



最先端レーダーが見つめる

日本最大の地すべり

2008年(平成20年)に発生した岩手・宮城内陸地震。

東北大学 佐藤源之研究室が追いつけた、「荒砥沢地すべり」の13年間と現在。

製作 東北大学東北アジア研究センター 教授 佐藤源之 | 栗駒山麓ジオパーク推進協議会 | 東北大学災害科学国際研究所 准教授 佐藤翔輔

協賛 東北大学東北アジア研究センター共同研究「荒砥沢地滑りモニタリングと防災アウトリーチ」 協力 株式会社 よごと企画

●本展示は、栗駒山麓ジオパーク学術研究等奨励事業「マルチハザード型かつ自然災害共生型ジオパークにおける学習体系、手法のあり方に関する研究」(代表:佐藤翔輔)の一環で製作されました。

はじめに

2008年に起きた岩手・宮城内陸地震。

道路が寸断された衝撃的な映像を覚えている方も多いと思います。

その地すべりの現場は、今どうなっているのか。考えたことはありますか？

実は、10年以上前の地すべりの現場を、今もモニタリングし続けている研究室があるんです。

それが、最先端のレーダー研究を行っている東北大学佐藤源之研究室です。

この展示では、地すべりが起こった原因から、レーダーによる観測の手法、
今現在の地すべり現場のモニタリング映像まで、さまざまな角度から解説しています。

10年間以上地すべりを観測し続けることで、どんな成果が生まれているのか。

最先端レーダーが見つめる今と未来をご覧ください。

1. 2008年6月14日、大地が動いた

2. 搜索活動と最先端技術

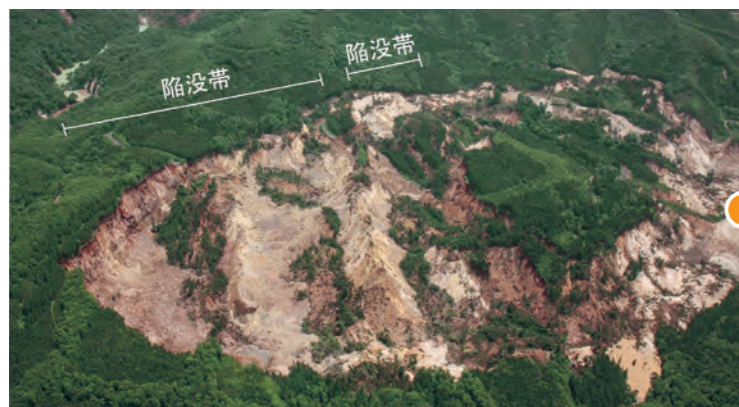
3. 小石一つの落下も逃さないGB-SAR

4. GB-SARと防災の未来

5. 災害に備える「知る」

1. 2008年6月14日、大地が動いた

大小合わせて3500ヶ所で起きた地すべり。そのなかでも特に大規模で日本一の規模となったのが荒砥沢の地すべりです。荒砥沢ダムから流れ出る二迫川と三迫川にはさまれた場所を起点とし、斜面長1300メートルにわたって、この地すべりが起きました。東北大学佐藤源之研究室は、この現場のモニタリングを行ってきました。ここでは、まず荒砥沢地すべりの全体像を見てみましょう。荒砥沢の地質や地形、土砂の動き方など、特徴的な場所について、空から撮影した写真を使ってご紹介します。



地すべりの頭部は広範囲に陥没しているのが分かります
(左が頭部、写真右方向へ地面が移動しました)



右側の壁側には、以前に陥没した堆積物の断面が見えます



荒砥沢地すべり周辺を真上から見た図



地すべり頭部の滑落は最大で約150mに達しました



地すべりの移動量は最大で約300mに達し、市道荒砥沢線が寸断されました



地すべり中央～末端近くの土の塊(写真中央)は、変形・沈降が少なく、末端部～両側壁では、最大で80mもの隆起が確認されました。地面は、ほぼ水平方向に移動しています。



地すべり全景(荒砥沢ダム上空から栗駒山方面を望む)



地すべりの末端部付近では、導水管が隆起していました



最大で80mもの隆起が確認されています

1. 2008年6月14日、大地が動いた

M7.2

マグニチュード

阪神・淡路
大震災 (M7.3)
に次ぐ規模

2008 (平成20) 年6月14日、8時43分、岩手県内陸部でM7.2、最大震度6強の地震が起きました。岩手・宮城内陸地震の発生です。阪神・淡路大震災のM7.3に次ぐ大規模な揺れでした。震源の深さは8km。極めて浅い表層部で発生した内陸の直下型地震だったため、震源の上では強烈な揺れが生じたのです。この地震は、栗原市から奥州市に延びる、長さ約45km、幅約15kmの断層で発生し、余震は断層面に沿うように起きました。最大の余震はM5.7、震度5弱。本震の約40分後、栗原市と奥州市の県境で発生しています。

約150m

落差

ビル
約38階
相当

この展示で紹介する「荒砥沢地すべり」は、この地震で発生した山地災害で最も大規模な地すべりです。「岩盤すべり」という種類で、岩盤自体がずり落ちるように崩落しました。すべり落ちた箇所の最大落差は156m。35~40階建てのビルが、ずりりとすべり落ちてきたようなものです。しかも、幅は約900m。面積は約98haに及びます。これは、今まで観察されたなかで、日本最大の規模。現在は許可された人しか近くに行くことはできませんが、実際に間近で見るとどこかの街がまるごと消えてしまったような感覚を覚えます。

