

河川砂防技術研究開発

【成果概要】

①研究代表者		氏 名（ふりがな）	所 属	役 職						
		児島 利治（こじま としはる）	岐阜大学流域圏科学 研究センター	准教授						
②研究 テーマ	名称	河川水位変動に伴う漏水面の特性変化が地下水涵養量および河川流量へ及ぼす影響の評価								
	政策 領域	[分野] 地域課題分野（河川）	融合 技術	（リモートセンシング、非破壊 検査、認知行動学 等）						
		[公募課題]								
③研究経費（単位：万円）		平成27年度	平成28年度	平成 年度	総 合 計					
※端数切り捨て。		386	70		456					
④研究者氏名（研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）										
氏 名		所属・役職（※平成29年3月31日現在）								
神谷 浩二		岐阜大学工学部社会基盤工学科・教授								
大橋 慶介		岐阜大学工学部社会基盤工学科・助教								
⑤研究の目的・目標（申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。）										
山地と沖積平野との境界に位置する扇状地において、河川流量が流下に伴って漸減することは過去の黒部川や信濃川での事例報告¹⁾や、本課題の先行研究でも確認されている。すなわち、扇状地面の河道とその周辺地盤は、その上流区間と比較して透水性の高い材料で構成されており、自由地下水帯の動水勾配も大きいため、地下水を涵養するという形で河川流量の減少が生じている。先行研究では、岐阜市長良川の扇状地区間を対象として流量の減少率を観測した結果、着目区間で平均約20%の河川流量が地下水涵養量として、河川から失われていることがわかった^{2),3)}。しかし、限られた観測では、河川水と地下水の収支がどのような機構によって成り立っているかには至っておらず、天井川と呼ばれる水害危険性の高い河川区間において河川流量の縦断変化を知る重要性、または地下水という水資源の健全な管理という観点からも、その機構の解明が望まれている。 先行研究の結果では、特に顕著に河川流量が減少する区間の存在が示唆されていた。また、その区間には1939年に締切堤によって派川を分離した地点があることから、河川の首振りによって形成される扇状地において旧派川は最も新しい分流河道であって、未だ高い透水性の保持が予想された。そこで、河川水と地下水の交換が最も多く発生し、河川水位の変化に対して感度の高いデータの取得が期待できる旧分派点の砂州に観測対象を絞り、その砂州内部の浸透現象を観測することとした。対象砂州内部を通過する浸透流量は、ダルシー則によって透水係数、動水勾配、および流積によって評価できるため、それらの因子が観測項目となる。透水係数と動水勾配は、砂州に設けた簡易観測孔を用いた現地試験や、地下水位観測によって求める。流積については、河川表流水と河床の境界面（漏水面）であり、これは河川水位とともに変動するため、詳細な地表面および水中測量と河川流況計算から漏水面の時系列変化を得ることとする。このように河川水と地下水の交換現象を代表的な砂州の観測によって捉え、そこで得られた知見を扇状地区間全体に適用することで、扇状地における縦断的な河川流量変化・地下水涵養量を求めることが本課題の目標である。										

⑥研究成果

(様式 E-10と同じ内容について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

研究対象地域の概要を図1に示す。この地域は濃尾平野の北部の岐阜市長良川扇状地で、岐阜市の人口が密集する地域である。この長良川扇状地には透水性の高い砂礫層が厚く分布し、長良川旧派川沿いには砂・粘土といった後背湿地堆積物が分布している⁴⁾。岐阜市まで南進した長良川は、対象地域の北東に位置する上流端付近から南西に向きを変え、下流端付近で再び南に進路を変えて流下している。河川標点52k⁴⁾より上流には金華山(329 m)を代表とするチャート質の山体が連なっている。既往研究では、地点57k付近の千鳥橋、地点50k付近の忠節橋、地点48k付近の鏡島大橋において超音波ドップラー式多層流向流速計(ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler)を用いた流量観測が複数回実施された。その結果、いずれも区間50k～57kにおいて流量減少が観測されてきた^{3), 4)}。その原因として、図1の赤枠で囲まれた領域から1939年以前には、2本の旧派川が右岸側の北西へ分派しており、完全に締め切られた現在においても地下浸透流によって、長良川の河川流量の流出が続いていると予想される。その局所的な地下水流動を詳らかにする目的で、旧分派点付近に位置する砂州に着目し、砂州内部の地下水位・水質調査、長良川が砂州近傍を流下する際の流量の変動を調べる。

