

河川砂防技術研究開発【成果概要】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)		所属	役職
	かげやま けんたろう 陰山 建太郎		日本工営株式会社 衛星情報サービスセンター	センター長代理
②技術研究 開発テーマ	名称	衛星 SAR 等リモートセンシング技術を用いた堤防・河道の状態推定や河道の流下能力評価に関する技術研究開発		
③研究経費 (単位: 万円) ※端数切り捨て。	令和 1 年度	令和 2 年度	令和 3 年度	総合計
	1,049 万円	958 万円	952 万円	2,959 万円
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)				
氏名		所属機関・役職 (※令和 4年4月1日現在)		
能美 享		日本工営株式会社・次長		
秋田 麗子		日本工営株式会社・シニアスペシャリスト		
清水 隆博		日本工営株式会社・課長		
大堀 文彦		日本工営株式会社・課長		
野間口 芳希		日本工営株式会社・技師		
田方 俊輔		日本工営株式会社・スペシャリスト		
守屋 博貴		日本工営株式会社・技師		
富井 直弥		宇宙航空研究開発機構・主幹研究開発員		
田殿 武雄		宇宙航空研究開発機構・研究領域主幹		
佐々木 善信		宇宙航空研究開発機構・研究開発員		
旭 一岳		株式会社RiverLink・代表取締役		
戸田 祐嗣		名古屋大学大学院・教授		
赤松 良久		山口大学大学院・教授		
神野 有生		山口大学大学院・准教授		

⑤研究の目的・目標 (様式河水-1、河水-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)

1. 目的

中小河川では、コストと労力をかけた従来手法（横断測量や河床材料調査等）による河川管理が行き詰りをみせる中で、近年の災害激甚化に備えるためには、新しい技術を導入し、河川管理の効率化を積極的に推し進めることが急務である。

普及・拡大のポイントは“簡易かつ省コスト”であることを念頭に、本研究では、広域を定期的に観測する衛星と任意の場所を詳細に観測する UAV 他リモートセンシング技術を利用した堤防・河道の状況把握と流下能力評価を一連で実施できるシステムの構築を目指す。

2. 研究の目標

【A】堤防・河道の状況把握技術

- ・広域を定期的に観測する SAR と光学の両衛星 と任意の場所を詳細に観測する UAV 他リモートセンシング技術 を利用した堤防・河道の状況把握ができるシステムを構築する。

【B】リモートセンシングデータによる流下能力算出技術

- ・リモートセンシング解析データの変換・加工、iRIC のモデル改良の精度確認。

河川の治水安全度を評価するための調査・検討	【現状】	【本開発技術】
①河道形状の把握	200mピッチの横断測量 * 更新は観測頻度は短くて 5年に一度 、中小河川では 10年に一度、又は不定期	衛星画像による河道形状変化の把握 * SAR、光学(ステレオ撮影)による地形取得、SARは年4回自動計測であるが、初期標高が必要
②植生繁茂状況の把握	航空写真判読や現地調査による繁茂状況調査	衛星画像解析による植生の繁茂範囲・状況把握
③河床材料の把握	河床材料採取による室内試験簡易な面格子・線格子法による把握	衛星画像解析による粒径分布の把握
④洪水時水位の予測	不等流計算による洪水時水位の把握	既存オープンソースiRICによる平面水位把握
⑤流下能力の把握	横断面毎の流下能力の把握 * : 横断面間の水位把握は不可	面的水位と詳細な縦断堤防高との比較による治水安全度の評価把握 * : 解析メッシュに応じた危険箇所の把握が可能
2回目以降の流下能力評価	①と②の調査は必須であり、 多大な労力と時間を要する 。③は必要に応じて実施する必要があり、他と同様に多大な労力と時間を要する。	①と②は必須であるが、衛星画像の購入と解析のみで労力のかかる現地作業を必要としない。 定期的な更新が簡易に可能 。

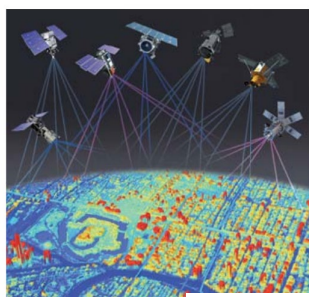
⑥研究成果

(具体的にかつ明確に記入下さい。4ページ程度。)

