

低高度空中写真を用いた表層土壌材料の面的変化特性把握手法の開発と河川環境調査への適用可能性

傳田正利* 天野邦彦** 時岡利和***

1. はじめに

砂州上の表層土壌材料の面的変化（以下、表層土壌分布とする）を把握することは、河川工学・生態学上、重要な課題である。礫河原再生等の自然再生事業を例にとれば、植物群落の定着に表層土壌分布は重要な因子であり、表層土壌分布の把握は、事業実施による良好な成果を得るための重要な情報となる可能性が高い。

デジタル空中写真、高解像度の人工衛星画像の供給等、近年の測量技術発展は、物理環境情報の広域な把握¹⁾や物理環境の面的変化が生物群集生息に与える影響の解明に大きく貢献している。この技術を活用し、物理環境の面的変化が生物生息状況に与える影響について興味深い先行研究がなされている^{2),3),4)}。その中で、表層土壌分布に関しては、航空機によるデジタル空中写真（対地高度1,000m、地上解像度約15cm）の画像処理データ（DN値）から画像分類技術により、表層土壌分布を推定する先駆的な試みがなされ、面的な表層土壌分布の把握が可能であることを示している⁵⁾。

先行研究の取り組みを更に発展させ、表層土壌分布（砂州上の礫の空間分布、その特性）、混合率（礫間隙内のシルト・砂の状態）を把握するのに有力なのは、欧米で開発され普及化が始まったラジコンヘリコプタによるデジタル低高度空中写真（以下、D空中写真とする）である。D空中写真は高い解像度、デジタル化された画像であるため、地表面の状態を鮮明・正確に記録する。また、画像はデジタル化され種々の画像解析技術を適用しやすい特性を持つ。

しかし、D空中写真は、近年開発・普及化がはじまった技術であるため、既往研究では、D空中写真に画像解析技術を適用し表層土壌分布、混合率推定手法を検討した事例は少ない。特に混合率まで把握できるような詳細な表層土壌分布図作成

（以下、高精度表層土壌分布図）の取り組みを検討した事例は殊更少ない。

このような背景から、本研究では、GIS・画像解析技術をデジタル空中写真に適用し、高精度表層土壌分布図作成手法の開発を試みるとともに、デジタル空中写真の河川環境研究への利用可能性を検討することを目的とする。

2. 研究の方法

2.1 調査地の概要

調査は信濃川水系千曲川で行った。本河川は流域面積7,163km²、流路延長214km、甲武信ヶ岳（標高2,475m）から長野盆地を流下し新潟県境に入り信濃川と名前を変える。調査地は千曲川の中流部に位置する鼠橋付近（長野県埴科郡坂城町、E138° 10", N36° 25", 以下、調査地とする）で行った。調査地の河床波形態は複列砂州で、砂州上・水中ともに主な土壌材料は礫である。比高の高い中州や高水敷上には、ハリエンジュ、ヤナギ等の植物群落が発達している。

調査地の中で、明瞭な砂州が形成され瀬淵構造が発達した区間を重点区間として選定し、D空中写真撮影を行った。

2.2 D空中写真の撮影及び現地データの収集

2005年2月8日に調査地のD空中写真の撮影を行った。D空中写真撮影は、ラジコンヘリコプタを用いて撮影（対地）高度30m、コース間隔約20mで行った。飛行コース、撮影計画、計測パラメータ等の航空測量の諸元は、D空中写真の地上解像度が0.1m以下になるように設定し撮影した。

2005年2月9日に、D空中写真による表層土壌分布の精度検証のため10地点に0.5×0.5mのコードラートを設置し、表層土壌材料を地表高1mからデジタルカメラで撮影し、ディファレンシャルGPS（以下、DGPSとする）で位置座標を記録した。

2.3 データ解析

(1) モザイク画像の作成及び解析対象エリアの抽出

モザイク画像作成には、画像処理ソフト（以下、画像ソフト）を用いた。D空中写真を画像ソフトへ取り込み撮影順に整理した。整理した各画像の重複部を把握し、重複部があるD空中写真を主にヒストグラム一致法（隣接する画像の重複部分の画像が一致するように一方の画像の濃淡レベルを変換する手法）で接合した。接合対象部の色調が明瞭に一致しない場合には、解析対象である表層土壌に重点をおき色調補正を行い画像を接合した（以下、接合画像とする）。接合画像の幾何補正のため、現地測量で把握した基準点座標（GCP：Ground Control Point, 以下、GCPとする）と接合画像上にあるGCPポイントの画像を関連付け、幾何補正を行った。

