

水上・空中両用ドローンを用いた河川水面下の 粒度分布推定手法の開発

山口大学大学院創成科学研究科

大中臨

山口大学大学院創成科学研究科 教授

赤松良久

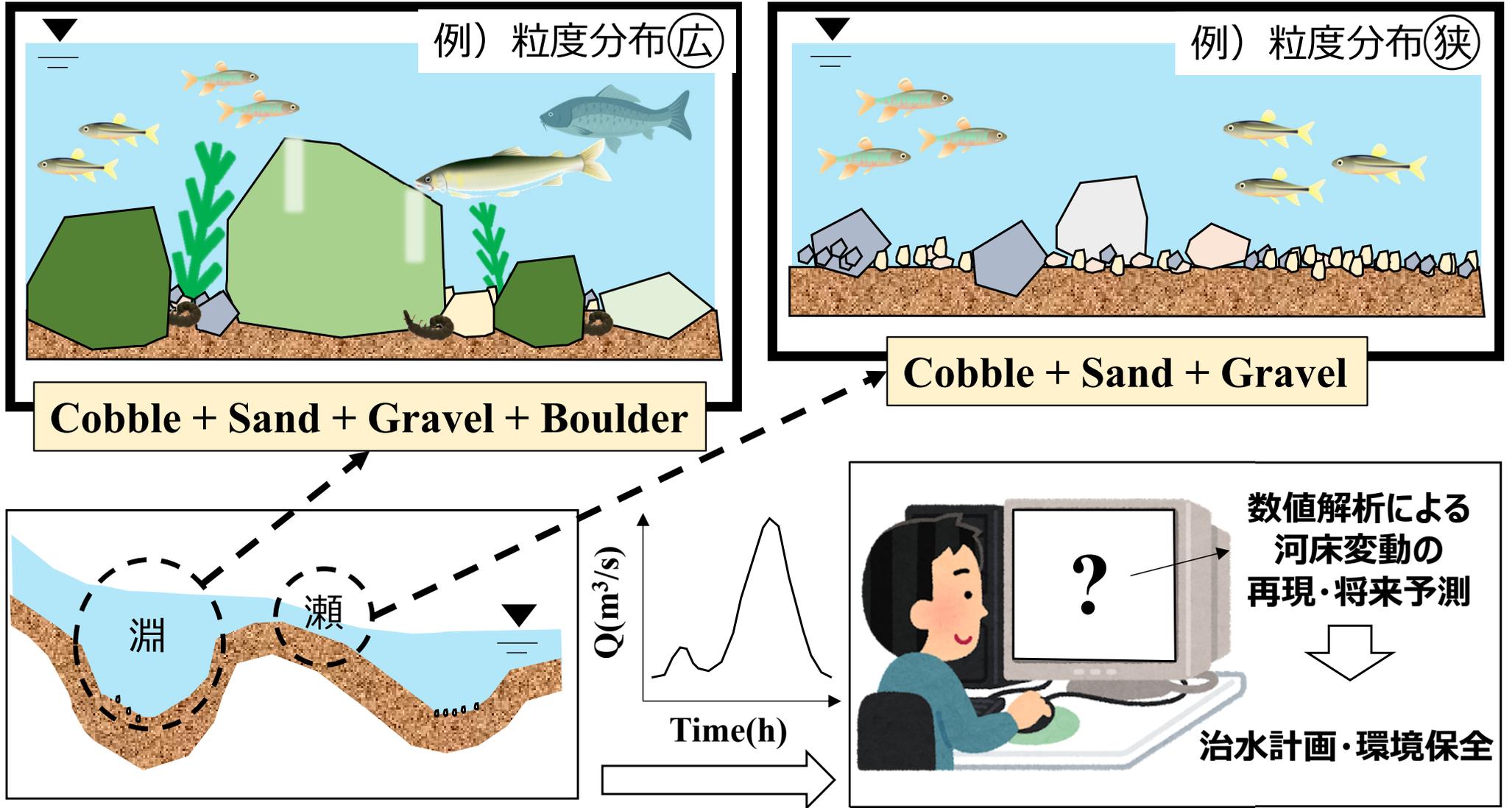
山口大学大学院創成科学研究科 特命准教授

宮園誠二

山口大学大学院創成科学研究科 学術研究員

丸山啓太

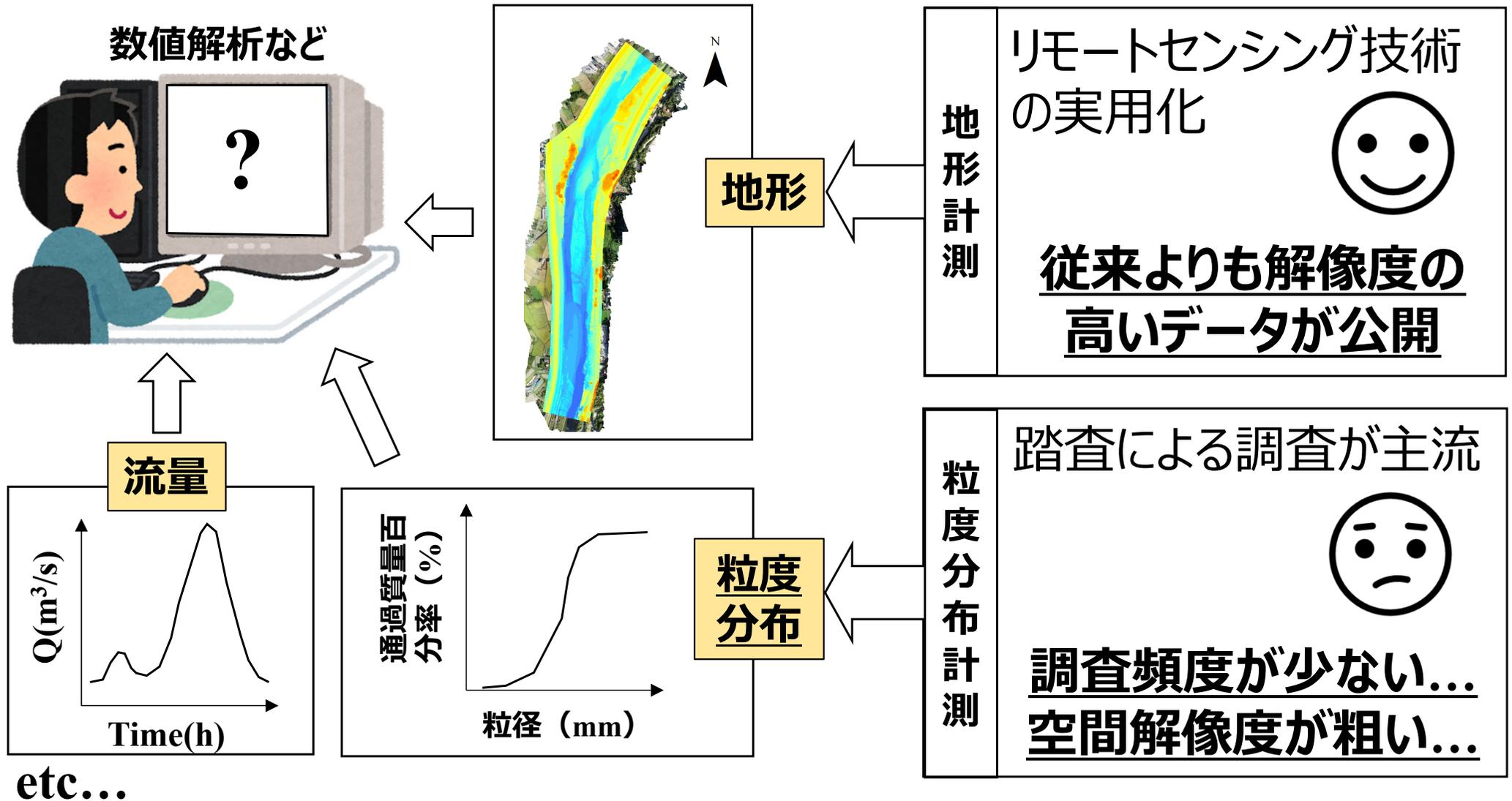
◆ 粒度分布把握の重要性¹⁾



河川の表層河床材料は河道管理に必要不可欠な河道特性に関わる情報の一つ

1)小林草平, 竹門泰弘: 土砂量と河床材粒径に着目した生息場評価, 京都大学防災研究所年報, 2012.

◆ 粒度分布把握の重要性¹⁾

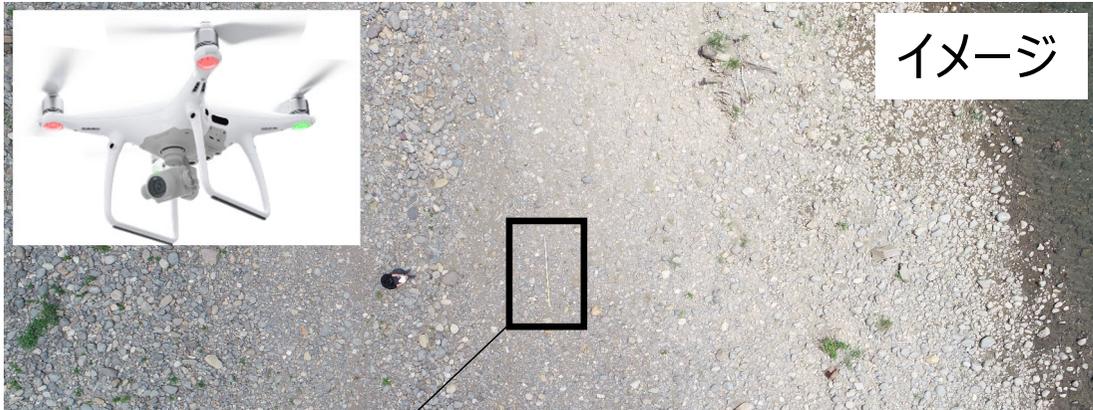


効率的な粒度分布の把握が課題となっている。

1)小林草平, 竹門泰弘: 土砂量と河床材粒径に着目した生息場評価, 京都大学防災研究所年報, 2012.

