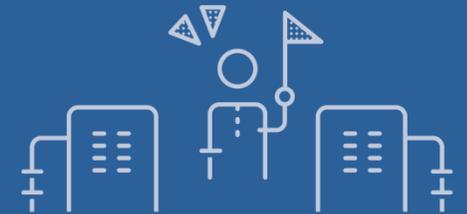


第77回（令和6年度秋季）
学術講演会 陸域2【A9】
2024年11月27日

EJEC REPORT

農業用ダム監視を目的とした 衛星SAR 干渉解析の適用性 について



価値ある環境を未来に

発表者：吉中 輝彦

共著者：家田浩之・土門未来・古川ひな

峰野佳厚・岩崎俊樹・前田理穂・高田南月

1.はじめに

ダムの安全管理体制について

- 安全性管理のために定期的に変形計測や測量等を実施している。また、災害時には、定期観測データを活用することで、変状箇所抽出や不具合箇所の抽出等が可能である。ただし
 - 管理を行う管理者の不足
 - 管理者の高齢化
 - ダムは中山間地にあるため、観測場所に赴くのが大変
- といった課題点がある。

管理手法に人工衛星データを活用できないか？



本報告では、ダムの安全性管理の省力化・高度化を図ることを目的とし、中山間地に建設された農業用ダムを対象とした「**衛星SAR干渉解析**」の適用性を確認した事例を報告する。

1.はじめに

ダム役割について

- ダムの主な役割は、洪水調節、水資源の確保（水道用水、工業用水、農業用水など）、発電、河川環境の保全（流水の正常な機能維持）があり、さらには観光資源としても活用される。
- ダムはコンクリートダム、ロックフィルダム、アースダム等など、色々な種類がある。

①コンクリートダム



②ロックフィルダム



③アースダム



①および②：近畿農政局HPより抜粋

<https://www.maff.go.jp/kinki/seibi/sekei/koukuei/kakogawa/kakogawa05.html>

③：東海農政局HPより抜粋

<https://www.maff.go.jp/tokai/noson/hyoka/jigo/attach/pdf/20190614-13.pdf>

2.干渉SAR解析手法の特徴について

衛星SARデータの利点と弱点

- 衛星SARの利点を以下に示す。
 - 衛星SARは雲を透過して撮影を行うことができるため、天候に左右されず定期的に観測可能
 - 自ら電波を照射しているため、夜間でも撮影が可能
 - 複数時期のデータを用いた干渉処理を行う事で変位計測が可能
- 衛星SARの弱点を以下に示す。
 - 使用する波長帯によっては植生繁茂地域の適用が難しい
 - 急傾斜地やレーダーの陰になるところでは適用が難しい
 - 撮影したデータは画像としては分かりにくい

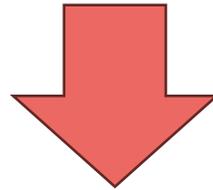
衛星SARを効率よく使用するには

監視を行う施設への適用性を事前に把握しておく必要がある。

2.干渉SAR解析手法について

衛星SARデータの適用性の確認方法

- 衛星SARデータを最大限に活用するためには、SAR干渉解析結果を行った際のコヒーレンス（干渉性）を確認する必要がある。
- 一般的にコヒーレンスは0.3以上あればSAR干渉解析による適用性はあるとされる。
- 各ダムの適用性の判定は、「植生が繁茂した夏期」と「植生が冷落する冬期※」を目安としコヒーレンスの確認を行う。



夏季及び冬期共にコヒーレンスが高い場合には、衛星SAR解析による適用が可能な施設であるといえる。

※積雪により地表面が見えない場合には衛星SARによる監視は難しい

3. 検証事例について

検証事例の概要

- 本報告では、型式の異なる農業用ダム3基を対象とした。型式は

- Aロックフィルダム
- Bアースフィルダム
- Cコンクリートダム

とした。各ダムの位置関係図を右図に示す。

- 右図のとおり、各ダムは中山間地にありダム間の距離も10km以上離れた場所に存在する。
- ダム周辺には植生が豊富であり、夏期には植生が繁茂、冬期には積雪の影響が想定される地域である。



(再掲資料)

ダムの役割について

- ダムの主な役割は、洪水調節、水資源の確保（水道用水、工業用水、農業用水など）、発電、河川環境の保全（流水の正常な機能維持）があり、さらには観光資源としても活用される。
- ダムはコンクリートダム、ロックフィルダム、アースダム等など、色々な種類がある。

