

2017年九州北部豪雨等における土砂災害調査 及び大規模斜面崩壊等に関する監視技術の動向

平成29年度土木研究所講演会

2017年10月19日

国立研究開発法人 土木研究所

土砂管理研究グループ

上席研究員 水野 正樹

九州地方整備局 はるかぜ号 2017.7.7撮影

I. 2017年九州北部豪雨等における土砂災害 調査と技術支援

1.1 2017年九州北部豪雨の流木調査(1)

- 2017年7月5日から6日にかけて、福岡県朝倉市や大分県日田市付近で24時間雨量が400年超過確率規模に相当する降雨が発生(2017, 砂防学会第一次緊急調査報告)
- この豪雨により崩壊や土石流が多数発生して多量の土砂と流木が流下し、激甚な被害が発生



2017.7.22土木研究所撮影

北川の土砂・流木による家屋被災例

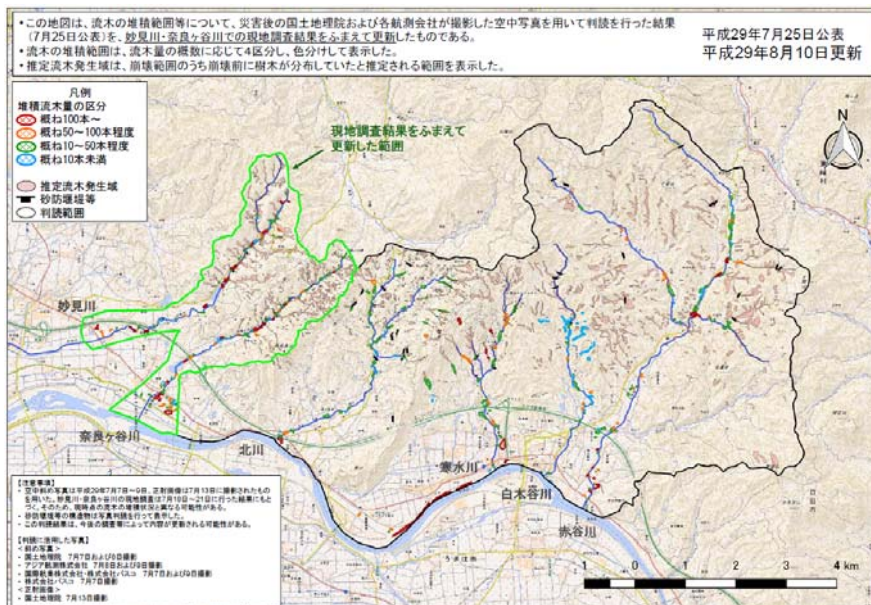


2017.7.21土木研究所撮影

寒水川の土砂・流木による家屋被災例

1.1 2017年九州北部豪雨の流木調査(2)

- 大量の流木の供給源となった流木の発生域や、流木の堆積箇所を明らかにするため、空中写真判読と現地調査を実施
- 流木の堆積箇所は、主に以下の4つに分類された
 - ① 崩壊斜面の下部
 - ② 支溪流と溪流の合流点付近
 - ③ 合流点付近に堆積した支溪流からの流出土砂の溪流側上流部
 - ④ 流路屈曲部の外湾部



堆積流木と推定流木発生域の分布図

1.1 2017年九州北部豪雨の流木調査(3)



- 筑後川右岸側の溪流のうち、妙見川と奈良ヶ谷川の現地調査を実施
- 多量の流木の流出は、流域のほとんどの支溪流で表層崩壊が発生したことが要因と推定
- 妙見川の須川第一砂防堰堤では、多量の流木が捕捉され、堰堤の流木捕捉効果が認められた



2017.7.20土木研究所撮影



2017.7.18土木研究所撮影

溪流内の流木の堆積状況
(写真は妙見川の支溪流の谷出口付近)

須川第一砂防堰堤における流木の捕捉
状況(妙見川)

渓床勾配が緩急両方の区間において山地溪流の流木処理計画の立案に資するため、流木の発生、流出、堆積のメカニズムの解明に向けて調査・検討を進めていく

1.2 2017年九州北部豪雨の日田市小野地区地すべり



- 筑後川水系支流の小野川右岸に位置する斜面(大分県日田市小野地区の集落の対岸)において、斜面長約300m、幅約200m、標高差約200mの大規模な斜面崩壊が発生したことから、大分県等の要請により現地調査等を実施
- 市長をはじめ県・市の関係者に対して調査結果を報告し、警戒避難のあり方等について助言



崩壊地全景 (2017年7月8日撮影)



河道閉塞箇所上流の湛水状況
(2017年7月8日撮影)



崩壊斜面のテラス状緩斜面部における段差地形 (2017年7月13日撮影)



崩壊斜面スケッチ (7月8日時点)



