

研究課題終了時評価表

1. 研究課題名：合成開口レーダーによる地すべりの監視に関する研究

2. 研究期間：平成20年4月～平成23年3月（3年間）

3. 予算：特別研究 52,965千円（3年間の総額）

4. 成果の概要

- （1）対象地区として「石川県能登半島地区」、「山形県月山地区」及び「秋田県東成瀬地区」の3地区を選定し、空中写真及び航空レーザ測量データを取得して、これらをもとに判読を行って地すべりの地形的特徴を把握し、ALOS/PALSARデータから地表変状を読み取るための基礎データを整理した。
- （2）平成19年能登半島地震において、地震に伴う地殻変動の影響を除いたSAR干渉画像において干渉縞が明瞭に確認された地点について、地形的特徴との対比による干渉縞の色変化の判読方法を明示した。このうち、初生地すべりの可能性があると判定された地点（七尾市中島町西谷内）で、ボーリング調査、電気探査等を行い地すべり性変動が存在したかについて検証を試みた。結果として地すべりを示す明瞭な証拠は確認できなかったが、初生地すべりは既存の地すべりとは異なり明瞭なすべり面を残していない可能性があるため、今回の結果だけでは地すべりの発生は否定されないと考える。
- （3）SAR干渉画像と地すべり性変動との対応について検討した結果を基に、地すべりに関わるSAR干渉画像の判読方法の解説書を作成して「SAR干渉画像判読カード」としてWebで公開した。
- （4）SAR干渉画像の干渉縞が地すべり性変動の定量的分布を示す可能性が先行研究等で明らかにされていることから、定量的な解析の一手法としてSAR干渉画像から変動量を見積もるとともに、GPS観測データとの対応付けにより評価を行った。この結果、SAR干渉画像の解析結果と地すべりの移動方向は整合的であり、100～200m程度の大きさの移動体単位でも整合性が認められる場合があった。一方、SAR干渉画像を活用するためには干渉性が高いことが必要であり、また変動量を推定するためには、1km近くに及ぶような広い範囲に同様の変動が広がっていること等が必要であることが分かった。

これらにより、変動の時系列的把握を含む地すべり性変動のモニタリングについてSAR干渉画像が有効であることが実証され、本研究成果の防災行政への活用が進められている。

5. 当初目標の達成度

【目標】

本研究の目的は、衛星による高解像度SARデータから地表変状を読み取る手法を開発することである。この目的の達成のため、災害状況の効率的な把握に貢献するような画像判読マニュアルを作成すること、地すべりのモニタリング手法を提示すること、そして地す

べりの機構を検討することを目標として掲げた。

【目標の達成度】

- 1) SAR干渉画像を扱った経験のない地すべり技術者等を対象として「SAR干渉画像判読カード」を作成した。判読カードは地すべり地形とSAR干渉画像の対応を分かりやすく解説したもので、SARに係る専門的知識が無くても、地すべりの変動の方向や変動量がSAR干渉画像からより容易に読み取れるように工夫を行った。これらにより画像判読マニュアル作成に係る当初の目標は達成した。
- 2) SAR干渉画像による地すべりのモニタリングは、地すべり地域のSAR干渉画像を定常的に作成し、異常が認められた場合に詳細な分析を行うことにより実施される。この点については、本研究の成果をもとに、研究最終年度に干渉SARによる定常監視が国土地理院の事業として新たに開始された。よって、モニタリング手法の提示については、事業化への貢献という形で当初の目標を達成した。
- 3) 地すべり機構の検討については、航空レーザ測量データとSAR干渉画像の組合せにより、微地形とSAR干渉画像を対応させた。微地形判読から想定される地すべりの移動方向とSAR干渉画像から判読される移動方向は整合的であり、条件によっては移動量についても整合的な結果が得られることが分かった。初生地すべりの発生機構の検証については他の事例も検証する必要がある課題を残したが、全体としては当初の目標を概ね達成した。

6. 成果公表状況

研究報告書	2 件
発表論文	査読有り 2 件（うち投稿中 1 件）
	査読無し 2 件
口頭発表	1 1 件
特許等	0 件

7. 成果活用の見込み

本研究は測地部等と連携して実施してきており、山形県月山地区等の3地区において、研究最終年度に干渉SARによる定常監視が国土地理院の事業として新たに開始された。さらに、事業担当課に対して、局所的な干渉縞の変化の解釈を地すべりの観点から助言を行うことなどにより、SAR干渉画像を用いた地表変動の把握に貢献している。また、国土交通省における防災対策として、SAR干渉画像が深層崩壊等の予兆把握に活用できる可能性があるという認識のもと、国土技術政策総合研究所と連携を行い、本研究成果を活用した初生の深層崩壊等の予兆監視の可否、及び汎用性のあるモニタリング手法の確立についての検討を行っている。加えて、山形県月山地区内の鶴岡市七五三掛（しめかけ）で平成21年に発生した地すべりに対応してSAR干渉画像の解析を行い、その結果に基づき東北地方整備局新庄河川事務所がGPS観測点の設置場所を決定するなどの活用がなされている。

8. 達成度の分析

（必要性の観点からの分析）

SAR干渉画像の判読に基づく地すべりの局所的変動について、複数のパターンを解析し現地の状況との対応付けを行い、「SAR干渉画像判読カード」として取りまとめた。また、測地部が開始した干渉SARによる定常的な監視事業に本研究の成果が活かされている。よって、必要性の観点において十分な達成度を示している。

(有効性の観点からの分析)

国土地理院の干渉SARによる定常的な監視業務に地すべりが対象として加えられる等、SARによる地盤変動監視の一手段として既に活用され始めている。また、前述の七五三掛では国土交通省の防災対策にも活用されたほか、七五三掛以外の地区についても解析結果を山形県に提供する等、その他の行政機関でも活用されている。よって、有効性の観点で当初想定した以上に十分な達成度を示している。

(効率性の観点からの分析)

研究の実施にあたって院内関係部局との連携を図るとともに、国土技術政策総合研究所など関係機関とも連携して進めた。特に、山形県鶴岡市七五三掛地区の解析については、JAXA主催の土砂WGに参加する研究者間で情報交換をしつつ進めた。また、地方整備局や県など関係機関におけるデータも活用するなど研究を効率的に実施した。よって、効率性の観点からも十分な達成度を示している。

9. 残された課題と新たな研究開発の方向

本研究を通じて地すべり移動体の変動と整合した変動がSAR干渉画像から得られることが明らかになった。ただし、地すべり移動体のスケールが200m以下と小さい場合は、SARの分解能の問題などから確認が難しいという問題がある。加えて、わが国の陸域を重点的に観測しているALOS/PALSARでも、例えば季節が異なると地表状態が異なるため干渉しづらい等の問題もある。結果として、干渉性の高いペアは限定的であり、ALOS/PALSARによる地すべり性変動の把握・監視には限界がある。

しかしながら、これらの問題の中には後継のALOS2に搭載されるセンサーの高分解能化等によって解決が期待されるものもあり、事例の蓄積に伴い能登半島地区で見られたような初生地すべりの可能性を示すようなSAR干渉画像が再び得られることも考えられる。

今後も、こうした状況を見据えつつ干渉SARを活用した災害把握について関係機関等への情報発信、それらとの連携を行うとともに、当該分野に係る知見をより深めていくことが必要であると考えます。

