

土砂災害の流域監視技術開発に おける先進光学衛星への期待

国立研究開発法人 土木研究所
土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム
清水 孝一

平成28年7月28日
第2回先進光学衛星利用ワークショップ



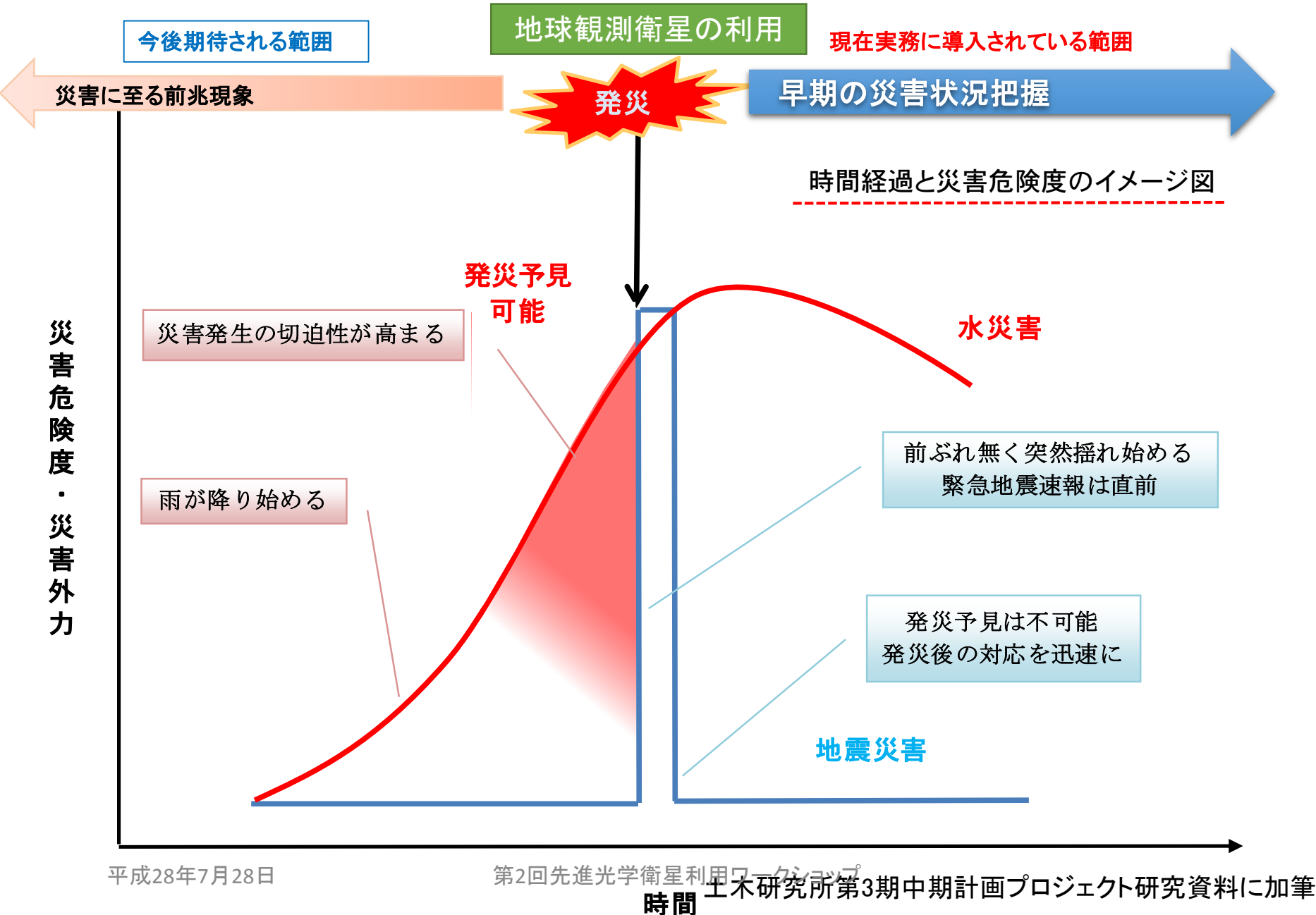
発表内容

- 土砂災害分野における衛星利活用の現状と課題
- 土砂災害分野における衛星利用の基礎技術
 - 研究事例の紹介
 - 土砂災害発生後の早期状況把握
 - 火山噴火後の早期状況把握
- 次世代光学衛星の何に期待するのか
 - 次世代光学衛星を利用した技術開発
 - 中長期間の流域監視
 - 火山噴火後の緊急対応
- まとめ

発表内容

- 土砂災害分野における衛星利活用の現状と課題
- 土砂災害分野における衛星利用の基礎技術
 - 研究事例の紹介
 - 土砂災害発生後の早期状況把握
 - 火山噴火後の早期状況把握
- 次世代光学衛星の何に期待するのか
 - 次世代光学衛星を利用した技術開発
 - 中長期間の流域監視
 - 火山噴火後の緊急対応
- まとめ

土砂災害分野における利活用の現状と課題



発表内容

- 土砂災害分野における衛星利活用の現状と課題
- 土砂災害分野における衛星利用の基礎技術
 - 研究事例の紹介
 - 土砂災害発生後の早期状況把握
 - 火山噴火後の早期状況把握
- 次世代光学衛星の何に期待するのか
 - 次世代光学衛星を利用した技術開発
 - 中長期間の流域監視
 - 火山噴火後の緊急対応
- まとめ

