

筑後川水系中流域の河川合流部における河床ハビタットの出現特性と魚類の生息状況

RELATIONSHIP AMONG HABITAT DISTRIBUTION, FISH SPECIES RICHNESS AND HYDRAULIC CONDITION IN CONFLUENCES OF MIDDLE STREAM OF THE CHIKUGO RIVER BASIN

田中 亘¹

Wataru TANAKA

¹正会員 工博 研究員 九州大学持続可能な社会のための決断科学センター (〒819-0395 福岡市西区元岡744番地)

River channel confluences, in which the joining of multiple streams create complex riverbed morphology and flow, feature high biodiversity and intrinsic ecological value. This study shows how river channel confluences influence habitat diversity and fish richness in the stream of middle stream of the Chikugo River basin. I elucidated river channel confluence area has high fish species richness, associated with its high habitat diversity. The high habitat diversity in river channel confluences showed a significant and negative relationship with the proportion of water surface in channel and a significant and positive relationship with some confluence hydraulics variables. Therefore, I concluded that river channel confluences provide high fish richness and habitat diversity which were driven by the confluence hydraulics and abundant room for river.

Key Words : Channel confluences, Habitat diversity, Fish richness, Hydraulic habitat, habitat complexity

1. はじめに

河川合流部は、複数の流れがぶつかることで多様な流況とハビタットが創出され、近傍の区間より多くの生物種が出現することが指摘される一方で、洪水時に流れが阻害されやすいことから、河川改修等の人為的インパクトを強く受ける場所でもある。

合流点をいかに処置するかは、特に治水上重要な問題であると認識されてきた。河川が合流する場合には、よどみや止水域を生じないように処理することが基本であるとされ¹⁾、これまでは、洪水及び土砂を速やかに流下させることに主眼を置いて技術的な研究がなされてきた。生態学な側面からは、合流点のハビタットの複雑さ²⁾などを背景に、高い生物多様性や種の選好的な環境利用が世界各地で報告されている³⁾。日本においては、こうした研究は少ないものの、厳島ら⁴⁾は水辺の国勢調査の結果から合流点区間において近傍区間より多くの水生生物種が出現することを見出している。

しかし、日本では依然、河川合流部においてどのよう

に河道を計画すれば良好な環境が保全・創出されるのか知見が蓄積されておらず、環境に配慮した河川改修技術が確立されていない現状にある。現在、中小河川において「多自然川づくり」に取り組む際の技術基準や留意事項を解説した「多自然川づくりポイントブックⅢ」が作成され、全国の川づくりの場で活用されているが、河川合流部は、技術的な知見が不足していることから本書では対象外とされており、「多自然川づくり」の概念に基づく河川改修技術の構築は喫緊の課題である。

本研究は、魚類の生息場としての河川の合流点環境の評価を目的に、筑後川水系の中流域のセグメント2に属する支派川の合流点を対象に、河川の合流部に創出される河床ハビタットの出現特性、ハビタットと魚類多様性との関係を検討した。

2. 材料と方法

(1) 調査場所

本研究では、筑後川水系の支派川に存在する合流点の

うち、2河川が合流する合流点を対象として調査場所を選定した。調査場所におけるおおよその魚類相と環境を統一するため、山本のセグメント区分⁵⁾においてセグメント2（自然堤防帯）に属し、合流条件が様々な16地点を調査場所として選定した（図-1）。

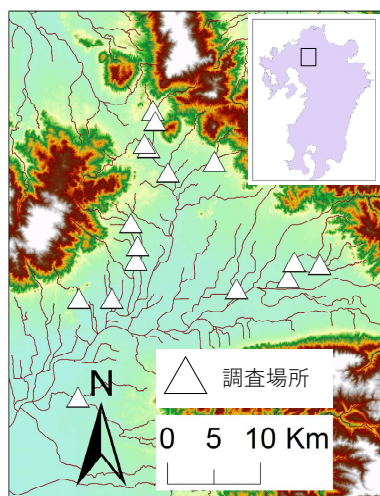


図-1 調査位置図.

