

(71) 多時期SAR画像を活用した 土木インフラの災害発生箇所抽出の検討

楠瀬 智也¹・須崎 純一²

¹学生会員 京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail:kusunose.tomoya.37w@st.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学大学院教授 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail:susaki.junichi.3r@kyoto-u.ac.jp

近年、国内では集中豪雨が激甚化・頻発化する傾向にあり、様々な社会インフラへ甚大な被害をもたらしている。こうした大規模災害の被害拡大を抑制するためには、被害範囲や規模を迅速に把握することが重要である。一方で災害時の広範囲での現地計測は危険を伴い、かつコスト面での懸念がある。そこで、国土の面的なモニタリングが可能なリモートセンシングの活用が期待されている。本研究では、佐賀県武雄市の武雄JCTを事例に、多時期の衛星SAR画像を活用し、面的な災害発生箇所の抽出を試みた。具体的には、災害発生前後のコヒーレンス値の確率密度分布の比を算出し、その値の大小から災害発生箇所の抽出を行った。解析の結果、従来用いられてきたコヒーレンス解析と比較して、より正確に災害発生箇所が抽出出来ている可能性が示された。

Key Words : *InSAR, coherence, SAR, heavy rainfall disaster, Kullback-Leibler divergence*

1. はじめに

近年、日本国内では地球温暖化による影響を伴った集中豪雨が激甚化・頻発化している傾向にあり、河川氾濫や土砂災害を引き起こすことで様々な社会インフラへ甚大な被害をもたらしている。こうした大規模な自然災害による被害を防止及び抑制する対策を適切に実施するには、地滑り等の発生による地表面の変動から被災領域を迅速に抽出し把握する必要がある。社会インフラの復旧活動において重要な役割を果たすと考えられる。

一方で、局所的な地表面変動を、現地調査による計測から人工的に逐一調査することは現実的な方策ではない。ましてや、大規模災害発生時には、現地に到達することすらままならない可能性がある。効果的かつ効率的な国土のモニタリングを実施するには、リモートセンシングの活用が考えられるが、その中でも天候や時間帯に依存せず、面的に一括で地表を把握でき、かつ、精度やコストとのバランスが取れた合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar: SAR)の活用が適していると考えられる。

SARを活用した被災域の抽出については多くの事例が存在している。例えば、災害前後の二時期から観測された強度画像の変化を活用し、浸水域を抽出した事例¹⁾や、

土砂移動箇所の判読を検証した事例²⁾が存在するが、強度画像の比較においては、季節変動による成分が誤差として含まれ、また散乱特性の大幅な変化が存在しない場合は、有意な変動として検知すること出来ないという問題点がある。また、近年では2時期のSAR画像を干渉させ、干渉の度合いから被災領域を検知するコヒーレンス解析により、例えば地震災害による崩壊形状の検出を行う取り組みが行われている³⁾が、これも強度画像解析と同様に誤差成分に対する取り扱いが課題点となっている。こうした誤差成分を軽減するために、災害前のペアのコヒーレンスと、災害時を挟んだペアのコヒーレンスとの差分を用いて評価する3時期コヒーレンス解析により、地震後の都市部での被災域の抽出⁴⁾や2018年の西日本豪雨前後における斜面崩壊や地滑りの検知といった試み⁵⁾が行われているが、これらの解析も結局2時期でのコヒーレンス値を用いた解析であるため、差分を評価する際に用いるコヒーレンスに誤差成分が重畳されている場合、解析精度が下がってしまうことが懸念される。

そこで、本研究では、佐賀県武雄市の武雄JCTを事例とし、地滑り災害発生前後の多時期のSAR画像を活用したコヒーレンス解析を行うことで、高精度な構造物の異常発生箇所の検出を行うことを目的とする。以下では、

