

複断面河道における低水路幅の違いが 砂州物理環境および魚類生息環境へ及ぼす影響

EFFECTS OF DIFFERENCE IN LOW-FLOW-CHANNEL WIDTHS IN
ALTERNATE BARS ON PHYSICAL ENVIRONMENT AND FISH HABITAT

溝口敦子¹・谷口義則²・鷲見哲也³・音田慎一郎⁴・青木一展⁵・飯田涼介⁶

Atsuko MIZOGUCHI, Yoshinori TANIGUCHI, Tetsuya SUMI,
Shinichiro ONDA, Kazunori AOKI, Ryosuke IIDA

¹正会員 博（工） 名城大学准教授 理工学部建設システム工学科
（〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501）

²非会員 博（地環） 名城大学准教授 理工学部環境創造学科（同上）

³正会員 博（工） 大同大学准教授 工学部都市環境デザイン学科
（〒457-8530 愛知県名古屋市南区滝春町10-3）

⁴正会員 博（工） 京都大学大学院助教 工学研究科都市社会工学専攻
（〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂C1-3）

⁵学生会員 名城大学大学院 理工学研究科建設システム工学専攻（1と同じ）

⁶非会員 名城大学大学院 理工学研究科環境創造学専攻（1と同じ）

The riffle-pool structure that forms on alternate bars at the low-flow stage of a river provides important habitat for various organisms. The alternate bar is important for river organisms because the ecosystem depends on the physical conditions that forming the alternate bar. The formation of alternate bars depends on channel conditions, such as the channel width, slope, sediment diameter, etc. In this paper, we focus on the formation of alternate bar shapes in two downstream reaches of the Yada River that differ in the width of the low-flow channel. We investigated differences in physical condition, water temperature distribution, and the presence of fish in each of the two areas. The characteristics of bar shape and migration depended on the width of the low-flow channel. Water temperature also had a great influence on the presence of fish in summer. The exchange condition of subsurface and surface flows, which affects the water temperature distribution, depended on the bar shape.

Key Words : Compound channel, alternate bars, fish habitat, water temperature,
subsurface flow

1. はじめに

近年、環境保全も視野にいたる河川整備の実施を目指し、河川環境に関する研究が数多く行われている。こうしたなか、河道内地形は表層粒度環境や平水時の流れを決め生態系へ提供する場の基盤となるため、その形成と変化を把握することは、河川環境に配慮した整備のうえで非常に重要となる。これまでに、河道内地形の変化に伴う生物生息環境の変化について取り扱った研究がある一方で、生息場としての機能を視野に入れ河道内地形の形成メカニズムを詳細に取り扱った研究は、ほとんどない。本研究で着目する交互砂州地形に関しては河岸侵食災害などの要因となるため、以前から発生条件や砂州波

高の予測が活発に行われ、ある程度知見が得られている。しかし、河川環境を論じる上で重要となる平水時の水際勾配や平水時流路の特徴と砂州の形状特性の関係、およびその決定機構は、未だ明確になっていない。そのため、ここでは、まず複断面河道における砂州地形の特徴について調べ、それによる瀬淵構造や物理環境の変化、魚類生息状況の違いなどについて検討する。

上記の背景に加え、本研究は、特に複断面河道を有する庄内川水系矢田川を対象とし、現在あるコンクリート低水護岸を自然河岸にすることで河川環境を改善し、かつ、治水上の安全性が確保されるような河川整備を行うことを具体的な目標に掲げ実施している。そのために、まず、2008年から複断面流路における地形変化を把握することを目的として現地調査を開始した。2010年には、

低水路幅が異なる2区間を対象として、低水路内の砂州の特徴とその変動を調べるとともに、平水時に形成される低水流路の特徴と伏流水挙動の特徴を検討した。また、同区間で魚類の生息状況を調べ、砂州地形、低水時の流路・伏流環境との関わりについても検討した。本論文では、これまでの物理環境に関する成果を踏まえ、2010年度の現地調査で明らかになった事項について論ずる。