◆リモートセンシング技術を用いた粒度分布把握手法

寺田ら²⁾, 原田ら³⁾, 平生ら⁴⁾: 砂礫堆を対象とした検討



イメージ

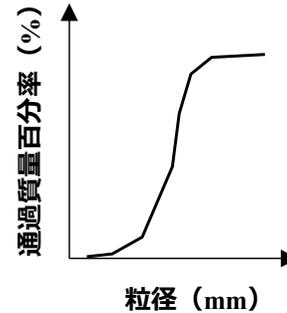
UAVによる
空撮画像



無償の粒度分布導出
ソフト (Basegrain)



粒度分布



砂礫堆などで高い精度の粒度分布を把握している。

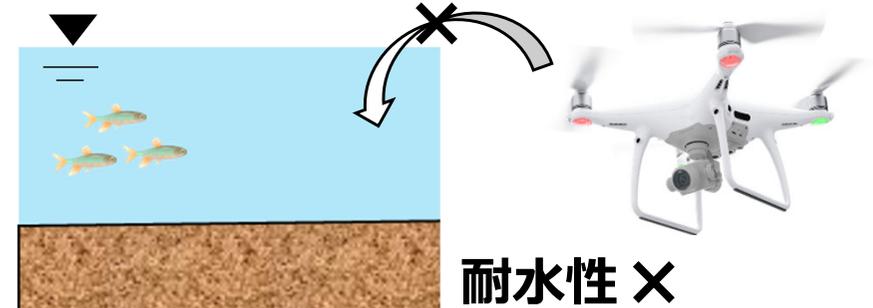
水面下の河床材料の把握について



水上からの撮影

- ・光の反射...
- ・波の影響...
- ・屈折の影響...

正確な輪郭が得にくい



耐水性 X

水面下の河床粒度分布把握に対してリモートセンシング技術を適用した事例は少ない。

効率的な水面下の河床粒度分布把握手法が求められている。

1)寺田ら：UAVによる撮影画像を用いた洪水前後の砂州上粒度分布の計測，土木学会論文集B1（水工学）Vol.71，No.4，I_919-I_924，2015.

2)原田ら：UAVと水域可視化処理による河川地形計測手法の検討，河川技術論文集，第22巻，pp.67-72，2016.

3)平生ら：UAV撮影画像処理による河床表層粒度分布把握に関する基礎的研究，河川技術論文集，第24巻，2018.

◆空中・水中両用ドローン（スプラッシュドローン）の開発

名称：Splash Drone 4⁵⁾，開発社：Swell Pro 社



【本体基本スペック】

防水レベル：IP67
最大抵抗風速：20m/s
最大飛行距離：5km
最大飛行時間：25分

【3軸ジンバルカメラスペック】

防水レベル：IP67
カメラ画素：1200万画素
動画サイズ：4K~HD
適応温度：-10°C~40°C

水面下の河床材料の輪郭を鮮明に捉えている。

スプラッシュドローンと従来手法を組み合わせることで水面下の粒度分布も簡易的に把握できると考えられる。

スプラッシュドローンからの映像



◆目的

河川水面下の粒度分布を効率的に把握する手法を開発する。

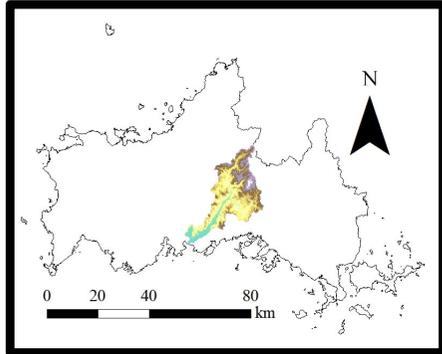
◆実施内容

- ・山口県佐波川における**現地調査**
- ・**面積格子法**による粒度分布の導出
- ・**スプラッシュドローンを用いた方法**（WADPSM (Water and Aerial Drone-based Particle Size Measuring) 法）による粒度分布の導出
- ・上記手法で得られた**粒度分布の比較**

**スプラッシュドローン 4
(SPD4)**



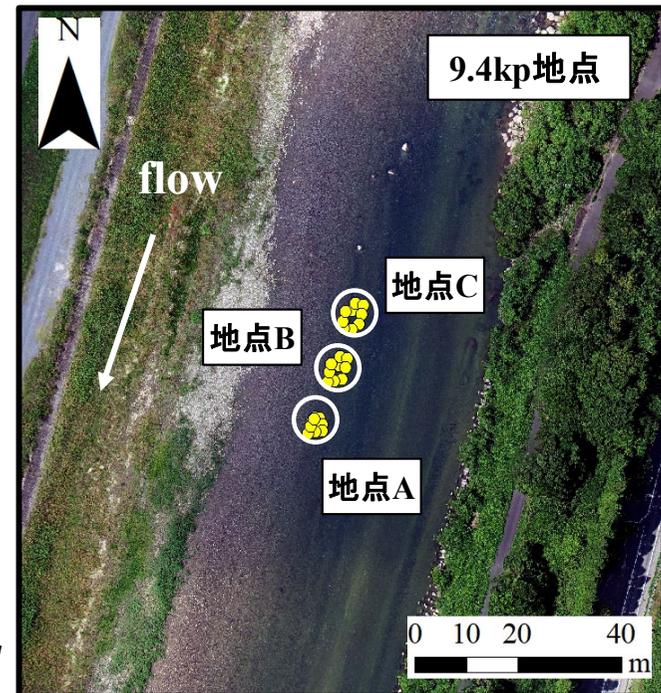
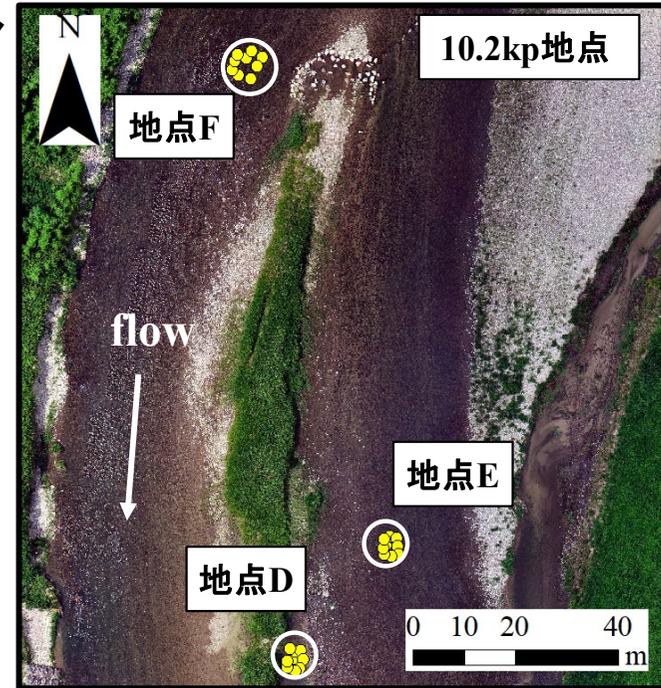
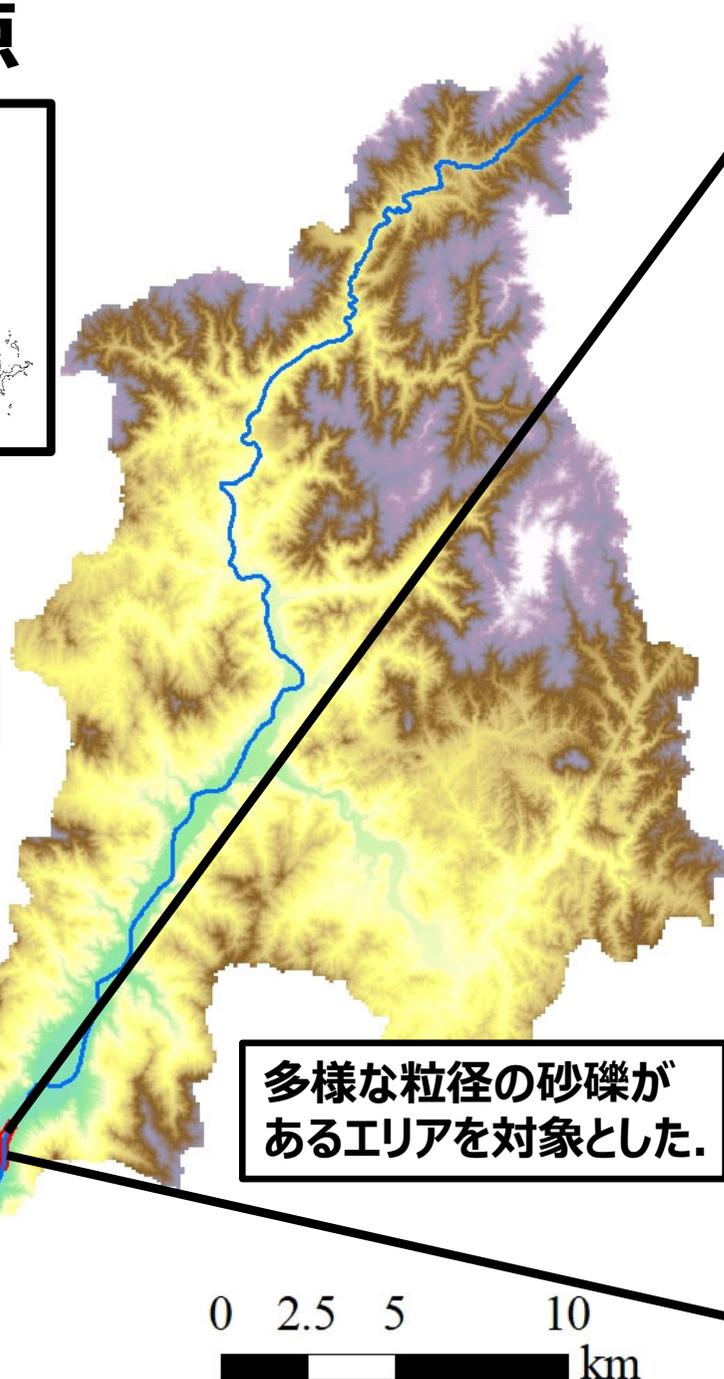
◆ 調査地点



