

□豪雨時の土砂災害に対する早期警戒・避難 に繋げる方策

ー福井市高須町における参加型斜面計測・モニタリングシステム および局所雨量観測による土砂災害発生危険度の評価

関西大学社会安全学部教授 小 山 倫 史

1. はじめに

土砂災害の警戒区域に指定されている場所が多く、土石流や地すべりなどの土砂災害のリスクが高い中山間部の集落では、住民の少子高齢化が進み、平素から脆弱性が高まっている。こうした集落の地域防災力の向上のためには、単に普及啓発活動をすれば十分というものではなく、集落内の生活力を考慮しつつ、住民同士のコミュニケーションを活性化する住民参加型の持続的なアプローチを検索する必要がある。そこで、福井市高須町において、専門家でなくとも日常とは異なる異変にいち早く気付ける視覚的に優れた低コストで簡易な OSV 観測機器を導入することで、住民自らが危険斜面を計測・監視する仕組み(以降、「住民参加型斜面計測・モニタリング」と呼ぶ)を構築し、2019年4月より運用してきた。その中で、一人でも多くの住民が「主体的」にかつ「日常的」に斜面計測に関わってもらうために、「高須あんしん感測隊」の結成、IC カードリーダーを用いた観測記録の保存、防災瓦版「たかすいかす」の発行などさまざまな工夫を取り入れてきた¹⁾²⁾。また、2015年7月より独自に気象観測装置を設置し、局所現地雨量の計測を継続的に実施し、土砂

災害発生危険度の分析を行ってきた。

本稿では、住民参加型斜面計測・モニタリングの現状と課題について述べるとともに、住民が行政から発表される防災気象情報や避難に関する情報のみならず、現地計測雨量に基づく土砂災害発生危険度の分析結果などを活用し、住民たちが自ら避難を開始する基準である「避難スイッチ」や住民一人ひとりの防災行動計画である「マイ・タイムライン」を駆動し、早期警戒・避難行動を起こすための方法について検討する。

2. 福井市高須町における OSV センサを用いた斜面計測・モニタリング

2.1 福井市高須町の概要¹⁾²⁾

福井県高須町は、福井市の中心部から北西に約20km離れた高須山(標高438m)の中腹に位置する農村集落であり、世帯数35戸、65歳以上が39人(58人中)と約67%を占める限界集落である(2023年3月1日現在)³⁾。高須町に通じる道路は2本のみであり、道幅約4m程度の狭い市道である。標高200m程の比較的高地に位置する高須町の道路は、斜面に囲まれた山林道路であり斜面崩壊などの発生により寸断され、地区全体が孤立する可能

性がある。実際、「平成30年7月豪雨(西日本豪雨)」や「2021年7月29日の大雨」において、市道沿いの斜面が崩落したことにより市道が寸断され、一時孤立するなどした^{4)・6)}。また、図-1に示すように、町全体が大きな地すべり地形の中にあり、急傾斜地に関する土砂災害特別警戒区域や警戒区域も集落のいたるところに存在し、一部は土石流危険区域にも指定されている。実際に、集落に通じる生活道路や地区内の林道、棚田の崩壊も度々発生しており、近年の集中豪雨の発生頻度の高まりを受けて、住民の一部で危機意識が高まっている。

2.2 OSV センサを用いた斜面計測・モニタリングの概要¹⁾

斜面計測・モニタリングにあたり、「OSV (On-Site Visualization) センサ」^{7)・8)}を採用した。OSV センサは、高価で精緻なものでかつ専門的知識を要するものではなく、住民自らが日常的に計測・

モニタリングに関わり、日常とは異なる「異変」に気付くということを目的とした低コストで簡易かつ視覚的に優れた計測機器である。高須町では、1) 筒状の装置を斜面に設置し、傾斜の変化に応じて先端の光の色が変化する傾斜計 (ポケットに入るサイズの発光型傾斜計、Light Emitting Inclination Sensor/POCKET、以下「POCKET」と表記する)、2) 斜面に鏡を設置し、定点から鏡を覗き、見える景色に変化があるとその斜面に異変が起きていることを確認できる「SOP (Single Observation Point)」、3) 斜面崩れの恐れがある斜面に棒を一直線に立て、定点から見ると棒が一直線上に1本に見えるが、斜面に変化が生じると棒が数本に見える「見通し棒」の三種類を採用した (写真-1参照)。なお、高須町内に設置したOSV 計測機器の設置場所について写真-2に示す (写真中の①、②、④にPOCKET、③、⑤にSOP、⑥に見通し棒をそれぞれ設置した)。

