

湧水環境依存種の生息場回復に向けた 河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価手法

EVALUATION METHOD OF SPRING WATER POTENTIAL DISTRIBUTION ON RIVER CHANNEL TOWARD HABITAT RESTORATION OF SPRING-DEPENDENT SPECIES

吉川 慎平¹・鷲見 哲也²
Shinpei YOSHIKAWA, Tetsuya SUMI

¹ 学生会員 修(工) 大同大学大学院 博士後期課程 工学研究科材料・環境工学専攻
(〒457-8532 愛知県名古屋市中区白鳥町 40)

² 正会員 博(工) 大同大学 准教授 工学部建築学科土木・環境専攻

Spring water always has a constant flow rate, so water temperature and water quality are stable. Therefore, it provides an important habitat for organisms living in such environments. It is important for the conservation of the habitat in the main river such spring water to capture the spring water potential (the inflow discharge of spring water per river length) as a matter of fact.

In this study, we combine existing hydrological and water quality survey methods in the Tsuya River basin inhabiting the spring water environment in light of the local situation, visualize the spatial distribution of the spring water potential in the longitudinal section of the river. By narrowing down the evaluation, we narrowed down the priority places of habitat restoration. We decided to propose a survey scheme of the spring water potential distribution obtained through these as a river technology supporting conservation ecology in the spring water river.

Key Words : river environment, habitat restoration, spring water potential, field survey, Tsuya river

1. はじめに

地下水(伏流水)の出口としての湧水環境は、一般に年間を通じて一定の水量が確保され、水温や水質が安定的であることから、このような環境に依存する生物種にとって重要な生息場を提供している。こうした湧水を主体とする河川における生息場の保全(保存・回復)に際しては、存在実態としての湧水ポテンシャル(河道長辺りの湧水流入量)を捉えることが重要である。しかし、河道に流入する湧水の形態は、湧水池や自噴井からの細流といった明確なものばかりではなく、河道内の水際や河床にもみられるが、その存在は通常可視的でない。

本研究では、実際に湧水環境依存種であるトゲウオ科のハリヨ(魚類)が生息する木曽川水系津屋川流域において、既存の水文的・水質的調査手法を現地状況に照らして組み合わせ、こうした河道縦断での湧水ポテンシャルの空間分布を可視化し、評価することで生息場回復の優先箇所(適地)を絞り込むことを試みた。本稿では、調査の成果と共に、これらのプロセスを通じて得られた一連の湧水ポテンシャル分布の調査・評価スキームを、湧水河川における保全生態を支える河川技術として提案することとした。

2. 研究対象地と調査の概要

(1) 津屋川流域の概要・地形的特徴と湧水

津屋川は、濃尾平野の西端、養老山地東麓を流れる木曽川水系揖斐川の一次支川(一級河川)である(図-1)。流域は岐阜県養老町、海津市にまたがり、本川流路延長 12.6km、本川流域面積は 44.3km²である¹⁾。

地形は、流域中央部を縦断(南北)方向に走る養老・桑名断層により生じた活断層崖(急崖)を基盤としており、横断(東西)方向の地形は、標高 1~3m の本川筋(低平地)から 600~800m の尾根筋(山地)へ 2~4km の距離で急激に立ち上がっている。地質は、大部分が堆積岩を主体としているが、上流には石灰岩ブロックが存在することが分かっている。また山麓には、山地の複数の谷から供給された砂礫が厚く堆積し、複合扇状地帯を形成している。そのため谷間の沢筋は、扇状地区間に入ると天井川を形成し、流路は扇端部で本川へと接続しているが、表流水については、当該区間でほぼ全量が伏流(平常時)し、砂礫層中に浸透している^{2,3)}。

こうした地形的特徴と湧水の存在は密接に関係しており、山麓と低平地の境界を流れる本川河道付近でみられる湧水は、複数の沢筋からの伏流水・浸透水が主な

起源となっている。津屋川本川はこのような複合扇状地扇端部に現れる湧水を縦断方向に集めながら流下するタイプの湧水河川と位置付けられる。

(2) 湧水環境依存種「ハリヨ」の生息条件と現状

津屋川には、営巣する魚として知られるトゲウオ科のハリヨ(*Gasterosteus microcephalus*)が生息している。日本固有種で滋賀県と岐阜県の一部のみに生息し、環境省レッドリストでは絶滅危惧ⅠA類に分類される。ハリヨは冷水性の魚であり、津屋川は世界のトゲウオ科の分布南限の一つとされ、その生息条件は水温 20℃以下(営巣適温は 13～18℃と更に低い)⁴⁾であり、地下水の量的な供給によって、質的に水温が低位安定した湧水環境という生息場に大きく依存した種と位置付けられる。

