

だいち2号を ダムおよび貯水池周辺斜面の 維持管理へ活用するための 技術開発と活用事例

佐藤弘行

国土交通省 国土技術政策総合研究所
河川研究部 大規模河川構造物研究室

平成31年3月11日

本発表は、SIP(インフラモニタリング)(H26~30)の以下の個別課題で得られた成果の一部です。
「衛星SARによる地盤および構造物の変状を広域かつ早期に検知する変位モニタリング手法の開発」

【1】ダムへ活用するための技術開発と活用事例

●ロックフィルダムの変位計測の検討

【検討した解析手法】干渉SAR、時系列解析

【技術開発の項目】解析パラメータの設定

【活用事例の紹介】平常時、地震時の変位計測事例

【2】貯水池周辺斜面へ活用するための技術開発と活用事例

●貯水池周辺斜面の変位計測の検討

【検討した解析手法】干渉SAR、時系列解析、スタッキング

【技術開発の項目】解析パラメータの設定、ノイズの低減方法

【活用事例の紹介】調査計画立案等への活用例

【3】ALOS-2をダム等の変位計測等の維持管理へ活用するための取り組み

●システム開発

・干渉SAR解析の自動化

●マニュアルの整備

【1】ダムへ活用するための技術開発と活用事例

対象、目的



【対象構造物】ダム(主にロックフィルダム)

【目的】衛星SARによりダムの変位を効率的に計測するための技術開発

コンクリートダム

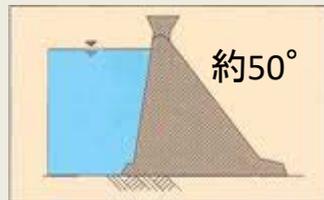
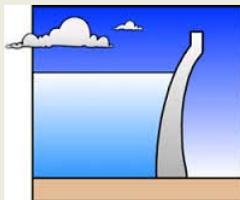
フィルダム



アーチ式ダム(約50基)



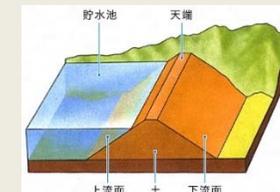
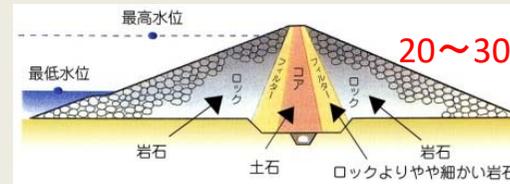
重力式ダム(約1000基)



ロックフィルダム(約300基)



アースダム(約1200基)



・ロックフィルダムの表面



上流面



下流面

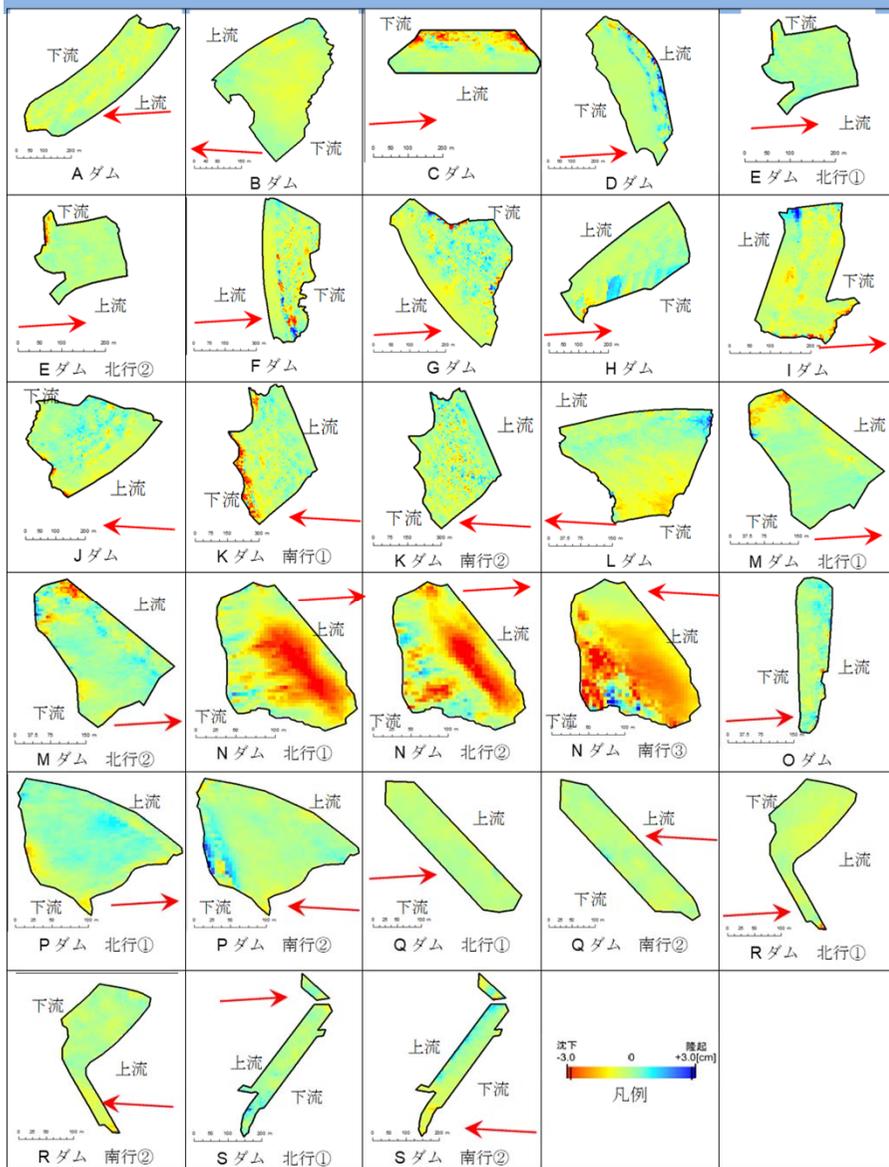
- ・最大粒径1mの岩石で表面が覆われている。(貯水や雨水による浸食防止、等のため)
- ・適度にゴツゴツしている。
- ・定期的に草刈りを実施。



反射強度、コヒーレンスが高い

【1】ダムへ活用するための技術開発と活用事例

19基のロックフィルダムの変位計測 時系列解析



19基のロックフィルダムの時系列干渉SARによる変位解析結果
(2014末～2016半ば)
(最初と最後の観測日の変位)

- ・マルチルック2×2、Goldsteinフィルタ32×32
- 局所的変動の計測可能性、変位計測精度から決定
- ・既存の測量やGPSとの比較、誤差(RMSE)の評価

主な誤差の要因

① 植生

(誤差10mm以上)