①コンクリートダム



②ロックフィルダム



③アースダム



①と②：近畿農政局HPより抜粋

<https://www.maff.go.jp/kinki/seibi/sekei/koukuei/kakogawa/kakogawa05.html>

③：東海農政局HPより抜粋

<https://www.maff.go.jp/tokai/noson/hyoka/jigo/attach/pdf/20190614-13.pdf>

3. 検証事例について

検証手法について

- 本検証では、冬期及び夏期のそれぞれ2時期のコヒーレンス（干渉性）の確認を行う。
- 両者のコヒーレンスが0.3程度以上の場合には衛星SARによる適用性が高いと判断する。それ未満の場合には適用性が無いと判断する。

検証方法について

- 本検証では、ESA（欧州宇宙機関）のC-バンドの衛星SAR「Sentinel-1」のデータを使用した。
- 干渉解析を行ったソフトウェアは、同じく、ESAが開発・公開している「ESA SNAP」を用いた。
- 上記は無償で公開されているため、トライアンドエラーを行いやすい。
- 以降に解析結果を示すが、特に断りが無い場合、背景図はSentinel-1の解析画像を使用した。



3. 検証事例について

検証に用いた衛星データ時期

- 検証に用いた衛星データペアを冬期および夏期に分けて示す。取得衛星の時刻は協定世界時のため、本報告では断りが無い限り協定世界時で表現する。なお、表中には参考として日本標準時を併記した（時差は9時間である）。

時期	プライマリ画像※	セカンダリ画像※
冬期	2023年2月9日 21時0分	2023年2月21日21時0分
(日本時間)	2023年2月10日6時0分	2023年2月22日6時0分

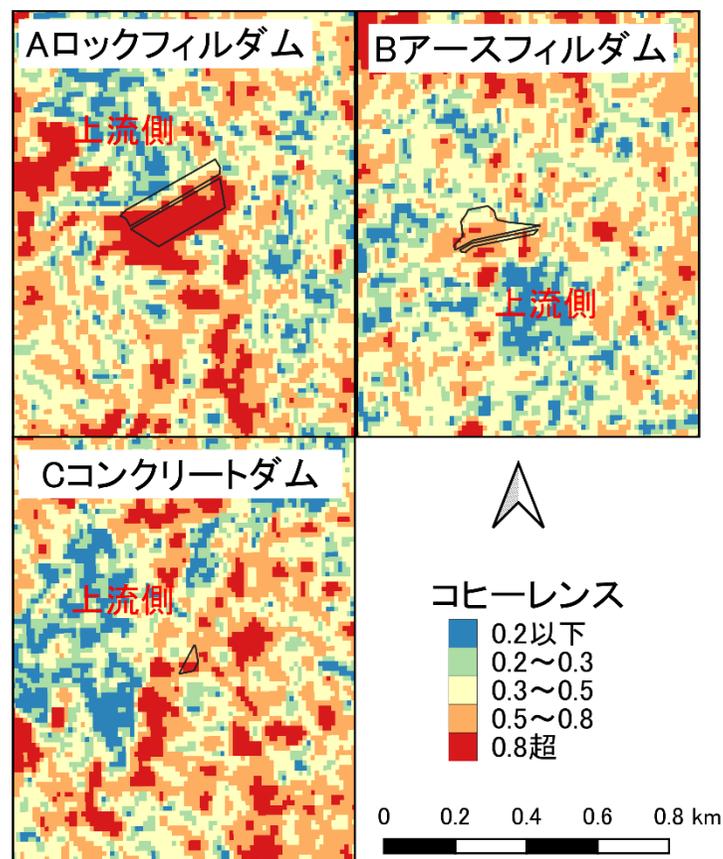
時期	プライマリ画像※	セカンダリ画像※
夏期	2023年8月8日 21時0分	2023年8月20日21時0分
(日本時間)	2023年8月9日6時0分	2023年8月21日6時0分

※干渉解析を行う際に、従来は親画像をマスタ、子画像をスレイブと表記していたが、近年では様々な配慮のため、親画像をプライマリ、子画像をセカンダリと呼称する例が多い。本報告においてもプライマリ、セカンダリとして呼称する。

