

大規模土砂災害対策技術センターの 取り組み

国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 砂防研究室
(近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター)

主任研究官 竹下航

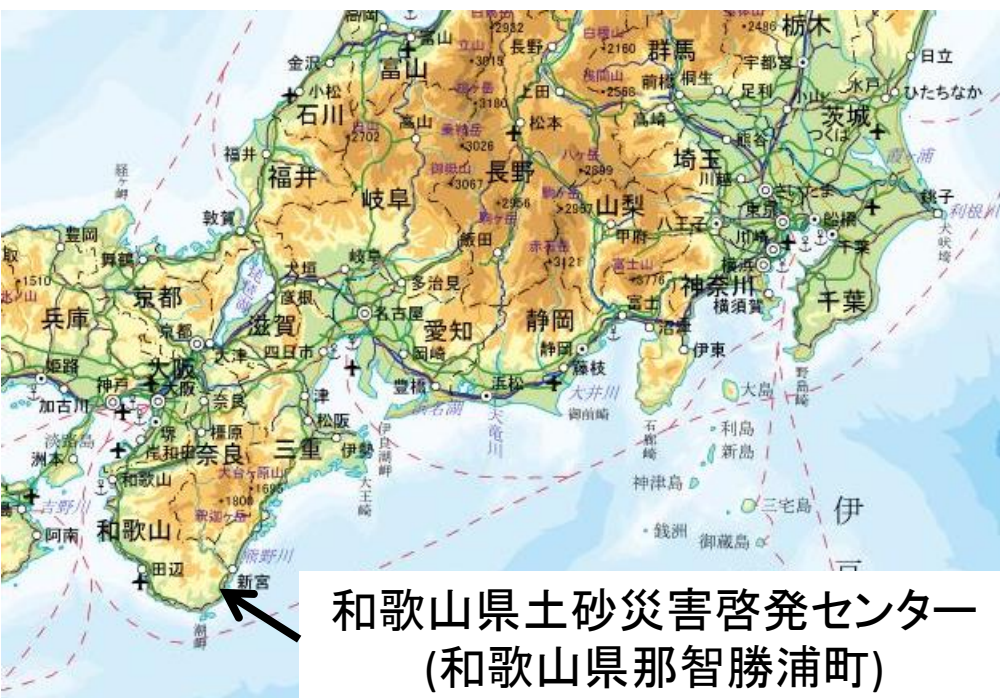
京都大学防災研究所一般研究集会

令和4年12月3日(土)～12月4日(日)

- ◆大規模土砂災害対策技術センターについて
- ◆デジタル技術を活用した取組
 - 空中電磁探査による深層崩壊リスク評価
 - UAVを活用した砂防施設自動点検
 - CCTV画像による土砂移動検知
 - UAVを活用した山間地調査

大規模土砂災害対策技術センターの紹介

- ・2011年9月に紀伊半島大水害が発生。
- ・2014年4月より国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター(那智勝浦町)発足。
- ・2016年4月に和歌山県土砂災害啓発センターが完成。



◎体制(6名体制)

- ・国土交通省(主任研究官1名、技官1名)
- ・和歌山県(所長1名、主査(土木)1名、副主査(土木)1名、技師(林務)1名)

H29～R3 → R4～
木下篤彦主任研究官 → 竹下航主任研究官
(現:土木研究所)

大規模土砂災害対策技術センターについて

2011年台風12号で甚大な被害が発生した紀伊半島において、大規模土砂災害に係る建設技術の研究及び開発を推進するため、2014年度より近畿地方整備局に「大規模土砂災害対策技術センター」を設置。

○センター構成員

センター長	河川部長	
副センター長	国総研 深層崩壊対策研究官 砂防研究室長	近畿地方整備局 地域河川調整官 広報広聴対策官 近畿技術事務所長 紀伊山系砂防事務所長
センター員	国総研主任研究官	近畿技術事務所 紀伊山系砂防事務所

○取組内容

1. 大規模土砂災害対策技術（調査・施工）の確立・発展
2. 地域防災力の向上への貢献（地域への成果の還元）
3. 成果の積極的な発信（論文、学会発表、広報活動）
4. 土砂災害対策に関わる人材の育成

