

I-13 OpenCV を用いた画像処理による

河床粒度分布調査および石礫検出精度について

Accuracy of Automated Grain Sizing on River Bed Using Image Processing by OpenCV

大橋慶介¹・安田真悟²・伊原一樹²

Keisuke OHASHI, Shingo YASUDA, and Kazuki IHARA

抄録: 作業負担の大きい河床材料の粒度分布調査を効率化することを目的とした「画像処理による自動粒度分布調査法を提案した。そのツールとして開発環境の統一を図り易いオープンソースの汎用画像処理ライブラリ OpenCV を採用した。各処理過程では、要求されるパラメータを具体的に示すことで応用を容易にしつつ、本手法が実務へ普及することを目指している。処理工程の中でも特に重要な二値化処理および輪郭検出について、最適なパラメータを検討した結果、画面全体において粒子の検出を網羅できるパラメータの組み合わせは存在しないことがわかった。この問題を解決するために、複数組のパラメータでの検出結果を統合し、その輪郭群を重心位置からクラス分類することで代表粒度分布を決定する手法を開発した。その結果、手動での輪郭検出と比較して、実用上十分な精度の粒度分布が得られることが明らかになった。

Abstract: We suggested that Automated Grain Sizing (AGS) using Image Processing by OpenCV. One of the purposes is to be more efficient at grain sizing, the other is to spread this AGS method in unified computing environment. In the most important procedure, thresholding and finding contours of grain boundary, there is no set of parameters which is able to find clear contour all over the image. A method is therefore tried to superimpose several contour images made by different combination of parameters, and the contours are classified as same grain or not with x-y coordinate of center of gravity. Thus we developed the AGS system that could measure accurately compared with manual contour detection.

キーワード: 画像処理・解析, OpenCV, 粒度分布調査

Keywords: Image Processing, OpenCV, Automated Grain Sizing (AGS), Grain Size Distribution

1. はじめに

河床粒度分布は河川・砂防工学において重要なパラメータであり、そのデータは粒度分布調査によって取得される。ここで粒度分布調査とは石礫粒子の標本採取（サンプリング）と粒子径を計測する粒度分析の2種類の作業を指す。その最も一般的な調査方法としては、面格子法や線格子法によるサンプリング法と、ふるい分け試験による粒度分析との組み合わせを挙げることができる。これらの方法は現地採取した河床材料を持ち帰り、試験室で粒度分析を実施するという2段階の作業が必要であり、そのどちらも時間と労力がかかるものである。作業量の少ない粒度分布調査法としては、撮影された写真から石礫粒子径を測定する「写真法」が挙げられる。デジタルカメラが普及する以前は、プランメータやデジタルタイザを利用してアナログ写真から石礫粒子の

面積や直径を計測する手法が用いられてきた。写真法では実際の石礫粒子を直接取り扱うことがないため、作業量の軽減が期待できる反面、河床表面の2次元データから3次元の物理量を見積もることに起因する系統誤差が必然的に存在する。ただ、デジタルカメラが普及した近年では、効率の観点からそれらの欠点を補って余りあるほど今後の発展が期待できる新しい技術である。

しかし、これまでの「画像処理法」による粒度分布調査に関する研究に共通することは、アルゴリズムが明らかでなかったり、パラメータが不明であったりすることである。これらのことが画像処理法の精度検証の蓄積を妨げ、技術が普及しない一因となっていると考えられる。そこで、本研究では画像処理法の実用性の高さを示すとともに、オープンソースの画像処理ライブラリ OpenCV を使い、その処理過程で使用した関数のパラメータを明らかにするこ

1 : 正会員 博士(工学) 岐阜大学 助教 工学部社会基盤工学科
(〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, Tel :058-293-2477, E-mail : ohasikei@gifu-u.ac.jp)

2 : 学生会員 工学士 岐阜大学大学院 工学専攻科社会基盤工学専攻

とで処理環境の再現性を確保しつつ、実務レベルでの応用を目指すものである。

2. 画像処理法に関する既往の研究

初期の画像処理法による粒度分布調査としては、旧来のアナログ写真法の考え方の延長として、デジタル写真中の石礫の大きさを画像処理ソフトウェアによって計測する方法が提案されている。岡田、小林、小久保、華房、國友、安部、吉田¹⁾は国内において早い段階に水中撮影されたデジタル画像による粒度分布調査を試みている。前処理として明るさやコントラストを調整し、アンシャープマスキング・フィルタを使ってエッジを強調した後、画像処理ソフトで石礫の輪郭を手動トレースして形状を取得する方法を採っている。Casagli, Ermini, Rosati²⁾は地滑り堆積物中の粒度分布調査を行い、線格子法のみ、線格子法と容積サンプリング法の組合せ、および、デジタル画像による写真法と容積サンプリング法の組合せについて比較している。彼らは画像処理をしていないので、むしろ従来の写真法に近い考え方ではあるが、写真法の弱点である細粒成分の検出精度を補うために容積サンプリング法を組み合わせた方法を提案している。山崎、寺沢、福岡³⁾は河床材料調査の仕様書で定められているふるい分け試験ができない巨礫が存在する河川に対して画像処理法が有効な手段であることを示している。彼らは河床にコドライトを設置し、その枠が正方形になるように画像処理ソフトで調整して射影画像を得ている。そして、コンピュータの画面上で石礫の長径と短径を手動トレースして粒径データを取得する方法を採用している。梅津⁴⁾はCADソフトを使って石礫輪郭を手動によって取得する方法を提案している。このとき、デジタル画像の撮影時の歪みを取り除く目的で、2機のカメラを使ったステレオ撮影によってオルソフォトを作成し、それを粒子検出用の元画像としている。

画像処理法では重なり合った粒子の輪郭を判別することが難しいため、河床の画像を処理対象とするのではなく、個別の粒子を取り出して撮影する手法が提案されている。すなわち、撮影用のテーブルの上に石礫を配置し、その画像から自動で輪郭を取得するものである。これは機械工学や製菓分野での品質管理にしばしば応用されている方法である。青柳、田中、香取、久保田、竹澤⁵⁾は分析対象が海岸の砂成分であり、砂面撮影による粒子判別が困難であることから、斜面上に砂を滑らせてその動画をデジタルビデオカメラで撮影する方法を提案している。ひとつひとつの砂粒子が分離した状態で撮影されてい