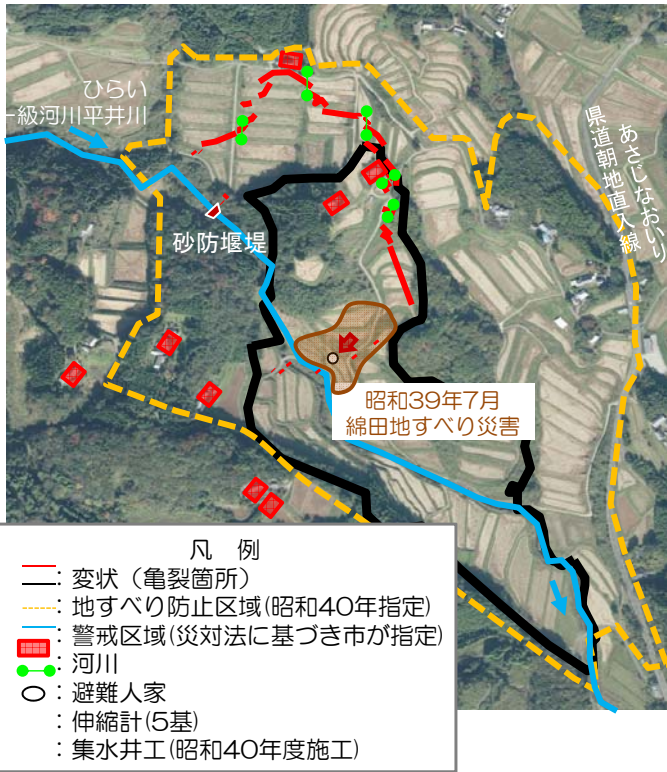
背後斜面の亀裂 (7月13日撮影)



日田市長への説明 (7月13日撮影)5

1.3 豊後大野市綿田地区地すべり

- 2017年5月16日に大分県豊後大野市朝地町綿田で発生した地すべり災害において、応急対策工の留意点や監視等の技術的助言を行うため、土砂災害専門家の現地調査を実施
- 市長をはじめ県や市の関係者に対し、今後の警戒避難体制の整備や応急対策等について助言



崩壊の状況
(2017年5月24日撮影)



斜面上部の段差亀裂
(2017年6月5日撮影)



平井川に架かる橋の損傷
(2017年6月5日撮影)



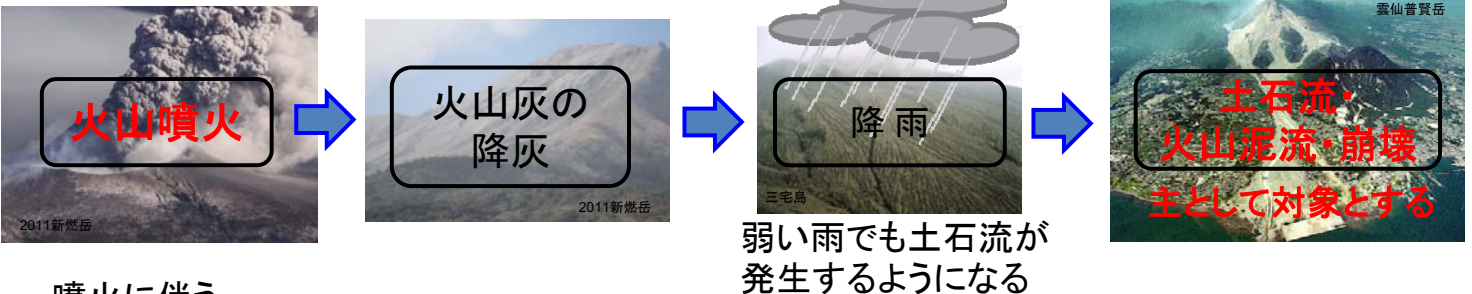
豊後大野市長への説明
(2017年5月24日撮影)

1.4 2017年10月霧島山(新燃岳)の噴火

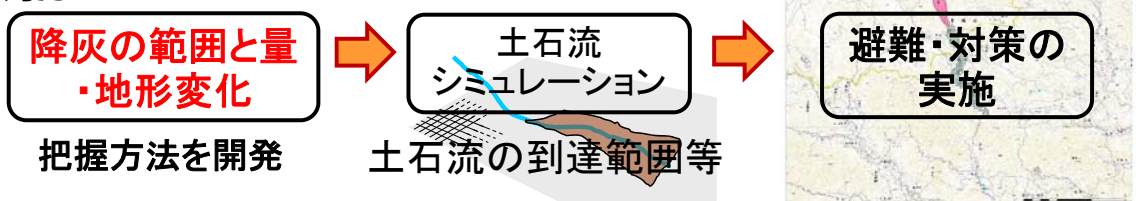
- 霧島山(新燃岳)で2017年10月11日05時34分頃から噴火が発生
- 火山の土砂災害対策は、土石流・火山泥流・崩壊が対象
- 土砂災害防止法により規定された「1cm以上の降灰範囲」を現地の降灰量計測データから計算

火山の対象とする土砂災害対策

<現象>



<対応>



- 霧島山(新燃岳)で2017年10月11日05時34分頃噴火が発生
- 土砂災害防止法により規定された「1cm以上の降灰範囲」を現地の降灰量計測データから試算



新燃岳
(九州地方整備局 2017.10.11撮影)

新燃岳の火山灰の降灰厚(2017.10.14現在)
※2017.年10月14日までの現地調査データを使用

8

Ⅱ. 大規模斜面崩壊等に関する監視技術の動向 ＜衛星差分干渉SARを用いた研究事例＞

9

2.1 DInSAR等を用いた深層崩壊の予兆変位の把握



<目的>

- 地震、風水害等による**深層崩壊発生前に危険な斜面**を特定
- 深層崩壊発生時の被害を減らす

Lバンド差分干渉SAR(L-band DInSAR)

- ・差分干渉画像を用いた広域監視
 - 最近の地盤変位の有無
 - 変位土塊の**規模とエリア**
- ・大規模土砂災害の予兆の動きがある箇所を**発災前に探知**

長野県周辺を対象エリアとした一連の調査解析の事例

- ・衛星差分干渉SAR (L-band DInSAR)
- ・GNSS測量による地すべり変位有無の確認
- ・航空レーザ測量データを用いた地形図 (以下、LP地形図)による微地形の確認
- ・数値氾濫シミュレーション



