原 著 [Original article]

小河川におけるワンド・タマリの魚類群集

片野 修¹⁾・黒川マリア²⁾・北野 聡³⁾・東城幸治⁴⁾

Fish assemblages in the riverside pools of a small stream

Osamu KATANO¹⁾, Maria KUROKAWA²⁾, Satoshi KITANO³⁾ and Koji TOJO⁴⁾

Abstract

Fish assemblages in the riverside pools of a small stream were investigated in Nagano Prefecture, Japan, and a total of 12 fish species were caught. There were greater numbers of *Misgurnus anguillicaudatus* and *Cobitis biwae* and fewer *Tribolodon hakonensis* and *Zacco platypus* in the riverside pools relative to the assemblage in the main stream. In the pools, fish species richness and total population density of fish were not correlated with the abundance of benthic invertebrates, but were strongly correlated with environmental factors. Fish species richness was highest when the degree of saturated dissolved oxygen was elevated in June and when the area and water depth were greatest in September. The total population density was positively correlated with the mean current velocity in June but was not correlated with any environmental factor in September. Fish fed primarily on chironomid larvae, ephemeropteran nymphs, benthic algae and detritus in the riverside pools. Detritus contributed to a greater proportion of the diet in the fish from the riverside pools compared with those in the main stream.

Keywords: degree of saturated dissolved oxygen, environmental factors, fish assemblage, fish diet, riverside pools

摘 要

長野県において、小河川に形成されたワンド・タマリの魚類群集を調査したところ、合計で12種の魚類が採捕された。本流の魚類と比べると、ドジョウとシマドジョウが多く、ウグイとオイカワが少なかった。ワンド・タマリでは、魚類の種数や個体密度は主な餌となる底生動物の豊富さとは相関しなかったが、物理化学的環境要因と強く相関した。魚類の種数は、6月にはワンド・タマリの溶存酸素飽和度が高い場合に、9月にはワンド・タマリの面積や水深が大きい場合に多かった。魚類の全個体密度は、9月にはどの環境要因とも相関しなかったが、6月にはワンド・タマリの流速が大きいほど高かった。ワンド・タマリにおいて、魚類はユスリカ科及びカゲロウ目の幼虫と底生藻類及びデトリタスを主に摂食していた。本流と比べると、魚類の食性に占めるデトリタスの割合が高かった。

¹⁾ 水産総合研究センター増養殖研究所 〒386-0031 長野県上田市小牧1088. National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, Komaki 1088, Ueda 386-0031, Japan

²⁾ 信州大学教育学部 〒380-8544 長野市西長野町. Faculty of Education, Shinshu University, Nishinagano-cho, Nagano 380-8544, Japan

³⁾ 長野県環境保全研究所 〒381-0075 長野市北郷2054-120. Nagano Environmental Conservation Research Institute, Kitago 2054-120, Nagano 381-0075, Japan

⁴⁾ 信州大学理学部 〒390-8621 長野県松本市旭3-1-1. Faculty of Science, Shinshu University, Asahi 3-1-1, Matsumoto 390-8621, Japan
(連絡先 片野 修 ✉katano@fra.affrc.go.jp)

キーワード：溶存酸素飽和度，環境要因，魚類群集，魚類の食性，ワンド・タマリ

(2011 年 1 月 26 日受付；2011 年 5 月 31 日受理)

はじめに

河川の生態系にとって，その本流や分流だけでなく河川堤防内のワンド・タマリは重要な環境である（萱場ら，1997；君塚，1998；島谷，2000）。ワンド・タマリは止水性が強く，伏流水に依存するために，生物にとって河川本流とは異なる生息環境を提供する。

ワンド・タマリは，一年中水が供給される恒久的水域と一年の一時期にしか水のない一時的水域とに大別される（斉藤ら，1988；片野，1998a, b；Williams, 2006）。恒久的水域としてのワンド・タマリには，止水を好む魚類，とくにフナ類，タナゴ類，ドジョウ類などのコイ目魚類が豊富である（大家ら，1975；小川・長田，1999）。一方，一時的水域はナマズ *Silurus asotus*，コイ *Cyprinus carpio*，フナ類，ドジョウ類など卵を保護しないであらまいたり，水草に産みつけるだけの産卵習性をもつ魚類にとって，重要な繁殖場所を提供する（斉藤ら，1988；片野ら，1988；Abe et al., 2007）。一時的水域では卵の捕食者は少なく，産まれた仔稚魚にとって重要な食物資源となるプランクトン類が豊富である（片野，1998a, b）。