※活動拠点：和歌山県土砂災害啓発センター
（和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6）



出前講座

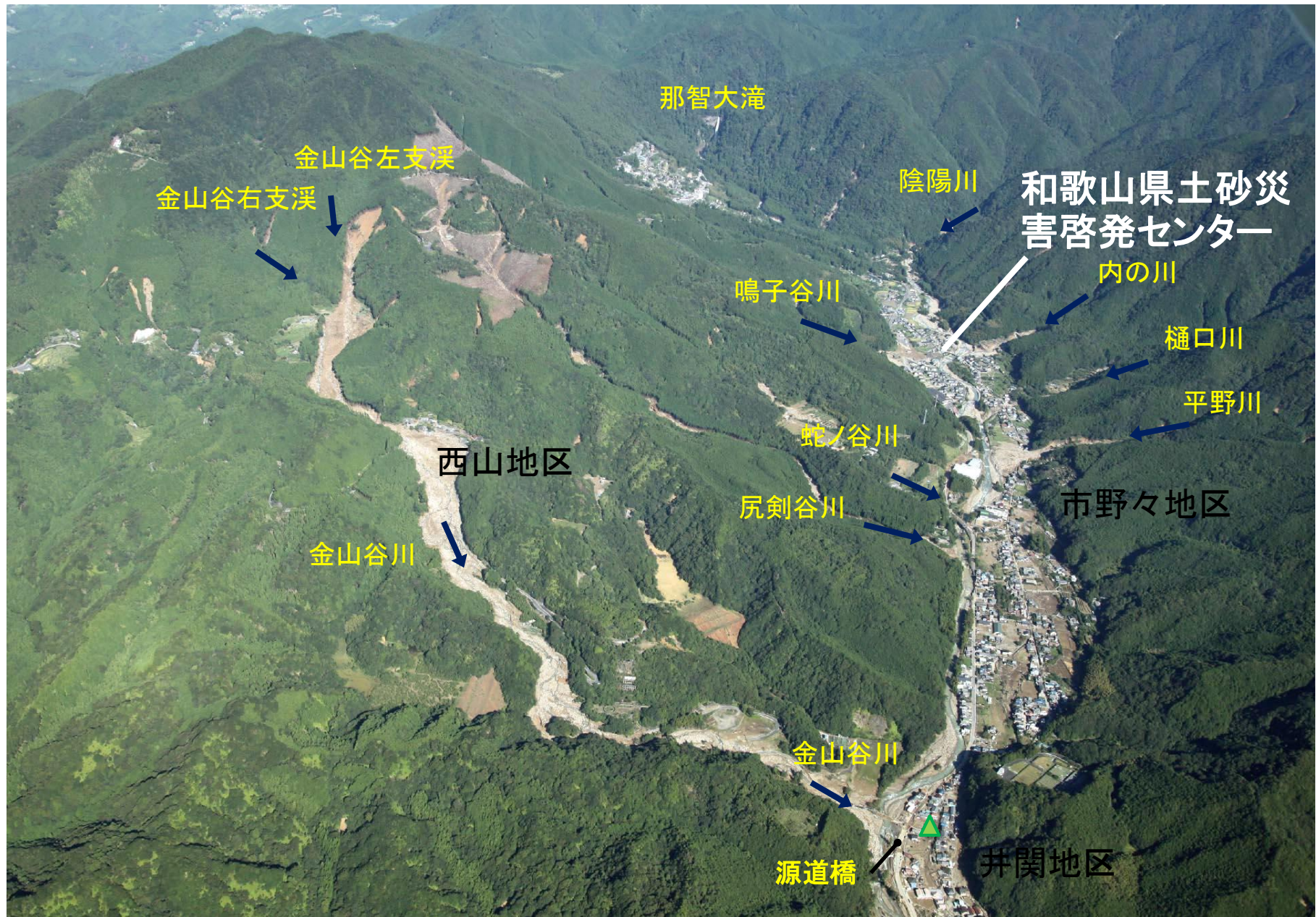


災害時を想定した溪流調査訓練

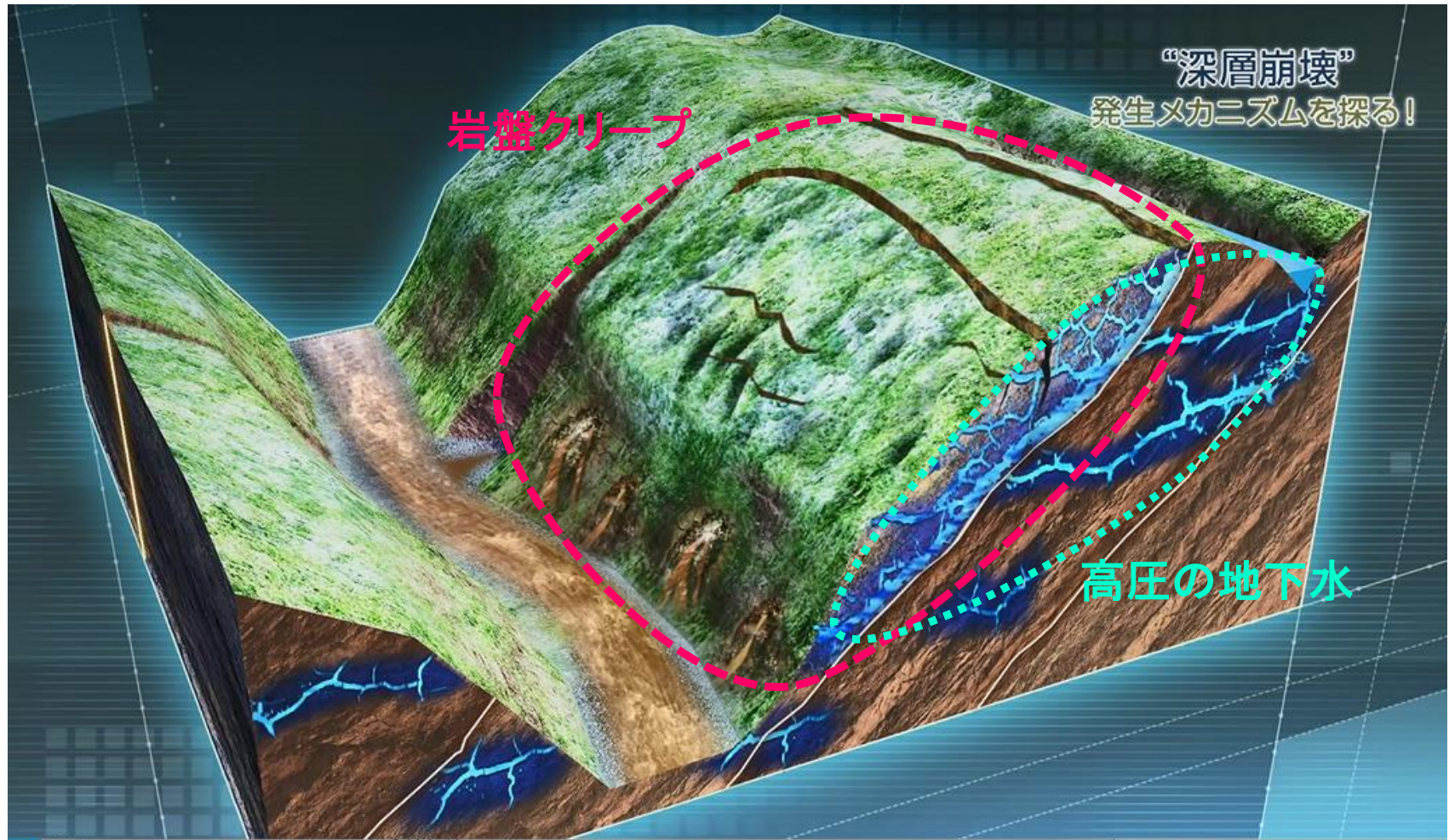


県道災害復旧に向けた技術支援

和歌山県土砂災害啓発センターについて

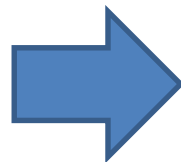


深層崩壊のリスク評価手法



深層崩壊の要因

- ・岩盤クレープ
- ・高圧の地下水



深層崩壊のリスク評価を検討

空中電磁探査で把握する地盤情報

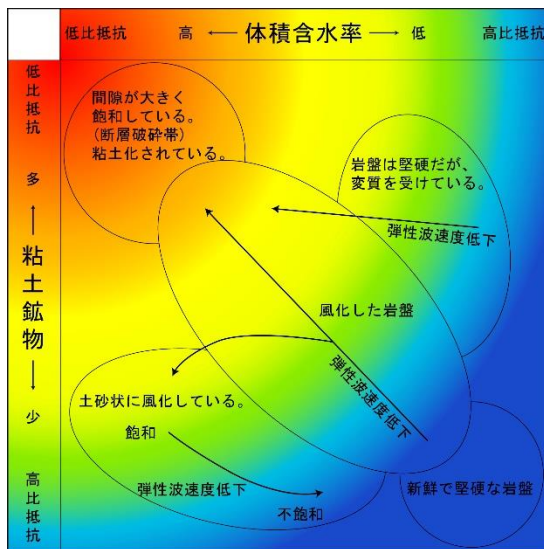
地下水調査としての『空中電磁探査』… 地盤の電気物性である比抵抗を調査

◆ 比抵抗

比抵抗は単位断面積を通る電流に対する単位長さ当たりの電気抵抗である。単位は $\Omega \cdot m$ (オームメートル)で、通常は記号 ρ で示す。

社団法人 物理探査学会編(2005) 新版 物理探査用語辞典

◆ 比抵抗と地下水・地質状況の関係



横軸: 体積含水率 (= 間隙率 × 飽和度)

… 地下水に関する情報

