

かく乱場・非かく乱場の視点で見る湧水域の課題

大同大学 建築学科土木・環境専攻 鷺見哲也

1. はじめに

皆様の思い描く「湧水」はどんなイメージだろう。本誌読者の多くは前号 Vol.86 で紹介されサーモカメラで水温分布を捉えた柿田川のような湧水河川を思い浮かべるのではないだろうか。

地下水を基とする湧水には様々なものがあり、河川の水源としてだけでなく、河道内で湧くことも多い。河川生態系において地下水や湧水が重要な役割を担っていることは、生物相の専門のみならず各専門領域でも知られ研究されてきている。

一方、湧水域とは、水温水質の指標に代表されるように安定した環境・空間であり、河川としてはある意味で特殊な環境を指していると言ってよい。では湧水域においてはかく乱という要素を排除してよいかということになるとどうであろう。今では常識となった「河川の生息場の形成は出水のかく乱を考慮してしてようやく理解できる」という知見が、分野を超えて共有されたのは遠い昔のことではなく、本誌の研究所や応用生態、河川生態学術研究、といったところの起点とも強く結びついている。そこで本稿では逆に安定的と考えられる湧水についてのそのあたりをテーマにし、いくつかの場について紹介したい。

なお、ここでは広域地下水も河道周辺の伏流水も河床間隙水も「地下水」と呼ぶこととする。

2. 湧水域のタイプ

さて、場としての湧水を分類する一つに、目に見える湧水と目に見えにくい湧水がある。目に見える湧水域としての空間には、湧水している場所でプールされる湧水池と、湧水を起源とする流れが支配する河川としての湧水河川がある。湧水河川は流れ場を形成するという点で、プールされる湧水池とは環境の条件が多少異なり、生物から見れば、生息空間として一体的に扱えるものもそうでないものがある。

目に見えにくい湧水の代表は、河床など河川の水中で湧水するものである。これは単に湧いているのが見えにくいということと、その湧水が量的質的に川全体を支配はしない、あるいは一部の空間・環境しか支配しない、というものがあろう。砂州周辺にはワンドやたまりができるが、その環境が湧水に依存していることは多い。そうした微環境は、地形的・空間的にだけでなく質的に河道の場の多様性を支えているという点は重要である。

だが、それを湧水が支えているのかを知ることが容易にはできないという点が課題であり、河川環境を俯瞰するときに忘れたくない点でもある。

さらに挙げるのは、かく乱という要素である。イメージされやすい火山山麓の湧水域は通常、出水によるかく乱が少ない安定した場であろう。これらの湧水域の保全とは、湧水自体の安定が求められることが常となる。

しかし、河道や周辺に形成される湧水域は出水のかく乱を受ける。単に冠水するケースもあれば、流水や土砂輸送によるかく乱も受けるかもしれない。出水による地形形成が湧水域を提供している場合もある。そうした湧水域を利用する生物相の環境の維持とはどう考えればよいだろうか。このあたりが、河川生態における湧水域の保全に関する大きな課題の一つではないかと考える。

本稿で湧水域のタイプを網羅することは叶わない。しかし、河川につながる湧水、あるいは河道の中に見られる湧水域の例を見ることとしたい。

なおここでは山地での湧水については見送る。火山伏流水による湧水は「こんこんと湧く」見える湧水の代表であるが、その地下水流動が「水みち」的であり、沖縄などで見られるような石灰岩質の地中を流動する地下水も同様に、その流れ場の扱いが難しい。また、火成岩等を基岩とするような浸食でできた山地での沢への流出は見えにくい湧水の集合であり、溪流河川の環境形成や河道への土砂生産とも強いつながりがあるがここでは扱わない。

3. 扇状地・自然堤防帯での湧水

黒部川などに代表されるような広大な扇状地を伏流して地表に復帰するような湧水について考える。大抵は扇頂部での河道からの地下水への浸透供給を起源とし、拡散的に地下水流動し、地下水位と地形との関係によって湧水域が決まる。火山性湧水との大きな違いは、地下水流動が2次元的・3次元的な広がりを持っており、流動解析しやすい条件にあるということである。

これに連なる湧水のあり方は実に様々である。教科書的には扇端にて点的な湧水が分布し、流れの起点となる。自然な状態でのこうした湧水域ではかく乱はほとんどなく、安定的である。変動があるとすればそれは背後の地下水位や水質の変化によるもので、地下水の揚水、扇状地地表からの

