

清水寺における斜面崩壊リスクと データの活用

立命館大学 理工学部 環境保全防災研究室
高尾宗志 鹿島翔太 相倉邑哉

立命館大学 理工学部 藤本将光
里深好文

- 斜面崩壊発生状況
 - 清水寺ではこの**50年**で**4度**、
斜面崩壊が発生している
- 収集データ
 - 雨量
 - 地下水位のデータ

これらのデータを用いて雨量と地下水位
の関係がわかれば

土砂災害の警戒に活かせるのではないか



音羽の滝



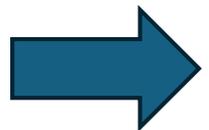
清水寺では降雨時に斜面に湧水と呼ばれるものが発生している



湧水発生時



湧水なし



湧水の画像収集を開始

清水寺の雨量・地下水データ

湧水画像データ

湧水の発生条件、地下水位と雨量の関係を明らかにし、災害発生時の被害を最小限に抑える



調査方法

雨量計を設置し、データの収集

現在はオンライン上にデータを
送信

・データの活用

1. 土砂災害予測のAI解析
2. 雨量と地下水位に関する研究



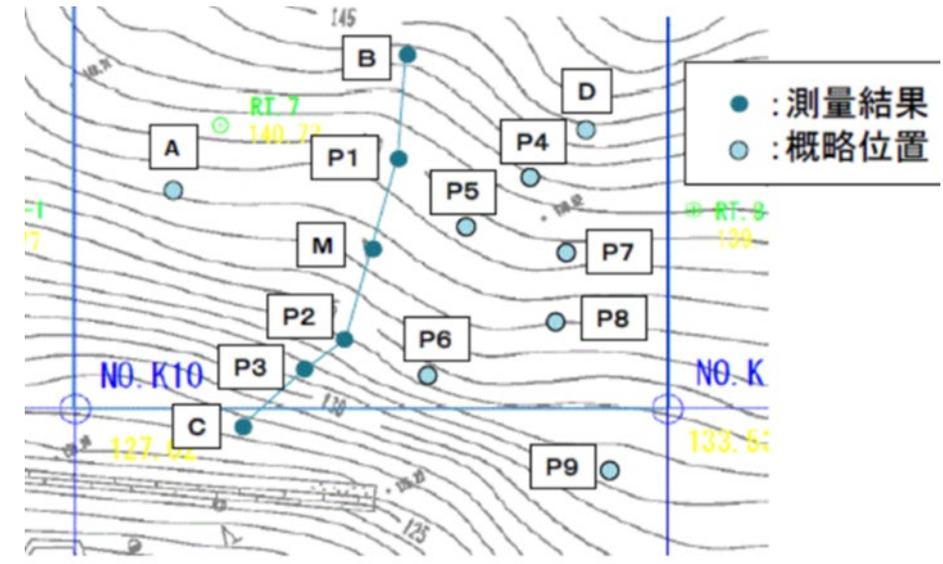
2024年5月～6月に子安の塔付近の
参道でボーリング調査を行った

調査場所



裏山の斜面

以前から調査している場所（断層よりも浅い）



* 地点P1、P2、P3、M

子安塔付近

今年から調査を開始した場所（断層よりも深い）

* ボーリング後の穴を活用



