

天竜川におけるアユ産卵床の河床地形特性と 変動履歴の関係

RELATION BETWEEN RIVERBED CHARACTERISTICS OF SPAWNING REDDS FOR AYU AND THE CHANGING HABITAT IN THE TENRYU RIVER

兵藤誠¹・竹門康弘²・角哲也³

Makoto HYODO, Yasuhiro TAKEMON and Tetsuya SUMI

¹正会員 京都大学 防災研究所水資源環境研究センター (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

²正会員 理博 京都大学准教授 防災研究所水資源環境研究センター (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

³正会員 博士(工) 京都大学教授 防災研究所水資源環境研究センター (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

Riverbed is consisted of various habitat types, e.g., riffles, pools, side pools, back waters, etc. These habitats are changing in time and space by deposition and erosion processes caused by floods. These processes should be appropriately considered in the ecological evaluation. This article discusses riverbed characteristics of spawning redds for Ayu, in relation to changing patterns of habitats in the Tenryu River. Firstly, we conducted field surveys over November to December 2013 and found two spawning redds at small riffles in channels flowing from the spring welling up in a side pool. Physical characteristics of the spawning redds were identified based on the DO concentration and riverbed softness measured at the various habitats in the field. Spatial and temporal changing patterns of the habitats suitable for spawning redds were also investigated using the images of interval-recording-cameras installed at the study site for analyzing habitat scale changes and aerial photos for reach scale changes.

Key Words : *Plecoglossus altivelis altivelis*, changing habitat, spawning redd, riverbed softness, erosion and deposition, spatiotemporal patterns

1. 背景と目的

河床地形は、瀬や淵、たまり、ワンド等の生息場によって構成され、洪水とそれに伴う浸食や堆積によって創出や消失を繰り返す動的な変動履歴を有している。そのため、生息場の評価にあたっては、この観点を取り入れることが重要である^{1), 2)}。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、産卵床に関して多くの研究が行われている。既往研究では好適な産卵環境として、瀬であること^{2), 3)}、浮石環境であること^{4), 5)}、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こと³⁾等が示されている。浮石環境の礫底であることは、アユは産卵の際に河床の砂礫を動かして、その間に卵を産み着ける習性があり、自ら動かすことのできる小さい砂礫を選んで産卵していると考えられている³⁾。産卵特性から、アユの産卵に適した場の物理特性として、平常時の流速や水深^{6), 7)}、フルード数⁸⁾、摩擦速度⁹⁾等に注目した研究成果も見られる。しかしながら、これらの

知見は、静的な指標に基づく評価が一般的であり、変動履歴に着目した研究は殆どない。動的な指標については、魚類の生活史の時間的・空間的連続性に着目し、礫の露出率を算出して瀬の生息場を評価した研究がある¹⁰⁾。また、好適と言われる産卵環境について、石田は合流点・湾曲部等の周辺に州が発達して瀬が生じ、流路は複雑で流水と河床との動的平衡が保たれる場所であり⁵⁾、それが瀬頭に多いこと⁶⁾を示した。しかし、その環境が創出される条件について、生息場の空間的な階層構造、及び、中規模河床形態、砂州の移動や変動履歴の観点から、動的な土砂移動特性や空間分布特性に着目した研究は殆どない。兵藤ら²⁾は、瀬頭は小規模洪水で硬化し、中規模以上の洪水で土砂堆積が生じて軟化するプロセスを示し、軟らかい瀬頭の形成には中規模以上の洪水による土砂堆積が必要で、砂州前縁部にそのポテンシャルが高いことを示した。しかし、実際に現存したアユ産卵床や卵に対して、その河床環境や空間的な階層構造、形成プロセスを解明したものではない。そこで、本研究では近年減少傾向にある天竜川のアユの産卵床を対象に、河床地形

