

## [003]附属環境工学研究教育センター研究活動報告

<https://doi.org/10.15017/4485660>

---

出版情報：附属環境工学研究教育センター研究活動報告. 3, 2021-06-30. Center for Research and Education of Environmental Technology, Faculty of Engineering, Kyushu University

バージョン：

権利関係：



# PALSAR-2 データを用いた斜面崩壊に伴う 地形変化箇所の定量的抽出方法の検討と その特徴分析

田淵 太雅<sup>1</sup>・三谷 泰浩<sup>2</sup>・谷口 寿俊<sup>3</sup>・田露<sup>4</sup>・大辻 喜典<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生会員 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

E-mail: tabuchi.taiga.319@s.kyushu-u.ac.jp (Corresponding Author)

<sup>2</sup>正会員 九州大学大学院 工学研究院 附属アジア防災研究センター教授 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

E-mail: mitani@doc.kyushu-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 特任助教 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

E-mail :taniguchi@doc.kyushu-u.ac.jp

<sup>4</sup>非会員 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

E-mail : tian.lu.441@s.kyushu-u.ac.jp

<sup>5</sup>学生会員 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

E-mail: ohtsuji.yoshinori.210@s.kyushu-u.ac.jp

本研究では、2017年7月九州北部豪雨で発生した斜面崩壊地を対象として ALOS-2/PALSAR-2 データを用いて、単偏波後方散乱差分解析、コヒーレンス解析により斜面崩壊に伴う地形変化箇所の抽出を行った。その結果、前者がより精度よく地形変化を抽出できることを明らかにした。さらに、地形変化の抽出箇所に対して、傾斜角、方位角、局所的な入射角などの地形、衛星の特徴の観点から整理を行った。その結果、後方散乱差分解析では傾斜角の低い領域で地形変化をよく抽出でき、誤抽出も少ないこと、方位角はコヒーレンス解析では東西方向、後方散乱差分解析では南向きの斜面が良く抽出できることが明らかとなった。また、オフナディア角が大きくなるほど、局所的入射角が小さい箇所が抽出されやすくなる傾向が示された。

**Key Words:** Northern Kyushu heavy rain 2017, ALOS-2/PALSAR-2, slope failure

## 1. はじめに

2017年7月九州北部豪雨災害では、短時間に特定の地域に猛烈な雨が降り続いた。この豪雨により、九州北部の朝倉市・東峰村を中心に多数の斜面崩壊が発生した<sup>1)</sup>。このような大規模かつ広域におよぶ災害発生後には、その後の応急・復旧等に繋げるために早期にどこで斜面崩壊が発生したかを把握することが重要となる。

SAR (Synthetic Aperture Radar : 合成開口レーダ) 衛星は、広域が観測できることに加えて、観測センサーとしてマイクロ波を用いるため天候に左右されずに雲を透過して

地表面を観測でき、夜間にも観測を行えることから災害直後の斜面崩壊に伴う地形変化の把握への利用が期待されている。

SARデータを用いた地形変化箇所の抽出手法として、一般には、目視判読が行われている<sup>2)~7)</sup>。この手法は、災害前後の SAR データをカラー合成することで地形変化箇所を把握する手法である。目視判読による手法は、個人の判断に左右されることもあり、統一された結果が得られないこともある。また、広域に災害が発生した場合には時間と労力がかかる。

一方で、個人の主観に捉われずに定量的に地形変化箇

所を抽出する手法も提案されている。衛星データの解析手法としては、反射強度解析、位相干渉解析等があり、反射強度解析として、単偏波反射強度によるテクスチャ解析<sup>18)</sup>、多偏波反射強度解析では4偏波による演算<sup>19)</sup>、位相干渉解析では災害前後の画像のコヒーレンス値から斜面崩壊による地形変化の抽出<sup>20)</sup>を行った事例などがあり、文献では、いずれも斜面崩壊地などの地形変化箇所を適切に把握できるとされているが、災害の条件や使用したデータなどによって、必ずしもすべての手法が良好な結果を得られるとは限らない。また、これらの手法を、同時に同じ条件下で比較検討された事例はなく、どの手法が斜面崩壊地等の地形変化箇所の抽出に適しているのかは、明らかになっていない。

また、斜面崩壊に際して発生する土砂移動の現象は、崩壊に伴う土砂の崩落（減少）と崩壊した土砂の堆積（増加）の2つの現象が生じるため、斜面崩壊箇所の把握に際しては、これらの現象を同時に、斜面崩壊に伴う地形変化として把握することが重要である。

そこで本研究では、ALOS-2/PALSAR-2データを用いて対象領域に対して、最も精度良く定量的に斜面崩壊に伴う地形変化箇所を抽出する方法について検討し、その抽出手法の違いが何に起因するものかを明らかにするために、地形の特徴や衛星の各種情報などの観点から分析を行い、PALSAR-2データの解析により抽出された斜面崩壊に伴う地形変化箇所の抽出方法についての検討を行う。

## 2. 斜面崩壊に伴う地形変化箇所の抽出

図-1に研究の対象領域と SAR データの観測範囲を示す。対象領域は朝倉市・東峰村の斜面崩壊が集中した10km×10kmの領域とし、使用した SAR データを表-1に示す。いずれも2017年7月5日の発災前後のデータであり、ディセンディングとアセンディング軌道の SAR データを用いることで、対象領域の観測原理上、観測不能領域の情報を補完する。また、各軌道方向の SAR データはそれぞれオフナディア角、観測方向は同一のものとし、処理レベルは、強度解析と干渉解析で異なるものを使用する。

### (1) 前処理

斜面崩壊に伴う地形変化箇所抽出のために幾つかの前処理を実施する。具体的には a) 斜面ユニットの作成、b) 観測不能領域マスクの作成、c) 平地の除去、d) 検証データの作成を実施する。具体的な内容について以下に示す。

#### a) 斜面ユニットの作成

本研究では、災害発生直後の斜面崩壊位置を正確に把握することよりも、災害の第一報として広域を対象に斜

面崩壊箇所を抽出するのではなく、崩壊が発生した箇所を含む1つの斜面ユニット単位で大局的に把握することを考える。斜面ユニットとは、自然斜面における斜面単元として定義され、尾根線と谷線で囲まれ、かつ、斜面方向及び傾斜角がほぼ様な斜面と定義される。今回は、国土地理院が提供している10mメッシュの標高データを用いて斜面ユニットを作成する。

#### b) 観測不能領域の作成

SARデータは地表面に対して斜め方向から観測されるため、観測されない斜面が存在する。その観測不能領域を衛星の観測諸元からディセンディングのデータは図-2、アセンディングのデータは図-3に示す方位角かつ傾斜角が10°以上の斜面ユニットを観測不能領域としてマスクを作成し、このマスク箇所を対象領域から除外する。

