

天塩川 魚類生息環境保全に関する専門家会議 ニュース

「天塩川流域～森と海に優しい川づくりワークショップ」を
令和5年10月17日に美深町で開催しました

天塩川魚類生息環境保全に関する専門家会議とは？

旭川開発建設部及び留萌開発建設部では、平成19年10月に天塩川水系河川整備計画が策定されたことを踏まえ、天塩川流域における魚類等の移動の連続性確保及び生息環境の保全に向けた川づくりやモニタリング等について、魚類等に関する学識経験や知見を有する専門家の方々の意見を聴取するため、平成19年11月14日に設置しました。

開会

開会のあいさつ

事務局

このワークショップは、「天塩川魚類生息環境保全に関する専門家会議」の取り組みとして今年で13回目の開催となる。天塩川流域では、各関係機関により、河川環境の保全や魚類の連続性確保に向けて様々な取り組みが行われる中、今回のワークショップを魚道の構造や河川との接続、川づくりで配慮すべき事項、魚類の生態特性などの技術的・生態的な課題に対する解決の手がかりとしていただき、技術的な情報の共有と技術力の向上を図って、天塩川流域をこれまで以上に、森と海に優しい天塩川にしていきたい。

今日は、机上ワークショップとして専門家会議の妹尾委員と安田委員から講義をしていただいた後、現地ワークショップとしては、天塩川的美深橋周辺の河道掘削後にサケの産卵床が多く確認されている事例を見学していただく予定となっている。



机上ワークショップ・講義

「サケ科魚類の生息環境と川づくり」

妹尾委員(流域生態研究所 所長)

このワークショップは13回目で、これまで河川自然学として、水にスペースを与えて水の力で川を造り土砂をコントロールするという川づくりについて話をしてきた。今日は「サケ科魚類の生息環境と川づくり」ということで、サケ科魚類がどんな環境を必要としていて、その環境をどのような手法を取れば出来るのかについて、これまで現場を歩いて見てきた状況を踏まえて説明したい。



この資料の表紙の写真を見ると、汚らしい川と思うかもしれないが、私はどこに魚が生息し、産卵をするのかが見えるので、なんて素晴らしい川だと思う。改修された川の形状とは異なり、川の中に氾濫するスペースがあり、水が分散して流速が弱まり、土砂をきっちり溜め込む形の川がある。大きな扇状地に人間が定住するためには氾濫しないように川を強固にしてきた歴史があるが、ある程度魚も棲むことができるような川を上手く出来ないかということで色々研究してきている。

北海道の一級河川の標準断面として低水路と高水敷があるが、本州の川は、用地の制約で高水敷を確保することができず、河川用地全部が低水路になっていて、平時には河道内を自由に蛇行しながら河原のある川が多いが、北海道の一級河川では、標準断面として高水敷があるため低水路内を自由に蛇行する流れにはなっていない。

北海道では、昔は川が氾濫しても人々は身近で魚釣りなどをして楽しかった記憶があるようだが、今の川は楽しくないので人は川から離れていってしまっている。これからの川づくりとして、地域発展のために川でいろいろな体験ができる川づくりが必要になっていると考えている。

天塩川では、北海道や林野庁を含めた皆さんの協力で、サケ科魚類の生息に必要な環境の一つとして「サクラマス」を遡上させようという魚道整備の取り組みが大きな成果を上げている。魚道には昔からの古い魚道もあれば最新型

の台形式などいろいろな魚道があるが、魚道の中にきっちり水が流れていればサクラマスは相当な落差があっても、例えば、下流に 1m 以上のプールがあれば、2m70cm 程度の落差は越えていく。

サクラマスは春先に川に遡上し、本川の大きな淵などで成熟をして8月お盆過ぎからの降雨洪水に合わせて支流河川の最上流まで遡上して産卵をするので、このような魚道整備の取り組みは、凄い効果のある事業となっている。

