

森林からの土砂流出を測る-粒径に着目して-

森林からの土砂流出については、全国的には限られたデータしかないので、滋賀県南部地域の田上山では、古くから「はげ山」であったことから、京都大学により砂防の観点から多くの研究がされてきました。

2014年から始まった当センターの今回の研究では、既存の森林水文学や砂防学の研究とは少し視点を変えて、在来魚の1つ

であるアユに着目し、アユが産卵床として好む大きさの礫が、琵琶湖流域の最上流部に位置する森林域から、どのようなタイミングで流出するかを把握していくとしています。これまでの研究から、アユは産卵床として径10mm前後の礫を好むといわれています（西田1978*）。ですから、土砂の総量だけではなく、その粒の大きさまで測ることになり、より多くの情報を分析していくことになります。

土砂の流出状況を測るために、滋賀県南部の森林にいくつかの調査地を設け、森林斜面での土砂移動と森林渓流からの土砂流出の2つの観点から調査しています（写真6、7）。



写真6 森林斜面での土砂採取状況

土壤の表面に草木が茂っていない斜面では、粒径1mm未満の土砂の移動が大きい傾向がみられました。粒径2mm未満の土砂はアユの産卵環境として適さないといわれており（石田1961**）、この移動土砂が、すぐに、渓流を通じて流下するわけではありませんが、これが流出した場合には、アユの産卵場所に負の影響を及ぼす可能性があると考えられます。近年は、森林内の光環境の悪化やシカの食害の影響で、森林斜面に草木が茂っていないような場所が見られ（裸地化）、一部には災害の危険性がある箇所も見受けられます。アユの産卵環境の観点からも、斜面を草や木で被覆して裸地化を防ぎ、土砂の移動を抑えていく必要があると考えられます。

次に、森林渓流からの土砂流出は、夏から秋にかけて1年に1回程度、とくに、台風等の集中豪雨があって雨量強度が



写真7 森林渓流での土砂採取状況 (上)

採取された渓流土砂 (下)

(この後、乾燥して粒径別に分ける)

まず、森林斜面での土砂移動量は、降雨の多い春期から秋期にかけて多くなり梅雨期や秋の長雨期の集中豪雨が発生しやすい時期にとくに多くなることがわかりました。さらに、

アユが産卵床としてこれらの礫を利用できる可能性は大きいと思われます。

土砂は前述のように雨とともに運ばれることになりますから、その計測も基本的には雨が降るたびに行うことになります（写真6、7）。しかし、降雨の最中やその直後は、調査する私たちが災害に巻き込まれる危険性があります。かといって、のんびり構えていますと次の雨が降ってしまって、正確な流出量が測れなくなってしまう可能性もあります。また、豪雨の後には渓流に大量の土砂がたまるため、重機を利用する場合もあり、土砂の計測にはタイミングや作業の迅速さが求められ、なかなか苦労するところです。

これまで約5年間の研究を通じて、森林からの土砂流出とアユの産卵時期や産卵に利用する礫の大きさとの関連についてようやくその一端がつかめてきたと感じているところです。しかしながら、これらがどのように下流域に流下し堆積していくかは、まだ不明な点も多いと思っています。私たち森林の研究者だけでなく、河川の研究者と今まで以上に連携しながら研究を取り組んでいく必要があると考えています。

総合解析部門 小島 永裕

* 西田睦 (1978) びわ湖のコアユの産卵生態. 日本水産学会誌 44(6): 577-585.