#### c) 平地の除去

対象を斜面に限定し、斜面崩壊による地形変化と考えられない領域として、土石流の土砂災害警戒区域（土砂の停止堆積条件）の角度である2°以下の箇所を平地と考え、これを斜面ユニット単位でマスクする。

#### d) 検証データの作成

災害後に国土地理院により撮影された航空写真から斜面崩壊による地形変化箇所を目視判読し、この地形変化箇所が含まれる斜面ユニットを実崩壊斜面ユニットとして検証に用いる。図-4に検証データとして抽出された実崩壊斜面ユニットの分布を示す。

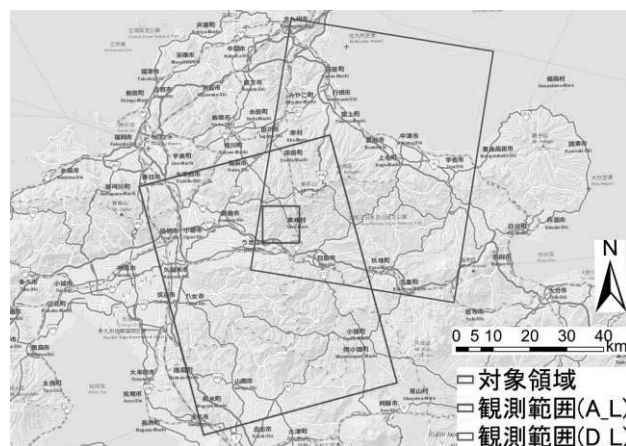


図-1 PALSAR-2データの観測範囲と対象領域

表-1 使用した SAR データ

No.	観測日時	軌道方向	観測方向	オフナディア角	処理レベル	偏波	分解能
1	2016/04/29	ディセンディング	左側観測	28.7	2.1	HH	3m
2	2017/07/07	ディセンディング	左側観測	28.7	2.1	HH	3m
3	2016/10/14	アセンディング	左側観測	21.5	2.1	HH	3m
4	2017/07/07	アセンディング	左側観測	21.5	2.1	HH	3m
5	2014/11/14	ディセンディング	左側観測	28.7	1.1	HH	3m
6	2016/04/29	ディセンディング	左側観測	28.7	1.1	HH	3m
7	2017/07/07	ディセンディング	左側観測	28.7	1.1	HH	3m
8	2016/04/29	アセンディング	左側観測	21.5	1.1	HH	3m
9	2016/10/14	アセンディング	左側観測	21.5	1.1	HH	3m
10	2017/07/07	アセンディング	左側観測	21.5	1.1	HH	3m

## (2) 単偏波後方散乱差分析

単偏波後方散乱差分析は、災害により斜面崩壊が発生し、植生が裸地に変化すると災害前後で後方散乱係数の値が変化することを利用して地形変化箇所を抽出するものである。後方散乱係数は以下の式(1)で求められる<sup>21)</sup>。

$$\sigma^0 = 10 \times \log_{10} DN^2 + CF \quad (1)$$

ここで、 $DN$ はデータの画素値、校正係数  $CF$ はJAXAが公開している-83.0を使用する。この式(1)から災害前後の差分データを算出する。

## (3) コヒーレンス解析

コヒーレンス解析は、2 時期の観測期間内に地表面の大きな変化が生じた箇所を観測された信号の位相が変化し、位相の相関を示すコヒーレンス値が低くなることを利用して地形変化を捉えるものである。本研究では、定常的なコヒーレンス変化の影響を少なくするために、発災時期を含まないコヒーレンス値をあらかじめ算出し、その値と災害前後のコヒーレンス値を比較して斜面崩壊による地形変化箇所の抽出を行う。なお、コヒーレンスは以下の式(2)で求められる<sup>22),23)</sup>。

$$\gamma = \frac{|\sum s_1(x) \times s_2(x)|}{\sqrt{|\sum s_1(x)|^2 \times |\sum s_2(x)|^2}} \quad (2)$$

ここで、 $s_1$ 、 $s_2$ は、2 時期の SAR データの対応するピクセルの各ペアの位相値である。コヒーレンス値( $\gamma$ )は 0 から 1 までの値をとる。

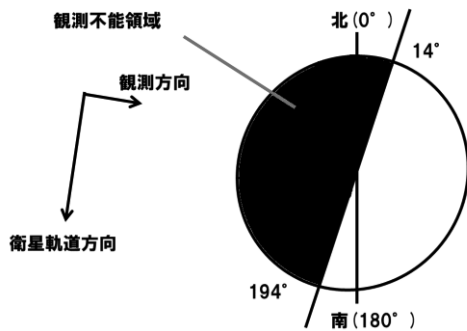


図-2 ディセンディングの観測不能となる方位角

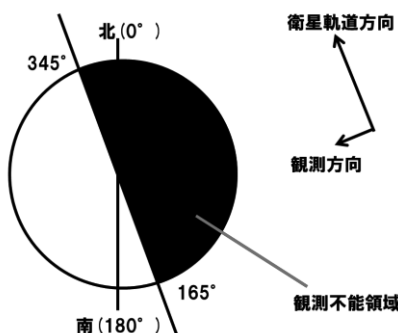


図-3 アセンディングの観測不能となる方位角

## (4) 地形変化箇所の抽出方法

単偏波後方散乱差分析により算出された災害前後の差分データにおいて、閾値を設定し、閾値以上の変化がある箇所のみを地形変化箇所として抽出する。また、コヒーレンス解析の場合は災害前のコヒーレンスと災害前後のコヒーレンスを比較し、後方散乱差分析と同様に閾値を設定し、コヒーレンスの変化が閾値を超える箇所を地形変化箇所として抽出する。この閾値は災害前後で発生した地形変化箇所を含む斜面ユニットの数と目視判読により抽出された地形変化箇所数がほぼ同数になるように設定する。表-2 に具体的な閾値を示す。ディセンディングとアセンディングで閾値がわずかに異なるのは、ディセンディングのほうがアセンディングと比較して、観測できる斜面ユニットに対して実際に崩壊が発生した斜面ユニットの割合が多いため災害前後で後方散乱係数、コヒーレンスの変化が大きい斜面ユニットが多かったためと考えられる。

## (5) 地形変化箇所の抽出結果

2 つの軌道方向を組み合わせることで、観測不能領域は、対象領域全体の斜面ユニット総数 11,434 個のうち、8 つとなり、対象領域の約 99% が観測可能となる。

表-3、表-4 に斜面崩壊による地形変化が生じた箇所の抽出結果を示す。表中には、解析法ごとにディセンディング、アセンディングそれぞれの結果と、両者を組み合わせた結果を示す。また、検出率とは地形変化が発生した斜面ユニットのうち、SAR データの解析により検出できた斜面ユニットの割合を、正答率とは SAR データの解析により抽出された斜面ユニットのうち、実際の斜面崩壊による地形変化箇所と一致した斜面ユニットの割合を表す。なお、検出率および正答率の算出方法について