地球観測衛星による発災後の早期状況把握手法

NDVI(正規化植生指数)とGSI(粒度指数)による崩壊地の自動抽出

NDVI 及び GSI はそれぞれ次式で示される。

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3}$$

$$GSI = \frac{Band3 - Band1}{Band3 + Band2 + Band1}$$

GSI (粒度指数) は古田ら(2008)による

災害前植生域 = NDVI(植生域) - GSI(裸地域)
災害後非植生域 = GSI(裸地域) - NDVI(植生域)
崩壊地: 災害前植生域から災害後非植生域に変化した範囲

【災害前画像】



【災害後画像】



差分画像 = 災害後画像 - 災害前画像



図 1 植生の変化に着目した崩壊抽出のイメージ

表 3 評価結果

	面積による評価	箇所数による評価
抽出率	66%	57%
正答率	81%	—

表 4 崩壊地等の面積別の抽出率

崩壊地等の面積	抽出率
～200 m ²	抽出できず
～500 m ²	約 30%
～1,000 m ²	約 50%
～1,500 m ²	約 60%
～2,000 m ²	約 80%
～4,000 m ²	約 90%
4,000 m ² ～	約 100%

- 目視ないし自動判別による崩壊地の発生箇所を抽出
- 原理はシンプル、植生から裸地に変化
 - 光学: 地表の反射スペクトルが変化
 - SAR: 地表の後方散乱強度が変化
- これらをいかに速く、かつ正確に知る

火山噴火後の早期状況把握

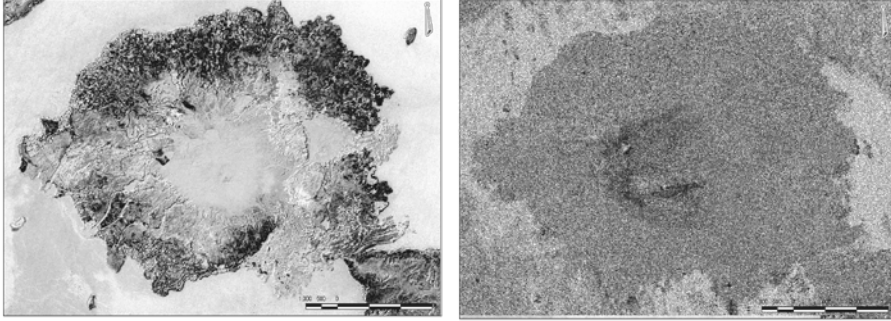


Fig.2 NDVI difference image and BSC difference image of Sakurajima volcano

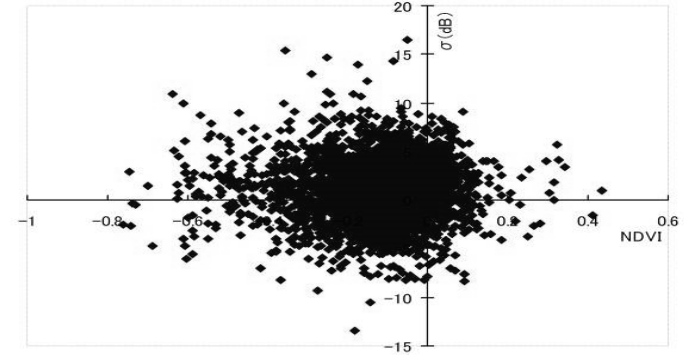


Fig. 4 Correlation between BSC difference images and NDVI difference images for Chaitén volcano

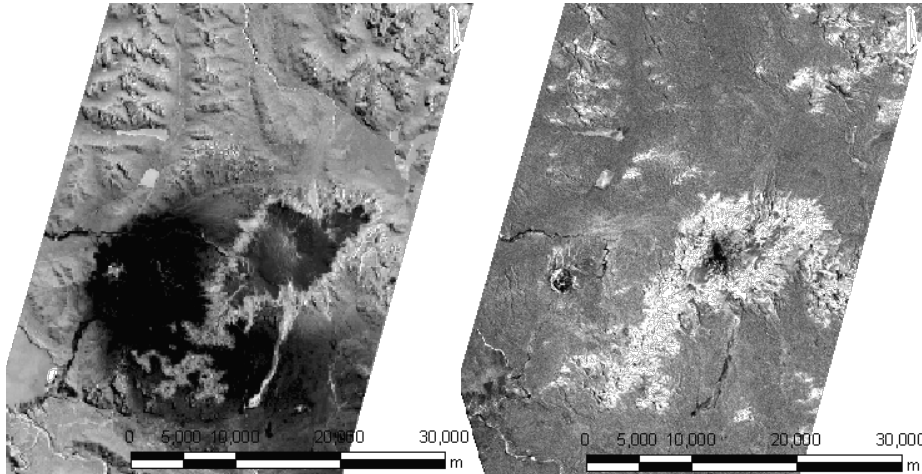


Fig. 3 NDVI difference image and BSC difference image of Chaitén volcano

- 桜島、チャイテン火山における光学(NDVI): 左、SAR後方散乱強度: 右の噴火前後の比較による変化域の把握
- チャイテン火山におけるNDVIと後方散乱強度の相関

Nakano, et al.: The evaluation of eruption induced sediment related disasters using satellite remote sensing –applications for emergency response

発表内容

- 土砂災害分野における衛星利活用の現状と課題
- 土砂災害分野における衛星利用の基礎技術
 - 研究事例の紹介
 - 土砂災害発生後の早期状況把握
 - 火山噴火後の早期状況把握
- 次世代光学衛星の何に期待するのか
 - 次世代光学衛星を利用した技術開発
 - 森林を介した中長期間の流域監視
 - 火山噴火後の緊急対応
- まとめ