- ・ 間隙率が大きく、飽和度が高いほど低比抵抗
- ・ 間隙率が大きく、飽和度が小さいほど高比抵抗

縦軸: 粘土鉱物の含有量 … 地質情報

- ・ 新鮮岩の場合、泥質ほど低比抵抗
- ・ 風化・変質の程度が大きいほど低比抵抗

土木学会関西支部 比抵抗高密度探査に基づく地盤評価に関する調査・研究委員会 (1997):

比抵抗高密度探査に基づく地盤評価, 平成9年度講習・研究検討会テキスト, p. 107.

斜面スケールでの深層崩壊のリスク評価の新しい取り組み（空中電磁探査の活用）

2010年に六甲山でヘリコプター空中電磁探査を採用。2012～2014年に紀伊山系でヘリコプター空中電磁探査を採用。2010年からドローン空中電磁探査も合わせて採用。

航空機に探査装置を搭載して『電磁誘導』により地盤の比抵抗構造を非接触で取得する。

周波数領域 探査法

時間領域 探査法

- 周波数の異なる複数の電磁波を送信し、各々の電磁波に対する地中の応答を測定する。
- 測定周波数が探査深度に関係する。

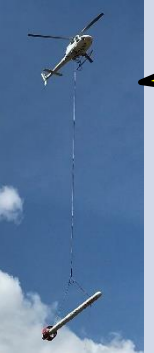
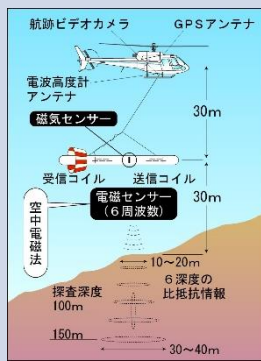
- 電流を切断することで生じる地中の磁場の時間変化を測定する。
- 電流切断の瞬間から早い時間帯は浅部の情報で、時間の経過とともに深部の情報が得られる。

