

文部科学省委託事業
学校施設の防災力強化プロジェクト
(平成28年度)

栃尾小学校における土砂災害に対する
警戒避難のための観測プロジェクト

成果報告書

平成29年3月
京都大学防災研究所
穂高砂防観測所

目次

1. 概要	1
1.1 事業の趣旨・目標	1
1.2 事業の概要	3
1.3 事業の実施内容	3
1.4 事業の実施体制	4
2. 事業の成果	5
2.1 協議会	5
2.2 栃尾小学校での雨量観測	6
2.3 栃尾小学校裏の斜面での湧水観測	9
2.4 観測データ解析・斜面危険度評価	14
2.5 栃尾小学校防災教育サポート活動	18
3. まとめ	23
参考文献	25

1. 概要

1.1 事業の趣旨・目標

日本の国土の多くは山地域で占められており、また、梅雨期や台風来襲時に多量の降水があることから、土砂災害が発生する条件が整っており、実際、毎年のように各地のどこかで土砂災害が発生している。本プロジェクトで対象としている岐阜県高山市の栃尾小学校は、前面を神通川水系の蒲田川が流れており、背面には急峻な山地がせまっているという、土砂災害・洪水災害の危険性が高い場所に位置している（図-1.1, 1.2）。特に、背後の山地斜面は、高山市が公表しているハザードマップにおいて、土砂災害警戒区域（土石流、急傾斜）および土砂災害特別警戒区域（急傾斜）に指定され、土石流のみならず、斜面崩壊の危険性が高い場所とみなされている。また、同時に指定避難所にも指定されており、災害の危険がある場所に避難するという矛盾をはらんだ場所でもある（図-1.3）。このような状況は、2009年に台湾の小林村で発生した大規模な斜面崩壊によって、住民が避難していた小学校もろとも押し流されて400名以上の犠牲者が出た事例を思い起こさせ、崩壊発生推定手法を適用して事前に危険性を判断することが重要と考えられる。本プロジェクトでは、土砂災害発生の誘因となる降雨観測と斜面崩壊発生の直接の引き金となる斜面土層内の水分状態の観測を行う事で、崩壊発生危険度を事前に予測し、小学校における土砂災害の被害を軽減することを目標として実施する。実際に土砂災害が発生する危険性の高まる降雨イベントの際、栃尾小学校の校長をはじめとした教職員が、高山市との警戒避難に関する情報共有と共に、当該プロジェクトで実施する雨量観測値を元にした避難体制（タイミング、避難先）を構築することを目標とする。

同時に、土砂災害や洪水災害の直接の原因となる降雨について、「○○mmの大雨」、「時



図-1.1 栃尾小学校裏山の遠景（蒲田川をはさんだ対岸から）

地理院地図 GSI Maps

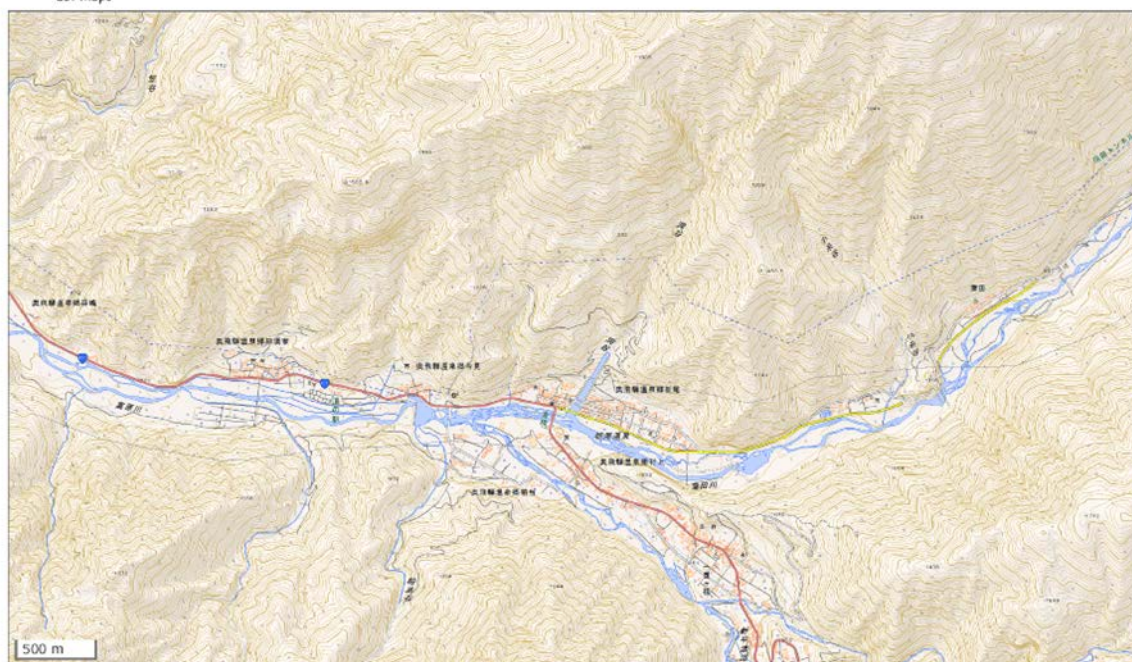


図-1.2 栃尾小学校周辺の地形図

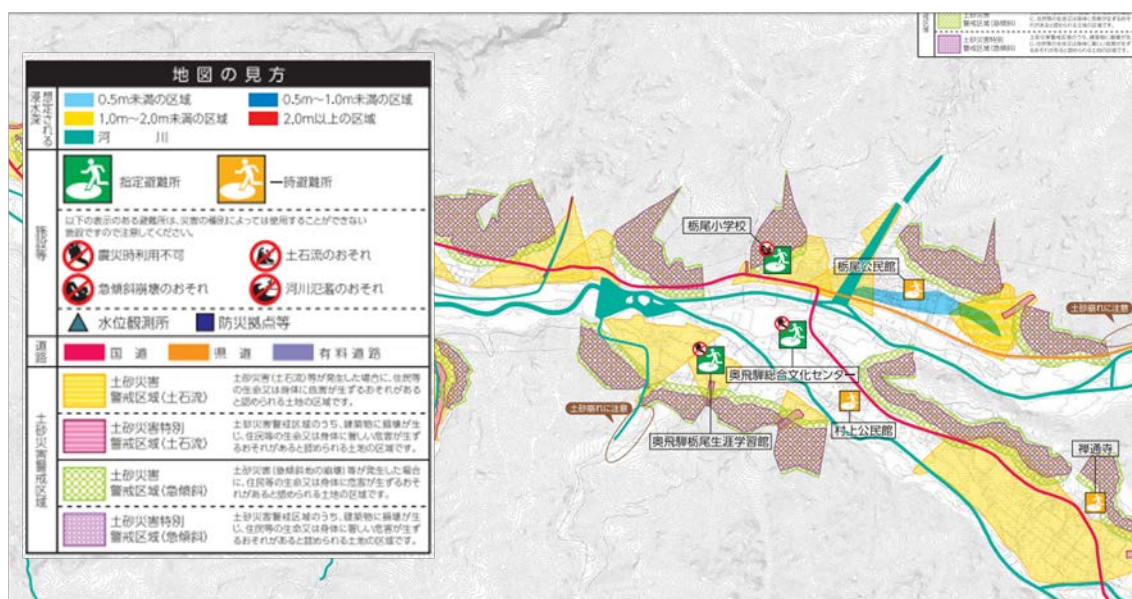


図-1.3 高山市が公開している栃尾小学校周辺のハザードマップ

間降水量△△mm」といった表現だけでは、果たして「どのぐらいの大雨なのか？」という事が実感として伝わらないという問題点があり、降雨観測を単に観測するだけでなく、小学校校舎にディスプレイを用いて常時表示し、児童や教職員が「このぐらいの雨の降り方の時は〇〇mmの雨」という事が実感として把握できる活動を継続して進める事も目標のひとつである。更に、避難が必要となる降雨イベントを想定して、雨量観測値を元に教職員が避難行動を判断し、児童が安全に避難できるための方法についての学習を行い、実際の土砂災害危機に備えることも目標である。

