

## 新時代の土砂災害警報システム



2018年千葉県福生市での土砂崩壊実験写真

大切な命を守り  
明るい未来を創造する



Daiki

## 【新時代の土砂災害警報システム】

傾斜計付き土壌水分センサ  
「多機能土壌水分センサ」の社会実装

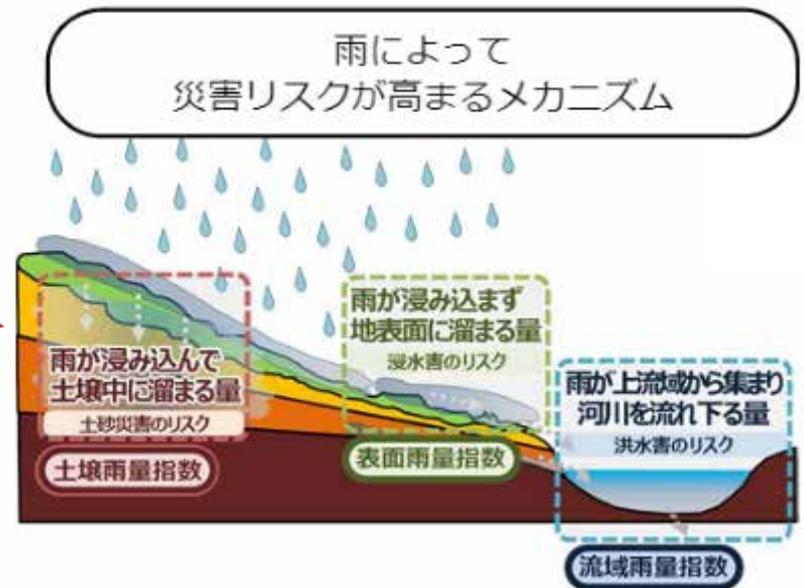
**土砂災害による人的被害ゼロを目指して！**

【大起理化工業株式会社】

埼玉県鴻巣市赤城台212-8

## 1 解決すべき課題

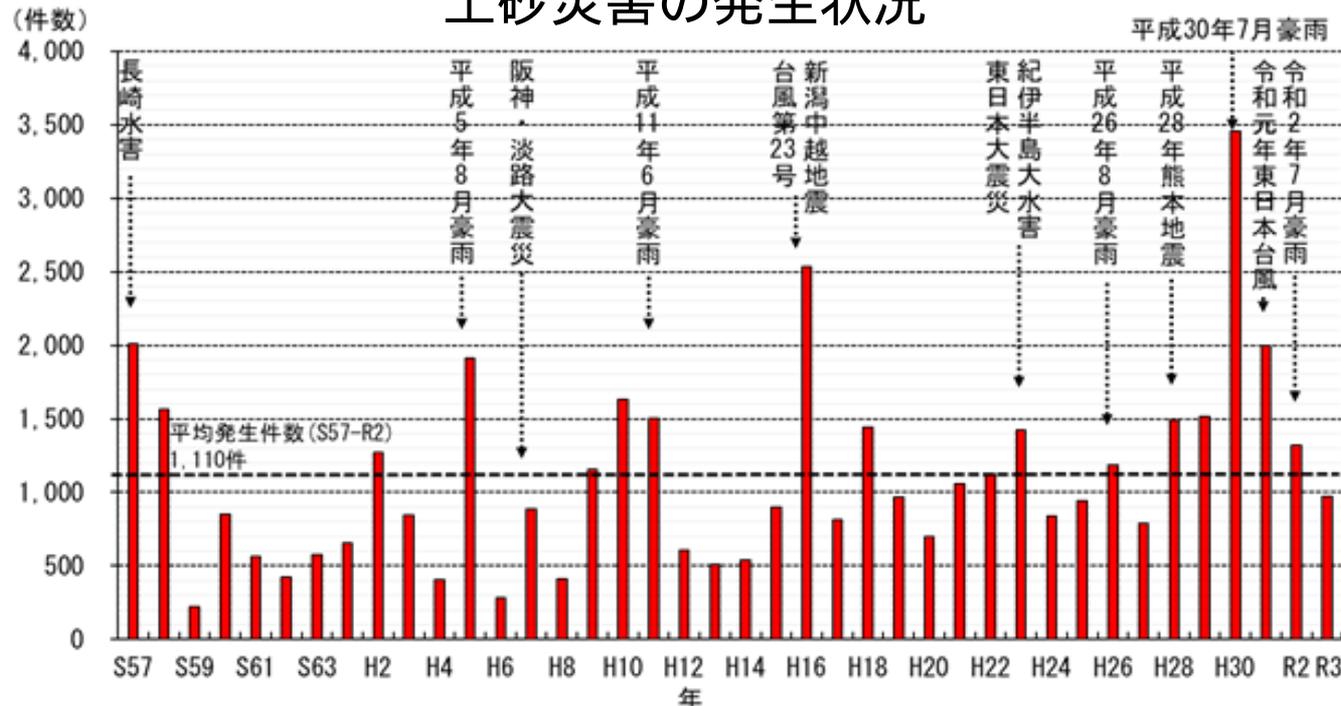
- 日本は土壌に関連する自然災害が多い国土である。
- 年間に1,500件程度の土砂災害が発生、自然災害による死者・行方不明者のうち約4割が土砂災害によるものである。
- 特に土砂災害の研究者などから、多雨で粘土質も多い土壌における高い水分状態の土壌計測を望む声が多く聞かれ、自社開発することを決断した。
- 土壌水分センサーは国内市場の90%以上が海外製であり、日本の土壌に合う仕様ではない
- 2022年から東京都立産業技術研究センターと共同研究を開始
- 2024年7月量産試作品が完成する事により、現地実証実験をおこなえる体制が整った。



