

## 天竜川の砂州における湧水流路の形成過程と生息場機能

### Formation Process and Habitat Function of Spring Flow Channels on the Sandy Bars in Tenryu River

山崎弘美<sup>(1)</sup>・竹門康弘・鳥居高明<sup>(2)</sup>・高橋真司<sup>(3)</sup>・兵藤誠<sup>(2)</sup>・角哲也

Hiromi YAMASAKI<sup>(1)</sup>, Yasuhiro TAKEMON, Takaaki TORII<sup>(2)</sup>,  
Shinji TAKAHASHI<sup>(3)</sup>, Makoto HYODO<sup>(2)</sup> and Tetsuya SUMI

(1) 京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻

(2) いであ株式会社

(3) 東北大学 工学研究科 技術室

(1) Department of Urban Management, Kyoto University

(2) IDEA Consultants, INC., Japan

(3) Tohoku University

#### Synopsis

Prolonged turbidity derived from dam sedimentation upper stream has been one of the worst environmental problems in the Tenryu River, reducing algal production and quality of spawning redds for Ayu-fish. In this study, we assumed that the harmful effects of turbidity would be compensated by the spring flows in the sandy bar structure created during previous floods. In order to certify the hypothesis we made a series of fieldworks at seven sites in spring flow channels newly created in 2018 and we found spawning redds of Ayu-fish at three sites in the channels. The results indicate that the wild population of Ayu-fish in Tenryu River is owing to the newly created spring flow channels for their reproduction.

**キーワード:** 産卵床, アユ, 湧水流路, 河床変動, 生息場機能

**Keywords:** spawning redds, Ayu-fish, spring flow channels, riverbed changes, habitat function

## 1. はじめに

### 1.1 天竜川の概要と現状

天竜川は、長野県の諏訪湖を水源として、三峰川、小渋川といった支川と合流しながら、木曾山脈と赤石山脈に挟まれた伊那谷を経て山間部を通り、最終的に遠州灘に注ぐ。幹川流路延長213km、流域面積5,090km<sup>2</sup>の1級河川である(Fig.1)。本川の勾配は、上流部で1/200程度、中流部では1/300~1/700程度、下流では1/500~1/1,000程度と比較的急流である(天竜川

漁業協同組合, 2018)。

天竜川上流では、中央構造線をはじめとする多くの断層が通り、脆弱な地質構造によって土砂生産が活発である。その土砂が上流ダム群に堆積することで、下流河川では濁水の長期化を引き起こしている。濁水は、主要水産資源であるアユの餌となる藻類の生長を妨げ、産卵場を劣化させる大きな要因となっており、アユの個体群の減少を招いている。そのため、ダム下流河川環境の改善対策が急務となっている。



Fig. 1 A map of the Tenryu River basin. Study sites were established in the lower reaches in the square.

### 1.2 好適なアユの産卵床について

日本の河川生態系の代表的な魚種であるアユに着目すると、アユの産卵床に関して様々な研究が行われている。既往研究では、好適なアユの産卵環境として、流速は約10~40(cm/s)、水深は10~100cm程度、瀬であること(石田, 1961; 兵藤ら, 2014), 浮石環境であること(石田, 1962; 石田, 1964), 河床材料の粒径は適正範囲に幅があるが、30mm以下の砂礫の割合が多い(石田, 1961)といったことが示されている。アユは産卵の際に、河床の砂礫を動かして卵を産み着ける習性があるため、自ら動かすことが可能である小さい粒径の砂礫を選んで産卵していると考えられる(石田, 1961)。

天竜川では、淵尻の瀬頭で発見されており(中島ら, 2011), 中でも底質が軟らかく間隙水の溶存酸素濃度が高い瀬頭が好適であるとされているが、近年では、土砂供給の減少に伴い、河床の軟らかい場所が間隙水の溶存酸素濃度の低い瀬尻に変化している(村井ら, 2012)。一方、近年の調査では、アユの産卵床がダムからの濁水の影響がある本川ではなく、湧水瀬で確認されている(泉ら, 2016)。さらに、砂州の濁質成分捕捉機能が砂州地形の更新によって高まる(高橋ら, 2018)ことから、新たに形成された砂州ほどアユ産卵床にとって、好適な湧水流路が創出されるという仮説を立てた(Fig.2)。