水の涵養条件（土地利用条件）の変化、河道の河床低下に伴う涵養量の変化、が検討できる。

扇状地のすぐ外側の自然堤防帯の後背湿地にも、所によって「ガマ」と呼ばれる、コンコンと湧く湧水が分布することがある。（上流側が山地部となっている平地でも所によって見られる。）これは扇状地地下水から自然堤防帯の被圧地下水に流れ込み、それが地表の難透水層の一部を破って地表に現れたものである。濃尾平野の北西部にはガマ（河間）が多く分布したが、農地区画整理で場が失われ、地下水位が低下し現在は限られた場所ではしか見られない。こうしたガマは、出水時には下流河道が増水し周辺地とともに水没することが多い。湧水域や河道から魚が農地に拡散したのを地域の人々が捕まえた、というのはよく耳にする話である。ポンプ排水などを伴わない自然な条件では扇状地湧水ほど安定した空間とは言えない。



図1 現存するガマ（大垣市北方町）



図2 津屋川の増水による清水池の水没(2018/7/6)

現在、河川生態学術研究会の木曾川研究グループでは、養老山地山麓に連なる小規模扇状地群の末端に沿って流れ下る津屋川で調査を行っている。養老山地からの沢水はすべてが扇頂部で覆没し、扇状地末端付近で湧水群を形成し、津屋川に注ぐ。湧水域にはハリヨなど湧水を利用する生態系が成立しているが、津屋川の増水によって地域全体が水没するためかく乱がないとは言えない。しかし、出水時も背水による水位の影響のみであり、湧水自体で地域を水没させるため増水時水はきれいなままで、極端な泥の堆積がみられない。

一方、扇頂部で逸失した河道では、扇状地下流部で地下水位が河川水位よりも高くなり、河道に

滲み出し、流量を増やすことが多いのは知られている。最近では黒部川（手計ら、2016）、豊平川（阪田ら、2012）などで河道の水収支の実態の調査事例がある。長良川扇状地のように、下流部を横断して回り込むように河道が流れる場合も同様である（大橋、2014）。河道内への地下水の復帰＝見えにくい湧水は、流量を増やし水質安定するという河川全体の機能の他、湧水する水域の微環境に対する役割とが考えられるが、次節で述べる。

4. 河道内の湧水域

平野部河道での湧水について詳しく見てみよう。自然な河床を持つ河道空間への湧水する地下水は、その地下水流動に幾つかのスケールを持つ。一つは3で述べた広域地下水の河道への供給である。

もう一つは、河道と地下水の交互の行き来が繰り返される現象であるが、ここではさらに2つのスケールを考えよう。

① 蛇行河道と周辺地下水との水交換

これは河道の蛇行による、周辺の平地との地下水のやりとりである。

岩手県大槌町の大槌川の例であるが、川が谷底平野を蛇行し、山地部に左右に接触しながら下っている。三日月上の平地が左右に繰り返される。その上流部では平地の浅層地下水に水が浸透し、下流部で平地が行き止まりになると河道に地下水が復帰する。川ではこの区間に流量の変動がある。直接本川に復帰しない場合でも、これに接続する山沿いの支川に湧水として復帰する。大槌川水系では源水川がこれにあたり、イトヨ（トゲウオの仲間）の生息地として知られている。



図3 大槌川・源水川（湧水河川）と地形

昭和年間の終わりごろからこの湧水が減ったということでその原因を調査した。当初は近くの揚水が疑われたものの、他の情報と突き合わせ測量などの調査を行った結果、最終的には大槌川本川

の水位低下によって生じたと結論した。もともと土砂供給の多い河川で河床が高かったが、河床が低下し、床固めや堰に依存した状態となり、河道の水位分布は完全に階段状となり、河川水位は最大70cm低下したため、河道から不圧地下水への供給は減少、地域全体の地下水位が低下し、湧水量が激減したということになる。この湧水環境の変化の原因はその湧水域にも地下水にもなく、河道地形の変化であることをすぐに推測することは困難である。湧水からその起源に連なる「見えにくい要因」を追うことが必要である、という点がこうした問題の課題である。