0.3秒

特殊な周期

次元の
早打ち
0.3秒

岩手・宮城内陸地震は、その規模の割には建物の被害が少なかったのが特徴です。そのかわり、大規模な地すべりが大量に発生しました。なぜでしょうか。その秘密を握るのが「周期」です。岩手・宮城内陸地震では、「周期0.3秒」という細かい周期の地震波形が多く見られました。住宅などの建物の被害を大きくする「周期1~2秒」と比べると、とても短い波形であることが分かります。この「周期0.3秒」は建物の被害が少ない反面、山の地盤を破壊するのが特徴です。これが、3500ヶ所の地すべりの原因になったのです。

54杯分

東京ドーム

1杯は
124万 m^3

崩落はゆるい斜面で起きました。地すべりというと崖をイメージする人が多いかもしれませんが、この種類の地すべりはなだらかな場所でも発生します。地質は、砂岩やシルト岩と呼ばれる比較的もろい種類で構成されています。実際にすべり落ちた土砂の量のことを「不安定土砂発生量」と呼びますが、荒砥沢ではこれが6700万立方メートルに及びました。これは、東京ドーム54杯分もの量になります。

特殊な地質地形

岩手・宮城内陸地震の地すべりの特徴は、その規模だけではなく、地すべりの種類も多種多様です。その原因は、奥羽山脈の複雑な地質・地形にあります。奥羽山脈は、実は世界でもっとも新しい造山帯。古代の地盤から比較的新しい堆積物までさまざまな種類の地質が押し縮められています。複雑で、非常に多彩な地盤環境で地震が発生したため、「岩盤すべり」や斜面の崩落、雪渓で発生した崩落・土石流など、多様な形態の山地災害を引き起こしました。荒砥沢の地すべりは、巨大な「岩盤すべり」にあたります。

3500ヶ所

この地震で、地すべりは、大小合わせて3500ヶ所で起きました。これは日本最大規模の数で、世界的に見ても珍しい規模です。この地すべりに巻き込まれて多くの人や建物が被害にあいました。岩手・宮城内陸地震の地すべりは、地震が起こった場所、周期の特殊性、地質・地形の特殊性などさまざまな原因がありました。しかし、これは地震国・日本のどこでも起こりうる災害です。栗原市や奥州市だけの問題と考えず、地すべりについて理解することが必要です。

2. 搜索活動と最先端技術

栗原市と東北大学が協力して荒砥沢地区の地すべりモニタリングを開始することになったきっかけは、地すべりによる行方不明者の搜索活動でした。花山・湯浜地区では国道を走行中の自動車が地すべりに巻き込まれたという情報がありましたが、警察や消防の懸命の搜索にも関わらず発見できずにいました。広い範囲の地すべりの土砂の中から探すのが難しかったためです。そこで、地震発生から1年後、東北大学が開発したGPS連動の金属探知機を用いて、搜索を行いました。残念ながら行方不明者は発見できませんでしたが、GPSや金属探知機など電波を応用した測定技術の有用性を知るきっかけとなりました。



GPS
アンテナ

ロープ&
ハーネス

GPS連動
金属探知機

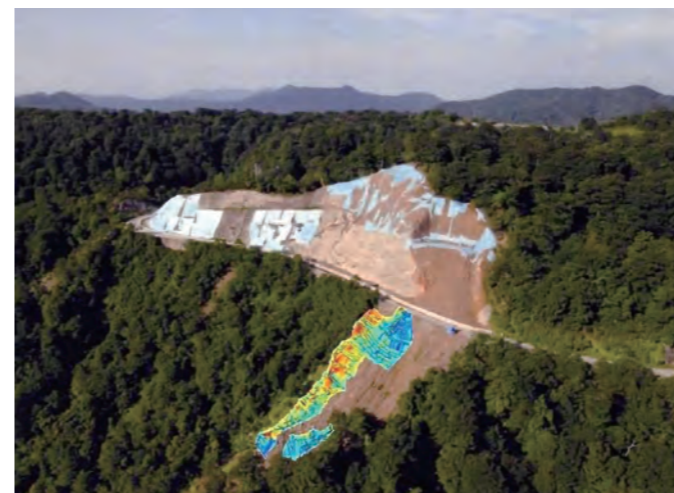
東北大学が開発したGPSと連動した金属探知機を持つ機動隊員。宮城県警察機動隊と栗原消防署により、斜面全体の搜索活動を行い、金属反応がある地点を特定できました。(2009年7月)



ヘルメットの上にお皿のようなGPSアンテナが装着されています。現在はGPSを含むGNSS技術が発達していますが、利用したRTK-GPS法は当時の最先端技術でした。



無人ブルドーザーによる作業の様子です。金属探知機で反応があった地点をワイヤーで吊された無人ブルドーザーで掘削しました。



金属反応があった地点を崩落現場の写真に重ねた図。幅100m、高さ200mにおよぶ広い斜面の中で金属が埋まっている位置を示しています。赤い位置に金属反応、青い位置には何もありません。

