

河川環境調査のためのALBデータによる水深・流速モデル作成

吉村 亮志・寺島 大貴・鈴木 裕三・杉山 史典・河合 利巳（エアロトヨタ株式会社）
原田 守啓（岐阜大学 環境社会共生体研究センター）

1. 研究の背景と目的

近年、国土強靱化の追い風を受け、3次元地形データの整備は令和5年度時点で全国土の86%程度まで進んでいる¹⁾。また、航空レーザ測深（以下、ALB）の導入により、水中部の計測が可能となり、詳細な河床地形データの取得が実現しつつある。ALBの主目的は地形データの作成であるが、計測過程で水面のデータも同時に取得される。しかしながら、水面モデルの作成手法の確立には至っていない^{2) 3)}。そのため、精度の高い水面モデルを構築し、河川の任意地点での水深を算出できれば、河川環境評価に大きく寄与すると考えられる。

また、河川に生息する魚類や水生昆虫の生息環境を考える際、図1のような瀬や淵といった流れの特徴が重要な指標のひとつとなる。従来、瀬・淵の判定は河川水辺の国勢調査（以降、水国調査という）において、航空写真の判読や現地確認に基づき、定性的かつ経験的に行われ、客観性や再現性に課題が残る⁴⁾。そこで本検討では、3次元点群データを活用して水深および流速を算出することで、物理的かつ定量的に河川環境を評価する仕組みの構築を目指した。

本検討では、既報の研究^{5) 6)}のうち特に測



図1 瀬・淵の例

量学的観点から3次元点群を用いた水面・流速モデルの作成方法に焦点を当て、その成果を報告する。

2. 検討方針

本検討は図2のフローに沿って実施した。

- **水面モデル作成** 3次元点群からノイズを除外し、水面モデルの作成を行った。
- **水深・流速の算定** 水面と河床の差分から水深を算出し、簡易の水理学的仮定に基づき流速を算定した。また、河道パターンによる流速の再現性を確認した。
- **水深・流速の精度検証** 水深・流速の現地計測結果との比較による精度検証をおこなった。
- **河川環境的な考察** 流れの性質を示すフルード数との関係性から水域全体の瀬淵判定を行い、水国調査結果と比較して検証を行った。



図2 検討フロー

3. 使用したデータ

本検討で使用したALB計測データは、令和6年に千代川中下流部の約20km区間（6.0kp～26.0kp）において取得されたものである。取得したデータには、建物や樹木、水面等を含むオリジナルの3次元点群データ、地表面のみを抽出したグラウンドデータ、ならびに任意の格子間隔に配置されたグリッドデータが含まれる。グリッドデータの点密度は、陸域において16点/m²

(25cm間隔相当)、水域において4点/m² (50cm間隔相当) 以上である。なお、ALB計測は主として河床地形の取得を目的としているため、水面点群データには波を要因とするノイズが含まれるほか、区間によっては十分な点密度が確保されていない箇所も存在する。

また、ALB計測と同時に取得された航空写真を正射変換したオルソ画像による確認を行い、陸域に対応する点群の除去を実施した(4.1節で詳述)。当写真は取得した3次元点群データを基に正射変換され、高精度な位置調整が行われた、いわゆるオルソ画像(デジタルオルソ)にあたる。

4. 水面モデルの作成手法

4.1 オリジナルデータの選別処理

水面モデルの作成は、水面で反射した点群データのみを抽出する必要がある。そのため、本検討ではオリジナルデータから橋梁や送電線など水面反射とは明らかに無関係な点群を除去した上で図3に示す3種の選別処理を施した。

1) 陸部の点群の除去

オルソ画像を用いて水部範囲を判読し、陸域に対応する点群を除去した。

2) 水中の点群の除去

河道上空には樹木などの遮蔽物が少ないことから、最初に反射した点群であるファースト

パルスのみを残し、水中部および樹木内部に対応する点群を除去した。

3) 反射強度による点群除去

レーザ反射強度が物質によって異なり、水の反射強度が小さい特徴に着目し、反射強度が一定の基準値以上の点群を除去した。なお、レーザ計測の特性上、水域抽出の閾値はレーザ照射条件や対象物の凹凸・色彩などの影響を受けるため、絶対的な数値で区別することは難しく、測量成果ごとに閾値を判断する必要がある。