測定方法

ヘリコプター

ドローン

2012～2014年に実施



1 時期計測

RESOLVE
Xcalibur -
Multiphysics社製

空中発信空中受信



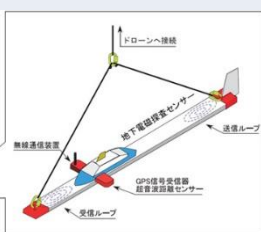
P-THEM
NUVIA Dynamics社製

空中発信空中受信



GREATEM
電力中央研究所らのグループが開発

地上発信空中受信



ドローン吊り下げ型電磁探査システム

産業技術総合研究所らのグループが開発

センサはGEM2 : Geophex社製

空中発信空中受信



D-TEM [AL]
ネオサイエンス社製



空中発信空中受信

本業務で使用したUAV空中電磁探査システム

電極 送信ユニット 発電機 100~1000m 送信ケーブル 発信装置 電極 受信センサ

D-GREATEM
ネオサイエンス社製

地上発信空中受信

2 時期計測

ドローンによる計測

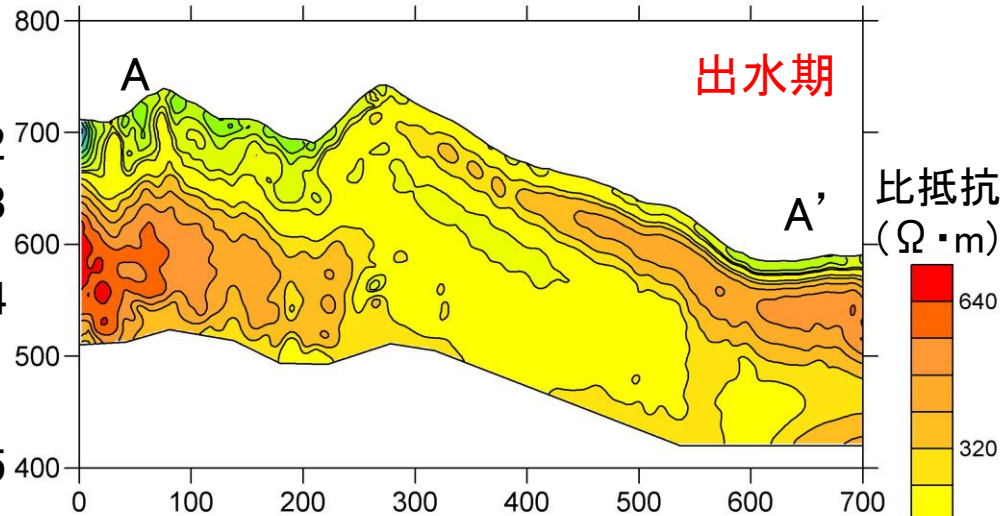


熊野地区でのドローン探査の結果



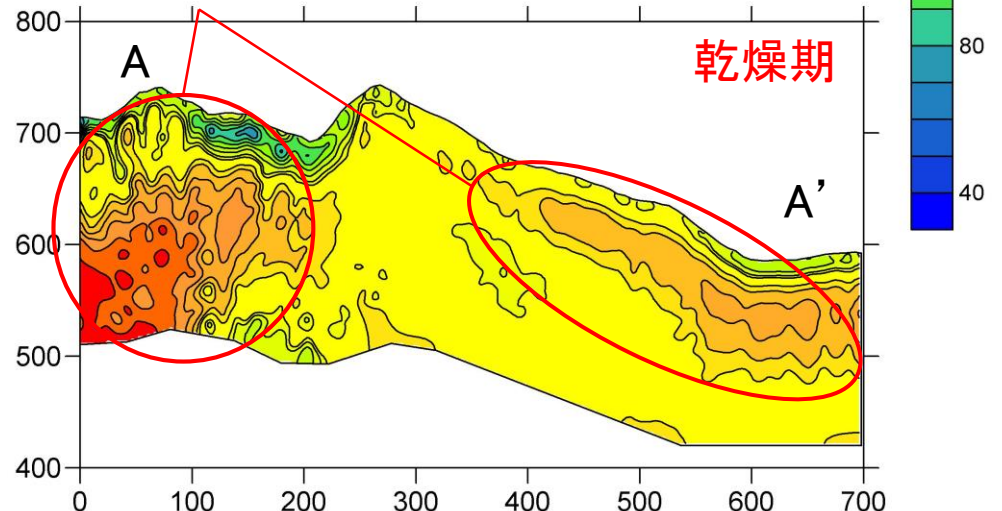
断層1
断層2
断層3
断層4
断層5

A Line 1回目



2020年台風14号による降雨(総雨量217mm) 終了3日後の比抵抗縦断分布図

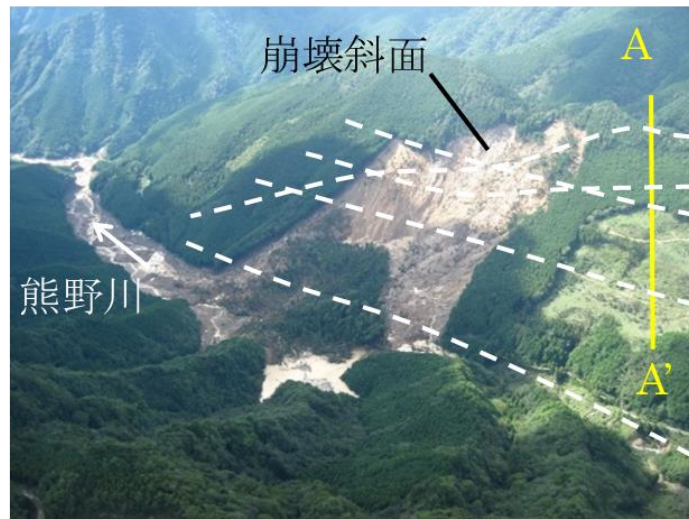
高比抵抗ゾーン A Line 2回目



乾燥期(2020年12月2日)の比抵抗縦断分布図

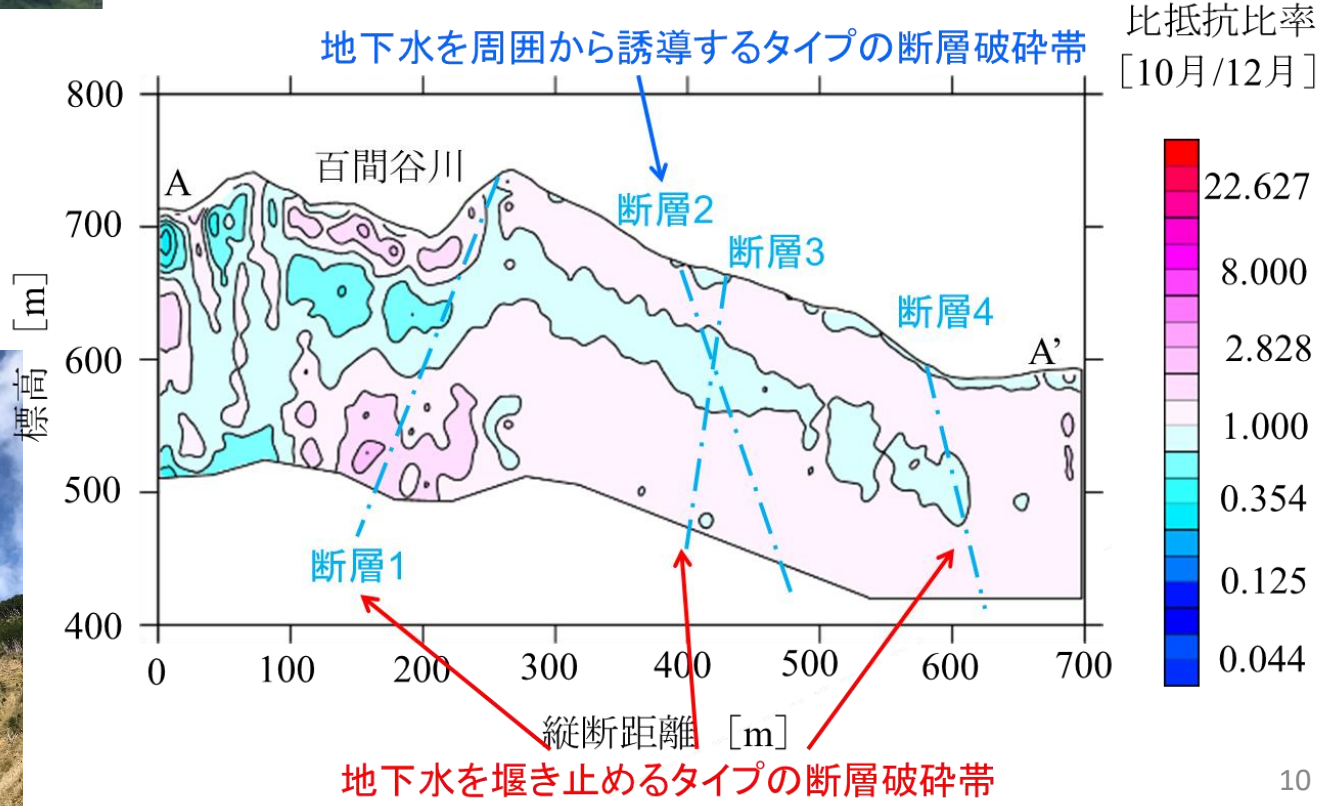
- ・出水期(台風14号直後)と乾燥期の2時期でそれぞれA-A'測線に沿ってドローン探査を実施。
- ・斜面にケーブルを引く必要が無いため、降雨終了3日後には計測できた。
- ・乾燥期の図からは、高比抵抗ゾーン(空隙が多いと思われる箇所)が良く分かった。
- ・一方で、2枚の図を見ても、ぱっと見、豪雨時の挙動は良く分からない。