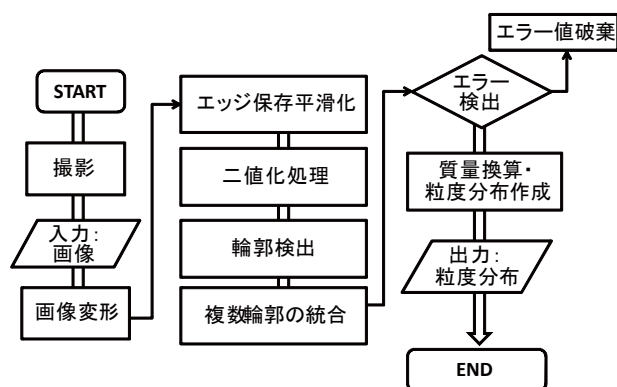


図-1 画像処理法による粒度分布調査の手順

れば、砂粒子の画素数から粒径を推定できる仕組みになっており、粒子が分離できていれば複雑なフィルタ処理や輪郭検出が不要であることを示している。Frey, Ducottet, Jay⁶⁾は同様に斜面に河床材料を水とともに流して動画撮影を行っている。このとき、斜面は透明材料で作られており裏側からライトが照らされている。その照明とビデオカメラの間を石礫が通過する形で撮影されることで、粒子形状が明瞭になるよう工夫されている。粒子の大きさは画素数から推定する方法を採っているが、特徴的なのは斜面を流れる際に複数の粒子が重なって撮影された場合、それらを分離するアルゴリズムを実装していることである。

河床を直接撮影し、重なり合った石礫粒子の輪郭を取得する方法として、内尾、中川、沢田、横山、上杉、福田⁷⁾による報告がある。河床面から石礫粒子を判別するには粒子の輪郭が明瞭である必要があるため、4方向のストロボを順に発光させて撮影した4枚の画像を合成して明瞭な輪郭を持った画像を作成する方法を提案している。また、Graham, Rice, Reid⁸⁾は Watershed アルゴリズムを使って輪郭を抽出する方法を提案し、河床を直接撮影する方法としては高い計測精度を実現している。同じく、Butler, Lane, Chandler⁹⁾は河床の凹凸を計測したデータと二値化処理画像とを合成し、Watershed 処理をして輪郭を検出する方法を提案している。彼らは異なる方法で得た情報を組み合わせることで輪郭検出の精度が上がる可能性を示している。

3. 粒度分布調査の方法

(1) 粒度分布調査法 (画像処理法) の手順

本研究での画像処理による粒度分布調査の手順を図-1 に示す。デジタルカメラでも鉛直下向きの河床撮影に始まり、続いて、その画像をコンピュータに取り込み変形を行う。この変形の目的は2つあり、

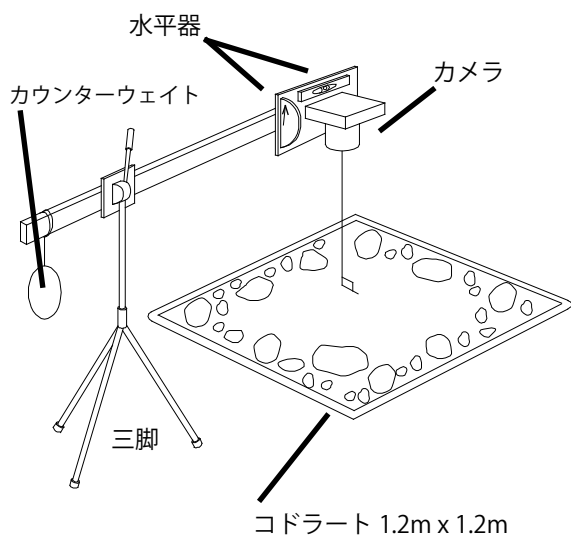


図-2(a) 河床撮影装置の概要



図-2(b) カメラ部分の詳細

第一にレンズの歪みを，予備実験で得た校正用パラメータを使って除去するものである．校正用パラメータは，複数の角度から格子状画像を撮影し OpenCV のレンズ歪みキャリブレーション関数へ与えたときの出力として得ることができる．

そして第二は，除去できていないレンズ歪みやカメラの設置角度に伴う誤差によって僅かに歪んだコドラートを射影変換によって正方形に変形するものである．平滑化処理は，大きな石礫粒子の表面や，輪郭が画像で確認できないほど小さな粒子が画像ノイズのような働きをして，以降の二値化処理や輪郭処理の誤検出の原因となることから，その影響を排除するための前処理である．このとき，色調や輝度の変化を滑らかにしながら，物体の輪郭情報の損失はできるだけ少なくできるエッジ保存平滑化を用いる．二値化処理は，次の輪郭検出処理に必要な白黒画像を生成するための処理である．輪郭検出処理は，



図-3(a) 河床の元画像



図-3(b) レンズ歪み除去後にコドラート領域を射影変換した画像

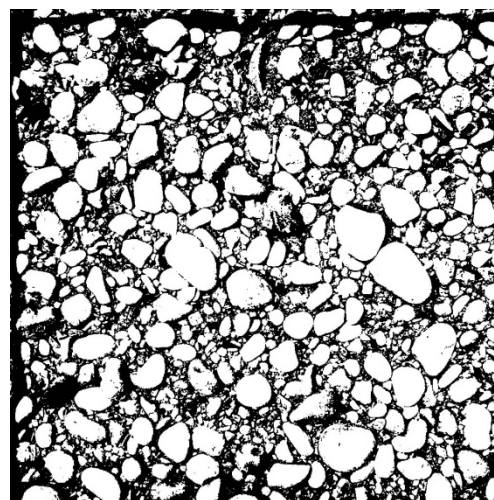


図-4 cvThreshold()関数による二値化画像 (閾値：平均輝度の 86)

白黒画像から輪郭の座標を出力するものであるが，その検出精度は二値化処理の段階でほぼ決定される．二値化処理に最適なパラメータは石礫粒子の大きさや輪郭の明瞭さによって異なる．すなわち，与えたパラメータによって得られる輪郭が異なるという現