4.2 水面モデルの作成

水面モデルは、河川の流下方向に10m間隔で設定した横断測線上に存在する点群のうち、代表する水面標高を付与した後、測線間を内挿補間することで作成した(図4)。

水面標高は、水部範囲に位置する横断測線を横断方向に4分割し、そのそれぞれに付与した。横断測線を横断方向に4分割したのは、植生の影響を受けやすい外側の区間が除外された場合であっても、内側の区間を用いて測線ごとの水面高を付与できると考えたためである。一方で、内側の区間のみを用いなかったのは、内側2区間のみでは水面標高の推定に必要な点群データを十分に確保できない測線が存在するためである。

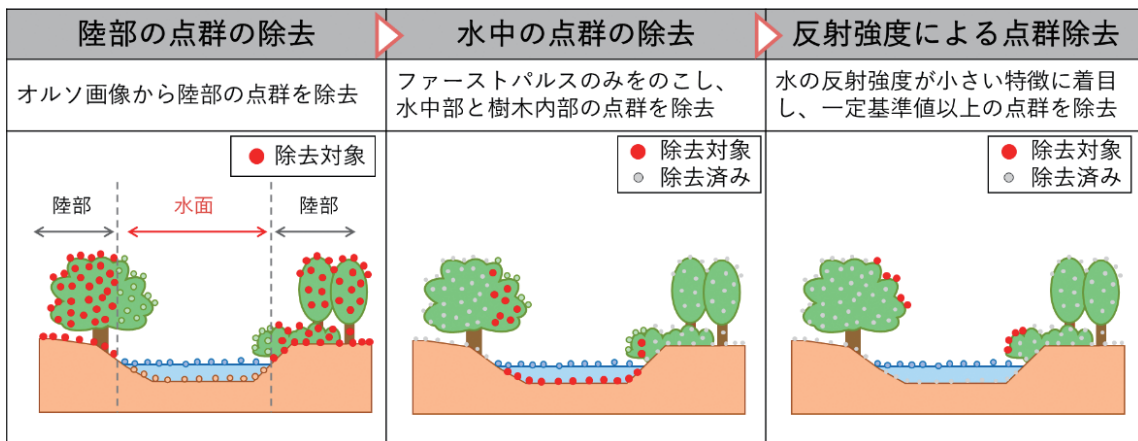


図3 オリジナルデータの選別処理

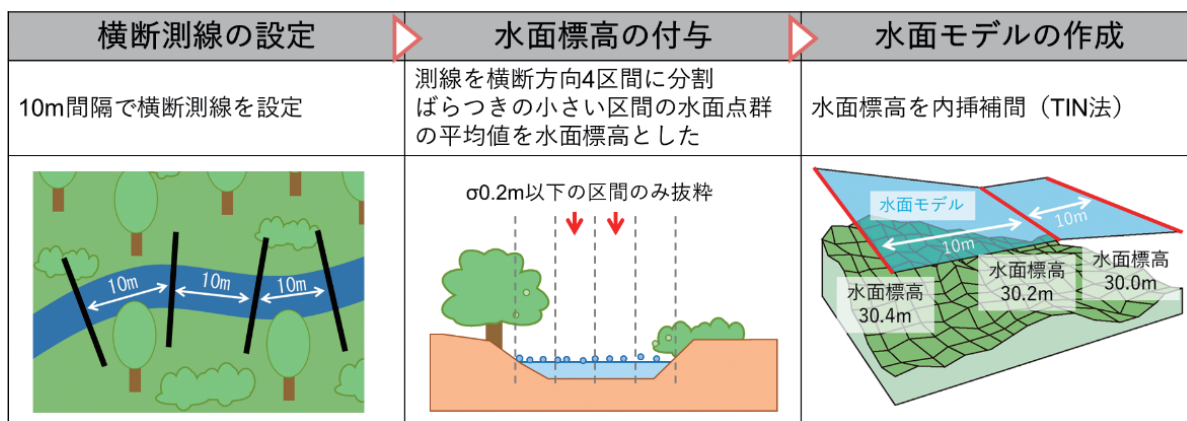


図4 水面モデルの作成

代表する水面標高の付与にあたっては、区間ごとに点群の高さの標準偏差を算出し、標準偏差が0.2mを上回る区間については、ばらつきが大きいと判断して解析対象から除外した。その上で、残った点群データのみを用いて当該横断測線を代表する水面標高を算出した。なお、水面モデル作成にあたり、水面データには局所的な水面波形の凹凸が含まれることから、最大値、平均値、最小値のうち代表値として平均値を採用することとした。

