公益社団法人 日本地すべり学会東北支部

平成 30 年度シンポジウム

高精度地形データの地すべり調査での 活用と方向性

主催:公益社団法人日本地すべり学会東北支部

日程: 平成30年4月16日(月) 14:00~17:30

場所:仙台市戦災復興記念館記念ホール

CPD: 3.25 時間((公社)日本地すべり学会,(一社)建設コンサルタンツ協会)

公益社団法人 日本地すべり学会東北支部 平成 30 年度シンポジウム 「高 精 度 地 形 デ ー タ の 地 す べ り 調 査 で の 活 用 と 方 向 性 」

【趣旨】

20世紀の世紀末、地形計測技術に革命が起こった。航空機搭載型レーザー地表計測システム (LiDAR: Light Detection and Ranging)が日本にも導入され航空測量各社で運用が始められた。以来、国土交通省による一級河川流域でのLiDAR計測が進められ、火山砂防の分野や地すべり対策分野においても高精度の地形計測が行われてきた。その結果、5m グリッドの地形情報が整備・無料提供され、GIS の活用で個人レベルでもさまざまなスケール、さまざまな表現法で地表形態を細密に表現出来るようになった。当然、地表の乱れを引き起こす地すべり現象の解明や対策に従事する本学会員にとって、これらのデータは現状把握あるいは異なる時期間での変位・移動過程までを知る強力な武器を得たことになる。

本シンポジウムでは、この地形計測技術のブレーク・スルーがこの 20 年間にいかなる成果をもたらし、今後どのように展開・発展するかについて議論していきたい。

【キーワード】

地すべり地形 LiDAR UAV DSM データ DEM データ 地形解析 地すべり調査

【講演目次】 (資料参照ページ)

○基調講演 (14:05~15:20)

「国土地理院の地形計測ーこれまでとこれからー」 (p1-63)

宇根寛氏(国土地理院 地理地殻活動センター長)

(15:20~15:30) ~ 休憩 ~

〇講演 (15:30~15:45)

「地形図革命をいかに生き残るか!」 (p64)

八木浩司氏(山形大学 地域教育文化学部教授)

 $(15:45\sim16:10)$

「航空レーザ測量を活用した斜面変動の調査と対策」 (p65-82)

大粒来茂樹氏(国際航業株式会社 東北支社主任)

 $(16:10\sim16:35)$

「UAV 空撮による高分解能 DSM データの地すべり調査での活用事例」

(p83-94)

土佐信一氏(国土防災技術株式会社 技術本部 第二技術開発センター長)

〇総合討論 (16:35~17:30) 司会(コーディネーター): 八木浩司氏 池田浩二氏

話題提供:「DEM データの活用事例」 池田浩二氏

(株式会社東北開発コンサルタント)



国土地理院の地形計測これまでとこれから

2018.4.16 公益社団法人日本地すべり学会東北支部 シンポジウム

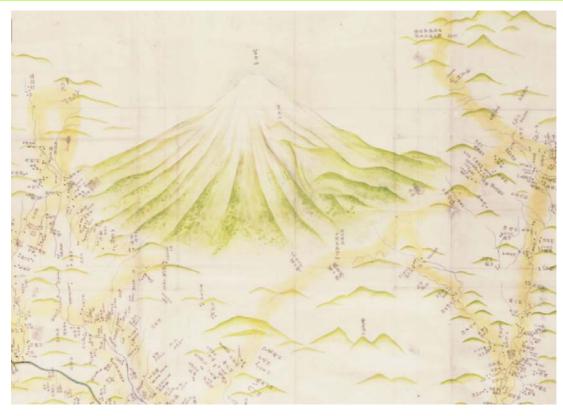
高精度地形データの地すべい調査での活用と方向性

国土地理院 宇根 寛

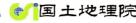
国土地理院

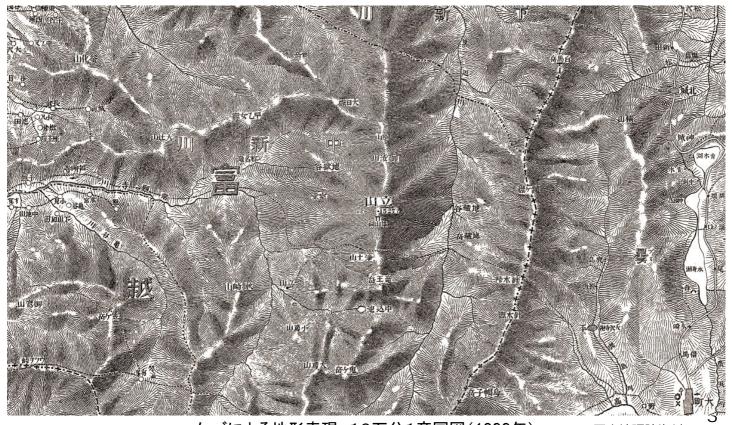
Geospatial Information Authority of Japan

地形計測のこれまで: 詳細かつ面的な計測への挑戦 ^{(*) 国土地理院}



伊能大図に描かれた富士山

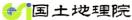




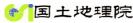
ケバによる地形表現 10万分1帝国図(1899年)

国土地理院資料

地形計測のこれまで: 詳細かつ面的な計測への挑戦



- ●現地での実測(平板測量)
- ●写真測量
- ●リモートセンシング
- ●航空レーザ測量



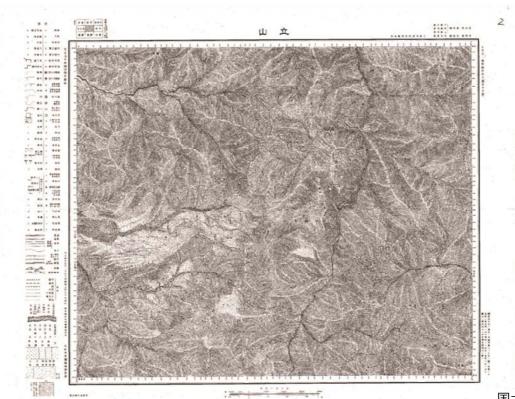
●現地での実測(平板測量)



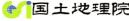
5 松原企画設計事務所ホームページより

地形計測のこれまで: 詳細かつ面的な計測への挑戦

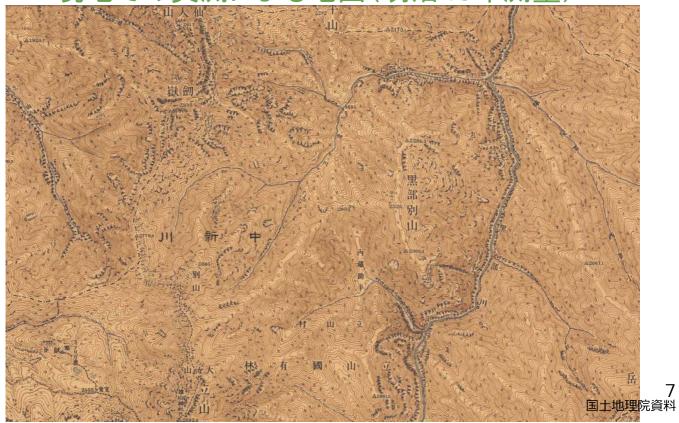
●現地での実測による地図(明治45年測量)



6



▶現地での実測による地図(明治45年測量)



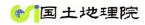
地形計測のこれまで: 詳細かつ面的な計測への挑戦

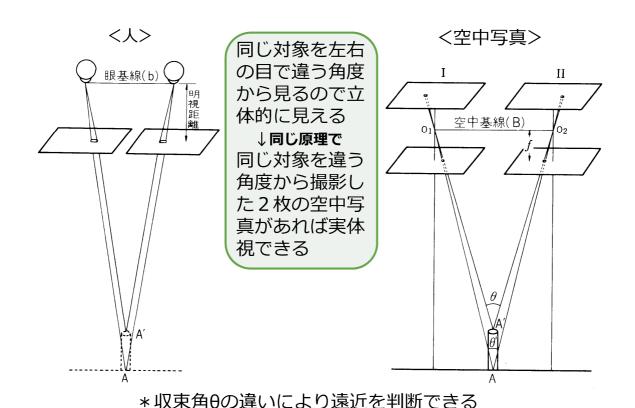
- ●写真測量による地図作成
- ✓ 空中写真を使った地図作成は戦前から試験的に行わ れていた。
- ✓ 1964年に国土地理院が空中写真を用いて日本全国を 2万5千分の1地形図でカバーするとの目標を示し、そ れ以降急速に整備が進んだ。
- ✓ 1983年までに全国整備がほぼ完成。





8



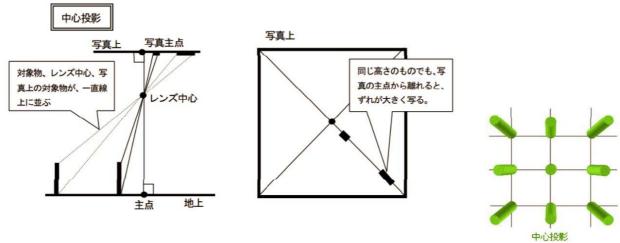


写真測量の原理

一国土地理院

国土地理院資料

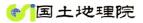
9

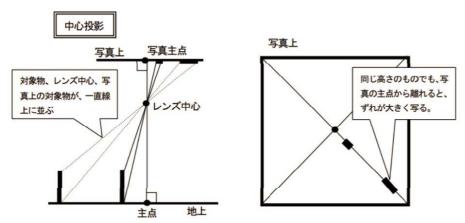


高さのある物は外側に倒れ込む

同じ高さの物は主点から離れるほど大きく倒れ込む 主点からの距離が同じなら高い物ほどより大きく倒れ込む

国土地理院資料





複数の写真に同じ物が写っていれば、

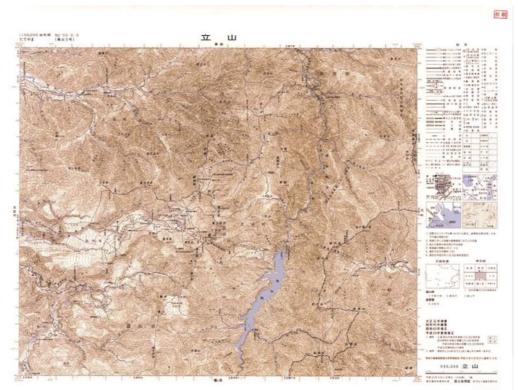
写真ごとに主点との位置関係が異なるので、倒れ込 み方が違う

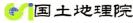
異なる写真でどの程度倒れ込み方が違うかを計測し、 地表の形態をモデル化してモデルを計測することが 写真測量

国土地理院資料

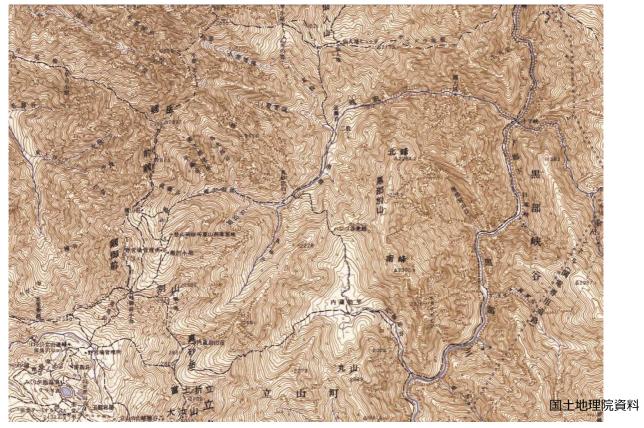
地形計測のこれまで: 詳細かつ面的な計測への挑戦 ^{(*) 国土地理院}

●写真測量による地図(平成20年測量)





●写真測量による地図(平成20年測量)



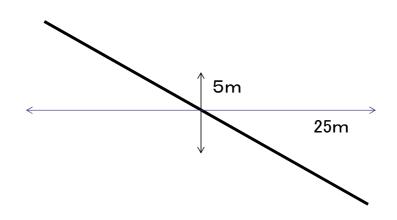
地形計測のこれまで: 詳細かつ面的な計測への挑戦 🤎 国土地理院

- ●写真測量による等高線の特徴
- ✓ 精度が面的に均質 位置の精度:図上1mm(1/25000では地上25m) 高さの精度: 等高線間隔の1/2(1/25000では5m)
- ✓ 地形の全体的特徴がつかみやすい(慣れれば・・・)
- ✓ 写真で見えないものは計測できない →森林地域では精度が悪い
- ✓ 写真が撮影できなければ計測できない →天候、火山活動などに左右される
- ✓ 読図に知識と熟練が必要
- ✓ そのままでは数値的分析ができない(傾斜、斜面形)
 - →DEMによる解析 (DEM化に伴う誤差に注意が必要)

13

- ●写真測量による等高線の特徴
- ✓ 精度が面的に均質

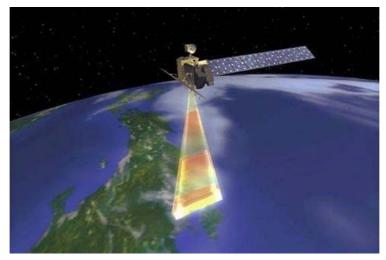
位置の精度:図上1mm(1/25000では地上25m) 高さの精度:等高線間隔の1/2(1/25000では5m)



15

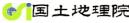
地形計測のこれまで: 詳細かつ面的な計測への挑戦 ^{(*) 国土地理院}

- ●リモートセンシングによる地形計測
- ✓ 広範囲の情報を繰り返し取得
- ✓ 光学衛星の分解能の向上
 - →2014年に2万5千分1地形図の全国整備完成
 - →全球DSMの整備

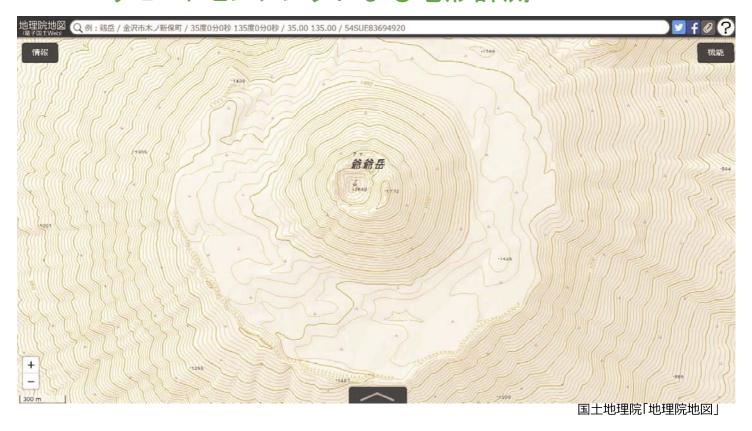


© JAXA

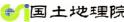
陸域観測衛星ALOS「だいち」



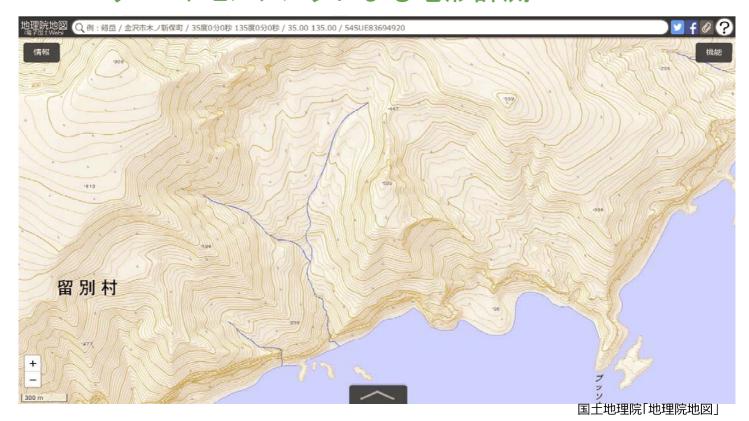
●リモートセンシングによる地形計測

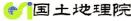


地形計測のこれまで: 詳細かつ面的な計測への挑戦



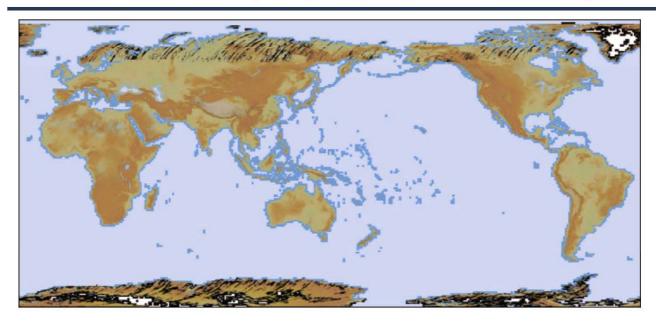
●リモートセンシングによる地形計測





●リモートセンシングによる地形計測

ALOS全球数値地表モデル (DSM) "ALOS World 3D - 30m" (AW3D30)