水域・植物群落等の他の画像データが表層土壌分布の解析に影響を与えないように、水域・植物群落が繁茂するエリアを目視により抽出・除外し、礫・細粒分のみが分布するエリア（以下、対象エリアとする）の画像だけを作成した。

(2) 解析対象エリアの設定

接合画像を作成し対象エリアの礫・細粒分の分布形態を比較した結果、対象エリアでは、場所により礫・細粒分の分布形態（礫の密度、粒径等）が著しく異なっていた。そのため、対象エリアか

ら典型的な礫・細粒分の分布形態である4つのエリアを解析対象エリアとした。対象エリアと解析対象エリアの概要を図-1に示す。

エリアAは粒径200mm程度の礫が疎に分布し、大礫の間に小中礫や細粒分が堆積していないエリアである。エリアBはシルト・細粒分で覆われた平面上に粒径50~100mm程度の中礫が点在するエリアである。エリアCは粒径50~100mm程度の中礫が密に分布し礫の間に更に細かい小礫や細粒分が堆積しているエリアである。エリアDは粒径100~200mm程度の大礫が疎に分布し、表層を覆う礫の下には同様な粒径の土砂が堆積しているエリアである。

各解析対象エリアに次節で示す高解像度表層土壌分布図作成手法を適用し、特性の違うエリアでの手法の有効性を検証した。

(3) 高解像度表層土壌分布図作成手法の開発

接合画像では、粒径100mm以上である個々の礫の輪郭線が認識可能であったため、礫周辺部のデータを活用し、以下の手順で、個々の礫配置を抽出する方法を検討した。解析は画像解析の特殊な用語を用いるため、解析流れ・解析段階の図を図-2に示す。

①分析対象エリアを中心として、画像ソフトのエッジ検出機能を用いて礫輪郭線の検出画像を作成した。

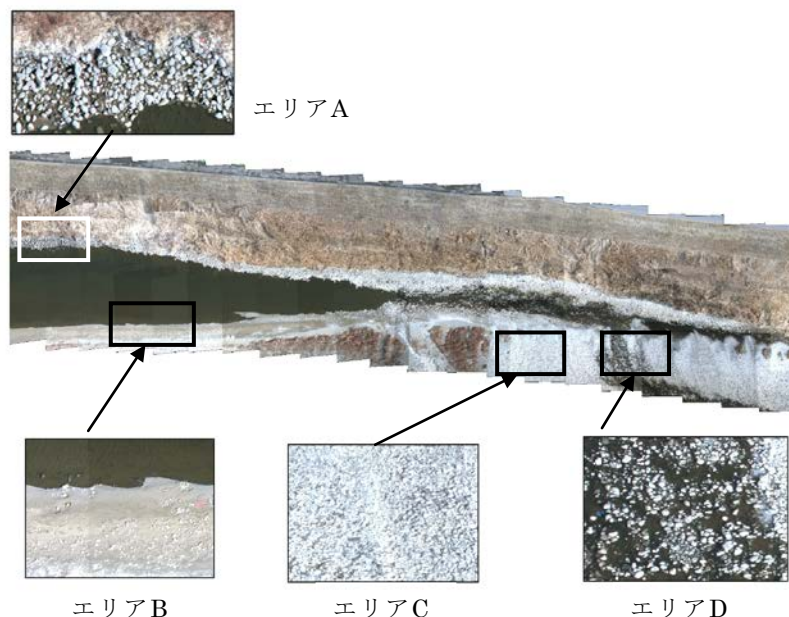


図-1 解析対象エリアの概要

② 検出画像のRGBバンドの内、最も礫の輪郭線の検出精度が高いG（グリーン）バンドだけを抽出した。

③ Gバンド画像で礫の輪郭線に焦点をあてた2値画像を作成した。2値画像とは画像構成するピクセルの標本値が特定の閾値の範囲にある時に「1」、閾値の範囲外にある時に「0」として2値化し、特定の対象を強調する画像をいう。本研究の場合、抽出対象は礫の輪郭線であるため、個々のピクセルのGバンド値が礫の輪郭線と判断できる場合、ピクセル値を「1」、礫の輪郭線ではない場合、ピクセル値で「0」とする2値画像を作成した。