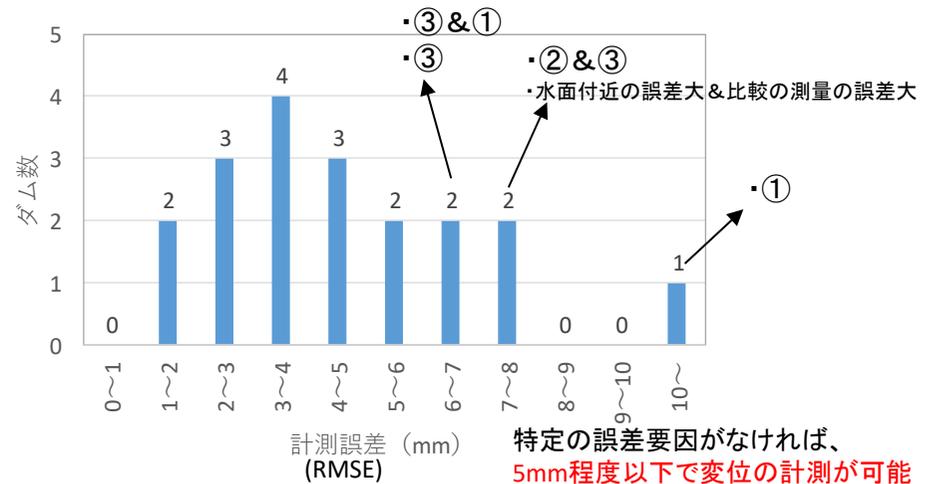
② サイドローブ

レーダーがコンクリートの壁で強反射
(誤差10mm以上)

③ レーダーの入射と斜面の角度

(a) 精度が良い
(b) の時、誤差大
(誤差5～10mm)