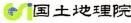


19 JAXAホームページより

地形計測のこれまで: 詳細かつ面的な計測への挑戦

●リモートセンシングによる地形計測



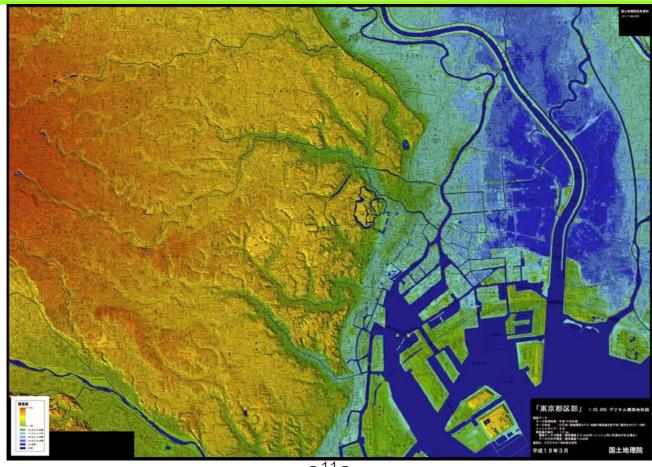


- ●航空レーザ測量
- ✓ 平成13年度より航空レーザ測量による標高データの取 得を開始
- ✓ 平成17年に「埼玉東南部」、「東京都区部」、「名古屋」、 「京都及大阪」及び「福岡」の5枚 のCD-ROMで6地区 の「数値地図5mメッシュ(標高)」を刊行

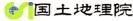
✓ 平成18年に「1:25,000デジタル標高地形図」(「東京都 区部」「名古屋」、「大阪」「福岡」)を作成、提供

21

地形計測のこれまで: 詳細かつ面的な計測への挑戦



22



- ●平成19年「地理空間情報活用推進基本法」制定
- ✓ 第十八条 国及び地方公共団体は、・・・基盤地図情 報の積極的な提供、統計情報、測量に係る画像情報 等の電磁的方式による整備及びその提供その他の地 理空間情報の円滑な流通に必要な施策を講ずるもの とする。
 - 2 国は、その保有する基盤地図情報等を原則として インターネットを利用して無償で提供するものとする。

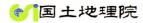
23

基盤地図情報とは

● 国土地理院

基盤地図情報に係る項目及び基盤地図情報が満たすべき基準 に関する 国土交通省令

測量の基準点	海岸線
公共施設の境界線(道路区域界)	公共施設の境界線(河川区域界)
行政区画の境界線及び代表点	道路縁
河川堤防の表法肩の法線	軌道の中心線
標高点	水涯線
建築物の外周線	市町村の町若しくは字の境界線及び代表点
街区の境界線及び代表点	



基盤地図情報に係る項目及び**基盤地図情報が満たすべき基準 に関する** 国土交通省令



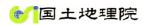
- ◆ 平面位置誤差:
 - 2.5m以内(都市計画区域内)、25m以内(都市計画区域外)
- ◆ 高さの誤差:
 - 1.0m以内(都市計画区域内)、5.0m以内(都市計画区域外)

国十地理院資料

国土地理院の基盤地図情報の整備

● 国土地理院



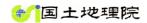


数値標高モデルの種類と概要 詳細資料

種類	名称		作成方法		ファイル 単位	主な整備範囲		標高点格子の 間隔	標高精度 (標準偏差)
	5mメッシュ	DEM5A	航空レーザ測	基本測量		都市域等	地理院地図	0.2"×0.2" (約5m四方)	0.3m以内※
5m メッシュ	(標高)	DEMISA	量	公共測量	3次 メッシュ	河川流域等	で見る口	0.2"×0.2" (約5m四方)	0.3m以内※
	5mメッシュ (数 <u>値</u> 地形)	DEM5B	写真測量	基本測量		都市域周辺等	地理院地図 で見る口	0.2"×0.2" (約5m四方)	0.7m以内
10m メッシュ	10mメッシュ (火山標高)	DEM10A	火山基本図 の等高線	基本測量	2次 メッシュ	26火山のみ	<u>地理院地図</u> で見る□	0.4"×0.4" (約10m四 方)	2.5m以内
	10mメッシュ (標高)	DEM10B	地形図の等高 線			全国	-	0.4"×0.4" (約10m四 方)	5m以内

※0.2秒(約5m)格子内に航空レーザ計測点(グラウンドデータ)がある場合の精度。無い場合は2m。

標高データの種類



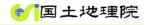
- I.5m メッシュDEM
- 1. 航空レーザ測量によるDEM(基本測量)
- 1)作成機関
- 国土地理院が基本測量として作成
- ②作成方法

航空レーザ測量で地表に到達した計測点の標高値(グラウンドデータ)から0.2秒(約5m) メッシュの中心点の標高値を内挿処理により作成

- ③主な整備範囲
- 主に都市域を中心に作成
- 4)精度
- 標高取得位置の標準偏差は、1.0m 以内
- 標高点の標準偏差は、0.3m 以内
- $(0.2 \,)$ (約5m)メッシュ内にグラウンドデータがない場合は2m)
- ※ 標高の有効値は小数点以下1 位まで(小数点以下2 位は参考値)
- ⑤公共測量により作成したデータとの統合

平成25年から、国土交通省(地方整備局等)等が主要河川流域等を中心に整備したデータと、国土地理院が基本測量として作成したデータを統合して提供している。データの統合(マージ)は、自動処理しているため、測量時期や測量機関の違いにより一部の箇所で標高値や属性が隣接データと整合していない場合がある。

標高データの種類



- I.5m メッシュDEM
- 2. 写真測量によるDEM
- 1)作成機関
- 国土地理院が基本測量として作成
- ②作成方法

写真測量で計測した標高値から0.2 秒(約5m)メッシュの中心点の標高値を内挿処理により作成

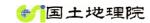
- ③主な整備範囲
- 主に都市域周辺を中心に作成
- 4)精度

標高取得位置の標準偏差は、1.0m 以内

標高点の標準偏差は、0.7m 以内

※ 標高の有効値は小数点以下1位まで(小数点以下2位は参考値)

標高データの種類



- Ⅱ. 10m メッシュDEM
- 1. 火山基本図の等高線によるDEM
- 1)作成機関
- 国土地理院が基本測量として作成
- ②作成方法
- 5 千分1 及び1 万分1 火山基本図の等高線から0.4 秒(約10m)メッシュの中心点の標高値を内挿処理により作成
- ③主な整備範囲
- 全国の26火山

「雌阿寒岳」「岩木山」「岩手山」「秋田駒ケ岳」「鳥海山」「蔵王山」「安達太良山」「那須岳」「草津白根山」「鶴見岳(鶴見岳・由布岳)」「くじゅう連山」「阿蘇山」「霧島山」「有珠山」「秋田焼山」「磐梯山」「焼岳」「富士山」「伊豆大島」「三宅島」「東伊豆単成火山群(遠笠山・大室山・小室山)」「雲仙岳」「薩摩硫黄島」「薩摩竹島」「諏訪之瀬島」「浅間山」

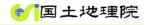
4)精度

標高取得位置の水平精度は基図による。

標高点の標準偏差は、2.5m 以内

※ 標高の有効値は小数点以下1位まで(小数点以下2位は参考値)

標高データの種類



- Ⅱ. 10m メッシュDEM
- 2. 地形図の等高線によるDEM
- 1)作成機関
- 国土地理院が基本測量として作成
- ②作成方法
- 2.5 万分1地形図の等高線から0.4 秒(約10m)メッシュの中心点の標高値を内挿処理により作成
- ③主な整備範囲

全国

4精度

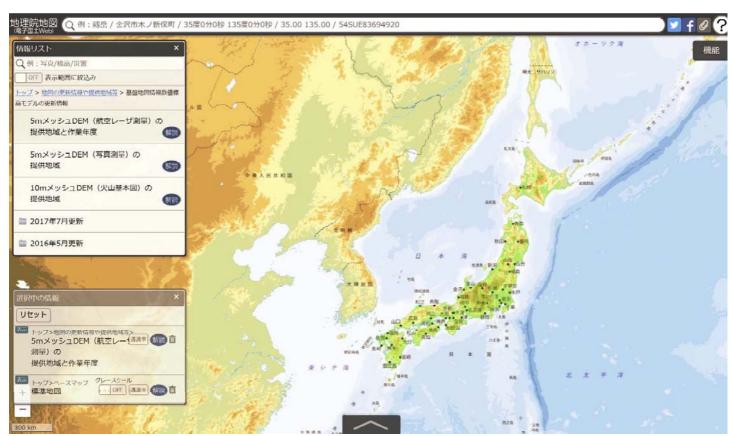
標高取得位置の水平精度は基図による。

標高点の標準偏差は、5m 以内

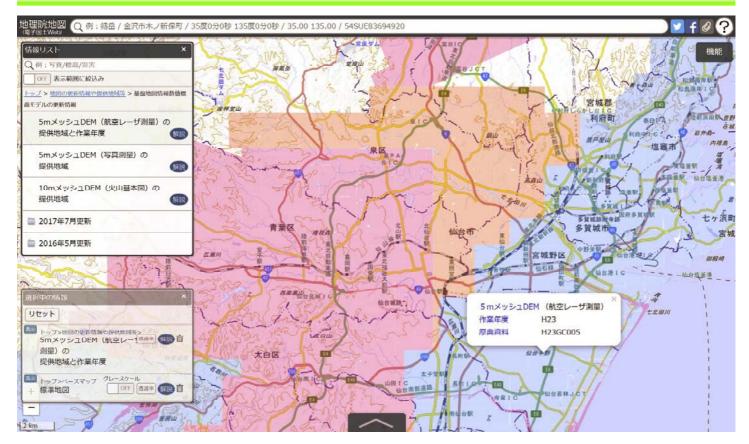
※ 標高の有効値は小数点以下1位まで(小数点以下2位は参考値)

標高データの提供範囲

参国土地理院

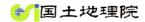


国十地理院資料



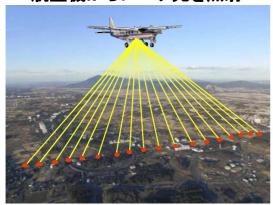
国土地理院資料

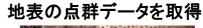
地形計測のいま

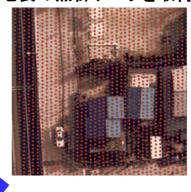


- ●航空レーザ測量
- ●UAVの利用
- ●UAV+レーザ測量
- ●干渉SAR

航空機からレーザ光を照射

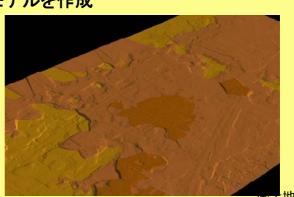






様々な地形モデルを作成



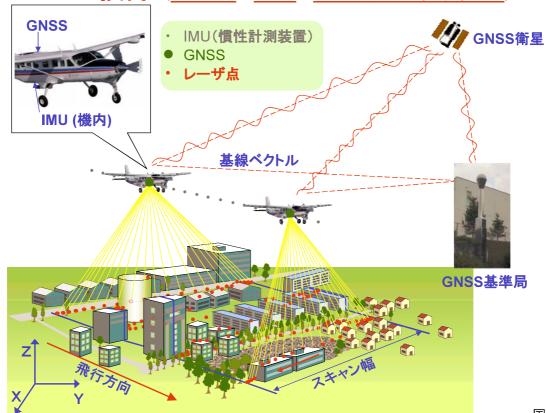


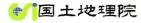
土地理院資料

航空レーザ測量の基本となる技術

参国土地理院

3つの技術:(GNSS IMU レーザスキャナー)

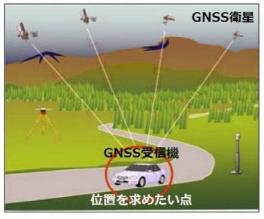




GNSS(Global Navigation Satellite System)

GPS、GLONASS、Galileo、準天頂衛星(QZSS)等の衛星測位システムの総称

[スマホ・カーナビ]



- ・衛星電波のコードを利用して測位計算
- ・ 単独のアンテナでその場の位置を計測
- その場で測位
- · 測位精度:約10m
 - →マップマッチング技術で補正

[測量·地図作成]

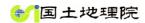


- ・衛星電波の位相を利用して測位計算
- ・2点以上の観測で相対位置を計測
- 一定時間観測
- · 測位精度:約1cm
 - →精緻な座標が必要な時





IMU



IMU(Inertial Measurement Unit)

- ●慣性計測装置(加速度計+ジャイロ)
- ●姿勢(3軸の傾き)と加速度を計測
- ●シームレスな航跡(1/200秒間隔でデータ取得)
- ●時間の経過で誤差(ドリフト)が蓄積

由

積分

積分

加速度

速度

距離

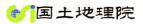
角加速度

積分

角度



APPLANIX社 POS AV



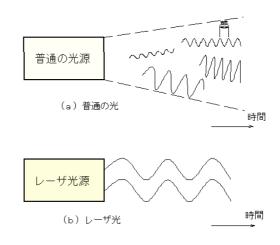
LASER(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

直訳:誘電放出による光増幅

- ●干渉性がよい
- ●指向性がよい
- ●単色性がよい
- ●集光性がよい



Leica Geosystems社 ALS70

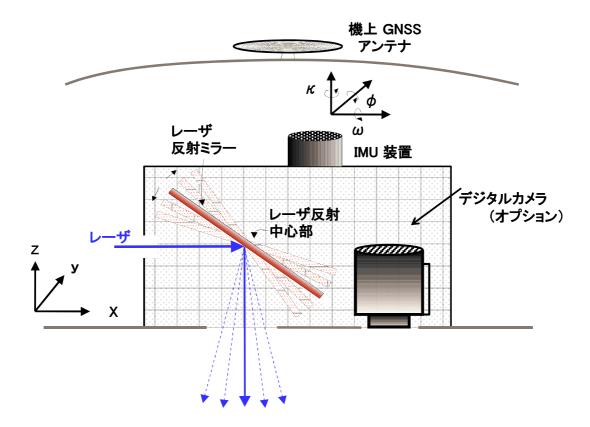


国土地理院資料

レーザスキャナー装置の特性

● 国土地理院

- ●近赤外レーザ光を発射
- ●1秒間に約50,000~200,000回の発射
- ●地表からの反射時間により距離を決定
- ●進行方向に対し横方向にスキャン
- ●地表で概ね50~60cm間隔の計測が可能
- ●計測点はランダム
- ●地表面でレーザ光は点ではなく円形 (大きさ:計測高度2,000mで約60cm)
- ●高さ方向の計測精度は±15cm程度



国土地理院資料

国土地理院所有の航空機

● 国土地理院



レーザ測距装置とデジタルカメラ(機内)

レーザ測距装置 本体(IMU内装)

デジタルカメラ (参考画像取得用)

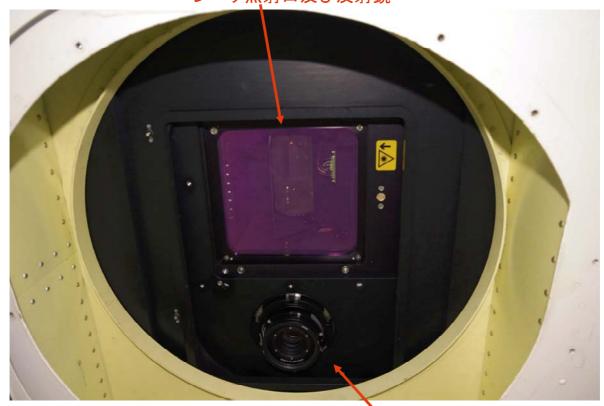


国土地理院資料

レーザ測距装置とデジタルカメラ(機体下側)