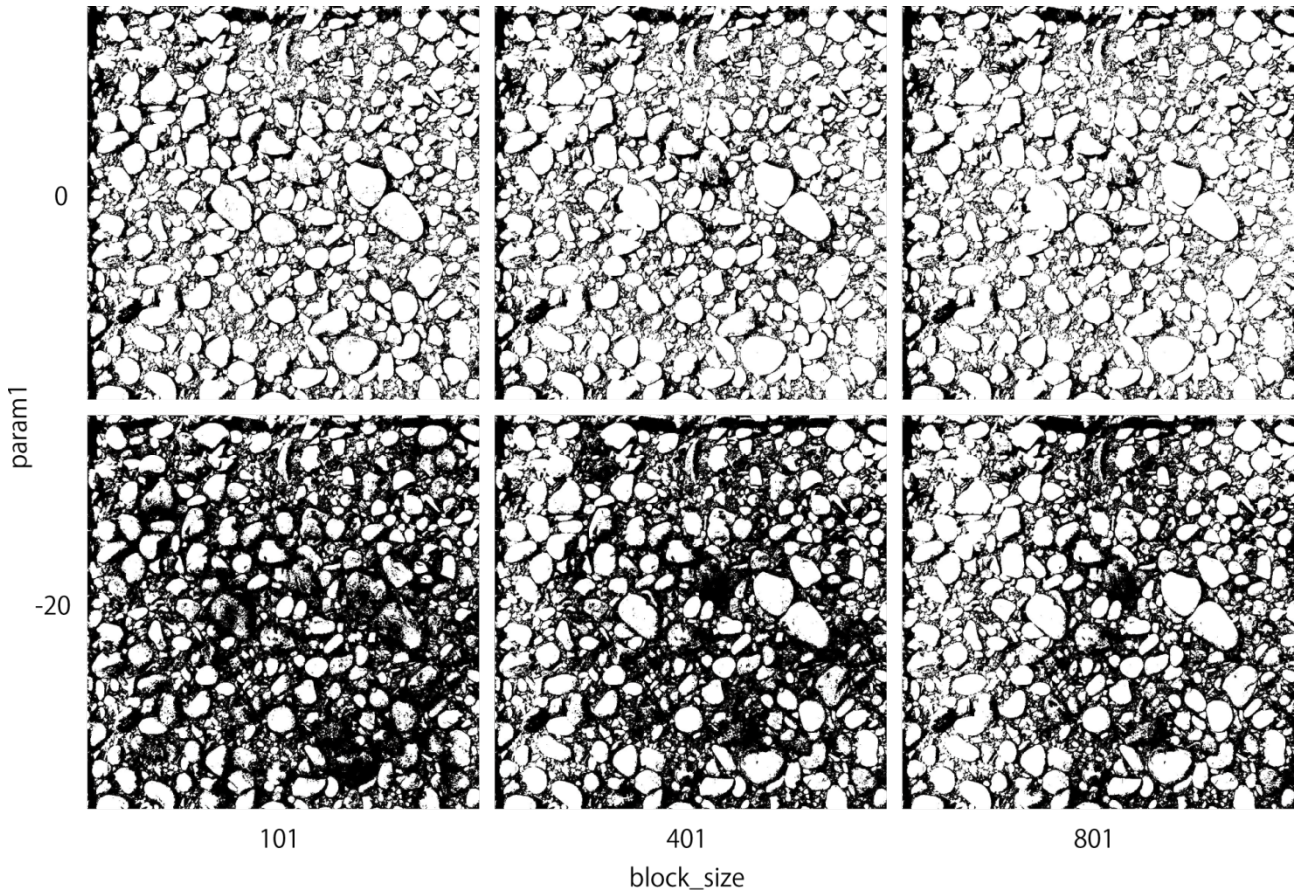


図-5 cvAdaptiveThreshold()関数の block_size と param1 による二値化の違い

象が発生する。詳細は後述するが、画面全体に亘って石礫を検出するには、複数のパラメータを与える必要があることから、結果として複数の輪郭出力が生じる。この複数の輪郭出力をひとつの画像として再統合する際に、クラスタリングによるクラス分類処理の後、石礫粒径と位置との幾何学的情報から検出エラーである石礫を判別し、最後にその結果を出力して全ての処理が終了する。

(2) 撮影方法

河床材料の撮影装置を図-2(a), (b)に示す。河床を鉛直下向きに撮影するためのカメラをアームに固定し、そのアームを三脚で支持している。河床に設置された1.2 m四方のコドラートは粒子径の大きさを相対的に測る基準であると同時に、レンズ歪みを除去した効果を確認する目安としても利用されている。コドラートの大きさは、粒子標本の平均径の両側測定誤差内に95%の確率で存在しうるためには、標本数が50程度必要である¹⁰⁾ことから、50個以上の粒子が十分収まる面積を確保できるサイズとして決められている。このときの撮影条件を表-1に示す。カメラとアームの間には2つの水平器が取り付けられたボードが設置され、カメラが水平になるよ

表-1 撮影時のカメラの設定

項目	内容
カメラ・レンズ	PENTAX K20D 18 mm-55 mm, F3.5 - 5.6
焦点距離	18 mm
シャッタースピード	1/125
絞り	F22
撮影モード	絞り優先プログラム
ストロボ発光	あり
ファイル形式	JPEG
画像サイズ	4672 × 3104 ピクセル

う調整されている。同様にコドラートも水平に設置され、コドラートの中心付近を鉛直下向きに撮影するように設定されている。カメラはノートパソコンとUSBケーブルで接続され、カメラの付属ソフトによって撮影モードやシャッター操作が制御される。こうして撮影された画像が図-3(a)であり、この画像のレンズ歪みを除去した後、コドラート内の領域を1024×1024ピクセルに射影変換した画像が図-3(b)である。この射影変換にはcvGetPerspectiveTransform()関数を用いてコドラートの4つの頂点から透視変換行列を求め、cvWarpPerspective()関数によって中心投影変換している。なお、元画像に対して

