# ALB点群データから算出した河床凹凸指標に基づくアユの生息場評価手法の検討

小川　大介[1]・堀田　大貴[2]・川崎　誠[2]・海津　利幸[3]

[1]非会員　（株）建設技術研究所　中部支社

（〒4600-0003 愛知県名古屋市中区錦1-5-13）
E-mail:dsk-ogawa@ctie.co.jp(Corresponding Author)

[2]非会員　（株）建設技術研究所　中部支社（同上）

[3]正会員　（株）建設技術研究所　中部支社（同上）

UAVを用いたALB(航空レーザー測深)によって，高密度な河床の3次元点群データを取得し，河床底面からの比高として「礫面高」という指標を算出することで，河床凹凸やアユ生息場の評価を試みた．礫面高は，河床材料のサイズ増加に伴いその値も大きくなり，河床凹凸の評価に適用できることを確認した．また，アユの好漁場や不良漁場といった各生息場における礫面高分布の比較から，アユは凹凸が大きく，かつ多様な粒径で構成される河床を選好することが示唆され，これまで直接的には考慮されていなかった河床凹凸の重要性が明らかとなった．さらに，アユが選好する河床凹凸の指標値を試行的に設定したことで，これまで数十～数百m単位に留まっていたアユ生息場の評価を面的・定量的に実施することが可能となった．

***Key Words:*** *Airborne Laser Bathymetry, Plecoglossus altivelis, habitat evaluation, riverbed unevenness, pebble exposure height*

## １．はじめに

河川の総合土砂管理等における土砂動態や生息場評価の検討では，流路における河床材料の分布状況を考慮することが非常に重要である．しかし，現状では調査手法上の制約から，ごく限られた地点でのサンプリング調査から検討が実施されているに過ぎない．河床環境に依存する生物の生息場評価にあたっては，モザイク状に異なっていると考えられる河床材料の粗細や河床凹凸の面的な広がり把握することが課題である．

近年，水域の河床高を計測するALB（Airborne Laser Bathymetry）が実務で用いられることが多くなっている．ALB測量は，航空機から陸上部を計測する近赤外レーザと水中部を計測するグリーンレーザを同時に照射し，水深や河床の3次元座標を計測するものである（**図-1**）．ALB測量では，水域における高密度の3次元座標を面的に得られることから，河床の堆積や洗堀，河川構造物の変状や樹木繁茂の把握等に活用されている[1)]．

我が国を代表する魚種であるアユ（*Plecoglossus altivelis*）は，河床の石礫に付着する藻類を摂餌することから，河床環境の状況によってその生息環境としての適否が左右される．既往研究では，河床環境とアユの生息の関係性が調べられており，大サイズの石礫の存在や，それらが浮き石状態であることが好ましいこと[2)]，アユは平坦河床より凹凸のある河床を選好すること[3)]等といった河床凹凸があることの優位性が報告されている．

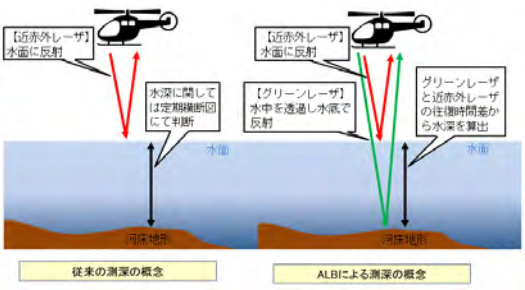



**図-1**　ALBの概要（国土交通省那賀川河川事務所HP）．

本報告では，小型マルチコプターUAVを用いて得られた“面的かつ超高密度の河床高データ”を用いた河床の凹凸評価の可能性を検証するとともに，面的な河床凹凸を考慮したアユ生息場を評価する手法の確立に向けた検討を行った．

## 2．調査方法

### (1) 調査対象地

一級河川の矢作川において，ダム下流に位置する2区間の瀬を対象にした．一方の瀬は，漁業者よりアユの好漁場と認識されている．もう一方の瀬はアーマー化が進行している区間があり，放流アユが定着せず上下流へ移動してしまうためアユ生息に不適な不良漁場であると認識されている．