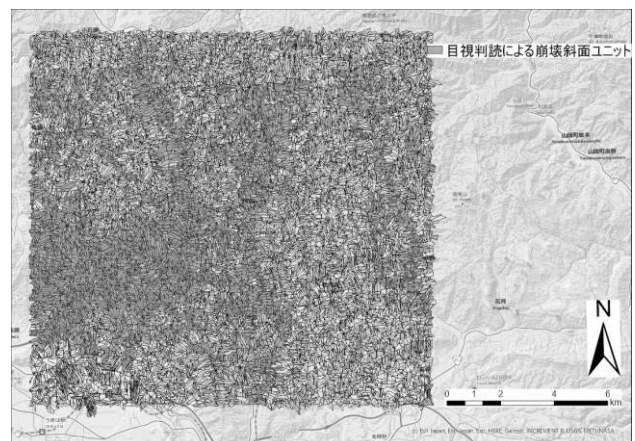


図-4 抽出された実崩壊斜面ユニット

表-2 各解析法の閾値

	後方散乱差分析	コヒーレンス解析
ディセンディング	2.5	0.21
アセンディング	2.3	0.20

は、表-3,4中に示す通りである。また、それぞれの解析法による抽出結果の分布図を図-5、図-6に示す。

後方散乱差分解析では、検出率が 54.2%、正答率が 56.5%となり、コヒーレンス解析では検出率が 53.9%、正答率が 47.7%となり、検出率および正答率とも後方散乱差分解析の方が大きな値を示す。既往の研究においては、斜面崩壊が生じている箇所のみを対象に検出率などの検討が行われており、領域全体に対する定量的な検出率の評価が行われている事例はほとんど存在しない。今回の算出結果は、いずれの方法も 5 割を超える検出率を示しており、十分に実用に値する結果が得られていると考えられる。斜面崩壊による地形変化の箇所を適切に抽出できた斜面ユニットの分布（図中赤色部分）をみると、後方散乱差分解析では、谷線や尾根線に沿って崩壊箇所を抽出できているのに対して、コヒーレンス解析では、抽出箇所の分布が全体的に広がって分布している。また、コヒーレンス解析では、誤抽出斜面ユニット（図中青色部分）が多く抽出されており、誤抽出部分が、ある区域に偏って分布している。両者に共通した誤抽出箇所は、斜面ユニットが複雑に変化する場所やマスク処理を施す傾斜方向に近い値を有する斜面ユニットで多くみられる。これは、10m メッシュの標高データを用いて斜面ユニットを作成していることから、尾根線、谷線の位置のずれが生じており、斜面ユニットの形状が適切に評価できていない箇所があったことが原因の 1 つとして考えられる。つまり、急峻な山地形を適切に表現できる精度を有さな

い LP データを用いた場合には、誤差が生じやすいことを示しており、より詳細な微地形を表現できる標高データがあれば、この点は改善される可能性がある。

### 3. 斜面崩壊に伴う地形変化箇所の特徴分析

ここでは、抽出された斜面崩壊に伴う地形変化箇所の地形的特徴を分析し、どのような箇所で地形変化箇所が抽出できるかを検討する。

図-7、図-8、図-9に対象領域全体の傾斜角、方位角、土地利用の斜面ユニット単位での頻度分布をそれぞれ示す。なお、方位角については北から時計回りの方向の角度を示す。図に示すように対象領域では、傾斜角は 20° ~ 30° の斜面がその多くを占め、平均傾斜角は 21.7° である。方位角は北向き斜面である 0° ~ 60°、330° ~ 360° が比較的少ない傾向にある。また、土地利用は森林が 9 割程度を占めることから、対象領域における土地利用に関しては大きな違いは確認できない。

次に、それぞれの解析法に対して、正しく抽出できた箇所（以降、抽出箇所）、誤抽出した箇所（以降、誤抽出箇所）、抽出できなかった箇所（以降、未抽出箇所）について分析する。

図-10(a) ~ (d)に後方散乱差分解析の抽出箇所、誤抽出箇所、未抽出箇所の傾斜角分布とその頻度分布図を示す。また、図-11(a) ~ (d)にコヒーレンス解析の同様の

表-3 単偏波後方散乱差分解析の抽出結果

No.		ディセンディング 左側観測 (HH)		アセンディング 左側観測 (HH)	
①	全斜面ユニット数	11434			
②	観測可能斜面ユニット数	6687	7066		
		11426			
③	実崩壊斜面ユニット数	3223	3255		
		5263			
④	抽出崩壊斜面ユニット数	3123	3185		
		5052			
⑤	検出斜面ユニット数	1839	1886		
		2854			
⑥	検出率 (%) ⑤/③	57.1	57.9		
		54.2			
⑦	正答率 (%) ⑤/④	58.9	59.2		
		56.5			
⑧	F値	0.601	0.622		
		0.677			

表-4 コヒーレンス解析の抽出結果

No.		ディセンディング 左側観測 (HH)		アセンディング 左側観測 (HH)	
①	全斜面ユニット数	11434			
②	観測可能斜面ユニット数	6687	7066		
		11426			
③	実崩壊斜面ユニット数	3223	3255		
		5263			
④	抽出崩壊斜面ユニット数	3226	3315		
		5949			
⑤	検出斜面ユニット数	1601	1592		
		2835			
⑥	検出率 (%) ⑤/③	49.7	48.9		
		53.9			
⑦	正答率 (%) ⑤/④	49.6	48.0		
		47.7			
⑧	F値	0.514	0.521		
		0.611			

