

学校教育における急傾斜地崩壊の兆候をとらえる警報システムの製作

竹野 英敏*・桑原 慧**

(令和7年10月31日受付)

Development of a warning system to detect signs of steep slope collapse in school education

Hidetoshi TAKENO and Kei KUWAHARA

(Received October 31, 2025)

Abstract

本研究では、小学生高学年でも製作可能な警報システムのプロトタイプを製作した。その結果、ビジュアルコーディングで市販品のセンサを読み取らせたり、筐体を3Dプリンタで製作させたりできること。そして、機能として機器本体の傾斜、振動、表層土の水分量、湧水を測定できること。また、USBエクステンダの使用により、50m先のデータ収集ができるとともに、赤外線カメラで夜間1.0m先の様子を把握できることや、Microsoft Teamsで情報共有できることを確認した。

以上のことから、小学生高学年でも警報システムを製作・設置・管理・運用できることが示唆された。今後は、耐久性・性能試験と、小学生による製作・運用の検証を行う予定である。

Key Words: alarm system, disaster prevention, school education

1. はじめに

近年、日本では「線状降水帯」が相次いで発生し、中山間地域では土砂災害による災害発生の危険度が高まっている。国土交通省と気象庁は、土壌雨量指数と60分雨量の2指標で土砂災害発生危険基準線をもとにして土砂災害警戒警報を発表している。しかし、土砂災害警戒情報の空振り事例が増えると、警戒レベル4の避難指示が発令されても避難しない傾向になることを示唆している¹⁾。

この問題点は、土砂災害警戒情報が、個々の急傾斜地等における地形・地質および植生等の影響をも直接的に考慮して土砂災害の危険度を評価するために設定するものではない²⁾とし、雨量以外は考慮していないことである。

一方で、地すべりやがけ崩れは、「小石がパラパラ落ちる、地鳴りがする、崖から水が湧き出す、樹木が傾く、崖にひび割れができる」などの前兆現象があることが一般的に明らかになっており、その前兆現象は、測定できることもわ

かっている。例えば、傾斜センサや振動センサを利用した地表の崩壊を検知するシステムがある。^{3) 4)}

竹野(2024)^{5) 6)}は、この前兆現象を測定するシステムを市販されている民生部品等で構成し、小学生が設置、管理・運用することを通して、気象庁等の防災情報、身近な警戒区域(例えば急傾斜地)の前兆現象のデータ収集と分析を主体的に行え、自ら判断しようとする態度が育成できる教材を構想図(図1)として提案している。

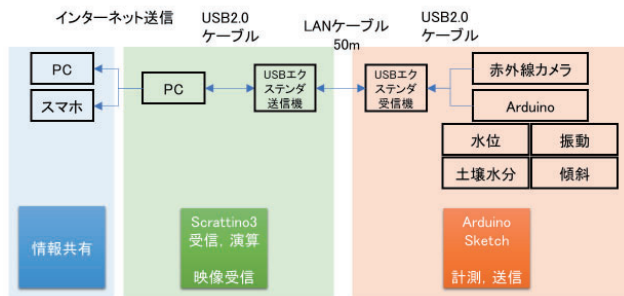


図1 警報システムの構想図

* 広島工業大学情報学部情報システム学科

** 広島工業大学情報学部情報コミュニケーション学科

そこで本研究では、小学生高学年でも製作が可能な教材のプロトタイプを製作し、その実装結果を報告する。

2. 警報システムの概要

開発したシステムは、崖から水が湧き出す、樹木が傾く、がけにひび割れができるという前兆現象を土壌の状態変化から推測できるシステムとし、次のような点を踏まえて開発した。

- ① 小学生高学年でも製作、設置、管理・運用ができる
- ② 急傾斜地崩壊の予兆を察知できる
- ③ 50m先の急傾斜地に限定して安価に製作できる
- ④ 民生用の機器等による土壌の傾斜・振動・水分量、及び表土層湧水の急激な上昇を確認できる
- ⑤ 夜間でも急傾斜地付近の様子を映像で目視できる
- ⑥ 急傾斜地の状況を関係者で情報共有できる