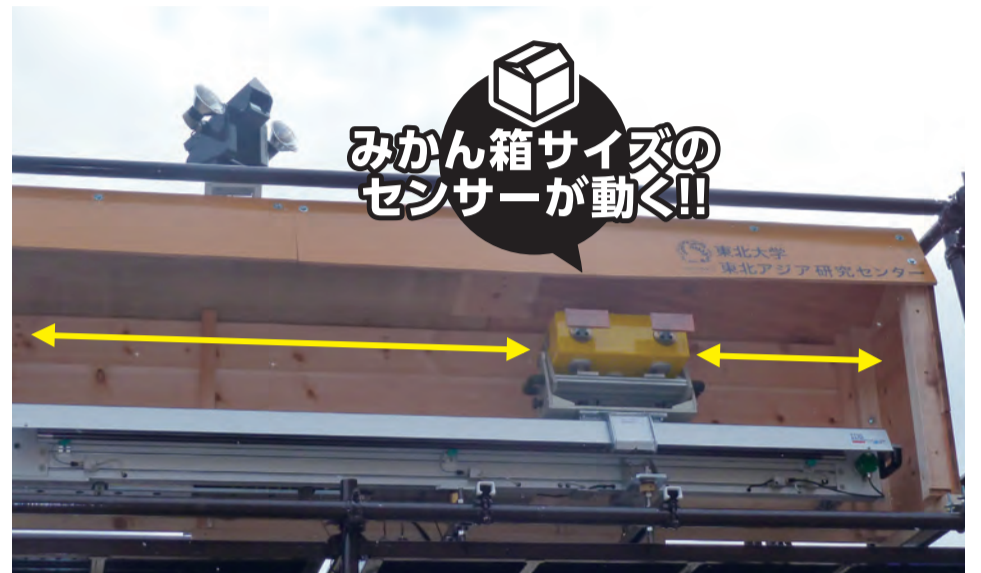


搜索活動を通して電波応用技術の重要性を認識することとなり、栗原市、東北大学、NTT東日本、ユアテックで荒砥沢崩落地安全対策モニタリングの連携協力協定を締結しました。(2011年8月)

3. 小石一つの落下も逃さない GB-SAR(地表設置型合成開口レーダー)

動くレーダーが 立体画像を、 創り出す。

荒砥沢地すべり現場のモニタリングは、「地表設置型合成開口レーダー GB-SAR(ジービーサー)」が開発されたことで可能になりました。レーダー本体が動くことで、広い範囲を調査できるGB-SARの秘密に迫ります。



GB-SARは、電波を用いて1km以上離れた崖面を詳細に測定できるレーダーです。その精度は、高さ100m、幅900mの崖面から小石一つの落下も検知できるほど。さらにそれを立体画像として確認できるのが、このモニタリング方法の特徴です。これを実現するのが、「独自のレーダー解析技術」。GB-SARで観測しただけでは波形のグラフでしかないデータを、東北大学の専用コンピュータで自動処理し、高精度の立体地表面変位の図面をつくり上げているのです。

? パラボラアンテナでは だめなの?

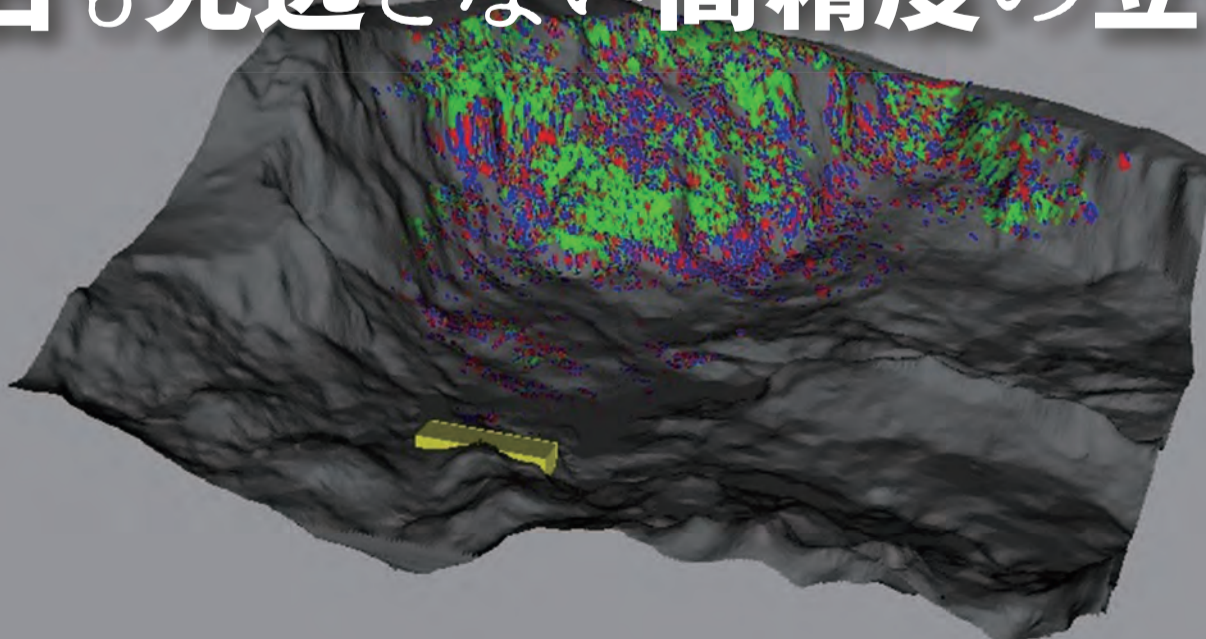
ダメではありません。パラボラアンテナは狭い範囲に絞って電波を送信するので細かな観測が得意です。しかし、そのためには大きな直径のアンテナが必要になるのです。「荒砥沢地すべり」の現場を観測しようとする、なんと直径10メートルのパラボラアンテナが必要! 山に置くには、設置と維持に手間と費用が掛かります。GB-SARはレーダー本体だけが左右に動くので、コンパクトなまま、10メートルのアンテナと同じ働きをします。

? 航空写真やドローンなどの 映像ではだめなの?

航空写真はどうしても上空から見下ろす平面図になりがち。切り立った崖面が立体的にどんな動きをしているかを知るためには、つかみにくい方法です。それに、航空機やドローンなどは、24時間365日飛ばしておくことはできません。(もし飛ばしたら膨大な費用が必要!)
一方、GB-SARなら設置したまま常に観測することができるうえ、崖面の1センチメートル以下の動きもつかむことができます。

だから

小石も見逃さない高精度の立体画像!!