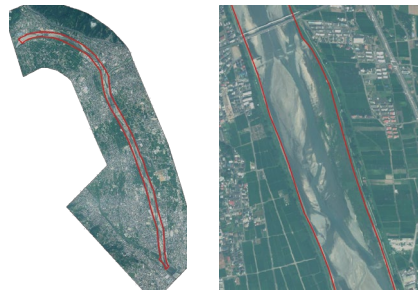
1. 河道地形の把握

- ・光学衛星による地形把握として、AW3D（解像度0.5m）製品の活用により従来の10分の1程度のコストで安価に概略地形を取得できることを把握した。
- ・一方で、河道内の標高推定精度を評価したところ、地上補正点の活用（GCP(Ground Control Point)補正）や過去の複数データを活用した手法（MVS(Multi-View Stereo)処理）による精度向上手法により一定の精度向上効果はあるものの、地形再現精度には限度（水面下地形は取得不可）があることを示した。
- ・酒匂川（県管理河川）における検証結果では、補正手法ごとの精度として、広域的な差異（今回は一律1.3m）が生じるケースからRMSE誤差：0.56m（河川横断：単点測量782点）と精度向上が図れることを把握した。精度向上手法には費用、現地作業が増加することとなるため、予算や必要精度に応じて、手法の選択が望ましい。（図1）
- ・地形把握の誤差については、水面下地形の処理ケースにより断面積評価にも影響するものの、酒匂川ではH.W.L以下の断面積評価で104%（86～119%）と、衛星データより取得した断面における断面積の方が僅かに過大に評価しているものの、一定の精度は確認された。（図1）

■MVS(Multi View Stereo)を用いた河道地形に適した手法



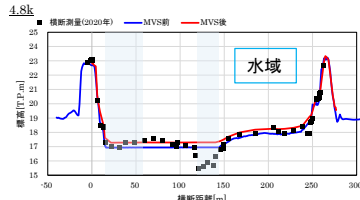
MVS(Multi View Stereo)と呼ばれる複数枚の衛星画像を活用することで、標高推定の精度を向上する手法



出水による経年的な変化箇所(左図赤枠)については、一時期に固定する手法

《横断形状との比較》

※MVS処理後のデータは対象範囲とのデータの接続を考慮し、1時期の範囲の標高も補正される。

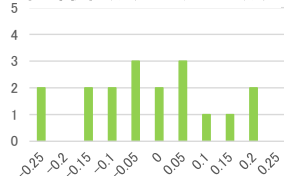


《MVS手法による精度向上の比較》

		陸部検証点 (18点)	検証点 河道内含む (902点)	備考
RMSE 値	MVS前	0.3m	0.84m	費用 130万円
	MVS後	0.13m	0.62m	費用 160万円

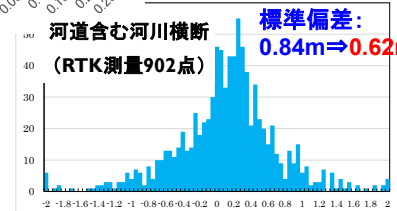
《精度検証 DTM / RTK測量》

陸部検証点(RTK測量18点)



RMSE:
0.3m⇒0.13m

RMSE:
0.85m⇒0.63m
標準偏差:
0.84m⇒0.62m



年度	補正手法		検証データとの誤差			概算 費用
	GCP (Ground Control Point)	MVS (Multi View Stereo)	GCP地点 (15点)	単点測量 結果 (782点)	断面積 評価 (10断面)	
R1	×	×	参考: LPとの差分最頻値: +1.27m ※衛星データはR1年台風19号出水後、LPデータは出水前			約100万円
R2	●	×	Ave: 0.04m RMSE: 0.28m	Ave: 0.26m RMSE: 0.84m	114% (96~ 129%)	約130万円
R3	●	●	Ave: 0.00m RMSE: 0.13m	Ave: 0.15m RMSE: 0.56m	104% (86~119%)	約160万円