日本のワンド・タマリの魚類群集については，これまで川幅が 40 m 以上ある大河川で集中的に研究されてきた。例えば，大阪府の淀川では，ワンドの魚類相やワンドに生息する希少種イタセンパラ *Acheilognathus longipinnis* の生態等について研究が進められてきた（大家ら，1975；矢田・加藤，1987；松波ら，1999；小川・長田，1999；田中・平松，2004；平松・内藤，2009）。長野県の千曲川では，季節ごとのワンドと本川の魚類相が明らかになっており（傳田ら，2002），ワンドと本川の接続頻度やワンドの干出が魚類群集に及ぼす影響が議論されている。神奈川県が多摩川，宮崎県の北川，兵庫県の円山川では人工的に造成したワンドにおける魚類等の生息状況が報告されている（君塚，1998；中島ら，2008；都築ら，2010）。

しかし，川幅が 20m 以下の小河川におけるワンド・タマリについての研究はこれまで行われておらず，その環境特性，無脊椎動物，魚類についての知見はほとんど報告されていなかった。川幅の違いは流域面積や降水量の違いによってもたらされ，出水時の最大流量，河川敷の物理的環境の多様性やワンド・タマリの規模に影響す

ると考えられる。また，十分に調査はされていないものの，小河川と大河川では伏流水の動態にも違いがあり，それによってワンドやタマリも影響を受けていると推察される。

そこで私たちは，長野県千曲川の一支流である小河川の浦野川において，ワンド・タマリの環境要因，無脊椎動物，魚類について調査し，環境要因と大型無脊椎動物の特徴についてはすでに公表した（黒川ら，2009）。本論文では，浦野川のワンド・タマリの魚類について，その種組成，環境要因との関係，食物関係について報告し，河川本流や大河川のワンド・タマリとの相違点について議論する。

方 法

調査区域

調査は長野県上田市の浦野川において，千曲川との合流点より約 500 m 上流から日向橋までの約 2.5 km（北緯 36° 23'–24'，東経 138° 12'–13'）の区間で行った（Fig. 1）。この間の浦野川の河川形態は，可児（1944）の分類による Bb もしくは Aa–Bb 移行域にあたり，その周囲は主に畑や水田に囲まれていた。浦野川の川幅は 5–20 m，水深は最大で 1.5 m ほどであり，部分的にコンクリートで護岸されていた。

本研究では，その上流端において河川と結合せずに，伏流水を水源とする面積が 1 m² 以上の水域をワンド・タマリとして調査した。一方，本流や分流が大きく湾入したような水域は認められず，調査対象としなかった。

ワンドやタマリは広く用いられている用語であるが，その定義は必ずしも統一されているわけではない。島谷（2000）と傳田（2001）は河川敷内の池状の水域をタマリと呼び，本流からの湾入部をワンドと呼んで区別した（黒川ら，2009）。一方，萱場ら（1997）や田中・平松（2004）はワンドとタマリの区別をせずに，池状の水域についてもワンドと呼んでいる。このような用語の不統一性から，本論文では河川や水田からの伏流水を水源とするが，河川の表層水には依存しない，河川敷内の水域をすべてワンド・タマリと呼ぶことにする。ワンドとタマリを比べると，前者が直接，河川に水を排出させるのに対して，後者は水を他のワンド・タマリに流出させたり，流出水

Fig. 1. Distribution of riverside pools in May and September. Figures adjacent to riverside pools indicate pool number codes. Data are from Kurokawa et al. (2009).