4. 検証結果について

冬期の各ダムのSAR干渉解析結果

- 前述した「Aロックフィルダム」、「Bアースフィルダム」、「Cコンクリートダム」地点の冬期の干渉解析結果を以下に示す。
- 冬期のSAR干渉解析の結果、各ダム地点のコヒーレンスは0.5~0.8程度と非常に高い干渉性を示した。
- 冬期は干渉解析に適した地点であると言える。

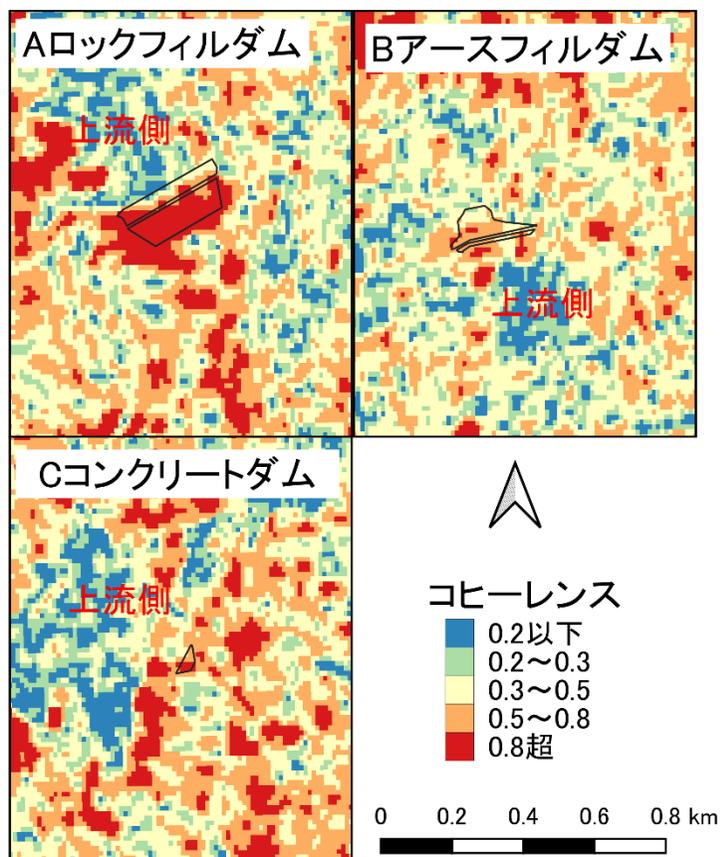


冬季(2023年2月期)
(2023/2/9と2023/2/21のコヒーレンス)

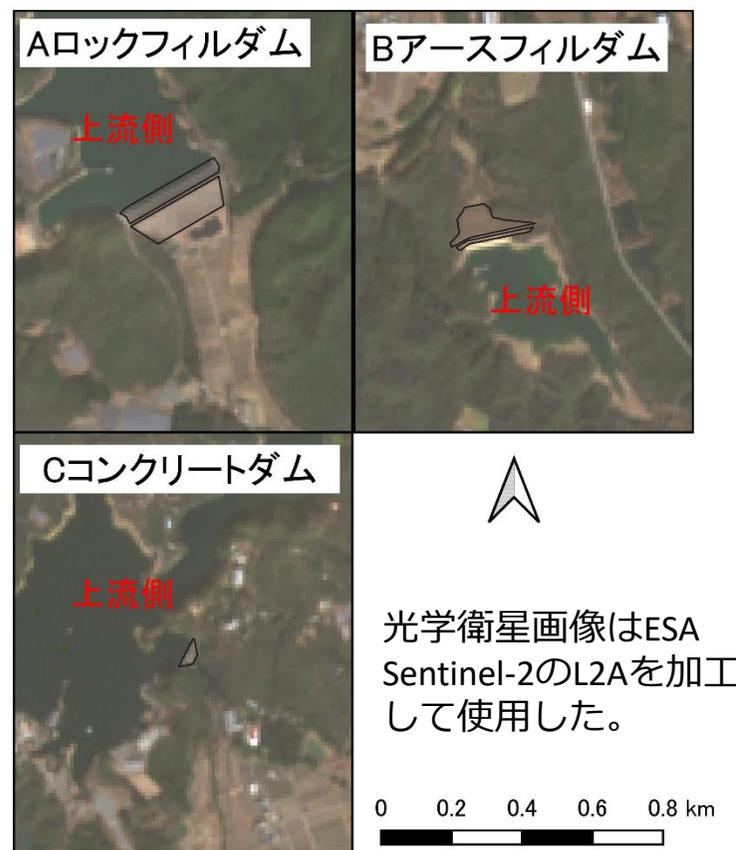
4. 検証結果について

冬期の各ダムのコヒーレンスと光学衛星画像の確認

- 冬期の各ダム地点の光学衛星画像（右図）を確認した結果、各ダム堤体部には植生繁茂及び積雪は確認されず、コヒーレンスが高い状況は妥当であると判断する。



冬季(2023年2月期)
(2023/2/9と2023/2/21のコヒーレンス)