** 石田力三 (1961) アユの産卵生態 - II. 産卵魚の体型と産卵床の砂礫の大きさ. 日本水産学会誌 27(12): 1052-1057.



トピックス

在来魚介類のにぎわい復活に向けて

1. 在来魚を守るための新たな体制：
琵琶湖環境研究推進機構

私たちは、在来魚の産卵生息環境を守るために、森一川一湖の水系や土砂のつながりを再生するための研究成果を、行政施策や地域社会と連携し、速やかに反映しようと試みています。こうしたことができるには、今までの枠組みを超えて協力できる新たな体制ができたからです。それが「琵琶湖環境研究推進機構」です。これは、行政部局と県試験研究機関が連携し、琵琶湖と滋賀県の環境に係る複雑な課題の解明を目指して、調査研究を実施し、その成果を施策に反映するため組織されました。私たちの研究は、琵琶湖環境研究推進機構で進めている「在来魚のにぎわい復活に向けた研究」のなかの1つである「流域環境：在来魚の保全に向けた森一川一湖の水系のつながり再生」の研究に位置付けられています。

2. 愛知川で産卵環境改善に役立つ土砂の流出方法の工夫

全国の河川で川底が硬くなってしまうアーマーコート化が問題になっています。アユやビワマスたちは土砂が動いている軟らかな川底で卵を産みます。そのため、川の表面が硬く土砂が動かないアユやビワマスたちの産卵環境が悪くなってしまいます。川底を軟らかくする方法の1つが「河床耕耘



写真1 愛知川の固定化砂州を河床耕耘する様子

（かしょうこううん）です。2017年度は、愛知川で大型のブルドーザーを使って、硬くなり固定化した砂州（砂礫堆）を20,000m²耕耘して軟らかくしました（写真1）。2018年度は、大雨や台風でどのくらい土砂が流れ出たのか、ドローン（写真2）による空中撮影で定量的に把握しました。その結果、アユやビワマスの産卵環境改善に役立つおよそ300トン以上の土砂を動き出させることに成功したことがわかりました。

3. 研究を社会で実用化するにはみんなの協力が必要

実は、この「河床耕耘」の研究は多くの関係者の協力があって、ようやく実現できました。この事業は、滋賀県の流域政策局と湖東土木事務所が実施しました。研究に関しては、滋賀県の琵琶湖環境科学センターと琵琶湖博物館、さらに、東京大学空間情報科学研究センターが連携して実施しています。アユやビワマスなどの魚の情報に関しては、滋賀県水産試験場などと情報共有を進めています。また、滋賀県、東近江市、環境省などの支援のもと、地域住民等による森一川一湖のつながり再生に向けた検討も始まりつつあります。「河床耕耘」は、まだまだ在来魚保全に向けた第一歩ですが、大変多くの関係者の協力があって動き出しました。



写真2 空中撮影用いた研究に活躍しているドローン

総合解析部門 東 善広

水野 敏明



■編集・発行

滋賀県琵琶湖環境科学研究所センター
Lake Biwa Environmental Research Institute

〒520-0022 滋賀県大津市柳ヶ崎5-34

TEL:077-526-4800 FAX:077-526-4803

この印刷物は古紙パルプを配合しています。

研究最前線 在来魚の保全に向けた水系のつながりに関する研究

RESEARCH FRONT LINE

森一川一湖の土砂のつながり研究

森一川一湖は水と土砂により密接につながっています。しかし、現在では森一川一湖の水や土砂の円滑なつながりが途切れています。在来魚の生息環境に影響を与える可能性があります。この問題の解明を目標として、平成26年度から平成28年度には、水系のつながりなどの河川の流域環境の変化が在来魚の産卵生息環境に及ぼす影響について研究を行ってきました。その結果、写真3のようなアユやビワマスの産卵生息環境の保全には、「森一川一湖の土砂のつながり」が重要であることがわかりました。そのため、平成29年度からは、「森一川一湖の土砂のつながり」に着目し、4つのサブテーマに分けて研究を実施しています。



写真3 愛知川の産卵期のアユの群れ (2018年9月20日)

サブテーマ1：「森一川」の土砂のつながり

アユやビワマスの産卵に使われる小礫は、森からどのくらい川に出てくるか、実は、まだ詳しいことはわかつていません。上流域の森から川にでる土砂を連続的に測定する研究は、たいへんな労力と時間がかかるため、限られた場所のデータしかなく、全国的に見てもあまり多くないのが現状です。そのため、森一川の水や土砂のつながりは、科学的に未知なる部分が多いのです。

