

# 自主避難を目的とした地域コミュニティで運用できる IoT 土砂災害関連情報計測システム

上山遥路<sup>1</sup> 畑山満則<sup>1</sup> 山内英之<sup>2</sup> 吉田信明<sup>2</sup>

**概要:** 地域コミュニティに自主避難を促すために IoT を用いた土砂災害に関連する情報を計測するシステムの開発と導入を行った。具体的には、IoT で土砂災害発生の大きな要因である急傾斜地の土壌水分量と雨量を計測し、それをウェブ上で可視化した。加えて、地域住民によるペットボトル雨量計での雨量の計測やリスクコミュニケーションを通してリスクリテラシーを向上させることを図った。その結果、平成 30 年台風 24 号の際は、地域コミュニティが主導となって避難を実行した。さらには、その経験から緊急時連絡網が脆弱であることに地域住民が気づき、連絡体制の強化を実施するに至った。

## Monitoring System of Information Related Sediment Disaster Using IoT for Self-Evacuation to Operate in Local Community

YOJI UEYAMA<sup>†1</sup> MICHINORI HATAYAMA<sup>†1</sup>  
HIDEYUKI YAMUCHI<sup>†2</sup> NUBUAKI YOSHIDA<sup>†2</sup>

### 1. はじめに

我が国では多種多様な自然災害リスクにさらされているが、特に山地が多いため豪雨による土砂災害が例年多数発生している。国土交通省の調査によると全国で確認されている土砂災害危険箇所は約 53 万箇所と報告されている[1]。また昭和 42 年から平成 24 年までの兵庫県南部地震を除いた自然災害による犠牲者数のうち、土砂災害による犠牲者数は約 4 割を占めている[2]。これは土砂災害が局所的かつ突発的に発生する災害であり、発生する予測が非常に困難であることが関係している。

政府は土砂災害発生危険時には、60 分間積算雨量と土壌雨量指数をもとに土砂災害警戒情報を発令している。しかしながら、土壌雨量指数を算出するタンクモデルのパラメータは全国統一である。つまり、地域ごとの地形・土質特性は考慮されておらず、まだまだ改善の余地が残っている情報である。

以上のことから、土砂災害から人的被害軽減のためには周辺状況の変化や行政からの情報をもとに早い段階で避難を行う地域住民の早期避難が重要となる。早期避難を実施した事例の中では、地域コミュニティが主導となって避難を行う自主避難を行っているケースが多い[3]。そこで、早期避難を実現するためには、自主避難できる地域コミュニティをつくるのが有効であると考えた。

一方で、近年の IoT 技術の進歩から観測機器を構成するセンサが安価となり、ユビキタス環境の整備とクラウドサ

ービスの充実といった情報技術の進歩により、取得したデータの共有やタイムリーな分析結果取得が容易となった。言い換えると、小さな組織でも安価で容易に情報システムの構築・運用が可能となった。

そこで、本研究では IoT を用いて自主避難を目的とした土砂災害に関連する情報を計測するシステムを開発および導入に取り組んだ。

### 2. 研究目的

#### 2.1 研究目的

早期避難を実現するために自主避難できる地域コミュニティをつくることを本研究の目的とした。ここで、自主避難できるコミュニティについて定義する。片田らの土砂災害を対象とした住民主導型避難体制を確立のための研究によると、「土砂災害による犠牲者を減少させるためには、防災教育によって住民に避難を促すとともに、行政からの情報に頼らず、地域住民自らが判断して避難することのできる体制をつくる必要がある」と主張している[4]。つまり、自主避難できるコミュニティとは、①地域住民が自主避難に関して高いリスクリテラシーを持っていること②地域コミュニティに避難できる体制が整っていること、とまとめることができる。本研究では、①の地域住民の自主避難に関するリスクリテラシーを向上させるための手法を提案する。

#### 2.2 リスクリテラシー

リスクリテラシーとは、楠見によると①リスクに関わる情報をマスメディアなどから獲得し、理解する能力②リスクの低減に関わる政策や対処行動の理解③リスクに関わる

<sup>1</sup> 京都大学 防災研究所  
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ.  
<sup>2</sup> 京都高度技術研究所  
ASTEM

意思決定や行動である[5]。リスクリテラシーは、科学リテラシーの一部である科学的方法論・科学的情報の見方、それと関わるリスク情報を読み取るための数学的リテラシー（ニューメラシー）、そして、新聞、テレビなどのメディアから伝えられた情報を正しく理解し、適切な行動をするためのメディアリテラシーに支えられている。