土砂災害に関与する森林・水・土の相互作用

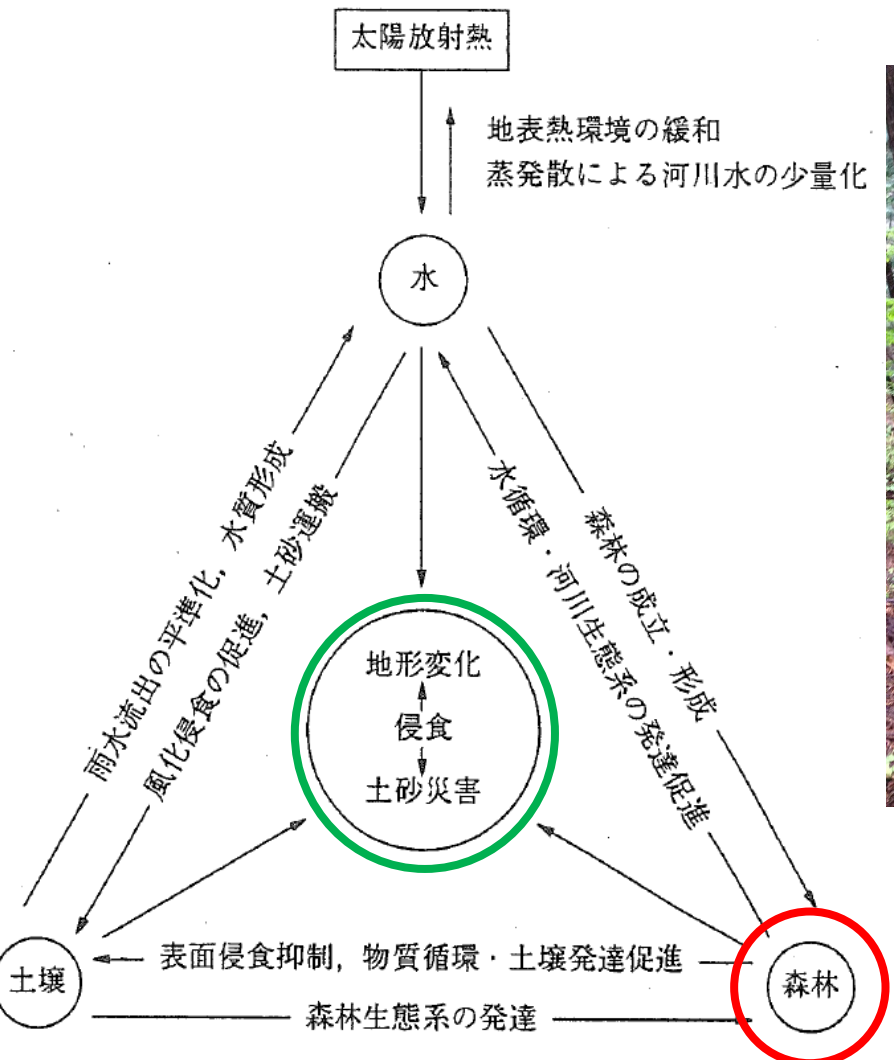


図 1.4 水, 森林, 土壌の相互作用

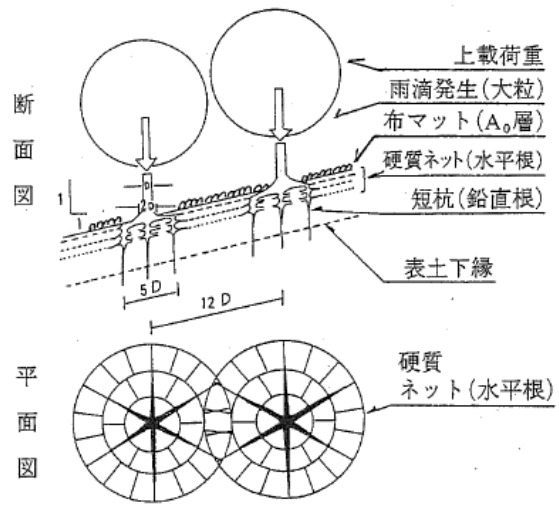


岐阜県揖斐川町の共有林

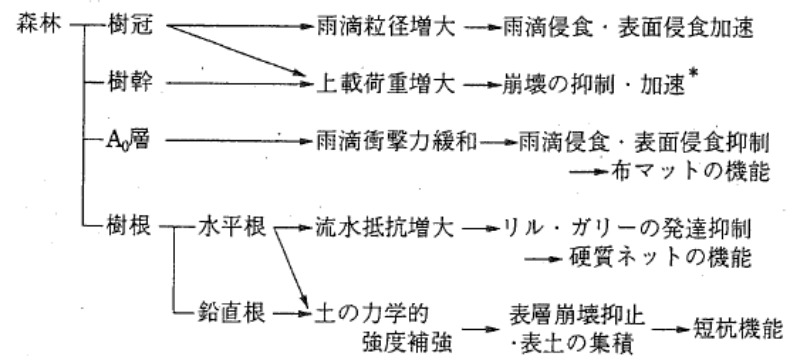
土(地形・地質) > 森林 > 水(降雨)