深層崩壊地での調査事例(熊野地区:和歌山県田辺市)



断層1
断層2
断層3
断層4
断層5

深層崩壊発生箇所のすぐそばの未崩壊地で斜面に沿って測線を設置。2時期(10月の台風14号直後と12月の非出水期)の2回ドローンを飛ばして差分を取ると、**豪雨時の地下水の分布が可視化される。**



斜面スケールでの深層崩壊のリスク評価手法の検討

地形データ

斜面のひずみ率

ドローン
空中電磁探査

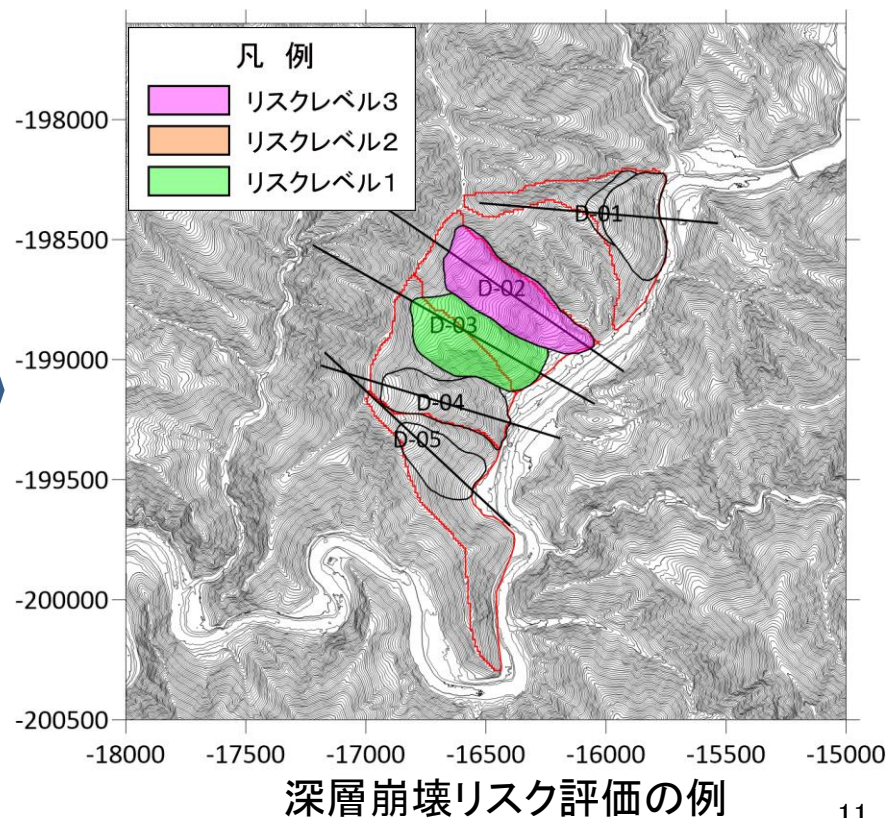
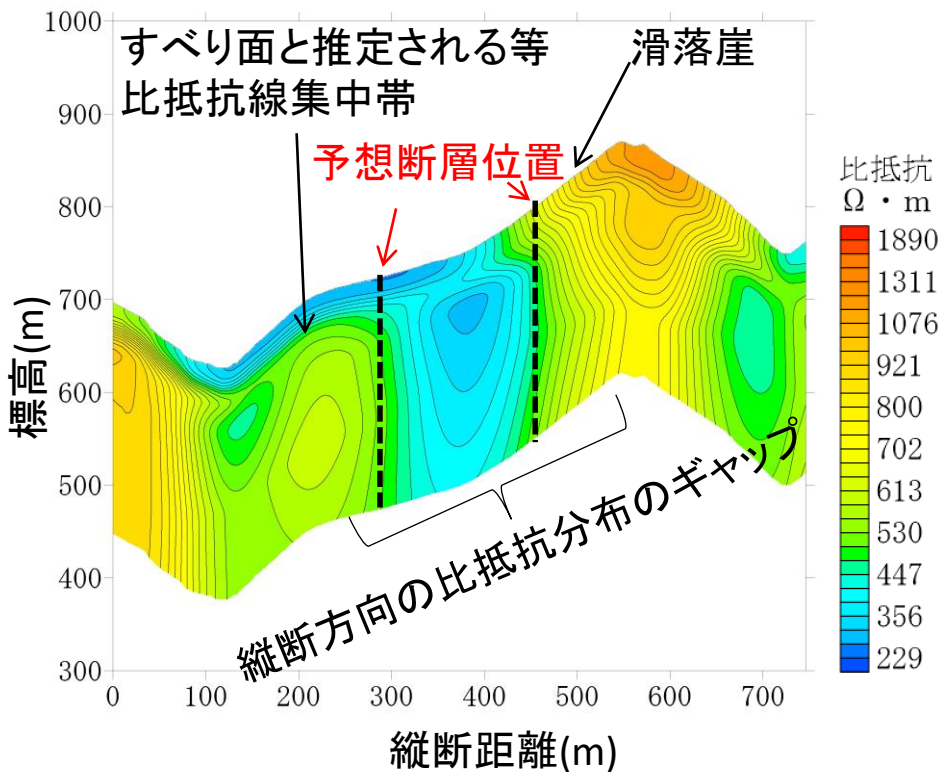
地下水が集中する
断層破碎帯の有無