10. 提案課・室名、問合せ先

国土地理院 地理地殻活動研究センター 地理情報解析研究室

TEL : 029-864-1111 内線8434 FAX : 029-864-2655

平成20年度～22年度 特別研究 「合成開口レーダーによる地すべりの監視に関する研究」 に係わる成果公表リスト

1. 研究報告書

- 佐藤浩・岩橋純子・中埜貴元・小荒井衛（2009）：合成開口レーダーによる地すべりの監視に関する研究（第1年次），平成20年度調査研究年報，国土地理院。
佐藤浩・岩橋純子・中埜貴元・小荒井衛（2010）：合成開口レーダーによる地すべりの監視に関する研究（第2年次），平成21年度調査研究年報，国土地理院。

2. 発表論文

（査読有り）

- 宇根寛・佐藤浩・矢来博司・飛田幹男（2008）：SAR干渉画像を用いた能登半島地震及び中越沖地震に伴う地表変動の解析，日本地すべり学会誌，45（2），33-39。
佐藤浩・岡谷隆基・小荒井衛・鈴木啓・飛田幹男・矢来博司・関口辰夫（投稿中）：SAR干渉画像を用いた地すべり地表変動の検出について—山形県月山周辺を事例にして—，日本地すべり学会誌。
（査読無し）
鈴木啓・雨貝知美・森下遊・佐藤浩・小荒井衛・関口辰夫（2010）：山形県月山周辺におけるSAR干渉画像を用いた地すべりの検出，国土地理院時報，120，1-7。
佐藤浩・小荒井衛・飛田幹男・鈴木啓・雨貝知美・関口辰夫・矢来博司（2010）：地すべり性地表変動に関するSAR干渉画像判読カードの提案，国土地理院時報，120，9-15。

3. 口頭・ポスター発表

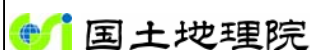
- Une, H., Sato, H. P., Koarai, M., Yarai, H. and Tobita, M. (2008) : Analysis of Surface Deformation Induced by the Noto Hanto and the Chuetsu-oki Earthquakes in 2007 using Synthetic Aperture Radar Interferograms, The First World Landslide Forum (at United Nations University, Tokyo, Japan) .
佐藤浩・中埜貴元・宇根寛（2009）：微地形とSARで検出した平成19年能登半島地震による地表変位の関わり，日本地理学会2009年春季学術大会。
佐藤浩・中埜貴元・宇根寛（2009）：SAR干渉画像で検出された地表変動解釈のための判読カード作成，日本地球惑星科学連合2009年大会。
佐藤浩（2009）：地すべり地形を考慮したSAR干渉画像判読カードの作成．第61回国土地理院地理地殻活動研究センター談話会。
佐藤浩（2009）：山形月山地区におけるSAR干渉画像を用いた地すべり性地表変動の検出，平成21年度国土交通省国土技術研究会。
Une, H. and Sato, H. P. (2010) : Earth Surface Deformation Triggered by the Noto Hanto and the Chuetsu-oki Earthquakes in 2007 Detected by ALOS/PALSAR Interferometry. HOKUDAN International Symposium on Active Faulting 2010.
佐藤浩・鈴木啓・関口辰夫・雨貝知美・小荒井衛（2010）：七五三掛地区のSAR干渉画像を用いた地すべり地表変動の解析，日本地理学会2010年春季学術大会。
佐藤浩（2010）：SAR干渉画像を用いた地すべり性地表変動の検出について—山形県月山周辺を事例として—，日本地すべり学会シンポジウム「地すべり災害発生時の迅速な対応」。
佐藤浩（2010）：SAR干渉画像と航空レーザ測量データを利用した地表変動の検出，日本地すべり学会関東支部シンポジウム。
岡谷隆基・佐藤浩・鈴木啓・関口辰夫・小荒井衛・中埜貴元（2010）：ALOS/PALSAR干渉画像による地すべり抽出の可能性について，日本写真測量学会平成22年度秋季学術講演会。
岡谷隆基・佐藤浩・鈴木啓・関口辰夫・小荒井衛・中埜貴元（2010）：ALOS/PALSAR干渉画像による地すべり抽出に関する研究，2010年度空間情報科学研究センターシンポジウム - CSIS DAYS 2010 -。

4. 特許等

特になし

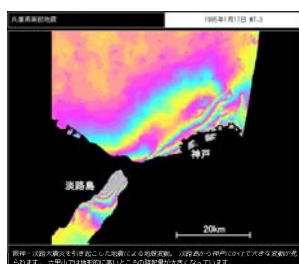
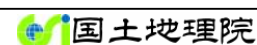
合成開口レーダーによる 地すべりの監視に関する研究

国土地理院地理地殻活動研究センター
地理情報解析研究室



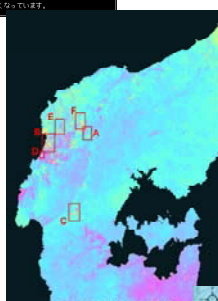
Geospatial Information Authority of Japan

1. 研究の背景

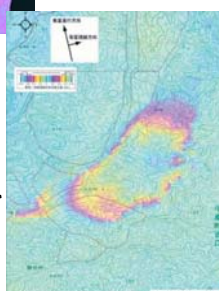


←H7兵庫県南部
地震に伴う地殻
変動についての
SAR干渉画像

H19能登半島地震に伴う地表変動のうち地震による大局的な影響を取り除いたSAR干渉画像→



→上図のうちCの部分拡大。Cは地すべり地としては未知だが地すべり様の変動を示す。このことは、SAR干渉画像により既知の地すべり地の変動監視だけでなく、未知の地すべり地の発見の可能性があることを示唆



・SAR干渉画像...地震等広域にわたる地殻変動が発生した際に、変動を面的に捉えることに優れる

→しかし、H19能登半島地震では、地震による変動モデルでは説明できない変動があることを確認

→当該ケースでは、説明できない変動が地すべり地の分布と非常に整合的

⇒これらはSAR干渉画像により地すべりの把握・監視が可能であることを示しており、本研究ではこれを踏まえSAR干渉画像による地すべり性変動の抽出の可能性について検討を実施

2. 研究の目的及び概要

研究目的:

衛星による高解像度SARデータから地表変状を読み取る手法の開発

研究目標:

- 災害状況の効率的な把握に貢献するような画像判読マニュアルの作成
- 地すべりのモニタリング手法の提示
- 地すべりの機構の検討

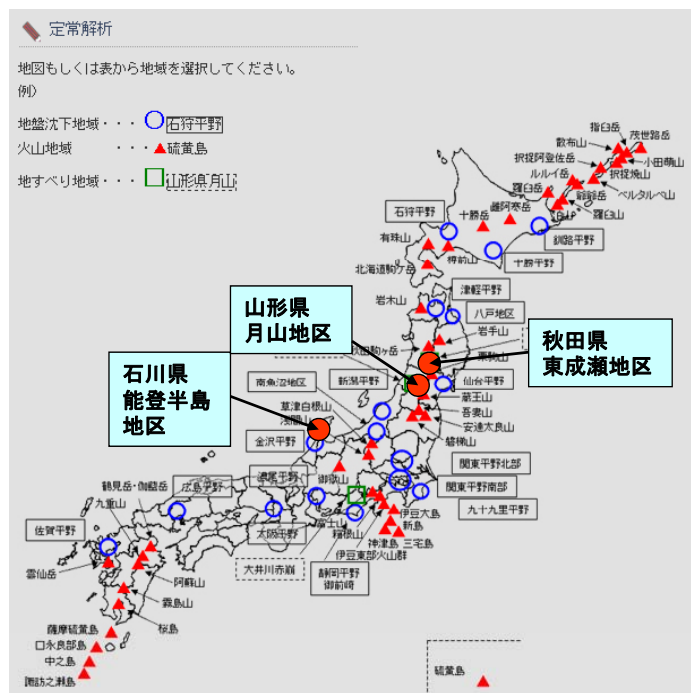
合成開口レーダーによる地すべりの監視に関する研究



Slide 3

2. 研究の目的及び概要(アプローチ)