近年は、人工林の間伐などが十分にできなくなり林床が暗くなったり、シカがたくさん増えすぎて林床の植物を食べ過ぎてしまったり、林床に植物がほとんどなくなってしまう問題が出てきました。林床に植物がなく、土壤がむき出しであると森から川に出る土砂に影響があるかもしれません。これらの疑問を解明することを目標として、サブテーマ1では、森から出る土砂を実際に測定するという、地道ですが重要な研究を続けています。

これまでの研究により、森林から川への土砂流出パターンとアユの産卵周期が、密接に関係している可能性があることが明らかになってきました（詳細はP04の視点論点を参照）。

サブテーマ2：「河川中流域から河口まで」の土砂のつながり

現在、全国各地の河川で川底が硬くなるアーマーコート化が問題になっています。やわらかな小礫を産卵生息環境とするアユやビワマスにとって重大な環境の悪化です。しかし、小礫が、川から湖へどのように移動するのかについては、現地調査が困難で、流体力学的にも取扱いにくいため、科学的に未知のことが多いです。そこで、サブテーマ2では、河川中流域から河口までの小礫の土砂移動メカニズムの解明を目標として、アーマーコート化した砂州（砂礫堆）に着目して研究しています。

研究手順は、1. 航空機レーザー測量した川の高精度の地形図作成、2. 河床耕耘（アーマーコート破壊）前現地調査、3. 超細密2次元シミュレーション、4. 河床耕耘の実施、5. 河床耕耘後現地調査、6. ドローン空中撮影による地形変化調査、7. シミュレーション予測と実際の地形変化の比較、と盛りだくさんです。このうち、ドローン空中撮影による地形変化に関する研究は、東京大学空間情報科学研究センター(CSIS)との共同研究『高頻度・高精細地形情報を用いた河床における地形変化解析方法および地域住民への空間情報発信方法についての研究』として実施しています。

研究の結果、アーマーコート化している時は、洪水時の強い流れの力（せん断力）にあたる $30-50 \text{ N/m}^2$ でも砂州の地形に、ほとんど変化が見られないことがわかりました。しかし、河床耕耘後は、砂州の表層が軟らかくなったことにより、およそ $20-30 \text{ N/m}^2$ ぐらいの少し強めの流す力で、小礫が流れ出し地形が変化はじめることができます。ドローンの空中撮影画像と2次元シミュレーションとの比較からわかつてきました（図1）。

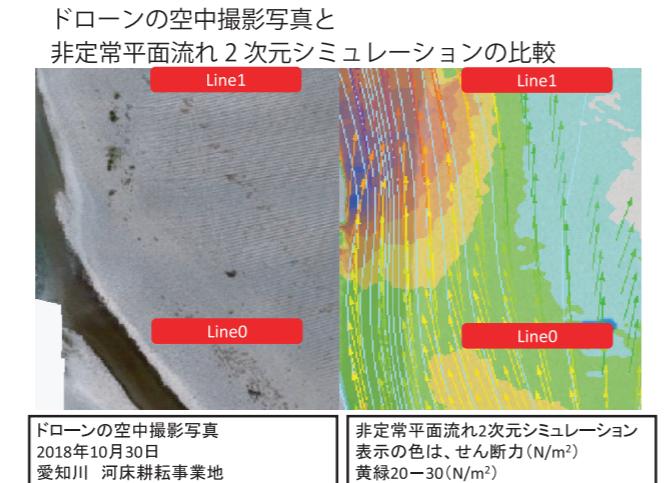


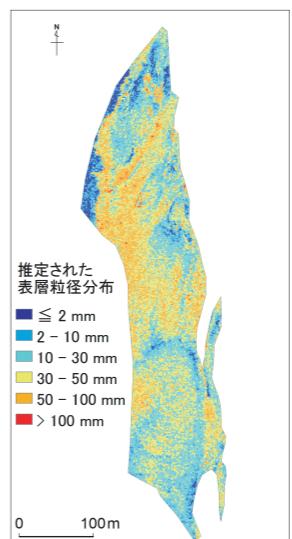
図1 ドローン空中撮影写真 (左)
超細密2次元シミュレーション (右)

