

8. 1 河川環境の総合的な評価指標・評価手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：三輪準二、中西哲、赤松史一

【要旨】

本研究では、交互砂州が発達するセグメント 1 を対象に、典型的な河床構造である瀬淵構造を抽出する手法の開発を行った。河川に生息する水生生物の生息域を規定するため、瀬淵構造は河川環境を考える際に重要な指標のひとつである。しかし、瀬淵構造を把握するにはコスト面の問題が生じる。そのため近年取得されているレーザープロファイルデータを使用し、瀬淵構造の広域的な抽出手法について検討を行った。瀬淵の判読には、レーザープロファイルの広域データを内挿することで得られた標高値の局所勾配を用いた。その結果、瀬淵構造の抽出は可能であるが、フィルタリング等の処理が必要なこと、また空中写真からは判読できないような小領域の構造を把握することなどがわかった。

キーワード：瀬淵構造、レーザープロファイルデータ、IDW 内挿法、GIS、リモートセンシング

1. 背景

本研究では物理指標を用いて河川環境を評価する技術の確立を目指す。ここでいう物理指標とは、河川に生息する生物が生息する上で基盤となるものである。そのため、主に生態学の分野で生物の生息種や量とその生息場となる物理環境との関係性について研究がなされてきた。しかし、これらの研究は限られた領域についてなされてきたのがほとんどである。河川環境を評価するには、河川全域といわないまでも、ある程度広域にわたって物理環境がどれくらい存在するか定量的に抽出・評価する技術が必要となる。そこで本年度は我が国河川の典型的な景観構造のひとつである瀬淵構造に着目し、その構造を抽出する技術について検討を行った。

瀬淵構造の形成は、洪水中に形成および移動した砂州地形によるものであり、平水時になると、砂州の前縁部では水深が浅く流速が速い瀬となり、砂州の深掘部では淵となる¹⁾。また同時に砂州を形成する河床材料の平面的な分級作用によって、瀬では比較的粗い礫が河床材料の主成分となり、淵では細かい砂や有機物などが堆積する²⁾。このように河川水域内に異なった環境をみることができ、また瀬と淵に生息する底生生物群集が大きく異なることや、魚類にとって産卵・生育等に瀬淵が重要となることから、生態学の分野で積極的に研究が行われてきた³⁾。

しかしながら瀬淵構造について、河道全域を対象とした定量的な評価をおこなった研究はあまりない。その理由

として、河道全域にわたる調査には、多大な労力が必要となることが挙げられる。またほかの理由として、瀬と淵の境界が調査を行う人の主観により異なるため、絶対的な量を評価することが決めにくい点もあるであろう。瀬淵の区分方法については、見解が分かれるところであるが、勾配は重要な要素の一つであることは間違いない。

こういった問題を解消するため、リモートセンシング技術を利用した河川内構造の区分に関する検討が行われている。代表的な方法としてあげられるのは、空中写真もしくは衛星写真の色調を利用した区分法である。写真による判読は、瀬は波立つことで白みがあり、淵は穏やかなため色調が暗くなることを利用して、瀬淵の判読を行う。しかしながら太陽と撮影位置の関係から生じるハレーションや、撮影の日時や天候によって色調が変化することなど、撮影された写真を修整・加工して解析を行わなければならない。

他のリモートセンシング技術として、航空機によるレーザープロファイル（以下LP）データの取得が挙げられる。LPによる地形測定の詳細は、文献^{4) 5)}に詳しいが、その効果は高精度の3次元データを広範囲・高密度で計測可能なことである。LPは照射したレーザーの対象物からの反射波の時間差を計測するため、一般的に水域部では、水中へ照射レーザーが吸収されてしまうことや、鏡面反射によって計測が困難とされてきた。しかし、Maslovら⁶⁾は、一定以上の入射角があれば反射率は弱まるものの水面の計測は可能であることを示した。このことは、さざ波が