清水私見 土砂災害への三要素の時間的関与度

樹木による斜面侵食，斜面崩壊の抑制



(a) 機能のモデル化



*どちらに強く作用するかは斜面勾配による

(b) 機能の分類

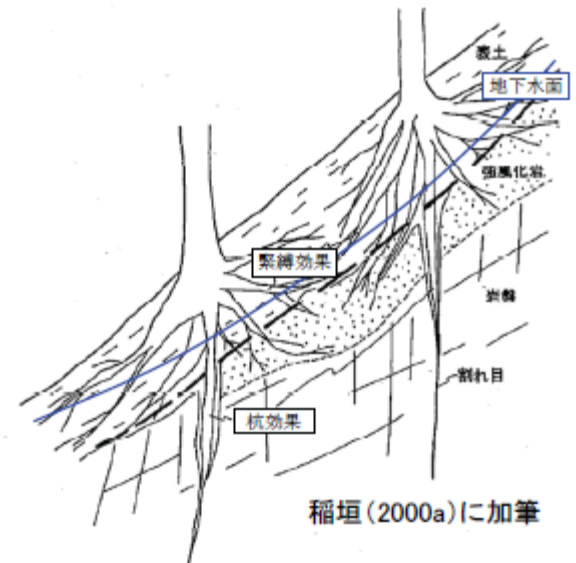
図 6.1 森林の表土保全機能モデル (塚本, 1987)

平成28年7月28日

塚本良則「森林・水・土の保全」より

表-2 植生の斜面安定への影響

良い面	①根系による土壌の緊縛効果 ②根系による杭効果 ③樹幹による侵食防止効果 ④根系吸水による間隙水圧低減効果 (サクション効果) ⑤根系進展に伴う地盤透水性の向上による排水促進
悪い面	①樹木揺動による地盤ゆるみの発生 ②根系侵入による岩盤割れ目の開口と崩壊助長 ③根系による岩盤の風化 ④根系進展に伴う地盤透水性の向上による浸透量増加 (間隙水圧上昇, 細粒分の流出)



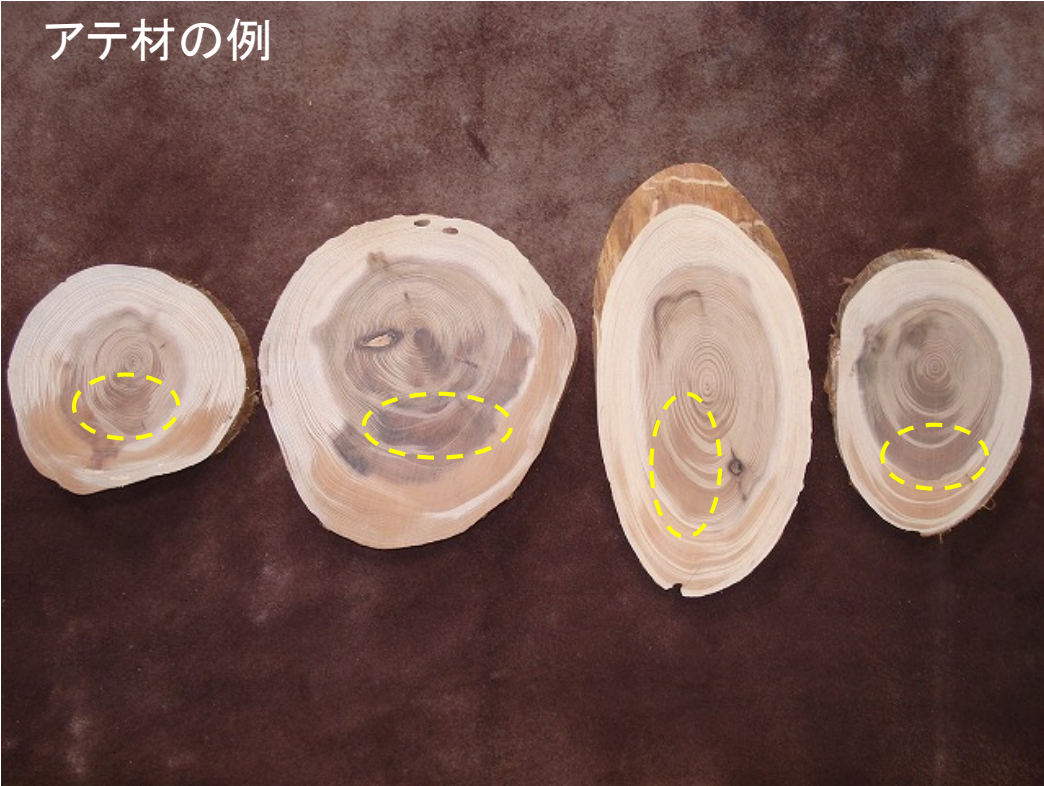
稲垣(2000a)に加筆

図-1 樹木根系の斜面崩壊抑制効果

第2回先進光学衛星利用ワークショップ

今井 久: 樹木根系の斜面崩壊抑止効果に関する調査研究, ハザマ研究年報(2008.12)