Start Time: 16:30 20/Aug/21
Stop Time: 01:39 17/Sep/21

0.00

-8.00

3. 小石一つの落下も逃さない GB-SAR(地表設置型合成開口レーダー)

宇宙で使うレーダーを地上で活用

「荒砥沢地すべり」の現場で観測し続けているGB-SAR。雪の影響を避けるために鉄管で組んだ「やぐら」の上に設置しています。やぐらの大きさを見ると大きい設備のように感じるかもしれませんが、実はGB-SAR自体は、幅2mの黄色い箱の中に納められた、みかん箱ほどの大きさ。このレーダー、通常は人工衛星「だいち2号(JAXA)」などに搭載されているものと同じなのです。地球の周りをおよそ20日間で回り、地殻変動などを観測している衛星レーダーで地震の後に「地面が何cm動いた」と報道されるのを聞いたことがあると思います。けれども宇宙からでは、崖面の小さな動きを観測することができません。そこで、GB-SARを地面に設置し、「荒砥沢地すべり」の現場を詳細に観測しているのです。



直径10メートルのアンテナと同性能をこの小ささで

GB-SARに使っているレーダー自体の大きさは、みかん箱くらいの大きさ。これ、とても小さいのです。GB-SARは10mのパラボラアンテナと同じ性能を持っています。なぜ、小さい装置で広い崖面を観測できるのでしょうか。それは、GB-SARのレーダーに取付けたラッパ型のアンテナ(ホーンアンテナ)を「2m動かして」使っているから。ホーンアンテナは、ラッパと同じように広い範囲に電波を発射しますが、これを2m動かして使うことで、直径10mのパラボラアンテナと同程度に電波の飛ぶ範囲を絞り、精密な観測ができるようになるのです。装置が小さくなることで、さまざまなメリットがあります。場所を選ばず、破損の危険も減ります。ちなみに、GB-SARを使い長期的に観測を続けているのは日本でここだけ。貴重なデータを収集しているのです。

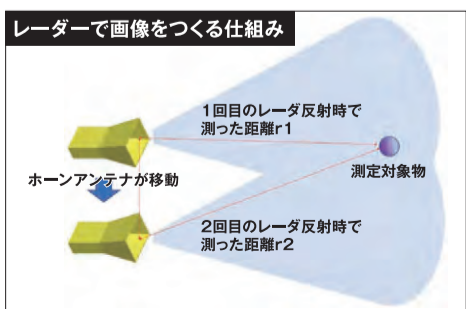


センサー部分がみかん箱程度



1cmごとに200ヶ所から撮影

「小石一つの落下も逃さない」というGB-SARの性能は、どうやって実現しているのでしょうか。それは、レーダーの測定とデータ処理に鍵があります。まず、GB-SARは、1cmずつ動きながら少しずつ角度の違う200ヶ所から崖面を測定します。このデータをコンピューターで処理すると10mのパラボラアンテナで測定したのと同様に崖面の1m四方の大きさの精度で地表面の状態がわかります。それだけでもすごい精度ですが、さらに重要なポイントは、GB-SARは「繰り返し観測する」ということ。1回観測したあと15分後にもう一度同じ場所を観測し、15分前のデータと比べると、地表面の1cm以下の変化を捉えることができ「15分前にはココにあった小石が、今はココに移動しているな」ということを把握することができるのです。



2回のレーダー計測で測った距離r1, r2, r3で三角形を描けば測定対象物の位置がわかります。三角測量の原理です。

もっともっとコンパクトになるらしい。

GB-SARのセンサー部分は、みかん箱とほぼ同じ大きさです。これでも十分小さいと感じるかもしれませんが、今、東北大学では、さらにGB-SARを小型化しようと研究中です。もしこれがボックスティッシュ並に小さくなれば、街なかにもGB-SARを設置することができます。例えば、山沿いや崖の近くに家が建っている住宅地。ハザードマップで危険とされている傾斜。そのようなところに気軽にGB-SARを設置できるようになれば、身近な土砂災害の被害を防止することができるようになるのです。モニタリング調査から身近な防災へ。GB-SARはかたちを変えようとしています。



200を
見える化
すると..



3. 小石一つの落下も逃さない GB-SAR(地表設置型合成開口レーダー)

日本最大の地すべり「荒砥沢」観測

それでは、実際の「荒砥沢地すべり」の現場を見てみましょう。写真は、モニタリングを開始した2011年の様子。この広大な地すべりの現場と比べると、GB-SARがいかにコンパクトかわかるでしょう。GB-SAR装置は、足場のような「やぐら」に雪深い山の中でも動きを止めないよう、強固にセッティングされています。

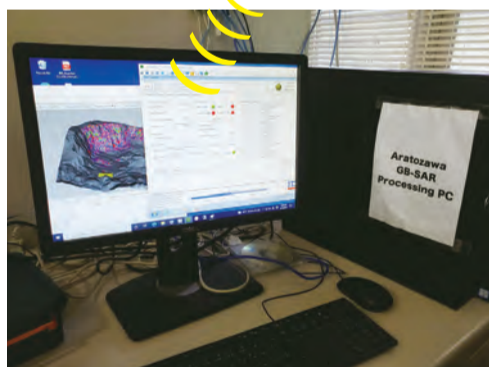


がんばれ GB-SAR

GB-SARモニタリングを開始した当時の荒砥沢・大規模崖崩れ地点 2011年11月

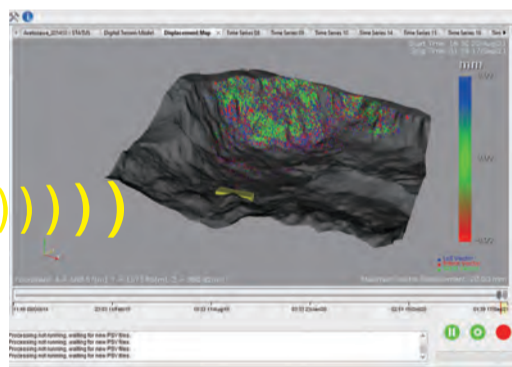
データ直送!!