科学リテラシーとは、科学的知識と批判的思考に基づいて、自然界と科学技術を理解し、証拠に基づいて結論を導く能力である。生活・社会における科学に関わる問題解決、行動を支えている。市民のための科学リテラシーは、大きく3つに分かれる。①（新聞や雑誌における論争的なテーマを理解するために必要な）基本的な科学的構成概念や用語の理解②科学的探求の過程や性質の理解（例：実験など）③科学・技術が個人や社会に及ぼす影響の理解である。楠見は科学リテラシーの基準を、Baltes の人生に関わる問題解決課題を支える根本的実践的知識として提起した5つの基準を科学リテラシーに当てはめて検討している。

①事実知識：基本的科学・技術用語、概念の知識である。科学現象（遺伝、エネルギー、放射線、地球など）や急速に進歩する科学・技術を理解するために必要である。

②方法論の知識：科学的な方法・過程、データの読み取り方の知識である。科学の方法論や思考法に関する”How science works”教育は、自律的で的確な科学的判断をするために必要である。

③生活や社会の文脈に関する知識：①の科学的知識を生活や社会の文脈の中に適用し、また、科学技術がどのように進み、政策に組み込まれ適用されているか、どのような場合に深刻な問題が生じるのかを理解するための知識である。④個人・社会・文化およびその背景にある価値観の差異の理解に基づく相対主義的な考え方：論争的な問題に関する賛否は、個人の価値観や考え方によって異なること、判断にバイアスを生じることに自覚的になることが大切である⑤個人や科学的知識の限界を踏まえた不確定性の理解と、日常生活、社会における意思決定：現実の問題は、要因が複雑なこと、利害の対立やジレンマがあることを知ることを知ることが重要である。とくに、論争的なテーマにおいて、双方の意見を分析して自分の考えに基づいた主張や決定、行動をする。複数の選択を分析して結果を予測し、決定する。そして、振り返りを行うことが大切である。

ニューメラシーとは、成人の生活において様々な状況の下での数学的な必要性に関わり、対処していくために数学的な情報や概念にアクセスし利用、解釈、そして伝達する能力である[6]。ニューメラシーが高い人は、リスクに関連した数値に注意を払い、よりよく理解し、意味のある情報に変換し、最終的に意思決定に利用する。一方で、ニューメラシーが低い人は、数値以外の情報（例：感情）からの影響を受け意思決定バイアスに陥る傾向がある[7]。この能力は、科学リテラシーと併用して雨量や土壌水分量などの数値を読み取り、リスクの大きさを変化するために必要で

ある。

### 2.3 自主避難に関するリスクリテラシー

ここで、自主避難に関するリスクリテラシーを、防災・避難に関しての理解があること、異常な気象現象に気付くことができると定義した。

異常な気象現象に気付くためには、リスクの可視化とそれを適切に読み取るための高いリスクリテラシーが地域住民に必要である。そこで、リスクの可視化はデータ計測によるアプローチを行い、地域住民のリスクリテラシーは防災の専門家とのリスクコミュニケーションを通じて向上を促す。特に計測されたデータを読み取るためには、科学リテラシーとニューメラシーが重要であると考えられる。

## 3. システムの提案

### 3.1 システムの概要

システムのコセプトを図-1に示す。まず、対象とする土砂災害は斜面崩壊のうちほとんどを占めている表層崩壊とした[8]。本システムは大きく2つの機能を持っている。一つは、ローカルな気象・環境データを計測する機能であり、他方は地域住民のリスクリテラシーの向上させる機能である。前者は地域における災害リスクの増大を可視化するために、ローカルな気象・環境データを計測する。具体的には、斜面の土壌水分量と地域内の雨量を計測し、それらデータをクラウドサービス上に集約およびウェブ上で可視化させる情報システムを構築する。これにより、地域住民が平常時から災害リスクに関わる数値を監視できるようにする。

後者は、計測値が異常値だった場合、そのことに反応し、適切な行動が取ることができるようにするための機能である。地域住民と専門家がチャットツール等で繋がり、上記の計測データや地域住民自らが計測したデータを用いてリスクコミュニケーションを行う。そして、災害や避難に関する知識交換やデータの理解力向上を図る。