各調査場所で調査区間を2区間設定した。2つの調査区間の設定方法のイメージを図-2に示す。1つの調査区間は、合流区間で合流前後の本川と支川を含む範囲とした。調査区間長は、周囲に存在している代表的な河床ハビタットが調査区間に一通り含まれる長さとし、Frissell et al.⁶⁾を参考に含まれる流路長の合計が概ね河川の1リーチ程度の長さ、すなわち川幅の10倍となるように設定した。もう1つの調査区間は、対照となる合流の影響のない近傍の非合流区間で、合流区間から200m程度下流に、合流区間と同様に含まれる流路長が概ね川幅の10倍となるよう設定した。ただし、非合流区間は、合流点の下流が堰上げの影響などによって自然の流況から大きく変化していると考えられた場合には、合流点区間より上流の本川側に設定した。

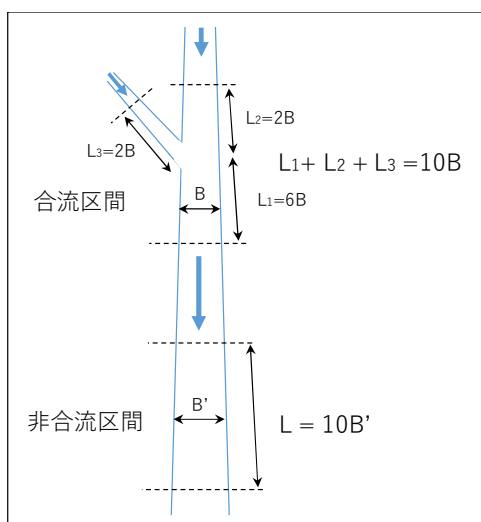


図-2 調査区間イメージ.

16地点で合流区間およびその近傍の非合流区間の計32区間で分布している魚類相と物理環境、ハビタットの調査と記録を行った。

(2) 魚類調査

魚類調査は2016年7月から10月にかけて行った。調査区間の各ハビタット毎に、電気採捕機器（Smith-Root社LR24型）とタモ網（口径30cm, 目合い4mm）、サデ網（口径80cm, 目合い4mm）を使い、下流から上流へ1回採捕を行った。捕獲した魚類は、同定を行い、個体数と体長を記録した後、放流した。

(3) 物理環境調査

調査区間のハビタットを測量、平面図上に地図化し、調査区間のハビタットの分布状況とそれぞれの流速、水深、底質を記録した。ハビタットの分類は、流水域については萱場ら⁷⁾に従い早瀬、平瀬、淵、トロに分類し、止水域についてはRouxら⁸⁾を参考に河川との接続性の大きなものから順にヨドミ、ワンド、河川から孤立した水域をタマリとし、合計7種に分類した。

ハビタットの測量、地図化は、国土地理院から公開されている地理院タイルの標準地図を拡大印刷（縮尺1/1000程度）したものに、現地にてハビタットの分布状況を目視で記録した。ハビタットを記録した地図は、全体をスキャンし、GIS（ESRI社ArcGIS ver.10.3）に取り込み座標付けを行い、ハビタットの面積を測量した。また、合流点へ流入する2つの河川に1本ずつトランセクトを設定し、川幅、水深、流速を測定し流れ込む流量を算出した。

(4) 解析方法

調査区間のハビタット多様性指数は以下の式で算出した

$$D = 1 - \sum_i p_i^2 \quad (1)$$

ここに、D:ハビタット多様性指数、 p_i :ハビタットiの面積が調査区間の全面積に占める割合。0から1の間の値をとり、1に近いほど多様なハビタットが区間内に存在していることを表す指標である。

合流区間と非合流区間でハビタットの出現傾向に違いがあるか明らかにするため、各区間で各ハビタットの出現率の比較を行った。比較には、Mann-WhitneyのU検定を使用した。

既往研究によると、合流点は一般的に以下のような水理的な特徴を持つと報告されている（図-3）。（1）合流する2河川に挟まれた角の領域に停滞域（stagnation zone）を形成する^{9) 10) 11)}。（2）流れの衝突により流向が偏寄し、本流から離れた領域に剥離渦を生じ逆流域が発生する¹⁰⁾。この比較的流れが緩やかな領域では、土砂が堆積する傾向が認められる^{10) 12)}。（3）支川が本