そのほかに、今日午後から現地を見に行くが、サケが広範囲に産卵をするという条件は、ちょっとした川の工夫によって可能である。また、カラフトマスやアメマス、イトウのほか、ウグイ、カワヤツメ、キュウリウオ、ワカサギなども川に遡上して産卵をするが、産卵のために一番重要なのは、河床に砂利があるかどうかである。

サケは大体 9 月くらいから遡上してきて 12 月頃迄産卵をするが、産卵後に積算水温が 480°C くらいで孵化し、河川内に浮上するのは大体 960°C である。このためには大体 8°C の安定した水温が必要なので、サケは湧水が豊富であるか、あるいは大きな河原があって伏流水が湧出していて、年間水温が安定している川を選んで遡上してくるので、砂利のコントロールと河原の形成というのは非常に重要になってくる。浮上したサケの稚魚はパーマークがはっきりしていて、下流に流されないよう入り江や複雑な環境が必要であり、そこで採餌して体長が 5cm 位になるとパーマークが消えて、ヤマメのスマルトと同じように体が白銀色の状態になってから海に下っていく。

サクラマスは、春先の融雪洪水とともに上流の河川に遡上し、8 月中旬くらい迄は大きな淵で成熟して、夏季の降雨洪水等によって最上流まで遡上する。サクラマスは平瀬で産卵し、孵化する積算水温は 440°C くらいなので、9 月に産卵すると 10 月～11 月に孵化後、春先まで産卵床内に仔魚、稚魚として留まっている。浮上時期は融雪洪水時期と重なっており、稚魚期はまだ遊泳能力がほとんどないので、河床低下等で岩盤河床になっているところでは稚魚が融雪洪水で一気に流されてしまうので、氾濫して細流や分流などができる環境がないとサクラマス資源を維持することは出来ない。

これまでの調査で、サクラマスが平瀬で産卵するような河川の環境として、3倍理論を提唱しており、これは、淵への流れ込みの上流側の濡筋幅に対して、淵下流の平瀬が出来るまでの縦断距離として 3 倍に相当するスペースを与えることで、大量の土砂が堆積し、そこにサクラマスが産卵する平瀬が形成されるということである。

最初から淵をつくって流水エネルギーを吸収させること

ができないところでは、濡筋幅を 3 倍広げるような水を横方向に分散させるスペースだけ与えると、ここにも砂利が溜まって淵が自然と出来上がるようになっていく。

自然の川はきちっとした河原が形成されているので、改修した川と比べると歩きやすく多少水が多くても、平瀬の部分というのは横断しやすい。淵では出水時に掘れ込んで、そこで流水エネルギーが吸収され、流速が遅くなるので運ばれてきた土砂がそこに溜まりこんで平瀬となる。大洪水の時は、水は真つすぐに流れようとする性質があり、河原のインコース側を一気に流れ、従来流れ込んで大きな淵になっていた所は、今度は逆に水が停滞する部分になり、停滞する部分には、いろいろなものを溜め込んでいく。溜め込んでいって水がまた減っていくときに、蛇行する淵の部分を再び流れようとして、この平瀬の上の砂利部分を流出させて、洪水から平水に戻る度に砂利が入れ替わっていくという、そういうことが繰り返されていく。

幼魚の生息環境として、春先に氾濫域とか、細流、分流など流木があつたり色々な物があるような所に行くと、幼魚がたくさん入り込んで生活をしている。水溜まりでも周りからの伏流環境があると夏場でも水が枯れることなく、伏流水によって溶存酸素が供給され、水温も上昇することなく幼魚が生息できる環境となる。改修された川でも、ある程度川幅が広いと洲や細流が出来て、稚魚がたくさん入り込んで生活することも可能になるので、そういう川づくりを目指していけば、サケ科魚類の産卵は可能になると思っている。