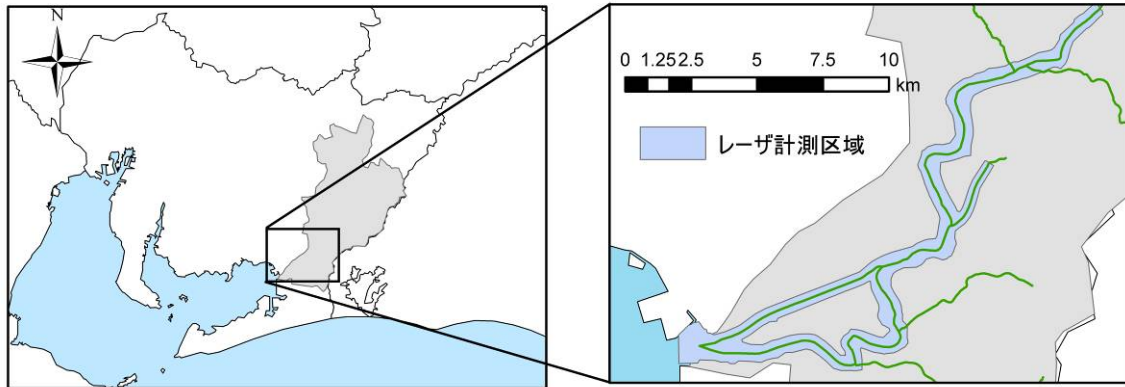


図-1 豊川の概観およびレーザー計測区域

立つような瀬では、データの密度は低下するものの水面計測が可能であることを示している。またEnglish⁷⁾はオレゴン州のSandy Riverにてトータルステーションによる現地標高測量とLPデータを比較し、2手法に高い相関(決定係数 $R^2=0.94$)みられ、水面のLPデータの精度もある程度確保されることも示した。

以上の研究成果に鑑み、LPデータによる勾配を基準とした河川内構造を抽出すること、また平面的な分布を抽出することで瀬淵構造の定量的な評価も可能ではないかと考え、河川縦断形状および平面形状において瀬淵構造の抽出についての検討を行った。

近年我が国の河川域においてもLPによる計測が行われており、全国的なデータが整備されている。今回はそのうち平成19年度に計測された愛知県豊川において計測されたLPデータを使用した。

2. 手法ならびに前処理

2.1 対象河川区域

図-1に本研究の元となるデータの計測範囲を示す。データは河川縦断方向に河口から約27.5KPまでであり、堤防から堤内地に向かって150m程度の余裕領域が確保されている。計測総面積は約24.5km²で、計測密度は2.54個数/m²であり高密度に測定されたデータである。豊川は10KP付近まで感潮域であり、また25KP付近には牟呂松原頭首工が存在する。そのため典型的な瀬淵構造が見られる区間は10KP～25KPだと考え、この区間における瀬淵構造について検討を行った。また豊川は下流で本川と放水路が分岐するが、本研究では放水路は対象外とした。

2.2 使用データ

LPの三次元座標データは、作成過程の段階によりオリ

ジナルデータ、グラウンドデータ、メッシュデータに区分される。オリジナルデータは、測定されたデータが指定の誤差範囲内に収まるように確認・修正されたデータであり、ファーストパルスやラストパルスといった複数の三次元データであることが多い。グラウンドデータはオリジナルデータから橋梁や植生などを除外するフィルタリングを施したものである。またメッシュデータはグラウンドデータに内挿処理を施し、任意仕様の間隔にデータが配置されるよう処理を施したものである。今回用いたデータは、地表面の標高値であるグラウンドデータを用いた。

LPデータと同時に撮影された空中写真(オルソ処理済み)から、水域部ポリゴンの作成および空中写真から判読できる瀬と淵の区分を行った。

なおデータの解析・編集には、ArcView9.3(ESRI社)とその拡張機能である3DAnalystおよびSpatial Analystを使用した。

2.3 前処理

使用したグラウンドデータは、空間的にランダムに配置されたポイントデータである。まず、水域で計測されているかどうかを検討するため、計測ポイントの密度を算出した。方法は1m間隔のメッシュを作成し、メッシュ構成点から半径1m内に含まれるポイント数を計測することで密度を算出した。