平常時



大雨時



池



2023年7月から湧水の画像収集を開始

観測カメラの設置

- 設置台数 合計 4 台
- 設置目的 湧水の発生状況の監視



世界遺産として景観に配慮した
効率的な土砂災害対策が必要



丸太を使用した斜面对策

- 設置方法
丸太を積み上げ、斜面地に階段状に設置
- 効果
斜面上を流れる水の量を減らし、
土砂の流出を抑制



雨量と地下水位に関する研究

・調査対象

調査を行った2023年7月19日～11月7日の期間

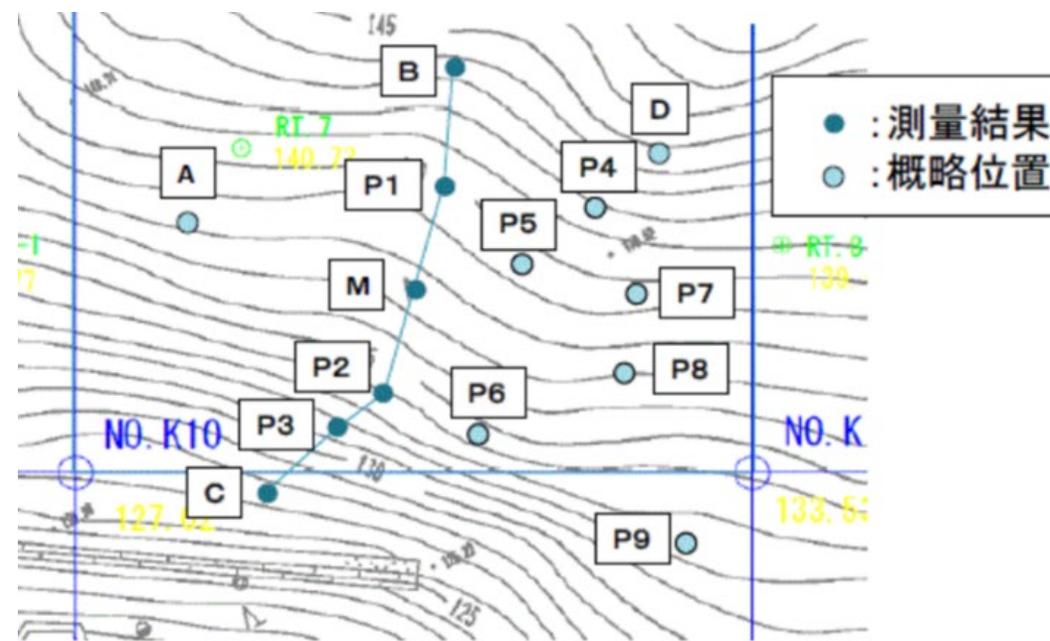
1つの「雨」としてみる基準：累加雨量（10mm）

* 無降雨が4時間続いた場合リセット

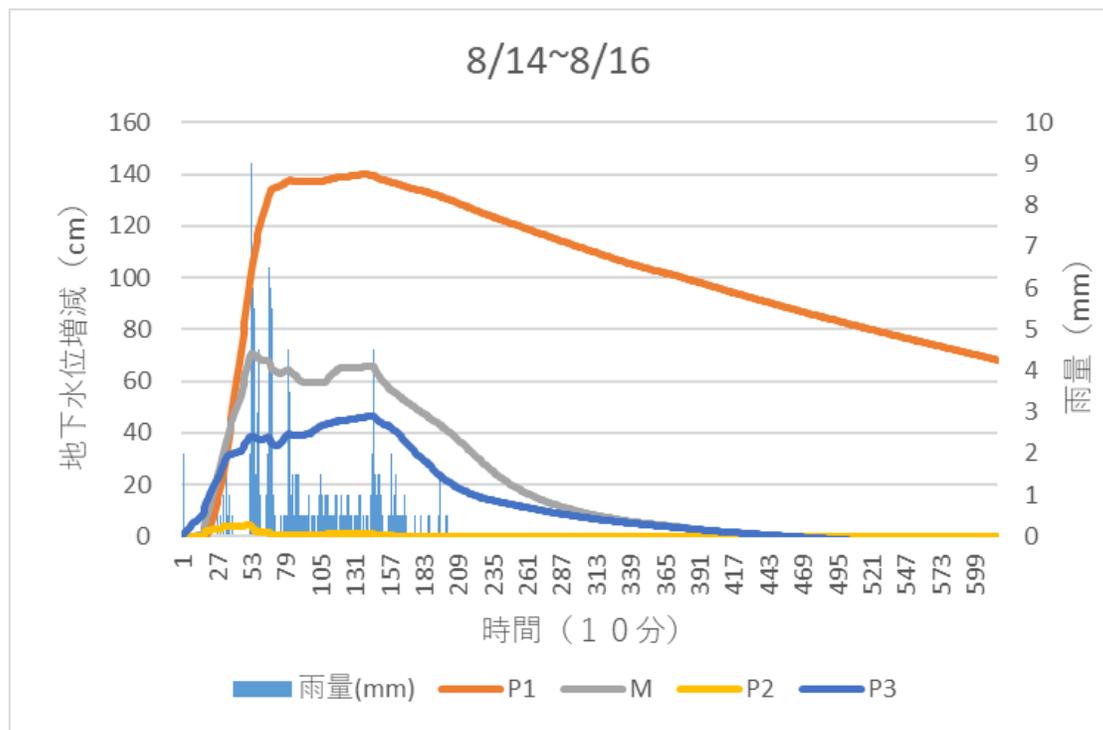
	最大雨量(1h)	最大雨量(10m)	累加雨量(mm)	降雨時間 (h)
① (7/26)	31.0	11.5	31.0	0.67
② (8/14~8/16)	29.5	9.0	140.5	32.17
③ (8/24)	33.0	18.0	33.5	2.00
④ (9/6)	11.0	5.0	15.5	2.50
⑤ (9/21)	11.5	3.0	15.0	2.00
⑥ (9/30~10/1)	30.5	9.5	62.5	8.00
⑦ (10/14~10/15)	3.0	1.0	16.5	9.17
⑧ (11/7)	8.5	3.5	10.5	1.67