線と合流する際に、急に流勢が低下することで、支川から輸送される砂礫が支川開口部付近に堆積し河床が急勾配となる¹⁾。(4) 流れの衝突によって生じる螺旋流によって流れの衝突部に局所洗堀が起こる^{13) 14) 15)}。

上記のような合流点の水理から、合流点の河道内には以下のようなハビタットが生じると考えられる。(1)、(2) の作用により生じた流れの緩やかな領域にヨドミを生じ、砂礫の堆積過程によってはワンドやタマリを形成する。(3) の作用により、合流河川の河床高が合流点付近で急激に調整され早瀬を生じる。(4) 流れの偏向・衝突によって局所洗堀を生じ、淵が発生する。これらの合流に起因し特定の領域に発生するハビタットを以下、本研究では、合流性のヨドミ、合流性の早瀬、合流性の淵、これらの総称として合流性ハビタットと呼ぶことにする。

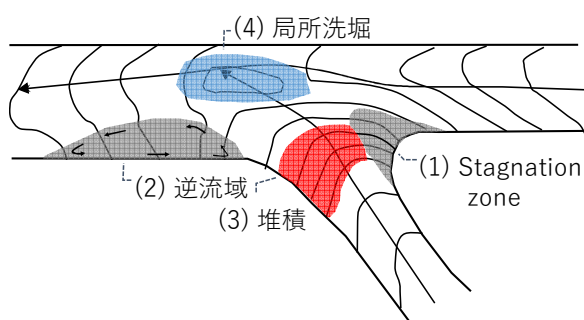


図-3 合流地点における流れのモデル。安藝¹⁾を改編。

合流区間の合流性ハビタットの発生を規定する要因を調べるため、調査合流区間について、図-3の(1)(2)

(3)(4)の領域にそれぞれ対応する合流性ハビタットを有するグループと有さないグループに分け、各グループで合流条件にどのような違いがあるのか比較した。考慮した合流条件の変数を、表-1に示す。

表-1 合流性ハビタットの発生を規定する要因を調べるために用いた合流条件変数一覧。

変数名	説明
河床勾配比	合流する2河川の河床勾配の比。合流点から上流500mの区間の勾配を測定し算出した。計算式は、 I_{max}/I_{min} 。値が大きいほど、合流河川の河床勾配の差が大きいことを表す。
合流角	合流する2河川がなす角度[°]
河道内水面率	調査区間の水面面積の合計/河道内（堤外地）の面積[%]
流量比	合流する2河川の流量のうち小さな流量を大きな流量で除した値。計算式は、 Q_{min}/Q_{max} 。0から1の間の値をとり、1に近いほど合流する河川の流量の値が等しいことを表す。

3. 結果

魚類調査の結果、9科41種6872個体の在来種と4種の外来種（コウライモロコ、ゲンゴロウブナ、カムルチー、ブルーギル）の魚類を採捕した。調査全体で採取された魚類のうち個体数が優先していた種は多いものから順に、オイカワ（36.6%）、カワムツ（18.1%）、カマツカ（7.1%）、ギンブナ（6.6%）、ドンコ（6.0%）であった。合流区間では、38種の魚類を採捕した。ウグイ、セボシタビラ、ドジョウ、ニゴイは合流区間のみに出現した。非合流区間では、35種の魚類を採捕した。カワアナゴは、非合流区間のみで出現した。

合流区間と非合流区間における平均ハビタット多様性指数と平均在来種種数は、いずれも合流区間の方が有意（Mann-WhitneyのU検定）に高い値を示した（図-4）。