### 1.3 本研究の目的

本研究は「新たに形成された砂州にアユの産卵床に好適な湧水流路が創出される」という仮説を検証することを目的としている。そのために、アユの繁

殖期前の洪水前後の衛星写真を定性的に比較することによって、直近の洪水時により形成された湧水流路を判別した。その上で、現地で湧水流量やアユ産卵床の有無を確認する調査を行った。さらに、湧水流路による物理化学的環境条件とアユの産卵床の量との関係を分析し、アユの産卵床にとって湧水流路が果たす役割について考察した。

## 2. 調査地の選定

本研究では、湧水流路の環境調査のためにアユの産卵床の可能性の高い、船明ダム下流の浜北大橋(18.4kp)~河口から(3kp)の間を対象とした。野外調査は2018年11月10~12日に実施した。

河床の攪乱は、4,000(m<sup>3</sup>/s)程度の中規模以上の洪水で形成され、2,000(m<sup>3</sup>/s)程度の小規模洪水では固化すること(兵藤ら, 2013)が知られている。そこで、調査地点の選定では、湧水流路となる地点を探索するために、9月の4,000(m<sup>3</sup>/s)、7月と10月の5,000(m<sup>3</sup>/s)程の中規模出水(Fig.3)前後の地形変動を比較するために、水位が比較的安定している2018年2月27日と10月29日の衛星写真を用いた。

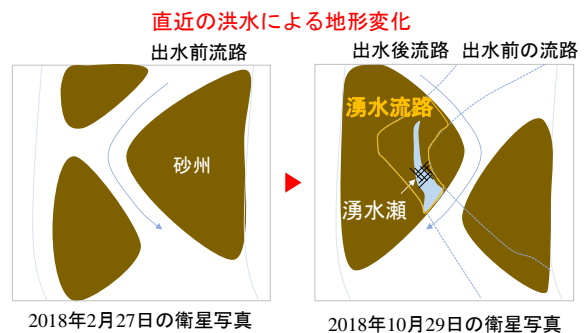


Fig. 2 Hypothetical diagram on creation process of spring flow channels on the bar initiated by the previous floods.

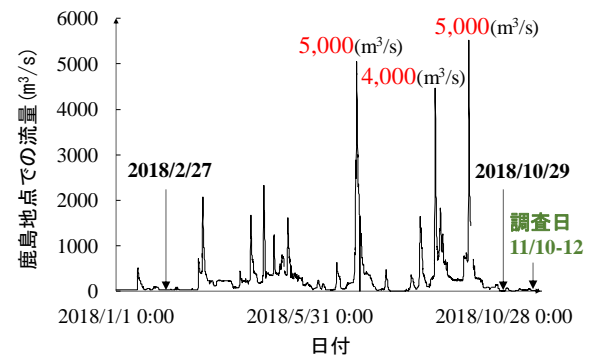


Fig. 3 Annual discharge history at Kashima Station in the Tenryu River before the field survey in Nov 2018.