精度が悪い (天端)
精度が良い (斜面)
精度が良い (地面)
精度が比較的よい



【1】ダムへ活用するための技術開発と活用事例

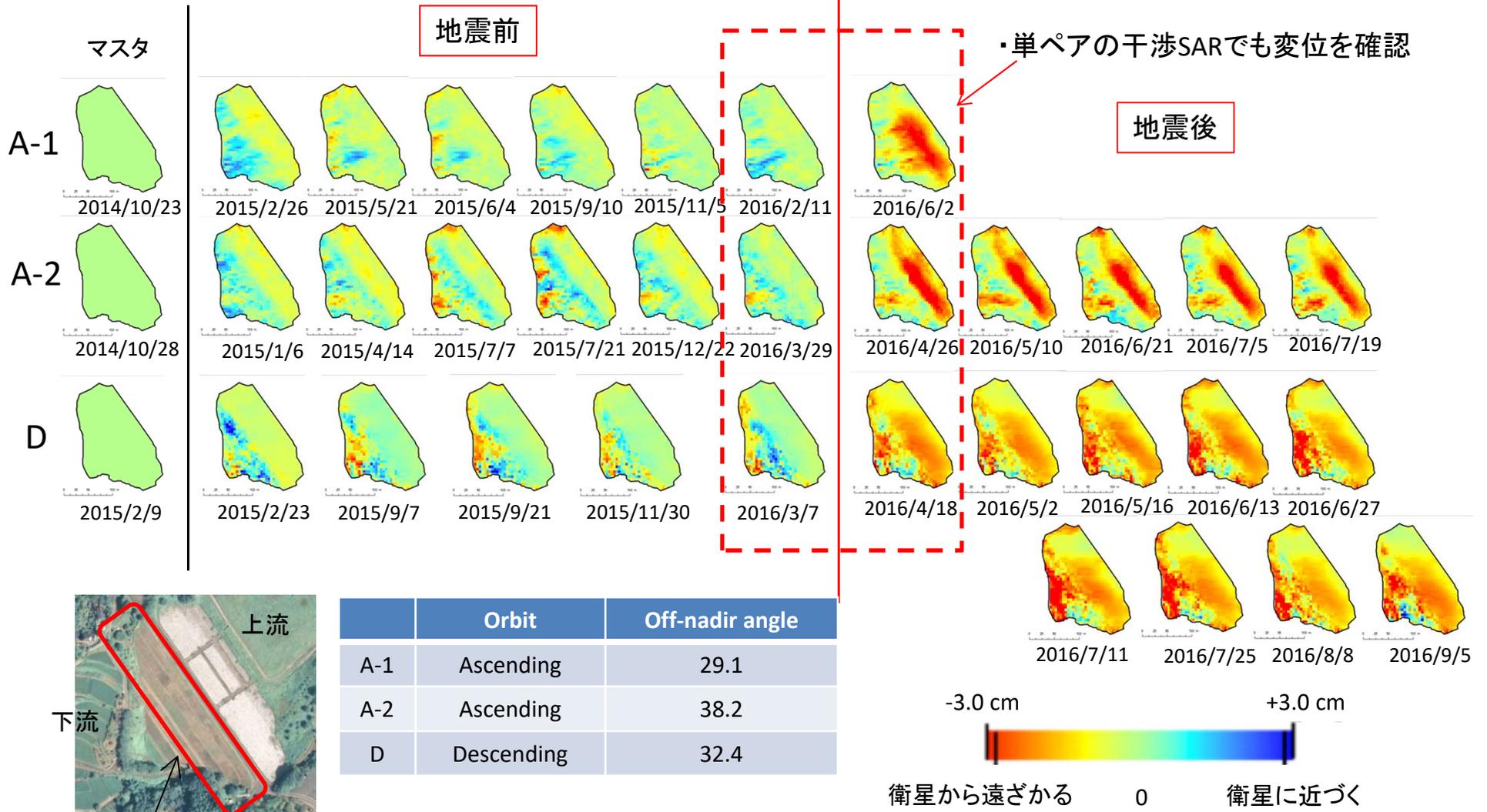
ロックフィルダムの変位計測 時系列解析 地震時の計測例



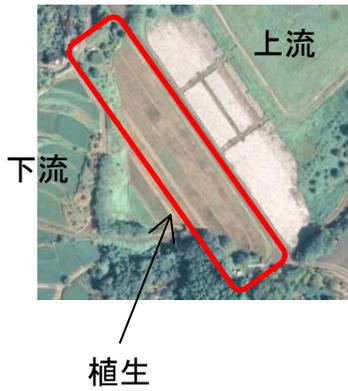
・マルチルック2×2、Goldsteinフィルタ32×32

地震

・左下(下流側)は植生のため精度が低い
→ 植生がある場合のパラメータ検討の必要性



・単ペアの干渉SARでも変位を確認



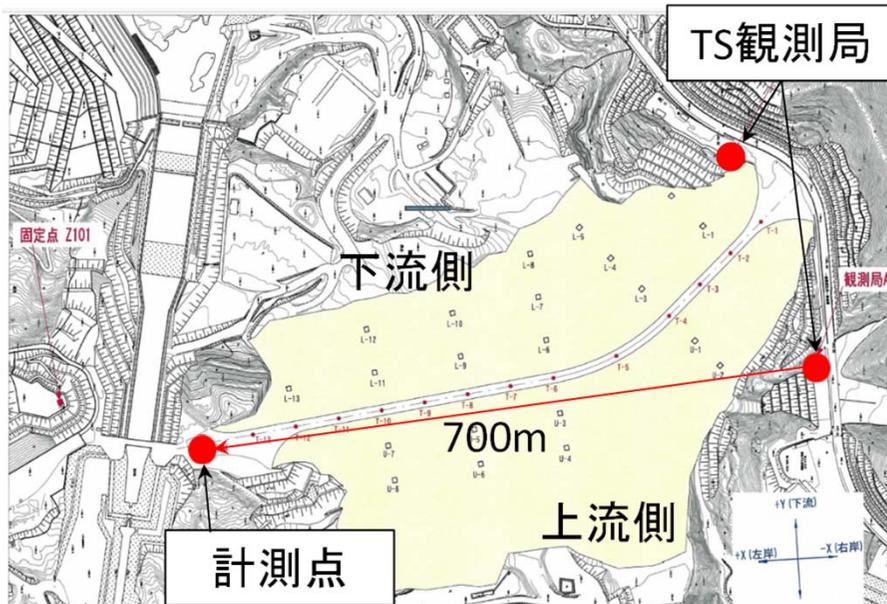
・地震後の点検によりダムの安全性を確認、現在通常運用中

【1】ダムへ活用するための技術開発と活用事例

ロックフィルダムの変位計測 時系列解析 平常時の計測例



・測量のばらつきが大きいケース

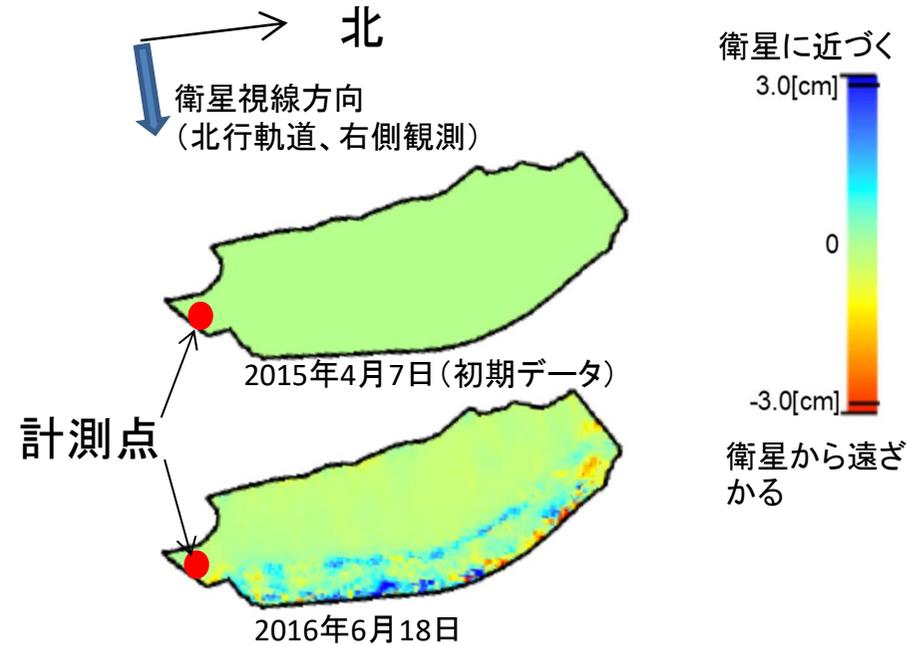


トータルステーション(TS)による計測点

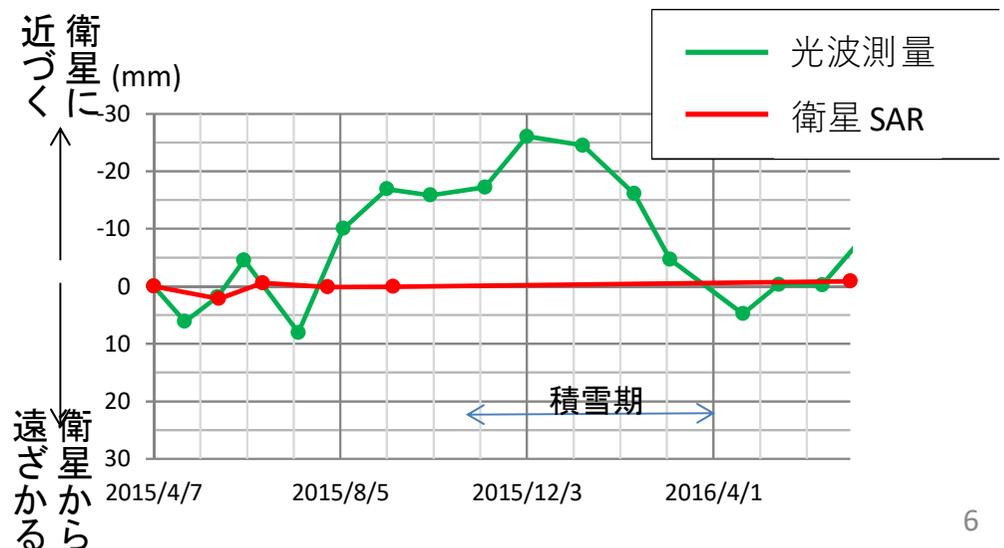
・SARデータは少ないものの、**全体的に堤体変位は小さいと評価される**



・ダムでは変位計測が法令で義務付け
 ⇒ ALOS-2による変位計測の効率化の可能性
 例: 測量・GPSの計測点を減らしてSARを併用