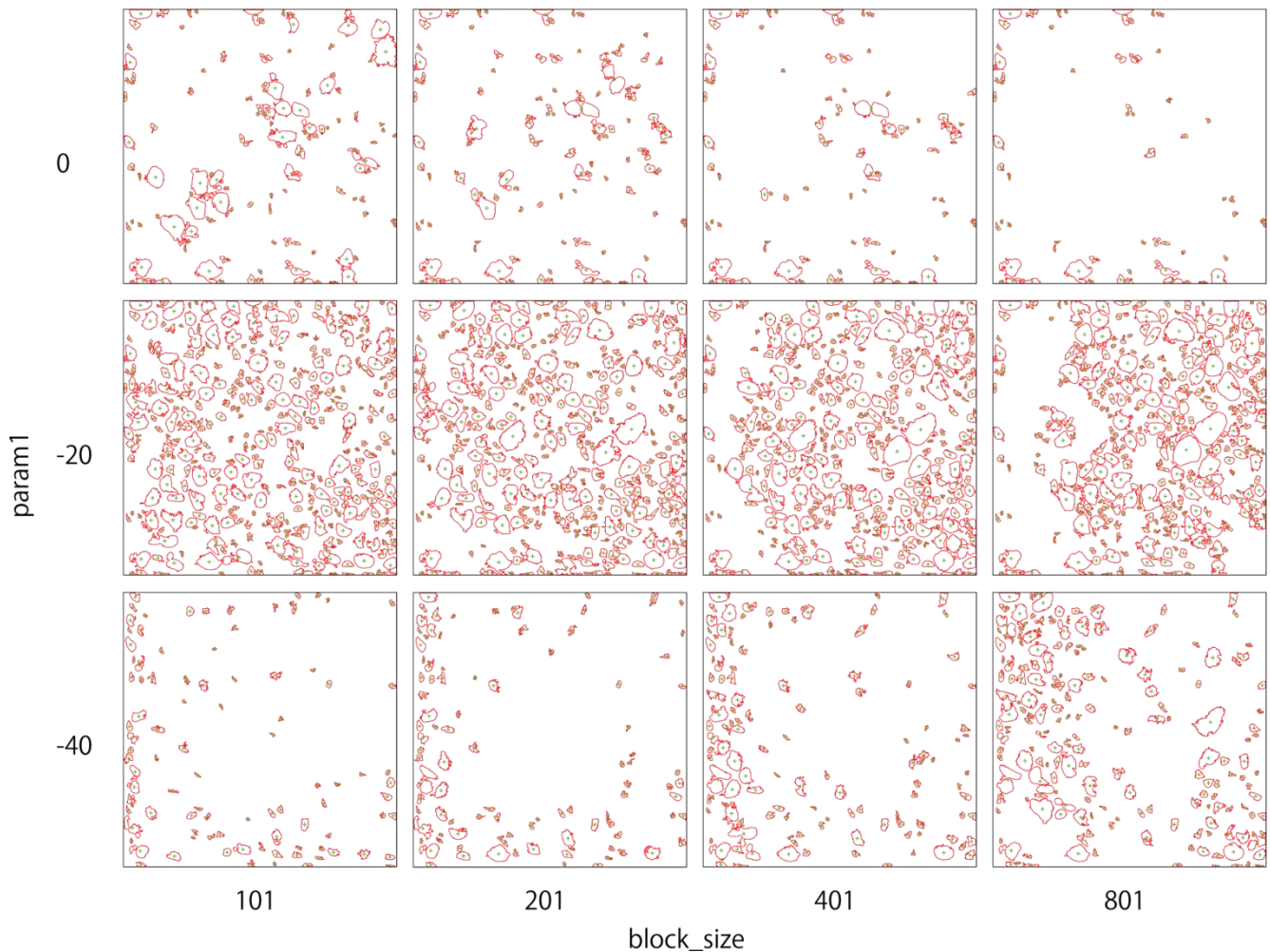


図-6 cvAdaptiveThreshold()関数の block_size と param1 による輪廓検出結果の違い

表-2 主な関数とその効果

関数名	関数の効果
cvSmooth()	エッジ保存平滑化
cvAdaptiveThreshold()	適応型（動的）二値化
cvFindContours()	輪廓検出
cvSeqPartition()	クラス分類

色調の加工はせず、撮影したままの状態を用いている。

4. 処理に用いる OpenCV の関数とその引数について

本研究では OpenCV の ver. 1.1 pre1 を使用し、画像処理プログラミングには C++ を用いた。ここで使用した主な関数を表-2 に示す。エッジ保存平滑化処理で用いる cvSmooth() 関数は、引数に CvArr* クラスの元画像 src、同じく CvArr* 型の出力画像 dst、平滑化の種類を指定する整数型 smoothtype、整数型

param1, param2, double 型 param3, param4 の 6 つを要求する。ここでは、エッジ保存平滑化であるバイラテラルフィルタ¹¹⁾を使用するため、smoothtype= CV_BILATERAL とし、フィルタサイズを決める param1, param2 をそれぞれ 9、色領域と空間領域を決める param3, param4 をそれぞれ 1 と試行的に決定した。適応型（動的）二値化処理¹²⁾の cvAdaptiveThreshold() 関数は、引数に CvArr* 型の元画像 src、出力画像 dst、double 型 max_val, int 型 adaptive_method, threshold_type, block_size, double 型 param1 の 7 つを要求する。ここで、max_val=255, adaptive_method=CV_ADAPTIVE_THRESH_MEAN_C, threshold_type= CV_THRESH_BINARY とし、block_size, param1 は可変としている。輪廓検出処理¹³⁾の cvFindContours() 関数は、引数に IplImage* 型の画像, CvMemStorage* 型の storage, CvSeq** 型の firstContour, int 型 headerSize, CvContourRetrieval-Mode 型 mode, CvChainApproxMethod 型 method の 6 つを要求する。ここで出力輪廓を繋ぐ方法を指定す

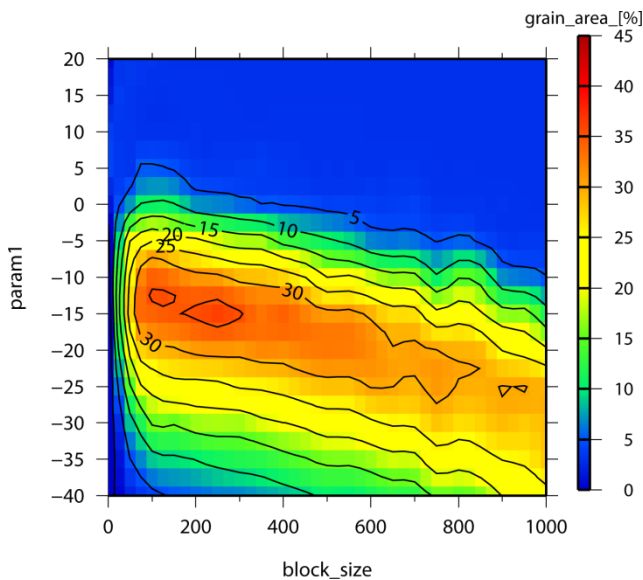


図-7(a) block_size と param1 による石礫検出面積

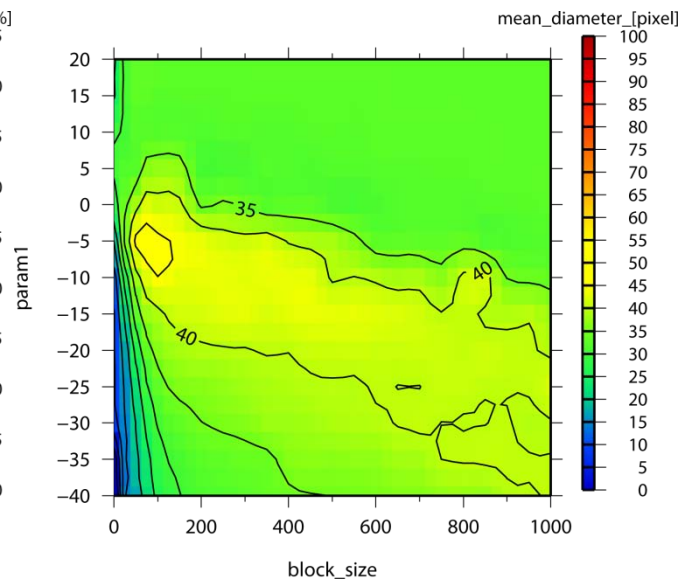


図-7(b) block_size と param1 による検出粒子平均径

る method を CV_RETR_CCOMP とすると最も良い結果が出力された。クラス分類¹⁴⁾の cvSeqPartition()関数は、引数に const CvSeq*型 seq, CvMem Storage*型 storage, CvSeq**型 labels, CvCmpFunc 型 is_equal, void 型 userdata の 5 つを要求する。is_equal は輪郭の重心間距離を、userdata はその閾値を可変として与えた。