ランダムポイントデータから水域全体にわたって、メッシュ状のサーフェイス(ラスタ形式)をもとめるために、内挿処理を施した。内挿方法には逆距離加重法(Inverse Distance Weighted interpolation method: IDW法)を採用した。IDW法は内挿メッシュから一定距離内または一定個数の各点群に対して、内挿メッシュ点までの

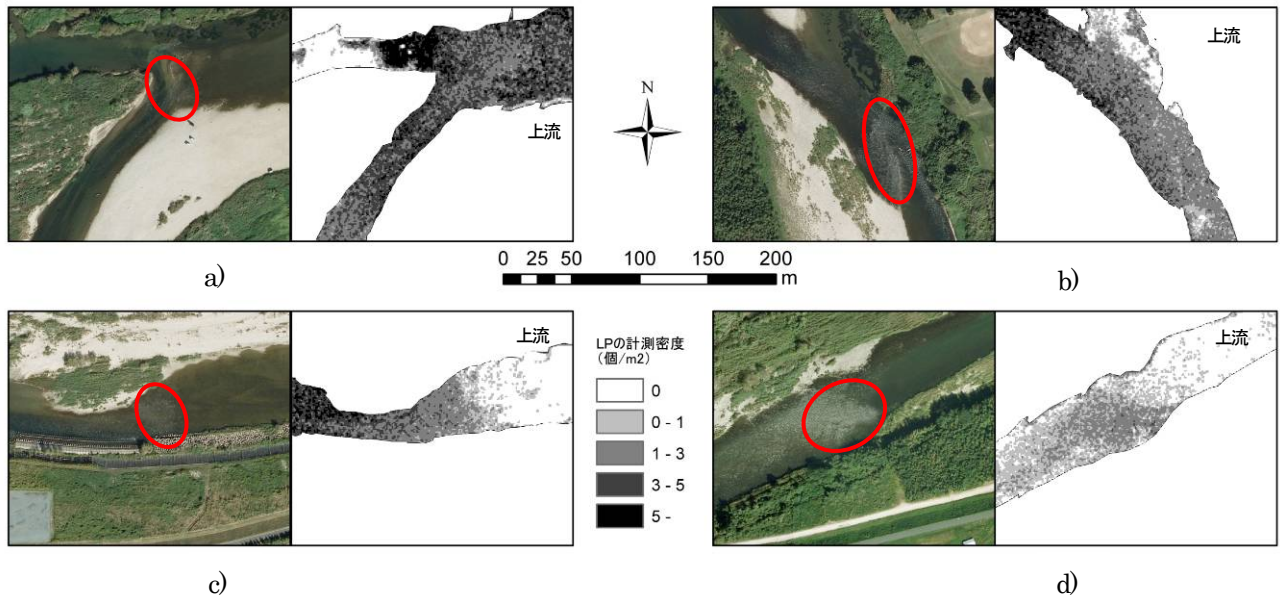


図-2 主な瀬における空中写真とLPのポイント計測密度

距離に応じた重みをつける方法である。IDW 法は、ポイントが粗な領域を内挿する際に、不自然なサーフェイスが作成される可能性があることを指摘されているが、ほかの平均法や再近隣法等の簡易な内挿法に比べ、有効な地表面が再現できること、また処理にかかる時間が比較的速いため、本研究で採用した。内挿間隔を観測 1m とし、標高値を計算する近隣のポイント数を 12 個、また計算の対象となるメッシュ構成点からの距離に -2 を乗じることによって距離に応じて減衰させるようにした。