午後の現地ワークショップの場所となる美深橋の河道掘削箇所については、水は流心に沿った流れになるので、水が停滞しやすい部分では樹林化が進行している。単発的に蛇行部内岸を掘削するのではなく、洪水時に水がインコース、インコースを流れるように上流側の内岸もセットで掘削して、洪水時に攪乱が起こるような流れ方に変えて、樹林化しないようにする必要がある。美深橋下流左岸では、平成 22 年に内岸側ではなく外岸側を掘削してしまったが、面白いことに、掘削したことで水が分散して、そこに砂利が大量に溜まり、その年からサケが産卵する大産卵場になった事例がある。しかし、平成 28 年にも上流の内岸側を掘削して大産卵場ができたが、一部では 6 年程度経過すると樹林化してしまうので、令和 4 年からはさらに上流の内岸側を掘削する工事を行っている。今日、現地ワークショップで行くところは、掘削予定地の約 1/3 の下流部分の掘削が完了した箇所であり、土砂堆積したところでは出水が落ちて水位が低下したため一部は現在陸地化しているが、サケは伏流している高さまで掘って卵を産んでいるので卵は健全であり、湧出水の水温も 10°C 程度で安定している。大きな

平瀬もできているので、サケだけではなくてカワヤツメ、ウグイなどの産卵場もここに出来上がっているようである。

河道計画で護岸が必要になるときは、河岸を完全に回りきるまで護岸を張るというのが一般的だと思うが、そうすると平水時の滞筋の流向は護岸に沿って流れてしまうので、護岸は曲げずに真っすぐ入れ込むようにした方がよい。河床低下が生じて樹林化が進行するのは、この護岸の影響であり、流れを強制して流向が決められ、護岸に沿って高流速が生じるからである。

河原では、上流側で水が吸い込まれていく箇所と河原の末端で水がどんどん出てくる箇所があり、これによって水温を安定させるという役割と水質浄化というすごく重要な役割がある。農地からの水が支流河川に入り本川も濁っていることがあるが、このような大きな河原や大きな堆積環境があることで水質浄化や水温の安定化がされて、本川はきれいで安定した水温の水を供給することができる。

サクラマスが産卵するときは、まず尾びれで掘って、流れを利用して小さい砂利は下流へどんどん流して、最後に残った大きな礫と礫の隙間に卵を産み、その上流側からまた同じ行動をして、砂利を被せていき、産卵床が出来上がる。平瀬では、河床面がザル状になっていて、水が吸い込まれるので卵を産んでもこの礫の中に卵が吸い込まれる状態になるので卵が定着することができる。川づくりではそういう平瀬の環境がきっちり出来るような形態を作っていく必要がある。

淵については、流れ込んできた水の流水エネルギーをここで吸収して、ほとんど流れのない穏やかな形にすることで砂利が堆積し平瀬ができる。この平瀬部分は水深が一番浅い所なので、川を横断する時は、ここをめがけて横断すると渡りやすい。また、淵では大きな反転流が出来るが、反転流の中心部では殆んど流れがないので木の葉やサケ・サクラマスの死骸などが堆積し、冬期間に微生物やトビケラなどの昆虫類によって分解されて、春先までにヘドロ化する。このヘドロが春の融雪洪水で水の中に溶け込んで海に流れていって初めて海の栄養源になるので、これも正常な川の機能の一つである。大きな淵では堆積物の厚さが1m以上も溜まり、下の方は分解熱で凄く暖かいので、河川水温が0℃近いときでも、そこでは水温が10℃以上になり、ドジョウやヤツメ、ヤマメなどの越冬場所となる。

補助河川などで河川用地に制約がある場合には、水制帯工群による手法で川づくりを行う方法がある。通常、帯工の設置間隔は、河床勾配の逆数に相当する距離につき1箇所の間隔で設置するが、その場合、帯工の下流側が洗掘されて1mの段差が生じてしまう。そのため、河床勾配の

逆数の1/3間隔で帯工群を設置することで、洗掘が生じたとしても30cm程度の落差にとどまるので、魚の移動も可能となる。そして、帯工を上流に向けて凸となるような空石等でアーチ型に組んで中心に水を集めるようにすると、そこに深い淵が出来て、縦断方向だけの工夫でも河川形態が形成されるようになる。