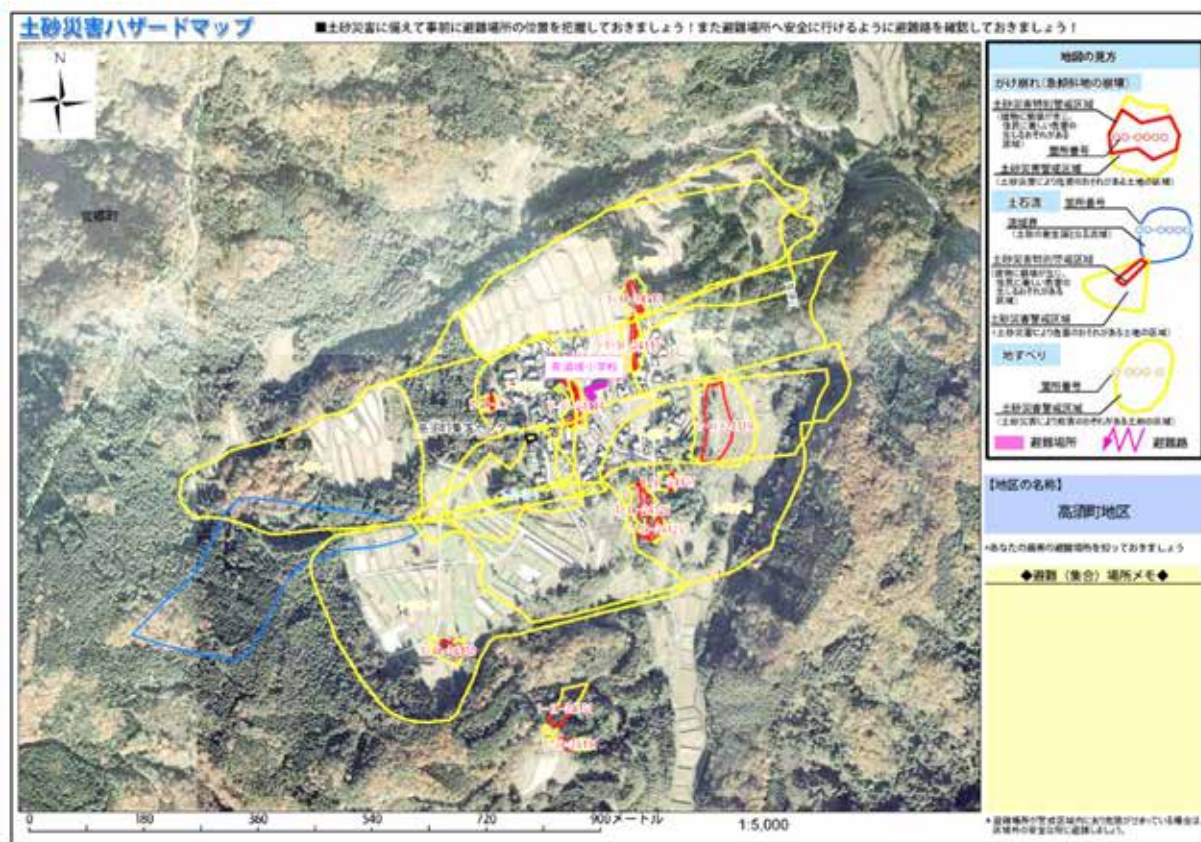


図-1 高須町の土砂災害ハザードマップ



写真-1 高須町で使用した OSV 観測機器



写真-2 高須町内における OSV 観測機器の設置場所 (Google Map に加筆)