2. 矢田川概要と対象区間の物理的特徴

(1) 矢田川概要

本研究で対象とする矢田川は、一級河川庄内川の支川であり、愛知県瀬戸市、名古屋市の北部を流れる都市河川である。矢田川下流域の庄内川合流点付近は、以前は災害に悩まされていた地域であり、治水対策として1930年ごろに河道の付け替え工事が行われた。それ以降、河道内掘削が度々行われ、現在のようなコンクリート低水護岸を有する複断面河道となった。なお、本研究では、矢田川下流域のうち、代表的な低水路幅を有する天神橋 - 三階橋区間（庄内川合流点から4 km 付近、以下、天神橋区間とする）と、他の区間と異なる低水路幅を有する宮前橋-矢田川橋区間（合流点から6.4 km 付近、以下、宮前橋区間とする）を対象として、検討を行う。

(2) 対象区間の特徴

対象区間である天神橋区間と宮前橋区間は、低水路幅が表-1のように大きく異なる。そのため、同一出水によって低水路内の河床が受ける影響は異なると予測される。矢田川下流域における流況は表-2のようになっており、低水路満杯流量の推定値から考えると、両区間とも年に数回は高水敷がつかれる条件となっていると言える。また、図-1に示すように各区間は低水流路満杯流量以下では交互砂州の形成領域に入り、かつ、宮前橋区間についてはそれ以上の流量においても形成領域となっている。

(3) 複断面河道における交互砂州形状

日本の河川では、平均年最大流量程度で河道内地形が規定されていると言われているが、複断面河道に形成される砂州の特徴の決定要因は現在のところ明確になっていない。そこで、対象区間の砂州形状について検討する。

各対象区間の河道条件は、低水路幅が異なるため、実際に形成されている交互砂州の波高等大きさが異なる（表-1）。形成されている交互砂州波高について、池田の波高予測式¹⁾を用いてしらべたところ（図-2）、おおよそ低水路満杯流量程度で形成される砂州波高となっていることが分かった。波長についても初期卓越砂州を予測する際の理論解析で得られる値と同程度であり、年に数回以上低水路満杯となる矢田川下流域では、多くの出水の影響を受け徐々に変化しつつも²⁾低水路満杯流量程

度で低水路内の砂州形状が決定されていると言える。

(4) 対象区間における交互砂州の変動特性

対象区間における交互砂州の変動状況を、地形測量および杭と鉄製リングを用いた洗掘深調査により調べた。2008年度からの調査により、天神橋区間は年最大流量程度以下でも砂州が進行し、場が変化していくことが確認されている²⁾。しかし、低水路幅だけでなく形成されている砂州の波高が小さい天神橋区間に比べ、宮前橋区間は波高・低水路幅ともに大きく、同じ出水でも低水路内の河床が全体的に乱されにくいことが予測される。そこで、図-3に示す10月4日と9日の出水を対象に、河床変動状況と洗掘深調査を行った結果を図-4に示す。図-4より天神橋区間では、高水敷高さ以下の小さな出水（10/4）においても変動が確認され、洗掘深がほとんどの場所で数センチあることがわかる。つまり、全体的な河床材料の入れ替わりが確認できる。一方、宮前橋区間は、低水路満杯近くまで水位が上昇した出水（10/9）においても、限定された場所でしか河床高の変化および洗掘が確認されず、年間を通じた測量結果からも場がほとんど変化しないことが分かった。なお、ここでは、平水時の流路際と瀬の上流部付近に限定された河床変動が起こっている。

3. 低水路の特徴と伏流環境および水温環境

(1) 交互砂州上に形成される低水路の特徴

2章(3)で示した特徴を持つ交互砂州に対し、低水時の流路が図-5のように形成され、各区間の水深コンターは、図-6のようになっている。低水路内の交互砂州が異なるために、平水時の流路中央付近の水位、河床高の変化は図-7のようになり、異なる流路特性を持つことがわかる。つまり、同一河川内で平水流量がほぼ同じであるため、宮前橋区間のほうが規模の大きな砂州ができ平水時の流路方向に凹凸ができることで、明確な瀬淵構造ができているのに対し、天神橋区間は流路方向の凹凸が小さいため、2010年11月の時点では瀬淵構造が見られない。