2. 4 瀬淵の判断

本研究では前述の通り、水面の標高から算出した勾配によって瀬淵の判読を行う。しかしながら瀬淵を判断する勾配の明確な基準はない。そのため、水面形の縦断面図および小林らによる瀬の勾配の現地調査結果から推定した。

水面標高の縦断面図は、内挿により作成したメッシュデータから算出した。まず空中写真の判読により作成した水域ポリゴンの中心を通るように河川縦断面ラインを作成し、詳細な形状を判読したいと考え、1m 間隔になるようポイントを発生させた。そのポイントに内挿したサーフェイスの値を与えることで、縦断面形状の標高を求め、瀬淵が表現できているか、またどのように分布しているかを検討した。

また瀬淵構造の平面的な分布を検討するため、メッシュサーフェイスから勾配を求めた。勾配の算出方法は、算出点周辺の 8 点から差分により勾配を求め、最大となる値をその地点の勾配とした。

3. 結果

3. 1 LP の計測密度について

図-2 は主な瀬における空中写真とLPの計測密度である。全体的に空中写真から瀬と思われる箇所は計測密度が 1 個/㎡よりも大きい値となった。また図-2c)およびd)の上流部に見られるように瀬と判断される箇所の計測密度は低い。しかしながら、図-2a)およびc)の円で囲まれる範囲は、現地調査や空中写真より瀬だと判断されるが、計測密度が非常に高い値となった。また図には載せていないが、同様の事例が多々あった。このことは、計測器の特性や仕様によるものと推察される。以上より瀬と淵を判断する際に単純に計測密度によって、瀬淵を判断することはできないことを示しており、より具体的な数値が必要となる。

3. 2 河川水面形の縦断面形状

図-3 に河川中央ラインに沿った水位の縦断面形状(1m 間隔)を示す。水面標高が不規則な階段状になっていることがわかる。縦断面形の勾配が大きい箇所を瀬、また勾配の小さい箇所を淵と判断することで、縦断面形状による瀬淵構造の区分が可能である。

図-3 では判読しづらいが、水面標高が上下する形状が見られた。図-4 に 15KP 付近 (図-3 中のグレーの箇所) の水面縦断面形の拡大図を示す。区間全体の形状は表現されているが、縦断面形状がのこぎり刃状になっていることがわかる。LP が計測されたのは平水時であり、瀬の 100m 下流でも波立つことは考えにくい、そのためのにこぎり刃状の形状は、計測誤差もしくは内挿処理過程によって生