ヘリコプター
空中電磁探査

すべり面の有無

ヘリコプター
空中電磁探査

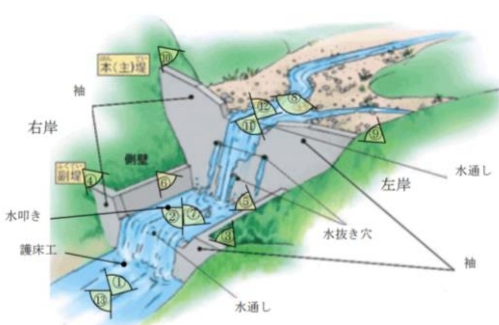
断層帯の有無



ドローンによる砂防施設の調査点検技術の開発

- ・砂防施設点検は、人の目視によって行っており、過酷な作業である
- ・これまで、ドローンは操縦者の目視内での運用がほとんどであった

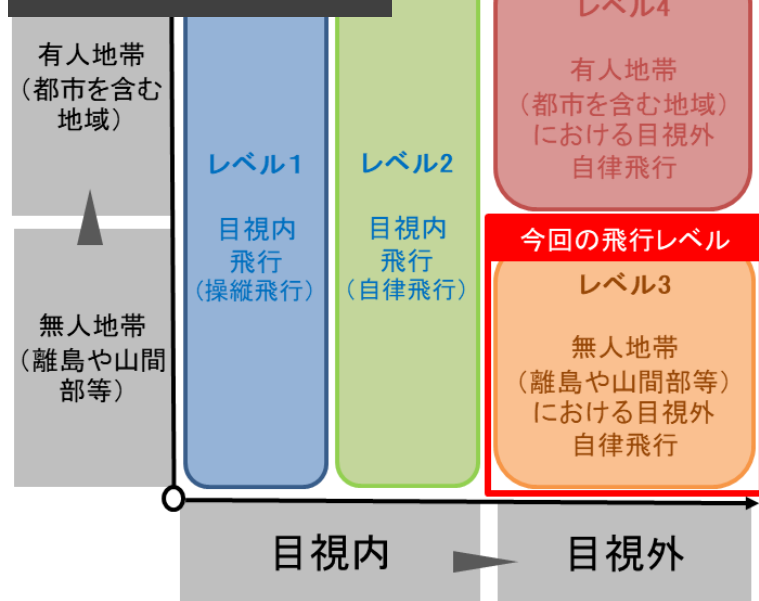
【砂防堰堤の写真撮影位置および撮影にあたっての留意点(例)】



砂防関係施設点検要領(案)より



レベル3飛行とは



無人地帯での目視外補助者なし自律(自動)飛行
事前に飛行ルートプログラムしておく

利点

- ・操縦者が立ち入り困難な環境でも運用可能
- ・長距離飛行で、ドローンの機能を最大限に発揮
- ・同じ飛行ルート、撮影アングルを再現可能

課題

- ・航空局への飛行申請が複雑かつ制約が多い
(ドローン機体の種類、安全に飛行できる条件)
- ・レベル3飛行の実績が少ない

ドローンを用いたレベル3飛行による点検・調査の実用化が求められる

ドローンによる砂防施設の調査点検技術の開発

実証実験(レベル3飛行+UAV基地)

・指示拠点から職員がパソコン操作のみでUAV基地内の機体にレベル3飛行を指示

離着陸地点

内の川近傍の大規模土砂災害対策技術センターの庭にUAV基地を設置した。
(内の川砂防堰堤まで直線距離約700m)



実証実験の様子



UAVのレベル3飛行による
砂防関係施設の全自動点検

実証実験(2021年12月)

CCTV画像による土砂移動検知

- 国土交通省では全国約24,000台以上あり、職員がリアルタイム動画で監視可能

紀伊山系砂防事務所HPより



紀南河川国道事務所HPより

国道42号 ライブカメラ



路線：国道42号 場所：串本町姫 306.1KP



CCTVカメラ(1)



CCTVカメラ(2)