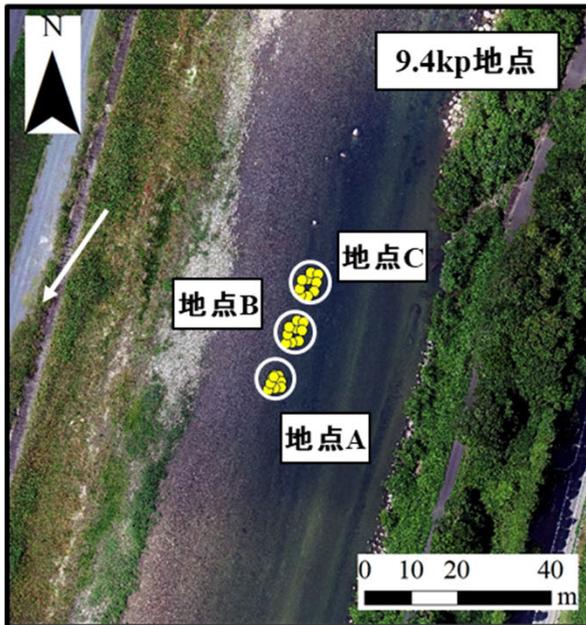
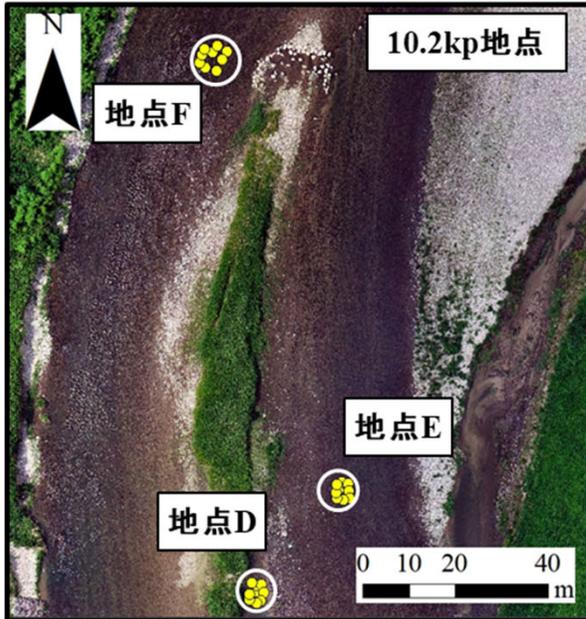
山口県

● : 調査地点

佐波川流域



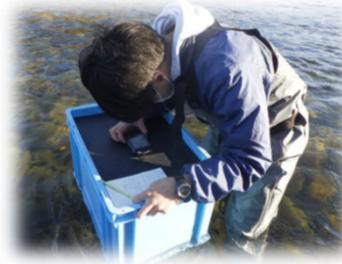
◆ 調査内容



①

デジタルカメラおよびSPD4による河床材料の撮影

デジタルカメラによる撮影の様子



SPD4による撮影の様子



②

撮影位置の計測 (GNSS測量)