顕著な地すべり地において、SAR干渉画像の解析を航空レーザ測量データ等と組み合わせて行うことにより、地すべり性変動の監視可能性についての検証を行う



研究対象地の位置図

- 石川県能登半島地区
- 山形県月山地区
- 秋田県東成瀬地区

Slide 4

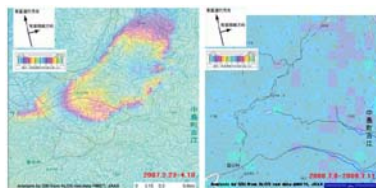
2. 研究の目的及び概要(研究対象地)

本研究で扱った場所は以下の3箇所であり、それぞれ以下の特徴を持つ

地震に伴う広域的変動

石川県能登半島地区

平成19年能登半島地震に伴い各地で地すべり性変動と見られる局地的変動が発生。ただ、地震後以降は目立った変動は見られない。

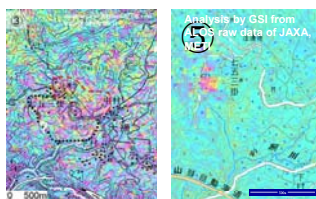


平成19年能登半島地震に伴い未知の地すべり地で地すべり性変動が発生(左)。ただ、地震後は目立った変動はない(右)

大規模地すべりの発生地

山形県月山地区

既知の地すべり地である七五三掛(しめかけ)において、平成21年2月から発生した大規模地すべりにより、場所によって数mの土塊移動が発生。現在は変動は落ち着いてきている。

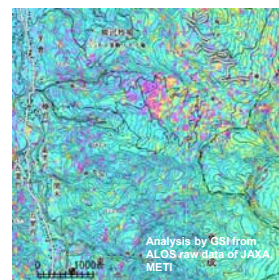


平成21年2月以降の大規模地すべりにより七五三掛では大きな変動が発生(左)。ただ、時間の経過と共に落ち着いてきている(右)

継続的地すべりの発生地

秋田県東成瀬地区

既知の地すべり地である狼沢地すべりは過去から活動的であり、現在も場所によって年10cmを超える地すべり性変動が続いている。



狼沢地すべり周辺のSAR干渉画像。積雪期と融雪期を含む1年間のデータからは地すべりに伴う干渉縞が確認される

Slide 5

3. SAR干渉画像による地すべり検証

予算や効率性に鑑み、研究段階では各項目を工夫しながら実施

(目標および手法)

- ① 目標達成に向けた前処理
 - ・空中写真及び航空レーザ測量データの取得
 - ・地すべりの判読と地域的特徴の把握
 - ・地形的特徴とSAR干渉画像の対比
- ② 災害状況の効率的な把握に貢献する画像判読マニュアルの作成
 - ・SAR干渉画像の変化パターンの類型化
 - ・地すべりに関わるSAR干渉画像の読み方の簡単な解説書として「SAR干渉画像判読カード」を作成
- ③ 地すべりモニタリング手法の提示
 - ・多時期のSAR干渉画像データに基づく地すべりの挙動追跡の手法提示
- ④ 地すべり機構の検討
 - ・地形的特徴とSAR干渉画像の対比等に基づく、地すべり性変動の把握に係る検証
 - ・SAR干渉画像から新たに抽出した地すべり(初生地すべり)について詳細な分析を行うことにより地すべり機構を検討

Slide 6

3. SAR干渉画像による地すべり検証

(対象地区と実際の適用手法)

※赤字は以降事例として紹介するもの

	能登半島 (石川)	月山(山形)	※東成瀬 (秋田)
①目標達成に向けた前処理	前処理については全ての項目を実施	同左	同左
②災害状況の効率的な把握に貢献する画像判読マニュアルの作成	地すべり性変動が見られた各所についてSAR干渉画像判読カードを作成	同左	同左
③地すべりモニタリング手法の提示	SAR干渉画像による地すべり挙動追跡を実施し、変動が地震時に集中しその後ほぼ静止していることを確認	SAR干渉画像による地すべり挙動追跡を実施し、複数時期のデータがあることから、大規模地すべりに伴う変動とその後の静穏化を確認	SAR干渉画像による地すべり挙動追跡を実施
④地すべり機構の検討	地すべり性変動の把握に係る検証と初生地すべり機構の検討を実施	地すべり性変動の把握に係る検証を実施(初生地すべりにあたると見られるものは確認されなかったため、機構検討は不実施)	月山と同じ

※東成瀬については解析作業を実施中のため経過を報告

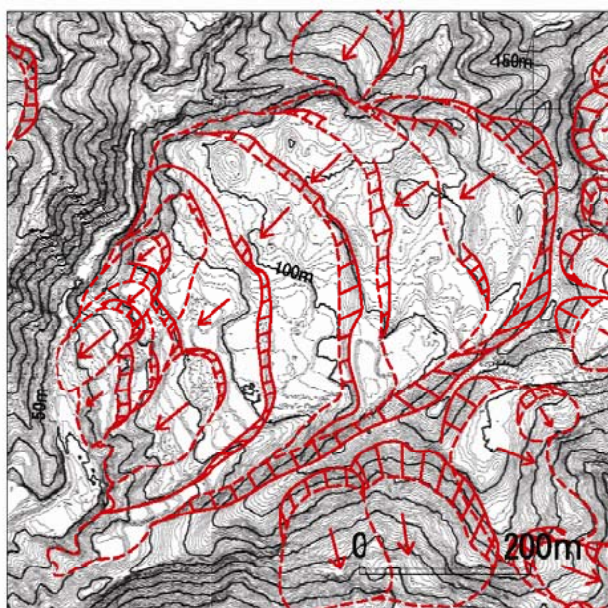
以降は、①②と④の「初生地すべり機構検討」について能登半島地区を事例として、①③と④の「地すべり性変動の把握に係る検証」について月山地区を事例として説明する。東成瀬については解析作業を実施中であるためSAR干渉画像等のイメージを紹介する。

Slide 7

3. SAR干渉画像による地すべり検証

1) 能登半島の事例

①目標に向けた前処理



航空レーザ測量データから作成した地形分類図

※航空レーザ測量データは、北陸電力(株)の計測データを使用

実施項目:

- ・空中写真データ及び航空レーザ測量データの取得
- ・地すべりの判読と地形的特徴の把握
- ・ALOS/PALSARデータから地表変状を読み取るための基礎データの整理

(上記は、他の地区でも同様に実施)

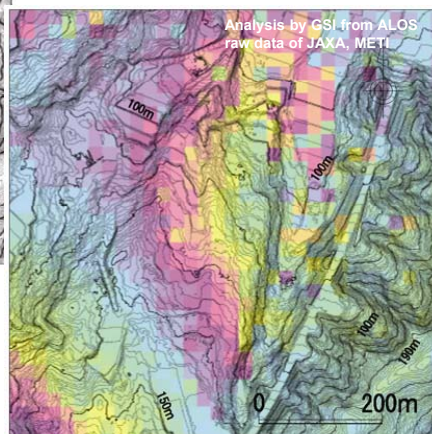
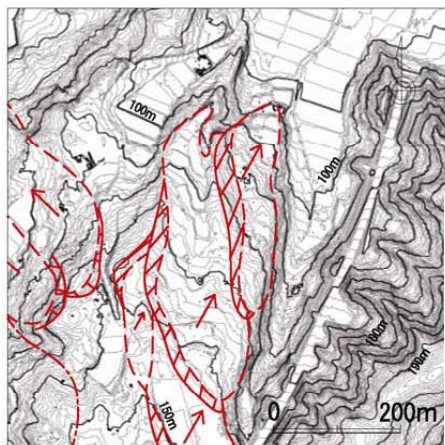
←: 地すべり移動体の移動方向