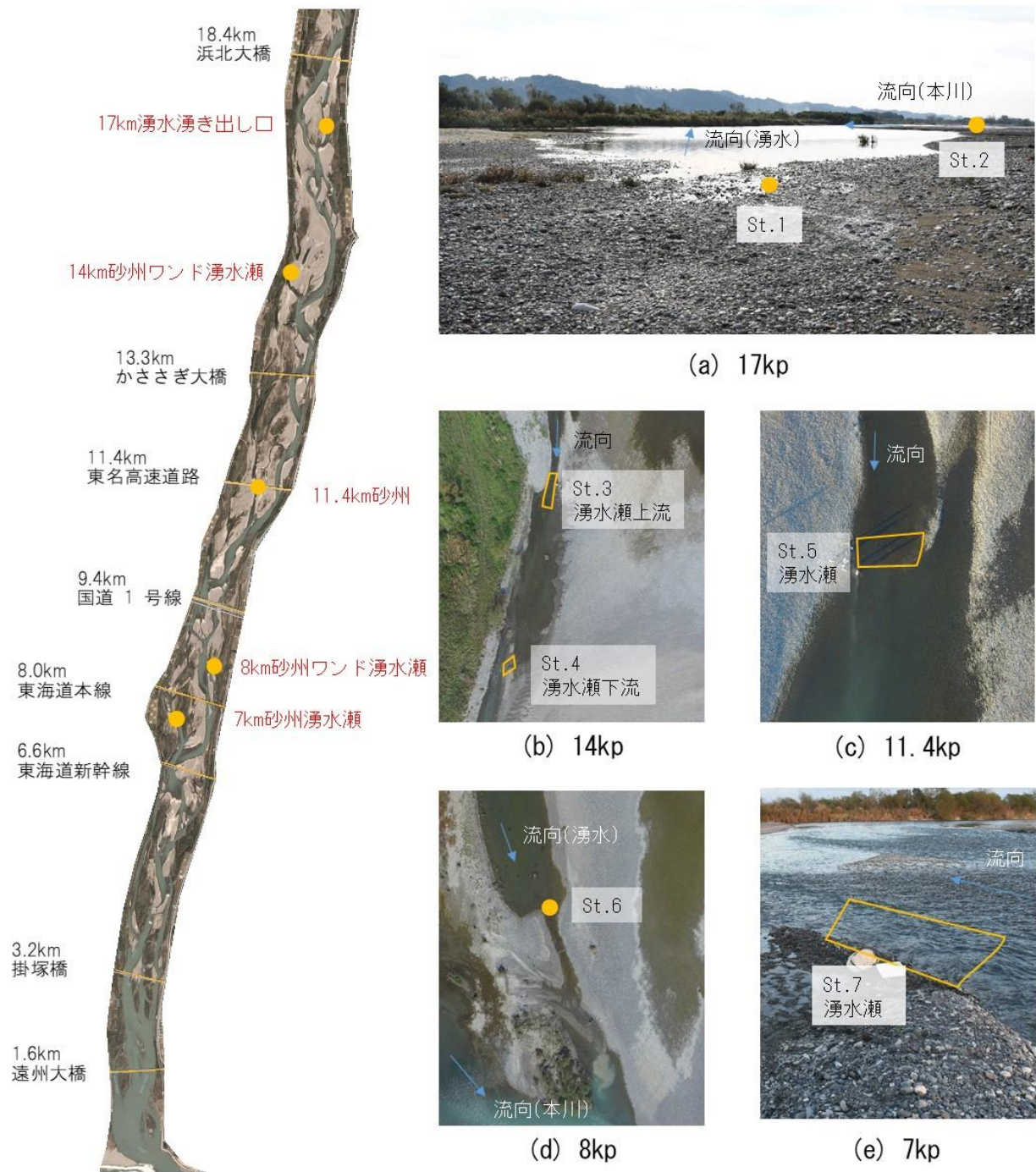


Fig.4 Map of seven stations in five reaches (a)-(e) in the lower Tenryu River (3kp~18.4kp).

湧水流路の発見方法については、2月の地形で流路だった地点が、10月の時点で土砂が堆積して陸化した砂州の下流にワンドがある地点を探索した(Fig.2).

以上の方法により、5箇所目の砂州で7箇所の調査地点を設定した(Fig.4). 17km地点のSt.1は、湧水の湧き出し口であり、St.2は湧水流路環境の比較のために本川を調査した。14km地点のSt.3およびSt.4は、湧水瀬である。11.4kmのSt.5では、湧水瀬の瀬頭(downwelling-zone)で物理環境、生物調査を実施した。8kmのSt.6では、2018年1月に産卵床造成工事を行っ

た場所であり、伏流水の瀬頭上流(downwelling-zone)で物理環境調査・生物調査を行った。7kmのSt.7は湧水瀬である。

### 3. 調査項目と方法

本研究では、選定した6か所の湧水流路と本流1か所について、流速、流量、水温、溶存酸素量(DO)、電気伝導度(EC)、pH等の水質、河床軟度を測定するとともに、アユ産卵床周辺の生物調査を行った。

### (1) 流速

流速は、プロペラ流速計を用いて測定を行った。測定方法は、1点法を用い、水面から水深の6割の位置で測定する。5秒間の平均値を5回測定し、その平均を用いた。

### (2) 水質調査

溶存酸素量(DO)は、ポータブルマルチメータ(HACH製 HQ30d)を用いて測定した。pH、電気伝導度については、(HORIBA製 D-54)、濁度は、ポータブル濁度計(東亜DDK製 TB-31)を用いて測定を行った。