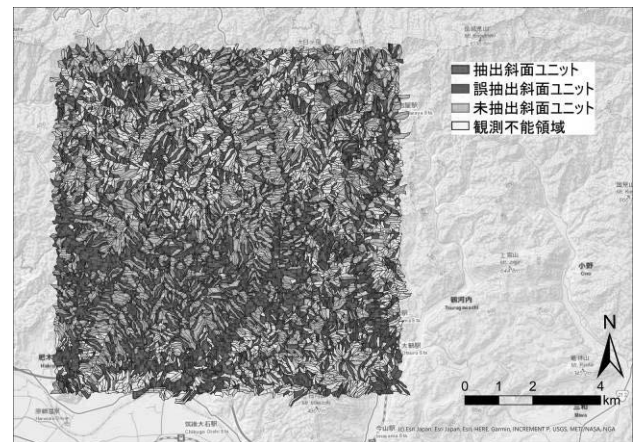


図-5 後方散乱差分解析の抽出結果の分布

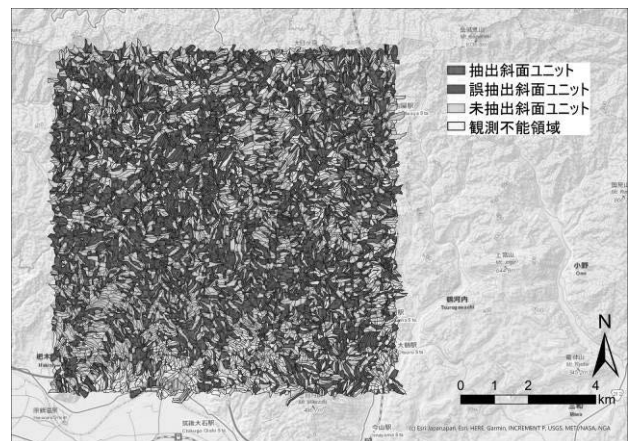


図-6 コヒーレンス解析の抽出結果の分布

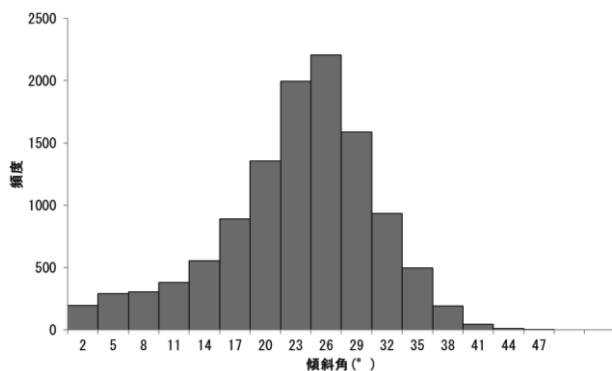


図-7 対象領域全体の傾斜角分布

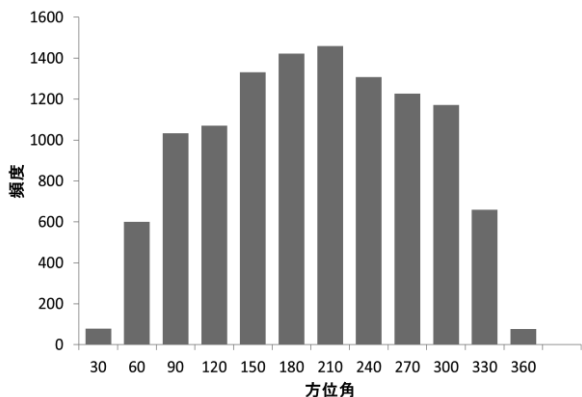


図-8 対象領域全体の方位角

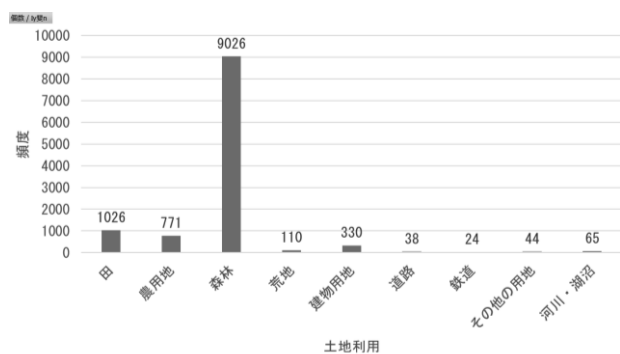
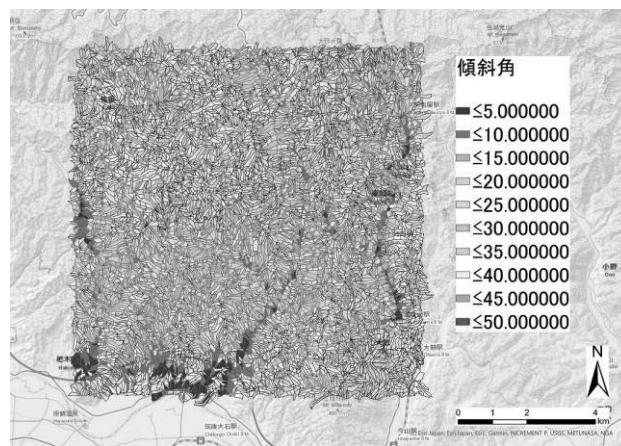


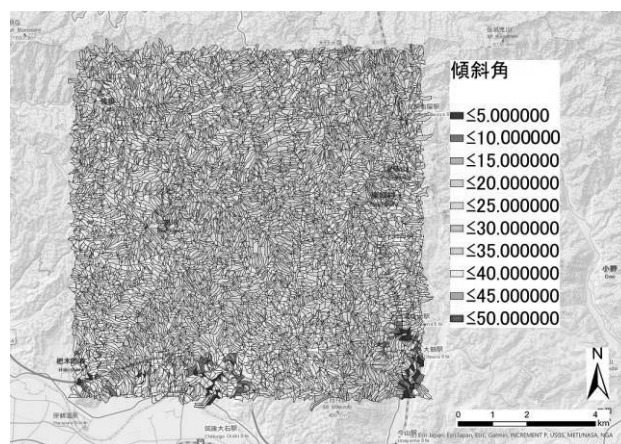
図-9 対象領域全体の土地利用分布

図を示す．図に示すように抽出箇所については，後方散乱差分解析の方が低角度の  $15^\circ$ 以下の領域をよく抽出できている．また，誤抽出箇所については，後方散乱差分解析の方がその数は少なく，特に  $10^\circ$ 以下での誤抽出箇所はほとんどない．未抽出箇所に関しては両者での差はあまり見られないが， $25^\circ\sim 30^\circ$ の領域で未抽出箇所が多く，これは森林の影響もあると考えられる．傾斜角は，衛星のオフナディア角に依存すると考えられるが今回使用したデータは，軌道方向で同じオフナディア角であることから，この抽出の差は，衛星の位置の影響ではなく，解析手法の特性，もしくは地形による影響と考えられる．

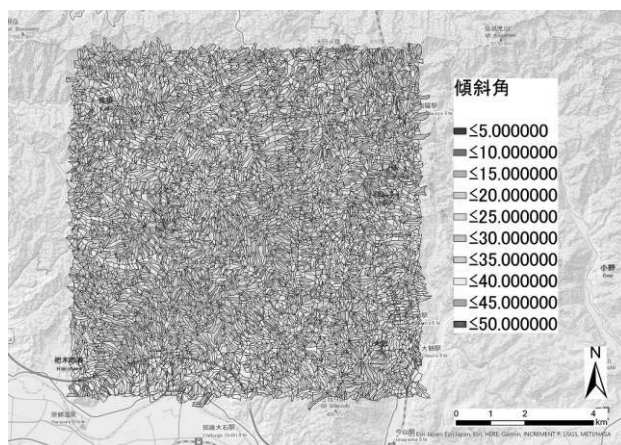
次に，図-12(a)～(d)に後方散乱差分解析の抽出箇所，誤抽出箇所，未抽出箇所の方位角分布とその頻度分布図を示す．また，図-13(a)～(d)にコヒーレンス解析の同様の図を示す．