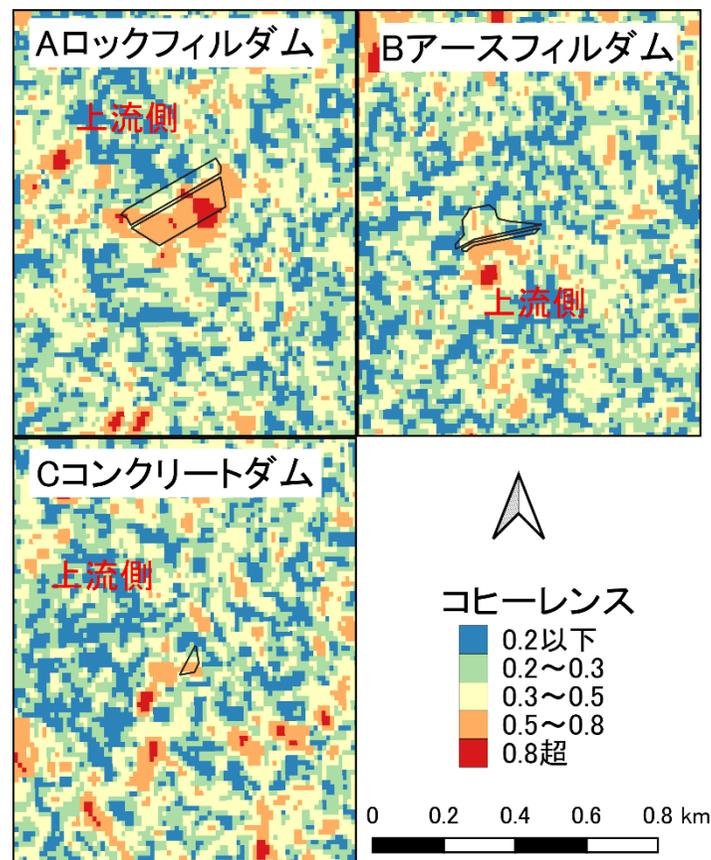
光学衛星画像はESA
Sentinel-2のL2Aを加工
して使用した。

冬季(2023年2月12日)

4. 検証結果について

夏期の各ダムでのSAR干渉解析結果

- 夏期の干渉解析結果を以下に示す。
- 夏期のSAR干渉解析の結果は冬期に比べ、各ダム地点のコヒーレンスは低下しているが、0.3~0.8程度と高い干渉性を示した。
- 夏期においても干渉解析に適した地点であると言える。