樹木に発生したストレスの記録　―　アテ材　―



アテ材の例



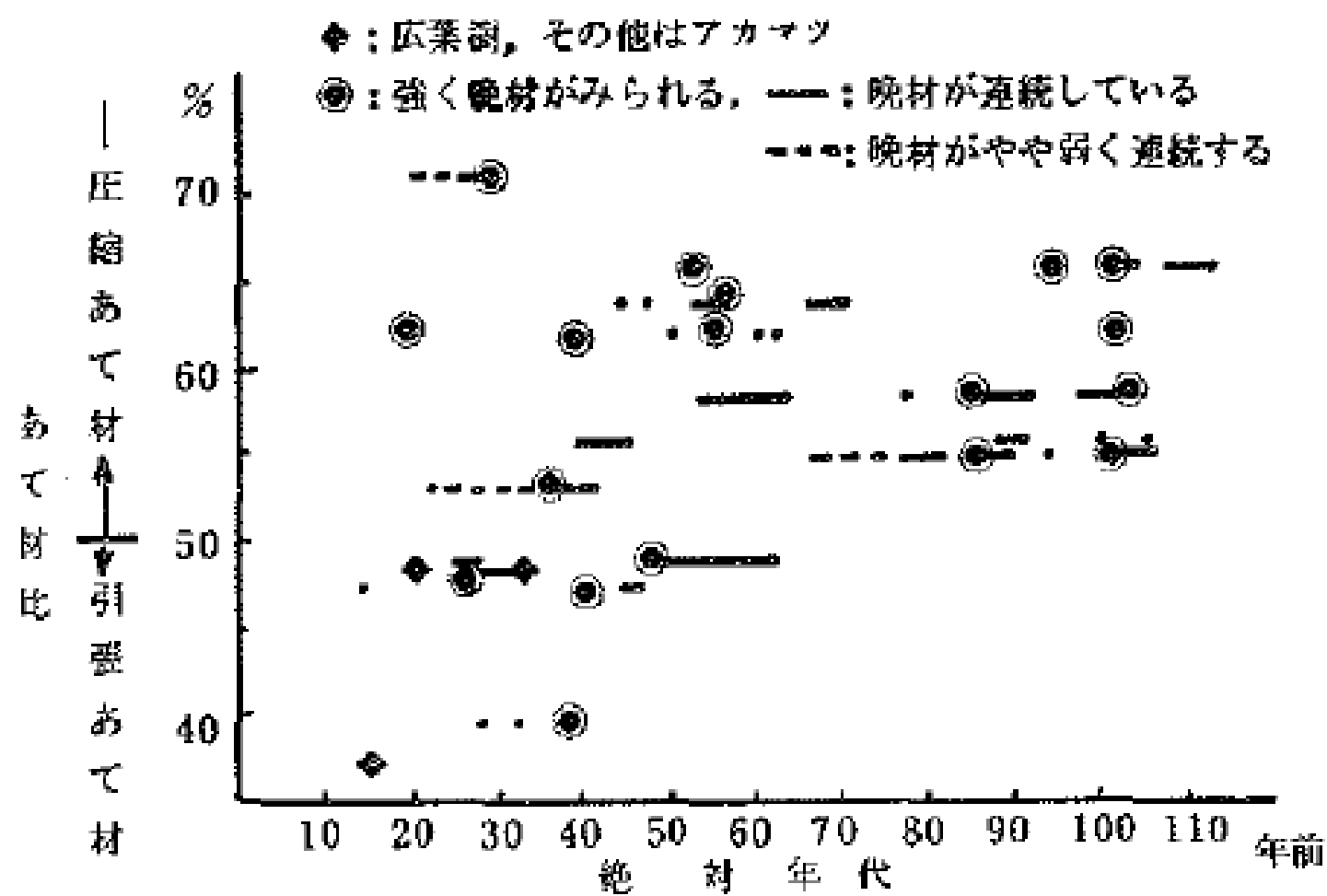
森林インストラクターの天杉太郎さんのブログより
豪雪を生き抜く越後の天然杉を紹介「越後の天杉日記」

アテ材の発生メカニズム: 樹木が生長する環境(たとえば傾斜地、風がつねに一方向から吹き続けるような場所のような...)が、鉛直方向と異なる方向より伸長成長する場合、樹木は鉛直方向に体制を立て直そうとする。その際「あて材」が形成される。針葉樹の場合は「圧縮あて材」、広葉樹の場合は「引張りあて材」が形成され組織構造的にも生成メカニズムも異なる。

アテ材の発生位置
(岐阜県揖斐川町の共有林)