CCTV画像による土砂移動検知

平成24年の台風4号による赤谷地区の被害状況



2枚/秒毎に輝度差分を作成して、輝度が一定値を超えた場合に「土砂移動検知」とする。

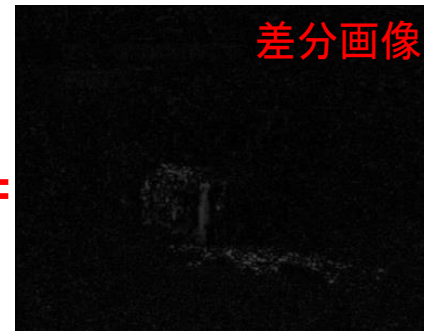
【平常時】



差分
-



=



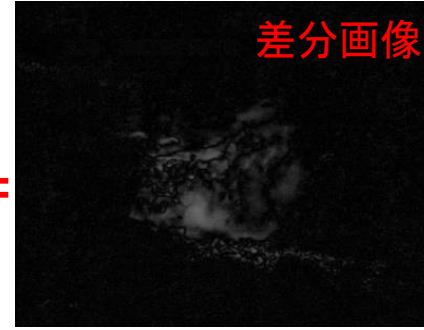
【土石流到達初期】



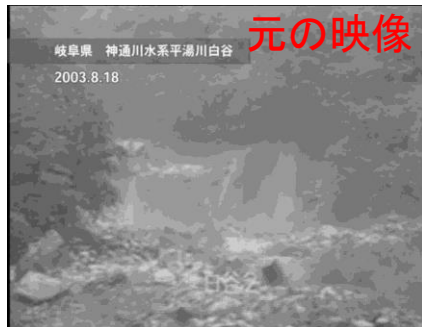
差分
-



=



【土石流流下時】



差分
-



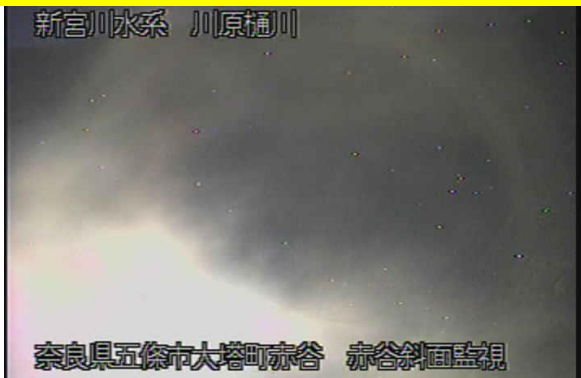
=



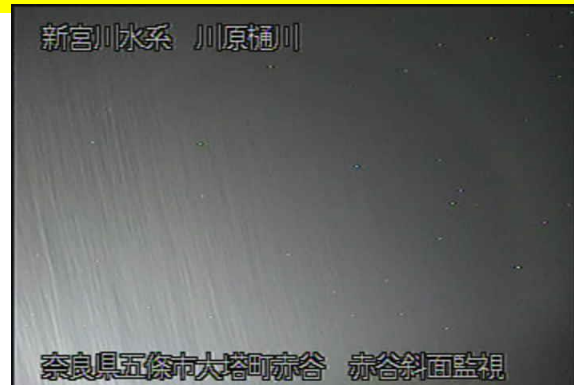
時間
↓
(差分画像の白い部分が多くなる)
土石流が流下に伴って差分画像の輝度が大きくなる。

図. 輝度差分画像の作成事例

誤検知事例



霧



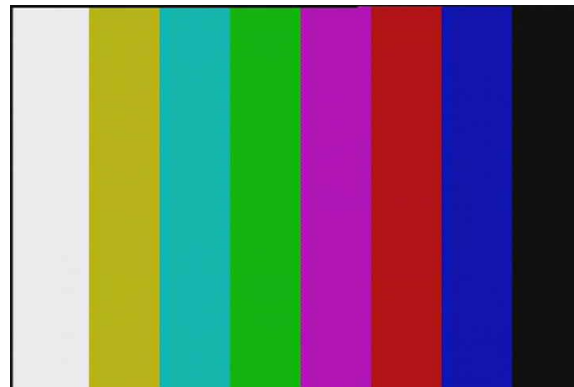
雨 (前後含め0.0mm/10min)



虫



ワイパー



テスト信号

(2021/04/16 12:11:20)



カメラ回転

(隣のカメラを見ている)

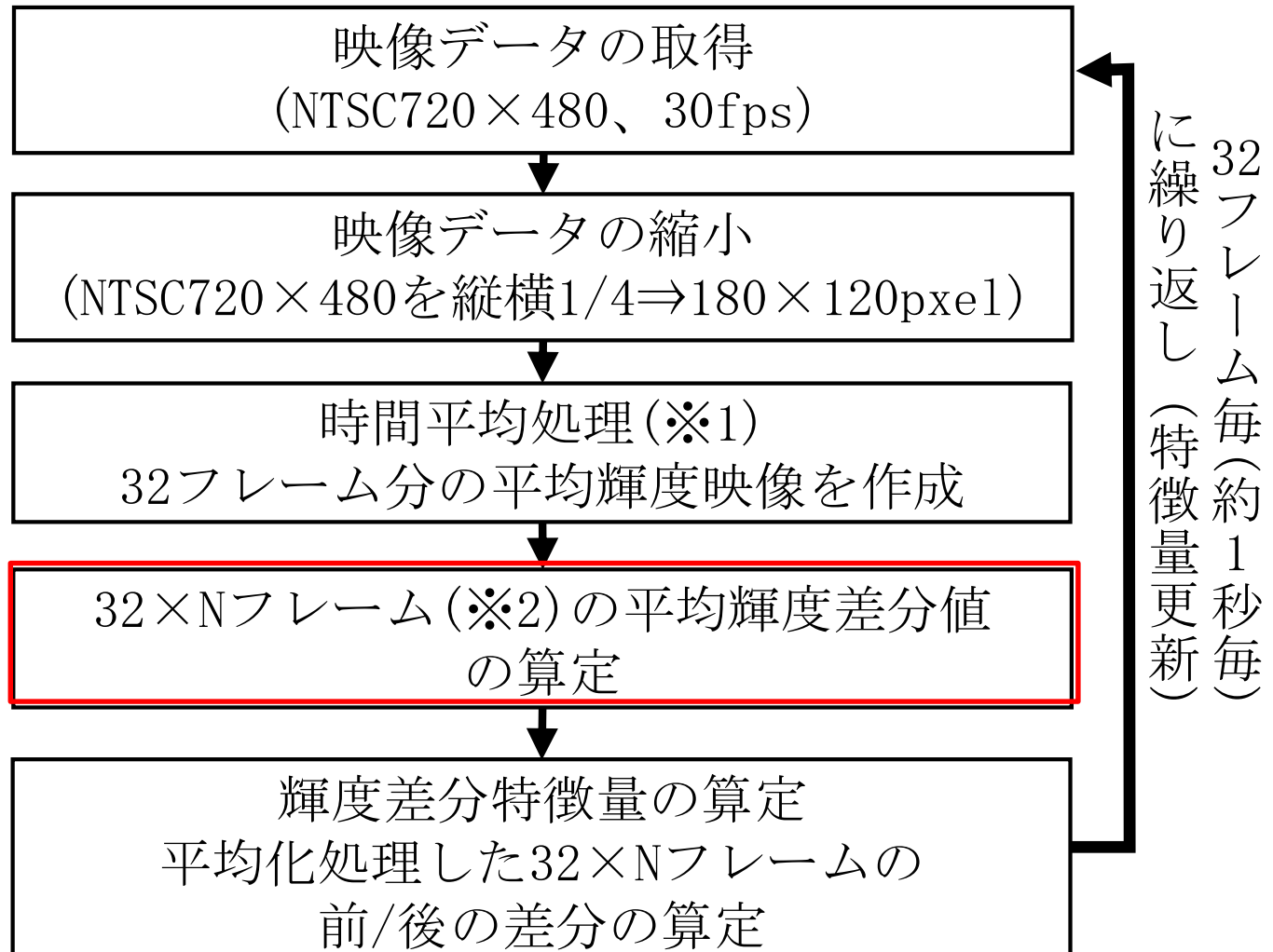


朝5:00頃(日射)