2.3 住民の「日常的」かつ「主体的」な斜面計測・モニタリングに向けた方策^{1)・2)}

2017年11月中旬にすべての OSV 計測機器の設置が完了し、同年11月26日に町内の自主防災組織のメンバー向けに計測機器の使用に関する説明・見学会を実施するとともに、集落の“役付き”の男性(自治会長、自警団長、防災班の班長)に計測を依頼し、1年ほど状況の変化を待ったが、取り組みの輪は広がらなかった¹⁾。そこで、2019年4月27日より、観測活動のタイムスタンプを誰でも残せる IC カードリーダーを導入するとともに、70歳以上の高齢女性4名を「高須あんしん感

測隊」(日常とは異なる斜面の異変を感じ取ってもらうという意味を込めて「観測」ではなく「感測」という言葉を用いた)に任命し、個人用の IC カード(「異常なし」と「異常あり」の二枚一組)を常時持ち歩いてもらい、町内に設置した計測機器のそばを通った際には、斜面の観測を行い、IC カードリーダーを用いて観測結果を記録してもらうこととした¹⁾。また、学生が中心となり、おおよそ月1回程度の頻度で、「手作り新聞・たかすいかす」を発行し、住民に配布している(2023年2月末時点で第58号まで発行)。「たかすいかす(高須の知恵を生かすという語呂合わせ)」

【より多くの住民が日常的に関わるための工夫】



図-2 住民が「日常的」かつ「主体的」に斜面計測・モニタリングを行うための方策

では、防災活動に関連する記事のみならず、高須町の魅力や地域に根付く生活の知恵といった情報もあわせて掲載している⁹⁾。図-2に住民が「日常的」かつ「主体的」に斜面計測・モニタリングを行うために検討してきた方策をまとめる。

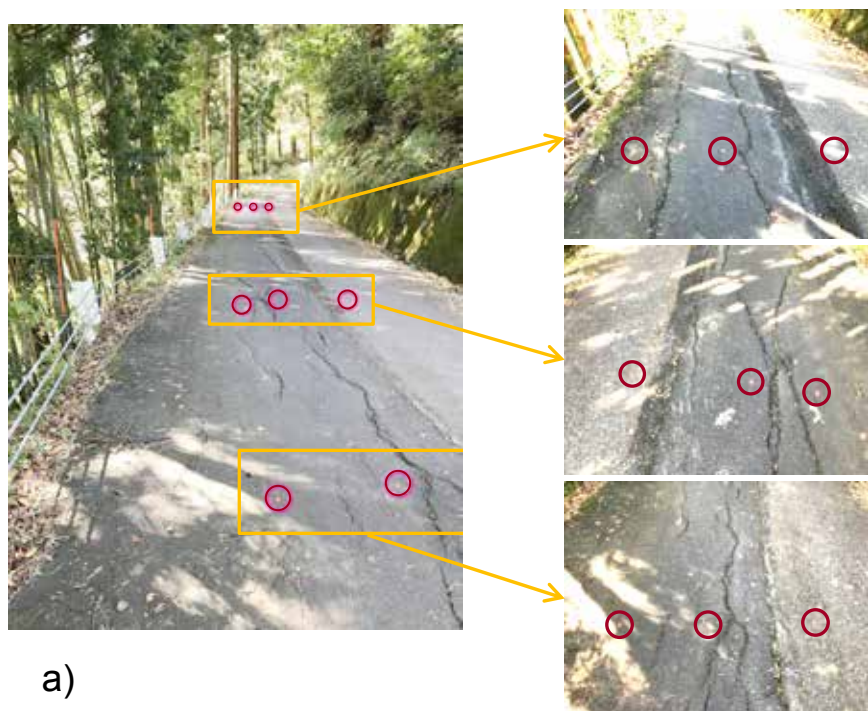
3. OSV 観測機器に対する住民の観測状況

3.1 市道沿いの谷側斜面の変形監視 (①)

市道沿いの「見通し棒」(写真-2中の①)では、自警団長、前自治会長(現防災担当責任者)を中心に週1～2回程度の定期的な観測が継続的に行われてきており、これまで変状・異常は確認されていなかった。しかし、「令和3年7月29日の大雨」において、本斜面に隣接する上部の斜面において、大規模な崩壊が発生し、「見通し棒」はガードレールごと崩壊土砂とともに押し流された⁶⁾。この隣接する上部斜面の崩壊の予兆は当該斜面に設置した「見通し棒」では捉えることができておらず、今後、町内の急傾斜地崩壊危険個所を改めて見直す必要があると考えられる。