図1. 5月と9月におけるワンド・タマリの分布. ワンド・タマリの横の数字はコード番号を示す。データは黒川ら(2009)による。

が地中にしみ込んで河川に流れなかったりすると考えられた。ただし、同一のワンド・タマリでも、河川の水量や降雨によってワンドになったりタマリになったり変化することがあり、個々の水域がワンドであるかタマリであるかを定めることは容易ではなかった。そのために本論文では、すべての調査水域をワンド・タマリとして総称する。

調査日程

調査は2006年の5月5～6日、6月14日と16～17日、20日、8月5～6日、9月16～19日、11月4日の5回行った。このほか、2011年の5月に補足調査を行った。2006年の5月と6月の調査では、はじめから存在したワンド1～16を対象としたが、7月の増水でそのうちの10個が消失し、新たに8個のワンド(No. 17～24)が生じたので、

これらについては8月の調査で位置のみを確認し、その環境要因、魚類等については9月に調査した。浦野川における水位の変動や降水量については、黒川ら(2009)が報告している。2011年の5月7日には、ワンドの溶存酸素量の日周変化と2006年に調査したワンド・タマリのうち残存していたものの数を調べた。

魚類の調査方法

魚類の採集にあたっては、柄の長さが1.3 m、網目が2.8 mmで、網部分の幅が35 cm、長さが25 cm、奥行きが28 cmのタモ網を用いた。6月と9月には、ワンド・タマリにおいて電気ショッカー(スミスルート社製、モデル12B、直流200V)を用いて魚類を調査した。調査では1名が電気ショッカーを担ぎ、電流を流しながら下流から上流に向かって歩き、浮いた魚をもう1名がタモ網で採捕した。電気ショッカーをかける速度は1分間に20 m²程度とし、ワンド・タマリの全体にわたって採捕した。採捕した魚類は一時的に取り除き、その作業を3回繰り返して、それぞれの回における新規採集個体数を種ごとに計数した。魚類は麻酔させたのち、標準体長を0.1 cmまで計測した後、再放流した。ただし、6月の調査で採捕した魚については、その食性を調べるために一部をホルマリン固定し持ち帰った。6月20日には、調査区域の上流部、中流部、下流部の河川本流において、それぞれ100 m²区間を、1回だけ電気ショッカーによって調査した。また、ワンド・タマリの岸際の植物の下などに潜む魚類を採捕する目的で、上述したタモ網を用いて草の下をすくい取るスウィーピング調査を補足的に6月と9月に行った。

魚類のうち、フナ類にはナガブナ *Carassius buergeri* subsp. とギンブナ *Carassius langsdorffii* 及びその雑種類が含まれており、その区別が現場では難しかったので、フナ類として一括した。ドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus* としたものの中には、カラドジョウ *Paramisgurnus dabryanus* との雑種が含まれていた可能性があるが、すべてドジョウとして扱った。

環境要因の調査

ワンド・タマリの環境要因としては、水温、溶存酸素、水深、底質、面積、流速、最も近い本流までの距離を調べた。それぞれの調査法は以下の通りである。

水温と溶存酸素については、東興科学研究所(TOKO)のパーソナル溶存酸素メータ(90 series TOX-90/90i)を用いて測定した。いずれもワンド・タマリの水面から

10 cm 下で計測し、水深が 10 cm に達しないワンド・タマリでは底部で計測した。溶存酸素量は水温の影響を受けて変わるので、解析には溶存酸素飽和度を用いた。水温は 1 日の時間によって測定値が大きく変わるので、5 月には 6 日の 17:05 から 1 時間のうちに全てのワンド・タマリで計測した。6 月以降には、他の項目と同じ時間に測定した。ワンド間で比較する場合には 5 月の値のみを用いた。2006 年に調査したワンド・タマリのうち、2011 年に残存していたのは No. 11 の一カ所だけであった。そこで 2011 年の 5 月 7 日に、No. 11 と新たに生じていたワンドの 2 カ所で、午前 8 時、午後 1 時、午後 6 時の 3 回、溶存酸素量と水温を測定した。2 カ所の計測は 30 分以内に終了した。