参国土地理院

レーザ照射口及び反射鏡



デジタルカメラ

国土地理院資料



デジタルカメラ用 コントローラ

レーザスキャナ用 コントローラ

レーザポンプ

国土地理院資料

オペレーションコントローラ

参国土地理院

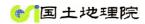
オペレーションコントローラ



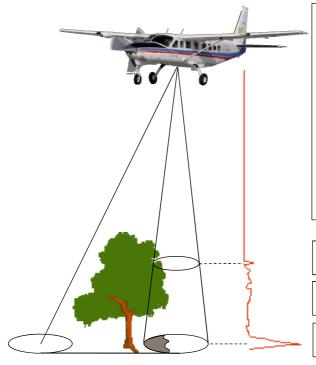
パイロットインジケータ



写真測量用デジタルカメラ(UCX)との 同時搭載時は、パイロットディスプレ イは使用(搭載)できない



●地表面でレーザ光は点ではなく円形 (大きさ:計測高度2,000mで約60cm)



反射したレーザの拡散の中で、

- ●最初に受信されるパルス →ファーストパルス
- ●最初と最後以外に受信される 強いパルス
 - →アザーパルス
- ●最後に受信されるパルス→ラストパルス

ファーストパルス

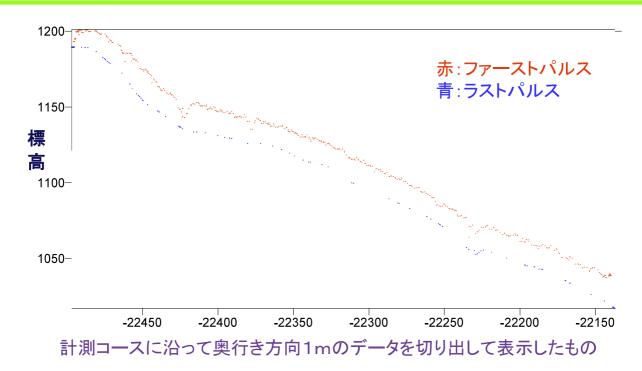
アザーパルス

ラストパルス

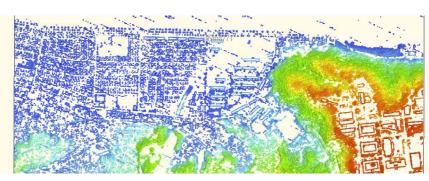
国十地理院資料

ファーストパルスとラストパルス

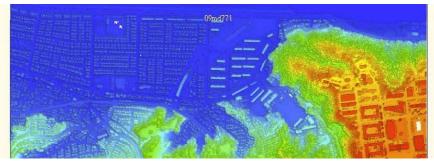
参国土地理院



●年中光を遮るような地域(熊笹、ツタ、常緑広葉樹の群生地)は、どんなに時期 を見計らっても航空レーザ計測による地表面の計測はできない。 ファーストパルス



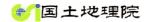
ラストパルス



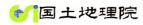
●森林地域では、樹上と地表のデータを同時に得ることができる場合がある。

国十地理院資料

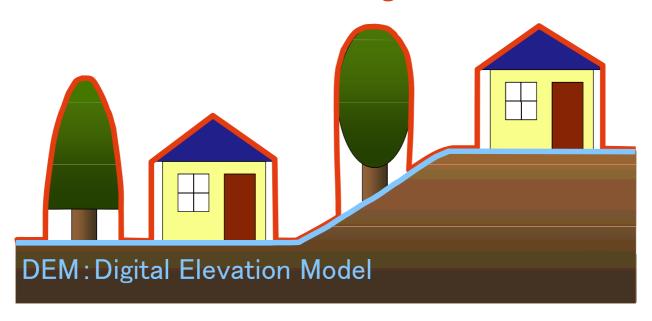
DSM&DEM



- レーザ光は、地面のみならず建物や樹木の上でも反射
- 直接取得する高さには建物や樹木の高さを含む
- このような高さのデータで作成した地表モデルを、
 - → 数値表層モデル(DSM: Digital Surface Model)
- 地表の高さとするために建物や樹木の高さを除去する
 - → フィルタリングと呼んでいる
- 地表面だけの地表モデルを、
 - → 数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)
- 国土地理院が一般提供している標高データはDEM

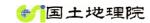


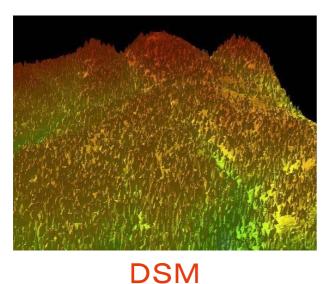
DSM: Digital Surface Model

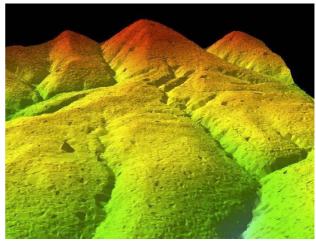


国土地理院資料

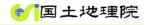
DSMとDEM(段彩 山間部)

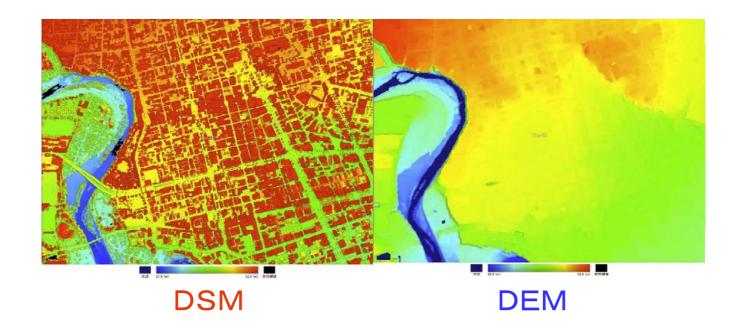






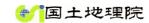
DEM





国土地理院資料

航空レーザ測量の特徴

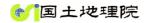


長所

- ●広範囲の高さを高密度・高精度で計測が可能 (計測精度:概ね±15cm)
- ●細かな地形を計測できる
- ●空中写真では見えない樹木下の高さを計測できる場合がある

短所

- ●ピンポイントでの計測が不可能
- ●水面下は計測不可能(グリーンレーザは可能)
- ●熊笹、ツタ、常緑広葉樹などの群生地は地盤高の 計測がほぼ不可能



UAVとは?

Unmanned Aerial Vehicle 無人航空機 通称ドローン

- 〇回転翼型(マルチコプター型)
 - 小回りが利く
 - ·対象物に近づき、 詳細な調査が可能





〇固定翼型

- ・航続距離が長い
- ・広範囲を撮影可能



第46回国土地理院報告会資料

地形計測のいま:UAVの利用

● 国土地理院

● 有人機とUAVの主な相違点

- ▶ 撮影する高度の違い
- ▶ カメラの違い
- ▶ 位置姿勢センサ(GNSS/IMU)の有無





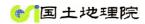
くにかぜⅢで撮影 (PENTAX645Z) 航空カメラはUCXを搭載 +GNSS/IMU搭載





UAV(S900)で撮影 (LUMIX GH4)

第45回国土地理院報告会資料





撮影高度 : 2796m 地上画素寸法: 20cm

カメラ:航空カメラ

(UCX)



撮影高度 : 130m 地上画素寸法:約3cm

カメラ : 市販カメラ

(SONY a6000)

撮影高度の違い



地上画素寸法の違い

21

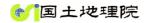
第45回国土地理院報告会資料

国土地理院によるUAVの利用

● 国土地理院

- ●固定翼型
- ✓ 西之島(平成26年~)
- ✓ 口永良部島(平成27年)
- 回転翼型
- ✓ 平成27年9月関東・東北豪雨(鬼怒川洪水)
- ✓ 平成28年台風10号(岩手県岩泉町)
- ✓ 平成28年熊本地震
- ✓ 平成29年九州北部豪雨

国土地理院によるUAVの利用:西之島



- ▶ 固定翼機により、計5回撮影(H26年3月·7月、H27年3月·7月、H28年3月)
- ▶ 西之島の東方約130kmの父島を基点に撮影



斜方視撮影

2015/3/1撮影

直下視撮影





撮影に使用したUAV 全長2.2m×全幅2.8m 直下視、斜方視用の2台のカメラ搭載 巡航速度120km/h、航続距離約500km

10

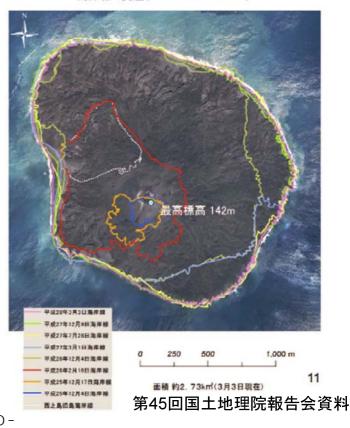
第45回国土地理院報告会資料

国土地理院によるUAVの利用:西之島

国土地理院

- ▶ 大量のオーバーラップ写真から 三次元モデルを作成
- ➤ 三次元モデルから、オルソ画像 やDEM(2.5mメッシュ)を作成
- ト最高標高や面積、体積を計測 (平成28年3月3日撮影分による計測)
 - ・新たな陸地の面積(参考値)
 - :約2.73km²
 - 最高標高(参考値)
 - :約142m
 - ・新たに噴出した溶岩等の海面上の 体積(参考値)
 - :約8.721万m3

西之島正射画像(平成28年3月3日撮影) 海岸線の変遷(2013.12.4~2016.3.3)





国土地理院によるUAVの利用:鬼怒川水害

参国土地理院

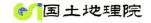
- ▶ 平成27年9月関東・東北豪雨による9月10日の鬼怒川破堤箇所 (茨城県常総市)を破堤から4時間後に撮影。
- ▶ 破堤箇所の対岸から救助へりの飛んでいない鬼怒川の水面上を 低空(高度約10m)で飛行させて撮影。
- ▶ 撮影した映像は当日関係機関に配布し、国土地理院のページからも公開。







第45回国土地理院報告会資料



平成28年台風第10号による被害状況 (岩手県岩泉町乙茂地区の高齢者福祉施設周辺)



国土地理院資料

国土地理院によるUAVの利用:熊本地震

● 国土地理院

阿蘇大橋周辺



撮影:4月16日 公開:4月16日 撮影目的:阿蘇大橋周辺における土砂崩れの状況把握

国土地理院ランドバードの活動状況

4月15日 8:00出動命令

9:30出動、17:00福岡到着

4月16日~18日 活動

(派遣人数:4名)

南阿蘇村河陽(かわよう)周辺の断層



撮影:4月16日 公開:4月16.18日



4月18日

撮影目的:断層が出現した範囲の確認

益城町下陳(しもじん) 周辺の断層



撮影:4月16日 公開:4月16日 撮影目的:断層が出現した範囲の 確認

(山王谷川の土砂災害 (南阿蘇村大字長野)



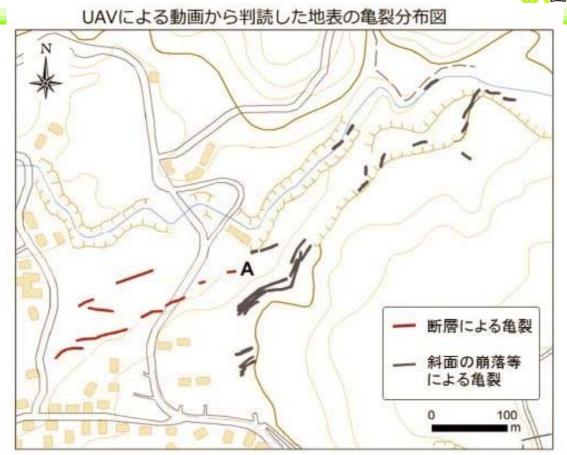
撮影:4月17日 公開:4月17日 撮影目的:土砂崩壊の状況把握

国十地理解資料

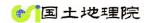


国土地理院ホームページより

● 国土地理院



国土地理院ホームページより



平常時:技術力の確保と向上

- ・i-Constructionへの対応
- ・公共測量への助言

災害時:緊急撮影と情報提供



国土地理院ランドバード(GSI-LB)

- ●緊急撮影にも対応できる高度な技術
 - ⇒ 安全管理
 - ⇒ 操縦技術
 - ⇒ 精度管理

本院(つくば市)のみでなく 全国の地方測量部等に順次展開

注視・連携

民間における様々な取り組み・技術開発

国十地理院資料

国土地理院ランドバード(GSI-LB)

● 国土地理院

≫ 災害時などに出動チーム(GSI-LBチーム)を編成し、安全かつ迅速に撮影行動を実施可能とする。

GSI-LBチーム

安全飛行管理者 1名

操縦者

1名以上

補助者

1名以上



国土地理院ランドバード

安全飛行管理者:

出動チームの現場責任者。

本院課長補佐以上、地測等では官以上

操縦者:

UAVを操縦する者。役職は不問。

構成員(メンバー)は事前に国土地理院長が指定。 業務として各種訓練を実施。

各種訓練

- ・UAVに関する知識の学習
- ・UAVの操縦ライセンスの取得
- ・UAVの運行に関する安全管理の研修

_業務として

補助者:

周辺の監視や連絡等の安全の確認や確保、離着陸 や作業記録等、安全飛行管理者と操縦者を補助。 役職は不問。

従来の空中写真測量との相違点

参国土地理院







航空カメラ(UCX) (本体重量55kg)

航空カメラは使えない

機体ペイロードに依存 小さくて軽いもの

22

第45回国土地理院報告会資料

UAV測量による地形計測の特徴

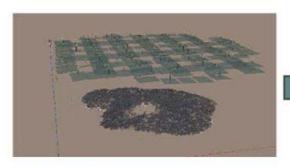
● 国土地理院

(前提)高精度なカメラやセンサは使用できない



新技術の導入(SfM/MVS)

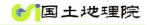
SfM=Structure from Motion MVS=Multi View Stereo カメラの位置・向きと撮影対象の3次元形状を同時に復元するコンピュータビジョン(CV)の技術



重複させながら撮影した写真群から



三次元形状を復元 第45回国土地理院報告会資料



空中写真測量

複数の空中写真からさまざまな標定要素を用いて空中三角測量を行い地表面や地物を2次元の平面に投影する←垂直に近い空中写真が必要



SfM/MVS

画像マッチングにより写真撮影位置を推定しながら多数の3次元点群を生成する

SfM/MVS:写真撮影の考え方を変えつつある

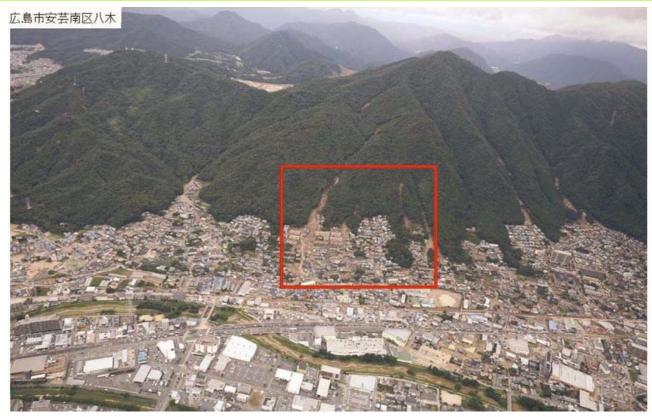
● 国土地理院

空中写真撮影の多様化

垂直写真が撮影できるまで天候の回復を待つ



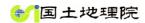
- ・上空に雲があっても斜め写真で対象を狙う
- ・ヘリコプター、UAVなどを使って撮影する





国土地理院資料

SfM/MVSを用いて真上から見た写真(正射画像)に加工







斜め写真による正射画像



真上を飛べない場合でも・・

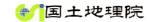
●□土地理院





国土地理院資料

測量におけるUAVの利用



従来の測量手法

従来の測量機器やGNSSを利用した現地測量

- 比較的狭い範囲の図面整備向け
- 手作業が多く、時間がかかる

有人航空機を利用した空中写真測量

- 広範囲の図面整備向け
- 機械経費が高い







UAV(ドローン)の登場

- 必要な時に、容易に空中写真を撮影
- 自動処理等、測量の省力化に貢献



狭い範囲でスケールメリットが利く

機械経費がかからないので コストダウン

生産性の向上

公共測量での利用促進





•図面作成:現地測量、写真測量、 地図データ修正 ·工事関係:土量算出、

進捗·完成写真撮影

地形図修正







道路台帳図

UAVによる3次元測量



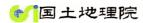
ドローン等による写真測量による 面的な3次元測量を実施

土木施工での活用



設計、施工、維持管理の各 工程で活用できる測量データ を提供

有人航空機を使用する場合と比べ、UAVによる撮影は低空で実施可能なため、雲の影響が小さい 有人航空機に比べて機動性が高く、狭い範囲であれば必要な成果が短時間に得られる 国十地理院資料