### (2) ALB測量および空中写真撮影

ALB計測器を搭載したUAVを高度約70mで飛行させ，測量と空中写真撮影を行った．計画上ではレーザの点群密度が100点/m²以上，空中写真の地上分解能は0.02mとなるよう設定した．測量は，水位が安定し河床の変動が小さい非出水期である2021年12月～2022年1月に実施した．使用機器を**表-1**に示す．

**表-1**　使用機器の写真，スペック．

| 機器名 | 細目 | 仕様 |
|---|---|---|
| 【レーザー測距装置】<br>TDOT GREEN<br>ｱﾐｭｰｽﾞﾜﾝｾﾙﾌ社製<br>S/N 34891605 | 観測間隔 | 1秒以下 |
| | 受信周波 | 2周波 |
| | 水平精度 | ±0.01m |
| | 高さ精度 | ±0.02m |
| | 姿勢精度(Yaw) | ±0.02° |
| | 姿勢精度(Pitch/Roll) | ±0.01° |
| | 最大計測距離 | ≧10% 158m≧60%300m |
| | パルスレート | 60kHz |
| | レーザ照射角 | ±45° |
| | 測距精度 | ≧10% ±15mm≧60%±5mm |
| 【UAV】<br>DJI社製<br>MATRICE600PRO<br>S/N M80DFA22030166 | 飛行可能時間 | 12分以上 |
| | 自動飛行機能 | あり |
| | 最大飛行対地高度 | 500m |
| | 運行可能最大風速 | 10m |

### (3) 点群データの一次整理（グラウンドデータ作成）

ALB測量で得られたオリジナルデータは水面や水中で反射したノイズを含んでいる．これらは，編集ソフトによる自動除去が困難であるため，手動で除去し，河床で反射したと考えられるパルスをグラウンドデータ（以下，点群データ）として作成した．

### (4) データ解析方法

本報告では，点群データの標高値から「礫面高」を算出し解析に用いることとした．礫面高とは，細粒土砂で構成されると想定される平坦な河床面から，石礫の任意の箇所における相対高さを示す概念である．既往研究[注1)]では類似の概念として，河床の砂面から石礫の「頂点」までの高さである「露出高」が石礫一つひとつに対して算出されている．一方，今回のALB測量で得られるデータはランダムなレーザ照射のため，石礫の任意の位置の標高を計測しており，結果として一つの石礫に複数の測定点（礫面高）が生じる点が異なる．

#### a) 礫面高の集計範囲の設定，礫面高の算出

低水路を2m×2mサイズのメッシュに区切り，メッシュ内の各点群データの礫面高を算出した．アユの縄張りは約1m四方であり，時々動き回る範囲を加えると2-3m²であること[4)]，また，縄張り範囲の水理条件には周囲の河床凹凸が影響していると考えられることから，ここでは2m×2mの範囲がアユの生息に影響する範囲として設定した．礫面高の算定にあたり河床面の標高が必要となるが，ここでは，各メッシュに含まれる点群データの下位5%の平均と仮定し，河床面と各点群の標高差分を礫面高として算出した．礫面高のイメージを**図-2**に示す．

#### b) 礫面高による河床凹凸の評価

礫面高の分布から河床凹凸を評価できるかを検証するため，粒径分布が異なるメッシュを抽出した上で，各メッシュにおける礫面高の加積曲線を作成し，礫面高の平均，90%値，最大値を算出した．これらと，空中写真から判読した河床表層材料の粒径分布を比較し，砂の被覆や巨石の存在といった河床状況が礫面高の分布で表現できているかを確認した．

#### c) アユ生息適地における礫面高分布の評価

アユ生息場評価では，はじめにアユ好漁場と不良漁場におけるメッシュ内の礫面高分布を比較し，アユが生息できる下限値を設定した．次に好漁場内のアユ縄張りメッシュと隣接する非縄張りメッシュの礫面高を比較し，アユ生息に好適な閾値を設定した．アユ縄張りメッシュは，現地で記録した8箇所のアユ縄張り地点の位置情報をもとに，縄張り地点を内包する8区画とした．非縄張りメッシュは，各縄張りメッシュに隣接する29区画とした．アユ好漁場メッシュは，これらを合わせた37区画とした．なお，点群密度が100点/m²未満のメッシュは，欠測として分析対象外とした．不良漁場のメッシュは，アーマー化している範囲を現地目視で選定し，その中で点群数が多い8区画を抽出した．比較対象とする3種のメッシュのイメージを**図-2**に示す．