Slide 8

3. SAR干渉画像による地すべり検証

1) 能登半島の事例

①目標に向けた前処理



地形分類図とSAR 干渉画像の対比を 実施

→対比結果が、
SAR干渉画像判
読カード作成等の
原資料となる

(以下月山地区、
東成瀬地区でも同
様に実施)

航空レーザ測量データから作成した地形分類図と SAR干渉画像の対比

Slide 9

3. SAR干渉画像による地すべり検証

1) 能登半島の事例

②災害状況の効率的な把握に貢献する 画像判読マニュアルの作成

地すべり地形とSAR干渉画像の対応を
分かりやすく解説したものとして作成

SAR干渉画像を普段扱っていない技術者等にとって干渉縞から変動の方向及び変動量を判読することは困難であるため、干渉縞の解釈を出来るだけ平易にすることに力点を置いた

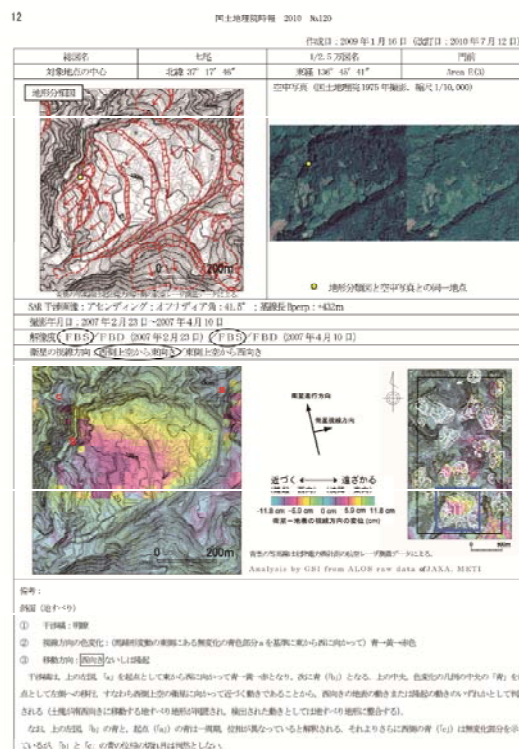


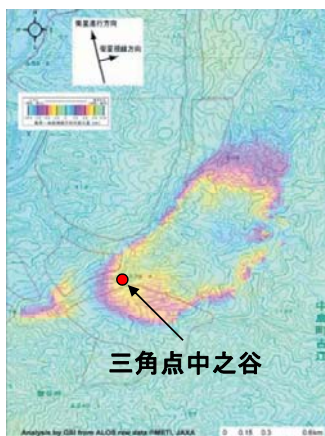
図-3 航路半島における SAR 丁渡画像判読カードの例 (国土地理院, 2009 を一部改定)

Slide 10

3. SAR干渉画像による地すべり検証

1) 能登半島の事例

④ 地すべり機構の検証



七尾市中島町西谷内におけるSAR干渉画像(左図)と、当該地区について実施した電気探査の成果(下図)

地すべり地としては未知の場所に変動が見られたため、地すべり機構の解明を目的として、

・ボーリング調査

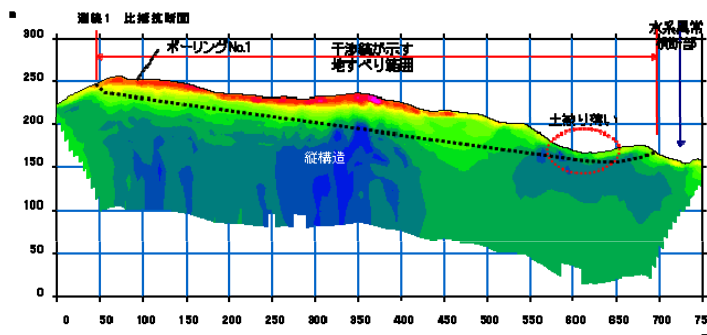
・電気探査

等を実施し、詳細な内部構造の変化パターンの把握を試行

→結果として擦痕のような明瞭な証拠は確認できず

(しかしながら、初生地すべりは既存の地すべりとは異なり明瞭なすべり面を残していない可能性があるため、今回の結果だけでは地すべりの発生は否定されないと考える)

※干渉縞内の三角点では、地震に伴う地殻変動だけでは説明できない変動があり、地すべり性変動が別にあったと考えると整合的になる

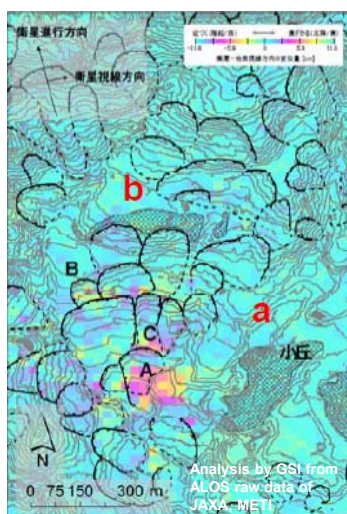


Slide 11

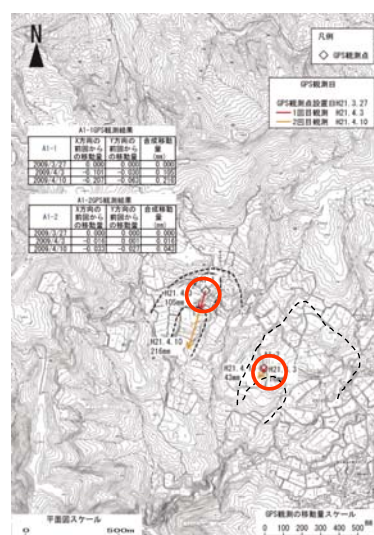
3. SAR干渉画像による地すべり検証

2) 月山の事例

① 目標に向けた前処理



同地区のSAR干渉画像(上)とGPS観測図(右)



月山地区内の七五三掛(しめかけ)地すべりにおいては、GPS観測が行われており、SAR干渉画像から判読される変動量を検証することが可能

本研究では、SAR干渉画像とGPS観測の整合性を検証

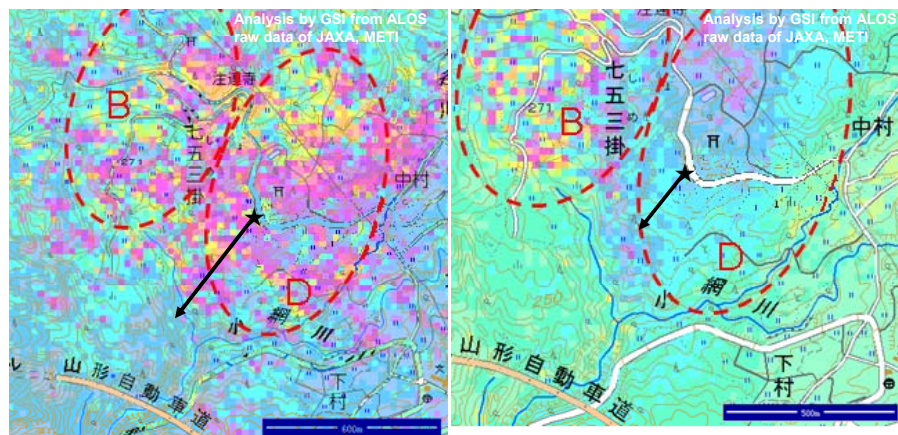
GPS測量データは東北地方整備局新庄河川事務所の計測データを利用

Slide 12

3. SAR干渉画像による地すべり検証

2) 月山の事例

③地すべりモニタリング手法の提示 及び ④地すべり機構の検討



2009年3月20日-2009年5月5日

FBD/FBS

Path58/Frame2840

南行軌道: 34.3 deg

Bperp: +197m

※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)