「土壌雨量指数・表面雨量指数・流域雨量指数の概要と基準の設定方法について」 気象庁，平成30年2月28日気象等の情報に関する講習会資料より抜粋

## 1 解決すべき課題

### 土砂災害の発生状況

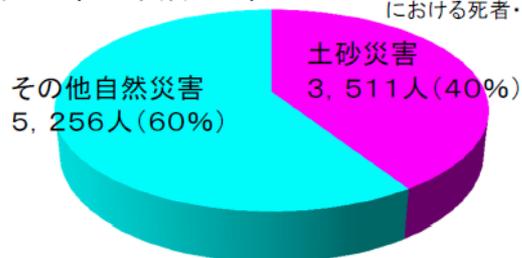


令和4年3月18日 国土交通省 水管理・国土保全局砂防部

#### ■ 自然災害による死者・行方不明者数

昭和42年～平成25年

(阪神・淡路大震災・東日本大震災  
における死者・行方不明者を除く)

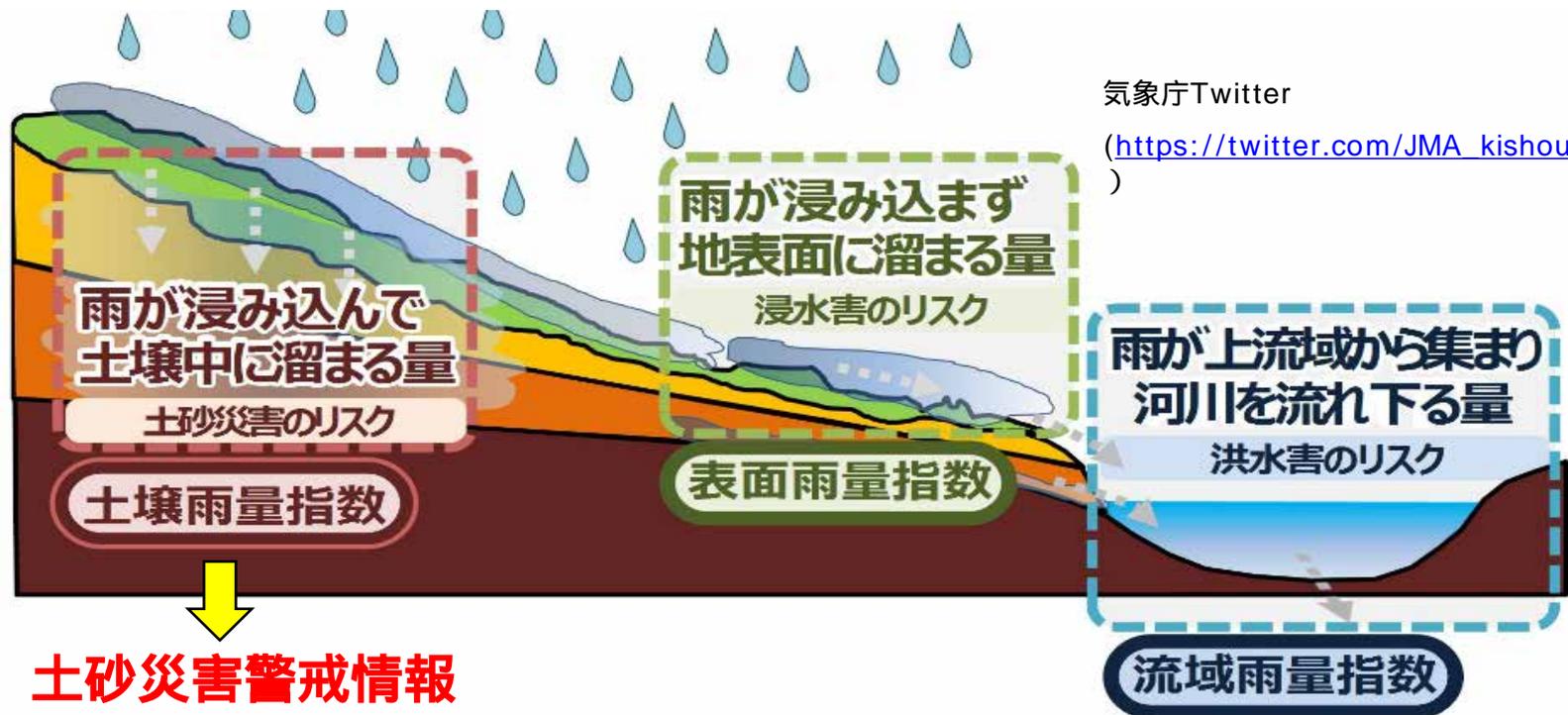


- 年間に1,500件程度の土砂災害が発生
- 自然災害による死者・行方不明者のうち、約4割が土砂災害によるもの

出典: 防災白書(平成26年版)

## 1 解決すべき課題

### 土砂災害警戒情報の仕組み

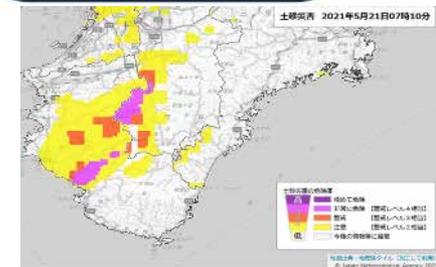


気象庁Twitter

([https://twitter.com/JMA\\_kishou](https://twitter.com/JMA_kishou))