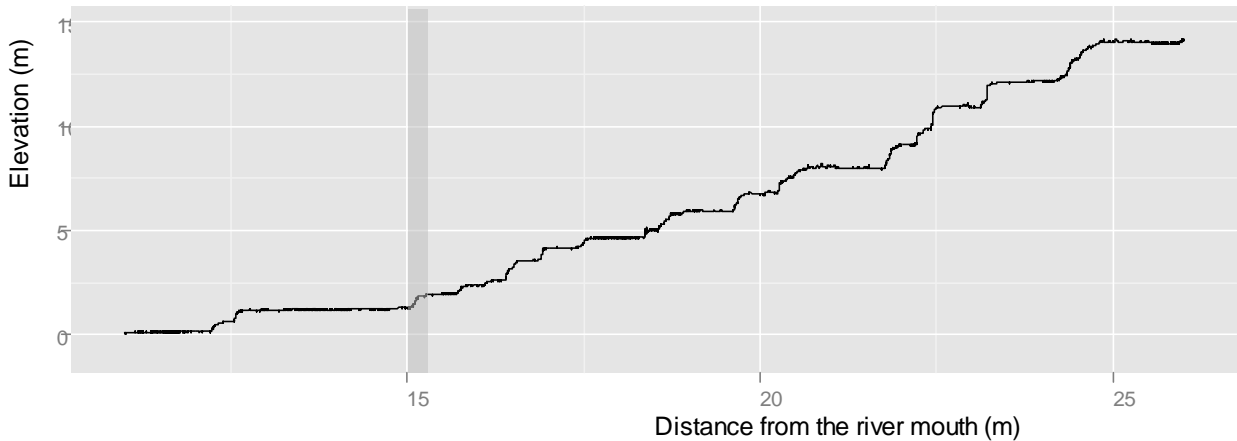


図-3 水面の縦断形状

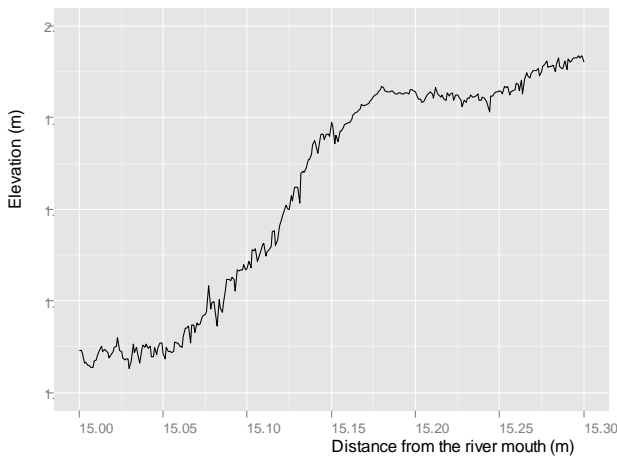


図-4 15KP 付近の水面縦断形

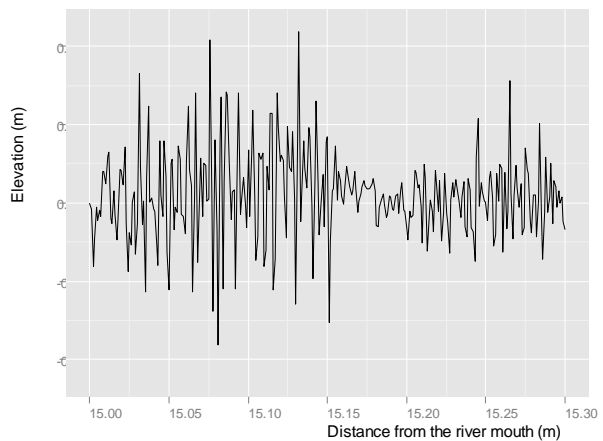


図-5 水面縦断形からもとめた勾配

じたものだと推察される。また今回の縦断形は1m間隔で算出した。これをより大きな間隔にすることで、この現象を回避することができるであろう。

また、図-5に図-4と同区間における勾配を2次精度の中央差分によりもとめた結果を示す。負の箇所（逆勾配）が発生し、その絶対値は最大で3%を超える値となった。小林らによる豊川の瀬の調査によると、瀬と判断される区間の水面勾配はおよそ0.5%~3%程度であった。仮に上記の範囲が瀬であると設定し自動的に抽出すると、断続的な瀬が発生し、現地で視覚的に判断されるような連続的な瀬が抽出できない。そのためフィルタリング等の処理によって水面標高の平滑化の処理や、逆勾配が発生しないような処理などを施したうえで、水面勾配を評価する必要があると考えられる。

3. 3 瀬淵構造の平面分布

図-6に主な瀬と判断された区間(a~d)と淵と判断された区間(e~f)の水面勾配の平面分布図を示す。勾配の閾値を1.0%とし、それ以上を瀬(図中白色)、それ以下を淵(図中黒色)として表現した。河道全体を通して河岸近傍に勾配が急な領域が見られた。

図-6a)からd)にかけて河川を横断方向に帯状の領域があることがわかる。勾配の閾値を変化させることによって、瀬の領域も変化することが予想されるが、これらの結果は勾配による瀬の判読が可能であることを示している。

図-6e)およびf)では、e)ではところどころ1セル単位で急勾配が発生している箇所はあるものの、穏やかな淵の領域を表現できている。しかしながら、f)では瀬と同じような横断的な帯状の区間が見られる。この区間におけるLPの計測ポイント密度は粗であった。今回の研究で用いたIDW法は、計算点の周辺に存在する計測ポイント