瀬淵構造が明瞭であるか否かは、流路沿いの水深、流速の関係にも表れる。図-8に、後述する瀬淵等代表的な箇所を設置した魚類生息状況の調査地点における平均流速と水深の関係を示すと、両区間のプロットされる領域

表-1 対象区間の概要

対象区間	川幅 (m)	低水路幅 (m)	低水路高さ (m)	勾配	低水路満杯流量 (m ³ /s)	河床材料 (m)	波高 (m)	波長 (m)
天神橋区間	150	36	1.85	1/700	160	0.02	1.0	400
宮前橋区間	185	55	1.55	1/700	220	0.02	1.9	450

表-2 矢田川瀬古地点の流況

年	最高水位	平水位	最大流量	平水流量
	単位：m		単位：m ³ /s	
2006年	11.12	8.80	346.19	2.50
2007年	10.64	8.78	218.12	1.98
2008年	12.09	8.79	652.60	2.24
2009年	11.75	8.78	406.19	2.35

に差が出ることがわかる。宮前橋区間は水深が20cm程度で流速が大きい場所が存在し、かつ、水深が30cm以上で流速が緩やかな場所が存在するのに対し、天神橋区間は、水深が大きく流速が緩やかな場所が少ないのが分かる。つまり、宮前橋区間には平水時に明瞭な瀬と淵が存在していると言える。

(2) 各区間における伏流環境

上述した砂州形状および平水時の流路の特徴により、表流水位の縦断変化が異なり、表流水と伏流水の水交換特性も異なることが予測される。そこで、鷲見が開発した計測方法³⁾により(図-9)、河床面付近と河床下20cmの伏流水間の差圧を計り、砂州水際付近を中心に鉛直浸透のポテンシャルを調べた。

図-6(a)に示すように天神橋区間にはほとんど陸域がなく、かつ、周辺の広域地下水位や高水敷地下水位を調べ比較した際に地下水位が河川水位より低い結果となっ

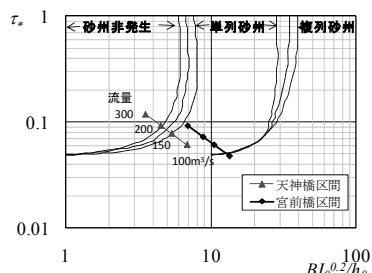


図-1 対象区間における各流量条件時の中規模河床形態領域区分図へのプロット

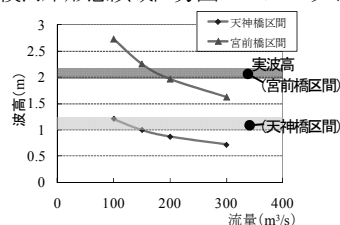
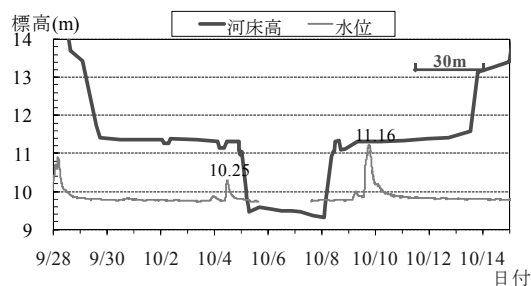
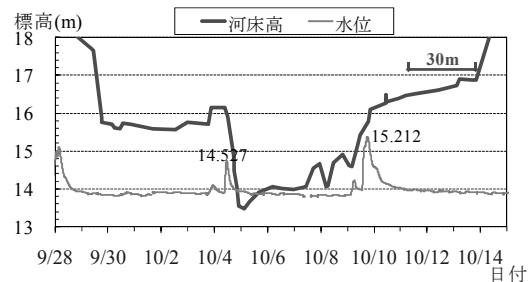