### (3) アユ産卵床調査

アユの産卵床の卵を定量的に測定するために、直径が7.5cm、長さ32cmである新村式アユ産卵床探索筒(Fig.5)を用いて調査を行った。この筒を用い、河床をすくい、卵の有無の確認を行う。卵がある場合には、バットに資料を広げてひとすくいにおける数を数えた後、元の位置にゆっくり戻す。また、卵の推定個数は、式(1)を用いて算出した。

$$(\text{卵の推定個数}) = X \div Y \times Z \quad (1)$$

X：瀬の面積(衛星写真より測定)

Y：1すくいの面積(7.5cm×34cm=225cm<sup>2</sup>)

Z：1すくいの卵の数

### (4) 間隙生物調査

間隙生物の調査については、いであ株式会社で開発された間隙生物採取器具を用いて、アユ産卵床周辺の生物調査を実施した(Fig.6)。手順は、以下の通りである。

- ① ハンマーヘッドを装着し、ハンマーを用いて50cm程地面に貫入する
- ② ハンマーヘッドを外し、採水ポンプのチューブを中空パイプの先端部まで挿入する。
- ③ ポンプを引き、10L採水を行う。

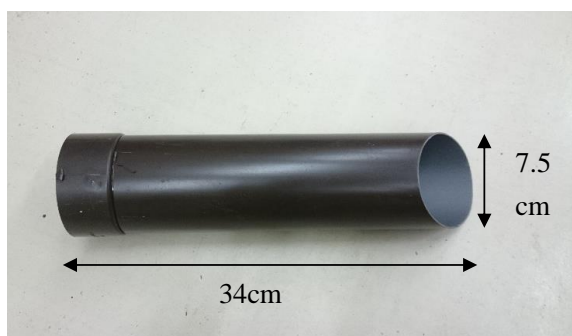


Fig.5 Ayu egg sampler used for spawning redds survey (produced by Y. Niimura).

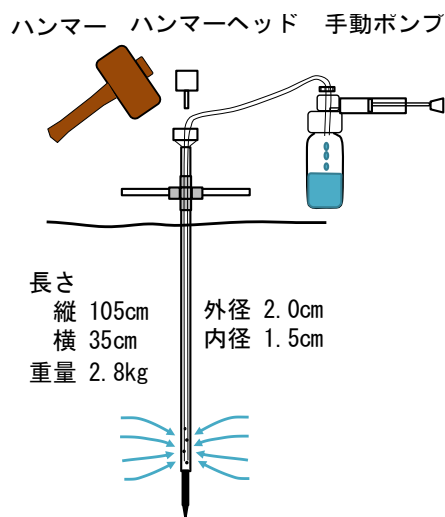


Fig. 6 Hyporheo sampler of suck-up type with a strainer and a hand pump (produced by T. Torii).

## 4. 調査結果及び考察

各調査地点における流速・流量、水質、間隙生物の調査結果を以下に示す。

### (1) 流速及び流量

流速(Fig.7)について、7km砂州では156.7(cm/s)であり、今回発見されたアユ産卵床の地点では最大の流速であった。11km、14kmの上流地点においても70(cm/s)以上の流速であり、50(cm/s)程度が適切であると示されていたが、やや早い流速結果となった。流量の結果(Fig.8)については、産卵床発見地点で少なくとも0.31(m<sup>3</sup>/s)もの湧水量が確認できた。産卵床が確認できなかった地点での流量について、8km砂州ワンドでは0.016(m<sup>3</sup>/s)、17km湧水湧き出し口では0(m<sup>3</sup>/s)と流量は測定検出以下を示した。

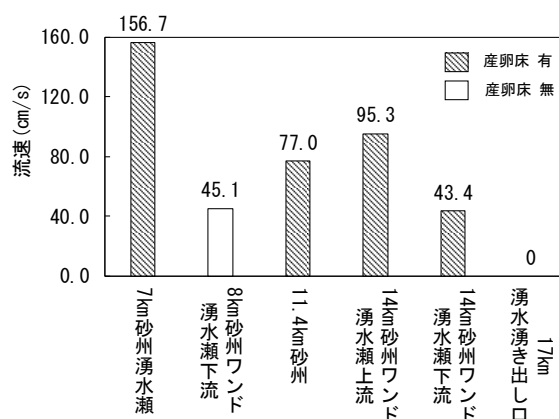


Fig. 7 Flow velocity at survey sites in the spring channels in the Tenryu River.