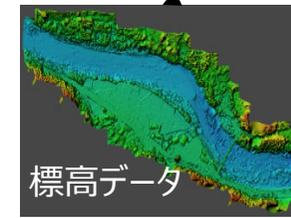
③

標尺による水深の計測



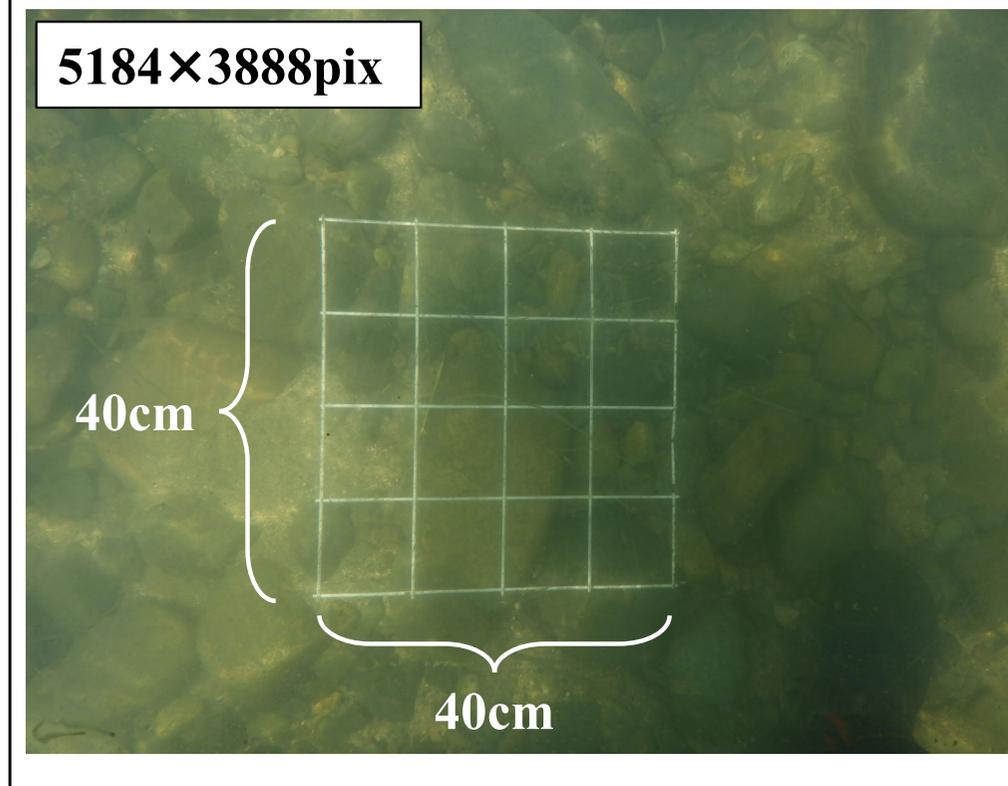
④

UAV写真測量



◆撮影された河床の様子

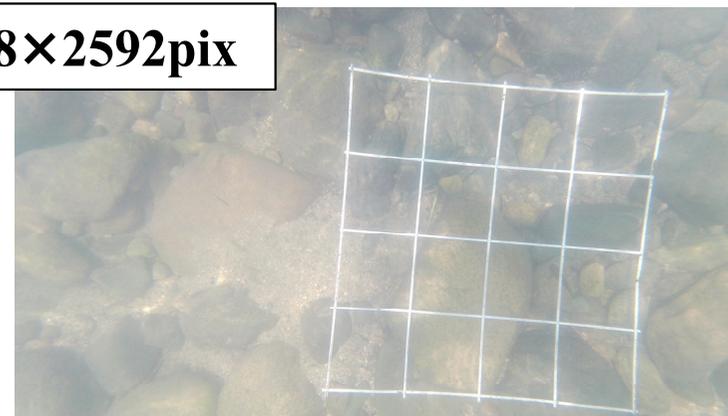
デジタルカメラ



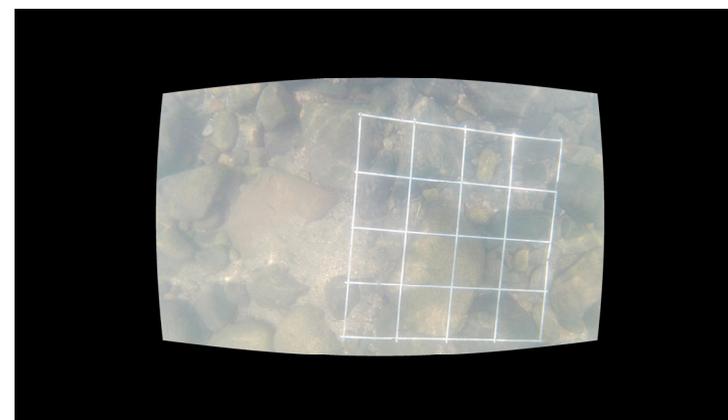
両手法とも同一地点の河床材料を撮影

スプラッシュドローン

4608×2592pix



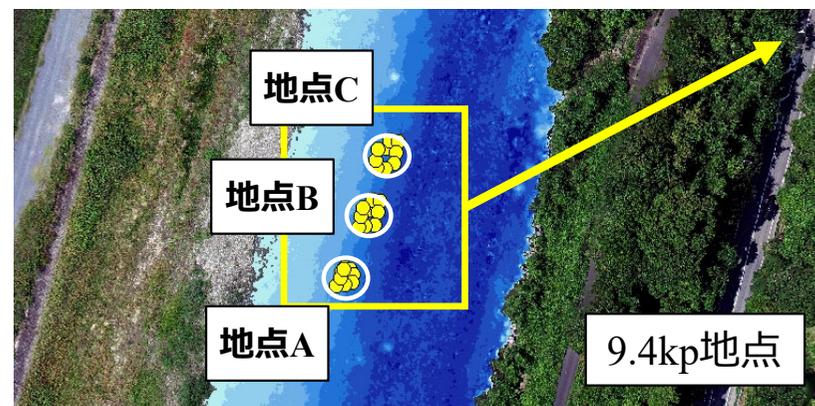
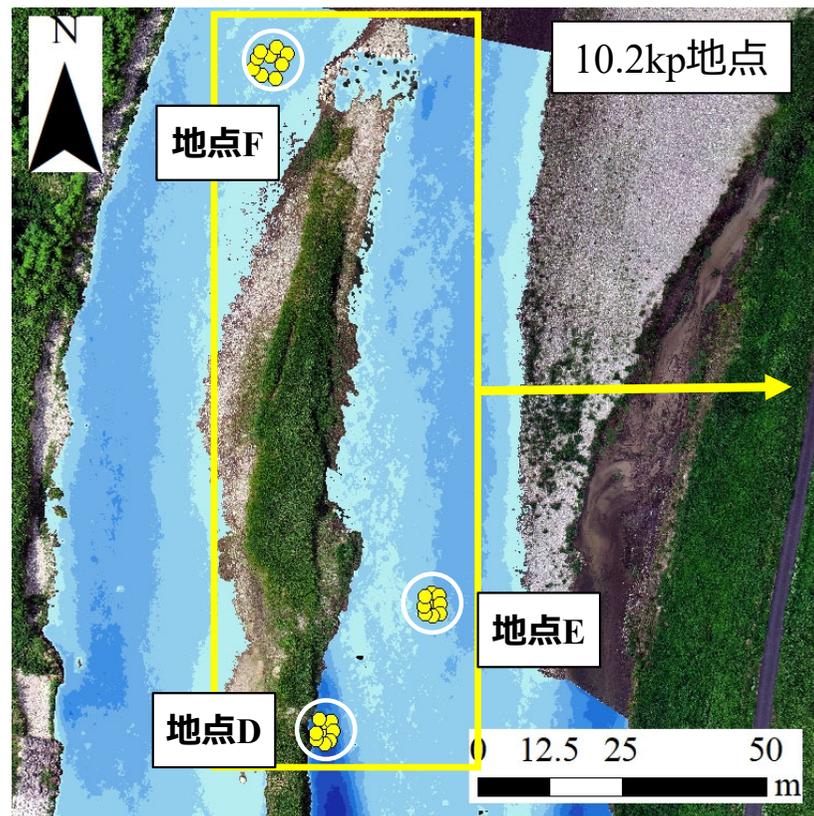
↓ 歪み補正



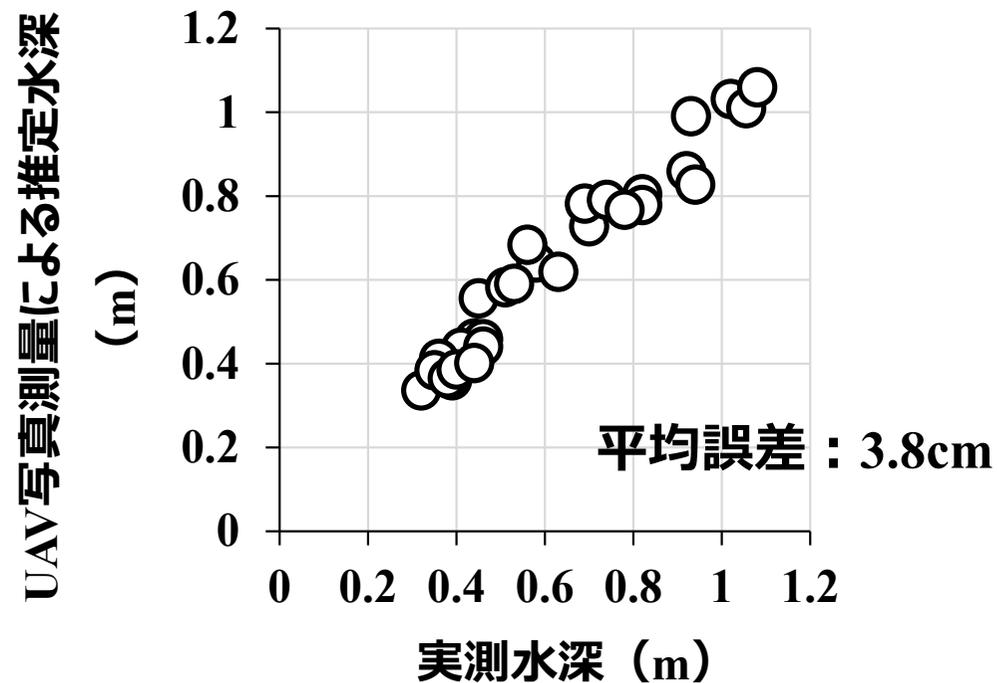
スプラッシュドローンから得られた画像は歪み補正ソフト⁶⁾で補正を行った。

6) uonome, <https://lab.hendigi.com/uonome/>, 2022.

◆河床撮影位置および水深分布（水面補正済）



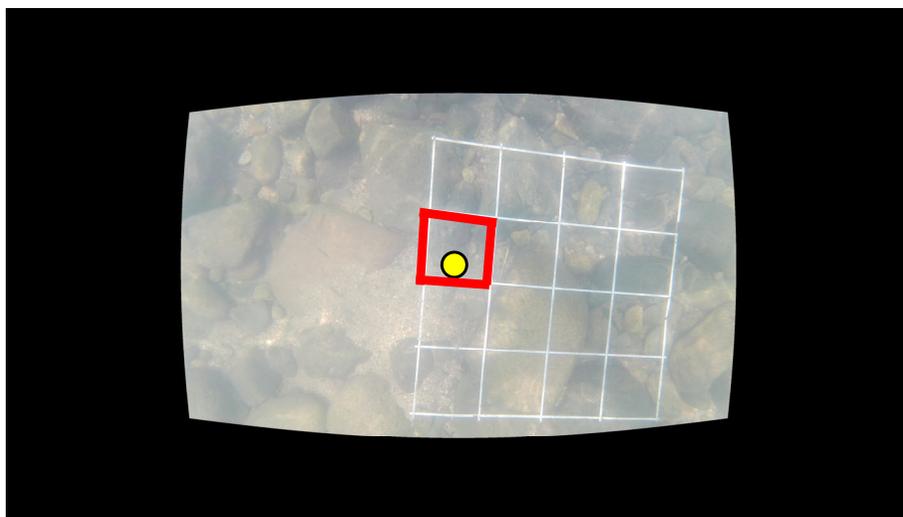
実測水深とUAV写真測量から推定した水深の比較



UAV写真測量から実測水深とほぼ誤差のない面的な水深分布を得た。

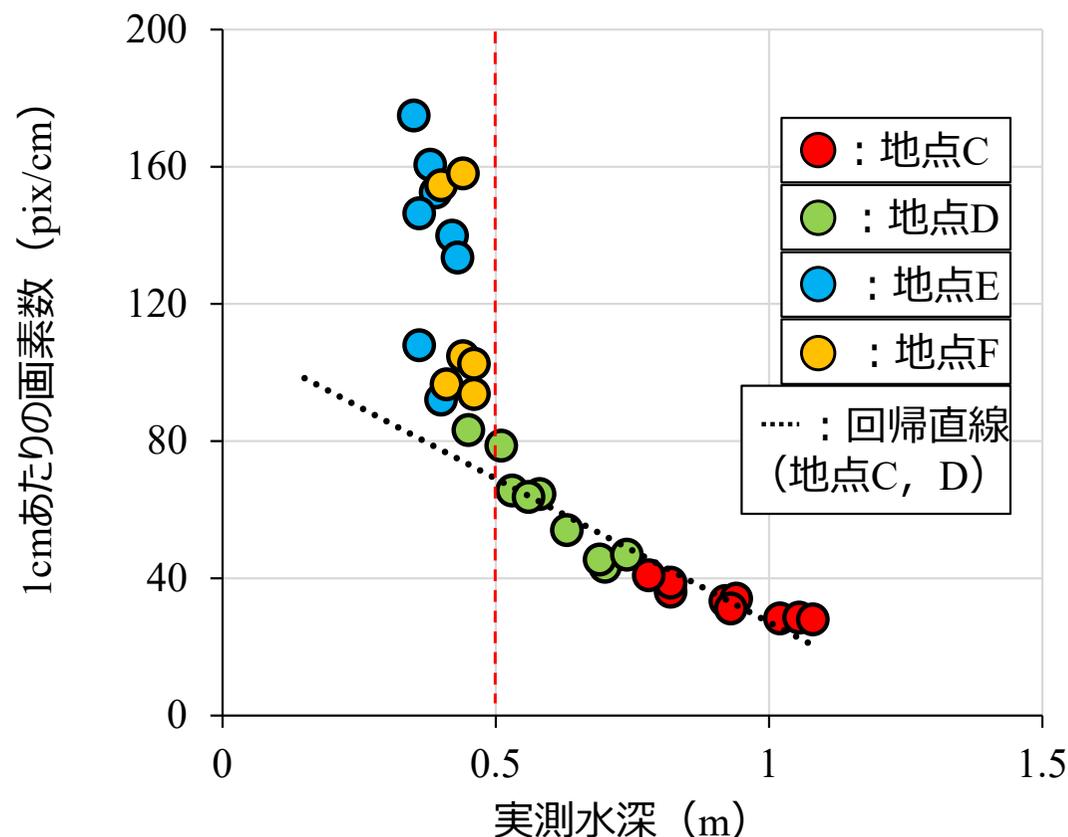
◆SPD4で撮影された画像の縮尺と水深の関係の検討

SPD4にて撮影された画像の中心に最も近い格子区画4辺の画素数の平均値と、実際の格子の長さ（10cm）から1cmあたりの画素数を計測し、両者を比較.