図-2 各流量時の平衡波高予測値



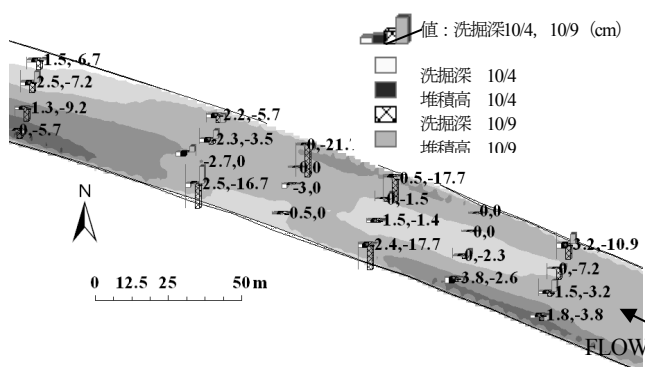
(a) 天神橋区間



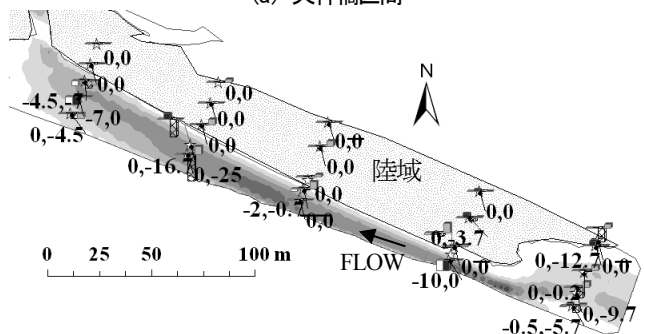
(b) 宮前橋区間

図-3 代表断面図と調査対象出水前後の水位変化

ため、全体で浸み込み傾向にあることがわかった。一方、宮前橋区間は、図-10の差圧の分布が示すように、砂州上流側は負値で表流水が河床に浸み込み、正となる



(a) 天神橋区間



(b) 宮前橋区間 ※0は欠測箇所

図-4 対象区間における出水時の洗掘深調査結果

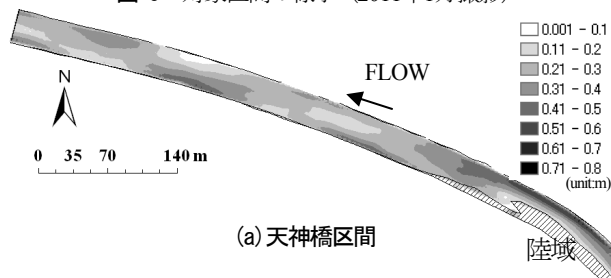


(a) 天神橋区間

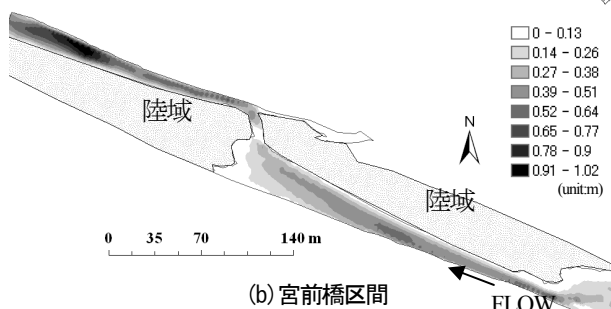


(b) 宮前橋区間

図-5 対象区間の様子 (2011年1月撮影)



(a) 天神橋区間



(b) 宮前橋区間

図-6 対象区間の水深コンター (2010年11月)

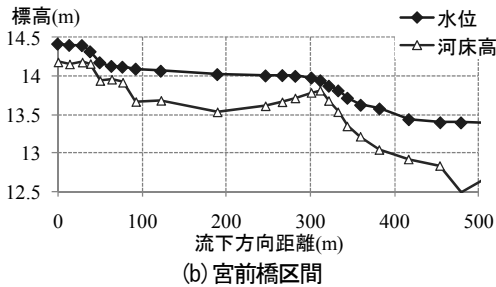
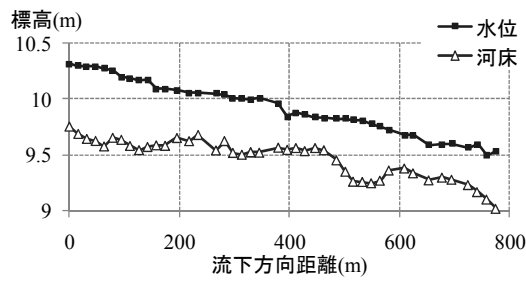