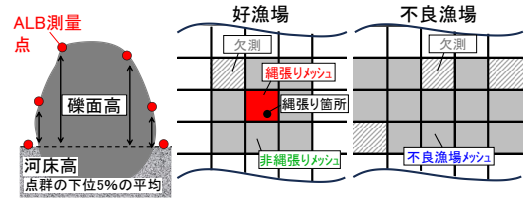



**図-2**　左：礫面高のイメージ，右：アユ生息適否の評価に用いる3種の環境区分のイメージ．

## 3．結果

### (1) 点群データの取得状況

点群の取得状況を確認すると，一部で欠測により点群数が不足している部分が見られた（**図-3**）．メッシュYR164とYR165は，巨石やその直下の白波部分における点群が欠測していた．

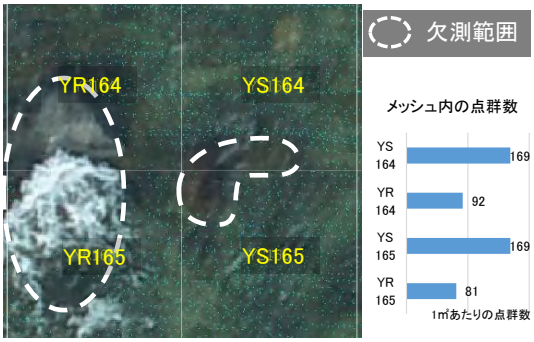



**図-3**　点群データの取得状況．

### (2) 特徴的な河床における礫面高分布

点群データが100点/m²以上あり，砂や石，巨石等の様々なタイプの河床材料が優占するメッシュが混在する区間を抽出し，各メッシュの礫面高の分布状況を整理した．抽出したメッシュの空中写真と礫面高の分布を**図-4**に示す．

#### a) 全面が細粒土砂のみで構成される河床

箱図を見ると，全面が細粒土砂のみで構成される河床では，平均礫面高が約0.15mと他の河床に対して小さい値となった．また，90%礫面高や最大礫面高もおおむね0.3m以内となっており，礫面高の各指標値が低い水準でまとまっていた．加積曲線をみると，YV149における礫面高の各指標値が，YV150より全体的に大きかった．

#### b) 細粒土砂に石が点在する河床

箱図を見ると，細粒土砂に石が点在している河床では，平均礫面高が細粒土砂のみで構成される河床と概ね同程度であった．一方，最大礫面高は0.5m前後と大きい値となった．加積曲線を見ると，石の割合が特に多いメッシュYT150は，礫面高の分布もより大きい値の割合が多くなっている．

#### c) 巨石が存在する河床

長径が約1.5m以上の巨石を含む河床では，礫面高の各指標値が他のメッシュより大きい結果となった．加積曲線も同様であり，礫面高分布の80%値がおよそ0.6mとなり他の河床と比べ礫面高が明確に大きい結果となった．