開発したシステムの外観を図2に示す。構成は、計測・送信部と遠隔操作・運用・管理部である。



図2 システムの外観

2.1 計測・送信部の構成

警報システムの計測、送信の構成を図3に示す。一般的に降雨が続くと、土壌の水分量は飽和状態になる可能性がある。急傾斜地は、土壌の水分量が飽和状態にあると崩壊する可能性があり、その監視として急傾斜地に亀裂や樹木が傾いたり、崩壊が始まったりした時の振動を振動センサスイッチモジュール(図3①)で監視し、亀裂等の表土層の移動による傾きは、チルトセンサモジュール(同②)で監視するシステムとする。そして、土壌水分量の飽和状態を事前に察知するために土壌水分センサモジュール(同③)で監視する。また、土壌の水分量が飽和状態になれば、土壌に水は浸透しにくくなるため、表土に水が流れたり、浸透した水は、湧き水として土壌から出水したりする。そこで、急激な湧水量の上昇を水位センサモジュール(同④)で監視する。

これらのセンサモジュールのアナログ信号を Arduino UNO R3 互換マイコンボード(同⑤)で受け、PCで制御

するために USB ケーブルで Arduino Uno と PC を接続するが、今回のシステムは、50m 離れたところから制御する必要があるため、USB2.0 信号を最大 50m まで延長できるサンワサプライ製 USB2.0 エクステンダ USB-EXSET3 受信機(同⑥)を使用する。USB エクステンダ送・受信機の接続は、PoE 対応の屋外用 LAN ケーブルで接続する。

なお、今回、小学生でもセンサを簡単にかつ安全に接続させるためにセンサシールド(同⑦)を用いる。

また、USB-EXSET3 受信機には、USB ポートが 2 ポートあるため、昼夜問わず屋外の様子を解像度 1280 × 720 30 fps 視野角 56° の USB 赤外線カメラモジュール(同⑧)を用いて監視する。

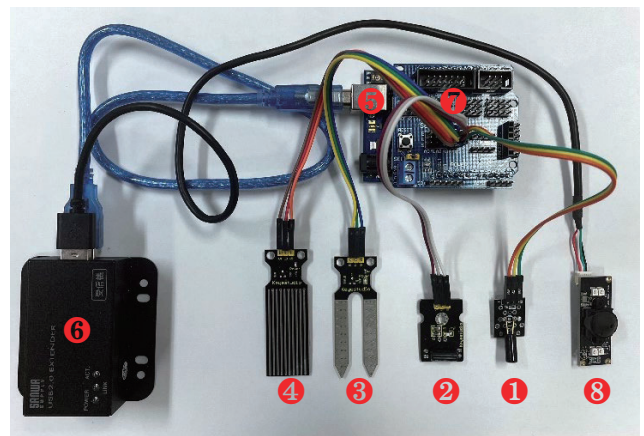


図3 警報システムの計測、送信の構成

2.1.1 筐体の構成

センサ類を組み込む筐体の外観を図4に示す。筐体は、7つの部品で構成され、部品は、3D プリンタで製作する。本研究では、小学校での実践も考慮し、12000 円程度の安価な 3D プリンタのビルディングサイズ(一辺 100mm 立方体)に収まるように部品を設計した。

差し込みパイプ(図4①)は、土壌水分量と水量を測定するセンサの入る測定部(同②)と土壌の水分量を同化するためのものである。

そして、格納部(同③)は、Arduino UNO R3 互換マイコンボード、USB2.0 エクステンダなどの機器を収納するためのものである。

また、よろい戸部(同④)は、高温多湿になるとセンサ類に影響があるため、雨水の侵入を防ぎつつ、風通しを良くするためのものである。

さらに、屋根部 AB(同⑤⑥)は、雨水の影響を避け、地面の様子を映し出すために軒裏にカメラが設置できる空間と USB2.0 エクステンダ USB-EXSET3 受信機に接続された LAN ケーブルを外部とつなげる通し穴を設けるためのものである。

最後に、棟部(同⑦)は、屋根部は 2 つの部品を組み合

わせているため、雨水が侵入してくるのを防ぐためのものである。(筐体の寸法は付録を参照)

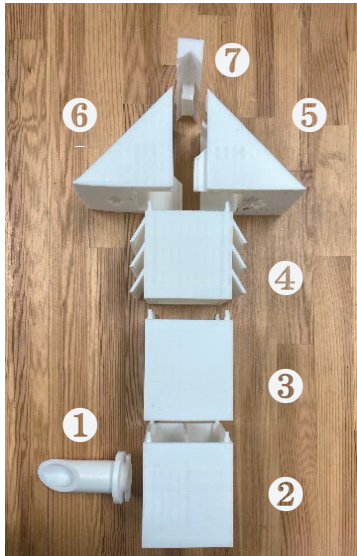


図4 筐体の構成

2.1.2 測定部への組み込み

測定部へセンサを組み込んだ外観を図5に示す。差し込みパイプから侵入してくる雨水をまず左室の鹿沼土細粒に差し込んだ土壌水分センサモジュールで測定する仕組みである。そして、左室と右室を隔てている壁の底部には、鹿沼土細粒の粒より小さい隙間をつくってある。鹿沼土の水分量が飽和状態になればその隙間から雨水が漏れ出し、水位センサモジュールが漏れ出す水分量を測定する仕組みである。センサの上限を超えるとセンサ回路が破損するため、右室の上部には排水口を2つ設けてある。