### 土砂災害警戒情報

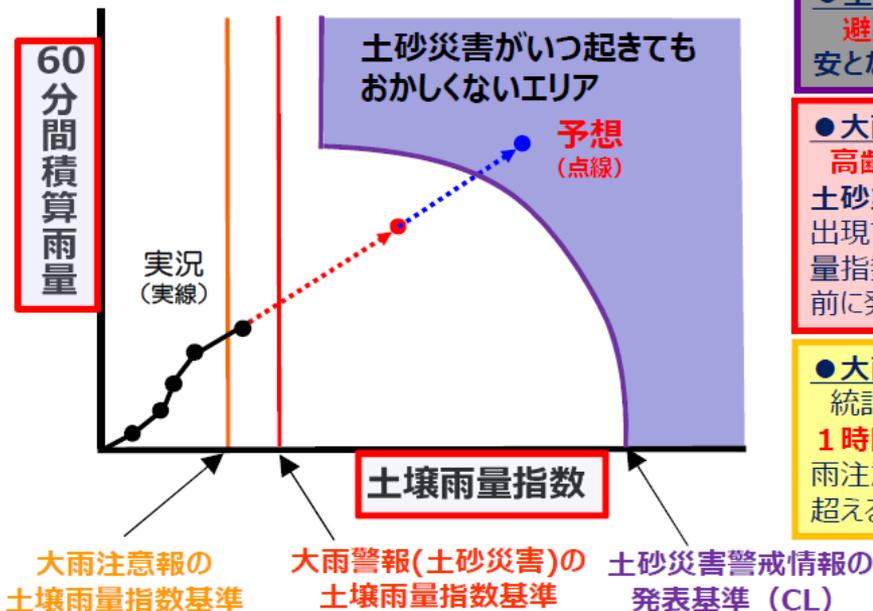
大雨警報(土砂災害)の発表後，命に危険を及ぼす土砂災害がいつ発生してもおかしくない状況となった時に，対象地域を指定して避難や命を守る行動を呼びかける，都道府県と気象庁が共同で発表する情報



## 1 解決すべき課題

### 土砂災害の危険度評価

- 土砂災害の危険度は、長時間降り続き地中に溜まる水分量（土壌雨量指数）だけでなく、短時間で降る雨の量（60分間積算雨量）と組み合わせて評価。
- 災害発生のおそれは、過去の災害実績に基づいて設定した「基準」と比較して判断する。
- スネークライン図は、刻々と変化する60分間積算雨量と土壌雨量指数の状態を一定時間毎につないだ線で、スネークラインが土砂災害警戒情報の基準線を超えると土砂災害の危険性が非常に高まっていることを示す。



#### ●土砂災害警戒情報

避難に必要な時間を考慮し、土砂災害発生の目安となる基準に達する概ね2時間前に発表する。

#### ●大雨警報 (土砂災害)

高齢者等の避難に必要な時間を考慮し、統計的に、土砂災害警戒情報発表基準の概ね1時間程度前に出現する土壌雨量指数の値を、大雨警報の土壌雨量指数基準に設定し、その基準を超える2～6時間前に発表する。

#### ●大雨注意報

統計的に、大雨警報の土壌雨量指数基準の概ね1時間程度前に出現する土壌雨量指数の値を、大雨注意報の土壌雨量指数基準に設定し、その基準を超える2～6時間前に発表する。

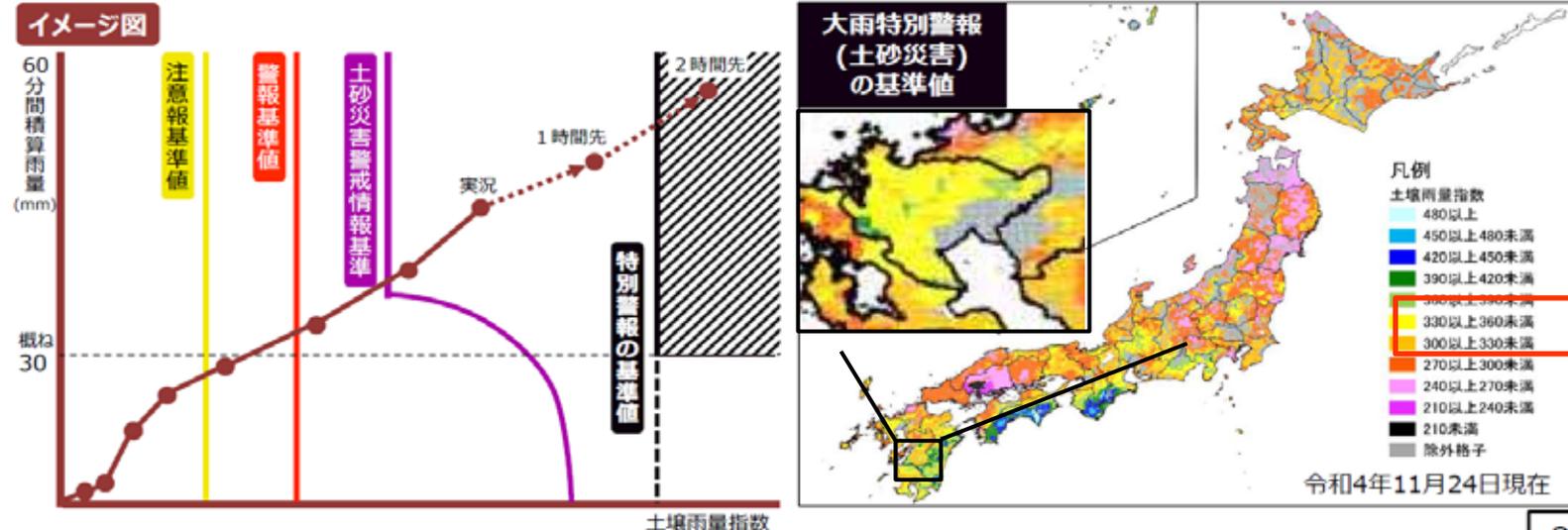
## 1 解決すべき課題

### 大雨特別警報(土砂災害)の発表条件

#### 大雨特別警報(土砂災害)の場合

過去の多大な被害をもたらした現象に相当する**土壤雨量指数**の基準値を**地域毎に設定**し、この基準値以上となる**1km格子が概ね10個以上**まとまって出現すると予想される状況において、当該格子が存在し、かつ、**激しい雨**※がさらに降り続けると予想される市町村等に大雨特別警報(土砂災害)を発表します。