の変動履歴によって、現状の産卵床の河床環境や空間分布の特性を解釈することを目的とする。本研究成果を応用することで、治水と環境の調和した具体的な河床地形の管理手法の確立に貢献できると考える。なお、対象箇所は、セグメント2-1、河床勾配は1/520～1/650程度、代表粒径(60%)は60～73mmとなっている。また、本研究で着目する河床形態は、流路幅との関係で特徴付けられる中規模河床形態¹¹⁾であり、対象箇所は、概ね複列砂州～交互砂州に分類される。

2. 調査・分析方法

既往研究でアユ産卵が多いと推定されている天竜川16.4k周辺¹²⁾を対象として、以下の(1)～(4)の調査分析を行った。調査箇所位置図を図-1に示す。調査・分析方法のうち、河床軟度調査、及びインターバル撮影機能付デジタルカメラによる地形変化の把握は、兵藤ら³⁾の手法と同様であるため、詳細は既往論文を参照されたい。また、本研究は現存したアユの産卵床の河床環境や空間分布特性を解釈することに主眼を置いているため、その直前に生じた中規模洪水による河床地形の変化、及び、その結果として形成されたアユ産卵時期の生息場毎の空間分布特性等について、調査結果等を用いて分析評価した。

(1) アユの産卵床調査

天竜川のかささぎ大橋～浜北大橋を対象に、2013年11月～12月の期間内で、天竜川漁協共同組合の協力を得て不定期に調査区間に行き、アユ産卵床の探索を行った(図-1)。本区間は、2006年頃には天竜川におけるアユの主要産卵範囲であったが、その後は年を追って縮小し、近年の2010年では主要産卵分布範囲を確認することができない程までに縮小した¹²⁾。また、近年の天竜川では、稚魚の流下については調査により確認されているが、産卵床は探索努力にも関わらず殆ど確認されていない¹²⁾。

(2) 水質及び河床軟度調査

アユ産卵床の物理的特性を把握するため、産卵床と他の生息場(瀬、たまり、ワンド)を対象に、水質及び河床軟度(河床の軟らかさ)について現地で計測を行い、比較評価することで産卵床の物理的特性を分析評価した。調査は2013年11月22日に実施し、水質の具体的な調査項目は、水温、水深、溶存酸素量(DO)、濁度等を計測しているが、ここでは明確な傾向が見られた溶存酸素量(表層水、及び、河床から約20cm下の間隙水)について論じるものとする。また、河床軟度については、長谷川式土壌貫入計(大島造園土木株式会社製造)や足踏みによる方法⁹⁾等、様々な方法が試行されている。本研究では、より簡易な方法としてシノという長さ30cm程度の先のとがった鉄棒に目盛を刻んだものを用いて、河床に人力で

一定の荷重をかけて突き刺しその貫入深(cm)を記録した。

(3) インターバル撮影機能付デジタルカメラによる地形変化の把握

著者らが河道内鉄塔上に設置したインターバル撮影機能付デジタルカメラ(1時間毎に撮影:以下、インターバルカメラと称する)により、産卵期直前の2013年9月16日と10月26日の中規模洪水による地形変化を把握した。調査期間前後の時刻流量ハイドロを図-2に示す。アユの産卵調査の行った2013年11月～12月の前に、鹿島地点(図-1参照)において、9月16日に4,900 m³/sの中規模洪水、10月26日に2,120 m³/sの小～中規模洪水が発生した。なお、平均年最大流量は約4,500 m³/sである。以降、本論文で流量を取り扱う際は、常に鹿島地点の時刻流量値を用いることとする。また、画像解析技術を応用して、撮影画像を平面直角座標系にオルソ化を行い、河床地形の変化を面的・定量的に把握し分析評価した。

(4) 航空写真と横断測量成果による河床地形変化の把握

アユ産卵床の地形変化を中規模河床形態や砂州の移動特性の観点から考察するため、調査期間より前の2010年8月、2011年12月、2012年12月の航空写真から、経年的な河床変動の履歴と砂州との位置関係を把握した。図-2に示すように、これらの航空写真の時点間には、7,520 m³/sの大規模洪水と3,740 m³/sの中規模洪水が生じており、地形が大きく変化していることが特徴である。