1.2 事業の概要

本事業は、高山市立栃尾小学校と京都大学防災研究所の共同プロジェクトの形で推進する。雨量観測および小学校背面の危険斜面での斜面土層水分状態の計測は、京都大学防災研究所が担当し、その後のデータ解析および斜面危険度評価までを継続して行い、情報共有、避難体制の構築は京都大学防災研究所と栃尾小学校の共同で継続的に行う。雨量データの表示およびその雨量表示を用いて、児童に降雨量の重要性を理解させる防災教育活動は、栃尾小学校が担当して行う。また、連続計測によって得られる雨量-土層水分状態の関連や斜面危険度の変化についての報告を、児童や教職員の理解を深める事を目的に、講習会の形で行う計画であるが、これは、京都大学防災研究所と栃尾小学校の共同で実施する。

1.3 事業の実施内容

- ① 気象観測システム設置：2016年6月29日、7月5日、栃尾小学校、堤、市田、小谷、松井
- ② 危険斜面における湧水観測場所の現地調査、観測実施：2016年8月2-5日、尻高谷流域（栃尾小学校裏山）、堤、市田
- ③ 災害時の警戒・避難行動、災害機構に関する学習についての事前打ち合わせ：2016年8月26-27日、堤、市田、高橋
- ④ 栃尾小学校観測プロジェクト第1回協議会：2016年9月7日、栃尾小学校、出席者9名（小谷、松井、黒谷、谷本、矢守、宮田、市田、高橋、堤）
- ⑤ 栃尾小学校防災ショート訓練の視察：2016年10月21日、高橋
- ⑥ 焼岳噴火想定訓練の視察：2016年11月11-12日、高橋
- ⑦ プロジェクトの進捗状況報告と最終打合せ、文部科学省、2017年2月2日、堤
- ⑧ 雨量解析に関して研究打合せ、京都大学、2017年1月30-31日、2月5-6日、堤、宮田
- ⑨ 栃尾小学校観測プロジェクト第2回協議会：2017年2月8日、栃尾小学校、出席者7名（小谷、松井、黒谷、谷本、市田、高橋、堤）
- ⑩ 栃尾小学校の防災教育の取り組み見学、周辺視察：2017年2月7-11日、栃尾小学校、高橋
- ⑪ 観測データ解析・斜面危険度評価の実施：2016年10月-2017年3月、穂高砂防観測所、堤、市田

1.4 事業の実施体制

本事業においては以下に示す協議会を発足し、その体制のものとして実施する。

氏名	職名	所属
【栃尾小学校共同研究協議会】		
小谷好廣	学校長	高山市立栃尾小学校
松井健治	教頭	高山市立栃尾小学校
黒谷 渉	危機管理係長	高山市危機管理室
谷本樹巳	指導主事	高山市教育委員会
矢守克也	教授	京都大学防災研究所
堤 大三	准教授	京都大学防災研究所
宮田秀介	助教	京都大学防災研究所
市田児太朗	技術職員	京都大学防災研究所
高橋孟紀	大学院生	京都大学大学院工学研究科
【事務局】		
堤大三	准教授	京都大学防災研究所

2. 事業の成果

2.1 協議会

(1) 第1回協議会

日時：2016年9月7日 14:00-15:30

場所：栃尾小学校会議室

出席者：

小谷好廣 栃尾小学校学校長
松井健治 栃尾小学校教頭
黒谷 渉 高山市危機管理係長
谷本樹巳 高山市教育委員会指導主事
矢守克也 京都大学防災研究所教授
堤 大三 京都大学防災研究所准教授
宮田秀介 京都大学防災研究所助教
市田児太郎 京都大学防災研究所技術職員
高橋孟紀 京都大学大学院工学研究科大学院生

協議会内容：

- 事業の趣旨を説明の上、構成員全体での目的の共有を図り、事業計画を検討
- 既に開始している雨量観測、小学校裏山斜面での湧水観測の途中経過を報告
- 小学校が計画している防災教育等に関する年間計画の説明
- 小学校の防災教育に対して実施可能なサポート実施についての検討
- 高山市教育委員会、危機管理室からの要望、指摘等についての検討

(2) 第2回協議会

日時：2017年2月8日 14:00-15:30

場所：栃尾小学校会議室

出席者：

小谷好廣 栃尾小学校学校長
松井健治 栃尾小学校教頭
黒谷 渉 高山市危機管理係長
谷本樹巳 高山市教育委員会指導主事
堤 大三 京都大学防災研究所准教授
市田児太郎 京都大学防災研究所技術職員
高橋孟紀 京都大学大学院工学研究科大学院生

協議会内容：

- 雨量観測、小学校裏山斜面での湧水観測の結果を報告
- 雨量、湧水観測データの解析結果、斜面危険度評価法について報告
- 小学校の防災教育に対して実施したサポートについての報告
- 高山市教育委員会、危機管理室からのサジェスション
- 事業終了後の協力継続の計画を検討

2.2 栃尾小学校での雨量観測

2016年6月29日から7月5日にかけて、栃尾小学校校舎の屋上に転倒ます式の雨量計を設置した。また、雨量観測と同時に気温、湿度の観測を行うため、温湿度計も設置した。設置した雨量計、温湿度計の設置状況を図-2.1に示す。雨量計はヒーター付きであり、冬の降雪も雨量として計測できる。計測された雨量、気温、湿度のデータは、計測機器からケーブルを経由して職員室に設置したサーバ（図-2.2）へリアルタイムで転送され、記録されるシステムとなっている。

雨量、気温、湿度のデータは、サーバに記録されると同時に、職員室前の廊下に設置したモニターに表示され（図-2.3）、栃尾小学校の教職員と児童の全員がいつでも閲覧可能な状態となっており、降雨時に「現在、〇〇mm/hrの強さの雨が降っている」、「降り始めから△△mmの雨が降り続いている」といった雨量の情報や「現在の気温は××℃」という気象情報を数値で知ることができ、現実の雨の状況と数値との対応を身をもって実感できるようになっている。

このシステムでは、暫定的に降雨強度によって雨量レベルを0から5までの6段階で警報表示されるようになっており、それぞれのレベルでの降雨強度は、レベル0：0 mm，レベル1：0－10 mm，レベル2：10－20 mm，レベル3：20－50 mm，レベル4：50－80 mm，レベル5：80 mm以上となっている。将来的には、裏山斜面での湧水観測と雨量観測との解析結果から、斜面危険度に対応する実効雨量を求め、過去に発生した災害の記録や既往最大となる実効雨量から警報を出すべき降雨レベルを示すシステムに改修していく予定である。



図-2.1 栃尾小学校校舎屋上に設置した転倒ます式雨量計と温湿度計



図-2.2 栃尾小学校職員室に設置した雨量観測システム用サーバ



図-2.3 栃尾小学校職員室前廊下に設置した雨量観測結果を表示するモニター

雨量観測結果を図-2.4 に示す。7 月から 12 月までの観測期間中、最大の降雨強度は、9 月 28 日の 22.5mm/h であり、9 月 18 日 0:00 から 24:00 までの 81mm であった。7 月から 12 月までの観測期間中の積算降水量は、1062.5 mm であり、7 月以前の降水量が含まれていないことを考えると、およそ平均的な降水量であると考えられ、正常に降雨観測が実施できたものと判断できる。