5. 輪郭検出精度の検証

(1) 輪郭検出の特徴

輪郭検出には cvFindContours()関数を用いる。引数は抽出法を指定する mode に CV_RETR_CCOMP, 近似手法を指定する method に CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE の組み合わせの外は期待する石礫状の輪郭出力が得られなかった。この cvFindContours()関数では輪郭検出結果に影響を及ぼす引数の検討の余地は無く、輪郭検出の精度は実質的に前処理である二値化に依存している。その二値化処理の関数は 2 種類存在し、それらは画面全体に対して一つの閾値で二値化する cvThreshold()関数と、任意サイズの領域内輝度分布から最適な閾値を決める cvAdaptiveThreshold()関数である。通常、河床の画像は局所的に明暗が混在しているため、1 つの引数で二値化する cvThreshold()では画面全体で石礫形状を抽出することはできない。その例を図-4 に示す。一方、cvAdaptiveThreshold()は、適切なフィルタサイズを与えることで局所的な明暗に対応した石礫形状を抽出できるものの、2 つの引数 block_size と param1 が必要となる。block_size は二値化する画素の閾値として参照する領域の大きさであり、param1 は参照

領域の平均輝度から差し引く輝度値であり、この 2 つが結果を大きく左右する。残りの引数の重要性は低く、最適化法を指定する adaptive_method は CV_ADAPTIVE_THRESH_MEAN_C を、閾値処理の種類 threshold_type には CV_THRESH_BINARY を与えている。

(2) 二値化パラメータと輪郭検出について

ここでは輪郭検出の精度を実質的に決定する適応型二値化 cvAdaptiveThreshold()に与える 2 つのパラメータの最適値について検討する。

a) 二値化パラメータと検出面積および平均粒径

block_size と param1 の組み合わせによる二値化処理の違いを図-5 に示す。block_size が 101 から 801 と大きくなるにつれ画面全体はやや明るくなって、みかけの粒子径が大きくなるのがわかる。一方、param1 が大きくなると画面は非常に明るくなって、石礫形状が際立つものの、石礫輪郭が消えて隣接する石礫と区別がつかなくなるケースも目立つ。同様に、block_size と param1 の組み合わせによる cvFindContours()の出力輪郭とその重心位置の違いを図-6 に示す。param1 が 0 のときは block_size に関わらず検出石礫数は少ない。param1 が -20 のときは 0 のときより多くの粒子が検出されているが、block_size によって検出される数と位置が異なっているのがわかる。傾向としては、block_size が大きいほど検出粒子径が大きくなっている。この傾向を詳しく調べるために、block_size を 11 から 101 まで 10 ピクセルごと、101 から 1001 まで 100 ピクセルごとに変化させ、param1 を -40 から +20 まで 5 ずつ

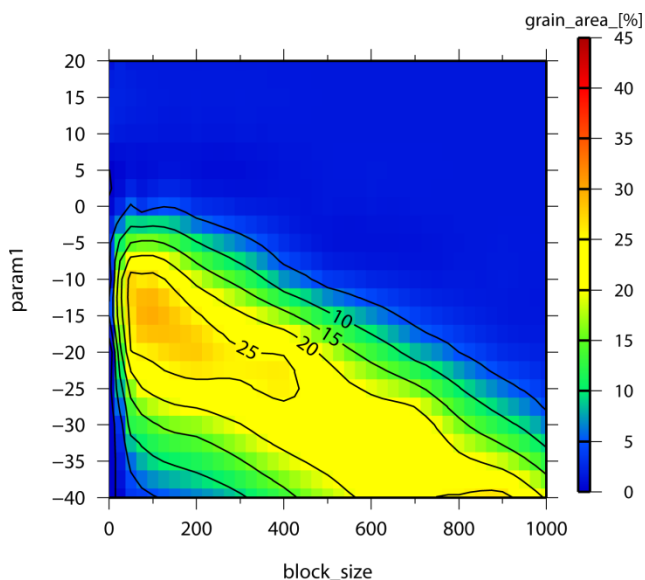


図-8(a) 小さい画像 (512×512 ピクセル) での block_size と param1 と石礫検出面積

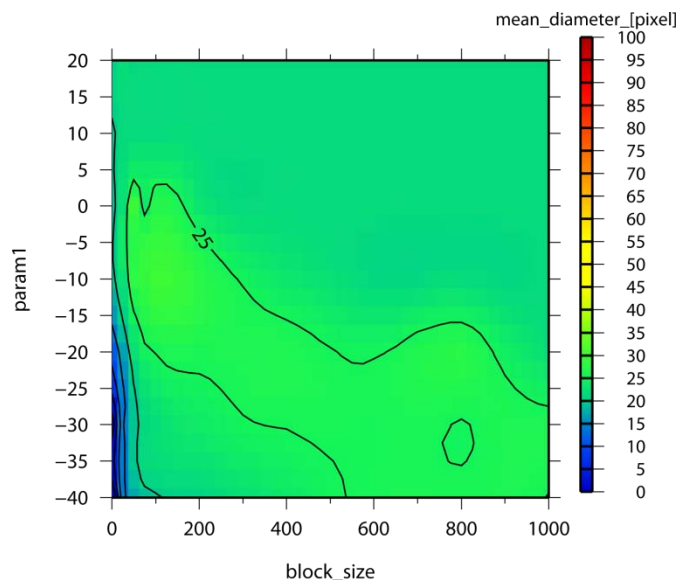


図-8(b) 小さい画像 (512×512 ピクセル) での block_size と param1 と検出粒子平均径

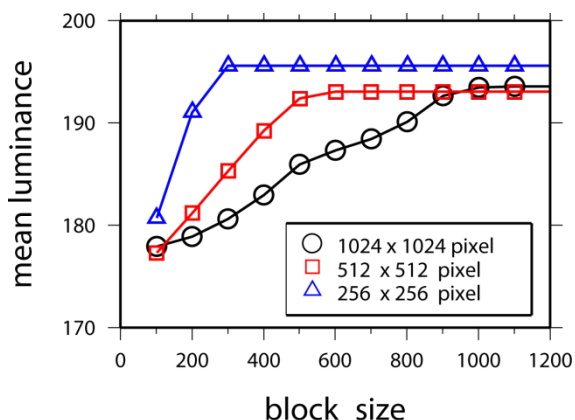


図-9 block_size 値と二値化処理後の平均輝度の関係 (画像サイズ 1024×1024, 512×512, 256×256 ピクセルでの比較)