ハリヨの現状として、現在は本川に接続した数箇所の湧水池周辺にのみ生息しているが、かつては本川をはじめ地域で身近に見ることができる魚であった⁵⁾。しかし、1980年代以降、水域の消滅(開発に伴う埋め立て)、湧水の減少、水質の悪化、外来種の侵入等、生息場の劣化に加え、観賞魚としての密漁もあり、生息地・個体数が激減して来ている⁶⁾。代表的な生息地である「津屋川水系清水池ハリヨ生息地(以下、清水池)」に関しては、1981年に旧南濃町(現・海津市)の天然記念物に、2012年には、国の天然記念物に指定され、同市では2015年に保存管理計画案⁷⁾を策定し、現状の生息地の保存と、生息場の回復に向けた検討を始めている。

(3) 調査目的

ハリヨの保全には、その生息場として質的・量的に良好な湧水環境を保全することが合わせて必要である。しかし、生息場の現状について、清水池周辺のローカルな湧水機構や、水質・流量の季節変動等、水文・水質に関する定量的なデータが不足している状況であった。そこで2015年5月より湧水環境の現地調査を実施した⁸⁻¹²⁾。

範囲は、清水池をはじめとした中流湧水群^{*1}に重点を置き、本川上下流^{*2}、山地の主要な沢筋、上下流の湧水池も対象とした。調査地点を図-1に示す。方法は、水質・流量の定点観測、現地での探索を実施した。個別の方法は3章で結果と共に示す。

3. 津屋川における水質・流量観測

(1) 水質観測の結果(水温とEC)

期間は、予備調査も含め2015年5月～2018年3月まで月1～2回の頻度で計52回実施した(各回で調査地点数は異なる)。項目は、ポータブル pH/EC 計(東亜 DKK, WM-22EP/32EP)を用いて、水温、電気伝導率(以下、EC)、NaCl, pH, ORPを測定した他、気温測定、イオン分析用のサンプリングを実施した。

本稿では、水温と水の起源の見当をつける指標として注目した EC(無機イオンの総量)の結果について、中流湧水群(図-1 左下)と本川上下流に分けて示す。

a) 清水池(中流湧水群)周辺の水温変動

定点観測で得られた水温データの分布を図-2に示す。



図-1 津屋川本川流域(中流湧水群^{*1})と調査地点

清水池は 16℃前後で保たれており、その他の湧水池も良好な水温環境であることが明らかとなった。また湧水池の系統ごとに若干の差異が見られ、北部浄水公園は 17℃前後と全体に高く、逆に一部の湧水点では 15℃前後と低い。一方、変動幅をみると、湧水池は小さく、本川は大きいことが分かった。そこで並行して実施した連続観測による水温の変動を図-3に示す。観測にはペンダントロガー(UA-002)と、ミニダイバー水位計(DIK-611A)の水温データを使用した。結果は定点観測と同様に、湧水池は 15～18℃程度と安定的であるのに対し、本川は 6～25℃程度と季節変動が大きく、特に夏季は 20℃を超過することが確認された。この時、湧水池間と本川間に 5～6℃程度の水温ギャップが生じており、湧水池間のハリヨの移動阻害要因となっている可能性が示唆された。

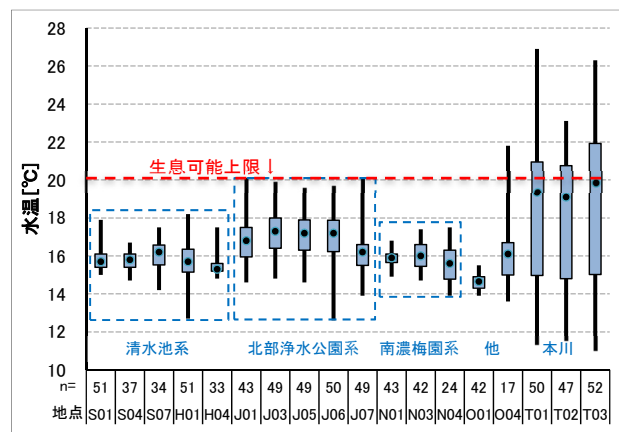


図-2 中流湧水群^{*1}周辺の水温の分布(主要地点)