また、このような情報システムを自治体に導入するには、土砂災害発生危険箇所が非常に多くコスト面や災害発生危

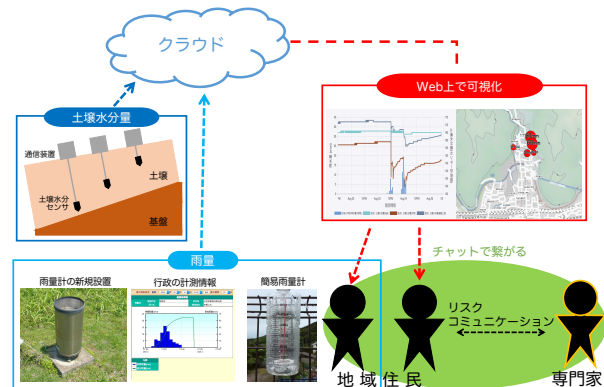


図-1 提案システムのコセプト

険時は人手が足りていないために運用面から現実的でない。そこで、本システムは地域コミュニティが自治体の援助を受けながら自治会費で導入・運用することを想定とした。したがって、システムの導入・運用が安価であること、専門性が少なく専門家を雇わず地域住民でも行えることに留意した。

### 3.2 ローカルな気象・環境データの計測

#### 3.2.1 急傾斜地における土壌水分量の計測

IoT 技術を活用して急傾斜地の土壌水分量を土壌水分センサと無線通信機能を有した IoT デバイスで計測を行う。一般的に、大雨時の急傾斜地の浸透挙動過程として、降雨の影響が最も大きい地表面が初めに飽和する。土壌内を浸透していった雨水は基盤上を流下していき、その雨水が多くなると水位が形成されて基盤上部が飽和する。最後に、降雨による浸透と水位の上昇により、中間地点が飽和する。これを観測するために土壌水分センサのほかに飽和状態でも計測できるように水圧計を併設することが通常である。しかしながら、水圧計は非常に高価でありシステムのコンセプトには合わない。そこで、土壌水分センサを表層付近、中間地点および基盤上部の 3 地点で計測することで、土壌全体の飽和過程を観察することを試みる。

#### 3.2.2 地域内の雨量の計測

公的機関は時間雨量や累積雨量を観測しているものの、観測場所は限られており、観測された雨量データは必ずしも対象地域を指すものではない。そこで、雨量計の新規設置による対象地域内の雨量の計測を行う。

また、対象地域内でも雨量のバラツキが存在する。地域特有の雨の降り方を理解するために地域住民が簡易雨量計を用いて、地域内の各所で雨量を計測し蓄積する。

#### 3.2.3 DB 管理・可視化機能

計測されたデータは通信装置などを通じて、クラウド空間上に集約・保管される。集約されたデータは地域住民と共有するためにウェブサイト上に GIS ベースや時系列グラフで地域観測情報の可視化を行う。

### 3.3 リスクリテラシーの向上

システムの導入によってリスクリテラシーの向上を図る。特に、IoT デバイスの設置は計測箇所の決定から計測深度の決定そして設置作業までを地域住民が防災の専門家と一緒にすることを想定している。その過程でハザードマップを見て土砂災害発生危険箇所を確認や計測深度決定する解析に必要なパラメータを取得するために試験などを通じて、防災に対して当事者意識とリスクリテラシーの向上を促す。

運用面では、地域住民と防災の専門家がチャットツール等で繋がり、いつでも相談できるような体制にしておく。また、地域住民が計測したデータを適切に読み取り有効な判断を下すために、地域住民の簡易雨量計を用いた雨量計測によって、平常時からの気象への関心や雨量値から雨の

強さを把握できる雨量の感覚を養う。他には、計測したデータの読み方を説明したり、災害や避難に関する知識を交換したりする懇談会を開催する。このようなリスクコミュニケーションを通して、リスクリテラシーを支えているニューメラシーと科学リテラシーを向上することを促す。

## 4. 土壌水分量の計測地点の決定

### 4.1 実地調査の地点の選定

地域にどこにどのような災害の恐れがあるかを把握するために、自治体が発行している土砂災害ハザードマップを確認する。土砂災害警戒区域、土砂災害特別警戒区域や自然現象の種類（急傾斜地の崩壊、土石流、地すべり）をチェックし、実地調査する箇所を決定する。

### 4.2 実地調査

実際に現地踏査によって沢筋のようなや過去に崩れた形跡等の地形特性を確認し、崩壊が起こりそうな箇所を確認する。

リストアップされた地点の崩壊の規模を推測するために簡易貫入試験を用いて土壌厚さを計測する。簡易貫入試験とは、深度に対する地盤の硬さを計測する地盤調査方法の一つである。IoT デバイスによる土壌水分量の計測は表層付近、中間地点および基盤上部の 3 点の深度で計測を行う。標準貫入試験と比較して軽量のため取り回しが容易で山地などの急傾斜地でよく使用されている。試験方法は  $5\pm 0.05\text{kg}$  のおもりを  $500\pm 10\text{mm}$  の高さから自由落下させ、先端コーンが  $10\text{cm}$  貫入するために必要な回数 (N 値) を求める。一般的に N 値が 10 以上になると基盤に到達したと言われている。今回は  $100\text{cm}$  以上の土壌厚さがあるとき地域に被害を及ぼす崩壊が生じる可能性があるとし、そのような地点で計測することにした。