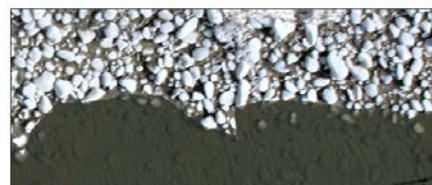
2値画像の作成時、Gバンド画像から抽出するピクセル値の閾値検討には、GIS（ESRI社 ArcGIS Ver9.1）を用いて行った。GIS上にD空中写真とGバンド画像をインポートし、D空中写真の上にGバンド画像をオーバーレイした。Gバンド画像をピクセル値による分類し、礫の輪郭線と明瞭に重なるGバンドのピクセル値の範囲を閾値とした。今回の解析ではピクセル値20～80を礫輪郭線の閾値とした。

④ 2値化画像を細線化処理した。細線化とは、二値画像を幅1ピクセルの線画像に変換する処理である⁶⁾。この処理により、複数ピクセルが集合し帯状に構成された礫の輪郭線が細い線状になり、GIS上でベクタデータに変換することが容易になると考えられた。

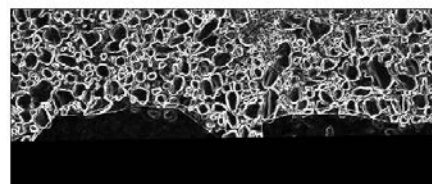
⑤ ラスタ形式であった細線化画像をGISへ取り込みベクタ変換しポリゴン化（GIS内で「面」を扱うための多角形）した。以下、礫ポリゴンと記述する。

(4) 高解像度表層土壌分布図の精度検証

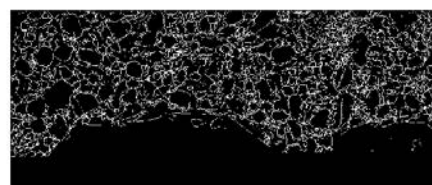
高解像度表層土壌分布図の精度検証は、3つの観点から行った。第1の観点として、解析対象エリアの全体の礫分布形態を抽出しているかどうかを検証した。各解析対象エリアのD空中写真と高解像度表層土壌分布図を並べ比較した。第2に、高解像度表層土壌分布図の礫の輪郭線が正しく抽出できているかを検証した。第1の観点と同様に、各解析対象エリアのD空中写真上の礫の輪郭線と高解像度表層土壌分布図の礫の輪郭線を比較し、その精度を検証した。第3の観点として、高解像度表層土壌分布図の礫の輪郭線が閉じたポリゴン



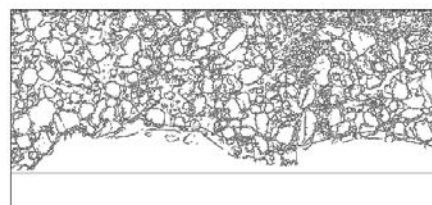
撮影した
空中写真



礫輪郭線
の抽出
(①, ②,
③)



2値化画像
を細線化
(④)



GIS上でラスタからベクタデータ
の作成 (⑤)

図-2 表層土壌分布図作成の流れ

になっているか、実際の礫と同様の形状をしているかを検証した。高解像度表層土壌分布図上で礫を表していると判断されるポリゴン（以下、礫ポリゴンとする）を抽出しポリゴン内を塗りつぶした。その後、D空中写真と比較し礫ポリゴンが実際の礫の形状を表現しているかを検証した。

第1、2の観点に関しては、同一解析対象エリアのD空中写真と高解像度表層土壌分布図（D空中写真上へ画像解析結果をオーバーレイした状態）を並べ比較する方法で行った。第3の観点に関しては、高解像度表層土壌分布図上の礫ポリゴンを個々に選択し礫ポリゴンと対応するD空中写真上の礫を目視で検索し、礫ポリゴンの抽出状態、礫ポリゴンの形状を検証した。

3. 結果

3.1 解析対象エリア全体の礫分布形態の抽出結果の検証

図-3～6に、エリアA、B、C、DのD空中写真と高解像度表層土壌分布図の比較を示す。高解像度表層土壌分布図では、個々の礫の周縁部抽出に概ね成功した。この結果、第1の観点として重要

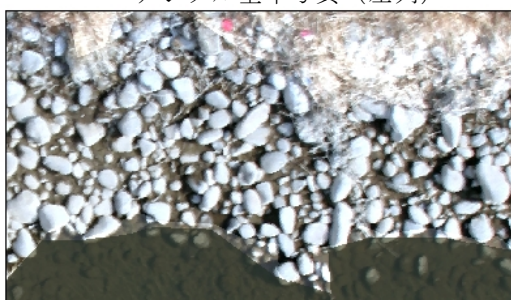
な、礫の分布傾向把握の可能性を示す結果になった。

特に、礫の分布傾向把握を把握できたのは、図-3に示すエリアAである。本研究で提案する手法は、エリアAに点在する主要な大礫（200mm前後）の周縁部に黒い線を描き、その間隙にある50～100mm前後の中礫の周縁部に合致する黒い線を描いていた。この黒い線だけを俯瞰的にみれば、エリアAの礫の分布傾向を把握していると考えられる。