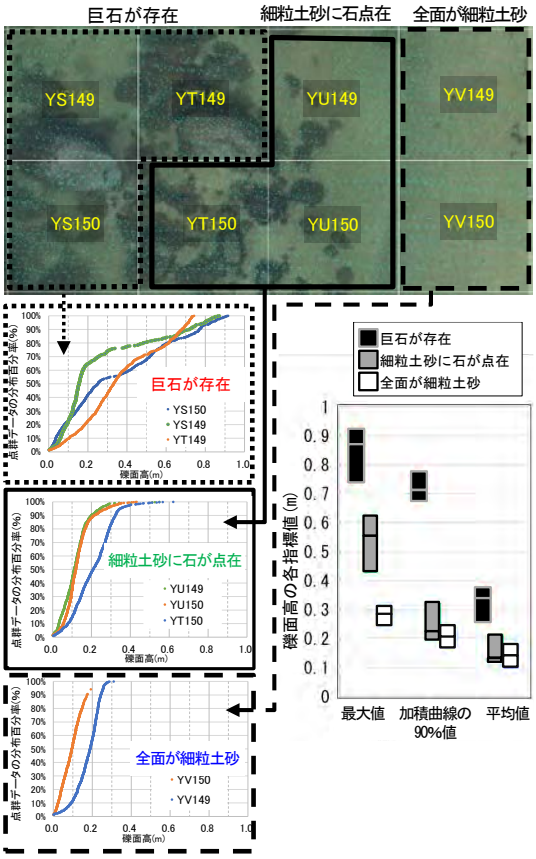



**図-4**　各メッシュの空中写真と礫面高の分布状況．

### (3) 好漁場と不良漁場における礫面高の分布

アユ好漁場と不良漁場における礫面高の分布状況および河床表層材料の構成割合を**図-5**に示す．

アユ好漁場は不良漁場より礫面高が大きく，90%礫面高が約0.25m，平均礫面高は約0.15m程度となった．これらの指標値や各メッシュ内における礫面高の分散は，不良漁場より有意に大きかった．一方，河床表層材料の粒径分布を見ると，好漁場は不良漁場と比べ，砂利以下の細粒土砂の割合が多く，巨石の割合が少ない傾向にあった．

### (4) アユ縄張りと非縄張り箇所の礫面高の分布

アユ縄張りメッシュとそれに隣接する非縄張りメッシュにおける礫面高の分布状況を**図-6**に示す．

90%礫面高や礫面高の分散には有意な差は見られなかったが，30%礫面高および50%礫面高が有意に大きかったほか，平均礫面高が大きい傾向にあった．

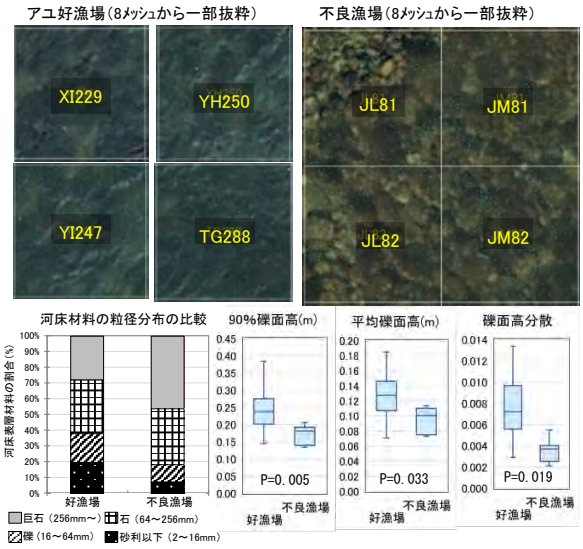



**図-5**　アユ好漁場と不良漁場の河床材料および礫面高分布．

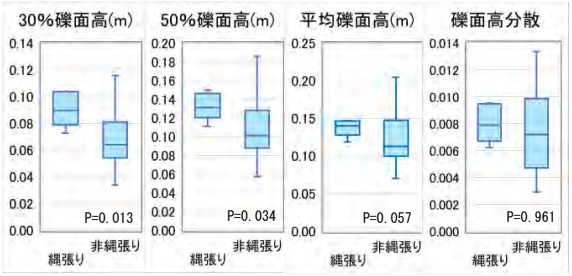



**図-6**　アユ縄張りと隣接する非縄張り箇所の礫面高分布．

## 4．考察

### (1) 点群データの欠測要因

ALB測量で得られた点群データは，計測時の欠測とデータ一次処理時の誤ったデータ除去により，計画上の100点/㎡に満たないメッシュが散見された．計測時の欠測は，水面の波立ちや気泡の発生によって照射レーザが乱反射することで生じた考えられる．データ一次処理における誤除去は，水面で反射した点群を除去する際，水面付近の石礫上部の点群を水面として除去することで生じたと考えられる．後者の要因により点群が欠測しているメッシュでは，礫面高が過小評価される点に注意が必要である．

### (2) 礫面高による河床凹凸の評価

河床表層材料の粒径分布と礫面高分布を比較した結果，大径材料の増加に伴い礫面高の指標が大きくなる傾向にあり，特に巨石が存在するメッシュにおいて顕著であった．長径1m以上の巨石は，実際の礫面高も大きいと考えられ，最大・90%礫面高は，河床から突出した巨石の形状を表現していると考えられる．この結果は，礫面高が河床表層材料の粒径分布を反映していること，礫面高によって河床凹凸の評価が可能であること示唆する．