図中の「★」はGPS観測点の位置



2009年5月5日-2009年8月5日

FBS/FBS

Path58/Frame2840

南行軌道: 34.3 deg

Bperp: +426m

時系列的解析による、地すべりの挙動追跡可能性について検証を実施

⇒結果として、SAR干渉画像が地すべり性変動の盛衰を反映し、条件によって定量的にも整合的であることが判明

表: SAR視線方向の距離変化の比較

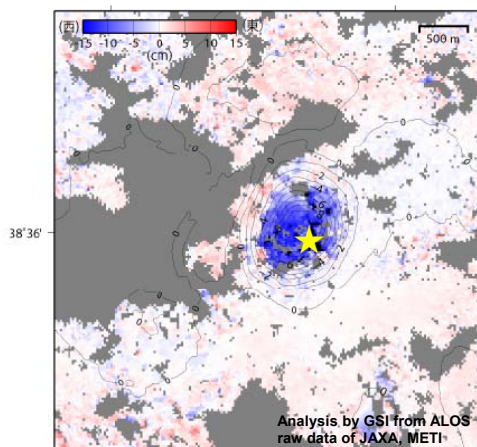
	GPS 観測値	SAR 干渉画像
2009 /3-5	約7cm (遠ざかる)	6~9cm (遠ざかる)
2009 /5-8	約2cm (遠ざかる)	1~3cm (遠ざかる)

Slide 13

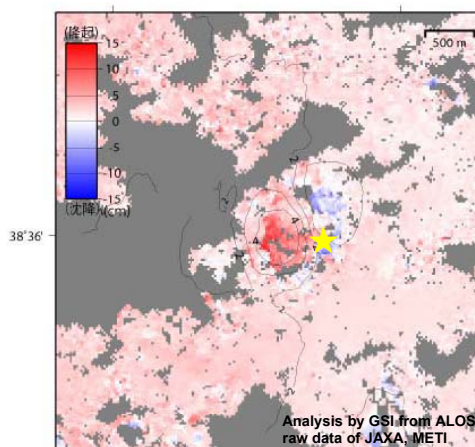
3. SAR干渉画像による地すべり検証

2) 月山の事例

③地すべりモニタリング手法の提示 及び ④地すべり機構の検討



東西成分
(青が西方向、赤が東方向の変動)



上下成分
(青が沈降方向、赤が隆起方向の変動)

※図中の「★(黄色)」はGPS観測点の位置

図: 変動を東西方向及び上下方向にほぼ相当する成分に分離した結果

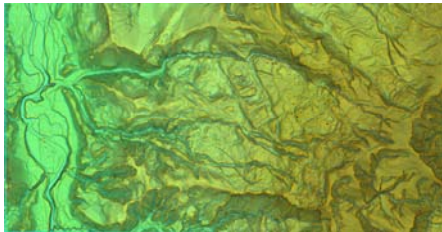
SAR干渉画像の干渉縞から判読される変動量とGPS観測の変動量の比較を実施し、東西成分が西向きになるという傾向は一致し、定量的にもほぼ類似の傾向を示した

これらにより、SAR干渉画像で地すべり性変動の監視が出来る可能性を示した

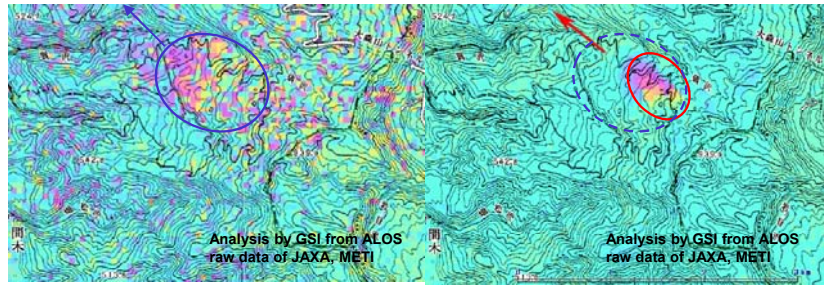
Slide 14

3. SAR干渉画像による地すべり検証

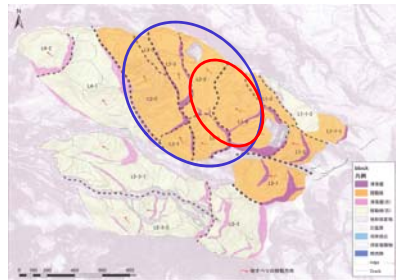
3) 東成瀬の事例



↑狼沢地すべり周辺のオルソ画像(上)と
航空レーザ測量による地形起伏図(下)



↑H18-19のSAR干渉画像(左)とH20-21のSAR干渉画像(右)
変色域が西側部分を失いながら縮小している様子が推察される



←航空レーザ測量データによる
地形分類図(左)と重ね合わせると、
西のブロックがH19冬(青の円)からH21冬(赤の円)
にかけて活動度が下がっていることが推察される

比較的変動量の大きい狼沢地すべりがSAR干渉画像により良く捉えられている。
各年の干渉縞形成域の場所の変化が地すべりブロックごとの活動の消長を示す
可能性を示唆

※東成瀬については今後更に解析を進める予定

Slide 15

3. SAR干渉画像による地すべり検証(まとめ)

・地すべり地形とSAR干渉画像の対応を分かりやすく解説した「SAR干渉画像判読カード」を作成・公開。SARに係る専門的知識が無くても、地すべりの変動の方向や変動量がSAR干渉画像からより容易に読み取れるように工夫

⇒これらにより画像判読マニュアル作成に係る当初の目標を達成

・地すべり性変動の把握は、地すべり地域のSAR干渉画像を定常的に作成し、異常が認められた場合に詳細な分析を行うことで一定の条件のもと可能なことを提示

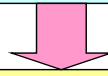
⇒国土地理院の干渉SAR事業において地すべり監視を開始しており、モニタリング手法の提示については、事業化への貢献という形で当初の目標を達成

・地すべり機構の検討については、航空レーザ測量データとSAR干渉画像の組合せにより、微地形とSAR干渉画像を対応付け。微地形判読から想定される地すべりの移動方向と SAR干渉画像から判読される移動方向は整合的であり、条件によっては移動量についても整合的な結果が得られることが判明

⇒初生地すべりの発生機構の検証については他の事例も検証する必要などがあり課題を残したが、全体としては当初の目標を概ね達成

Slide 16

画像判読マニュアル作成、モニタリング手法の提示、地すべり機構の検討についてほぼ目標を達成



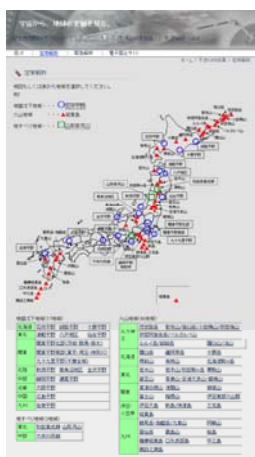
本研究により、変動の時系列的把握を含む地すべり性変動のモニタリングについてSAR干渉画像が有効であることが実証され、本研究成果の防災行政への活用が進められている