図-4～6に示すエリアB、C、Dの高解像度表層土壌分布図では、礫周縁部抽出時に課題があった。エリアB、C、Dでは、礫の周縁部近くに、複数の黒い線が引かれ、礫の分布傾向が明瞭にならない問題があった。

図-4～6に示すエリアB、C、Dの高解像度表層土壌分布図では、礫周縁部抽出時に課題があった。エリアB、C、Dでは、礫の周縁部近くに、複数の黒い線が引かれ、礫の分布傾向が明瞭にならない問題があった。

デジタル空中写真（左列）



高解像度表層土壌分布図（右列）

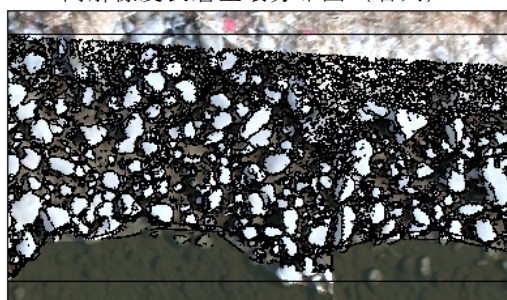


図-3 解析対象エリアAの空中写真と礫輪郭線の抽出結果

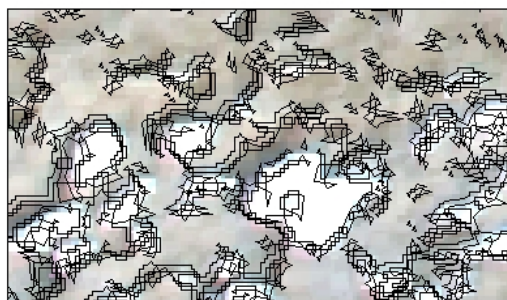
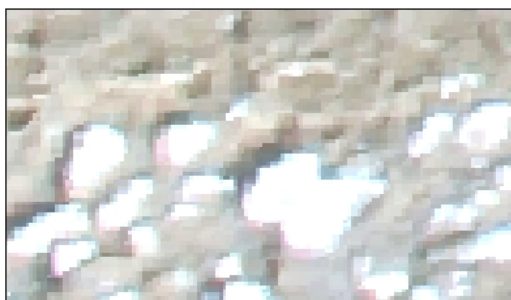


図-4 解析対象エリアBの空中写真と礫輪郭線の抽出結果

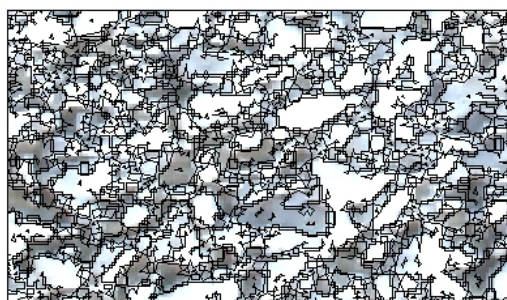
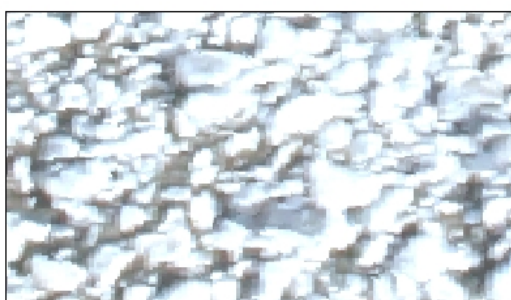


図-5 解析対象エリアCの空中写真と礫輪郭線の抽出結果

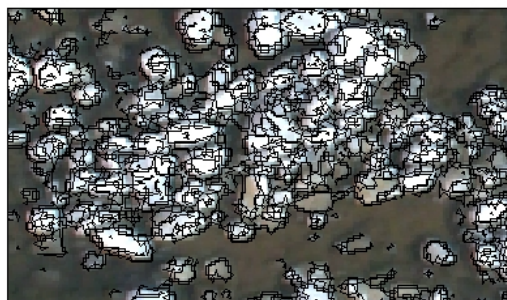
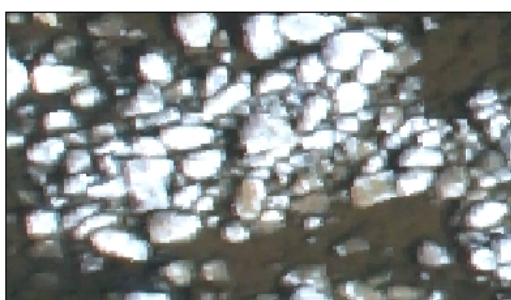