また、調査区間(かささぎ大橋～浜北大橋)を対象に、2008年と2013年の2時点の横断測量成果を用いて浸食と堆積、その差分についての河床変動土量を算出することで、アユ産卵場が浸食卓越であるのか堆積卓越であるのか、また、過去からの砂州の移動特性としてどのような特徴を有しているのかを分析評価した。具体的には、各測点(200m間隔)の横断図を重ね合せ、2008年より河床が低下(浸食)又は上昇(堆積)した面積の増減を算出し、測点間の距離を乗じて浸食又は堆積の土量を算出した。

3. 結果と考察

(1) アユ産卵床及び卵の確認箇所の状況

アユ産卵床調査の結果、2013年11月22日にインターバルカメラの上流側で1箇所、12月15日に下流側で1箇所の計2箇所の礫床のみでアユ産卵床及び卵を確認したが、他の箇所では確認することができなかった(図-3)。確認された2箇所は、上-たまり瀬21と下-たまり瀬22と示された箇所であり、既往研究等から一般的に好適な環境と言われる流路の瀬^{2),3)}ではなく、湧水のたまりから流路に接続される流水環境(以降、「たまり瀬」と称する)であった。また、12月15日に確認された卵は発眼卵であった。現地で確認した状況から、両地点ともに主な



図-1 調査箇所位置図

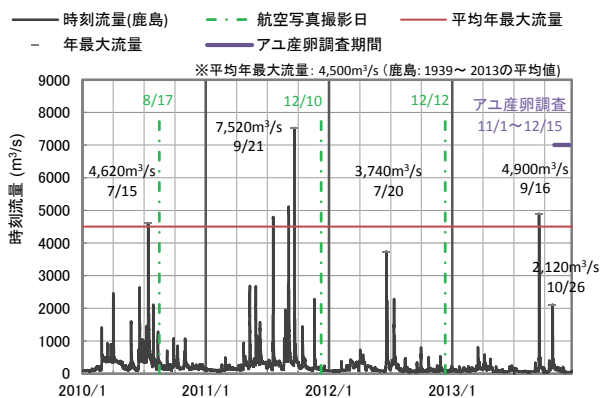


図-2 調査期間前後の時刻流量ハイドロ

河床構成材料は20～50mmの礫の割合が多く、砂による目詰まりが生じていない浮石環境であった。

(2) 水質及び河床軟度の特性

アユ産卵場と卵が確認された「たまり瀬」と、インターバル撮影機能付デジタルカメラの画角に存在する瀬やたまり・ワンド (図-3) を対象に、溶存酸素量と河床軟度を比較分析する。溶存酸素量は、表層水と間隙水について2013年11月22日に調査を実施しており、調査結果を図-4に示す。アユの卵が確認された上-たまり瀬-21と下-たまり瀬-22をみると、表層水で平均 11.8 mg/l、間隙水でも平均 6.9mg/l であった。表層水は、瀬と比較すると同程度であり、ワンド・たまりと比較すると大き



図-3 アユ産卵床と卵の確認箇所の状況

い値を示した。一方で間隙水は、表層水と比較して小さいが、表層水で流水環境と接続されていなくても、間隙水で一定の酸素が供給されていることが分かった。

河床軟度の調査結果を図-5に示す。値が大きいく程、河床が軟らかい (河床軟度が高い) ことになる。卵の確認されたたまり瀬では、河床軟度が 12.5 cm (平均値) を示しており、瀬やワンドよりも大きい値を示していた。瀬の河床軟度が小さい理由については、瀬は、中規模程度以上の洪水で土砂堆積等が生じるが、その後の小規模洪水を繰り返す中で、アユ産卵床としての好適性が時間の変化とともに劣化するためである²⁾。また、たまりの値が高いのは、小規模洪水時に細粒土砂が堆積しやすいためであり²⁾、たまり瀬とは特性が異なっている。