3.2 市道沿いの谷側擁壁の変形監視 (②)

市道沿いの擁壁に設置した SOP (写真-2中の②)においては、擁壁の傾斜や沈降に伴う変位が進行し、設置当初の覗き穴の位置からはミラーに映った表示板が確認できず、明らかに設置当初と見え方が異なることが報告された。専門家による測量を実施した結果、数 mm 程度の擁壁の沈下や傾斜に伴う変状の進行や舗装のひび割れの開口が確認されたことから、本計測箇所においては、日常とは異なる「異変」に気付くための計測から、変位量を定量的に把握するための計測に移行し、住民が簡易に変位量を定量的に計測できる方法として、舗装のひび割れ計測用の鉋(3側線、それぞれ3か所)および「見通し棒」(2方向)を新たに設置した(2019年9月13日に設置、写真-3a 参照)。また、擁壁の変位を定量的かつ視覚的に捉えるためにレーザー距離計および照射板を設置した(2019年12月17日に設置、写真-3b 参照)。その後、前自治会長(現防災担当責任者)が定期的に「見通し棒」については定期的に確認しているようであるが、鉋間の距離(舗装のひび割れ)の計測やレーザー距離計による擁壁の変位につい



a)



b)

写真-3 定量的な計測のための仕掛け、a) ひび割れ計測用の鉸、b) レーザー距離計と照射板

では、これまでほとんど実施されていない。このことは、住民にとって定量的な計測を実施することはハードルが高く、今後、現地に行かなくても計測結果が遠隔で監視できるような仕組みの導入が必要であると考えられる。また、「見通し棒」に変化は見られず、2020年6月10日より開始した

固定傾斜計による擁壁のリアルタイムモニタリングの結果をみても、擁壁の変位・傾斜のさらなる進行は確認されていない。

3.3 農道沿いのブロック積み擁壁の変形監視(③)

農道沿いのブロック積み擁壁に設置した

POCKET（写真-2の③）では、前自治会長（現防災担当責任者）を中心に週1～2回程度の定期的な観測が継続的に行われており、これまで変状・異常は確認されていない。しかし、2020年7月中旬以降、機器の電気系統のトラブルに度々見舞われ、計測の頻度が著しく低下した。このことから今後、電気を使用しないメンテナンスフリーの計測機器を検討する必要がある。

3.4 棚田付近の斜面変形計測（④）

棚田、プール横のSOP（写真-2中の④）では、当初、感測隊メンバー2名を中心に週1回程度の観測が行われていた。2020年7月中旬、棚田下の住民である感測隊員より、「鏡の見え方に変化があるように見える」、「懐中電灯のライトを当てた時にいつも見える位置では見えなくなった」との指摘があった（隊員が日常とは異なる「変状」に気付いた）。その後、専門家により測量を実施した結果、変位量は微小（～mmオーダー）であった。その後、「鏡に当たる光を確認することが難しい」、「計測方法・変状ありの判断が難しい」、「プール横の畦道は高齢者にはアクセスが困難である」などの意見が聞かれ、現在、住民による計測は行われていない。今後、変位のトレンド（継続的に同じ方向に変位が進行するのか、あるいは、季節的な変動で元に戻るのかなど）を引き続き注視して監視することが必要であり、変位・変形を定量的に捉えるための新たな観測機器やそれらを遠隔監視する仕組みの導入を検討する必要がある。なお、2020年7月中旬以降、さらなる変状の進行は確認されていない。

3.5 小学校体育館背面のブロック積み擁壁の変形監視（⑤）

小学校裏のPOCKET（写真-2中の⑤）は、当初、感測隊メンバー2名を中心に週1回程度の観測が行われていた。しかし、度々電気系統（太陽光発電用パネルからの電力の供給など）の故障な

どに見舞われており、観測記録は2019年9月28日を最後に長期間途絶えていたが、2020年2月に2回、3月、6月、7月にそれぞれ1回ずつ観測記録が残されていた。しかし、その後、観測記録は残されていない。後のヒアリングで、そばを通るたびに小学校裏のPOCKETを確認しているという住民は多いが、ICカードで記録を残すというところまでいっていないことがわかった。電気を使用する機器は、メンテナンスにかかる労力が大きいことから、今後、メンテナンスフリーの計測方法へ移行することを検討する必要がある。