b) 清水池（中流湧水群）周辺の EC 変動

定点観測で得られた EC データの分布を図-4 に示す。結果をみると、水温同様に湧水池と本川間の差異は更に顕著に現れており、湧水池は 10mS/m 程度と安定的であるが、本川は相対的に高く、変動幅も非常に大きいことが確認された。また、水温が低い一部の湧水点では、EC についても低いことから、湧水の中でも浅層・深層等、地下水ソースが複数存在することが示唆された。

c) 本川上下流の水温変動

中流湧水群付近の本川水質の結果を受け、本川上下流^{*2}の変動を詳細に捉えることとした。定点観測で得られた水温変動の結果を図-5 に示す。図中の[▲]は横流入する湧水池系の細流、排水等である。結果をみると、津屋川下流部(0~7km)は湛水区間となっており、湧水池系と比べ夏季は全体に高く下流部で上昇傾向、冬季は全体に低く下流部で低下傾向にある。また最上流部では、熱排水の流入があり局所的な上昇がみられるが、その下流では低下している。なお、少雨による渇水時(流水が不連続)は、下流部を除いてバラツキが大きい。

d) 本川上下流の EC 変動

同じく、定点観測で得られた EC 変動の結果を図-6 に示す(図中の[▲]は水温と同様)。結果をみると、最上流部に EC が高いポイントソースの存在(熱排水源とは別)が明らかとなった。これによって急上昇した EC は、流下するに従って徐々に低下していく過程が顕著に現れ、しかもその低下は一定率でなく、ステップ状であることが確認された。渇水時は水温と同様にバラツキが大きい。なお、ハリヨの生息に対する EC の高低の直接的な影響は明確ではない。

(2) 流量観測の結果

期間は、2017 年 5 月~10 月まで、月 1 回の頻度で計 6 回実施した。電磁流速計(KENEK, VE10)を用いた 1 点法を基本とし、流れ幅・水深に応じて適宜断面分割した。地点は、本川 9、本川から低平地側への取水樋管 5、本川に横流入する主要な湧水池系 5、主要な沢筋の山地区間末端 6 の計 25 地点とした(図-1)。なお、本川は湛水区間のため観測が困難な下流と、用水路である最上流を除いた上中流の 6.8km(3.9~10.7km)を対象区間(以下、本川縦断^{*3})とし、中間地点の設定は、水質(EC)の結果に見られたステップ状の低下を参考にした。本稿では、本川縦断関係の結果について示す。

定点観測で得られた本川縦断での流量変動の結果を図-8 に示す。図中の[▲]は横流入する主要な湧水池系である。結果をみると、中間で取水されているケースもあるが、渇水時から増水時まで異なる流況時のデータが得られた。全体的に、流量の増加は一定率ではなく、ステップ状であることが明らかとなった。流量増加の集中は 2 区間で明確に見られた。その内、5~6km は中流湧水群と重なり、横流入する 4 地点の流量を合算すると、この区間での増加量の 7 割程度であった。7~8km は明示的な湧水池 1 地点の流量では不足し、多数の非明示的な湧水が当該区間での増加に貢献していることが分かった。一方、10~11km 付近は増水時を除いて増加がみられず、流量は乏しい状況であることも分かった。

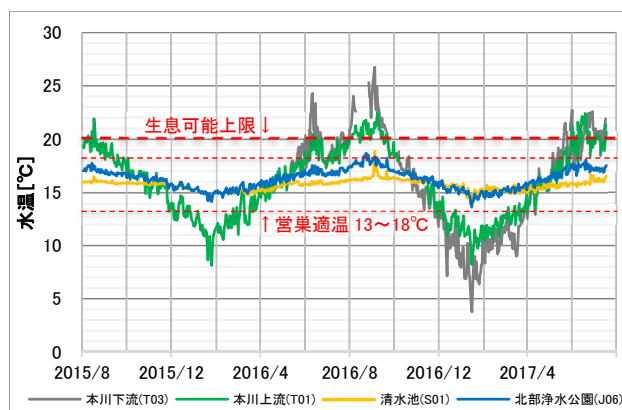


図-3 本川・湧水池水路での連続観測の結果(日平均)
(2015/8/2~2017/7/17)