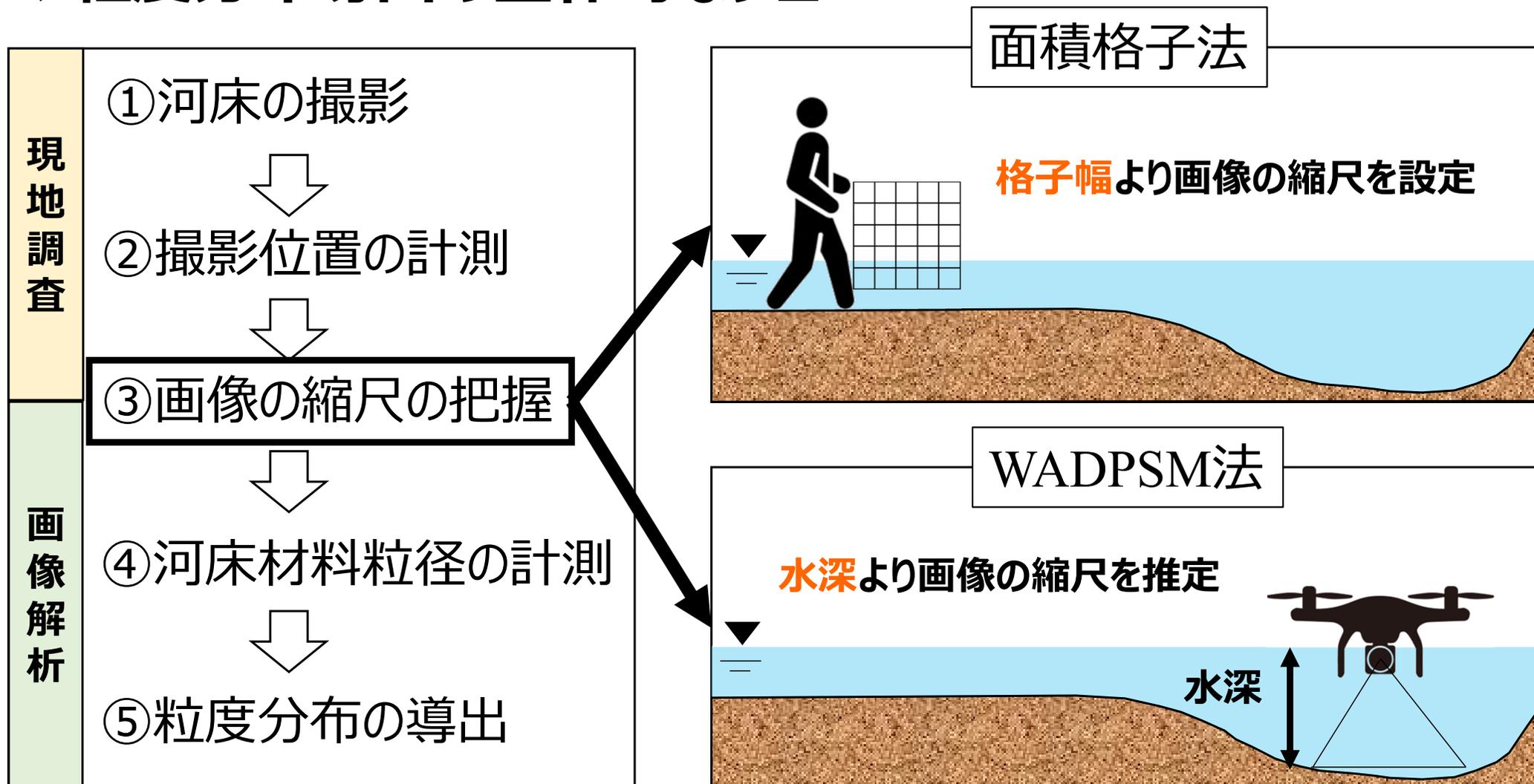
水深が0.5m以上の地点と0.5m未満の地点で、両者の関係が大きく変化.

実測水深と、SPD4で撮影された画像の1cmあたりの画素数の関係



SPD4を河床材料の撮影に用いる場合は、**0.5m**未満の水深の場所には適さないことが明らかとなった.

◆ 粒度分布導出の全体的なフロー

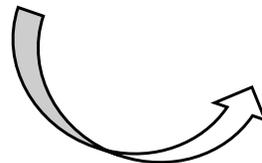
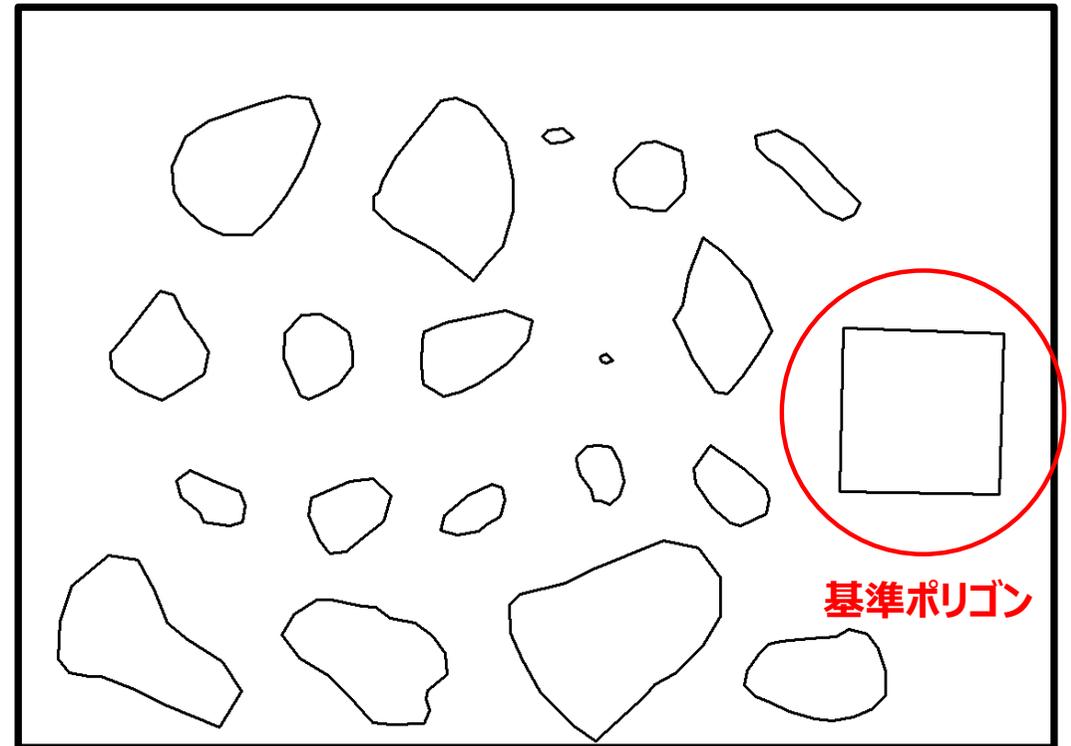


WADPSM法では、格子の情報を用いず、UAV写真測量で得られた水深から画像の縮尺を推定し、粒度分布を導出した。

◆ 画像解析から粒度分布導出までのフロー（面積格子法）

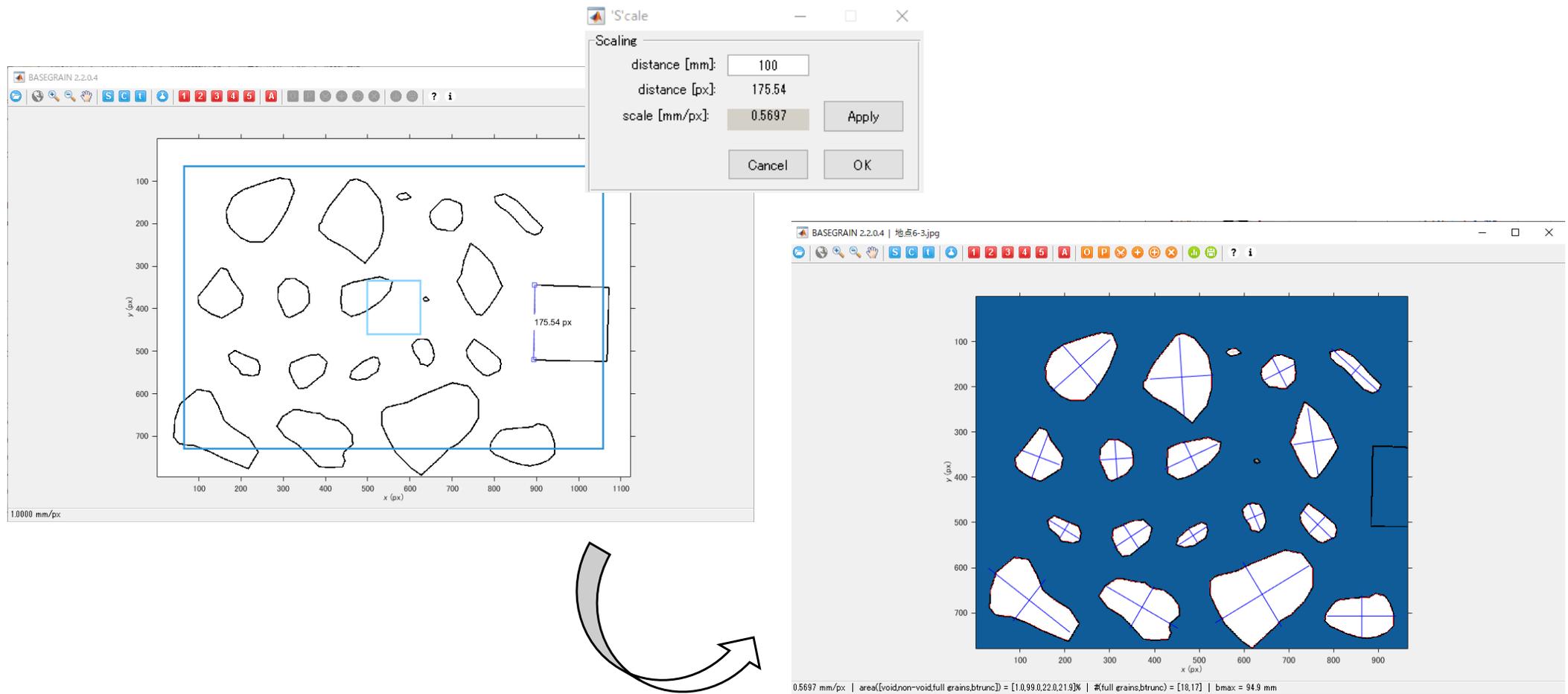
1. デジタルカメラで撮影された写真から，河床材料の輪郭と格子の輪郭（基準ポリゴン）をトレースし，トレースした輪郭のみを画像として出力。