3.6 住宅背面斜面の変形監視（⑥）

住宅裏のPOCKET（写真-2中の⑥）は、当初、感測隊メンバーによる2～3日に1度（週に2、3回程度）と高頻度な観測が継続的に行われていたが、2020年7月中旬以降、機器の電気系統のトラブルに度々見舞われ、観測の記録も残されていない。なお、これまで閾値を超える斜面の変状や異変は確認されていない。

4. 局所雨量観測と土砂災害発生危険度評価

4.1 観測機器の概要

高須町では、2015年7月より、独自に気象観測システム（山田技研株式会社製）を導入し、局所雨量の観測を行っている（写真-3）。本気象観測装置は、太陽光による自己発電型で、10分ごとに雨量、気温、湿度、風向などの気象データを収集するとともに、各種計測項目は基地局を通してネットで配信されており、遠隔監視も可能である。

4.2 スネーク曲線を用いた土砂災害発生危険度評価

福井市高須町で実測した局所雨量データを用いて、土砂災害警戒情報の発表の際に用いる方法と同様に、縦軸に60分間積算雨量、横軸に土壌雨量

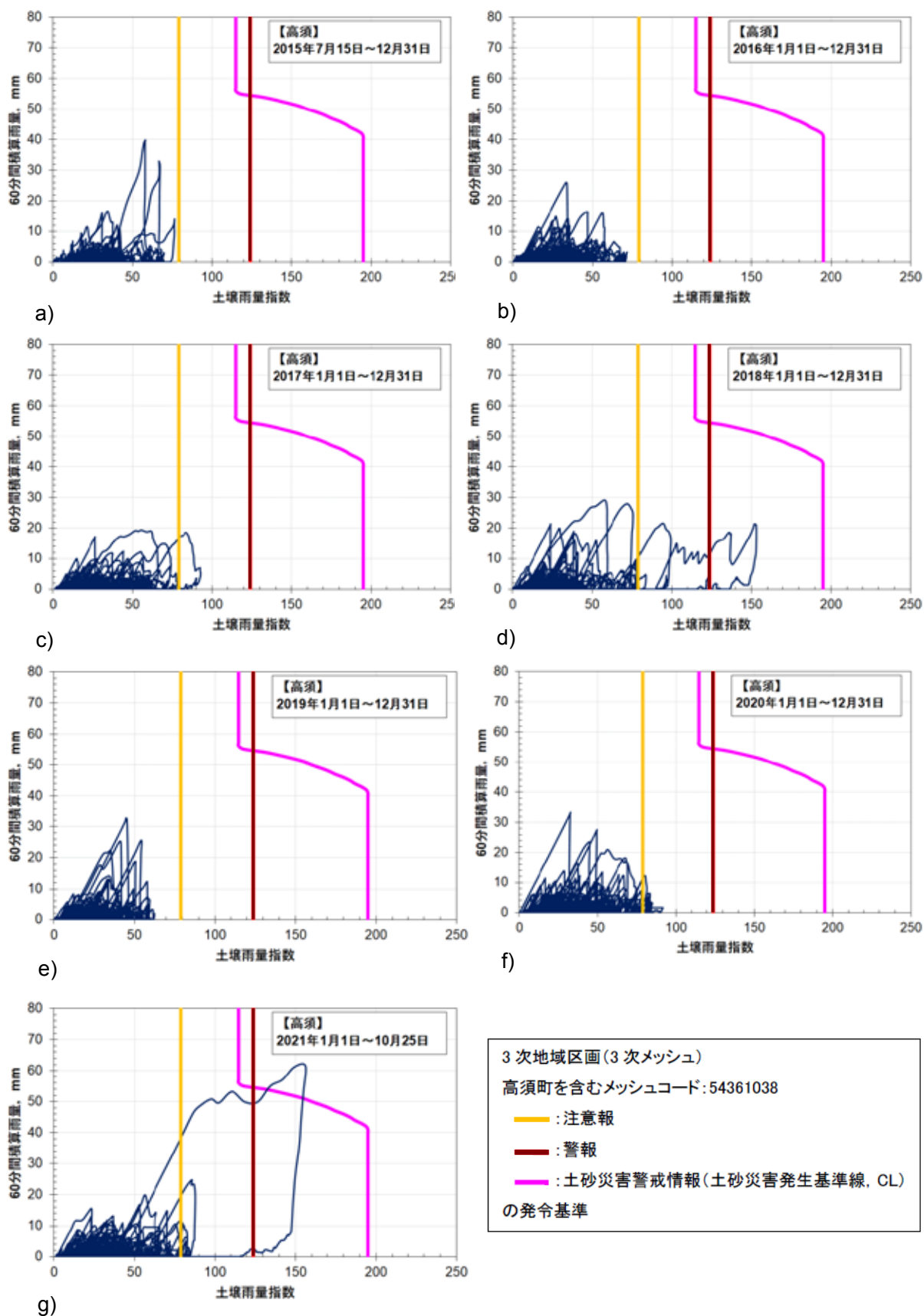


図-3 現地局所雨量データを用いたスネーク曲線による土砂災害発生危険度の評価、a) 2015年(7月15日以降)、b) 2016年、c) 2017年、d) 2018年、e) 2019年、f) 2020年、g) 2021年(10月25日まで)

指数をプロットして描いた「スネーク曲線」を描くことで、土砂災害発生基準線（CL）との関係より土砂災害発生の危険度を評価した。なお、福井市高須町における CL の値については、福井県が提供する「河川・砂防総合情報」¹⁰⁾ のうち「土砂災害警戒情報」を参照した（高須町全体を含む 3 次地域区画、メッシュコード：54361038）。また、スネーク曲線の開始は、高須町で雨量観測を開始した 2015 年 7 月 15 日 15 時とし、土壌雨量指数の算出に当たっては、以後、ゼロリセットすることなく継続的に計算している。