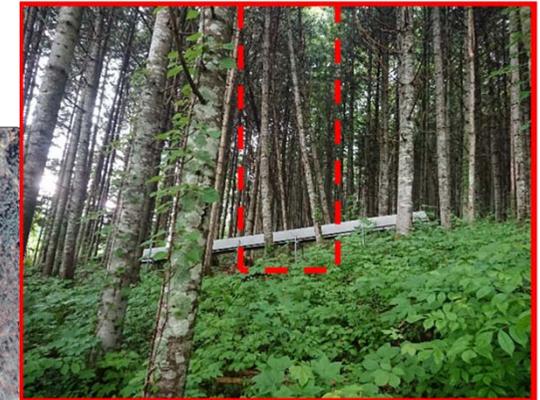
だいち2号による変位計測結果



【2】貯水池周辺斜面へ活用するための技術開発と活用事例 対象、目的



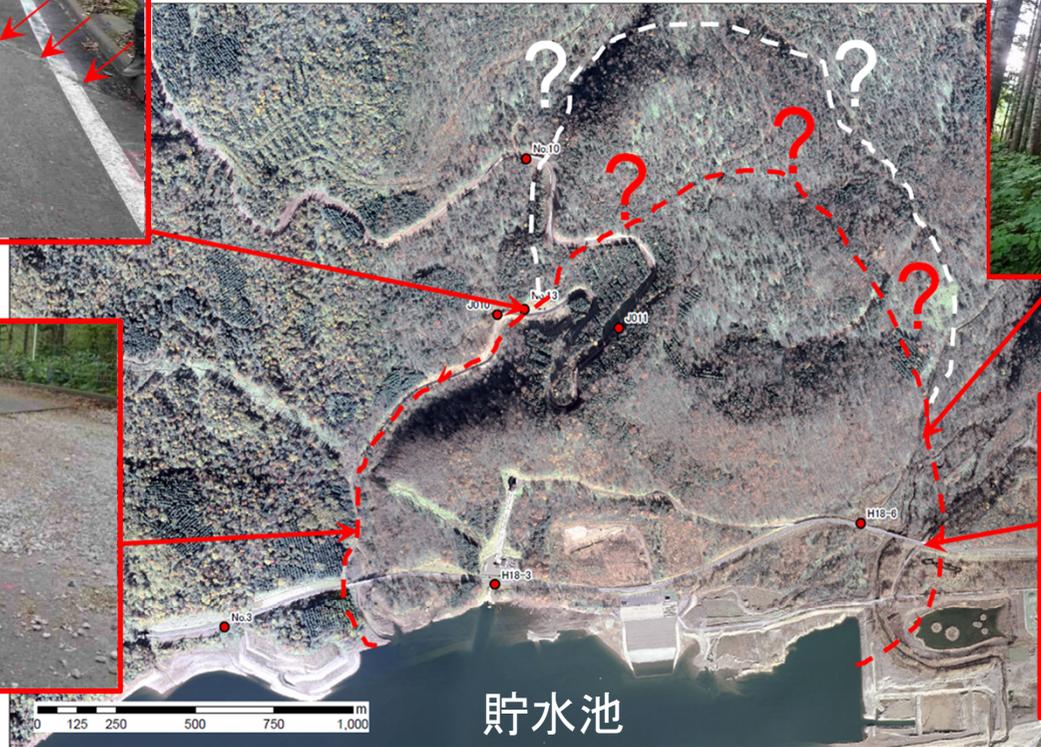
道路のクラック



樹木の傾き



道路の白線のずれ



貯水池



橋梁のジョイントの段差

貯水池周辺斜面の課題

- ・貯水池周辺斜面の管理者は様々(自治体、個人、等) ⇒ 立ち入っての調査が困難な場合もある
- ・変動領域と推定される斜面で、他の技術で同時に多点で挙動を計測することは困難(予算の制約等)

ALOS-2により「**じわじわとした変位**」の計測、変動領域の抽出の検討

【2】貯水池周辺斜面へ活用するための技術開発と活用事例

技術開発項目



●DEMの位置合わせ

●水蒸気による誤差の低減 (標高による補正)

●長周期のノイズの低減 (ハイパスフィルタ)

- ・ALOS-2は軌道決定精度が高いため、堤体や一つの地すべりの範囲(1km²程度)の解析では、軌道誤差や電離層位相誤差などによる長周期の位相差はほとんど表れない
- ・しかし、堤体と地すべりを同時に解析する場合や、広域の貯水池斜面を対象とする場合は、長周期の位相差を除去する必要がある

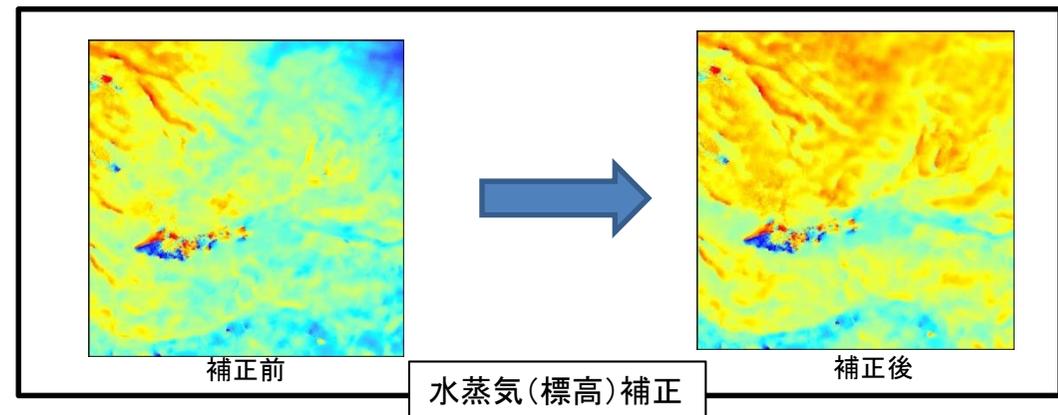
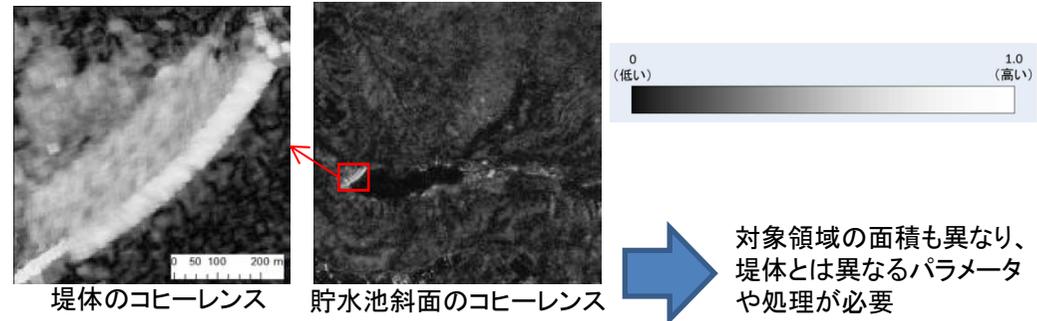
●マルチルック