図1 酒匂川における検討結果

2. 河床材料平均粒径の把握

- ・酒匂川、C河川の2河川（県管理河川）において検証した結果、解像度の粗い衛星画像を用いても、現地の平均粒径と画像輝度の標準偏差の間には関係が成り立ち、精度は低いものの、実際の1/2～2倍程度のオーダーで平均粒径を推定できることを把握した。（図 2、図 3）
- ・推定した平均粒径の面的分布をもとに、粗度係数の面的分布を推定し、平面流況計算に活用する方法を提案した。（図 2、図 3）
- ・事前に衛星画像解析を行い、机上で特徴的なエリア区分を行っておくことで、従来、1kmピッチなど、機械的に実施していた河床材料調査の地点を合理的に設定し、効率化・省力化ができることを示した。

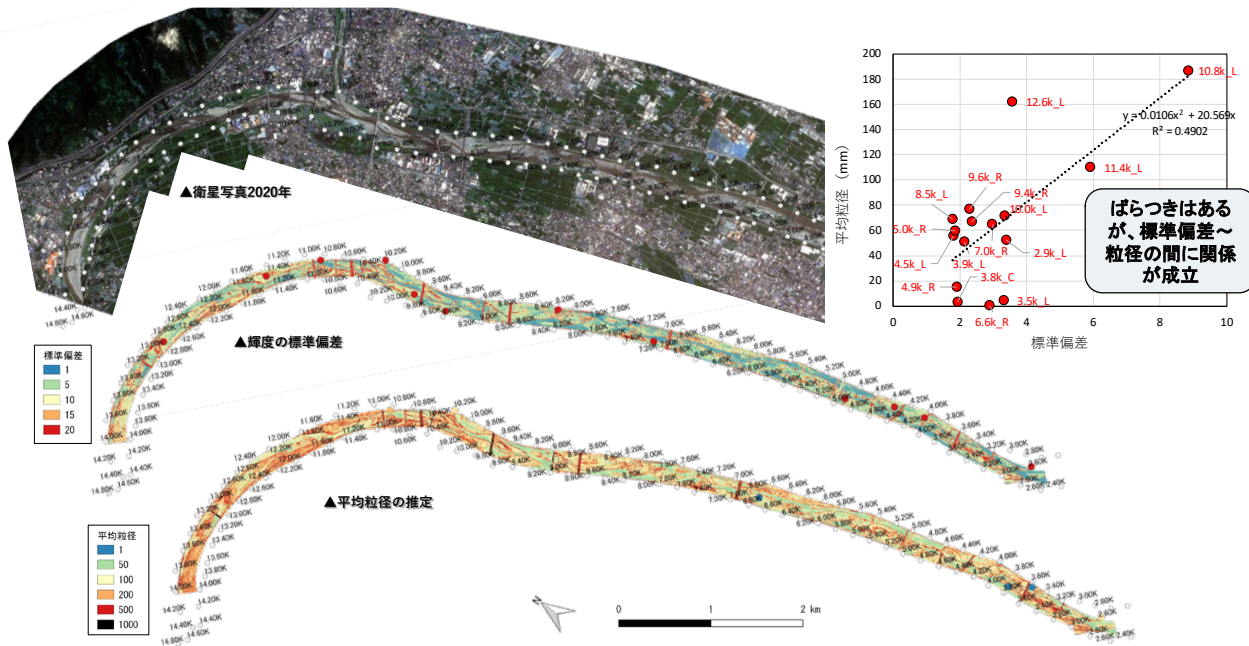


図 2 酒匂川における検討結果

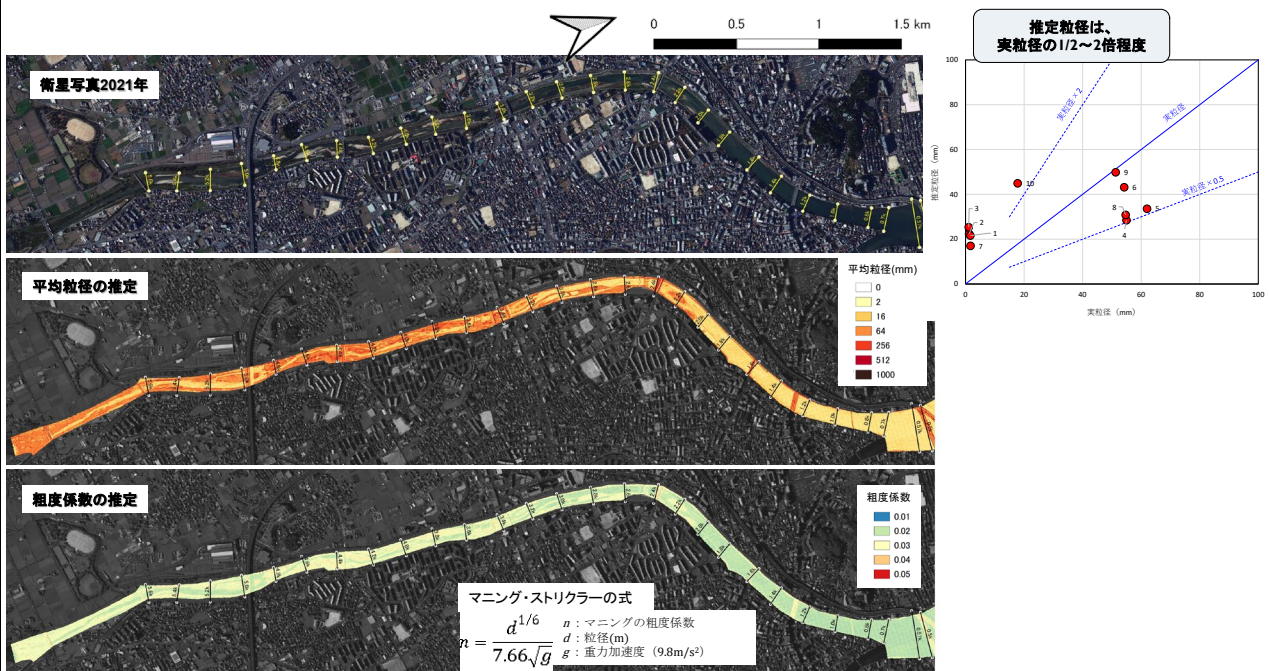


図 3 C河川における検討結果

3. 河道内地被区分の推定

- 河道内を撮影した光学衛星リモートセンシング画像データ並びにリモートセンシングデータから作成された数値標高モデル及び数値表層モデルを用いて、河道内の草本・樹木の繁茂範囲と概略の繁茂密度を把握する手法について開発を行い、対象河川で試行した。