以上のことから、アユ産卵床と卵が確認されたたまり瀬では、他の生息場と比較して溶存酸素量や河床軟度が高いことから、アユの産卵には流水・湧水環境、及び、軟らかい河床が必要であることが推定された。

(3) 河床地形の変動履歴

a) マクロ・スケールで見た短期的な変動履歴

2013年9月16日の4,900 m³/s の洪水前後に、鉄塔上流

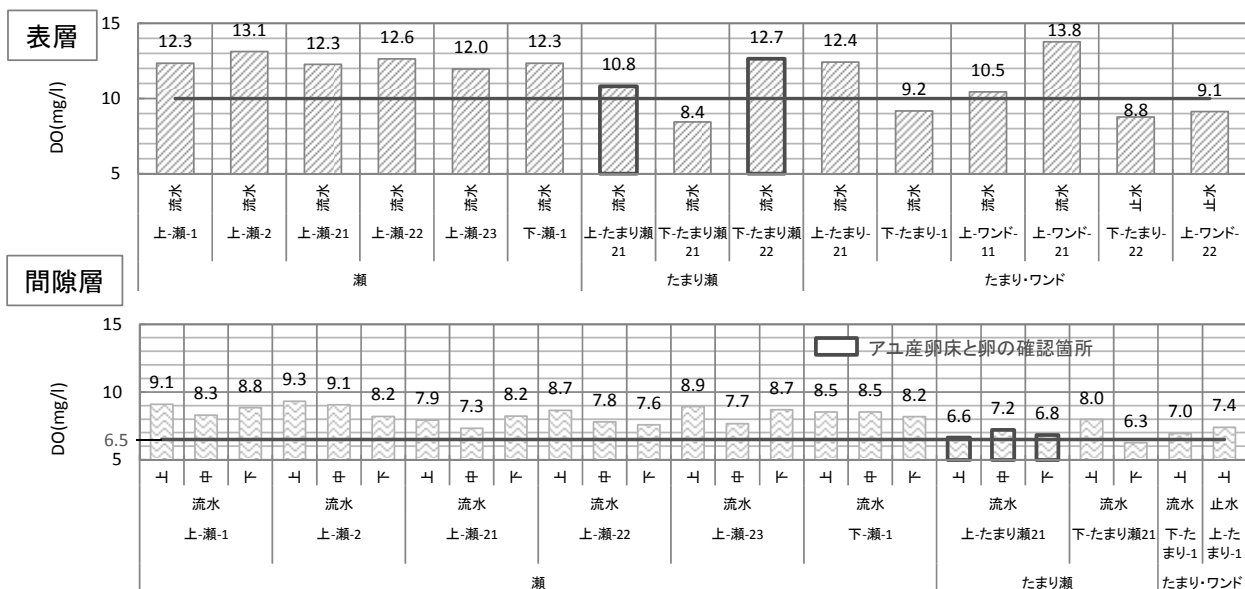


図-4 溶存酸素量 (DO) の調査結果 (表層水・間隙水: 2013年11月22日調査)