4.3 水面モデルのエラーチェック

本検討では、水面モデル作成にあたり上述したノイズ処理を行っているが、河畔林や露岩などに由来する一部の点群が水面に残存することを確認した。これらの点群が混在することで、

局所的に水面モデルは歪み、水面高の推定精度を低下させる要因となっている。本検討では、付与した測線の標高値を基に水面勾配の目視確認を行い、勾配が0を下回る場合(逆勾配)は、図5のように上流側・下流側の標高で線形補間を行い、負の勾配となる区間が生じないようにした。

4.4 水面モデルの精度確認

上記処理を行った後の横断測線ごとの水面点群の標準偏差の平均値は0.05mであり、対象区間における水面点群のばらつきが小さいこと、河道縦断方向に連続性の高い水面形状が得られたことを確認した。

5. 水深・流速の算定

5.1 水深の算定

前述の横断測線(縦断10m間隔)を各測線ごとに水面幅に応じて横断方向に20等分(横断間隔2m~8m)した点を発生させた。

各計算点における水深は、水面モデルの水面高と、グリッドデータから得られた河床高との差として算定した。結果を図6に示す。水面から突出する岩や河岸部の影響により負の水深が算出される場合は、これらを削除した。なお、河床高は水中における距離算出時に必要な屈折率補正を行い算定したものである。

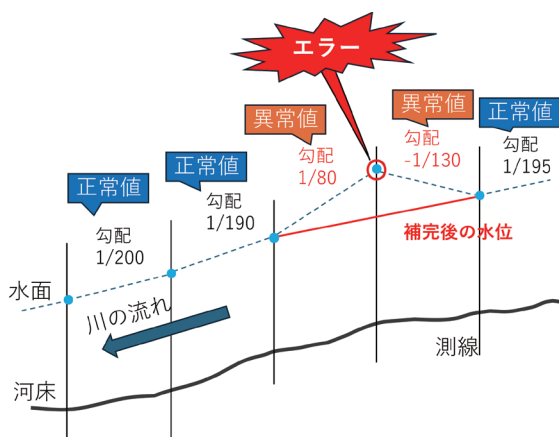


図5 逆勾配のイメージ

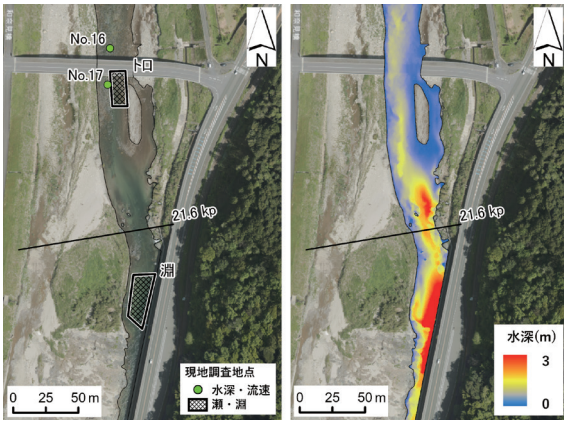


図6 水深分布図
(左：オルソ画像 右：水深分布図)

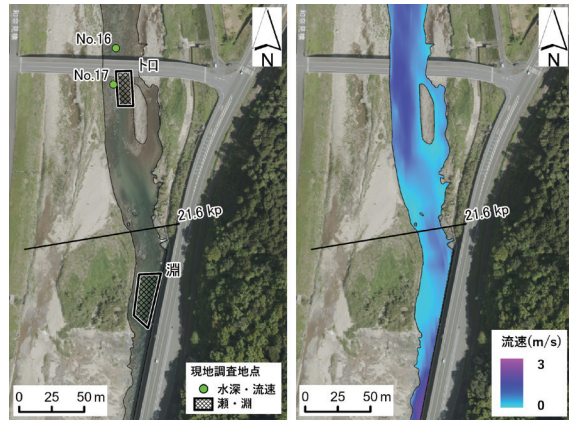


図8 流速分布図
(左：オルソ画像 右：流速分布図)