激しい雨※: 1時間に概ね30mm以上の雨



気象庁HPより転載



## 1 解決すべき課題

日本国内市場の90%を占有する海外製の土壤水分センサーは日本の土壤に適していない

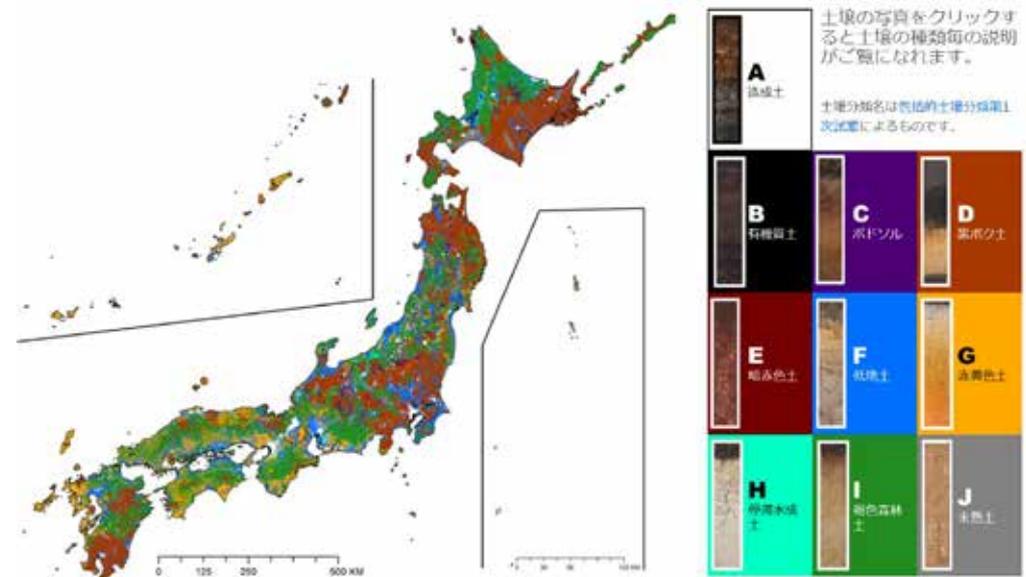
- 高水分・高塩分（養分）の場合、信号減衰が著しく測定が困難であるため 1.2
- 日本の国土はバラエティ豊かな土壤があり、粘土質が多く、雨も多いため高水分 3

日本においては、体積含水率

10 ~ 80% を測定可能な

センサーが求められている

- 海外製水分センサーは利用目的が主に農業向けの自動灌水制御に使用するため乾燥域測定（含水率0 ~ 40%）だけの仕様となっている
- 国内の土壤は地域毎に様々な土質と、多雨な気候条件において測定したい水分域が仕様範囲外の場合が多く、国内ユーザーは正しい水分値を求めることが難しい



1: 宮本英揮, 上村将彰, 平嶋雄太, デジタルTDTセンサーを用いた土壤の水分・電気伝導度の同時計測, 地下水学会誌, 59 巻, 1 号, p. 11-19, 2017.  
 2: 井上光弘, ユーザーから見た市販マルチセンサーの測定精度の評価, 土壤の物理性132(0), 31-39, 2016.  
 3: 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構, 土壤情報閲覧システム ([http://agrimesh.dc.affrc.go.jp/soil\\_db/](http://agrimesh.dc.affrc.go.jp/soil_db/)).

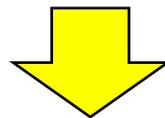
## 2 事業の概要

### 土砂災害警戒情報の問題点

- ρ 斜面の不均一性(凹凸や被覆植生等)を考慮しない  
「**土壌雨量指数**」を指標とする**不確実性**
- ρ 土砂災害のスケール(幅数m ~ 数百m)と比して  
**広すぎるメッシュ(1km×1km)**
- ρ 土石流・がけ崩れが**発生した地域は4.7%**
- ρ 人命・家屋被害のあった**災害の的中率は6.4%**
  - 1) 国土交通省(2021)洪水及び土砂災害の予報のあり方に関する検討会(第1会) 資料2
- ρ 土砂災害警戒情報が住民に十分に伝わらない。  
伝わっていても, 避難行動に直結しない。



2009 ~ 2019年

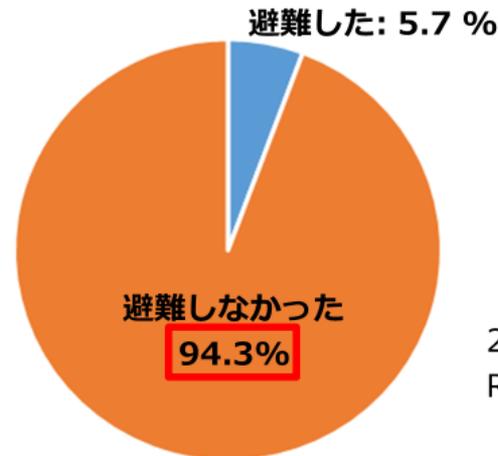
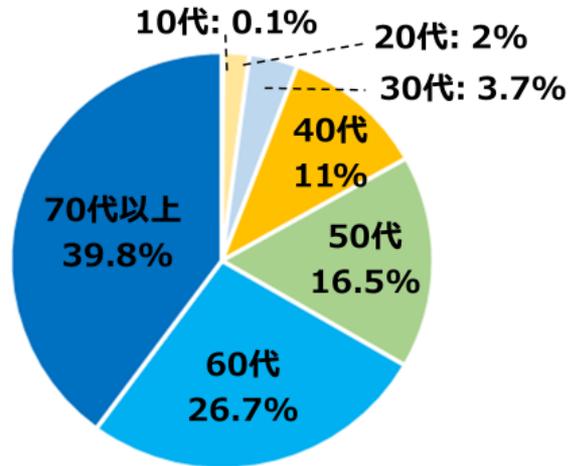