- 水辺の国勢調査（植物）を基に、光学衛星画像の教師データを生成し、機械学習を行い自動判別の精度を検証した。区分の分類は水理解析条件となる粗度係数の分類を想定し、草本、低木林、高木林、竹林、その他植生、裸地、水面の7分類とした。
- 機械学習の結果、十分な数量の教師データにより、精度が高く（85%程度）分類することができた。（表 2）
- また、水辺の国勢調査が実施されていない、中小河川においても、他河川の水辺の国勢調査結果を基に作成された教師データを用いた機械学習を行った場合も、植生を概ね分類することが可能であった。（図 5）

表 1 検討ケース一覧

	酒匂川	A河川(国管理)	B河川(国管理)	C河川
管理者	神奈川県	国	国	県
水辺の国勢調査	無	有 (H31実施)	有 (H31実施)	無
解析手法・モデル(年度)	手法①(H31実施)	手法②(R2実施) 手法③(R3実施)	手法③(R3実施) 手法④(R3実施)	手法③(R3実施)
備考		・A河川教師データで検証 ・教師データを減じて検証	・A河川モデルで解析 ・ブレンド(A・B河川)モデルで解析	・A河川モデルで解析 ・ブレンド(A・B河川)モデルで解析

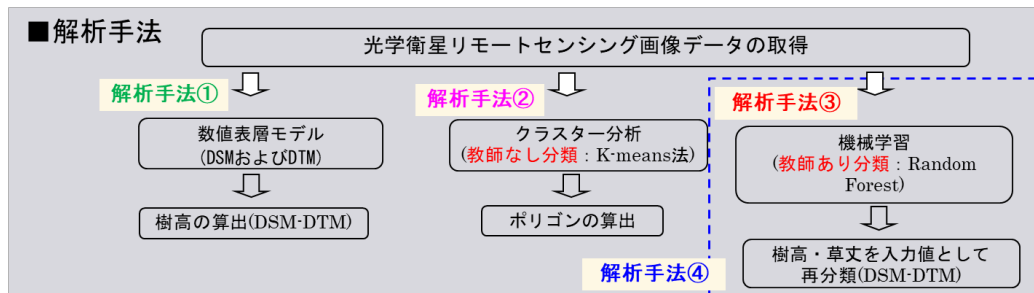


図 4 解析手法

表 2 解析結果一覧（手法③）

対象河川	A河川モデル	A河川・B河川モデル	A河川・B河川モデル DSM、DTM考慮
A河川	88.1%※①		
B河川	64.4%※②	85.8%※②	85.4%※③
C河川	△※④	○※④	