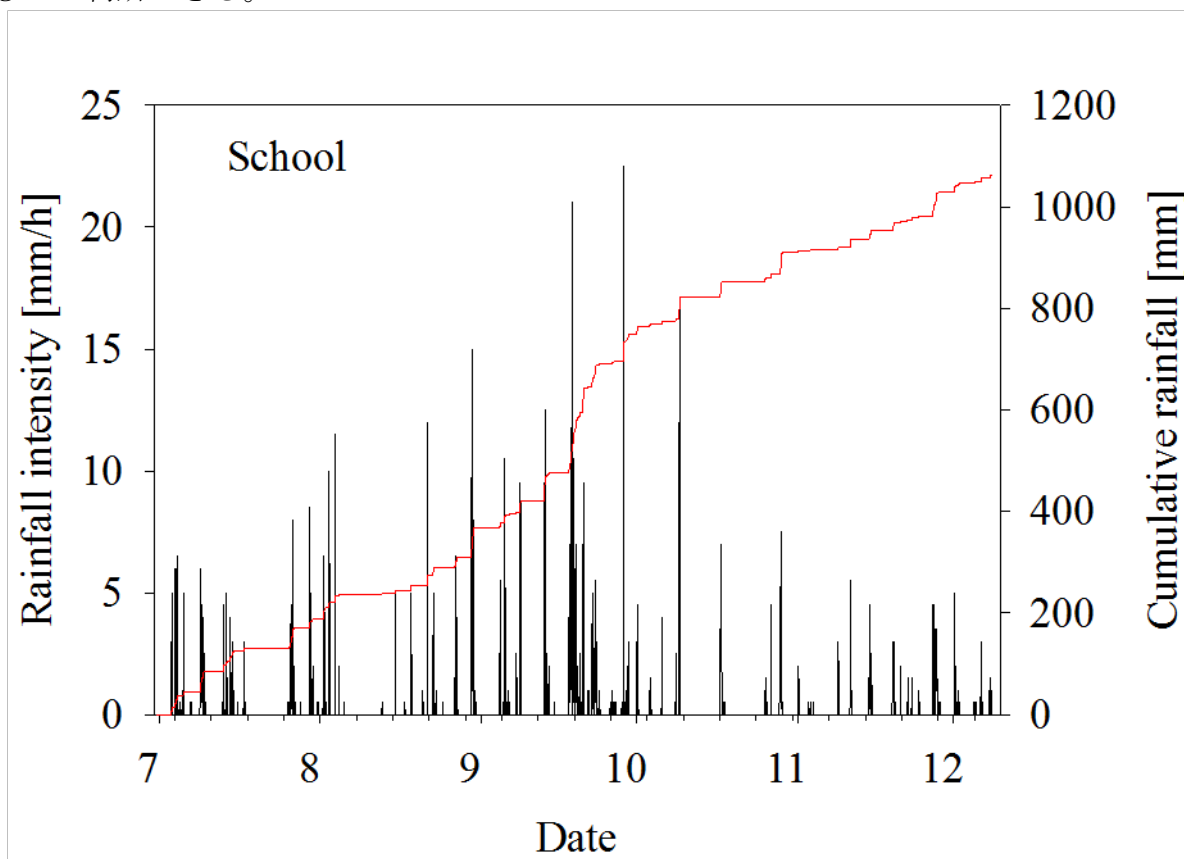


図-2.4 栢尾小学校雨量計による雨量観測結果（2016 年 7 月 - 12 月）

2.3 栃尾小学校裏の斜面での湧水観測

豪雨によって発生する斜面崩壊を対象として斜面の危険度を評価する際、斜面土層内に含まれる水分量が多いか少ないかが大きな判断材料となる。ただし、斜面全体を対象として、土層に含まれる水分量を計測するためには、ボーリングを複数点で行いその坑内の地下水位の変動を計測することが必要となる。この観測には多大な労力が必要であり、本プロジェクトには適さない。そこで、その代替法として、斜面における湧水量を観測することとした。湧水量は斜面土層の水分量を間接的に反映しており、斜面崩壊の危険度と正の相関をもっているものと考えられる。

そこで、栃尾小学校裏山斜面の湧水地点を探すため、図-2.5 に示す CS 立体図（戸田，2014）を DEM データから作成し、特異点の抽出を行った。その結果いくつかの特異点の内、特に湧水点の可能性が高い点が発見された（図中中央の赤丸印）。この地点を目標に現地調査を行った結果、湧水点が 2 か所発見された。その内、流量の多いと思われる湧水点を、本プロジェクトの対象観測点として選定した（図-2.6）。

湧水量変化を観測するため、この湧水点に観測装置を設置した。観測装置は以下の様な手順で設置した。まず、湧水を集めるため湧水点下流部 1 m^2 程度の領域のリター層や土砂層を取り除き、岩盤層を露出させてコンクリートと土嚢を用いて集水枿を作成した。その集水枿から塩化ビニルパイプ（径 100 mm ）を経由して、プラスチック製の容器に導水し、その容器の下流側に設けた V 字の溝部分から越流させて再度斜面に放出する装置とした（図-2.7）。このプラスチック容器の中には水圧式の水位計を設置し、水位の変動を 10 min 間隔で計測、記録した。このプラスチック容器における水位と流出量との関係は事前に検討し、キャリブレーション式を求めている。このキャリブレーション式を用いて水位の計測値から流量が求まる。水位計測の結果を図-2.8 に示す。計測期間は 2016 年 8 月から