つ変化させたときの画面領域に対する検出石礫面積の割合を 図-7(a) に、平均粒径を 図-7(b) に示す。石礫検出面積は block_size が 100 から 300, param1 が -15 付近で最も大きくなり、面積・平均粒径ともに分布が右下がりになっていることがわかる。一方、検出石礫の平均粒径は block_size が 100, param1 が -10 から -5 付近で最も大きくなり、こちらも右下がりの分布形となっている。これらの要因として画像サイズ、石礫粒度分布、画像の輝度分布の複合的な理由が考えられるため、次項では変更した画像サイズによる検証を行う。

b) 元画像の大きさと検出面積および平均粒子径

1024×1024 ピクセルの元画像を半分の 512×512 に縮小したものについて同様の検討を行い、その結

果を 図-8(a), (b) に示す。粒子面積の割合は 512×512 の画像では 図-7 と比較して小さくなっていることがわかる。対して、平均粒径は相対的に半分の大きさになっているはずであるが、逆に相対的な大きさは増加している。これは、画像が小さくなると粒子径の小さな石礫から検出不能となり、相対的に大きな粒子の検出率が高くなったためであると考えられる。また、右下がりの分布の傾きが 1024×1024 の画像より大きくなっていることがわかる。これは、画像サイズに対する block_size の相対的な大きさが 2 倍になったことで、画面端の非常に暗い部分を検出しやすくなっていることによるものと思われる。つまり、画面端が暗くなる光学的な特性から、画面端が閾値参照領域に含まれると領域内平均輝度が小さくなり、それに伴って閾値も小さいものが採用される。閾値より大きな輝度はすべて輝度 255、すなわち、白に変換されるため結果として画面全体は逆に明るくなることが考えられる。これを確かめるために、block_size と二値化処理後の画面平均輝度の関係を画像サイズごとに表したものを 図-9 に示す。block_size が増加すると平均輝度は増加し、block_size が画像サイズと等しくなったときに、適応型二値化でありながら、通常の二値化と同等の働きになって輝度が収束することがわかる。このことは、 図-8(a) で block_size が画像サイズの 512 に近づくと検出面積の変化が無くなることと同じ理由である。また、その増加割合は画像サイズが小さいほど急であって、 図-7 と 図-8 の分布の違いと一致する。これらを総合すると、できるだけ画像サイズを大きくして、粒子径に対する解像度を高くするこ

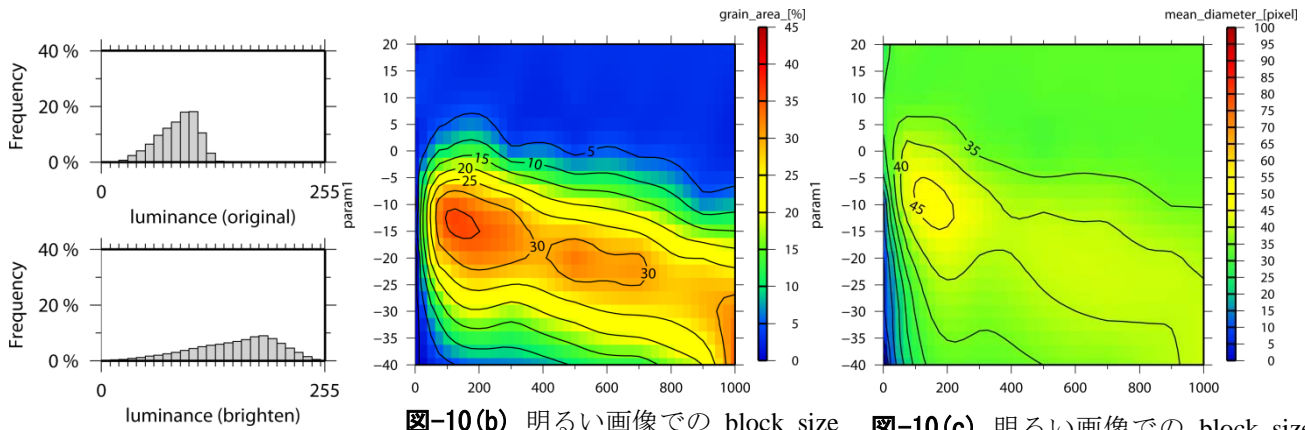


図-10(a) 元画像と明るい画像のヒストグラム
 図-10(b) 明るい画像での block_size と param1 と石礫検出面積
 図-10(c) 明るい画像での block_size と param1 と検出粒子平均径

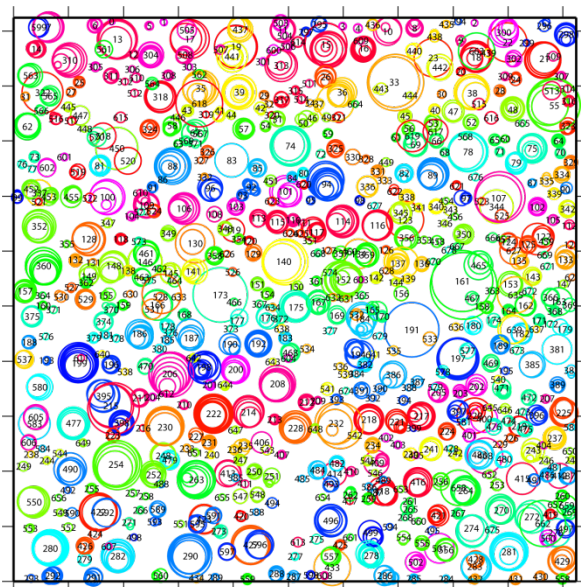


図-11(a) cvSeqPartition()関数による同値クラス分類の結果

とが検出精度を上げるうえで重要であることがわかる。

c) 画像輝度と検出面積および平均粒子径

ここでは画像の輝度がカメラの設定や撮影条件によって明るくなった場合を想定し、比較的暗め撮影されていた元画像を Adobe Photoshop CS4 の自動コントラストを使ってダイナミックレンジを広げた画像を用意した。なお、Photoshop は粒度分布調査には使用していない。このときの元画像と輝度変換後のヒストグラム、および、検出石礫面積の割合と平均粒径を図-10(a), (b), (c) に示す。元画像に対して検出石礫の割合、平均粒径ともに block_size が 100 から 300 付近で値の大きな領域が param1 の負の方向に広がるが、block_size が 300 より大きくなると逆に値の大きな領域は小さくなっている。param1 の負