これからの川づくりは、流水エネルギーをどのように吸収させて、どのように分散させるかということが重要であり、これによって土砂がコントロールされる仕組みが出来て、平瀬がきっちり出来上がり、サケ科魚類が産卵し、稚魚が生活することが可能な環境にすることができる。用地の制約があるところでも、方法によっては川づくりをすることができるほか、直轄河川では高水敷という空間があるので、その空間を有効な空間に作り替えるというのも河川技術者の技ではないかなと考えている。

「石組みの技術による河川構造物周辺の改善へ」

安田陽一委員(日本大学理工学部土木工学科 教授)

初期の段階ではコンクリート構造物を使うことで河川構造物周辺の改善ができるのではないかと考えていたが、多様な流れ、複雑な流れを考えたときに、どうしても自然石を使ったものには敵わないということで、現在行っている石組みによる改善の取り組み事例について紹介したい。



今日紹介する5つの事例としては、一つ目は山梨県の釜無川水系の大武川で土石流区間の中で行った粗礫斜路の試みであり、二つ目は、全国的にも問題になっている橋脚周りの洗掘を石組みを使うことで洗掘軽減ができることが検証された実験、三つ目は群馬の神流川で行った湾曲部に沿った流れによって引き起こされる内岸側の土砂堆積や外岸側の構造物への影響等について改善を行った事例、四つ目は落差構造物下流の跳水式減勢工において主流を上方に向けることで洗掘を軽減した事例、最後に長崎県佐奈河内川における石組みの斜路を築造した事例について紹介したい。また、資料にはないが石組み魚道の施工や伏流水の研究についても紹介したい。

大武川は川幅が74mあり、風化しやすい花崗岩質いわゆる真砂土で、出水時には土砂生産量が非常に多い川な

ので、出水によって溪流にいる魚たちの生活が不便になる状況があった。このため、河川内に巨石を点々と置いて、巨石背後に局所洗堀を促して淵を形成させるようにしている事例である。

堰堤から副ダム区間は勾配が $1/8$ となっていて、年最大流量時には大きな礫が流出することから、コンクリート構造物で対策をしても簡単に壊れたり、魚道を設置しても滞筋の変化で魚道が機能しないという状況があったので、この区間を粗礫斜路にして、そこに現地発生の巨石を 50 箇所設置した。これによって、水流に気泡の混入が多くみられるようになるとともに、河床の中央部を少し低くして 3%の横断勾配を持たせているので表層流も見られるようになり、水量が増えれば両サイドの流れも少しずつ増えるような流れになっている。このため、ハゼのような小型魚も容易に遡上できるようになった。

この状況を模型実験でも再現をしていて、縦断勾配は $1/10$ 、横断的にはすり鉢状にして、洪水流を斜面から流下させると、下流側で速い流れから遅い流れに変わる時に、通常は跳水が生じるが、空積みの粗礫斜路タイプでは直下でも主流が直ちに水面の方へ上昇して、河床に洗堀する影響が最小限になっていることが確認され、河床低下対策に役立つものとなっている。表面流は速い流れとなっているが、石組みの中では 20cm/s 以内の流速が抑えられた流れになっているので、生き物の避難環境になると考えられる。

これは橋脚の周りの洗堀に関する実験であるが、長楕円の橋脚模型周囲にホロースクエアタイプの護床ブロックを設置し、その下流に実験模型で 5mm 前後の石を並べた状態で通水すると、橋脚の脇の方が掘れるほか、橋脚の真後ろ部分も掘れる結果となっている。護床ブロック部分を大きな石を使った石組みに置き換えると、橋脚の脇の方は同じように掘れても橋脚の真後ろ部分は掘れなかったが、これは橋脚に流れがぶつかった後に流れが集中するかどうかの違いで洗堀の状況が異なることが確認された。その後の実験で、長楕円の大体2倍程度まで石を敷くことで、減勢効果が大きく働くということがわかった。