その砂州周辺の様子を図2に示す。図中の白枠は地下水観測のために設けた19の観測孔の位置である。観測孔のストレーナーは、渇水期でも地下水位に到達するよう観測孔施工時の地下水位からさらに1.5 m下の深度に設けた。設置場所によって観測孔の深度は異なるが、ストレーナーはおおよそ地表面から3.0～3.5 mの深度に位置している。

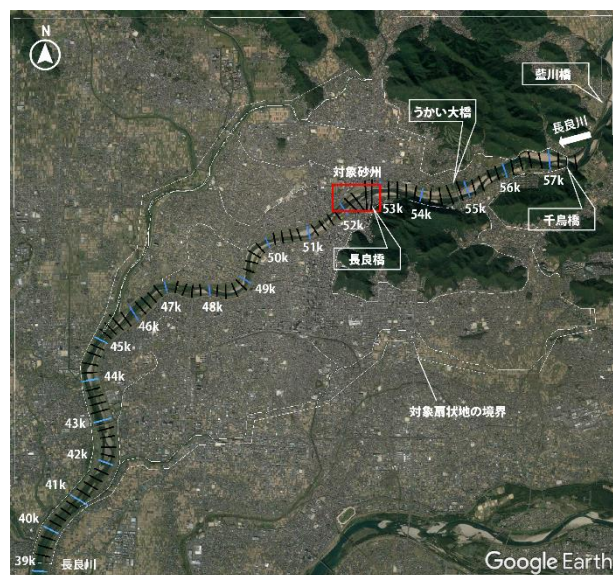


図1 対象扇状地の概形(河川標点名, 観測断面位置⁴⁾, 対象砂州の位置)

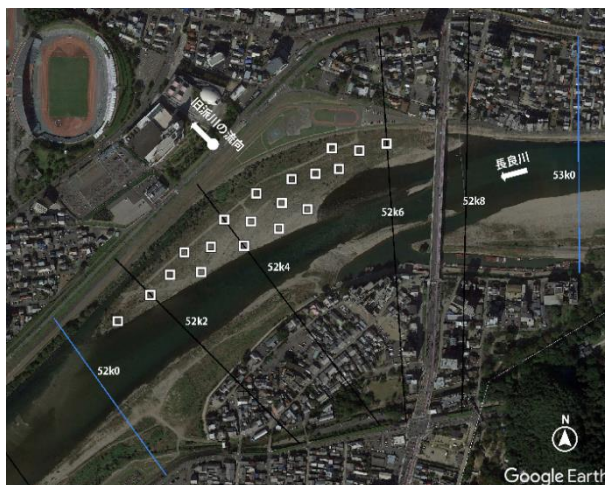


図2 砂州周辺の流量観測断面および砂州観測孔の位置

(1) 地層・帯水層の構造的特徴の把握

図3は地表高分布⁵⁾やボーリングデータ^{6), 7)}に基づいてレンズ層を再現したのちに、河川底を砂質土として修正したモデルである。このモデル南西の平野部での帯水層は、地表付近から-200～-300 mまでと厚く存在しているが、北東の山間部に近づくにつれ、徐々に薄くなっている。扇状地とその周辺の帯水層の層厚はおよそ100 mである。また、金華山の南西部である岐阜駅周辺の基盤には盛り上がっている箇所が見られる。金華山北側の城ヶ峰と百々ヶ峰に囲まれた地域の基盤も厚くなっており、お椀のような形状をしている。次に、帯水層構造から地下水流動の特徴を概観する。帯水層である砂礫層の中に介在する10 m程度の薄厚の粘性土層Df1層、Df2層は、ともに推定領域の西側に現れており、Df1層は金華橋付近から、Df2は忠節橋付近から介在していると見て取れる。図4は3, 4, 5, D, E断面を抽出したものである。扇状地付近の地層の介在する粘性土層に着目すると、所々に粘性土層の切れ目が存在する。このことから、扇状地で長良川から漏水した水は、上部帯水層では不圧地下水として存在し、帯水層に介在する粘性土層の切れ目を通ることにより、下部帯水層の深くまで、被圧性地下水として浸透していくと推定される。このため、砂礫層に介在する薄厚の粘性土層の影響で、