## 5. 計測深度の決定

一つの設置箇所につき、土壌水分センサを表層付近、中間地点ならびに基盤上部の 3 深度に設置し、計測を行う。表層付近は斜面と垂直に  $10\text{cm}$  の深度、基盤上部は簡易貫入試験で得た基盤までの深度から基盤の上  $10\text{cm}$  の深度で土壌水分センサを設置した。一方で、中間部においては土砂災害発生予測に有効である深度とするために以下の算出方法と実験を実施した。

### 5.1 斜面安定解析を用いた計測深度の算出

中間部の深度を決定するために浸透流のある無限長斜面における安定解析を使用した。一般的に、安定解析には抵抗力と滑動力の比である安全率が用いられ、それが 1.0 よりも大きい場合は抵抗力が滑動力よりも大きいため安定しているが 1.0 未満になると斜面は崩壊する。

図に示すような無限長斜面内に地下水が斜面と平行に流れている場合における安全率  $F_s$  は上記の式を用いて次

式で表される。

$$F_s = \frac{c + \{\gamma_t(z - H) + \gamma'H\} \cos^2 \alpha \tan \phi}{\{\gamma_t(z - H) + \gamma_{sat}H\} \sin \alpha \cos \alpha}$$

ここで、 $c$ :土の粘着力、 $\phi$ :土の内部摩擦角、 $\gamma_t$ :土の湿潤単位体積重量、 $\gamma_{sat}$ :土の飽和単位体積重量、 $\gamma'$ :土の水中単位体積重量、 $\alpha$ :傾斜角、 $z$ :土壌厚さ、 $H$ :地下水深である。

上式において地下水深  $H$  以外は定数である。つまり、安全率  $F_s$  は地下水深  $H$  の関数であり、地下水深  $H$  が増加すると安全率  $F_s$  が小さくなる単調減少関数になっている。この式を用いて、 $F_s=1.0$  のときの地下水深を求めると斜面に滑動が生じる極限の地下水深が得られ、その深度に土壌水分センサを設置することにした。

## 5.2 解析に必要なパラメータの入手

斜面安定解析を実施するためには、簡易貫入試験で求めた土壌厚さのほかに傾斜角、土の湿潤密度、飽和密度、粘着力、内部摩擦角を得る必要がある。それらを求める実験方法は複数存在するが、本システムのコンセプトに従い、地域住民でも実施できるような簡易な方法を採用した。ここで、簡易な方法とは実験に高価で大掛かりな器具が必要なく身近な物や専門家からのレンタルで済ませられ、手順も一度レクチャーすれば習得できるくらい容易なことを指す。以下にパラメータ入手するための実験方法をまとめる(表-1)。

## 6 システムの設計

### 6.1 IoT デバイス A

#### 6.1.1 通信装置

本システムは高頻度に数バイト程度の少量データの通信を行う。そのため、3G や 4G のような移動通信システムでは、必要以上の大容量通信であり、バッテリー持ちが悪くなったり運用コストが大きくなったりする。加えて、移動通信システムを採用した場合、すべての IoT デバイスに移動通信装置を実装する必要があり、さらにコストが大きくなる。

そこで、低データレートの通信を低コストで消費電力を

表-1 パラメータの求め方

パラメータ	実験方法
土壌厚さ $H$	簡易貫入試験
土の粘着力 $c$	ベーンコーン
土の内部摩擦角 $\phi$	せん断試験
斜面の傾き $\theta$	傾斜計
土の湿潤単位体積重量 $\gamma_t$	密度試験
土の飽和単位体積重量 $\gamma_{sat}$	

抑えることができる LPWA (Low Power Wide Area) 方式を採用した。

その中でも、免許不要の周波数帯域を利用するため、導入が容易で通信費が生じない LoRa を用いた。LoRa は 920MHz の特性を活かし、非常に低速ながら低消費電力で長距離伝搬することができる。送信時の電力は 20mA 程度で、待機時はその 1/100 ほどである。送信距離は規格上では 10~20km 程度で、日本において使用できる現状の最大無線出力では、実測 1.5km から 6km 程度となる。LoRa によるネットワークのことを LoRaWAN と呼び、LoRa モジュール、ゲートウェイおよびネットワークサーバで構成される。通信の手順は複数の LoRa モジュールから一つのゲートウェイに無線通信でデータを集約した後、インターネットと接続しているゲートウェイがネットワークサーバにデータを保管する。ただし、LoRaWAN にはマルチホップ機能がないためゲートウェイの設置場所が重要となる。