・実験場所

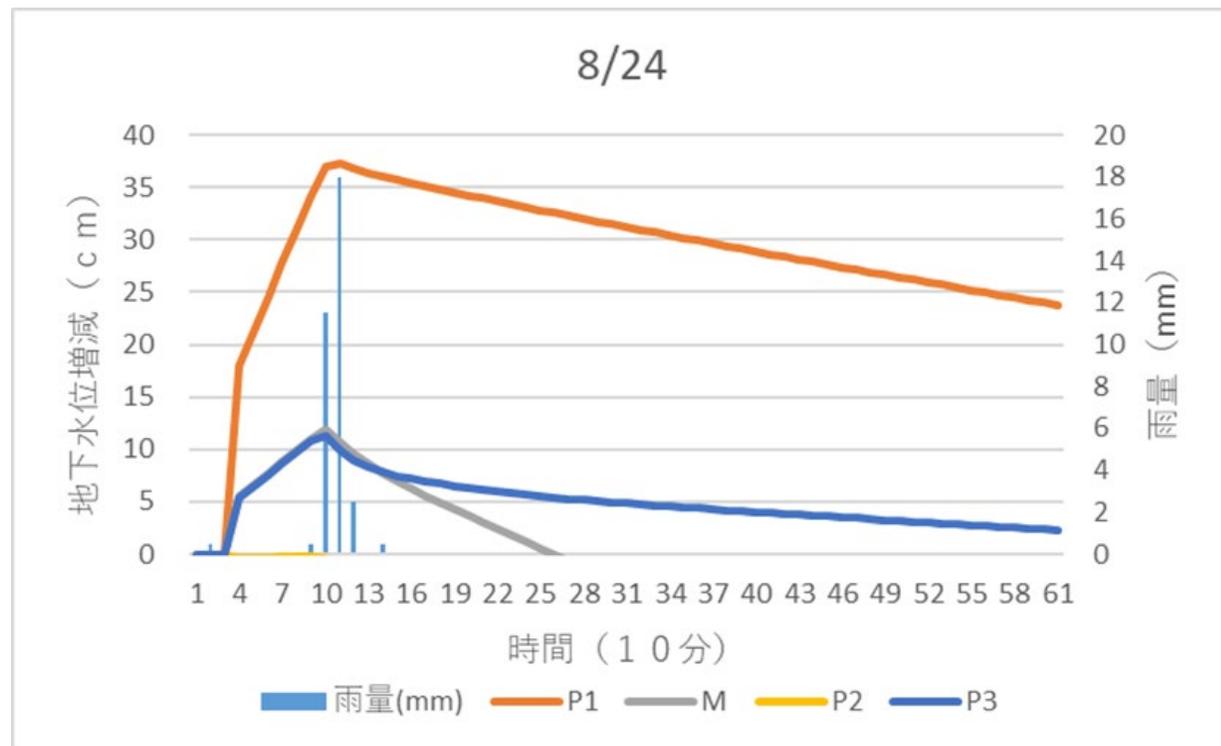
今回の清水寺の地下水位の調査場所は以下の地点である



• 8/14~8/16



• 8/24



雨が降り終えてからの時間は以下の表

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	
最大雨量(1h)	31.0	29.5	33.0	11.0	11.5	30.5	3.0	8.5	
最大雨量(10m)	11.5	9.0	18.0	5.0	3.0	9.5	1.0	3.5	
累加雨量(mm)	31.0	140.5	33.5	15.5	15.0	62.5	16.5	10.5	
降雨時間 (h)	0.67	32.17	2.00	2.50	2.00	8.00	9.17	1.67	
P ₁	最大(cm)	4.666	139.776	37.288	0.179	18.177	26.418	0	11.583
	時間(h)	5.167	168.000	30.667	168.000	10.833	10.167	-	4.667
M	最大(cm)	0.64	70.776	11.924	0.006	6.212	3.566	0.004	1.026
	時間(h)	-	40.667	2.167	-	0.500	-	-	-
P ₂	最大(cm)	0	4.191	0	0.004	0	0.004	0.111	0.001
	時間(h)	-	51.333	-	-	-	-	-	-
P ₃	最大(cm)	1.474	46.375	11.262	3.901	8.882	2.905	29.882	0.576
	時間(h)	-	44.000	13.500	0.167	5.333	-	-	-

調査結果の要約

- 地下水位変動
 - 地下水位の変動は雨量と相関があることが分かった
- 地点ごとの変動特性
 - 地点ごとに地下水位の変動様子が異なることが分かった
 - P1：直線的な変動
 - P2：変動が非常に少ない
 - P3：指数関数的な変動
- 復元時間
 - 地下水位が元に戻るまでの時間は24時間を超える場合もある
- 考察
 - リセット基準の再検討
 - 無降雨が続いた場合のリセット基準について、現在の基準を再検討する必要がある

湧水の発生状況の実態把握に関する研究

・湧水の実態

湧水の様子をカメラで観察した

(この時用いたカメラは昼間はカラー、夜間は白黒)