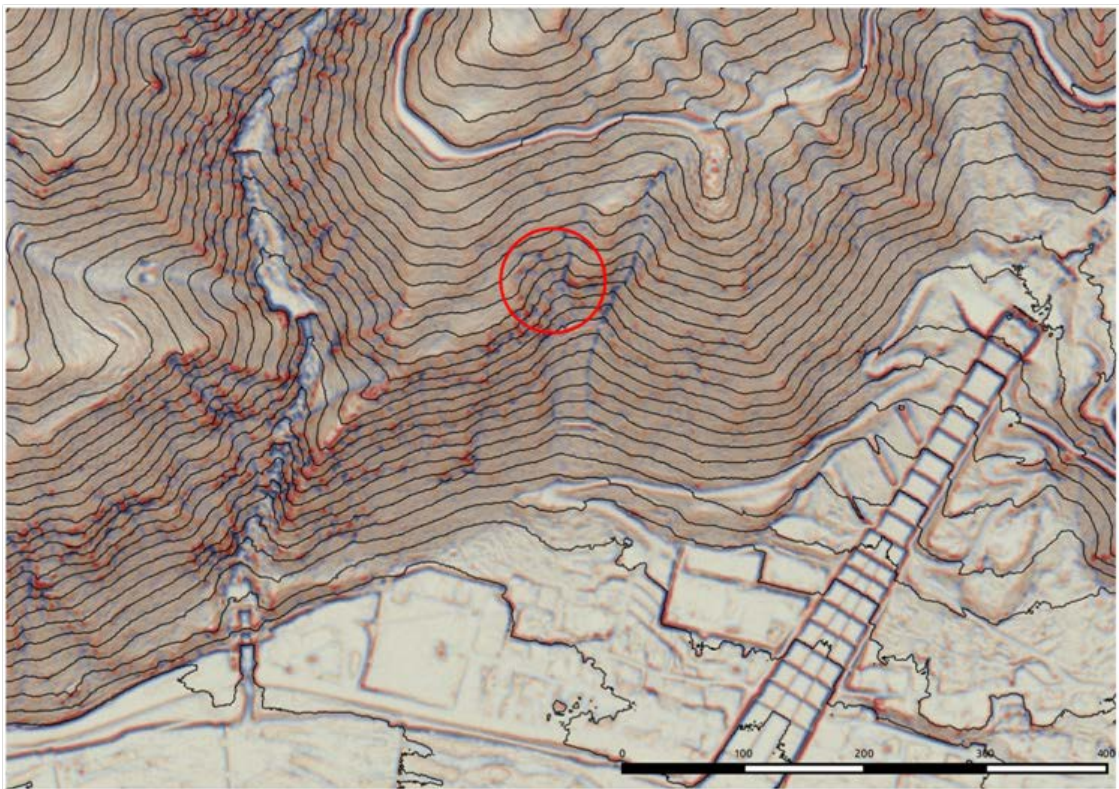


図-2.5 CS 立体図による栃尾小学校裏山斜面における特異点の抽出

2017年1月の間である。また、事前検討で求めたキャリブレーション式を用いて水位変動から流量変動を求めたものを図-2.9に示す。両図を見たところ、9月と10月に欠測期間があるが、概ね正常に水位観測ができていているように見える。しかし、実際に現地での状態を観察すると、10月のデータ回収時に流量観測装置を確認すると、プラスチック容器に土砂や落葉が集積し湧水が全量流れていない状態であった。そのため、集水桝から越流している状態であった。この状態は9月のある時期から続いていたと想像される。図-2.4の雨量を見ると9月20日に最接近した台風16号の影響で、まとまった降雨が観測されており、実際9月18日の24時間に81mmの降雨が計測されている。また、10月5日に最接近した台風18号では、降雨量は少なかったものの、風が強かった。これらのイベントによって土砂や落葉が観測地点に混入し、パイプ等が閉塞したものと考えられる。以上のことから、9月中旬から10月中旬にかけての約1ヶ月間は、計測データはあるものの、欠測期間として扱うものとする。

上記の様に流量観測が土砂や落葉がパイプ等を閉塞することによって欠測となることを防ぐため、湧水地点および湧水量観測装置の上部を樹脂製波板の底によって覆うこととした(図-2.10)。底を固定する骨格には足場パイプを用いている。この底を設置した後は、9月から10月にかけて起こった土砂や落葉によるパイプ等のつまりはなくなり、プラスチック容器内に堆積する土砂や落葉の量もそれ以前と比べて格段に減少した。また、積雪期にも融雪箇所や湧水量観測装置に積雪が直接たまることが無く、冬期間であっても融雪量観測を継続することが可能となった(図-2.11)。本プロジェクトで対象としている斜面のように、積雪地帯では春から秋にかけての降雨だけでなく、春から初夏にかけての融雪による斜面土層への浸透水が斜面の不安定化に寄与することが十分考えられるため、冬期を含む年間を通して、湧水観測ができるようになったことは、今後の斜面危険度評価の精度を高めるためにも大きな貢献となると考える。



