年度国勢調査結果（総務省統計局）」の男女別人口総数及び世帯総数，<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>，(参照 2018-08-02)