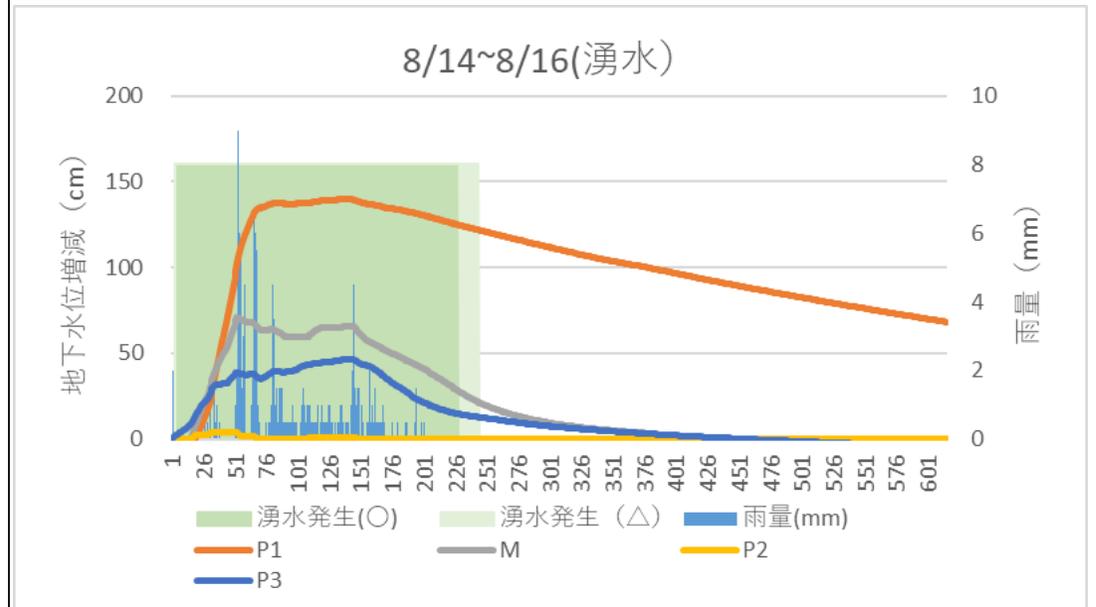


湧水の発生に関して3段階に区分して考える

×	発生なし
○	明確に観察できる
△	判断が微妙

・湧水の挙動

8/14~8/16の雨の湧水の発生状況は以下のような結果になった



湧水の発生状況

- ・ 斜面での湧き水発生

斜面において明確に**湧水が発生**していることが確認された

- ・ 夜間観察の課題

夜間の白黒写真では、湧水の発生を視覚的に捉えるのが困難だった



発生**なし**と考えられる



発生**あり**と考えられる

- ・ 湧水発生のタイミング

雨が降り終わってから**約5時間程**、湧水が発生していることが確認された



深層学習を用いた 土砂災害発生雨量の予測に関する研究

1. 使用ツール

SonyのAI開発ツール Neural Network Console

2. 解析の降雨時間

Case1 : 1時間雨量から土砂災害発生を予測

Case2 : 10時間雨量から土砂災害発生を予測

災害データと雨量データの概要

1. 使用した災害データ

- 合計**24件**
 - 京都府の事例20件
 - 清水寺の事例4件

2. 使用した雨量データ

- データ期間
2018年～2022年の6月1日～10月31日
- データの提供元
清水寺の雨量データ
気象庁開示の京都府中京区の雨量データ

3. データの活用方法

災害発生時までの雨量データを使用

表-1 京都府の災害データ

年号	場所	雨量(mm)	災害発生日時
1972年	清水寺	23	7月12日 19:00
1986年	笠置町	14	7月21日 7:00
1988年	宮津市	44	8月25日 9:00
1990年	福知山市	70	9月18日 13:00
1990年	夜久野町	38	9月18日 14:00
1997年	京都市右京区	68	8月5日 11:00
1998年	福知山市	80	9月22日 15:00
1999年	清水寺	47	6月27日 9:00
1999年	綾部市	70	6月29日 23:00
2002年	伊根町	69	9月7日 5:00
2004年	舞鶴市	58	10月20日 16:00
2010年	亀岡市	73	7月13日 20:00
2012年	亀岡市	65	7月15日 4:00
2012年	宇治市	80	8月14日 6:00
2013年	京都市	31	9月16日 3:00
2013年	清水寺	10	9月16日 7:00
2014年	亀岡市	40	8月10日 13:00
2014年	綾部市	56	8月17日 4:00
2014年	綾部市	80	9月5日 4:00
2017年	伊根町	64	9月17日 23:00
2017年	綾部市	37	10月22日 23:00
2018年	亀岡市	30	7月5日 21:00
2018年	宮津市	50	7月7日 1:00
2021年	清水寺	1	8月14日 10:00