また、流木が橋脚に引っかかる現象があるが、橋脚が鉛直面の場合は流木が引っかかって流れにくくなるが、橋脚上流面を深さ方向に 45° の傾斜をつけた長大円柱にして実験を行った場合は、流木が引っかかった時の衝突位置がそれぞれ変わり回転モーメントがかかりやすくなって、流木がどちらかに逃げて、流木が溜まりにくくなった。さらに、橋脚による上流側への水位堰上げも 5%程度下がる結果となった。

生物の生息環境の面では、この橋脚周囲の石組みの中

が魚礁になるので、湯水時にもこの石組みの中でしっかりと棲むことができる。

群馬県上野村における神流川の湾曲部の石組み水制工の事例では、川幅 5m 位で水深が非常に浅く内岸側に多くの土砂堆積が起こっていたが、外岸の壁から垂直に石組みの水制工を水面の高さぐらいで設置した。施工後 2 年経過した状況としては、平水時の滞筋が内岸側に移動していて水面幅も 2 倍に増えて、増水した時には内岸側の砂州の礫が交換されるようになった。また、石組み水制工を設置することで流れに多様性が生まれて、魚も生息するようになり、出水を受けても石組みは安定した状態を保っている。

落差工下流の減勢工についての実験としては、跳水が収まる区間までの護床工を石組みによる護床区間にして実験を行ったものであり、実スケールでは 60cm 前後の巨石を使った石組み護床となっている。

実験結果としては、中心部の流れは比較的上の方に上がりやすいが、サイドの方では少し底面の方であって、石組み巨石の終端部付近では水面の方に向かって上がるようになっている。次に主流の位置を見ると、中心部では各測定値の最大流速が生じる位置の高さが早く上がりやすいが、サイドの方のさらに壁付近ではなかなか上がりにくい状態になっていて、流れの三次元性の影響が大きいと考えられる。これらのことから、巨石を置くことによって主流を少しずつ上に上げて、終端近くでは完全に上に上げる効果があり、魚の生息・産卵できる環境になるとともに、土砂の自然堆積もきちんと促すことができると考えられる。

底面付近の流速については、石組み区間の中では中心部でもサイドの方でも減衰傾向になっていて、さらに下流側ではほぼ安定した状況が続いている。乱れ、標準偏差についても石組みの区間で効果は大きく、下流側ではほぼ安定したような状況が続くので、跳水区間が終わるところまで石組みをすることで十分機能が果たせる結果となった。

東北の山形で新たな発電施設の建設時に、発電施設下流側で水替え工事中に洗堀が生じて、従来の設計基準では護床工対策として延長 120m の護床ブロック区間が必要であった。模型実験の結果から、跳水が終わるぐらいの区間まで石組み護床工を設置することを提案して、結果的には 30m 程度の施工区間で止めて、昨年の既往最大規模の出水の時に、洗堀防止対策が十分であることが立証することができた。

石組みの実験として、空積みの場合と石組みの空間を埋めた練積みの場合について、それぞれの違いについて実験を行ったところ、流下方向の流速については、練積みで穴埋めした場合は常に明らかに流速が大きく、場所によ

っては2倍以上の速度差が生じることが分かった。これは、空積みの空間がダッシュポットのような働きをして流水エネルギーを消散させることで底面近くの流れが抑えられ、それが上へ上へと上がろうという性質に変わっていると考えられる。

長崎県の郡川支川の佐奈河内川で頭首工直下に石組みによる粗礫斜路を施工した事例では、勾配が1/50の斜路にコンクリートを10cm程度打設してから40cmぐらいの石で石組みを施工し、その施工直後に水位が2mぐらい上昇するような大きな出水があったが、石組みの構造が全く壊れなかった。

群馬県上野村における砂防堰堤の魚道設置の事例では、落差8mぐらいの砂防堰堤に幅1.5mで勾配が1/5の魚道が設置されていたが、砂防区間特有のいろいろな礫の流下によって、魚道隔壁がボロボロになって魚が通れるような機能を果たしていなかった。魚道機能を復活させるために予算の関係もあって、40cm前後の巨石を魚道内に入れて、右岸側を少し高めにして魚道を改善した。その結果、堰堤の上流側に相当数の魚が遡上してきていることが確認された。魚道の下流端でも小魚が遡上しようとしているのを確認できており、巨石の空間には泡が入っていないので、その隙間を狙いながら、休息しながら魚道内に入っているのを確認した。魚道内の巨石は空積みではなく、コンクリートで一部下のほうだけは止めているが、何回も出水を経験しているが、巨石は一つも飛んでいない。