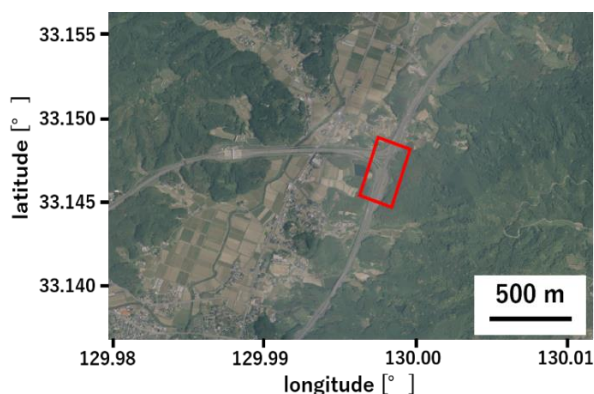


図-1 武雄 JCT 上空写真。赤枠は地滑りにより路面のアスファルトで地盤隆起が発生した領域を表す。

表-1 解析に使用する PALSAR2 画像データ

No.	観測日	No.	観測日
1	2017/2/25	7	2018/8/11
2	2017/6/3	8	2018/11/3
3	2017/8/12	9	2019/2/23
4	2017/11/4	10	2019/8/10
5	2018/2/24	11	2019/11/2
6	2018/6/2		

通常のコヒーレンス解析と3時期コヒーレンス解析、本研究で提案する多時期コヒーレンス解析に関する手法について述べた後、上記3つの手法の解析結果を正規化処理を行うことにより比較を行うこととする。

2. 対象地域と使用データ

(1) 解析対象地域

本研究では、佐賀県武雄市の長崎自動車道と西九州自動車道とを結ぶ武雄JCT（図-1）を解析対象地域とした。武雄JCTでは、2019年8月27日に発生した豪雨災害により、のり面の変状が引き起こされ路面異常が発生した。武雄JCT東側で地山が変形し、図-1中の赤枠の領域で路面のアスファルトが隆起したことが報告されている⁹。

(2) 使用データ

使用するSAR画像は2017年2月から2019年11月までの下降軌道のALOS2/PALSAR2画像11シーン（表-1）を使用した。衛星の撮影はすべてStripMapモードで行われ、空間分解能はレンジ方向に約3.1 m、アジマス方向に約7.5 mである。

本研究で解析を行うにあたって、解析結果の精度を検証するデータが存在しない。そのため、本研究では定量的な精度検証は行わず、報告資料⁹を基に、道路構造物

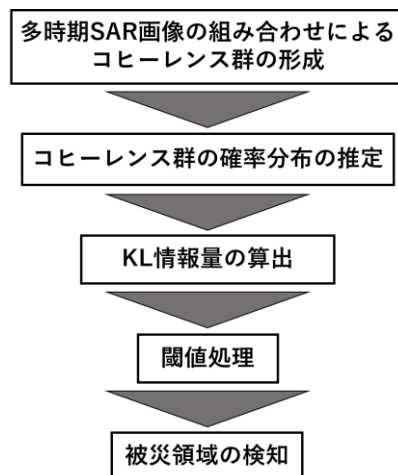


図-2 多時期コヒーレンス解析フロー図

を中心に、図-1中の赤枠内以外では変状が無いものと仮定し、検証を行うものとした。

3. 解析手法

(1) コヒーレンス解析

コヒーレンス γ はマイクロ波の後方散乱係数に関する相関係数であり、式(1)のように表される。

$$\gamma = \frac{\langle I_1 \bar{I}_2 \rangle}{\sqrt{\langle I_1 \bar{I}_1 \rangle} \sqrt{\langle I_2 \bar{I}_2 \rangle}} \quad (1)$$

ただし、式(1)において、 $\langle \rangle$ は括弧内の期待値を表し、 I_1, I_2 は干渉のペアとなる画像を表す。また、 $\bar{I}$ は I の複素共役を意味し、 γ は0から1の値をとる。従って、SAR画像のペア間で全く変化が無いと仮定した場合は $\gamma = 1$ となり、変化が著しくなる場合は、より γ が0に近づくことを意味する。

本研究においては、2時期でのコヒーレンス解析では表-1の災害発生直前であるNo.10と直後のNo.11の2枚の画像を用いたコヒーレンス解析を行い、災害前後2時期画像の変化($= 1 - \gamma$)に着目する。また、期待値をとるピクセルのウィンドウは17×17とし、以降の解析でも同様のサイズのウィンドウを用いるものとする。