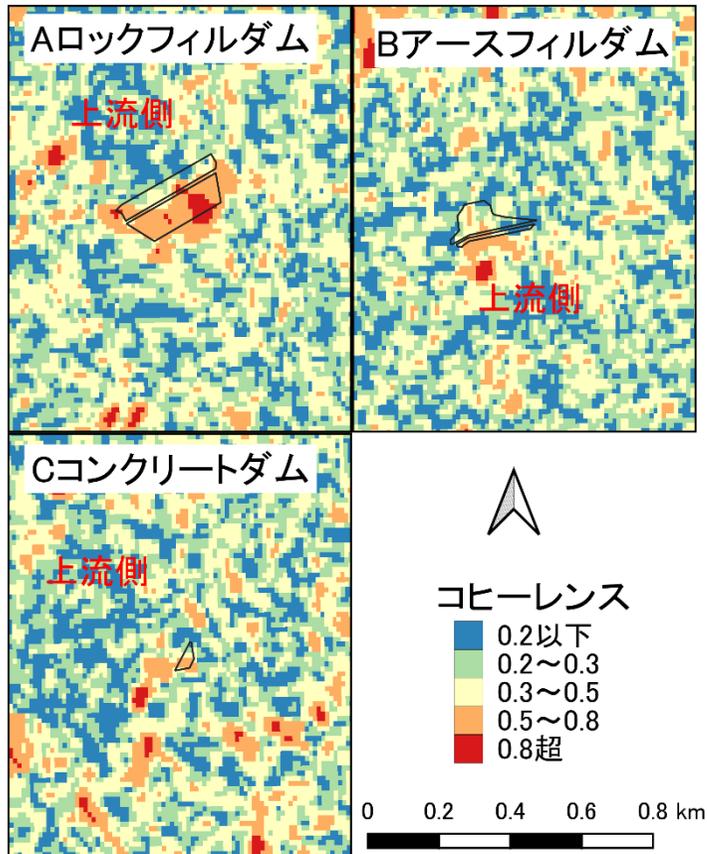


夏季(2023年8月期)
(2023/8/8と2023/8/20のコヒーレンス)

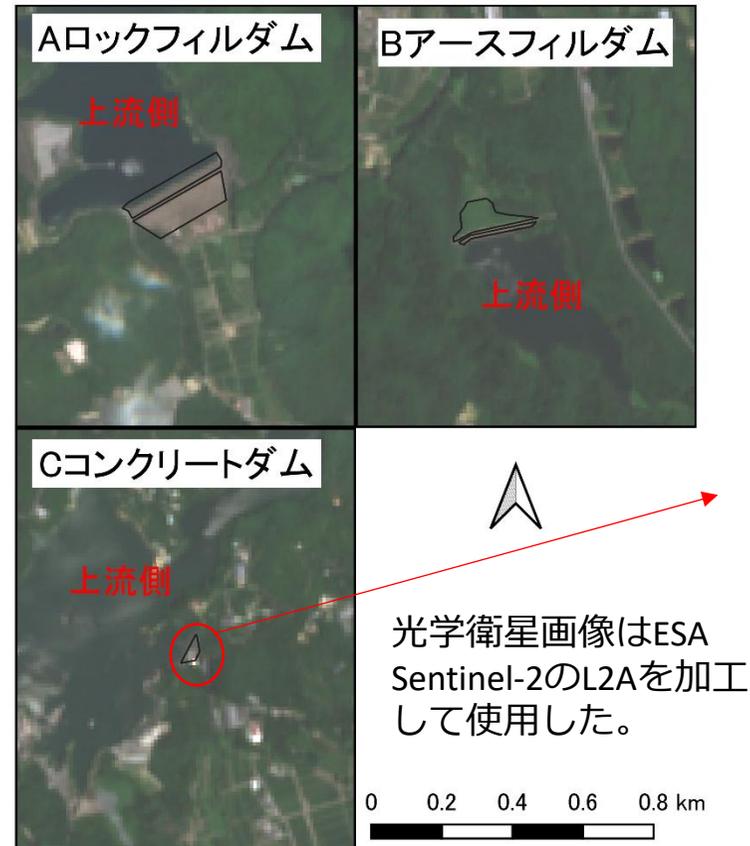
4. 検証結果について

夏期の各ダムのコヒーレンスと光学衛星画像の確認

- 夏期の各ダム地点の光学衛星画像（右図）を確認した結果、「Bアースフィルダム」では植生が繁茂が確認できるため、冬期に比べコヒーレンスが低下したものと考えられる。
- 「Cコンクリートダム」では周辺の植生が繁茂したため、SAR衛星の電波が堤体に届きにくくなったものと考えられる。



夏季(2023年8月期)
(2023/8/8と2023/8/20のコヒーレンス)