図-7 平水時の流下方向水面，河床高変化

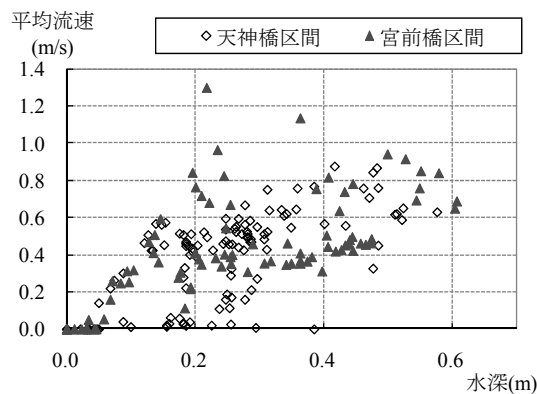


図-8 各区間における流速-水深分布

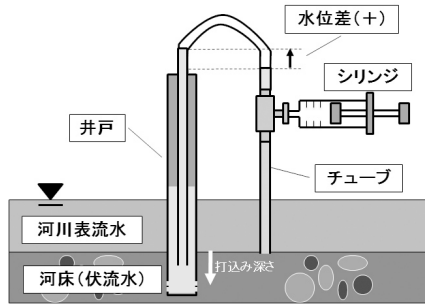


図-9 表流水・伏流水の差圧の計測方法概要

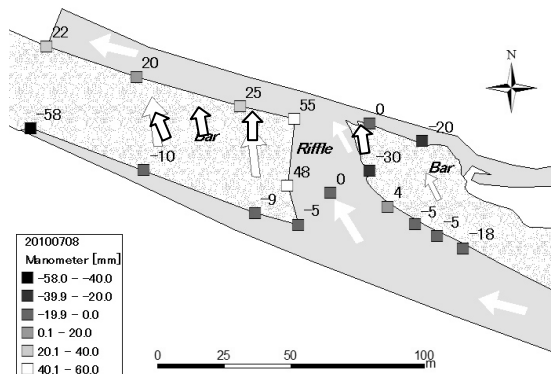


図-10 宮前橋区間における表流水と伏流水の差圧

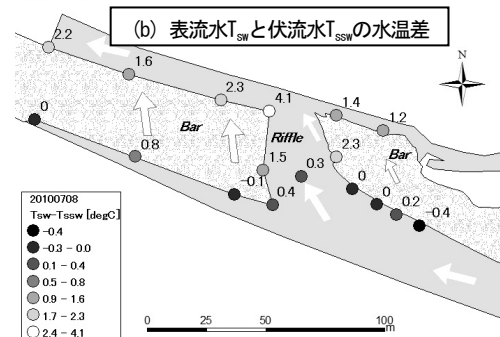
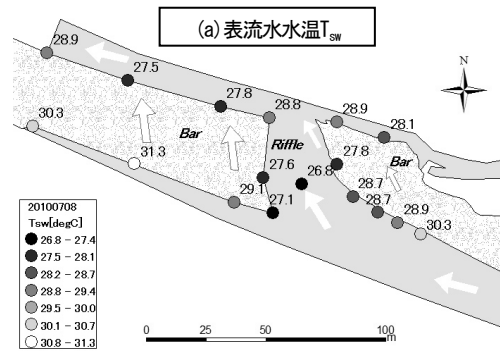


図-11 表流水・伏流水水温環境（夏期：2010.07.08）

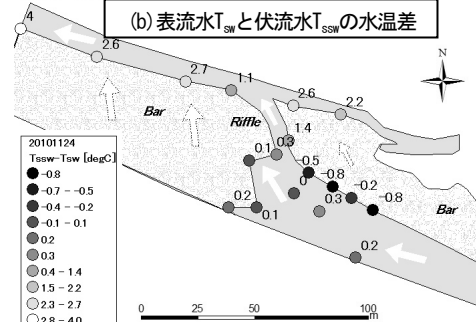
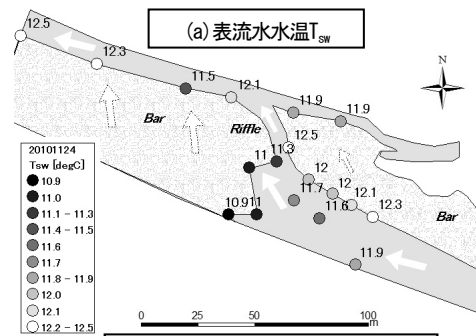