(2) 3時期コヒーレンス解析

3時期コヒーレンス解析とは、災害前のペアのコヒーレンスと、災害前後のコヒーレンスとの差分($\Delta\gamma$)を用い、 $\Delta\gamma$ の大小により被災領域を検知する解析である。

本研究では、災害前のペア画像としてNo.9とNo.10を、災害前後のペア画像としてNo.10とNo.11をそれぞれ用い、3時期コヒーレンス解析を行うこととした。

(3) 多時期コヒーレンス解析

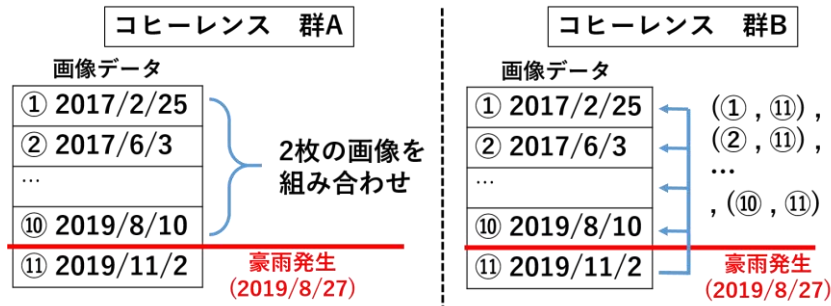


図-3 コヒーレンス値の群の形成

本研究で提案する多時期のSAR画像を用いたコヒーレンス解析について述べる。図-2に多時期コヒーレンス解析のフロー図を載せる。まず、図-3のように路面異常発生の原因となった可能性の高い豪雨発生日時の2019年8月27日を境界とし、地滑り災害発生前の画像No.1からNo.10までの2枚を組み合わせて得られるコヒーレンスを群A、地滑り災害前後の画像2枚を組み合わせて得られるコヒーレンスを群Bとする。従って、ピクセルごとに群Aとして45通り、群Bとして10通りのコヒーレンスの値が得られる。次に、コヒーレンスの値がガウス分布に従うとし、各ピクセルに対し群Aと群Bの確率密度分布を推定する。最後に、推定された確率密度分布の相違を評価し、その値の大小を閾値処理によって評価することで、被災領域の検知を試みる。分布の相違の定量評価に関しては、Kullback-Leibler情報量(KL情報量)を用いることとする。一般に、KL情報量 D_{KL} は A, B の2つの確率密度分布に対し、以下のような式(2)で表現される。

$$D_{KL} = \sum_{x \in X} A(x) \log \frac{B(x)}{A(x)} \quad (2)$$

したがって、 D_{KL} の値が大きくなるほど群Aと群Bからなるコヒーレンスの性質が異なることを意味する。この D_{KL} の大小によって災害発生による地表の変状を捉えられる他、多時期に渡る画像を使用するため、季節変動等の誤差の影響の軽減が期待されると考えられる。

4. 結果と考察

まず、3.で述べた解析手法に基づき、図-4、図-5、図-6の各(a)に、コヒーレンス解析から得られた災害前後2時期の画像の変化の度合いを示す $1 - \gamma$ 、3時期コヒーレンス解析から得られた災害前のペアのコヒーレンスと災害前後のコヒーレンスとの差分 $\Delta\gamma$ 、提案手法から算出された D_{KL} の分布図を、それぞれ示す。なお、比較を容易にするため、全て正規化処理を行っている。次に、得られた結果から、閾値を0.3とし、それを上回った箇所を災害発生領域として判定し、赤色で表示したものを(b)の図に示す。3パターンのいずれも黒枠内で災害発生

領域の兆候を検出できている。しかし、2時期でのコヒーレンスでは大幅に誤検知がなされており、季節変動やノイズ成分による誤差の重量の発生が推察される。また、3時期コヒーレンス解析では、2時期の場合と比較して大幅に誤検知は減少したものの、植生域を中心に誤検知が発生していることが分かる。 $\Delta\gamma$ は2時期のコヒーレンスの差分から計算されているため、季節変動が大きい植生域ではこれらの影響を取り除けなかったものと推察される。一方で、多時期コヒーレンス解析では、災害発生領域を正確に捉えることが出来ている。多時期の画像を用いることで統計的に季節変動等の誤差成分の影響を軽減し、災害発生箇所のみを検出できたものと考えられる。