直線距離で



約70km先の
東北大学で、
リアルタイムに
データ処理!!

専用回線で東北大学へ!リアルタイムで立体映像にしていきます。



そのデータが
今あなたが
見ている
画像になります。

通常は緑のまま。赤や青い場所があったら石が転がっているのかも。

荒砥沢のGB-SAR



GB-SARを現場のすぐそばに設置。



ビデオカメラとGB-SARで、同じものを別のアプローチで観測。

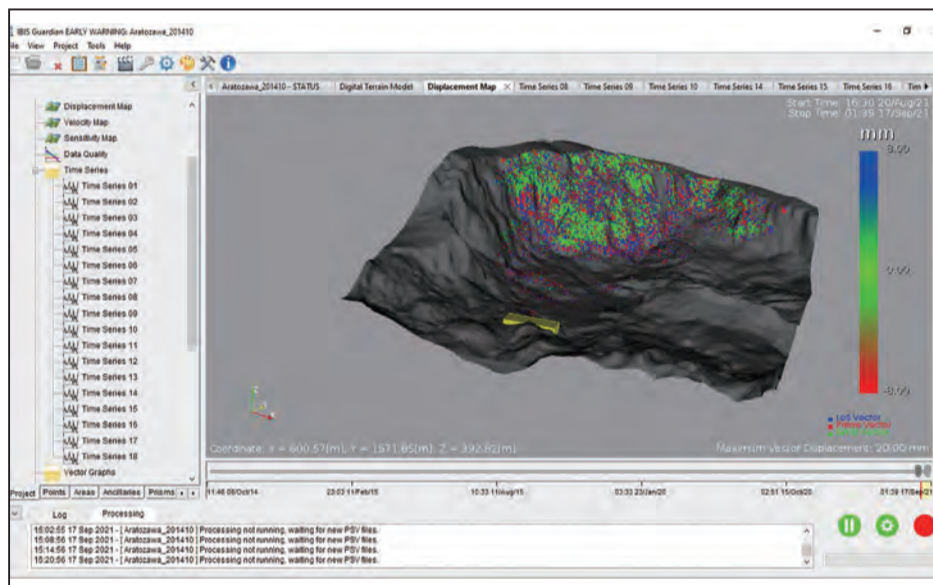
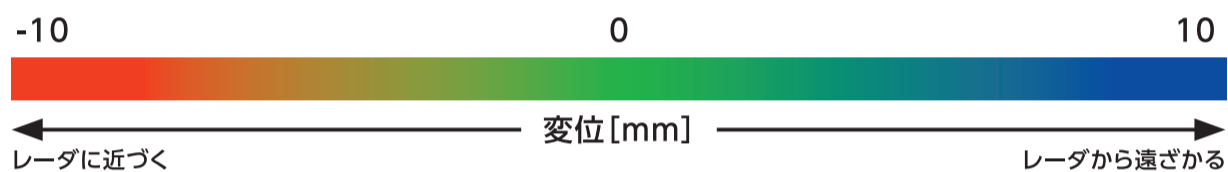


ビデオカメラは左側ポールの上に設置されています。

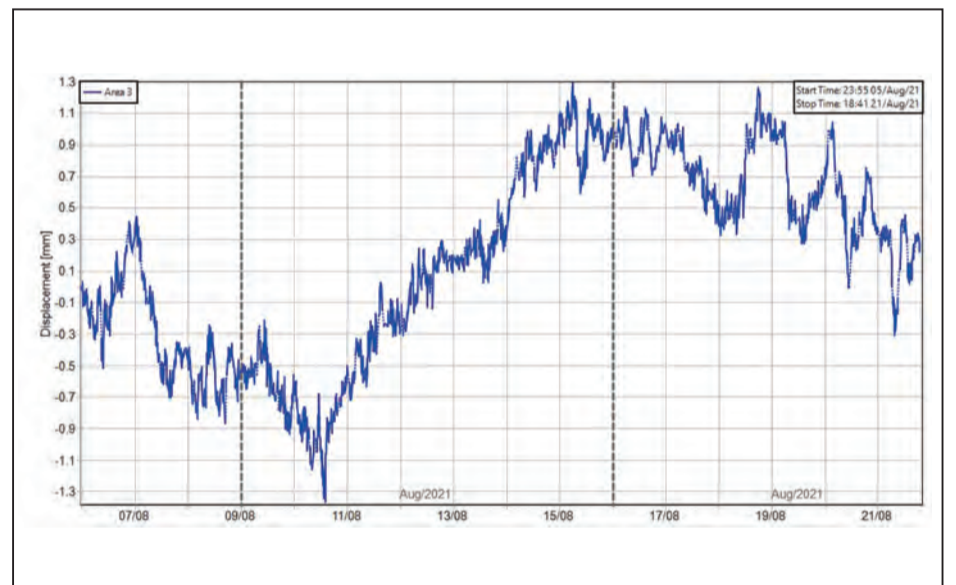
3. 小石一つの落下も逃さない GB-SAR(地表設置型合成開口レーダー)