災害データ 10時間雨量と累積雨量

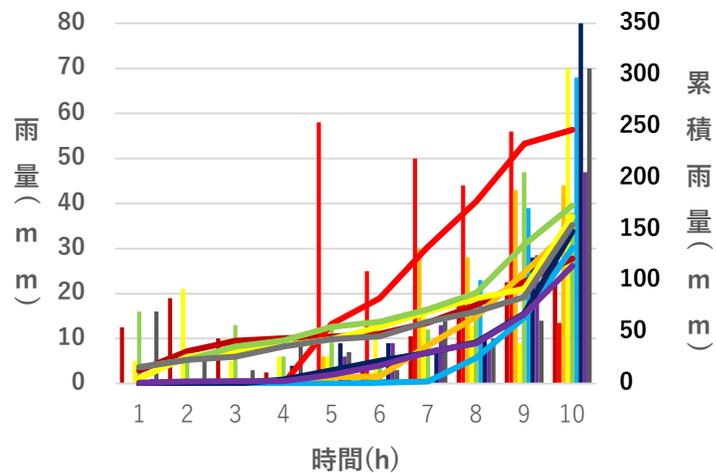


図-1 1972年~1999年の10時間雨量と累積雨量

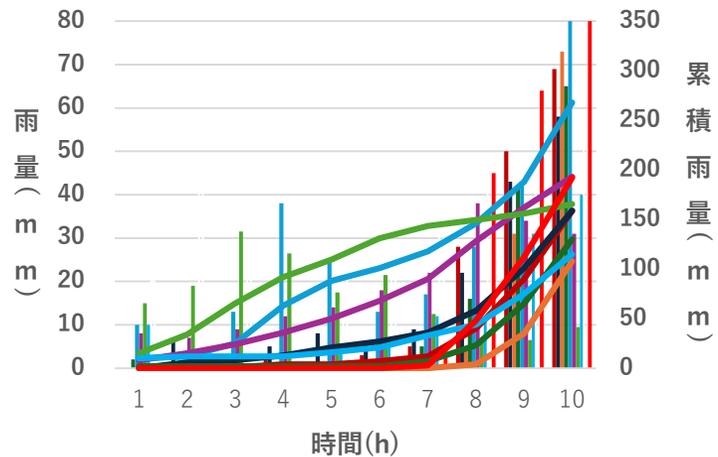


図-2 2000年~2015年の10時間雨量と累積雨量

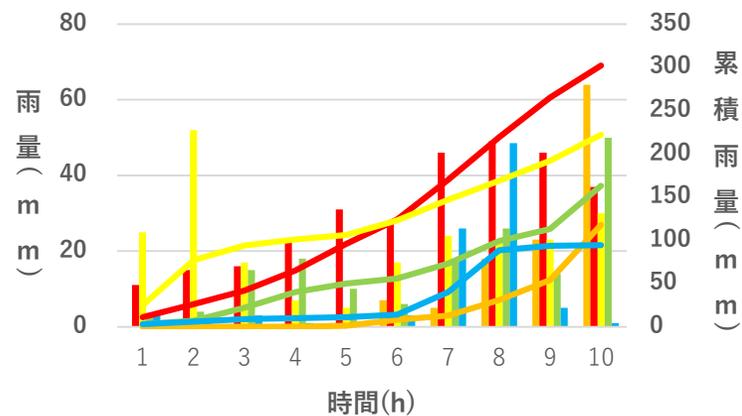


図-3 2016年~2021年の10時間雨量と累積雨量

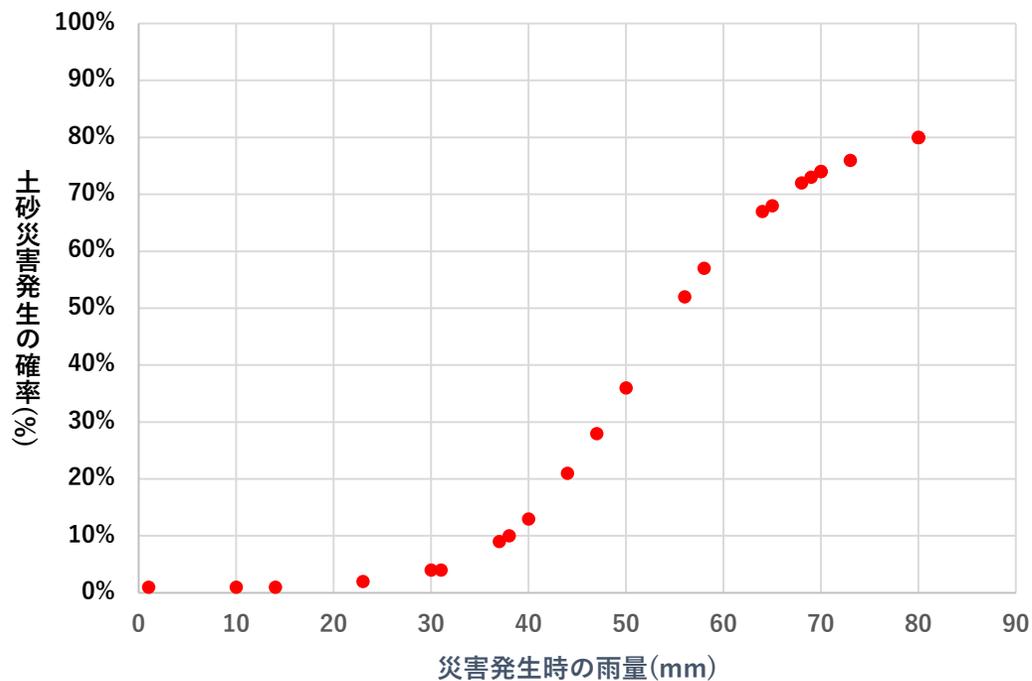