**現行の土砂災害警戒情報を補完できる新たな仕組みが必要!**

## 2 事業の概要

### 「避難率5.7%」の意味を考えなければならない！

実質的避難率：市町が開設する避難所"以外"への避難も含めた避難率



2022年5月22日(日)  
RCC中国放送

**94.3%**が避難しないという事実！

- 1位 57.5% 避難しなければならないほど危険だと思わなかった
- 2位 20.9% 直前避難で十分(垂直避難のみ)
- 3位 20.1% コロナ感染が不安だった
- 4位 14.2% 避難する方が危険だと判断



**現行制度では、命を守ることはできない！？**

## 2 事業の概要

### いま、求められること！

住民が真に求めるのは自宅の裏山の安全性に関する情報！

新時代の土砂災害警報システム(イメージ)

自宅の裏山の情報が確認できるローカルな  
土砂災害アラートシステムの社会実装

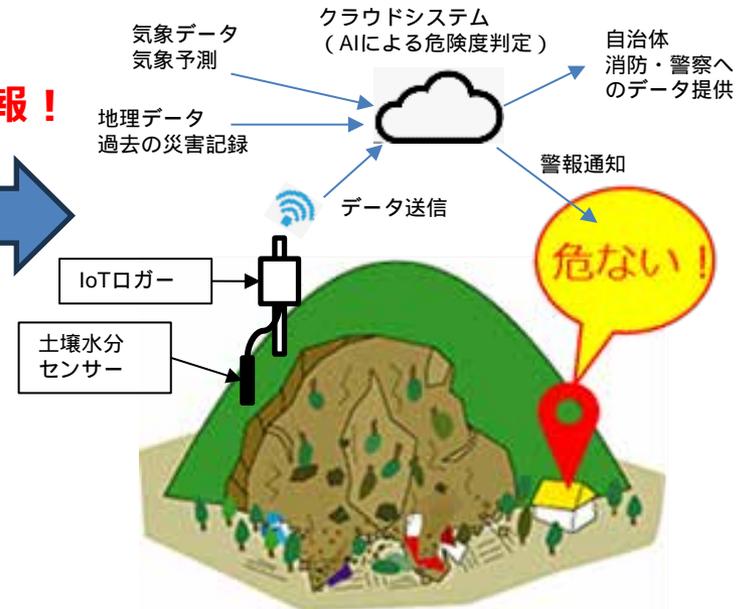
- ρ 生活圏内に存在する斜面の危険度の見える化
- ρ 地中の異常事象の早期検知による避難行動時間の確保
- ρ 気象データを活用した裏山危険度予測
- ρ 災害時要援護者を考慮した情報伝達率の高いアラートシステム



ハード対策からICT活用へ転換し

Society 5.0 \*時代の新しい減災対策の社会実装

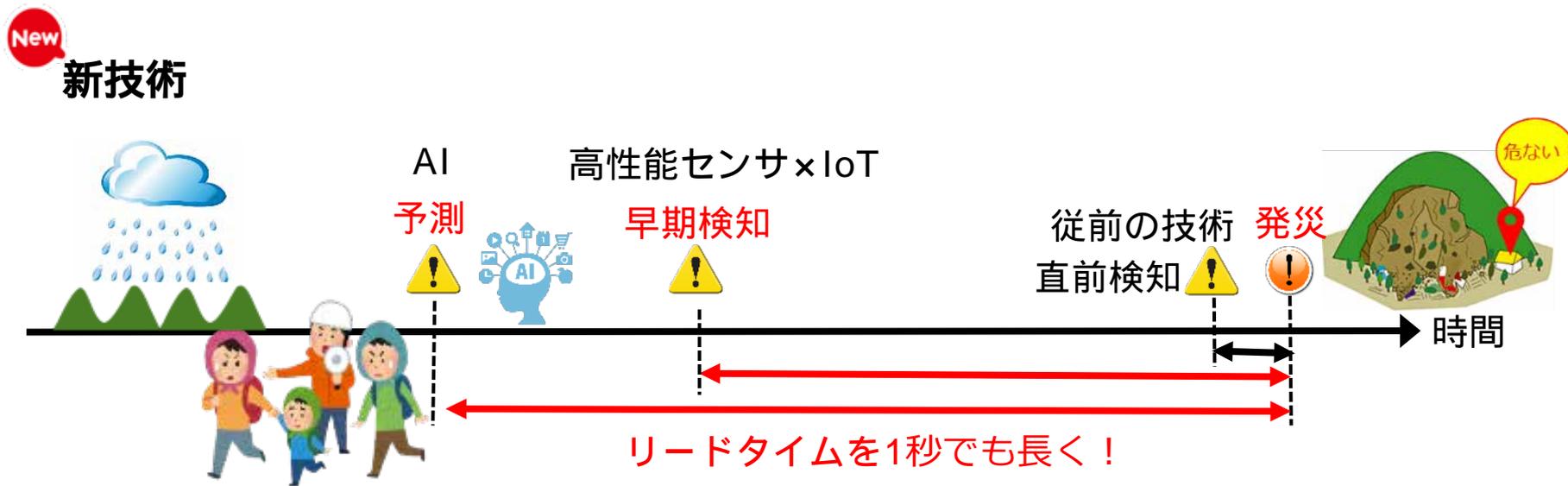
\* Society 5.0 = ICT (IoTやAI技術) が活躍する社会。人と人の知識や情報を共有する社会。