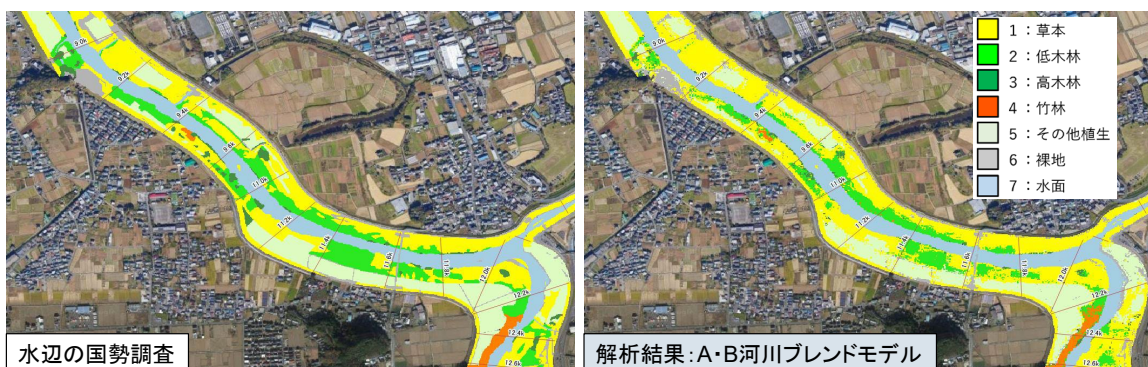
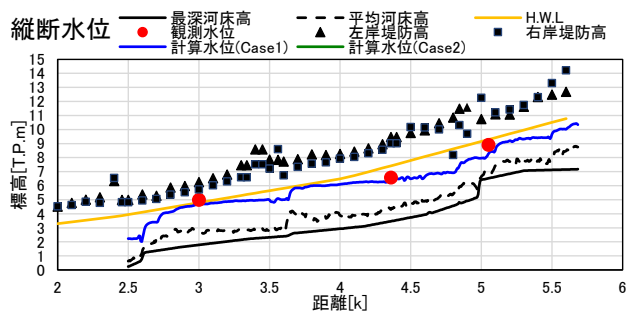


図 5 解析結果（手法③：県管理 C 河川）

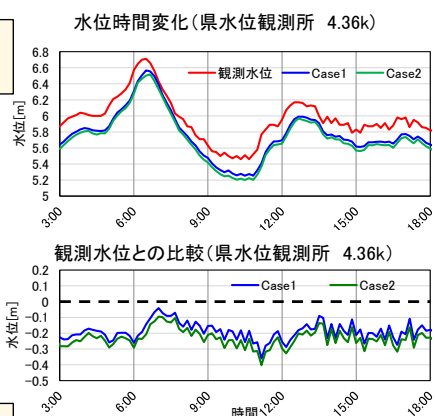
4. 流下能力の把握

- ・ 衛星データにより入手した、地形データ、粗度係数の面的分布、河道内地被区分の推定結果を基に、平面二次元流況計算を実施し、洪水時の水位変化を再現した。
- ・ R3年度対象4河川において、河川管理者が観測している水位観測データに加え、簡易水位計を縦断方向に複数台設置し、縦断的な河川水位の把握を行った。その中で、R3年度小規模な出水が生じたC河川を対象とし、観測水位と計算水位の比較を行った。
- ・ 再現計算の結果、計算水位は観測水位より、多少低くなっているが、ピーク水位を概ね再現できていることを確認した。よって、本計算手法を用いて、流下能力の評価を行うことは可能であると考えられる。(図 6)