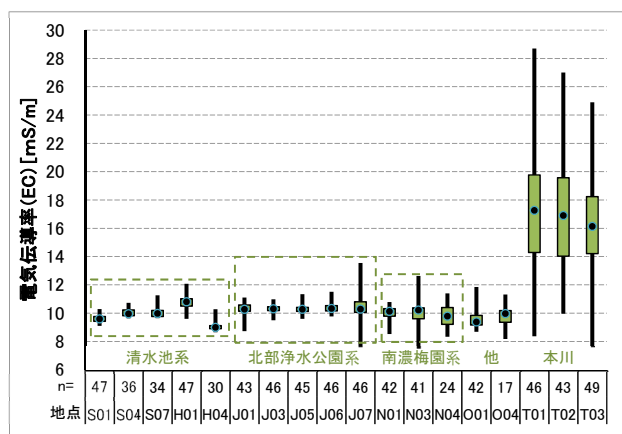


図-4 中流湧水群^{*1}周辺の EC の分布(主要地点)

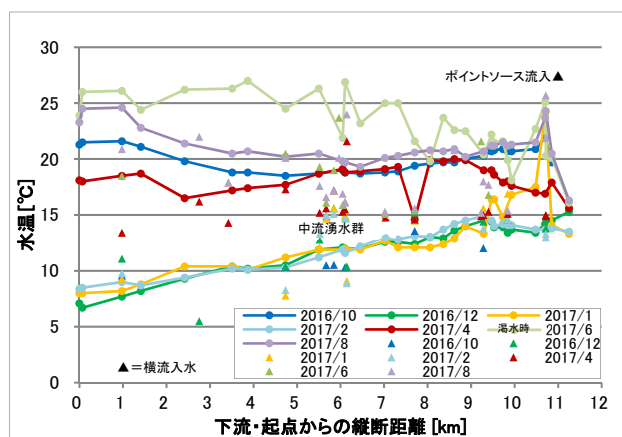


図-5 本川上下流^{*2}での水温変動

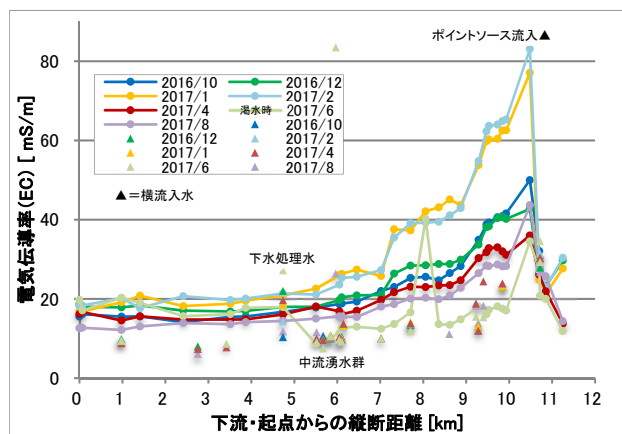


図-6 本川上下流^{*2}での EC 変動

4. 湧水ポテンシャル分布の評価と生息場回復の優先箇所検討

(1) 水温・EC・流量の結果からみた評価

3-1c,d で示した本川縦断³での水質観測の結果において、水温・EC 共に、ポイントソースによる上昇が、流下するに従って低下していく過程が見られるが、これは横流入する湧水による冷却(水温)、希釈(EC)効果によるものである。特に EC は、ステップ状の低下が顕著であるが、これは区間ごとの希釈効果を示しており、値が急激に低下する区間では希釈効果が大きく、そうでない区間は小さいことを意味している。

裏付けとして、流量と流量観測地点の EC の結果とを照らし合わせた結果が図-8 である(10/17 のみ対応)。
EC の低下と流量が増加の対応関係が全体として認められた。更に計測地点の粗い流量ときめ細かい EC の両方のデータを用いて、横流入量の分布の推定を試みた。

ある 2 つの隣接する流量計測区間の間に EC の計測地点が 1 つ以上ある場合について検討する。その上流側と下流側の値を、流量を Q_U, Q_D とし、EC 値を C_U, C_D とする。この区間の横流入量 $Q_D - Q_U$ に対する EC の平均値 C_{in} は、次式で表し便宜上一定値とする。

$$C_{in} = (C_D Q_D - C_U Q_U) / (Q_D - Q_U) \quad (1)$$

その中で EC 計測点の上流側から数えて i 番目と $i-1$ 番目の小区間の推定横流入量を q_i とすると、小区間ごとの物質と水の連続式から次の漸化式を得る。

$$q_i = Q_{i-1} (C_{i-1} - C_i) / (C_i - C_{in}), \quad Q_i = Q_{i-1} + q_i \quad (2)$$