- 公共測量でも、2013年度以降、徐々に利用が始まっている
 - 台帳図面の整備、地形図修正等に活用
- 2016年度からは、i-Constructionの推進に伴い、土木施工での利用が急増
 - 主に、出来形管理や起工測量の際の三次元点群作成

公共測量等でUAVを使用する上では・・・

・ 作業方法や精度確保に必要となる一定の ルールが明確になっていないと使用できない

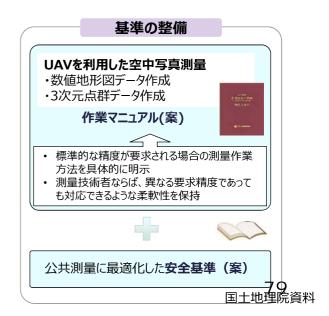


作業マニュアル(案)

安全に作業を行う場合に必要となる手続き等について明確になっていないと、導入が困難



安全基準(案)



測量におけるUAVの利用





●UAVの高性能化 + レーザスキャナの軽量化で UAVにレーザスキャナを搭載できるようになった ⇒UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マ ニュアルを整備、公開

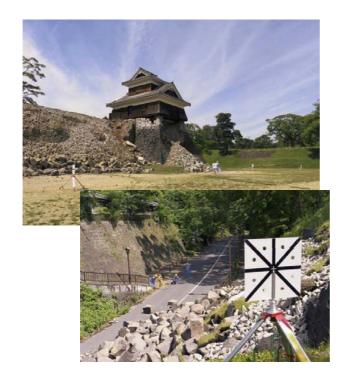


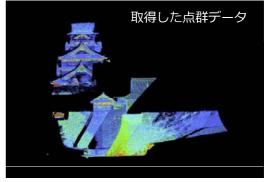
測量における新技術の利用:地上レーザ測量

🎒 国土地理院

平成28年熊本地震での利用(国土地理院)

○ 被災状況把握に、様々な測量・計測技術を活用 熊本城の復旧支援に資するためUAV撮影、地上レーザスキャナ計測を実施

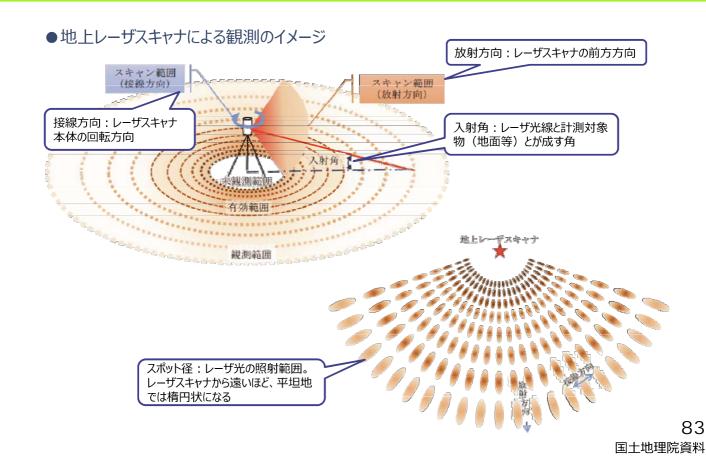






82

国十地理院資料



測量における新技術の利用:地上レーザ測量





地上レーザスキャナを用いた公共測量について NEW

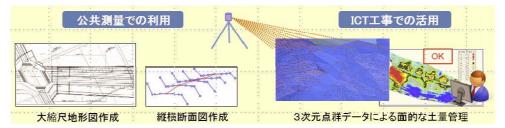
国土地理院では、地上レーザスキャナを測量で使用できるように、「地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案)」を作成し平成29年(2017年)3月31日に公表しました。

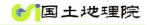
本マニュアル(案)は、公共測量だけでなく、国土交通省が進めるi-Constructionに係る測量作業において適用することを前提にしており、測量業者が円滑に地上レーザスキャナによる測量を実施できる環境を整え、また、建設現場における生産 性の向上に貢献するものです。

地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案)

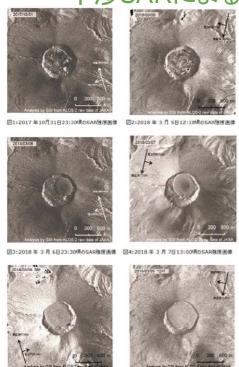
「地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案)」は、地上レーザスキャナを用いて測量を実施する場合における、精度確保のための基準や作業手順等を定めています。作業規程の準則(平成20年 国土交通省告示 第413号)第17条 第3項に規定されている、国土地理院が定める新しい測量技術による測量方法に関するマニュアルの1つです。地上レーザスキャナを用いた公共測量を行う際には、本マニュアル(案)に従った作業を行うことで、精度の確保を確認するための資料とし て使用することができます。

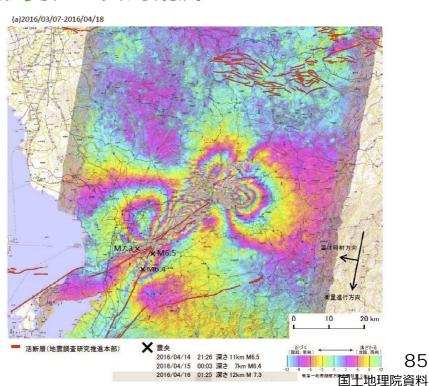
- 地上レーザスキャナを用(な公共測量マニュアル(案)(pdf:1,843KB) 平成30年3月15日改定 NEW
 - 木マニュアルにおいては、数値地形図データを作成するための測量手法である「地上レーザスキャナを用いた地形測量」と、三次元点群データを作成するための測量手法である「地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成」を規定して
- 地トレーザスキャナを用(な公共測量マニュアル(平成30年3月改定版)による三次元点群データ作成の測量成果検定基準(pdf:44KB) New 本マニュアル(案)第3編の三次元点辞データ作成について、第7条の成果検定を実施する場合は、上記基準に基づく検定に関する技術を有する第三者機関によるものでなければなりません。





- ✓ 天候、時間に左右されず地形情報を取得
- ✓ 干渉SARによる地形変化の面的観測





レーダーとは

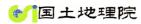
● 国土地理院

電波を対象物に向けて発射し、その反射波の強度と反射時間を測定することにより、対象物までの距離や対象物の位置、形状を測る装置。





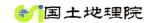
Wikipediaより



(Synthetic Aperture Radar: SAR)

レーダーの分解能を向上させるため、飛翔体(人工衛星や飛行機など)が移動しながら電波を送受信して、大きな開口を持ったアンテナの場合と等価な画像が得られるように、人工的に「開口」を「合成」するのが「合成開口レーダー」と呼ばれる技術。これとパルス圧縮技術の2つの処理を行うことによって、地表に高解像度の格子状のメッシュが構成され、その一つ一つの画素(ピクセル、通常は数メートル四方程度の大きさ)ごとに反射波の強度などが測定される。

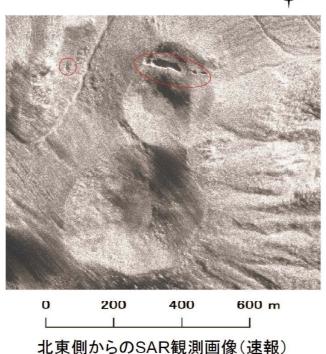
SARの特徴



- ✓ 電波を自ら送信し反射波を観測する(能動的センサー)
- ✓ 電波は雲などを通過するため天候に左右されない
- ✓ 夜間も観測ができる
- ✓ 斜め下に向けて電波の送受信を行う
- ✓ プラットフォーム:航空機、人工衛星

草津白根山(本白根山:1月23日噴火、1月27日観測)





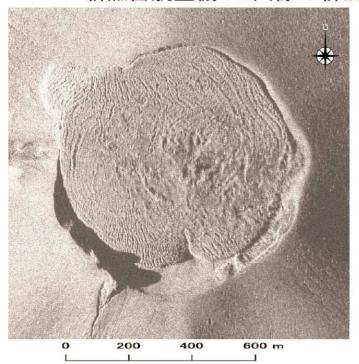
国土地理院資料

航空機SARによる噴火後の火口の観測

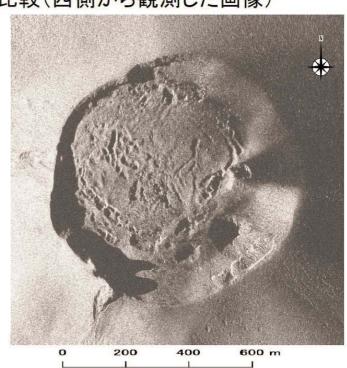
● 国土地理院

霧島山(新燃岳:3月5日噴火開始)

新燃岳航空機SAR画像の新旧比較(西側から観測した画像)

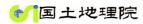


平成30年3月27日国土地理院観測

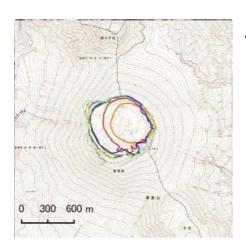


平成29年10月12日国土地理院観測

衛星SARによる噴火後の火口の観測



霧島山(新燃岳:3月5日噴火開始)



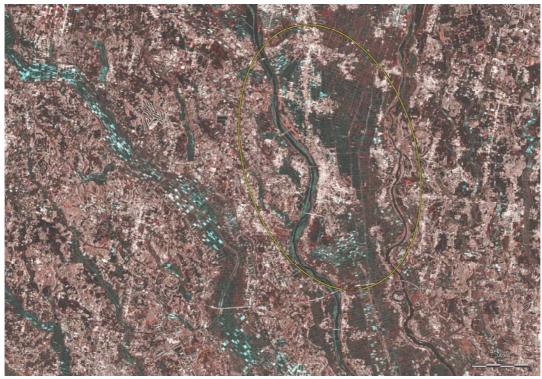
橙線は3月6日 赤線は3月7日 青線は3月9日0:11頃 緑線は3月9日12:04頃 紫線は3月12日13:07頃 茶線は3月14日12:11頃 黄線は3月15日23:23頃 水色線は3月21日13:00頃

2017年10月31日(噴火前) 3月5日12時18分 3月6日23時30分 3月7日13時00分 3月9日0時11分 3月9日12時04分 3月10日12時25分 3月10日23時16分 3月11日23時36分 3月12日13時07分 3月14日0時18分 3月14日12時11分 3月15日23時23分 3月21日13時00分 3月26日13時07分 3月28日0時18分 4月11日0時18分

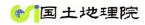
国土地理院資料

衛星SARによる浸水域の抽出(鬼怒川洪水)

● 国土地理院



SARでは水面からの反射強度が弱くなる特性がある。洪水時に取得された画像と、洪水前に同じ条件で取得された画像を、それぞれ赤色、水色に重ね合わせて色合成した画像。水色の色がついているところが浸水などの変化が起きていることを示す。JAXA作成。

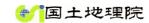


✓ 標高

わずかに軌道の異なる2つのSAR画像を合成することで標高差による干渉縞が得られる。 これを解析して高解像度の標高データを作成することができる(写真測量と同様)。

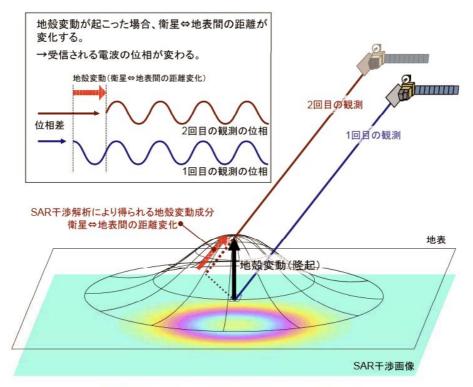
- →SRTM(Shuttle Radar Topography Mission) 1999年毛利衛宇宙飛行士が参加 全世界の30m解像度のDEMを作成
- →その他、航空機SARにより熱帯地域の地図 作成などに利用

干涉SAR



✓ 地表変動

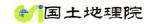
撮像時期の異なる2つのSAR画像を合成することで地表変動による干渉縞が得られる。 これを解析して地殻変動を面的に把握することができる。



SAR干渉解析により得られる地殻変動成分の概略図

国土地理院資料

干涉SAR

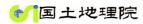


視線方向

干渉SARが測定しているのは、SARアンテナと 地表を結ぶ直線の方向(視線方向)。

SARはななめ下に電波を送受信しているので、 地表がどちらに動いたかを単純に判別すること はできない。

また、軌道方向の動きはわからない。

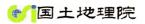


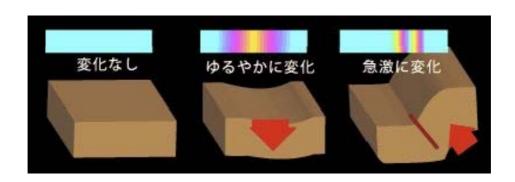
- ✓ 地表に設備不要 地表に特別の観測施設はまったく必要ない。
- ✓ 面的情報が瞬間的に得られる一度に面的かつ広範囲に及ぶ観測が可能。
- ✓ 連続観測はできない 2つのデータがなければ干渉させることはできない。人工衛星の干渉SARでは衛星が同じ軌道を飛ぶまで待たなければならない。
- ✓ 変動量の絶対値は得られない 得られるのは1つの画像中での変動量の相 対値。

干渉SARの波長

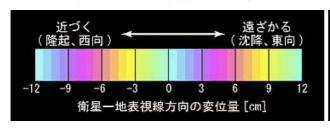
● 国土地理院

- ✓ Xバンド(波長約3cm)
- ✓ Cバンド(波長約6cm)
- ✓ Lバンド(波長約24cm)
- ✓ 波長の短い電波ほど分解能は高くなるが、樹木などの植生の透過性が悪くなる。
- ✓ CバンドやXバンドの電波は植生が少ない都市部などでは干渉するが森林地帯などでは干渉しない。
- ✓ Lバンドの電波は植生を透過できるので日本 のように植生が多く山がちな場所ではLバンド が圧倒的に有利。

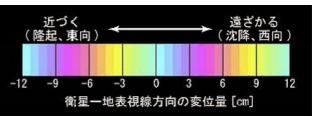




北行・右もしくは南行・左の場合

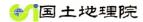


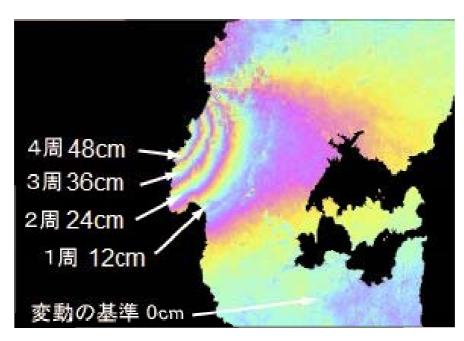
南行・右もしくは北行・左の場合



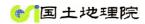
国土地理院資料

SAR干渉画像の見方





同じ色の場所は、SAR電波の波長の半分の長さ(約12cm)の整数倍のいずれかの変動量の差をもっています。つまり虹色が1周して元の色に戻ると、ちょうど約12cmの変動量の差が生じます。



- ✓ JERS-1(ふよう1号) 1992年打ち上げ 1998年運用終了
- ✓ ALOS(だいち) 2006年打ち上げ 2011年5月運用終了
- ✓ ALOS-2(だいち2号) 2014年5月打ち上げ