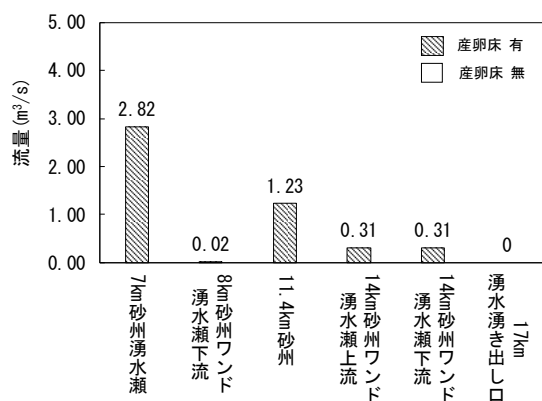


Fig. 8 Flow discharge at survey sites in the spring channels in the Tenryu River.

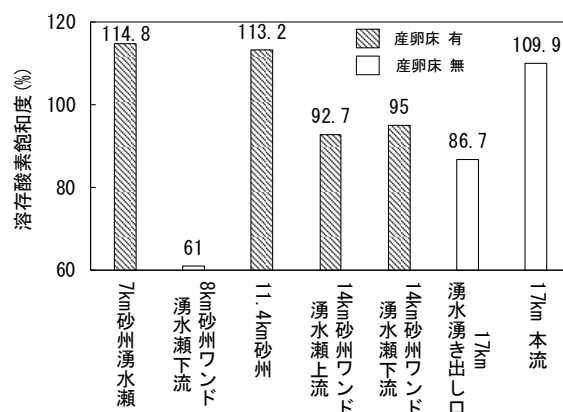


Fig. 9 Dissolved Oxygen at survey sites in the spring channels in the Tenryu River.

## (2) 水質

電気伝導度(EC), 溶存酸素量(DO), 濁度, pHの結果についてTable.1に示す。水質の調査項目は、表層水の結果である。最も顕著に表れたDOの項目(Fig.9)について、産卵床発見地では溶存酸素飽和度が90%を超えていることが確認できる。また、濁度について(Fig.10)は、7km砂州では10.1 (NTU)と少し大きな値を示しているものの、11.4km, 14km砂州では5.5以下と非常に小さな値を示しており、きれいな水であることがわかる。産卵床が発見できなかった17kmの湧水では、DOが109.9(mg/L)と高く、濁度が0(NTU)と低いといった好条件であるが、流速が0(m³/s)であることから、産卵床としての機能が果たせなかったのではないかと考えられる。

## (3) 河床軟度及び河床材料

河床軟度について(Fig.11)は、アユ発見箇所である14km砂州ワンドの湧水瀨上流では12cm, 下流では

Table.1 Results of Water quality

地点名	流速 (cm/s)	流量 (m³/s)	EC (msec/cm)	DO (%)	DO (mg/l)	濁度 (NTU)	pH
7km砂州湧水瀨	156.7	2.82	10.8	115	11.21	10.1	8.4
8km砂州ワンド湧水瀨下流	45.1	0.02	18.7	61	5.62	2.8	6.9
11.4km砂州	77.0	1.23	11	113	10.28	4.5	8.3
14km砂州ワンド湧水瀨上流	95.3	0.31	10.9	92.7	8.7	5.5	7.4
14km砂州ワンド湧水瀨下流	43.4	0.31	10.8	95	8.92	2	7.2
17km湧水湧き出し口	0	0	10.9	86.7	8.21	0	7.3
17km本流			10.1	110	10.92	14.9	8.2

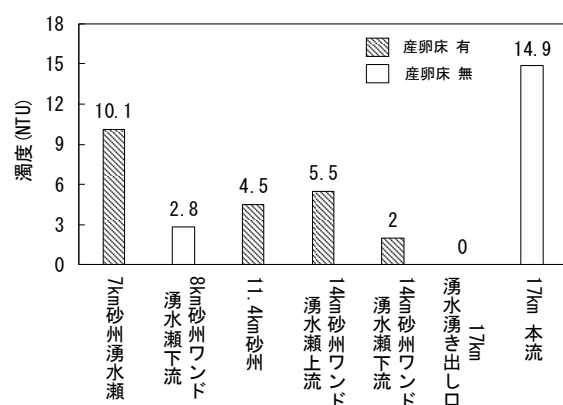


Fig. 10 Turbidity at survey sites in the spring channels in the Tenryu River.