●位相強調フィルタ



□時系列解析

□スタッキング解析



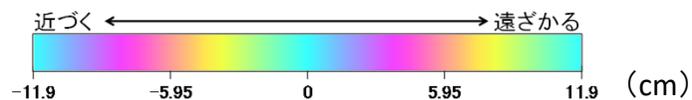
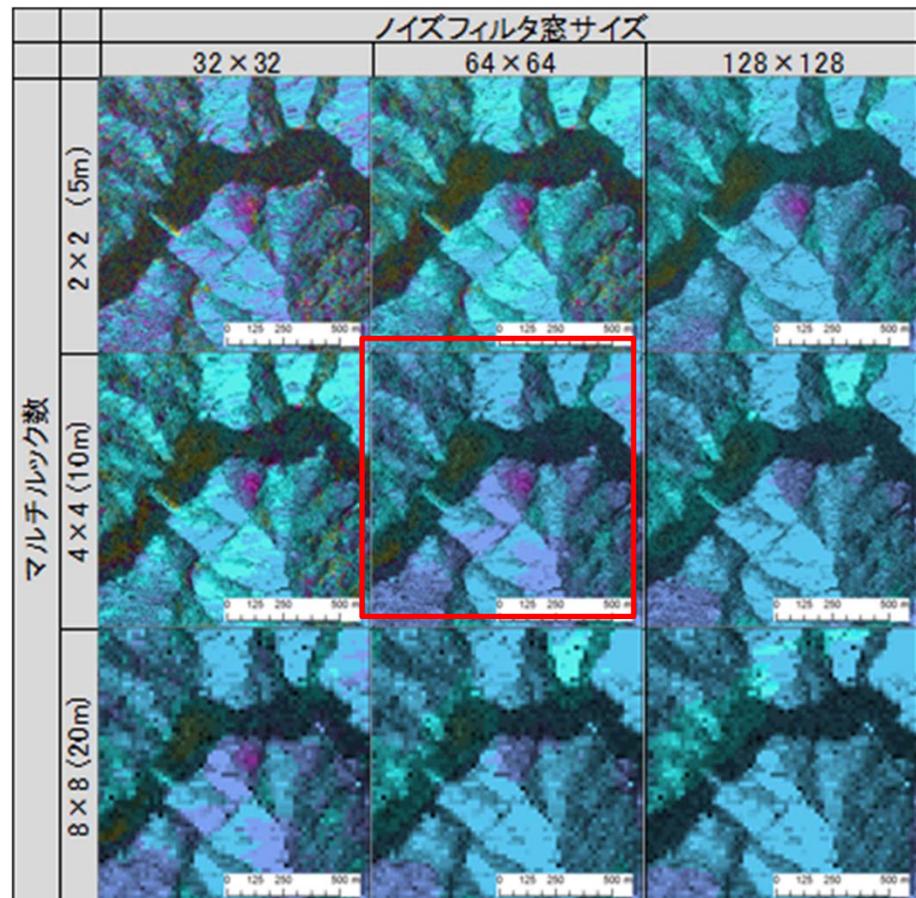
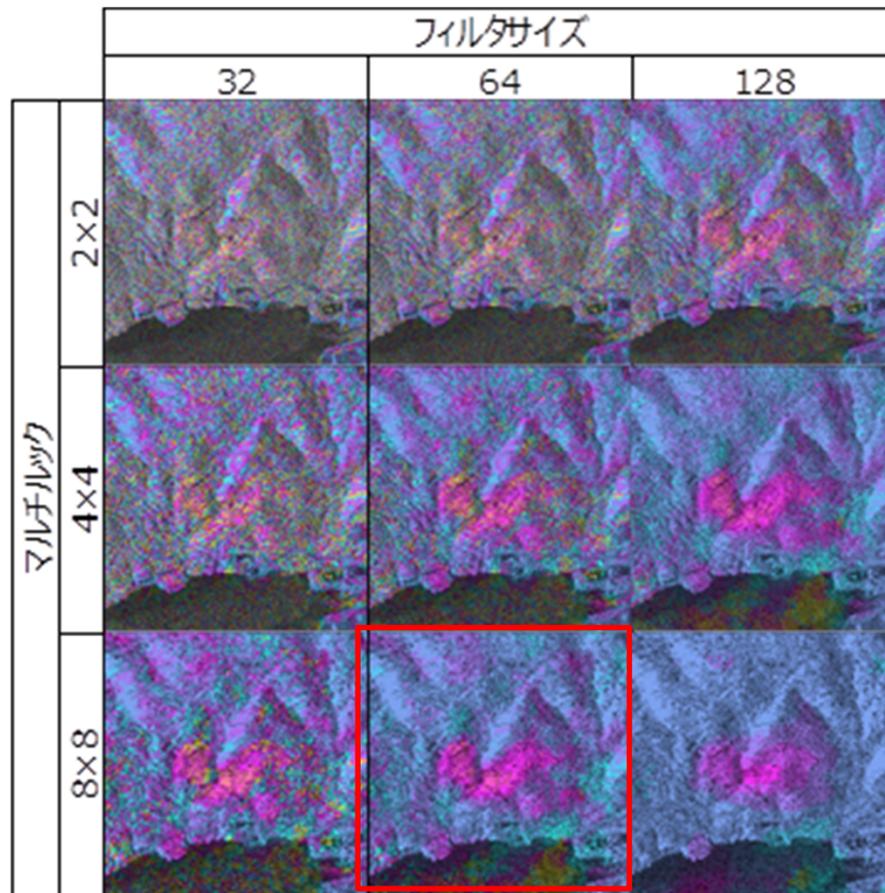
【2】貯水池周辺斜面へ活用するための技術開発と活用事例 マルチルック、位相強調フィルタ