霧と雨を除くとその多くは短い期間の現象が多く、判定基準とする指標を長期指標に変更することで誤検知を大幅に削減することができると考えられる。

改良事例①

ワイパーや虫のような短時間で動く映像に反応しないために「時間平均画像」を採用する(後方の雨滴のような細かいノイズ的輝度差分の発生にも期待できる)。



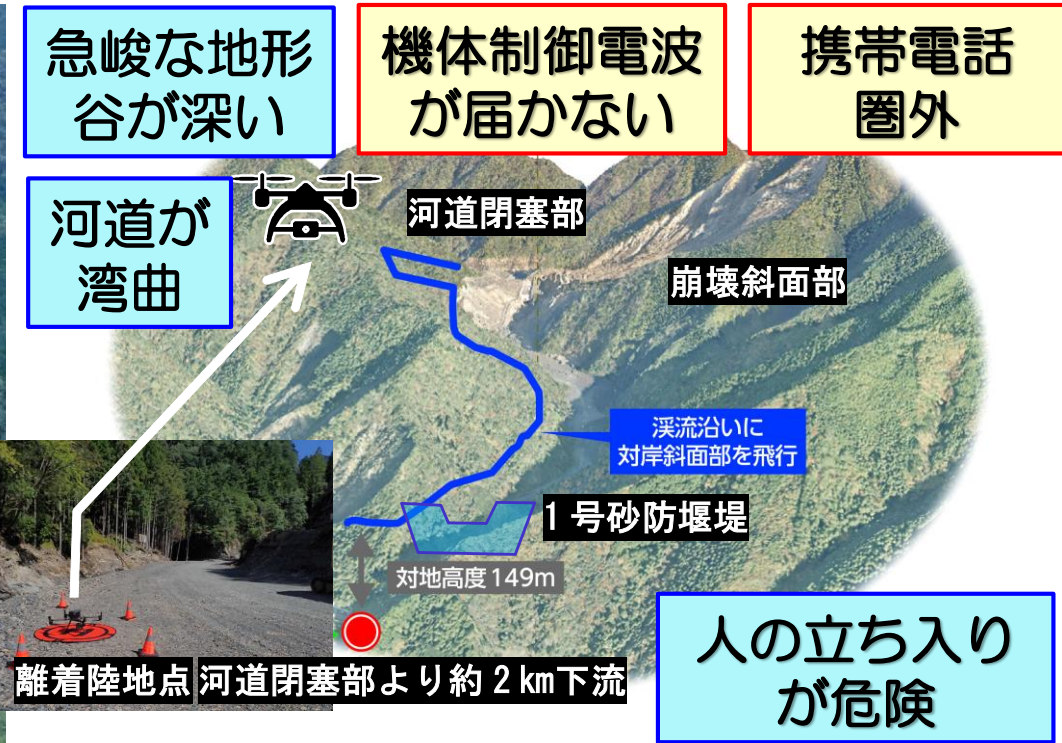
輝度差分値の特徴量の算定フロー

表. 32×8フレームの42日間の検知内容及び検知数

内容	回数	割合
雲の影の移動	576	78.26%
雨粒	6	0.82%
画像異常	3	0.41%
霧	18	2.45%
ビデオ映像欠測	2	0.27%
太陽光の入射	131	17.80%
不明	1	0.14%
計	736	100%
平均	17.5件/日	

- ・ 27.5件/日あった誤検知は17.5件/日まで減少。
- ・ ただし、「雲の影の移動」、「太陽光の入射」による誤検知が多い。

ドローンによる崩壊斜面の調査点検技術の開発



栗平地区における課題

- ・目視内飛行では操縦者の安全確保が困難
- ・安全な箇所からの目視外飛行では、操縦者と機体の通信が不安定で、安全なドローン飛行が困難

◇レベル3飛行認可手続き
(手続き手順の確認～申請)

◇通信電波の安定化

レベル3飛行認可の手続き、通信電波の安定化の二本柱が必要

目視内飛行

レベル
1

操縦飛行

レベル
2

自律飛行

目視外飛行

レベル
4

有人地帯
都市を含む地域



レベル
3

無人地帯
離島や山間部等



レベル3飛行 無人地帯での目視外自律飛行

ドローンによる砂防施設の調査点検技術の開発

ドローンの今後の活用例

- ・レベル3飛行が可能になることで、遠隔地からの長距離運用が期待される
- ・素早く、客観的なデータが取得できるため、災害時の対応も迅速化される

遠隔地からの点検・調査



飛行中にリアルタイムでデータを解析する



遠隔地に迅速に情報を提供可能であり、遠隔地からの操作も可能

施設点検の高度化



センシンロボティクス社 HPより
<https://www.sensyn-robotics.com/product/drone-hub>

Visual SLAM技術や、完全自動型格納庫を用いたUAVによる完全自動飛行

レベル3飛行を活用した点検・調査の効率化

ドローンによる施設点検とBIM/CIMモデルの活用

- ・UAVによる自動点検により、点検員の安全確保や作業の効率化が期待される
- ・3次元のBIM/CIMモデルで情報を集約することで、情報共有を容易にし、調査、設計、施工、維持管理、更新のシステム全体の効率化・高度化を図る

ドローンを活用した維持管理のBIM/CIMモデル

ドローン調査から取得・生成するデータ



2時期の3次元モデルを比較



出水前後の3次元モデルから変状を自動推定

貴重なお時間おつきあいいただきありがとうございました。
是非、土砂災害啓発センターにもお越し下さい。



和歌山県土砂災害啓発センター
大規模土砂災害対策技術センター

所在地：和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027番地6

TEL：0735-29-7532