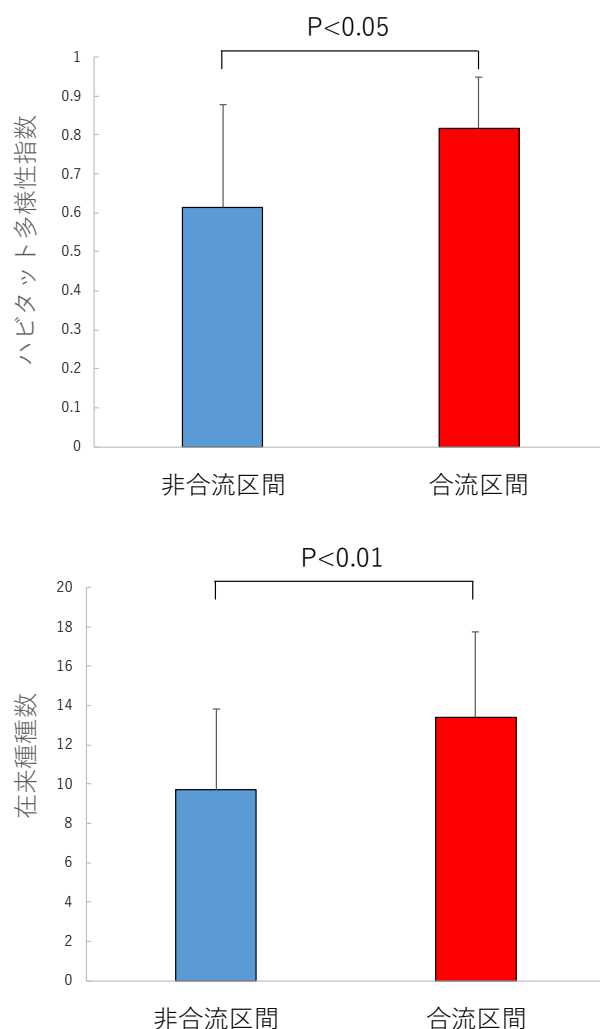


図-4 合流区間と非合流区間におけるハビタット多様性指数と在来種種数の比較（mean±SD）。

各調査区間のハビタット多様性指数は、河道内水面率が強い負の相関（P<0.001）を示し、河道内に占める水

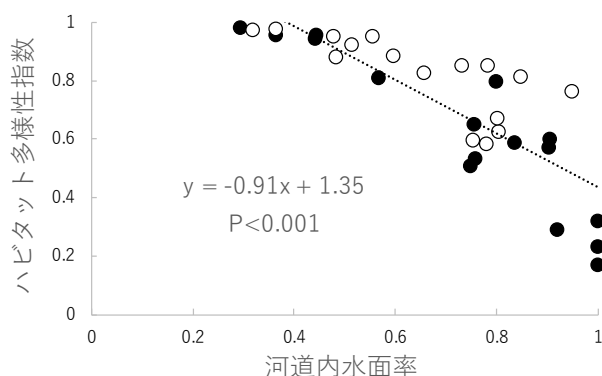


図-5 河道内水面率とハビタット多様性指数との関係。黒丸は、非合流区間、白丸は、合流区間を示す。

面の割合が少ないほど、区間のハビタットが多様となる傾向が明らかになった（図-5）。

魚類の在来種数とハビタット多様性が強い正の相関を示し、区間のハビタットが多様になるほど在来の魚類種数が増加する傾向が明らかとなった（図-6）。

合流区間では、非合流区間に比べて、瀬、淵の出現割合が高いことが明らかになった（図-7）。一方で、平瀬やヨドミは、合流区間と非合流区間のどちらでも出現割合が高く（平瀬90%程度、ヨドミ70%程度）、どちらの区間においてもありふれたハビタットであることが分かった。トロ、タマリ、ワンドについては、合流区間において出現割合が増加する傾向にあるものの、統計的に有意な差は認められなかった（図-7）。

合流性のハビタットの発生と合流条件の関係については、合流性の早瀬を有する合流区間では、合流性の早瀬を有していない合流区間に比べて、合流する2河川の河床勾配の差が大きい傾向を有していた（図-8）。合流性の淵を有する合流区間では、有していない合流区間に比べて、合流する2河川の流量の差が小さい傾向を有していた（図-8）。一方で、合流性のヨドミについては、いずれの変数も有意ではなく、合流条件とヨドミ発生の関係は明瞭ではなかった（図-8）。

4. 考察

(1) 合流区間の魚類群集の特徴

合流区間は、非合流区間に比べて、生息する在来の魚種数が有意に多かった（図-4）。これは、図-6より合流区間のハビタットの多様性が高く、それぞれのハビタットに生息する魚類が同一区間内で採捕しやすいことが理由であると推測される。魚類の保全を考えるうえで、合流点は、多様な種を効率よく保護できる区間として注目に値する。