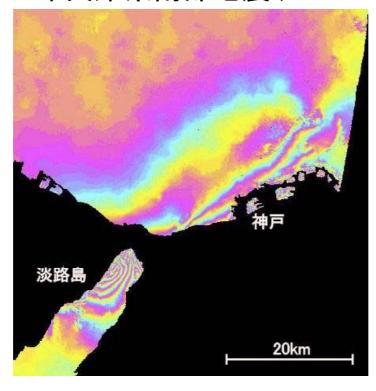


画像: JAXA

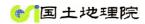
SAR干渉画像の実例

● 国土地理院

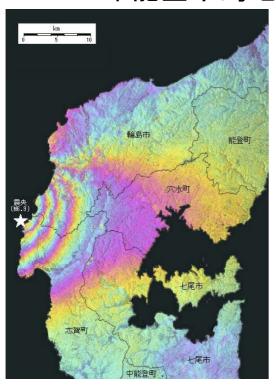
✓ 1995年兵庫県南部地震(1995/1/17, M7.3)

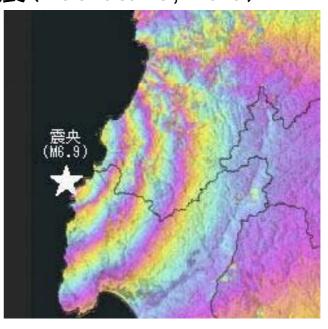


国土地理院資料



✓ 2007年能登半島地震(2007/3/25,M6.9)

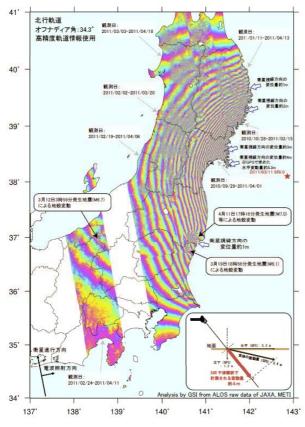




解析:国土地理院 原初データ所有:JAXA、METI 国土地理院資料

SAR干渉画像の実例

● 国土地理院

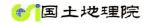


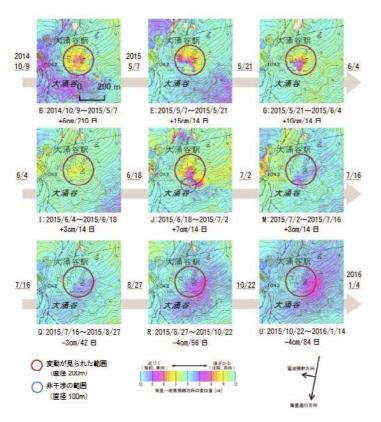
✓ 2011年東北地方 太平洋沖地震 (2011/3/11,M9.0)

解析:国土地理院

原初データ所有: JAXA、METI

国土地理院資料



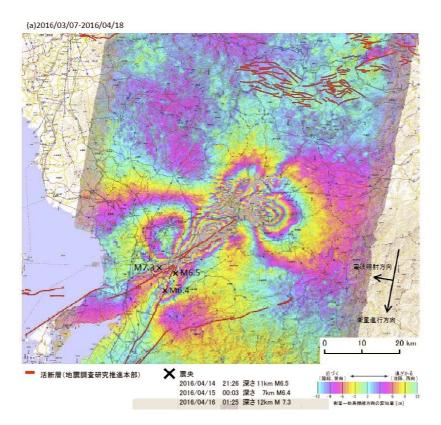


✓ 箱根大涌谷の火山 活動(2015/5~)

> 解析:国土地理院 原初データ所有:JAXA 国土地理院資料

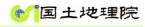
SAR干渉画像の実例

● 国土地理院

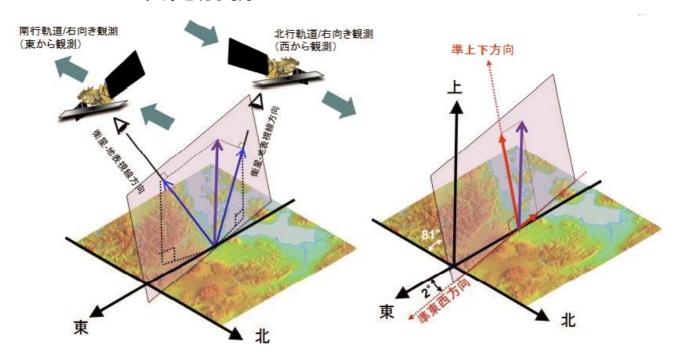


✓ 2016年熊本 地震 (2016/4/14~)

> 解析:国土地理院 原初データ所有:JAXA 国土地理院資料

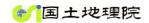


2. 5次元解析

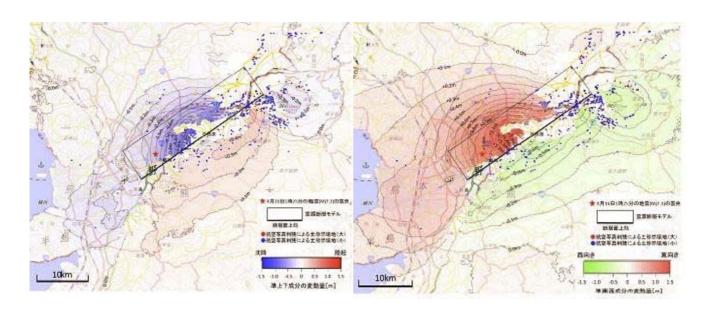


国土地理院資料

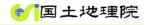
さらに高度なSARの解析



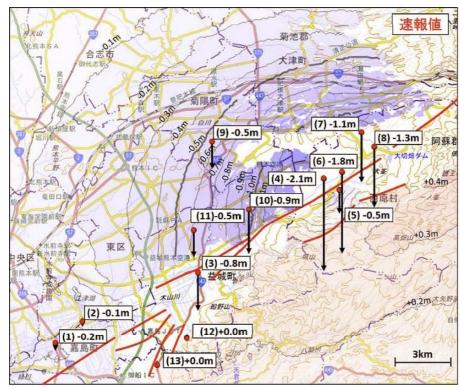
2. 5次元解析



解析:国土地理院 原初データ所有:JAXA 国土地理院資料



2. 5次元解析

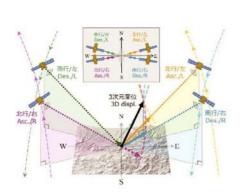


解析:国土地理院 原初データ所有:JAXA 国土地理院資料

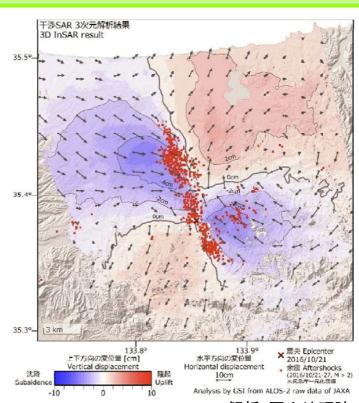
さらに高度なSARの解析

国土地理院

3次元解析



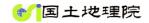
干渉 SAR 3 次元解析の原理図



解析:国土地理院 原初データ所有:JAXA

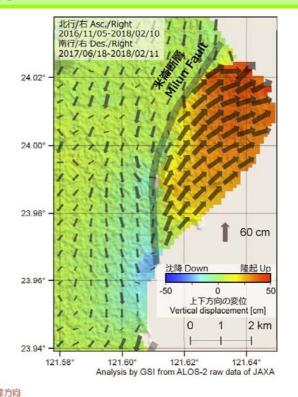
国土地理院資料

本成果は、地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動を通して得られたものです。



ピクセルオフ セット法





2018年2月 台湾·花蓮 の地震

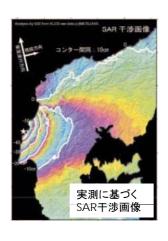
解析:国土地理院 原初データ所有:JAXA 国土地理院資料

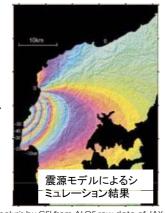
干渉SARの斜面変動調査への応用

●「国土地理院

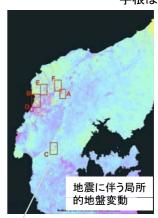
宇根ほか(2008)



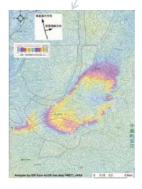




Analysis by GSI from ALOS raw data of JAXA, METI



2007年能登半島地震の事例において、 SAR干渉画像から地震に伴う広域的な 地殻変動成分を取り除くことで、局地的 な地盤変動(地すべり等)を監視できる ことが判明



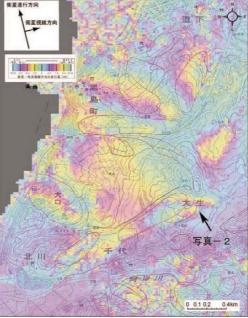
南東下がりの 馬蹄形状の地 すべり様の変 状を抽出

宇根ほか(2008)

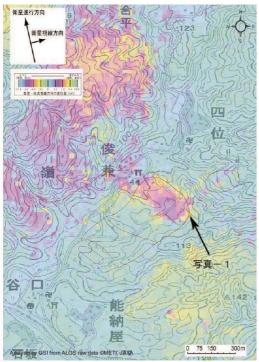
写真-2 地すべりによる道路上の亀裂、 斜面の変状







輪島市門前町大生の変動パター べり地形 (防災科学技術研究所, 2007)



輪島市門前町俊兼の変動パターン. 赤線は地すべ り地形 (防災科学技術研究所, 2007)

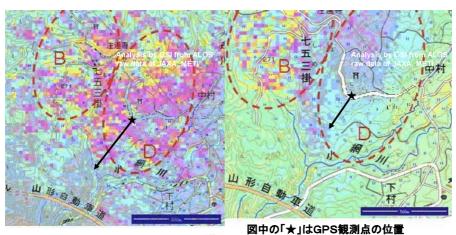
写真-1 地すべりによる道路上の亀裂

山形県月山地区の七五三掛地すべり

国土地理院

114

鈴木ほか(2010)など



InSARにより、地すべり 性変動の盛衰を検出。

条件によっては定量的 にも整合的であること が判明。

衛星視線方向 造さかる ◆ ・ ・ 近づく (沈降・西向) (隆起・東向) 衛星視線方向 盗さかる ◆ ── 近づく (沈降・西白) (隆起・東白) 5.9 0 -5.9 -11.8 地表视線方向的变位 (cm) 衛星進行方向 2009年5月5日-2009年8月5日 衛星進行方向 2009年3月20日-2009年5月5日 FBD/FBS FBS/FBS Path58/Frame2840 Path58/Frame2840 南行軌道: 34.3 deg 南行軌道: 34.3 deg Bperp: +197 m Bperp: +426m

※赤矢印(→)はSAR干渉画像から判読されるGPS観測点付近の変動量

※図中の黒矢印はGPS観測による観測点の移動方向と移動量(絶対値は干渉縞のカラーバーと一致させた)

表:SAR視線方向の距離変化 の比較

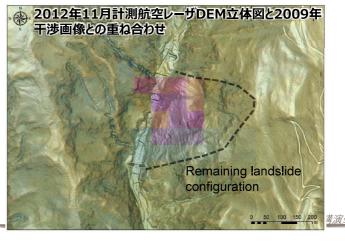
	GPS 観測値	SAR 干渉画像
2009	約7cm	6 ~ 9cm
/3-5	(遠ざかる)	(遠ざかる)
2009	約2cm	1~3cm
/5-8	(遠ざかる)	(遠ざかる)

11



- 533;**年秋**4Bヶ月,報~9fp 衛星から 遠ざかる変位
- 533<**年秋**4Bヶ月,#~<fp 衛星から 遠ざかる変位
- 5345年秋₄この時点では大きな崩壊 無し

国十地理院資料



坂本川上流地区の事例

11
6

「写真撮影地点と方向
「200m」

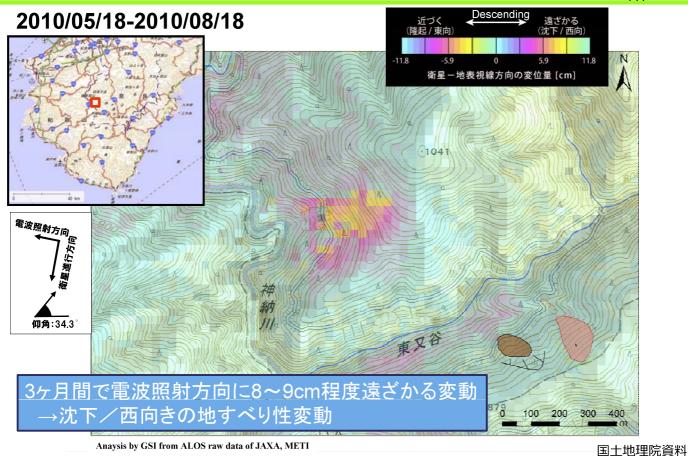
25/06/2013

- 5346**年9月の現地調査で大規模地すべり崩落を確認**(正確な崩落時期は不明)
- 5345年44月~5346年9月の間に崩落したと推定される
- 干渉VDUはこの大規模崩落の6~7年前に発生した前駆的なクリープ変動を 捉えたと考えられる。

平成29年度京都大学防災研究所 研究発表講演会

紀伊半島(奈良県十津川村)の斜面変動

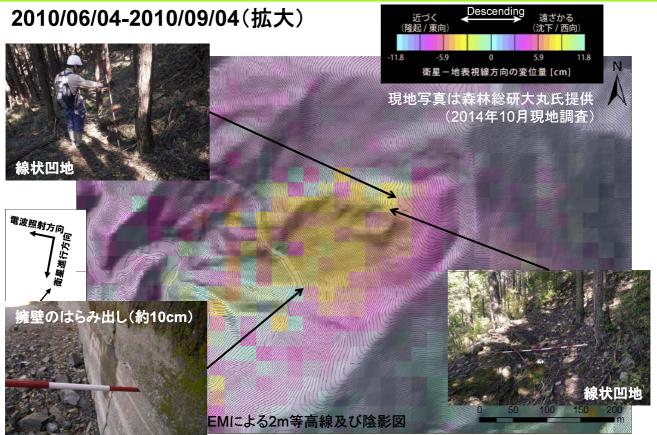
117



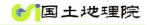
紀伊半島(奈良県十津川村)の斜面変動

一国土地理院

118



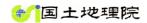
Anaysis by GSI from ALOS raw data of JAXA, METI