成果公表・活用の事例 1) SAR干渉画像判読カードの公開

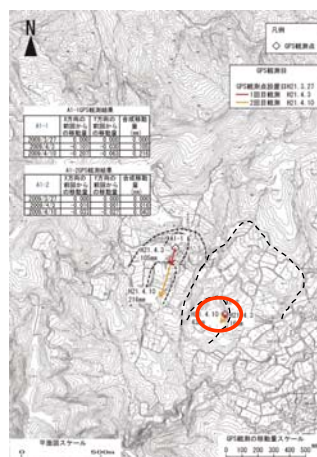
本研究で得られた知見を基に、**地すべりに関わるSAR干渉画像の読み方の簡単な解説書を作成して「SAR干渉画像判読カード」として国土地理院HPに順次公開**

Slide 17

成果公表・活用の事例 2) 国土地理院内外における成果の活用



国土地理院
一干渉SAR
ホームページ



GPS観測データ
東北地方整備局新庄河川
事務所による(一部加筆)

赤丸は国土地理院の提案に基づいて設置されたGPS観測点

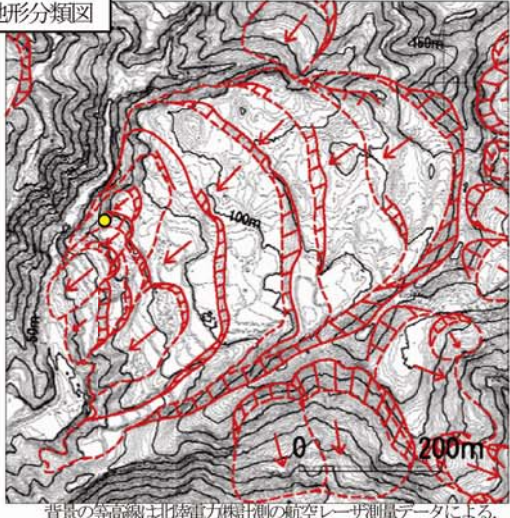
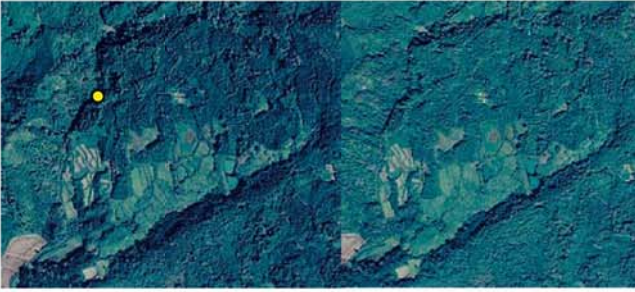
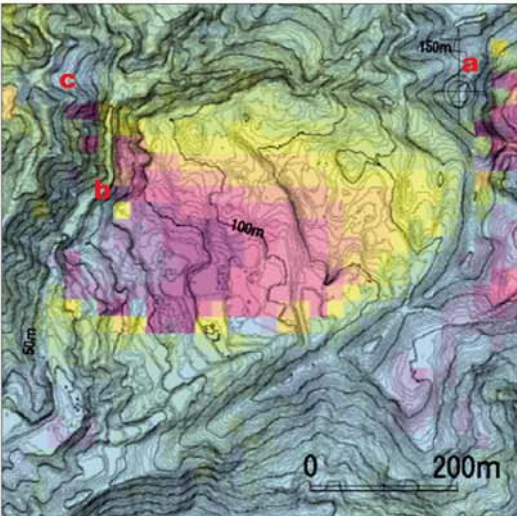
本研究は測地部等と連携して実施してきており、SAR干渉画像から地すべり性変動を把握する取り組みとして、山形県月山、秋田県東成瀬、静岡県赤崩の3箇所について**既に事業として干渉SARによる定常監視を実施中**

2009年2月に発生した山形県鶴岡市の七五三掛(しめかけ)地区における大規模地すべりの際には、**国土地理院の提案により東北地整がGPS観測点の設置場所を決定するなど、実際の業務に活用**

また、地すべり以外にも手法適用の可能性があることから、国土技術政策総合研究所との連携を行い、**初生の深層崩壊等の予兆監視の可否、及び汎用性のあるモニタリング手法の確立について検討を実施**

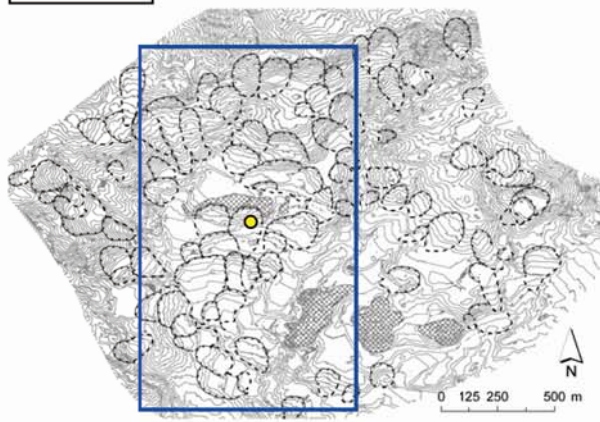
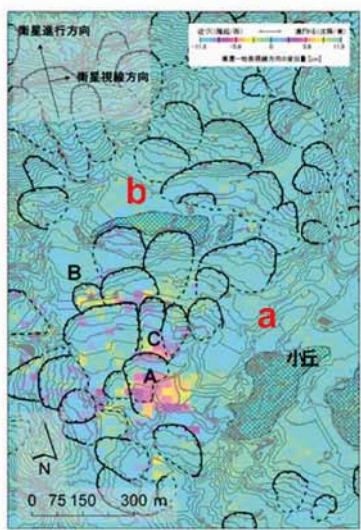
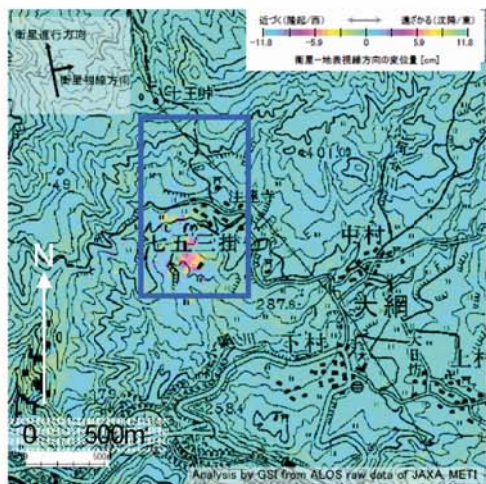
Slide 18

作成日：2009年1月16日（改訂日：2010年7月12日）

総図名	七尾	1/2.5 万図名	門前
対象地点の中心	北緯 37° 17' 46"	東経 136° 45' 41"	Area E(3)
地形分類図	 背景の等高線は北陸電力株式会社の航空レーザ測量データによる。		
	空中写真（国土地理院 1975 年撮影。縮尺 1/10,000）  ● 地形分類図と空中写真との同一地点		
SAR 干渉画像：アセンディング；オフナディア角：41.5°；基線長 Bperp：+432m			
撮影年月日：2007 年 2 月 23 日～2007 年 4 月 10 日			
解像度：FBS/FBD（2007 年 2 月 23 日）/FBS/FBD（2007 年 4 月 10 日）			
衛星の視線方向：西側上空から東向き / 東側上空から西向き			
 衛星進行方向 衛星視線方向 近づく ← → 遠ざかる (隆起・西向) (沈降・東向) -11.8 cm -5.9 cm 0 cm 5.9 cm 11.8 cm 衛星－地表の視線方向の変位 (cm)  背景の等高線は北陸電力株式会社の航空レーザ測量データによる。 Analysis by GSI from ALOS raw data of JAXA, METI			
備考：			
斜面（地すべり）			
① 干渉縞：明瞭			
② 視線方向の色変化：（馬蹄形変動の東側にある無変化の青色部分 a を基準に東から西に向かって）青→黄→赤色			
③ 移動方向：西向きないしは隆起			
干渉縞は、上の左図、「a」を起点として東から西に向かって青→黄→赤となり、次に青（b）となる。上の中央、色変化の凡例の中央の「青」を起点として左側への移行、すなわち西側上空の衛星に向かって近づく動きであることから、西向きの地表の動きまたは隆起の動きのいずれかとして判読される（土塊が南西向きに移動する地すべり地形が判読され、検出された動きとしては地すべり地形に整合する）。 なお、上の左図、「b」の青と、起点（「a」）の青は一周期、位相が異なっていると解釈される。それよりさらに西側の青（「c」）は無変化部分を示しているが、「b」と「c」の青の位相の切れ目は判然としない。			