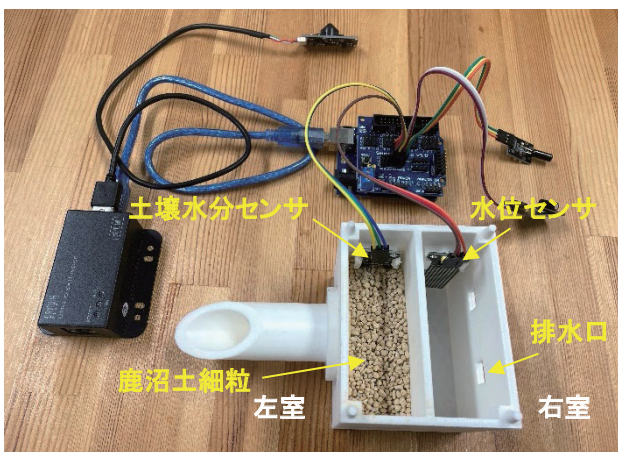


図5 測定部

2.1.3 格納部への組み込み

格納部へ Arduino UNO R3 互換マイコンボード、USB2.0 エクステンダ、振動センサスイッチモジュール、チルトセンサモジュールを組み込んだ外観を図6に示す。

振動センサスイッチモジュールは感度をよくするように

位置や向きを調整して設置する。

また、チルトセンサモジュールは、ボール型であるため、30°傾くとスイッチがオフになるように設置する。



図6 格納部への組み込み

2.1.4 屋根部への組み込み

解像度 1280 × 720 30 fps 視野角 56° の USB 赤外線カメラモジュールを組み込んだ屋根 A の外観を図7に示す。

赤外線カメラは、製品にもよるが安価なものでは図8のように1.0m程度が限界の暗視距離であるため、雨による泥はねを避けるためにも、筐体は観察する地面から、1.0m～0.8m上付近に設置する必要がある。

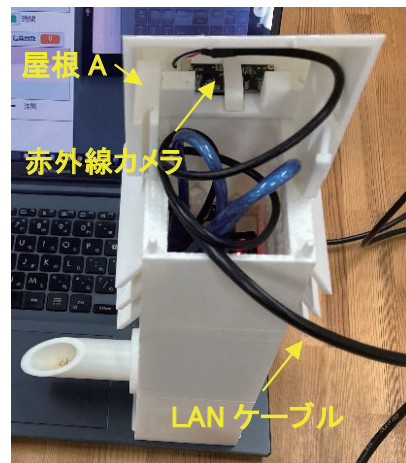


図7 屋根部への組み込み



図8 赤外線カメラの暗視距離

また、LAN ケーブルは、赤外線カメラ同様、他方の屋根 B の軒裏の通し穴から外部に出す仕組み（図 2 参照）としている。

2.2 遠隔操作・運用・管理部の構成

警報システムの遠隔操作・運用・管理の構成を図 9 に示す。本研究では、小学生でも計測・制御のプログラミングが可能なビジュアルプログラミング言語 Scratch を使用し、マイコンボード Arduino と連携させることができるソフトウェア Scrattno^{7) 8) 9)} を利用する。その Scrattno による計測結果の全画面表示を図 9 ①に示す。

そして、屋外の様子をリアルタイムで監視するための USB 赤外線カメラ映像の表示を図 9 ②に示す。

また、ネットワークを利用し、関係者で PC 画面を共有する方法は、いくつかあるが、本研究では Microsoft Teams による画面共有例を図 9 ③、図 10 に示す。

インターネットを通して、PC 画面を関係者のスマートフォンで共有している様子を図 10 に示す。Microsoft Teams では、チームに参加している者は、情報を共有できるため、Arduino で測定している映像・各センサの情報を 24 時間参照することができる。