《計算結果》



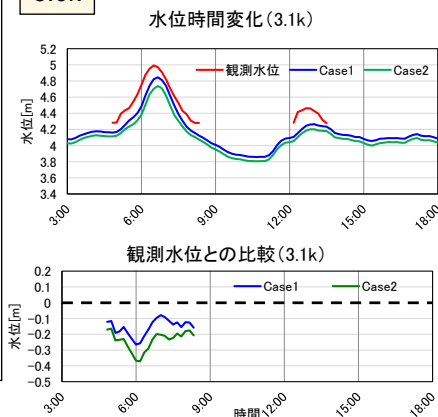
4.36k
(県観測所)



▶ 計算水位は観測水位より多少低くなっているが、**ピーク水位**は概ね捉えることができている。
⇒ **流下能力の評価**は概ね可能。

▶ 衛星データより取得した地形データはLPよりも全体で15cm程度低い傾向を示していることが要因とも考えられる。

3.0k



5.1k

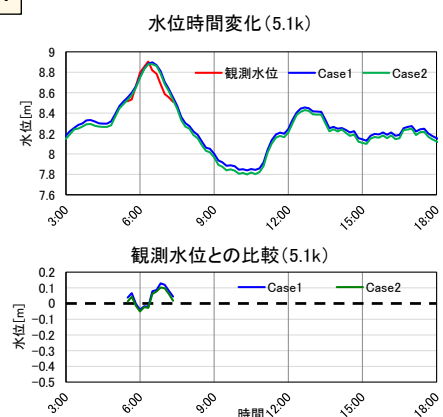


図 6 C河川における計算結果

5. 堤防の状態把握

- 河道の流下能力を評価する上で重要となる堤防高の変化を把握するため、干渉 SAR 時系列解析を用いて評価した結果、干渉 SAR 時系列解析を用いることで、河川堤防における実際の変動と同程度の変動量の規模を把握することが可能であることが確認された。
- 衛星軌道には上昇軌道と下降軌道があり、解析対象の形状や周辺地物を考慮した軌道選定が必要となる。また、フィルタサイズにより解析結果の信頼度及び解析値が大きく変化する。堤体検証ではフィルタサイズ 31m×31m 程度以上が必要であるが、あまりに大きくすることは解析値の平準化を招くため、解析初期段階で検証が必要である。(図 7)
- 電子基準点を用いた解析基準点補正アプリにより解析値を補正することで精度向上に繋がる可能性があることが確認された。(図 8、図 9)
- 今後は衛星観測網の進展とともに高解像度化が進むことから、干渉 SAR 時系列解析による堤防変状解析のさらなる精度向上が期待される。

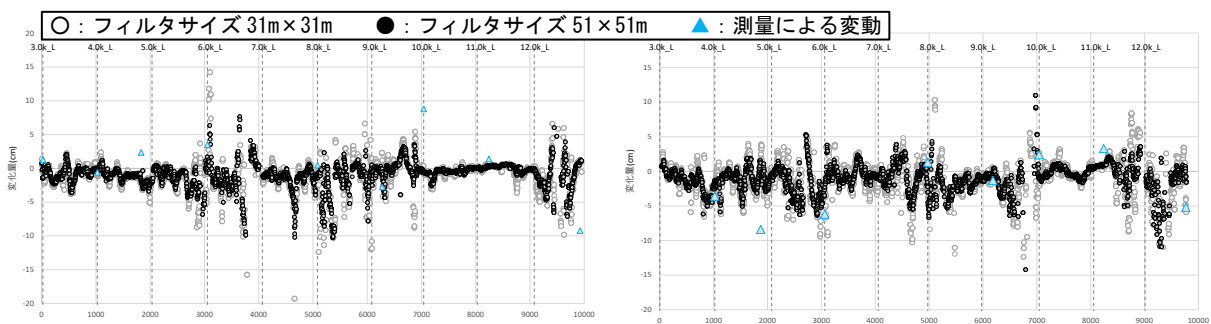


図 7 干渉 SAR 時系列解析による堤防天端縦断方向の変動分布と実測の比較

ASC_dz 変化量(cm)