## 2 事業の概要

### 新時代の土砂災害警報システム開発と社会実装

目標：土砂災害の**前兆現象をいち早く察知または予測し**，  
避難行動をとるための**リードタイムを1秒でも長く確保する**  
新技術を構築しよう！



## 2 事業の概要

# 代表的な土砂災害のリスク評価・予測技術

○**斜面崩壊の誘因**となる土中水の挙動を**推定**する技術



### 特徴

- ・地盤内部の応力状態に關与する指標(土壤水分量, 地下水面の位置等)を測定する
- ・気象データと関連づけることにより, **リスク評価や予測技術を構築**できる可能性がある  
土壤雨量指数(SWI)に基づく**土砂災害警戒情報**として運用されている

**例** ○○県土砂災害警戒情報 第3号

令和元年x月x日 xx時xx分  
○○県 ○○地方気象台 共同発表

【警戒対象地域】  
○○市 ○○市\* ○○市\* ○○市\* ○○市  
\*印は、新たな警戒対象となった市町村を示します。

【警戒文】  
＜概況＞  
降り続く大雨のため、土砂災害警戒区域等では命に危険が及ぶ土砂災害がいつ発生してもおかしくない非常に危険な状況です。  
＜とるべき措置＞  
**避難が必要となる危険な状況となっています【警戒レベル4相当情報「土砂災害」】。**崖の近くや谷の出口など土砂災害警戒区域にお住まいの方は、市町村から発令される避難勧告などの情報に留意し、少しでも安全な場所への速やかな避難を心がけてください。  
＜補足情報＞  
市町村内で危険度が高まっている区域は、○○県や気象庁のホームページで確認できます。  
○○県「土砂災害に関するメッシュ情報」、気象庁「大雨警報（土砂災害）の危険度分布」

警戒レベル	取るべき行動	気象庁等の情報
5	命を守るための最善の行動をとる	氾濫発生情報 大雨特別警報
4	速やかに避難	土砂災害警戒情報 氾濫危険情報 高潮特別警報 高潮警報 危険度分布 極めて危険 非常に危険
3	準備が整い次第避難開始 高齢者等は速やかに避難	大雨警報 洪水警報 氾濫警戒情報 警戒（警報級）
2	避難行動を確認	高潮注意報 氾濫注意情報 大雨注意報 洪水注意報 注意（注意報級）
1	災害への心構え	早期注意情報（警報級の可能性）

## 2 事業の概要

### 代表的な土砂災害の**早期検知技術**

#### 地盤表面の動きを測る技術



#### 地盤内部の動きを測る技術



#### 長所

- ・地盤の表面または内部の動きを測定する
- ・数値の変化は、地盤の滑動を示すエビデンス

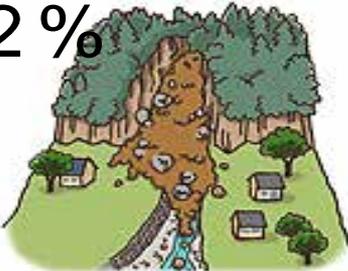
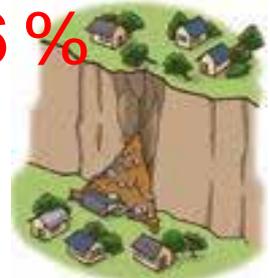
#### 短所

- ・機器が高額であり、高度な設置・運用技術が必要
- ・動きがあるまで、何も検知できない

**新技術：**傾斜センサーを内蔵した安価な水分センサーを埋設することで、いままで得られなかった地盤内の滑動と地盤内の土壌水分値変化を測定することが可能となる。（地盤内の可視化が可能となる）

## 2 事業の概要

### 対応できる事象 / 対応できない事象

<p><b>事象</b></p>	<p>32%</p>  <p><b>土石流</b> 21.6万箇所</p>	<p>2%</p>  <p><b>地すべり</b> 1.6万箇所</p>	<p>66%</p>  <p><b>がけ崩れ</b> 44.8万箇所</p>
<p><b>対策</b></p>	 <p><b>砂防堰堤</b> 土石流を物理的にブロックする。発生する危険性の高い場所を予想できるため、物理的に防ぐことが可能である。</p>	 <p><b>伸縮計, ひずみ計, GNSS</b> 地表面の移動を観測する。比較的ゆっくりとした移動であるため、検知してから避難するまでのリードタイムを確保しやすい。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>危険な急傾斜地が膨大にある</li> <li>大半が表層崩壊</li> <li>発災場所・日時の予測は不可能</li> <li>現行技術による早期検知は困難</li> </ul> <p><b>有効な対策がない!</b></p>

\* 土砂災害警戒区域の数は「土砂災害警戒区域等における土砂災害対策の推進に関する法律(平成13年4月1日施行)」に基づく令和4年6月末の数値

## 2 事業の概要

(令和元年5月，国土交通省)