写真にある幹曲がりとは斜面変状によるものではなく冬季積雪荷重(平均2m程度)によるものと考えられる。

地すべり地内におけるアテ材発生の調査事例



図一14 地附山地すべり地内のアカマツ天然木にみられ
あて材の絶対年代

植生の活性度を用いた斜面崩壊の危険度推定手法

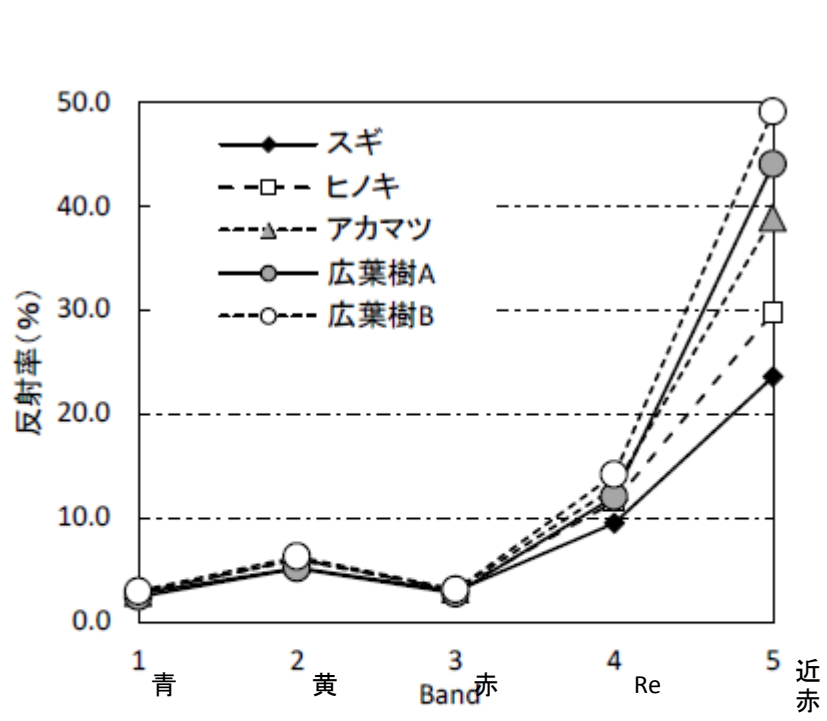
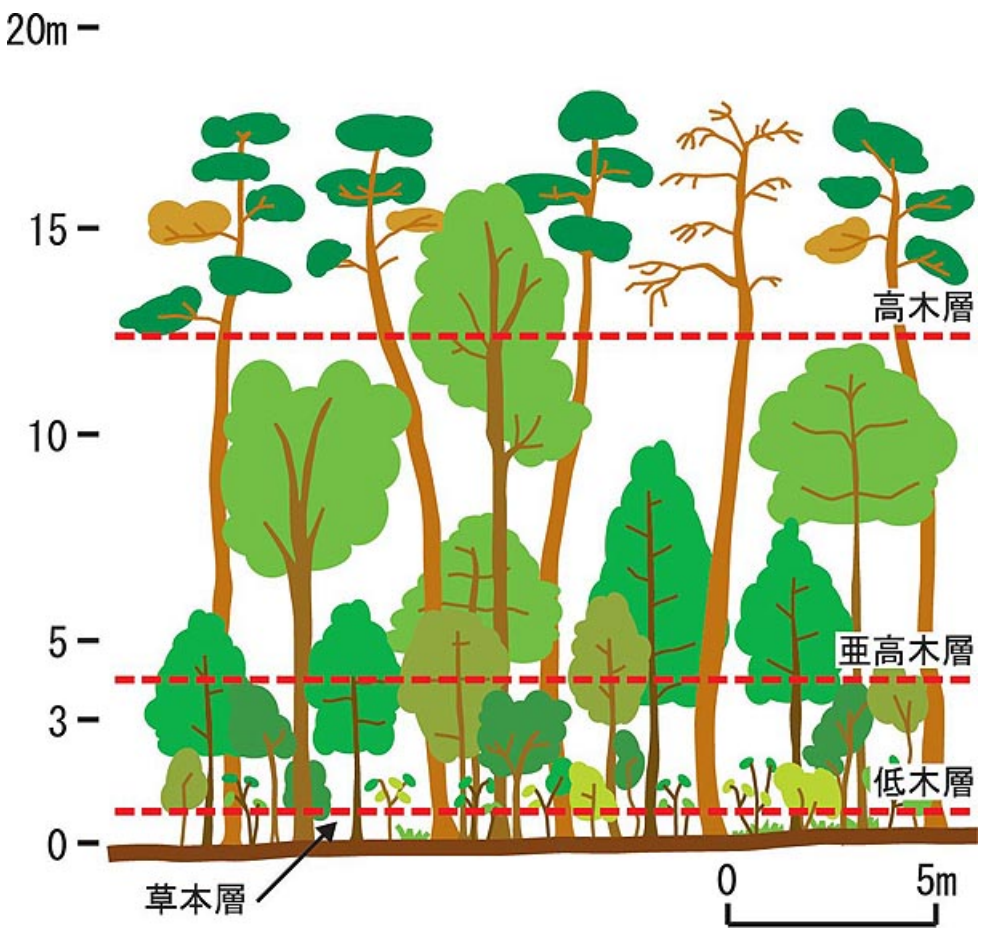


図3 トレーニングエリアにおける各植生の反射率
(2011年7月6日撮影画像)