図-2.6 観測対象とする湧水地点（観測開始前）



図-2.7 湧水量観測装置

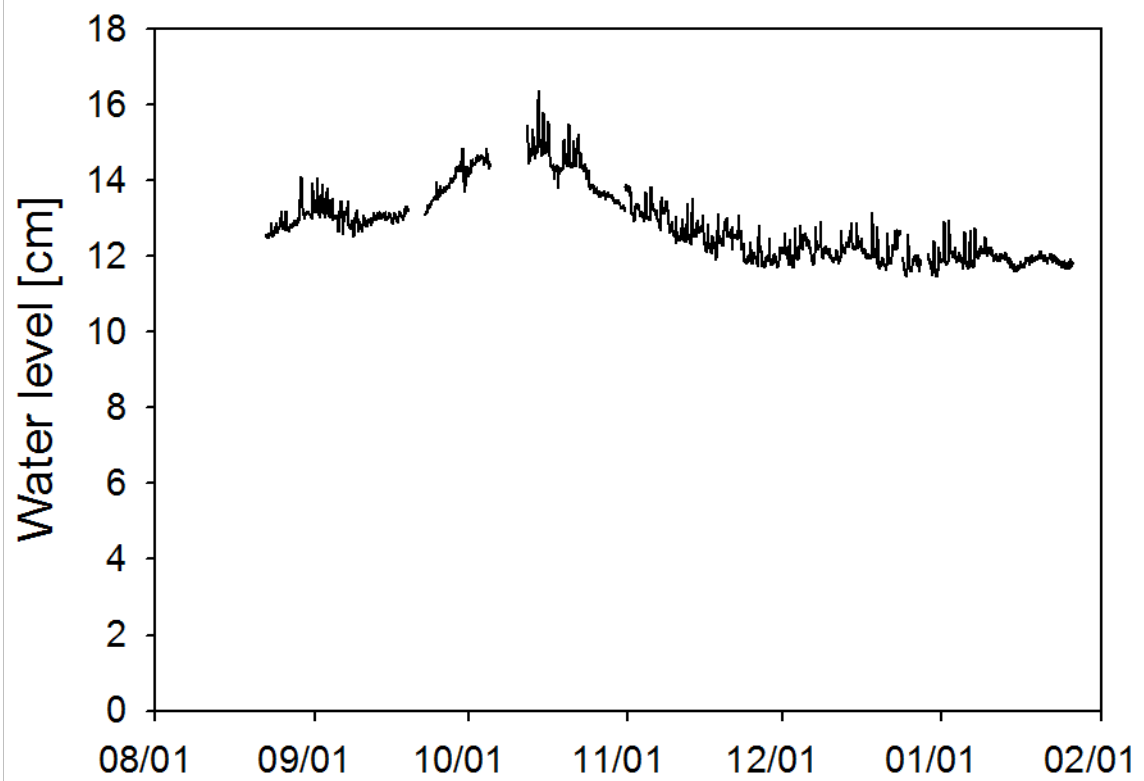


図-2.8 湧水桝における水位変化

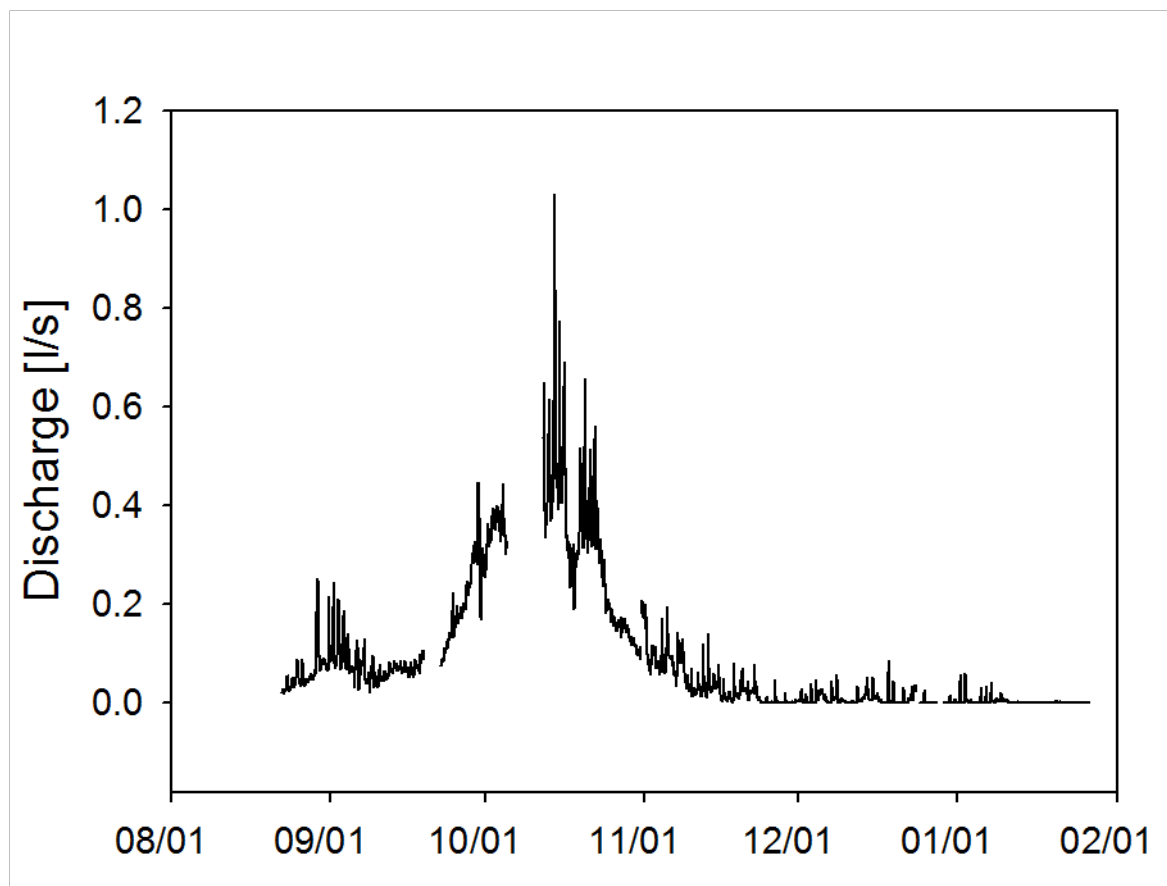


图-2.9 湧水量変化



図-2.10 湧水への落葉や土砂の混入を防ぐための底設置



図-2.11 積雪期における湧水観測の様子

2.4 観測データ解析・斜面危険度評価

前節で示した様に、豪雨によって発生する斜面崩壊の発生危険度は、降雨が浸透して土層内に含まれる水分量の大小によって判断することができるが、斜面からの湧水流量を計測し、その増減から斜面の危険度を間接的に判断することが可能である。しかしながら、小学校から離れた湧水観測地点の湧水量はリアルタイムに常時監視することができない状態である。また、湧水量はあくまでもひとつの観測地点においてある広がりをもった斜面の危険度を代表しているに過ぎず、任意の斜面危険度を代表する評価法としては見逃しの恐れがある指標である。これらの意味から考えると、リアルタイムで常時監視が可能な降雨観測値を指標として、斜面危険度を評価できれば、斜面崩壊の発生による土砂災害の防止・軽減に大きく貢献することができる。斜面の危険度を左右する斜面土層内の水分量は、斜面に降った降雨の浸透水の蓄積によって涵養されるものであるため、降雨と土層水分量（間接的に湧水量）は一定の相関をもつ。この相関は、斜面の表層地形や基岩面地形、土層の水理特性等によって決まるため、それぞれの斜面特有の相関となると考えられる。本プロジェクトでは、既往の研究（小杉ら，2013，2014）を参考として、計測した降雨データと湧水の水位データの相関を検討した。

小杉ら（2013，2014）は、実効雨量の関数モデルによって、土層水分量を代表する地下水位の変動を表わすことができるとして、複数観測地点における地下水位の変動を関数モデルで表わしている。この際、関数モデルを大きく 4 つのパターン（Li1, Li2, Pw1, Pw2）に分類している（表-2.1）。この分類は 1) 指標としての実効雨量を 1 種類（X1）のみ採用するか（Li1, Pw1）半減期の異なる 2 種類（X1, X2）採用するか（Li2, Pw2）の違いと 2) 実効雨量を比例関数として表わすか（Li1, Li2）、指数関数として表わすか（Pw1, Pw2）の違いである。表-2.1 に示す通り、関数モデルのパラメータはそれぞれ異なるが最大で b_0 , b_1 , b_2 , p_1 , p_2 の 5 つである。なお、実効雨量 $X(t)$ は、

$$X(t) = X(t-1)e^{\alpha} + R(t)e^{\alpha/2} \quad (2.1)$$

と表わされる。ここで、 $X(t-1)$ は 1 時間前の実効雨量、 $R(t)$ は時刻 $t-1$ から t の間の雨量（時間雨量）である。減少係数 α は、半減期 M を用いて、

$$\alpha = \ln(0.5) / M \quad (2.2)$$

と表わされる。

本プロジェクトで観測した雨量（時間雨量）を用いて、湧水の水位変動を 4 種類全ての関数モデルで表わし、湧水変動の観測値を最も誤差が少なく表現できたものは、Pw1 であった。この結果を図-2.12 に示す。フィッティングにおいて、9 月中旬から 10 月中旬の約 1 ヶ月間は湧水観測の欠測期間として、含めていない。この結果では、実効雨量の半減期 M は 384 hr となり、およそ 2 週間程度の期間であることが示された。これは、既往の研究（小杉ら，2013，2014）と比較しても決して長過ぎる半減期ではない。

表-2.1 関数モデル

Model	Function
Li1	$H = b_0 + b_1 X_1$
Pw1	$H = b_0 + b_1 X_1^{p_1}$
Li2	$H = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$
Pw2	$H = b_0 + b_1 X_1^{p_1} + b_2 X_2^{p_2}$

しかしながら、このプロジェクトにおける湧水の観測期間は2016年の8月から12月の4カ月という短期間に限られており、しかもその間に1ヶ月の欠測期間を含んでいる事もあり、雨量と湧水量の相関を判断するのに十分な長さの期間とは言えない。このため、ここで示した関数モデルは斜面危険度評価を行う上では未だ暫定的なものに過ぎない。今後、十分に検証ができる期間観測を継続し、複数の降雨イベントと湧水量変化を含んだ相関を検討し、降雨の関数モデルを決定する必要がある。