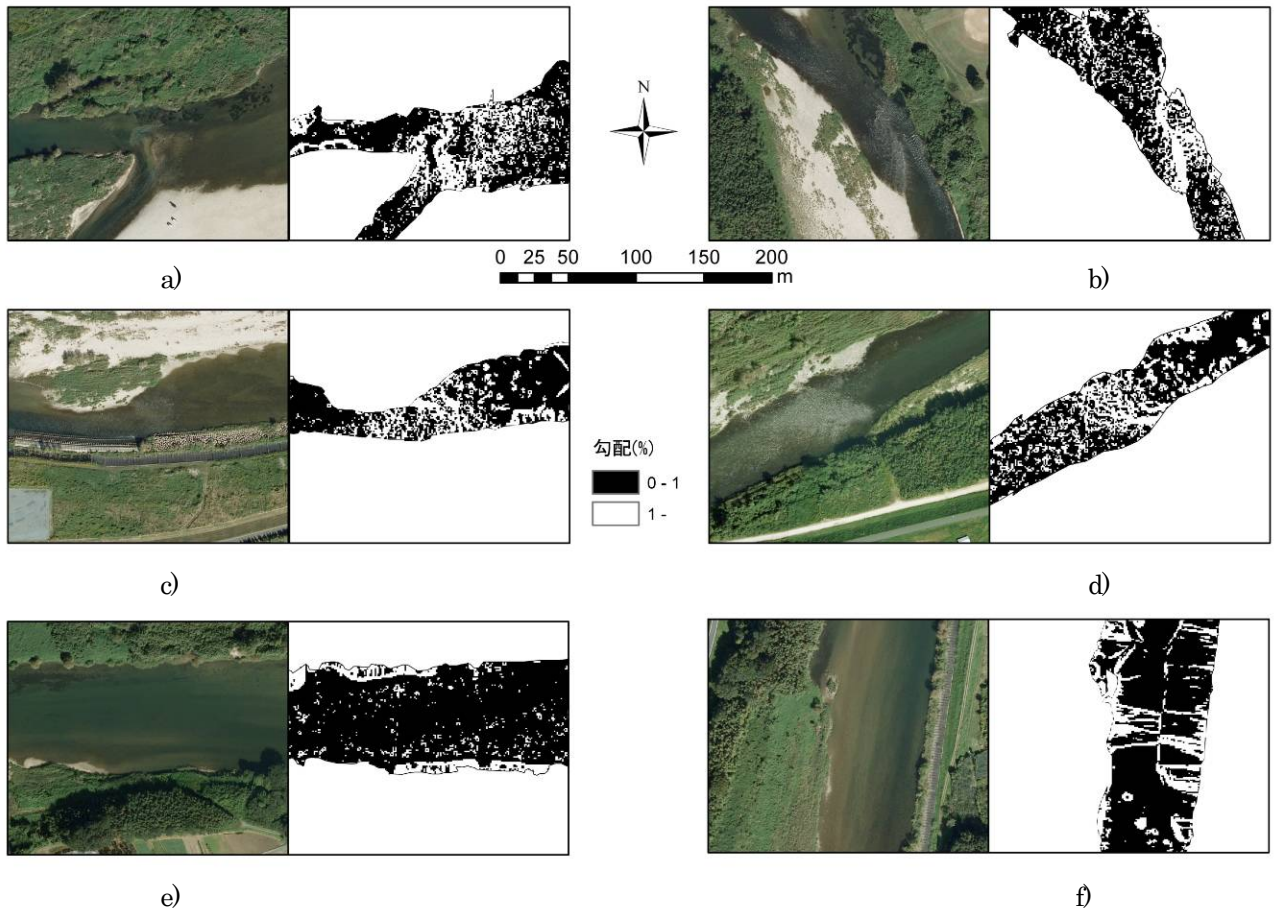


図-6 主な瀬淵における航空写真と勾配の分布

12個を検索し、そのポイントに距離に応じた重みをかけて計測する。LPの計測ポイント密度が粗の場合、検索範囲を広げ、河岸の標高の高い値を拾い上げてしまった結果だと考えられる。淵に関する抽出は、今後も検討が必要である。