通信装置はスマートフォン用のモバイルバッテリーで稼働し、まずはデータを十分に取得するために 20 秒に 1 回の計測するように設定した。

#### 6.1.2 土壌水分センサ

厳密な計測が必要な研究等で用いられる土壌水分センサは一つ約 15,000 円から存在する。しかし、今回は地域住民による導入・運用や地域内に複数の箇所を設置することを考慮して、一つ 1,000 円程度の安価な土壌水分センサを採用した(図-3)。土壌水分量は土壌の誘電率にほぼ比例し、このセンサは研究等で用いられる土壌水分センサと同様に誘電率を計測する。後者は体積含水率に変換する校正式をメーカーが公表しているのに対し、前者はそれが存在しない。そこで、本センサの校正式を作成した。具体的には、まず円筒の容器に一定の密度になるように乾燥した標準砂を詰める。つぎに、標準砂の表面にセンサを挿した後に容器の下から徐々に水を浸透させ、計測値が一定になる飽和まで計測を行う。これにより、センサの出力特性を把握するとともにゼロ値と飽和値を得ることができ、校正式を作成した。なお、この校正式で算出した値を飽和度と呼ぶこととする。また、本研究で提案しているシステムのコンセプトにおいて、土壌水分量の値は既往最大値に近づいたときに地域住民がどのように対応するのかを定める基準である。そのため、絶対的な精度はそれほど求められず、このようなセンサで十分であると考えた。

### 6.2 IoT デバイス B

#### 6.2.1 通信装置

IoT デバイス B でも同様に LPWA 方式を採用し、その一つである ZETA を使用した(図-4)。LoRa と比較して、マルチホップ通信機能を持っており、山間部などの無線が直接届かないロケーションでもデータ通信が可能である。さらには、双方向通信が可能であるため、通信頻度を変更することができる。その一方で、LoRa のようにオープンな通

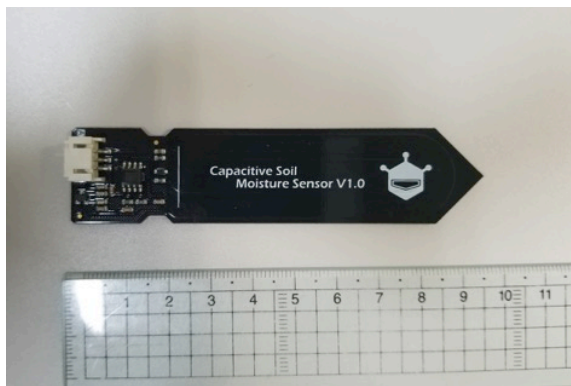


図-2 IoT デバイス A の土壌水分センサ



図-3 IoT デバイス B の土壌水分センサ

信規格ではなかったり、ゲートウェイからのインターネットへの接続は LTE であったりとコストが大きくなる可能性がある。

### 6.2.2 土壌水分センサ

ZETA を提供している株式会社テクサーの土壌水分センサを用いた。このセンサは体積含水率を 50%までは 0.03%、50%からは 1%の精度で計測する。待機電力は 25 $\mu$ A 以下で消費電力は 10~65mA であり、1 時間ごとの計測で電池は 3 年以上保つ。

### 6.3 雨量計

雨量計はメンテナンスが比較的少ない転倒ます型で、気象庁検定済みの計測精度が保証されている雨量計を用いた。この雨量計は 5 分に 1 回ます内に入った雨量を 0.5 ミリ刻みで計測し、データロガーに記録する。データロガーは通信装置を有しており、インターネットに接続された機器と通信を行い、雨量データはクラウド上に保管される。地域住民自らが雨量を計測するための簡易雨量計はペットボトルで作製できるキットを使用した。キットには内ますとペットボトルの外ますに貼るシールが付属しており、ペットボトルがあれば容易に作製することができる。内ますは 20 ミリまでを 1 ミリごとに計測でき、外ますは 20 ミリごとに計測が可能である。

## 7. 対象地域の概要

本稿での取り組みは、京都府京都市山科区安朱学区を対象に実施した。安朱学区は JR 山科駅周辺および駅の北側に位置し、山地に囲まれている地域である (図-5)。その地形的特徴から、急傾斜地や谷筋などといった土砂災害発生危険箇所が存在し、土砂災害警戒区域が 16 箇所指定され、そのうち 12 箇所が土砂災害特別警戒区域である。