⑥研究成果（つづき）

地下水の汲み上げ等によって上部帯水層と下部帯水層が異なる挙動を示すことが予想される。これらの図と砂礫層に介在する粘性土層より、地下水の“ゆくえ”を考察すると以下のようなものである。流動系Ⅰは長良川からの涵養が主となっており、粘性土が存在しない長良橋から金華橋付近で河川から多く涵養し、上部帯水層、下部帯水層ともに広く地下水が行き渡ると推察される。流動系Ⅱや流動系Ⅲでは、Df2のみが介在している地域もあり、基本的に地下水はDf2より上の上部帯水層を流れると予想されるが、粘性土層の切れ目より下部帯水層に流れることも考えられる。流動系Ⅳ周辺には粘性土層が介在していないため、地下水は主に下部帯水層に存在すると推定される。

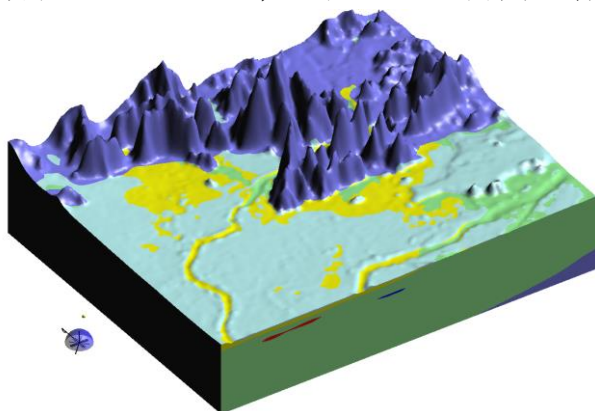


図3 河川部修正後の地盤モデル（鳥瞰図）

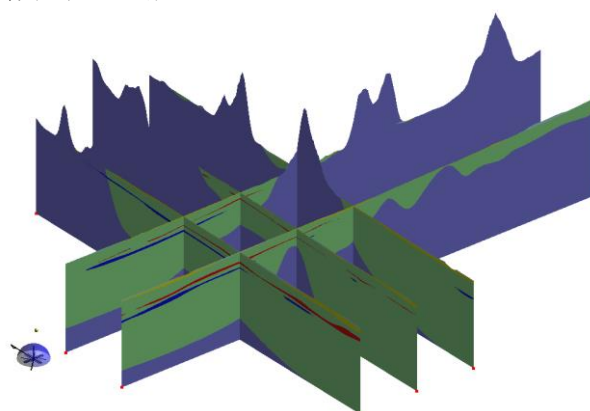


図4 扇状地付近の断面図

(2) 砂州観測孔を用いた観測結果

砂州観測孔の地下水位および水質調査は、計7回実施した。このうち、最も水位の低い2016年6月1日の地下水位分布を図5に示す。全ての水位分布の等水位線が示す動水勾配は良く似た傾向を示すものの、直近の河川水位上昇の影響が、砂州内部の地下水位として残留していることを示す結果も得られた。水位分布と同時に観測された水質のうち、水温分布は夏期に河川水際に近い領域の水温が高く、水際から離れるに従い水温が低下し、冬期にはこの関係が逆転していることが分かった。しかし、電気伝導度、溶存酸素濃度の分布から地下水の流向との関連は見出すことができなかった。