2016年 熊本地震 南阿蘇村 阿蘇大橋付近



2017年九州北部豪雨(日田市)



2011.9.11 十津川村宇宮原(うぐほら)地区

(撮影:土木研究所地すべりチーム)

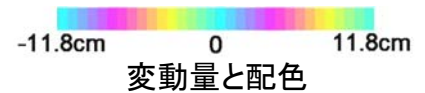
10

2.1 DInSAR等を用いた深層崩壊の予兆変位の把握 —「変位候補箇所」の広域抽出—

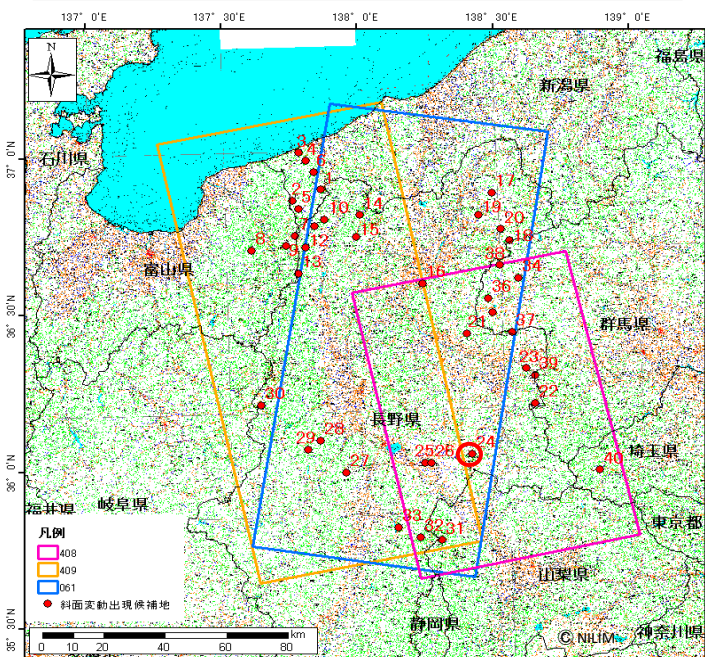


「だいち」(ALOS)の衛星差分干渉SAR(以下、DInSAR)を用いて「変位候補箇所※」を広域抽出

※なお、DInSAR画像からの抽出箇所は、ノイズの場合があるため、「候補箇所」としている



3パス合計で40箇所を抽出

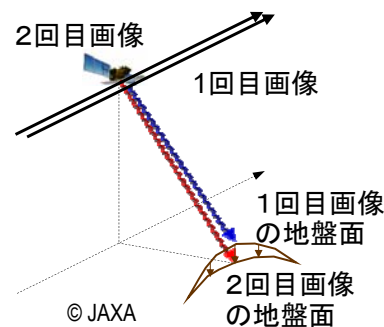


ALOS DInSARで抽出した「変位候補箇所」

解析に用いたALOS/PALSAR画像46枚

	長野県周辺域	
	軌道番号	シーン数
南行軌道	61	8
	408	14
北行軌道	409	24

※2007年～2011年 撮像画像



2回の観測の差(赤-青)は、

- ①軌道差,
 - ②地形高度,
 - ③地盤変動,
- 等を含み, ①,②を補正することで地盤変動を得る。

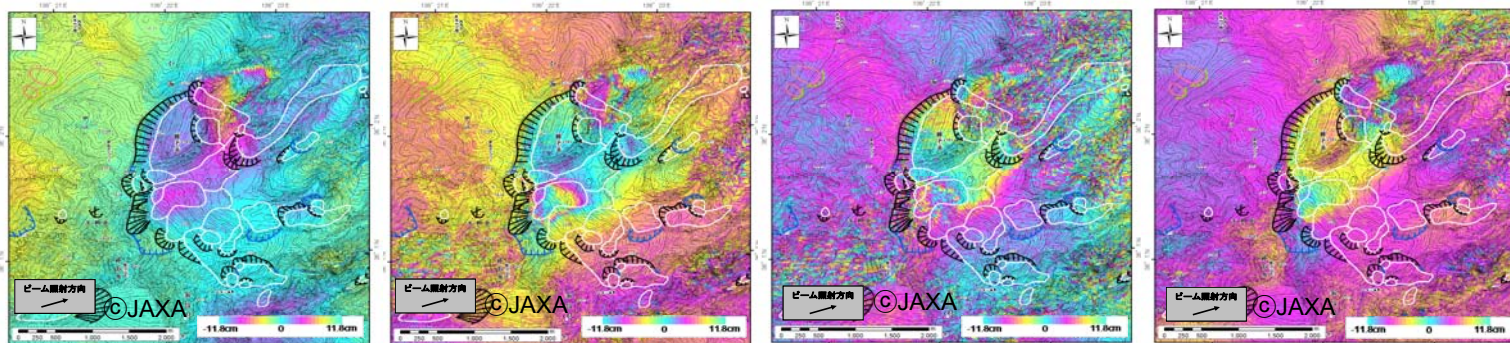
差分干渉の原理

出典

JAXA : プロジェクト情報 だいちトピックス, 2006年10月26日
<http://www.satnavi.jaxa.jp/project/alos/news/backnumber.html> (一部加筆)