GB-SARとリアルタイム映像

2つのディスプレイには現在の荒砥沢の様子が映されています。時間をおいて、繰り返しGB-SAR計測をすることで、微小な地表面の変位計測が可能になります。これを干渉測定(インターフェロメトリ計測)と呼びます。干渉計測を適用すれば地肌が露出する崖面については、1cm以下の変位も計測が可能です。ディスプレイには干渉SAR画像が表示されています。



荒砥沢全体の地表面の変位を色で表します。
青は表面がせり出した、赤はへこんだ位置を示します。



荒砥沢のある地点の地表面変位の時間変化。

現在の荒砥沢の映像



現在の荒砥沢のビデオカメラ画像。樹木や草の状態、積雪や天候を観察できます。

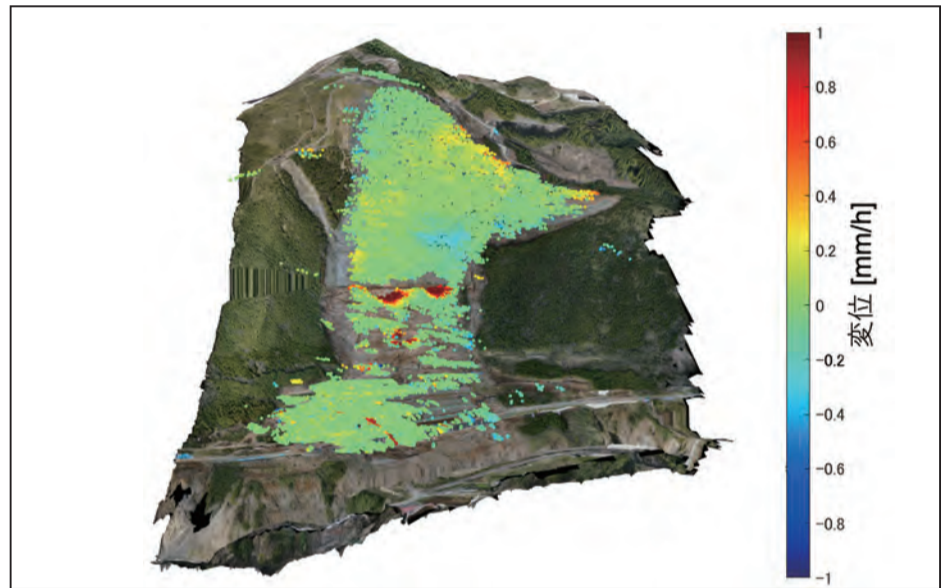
4. GB-SARと防災の未来

■熊本県南阿蘇村での地すべりモニタリング

2016年熊本地震によって南阿蘇村で発生した大規模地すべりにより国道57号線の一部と阿蘇大橋が崩落。東北大学東北アジア研究センター、東北大学災害科学国際研究所、熊本大学、情報通信研究機構では共同で災害復興工事現場の安全確保を目的とした地すべりモニタリングを行ってきました。荒砥沢で実践してきた経験を活かし、GB-SARによる早期警戒情報を国交省、現場で作業を行う熊谷組など関係者に提供してきました。そのかいあって、2020年8月に国道ならびに豊肥線が復旧し、2021年3月には新しい阿蘇大橋が竣工しました。



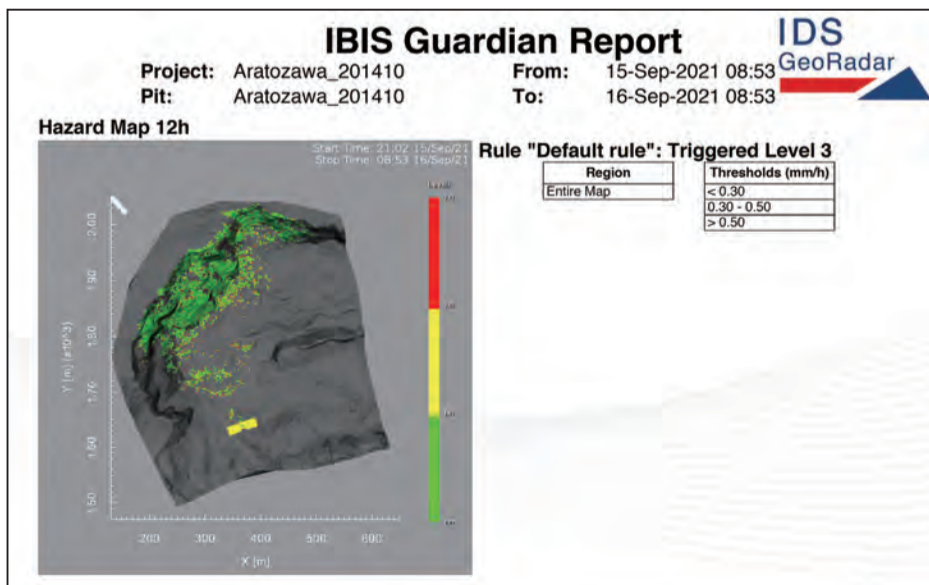
熊本県南阿蘇村で発生した地すべりのモニタリングの様子。積雪を気にしなくていいので、低い面に機器を設置しています。



GB-SARで観測した地すべり現場の地表面の変化の様子。地すべりの現場が「緑」で表示されているときは、安全と判断され、復興工事が行われました。

■地すべり早期警戒情報の発信

GB-SARは、地表面の安定が保たれていることを確認するため、24時間体制で自動監視しています。また、GB-SARの画像は、インターネットを経由して関係者がいつでも観察できるようになっています。さらに、その観測結果をもとに、「地すべりが起きているのではないかと判断された場合、栗原市危機対策課など関係者に警報を発することができるのです。