例)



◆ 画像解析から粒度分布導出までのフロー（面積格子法）

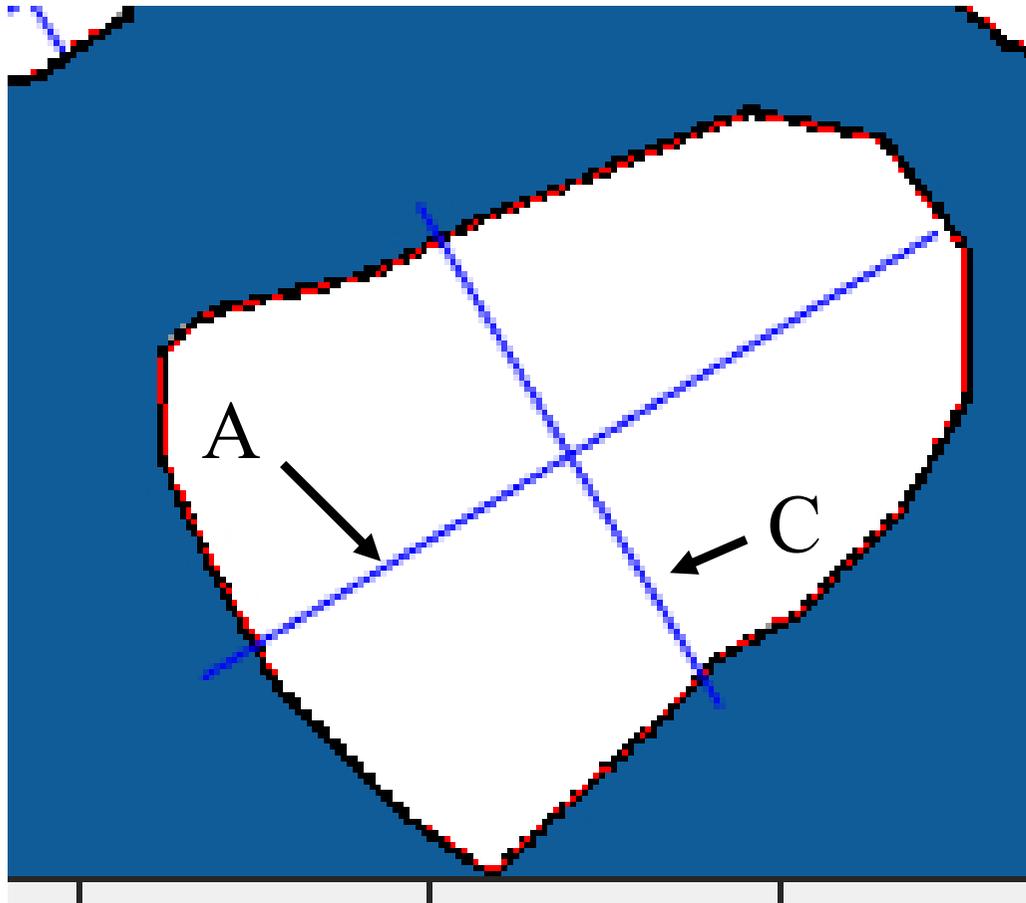
2. 写真をBaseGrain⁶⁾に入力後，基準ポリゴンからスケールを設定し，各河床材料の短径と長径を計測．



6) Detert, M., Weitbrecht, V. : User guide to gravelometric image analysis by BASEGRAIN: Advances in Science and Research, S. Fukuoka, H. Nakagawa, T. Sumi, H. Zhang (Eds.), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138- 00062-9, pp. 1789-1795, 2013.

◆ 画像解析から粒度分布導出までのフロー（面積格子法）

3. 長径と短径の情報から各河床材料の代表粒径を求める。



$$B=(A+C)/2$$

$$D=(A \times B \times C)^{(1/3)}$$

A:長径(mm)

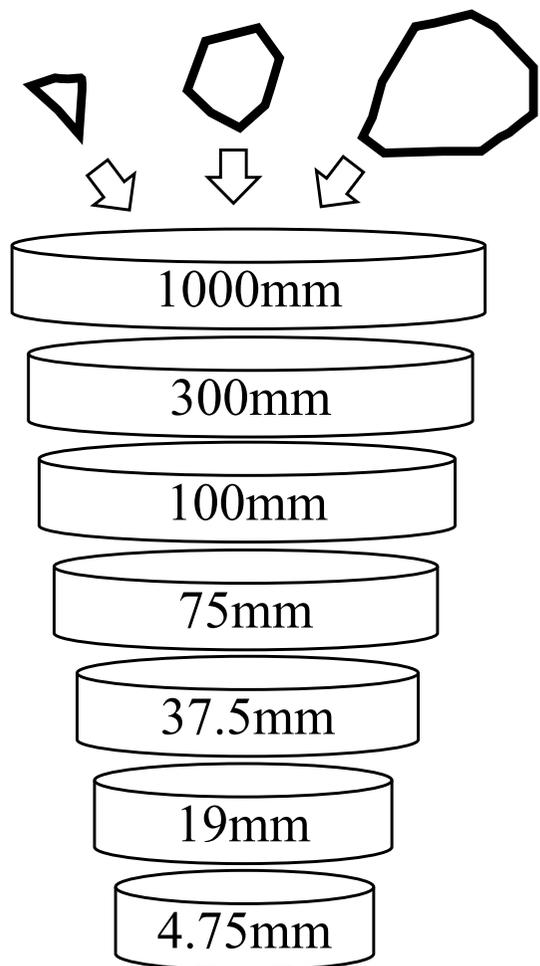
C:短径(mm)

B:中径(mm)

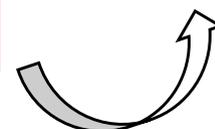
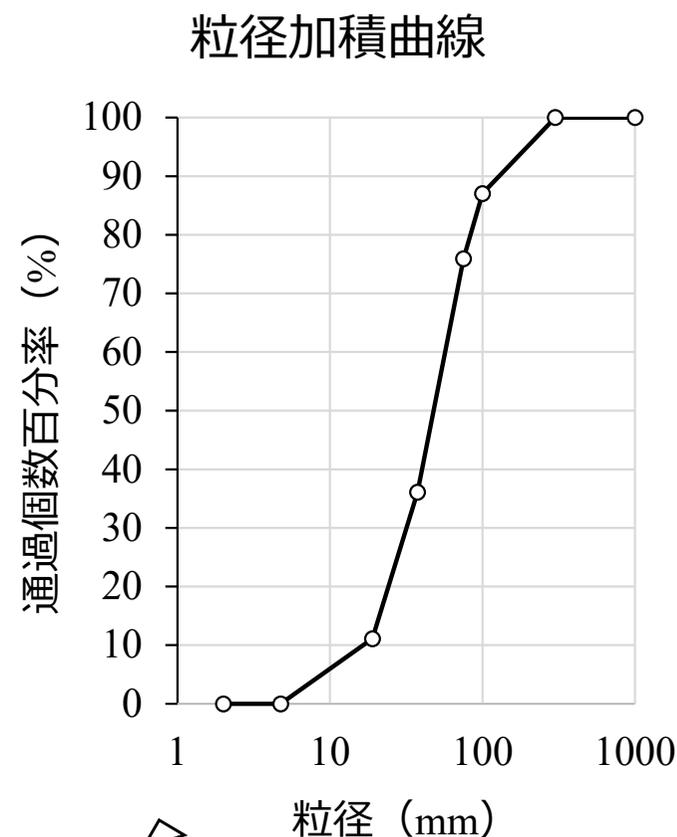
D:代表粒径 (mm)

◆ 画像解析から粒度分布導出までのフロー（面積格子法）

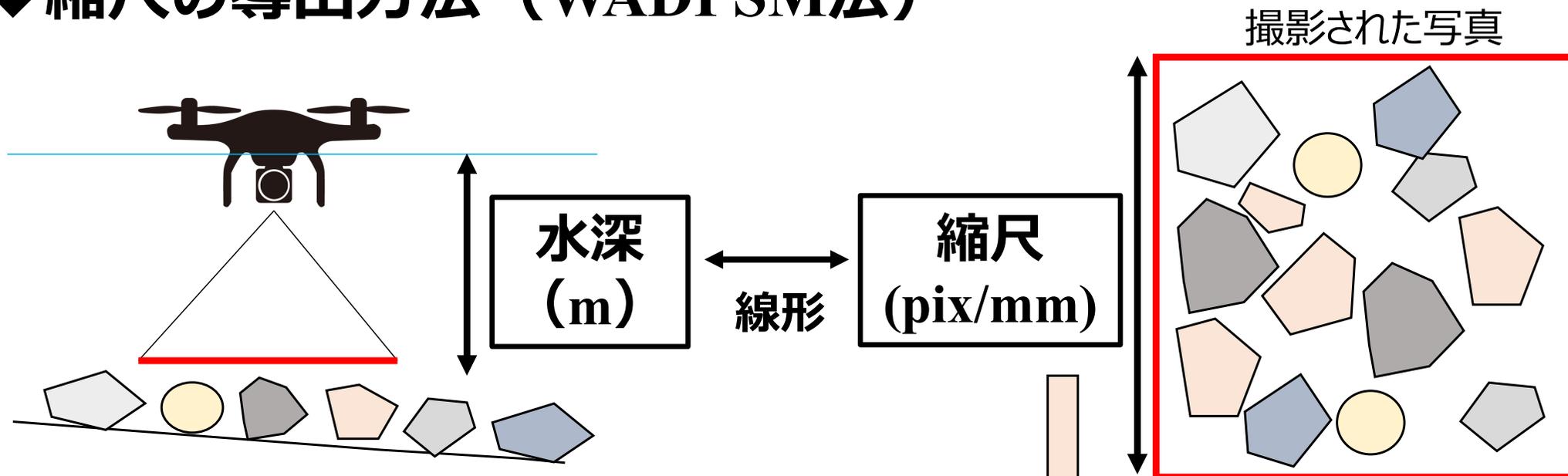
4. ふるい分析に使用するふるい目を参考に粒径階を設定し、各粒径階ごとに河床材料の個数を求め、粒度分布を算定。