図-12 表流水・伏流水水温環境（秋期：2010.11.24）

下流側の砂州水際には伏流水が湧き出ている。図-7が示す瀬の上下流での大きな水位差は伏流水流動を規定し、低水路内、特に砂州水際付近の河床で表流水と伏流水の顕著な水交換を示した。これと既往の研究成果⁴⁾により図-10の砂州陸域上の矢印に示す伏流水水平流動を推測できる。

(3) 伏流による水温環境の変化

夏期・秋期における表流水と河床下20cmの水温を水際付近で調べた。表流水温，および表流水と伏流水の温の差を図-11，12に示す。瀬の上流側においてはこの水温差は殆どなく，図-10における表流水の浸み込み領域

であり移流によって水温差が生じず、下流側での温度差の高い部分は図-10の湧き上がり部にあたり、砂州内部の地温により秋は温められ夏は冷やされた水の温度が示されている。つまり、これらの図から、宮前橋区間では水温変化の特徴が顕著に現れているといえ、砂州の下流側水際部において水際の浅い水域や河床の極近傍では湧き上がる伏流水の影響を受けることがわかった。

このように陸域が形成され低水路に明瞭な瀬淵構造を持つ交互砂州の河道では、瀬の上流部で砂州内に浸み込み砂州陸域中を伏流水として水平流動したのち復帰するという水交換現象がみられ、一部の水際・河床付近の水温形成に影響を与えることがわかった。ただし、河川水温全体の形成については、2010年夏期には宮前橋区間の水温が天神橋区間の水温より低くなることが確認されているものの、両区間に流入している水の温度にもともと差がある。そのため、各区間の河川全体の水温環境の生成に伏流水がどの程度寄与しているかの評価が必要であり、今後、評価・検討する予定である。

4. 矢田川における魚類の生息環境

(1) 魚類生息状況の調査概要

対象とした2区間において、夏期（2010/8/22-9/3）および秋期（2010/10/23-10/25）に魚類の生息状況を調査した。魚類は、各対象区間に、長さ10m×幅5mのコドラートを設定し、電気ショッカー、タモ網（目合い：2mm）及びサザ網（目合い：3mm）等を用いて採捕した。

各対象区間におけるコドラートは、魚類が温度ストレスを受けると推測される夏期に特に詳しく調査するため、天神橋区間に22地点、宮前橋区間に17地点設置し、秋期にはその中から地点を限定し、天神橋区間に13地点、宮前橋区間に10地点とした。

魚類生息状況の調査とともに、各コドラートにおいて、3カ所で底質の河床材料調査を、9カ所で水深と6割水深の流速を計測した。また、各コドラートにつき、Onset製の自記式水温計測ロガー（ティドビット2）を、河床に打ち込んだ杭の水面下に固定し、連続計測を行った。なお、夏期調査以降は多数のロガーが出水等により消失したため、水温の解析は夏期に限定した。

(2) 物理環境と魚類の生息状況

調査の結果、宮前橋区間で4魚種、計216個体（8月）、5魚種、計78個体（10月）、天神橋区間で13魚種、計194個体（8月）、12魚種、1甲殻類、1両生類、計334個体（10月）、両調査区間で計18種の水生生物が確認された。なお、優占種は、ヨシノボリ類（*Rhinogobius* sp.）およびオイカワ（*Zacco platypus*）であった。加えて、メダカ（*Oryzias latipes*）、シマドジョウ（*Cobitis biwae*）などの希少魚類⁵⁾も採捕された。