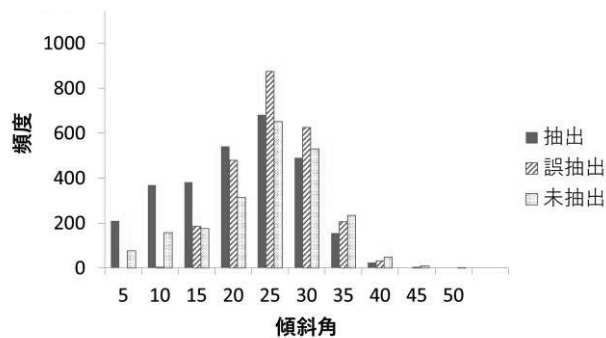
(a) 抽出箇所の傾斜角分布



(b) 誤抽出箇所の傾斜角分布

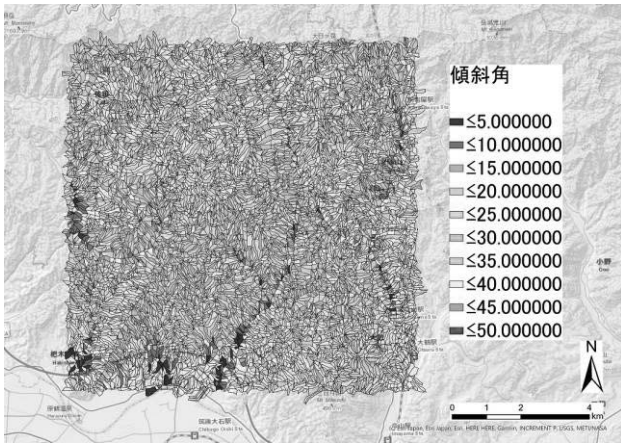


(c) 未抽出箇所の傾斜角分布

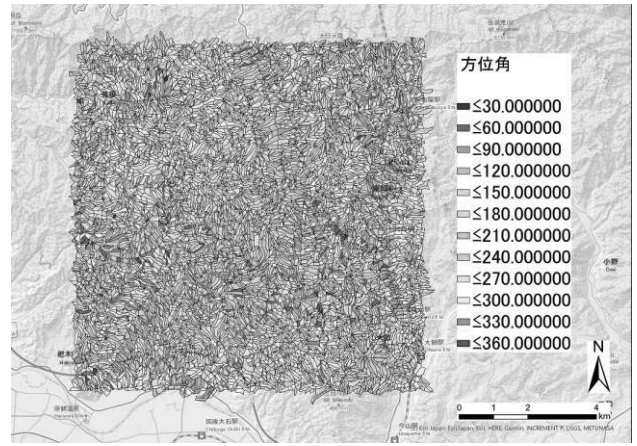


(d) 傾斜角の頻度分布

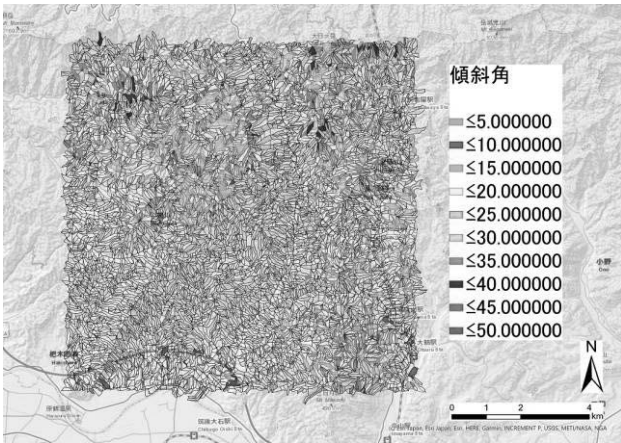
図-10 後方散乱差分解析の結果と傾斜角との関係



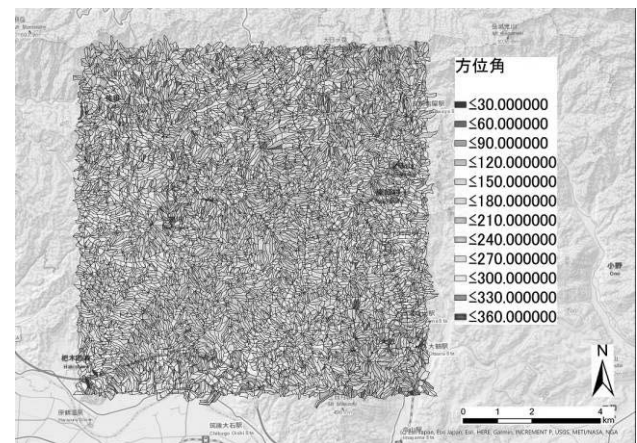
(a) 抽出箇所の傾斜角分布



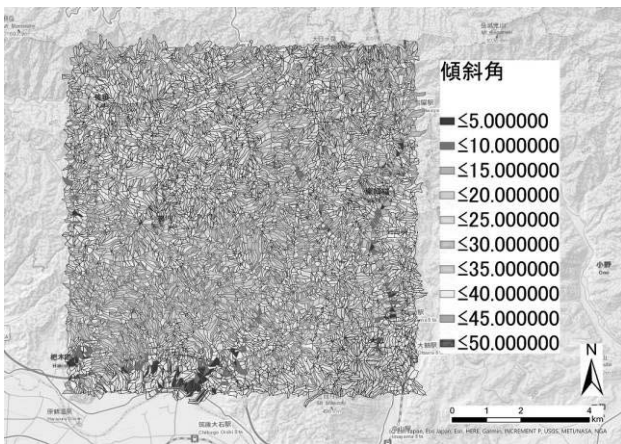
(a) 抽出箇所の方位角分布



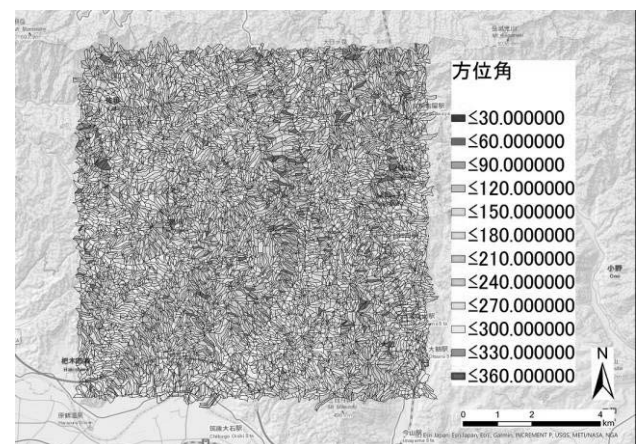
(b) 誤抽出箇所の傾斜角分布



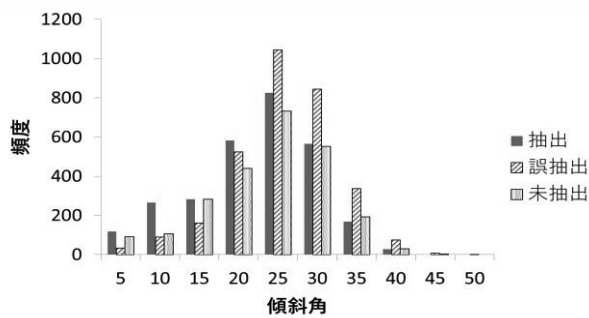
(b) 誤抽出箇所の方位角分布



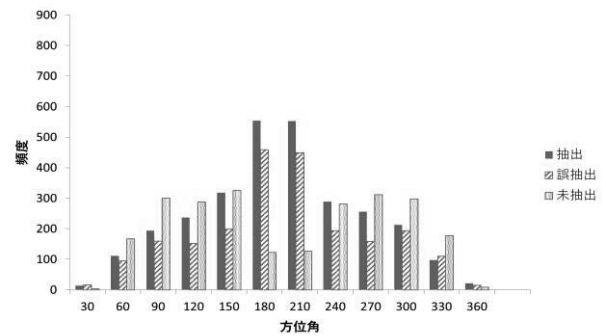
(c) 未抽出箇所の傾斜角分布



(c) 未抽出箇所の方位角分布



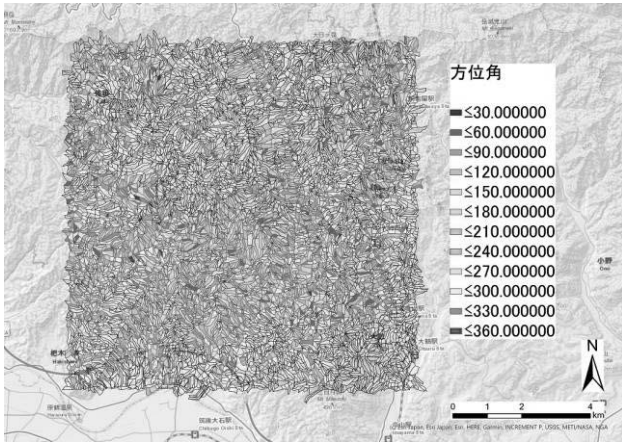
(d) 傾斜角の頻度分布



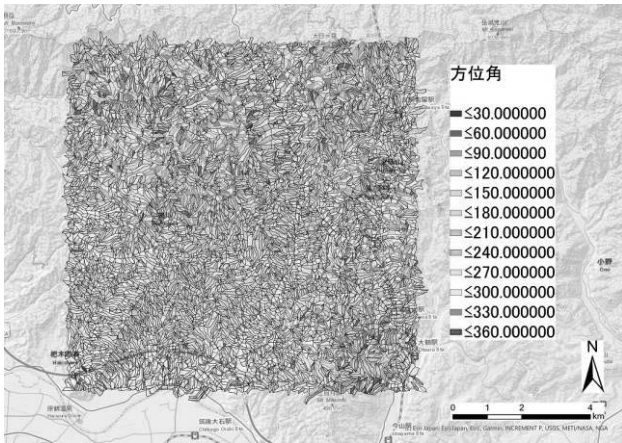
(d) 方位角の頻度分布

図-11 コヒーレンス解析の結果と傾斜角との関係

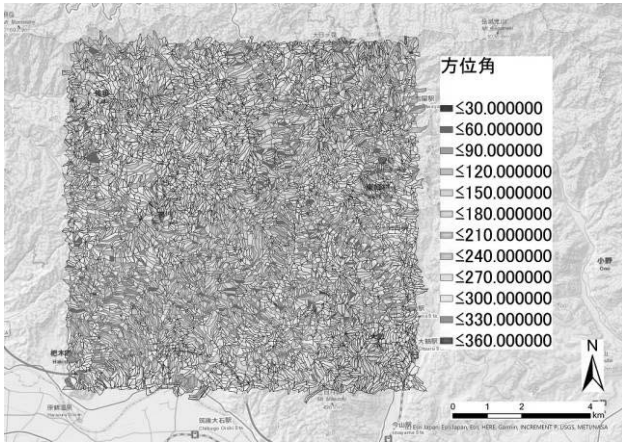
図-12 後方散乱差分解析の結果と方位角との関係



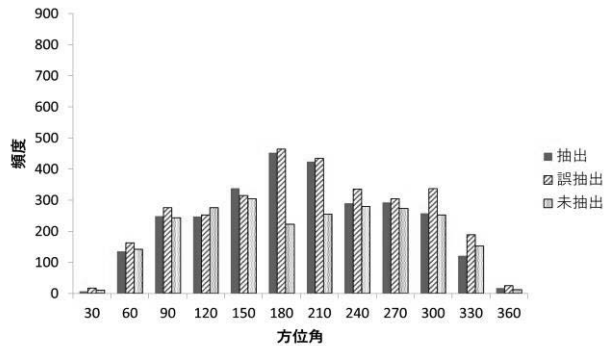
(a) 抽出箇所の方角分布



(b) 誤抽出箇所の方角分布

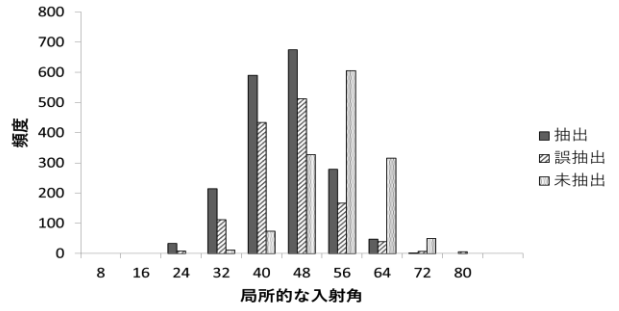


(c) 未抽出箇所の方角分布

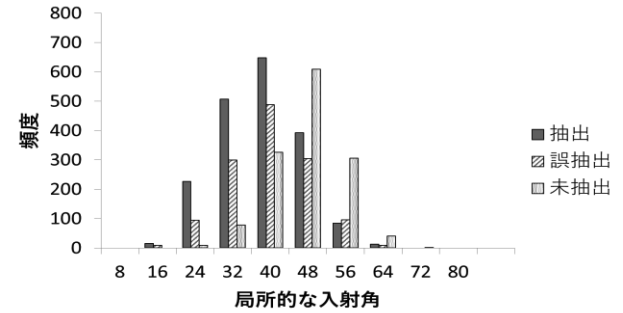


(d) 方位角の頻度分布

図-13 コヒーレンス解析の結果と方位角との関係

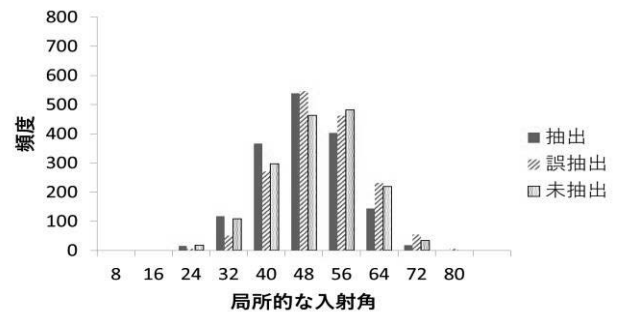


(a) ディセンディングの局所的な入射角の分布

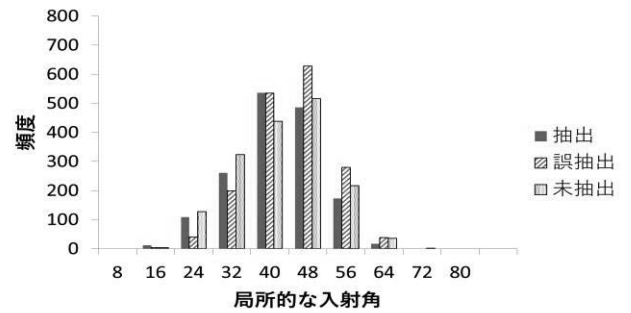