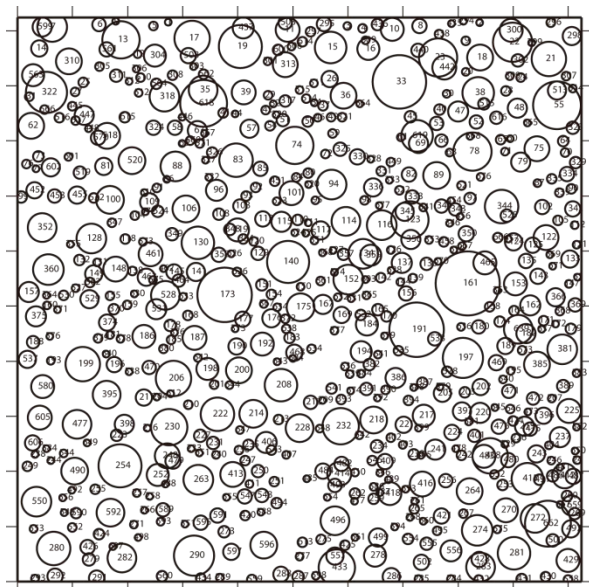


図-11(b) 同値クラスの石礫と同じ面積を持つ円として表現された石礫

の方向へ分布が広がった理由には、輝度分布が明るい側に広がったことで、平均輝度に対して暗かった石礫の検出が可能になったと考えられる。また、右下がりの傾向は元画像と同じであり、このことから画像サイズのみ依存する傾向であることが示唆される。

6. クラス分類処理による複数輪郭の統合

ここまでの二値化パラメータの検討において、特定の block_size と param1 の組み合わせによって画面全域の石礫の検出はできないと確認された。画面全域で輪郭を得るために、ここでは block_size と param1 のいくつかの組み合わせから得られた輪郭情報を統合したものから、粒度分布を求める手法を提案する。図-7 の検出面積のグラフにおいて

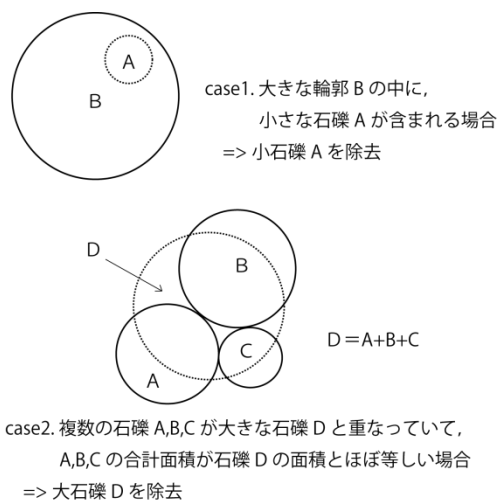


図-12 幾何学的フィルタの条件

block_size を一定として、param1 を変化させた場合を考えると、block_size=101 付近では、param1 が 0 のとき検出面積は約 10 % である。block_size が -15 でピークの約 45 % となり、-35 で再び 10 % に戻る。これと図-6 と見比べると、param1 が 0 のときは、大きめの石礫が検出されるがその総面積は小さい、-20 のとき画面全域に石礫が検出され、-40 のとき 0 や -20 の場合と異なる箇所が検出されることがわかる。このことは、block_size を固定して、param1 を変化させて得た複数の輪郭情報を統合すればよいことを表し、そのときの block_size は図-7, 8, 10 のいずれにおいても高い値を示している 101 付近を採用すれば良いことがわかる。

輪郭情報には輪郭の 2 次元座標とその重心点座標を利用する。その輪郭の中には本来同一である石礫の輪郭が複数の検出結果に含まれていることがあるので、同一の石礫の輪郭を見分ける必要がある。そこで、要素の集合を同値クラスとして分類する関数 cvSeqPartition() を利用する。引数の is_equal は比較する 2 つの重心点間のユークリッド距離とし、もう一つの引数 user_data は同一石礫と見なす場合の重心点距離の閾値を与える。このクラス分類処理において、同じ粒子であると判断された各輪郭の円相当径平均を求め、同値クラスとされた輪郭を同じ色とラベル番号で区別し、同値クラスの粒子と同面積の円として表現したものを図-11(a) に示す。図-11(b) は平均粒径の結果である。これをみると、石礫表面の模様を別の石礫と誤検出し、大きな石礫の中に小さな石礫があるケースや、本来 2 つの粒子が二値化パターンによっては 1 つの粒子として認識されるケースも存在する。これらの検出エラーを取り除くために、OpenCV の関数とは別に独自の幾何学的な条件を設定し、それによるフィルタリングを行った。

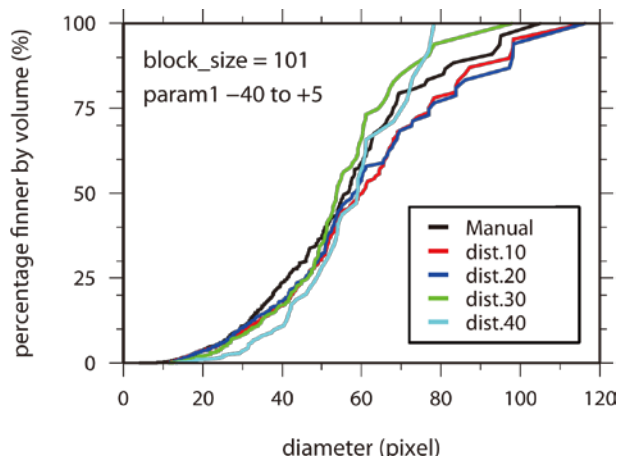


図-13(a) 二値化パラメータ block_size=101, param1=-40~+5, is_equal=10~40 および手動輪郭取得による粒径加積曲線

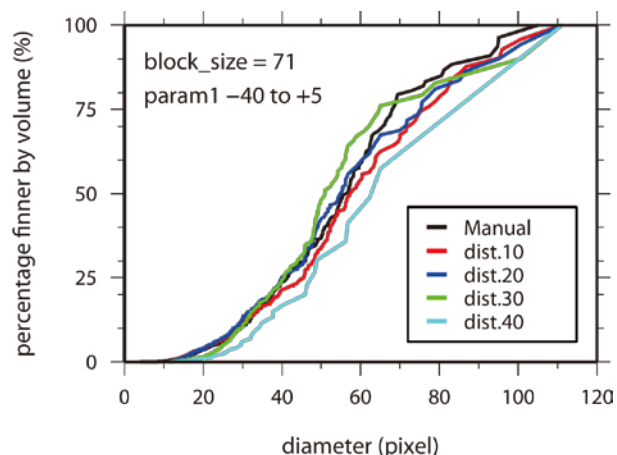


図-13(b) 二値化パラメータ block_size=71, param1=-40~+5, is_equal=10~40 および手動輪郭取得による粒径加積曲線

その幾何学的条件とは図-12 に示すように、粒子径を表す円に内包される小さな円は除去すること、または、大きな円の中に複数の円が存在し、かつ、それら複数の円の合計面積が大きな円にほぼ等しいことの 2 つである。