5. 結論

本研究では、佐賀県武雄市の武雄JCTを対象地域とし、コヒーレンスをベースとした構造物の災害発生領域の検出を検討した。具体的には、多時期のSAR画像を活用し、コヒーレンスの確率密度分布の密度比を評価することで統計的に誤差要因を排除することを試みた。その結果、従来用いられてきた解析手法と比較して、高精度に災害発生領域を検出できる可能性が示された。

今後の課題としては、コヒーレンスの値がガウス分布に従うという仮定の妥当性に関する検証や、閾値を決定する方策の検討を行う必要がある。さらに、地滑り発生前から災害発生の予兆を事前に検知する手法の開発への発展といったことが挙げられる。

参考文献

- 1) 加藤圭太, 山崎文雄: ALOS/PALSAR 画像を用いた2008年岩手・宮城内陸地震による水域の変化抽出, 日本地震工学会論文集, 第10巻, 3号, pp. 3_1-3_11, 2010.
- 2) 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, 71巻, 6号, pp.

21-27, 2019.

- 3) 河邑眞, 辻野和彦, 辻子裕二, 岡島裕樹, ジャブフリ
ルタンジュン: Xバンド干渉 SAR のコヒーレンス画
像を用いた 2009 年スマトラ島沖地震による崩壊形状
の検出, 自然災害科学, Vol.31, No.3, pp. 207-215,
2012.
- 4) Plank, S.: Rapid Damage Assessment by Means of Multi-Temporal
SAR – A Comprehensive Review and Outlook to Sentinel-1, *Remote
Sensing*, vol. 6, pp.4870-4906, 2014.
- 5) 橋本学: 平成 30 年 7 月豪雨災害調査報告書, pp. 54-

60, 京都大学防災研究所, 2019.

- 6) 西日本高速道路株式会社: 第1回 長崎自動車道 武雄ICTの
り面災害に関する技術検討委員会の開催結果について,
<https://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/kyushu/r1/0903a/>, (2021年6
月10日アクセス).

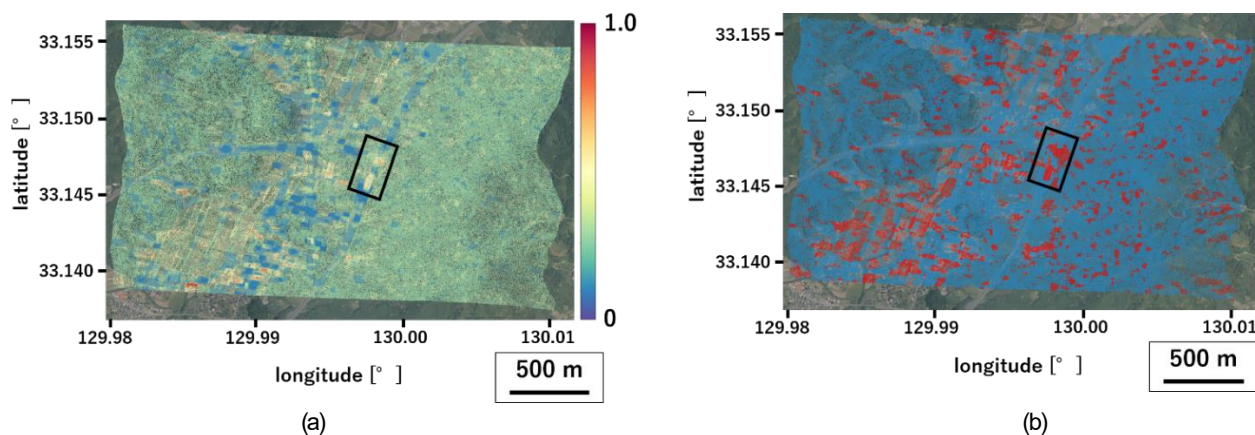


図4 コヒーレンス解析結果 (a)正規化処理された $1 - \gamma$, (b)閾値処理後の(a)の分布. 黒枠は変状発生箇所を示す.