(b) アセンディングの局所的な入射角の分布

図-14 後方散乱差分解の結果と局所的な入射角との関係



(a) ディセンディングの局所的な入射角の分布



(b) アセンディングの局所的な入射角の分布

図-15 コヒーレンス解析の結果と局所的な入射角との関係

分布図を見る限りは、抽出箇所については、2つの解析手法で大きな違いはないように見えるが、コヒーレンス解析では、東向き(90°)と西向き(270°)の斜面でよく抽出できている。一方、後方散乱差解析では、南向き(180°)斜面においてよく抽出できている。また、誤抽出斜面は、コヒーレンス解析において、広く分布し

ており、抽出斜面と同程度の誤抽出斜面が確認される。一方、後方散乱差解析では、すべての方向に対して誤抽出斜面の数より、抽出斜面の数の方が多い。未抽出斜面については、南向き斜面において未抽出斜面の数は少なく、後方散乱差解析は、特に少ない。斜面の傾斜方向は、衛星の軌道方向に依存するものであり、ALOS-2が南行、北行という2つの軌道をとることから、南向き斜面の地形変化について把握しやすいと考えられる。さらに、衛星の照射方向と地形との関係を分析するために、局所的な入射角の分布の違いについて検討する。局所的な入射角とはレーダから照射された入射波と、照射された地点の接平面の垂直方向とのなす角である。図-14(a), (b)に地形変化の抽出結果と後方散乱差解析におけるディセンディングとアセンディングの局所的な入射角の頻度分布を、図-15(a), (b)にコヒーレンス解析の同様の図を示す。図に示すように、ディセンディングのデータでは、後方散乱差解析は $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ で精度よく抽出できているが、誤抽出も多い。一方でコヒーレンス解析では $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ で精度よく抽出できているが、 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ での誤抽出の割合が高い。また、アセンディングのデータでは、 $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$ で最も精度よく抽出できているが、ディセンディングと同様に誤抽出も多い。