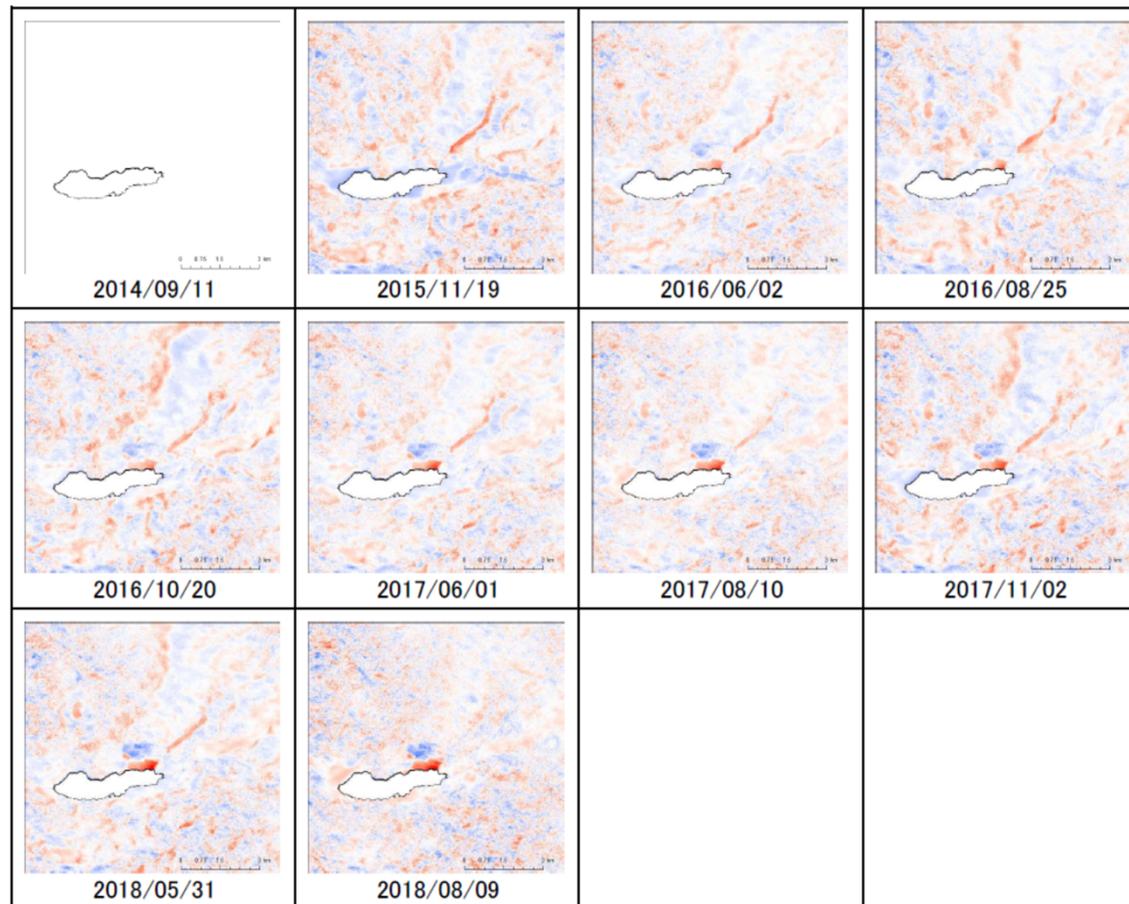
比較的大きい変動領域を対象

視認性を重視して
パラメータを決定

比較的小さい変動領域を対象



【2】貯水池周辺斜面へ活用するための技術開発と活用事例 時系列解析



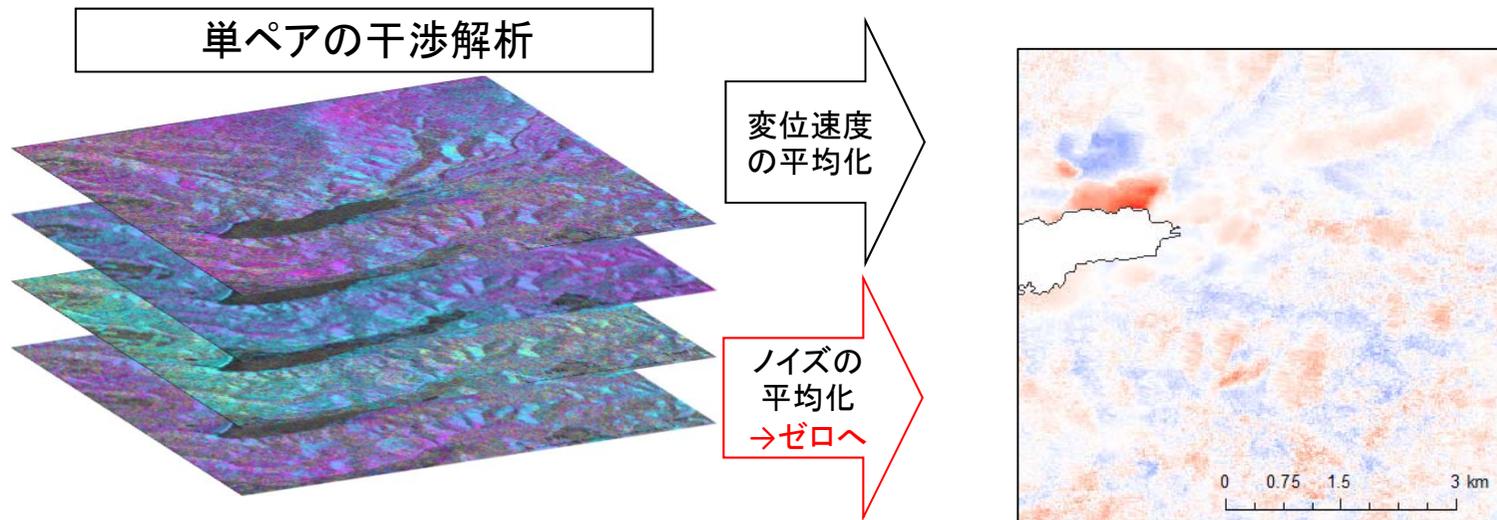
- ・ノイズが多い場合も多く、(未知の)変動領域の判読は困難な場合がある。
(既に変状が目視等で判明している場合には、変動領域の把握に有用)
- ・(年が異なる)同時期の結果はノイズが少ない傾向
⇒ 植生が同程度のため？

【2】貯水池周辺斜面へ活用するための技術開発と活用事例

スタッキング解析



目的: 比較的大きな変動領域を見逃さない



スタッキング解析の概念

- (1) 単ペアの観測間に変動があったペア
- (2) 単ペアの観測間に変動がないペア
 - ⇒ スタッキングで変位が計測できない、過小評価する可能性
 - ⇒ 単ペアを除去すればいいが、
変動が未知の斜面(=いつ動いたか不明)では、
該当する単ペアの結果を除去することは困難

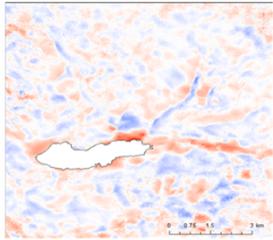
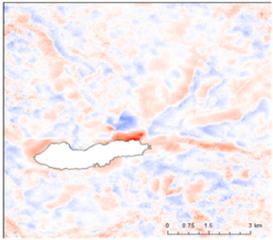
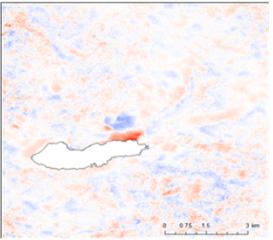
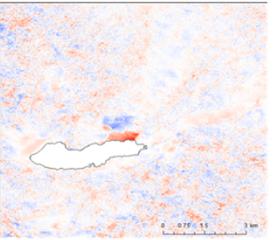
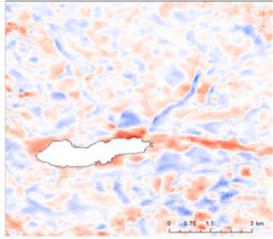
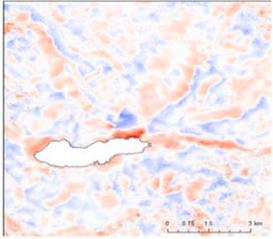
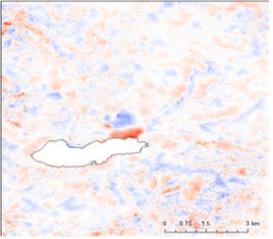
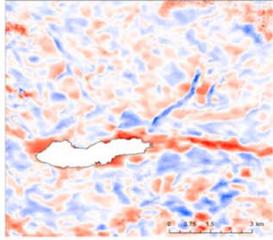
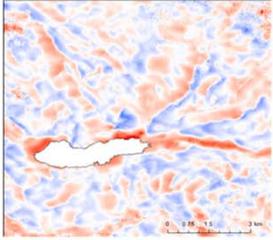
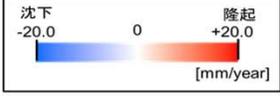
【2】貯水池周辺斜面へ活用するための技術開発と活用事例