また、数は少ないながら、ウグイ、ニゴイなど淵に生息する魚類が合流点のみで採捕された点も、瀬淵が明瞭

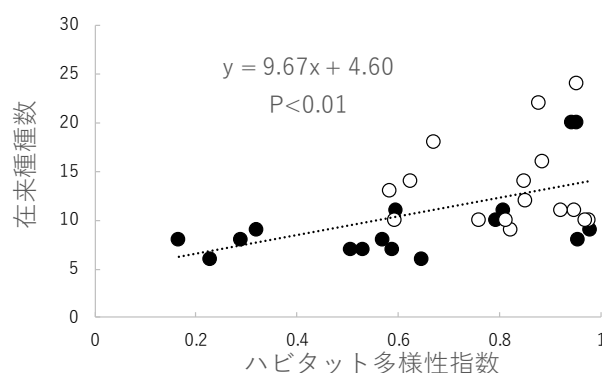


図-6 ハビタット多様性指数と在来種数との関係。黒丸は、非合流区間、白丸は、合流区間を示す。

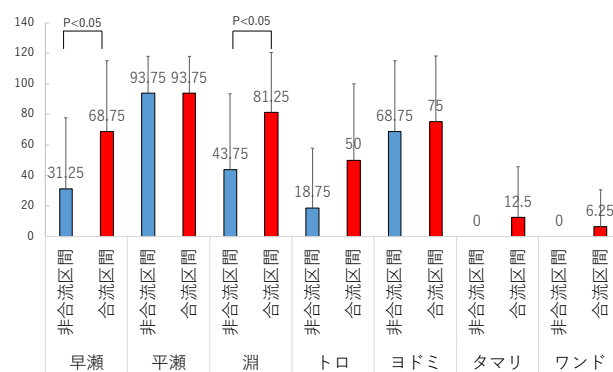


図-7 合流区間と非合流区間のハビタット出現割合 [%] (mean ± SD)。

に発達する合流区間の特徴であるといえる。

(2) 合流区間のハビタットの特徴

合流区間と非合流区間のハビタット分布状況を比較すると合流区間においては、瀬、淵の出現率が有意に高く、瀬淵構造が明瞭に出現する傾向にあった。また、統計的に有意ではなかったものの、その他のハビタットについても合流区間において非合流区間より出現割合が高く、特にワンドとタマリは、合流区間のみで出現した。こうした傾向を反映して、合流区間のハビタット多様性指数は非合流区間よりも高かった。

本研究の合流区間でハビタットの多様性が増加する要因として、2つの事由が考えられる。

1つは、図-3に示すような合流点の水利によって、ハビタットが形作られることである。しかしながら、合流点における逆流域や洗堀領域の出現の有無や形態は合流条件により大きく異なることが知られている。例えば、合流角が小さい場合や合流する河川の流量差が大きい場合は、逆流域の発生が顕著でないことや^{16) 17)}、同じ水利条件の川の合流であっても合流後の河道幅の大きさにより河床変動の形態が大きく異なることなどが報告されている¹⁸⁾。また、既往の研究は、模型実験や数値シミュレーションによる流れの状況の再現に主眼が置かれ

ているため、実際に自然の河川においてどの程度こうした合流点の水理が発生し、ハビタットが形作られているか知見に乏しい。本研究で調査を行った結果、対象とした16合流区間では、図-3の(1)、(2)に対応する領域にヨドミを持つ区間は全体の68.8% (11/16)、(3)の領域に早瀬を持つ区間は全体の68.8% (11/16)、(4)の領域に淵を持つ区間は全体の50% (8/16) に上り、前述したような合流点の水理に起因するハビタットが実際の河川においても、一定程度の頻度をもって出現することが確認された。

合流性のハビタットの発生条件については、合流性の早瀬を有する合流区間では、合流性の早瀬を有していない合流区間に比べて、合流する2河川の河床勾配の差が大きい傾向を有していた(図-8)。一般に、河床勾配の大きな河川ほど掃流力が大きく粒径の大きな砂礫を運搬できることから、河床勾配が大きく掃流力の大きな支川が河床勾配の小さい本線に合流する場合、支川の開口部付近に本川の掃流力に比して粒径の大きな砂礫が堆積することで、安定的な瀬を形成するためであると考えられる。合流性の淵を有する合流区間では、有していない合流区間に比べて、合流する2河川の流量の差が小さい傾向を有していた(図-8)。これは、合流する2河川の流量の差が大きい場合、合流による流況の変化に乏しく、合流点らしい環境が形成されにくいためであると考えられる。