- ●3D表現が高度かつ手軽に ←地理院地図の進化
- ●点群データ: すべてのデータが3D
- ●リアルタイム測位の精度向上
- ●ダイナミックマップ

119

おまけ: 地理院地図がすごいことになっています



様々な情報を3Dにしてみることができる



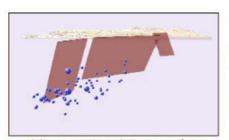
写真



色別標高図



災害情報



地下の震源断層モデル +震源分布

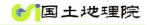


海外の地形

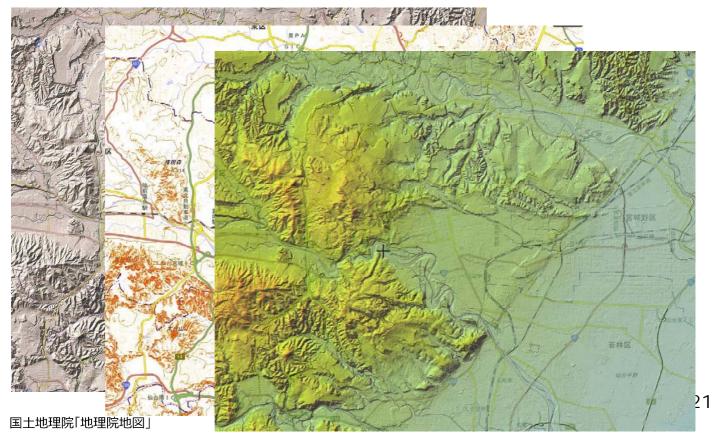


3D表示しているものを 3Dプリンタ用データ としてダウンロード可能

おまけ: 地理院地図がすごいことになっています



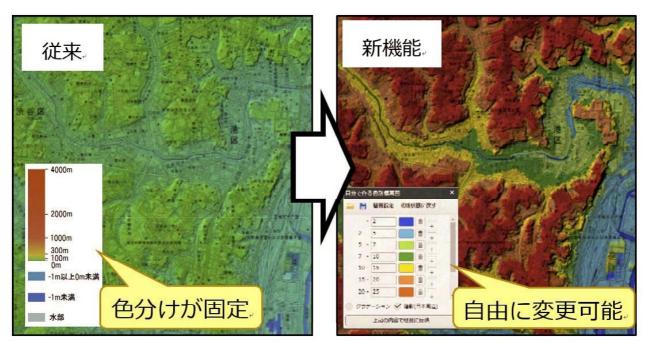
様々な地形表現ができる



おまけ; 地理院地図がすごいことになっています

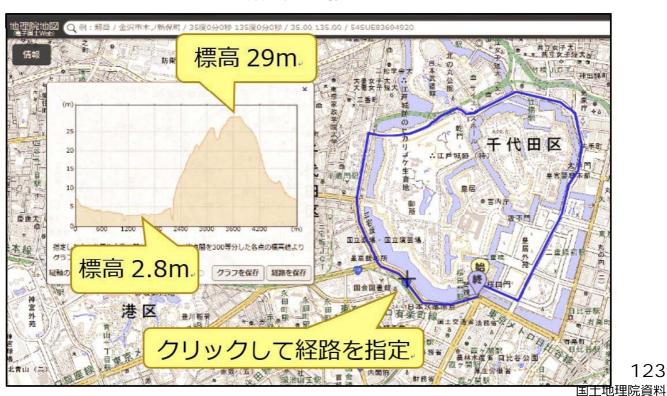
● 国土地理院

標高図を自由に色分けできる



おまけ: 地理院地図がすごいことになっています

断面図が描ける

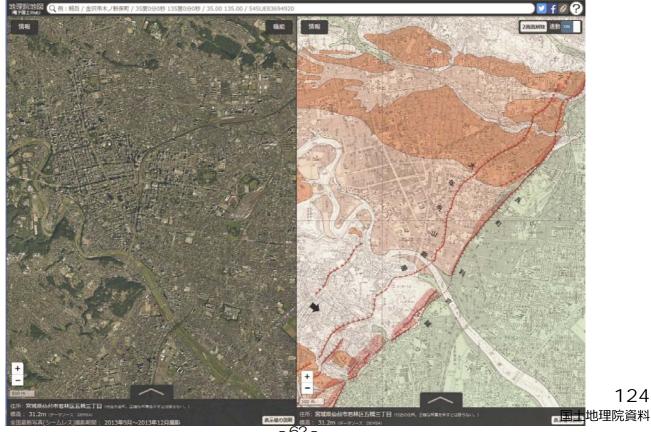


おまけ; 地理院地図がすごいことになっています

● 国土地理院

123

2画面表示ができる



124

ご清聴、ありがとうございました

● 「だいち」及び「だいち2号」のデータの所有権は、宇宙航空研究開発機構(JAXA)及び経済産業省にあります。これらのデータは、だいち及びだいち2号に関する国土地理院とJAXA間の協定に基づき提供されたものです。

125

地形図革命を如何に生き残るか?

八木浩司(山形大学)

1. はじめに

20世紀の世紀末, 2000年12月日本地すべり学会 の国交省からの受託業務委員会が、南浦和の国土防 災技術(株)技術本部で開催された後、当時の同社技 術本部長・山崎孝成氏からおもしろいものがあるの で見て行きませんかと呼び止められた. 丁度, 朝日 航洋(株)のスタッフが技術展示のため同社に来られ ていた.見せられたのは、三宅島の火山活動とその 後の浸食で形成された地形を航空レーザー測量で捉 えた地形図 (ALMAP) であった. 縮尺 1/3000 程度 であったかと思うが、それまで見ていた大縮尺地図 とは全く異なる、地形変換線が明瞭に表現されたも のをみて、一瞬で「空中写真判読が不要になると!」 周りの人に言ったことを今でも鮮明に覚えている. それが筆者とLiDAR (レーザー・スキャナー) マッ プとの出会いであった. 早速そのことを居合わせた 故吉松弘之氏(砂防地すべり技術センター)に話す と、共同研究をやらないかとのお話しを頂いた.

2. 口坂本地すべり

LiDAR・DEM データをどこでどう使うかということで選んだのが静岡県の口坂本地すべりであった。まず 2m グリッド DEM を使って地形図を作って見ることになり、GIS の名手、内山庄一郎氏(現・防災科学技術研究所)にお願いして等高線図と陰影図を作成していただいた。出来上がった地形図を使って空中写真判読を行い地すべり・斜面地形分類図を作成した。従来の空中写真から作成された大縮尺図の多くは、10m コンター図を内挿して 2m 間隔の等高線が引かれたものであったことから、微地形表現が曖昧で、遷急線がはっきり表現されておらず、空中写真で読み取られた比高 1-2m の小崖や遷急線を地形図上に記載することさえ勘に頼る状況であった。

LiDAR マップでは、比高数 m の段差や幅数 m の 開口や隆起部が捉えることが出来ることから、空中 写真判読の 3D イメージそのものが地形図上に表現 されており、それらの位置や段差の程度を地形図上 で確認しながら、精細な地形分類図を作成可能なことが明らかとなった。また、林地内でも植林地であれば飛行コースを工夫すれば DTM データ取得可能であることも明らかとなり、地すべり等の斜面変動の把握に極めて優れてツールであることを改めて確認した。遷急線が把握可能なことは、最新の崩壊発生場の把握にも有効であることが示唆され、その後の集中豪雨地形災害研究に繋がっていった。到達不能な高山帯稜線部の重力性山体変形に対して、LiDAR データを用いて大井川上流の赤崩において変形量把握が行われたのもこの頃からである。

3. 地震地すべりや地すべり災害での活用

21世紀に入り連続した2004年新潟中越地震,2005年パキスタン北部地震,2008年岩手宮城内陸地震の斜面変形被害把握や2009年山形県の七五三掛地すべりにおいてLiDARデータは本格的な活用段階に入った.10mコンター等高線図から作成された10mグリッドDEMとの差分や,複数期のLiDARデータから差分を取ることで変位量を広域で把握することも可能になった.差分をとることで森林の更新を知るツールとしても白神山地の世界遺産管理で活用され始めたのはこの頃である.

4. 3D 画像の作成や陰影図・傾斜量分布図との重ね合わせによる地形把握や地形変化予測

国土交通省による10m グリッドや特に5m グリッドでのDEM 整備は、GIS・地図ソフトを用いて個人レベルで精密地形図をさまざまな表現法での作成を可能としている.アナグリフによる3D 画像表現や、陰影図と傾斜量分布図、さらには地下開口度分布図を重ね合わせたりすることで、活断層の判読、斜面形状判定や緩傾斜面の抽出にも応用され、斜面変動サスセプティビリティマップ作成への活用も行われつつある.まさに、21世紀は地形図作成技術のブレークスルーがさまざまな地盤災害把握技術にイノベーションを引き越し続けている.

平成30年度 日本地すべり学会東北支部シンポジウム 話題提供-3

『航空レーザ測量を活用した斜面災害の調査と対策』



大粒来 茂樹

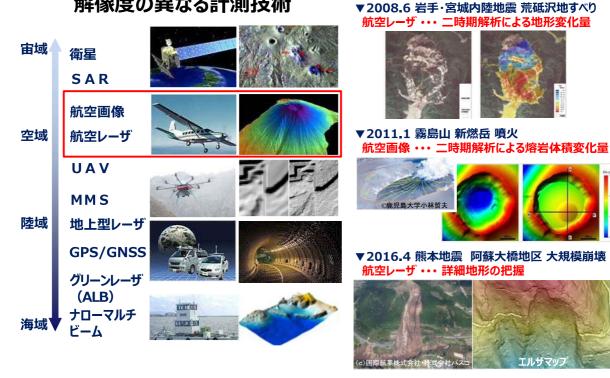
1

〈目 次〉

- ◆はじめに(1) 航空レーザ測量の概要
 - (2) 地形解析図の作成と微地形判読
 - (3) 多時期の計測データを活用した変動解析
- ◆事例 1. 地すべり変動量に基づく地すべりブロック区分と評価事例 (A地区)
- ◆事例2. 地すべり災害の変動実態調査事例 (B地区)
- ◆事例3. 地震災害における対策への適用事例 (須川地区 岩手宮城内陸地震)
- ◆事例4. 豪雨災害における対策への適用事例(橋場地区 国道46号災害)
- ◆おわりに まとめと今後の課題

はじめに(1) 航空レーザ測量の概要(1/4)

解像度の異なる計測技術



はじめに(1) 航空レーザ測量の概要(2/4)

航空レーザ測量とは

航空機搭載型のレーザスキャナシステムから地上に 向けてレーザ光を放射状に照射し、地上から反射さ れるレーザの時間差で地形を計測する。



▲航空レーザ測量概念図

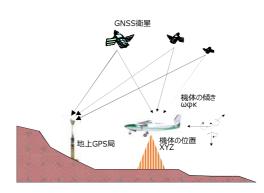


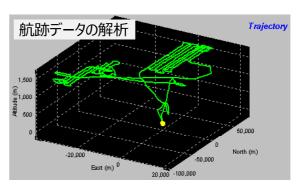
システム全景

はじめに(1) 航空レーザ測量の概要(3/4)

航空レーザ測量の原理

航空機には、GNSS/IMU(ジャイロ)を搭載し正確な位置情報を常に把握し、距離データと解析することにより1パルス(レーザ1点)ごとの地表のX.Y.Zの三次元データが直接計測できる。



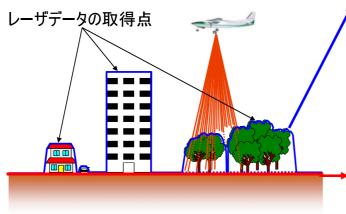


5

はじめに(1) 航空レーザ測量の概要(4/4)

フィルタリング

取得した計測データは、樹木 や地物上の標高値であるため、 フィルタリング処理により、地盤 高データを作成する。





6

はじめに(2)地形解析図の作成と微地形判読(1/5)

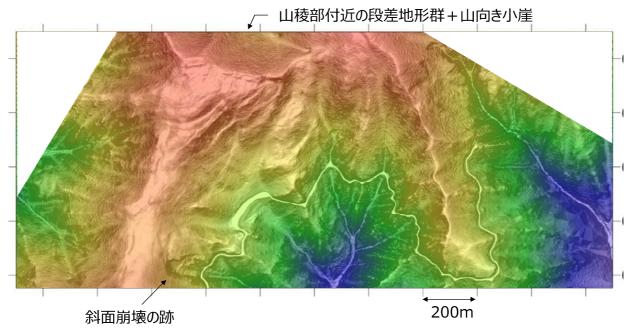
デジタルオルソフォト



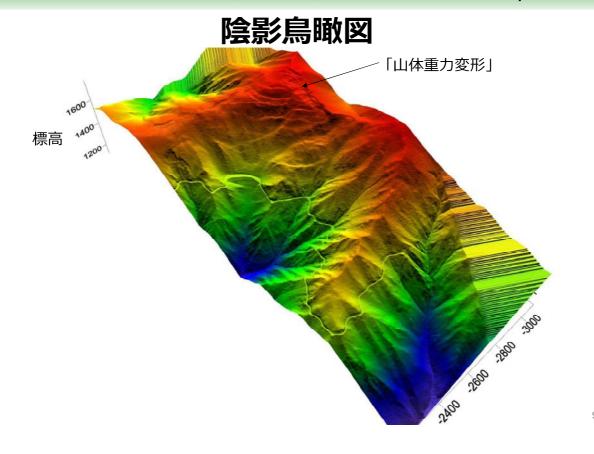
7

はじめに (2) 地形解析図の作成と微地形判読 (2/5)

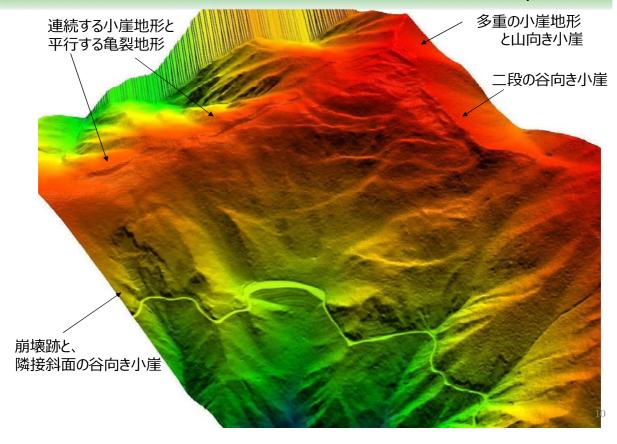
カラー標高傾斜図(ELSA MAP)



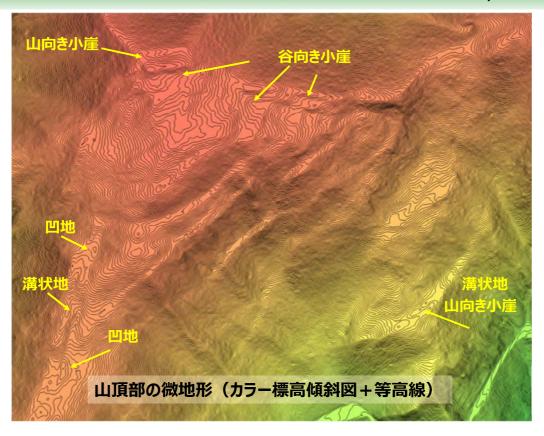
はじめに(2)地形解析図の作成と微地形判読(3/5)



はじめに(2)地形解析図の作成と微地形判読(4/5)



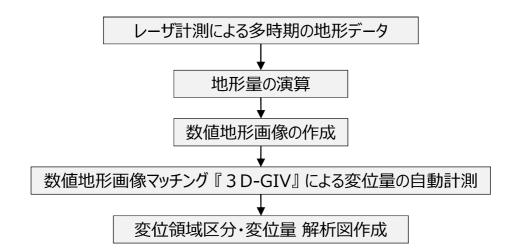
はじめに(2)地形解析図の作成と微地形判読(5/5)



1

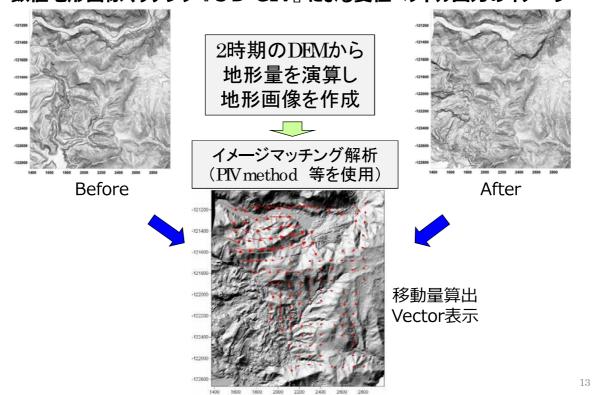
はじめに (3) 多時期のデータを活用した変動解析 (1/2)

多時期のレーザ地形データによる地表面変位量解析の流れ

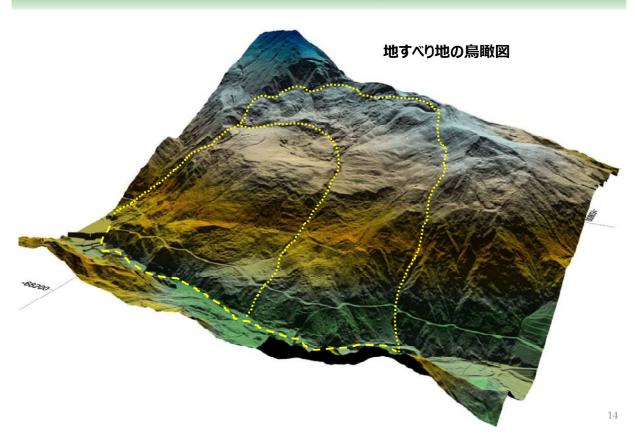


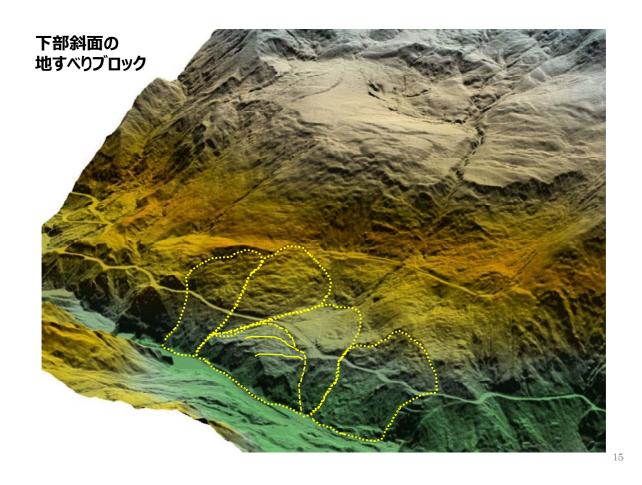
はじめに (3) 多時期のデータを活用した変動解析 (2/2)