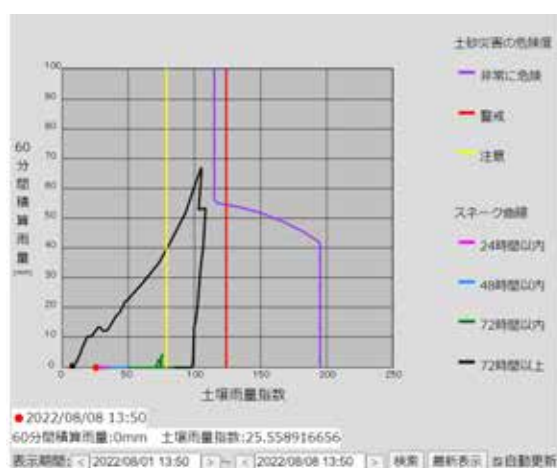
4.3 福井市高須町におけるスネーク曲線（2015～2021 年）

前節で述べた方法により高須町で実測した局所雨量を用いて描画したスネーク曲線を図-3 に示す。なお、分析の対象期間は、2015 年 7 月 15 日から 2021 年 10 月 25 日とした。図中の黄色、赤色および紫色の線は、それぞれ注意報、警戒、土砂災害警戒情報の発表基準（CL）を表す。本図より、60 分間積算雨量（1 時間雨量）が 20mm 以上 30mm 未満の「強い雨」は 2017 年をのぞいてほぼ毎年の

ように観測されており、その頻度は年に数回程度である。また、1 時間雨量が 30mm 以上 50mm 未満の雨（「激しい雨」）は、2015 年に 2 回、2019 年および 2020 年に 1 回観測されている。2021 年には、50mm 以上 80mm 未満の雨（「非常に激しい雨」）が 1 回観測されている。なお、一般的に、1 時間雨量が 20mm を超えると避難は困難となるとされている。

一方、2015 年（7 月 15 日以降）、2016 年、2019 年（図-3a, b, e 参照）において、スネーク曲線は注意報の基準にも到達しておらず、2017 年および 2020 年において（図-3c, f 参照）は、注意報の基準は超過したものの警戒の基準までには到達していなかったことがわかる。つまり、土砂災害の発生危険度を著しく高めるような降雨はなかったといえる。また、2018 年、2021 年において（図-3d, g 参照）は、それぞれ CL には到達していないものの警戒の基準を大きく超過した降雨イベントおよび CL を大きく超過するような降雨イベントがあったことがわかる。これらは、それぞれ「平成 30 年 7 月豪雨（西日本豪雨）」および「2021 年 7 月 29 日の大雨」である。