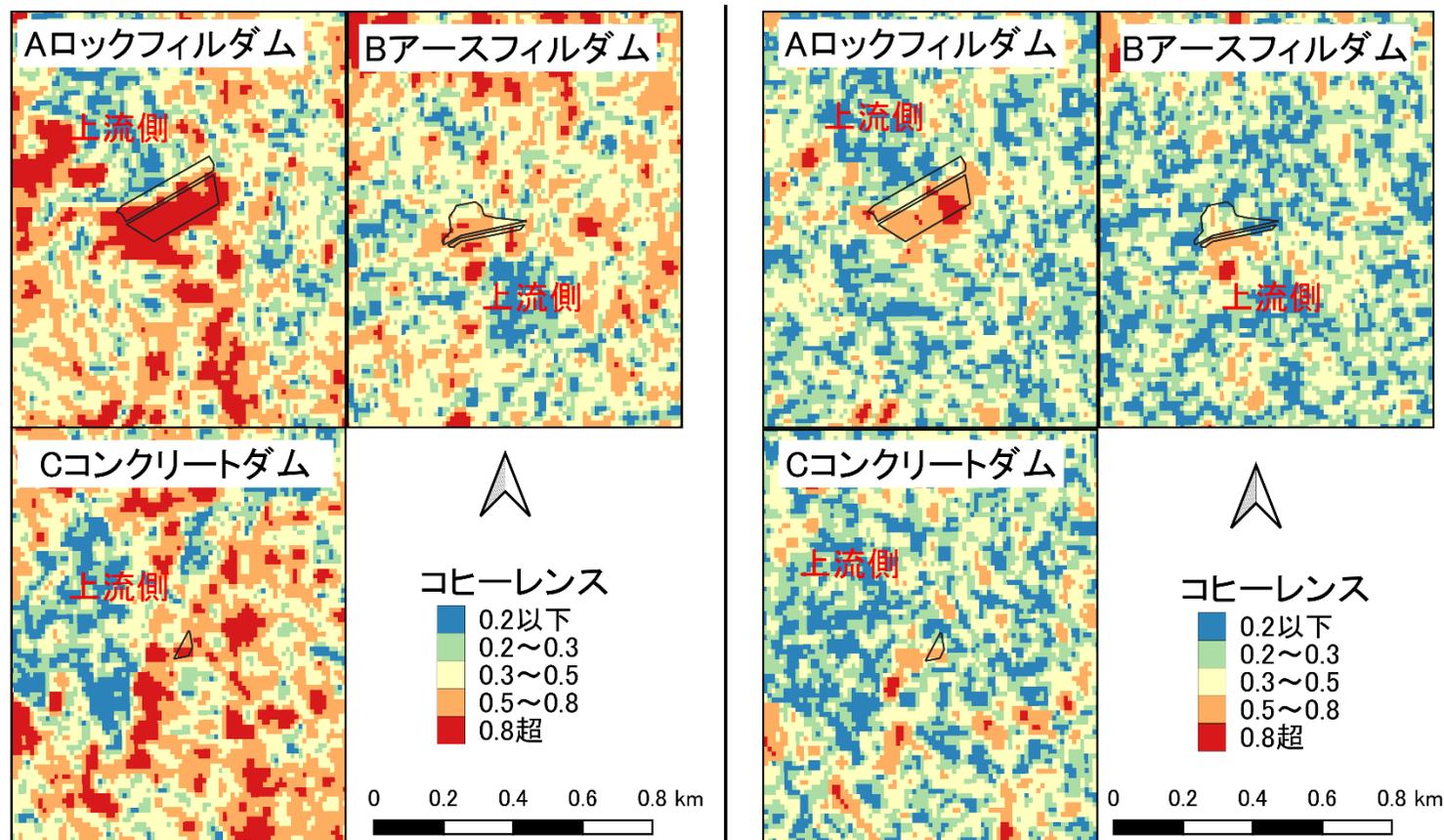
夏季(2023年7月27日)



4. 検証結果について

冬期と夏期の各ダムのコヒーレンス結果一覧

- 冬期と夏期の干渉解析結果の比較図を以下に示す。
- 特に「Aロックフィルダム」は通年、コヒーレンスが安定して高い傾向を示したことが分かる。



冬季(2023年2月期)
(2023/2/9と2023/2/21のコヒーレンス)

夏季(2023年8月期)
(2023/8/8と2023/8/20のコヒーレンス)

4. 検証結果について

時系列解析による変位速度の推定

- 「Aロックフィルダム」では前述の結果、通年0.5以上とした高いコヒーレンスを示すことを確認した。
- 上記より、「Aロックフィルダム」を対象とした時系列解析による鉛直変位速度推定を行った。
- 鉛直変位速度推定にはSBAS解析を使用して、2015年12月24日～2021年8月24日までの約5.5年間を対象とした。
- SBAS解析手法は、LiCSBAS^{*}を使用し行った。

※森下遊 Nationwide urban ground deformation monitoring in Japan using Sentinel-1 LiCSAR products and LiCSBAS, Progress in Earth and Planetary Science(8巻6号,2021)