7. AGS と手動輪郭取得による粒度分布の比較

クラス分類と誤検出を除去した石礫粒径から粒度分布を計算したものと、真値と仮定する手動による輪郭検出から得たデータとの比較を行った。二値化パラメータ block_size=101, param1=-40~+5, クラス分類パラメータであるユークリッド距離 is_equal=10~40 の粒径加積曲線を図-13(a), block_size=71, param1=-40~+5, is_equal=10~40 を図-13(b) に示す。block_size=101 では、is_equal=10 のとき真の粒度分布に最も近く、is_equal が大きいケースでは 25 % 粒径までの割合が

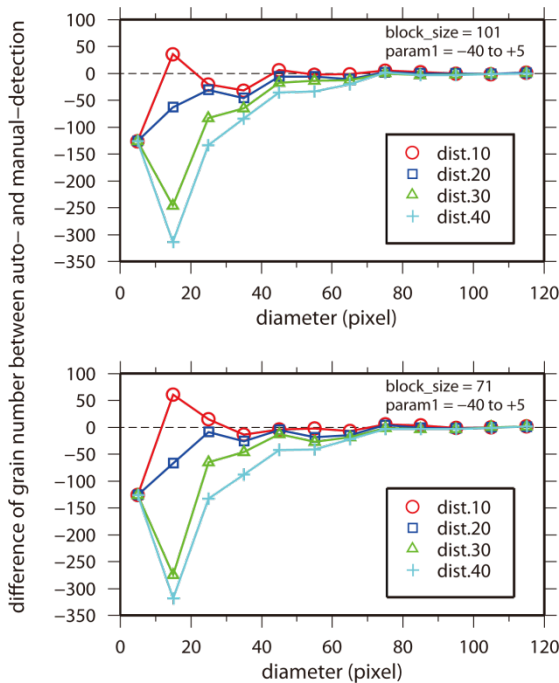


図-14 block_size, is_equal の違いによる検出粒子数と手動検出による粒子数との差

小さくなっている。block_size=71 では 70% 粒径付近で全ての is_equal において過小評価となっている。これらの粒径毎の粒子数の差を図-14 に示す。2つの block_size の全てのケースにおいて、粒径 0~10 ピクセルでは-130 個ほど少なく検出されている。粒径 10~20 ピクセルでは is_equal=30 および 40 については過小評価、10 では過大評価、20 はその中間で若干過小評価となっている。粒径が大きくなるにつれて手動検出との差が小さくなるのは全ケースで共通の傾向である。これらを総合すると、block_size=71, is_equal=20 が最も真値と近い結果となっている。50% 粒径の約 60 ピクセルと block_size=71 は比較的近い値ではあるが、検証ケースが少ないため確かなことはわからない。今後はこれらの関係を多くの現地調査から明らかにしていく必要がある。

8. おわりに

本研究で明らかになった項目について述べる。

- OpenCV の関数のみを利用した画像処理法による粒度分布調査が可能であることを示した。
- 各処理過程における関数の引数について、具体的におおよその値を示すことができた。
- 複数の二値化・輪郭検出処理結果を統合して、粒度分布を推定する手法を提案した結果、手動検出結果との普通目盛りでの粒径加積曲線において、平均粒径に対して 5% 程度の誤差となり、十分実用的な精度を実現できた。

- 二値化処理、分割処理におけるパラメータ決定の根拠については、理論的な説明ができておらず、今後多くの現地調査を経て知見を積み重ねる必要がある。

謝辞：本研究は科学研究費（若手(B)）「土砂流出ポテンシャルパワーを用いた小規模流域における土砂流出特性の評価」（課題番号 21760384）の成果の一部である。

参考文献

- 1) 岡田拓也, 小林範之, 小久保英博, 華房康憲, 國友優, 安部剛, 吉田健志: 画像解析による河床材料調査の可能性, 河川技術に関する論文集, 第 6 巻, pp. 351-356, 2000 年 6 月.
- 2) N. Casagli, L. Ermini, G. Rosati: Determining grain size distribution of the material composing landslide dams in the Northern Apennines: sampling and processing methods, *Engineering Geology*, Vol. 69, pp. 83-97, 2003.
- 3) 山崎憲人, 寺沢直樹, 福岡捷二: 巨石を含む広い礫径分布を有する礫床河川における粒度分布調査手法, 河川技術論文集, 第 13 巻, pp. 141-146, 2007 年 6 月.
- 4) 梅津健一: 2次元ポリゴン解析ツールの開発とその利用例, GIS-理論と応用, Vol. 15, No. 2, pp. 75-80, 2007 年.
- 5) 青柳明, 田中勝也, 香取完和, 久保田進, 竹澤三雄: 砂粒径分布の画像解析手法の開発, 海洋開発論文集, 第 15 巻, pp. 231-236, 1999 年 5 月.
- 6) P. Frey, C. Ducottet, J. Jay: Fluctuations of bed load solid discharge and grain size distribution on steep slope with image analysis, *Experiments in Fluids* 35, pp. 589-597, 2003.
- 7) 内尾政人, 中川一, 沢田豊明, 横山康二, 上杉満昭, 福田義徳: 画像処理方式による礫床河川の粒度分布測定装置の開発, 砂防学会誌, Vol. 58, No. 2, pp. 26-31, 2005 年.
- 8) David J. Graham, Stephen P. Rice, Ian Reid: A transferable method for the automated grain sizing of river gravels, *Water Resources Research*, Vol. 41, W07020, 2005.
- 9) Justin B. Butler, Stuart N. Lane, Jim H. Chandler: Automated extraction of grain-size data from gravel surfaces using digital image processing, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 39, No. 4, pp. 1-11, 2001.
- 10) 河村三郎, 小沢功一: 山地河川における河床材料のサンプリング方法と粒度分布, 土木学会誌, 55-12, pp. 53-58, 1970 年.
- 11) C. Tomasi, R. Manduchi: Bilateral filtering for gray and color images, *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Computer Vision, Bombay, India*, 1998.
- 12) A. Jain: *Fundamentals of Digital Image Processing*, Englewood Cliffs, pp. 540-553, 1986.
- 13) Satoshi Suzuki, Keiichi Abe: Topological structural Analysis of digitized binary images by border following, *Computer vision, graphics and image processing*, Vol. 30, 32-46, 1985.
- 14) T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest: *Introduction to Algorithms*, MIT Press, pp. 440-460, 1990.

(2010. 5. 28 受付)