一方で，全面が細粒土砂で構成され平坦と予想される河床でも，平均礫面高が0.1～0.2m，最大礫面高が0.3m程度となった．これは，砂面の凹凸や傾斜が影響している可能性が考えられる．

### (3) アユ生息適否の評価と指標値の試行的設定

好漁場と不良漁場，縄張りと非縄張り箇所の比較からアユ生息適否の指標値を設定し，指標値に基づく生息適地マップを**図-7**に作成した．本マップは，従来の瀬・淵単位での評価に対し，1つの瀬の中におけるアユ好適環境の分布を，2m×2mメッシュという高解像度で定量評価できる点が画期的と言える．指標値の設定内容を以下に示す．

#### a) アユ生息に最低限必要な河床凹凸の下限値設定

アユ好漁場は不良漁場と比較して，礫面高の各指標値や分散が大きく，既往研究[注2)注3)]と同様にアユが河床凹凸の大きい河床を好む習性が示唆された．この要因として，礫面高の大きい石礫の方が採餌しやすい，河床起伏によって緩流部が生じることで定位しやすくなる[5)]，等の要因が考えられる．一方で，不良漁場は縄張り箇所に対して巨石の割合が多い反面，礫面高の指標値が小さいことが特徴的であった．これは，ダムによって細粒土砂の供給が減少することで大径材料が優占すると共に，大径材料どうしが固結し沈み石状態となる「アーマー化」が進行し，河床が平坦になっていることを示唆していると考えられる．

以上から，アユ好漁場における値を基に，アユの生息に必要な河床凹凸の下限値を設定した．河床から突出した巨石の存在を示す90%礫面高と起伏の大きさを示す分散を用い，それぞれ0.20m，0.005とした．

#### b) アユ生息に好適な河床凹凸の指標値設定

アユ縄張り箇所は周辺の非縄張り箇所と比較し，礫面高の分散には違いが見られなかったが，30%および50%礫面高が有意に高かった．低位の百分率礫面高が大きいことは，河床の平坦部がより少なく，巨石を取り巻く十数cm以下の小石の割合が相対的に多いことが反映された結果であると考えられる．すなわち，大サイズの石のみでなく，多様な粒径の石礫で構成される河床をアユが選好することを示唆するものである．

以上から，アユ縄張り箇所における値を基に，アユ生息により好適な河床環境を示す河床凹凸の指標値として，30%礫面高と50%礫面高を用い，それぞれの閾値

を0.08m，0.12mと設定した．

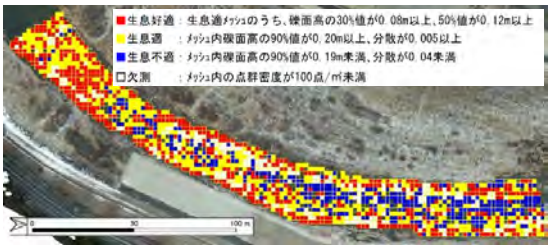



**図-7**　河床凹凸の指標値から試作したアユ生息適地マップ

### (4) 今後の検討課題

面的評価の精度向上には点群データの欠測抑制が必要である．白波による欠測は，UAVの高密度航行による反射パルスの確保や，点群数と礫面高分布の関係から，欠測率の許容範囲を検討すること等が必要である．データ一次処理時の誤除去に対しては，機械学習による処理の自動化等が目指すべき方向性といえる．

アユ生息適否の指標値について，本検討では礫面高の平面分布を評価できていない．アユの定位のしやすさに影響する3次元的な流れの緩急は，大小様々な石礫の平面配置によって生じると考えられ，礫面高の平面分布を評価することが課題である．これも，機械学習によって縄張りメッシュにおける礫面高の分布パターンを学習させることで解決が期待される．

河床凹凸を評価する際，対象生物に合わせたメッシュサイズの設定が重要である．今回のように，行動範囲が比較的広い生物の場合は，m単位での比較的大きなスケールでの評価が必要と考えられる．一方，移動能力が小さく河床間隙や一つひとつの礫に依存する底生動物等の場合は，平均粒径程度のスケールにおける河床凹凸の評価が必要と推測される．