図-6 解析対象エリアDの空中写真と礫輪郭線の抽出結果

※縮尺は図-3～6で異なる

3.2 礫の輪郭線抽出結果の検証

図-3～6にエリアA、B、C、DのD空中写真と高解像度表層土壌分布図の比較を示す。礫の輪郭線の抽出結果は、各エリアで異なる結果を示した。

礫の輪郭線が比較的良好な結果を示したのはエリアA、Dであった(図-3、図-6)。礫と背景のコントラストが良好なエリアA、Dでは、礫の輪郭線は明瞭な線分として変換された。しかし、高解像度表層土壌分布図の一部では、輪郭線は複数の黒い線が引かれ、礫と礫の判別が難しく、礫の輪郭線が抽出が出来ない結果となった。

エリアB、Cでは、その問題がより顕著になった(図-4、図-5)。エリアB、Cでは、一部の礫の輪郭線が抽出されない結果が見られた。その結果、異なる礫同士が接合し、複数の礫にまたがる一つの輪郭線として認識されるような結果があった。

3.3 礫ポリゴンの形状の検証

図-7にエリアAにおける礫ポリゴンの形状抽出結果を示す。他のエリアと比較して、良好に礫の輪郭線が抽出出来るが多かったエリアAでは、一部の礫の形状が礫ポリゴンとして、良好に抽出出来た。抽出に成功し、D空中写真上の礫と形状が類似していたものを白抜き丸に、礫ポリゴン同士の分離ができず礫の形状がきれいに抽出できなかったものをグレーで示す。

礫の形状を抽出できた礫ポリゴンはD空中写真上で判読できる礫の形状とほぼ同等の形状で礫の輪郭線及び礫の表面を再現しているのがわかる。礫同士の分離が出来なかった礫ポリゴンも全く類似しない形状をしているのではなく、輪郭線抽出の失敗によりうまく分離出来なかった複数の礫が一つの礫ポリゴンになる結果となった。

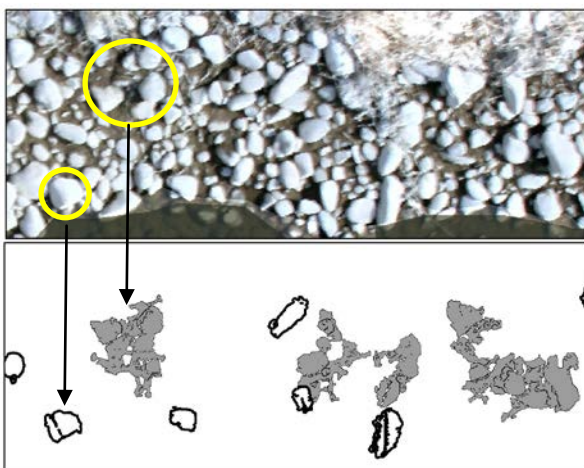


図-7 礫ポリゴンの形状検証結果

4. 考察

4.1 本研究による高解像度表層土壌分布図の有効性の評価

今回の検討の結果、本手法は、礫の分布傾向を把握すること、個々の礫の境界線が明瞭に視認できるようなエリアでの礫の輪郭線抽出・ポリゴンへの変換は可能であると考えられた。しかし、D空中写真の画質(コントラスト等)によっては適用できない画像があることがわかった。エリアB、Cのように礫の粒径が小さく、礫が重なりあって堆積している場所や、礫と背景のコントラストが明瞭でない場所では、礫の輪郭線抽出が行えない問題点が残った。このため、以下の項では、上記の問題点の生じる原因とその解決に向けての課題を整理する。

4.2 本手法が適用できないエリアでの問題とその解決策

本手法で礫の輪郭線が抽出出来なかった技術的原因は、輪郭線が抽出のために設定したGバンドの閾値の設定(以下、閾値設定と記述する)に問題があったためと考えられる。本手法の閾値設定では、一つの閾値設定で、エリアA～Dを解析し、礫の輪郭線抽出を試みた。しかし、エリアA～Dの画像は、礫と礫下での水域の有無、細粒土砂の充填具合が異なる。そのため、各エリアの画質(コントラスト等)が異なっている。