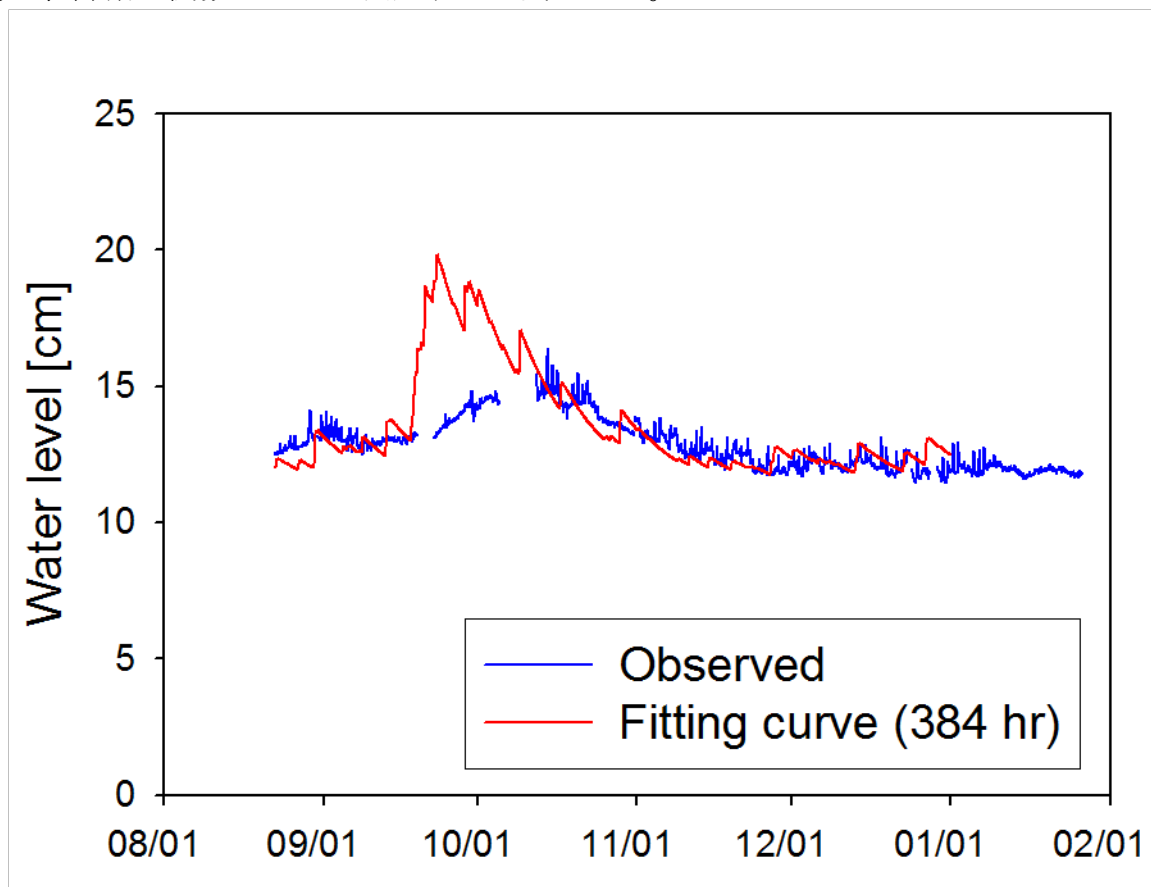


図-2.12 観測された湧水水位変動と雨量データから関数モデルを用いて推定した水位変動との比較：フィッティングの結果、 $Pw1$ の関数モデル（雨量半減期 $M = 384$ hr）が最適と判断された。

次に、暫定的に決定された降雨に関する関数モデルを用いて、斜面危険度評価を行う。斜面危険度が限界値を超えるかどうかを判断するにあたり、その降雨指標が実際に発生した土砂災害の時の値を超えるかどうか、または過去に経験した既往最大値に到達するかどうかはひとつの基準となる。しかしながら、本プロジェクトでの降雨観測は1年未満の期間の観測データしか蓄積が無い。幸い降雨観測地点から直線距離でおよそ1 kmの地点に、気象庁のアメダス栃尾観測地点があるため、このデータが活用できれば過去の降雨を参照することができる。そこで、栃尾小学校と栃尾アメダス観測点での降雨観測値を比較した(図-2.13)。時間雨量では、降雨によって多少の違いは見られたものの、積算降雨では約6カ月間の積算で50 mm程度であり、栃尾小学校での降雨の代替として用いても良いと判断した。

栃尾アメダス観測点で観測された降雨を元に、2004年から2015年までの過去12年間の時間降雨と暫定的に得られた関数モデルで計算した実効雨量を示し、同じく栃尾小学校で観測された2016年の降雨の時間降雨と実効雨量を図-2.14に示した。2016年を含めた過去13年間での実効雨量の最大値は、2006年の約500 mmであるが、この時の降雨は長野県岡谷市で土石流災害が発生した際の降雨と同時期のものであり、確かに京都大学防災研究所穂高砂防観測所の観測流域であるヒル谷においても土石流が発生するなど、降雨規模としては土砂災害を引き起こしうるものであった。2006年以外でも、2009年と2010年にも比較的高いレベルの実効降雨が表れている。本プロジェクトの観測期間である2016年では、最大実効雨量が300 mm程度と過去12年の既往最大には及ばないものであり、現に土砂災害は発生していない。また、たとえ大きな時間降雨が記録されていても半減期が2週間程度の実効雨量とは対応しておらず、時間降雨が斜面危険度の判断指標にはならないことがこの解析結果からもわかる。

現行の降雨観測システムでは、1時間雨量を指標として、警戒レベルを0から5の6段階に分けて警報を発生することとしているが、現状の斜面危険度を反映しているとはいえ、今後は、降雨と対象斜面からの湧水観測を継続して、十分な信頼性がある関数モデルを決定し、そのモデルで解析された実効雨量を指標として警戒レベルを示すものに修正していく必要がある。