なお、本取り組みは山科区役所の担当者、自治連合会ならびに安朱小学校と連携して実施している。

## 8. 設置箇所と計測深度の決定

### 8.1 ハザードマップの確認

京都市が発行している水害ハザードマップを見ると、対象地域内に急傾斜地や流路が複数指定されている (図-6)。流路とは雨水が流れる道すじであり、集水地形であるため土石流の発生の恐れがある地形である。中でも、地域の東側の斜面に指定されている流路は、対象地域の中央部まで土石流による被害の想定範囲が示されており被害が甚大になる可能性が大きいことから、その地点を踏査することにした (調査地 A)。また同時に、東側の斜面の急傾斜地も踏査することにした (調査地 B)。



図-5 対象地域と周辺の様子



図-6 対象地域のハザードマップ

## 8.2 実地調査

まず、調査地 A では流路が住宅地に近いところ確認できた。さらに、その流路に沿って斜面を登ると、過去の崩れた形跡を発見した。形跡より上方の領域に崩れずに残ったゆるい土壌が溜まっていると考え、その領域の複数の地点で簡易貫入試験を行うことにした。

一方で、調査地 B は急傾斜地においてハザードマップ上では流路は示されていないが、複数の流路が確認できた。特に、前者の指定されていた流路よりも大きい流路が発見され、その流路の源頭部を囲むように2箇所（地点①、地点②）で簡易貫入試験を行うことにした。

## 8.3 簡易貫入試験の実施

調査地 A の簡易貫入試験の結果を図-7 に示す。結果から、土壌厚さが最も大きいところで約 70cm あることが判明した。調査地 B の地点①、地点②も同様に試験を行った結果、地点①は 100cm、地点②は 106cm の土壌厚さがあることがわかった。

結果から、調査地 A は比較的土壌厚さは小さいがハザードマップで示されており地域住民にとって不安材料であること、調査地 B は 100cm 以上あり甚大な被害を及ぼす可能性があることから土壌水分量を計測することにした。

## 8.4 計測深度の決定

調査地 B において密度試験およびペーンコーンせん断試験を実施し、計測深度を決定した。その結果を表-2 に示す。どちらも水位が上昇すると崩壊する恐れがあり、地点①の方が低い水位で崩れることがわかった。

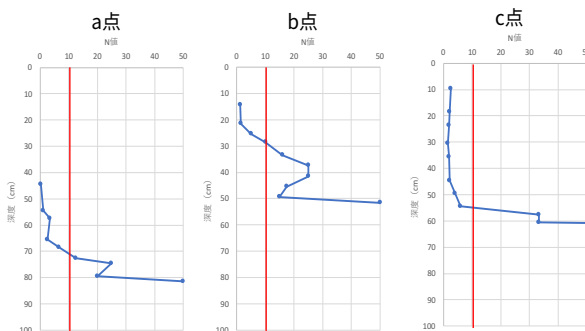


図-7 調査地 A における簡易貫入試験結果

表-2 調査地 B のパラメータと計測深さ

	地点①	地点②
土壌厚さ z(cm)	100	106
傾斜角 $\alpha(^{\circ})$	33.1	32.7
土の粘着力 c(kN/m <sup>2</sup> )	10.9	1.6
内部摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	23.5	45.6
湿潤密度 $\rho_t(\text{g/cm}^3)$	1.275	1.335
飽和密度 $\rho_{\text{sat}}(\text{g/cm}^3)$	1.500	1.596
計測深さ H(cm)	0.427	0.764

## 9. システムの導入

### 9.1 IoT デバイスの導入

2018 年 6 月 1 日に調査地 A において IoT デバイス A の設置を実施した。中間部における計測深度の算出は、この段階では考慮しておらず単に土壌厚さの半分の深さで計測を行っている。

IoT デバイス B は翌年の 2019 年 5 月 27 日に調査地 A、調査地 B に設置を実施した（図-8）。調査地 A の計測深度は土壌水分センサごとの特徴を観察するために IoT デバイス A と同じ深度で計測することにした。調査地 B の中間部の深度は上記のものにした。これら計測深度をまとめたものを表-3 に示す。

### 9.2 雨量計による雨量計測

周辺に樹木や建物があると、強風時などの気象条件によっては雨量が小さく計測されることがある。そのため、気象庁が公表している雨量計の設置条件は、樹木や建物からは、それらの高さ以上の距離を離す必要がある。そのような条件が無い場合は、建物の屋上に屋上端から 3m 以上離して設置してもよい。安朱学区では、前者のような樹木や建物が周辺に無い広場がなかったため、建物の屋上に設置することにした。学区内で最も屋上が大きく、かつ本研究の協力を既に得ている安朱小学校舎の屋上に雨量計を設置した。しかし、1 辺が非常に長く他辺は短い長方形の屋上であったため、屋上端から 3m 以上は確保することができなかった。したがって、対象地域の降雨量計測は気象庁が公表している条件に満たさないものの対象地域内で最も条件の良い地点で計測しているデータになる。