現地観測雨量に基づくスネーク曲線



土砂災害の発生危険度を確認

福井県防災ネット



県内の土砂災害警戒情報を確認

キキクル（気象庁）



今後の雨雲の動きを確認

図-4 住民への防災気象情報の提供

4.3 住民への防災気象情報の提供のあり方の検討

高須町では、インターネットを通して、局所気象観測の結果を誰でも遠隔から閲覧できるようになっているが、今回、町内で計測している局地雨量データに基づくスネーク曲線による土砂災害の危険度評価とともに、気象庁の「キキクル」¹¹⁾や福井県が提供する「河川・砂防総合情報」¹⁰⁾における土砂災害警戒判定メッシュ情報やレーダーによる雨雲の動きなどを、気象観測結果とあわせて表示する機能を新たに追加した(図-4参照)。今後、住民自らが局地観測雨量をもとに時々刻々変化する土砂災害発生危険度の情報、今後の雨雲の動き、気象庁や行政から発表される土砂災害警戒情報や避難に関わる情報などを用いて、どのように土砂災害に対する早期警戒・避難行動に繋げていくかについて詳細に検討していく必要がある。

5. おわりに

斜面計測・モニタリングや局所雨量計測により取得される客観的な科学データと身の回りで発生する危険事象と関連付け、これらの情報を収集・蓄積していき、地区・地域内で共有する仕組みを構築することが、「避難スイッチ」や「マイ・タイムライン」の設定に必要なかつ重要であり、土砂災害に対する住民の早期警戒・避難に繋がるものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 小山倫史・近藤誠司・小林泰三・芥川真一・佐藤毅・中田勝行・下嶋一幸 (2019)：山間集落における住民参加型斜面計測・モニタリングシステムの構築に関する研究－福井市高須町の事例。Kansai Geo-Symposium 2019－地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム－論文集, pp. 155-160.
- 2) 小山倫史・近藤誠司・小林泰三・芥川真一・佐藤毅・中田勝行・下嶋一幸 (2020)：住民の防災意識および地域防災力の向上のための住民参加型斜面計測・モニタリングシステムの構築－福井市高須町の事例。Kansai Geo-Symposium 2020－地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム－論文集, pp. 245-250.
- 3) 福井市 HP：「福井市人口統計」(<http://www.city.fukui.lg.jp/sisei/tokei/jinko/jinkoutoukei.html>)
- 4) 小山倫史・近藤誠司・小林泰三・芥川真一・佐藤毅・中田勝行・下嶋一幸 (2019)：福井市高須町における OSV を用いた住民参加型の斜面監視システムの構築の試み。第54 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1975-1976.
- 5) 近藤誠司・小山倫史 (2021)．限界集落の避難行動計画策定に関する基礎的考察－福井市高須集落令和3年7月29日の大雨に関する住民調査から－．地区防災計画学会誌, 22 巻, pp. 72-86.
- 6) 小山倫史・近藤誠司・山田忠幸 (2022)：局所雨量観測データを用いた土砂災害発生危険度の分析およびその住民の早期避難に向けた利活用に関する検討－令和3年7月29日の大雨時の福井市高須町の事例 Kansai Geo-Symposium 2022－地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム－論文集, pp. 162-167.
- 7) 芥川真一 (2017)：光源や光路に工夫して変状を可視化する方法, 土木技術, 第72巻, 9 号, pp. 94-98.
- 8) OSV 研究会 HP：<https://www.onsitevisualization.com/>
- 9) 近藤誠司・小山倫史 (2020)．限界集落の土砂災害対応計画策定に向けた共同実践－福井市高須集落におけるアクションリサーチの効果測定－．地区防災計画学会誌, 21 巻, pp.38-50.
- 10) 福井県 HP：河川・砂防総合情報, 土砂災害危険度情報 (<http://ame.pref.fukui.jp/bousai/main.html?fnm=openMapMesh&no=2>)
- 11) 気象庁 HP: 過去の気象データ検索 (<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)