図－3 能登半島における SAR 干渉画像判読カードの例（国土地理院，2009 を一部改変）

作成日：2010年7月12日

総図名	村上	1/2.5 万図名	大網
対象地点の中心	北緯 38° 36' 13"	東経 139° 53' 6"	
地形分類図  背景の等高線は新庄河川事務所計測の航空レーザ測量データによる。		空中写真空中写真（国土地理院 1977 年撮影、縮尺 1/15,000）  ● 地形分類図と空中写真との同一地点	
SAR 干渉画像：アセンディング；オフナディア角：34.3°；基線長 Bperp：-175m			
撮影年月日：2009 年 6 月 14 日～2009 年 7 月 30 日			
解像度：FBS/FBD (2009 年 6 月 14 日) / FBS(FBD) (2009 年 7 月 30 日)			
衛星の視線方向：西側上空から東向き / 東側上空から西向き			
		 左図の背景の等高線は新庄河川事務所の航空レーザ測量データによる。 Analysis by GSI from ALOS raw data of JAXA, METI	
備考： 斜面（地すべり） ④ 干渉縞：やや明瞭 ⑤ 視線方向の色変化：（変動の北東側にある無変化の青色部分 a を基準に東から西に向かって）青→黄→赤色 ⑥ 移動方向：西向きないしは隆起 上の右図で、七五三掛地区の南方にやや明瞭な干渉縞が見られ、上の左図、地すべり移動体 A の南端付近に相当する。「a」を起点として青→黄→赤となり、局所的な赤が黄色に取り囲まれたように判読される。上の左図、色変化の凡例の中央の「青」を起点として左側への移行、すなわち西側上空の衛星に向かって近づく動きであることから、西向きの地表の動きまたは隆起の動きのいずれかとして判読される（この地区は土塊が南～南南西向きに移動する地すべり地形が判読され、検出された動きとしては地すべり地形に整合する）。上の左図、地すべり移動体 B には不明瞭な色変化（「b」を起点として青→黄色）が見られるが、色変化の面積が極めて狭く、判然としない。			

図－4 鶴岡市七五三掛地区における SAR 干渉画像判読カード

研究課題終了時評価表

1. 提案課・室名問合せ先

国土地理院 地理地殻活動研究センター 地理情報解析研究室

TEL : 029-864-1111(内8442) FAX : 029-864-2655

2. 研究課題名

合成開口レーダーによる地すべりの監視に関する研究

3. 研究期間

平成 20 年 4 月 ～ 平成 23 年 3 月 (3 年間)

4. 予算

特別研究 52,965 千円 (3 年間の総額)

5. 分科会委員

○鹿田 正昭、巖 網林、斉藤 享治

6. 成果の概要

陸域観測衛星「だいち」の PALSAR を用いることにより地殻変動の抽出が可能なことは既往の研究からわかっている。平成 19 年 3 月の能登半島地震で解析した SAR 干渉画像から広域的な地殻変動を検出したが、局所的で微小な地表変化を詳細に検討したところ、地すべりに伴う地形変化をとらえていることが判明した。このことは、SAR 干渉画像から従来は不明である地すべり地を抽出できる可能性を示すものである。これらを確実なものとするために既往の地すべり地(3 か所)において空中写真判読、航空機レーザー観測、地上調査による地すべり地の抽出と SAR 干渉画像との比較検討をおこない、SAR 干渉データから地表変化(地すべり)を抽出する基礎データ整理している。また、GPS 観測が実施されている地すべり地において移動量の比較検討を実施し、GPS 観測と同等な精度が得られていることを確認している。

さらに、専門家以外にも SAR 画像の判読を容易にするために「SAR 干渉判読カード」を作成し Web で公開している。SAR 画像の解像度の観点からは移動体(地すべり)の方向や大きさも整合性があることを確認している。

7. 当初目標の達成度

本研究の主な目標は SAR 干渉画像から地形変動(地すべり)を抽出する方法を開発すること、専門家以外にも SAR 画像判読を容易にするためのマニュアルを作成することである。

マニュアル作成については SAR の専門家以外にも容易に読み取れる「SAR 干渉判読カード」を作成し、一部ではあるが仕様についての意見を求めており当初目標は達成している。

地すべりモニタリングについては国土地理院によって定常監視が開始されており、事業化という具体的な成果を得ている。さらに、微地形判読から想定される地すべりの移動方向と SAR 干渉画像から判読される移動方向は整合的であり、条件によっては移動量についても整合的な結果が得られることが分かり、当初の目標を達成している。

8. 成果公表状況

国土地理院内の研究年報および関連学会への査読論文および口頭発表が多数なされている。研究報告書 2 件、査読有の論文 2 件(うち投稿中 1 件)、査読無の論文 2 件、口頭発表 11 件は成果公表として十分といえる。

9. 成果活用の見込み

当初目標の達成度で述べたとおり、地すべりモニタリングについては国土地理院によって定常監視が開始されており、すでに成果の活用がなされている。また、近年話題となりつつある深層崩壊等の予兆把握に関連して国土技術政策総合研究所が当該成果についての活用に興味を示している。

山形県の事例では、東北地方整備局が SAR 干渉画像解析結果から地すべり地区への GPS 観測点の設置場所を決定している。このように、変動の時系列的把握を含む地すべり性変動のモニタリングについて SAR 干渉画像が有効であることが実証され、研究成果の防災行政への活用が進められていることから、すでに本研究の成果が活用されている。

10. 達成度の分析

「SAR 干渉画像判読カード」が作成され、また干渉 SAR による定常的な監視事業に本研究の成果が活かされているので、必要性の観点からは十分な達成度といえる。SAR による地盤変動監視の一手段として既に活用され始めていることや、国土交通省や山形県などの行政機関でも活用されていることから、有効性の観点からも十分な達成度といえる。さらに、関係機関との連携を図るとともにそのデータも活用し、研究者間で情報交換をするなど効率性の観点からも十分な達成度といえる。

11. 残された課題と新たな研究開発の方向

一般的な地すべりは移動体のスケールが 100m~200mなどの小規模なものが多いとされている。SAR 干渉画像の解析では一部のものを除いて、これらの小規模地すべりを抽出するのが難しいことがわかった。さらに、我が国の陸域を重点的に観測している ALOS/PALSAR でも、季節が異なると地表状態が異なるため干渉し難い等の問題がある。これらは画像の分解能の向上により解決できると考えられているため、ALOS の後継機である ALOS2 の打ち上げによる観測とデータ解析によりこれらの課題を解決できる可能性がある。今後は開発動向等を見据えつつ知見を蓄積していくことが必要と思われる。また、初生地すべりについては既存の地すべりとは異なり明瞭な地すべり面が残っていないとの報告から、今後同類の研究の機会があれば事例を増やして検証することもある。