伏流水の実験では、1.6cmの細礫を敷いた上に6cm前後の巨石に相当する石を敷き詰めて、巨石間の穴には流速を計測するために、絶縁した金属製のコイルと電気流速計を挿入し、さらに上からの影響を受けないようにゴム板で蓋をするような形で実験を行った。水面勾配を大きくしたときに、流速が変わるのか、変わらないのかについてもわかるように実験を行っている。水量は少ない時と多い時の両方行って、上流側では当然流速が大きく、伏流水の区間では、入ったばかりのところや中間の所、下流側でも計測をしていて、結果として注目すべきは、水量が変わっても伏流する中は変わらないことが分かった。さらに、細礫を5mmぐらいの小さい礫に入れ替えても結果は変わらなかった。したがって、砂礫がきちんと混在するような条件下では伏流という機能が出来上がることが分かった。今後の実験としては、もう少し中礫ぐらいのものだけにして、その中の流速がどのぐらい速くなるのか、乱れがどのぐらい大きくなるのかについても応用として実験してみようと思っている。

先ほどの妹尾委員の講演で、サケの産卵では少し大きめの礫と細礫を含むような河床のところで産卵が行われているという話があったが、大変理にかなったことであることが、この実験で科学的に裏付けられたのではないかと考えている。

まだまだ中途半端な実験・研究であっても貢献できることがあると思うので、いろいろな方がもっとチャレンジして可能性を広げることが重要であり、アメリカ土木学会もいろいろな試行錯誤の中で積み重ねて技術を確認してきているので、日本でも基準に縛られずに新しい試みで打破することで、日本の技術が良くなると考えている。

今日紹介はしなかったが、洪水時にゲート操作を行う可動堰では、洪水時に必ず水叩きの下流側の護床ブロックの後ろが掘られてしまう。その一番大きな原因は、ゲートを支えている支柱であり、流水がゲートの支柱にぶつかって、その影響がダイレクトに下流側に伝わっているため、それを緩和するためには、石組みが効果的である。

護床ブロックではなぜダメかというと、ブロックでは主流を上上げることができず、ブロックの中の隙間、間隙が大きいため、中の乱れが大きくなって、次第に吸出しにより下流側を掘り始めるためである。一方、石組みをした場合は、主流が自然に徐々に上の方に上がる。主流を強制的に上へ上げてしまうと、その直後は逆に下にさがることになるので、石組みのように自然に主流をあげる 것이重要である。

このようなことから、巨石を使った技術は絶対に必要であり、川の環境を復元するというを日本からもっと発信できるように進めていくことができれば、世界に誇れるものになっていくとともに、海外でも真似をされるようになると思う。

現地ワークショップ

天塩川 美深橋周辺 河道掘削箇所

現地ワークショップでは、美深橋周辺河道掘削箇所において出水後の砂礫堆積・更新によってサケの大産卵場となった事例について説明・意見交換が行われた。



サケ産卵床の確認(水際部) 伏流水の水溫測定状況 河道計画の考え方の説明

■天塩川魚類生息環境保全に関する専門家会議の議事録、会議資料については、下記のホームページに記載しています。

<http://www.hkd.mlit.go.jp/as/tisui/ho928i0000003jiv.html>

(問い合わせ先)

あしたを繋ぐ 北の国
北海道開発局



旭川開発建設部治水課 TEL 0166-32-1111
旭川市宮前1条3丁目3-15 FAX 0166-32-2934
<http://www.as.hkd.mlit.go.jp/>

留萌開発建設部治水課 TEL 0164-42-2311
留萌市寿町1丁目68 FAX 0164-43-8572
<http://www.rm.hkd.mlit.go.jp/>