これを小区間の距離で除して河道長さ当たりの横流入量の分布を描くことができる。ここでは別々に計測したが流況は近いケース (EC: 4/16, 流量: 10/17) を組み合わせ推定した一例を図-8 中に併記した。 C_{in} を一定に扱ったことや流量計測誤差等から負値が現れる区間もあるが、ここでは正值のみを扱う。結果、当該区間においては 3 つのピークが表れ、流量計測のみでは可視化できない湧水の集中区間を特定できることが分かった。

以上、水温・EC・流量から、湧水ポテンシャルが高い区間を総合的に評価すると、5.5~6.0km, 7.0~7.5km, 9.0~9.5km 付近と位置付けられる。10 地点のみの流量データよりも、30 地点の EC と水温データを参照することで、よりきめ細かい区間の絞り込みが可能となった。

(2) 水収支からみた評価

ここではやや大きいスケールで、各支川(沢筋)で伏流する流量のうちどの程度本川に湧水として復帰しているかを検討する。観測流量を基に、図-9 のように 2 つの流量を比較した。横軸は、各支川の山地計測流量を、地点上流域面積と支川全体流域面積の比で割り増して得た推定支川流出量 Q_i をとる。縦軸に、各扇状地に対応する本川区間について、上下流の流量差 ($Q_{out} - Q_{in}$) に取水流量 Q_r を加えて得られる区間推定湧水量をとる。図からは小倉谷と志津谷(志津北谷+南谷)の区間では両流量は同程度で、扇状地からの伏流水・浸透水は全量程度本川に復帰している。しかし滝谷区間では実湧水量が少なく、流域外へのリークは明らかで、主に低平

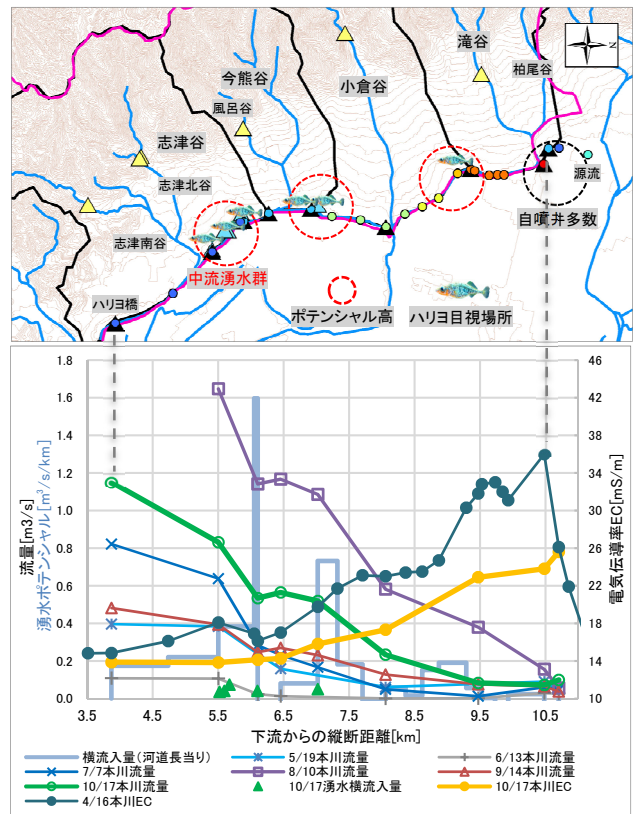


図-7(上) 本川縦断³ 区間拡大図
図-8(下) 本川流量・EC の縦断分布と横流入量

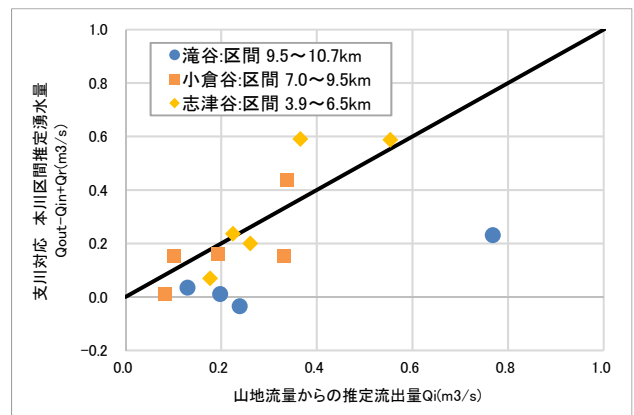


図-9 支川(沢筋)推定流出長量と本川収支の比較

地側(流域外)に存在する自噴井等への流失と対応することから、本川に獲得する余地があることがわかった。

(3) 湧水ポテンシャルと地形の対応関係

以上の評価を図-7 の地図上に重ねて示す。湧水ポテンシャルと地形の対応関係を見ると、流量増加が集中する区間は、並列する扇状地扇端の交差部・境界部の窪んだ部分に当たり、逆に流量増加が少ない区間は、扇端正面部分に当たることが明らかとなった。複合扇状地地形下において、このような現象が見られた理由について検討・考察を加える。