12. その他、課題内容に応じ必要な事項

「SAR 干渉判読カード」については一部の専門家からの意見を求めており内容的には問題がないとの結果が得られているが、SAR の専門知識のない者からの意見聴取など少し広い範囲での調査も必要と思われる。また、それらの意見を反映した「SAR 干渉判読カード」が考案されれば地方自治体関係者にとっても強力なツールになると考えられる。いずれにしても、地すべり以外の特殊な地表変動についても SAR 干渉画像から得られることが明らかになったことで、多方面での活用が期待される。

13. 総合評価 | | |----------| | 1. 十分な成果 | |----------| 2. 一部不満足 3. 部分的成果 4. 失敗

SAR 干渉画像から得られる地殻変動を検出する手法に加えて、平成 19 年 3 月の能登半島地震で解析した SAR 干渉画像から局所的な微小な地表変化を詳細に検討し、地すべりに伴う地形変化をとらえていることを見出し、さらに GPS による現地調査との対応付けにより整合性があることを確認している。また、SAR の専門家以外にも容易に読み取れる「SAR 干渉判読カード」を作成し公開していることは本手法の今後の利活用にも期待できると考えられる。加えて、本成果は深層崩壊等の予兆監視に関して他の行政機関からも関心を持たれており、今後の活用に期待できる。

以上を勘案すると総合的には十分な成果を上げていると評価できる。

新規研究課題提案書

提案課・室名 問合せ先	課・室名：地理地殻活動研究センター 地理情報解析研究室 住 所：茨城県つくば市北郷 1 番 TEL：029-864-5946 FAX：029-864-2655
研究課題名	合成開口レーダーによる地すべりの監視に関する研究
研究制度名	特別研究
研究期間	平成 20 年 4 月 ～ 平成 23 年 3 月 （3 年間）
① 課題分類	防災・環境保全に貢献する研究開発 地球と国土に関する科学の発展に寄与する研究開発
② 研究開発 の背景・必 要性	国土地理院は、地盤変動を面的に監視するため、陸域観測衛星「だいち」の PALSAR（解像度 10m の合成開口レーダー（SAR））データを解析し SAR 干渉画像を作成している。平成 19 年 3 月の能登半島地震では、SAR 干渉画像から広域的な地殻変動を検出し、その結果を用いて断層モデルを作成したが、さらに、得られた SAR 干渉画像を丹念に見ていくと、山間地においては、断層運動による広域の弾性的変形に加えて、局所的な地表変状を反映した微小な変化パターンが見られた。現地の状況と照らし合わせてより詳細に検討すると、このパターンは、地すべりの微細な内部構造に伴う地形変化を捉えていると考えられることがわかった。既往地すべり地形分布図を重ねてみると、その多くは古い地すべり地形に重なるが、中には既往の地すべり地形と無関係に見られるものもあった。このような SAR 干渉画像による微細な変動パターンが、現地のどのような変状に対応するのか、明らかにされたことは無い。 本研究は、国土地理院の高度な SAR 干渉画像解析技術と、従来より活用してきた空中写真判読技術、航空レーザ測量データのデータ処理技術を組み合わせることによって、SAR 干渉画像を用いて、地すべりなどの地表変状を監視し、その地形的特徴を把握する技術を開発し、SAR 干渉画像から地すべりを判読するためのマニュアルの作成、地すべりのモニタリング手法の提示、地すべりの機構解明に関する検討等を行うことを目的とする。これにより、災害状況図の効率的な作成により被災地の復旧・復興に貢献するとともに、地すべりの監視、機構解明を通じた防災対策立案への利活用や二次災害の防止に必要な情報を提供し、国民の安全・安心な生活に寄与することができる。
③ 研究開発 の目的・目 標	本研究の目的は、衛星による高解像度 SAR データから地表変状を読み取る手法を開発することであり、目標は、災害状況図の効率的な把握に貢献するような画像判読マニュアルを作成すること、地すべりのモニタリング手法を提示すること、そして地すべりの機構を検討することである。
④ 研究開発 の内容	「だいち」の PALSAR データに適用した SAR 干渉画像から、実際の地すべりの地形の存在自体と地形的特徴をどのように読み取れるか明らかにする。 テストサイトにおいて撮影された空中写真と、計測された航空レーザ測量データに基づき、地すべりによってもたらされた地形変化の存在自体と、その地形的特徴を把握するとともに、その事実が、SAR 干渉画像でどのように読み取れるか把握する。また、広域を繰り返し観測できるという衛星データの特徴を生かして、データがそろえば、時系列的な SAR データを比較することによって、地形変化を監視するとともに、進行中の地すべりの変化時期の特徴（例えば豪雨時に大きく発生したと考えられるのか、意外にもタイムラグをもって変化するのか）を明らかにすることも試みる。 テストサイトを 2 つ選ぶ。1 つは、石川県能登半島地区である。もう 1 つは、すでに現地監視データ（ワイヤセンサや観測井等の監視データ）蓄積の体制が整っているような地区や、既存の SAR 干渉データで活動的な地すべりの存在が想定されていて、地震と関係無い（例えば豪雨の）影響で滑動しているような地区のいずれ

	かを想定している。 具体的な手順としては、以下を想定している。 1. 新たな空中写真の撮影と航空レーザ測量データの取得 2. 地すべりの判読と地形的特徴の把握 3. 把握した地形的特徴と SAR 干渉画像の対比 4. 把握した地形的特徴と地殻変動の影響を差し引いた SAR 干渉画像の対比 5. SAR 干渉画像の変化パターンの類型化 6. 時系列 SAR 干渉画像に基づく地すべりの挙動追跡の手法提示と地すべり地形の微細な内部構造の変化パターンの発見 7. 地形変化を理解するための地理情報システムを用いた定量的な解析 8. 「5.」～「7.」を通じた地すべりの機構の検討 9. 地すべりに関わる SAR 干渉画像の読み方の簡単なマニュアルを作成して Web に公開
⑤ 研究開発の方法、実施体制	エフォートは以下のとおり。地理情報解析研究室主任研究官（佐藤：30%）、地理情報解析研究室長（小荒井：5%）、地理地殻活動総括研究官（宇根：10%）。その他、同室の主任研究官、研究官、地殻変動研究室、宇宙測地研究室、宇宙測地課、防災地理課、国際観測企画官の支援を受けて研究を行う。空中写真の撮影や航空レーザ測量データの計測、主任研究官・研究官のアイデアに基づく基礎的及び試行錯誤的な情報処理は、外部に発注。
⑥ 研究開発の種類	1. 基礎研究、2. 応用研究
⑦ 現在までの開発段階	2. 試行段階
⑧ 想定される成果と活用方針	得られる成果として、干渉 SAR による地すべりの抽出手法や監視手法を提示するとともに、国土地理院の災害状況把握の効率化に資する見込みである。
⑨ 研究に協力が見込まれる機関名	国土技術政策総合研究所（砂防研究室）、土木研究所（土砂管理研究グループ）、宇宙航空研究開発機構（JAXA）。 東北学院大学（宮城豊彦研究室）、山形大学地域教育文化学部（八木研究室）、広島工業大学（大倉研究室）。
⑩ 関係部局等との調整	SAR 干渉画像から読み取れる地形変化が、ワイヤセンサや観測井等、現地の監視データと対応可能な場合には、必要に応じて地すべり地の管理者から監視データを入手する必要がある。
⑪ 備考	特に無し。

合成開口レーダーによる地すべりの監視に関する研究

特別研究の範囲