### 9.3 簡易雨量計作成ワークショップ・説明会

簡易雨量計製作ワークショップは地域住民や安朱小学校 4 年生児童と行った。作製した雨量計は自宅に持ち帰り、軒先で計測するように依頼した。計測した雨量を地域住民はチャットツールもしくはメールで、児童は教室の一角に記録する用紙を設けて収集するようにした。

説明会では土砂災害発生のメカニズムから避難の重要性を説いたり、計測データの読み方の解説をした。表-4 は地域内で活動を実施した日付である。

## 10. 計測データと地域の動向

### 10.1 平成 30 年 7 月豪雨

2018 年 7 月 5 日深夜から 6 日午後まで総雨量が約 260 ミリの長期豪雨（平成 30 年 7 月豪雨）が発生した。IoT デバイス A に計測した土壌水分量データと雨量データを図-9 に示す。グラフを見ると、同じく雨量の増加に合わせて土壌水分量が増加している。また、7 月 5 日 8 時ごろの降雨量のピークを過ぎた後、約 22 時までの 14 時間は小雨もしくは雨が降っていない状況がある。その期間、土壌水分量は緩やかに減少傾向であるが、降雨が始まる初期値まで減少するには至らずに 22 時ごろの降雨のピークがきて再び土壌水分量は増加している。このことは、土壌水分量が排出しきれていない状況に再び大きな降雨があり、それによって土壌水分量が大きくなっていることが観察できた。



図-8 調査地 A の設置写真  
 (左 : IoT デバイス A、右 : IoT デバイス B)

表-3 調査地 B のパラメータと計測深度

	調査地 A	調査地 B	
		地点①	地点②
表層	17cm	15cm	15cm
中間部	41cm	48cm	25cm
基盤上部	66cm	95cm	100cm
デバイス	A、B	B	B

さらには、これまで最大の飽和度が 70%であったが、今回は飽和度が 80%を超え既往最大になった。7月5日の午後8時ごろに住民が普段から雨量を報告しているチャットのグループで既往最大値を更新したこと、これからさらに降り続く見込みがあることを伝えると自主避難を希望する地域住民が現れた。しかし当時、避難所の鍵を持つ自治会防災担当者（以下、防災担当者）はグループに参加しておらず、避難所は開設されなかった。また、地域住民と防災担当者とも区役所に避難に関して問い合わせしており、行政依存意識があることが確認された。さらには、水害の恐れのあるときの避難所や自主避難のフローなど避難に関する知識が欠如していることも確認された。

### 10.2 第 2 回懇親会

平成 30 年 7 月豪雨時に計測されたデータを解説した。さらには、自主避難の仕方やそのための体制づくり（自主的に避難所を解説する基準など）について議論した。土壌水分センサがまだ不安定であるために、まずは総雨量 200 ミリで警戒態勢に入ることを決めた。

### 10.3 平成 30 年台風 24 号

平成 30 年台風 21 号が激しかったこともあり、防災担当者が主導となって、避難所を自主的に開設した。合計 4 人の住民が避難した。

### 10.4 IoT デバイス B に計測結果

IoT デバイス B で計測した土壌水分量の一例を図-10 に示す。IoT デバイス A と同様に降雨量に合わせて土壌水分量も増大している様子が観察できる。また、土壌水分量が

表-4 対象地域での取り組み

2017 年 7 月 10 日	第 1 回懇談会
2018 年 4 月 21 日	ペットボトル雨量計作製 WS
5 月 17 日	安朱小学 4 年生ペットボトル雨量計作製授業
5 月 18 日	雨量計を設置。5 分間雨量の計測を開始
6 月 1 日	IoT デバイス A を調査地 A に設置。土壌水分量を計測
7 月 6 日	平成 30 年 7 月豪雨
7 月 12 日	安朱小学 4 年生防災授業
7 月 15 日	第 2 回懇談会
9 月 17 日	カエルキャラバン (講演、雨量計作製 WS)
9 月 30 日	台風 24 号
12 月 18 日	安朱小学 4 年生防災授業
2019 年 5 月 12 日	第 3 回懇談会
5 月 27 日	IoT デバイス B を調査地 A,B に設置。計測開始
5 月 28 日	安朱小学 4 年生ペットボトル雨量計作製授業