合流区間でハビタットの多様性が増加する要因の2つ目は、合流点における河川空間の広さである。合流点付近は、洪水時に流れが阻害されやすく、治水の要所となることから、一般に近傍区間より大きな河積を確保している。河川空間が広い河川において、ハビタットの多様性が増加することはいくつかの既往研究においても報告されている。黒木と岸¹⁹⁾は、数値解析により中規模河川において川幅水深比と砂州の発生の関係を導いており、河川空間の広い河川において、交互砂州や複列砂州が形成され瀬・淵が発達することが理論的に実証されている。また、Satoら²⁰⁾は、中国の自然河川において調査を行い、川幅水深比とハビタット多様性に強い正の相関があることを見出している。本研究でも、非合流点区間に比べ合流点区間の方が河道内の水面面積率が小さく、河川空間が広く確保されていること、またそうした区間ほど形成されるハビタットが多様になることが強く示唆された(図-5、図-6)。

本研究では、既往研究において、合流性ハビタットの出現に関係すると示唆された合流角などの変数が実際の合流性ハビタットの出現と有意な相関を示さなかった。これは、調査を行った合流区間が16地点と少なく、Y字やト字といった合流形式の違いが考慮できていないことや出水時の流況や河道の形成を考慮できていないことなどが原因として考えられる。多様なハビタットを有する河川合流部においてどのように河道を設計すれば良好な