11

「地すべり変位候補箇所」長野県小海町_④稲子岳のALOS DInSAR画像



2007/7/1と2007/10/1

2007/7/1と2008/7/3

2007/7/1と2009/8/21

2008/7/3と2009/8/21

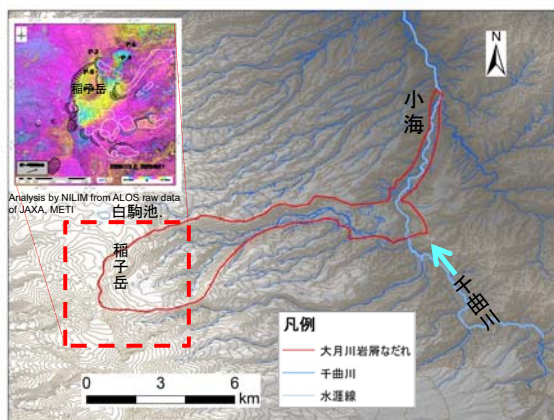
Analysis by NILIM from ALOS raw data of JAXA, METI

- ・観測日が異なるALOS DInSAR画像4枚において、山体斜面の同じような場所で変動縞画像が現れた



稲子岳と流下方向の状況

12

稲子岳をGNSS測量対象に
選定した理由

対象エリア位置(赤点線)と大月川岩層なだれ範囲

出典:「日本の天然ダムと対応策 改訂版」水山高久監修,2011,P36,
<http://www.sff.or.jp/content/uploads/full.pdf> に加筆

- ①「西暦887年8月の五畿七道の地震」(南海-東海地震)で発生した大月川岩層なだれ(約3.5億 m^3)の発生源域にある

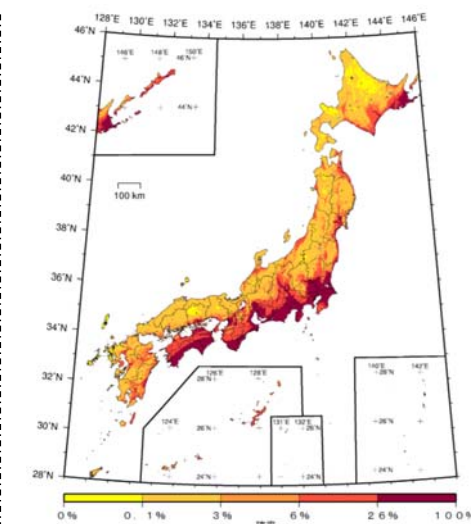


- ②西暦887年8月の大月川岩層なだれ範囲には、多くの人家が存在

参考文献:

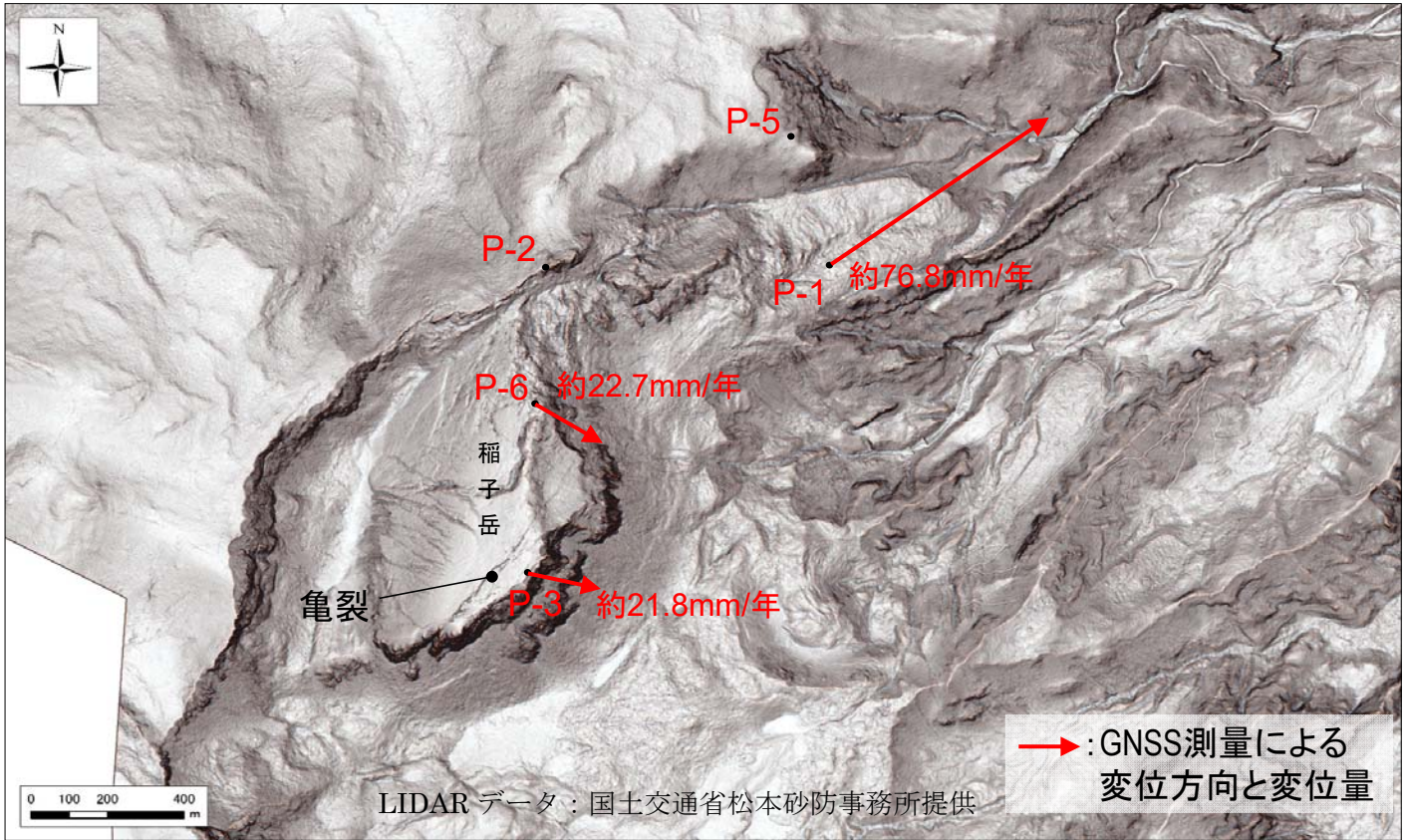
- ・総務省統計局:平成22年国勢調査小地域集計
- ・国土交通省国土政策局国土情報課:国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ

- ①②③より、稲子岳は、GNSS測量で変位の有無を確認する必要性が高い

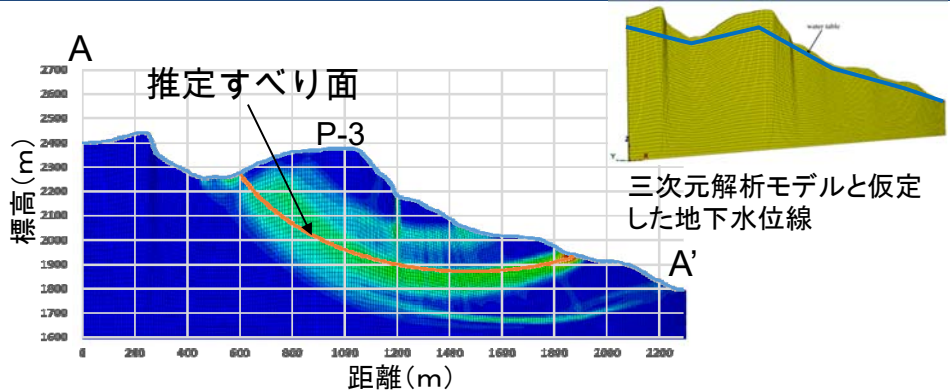
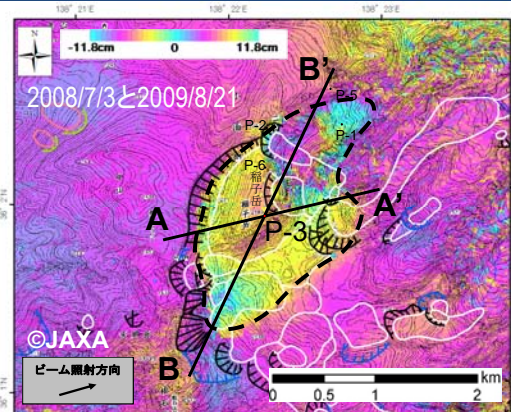
全国地震動予測地図2016年版
出典:平成28年6月10日地震調査研究推進本部地震調査委員会

- ③南海トラフ地震等により、震度6弱以上の揺れに見舞われる確率が高い地域

13



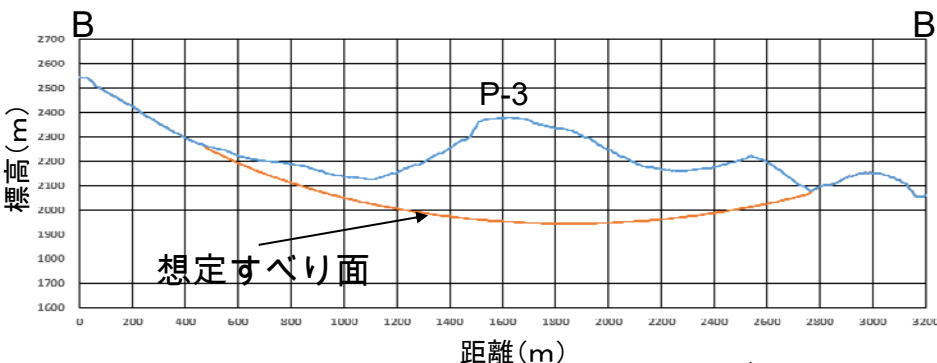
- ・ GNSS測量の結果、P-1, P-3, P-6 の3点で有意な地表変位を計測(2013年～2016年計測)
 - ・ LP地形図から、P-3付近の山体に亀裂を確認
- 14



ALOS DInSAR画像の変動縞から想定した変位エリア(点線)とAA'断面、BB'断面の位置

AA'断面における「せん断強度低減法」と震度法による「最大せん断ひずみ速度カウンター」と推定すべり面

出典：水野正樹・王 純祥・権田 豊(2016)．深層崩壊前微動土塊の干渉SAR広域探索調査・崩壊危険度評価手法の確立に向けた検討，平成28年度砂防地すべり技術研究成果報告会講演論文集，pp.23-52



BB'断面における想定すべり面(注1)

「最大せん断ひずみ速度の高い層」(断面)と「DInSAR画像の変動縞」(変位平面)から、稲子岳のすべり面の位置と形状を想定(注1)

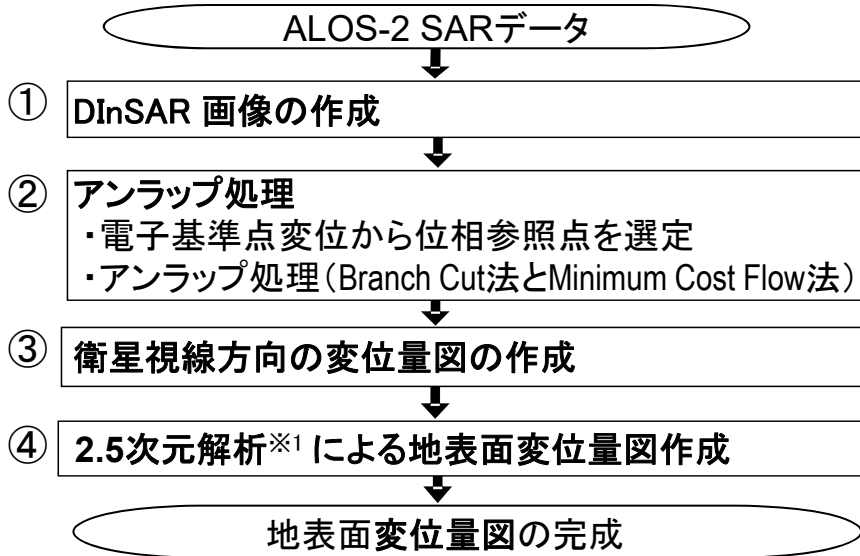
・ 想定したすべり面で変位している場合、稲子岳山体の土塊全体の土砂量は約2億m³と概算