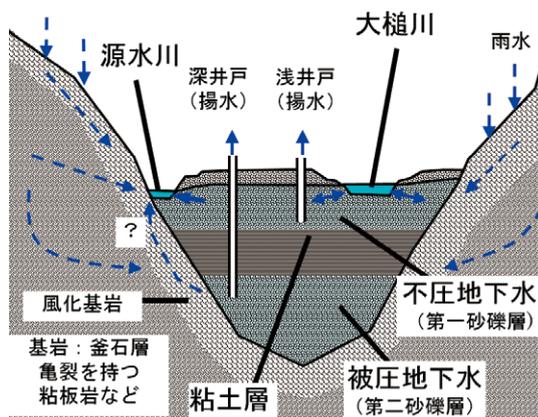


図4 大槌川・源水川と地下水のイメージ

②交互砂州における河川水・地下水交換

もう一つの地下水交換は、河川水と周辺の地下水が瀬淵スケール（リーチスケール）の中でやりとりされるものである。例えば、交互砂州を持つ瀬・淵が繰り返される河道では、流れの方向に水位は直線的に低下するのではなく、瀬の部分で階段状に落ちてゆく。この瀬を逃げるように周辺の地下水に水が回り込み、潜り込み、瀬の下流で河川水に復帰しようとする。これは水平方向にも鉛直方向にも起きるのが通常である。

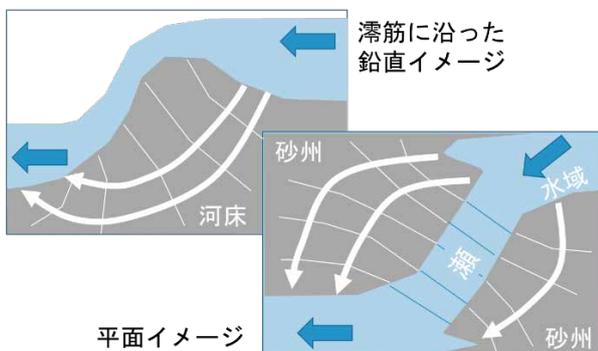


図5 瀬を回り込む水の流れ

一つ目の例は、岐阜県牧田川の谷部の交互砂州の調査事例である。瀬の前後に注目し、河床内部や周辺砂州の地下水位・水圧の分布を調査した。

瀬の周りでは横方向の回り込みも、鉛直方向の潜り込みも生じている。瀬の上流部では河床内にしみ込み、瀬の下流部で湧き上りを示している。瀬の上流で細いアルミパイプを河床に打ち込むとその水位は、河川水位よりも低下し、下流では逆のことが起きる。

瀬の下流の砂礫堆積部が魚類の産卵場によく利用されるが、酸素供給と泥の堆積が避けられるなどの条件を整えるのに河床湧水は一つの要素に挙げられる。

もう一つの例は、河川生態学術研究会の活動の一部として1999年から2005年頃に行った木津川交互砂州の地下水流動調査で、その一部は原田守博氏（名城大学）とともに調査したものである。砂州に設置された井戸の水位分布からは、瀬の落差を回り込むように砂州内の地下水位は低下し、砂州中流部河道のワンド付近に復帰していた。このワンド部での水温環境は本川とは全く異なり、夏場も低水温部を持つことがわかっている。

この小スケールの地下水・河川水交換の活性は、かく乱によって回復することもわかっている。瀬の上流部の河床や砂州水際ではしみ込みに伴い、有機物を中心とした水中の微粒子（例えば付着藻類の剥離したものや破碎された落葉の細かいものなど）が河床表面の土砂でフィルタされる。そのまま浸透が長く続くと河床に目詰まりを起こし、浸透自体が停止してしまう。出水がない晩秋から冬季に瀬の上流部の水際で砂州を掘ると、その地下水位は水際の水位から乖離して低い事が観察できる。



図6 水際の河川表流水と砂州地下水位のギャップ (木津川)

木津川は砂河川であるため、0.1mm オーダー以下の微粒子が厚さ1cmのごく表面に目詰まる。(実験では0.88mmの砂のカラムに0.15mmの塩ビの微粒子を水に混ぜて浸透させると3cmほどに目詰まって透水係数は急激に低下する。) 出水により目詰まりが解消するため、出水前後で同じ河川水位でも地下水位の分布は大きく異なり、出水後は砂州からの湧水部での量的な回復が推測できる。また、大きな砂州では滞留時間が長く地下水流動の窒素除去効果が期待できる。しかし、そうした効