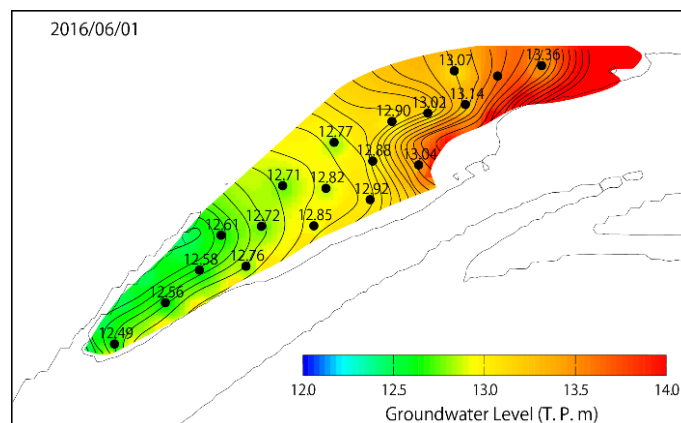


図5 観測された砂州の地下水位分布 (2016/06/01)

(3) 河川流量の縦断変化

計5回実施されたADCPによる流量観測のうち、2015年12月16日の砂州の側方通過流量変化を図6に示す。断面52k1は欠測データが多く参考値とする。上流端53k0の流量を100%としたとき、有効な最下流端観測である52k2との流量比は83.6%であり、減少量は16.4%である。52k4で一旦観測値が上昇を示しているものの、全体としては砂州を通過しながら漸減する様子が分かった。また、この観測でのデータ欠測率は低く、砂州通過の際に地下浸透する量が高い確度で示されていると考えられる。

⑥研究成果（つづき）

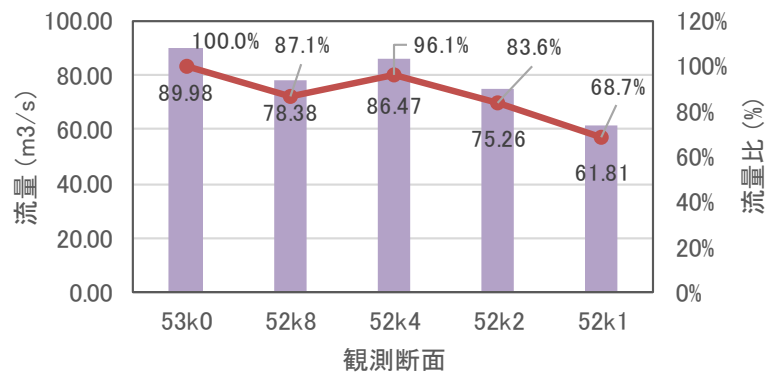


図 6 砂州側方通過流量の変化 (2015/12/16)

(4) 砂州内部および扇状地の表流水-地下水の交換量の計算結果

流量 $39.6 \text{ m}^3/\text{s}$ を定常で与えたときのRiver2Dによる砂州の地下水位分布図7は、観測された地下水位分布図5とよく一致する結果が得られた。しかし、流量の多いケースでは水位が過大であったり、流量の違いによる動水勾配分布の差が小さいといった違いも見られた。これは定常計算のため、河川水上昇に追従する非定常的な地下水位上昇を捉えられていないことによるものだと考えられる。同様に、流量 $39.6 \text{ m}^3/\text{s}$ を定常で与えたときの扇状地全体の動水勾配分布を図8に示す。扇状地全体での河川からの漏水地点が明確に示されており、早瀬による段落ち部において扇状地地盤へ河川水が多く供給されていることが分かった。さらに砂州周辺の動水勾配分布を図9に示す。砂州上流部から浸透した地下水は堤外地方方向へ流出するが、そこより下流側で砂州に浸透した地下水は再び表流水として復帰していることが分かった。図10は、それぞれ定常流量 $39.6 \text{ m}^3/\text{s}$ を上流端に与えたときの断面通過流量と累積失水流量の縦断変化である。ここで、失水流量とは、隣接する2つの測線で構成される矩形領域から堤外方向へ流出した地下浸透流量を指し、上流側から累積した値を累積失水流量と呼ぶ。いずれの結果も、53k0付近から累積失水流量が増加し、48k0～46k0間で、それぞれの最大値約 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $15 \text{ m}^3/\text{s}$ が発生している、しかし、それぞれの河川流量の減少量約 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ と比較すると、河川流量が約 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 多いにもかかわらずその差は小さい。このことは、先述の動水勾配と同じ理由で、河道周辺地盤水位が上昇し動水勾配がほぼ平衡に達していることが要因であると考えられる。従って、非定常計算で河川水位が上昇した直後は、流量に比例して、この結果より大きな累積失水流量が得られると推測される。また、支川へ流出した地下水が、支川接続する45k6～45k8、41k2～41k4区間で本川流量として回復していることが分かった。