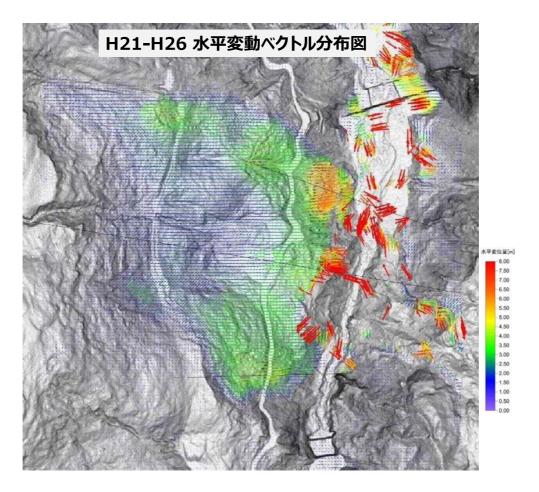
数値地形画像マッチング『3D-GIV』による変位ベクトル出力のイメージ



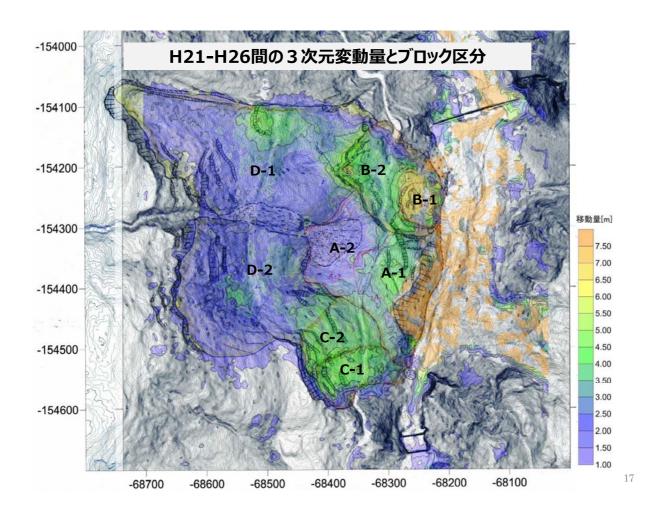
事例1. 地すべり変動量に基づく地すべりブロック区分と評価事例(A地区)



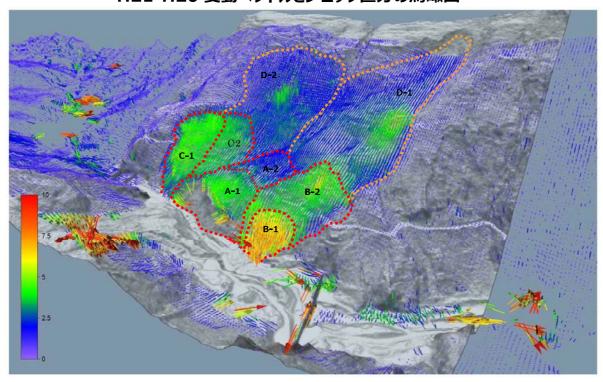




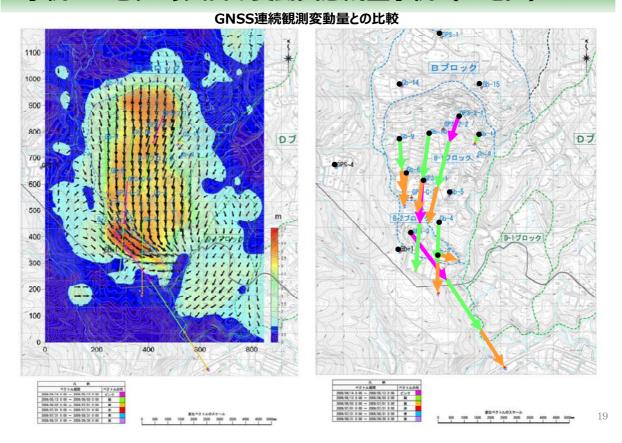
16



H21-H26 変動ベクトルとブロック区分の鳥瞰図

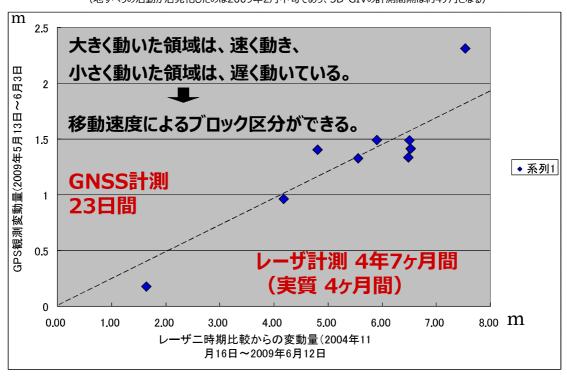


事例2. 地すべり災害の変動実態調査事例 (B地区)



画像マッチング変位量とGPS観測変位量との相関

(地すべりの活動が活発化したのは2009年2月中旬であり、3D-GIVの計測間隔は約4ヶ月となる)



事例3. 地震災害における対策への適用事例 (須川地区 岩手宮城内陸地震)

青森県 秋田県 岩手県 対象地 震源 本 山形県 宮城県

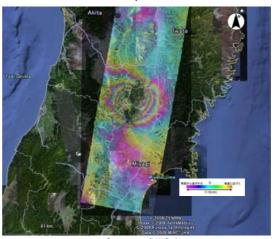
▲位置図

▼震源要素

- ·平成20年6月14日 8時43分
- ・震源深さ8km , マグニチュード7.2
- ·最大震度 6 強(岩手県奥州市、宮城県栗原市)

▼対象地

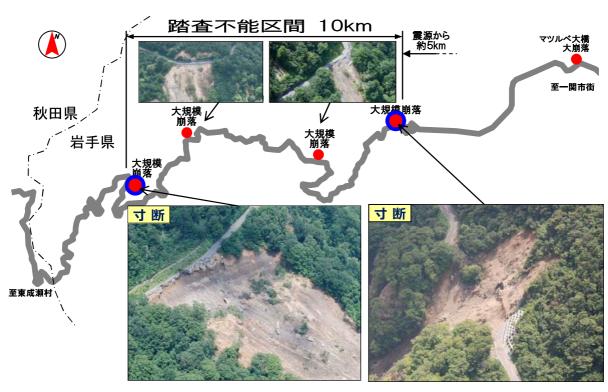
・震源より5~10km圏内, 国道342号(岩手県側)



▲干渉SAR解析図

21

大規模崩落により道路が寸断

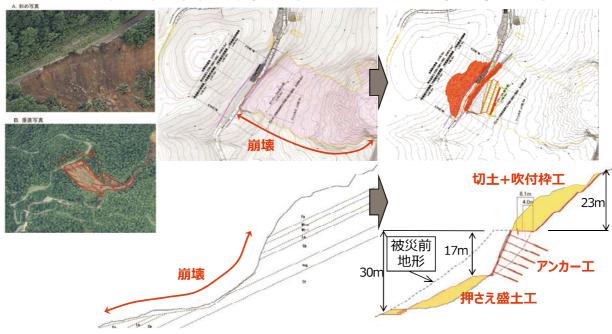


22

大規模崩落箇所は実測困難

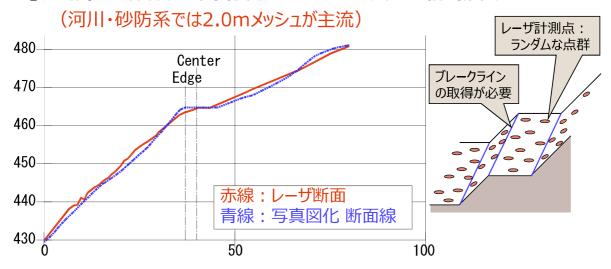
航空レーザ(1.5mメッシュ)と航空写真(写真図化)を活用

⇒ 実測困難な大規模崩壊地における迅速な対策に効果



航空レーザデータの設計利用時の留意点

- ①レーザ計測点はランダム点群のため、地形変化点が丸められる
 - ⇒ ブレークライン (傾斜変換点や構造物縁端) の別途取得が必要
 - ・・・写真図化などを併用
- ②道路系の場合、レーザ密度は0.5~1.0mメッシュ相当が良い

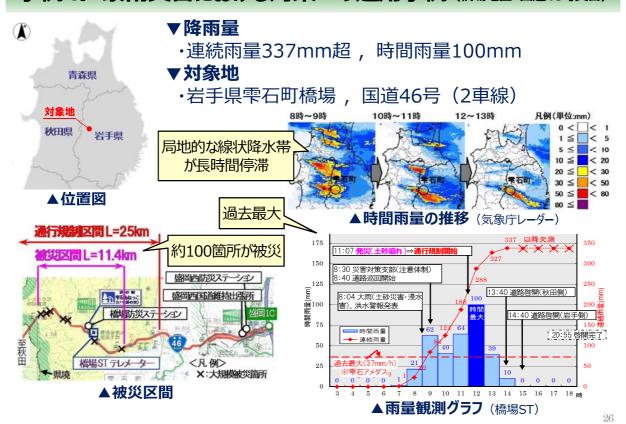


23

航空レーザデータをうまく活用して設計し無事に復旧



事例4. 豪雨災害における対策への適用事例 (橋場地区 国道46号災害)

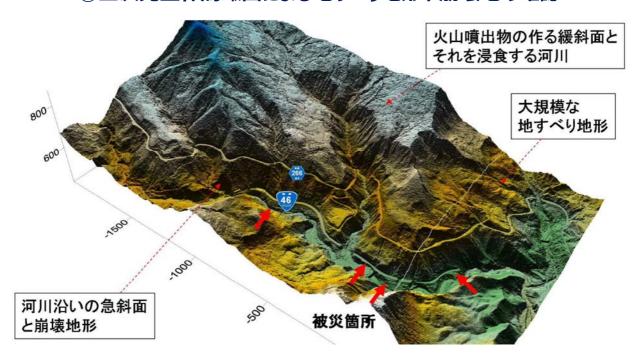






既存の航空レーザDEM (2mメッシュ) を活用した応急対策の検討 (1/4)

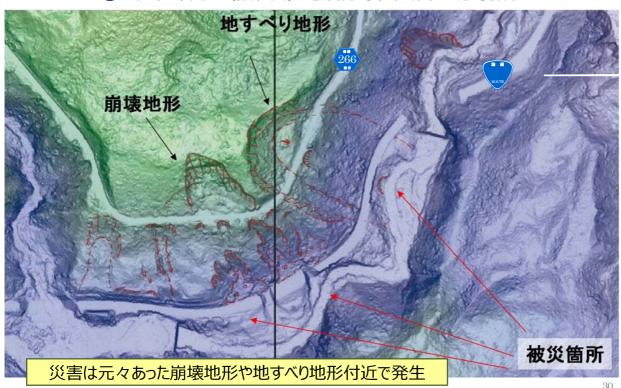
①三次元立体鳥瞰図による地すべり地形や崩壊地の確認



29

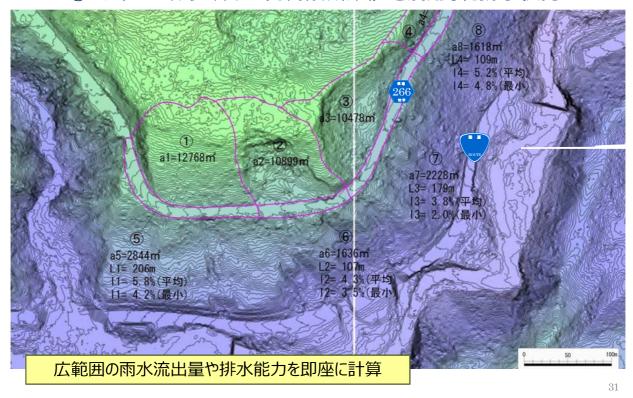
既存の航空レーザDEM (2mメッシュ) を活用した応急対策の検討 (2/4)

⑤エルザマップ (段彩図) を活用した災害地形判読



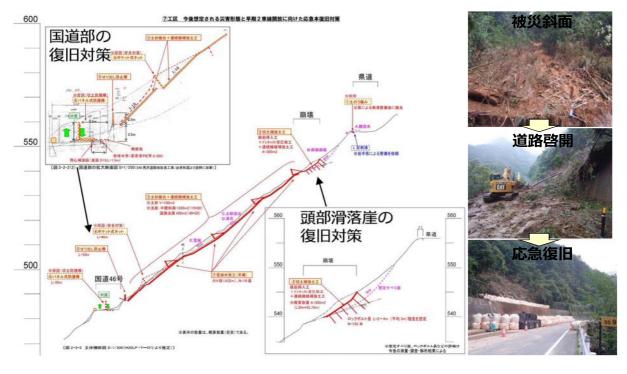
既存の航空レーザDEM (2mメッシュ) を活用した応急対策の検討 (3/4)

⑦コンターエルザマップ(等高線段彩図) を活用した排水検討

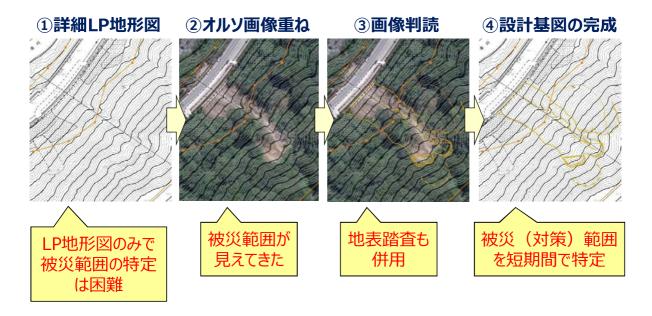


既存の航空レーザDEM (2mメッシュ) **を活用した応急対策の検討** (4/4)

⑧既存レーザデータを活用した復旧検討



新規の航空レーザDEM (0.5mメッシュ) を活用した復旧設計



33

新規の航空レーザDEM (0.5mメッシュ) を活用した復旧設計 (6/6)

短期間で設計完了。 現地の復旧も、設計図のとおり施工を完了。 (発災から4ヶ月後に全面2車線開放)



おわりにまとめと今後の課題

【調査への適用】

- ◆ 航空レーザ技術は**広域の微地形を一挙に取得**できる
 - ⇒ これまで・・・単なる詳細地形図として使用 これから・・・各種解析図や多時期判読により災害地形・変動の分析が可能
- ◆ 地形的な災害リスクや地形判読等の結果を分かりやすく伝えることが求められる ⇒ レーザーDEMの解析を工夫すれば視覚的で説得力のある結果と裏づけが可能

【対策への適用】

- ◆ 被災前の地形情報等の重要性を再認識
 - ⇒ 山岳部の<u>航空レーザデータや航空写真等を事前に整備</u>し、 昨今の**局地的**な**豪雨**や災害時に備えることが重要である。
- ◆ 大規模斜面災害では単にLP地形図を用いるだけでは不十分
 - ⇒ 状況に応じ、傾斜量や鳥瞰加工した<mark>段彩図</mark>、実測図やオルソ画像で補完した ハイブリット地形図が有効である。

【今後の課題】

- ◆ 状況に応じた**活用手法の工夫や模索**が重要
 - ⇒ LiDAR.やUAV など先端空間技術の革新や斜面災害への積極的な活用が望まれる。

2,5



ご静聴ありがとうございました。

UAV空撮による 高分解能DSMデータの 地すべり調査での活用事例

国土防災技術(株)技術本部第二技術開発センター 土佐信一

● 国土防災技術株式会社

目次

- ・1. 精度と分解能
- 2. UAV空撮によるDSMは高分解能
- ・3. UAV空撮は手軽で経済的
- ・4. DSM (≠DEM) でも利用価値はある
- ・5. 高分解能DSMの地すべり調査での活用事例
 - ・道路法面の地すべり/活発な地すべり地A/B
 - 渓間工堆砂敷の経年変化、渓畔植生の分布把握
 - ・斜め空中写真とUAV点群3Dビュー図の対比
- •6. まとめ+高分解能DSMの意義・活用方向性

■ 国土防災技術株式会社 :

精度と分解能

~「地すべり観測便覧」H24.3より

第3編観測機器とその適用性

- 1. 観測の形態比較
- 1.5 センサの動作原理と測定精度
- 1.5.2 測定精度
- (1)精度と誤差
 - 1)精度____
 - 2) 誤差-
- (2) 計測器の基本の性能
- (3) 測定の基本の校正式
- (4) 分解能
 - 1) 計測器と測定の分解能-
 - 2) 知りたい最小測定値-

①<u>品質管理分野</u>: JIS Z8101-1981では, 精度(precision)は測定値の**バラつきの程度**

②<u>計測分野</u>: JIS Z8103-1990では, 精度は<u>正確さ</u> accuracyと精密さprecisionを含めた総合的な良さ

あらゆる測定値は**誤差をともなう**. 誤差は<u>計測器の性能</u>と, 使用法の<u>組み合わせ</u>により変化する<u>特性</u>とがある. 誤差を定量化する規格: ASMEとJIS

分解能とは,指示値で<u>識別できる**最小測定物**</u> 理量をさす.