5.2 流速の算定

本検討では、寺島ほか(2024)の手法に準じ、5.1節と同様の計算点において、簡易的な水理学的仮定に基づく推定手法を用いて算定した。計算の際は、①図7のように水面を横断方向に分割した各分割断面の通過流量が、各分割断面の幅×水深×水深平均流速で与えられるものと仮定し、②縦断方向水面勾配は断面全体で一定と仮定した。この条件のもとマンギングの等流公式を各分割断面に適用すると、通過流量は水深の5/3乗に比例する。各分割断面の水深と断面通過流量を与条件とすれば、上記の仮定に基づき、各分割断面の水深平均流速を推定できる⁵⁾。

本検討では、ALB計測当日に用瀬観測所、袋河原観測所で観測された流量 $17\text{m}^3/\text{s}$ 、流量 $29\text{m}^3/\text{s}$ を与条件として計算点における水深平均流速を算出した。結果を図8に示す。

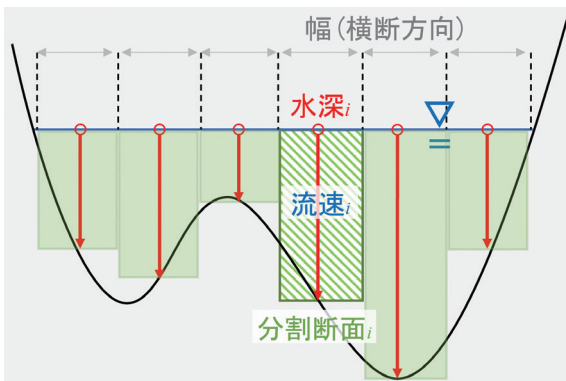


図7 流速の算出イメージ(寺島ら、2024より引用)

5.3 流速算定方法の特性把握

上記手法は河道全体に流れる流量を各分割断面の流量比(水深の5/3乗に比例)をもとに配分することで現実に近い河道内の流速分布を再現しようとする点が特徴的である。

以下、瀬・トロ・淵の3つの典型的な河道地形に対し、流速分布の概念を表形式にして表1～表3に整理した。なお、トロとは、流速が瀬より小さく、水深が瀬よりやや大きい、瀬と淵の遷移部に位置する中間的な区間を指す⁷⁾。設定した共通条件として横断方向に5m間隔の分割断面を設定し、流量は一定の仮想流量を与えた。以下に河道横断形状を模した表(縦軸:水深、横軸:横断測線No.)を示す。

① 瀬型

全ての分割横断面に1mの水深を仮定した場合、流速は横断方向に等しく 1.2m/s となり、瀬の非常に速い流れが適切に再現されている。

表1 簡易手法による瀬の流速分布の検証

流速(m/s)	流速 = $q/h \cdot B$										total Avg	
	左岸					右岸						
水深(m)	測線No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0.5		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	29.0
1.0												
1.5												
流量比	$h^{(5/3)}$	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
流量按分率 r		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
流量(m ³)		29.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9

② トロ型

左岸側の分割横断面に0.5mの水深、右岸側

の分割横断面に1mの水深を仮定した場合、左岸側の流速は0.6m/s、右岸側の流速は0.9m/sとなり、トコの主流部の穏やかな流れが適切に再現されている。

表2 簡易手法によるトコの流速分布の検証

流速(m/s)		左岸					流速 = q/h · B					右岸	
水深(m)	測線No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	total	Avg
0.5		0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	29.0	0.8
1.0							0.9	0.9	0.9	0.9	0.9		
1.5													
流量比	$h^{5/3}$	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
流量按分率 r		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
流量(m ³)		29.0	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	4.4	4.4	4.4	4.4		

③ 淵型

左岸側7割までの分割横断面に0.5mの水深、右岸側3割の分割横断面に2~2.5mの水深を仮定した場合、左岸側の流速は0.3m/s、右岸側の流速は0.7~0.8m/sとなり、ある程度速い流速が出現している。