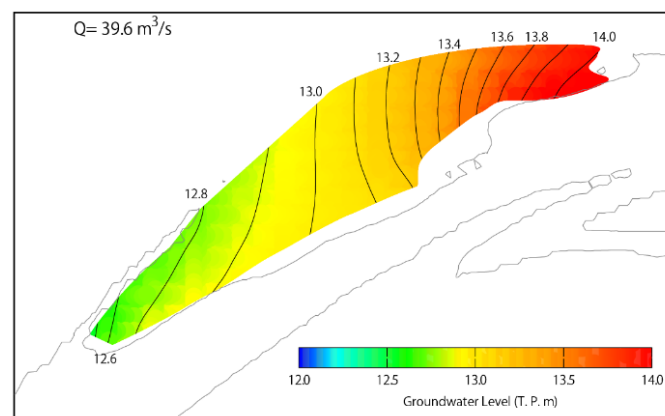


図 7 数値計算による砂州の地下水位分布 (流量 $39.6 \text{ m}^3/\text{s}$)

⑥研究成果（つづき）

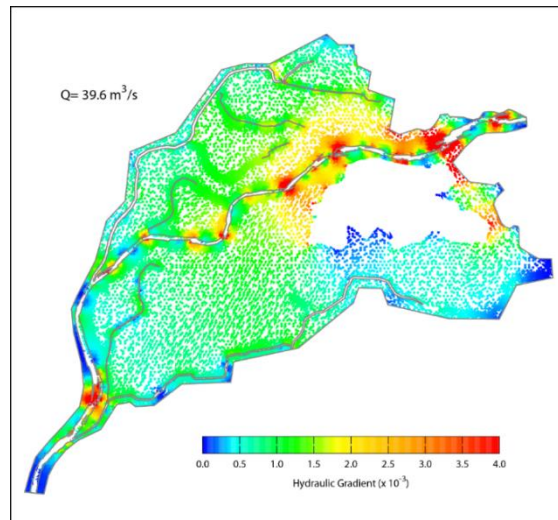


図8 定常流量 39.6 m³/s の扇状地の動水勾配分布

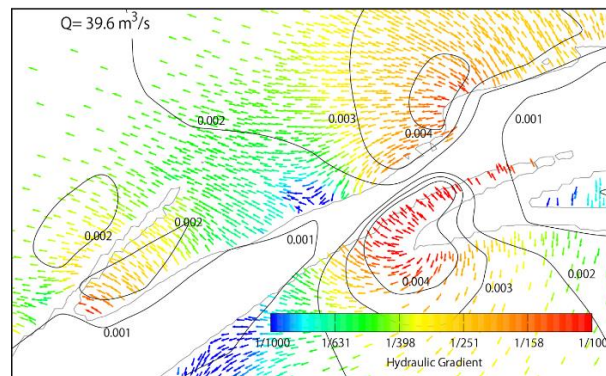


図9 定常流量 39.6m³/s の砂州の動水勾配分布

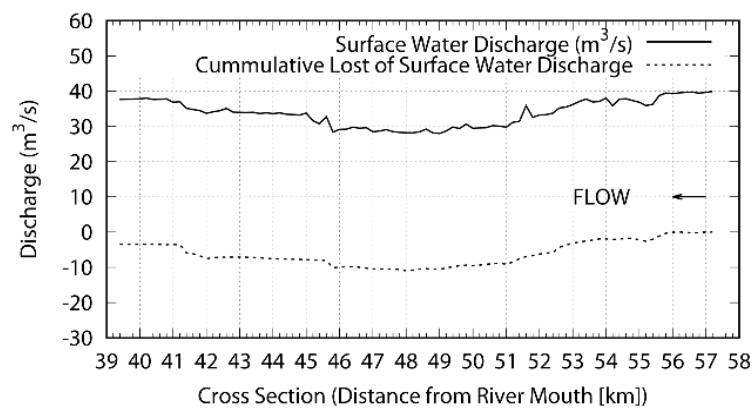


図10 定常流量 39.6 m³/s の断面通過流量と累積失水流量の縦断変化

参考文献

- 1) 石崎勝義：河川水と地下水，建設月報，建設省広報室編，No.340，pp.57-61，1977.
- 2) 大橋慶介・神谷浩二・児島利治：沖積平野における地下水の動態解明と涵養量の推定，河川技術論文集，Vo.20，pp.461-466，2014.
- 3) 大橋慶介・神谷浩二・児島利治：濃尾平野扇状地における河川による地下水涵養機構の評価，Kansai Geo-Symposium 2014 -地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム-，pp.49-54，2014.
- 4) 国土交通省中部地方整備局木曽川上流河川事務所：長良川横断測量断面図（2010年時点）.
- 5) 国土地理院：基盤地図情報数値標高モデル（5mメッシュ（標高））<http://fgd.gsi.go.jp/download/demsel.php>（2016年8月時点）.
- 6) 岐阜市人・自然共生部水環境室：平成19年度地下水，地質情報把握・分析調査業務委託報告書，平成20年3月.
- 7) 岐阜市自然共生部水環境課：平成20年度地下水，地質情報把握・分析調査業務委託報告書，平成21年3月.

⑦研究成果の発表状況

(本研究の成果について、予定しているものも積極的に記入して下さい。(以下記入例))

- ・これまでに発表した代表的な論文
- ・著書(教科書、学会抄録、講演要旨は除く)
- ・国際会議、学会等における発表状況
- ・主要雑誌・新聞等への成果発表
- ・学術誌へ投稿中の論文(掲載が決定しているものに限る)
- ・究開発成果としての事業化、製品化などの普及状況
- ・企業とのタイアップ状況
- ・特許など、知的財産権の取得状況
- ・技術研究開発成果による受賞、表彰等)

論文発表