## 5．おわりに

ALB測量で得られた高密度の点群データから，河床凹凸の指標となる礫面高を算出することで，出水や土砂還元等による河川の河床環境の変化等を面的・定量的に評価できることが期待される．また，点群データを基にした河床凹凸の適切な指標とその基準値の設定により，アユや河床凹凸に依存する水生生物を対象とした面的な生息場評価が可能となる．また，河床凹凸に加え，ALB測量で得られる水深分布，平面流況解析で得られる流速分布等を重ねることで，より高度な生息場評価も期待される．

## NOTES

注1）小野田幸生，堀田大貴，萱場祐一：土砂供給に伴う河床環境変化の評価に向けた露出高による石礫の埋没度の定量化，河川技術論文集，Vol.24，2018

注2）阿部信一郎：でこぼこした河床と平滑な河床に対するアユの生息場所選択，水産増殖60巻4号，pp.445-449，2012

注3）堀田大貴・小野田幸生：河床に細粒土砂が堆積して石礫が埋没すると，アユにどのような影響がありますか？：ARRC Activity Report2015，pp.10-11

## REFERENCES


1）中村圭吾：グリーンレーザを用いた航空レーザ測深（ALB）による河川調査の現状と可能性，水環境学会誌，Vol.42(A) No.5，pp.174-178，2019.［Nakamura，K.：Airborne Lidar Bathymetry (ALB) for River Survey: Current Status and Future Potential，Journal of Japan Society on Water Environment，Vol.42(A) No.5，pp.174-178，2019.］

2）坪井潤一，高木優也：アユの生息にとって重要な環境要因の検討 日本水産学会，82(1)，pp.12-17，2016.［Tsuboi，J. and Takagi，Y.：Essential characteristics of aquatic environment for ayu habitats，Nippon Suisan Gakkaishi，82(1)，pp.12-17，2016.］

3）阿部信一郎：でこぼこした河床と平滑な河床に対するアユの生息場所選択，水産増殖，60巻4号，pp.445-449，2012.［Abe，S.：Habitat Choice by Ayu between Even and Uneven Streambeds，Aquaculture Science，Vol. 60 Issue 4，pp.445-449，2012.］

4）宮地伝三郎：アユの話，岩波書店，1960.［Miyaji，D.：Ayu no Hanashi，Iwanami Shoten，1960.］

5）原田守啓・小野田幸生・萱場祐一：粗粒化した石礫河床への土砂供給が遊泳性魚類の空間利用に及ぼす影響に関する一考察，土木学会論文集B1（水工学），vol.70 No.4，I-1339-1344，2014.［Harada，M.，Onoda，Y. and Kayaba，：A study on effects of sediment supply on fish habit of boulder-red rivers，Journal of Japan Society of Civil Engineers Ser B1 (Hydraulic Engineering)，Vol.70 No.4，I_1339-I_1344 2014.］


(Received June 19, 2023)

# INVESTIGATION OF A METHODOLOGY FOR EVALUATING AYU (*PLECOGLOSSUS ALTIVELIS*) HABITAT USING AN INDICATOR OF RIVERBED UNEVENNESS DERIVED FROM ALB POINT CLOUD DATA.

Daisuke OGAWA,Taiki HOTTA and Toshiyuki KAIZU

We acquired high-density 3D point cloud data of the river-bed by ALB (Airborne Laser Bathymetry) using a UAV. Based on the point cloud data, we attempted to evaluate the river-bed unevenness and Ayu (*Plecoglossus altivelis*) habitats by calculating an index called "pebble exposure height". The "pebble exposure height" is the relative elevation between the riverbed bottom and the point cloud elevation of the pebble surface. We confirmed that the "pebble exposure height" increases with the size of the riverbed material and determined that it can be applied for evaluating the unevenness of the river-bed. Additionally, when comparing the distribution of "pebble exposure height" between Ayu's territorial and non-territorial areas, it was found that Ayu prefer river-bed that have large unevenness and a diverse range of pebble sizes. Until now, the unevenness of the river-bed had not been used as a direct indicator for habitat assessment, but it has been revealed to be an important for Ayu. Furthermore, by establishing indicators for the riverbed unevenness preferred by Ayu, it has become possible to understand the suitable habitats for Ayu both spatially and quantitatively.