注1. すべり面の位置と形状、変位領域の特定には、ボーリング調査等の更に詳細な調査が必要

2016年熊本地震を対象に検討

熊本地震の解析で使用したALOS-2画像

方向	軌道	フレーム	観測日	シーンシフト
北行	130	650	2015/6/18、2016/6/16	-3
	131	640	2016/3/29、2016/4/26	+1
南行	23	2950、2960	2016/3/7、2016/4/18	0



Branch Cut法の解析処理が不可能な領域を图示

地表面が乱された斜面を把握

干渉SARを用いた地震による変状斜面の把握の検討フロー

※1 参考文献

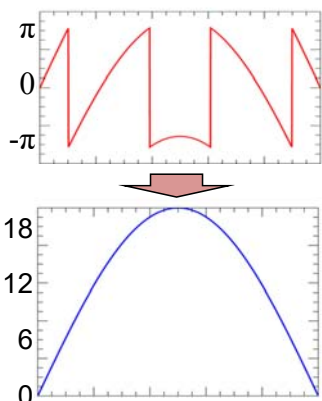
Fujiwara, S., T. Nishimura, M. Murakami, H. Nakagawa, M. Tobita and P. A. Rosen (2000) : 2.5-D surface deformation of M6.1 earthquake near Mt Iwate detected by SAR interferometry, Geophys. Res. Lett., 27, 2049-2052.

- ・ 2.5次元解析において、電子基準点の変位ベクトルから求めた「方位角の代表値」を用いて南北方向の変位も算出

◆アンラップ処理

- ・ Branch Cut法 (優先)
- ・ Minimum Cost Flow法

→ 2手法を併用することで、地表面が変化した低コヒーレンス領域も含め把握して、解析不可能領域を減らす

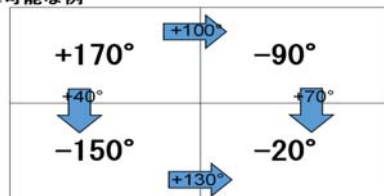


アンラップ処理の概念

◎Branch Cut法※1) (以下、BC法)

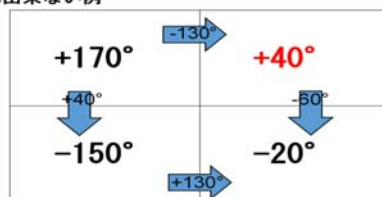
連続性能が低い傾向にあるが、**精度の良い結果**が得られる
隣接ピクセル同士の差分を順次累積して矛盾なくアンラッピングする

計算可能な例



$$\begin{aligned} & (\text{時計回り}) (+100) + (+70) \\ & = (\text{反時計回り}) (+40) + (+130) \end{aligned}$$

計算出来ない例

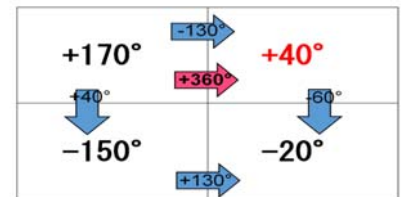


$$\begin{aligned} & (\text{時計回り}) (-130) + (-60) \\ & \neq (\text{反時計回り}) (+40) + (+130) \end{aligned}$$

◎Minimum Cost Flow法※2) (以下、MCF法)

精度が低い傾向にあるが、位相の**連続性能が良い**

経路によって矛盾が生じる部分では、 $360^\circ \times N$ (Nは整数)の差分があると考える。Nを推定するにあたり、画像全体(全ての隣接するピクセル間)でNの和を最小化し、かつ矛盾のないアンラッピングを行う

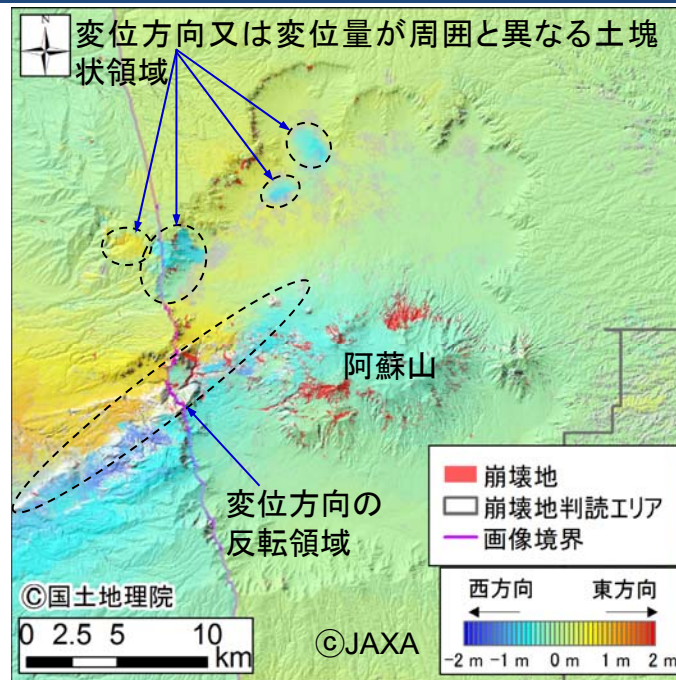


$$\begin{aligned} & (\text{時計回り}) +360 + (-130) + (-60) \\ & = (\text{反時計回り}) (+40) + (+130) \end{aligned}$$

参考文献

※1) Goldstein, R.M., H. A. Zebker and C.L. Werner (1988): Satellite radar interferometry: Two dimensional phase unwrapping, Radio Science, 23, 4, 713-720.