環境が創出されるのかを明らかにするために、今後調査地点の追加と現地測量に基づく水理計算や水路実験による検討が必要である。

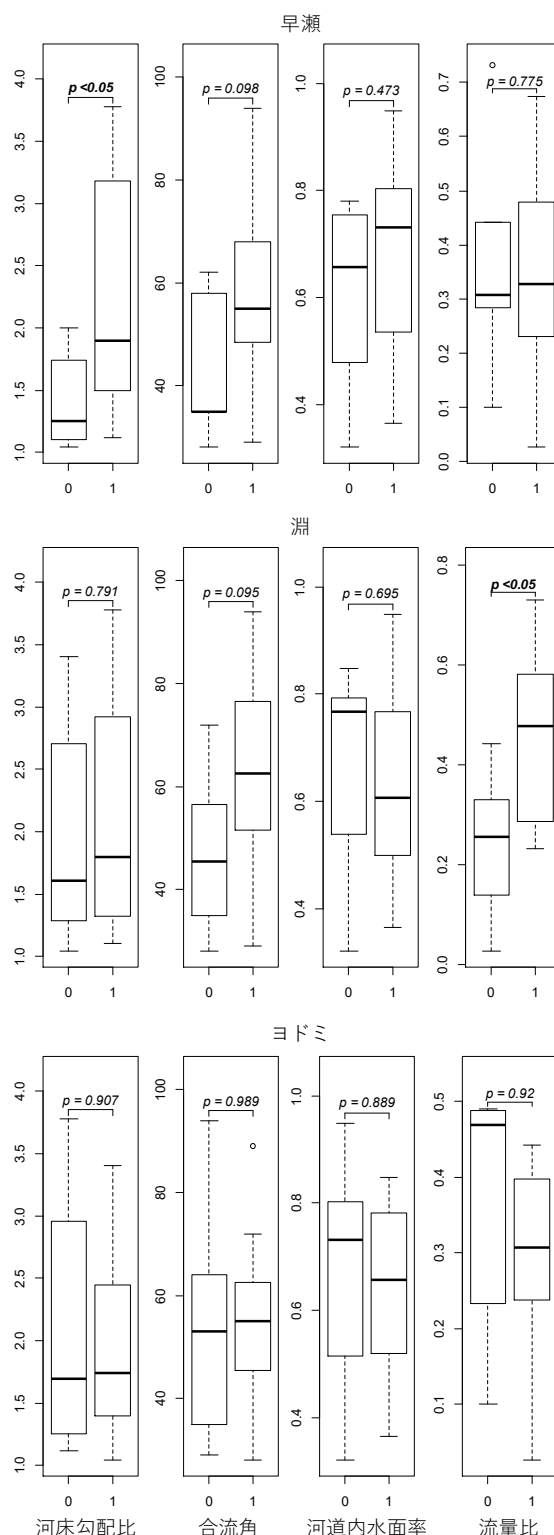


図-8 合流区間における合流性ハビタットの有り無しと合流条件の比較。1:合流性ハビタット有り, 0:合流性ハビタット無し。P値は、Mann-WhitneyのU検定の有意水準。

謝辞：本研究の一部は、公益財団法人河川財団の河川基

金及びクリタ水・環境科学振興財団・国内研究の助成を受けた。ここに厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 安芸皎一：河相論，常盤書房，1944.
- 2) Rice, Stephen P., Robert I. Ferguson, and Trevor B. Hoey.: Tributary control of physical heterogeneity and biological diversity at river confluences. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63.11 2553-2566, 2006.
- 3) Franks, C. A., Wood P. J.: Hydraulic habitat in confluences: An ecological perspective on confluence hydraulics. *The Structure, Function and Management Implications of Fluvial Sedimentary Systems*, 61, 2000.
- 4) 敵島怜; 島谷幸宏; 河口洋一. 魚類相の縦断方向変化とセグメント区分に関する研究. *水工学論文集*, 52: 1147-1152. 2008.
- 5) 山本晃一：構造沖積河川学 - その構造特性と動態 -, 山海堂, 2004.
- 6) Frissell, C. A., Liss, W. J., Warren, C. E., & Hurley, M. D. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Environmental management*, 10(2), 199-214, 1986.
- 7) 萱場祐一，島谷幸弘：河川におけるハビタットの概念とその分類，*土木技術資料*，41-7，1999.
- 8) Roux, A. L. and Copp, G. H.: Fish populations in rivers. In: *The Fluvial Hydrosystems*. Springer Netherlands, p. 167-183, 1996.
- 9) Best, James L.: Flow dynamics at river channel confluences: implications for sediment transport and bed morphology. 1987.
- 10) Best, James L.: Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. *Sedimentology*, 35.3: 481-498. 1988.
- 11) Nazari-Giglou, A., Jabbari-Sahebari, A., Shakibaeinia, A., & Borghei, S. M.: An experimental study of sediment transport in channel confluences. *International Journal of Sediment Research*, 31(1), 87-96. 2016.
- 12) 金 泰鎬：合流点の流路形状に及ぼす合流の平面形と角度の影響に関する水路実験，*地学雑誌*，Vol. 105 No. 2 P 198-207, 1996.
- 13) Mosley, M. P.: An experimental study of channel confluences. *The journal of geology*, 84(5), 535-562, 1976.
- 14) Ashmore, P. E.: Laboratory modelling of gravel braided stream morphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 7(3), 201-225, 1982.
- 15) Ashmore, P., Parker, G.: Confluence scour in coarse braided streams. *Water Resources Research*, 19(2), 392, 1983.
- 16) 重枝未玲，秋山壽一郎，森山拓士:河川合流部周辺での流れと河床変動の平面2次元解析，*土木学会水工学論文集*，第 53 巻，2009.
- 17) Roy, A. G., Roy, R.: Changes in channel size at river confluences with coarse bed material. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13(1), 77-84, 1988.
- 18) 重枝未玲，秋山壽一郎，森山拓士，池田寛：合流後の流況が河川合流部周辺の流れと河床変動に及ぼす影響，*土木学会水工学論文集*，第 54 巻，2010.
- 19) 黒木幹男・岸力：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究，*土木学会論文報告集*，vol.342，pp.87-96，1984.
- 20) Tatsuro Sato, Yuichi Kano, Liangliang Huang, Tomomi Yamashita, Jianhua Li, Yukihiro Shimatani: Relationships between fish richness, habitat diversity, and channel parameters in gravel-bed streams in the East Tiaoxi river basin, China. 11th International Symposium on Ecohydraulics, 2016.

(2017. 4. 3受付)