粒径階 (mm)	個数	個数密度 (%)	通過個数百分率 (%)
1000	0	0	100
300	0	0	100
100	14	13.0	87
75	12	11.1	76.9
37.5	43	39.8	37.1
19	27	25.0	11.1
4.75	12	11.1	0.0



◆縮尺の導出方法（WADPSM法）



スプラッシュドローンから得られた画像（歪み補正後）

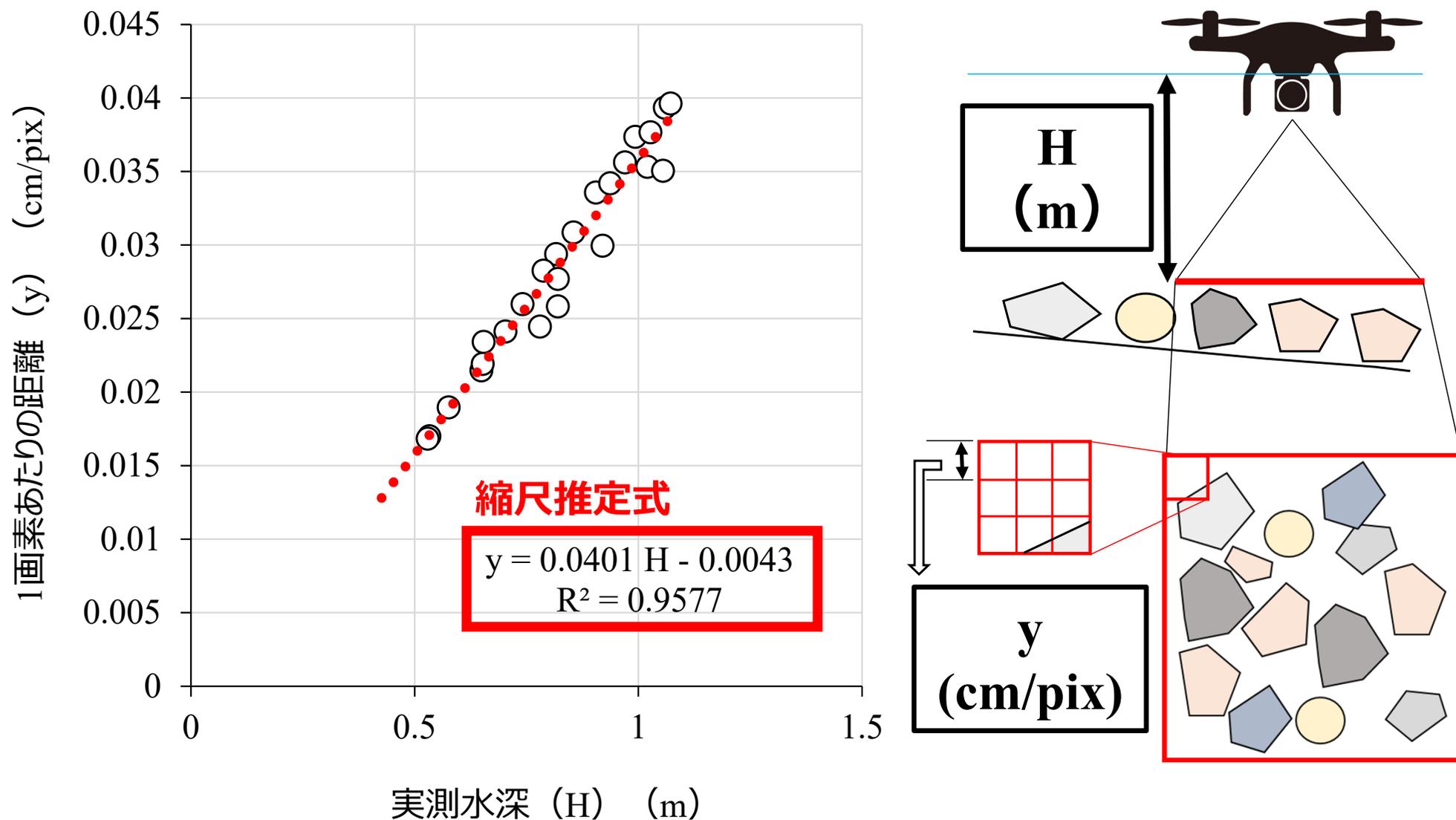
縮尺：
??? pix/10cm

1543pix

撮影画像の縦の長さを基準ポリゴンに設定することで、水深から画像の縮尺が推定可能と考えられる。

◆縮尺の導出方法（WADPSM法）

C地点周辺における実測水深とSPD4で撮影された画像の縮尺との回帰式を検討。



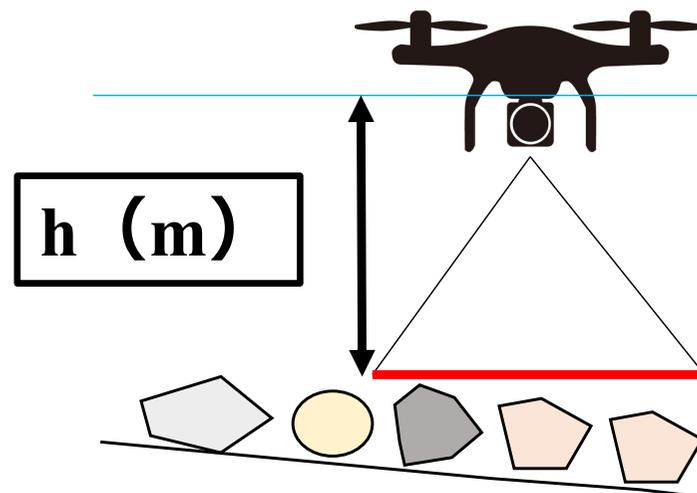
◆縮尺の導出方法（スプラッシュドローン法）

河床材料の輪郭と画像の縦の長さ
(基準ポリゴン) を出力した画像



出力画像における基準ポリゴンの縦ピクセル数 : L (pix)

※歪み補正後の撮影画像の縦長さは1541pix



撮影地点における推定水深 h (m)
(縮尺を導出する際の水深にはUAV写真
測量から得られた推定水深を使用)

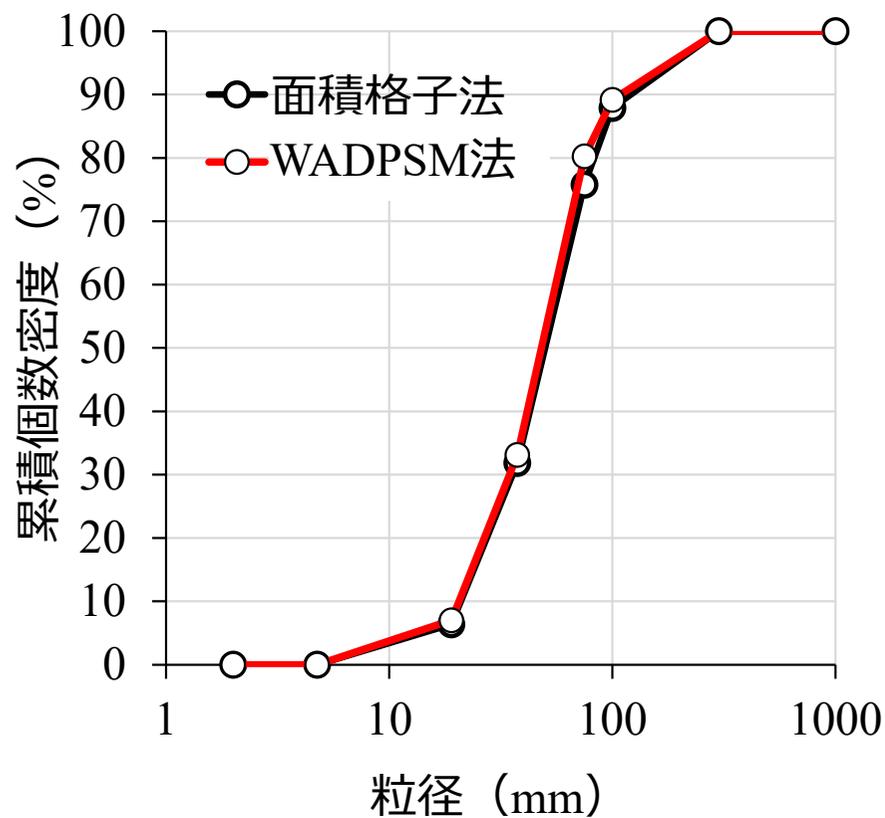
$$y = 0.0401 \times h - 0.0043$$

撮影画像の縮尺 : y (cm/pix)

河床材料の輪郭を出力した画像の縮尺 = $y \times (L/1541)$ (cm/pix)