図-4 1時間雨量と土砂災害発生確率予測

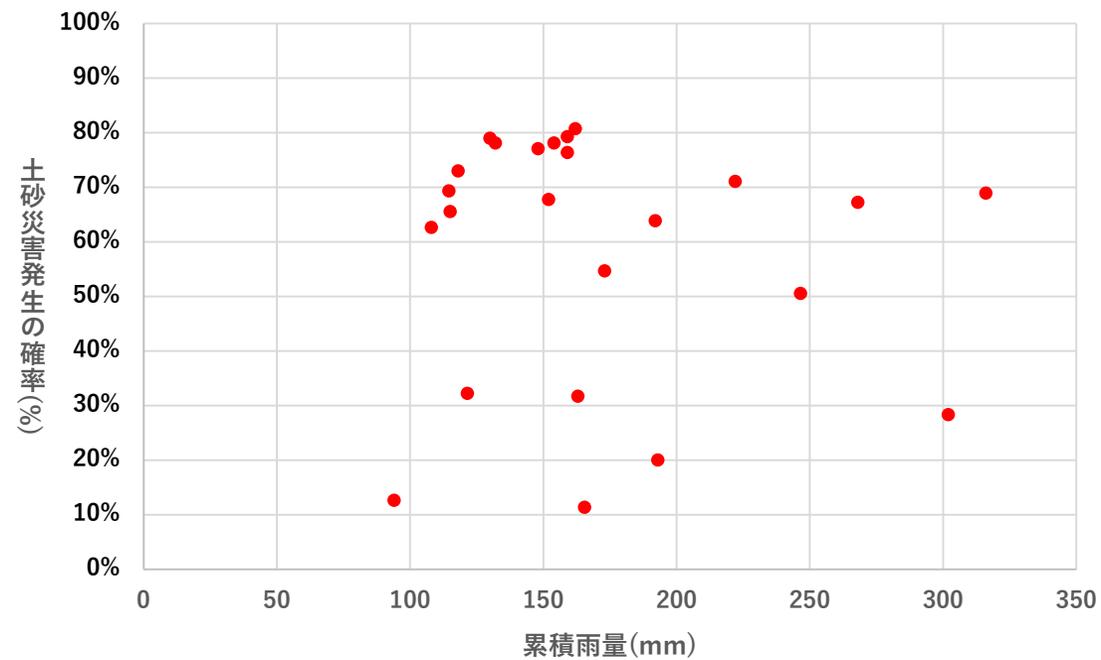


図-5 累積雨量と土砂災害発生確率予測

結果 10時間雨量と土砂災害発生の確率予測

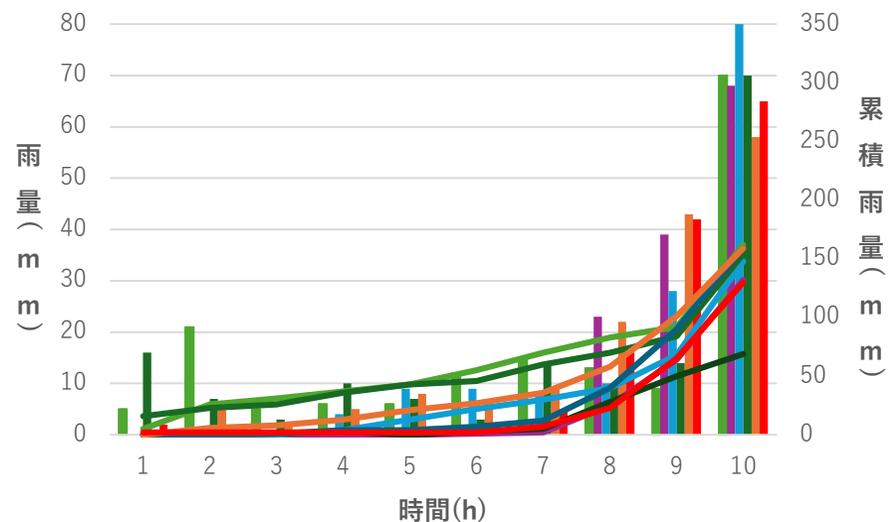


図-6 土砂災害発生の確率予測が75%~100%の事例

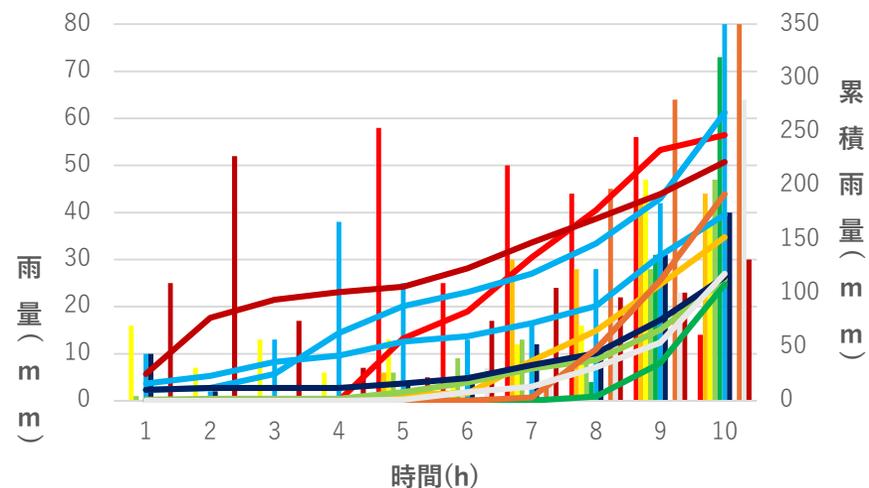


図-7 土砂災害発生の確率予測が50%~75%の事例