現場での測定値の判定を確実にするためには, 測定器の**分解能の3~5倍程度**を,<u>知りたい</u> 最小測定値としておくことが望ましい.

■ 国土防災技術株式会社 3

UAV空撮によるDSMは高分解能

弊社で主に使用しているUAV

> α UAV

- ・メーカー: (株)アミューズワンセルフ
- •飛行時間:最大20分程度
- 標準カメラ仕様:約1,600万画素

(4600 × 3400pix)



2014製・600万円

➤ PHANTOM4

- ・メーカー: DJI
- 飛行時間: 最大20分程度
- ・標準カメラ仕様:約1240万画素 (4000×3000pix)



2016製・20万円

■ 国土防災技術株式会社 4

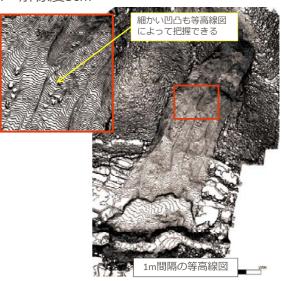
UAV空撮によるDSMは高分解能-例1

現場概要 熊本地震により,阿蘇大橋の西側斜面で発生した斜面長約770m,幅約200 mの崩壊地。

(大沢を確認するとともに, 踏査・ヒアリング資料に使用できるオルソ画像・等高線図を作成をする。)

空撮諸元 所要日数1日・対地高度100~150m・解像度5cm





■ 国土防災技術株式会社 5

UAV空撮によるDSMは高分解能-例2

■ オルソ画像による林況調査 対地高度100~150m・解像度5cm

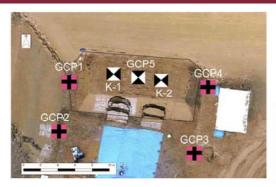




UAV空撮によるDSMは高分解能-例3

■ 盛土現場の変状計測実験:対地高度35m・解像度1cm

3次元データの精度



➡ 外側標定点

人内侧標定点

★ 検証点

	X	Y	Z
GCP1	19614.937	25273.117	17.317
GCP2	19613.664	25267.212	17.314
GCP3	19629.365	25264.525	17.091
GCP4	19631.109	25272.352	17.299
GCP5	19623.275	25273.782	18.523
K-1	19620.482	25274.101	18.589
K-2	19625.502	25273.488	18.589

3次元データ 鉄板引抜き前		K-1誤差(cm)			K-2誤差(cm)			
		x	У	z	×	У	z	
		-0.82	1.39	0.14	-0.6	1.34	-0.02	
西	下	5cm	-0.65	0.16	0.03	-0.84	-0.01	-0.1
	1.5	10cm	1.15	-0.16	0.38	0.71	-0.63	-0.28
	鉄	20cm	-0.84	0.72	-0.72	-0.36	1.18	-0.66
	板	30cm	1.02	-0.53	-0.64	1.93	-0.17	-0.34

「空中写真測量を用いた出来形管理要領(土工編)」に示された基準を満たした

誤差は2cm以内に収まった

新都市社会技術融合創造研究会/福井大学・立命館大学他との共同プロジェクトH28報告書より

■ 国土防災技術株式会社 7

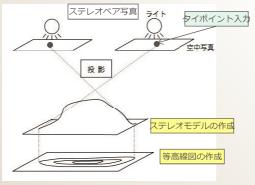
UAV空撮によるDSM化の概説

空中写真測量

→航空機から撮影された連続する空中 写真(飛行コースに沿って60~80%重 複)を用いて、地形図(数値地形図) を作製する作業。

手動でタイポイント*の入力を行い,3 次元座標を算出する。

※複数の写真から同一と視認できる地物を各写真上 で位置計測したもの



UAV空中写真測量

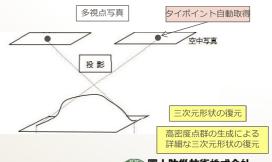
SfM (Structure from Motion)

→写真に写った対象物の幾何形状と カメラの動きを同時に復元する技術。 **自動でタイポイントを取得し,3次** 元座標を算出する。

MVS (Multi View Stereo)

→多視点(3枚以上)の画像による 詳細な三次元形状の復元技術。

画像の視差を計算し, 高密度点群を生成する。



●● 国土防災技術株式会社

UAV空撮によるDSM化の概説

(1) 外業手順:飛行計画→対空標識の設置+測量→空撮

(2) 解析手順: ①~④ (使用ソフトウェア: Agisoft製PhotoScan)



UAV空撮は手軽で経済的

◎機材投資:必須機材=100万円以下

・UAV機体: 20万円/DJI-PHANTOM4(+タブレット)

・解析ソフト:50万円/PhotoScan

解析PC:できれば高性能、既存PC+GPU+メモリ

+測量機材(対空標識=評定点の座標をcm級で測位)

△ UAV空撮は「DSM」(Surface) UAVレーザは「DSM+DEM」 → 林内の地表標高はNG.



△機材費は1千万円レベル.



朝日航洋(株)資料より引用

● 国土防災技術株式会社 10

DSM (≠DEM) でも利用価値はある

比較	撮影範囲	点群密度	
航空LP	数百ha以上	1~4点/m²	4点/m²で高密度。 → 50cm四方に1点
UAV空撮	数十ha以下	数百点/m²	数cmグリッドの オルソとDSM
UAV-LP	//	//	″ 但しコスト高

UAV空撮の特徴

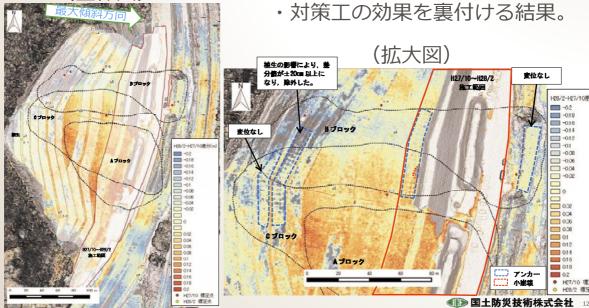
(全体図)

- ・対地高度50~100mの空撮で解像度3~5cm程度を取得。
- ・対空標識=評定点は対象現場の四隅&中央:5箇所以上。
- ・座標測量はVRS対応GNSS機を用いたネットワーク型RTK法 (±2cm級)によるのが効率的。
- ・「分解能の3~5倍程度が、知りたい最小測定値」/便覧
 - → 実用精度は±5~10cm程度、とも読み替えられる。

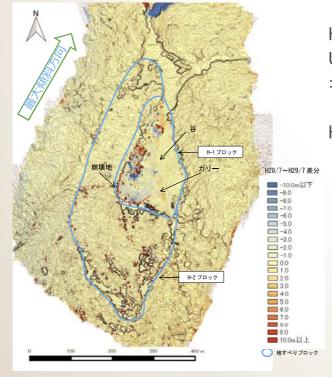
高分解能DSMの地すべり調査での活用事例 (1) 道路法面の地すべりの活動度

道路施工中の上部法面でのH27年10月とH28年2月のUAV標高差分

を±0.2m範囲で2cm間隔で色分け。 ・対策工の効果を裏付ける結果



高分解能DSMの地すべり調査での活用事例 (2) 活発で大規模なA地すべり_{1/3}



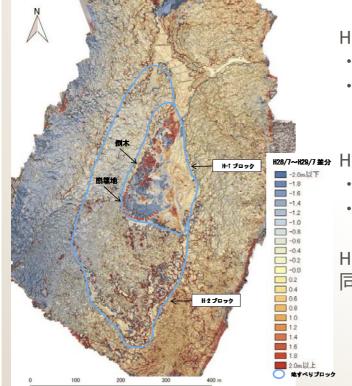
H28年7月とH29年7月の UAV差分結果(標高差分)を ±10m範囲で1m間隔で色分け

H-1ブロック:

- ・頭部で標高が低下
- ・末端部で標高が上昇
- ・ガリーが線状に標高低下
- ・ガリーの両側は標高が上昇

■ 国土防災技術株式会社 13

(2) 活発で大規模なA地すべり 2/3



H28年7月とH29年7月の差分

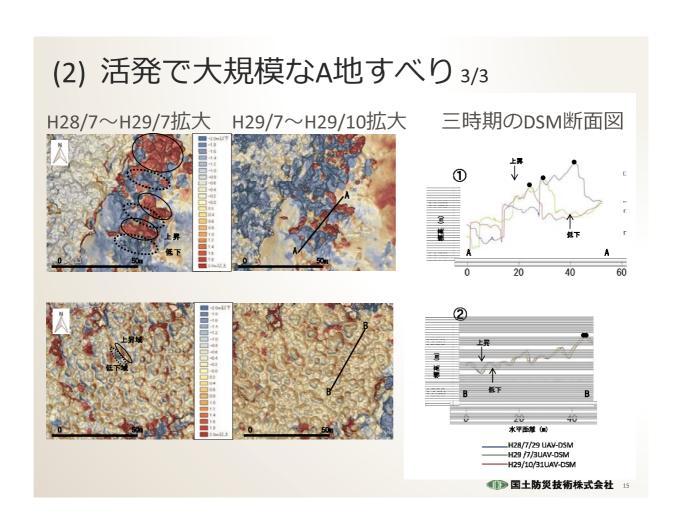
- ・±2m範囲で0.2m間隔色分け
- ・背景に傾斜量図を表示して 地表面の凹凸を強調。

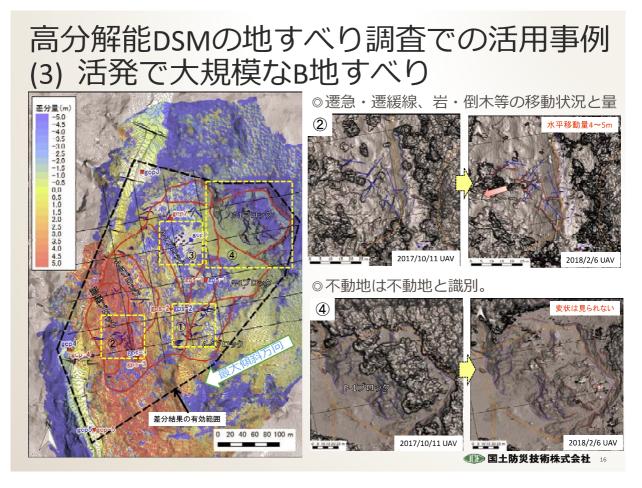
-H29/7## H-1ブロック中央部の倒木:

- ・南西側の標高が低下、
- ・北東側の標高が上昇。

H-2ブロック立木の樹冠部も 同様の傾向。

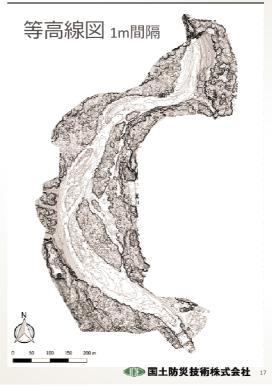
● 国土防災技術株式会社 14





高分解能DSMの地すべり調査での活用事例 (4) 渓間工堆砂敷の経年変化・渓畔植生





高分解能DSMの地すべり調査での活用事例 (5) 斜め空中写真とUAV点群3Dビュー図の対比

①熊本地震直後の斜め空中写真

②UAV点群からの疑似斜め写真



国際航業・パスコ撮影(KKCサイトより引用)



UAV空撮の高密度点群からCloud Compare (Open Source)で作成した3Dビュー

■ 国土防災技術株式会社 19

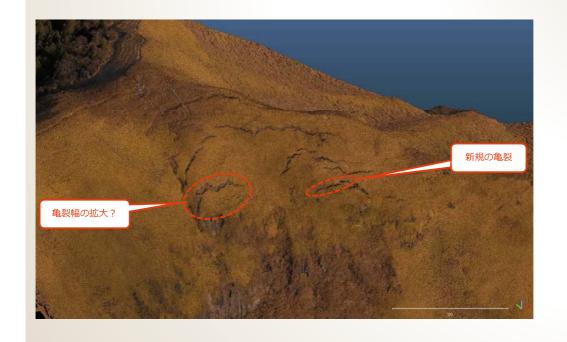
図1-1. 092.jpg・・・2016/4/16撮影(http://www.kkc.co.jp/service/bousai/csr/disaster/201604 kumamoto/index.html)

(C) 国際航業株式会社・株式会社パスコ

国土防災技術株式会社 20

図1-2. 2017/12/20空撮モデルからの疑似3D写真

(斜め写真を撮ったのではなく、UAVのほぼ真下を撮影した鉛直写真群から、SfM/MVS解析で得た三次元点群を用いて、あたかも同一視点から撮ったように表現したバーチャルな斜め写真である。図2-2も同様。)

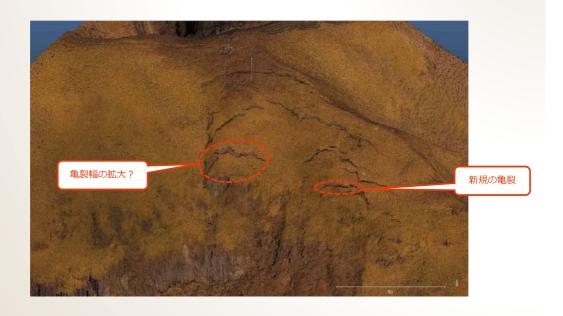


■ 国土防災技術株式会社 21

図2-1. 093.jpg・・・2016/4/16撮影(http://www.kkc.co.jp/service/bousai/csr/disaster/201604_kumamoto/index.html)



■ 国土防災技術株式会社 22



■ 国土防災技術株式会社 23

まとめ+ 高分解能DSMの意義・活用方向性

- ・UAV空撮の利点:高分解能DSM・手軽・経済的。
- ・欠点:林内はDEMダメ。でも利用価値はある。
- ・従来観測種は「点」か「線」。(伸縮計・GPS・孔内) → UAV空撮は「面+高分解能=高解像度」。
- ・DEMが得られない森林でも、特徴的な地物(樹頂・倒木・転石・岩盤岩塊)を追跡できる。 → 地すべりブロック区分、地すべり機構解釈に活用。
- 高密度 = <u>観測密度が高い</u>。
 ★ 従来手法には無い、ビッグデータ的要素、調差を含む大量データ
 - → 従来手法には無い、ビッグデータ的要素。誤差を含む大量データから見える新しいモノ ← 統計的アプローチも。
- ・UAV精度・誤差 → 「面」全体の精度検証は困難だが、 精度確保の意識と努力は必須。 → 基本に忠実に。

● 国土防災技術株式会社 24

■ 公益社団法人日本地すべり学会東北支部 平成30年度シンポジウム 「高精度地形データの地すべり調査での活用と方向性」

■ 編集・発行

公益社団法人日本地すべり学会東北支部 https://japan.landslide-soc.org/branch/tohoku/

■ 発行日

平成30 (2018) 年4月16日

■ 日時

平成30年4月16日(月) 14:00~17:30

■ 場所

仙台市戦災復興記念館記念ホール 仙台市青葉区大町 2-21-1 TEL 022-263-6931

■ CPD

(公社)日本地すべり学会, 3.25 時間(認定番号: JLSO48) (一社)建設コンサルタンツ協会, 3.25 時間(認定番号: 201803220001)