サブテーマ3：森林、河川等の環境変遷

アユやビワマスにとってやわらかな小礫が多い環境がとても重要です。しかし、小礫は動きやすく次々に環境が変遷していきます。河床の粒径分布の環境変遷をどのように把握するのかは、環境修復保全再生にとって重要な課題です。

川の粒径分布を調査する方法は大きく分けて2つあります。1つは河床から決められた範囲と深さの土砂を全部持ってきてふるいで粒径を分ける方法です。もう1つは、巻尺を張り数十センチ等間隔に表面の礫をランダムサンプリングして、その礫粒径をその区間の代表値として測る方法です。どちらの方法も、現場で時間がかかる困難な作業ですので、より簡便な調査方法で効率的に川の粒径分布を示せる方法が必要とされています。

サブテーマ3では、航空機、ドローンなど色々な方法で河床を撮影した「写真」から、川の粒径分布の特徴を、統計演算に基づく画像解析により推定する方法の開発に挑戦しています。その結果、砂州（砂礫堆）表層の平均粒径分布は、場所ごとにかなり違うことが明らかになりました（図2）。つまり、1つの砂州（砂礫堆）においても、過去の高水位時に水が流れた場所とそうでない場所があり、そのことが粒径分布の差を感じさせている可能性があります。広域の表層平均粒径分布が把握できるようになると、どの場所で河床耕耘すれば土砂移動が促進されやすいかの判断材料になるでしょう。



サブテーマ4：多様な主体の協働による在来魚保全・再生

科学的なデータがあっても、在来魚の保全・再生を実行しようとする人がいなければ保全・再生はできません。そのため、地域住民を中心とする多様な主体の協働によって、在来魚を保全・再生するための川づくりが必要です。しかし、こうした活動は、取り組みを開始することも、継続することも難しいため、良い事例(better case study)を積み重ねて、そのノウハウを他にも応用していくことが効果的です。

サブテーマ4では、家棟川（野洲市）において地域住民を中心とした多様な主体の協働によるビワマスの保全・再生活動を支援しています。家棟川では、河川環境に興味をもった地元の方々が、自ら河川の魚類を調査してきました。さらに、地元の方々は、魚類調査結果や昔生息していた魚種から、家棟川の環境保全のシンボルとして「ビワマス」を選定しまし

た。現在では、住民、企業、行政、専門家など多様な主体が協働して、ビワマスが遡上する川づくりに挑戦しています。

家棟川のビワマスが遡上する川づくりでは、好適な粒径の小礫を入れつつ、人力で河床耕耘することによりビワマスの産卵床の造成をしています（写真4）。その結果、取り組みを始めた年の秋に、ビワマスが産卵し、稚魚が見つかるという嬉しい結果になりました。地域の人々と多様な主体が協力して頑張れば、在来魚の保全・回復につなげられるという良い事例になっています。



写真4 家棟川でビワマスの産卵床を造成する様子

今後の課題：研究成果を社会に役立てる

4つのサブテーマでは、それぞれ研究成果が出てきました。次のステップは、4つのサブテーマの研究成果をまとめて、流域全体の土砂のつながり再生など、在来魚保全再生に向けた流域環境保全再生活動に社会実装していくことです。

平成30年度には、「琵琶湖の保全及び再生に関する法律」の趣旨に基づき、滋賀県環境政策課と東近江市市民環境部森と水政策課と環境省が連携して、愛知川流域で私たちの研究成果を実社会に活かす取り組みに着手しました。最初は、私たちがどのような研究をしてきたのか、また愛知川の流域環境保全再生にどのように役立つかを、愛知川の流域の漁業組合、森林組合、まちづくり協議会、環境保全NPOなどの地方の方々に紹介する研究成果発表会を開催しました（写真5）。

これからも、在来魚保全再生に向けた取り組みに関して、地域の皆さんと一緒に考える活動を支援していくことにより、私たちの研究成果を実社会に役立てていきたいと思います。



写真5 愛知川流域における研究成果発表会の様子

総合解析部門 水野 敏明