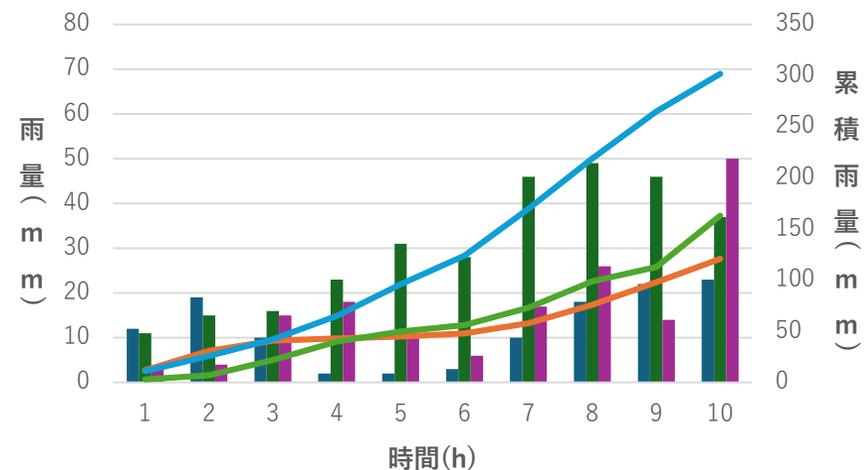


図-8 土砂災害発生の確率予測が25%~50%の事例

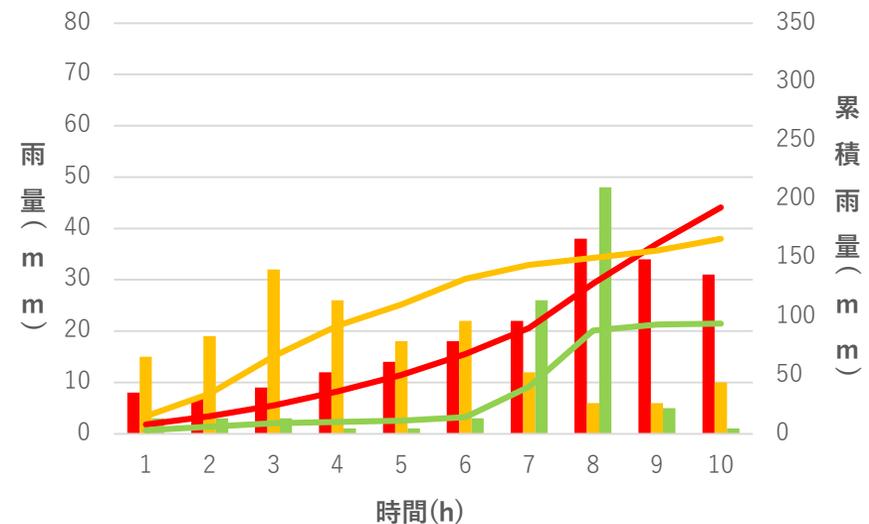


図-9 土砂災害発生の確率予測が25%以下の事例

1. 解析結果

- 1時間雨量の基準
災害発生時の雨量が55mm以上の場合、土砂災害発生の高危険性が高い
- 10時間雨量の基準
災害発生時の雨量が**58mm**以上かつ累積雨量が**132mm**以上の場合、土砂災害の高危険性が高い

2. 対象地の清水寺の事例

土砂災害発生の予測確率が低かった

	1972/07	1999/06	2013/09	2021/08
災害発生時(mm)	23	47	10	1
累積(mm)	122	115	166	95
予測確率(%)	32%	69%	10%	3%

図-10 清水の事例

• 考察

今回使用した雨量データは、災害が発生した時刻までのデータを基にしているため、最大1時間雨量を観測した後に発生した事例の予測確率の値が高くならなかったと考える

ご清聴ありがとうございました。