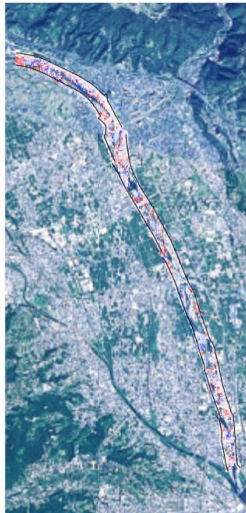
フィルタサイズ 01*01



フィルタサイズ 11*11



フィルタサイズ 31*31



フィルタサイズ 51*51

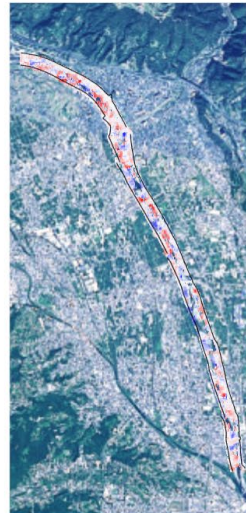


図 8 干渉 SAR 時系列解析におけるフィルタサイズによる感度分析結果

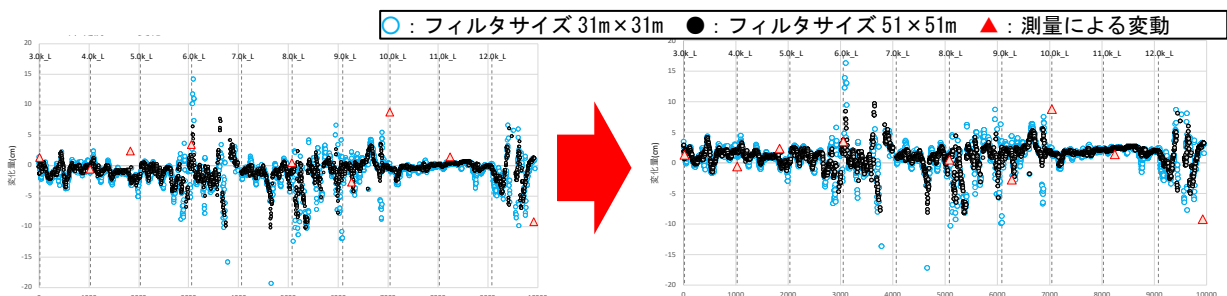


図 9 電子基準点を用いた解析精度向上ツールによる効果

【「F S 研究（新規課題）」の場合記載】

⑦一般研究にむけた実施計画

（一般研究へ移行した場合の今後の研究開発の実施計画を具体的かつ明確に記入下さい。2ページ程度。）

該当なし

【「一般研究」の場合記載】

⑨研究成果の社会への情報発信

（ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。）

該当なし

【「一般研究」の場合記載】

⑩表彰、受賞歴

（単なる成果発表は⑧⑨に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。）

該当なし

【「一般研究」の場合記載】

⑪研究の今後の課題・展望等

（研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。）

1) 河道地形の把握

本研究において、検討した手法を用いることで、従来の地形把握手法の 1/10 程度安価なコストで、面的に河道地形を把握することが可能となる。なお、適用河川については、対象河川を増やして検討を行う。

2) 河床材料の把握

本研究において、確立した統計的手法を用いることで、河床材料の粒径を面的に把握することが可能となる。

3) 河道内地被区分の推定

本研究において、機械学習による自動判読手法を用いることで、河道内樹木の繁茂状況のモニタリングを簡易に実施することが可能となる。なお、適用河川については、対象河川を増やして検討を行う。

4) 流下能力の把握

県管理の中小河川では、過去の洪水による痕跡水位が蓄積されていないため、計算水位との比較が容易ではなかった。そのため、今後はデータが蓄積されている直轄河川において検証を行う。

5) 堤防の状態把握

SAR データを活用した時系列干渉解析による変状量解析技術は確立しているが、小規模構造物である堤防の変状観測技術としての適用性を本研究では評価はできなかった。今後は、リフレクタ等、補助観測機器の活用や高分解能データによる解析を実施し、堤防の変状観測技術確立に向けた検証を行う。

上記に示す検証事項については、フォローアップや自主研究（研究代表企業）として実施する。

【「一般研究」の場合記載】

⑫研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

これまで定期的な点検調査が実施されてこなかった、中小河川の安全性を把握評価するために必要なデータの取得についてリモートセンシング技術を活用して、これまでの計測技術と比して安価に河川の安全性の評価の把握のため必要なデータを取得する技術を開発し、堤防の高さや樹木の繁茂状況・砂州の変遷など河川の現状把握、流下能力評価（水位評価）から把握できる危険個所の位置情報に関する情報取得手順をマニュアルとして取りまとめた。