平常時の数値まで減少する前に再度雨が降り、土壌水分量を前回の降雨時よりも大きくなった状況を捉えることができた。

### 10.5 災害発生危険時における連絡網の構築

自主避難所開設時に地域コミュニティ内の自主避難に関する情報伝達が上手く回らなかった。その経験から、2019 年は防災担当者が主導的に災害発生危険時の連絡網の構築に尽力している。

## 11. 地域住民へのインタビュー

自治会の防災担当者に自主避難所を開設した後にインタビューを行い、以下の回答を得た。

- ・自ら雨量を計測することで、雨の感覚と実際の数値とが近づいた。これによって、気象予報から雨の激しさを理解できるようになった。

- ・実際に自主避難所を開設してみて、体育館のような大規模なものではなく、和室と小規模で済むために意外にも気軽に開けるものだと分かった。居心地も十分よく、地域コミュニティ内にある避難所の悪いイメージを払拭することが今後の課題である。

- ・平成 30 年 7 月豪雨時と通常の降雨時の土壌水分量データを見せたところ、前者は后者よりも数値が明らかに大きいことが分かり、「7 月 5 日 21 時ごろに自主避難のよびかけをすれば良かったのではないかと仰った。

力調査 (PIAAC) 報告書, 明石書店, 2013.

[7]Peters et.al : Numeracy and Decision Making, PSYCHOLOGICAL SCIENCE, Vol. 17, No. 5, pp. 407-413, 2006.

[8]国土交通省 国土技術政策総合研究所: がけ崩れ災害の実態, 2009, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0530.htm>, (参照 2018-08-01)

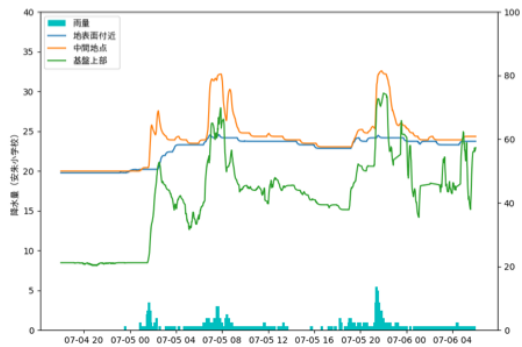


図-9 平成 30 年 7 月豪雨時の計測データ

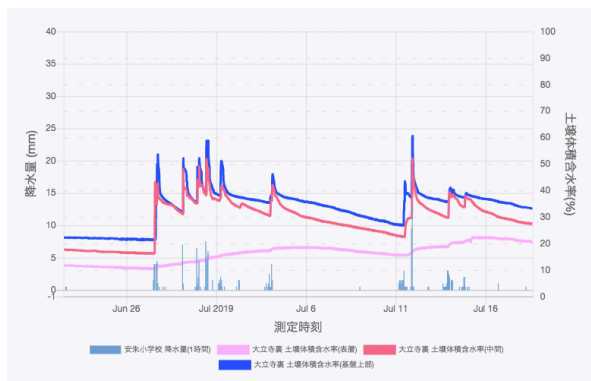


図-10 IoT デバイス B の計測データ

## 12. 今後の計画

今後はリスクリテラシーをもとにアンケートとインタビューで本システムの評価を行う。具体的には、まず、全国平均と対象地域のプロジェクトに参加していない人たちの比較し、対象地域が全国においてどのような水準なのかを示す。次に、対象地域内のプロジェクトに参加している人は参加していない人と比べてどれほど差異があるかを明らかにする。そして、インタビューを用いて、プロジェクトに参加している人にプロジェクトに参加した前後で何がどのように変化したかを調査する。

## 参考文献

- [1]国土交通省: 全国における土砂災害警戒区域等の指定状況, 2018, <http://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/jyoukyou-1803312.pdf>, (参照 2018-08-01)
- [2]国土交通省: 近年の土砂災害 被災者の傾向, 2012, <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/dosya/24part1/24-1-shiryu3.pdf>, (参照 2018-08-01).
- [3]瀬尾克美, 原口勝則, 高橋幸彦: 平成 10 年 8 月 4 日新潟県佐渡地方の土砂災害における地元住民の対応と教訓, 砂防学会誌.vol. 52, No. 1, pp. 35-40, 1999.
- [4]片田敏孝, 金井昌信: 土砂災害を対象とした住民主導型避難体制の確立のためのコミュニケーション・デザイン. 土木技術者実践論文集, 2010, vol. 1, pp.106-121.
- [5]楠見 孝: 科学リテラシーとリスクリテラシー, 日本リスク研究学会, Vol. 23(1), pp.29-36, 2013.
- [6]国立教育政策研究所: 成人スキルの国際比較: OECD 国際成人