表3 簡易手法による淵の流速分布の検証

流速(m/s)		左岸					流速 = q/h · B					右岸	
水深(m)	測線No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	total	Avg
0.5		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	0.7	0.8	29.0	0.6
1.0									0.7	0.7	0.8		
1.5									0.7	0.7	0.8		
2.0									0.7	0.7	0.8		
2.5									0.7	0.7	0.8		
流量比	$h^{5/3}$	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	3.2	3.2	4.6		
流量按分率 r		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3		
流量(m ³)		29.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	7.0	10.1		

上記結果をまとめると、流量比は水深の5/3乗で決まるため、浅い箇所では流速が低く、深い箇所では流速が大きいことがわかる。また、各パターンの水深0.5mの部分（各図の左岸側）に着目すると、同じ水深でも流速の値は異なることがわかる。つまり、流速は当該分割断面の水深によって一意に決まるわけではなく、横断方向の相対的な水深分布によって決まることが確認できる。また、各分割断面の流量を決定するための流量比は水深の5/3乗に依存することから、トコの主流部における大きな流速や断面拡大による流速の低下は忠実に再現されるが、主流方向から外れた淵の淀み（低い流速）は再現されず、実際よりも大きな流速値が現れる可能性があることに注意が必要である。

6. 水深・流速の精度検証

6.1 現地計測


前章で算定した水深および流速の妥当性を確認するため、対象区間において現地調査を行い、水深と流速を実測した。現地調査は、ALB計測時に近い水位条件のもとで行い、対象区間内の全17地点において水深および表面流速を計測した。水深の計測には音響測深機(PS-7FL、本多電子(株)製)を使用し、流速の計測には電波流速計(WJ7661、(株)YDKテクノロジー製)を用いた。電波流速計は水面に対して約45度の俯角で照射し、1秒間隔で3分間表面流速を取得した。

水深・流速の計測地点は、デジタルカメラに内蔵されたGNSS情報を基点とし、電波流速計の照射方向および俯角を考慮した水面に設定した。表面流速の計測値については、取得したデータから異常値を除去した後、対数則を仮定し、計測期間の表層流速の平均値に更正係数⁸⁾(区分断面平均流速と水表面流速の比、0.85)を乗じることで水深平均流速に換算した。なお、風による流速への影響については本検討では考慮していない。また、カメラの位置精度には数mのずれが含まれる。

6.2 精度検証結果

精度検証に先立ち、ALB計測時と現地調査時における水位差を確認した。水位は、千代川の15kpおよび25kpに位置する袋河原水位観測所と用瀬水位観測所の観測値を確認した。その結果、袋河原水位観測所では水位差約

表4 ALB計測時と現地調査時の水位比較

水位観測所	水位※基準高より		水位差(m)
	ALB計測時 (R6/4/28~29)	現地調査時 (R6/10/29~30)	
下流側 袋河原 (15kp)	-0.50 ~ -0.42 m	-0.31 ~ -0.25 m	約0.2m
 支川(八東川)合流地点			
上流側 用瀬 (25kp)	0.73 ~ 0.77 m	0.79 ~ 0.84 m	約0.05m

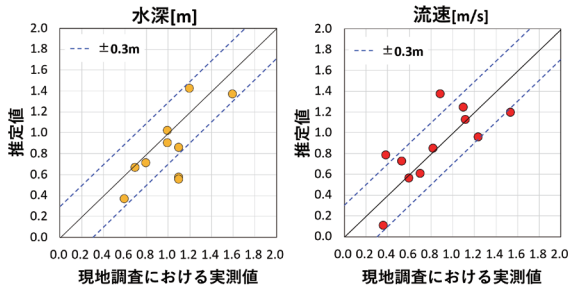


図9 推定値と現地調査結果の比較

0.2m、用瀬水位観測所では水位差約0.05mであった(表4)。

16.0kp地点より下流側は支川(八東川)の流入影響があるため、ALB計測時と現地調査時の水位差が比較的小さい16.0kpより上流側の11地点を対象として、精度検証を行った。現地調査により得られた実測値と、ALBデータから作成した水深・流速モデルから算定した水深・流速との比較結果を図9に示す。相関係数は水深・流速のいずれにおいても0.74となった。