※2) Mario Costantini (1998): A novel phase unwrapping method based on network programming, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 36, No. 3, p.p. 813-821, May 1998

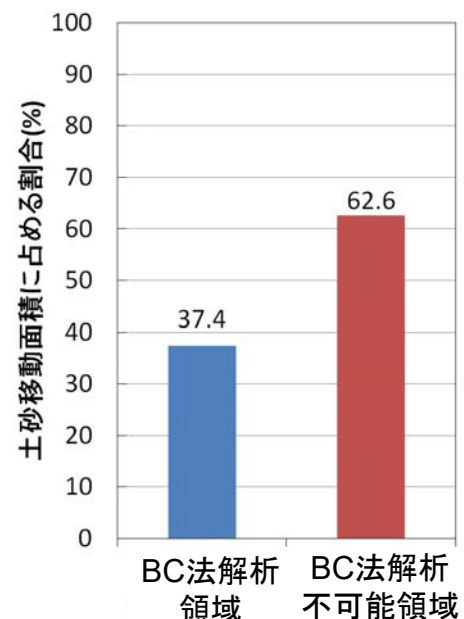
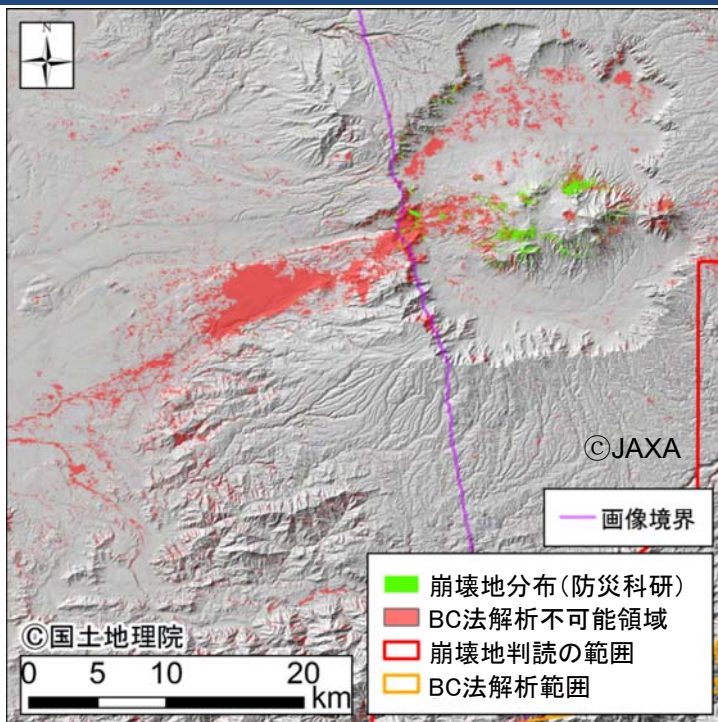


東西方向の変位と崩壊地分布

崩壊地データ: 防災科学技術研究所, 熊本地震による土砂移動分布図 (2016.6.27更新)より

- ・「変位方向又は変位量が周囲と異なる土塊状領域」と「変位方向の反転領域」を抽出
- ・ただし、コヒーレンス値が低い(0.7以下)領域については、変位量の誤差が大きいことに留意が必要

出典: 水野正樹ら(2017), 衛星干渉SARと電子基準点を用いた地震の地表面変位とゆるみ斜面の把握, 平成29年度砂防学会研究発表会概要集, pp.308-309



BC法の解析可否と土砂移動面積の関係

2016熊本地震の崩壊地分布とBC法解析不可能領域

崩壊地分布: 防災科学技術研究所, 熊本地震による土砂移動分布図 (2016.6.27更新)より

- ・地震の崩壊地面積の62.6%が、「BC法解析不可能領域」で発生
- ・地表面が乱された事を示すBC法の解析不可能領域にある斜面は、崩壊や土砂移動が多い斜面と考えられる

出典: 水野正樹ら(2017), 衛星干渉SARと電子基準点を用いた地震の地表面変位とゆるみ斜面の把握, 平成29年度砂防学会研究発表会概要集, pp.308-309