- 1) 神谷浩二, 大橋慶介, 谷田翔平, 近藤貴之: 扇状地河川からの地下水涵養量の評価法に関する考察, Kansai Geo-Symposium 2014 (地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム) 論文集, pp.57-60, 2015.
- 2) 大橋慶介, 神谷浩二, 児島利治: 河川水位モニタリングによる扇状地河川からの地下水涵養量の予測, 水工学論文集, Vol.60, 2016.

学会発表

- 1) 坂口絢香, 大橋慶介, 神谷浩二, 児島利治, 篠田成郎: 扇状地河川の砂州における浸透現象の解明 平成27年度土木学会中部支部研究発表会, 2016.
- 2) 坂口絢香, 大橋慶介, 児島利治, 篠田成郎: 扇状地礫床河川の砂州における河川水流入の観測, 平成28年度土木学会中部支部研究発表会, 2017.

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

なし

⑨表彰、受領歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

なし

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

断面流量観測によって把握されていたおおよその漏水地点について、定常流量の数値計算によって詳細な場所と漏水量の大きさを知る手掛かりが得られた。今後は非定常計算を実施して、直近の河川流量履歴が及ぼす扇状地地盤の地下水位、および地下水と河川水位分布によって決まる漏水量との関係を調べるのが次の課題である。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

失水区間では直上流で観測された流量より実際の河川流量は小さく、逆に得水区間では実際の流量は大きい。このことは、最適な流下断面を精緻に決定する際に有用な情報となると考えられる。また、河川水は一時的に地下水として貯留されるため、扇状地の洪水抑制効果の評価へつながることが期待できる。さらに、共同研究相手の中部地方整備局木曽川上流河川事務所では、礫川原再生事業に取り組んでいるが、長良川上中流域（岐阜市、関市、美濃市、郡上市）は、国際連合食糧農業機関(FAO)に世界農業遺産「清流長良川のアユ」の対象エリアにあたり、アユの産卵床や摂食場として砂州や自由地下水帯が果たす役割が社会的に注目を浴びている時機でもある。当初期待していた電気伝導度と地下水流動との明確な関係は残念ながら確認できなかったが、今回開発した表流水と地下水の一体的な計算によって礫河原のような透水性の高い領域においても正確な河川流況計算が可能となったと考える。