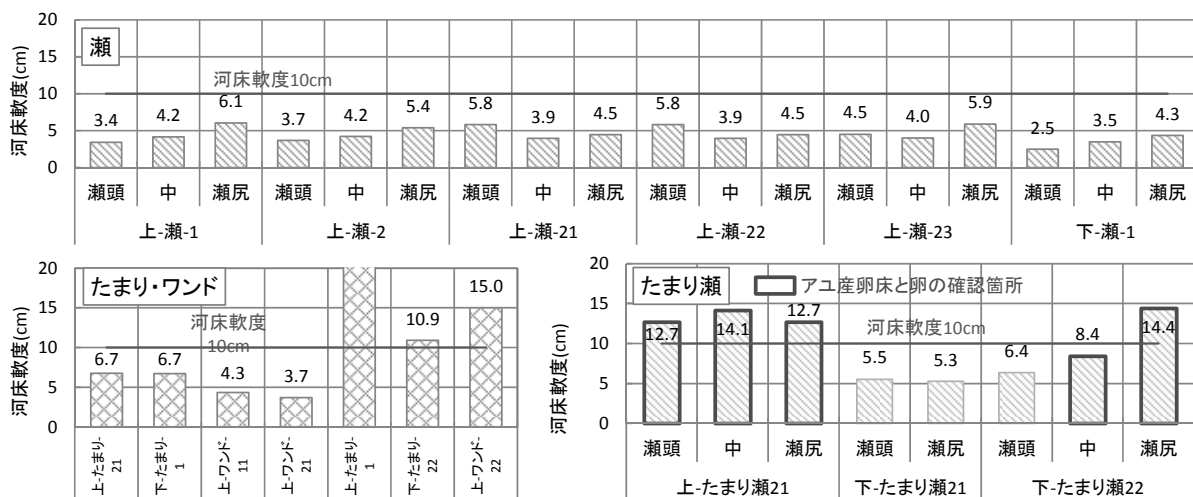


図-5 河床軟度の調査結果 (2013年11月22日調査)

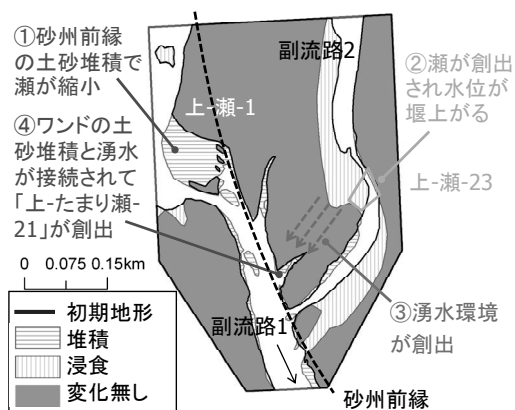


図-6 2013年9月洪水 (4, 900m³/s) 前後の河床地形変化

側のインターバルカメラで撮影された2時点の画像について、画像解析技術を応用してオルソ化を行い、浸食及び堆積箇所 (変動履歴) を抽出した結果を図-6に示す。中規模洪水では図-6 ①に示すように、砂州前縁の土砂

堆積により瀬が縮小するような変化が生じている。左岸側の副流路2では、新たな瀬 (上-瀬-23) が創出され、瀬の上流の水位が堰上がったものと推定される (図-6 ②)。これにより、副流路1に対して水面勾配がつくことで、湧水環境が創出されたと考えられる (図-6 ③)。また、中規模洪水で砂州前縁のワンドに土砂が堆積してたまりが創出され、地下で接続される湧水環境のたまり瀬 (上-たまり瀬-21) が形成された (図-6 ④)。このことから、2013年9月16日の洪水発生前には、アユ産卵場は存在せず、産卵が確認された11月22日の2ヶ月前に生じた中規模洪水により、土砂移動と地形変化の結果として、アユ産卵場が創出されたことが分かった。著者の近年の研究により、アユ産卵場として好適な環境は、砂州の下流側にある瀬であること¹³⁾、産卵前の比較的最近に土砂が堆積すること¹⁴⁾、瀬頭の河床が軟らかい必要があること¹⁵⁾、土砂堆積が中規模以上の洪水で生じる必要があること²⁾等が示された。本研究では、実際に存在