Ⅲ. 大規模斜面崩壊等に関する監視技術の動向 < 干渉SAR以外の監視技術 >

3.1 地震計を活用した大規模崩壊等の監視技術

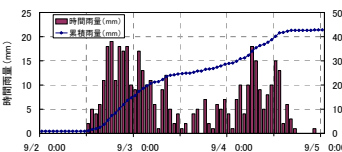


- 崩壊土砂等が河床に衝突すること等により発生する振動を観測し、地震の震源特定技術を活用して崩壊発生箇所と時刻を推定する技術

大規模崩壊の発生箇所、時刻の特定



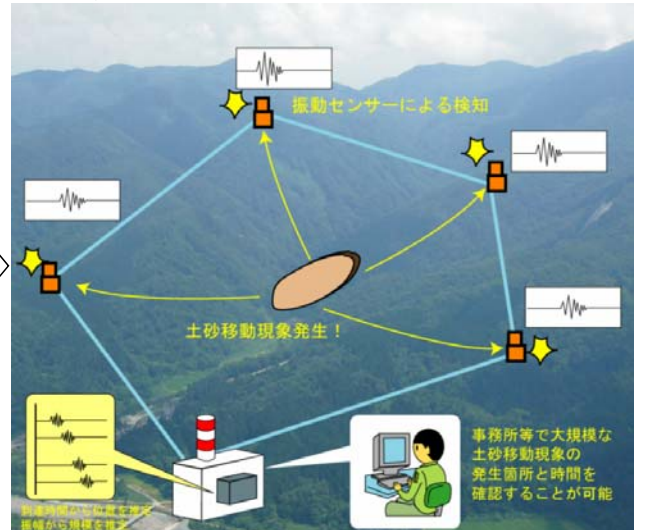
崩壊土砂の運動プロセスと地盤振動発生概念図



地震計を活用した大規模崩壊等の発生場所・時刻の推定※(静岡県浜松市水窪地区で発生した崩壊)

活用イメージ

山地流域において地震計を面的に配置することで、大規模崩壊の監視体制を構築していく

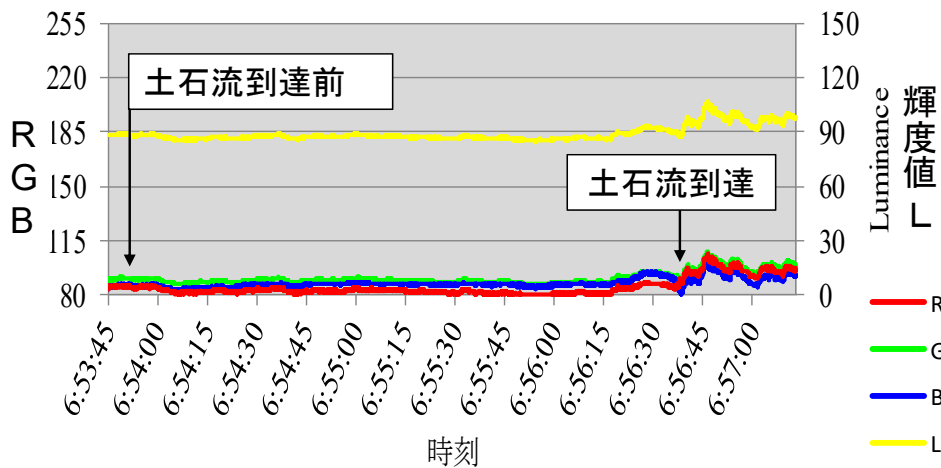


地震計を活用した監視体制の概念図

※解析にあたっては(独)防災科学技術研究所の高感度地震観測網Hi-netのデータを活用させて頂きました

- 土石流の監視を目的として、土砂移動に伴う濁りの変化をCCTVカメラで検知する技術を開発
- 土石流到達前のRGB値は、時系列での変化小
- 土石流到達時はR値が相対的に上昇するとともに、RGB値が時系列で変動

平成28年8月23日の北海道石狩川水系黒岳沢川で発生した土石流を画像解析



土砂移動や土石流に伴う濁りの変化を、RGB の画素情報から検知可能

出典：五十嵐ら(2017), 山地河川の濁りによるRGB 値変化に着目した土石流発生検知手法開発に向けた試み, 土木技術資料Vol.59(6)

3.3 SfM解析(天然ダム形状の計測)

- 天然ダムの決壊により被害の生じるおそれのある区域及び時期の想定には、天然ダムの形状と位置を迅速に把握する必要がある
- 複数の写真から三次元的形状を形成するSfM(Structure from Motion)技術の活用により短時間かつ簡便に天然ダムの三次元的形状を計測できる可能性がある

湯浜地区の天然ダムの計測事例

ヘリコプターからの写真撮影

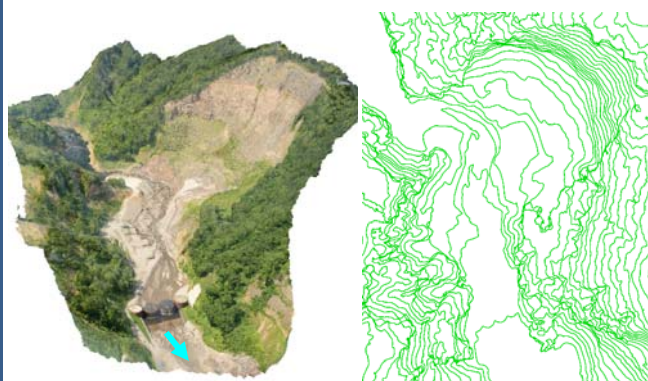


・GPS付きのデジタルカメラにより撮影画像データに座標(緯度・経度・標高)が付与

SfM技術の活用



天然ダムの三次元形状・地形データ



- ・SfM技術により天然ダムの形状を簡便に十分な精度で作成できる
- ・災害後すぐに形状を把握できる可能性

IV. おわりに

今後の調査研究



- 流木については、山地溪流の流木処理計画が立案できるように、流木の発生、流出、堆積のメカニズムの解明に向けて調査・検討を進めていく
- LPデータの差分解析、振動センサー、RGB画像解析、SfM解析等の大規模斜面崩壊等に対する監視技術については、信頼性や迅速性を高めるため、検知精度を向上させる研究を進めていく
- これらの技術を活用することで、土砂災害の緊急対応や災害予防をより円滑に実施できるようにしていきたい