図-10 は複合扇状地帯を「模擬」した地形(小倉谷を想定)での平面 2 次元浸透流解析の結果の概要である。山側を不透過条件とし、その谷筋幅 100m から 200L/s を浸透供給し、川側を半径 900m の扇形地形を滑らかに接続した形で水位一定の境界条件とした。下端面を標

高-5m の水平不透過面上での(透水係数 $k=0.1\text{cm/s}$) Dupuit-Forchheimer 仮定で定常解析¹³⁾を行った。

流量ベクトルが示すように扇状地扇頂から拡散した流れは、扇端の隣合う窪んだ区間に集中した。その南北長さ当りの湧水量は扇頂正面の約 3.5 倍と集中する。地下水学的検討により連続扇状地の扇端の平面線形と谷の位置関係が、このような湧水ポテンシャル分布をもたらしものと推定する。

(4) 湧水ポテンシャルとハリヨ生息状況の対応関係

ハリヨが目視により容易に確認できたエリア(下流 1 地点省略)を図-7 のマップ上に重ねて示す。結果的に、湧水ポテンシャルが高いと評価した区間周辺の湧水池でハリヨを見ることができた(本川では確認できない)。しかしその個体数は、中流湧水群周辺を除いて極めて少ないとみられる。上下流の生息場を見ると、いずれも小規模の湧水池で、更に周辺の生息地とは距離があり、孤立化・分断化した状態にある。また渇水時は湧水量が乏しく、生息場としては脆弱性が高いといえる。

(5) 湧水ポテンシャルと生息場創出の実例

これまでのデータからも中流湧水群周辺の湧水ポテンシャルは高く、またそのポテンシャルが高い割合でハリヨの生息場に供されていることが水収支から確認された。

生息場創出の実例として、中流湧水群周辺も、過去の開発により湧水池や本川の水際が埋め立てられて来たが、1994 年に供用開始した下水処理場建設に伴う開発では、代替措置として庭園風の池が人工的に整備された(現・北部浄水公園)。しかし、陸地を切り下げたことにより地下水が自然湧出する湧水池となり、現在はハリヨが定着し清水池に次ぐ主要な生息場として保全が進められている。これは、湧水ポテンシャルが高い地点に、ハリヨの生息に適した場(池や水路)を整えることで、生息場を創出可能であることが実証された事例といえる。

(6) 生息場回復・創出の優先検討箇所

3 章までのデータからも津屋川本川は水質(特に水温)条件が安定的ではなく、定常的なハリヨの生息は確認されていない。よって、本川を生息場として回復させることは最終目標としつつも、湧水ポテンシャル分布を評価した 2 つの側面から優先検討箇所について考察した。

a) 本川縦断での水質・流量変動でみた場合

4(1)で示したポテンシャルの高い区間の本川際においては、地下水位のモニタリング等を実施した上で、北部浄水公園同様に湧水が安定供給される高さに切り下げた池や水路を整備することにより、生息場が回復・創出できる可能性が高い。逆に、ポテンシャルが低い区間では、このような生息場の創出は実施せず、ハリヨの移動経路として、上流からの本川水質の保存(水温の維持)に貢献するよう、流れ幅を狭めて滞留時間を減らすなど、日射や気温の影響を避ける対策が考えられる。