果を河川全体（あるいは一組の砂州）でどの程度あるのかを見込むのは計算はできても実測から推定するのは困難であり、課題でもある。

また、木津川では砂州上の「たまり」についても調査した。出水時の土砂輸送にともない形成される窪みのうち比高の低い場所は伏流水面の出現するたまりとなる。出水低減中に取り残された生物の生息場や餌場、時には爬虫類両生類の産卵場などとして機能する一方、その水質は砂州伏流水との水交換によって維持される。植生を周辺に伴うようなたまりは位置が固定的であることが多いが、植生が発達していない比較的平坦な砂州ではたまりの出水によるかく乱が期待され、土砂輸送に伴いたまりやワンドは常に同じところには維持・形成されず、場所を変えて出現し、伏流水との水交換により場の条件が定まる、といったことを繰り返す。動的でありながら、一時水域が場所を変えて伏流水との水交換というサービスを受ける場が維持される、そういう川はどのように条件づければよいか、といったことが多くある課題の一つとして挙げられる。

③地下水のマルチスケールと体系化の課題

ところで、扇状地や広域地下水などセグメントスケールでの流動解析が可能で、その成果は私たちに視覚的に流動場を「わかりやすく」見せてくれる。しかし、先に述べた中小スケールでの水交換現象は示せない。現場の湧水の水源について検討する場合には、これらの流動スケールが異なるという理解の上、現場付近での小規模流動場はどうかとの点も重ね、検討する必要がある。

ここまで3つの地下水流動スケールでの地下水との水交換を見たが、地下水側がどれであれ、河道での湧水部が浅い水域であったり、ワンドやたまりなどの一次水域がある場合、その水温・水質環境に大きな影響を持ち、場の多様性に大きく貢献する。川づくりにおいては、こうした効果を有効に取り入れるための知識・調査手法・実施手法を体系化することが現在求められているのではないかと考える。湧水は多様でこれを全体として体系化するのは難しい。むしろ、川づくりの観点から体系立てた方がよいだろう。

5. おわりに ～かく乱と復興、まちづくり～

先に紹介した岩手県大槌町源水川の湧水では、長年、森誠一氏（岐阜経済大学）がこの地のイトヨを調査され「淡水型イトヨ」であるとし、町は天然記念物として指定している。筆者もこの水環境について2002年から調査している。ここは、自然の出水かく乱は殆どない安定した湧水域である。

ところが2011年3月に大津波が遡上し、現場は大きくかく乱されこの津波の後、がれきとともに海塩が堆積し、湧水に生息する魚類は絶滅したかに見えた。しかし、その夏にはイトヨは再生産されたことが確認され、がれきや土砂の除去を経て現在は生息を回復している。津波の後、湧水量は回復し、5カ月で湧水の水質も回復した。

このような非常にまれで大規模な津波によるかく乱であるが、過去数千年の間には何度か繰り返された履歴があり、被災前の生息分布となっていたことになる。種の集団・遺伝という観点ではこの狭間を乗り越える瞬間を見ることができ貴重な機会である。これは河川生態でよく考える「ある方がよいかく乱」ではないかもしれないが、安定的な環境はこうしたかく乱から「守らなくてはならないのか」という点では考えさせられる場面でもあった。



図7 被災した源水川湧水地 (2011/4/6)

さらに、この津波ではこの地のイトヨの一部と、隣の小槌川水系のイトヨが津波の引き波で運ばれ、沿岸の被災市街地にできた水域で交雑し生息していることが確認され、現在も森氏らにより継続して調査が行われている。市街地は沿岸にも関わらず地下30mの地下水圧が高く、180本もの自噴井（筆者調査）が家庭・事業所にあった。建物は撤去されたが井戸からの自噴は淡水・汽水の湿地を形成し、交雑した集団はしばらく維持された。

この湿地にはカワヂシャやミズアオイを始めとする湿地植物が立ち上がったが、その一部は基礎撤去に伴う埋土種子の回復であるとわかった。この沿岸には過去に浅い地下水からなる湿地環境があったことを示しており、津波によって代替環境が作り出されたことになる。

最後に、湧水や自噴井は地域資源の一つとし、復興の場面だけでなく、水資源・漁業・人が出会う場・遊び場・風景・地域理解の場・生息場・「この町には何があるのか」を知る場、など多義的なアイコンとして、まちづくりにも生かしていただきたいとの思いをここに示す。