水深は、上流側11地点のうち9地点で較差が0.2m以内(うち5地点は較差0.1m以内)であった。較差が大きい地点については、橋脚周辺において洗掘が進行し、河床の凹凸が大きいことを確認した。また、現地調査における位置情報のわずかな誤差も影響した可能性がある。

流速も、算定値と実測値はおおむね一致する結果を得た。

7. 河川環境的観点からの考察

7.1 フルード数による河川環境分類

フルード数は流れの性質を表す重要な指標であり、下記の式で表される。

$$\text{フルード数 (Fr)} = \frac{\text{流速}}{\sqrt{(9.8 \times \text{水深})}}$$

フルード数は算出した水深および流速を基に、対象区間(約20km)の全メッシュに対して算出した。

さらに、フルード数と実際の流況との対応関

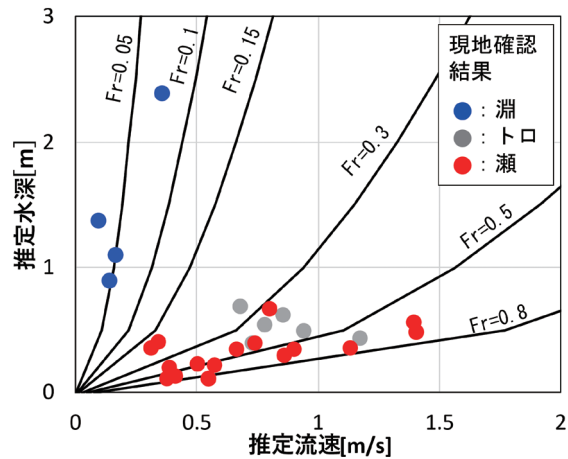


図10 現地確認結果と推定水深・流速の比較

表5 瀬淵判定のためのフルード数の閾値分類

分類	先行研究 (Entwistle, 2018)	本研究
湍	Fr < 0.04	Fr < <u>0.1</u>
ト口	0.04 ≤ Fr < 0.15	<u>0.1</u> ≤ Fr < 0.15
瀬	0.15 ≤ Fr	0.15 ≤ Fr

係を把握するため、湍・ト口・瀬を明確に判断できる26地点において現地確認を実施した。現地では、水面の波立ちや白波の有無といった目視情報を基に、流れを湍、ト口、瀬の3区分に分類した。これらの現地確認結果と算定したフルード数との対応関係を図10に整理し、Entwistleら(2019)の成果を参考に、本検討における瀬淵判定のためのフルード数の閾値を表5の通り設定した¹⁰⁾。これらをもとに水域の全メッシュについて湍、ト口、瀬の判定を行った。

7.2 水国調査との比較

本検討では、水国調査で判定された瀬または湍の範囲内に、本手法で判定した同種の瀬または湍が一部でも含まれている場合を「範囲内に含まれる」と評価した。その結果、図11に示す区間では、水国調査で確認された瀬10箇所すべてと、湍3箇所中2箇所が範囲内に含まれることを確認した。さらに、対象区間全体では、水国調査により判定された瀬・湍のうち、