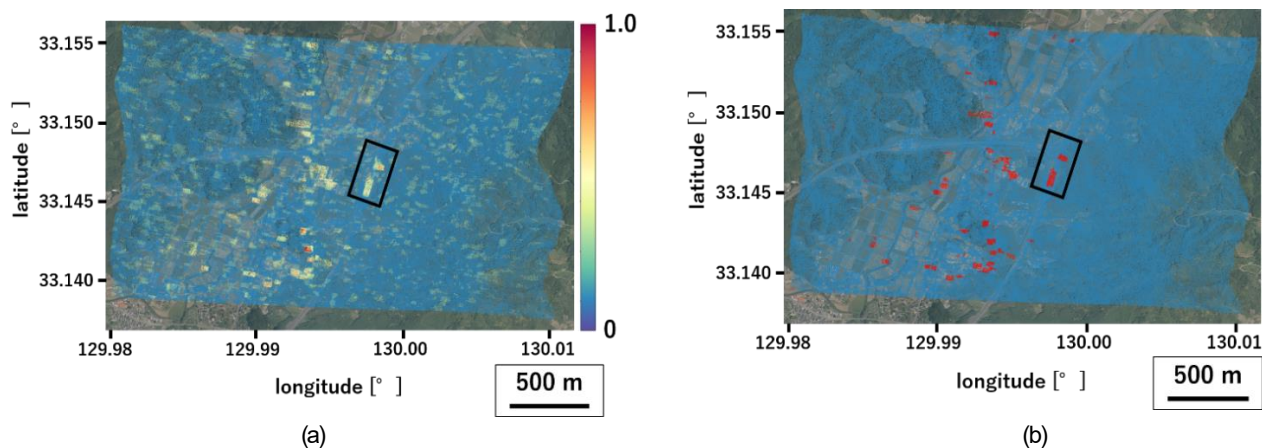


図5 3時期コヒーレンス解析結果 (a)正規化処理された $\Delta\gamma$, (b)閾値処理後の(a)の分布. 黒枠は変状発生箇所を示す.

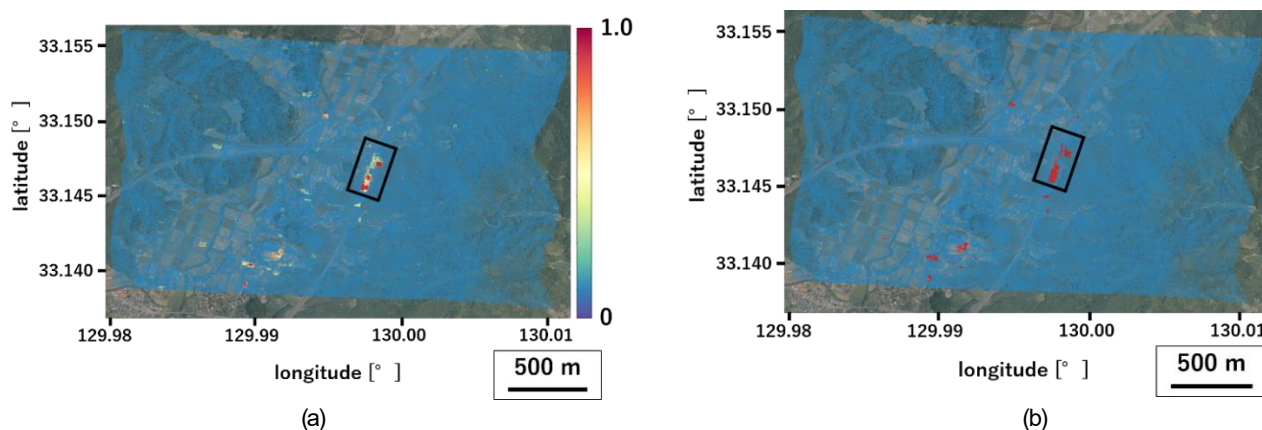


図6 多時期コヒーレンス解析結果 (a)正規化処理された D_{KL} , (b)閾値処理後の(a)の分布. 黒枠は変状発生箇所を示す.