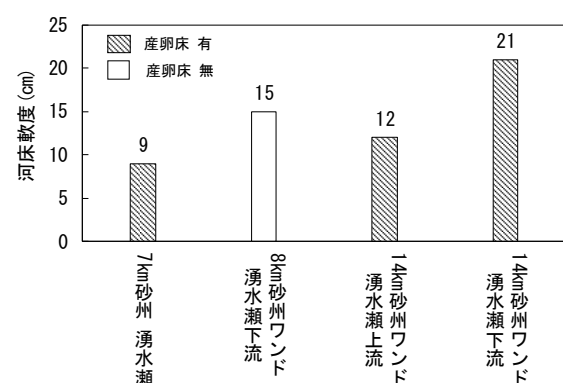


Fig. 11 Riverbed softness at survey sites in the spring channels in the Tenryu River.

21cm, 7km砂州では9cm河床に貫入し、軟らかい河床であることが確認できた。14km砂州では、砂州地形の変更の影響もあり、特に大きな値を示している。河床材料については、礫に藻がついているところではアユの産卵床は存在せず、藻がついていない礫がある瀬で産卵床を確認できた。

#### (4) アユの産卵床の有無と産卵数

アユの産卵床は、7km砂州、11.4km砂州、14km砂州ワンドの湧水瀬のみで確認された。8km、17km砂州では、アユの産卵床は確認されなかった。式(1)により推定された卵数は、7km砂州湧水瀬では約650個、瀬が大きい11.4km砂州の湧水瀬では約18,000個、14km砂州の産卵床発見地のの上流側では約8,000個、下流の地点では約4,000個であった(Fig.12)。

#### (5) 間隙生物

St.6(8kp)とSt.5(11.4kp)の間隙生物調査の結果、St.6では、計6分類群が確認され、そのうち節足動物が108個体、緩歩動物が1個体、環形動物が2個体確認された。節足動物の4種群の中では、ソコミジンコ目が最も多く90個体確認された(Fig.13,14)。いっぽう、St.5では、計12分類群が確認され、そのうち節足動物が203個体、線形動物が6個体、環形動物が2個体確認された。そのうち、節足動物には、ユスリカ科一種、ケンミジンコ目的一种、ヌカカ科やヒメドロムシ科の一種が確認できた(Fig.13,14)。

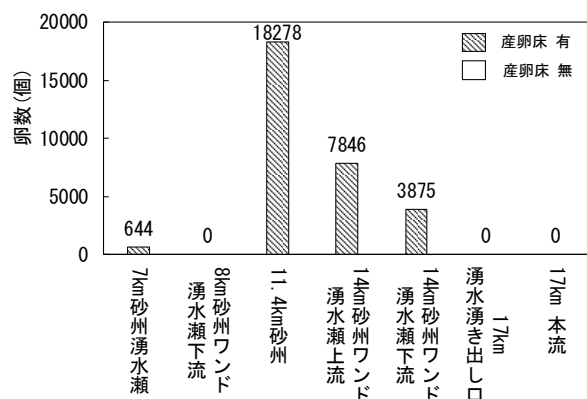


Fig. 12 Estimated number of spawned eggs of Ayu fish at survey sites in the spring channels in the Tenryu River.