# 実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会

### 土砂災害警戒情報に関する課題

- ・住民避難を呼びかける主体は市町村長であることを鑑み，市町村長が避難勧告を適時・適切に発令できるように土砂災害警戒情報の精度向上や土砂災害警戒情報を補う情報の改善などの技術開発・支援体制の強化を進めるべき。また，土砂災害に関する防災情報を適切なリードタイムを確保して発表し，市町村の防災対応に活用されるようにするために，土砂災害発生危険基準線(Critical Line，以下CL)における土壌雨量指数の下限値の適切な設定等，気象庁とも連携しながら土砂災害警戒情報の発表基準の改善の方向性を検討する必要がある。
- ・土砂災害警戒情報の精度の向上にあたっては，発表の判定に用いる土壌雨量指数の算出単位の高解像度化を図るとともに，高解像化された情報が避難勧告等の発令や避難の判断に有効に活用されるよう，ウェブサイト上での表示や周知・伝達手法の改善につながる技術開発を行うべき。
- ・現在，市町村や住民に提供している土砂災害警戒情報を補足する情報について，危険度を時系列等に表示するなど，市町村や住民が危険度の推移等を把握できるよう改善するべき。また，併せて土砂災害警戒情報をもとにCLを上回る地区を自動表示するなど，避難勧告等の発令判断を支援するシステムを整備するべき。

### 3 機器の設置内容

## 「新時代の土砂災害警報システム」で、 自宅裏山の危険度をお知らせ！

1. マルチ土壌水分センサとデータを記録するIoTデータロガーを組みあわせて、クラウドシステムでデータを確認する。（次ページに水分センサーとデータロガー概要有り）。
2. 社会実装に向けて、土砂災害が起こりそうな場所にセンサーを埋設してデータを常時記録し、危険な状態の際にアラームで警告する。

### 3 機器の設置内容



<https://www.daiki.co.jp/products/dik-g300/>

#### DIK-G300 土壌水分センサー仕様

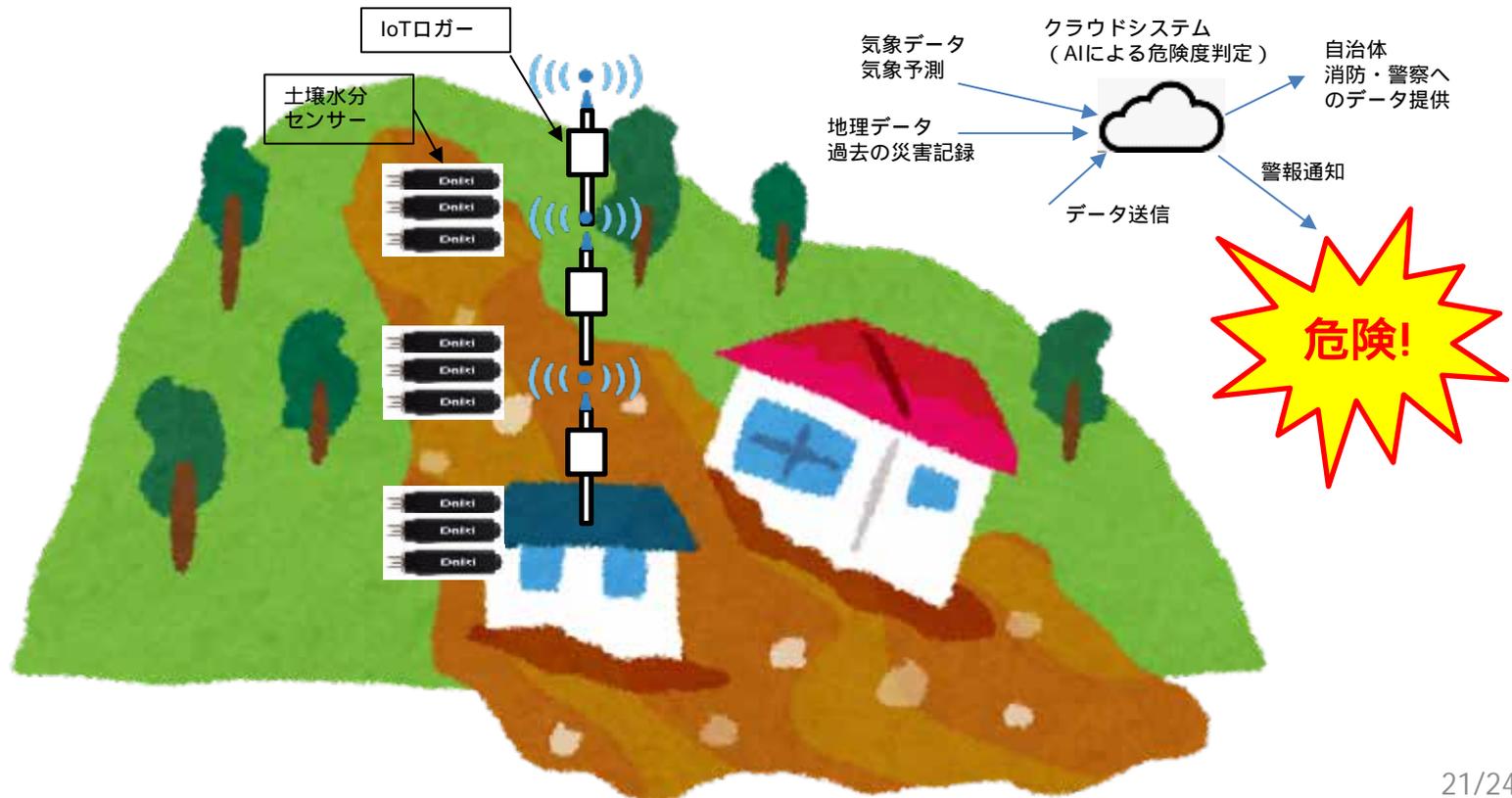
測定範囲	体積含水率 0 ~ 100% 比誘電率 0 ~ 80% 電気伝導度 (EC) 0 ~ 7dS/m 温度 -20 ~ +60
傾斜	最小分解能 x軸・y軸 0.01°
測定周波数	10MHz ~ 500MHz
測定原理	開放型反射法 (OER法)
I/O	RS-485
動作温度	-20 ~ +60
消費電流	12V60mA (MAX)
電源電圧	4.5V ~ 15V
防塵防滴	IP68以上
外形寸法	約 32×D27×L160mm
専用IoT データロガー	DIK-L900 : センサ8台まで接続可、 LTE通信モジュール搭載