エリアAが他のエリアと比較し、良好な結果を示したのは、以下の理由による。大礫の大半は、他の大礫と距離を置き分布し、礫の間には水域がある。そのため、大礫と背景である水域の色調は著しく異なり、輪郭線を抽出するための閾値設定が明確であったためである。一方、エリアB～Dでは、大礫の間に細粒分・小中礫が存在し、輪郭線に該当する閾値設定がエリアAほど明瞭に出来なかった。そのため、輪郭線の2重化などの問題が生じた。

この課題の解決策は、以下の方法が考えられる。第1には、解析対象エリアをその画質に合わせ分割する方法である。D空中写真の場合、1枚の写真内でも画質(色調など)が微妙に異なる場合が多い。そのため閾値設定は、より細かい設定が求められると考えられる。第2には、抽出する礫の対象を限定することである。本研究の閾値設定で

は、礫の閾値を全てのエリア、粒径を対象に設定した。しかし、第1の解決策であるエリアの分割後に、D空中写真の中で抽出したい礫の対象を限定することで、閾値設定が明確になり、その対象とする礫を抽出しやすくなると考えられる。

このように、画像解析は、対象とする材料の特性（画質）とその不均質性を考慮に入れ、解析を行うことが重要となる。これには、多くの画像を対象に本研究のような取組を行うことが必要となる。画像解析の河川環境研究への適用性を向上させるためには、本研究で示したように、河川管理などで撮影されるD空中写真を画像解析の技術を用いて定量的に解析し、その解析事例を積み重ねることが必要となる。そのためには、河川管理の現場、研究分野の人間が連携をしながら画像解析の試みを実施することが必要となると考えられる。

5. まとめ

- (1) D空中写真、画像解析（エッジ強調、2値画像、細線化処理）、GISを用いて高解像度表層土壌分布図の作成手法を検討した。その結果、粒径100mm以上の個々の礫の輪郭線、その形状を把握できる高解像度表層土壌分布図の作成に概ね成功した。
- (2) 本研究で提案する手法は、礫の輪郭線の抽出に一部問題を有していた。問題の主たる要因は、画像解析時の閾値設定であり、解析対象範囲を画質により限定すること、抽出する礫の対象を限定することで、精度向上の可能性について考察した。

謝 辞

国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所の

職員及び更埴漁業共同組合の組合員の方々には調査期間中、様々な面で便宜を図っていただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) John, G. L, Ross S.L, and Donald C.W.: Airborne Multispectral Scanner Data for Evaluating Bottom Sediment Types and Water Depths of the St. Marys River Michigan, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.58, No.7, pp.601-639, 1992.
- 2) Heder, R. D, Dodson J.J, Bourque J-F, Bergeron N.E, and P.E. Carbonneau: Improving models of juvenile Atlantic salmon habitat use through high resolution remote sensing, Ecological modeling, Vol.197, No.3-4, pp.501-511, 2006.
- 3) David J.G, Corine D. And Andrew N.T.: The use of remotely sensed data Detect channel hydromorphology ; River tunnel, Scotland, River research and Applications, Vol.20, pp.795-811, 2004.
- 4) Dale A.B.: Macroinvertebrate response to land cover, habitat, and water chemistry in a mining-impacted river ecosystem: A GIS watershed analysis, Aquatic Science, Vol.67, pp.403-423, 2005.
- 5) 佐野滝雄、沼田洋一、大野勝正、福島雅紀：航空写真データの解析による河床材料区分の試行、応用生態工学学会第10回研究発表会講演集、 pp.261-262、2006
- 6) 高木幹雄、下田陽久：画像解析ハンドブック、東京大学出版会、2004

傳田正利*



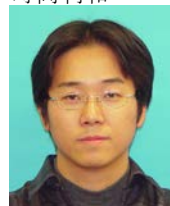
独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水環境
研究グループ河川生態
チーム 研究員、博士
(工)
Dr. Masatoshi DENDA

天野邦彦**



国土交通省国土技術政策総合研
究所環境研究部河川環境研究室
長、博士（工）（前独立行政法
人土木研究所つくば中央研究所
水環境研究グループ河川生態
チーム 上席研究員）
Dr. Kunihiko AMANO

時岡利和***



環境省水大気環境局水環境課
（前独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水環境研究
グループ河川生態チーム 研
究員）
Toshikazu TOKIOKA