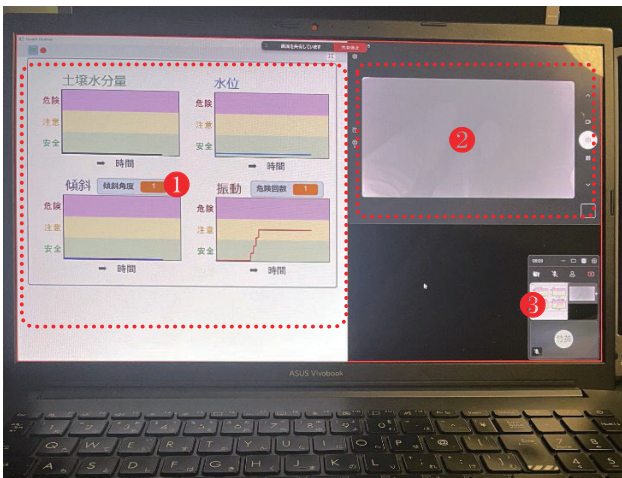


図 9 遠隔操作・運用・管理の PC 画面

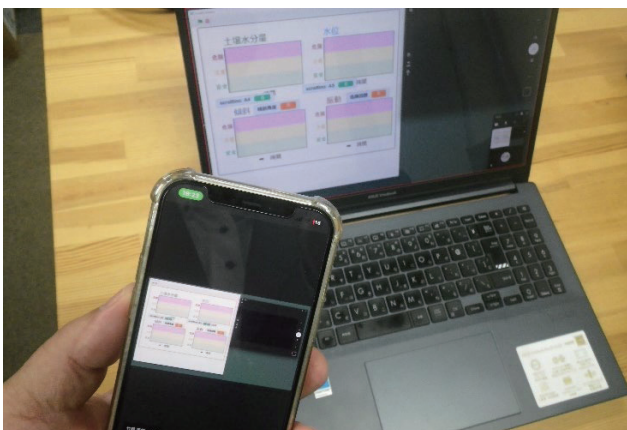


図 10 PC 画面の情報共有

2.2.1 測定部表示の構成

Arduino マイコンボードでセンサからの信号を PC のディスプレイ表示する画面レイアウトを図 11 に示す。

土壌水分量、水位、傾斜、振動ともに、横軸を時間として、0.1 秒ごとにセンサ値をグラフとして表示する。

グラフの縦軸は、細かな数字を示すのは避けた。例えば、土壌水分センサが 50 の値を示したとしても、それが何を意味することなのかを理解できないためである。

そこで、土壌水分量と水位は、センサが測定できる最大値から最小値を減算し、その数値を 3 等分に除算する。その除算した数値に最小値を加算した数値までを安全域とする。その安全域の数値に除算した数値を追加した数値までを注意領域、除算した数値をさらに追加した数値までを危険領域の三段階で表示するようにする。

傾斜については、加速度センサー（ADXL345 など）を使えば、約 0.2° 単位で測定できるため、安全・注意・危険の順に傾斜していく仕様とする。しかし、ADXL345 の端子が 9 端子あるため、小学生には迷いが生じる可能性が高いと考え、3 端子しかないボール型のチルトセンサを用いて、30° 傾けば危険とする仕様にする。今回の実装では、傾斜角度は、0° 又は 30° のチルトセンサ仕様である。

振動については、Arduino では 10bit の AD 変換器が搭載されているので振動センサは、振動に応じて 0 ~ 1023 の数値を示す。しかし、振動が止まれば数値は 0 に戻るため、本研究では、振動の数値を累積させ、累積上限を超えると危険回数に 1 を加算し、累積値は 0 に戻す仕様とする。

図 11 を読み解くと、土壌水分量、水位は安全であるが、警報システム機器は、すでに 30° 傾いている。振動は、危険回数が 8 回を数えている状態を示しているため、機器を設置している斜面に大きな異常があることがわかる。