アカマツの階層構造模式図

後藤ら: RapidEye 衛星の Red edge バンドを用いた森林タイプ分類の精度向上に関する検討-岐阜県御嵩町を例として-

岡山理科大学: 植生学 (旧 植生環境科学) I. 群落の構造と分布

潜在的に土砂災害の危険度が高いと推定される範囲

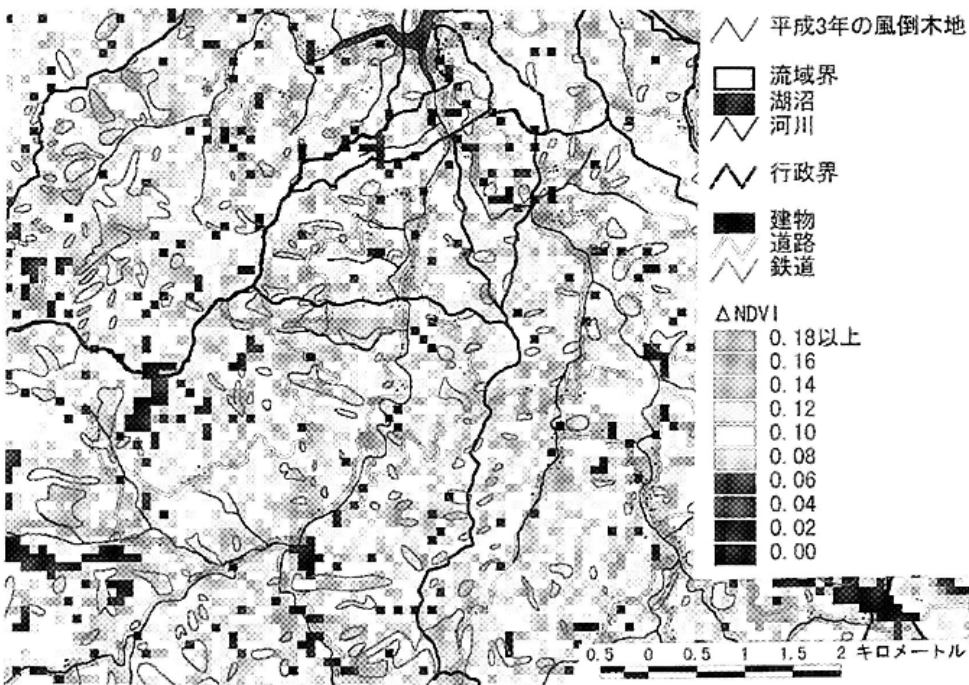
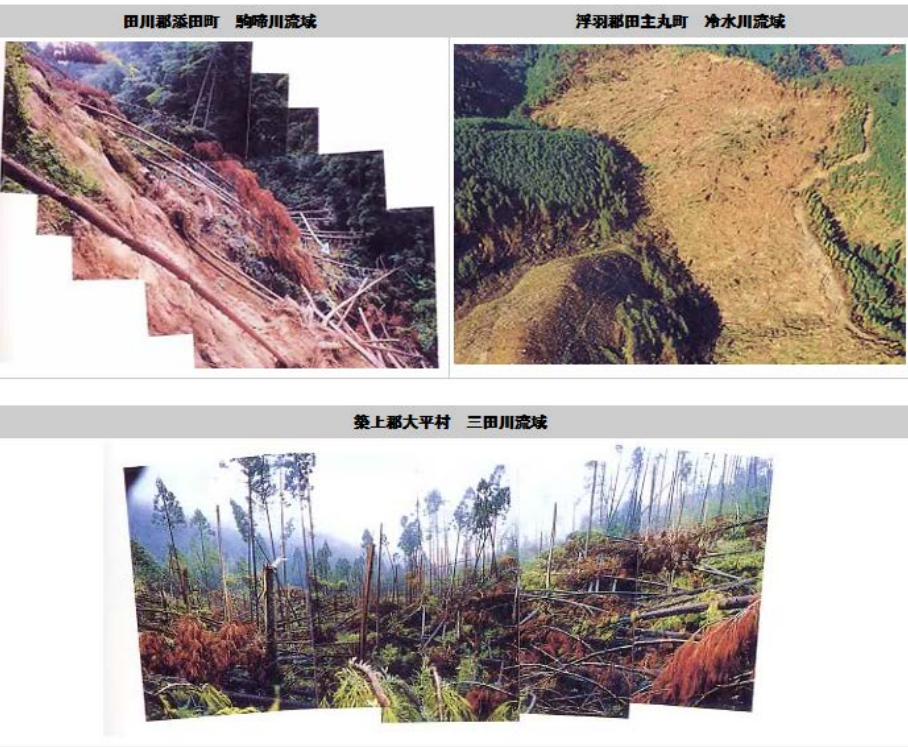


図-9 ΔNDVI と 1993 年崩壊地の分布図
Fig.9 ΔNDVI versus the distribution of wind-fall trees area in 1993

平成3年(1991年) 風倒木災害 福岡県

松村ら(2000): リモートセンシングを用いた風倒木発生周辺域における斜面安定性評価 より

- 質的森林劣化：森林の構造や機能の劣化
- 量的森林劣化：樹冠被覆・炭素蓄積量・バイオマスなど計量可能な因子の減少

先進光学衛星の概要(2/2)

先進光学衛星に搭載する広域・高分解能センサ(光学センサ)の主要諸元を以下に示す。

表 広域・高分解能センサの主要諸元

項目	性能	参考(「だいち」との比較)
光学系	軸外し4枚鏡タイプ	軸外し3枚鏡タイプ
観測 波長帯	パングロ 0.52 μ m～0.76 μ m マルチ バンド1 0.40 μ m～0.45 μ m*1 バンド2 0.45 μ m～0.50 μ m バンド3 0.52 μ m～0.60 μ m バンド4 0.61 μ m～0.69 μ m バンド5 0.69 μ m～0.74 μ m*1 バンド6 0.76 μ m～0.89 μ m	パングロ 0.52 μ m～0.77 μ m マルチ バンド1 0.42 μ m～0.50 μ m バンド2 0.52 μ m～0.60 μ m バンド3 0.61 μ m～0.69 μ m バンド4 0.76 μ m～0.89 μ m
地上分解能(GSD)	パングロ : 0.8m / マルチ : 3.2m	パングロ : 2.5m / マルチ : 10m
MTF*2	パングロ : 0.1 / マルチ : 0.2	パングロ : 0.2 / マルチ : 0.2
S/N*3	パングロ : 200 / マルチ : 200	パングロ : 70 / マルチ : 200
量子化ビット数*4	11 bit	8 bit