スタッキング解析 観測間隔



単ペアの観測間隔の下限

単ペアの観測間隔の上限

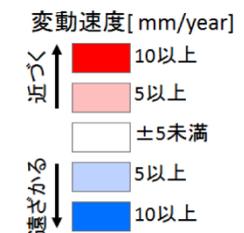
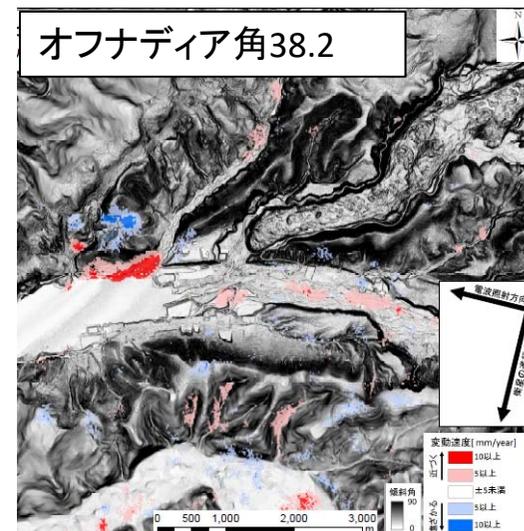
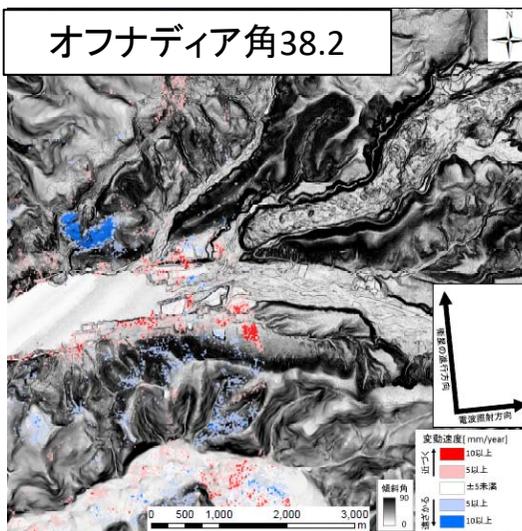
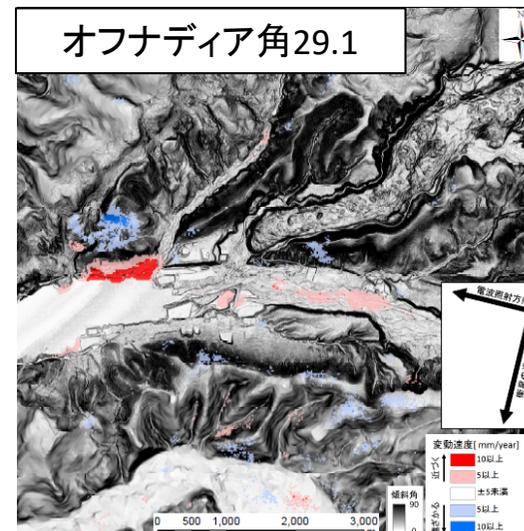
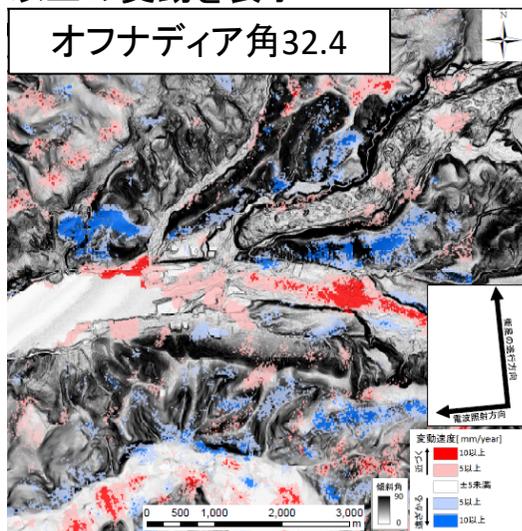
利用した干渉ペアの観測間隔	0日以上	半年以上	1年以上	2年以上
上限無し	 <p>45ペア</p>	 <p>38ペア</p>	 <p>25ペア</p>	 <p>9ペア</p>
2年以内	 <p>36ペア</p>	 <p>29ペア</p>	 <p>16ペア</p>	
1年以内	 <p>20ペア</p>	 <p>13ペア</p>		 <p>沈下 -20.0 0 隆起 +20.0 [mm/year]</p>

ペア数も考慮し、下限:半年以上、上限:なし、に設定

【2】貯水池周辺斜面へ活用するための技術開発と活用事例

スタッキング解析 結果表示

- ・半年以上～(上限なし)のペアを使用
- ・長周期ノイズ除去(ハイパスフィルタ) → 全域の変位の平均がゼロになるので変位基準点不要
- ・5mm/year以上の変動を表示