b) 沢筋(支川)ごとの水収支でみた場合

4(2)で示した沢筋(支川)ごとの水収支から、最上流の滝谷流域に関しては、地下水(伏流水)の大部分が本川際で湧水として復帰せず、本川を潜って流域外へとリー

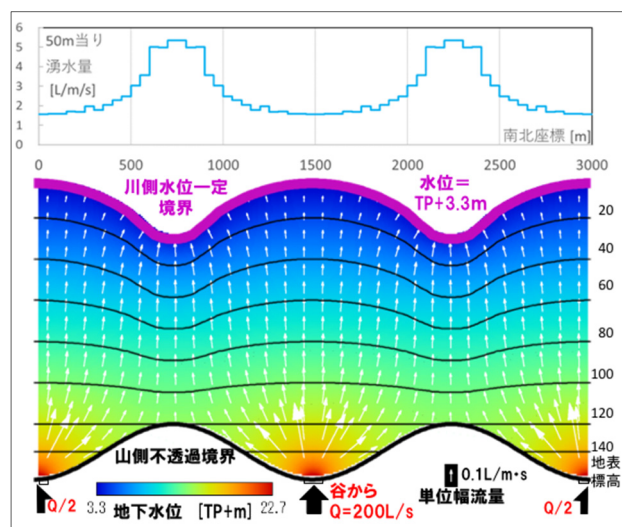


図-10 連続扇状地を模擬した 2 次元浸透流解析

クしていることが明らかとなった。現地状況を見ると、本川の流量は非常に少ないものの、周辺には多数の自噴井が見られ、これらは豊富な被圧地下水の存在を裏付けけるものである。しかし、井戸の多くは標高の低い低平地側(流域外)に集中しているとみられ、本川流量には貢献していない。このことから、本川の河床高を切り下げや、水路の切り回しといった対策により、本川への湧水流入量を増加させることで、本川全体の水質が改善する可能性が高いが、大掛かりな土木工事を要する。まずは現況の河床高の測量や、周辺地下水位のモニタリング等により慎重に検討する必要があると考えられる。

(7) 調査の成果とまとめ

高密度での水文・水質データの取得により、複合扇状地帯という地形特性が、地下水(伏流水)の湧きやすさ、湧きにくさに関係し、こうした湧水を集めながら流れる津屋川において、結果として河道縦断での流量増減(湧水ポテンシャル分布)をもたらしていることが明らかとなった。更には、湧水の起源である沢筋と本川の流量の関係を水収支として評価したことにより、一部の谷(扇状地)で流域外への地下水リークが明らかとなるなど、隠れた湧水ポテンシャル分布についても合わせて評価できた。

今回こうした顕在的、潜在的湧水ポテンシャル分布の両方を評価し、ハリヨの生息場回復の優先検討箇所導き出すことができたことが調査の成果である。今後は、現地において個々の生息地の整備についての具体的検討が期待されるが、最終的には本川の水質改善により湧水池間のハリヨの移動経路を担保することが、遺伝的多様性の観点からも特に重要である。

5. 河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価手法

津屋川における湧水ポテンシャル分布の評価と、ハリヨ生息場回復・創出の優先検討箇所の絞り込みから得られた一連の調査・評価スキームを、湧水河川における保全生態を支える河川技術として整理し提案する。

(1) 本手法を適用する条件

湧水を主体とする河川. 特に非明示的な湧水を主体とする山際や扇状地帯を流れる中小河川において, 生息場保全を検討するケースを対象とする.

(2) 本手法適用の実際

a) 水質観測による質的な分布特性の把握

- ① 観測地点の配置: 現場河川の状況が未知の場合, 対象区間の前後を含め, 全体に均等配置させる. 中間地点は例えば橋毎に設定することで高解像度化ができる. また, 支川合流があれば支川の下流末端に, その他横流入する明示的かつ量的に大きなソース(湧水, 排水等)についても捉える.
- ② 観測地点の調整: 湧水の流入が見込まれる水質急変区間には観測地点を適宜追加する. これにより, 高解像度での水質特性が把握できる.
- ③ 湧水流入区間の仮評価: ②の結果から, 湧水流入が集中する区間の候補を判断し, これに応じて現地状況と照らし合わせる.

b) 流量観測により量的な分布の把握

- ① 観測地点の配置(水質観測の結果を受けて実施する場合): a)③を参考に, 例えば水質が急変する区間の前後に流量観測点の配置する.
- ② 観測地点配置(水質観測の調査と平行して実施する場合): 一日の調査時間内で実施可能な地点数を考慮した上で全体に均等配置する.
- ③ 観測地点の調整: ①, ②いずれも当該区間での流量の変化量は大きい, 距離が長く集中区間が鮮明でない場合, 中間地点を追加する.
- ④ 流量データの調整: 湧水の増加量をみるために, 支川流入量や取水量を除外した流量分布を求める.

c) 顕在的湧水ポテンシャル分布の評価

- ① 定性的評価: b)の結果から, 流量の増加量が多い区間のうち, a)の評価でも支持される区間は, 顕在的湧水ポテンシャルが高い区間と評価する.
- ② 定量的評価: 4(1)湧水の手法を基に横流入量の分布を計算し, 湧水ポテンシャル分布として評価する.

d) 潜在的湧水ポテンシャル分布の評価

c)の評価に加え, 河道流量として更に獲得できる可能性がどの程度あるのか, 最終的に生息場保全に供することのできる水資源量を評価する. 河道区間ごとに背後流域が明確である場合, その流域からの流出量を求める. 4(2)で示したように, 支川流域の流量を用いて推定する方法と, 雨量データを用いた流出解析による方法がある. これと実際の区間当たりの湧水流入量(顕在的湧水ポテンシャル)との差が, 獲得できる可能性がある潜在的湧水ポテンシャルといえる.