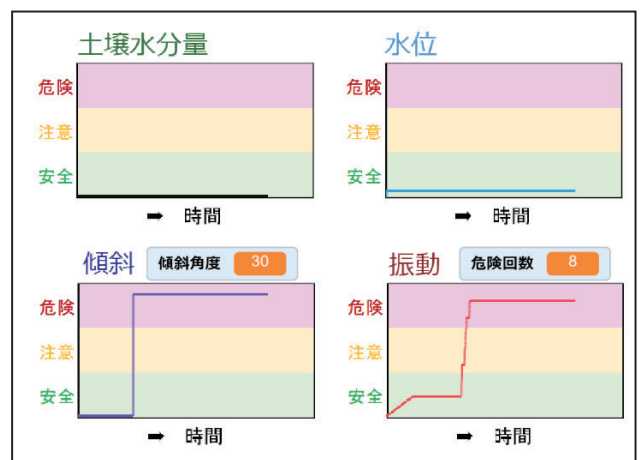


図 11 計測結果を表示する画面レイアウト

2.2.2 測定部表示の画面設計

画面設計は、Scrattino の「ステージ」で背景を作成する。本研究では、土壌水分量、水位、傾斜、振動の4つのグラフを個別に作成せず、図12に示す形式で統一し、作成の効率化を図ることとする。背景は、画像として保存されたものを読み込む仕様であるため、小学生でも作成作業がしやすいパワーポイントやエクセルを使って作成することが推奨される。本研究では、エクセルを用いて作成している。

作成したグラフは、画像として保存し、Scrattino の「ステージ」で「背景をアップロード」を選択し、保存した画像を読み込んだ状態を図13に示す。これを「ベクターに変換」するとともに、読み込んだ画像を縮小し、コピーする。そして、貼り付けを3回繰り返して、画像を適切に配置して、それぞれのグラフにタイトルを付けたものを図14に示す。

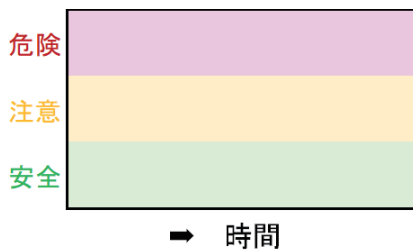


図12 計測結果を表示するグラフ画像

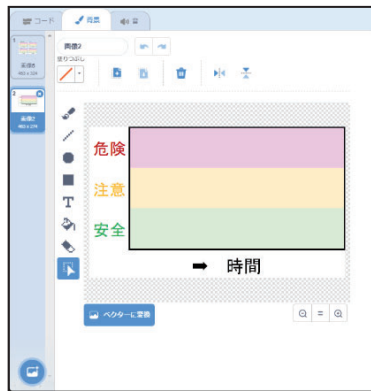


図13 作成したグラフ画像を背景としてアップロード

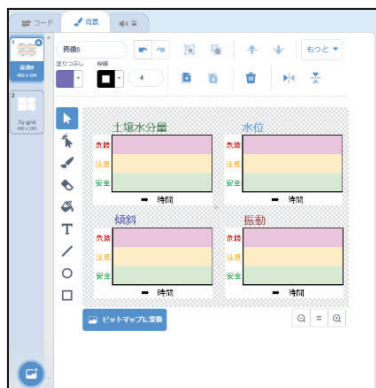


図14 グラフ画像の縮小、コピー&ペースト、配置

2.2.3 土壌水分量のビジュアルコーディング

土壌水分量を0.1秒ごとにセンサの値をプロットしていくビジュアルコーディングを図15に示す。

プロットの描きははじめは、X座標-186、Y座標29から描き始め、線の色は黒色とする。X軸は0.1秒ずつ進み、Y軸は、Y座標29が始点であるため、29に土壌水分量センサ(A3端子)値を8で除算した数値をプロットする。

また、「メッセージ」を受け取ったら、強制的に描いていた線を全て消し、描き始めの座標に戻る仕様とする。



図15 土壌水分量のビジュアルコーディング

2.2.4 水位のビジュアルコーディング

水位を0.1秒ごとにセンサの値をプロットしていくビジュアルコーディングを図16に示す。

プロットの描きははじめは、X座標49、Y座標29から描き始め、線の色は青色とする。X軸は0.1秒ずつ進み、Y軸は、Y座標29が始点であるため、29に水位センサ(A2端子)値を7で除算した数値をプロットする。

また、「メッセージ」を受け取ったら、強制的に描いていた線を全て消し、描き始めの座標に戻る仕様である。



図 16 水位のビジュアルコーディング

2.2.5 傾斜のビジュアルコーディング

傾斜を 0.1 秒ごとにセンサの値をプロットしていくビジュアルコーディングを図 17 に示す。

プロットの描きははじめは、X 座標 -186、Y 座標 -139 から描き始め、線の色は紫色とする。X 軸は 0.1 秒ずつ進み、Y 軸は、Y 座標 -139 が始点であるため、-139 に傾斜センサ (A4 端子) 値を 11 で除算した数値をプロットする。

また、「メッセージ」を受け取ったら、強制的に描いていた線を全て消し、描き始めの座標に戻る。

さらに、傾斜角度を数字として表示するために、「傾斜角度」変数を作成し、傾斜センサ (A4 端子) 値を 34.1 で除算した数値を切り上げ、30 の整数で表示する仕様である。