*1 多種・多様な利用への対応のため、センサシステムとして成立性を確認した2バンド(Coastal/Red edge)を追加。

*2 コントラスト伝達関数とも呼ばれ、光学系の解像力を表す評価指標

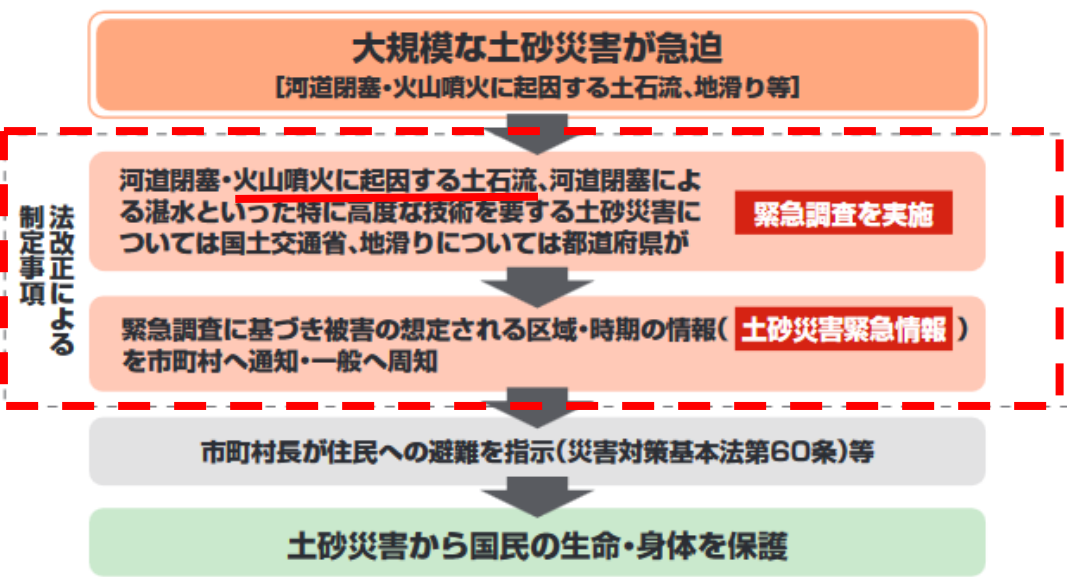
*3 信号雑音比

*4 アナログ信号からデジタル信号への変換に必要となる量子化ビット数を何段階の数値で表現するかを示す値

発表内容

- 土砂災害分野における衛星利活用の現状と課題
- 土砂災害分野における衛星利用の基礎技術
 - 研究事例の紹介
 - 土砂災害発生後の早期状況把握
 - 火山噴火後の早期状況把握
- 次世代光学衛星の何に期待するのか
 - 次世代光学衛星を利用した技術開発
 - 森林を介した中長期間の流域監視
 - 火山噴火後の緊急対応
- まとめ

火山活動時の土砂災害危険度推定基礎情報の収集



- 火山噴火に起因する土石流
〈国土交通省が実施〉
- ・ 河川の勾配が10度以上である区域のおおむね5割以上に1cm以上の降灰等が堆積した場合
 - ・ おおむね10戸以上の人家に被害が想定される場合

国土交通省:土砂災害防止法の一部改正について
平成28年7月28日

- 土砂災害防止法に基づく緊急調査法(29条)
- 火山噴火に起因する土石流の発生により被害を受けるおそれのある範囲をシミュレーションにより推定
- その際に必須の基礎データとして火山噴出物(主には火山灰)の堆積範囲、堆積厚、土質(粒径など)が必要
- 簡易な降灰分布推定手法(部分的な降灰厚分布情報から降灰の面積と層厚の関係(Hayakawa(1985)による簡便式)により等層厚線を推定する方法)をとっている
- 現地調査などにより降灰の堆積厚を調査するが、噴火時には立ち入り規制区域が設けられるため上流域の堆積厚は実測調査ができない
- 範囲に加え堆積厚を推算する方法の開発は喫緊の課題である

まとめにかえて

- SARでは干渉SAR技術による微小変動の抽出手法を用い兆候を検知することが国土地理院で実施され、さらに様々な機関で手法の研究が実施されている
 - 深層崩壊は重力変形の蓄積が進み、突発的な誘因の発生などにより発生するとされる。この変形の蓄積が干渉SAR、スタッキングなどで把握できないか
- 光学衛星画像を用いた土砂災害の兆候を検知あるいは危険度を推定する新たな調査・研究、技術開発が期待される
- このことにより、発生した土砂災害の検知から危険度分析の基礎データに利用範囲を拡張、対応範囲をリカバリーからモニタリングおよびアセスに拡大することが可能になると考えられる

参考文献(順不同)

- 塚本良則(1998): 森林・水・土の保全より樹木, 朝倉書店
- JAXA(2016): 先進光学衛星プロジェクト移行審査の結果について, 科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会宇宙開発利用部会資料
- 天杉太郎(2015): 豪雪を生き抜く越後の天然杉を紹介「越後の天杉日記」,
<http://tensugi.blog119.fc2.com/blog-entry-16.html>
- 後藤ら(2013): RapidEye衛星のRed edgeバンドを用いた森林タイプ分類の精度向上に関する検討, システム農学
- 吉川ら(2010): 地球観測衛星ALOS(だいち)による崩壊地の抽出手法について, 砂防学会研究発表会概要集
- 伊藤ら(1996): 分校反射特性を用いた植生の植被率と活性度の分離, 日本リモートセンシング学会誌
- Nakano,et(2011): The evaluation of eruption induced sediment related disasters using satellite remote sensing –applications for emergency response
- 北澤(1986): 1985年長野県地附山地すべりについて
- 国土交通省: 土砂災害防止法の一部改正について<http://www.mlit.go.jp/common/000143303.pdf>
- 福岡県県土整備部砂防課: 県内の主な土砂災害 事例5: 平成03年(1991年)風倒木災害
<http://www.sabo.pref.fukuoka.lg.jp/jirei/jirei5.html>
- 松村ら(2000): リモートセンシングを用いた風倒木発生周辺域における斜面安定性評価, 砂防学会誌, Vol. 53, No. 2, p. 5-12
- 木佐ら(2012): 火山噴火後に降灰分布を速やかに推定する手法, 土木資料54-3
- 岡山理科大学: 植生学(旧 植生環境科学)<http://had0.big.ous.ac.jp/gakunai/vegetation/vegetsci.htm>