(3) 観測実施の時間軸

湧水が通年で安定的であることへの影響をみるという観点から, 観測時期を設定する. 流量の観点では, 平常時と渇水時の観測が望ましく, 利用できる水位情報があれば参照しながら時期を決定する. また, 水質(水温)の観点では, 夏季と冬季が捉えられれば良いが, 並行して連続観測により日変動, 季節変動等も捉えた方が良い.

(4) 本手法が適用・応用できるケース

水際や河道内湧水といった非明示的な湧水の存在を明らかにする手法として有効である. 具体的には, 火山の溶岩台地末端に生ずることの多い湧水群から成る山麓河川や, 扇状地扇端に現れる湧水から成る中小河川の生息場を問題にするケースなどが挙げられる.

6. まとめと本手法の優位性

3章及び4章での実河川における調査・評価を基にして, 5章では非明示的湧水が支配する河川での湧水ポテンシャル分布の評価手法を構築・立案した.

このような湧水ポテンシャルを捉えるためには, 通常, 直接的な流量の観測に走りがちであるが, 全体像が分からない中, 時間コストの高い流量観測だけでは効率的な調査は望めない. 時間コストが低く, 観測が容易な水質観測から得られた空間密度の高い質的情報と, そこから絞り込まれた地点での流量観測による量的情報の, それぞれの利点を組み合わせていることが本手法の特徴であり, より早く概況を捉え効率的に湧水ポテンシャル分布を捉えることができるという優位性が示された.

*1 中流湧水群: 本川 5.5~6.1km に位置. 本川水域と, 本川に接続する清水池, 北部浄水公園付近の湧水と定義.

*2 本川上下流: 下流は津屋川水門直下流(0km), 上流は流水の連続性から津屋川逆水門(源氏橋)より上流の用水路にある揚水機場(11.3km)間と定義.

*3 本川縦断: 本川上下流のうち, 流量観測の対象としたハリヨ橋(3.9km)~津屋川逆水門(源氏橋)より上流の無名橋(10.7km)間 6.8km と定義.

謝辞: 本研究は, 河川生態学術研究会木曽川研究グループの一部として実施した.

参考文献

- 1) 岐阜県: 木曽川水系津屋川圏域河川整備計画, 2001.
- 2) 南濃町: 南濃町史通史編, 1982.
- 3) 養老町: 養老町史通史編, 1978.
- 4) 森誠一: トゲウオのいる川 淡水の生態系を守る, 中公新書, 中央公論新社, 1997.
- 5) 南濃町: わき水の魚ハリヨの生活史, 1991.
- 6) 森誠一: 木曽三川の自然環境および自然再生への取組, 河川 No.850, 日本河川協会, 2017.
- 7) 海津市: 津屋川水系清水池ハリヨ生息地保存管理計画(案), 2015.
- 8) 吉川慎平, 鷺見哲也: ハリヨ生息地としての木曽川水系津屋川流域の構造と湧水環境, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2017.
- 9) 吉川慎平, 鷺見哲也: 木曽川水系津屋川ハリヨ生息地の湧水環境と水質の季節変動, 第 51 回日本水環境学会年会講演集, 2017.
- 10) 吉川慎平, 鷺見哲也: 木曽川水系津屋川のハリヨ生息地保全を目的とした湧水機構の推定, 土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集, 2017.
- 11) 吉川慎平, 鷺見哲也: ハリヨ生息環境を支える養老山麓津屋川湧水群を中心とした水環境の現状と課題, 応用生態工学学会第 21 回研究発表会(ELR2017), 2017.
- 12) 鷺見哲也, 吉川慎平, 不破宏紀, 宮崎敬大, 森田拓磨: 岐阜県津屋川流域に関する基礎的水文調査, 平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2018.
- 13) Bear, J. Dynamics of Fluids in Porous Media, Dover, pp.361-388., 1972.

(2018. 4. 3 受付)