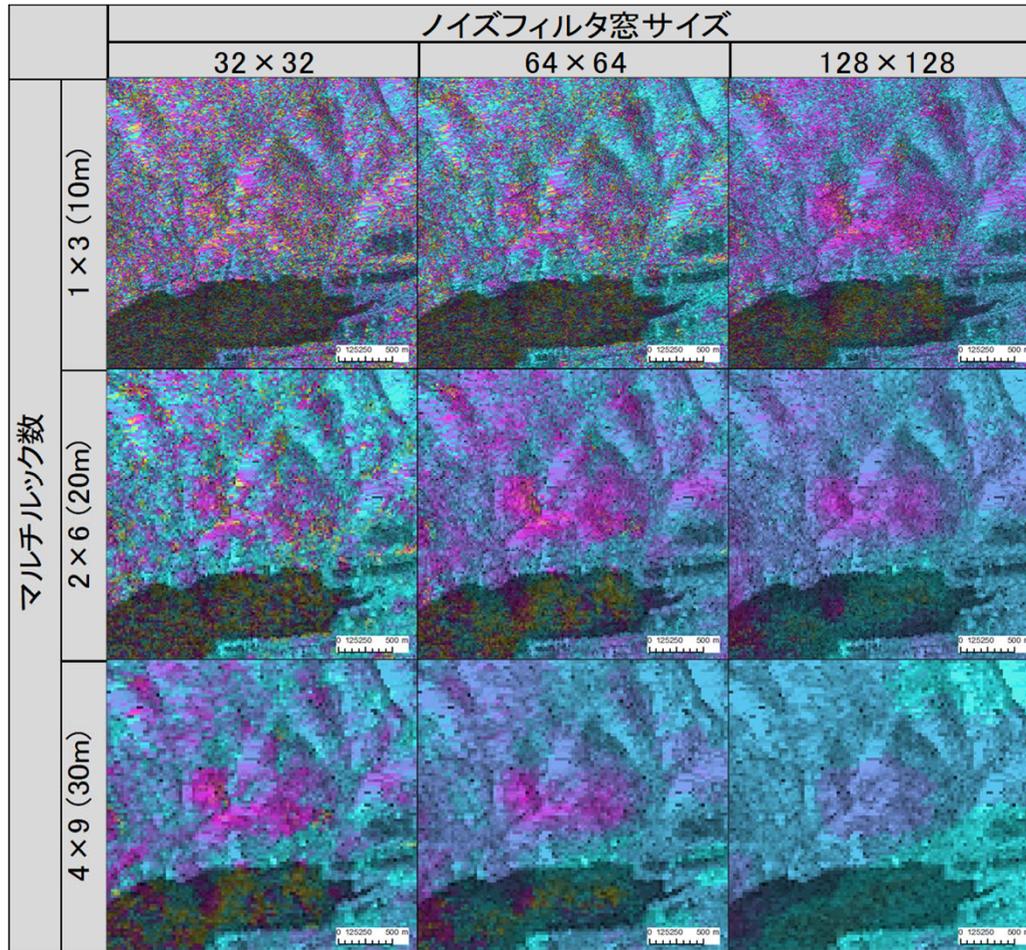


【2】貯水池周辺斜面へ活用するための技術開発と活用事例

ALOS/PALSAR マルチルック、位相強調フィルタ



比較的大きい変動領域を対象



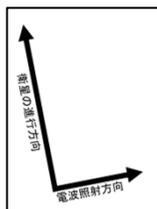
マルチルック、フィルタサイズ検討
⇒ 視認性を重視

他にデータはない

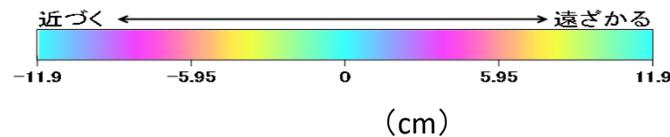
まさに、「タイムマシン」、のよう

アーカイブの重要性

2008/6/30と2009/7/3の干渉ペア



オフナディア角34.3°



【2】貯水池周辺斜面へ活用するための技術開発と活用事例 JERS-1



- ・G-PortalよりL0とL1.5が無償公開されている。
- ・L1.1が公開されていないためL0から再生する必要がある。

1993/2/22	1995/9/4
1992/6/3	1995/12/1
1993/1/9	1996/1/14
1993/5/21	1996/2/27
1993/7/4	1996/5/25
1993/8/17	1996/7/8
1993/9/30	1996/8/21
1993/11/13	1996/11/17
1993/12/27	1996/12/31
1994/2/9	1997/3/29
1994/3/25	1997/8/8
1994/6/21	1997/11/4
1994/9/17	1997/12/18
1994/12/14	1998/1/31
1995/1/27	1998/3/16
1995/3/12	1998/4/29
1995/4/25	1998/6/12
1995/6/8	1998/9/8
1995/7/22	

黒:再生成功
 赤:再生失敗
 緑:ぼやけた画像
 青:積雪期

【再生結果】

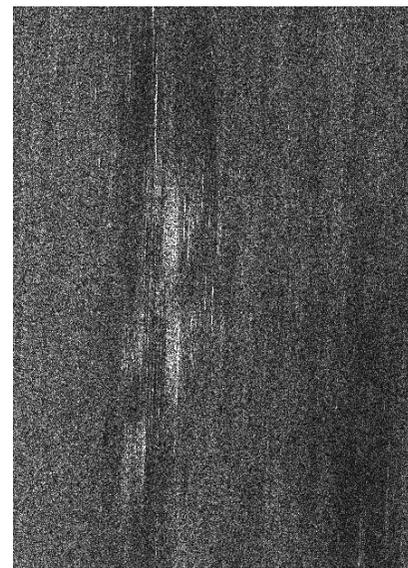
- ・正常な画像が再生されない場合がある。
(ドップラー推定がずれていることが原因と思われる)
- ・正常な画像でなければ位置合わせができず、干渉処理が行えない
- ・正常に再生された画像でも、基線長や軌道情報の位置精度の問題

➡ 今回の検討は断念

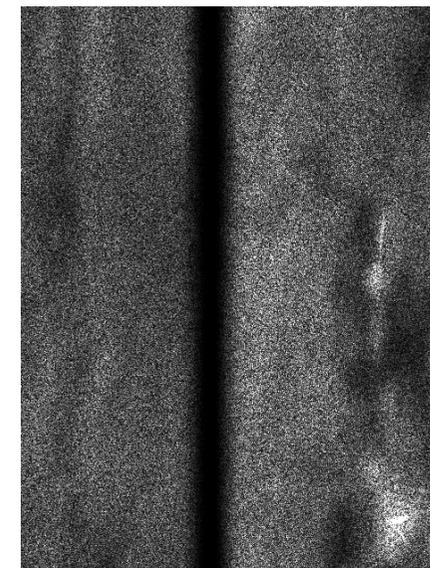
正常な画像



ぼやける場合



失敗した画像



基線長の多くは1km以上

【3】ALOS-2をダム等の変位計測等の維持管理へ活用するための取り組み システム開発 干渉SAR解析の自動化



【背景】

- ・変位等を知りたいダム等がある場合、その都度解析を委託(外注)しなければならない
⇒ 結果が出るまでに数か月かかる
- ・迅速な変位計測や対応のためには、干渉SAR解析を簡易・自動で実施可能なツールが必要

【目的、要求】

- ・専門知識がない人でも、干渉SAR解析を自動で簡単に実施可能な機能の開発
- ・web上で動作

➡ 「私でも干渉SAR解析
ができるように」

主な技術開発項目

項目	SARscape (これまで紹介した解析を実施)	Doris (干渉SAR自動処理に使用)	GAMMA SAR (参考)
DEMとマスタ画像 の位置合わせ	△ (アルゴリズムによる自動位置合わせ: 推奨されていない)	○ (アルゴリズムによる自動位置合わせ :オフセット(平行移動のみ))	○ (アルゴリズムによる自動位置合わせ :多項式)
DEMファイル の読み込み	○	△ (サイズに制限あり)	○
残軌道縞 の除去	○ (多項式フィッティング)	×	○ (軌道情報の推定・修正)
位相強調フィルタ	ウィンドウサイズ: ユーザによる任意設定 フィルタ強度: コヒーレンスに応じて 自動的に設定される	ウィンドウサイズ: ユーザによる任意設定 フィルタ強度: ユーザが任意に設定した固定値	ウィンドウサイズ: ユーザによる任意設定 フィルタ強度: ユーザが任意に設定した固定値
使用軌道点数	28点(全点)	28点(全点)	28点中11点 (ALOS-2用の設定)
軌道内挿計算	? (不明)	多項式 SPLINE (次数、手法を指定可能)	多項式
長周期成分 の除去	○ (残軌道縞除去機能の中で指定可能) (FFTフィルタあり)	×	○ (バンドパスフィルタ・多項式フィッティング・加 減算機能が提供されている)

上記の機能を一部修正して実装