### 3 機器の設置内容



## 3 機器の設置内容

- 宮城県砂防総合情報システム（MIDSKI）土砂災害警戒区域等確認マップ等を活用して、**土砂災害特別警戒区域内の住宅近くの裏山に機器を設置**して、**土壌水分と傾斜の数値をモニタリング**する。
- 1斜面に上中下3地点設置（1地点3深度50cm、100cm、150cm）合計9本IoTデータロガーは合計3台程度の設置を検討する。

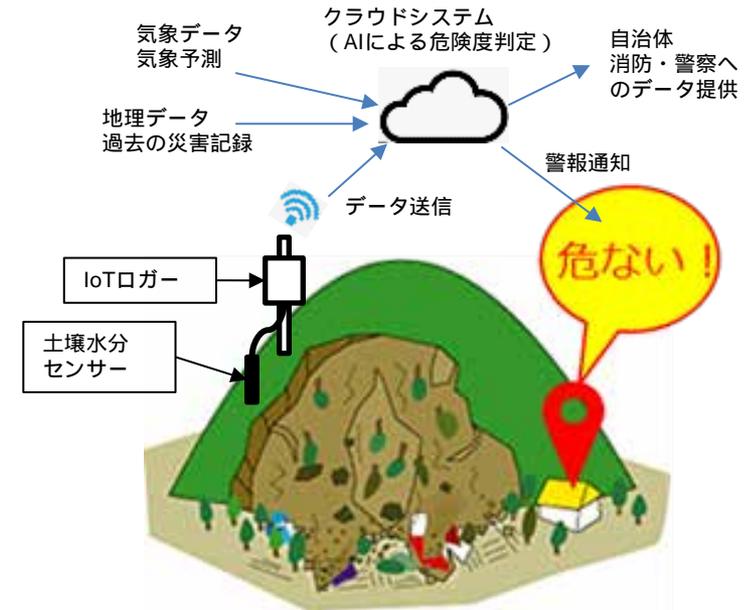


## 4 提供する製品、サービスとターゲット顧客

- 土壌水分センサーとIoTデータロガーを組み合わせた下記システムを提供

### 「新時代の土砂災害警報システム」

- 年間に1,500件程度の土砂災害が発生、自然災害による死者・行方不明者のうち約4割が土砂災害によるものである。
- ↓
- 住宅のある場所に近い場所に機器を設置して警報を発する事により、早期避難が可能となる。
- ↓
- 結果、大幅に死者・行方不明者を減らすことができる可能性があるため、各都道府県・市町村が顧客となる。



## 5 事業の優位性

今まで測定できなかった土壤水分が多い地盤内の測定が可能になった事  
土壤水分が多く地盤が動く際の「傾斜」を同時に測定できる事

上記2点をクリアしたことにより、地盤内の土壤水分と地盤の動きを同時に観測できることから、土砂崩壊の状況をリアルタイムで確認する事ができる。

人的被害を出さないためには、確実な避難が必要になるが、避難する人たちが自分の目で確認して、迅速に避難する事が可能となるシステムであるため、市場での競争に勝っていくポテンシャルを秘めている。

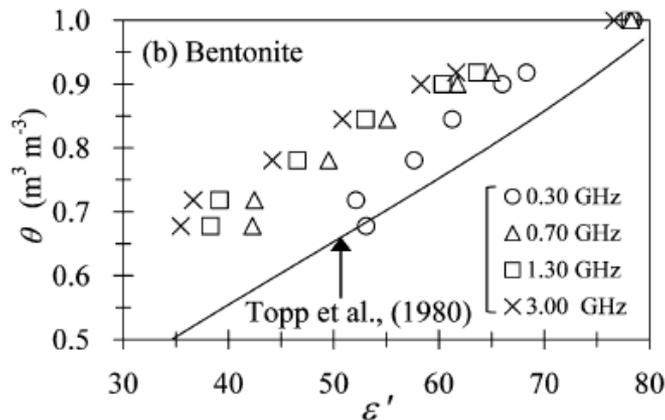


DIK-G300 マルチ土壤水分センサー

土壤水分・電気伝導度・温度・傾斜・誘電率の5項目測定が可能

## 6 技術シーズの概要

日本においては10～80%を測定可能な体積含水率のセンサーが求められている。土壌研究者らは比誘電率と土壌の関係を、高価なベクトルネットワークアナライザ等を使用することで高い体積含水率土壌も正確に測定することが可能であることを知っていた。比誘電率を1～80まで測定できれば、換算式から土壌の高い含水率が求められる。この課題を解決するため、**東京都立産業技術研究センターとDAIKIは2021年から共同開発を開始した。**共同研究によりベクトルネットワークアナライザ機能を小さなセンサーに組み込むことに成功した。



土壌の体積含水率と比誘電率の関係

宮本英揮, 下町多佳志, 筑紫二郎, 安永円理子, マイクロ波信号領域における粘土の誘電特性, 土壌の物理性, 110巻, p.13-23, 2008



ベクトル・ネットワーク・アナライザ (E5071C)

従来の高度な測定に  
用いられてきた  
高額な測定装置

土壌測定用に  
小型化した  
量産試作が完成!



DIK-G300  
土壌水分センサー  
(外寸: 約 32×D27×L160mm)