2.2.6 振動のビジュアルコーディング

振動を 0.1 秒ごとにセンサの値をプロットしていくビジュアルコーディングを図 18 に示す。

プロットの描きははじめは、X 座標 49、Y 座標 -139 から描き始め、線の色は赤色とする。X 軸は 0.1 秒ずつ進み、



図 17 傾斜のビジュアルコーディング

Y 軸は、Y 座標 -139 が始点であるため、-139 に傾斜センサ (A5 端子) 値を 255 で除算した数値をプロットする。

そして、連続した振動があったことを記録するために、「危険回数」として変数を作成し、Y 座標の数値が -35 を超えた時、「危険回数」変数を 1 つ加算する。

また、もし、X 座標がグラフの端である 228、Y 座標がグラフの端である -35 を超えたなら強制的に描いていた線を全て消し、描き始めの座標に戻り、「メッセージ」を送る。

さらに、傾斜角度を数字として表示するために、傾斜角度変数を作成し、傾斜センサ (A4 端子) 値を 34.1 で除算した数値を切り上げ、30 の整数で表示する。

最後に、「スペースキー」を押した際には、「危険回数」を 0 にリセットし、現在のプロットされている線を全て消す仕様である。



図 18 振動のビジュアルコーディング

3. おわりに

本研究では、小学生高学年でも製作が可能な急傾斜地崩壊の兆候をとらえる警報システム教材のプロトタイプを製作した。

その結果、小学生でもプログラミングが可能なビジュアルコーディングでセンサを読み取らせることができること。そして、センサ類・マイコン類は、入手可能な市販品を利用し、安価な 3D プリンタで筐体を製作できることを確認した。

そして、機器本体が 30° 傾くと危険サインを示すことができるとともに、機器本体の振動の様子もグラフとして見える化でき、水分量、及び表土湧水の急激な上昇についても測定できた。

また、サンワサプライ製 USB2.0 エクステンダ USB-EXSET3 を用いることで、有線 LAN ケーブルで 50m 圏内に限定してデータを収集できることを確認した。

さらに、赤外線カメラにより、夜間でも 1.0m 以内の距離であれば、地面の様子を映像で目視できた。

最後に、PC 画面の測定状況について、Microsoft Teams を用いて関係者と情報共有できた。

以上のことから、小学生高学年でも急傾斜地崩壊の予兆を察知できるプロトタイプ警報システムを製作でき、設置、管理・運用できることが示唆された。

今後は、警報システムプロトタイプの耐久性や性能試験、小学生を対象に警報システムを製作させ、設置、管理・運用できるかの検証を行う所存である。

参考文献

- 1) 大竹文雄・坂田桐子・松尾佑太：豪雨災害時の早期避難促進ナッジ，RIETI Discussion Paper Series 20-J-015, pp.1-6, (2020) .
- 2) 国土交通省・気象庁：土砂災害警戒情報の基準設定及び検証の考え方，(2023) .
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/sabo/dsk_kizyun_kensho_r0503.pdf (参照 2025-10-30)
- 3) グリッドリンク株式会社：傾斜計測（地滑り検知）システム .
<https://www.m2mstream.com/product/environment/monitoring-inclination.html> (参照 2025-10-30)
- 4) 株式会社サーキットデザイン：「感太郎」斜面崩壊感知センサ .
https://www.circuitdesign.jp/wp/wp-content/uploads/2019/10/case_004_kantaro.pdf
(参照 2025-10-30)
- 5) 竹野英敏，齋 礼，岡田大爾：早期避難意識を高める情報収集システムの開発，日本科学教育学会年会論文集，第 47 巻，pp.347-350, (2023) .
- 6) 竹野英敏：「土砂災害の早期避難意識を高めるクロス情報の提案」，日本図学会公開シンポジウム「図学が拓く新しい防災」－最新防災システムと災害死 0 を目指す防災教育－，(2024) .
- 7) 横川浩司：Scrattino3 の開発者 .
<https://lab.yengawa.com/project/scrattino3/>
(参照 2025-10-30)
- 8) scrattino3-desktop ダウンロード：
<https://github.com/yokobond/scrattino3-desktop/releases> (参照 2025-10-30)
- 9) スクラッチーノ 3 のセットアップ方法：
<https://web.archive.org/web/20221226064538/https://sites.google.com/site/meidedigitalcraft2019/knowhow/scrattino3-setup> (参照 2025-10-30)