コヒーレンス解析は $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ の箇所でも精度よく抽出できているが、誤抽出の割合は大きい。ディセンディングとアセンディングを比較すると、ディセンディングに比べ、アセンディングは局所的な入射角が低い箇所での抽出が多い。これは、観測時のオフナディア角がディセンディングは $28.7^{\circ}$ であるのに対し、アセンディングは $21.5^{\circ}$ であり、その入射角度の違いによる結果と考えられる。これより、オフナディア角は $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 程度であればオフナディア角が大きくなるに従って、局所的な入射角が小さい箇所を抽出しやすくなることがわかる。

#### 4. おわりに

本研究では、2017年7月九州北部豪雨において発生した斜面崩壊による地形変化箇所について、ALOS-2/PALSAR-2データを用いた定量的な抽出手法の比較検討を行った。その結果、地形変化箇所の検出率は、単偏波後方散乱差解析、コヒーレンス解析ともに、約54%、正答率は、単偏波後方散乱差解析で約57%、コヒーレンス解析で約48%であり、斜面崩壊による地形変化箇所の抽出には単偏波後方散乱差解析の方が斜面崩壊による地形変化を把握できることが明らかとなった。しかしながら、両手法においては、それぞれの抽出の特徴があり、正しく抽出できた箇所と、誤って抽出した箇所、未抽出の箇所に対してそれぞれの傾斜角、方位角、局所

的な入射角の観点から整理を行った。その結果、傾斜角に関しては後方散乱差解析の方が低角度の $15^{\circ}$ 以下の領域をよく抽出でき、誤抽出箇所も、後方散乱差解析の方が比較的少ないことが明らかとなった。また、斜面の傾斜方向については、コヒーレンス解析では、東向き( $90^{\circ}$ )と西向き( $270^{\circ}$ )の斜面に対してよく抽出できている一方、後方散乱差解析では、南向き( $180^{\circ}$ )斜面においてよく抽出できており、ALOS-2の軌道方向の性質から、南向き斜面の地形変化について把握しやすいことが明らかとなった。最後に、局所的な入射角に関しては、オフナディア角が $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 程度の大きさであれば、オフナディア角が大きくなるに従って、局所的な入射角が小さな箇所が抽出されやすくなる傾向が示された。