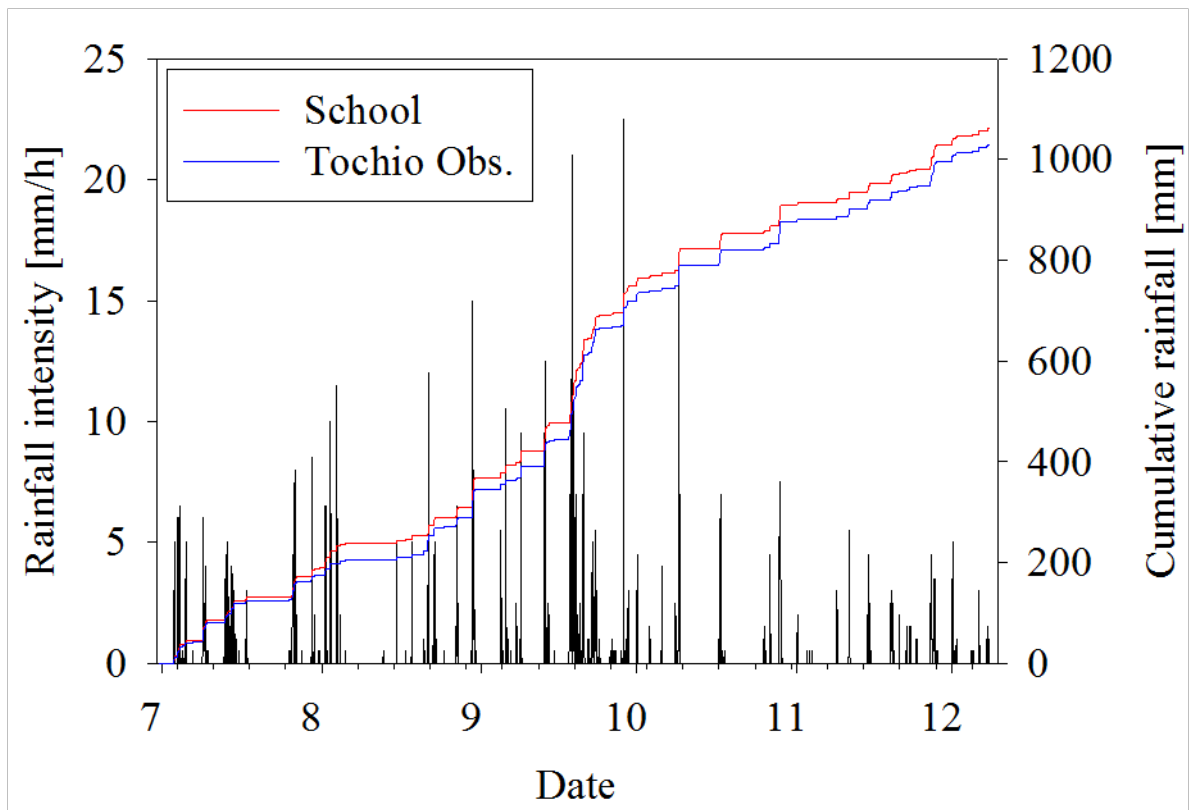


図-2.13 栃尾小学校雨量計と栃尾アメダス観測所における雨量計による雨量観測値の比較

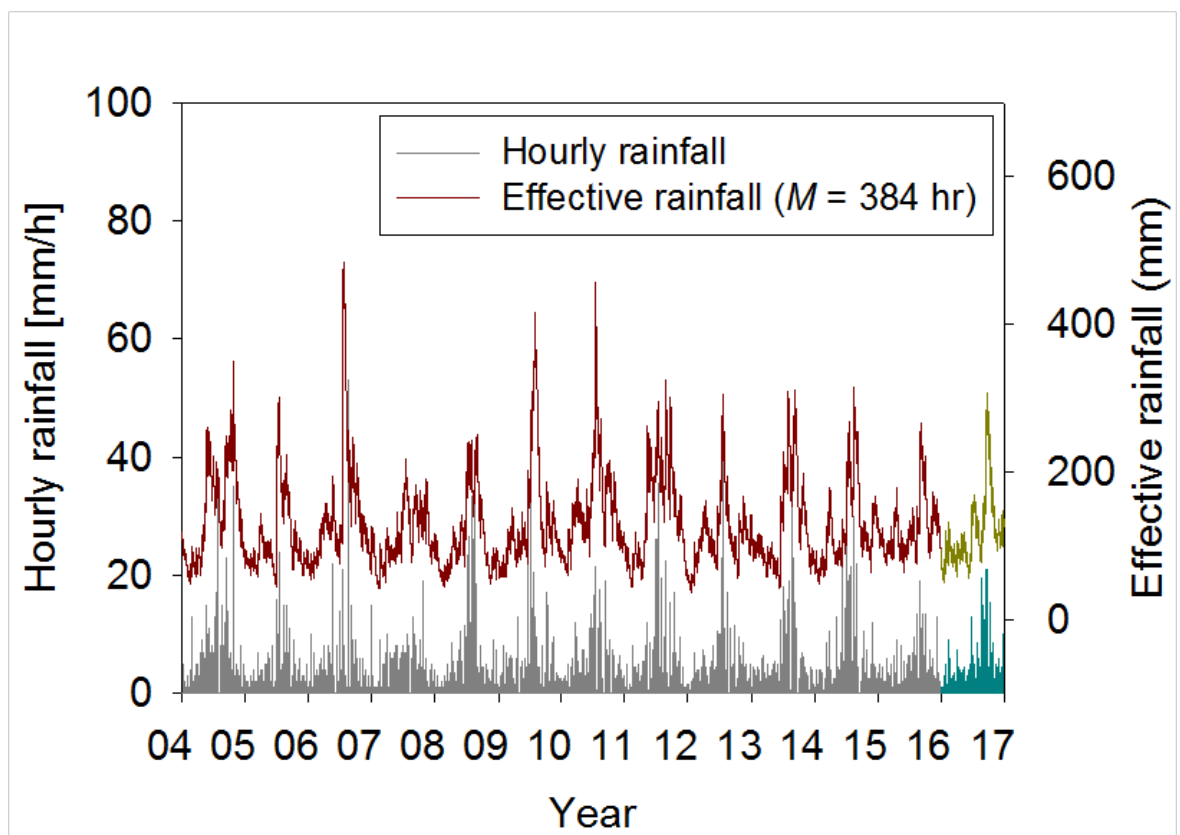


図-2.14 栃尾小学校雨量計と栃尾アメダス観測所における雨量計による雨量観測値の比較

2.5 栃尾小学校防災教育サポート活動

本プロジェクトで対象としている岐阜県高山市の栃尾小学校は、既に述べたとおり、奥飛騨の山間地域にあり、土砂災害や火山災害等の山間地域特有の災害が発生する可能性が高い場所に位置している。本項では、栃尾小学校を対象とした雨量観測・斜面危険度評価プロジェクトに伴った児童・教職員の避難意識醸成へ向けた活動をサポートすべく実施した内容を以下に報告する。

(1) 現在の栃尾小学校における防災活動の例

栃尾小学校はその立地による自然災害の危険性の高さから、防災に関わる知識の獲得に向けた活動がいくつか行われており、その一部に本事業のメンバーである高橋孟紀が参加した。ここではその内、「ショート訓練」と「焼岳噴火防災訓練」について示す。

【ショート訓練】

ショート訓練は地震を想定した避難訓練であり、児童は校内放送の指示に従って同校の運動場へと避難を行う。訓練時は、まず机の下へ隠れる、身体を丸めて身を守る等の行動への指示が入る。その後、状況によって防災頭巾を装着し避難行動を開始する。年度中に数回に渡り実施され、2回目以降は児童に対して事前に実施する旨を伝えず、ゲリラ的に行われている。今後は教職員に対しても伝えずに実施を試みる予定となっている。

【焼岳噴火防災訓練】

焼岳噴火防災訓練は高山市が主催する地域ぐるみの火山噴火想定避難訓練である。本訓練では地域放送により、焼岳の噴火警戒レベルが4（避難準備）に引き上げられた旨が説明され、小学校だけではなく地域住民・観光客も避難活動を行う。栃尾小学校においては、まずグラウンドへの集合を行い、そこで隣接した保育園の園児を待つ。園児が集合した後、小学校の児童と1対1でマッチングさせ蒲田川を挟んだ対岸に存在する奥飛騨総合文化センターへ避難する。避難終了後は、センターにおける防災体験（ドローンの飛行・映像の実演、炊き出し体験、降雨車体験等）を行う（図-2.15）。また午後には、小学校に火山噴火の専門家を招き講義を受けている（図-2.16）。

この他にも、総合的な時間を利用して、防災用品に関する学習や、防災マップの作成といった防災教育、またそれらをもとに家庭での話し合いを通じた意識共有が行われている。

(2) 今後の防災教育への参加・サポート計画

栃尾小学校において実施されている雨量観測・斜面危険度評価プロジェクトに伴った防災教育を今後も引き続き実施する計画である。ここでは、その実施予定を記述する。

【全体計画】

年3-4回の実施を予定している。前半部では、避難・防災についての基礎や雨量観測・斜面危険度評価プロジェクトに則した学習を予定している。後半部では、前半部で学習したことを活用するアクティブラーニングを予定している。

【避難・防災の基礎、雨量観測・斜面危険度評価プロジェクトに則した学習】

一般的な小学校で行われている防災活動や、地域災害の歴史を調査する活動などを予定している。また、観測プロジェクトに利用されている雨量計を用いたデモや、モニターから得られる・必要だと考えられる情報の話し合いなどを予定している（図-2.17）。

【アクティブラーニング】

想定される避難活動のシレンマについて選択・話し合いを行う防災ゲーム「クロスロード」を活用した活動や、栃尾小学校が抱える避難の難しさについてこれまでの学習内容を踏まえた話し合いを行い、有事の際に自主避難を行える意識の醸成を目指す（図-2.18）。防災意識を高める教育の継続性を考えた場合、児童に直接指導・教育を行うよりも、小学校の教職員の皆さんと情報共有を密にし、小学校の活動の中にこの様な取り組みを継続的に組み込む仕組みを形成することが重要と考えられるため、教職員の皆さんを交えた活動にも力点を置く。

(3) 学校における自主避難計画の策定

小学校の立地の特殊性を鑑み、以上の活動を通して小学校としての独自の避難実施の基準が作成されることが望ましい。ただしその場合、小学校内部での活動のみならず、岐阜県や高山市などの行政機関と協力のもとでの避難計画となる必要があり、それら行政機関との意思疎通、情報伝達の優位性等を十分に組み入れたものである必要がある。この事からも本事業の協議会メンバーにも参画している高山市の教育委員会や危機管理室とも協力して、今後の活動を進めていく計画である。



図-2.15 焼岳噴火防災訓練の様子



図-2. 16 火山講義を受講する児童の様子



図-2.17 学習活動に使用する予定の設備
 (上：屋上に設置した気象観測装置，下：職員室前の雨量表示・警報システム)



図-2.18 想定される避難活動のジレンマについて選択・話し合いを行う
防災ゲーム「クロスロード」を実施している様子

3. まとめ

本事業は、前面を神通川水系の蒲田川が流れており、背面には急峻な山地がせまっているという、土砂災害・洪水災害の危険性が高い場所に位置している岐阜県高山市の栃尾小学校を対象とし、土砂災害を対象とした警戒避難体制を構築することを目的として、京都大学防災研究所、栃尾小学校、高山市教育委員会・危機管理室が協議会を構成し、共同で実施した。実施した主な内容は、大きく分けて以下の通りである。