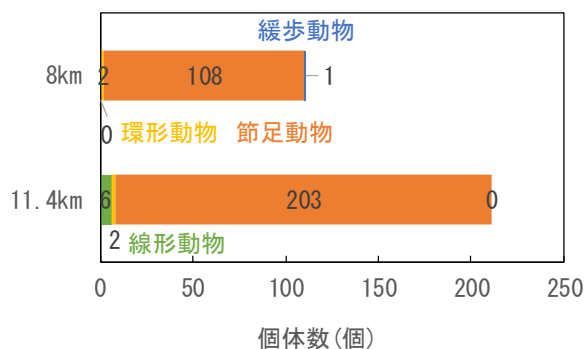
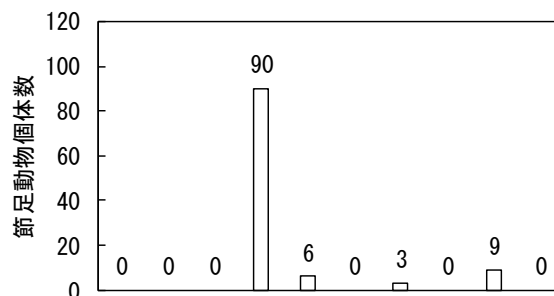


Fig. 13 Faunal composition of Hyporheo collected at 8km(a) and 11.4km(b) in the Tenryu River.

(a) St.6 (8kp)



(b) St.5 (11kp)

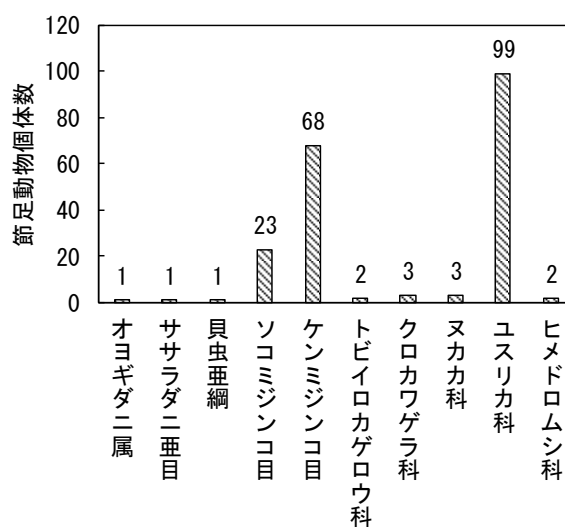


Fig. 14 Taxonomic composition of hyporheic Arthropod collected at St.6 (8kp) (a) and St.5 (11.4kp) (b) in the Tenryu River.

以上の結果より、St.5 (11.4kp)の方が出現した分類群数と総個体数は多かった。また、いずれの地点においてもクロカワゲラが確認されており、これらの底生動物相には間隙水域への流入域(down-welling zone)の指標となる可能性がある。

#### (6) 砂州の浸食堆積量と卵数の関係

砂州の浸食堆積結果 (Fig.15) より、黄色の点線で示した箇所は、かつて流路であったところに土砂が堆積することによって、砂州前縁部で湧水が存在し、その湧水に瀬があるとところにアユの産卵床を確認できた。

浸食堆積面積量について、14km砂州(Fig.15(a))では、浸食量が0.276(km<sup>2</sup>)、堆積量が0.249(km<sup>2</sup>)であった。特に、産卵床の上流においては、洪水により新しく堆積した土砂が多いことが確認できた。また、11.4km地点では、浸食量が0.064(km<sup>2</sup>)、堆積量が0.065(km<sup>2</sup>)であり、決して多くの土砂が更新されたわけではないが、Fig.15(b)の浸食堆積面積の衛星写真より、アユの産卵床が発見された上流側では、小さな旧河道が洪水により堆積していることが確認できる。このこ

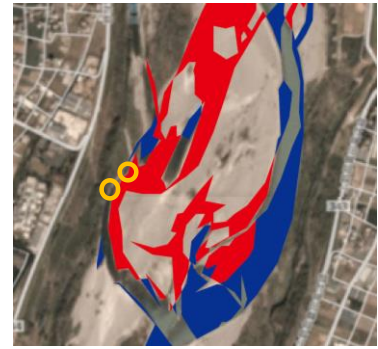
(a) 14km砂州



2018年2月27日



2018年11月11日



浸食堆積面積

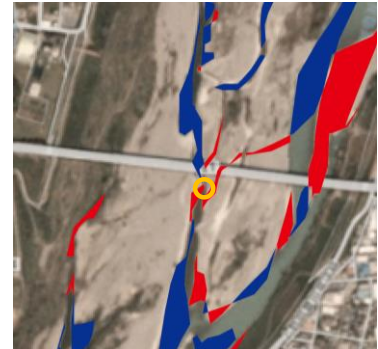
(b) 11.4km砂州



2018年2月27日



2018年11月11日



浸食堆積面積

○ 産卵床発見地    ■ 堆積    ■ 浸食

Fig. 15 Erosion and deposition area in the bar at 14kp(a) and 11.4kp(b) between the periods in 2018.