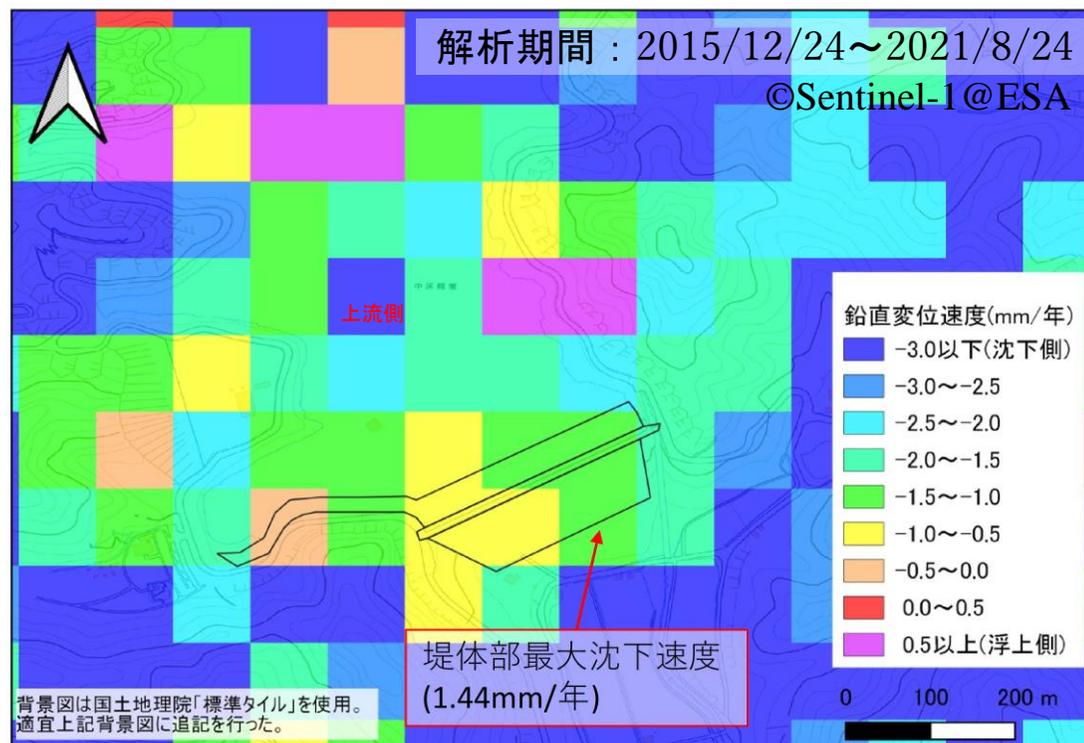
プログラム:GPL-3、配布先

<https://github.com/yumorishita/LiCSBAS>

4. 検証結果について

時系列解析による変位速度の推定結果

- 「Aロックフィルダム」に対してLiCSBASを用いて解析した結果を以下に示す。
- 解析の結果、堤体部の最大沈下速度は「1.44mm/年」とほぼ安定した状態である。
- また、当該ダムは竣工から40年程度経過していること、当該ダムからも損傷や異常などの報告が無いことから、SBAS解析の解析結果は妥当であると考えられる。



5.まとめ

- 中山間地に建設されている農業用ダムを対象とした衛星SAR干渉解析の適用性を確認した結果は以下のとおり。
 - 本検討で対象とした3ダム地点については、堤体部のコヒーレンスが通年的に高い状況であったため、SAR干渉解析により、堤体の変状や災害時の被災状況が遠隔でも確認できる可能性が示唆された。
 - 本事例中の「Aロックフィルダム」のように、特に高いコヒーレンスを通年示すような場合には、時系列解析を行い変動量の分析ができる可能性が示唆された。
- 今後の課題
 - 干渉解析時にはコヒーレンス以外にも、位相差分結果（2時期の変位量）も確認可能である。そのため、時系列解析も併せて、ダム堤体部に設置された実際の変位量観測結果と比較した解析精度の検証が必要である。
- 最後に
 - 日本の最新の衛星SARであるALOS4が本年7月1日に打ち上げに成功している。ALOS4はLバンドSARであるため、植生の多い日本に最適な衛星であるため、今後はALOS4のデータを含め、より精度を高めた解析を行っていきたい。



EJEC

ご清聴いただきありがとうございました