1. 栃尾小学校における雨量観測
2. 栃尾小学校裏山斜面における湧水観測
3. 雨量・湧水観測から斜面危険度評価の実施
4. 栃尾小学校防災教育へのサポート活動

これら1－3は、土砂災害発生誘因となる降雨観測と斜面崩壊発生の直接の引き金となる斜面土層内の水分状態の観測を行う事で、崩壊発生危険度を事前に予測し、小学校における土砂災害の被害を軽減することを目標として行ったものである。

1に関して、実際に栃尾小学校屋上に転倒ます式雨量計を設置し、データを有線で職員室にリアルタイムで伝え、サーバに記録すると同時に、職員室前の廊下に設置したモニターに表示するシステムを構築した。このシステムでは、降雨だけでなく気温と湿度も表示されており、それらも同時に確認できるようになっている。モニターは教職員や児童の誰もが自由に見れるものであり、実際に雨が降っている際に児童がその降雨強度や積算雨量を確認している様子も見られ、事業目的としていた一部が達成された。

2に関しては、栃尾小学校裏山斜面を踏査して実際の湧水地点を発見し、そこに湧水観測装置を設置して観測を実施した。落葉や冬期の積雪等、自然条件の過酷な環境下であることから一部欠測期間があるものの、その他は期間を通じて連続観測ができていた。観測データは、現地においてデータロガーに記録されているため、1ヶ月に1回程度、現地に赴き持ち帰っている。その際は、装置にたまった土砂や落葉等を取り除くなどのメンテナンスを行っている。また、一時期土砂や落葉によるパイプの閉塞が原因で、正常に湧水流量を計測できない期間があったため、その反省から観測装置全体を庇で覆い、落葉等が混入しない様に改良した。その後は、落葉等によるパイプの閉塞は発生しておらず、また積雪によって計測ができなくなる事態も起こっていない。

上記1，2で観測された雨量、湧水のデータを用いて3を実施している。一般に、降雨による土砂災害危険度の評価は、1時間雨量や土壌雨量指数や積算降水量を横軸にとり短時間雨量（1時間降雨）を縦軸にとったスネーク曲線の解析によって行われることが多いが、特定の斜面に対応した実効雨量を指標とした危険度評価を行う事がより精度の高いものであるとの既往研究に従って、本事業においては斜面土層内の地下水状態を反映しているものと考えられる斜面湧水量に対応した実効雨量を特定した。その結果は、実効雨量の半減期が384 hrと長いものであったが、既往の研究と比較しても妥当な値の範囲であった。ただし、対象とした観測期間が約4ヶ月（約1ヶ月欠測期間を含む）と短いため、信頼性が十分とはいえず、この危険度評価を実際の警戒・避難システムに組み込むことまでは行っていない。この実効雨量の信頼性を高めるため、今後も観測と解析を継続して、より信頼性の高い斜面危険度評価基準を構築する計画である。また、当該地域は冬期における積雪があり、春にその雪が溶けて斜面土層に浸透することから、融雪による斜面土層内の地下水涵養への寄与が相当部分あると予想され、降雨だけではなく融雪の影響も考慮した斜

面危険度評価の検討が必要であると考えられる。

4の小学校防災教育へのサポート活動として今年度は、実際の栃尾小学校で行われている防災教育の現状を把握するために、「ショート訓練」、「焼岳噴火防災訓練」といった活動に参加し、今後のサポート活動をどのように進めていくかという検討を行った。また、徒歩で通学している児童の下校時に同行し、通学路の危険箇所や気象・環境条件の把握等を行った。これらの検討の結果、事業の継続活動として、来年度以降は、想定される避難活動のシナリオについて選択・話し合いを行う防災ゲーム「クロスロード」を実施する予定である。この際、直接児童が防災ゲームを実施するだけでなく、今後の防災教育の継続性の観点から、小学校教職員と共に行う事も視野に入れている。また、1-3の内容をふまえて、降雨による土砂災害発生のメカニズムや降雨や湧水の観測方法について、5, 6年生を対象とした防災授業を行う事を計画している。

本事業で実施した手法や得られた成果を、別の学校施設に応用する事を考える。まず、雨量観測に関しては、たとえ土砂災害や洪水災害の危険性が低い立地にある学校であったとしても、防災教育として、「時間雨量〇〇 mm」や「総雨量△△ mm」が実際にはどのような雨であるかという事を実体験で知ることが大切であり、災害危険度が高い別の場所で災害に遭遇する場合や将来経験する可能性を考えた場合、非常に価値のある知識となり得る。また、山間地や河川近傍に立地した学校も日本全国に少なからず存在している事を考えると、本事業で実施した降雨による危険度評価を活用することは非常に有効であると考えられる。しかし、実際に個別の裏山斜面が危険かどうかを判断するためには、その斜面土層の水分状態を把握することが重要であるが、そのためには地下水位や斜面からの湧水量の観測を実施する必要があるが、予算や労力、観測の専門性の問題もあり難しい。その一方で、特定の斜面のみを対象とする地下水位観測や湧水量観測は、確かにどの斜面の危険度評価という意味では精度の高いものではあるが、その斜面規模を特定することの難しさや、近傍斜面の危険度が同じ雨量基準で変化するとは限らず、斜面危険の見逃しの危険性があるとの指摘もある。そこで斜面土層の水分状態を判断基準とするのではなく、全ての実効雨量の組み合わせによる解析を行い、ひとつの組み合わせでも既往最大のレベルを超えた場合は警報を発するという方法も提案されている。この方法では、警報の空振りが増加する短所もあるが、少なくとも斜面危険の見逃しがなくなることで、斜面における水分状態（地下水位や湧水量）の現地観測が不要であるという長所がある。学校単独で土砂災害や洪水災害の発生に対する警戒・避難の判断を行う事はできないと考えられるが、自治体の教育委員会や危機管理室といった部署と十分意思疎通を図ったうえで、各学校に特有の地形や気候といった環境にきめ細かく対応した危険度評価を行う事は、災害の防止・軽減に大きく貢献すると考えられ、本事業で実施した降雨観測による危険度評価、避難警戒システムの導入は全国の多くの学校施設において有効であると言える。

防災教育の観点では、本事業で提案し、以降も継続して実施することを計画している防災ゲーム「クロスロード」は、比較的簡単に実施することが可能であり、また、災害の形態として土砂災害に限らずあらゆるタイプの自然災害を想定して実施することができるため、その汎用性が高く、山間部地域の学校施設に限らず、実施することが有効であると言える。

以上の通り、不十分な箇所もあるものの、概ね当初の計画通り事業を進めることができた。しかしながら自然災害の防止・軽減に向けた取り組みは、たった1年で完成するものではなく、継続して実施することが大切である。このため、京都大学防災研究所と栃尾小学校、高山市との間の連携を今後も強化し、継続した活動を行っていく。

参考文献

- 戸田堅一郎，曲率と傾斜による立体図法（CS 立体図）を用いた地形判読，森林立地 56（2），pp.75-79，2014.
- 小杉賢一郎，藤本将光，山川陽祐，正岡直也，糸数哲，水山高久，木下篤彦，山体基岩内部の地下水位変動を解析するための実効雨量に基づく関数モデル，砂防学会誌，66(4)，pp. 21-32，2013.
- 小杉賢一郎，三道義己，藤本将光，山川陽祐，正岡直也，水山高久，平松晋也，福山泰治郎，地頭蘭隆，関数モデルを用いた深層崩壊の要因となる基岩地下水位変動の解析，砂防学会誌，66(6)，pp.3-14，2014.