とから、湧水流路が好適なアユ産卵床の条件を満たす1つの要素であると考えられる。今後は地点数を増やし、定量化する必要がある。

## 5. 結論

湧水流路の環境条件については、 $5,000(\text{m}^3/\text{s})$ の出水でできた砂州の湧水流量が $0.31\sim 2.82(\text{m}^3/\text{s})$ の場所で、産卵床が確認できた。さらに、DOが高く、濁度が低い場所であることも条件の1つであると考えられる。

天竜川では、 $4,000\sim 5,000(\text{m}^3/\text{s})$ の中規模の出水で形成される湧水流路の瀬では、 $4,000\sim 18,000$ 個のアユが確認されており、湧水流路が好適なアユ産卵床を提供する役割を果たしていると言える。これらの結果は、アユの繁殖成功のためには、既存流路に土砂が堆積して新たな湧水流路が形成されることが必要であることを示唆している。

湧水流路の間隙生物については、アユの産卵発見地点では、12種類が確認できた。間隙生物から見た

湧水環境の指標性やアユ産卵床との関係性については、今後の検討課題である。

今回の結果では、 $0.31(\text{m}^3/\text{s})$ 以上の湧水量で産卵床が確認されている。この結果を踏まえ、湧水流路の役割を利用して、天竜川の河口3km地点～22km地点で湧水量の調査を行い、衛星写真を用いて砂州の特徴を把握と湧水量と砂州の特徴の関係について考察し湧水量の多い砂州の条件について検討する必要がある。

## 謝 辞

本調査の実施にあたり、国土交通省浜松国道事務所、天竜川漁業協同組合、天竜川天然自然再生連絡会、いであ株式会社にご協力を頂いた。現地調査では、野澤利治さん、足立京子さん、岩本麻紀さん、石塚淳也さんにお手伝いいただいた。本研究の実施にあたり科学研究費補助金（課題番号17H01666、15H02267）の一部を使用した。以上の関係諸氏に感謝の意を表す。

## 参考文献

- 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).
- 石田力三(1962):アユの産卵生態－Ⅲ,産卵場の水深と産卵魚の体型,日本水産学会誌,28(4),pp.339-404.
- 石田力三(1964):アユの産卵生態－Ⅳ,産卵水域と産卵場の地形,日本水産学会誌,30(6),pp.478-485.
- 泉公祐・竹門康弘・兵藤誠・喜多村雄一・角哲也(2016):天竜川における副流路の湧水環境創出によるアユ産卵床の造成実験,土木学会論文集B1(水工学) Vol.72, No.4, I\_439-I\_444.
- 川合禎次・谷田一三(2018):日本産水生昆虫 第二版 科・属・種への検索,東海大学出版部.
- 角哲也・中島佳奈・竹門康弘・鈴木崇正(2011):アユの産卵に適した河床形態に関する研究,京都大学防災研究所年報,54b,719-725.
- 高橋真司・兵藤誠・谷高弘記・角哲也・竹門康弘(2018):天竜川における濁度成分の流程変化に基づく砂州地形の濾過機能推定,防災研究所年報第61号B,pp.739-747.
- 天竜川流砂系協議会(2018):天竜川流砂系総合土砂管理計画 第1版.
- 兵藤誠・栗津陽介・竹門康弘・角哲也・鄧朝暉(2013):河川生息場の変動履歴の関係,京都大学防災研究所年報,56b,699-712.
- 兵藤誠・竹門康弘・角哲也・栗津陽介・鄧朝暉(2014):洪水による地形の浸食堆積・硬化軟化プロセスが河川生息場の変動履歴に及ぼす影響,土木学会論文集B1(水工学),Vol70, No.4, I\_1345-I\_1350.
- 村井彰弘・竹門康弘・角哲也(2012):アユの産卵に適した瀬の河床条件に関する研究,卒業論文,pp.10-24.

(論文受理日:2019年7月22日)