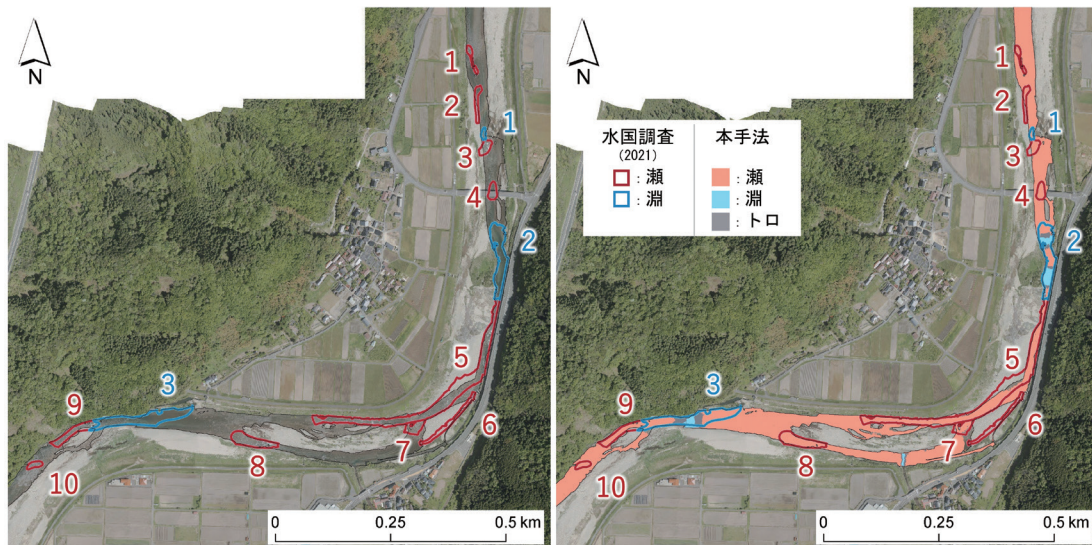


図11 瀬淵判定結果

約8割について、本手法による瀬・淵判定結果が範囲内に含まれることを確認した。

8. まとめ

本検討では、ALB計測データのうち、水面反射した3次元点群データを活用することで、瀬淵判定する手法を構築した。以下に得られた主要な成果を記す。

- ①水面反射した3次元点群データから水面モデルを作成するノイズ処理の手法を構築した。
- ②水面モデル及びグリッドデータから平面的な水深分布を得た。
- ③簡易的な水理学的仮定に基づいて平面的な流速分布を得た。
- ④本手法で求めた水深、流速から瀬淵判定を実施したところ、水国調査の瀬淵の約8割において、範囲内に本手法の瀬淵判定結果の瀬淵が含まれる結果を得た。本検討の成果により、高精度な水面モデルの整備が推進され、物理量に基づく客観性の高い河川環境調査の発展が期待される。

■謝辞

国土交通省中国地方整備局鳥取河川国道事務所にデータの提供および現地調査の便宜を図っていただいた。ここに記して謝意を表す。

■参考文献

- 1) 公益財団法人 日本測量調査技術協会：航空レーザ測量による地形データの全国整備と高精度化・定期的な更新について，2025. https://www.shindo.gr.jp/cms/wp-content/uploads/2025/03/26_shiryo2.pdf, (参照 2026-02-04)
- 2) 森本洋一，鈴木敏弘，槇島みどり，中村圭吾：点群データを用いた瀬・淵の定量的な抽出に向けた基礎的検討，河川技術論文集第30巻，pp.47-52，2024.
- 3) 岡井陽平，溝口裕太，手塚透吾，崎谷和貴：河川における航空レーザ測深データを用いた水面標高の推定手法の提案，河川技術論文集第30巻，pp.617-622，2024.
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：平成28年度版 河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル [河川版]，2016.
- 5) 寺島大貴，鈴田裕三，吉村亮志，河合利巳，久富祥子，大谷颯翔，杉山史典，原田守啓：ALBデータを活用した水面モデル作成と水理量推定による瀬淵判定手法の検討，河川技術論文集第30巻，pp.555-560，2024.
- 6) 寺島大貴，吉村亮志，鈴田裕三，杉山史典，河合利巳，原田守啓：ALBの水面点群デー

タを活用した水理量推定による瀬淵判定手法の改良, 河川技術論文集第31巻, pp.529-534, 2025.

- 7) 萱場祐一, 島谷幸宏: 河川におけるハビタットの概念とその分類, 土木技術資料41巻7号, pp.32-37, 1999.
- 8) 国土交通省: 非接触型流速計測法の手引き(案), 2023.
- 9) 国立研究開発法人土木研究所水工研究グループ: 水文チーム流量観測の高度化マニュアル(高水流量観測編) Ver1.2
- 10) Neil Entwistle, George Heritage, David Milan: Ecohydraulic modeling of anabranching rivers, *River Research and Applications*, Volume 35 (4), pp. 353-364, 2019.

■執筆者

吉村 亮志 (よしむら りょうじ)
エアロトヨタ株式会社



(共著者)

寺島 大貴 (てらしま だいき)

鈴木 裕三 (すずた ひろみ)

杉山 史典 (すぎやま ふみのり)

河合 利巳 (かわい としみ)

エアロトヨタ株式会社

原田 守啓 (はらだ もりひろ)

岐阜大学教授 環境社会共生体研究センター