**謝辞:** 本研究で使用した PALSAR-2 データは、国立研究開発法人宇宙研究開発機構の大規模災害 WG より提供されたものである。この場を借りて感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 千木良雅弘, 松四雄騎, 堤大三, 王功輝, 松浦純生, 土井一生, 橋本学, 釜井俊孝: 2017年九州北部豪雨災害調査報告書, pp.25-27, 京都大学防災研究所, 2018.
- 2) 水野正樹, 神山嬢子, 佐藤匠, 林真一郎, 岡本敦: 衛星 SAR 画像による大規模崩壊の緊急判読調査手法の実用化, 土木技術資料 54-10, pp.6-9, 2012.
- 3) 林真一郎, 水野正樹, 佐藤匠, 神山嬢子, 岡本敦, 吉川知弘, 鶴殿俊昭, 横田浩, 野田敦夫, 吉川和男: 紀伊半島台風 12 号災害を事例とした人工衛星高分解能 SAR 画像の判読による河道閉塞箇所探索手法の確立, 砂防学会誌, Vol.66, No.3, pp.32-39, 2013.
- 4) 杉本惇, 柴山卓史, 鶴殿俊昭, 小俣雅志, 野呂智之, 神山嬢子, 鈴木大和, 山下久美子: 高分解能 SAR 画像を用いた台風 12 号災害での河道閉塞箇所の推定, 平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.186-187, 2012.
- 5) 渡邊学, 米澤千夏, 園田潤, 島田政信: L-band SAR (PALSAR-2) を用いた, “広域データ”からの土砂災害域検出, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.37, No.1, pp.21-26, 2017.
- 6) 小畑建太, 岩男弘毅: 平成 28 年熊本地震に起因する斜面崩壊と ASTER データにおける NDVI 変化の関係, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.36, No.4, pp.417-420, 2016.
- 7) 山下久美子, 神山嬢子, 鈴木大和, 野呂智之, 杉本惇, 柴山卓史, 鶴殿俊昭: 二時期 SAR 強度画像を用いた土砂移動箇所判読精度の検証 - 平成 29 年 7 月九州北部豪雨の事例 -, 砂防学会誌, Vol.71, No.6, pp.21-27, 2019.
- 8) 小野清孝, 井上一宇, 宮崎景太, 内藤一郎, 高橋陪夫: だいち 2 号による平成 29 年 7 月九州北部豪雨の対応, 写

- 真測量とリモートセンシング, Vol.56, No.4, pp.110-111, 2017.
- 9) 宮崎真由美, 望月貫一郎, 下村博之, 小俣雅志, 三五大輔, 森良樹, 渋谷典幸:平成 30 年北海道胆振東部地震における取り組みと解析事例, 写真測量とリモートセンシング, Vol.57, No.6, pp.271-274, 2018.
  - 10) 厚井高志, 加藤誠章, 嶋丈示:ALOS-2 画像による 2016 年熊本地震発生後の土砂移動状況の把握, 日本地すべり学会誌, Vol.55, No.4, pp.172-177, 2018.
  - 11) 小室隆, 赤松良久, 山口皓平, プトゥエディヤスティカ, 清水則一, 二瓶泰雄:SAR 画像を用いた 2017 年九州北部豪雨における被害溜池の抽出, E-journal GEO, Vol.14, No.1, pp.271-287, 2019.
  - 12) 林真一郎, 水野正樹, 佐藤匠, 岡本敦・野田敦夫, 吉川和男, 山越隆雄, 中野陽子, 横田浩, 野田敦夫:高分解能 SAR 画像を用いた台風 12 号災害での河道閉塞箇所 の推定, 平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.186-187, 2012.
  - 13) 水野正樹, 江川真史, 神山嬢子, 佐藤匠, 蒲原潤一:衛星多偏波 SAR 画像による大規模崩壊の緊急判読調査手法, 土木技術資料 55-11, pp.35-38, 2013.
  - 14) 山下久美子, 神山嬢子, 鈴木大和, 野呂智之, 杉本惇, 柴山卓史, 鶴殿俊昭:衛星観測条件に着目した SAR 強度画像による土砂移動箇所判読精度の検証—九州北部豪雨の事例—, 平成 30 年度砂防学会研究発表会概要集, No.83, pp.737-738, 2018.
  - 15) 水野正樹, 神山嬢子, 江川真史, 佐藤匠, 蒲原潤一:2 偏波 SAR 画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法(案), 国土技術総合研究所資料, No.791, pp.13-31, 2014.
  - 16) 林真一郎・水野正樹・佐藤匠・岡本敦・野田敦夫・吉川和男・山越隆雄・中野陽子・横田浩・野田敦夫:高分解能 SAR 画像を用いた台風 12 号災害での河道閉塞箇所の推定, 平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.186-187, 2012.
  - 17) 杉本惇・柴山卓史・鶴殿俊昭・小俣雅志・野呂智之・神山嬢子・鈴木大和・山下久美子:災害前後に観測された単偏波 SAR 画像による土砂移動範囲の判読チェックリストの作成九州北部豪雨の事例, 平成 30 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.749-750, 2018.
  - 18) 翠川三郎, 三浦弘之:高分解能 SAR 画像による 2008 年岩手・宮城内陸地震での斜面災害地域の抽出, 日本地震工学会論文集, 第 10 巻, 第 3 号, pp.26-32, 2010.
  - 19) 江口毅, 三浦房紀:災害発生後のみの ALOS-2/PALSAR-2 画像による斜面崩壊域の早期発見手法, 土木学会論文集 F6(安全問題), Vol.74, No.1, pp.1-10, 2018.
  - 20) 下村博之, 小俣雅志, 森田保成, 阿部直樹, 寶楽 裕, 船木俊郎, 三五大輔:衛星 SAR 解析による平成 29 年 7 月九州北部豪雨での土砂移動域の抽出, 平成 30 年度砂防学会研究発表会概要集, No.83, pp.585-586, 2018.
  - 21) 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構:PALSAR-2 レベル 2.1 プロダクトフォーマット説明書(CEOS SAR フォーマット), p.52, 2016.
  - 22) Gatelli F., A. Monti Guamieri, F. Parizzi, P. Pasquali, C. Prati, F. Rocca : The Wavenumber Shift in SAR Interferometry, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.32, No.4, 1994.
  - 23) Stebler O., P. Pasquali, D. Small, F. Holecz, and D. Nuesch, : nalysis of ERS-SAR tandem time-series using coherence and backscattering coefficient, roceedings of Fringe '96 workshop, ESA SP-406, 1997.

(Received October 22, 2020)

(Accepted February 2, 2021)

## A STUDY ON QUANTITATIVE EXTRACTION OF TERRAIN CHANGES CAUSED BY SLOPE FAILURE USING PALSAR-2 DATA AND ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF EXTRACTED AREAS

Taiga TABUCHI, Yasuhiro MITANI, Hisatoshi TANIGUCHI,  
Lu TIAN and Yoshinori OHTSUJI

In this study, the study area is selected the regions that happened slope failure accompanied by topographical changes caused by Northern Kyushu heavy rain in July 2017 and take ALOS-2/PALSAR-2 data is used as the satellite information. Under the same conditions, the results show that firstly, single-polarization backscatter differential analysis extracts the terrain changes more accurately than the coherence analysis. Secondly, based on the slope angle, aspect angle and local incident angle, we also classify the slope failure that is able to extracted, incorrectly extracted and unextracted. As a result, slope angle less than  $15^\circ$  can be extracted well by the backscatter differential analysis with almost no error. Finally, the aspect angle is well extracted in the east-west direction using the coherence analysis. In contrary, the south direction is well extracted by the backscatter differential analysis. Furthermore, the larger of off nadia angle, the easier to extract the areas where the local incident angle is small.