緑の場所は地表面が安定しているということ。黄色で表示された箇所が、やや変化が見られるので要注意とされる場所です。

IBIS Guardian Report
Project: Aratozawa_201410 From: 15-Sep-2021 08:53
Pit: Aratozawa_201410 To: 16-Sep-2021 08:53

Hazard Map Logs

Time	Description
15-Sep-2021 09:21	Hazard Map 10h - Default rule - Level 3 Alarm
15-Sep-2021 09:21	Hazard Map 12h - Default rule - Level 3 Alarm
15-Sep-2021 09:21	Hazard Map 14h - Default rule - Level 3 Alarm
15-Sep-2021 09:21	Hazard Map 16h - Default rule - Level 3 Alarm
15-Sep-2021 09:21	Hazard Map 18h - Default rule - Level 3 Alarm
15-Sep-2021 09:21	Hazard Map 22h - Default rule - Level 3 Alarm
15-Sep-2021 09:21	Hazard Map 24h - Default rule - Level 3 Alarm
15-Sep-2021 09:21	Hazard Map 02 - Default rule - Level 3 Alarm
15-Sep-2021 09:56	Hazard Map 8h - Default rule - Level 3 Alarm
15-Sep-2021 10:10	Hazard Map 8h - Default rule - Level 3 Alarm Deactivated
15-Sep-2021 10:10	Hazard Map 10h - Default rule - Level 3 Alarm Deactivated
15-Sep-2021 10:10	Hazard Map 12h - Default rule - Level 3 Alarm Deactivated
15-Sep-2021 10:10	Hazard Map 14h - Default rule - Level 3 Alarm Deactivated
15-Sep-2021 10:10	Hazard Map 16h - Default rule - Level 3 Alarm Deactivated
15-Sep-2021 10:10	Hazard Map 18h - Default rule - Level 3 Alarm Deactivated
15-Sep-2021 10:10	Hazard Map 22h - Default rule - Level 3 Alarm Deactivated

東北大学でレーダーのデータを解析し、このように数値を出します。これを3次元地形図(DEM)に「重ね合わせて立体的な画像」として観察できるようにしています。

5. 災害に備える「知る」

岩手・宮城内陸地震では、3500ヶ所以上で地すべりが起きました。土砂災害は、洪水などとはちがって、とつぜん起こる災害です。そのためタイミングは予測しにくいのですが、「土砂災害が起こりやすい場所」は分かります。土砂災害の種類とリスクを知り、避難する方法を学びましょう。

「彼を知り己を知れば百戦殆(あや)うからず」孫子

STEP 01 土砂災害の種類を知る

土砂災害の種類とそれぞれの危険性を確認しましょう。

『がけくずれ』とは？

角度30度以上の急な斜面で起こる土砂災害です。大雨または長雨で水が地面にしみ込んで、ゆるんだ崖が「とつぜん」崩れます。人家の近くで起きると、逃げ遅れる人や死者が多くなってしまいます。



●資料提供 NPO法人土砂災害防止広報センター

『土石流』とは？

山や谷の、土、石、木などが、大雨や長雨の水といっしょに「谷筋(たにすじ)」に沿って流れてくる土砂災害です。車と同じような速度で、ものすごい勢いで流れてくるため、一瞬のうちに人家や畑などを飲み込んでしまいます。



●資料提供 NPO法人土砂災害防止広報センター

『地すべり』とは？

斜面がゆるやかな場所で起きる土砂災害です。大雨や長雨の水が地面にしみ込み、水の力で持ち上げられた地面が、広いかたまりのまますべり落ちてきます。荒砥沢の土砂災害は、このタイプの災害でした。