図-13 夏期の表流水水温および魚類の生息状況（8/22-9/3）

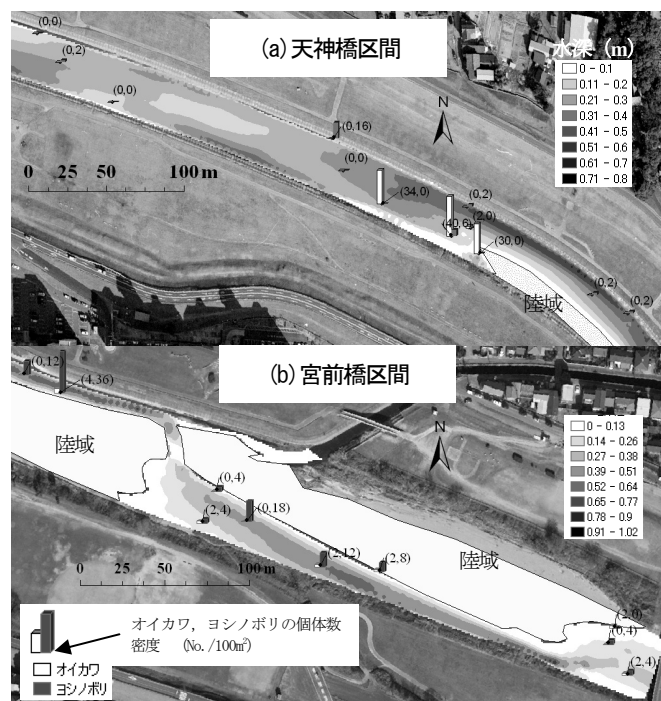


図-14 秋期の魚類の生息状況（10/23-10/25）

ここで、ヨシノボリ類とオイカワの個体数密度を図-13, 14に示す。また、各コドラートの平均水温、水深および流速の代表値と個体数密度について整理したものを図-15～17に示す。なお、これらの図のプロットの大きさは個体数密度に比例し、その値をプロット横に数値で示している。これらの図より、夏期は、両区間共に平均水温29.9℃以上の場所ではヨシノボリ類もオイカワの生息密度が著しく低いことがわかる。逆に、夏期には各区間においてこれらの魚類が比較的流速が高い、低水温の環境を選好していることが明らかになった。