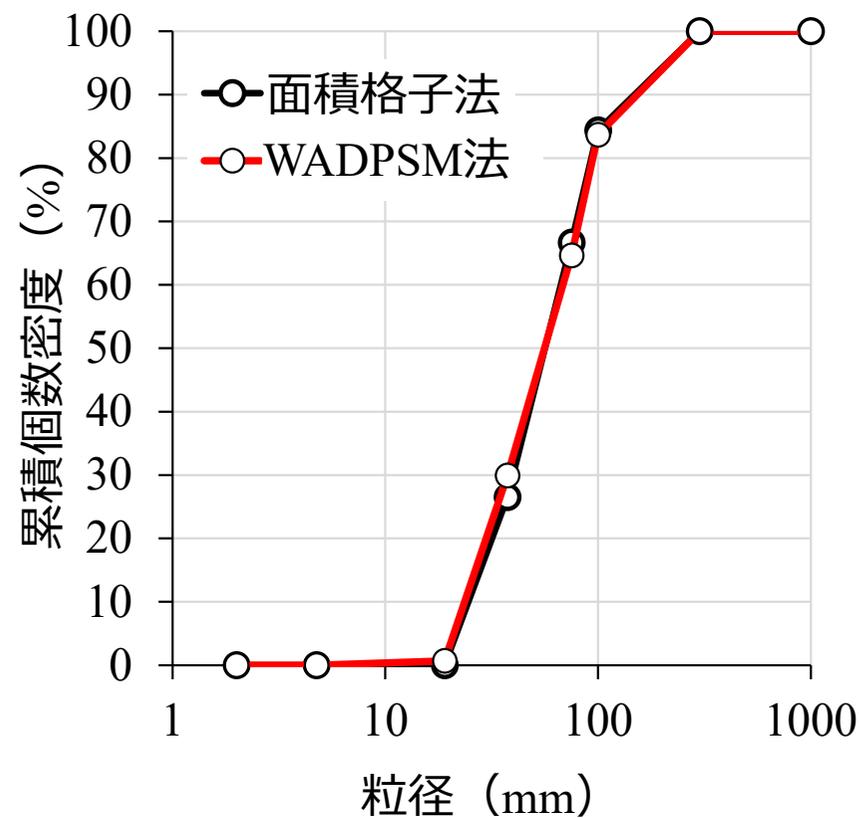
◆両手法で導出された粒度分布の比較

地点A：157サンプルを対象



D60の誤差率：約5.88%

地点B：147サンプルを対象

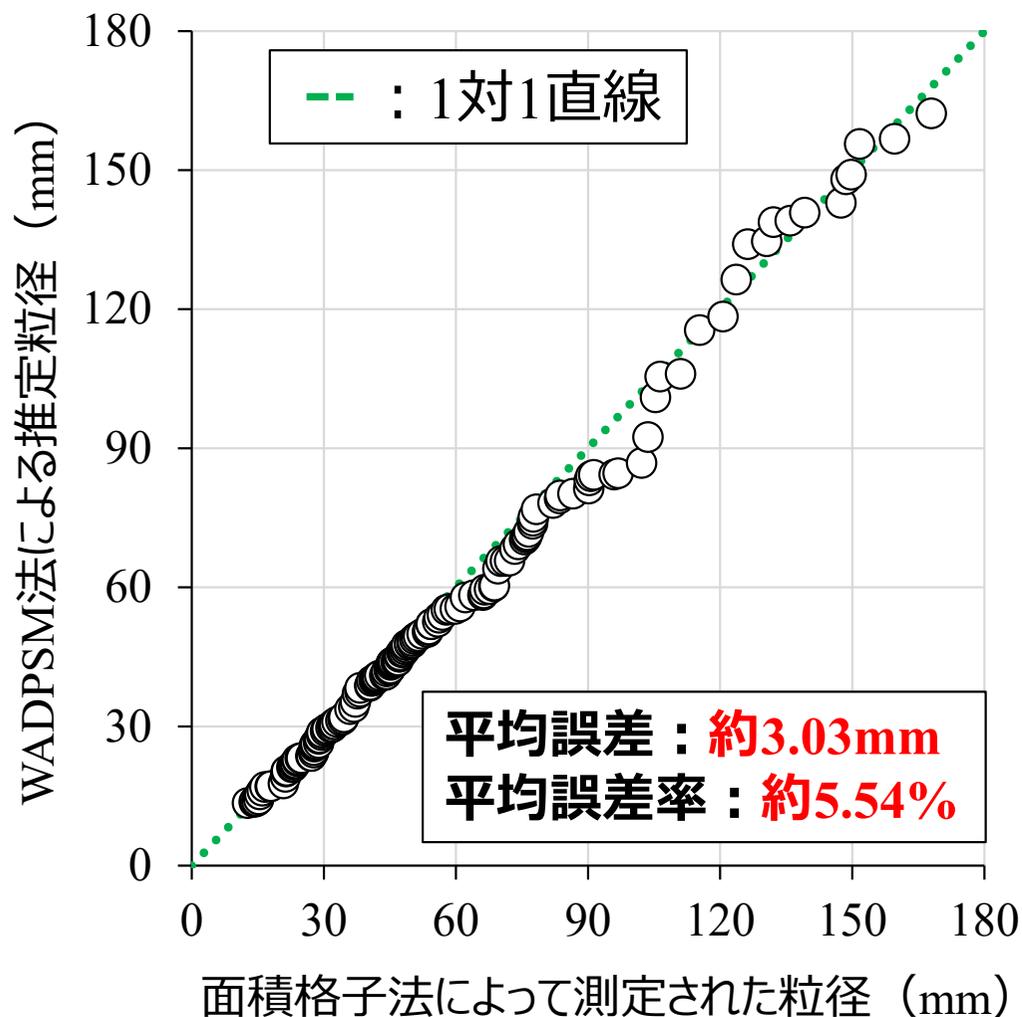


D60の誤差率：約2.13%

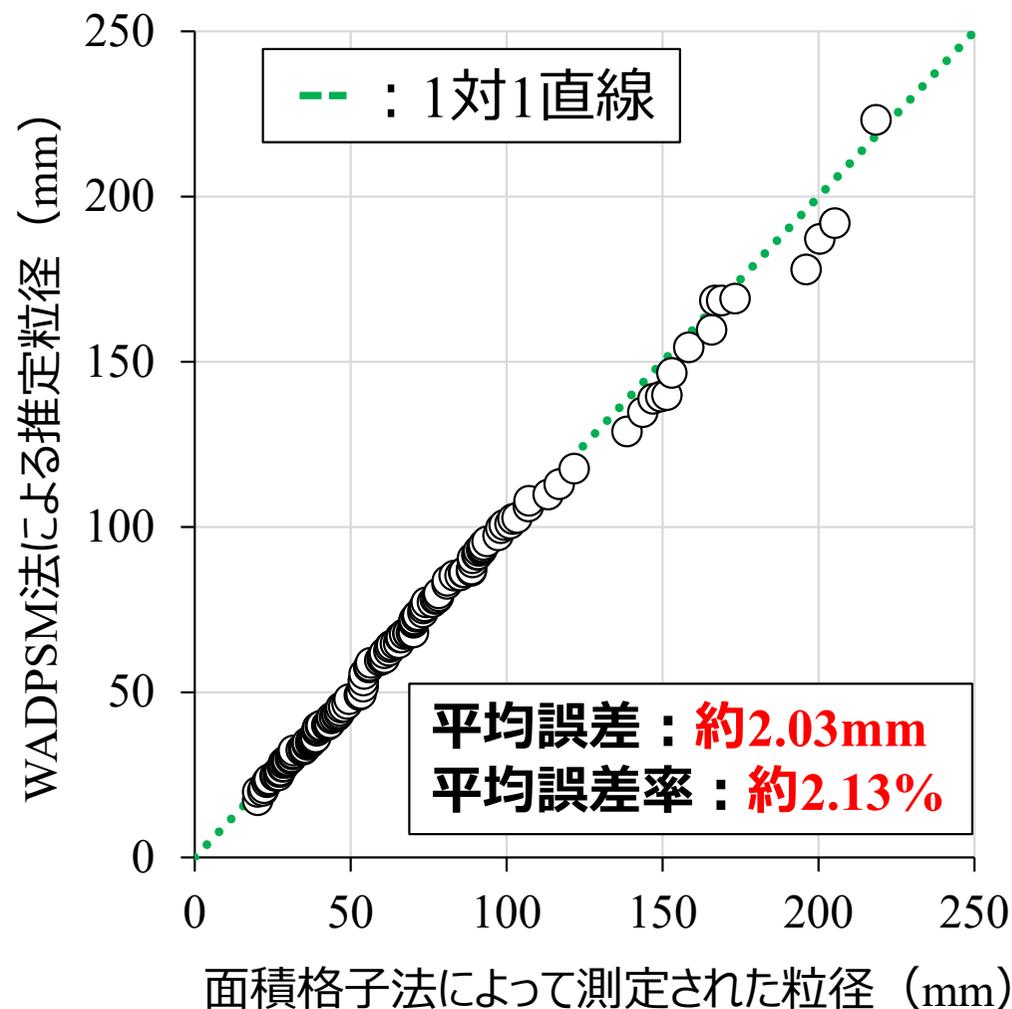
累積確率密度の、WADPSM法と面積格子法とのd60の誤差率は6%未満であった。また、各粒径階における誤差は3.5%未満であった

◆各手法で計測された同一河床材料粒径の比較

地点A：157サンプルを対象



地点B：147サンプルを対象



スプラッシュドローンで撮影された画像とUAV写真測量による推定水深から、河床表層の粒度分布を把握できることが示された。

本研究では、空中・水中両用ドローンを用いて河道内の粒度分布を把握する手法（WADPSM法）を検討した。

・この度の検討では、スプラッシュドローンは0.5m未満の水深での河床材料の撮影には適さないことが明らかとなった。

・河川内2地点の304サンプルを対象に、WADPSM法と面積格子法で河床材料の粒径の差異を比較した結果、**平均誤差は2.53mm**、**平均の誤差率は4.26%**であった。また、**d60の誤差率は6%未満**であった。

スプラッシュドローンで撮影された画像と撮影位置における水深から水面下河床の粒度分布を推定できることが示された。

UAV写真測量と空中・水中両用ドローンを組み合わせることで、河川内に侵入することなく効率的に水面下の粒度分布を測定できる可能性がある。