図-7 航空写真による河床地形の変動履歴

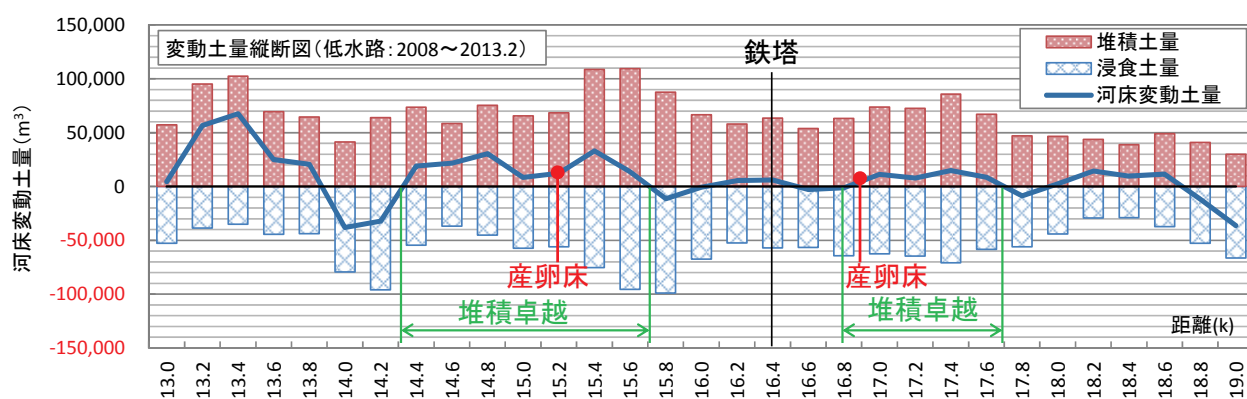


図-8 河床地形の浸食・堆積特性縦断面図

するアユ産卵場の河床変動履歴を把握することで、砂州前縁で産卵床が形成されるポテンシャルが高いこと、及び、近年の研究成果（推定）を実証できる重要な事象を確認することができた。

b) リーチ・スケールで見た中期的な変動履歴

アユ産卵場と卵を確認した2箇所を対象に、調査期間より更に前の2010年からの中期的な変動履歴について、航空写真により整理した結果を図-7に示す。鉄塔上流側の確認箇所は、2011年12月までは流路であり、2012年7月20日の3,740m³/sの中規模洪水に

よって土砂が堆積した砂州前縁部であることが分かった。また、鉄塔の下流側の確認箇所は、2010年8月までは流路であり、2011年9月21日の7,520m³/sの大規模洪水を経て土砂が堆積した砂州前縁部であることが分かった。但し、砂州前縁には、交互砂州によるものと、それより規模の小さい複列砂州によるものの両方が混在しており、また、これらの砂州は下流に伝播しており（図-7）、双方がアユの産卵床の分布特性に関わっているものと考えられる。また、アユの産卵床の確認箇所では、上下流共にかつての流路であり、上流から押し出してきた砂州前縁

が被さったところで、表層が細かく、その下の基盤の構成材料が粗いことで、湧水が流れやすい環境になったことが推定される。

更に、調査範囲（かささぎ大橋～浜北大橋）を対象に、2008年と2013年の横断測量成果を用いて5年間の河床変動土砂量を算出した結果を図-8に示す。本図では、浸食と堆積の変動土量をそれぞれに算出し、差分を求めることで、土砂移動の程度と、その場が浸食卓越又は、堆積卓越であるかどうかを分析した。好適な産卵床は堆積卓越の場であることが既往研究から推定されており^{2), 16)}、その推定を実態と比較分析することで検証した。その結果、低水路内で浸食や堆積が発生しており、土砂移動が生じる中で、浸食と堆積が縦断的に交互に発生していることが分かり、リーチ・スケールで交互砂州が移動している状況が分かる。なお、この結果は、図-7に示す航空写真の交互砂州の位置と概ね一致する。また、アユ産卵床と卵を確認した鉄塔上流側（16.9k）と下流側（15.2k）は、共に堆積卓越の場であることが分かった。このように、航空写真と河床変動土量から確認箇所はかつて流路であり、洪水による土砂堆積で形成された砂州前縁部であることが分かった。