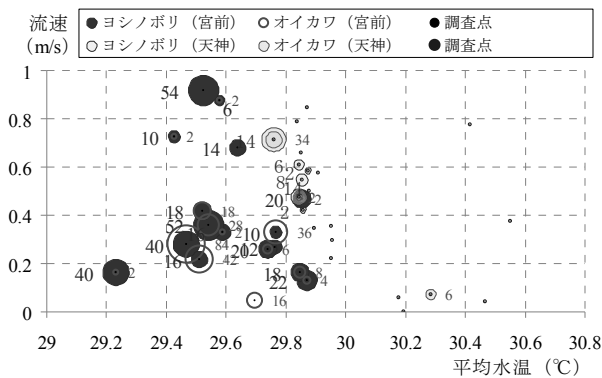


図-15 夏期の水温-流速-個体数密度の関係

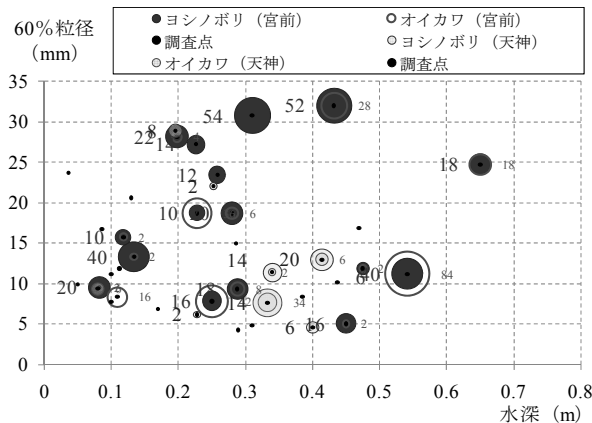


図-16 夏期の水深-粒径-個体数密度の関係

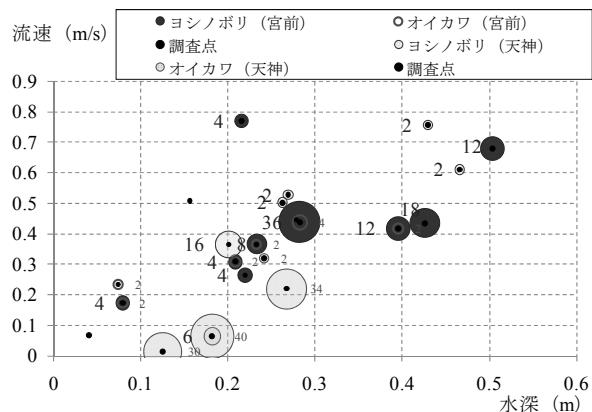


図-17 秋期の水深-流速-個体数密度の関係

低水路幅が異なる天神橋区間と宮前橋区間の砂州はそれぞれ異なる特徴を有し、夏期の水温環境や水深・流速などの分布状況に大きな差が認められた。天神橋区間では宮前橋区間に比べて水温がほぼ一様に高く、水深・流速の変異が小さかった。夏期水温が比較的低く、水深・流速環境の変異が大きい宮前橋区間で、より多様な魚類が生息するものと予測されたが、夏期・秋期ともに魚類の多様性は天神橋区間でより高かった。ただし、この結果は、天神橋区間上流の湾曲部と砂州陸域の存在に起因する、局所的なワンド的地形および河畔植生の創出によるものと考えられた。すなわち、魚類の生息に重要とされる水中横方向の洗掘および陸上から水面に垂下する植物の陰などが隠れ家として機能し、局所的に多様な魚類が生息する結果となったものと推察される。この局所空

間を解析から除外すれば、ほぼ予測通り、平均水温が低く、かつ、瀬淵構造が比較的明瞭な宮前橋区間で魚種数、個体数がともに多い結果となった。なお、上述の河畔植生の詳細な役割について、今後検討が必要であろう。

5. おわりに

本研究では、コンクリート低水護岸が整備されている矢田川において自然河岸の形成を河川整備の目標に据え、まず、低水路幅が低水路内に形成される砂州地形を通して河川水温および魚類生息状況にどのような影響を与えるのかを現地調査を中心に検討した。その結果、以下のことが分かった。

- ・矢田川のような低水路満杯流量以上の出水が数回来るような条件では、低水路満杯流量時の条件で低水路内の砂州のおおよそその特徴が決まる。
- ・低水路幅により異なる特徴の砂州が形成されるが、発生条件および波高は既往の研究により予測できる。
- ・低水路内の砂州形状によって平水時流路の特徴が異なり、矢田川では、砂州の規模が大きな宮前橋区間で平水時には瀬淵構造が明確な流路が形成された。
- ・明確な瀬淵構造の形成の有無により表流水・伏流水の水交換環境が異なる。
- ・瀬淵構造が明確な宮前橋区間で水交換活動が活発であり、水交換環境が影響を受けるであろう夏期の水温は、表流水と伏流水の水温の差が場所により異なり、水温に分布がでることが確認された。また、こうした物理環境に支配される河川水温の分布は夏期の魚類の生息状況に大きな影響を及ぼしていた。
- ・天神橋区間のように局所的にワンド環境や河畔植生が存在することが魚類生息環境に与える機能について、別途検討する必要性が示された。

謝辞：本研究の一部は、河川技術研究開発制度地域課題研究の一環として行われ、国土交通省中部地方河川整備局庄内川河川事務所の多大な支援を受けて実施した。野外調査では、2010年度名城大学理工学部4年次学生であった杉淵由佳氏、高松仁氏らの協力を得た。ここに、謝意を示す。

参考文献

- 1) 池田駿介：単列交互砂州の波長と波高，第27回水理講演会論文集，pp.689-695，1983。
- 2) 溝口敦子：低水護岸を有する矢田川低水路における交互砂州の変動特性，河川技術論文集，Vol. 16，土木学会，pp. 107-112，2010。
- 3) 山下理代，鷺見哲也：礫河床での鉛直水交換現象に関する研究，平成21年度土木学会全国大会研究発表会第64回年次学術講演会，pp.443-444，2009。
- 4) 鷺見哲也，額原宇一郎，辻本哲郎：砂州内の伏流挙動とたまりの水交換性に関する研究，河川技術に関する論文集，土木学会，Vol.6，pp.89-95，2000。
- 5) 谷口義則：魚類。レッドデータブックなごや2010—2004年版補遺一。名古屋市。pp.99-121，2010。

(2011.5.19 受付)