瀬と判断される形状は、現地で視覚的に判断される形状と比較して短く細切れの様相を呈している。また淵と見られる場所では局所的に勾配が高い箇所が見られる。このことは水面の縦断形状でもみられた現象が、平面的に現れたものだと考えられる。そこで水面標高に平滑化を施した。平滑化は計算点とその周辺8個の平均値により求めた。16KP付近における平滑処理の結果を図-7に示す。平滑化によって瀬の部分が集約化され、パッチ状(図-7中の楕円内)になり、また淵の部分は微細な領域が瀬の判読がしやすい結果となった。この瀬と考えられる領域と、現地調査や空中写真からの判読される瀬の位置とはおおよそ一致した。

4. まとめ

愛知県豊川にて計測されたLPデータの水面標高から



図-7 平滑化による効果

勾配を算出し、瀬淵構造を把握することが可能かどうか、河川縦断形状および平面形状について検討を行った。双方の結果とも、単純に勾配による区分によってある程度

の判読が可能であることがわかった。しかし詳細な検討を行うには、平滑化等の処理を検討しなければならない。標高の平面分布に平滑化を施した結果、瀬淵の明瞭な区分が可能であることがわかった。今後は他の河川で今回の方法を検討したい。

参考文献

- 1) Robinson, S. K.: Coherent motions in the turbulent boundary layer, *Ann. Rev. Fluid Mech*, Vol.23, pp. 601-639, 1991.
- 2) Lisle, Thomas. : A sorting mechanism for a riffle-pool sequence. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 90. Part II, pp. 1142-1157, 1979.
- 3) 沼田真監修：河川の生態学 補訂版, 築地書館, pp4-13, 1993.
- 4) 国土地理院: 航空レーザ測量による数値標高モデル(DEM)作成マニュアル(案), 国土地理院技術資料 A1-No. 310, 2006.
- 5) 齋藤和也監修：図解航空レーザ計測 基礎から応用まで, 財団法人日本測量調査技術協会, 2008.
- 6) Maslov, D. V., et. al: A Shoreline based LiDAR for Coastal Seawater Monitoring . *Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop LiDAR*, Dresden/FRG, 2000.
- 7) English, J. T. : Effectiveness of extracting water surface slopes form LiDAR data within the active channel: Sandy River, Oregon, USA. M. S. Thesis, department of Geography, University of Oregon, Eugene, OR, 2009.

STUDY ON INTEGRATED INDICES AND METHODS FOR EVALUATING RIVER ENVIRONMENT

Budgeted : Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Water Environment Research Group(River Restoration)

Author : Junji Miwa

Satoru Nakanishi

Fumikazu Akamatsu

Abstract : Pool-riffle sequences in rivers are important geomorphology for river environment, because it is said that river bed structures mainly determine habitat and biomass of aquatic lives. However, field surveys of pool-riffle structures in river usually spend much cost and time. We challenged these problems by using LiDAR water surface elevation data.

In this study, we used LiDAR data at Toyo River in Aichi Prefecture, Japan. In addition LiDAR, aerial photographs were simultaneously taken. We extract the elevations of water surface and determined the water surface slope in 0.5m grid along a river. Then, we determined the location of pools and riffles whether slope angle is more than a threshold value or less. As a result, the pool-riffle profiles obtained from the different measurements were well-agreed each other. By using LiDAR data, moreover, it is possible to detect subtle wave that cannot be detected by aerial photos. As a result of this study, it is suggested that temporal distribution of structures within river can be evaluated by using this method.

Key words : pool-riffle sequence, laser scanner profiler, IDW interpolation method, GIS, remote sensing technique