4. 結論

本研究において得られた結論は以下の通りである。

- ・天竜川を対象としてアユの産卵床調査を実施した結果、2013年11月22日と12月15日に礫床2箇所のみでアユ産卵床と卵を確認した。その箇所はアユの産卵場所として一般的に好適な環境といわれる浅瀬ではなく、湧水のたまりから流路に接続される流水環境「たまり瀬」であった。
- ・アユの産卵床と卵を確認したたまり瀬は、瀬やワンド、たまり等の他の生息場と比較して溶存酸素量や河床軟度が高いことから、アユの産卵には流水・湧水環境、及び、軟らかい河床が必要であると推定された。
- ・アユの産卵の2ヶ月程前に生じた中規模洪水により、砂州前縁のワンドに土砂堆積が生じてたまりが創出され、近傍上流側の副流路に瀬が形成された。瀬による水位の堰上がりにより地下で接続される湧水環境のたまり瀬が形成された。
- ・航空写真と河床変動土量から、アユ産卵床と卵の確認箇所は、かつて流路であり、洪水による土砂堆積で形成された砂州前縁部（堆積卓越の場）であった。但し、砂州前縁には、交互砂州によるものとそれより規模の小さい複列砂州によるものの両方が混在しており、また、これらの砂州は下流に伝播しており、双方がアユの産卵床の分布特性に関わっていると考えられる。

本研究により、現状の天竜川のアユ産卵床は、洪水時に堆積が卓越する場に対応しており、砂州前縁部が好適な産卵環境を創出するポテンシャルが高い理由と考えられた。このようにアユ産卵床の形成に

おいては、河床地形の変動履歴が重要な要素になることを示した。

謝辞：本研究にあたり国土交通省 浜松河川国道事務所からデータを提供して頂きました。天竜川漁業協同組合には調査期間中、アユ産卵床の探索で協力して頂きました。また、調査の実施にあたり、中部電力 掛川電力所、天竜川天然資源再生連絡会、シーテック 浜松支店に協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 兵藤誠, 栗津陽介, 竹門康弘, 角哲也, 鄧朝暉：河川生息場の変動履歴分析のための河床地形モニタリング手法の開発, 京都大学防災研究所年報 第56号B, pp.699-712, 2013.
- 2) 兵藤誠, 竹門康弘, 角哲也, 栗津陽介, 鄧朝暉：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, 2014.
- 3) 石田力三：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), 1961.
- 4) 石田力三：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, 1962.
- 5) 石田力三：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, 1964.
- 6) 石田力三, アユの産卵生態－Ⅴ (産卵場の構造). 淡水研報, 17 (1), pp.7-19, 1967.
- 7) 知花武佳, 玉井信行：生息域の季節変動に着目した魚類生息域適正基準に関する研究, 水工学論文集, 第46巻, pp.1145-1556, 2002.
- 8) 野上毅, 渡邊康玄, 中津川誠, 真駒内川における魚類の生息環境, 水工学論文集, 第45巻, pp.1123-1128, 2001.
- 9) 鬼束幸樹, 永矢貴之, 白石芳樹, 東野誠, 高見徹, 的場眞二, 秋山壽一郎, 尾関弘明, 畑中弘憲, 中川由美子：アユの産卵に適した浮き石状態の発生条件, 環境工学研究論文集, pp.59-66, 2007.
- 10) 田代喬, 伊藤壯志, 辻本哲郎：生活史における時間的連続性に着目した魚類生息場の評価, 河川技術論文集, 第8巻, pp.277-282, 2002.
- 11) 村本嘉雄, 藤田裕一郎：中規模河床形態に関する研究, 京都大学防災研究所年報第20巻B-2, pp.244-258, 1977.
- 12) 天竜川漁業協同組合, たかはし河川生物調査事務所：平成21-23年度天竜川アユ資源保全調査報告書, 2012.
- 13) 角哲也, 中島佳奈, 竹門康弘, 鈴木崇正：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, 第54B, 719-725, 2011.
- 14) 鈴木崇正, 角哲也, 竹門康弘, 中島佳奈：土砂供給に伴うアユ産卵環境の変化予測, 京都大学防災研究所年報 第54号B, pp.711-718, 2011.
- 15) 村井彰弘, 竹門康弘, 角哲也：アユの産卵床に必要な河床地形条件に関する研究, 応用生態工学会講演集, pp.158, 2012.
- 16) 竹門康弘, 谷田一三, 玉置昭夫, 向井宏, 川端善一郎：棲み場所の生態学, 平凡社, 1995.

(2014. 4. 3受付)