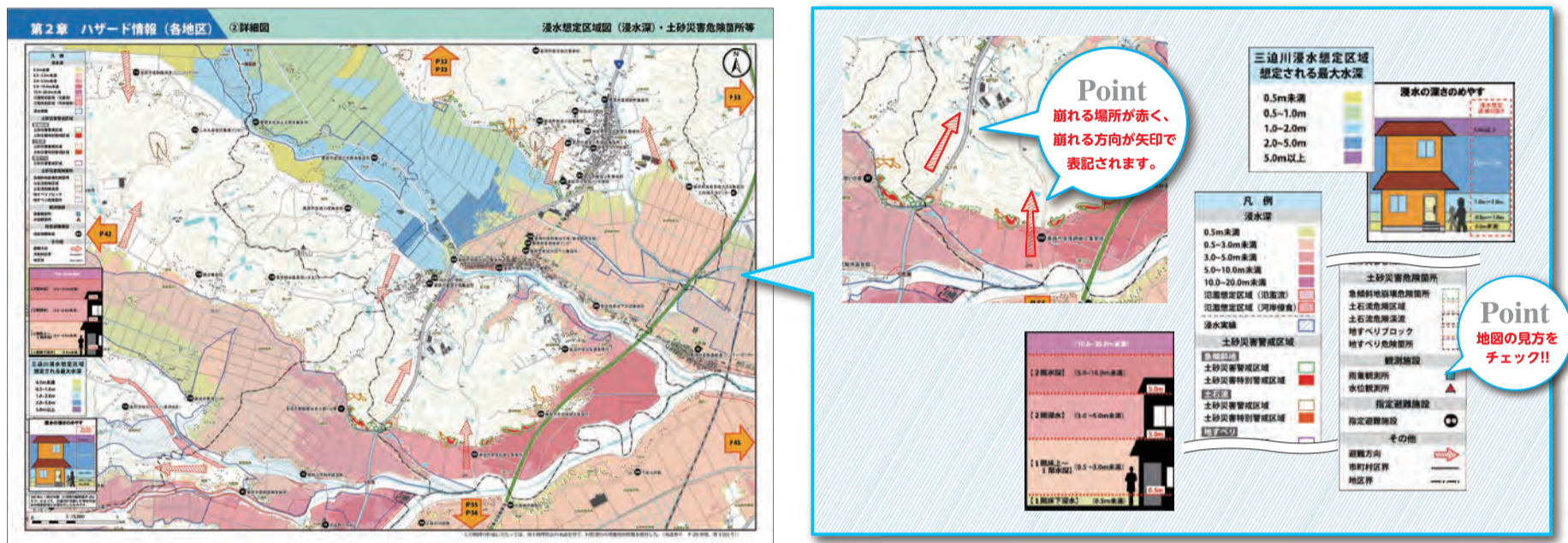


●資料提供 NPO法人土砂災害防止広報センター

5. 災害に備える「知る」

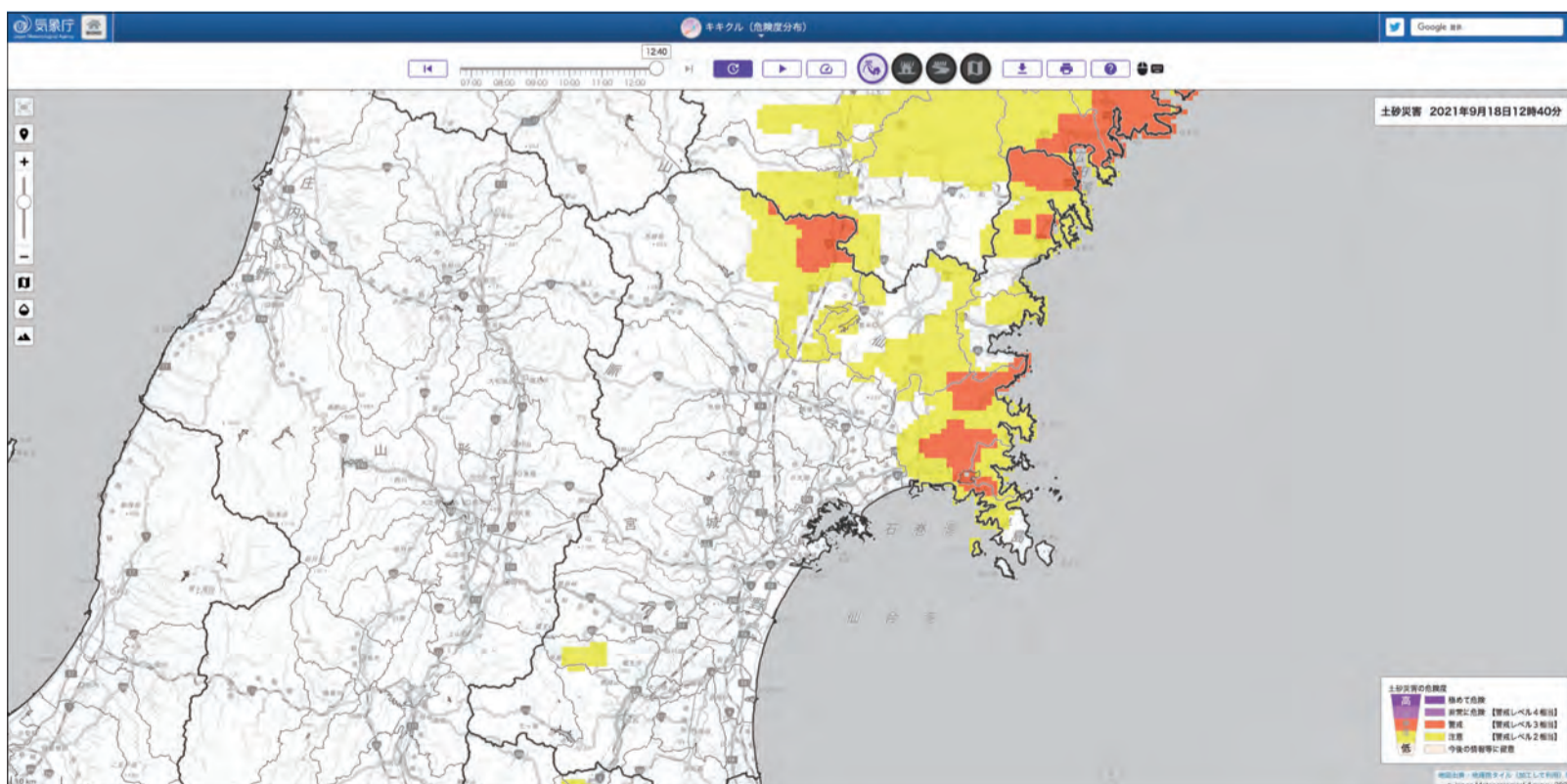
STEP 02 リスクを知る

大雨や豪雨による浸水や土砂災害のリスクを色分けした地図が「ハザードマップ」です。ここでは栗原市の地図を例に紹介していますが、各自治体でハザードマップを公開していますので、自宅や学校、職場などのリスクをチェックしましょう。



STEP 03 危険度を知る

大雨が降っているとき、気象庁のホームページ「キキクル」では、土砂災害が起こる「危険度」を知ることができます。パソコンまたはスマートフォンで「キキクル」を検索して、自分の地域の状況を調べてください。うすい紫の「非常に危険」になったら、安全な場所に避難するようにしましょう。



<https://www.jma.go.jp/bosai/risk/> キキクル 検索