新たに生じていたワンドは、かつて No. 16 があった場所の右岸側に位置し、その面積は 7.0 m²、平均水深は 4.2 cm であった。計測の結果、No. 11 と新たなワンドの溶存酸素量（溶存酸素飽和度）は 3 つの時間帯でそれぞれ、3.56 mg/L (34.8%), 4.51 mg/L (49.1%), 4.65 mg/L (49.2%) と 4.65 mg/L (46.0%), 4.71 mg/L (54.6%), 3.83 mg/L (40.3 %) であった。日中の計測値の変異は最大で、溶存酸素量で 1.09 mg/L、溶存酸素飽和度で 14.4% であった。2006 年の溶存酸素量の計測は午前 9 時から 18 時 30 分の間に行われており、その時間内での計測値の変異は小さいと考えて、補正は行わなかった。

水深については、ワンド・タマリの中央部に 50 m メジャーを置き、それに沿って 1 m おきに計測点を定めた。計測点では、3 m まで測れる金属製のメジャーを垂直に立てて水深を計測した。ワンド・タマリの大きさによって計測点の数は異なったが、その平均値をもって、ワンド・タマリの平均水深とした。面積については、50 m メジャーと 3 m メジャーによって、ワンド・タマリの長さと幅を必要に応じて測定し、その数値を座標面積計算ソフト（図形の座標値より、その面積・図心位置を計算するソフト、V. 3.02, Vector 社、東京）に入れて求めた。流速についてはプロペラ式流速計（3631, 横河電機、東京）を用いて、流れのあるワンド・タマリのみで水深と同じ地点で測定し、その平均値を算出した。ワンド・タマリと最も近い本流までの距離は、50 m メジャーを用いて最短の部分で計測した。ワンドの水が幅 50 cm、水深 10 cm 以下の水路のような流れによって本流に排水される場合には、この水路はワンドに含めず、水路の長さもしくはワンドと本流との距離の最短部分をもって、ワンドと本流との距離とした。底質については、岩盤（rock, 1 m 以上の平らな基盤）、巨礫（boulder, 250 mm

以上）、大礫（cobble, 64 ~ 240 mm）、中礫（pebble, 4 ~ 64 mm）、細礫（granule, 2 ~ 4 mm）、砂（sand, 1/16 ~ 2 mm）、泥（mud, 1/16 mm 以下）に分けて水深と同じ地点で記録し、最も多かった底質をそのワンド・タマリの底質とした。1 日もしくは 1 ヶ月の降水量については、上田市における気象庁の観測データを利用した。

ワンド・タマリの平均水深は 3.2 ~ 40.5 cm、面積は 2.0 ~ 195.4 m²、平均流速は 0.0 ~ 11.7 cm s⁻¹、本流までの距離は 0.0 ~ 60.5 m、溶存酸素飽和度は 0.6 ~ 94.7% の範囲にあった（黒川ら, 2009）。

底生動物の調査

ワンド・タマリの底部やその泥や砂礫などの底質中に生息する動物を底生動物と定義する。底生動物の調査においては、各ワンド・タマリで 3 箇所をランダムに選び、25 × 25 cm の範囲の底質を離合社製のサーバーネット（網地 NGG40）を用いて深さ約 5 cm まで採集した。サンプルは 5% のホルマリン液で固定し持ち帰り、分類群ごとに計数したほか湿重量を 0.001 g まで計測した。3 箇所の平均値をそのワンドの値とした。

資料の解析

ワンド・タマリの魚類の個体数推定にあたっては、電気ショッカーで 3 回にわたって採集された、それぞれの種の新規採集個体数を基に、プログラム CAPTURE (<http://www.mbr-pwrc.usgs.gov/software/capture.html>) による推定値を用いた。用いたモデルは mbh-Pollock (Pollock and Otto, 1983) である。ワンド・タマリの魚類の個体密度としては、それぞれのワンド・タマリの個体数推定値をその面積で割ることによって 1 m² あたりの値を求めた。魚類全体の個体密度は、それぞれの種の個体密度を合計した。

魚類の食性については、ワンド・タマリと本流の両方で空胃個体を除いて 5 個体以上サンプルの得られた種について求めた。フナ類とモツゴ *Pseudorasbora parva* についてはワンド No. 1 から採捕された個体のみ解析したが、その他の魚種については複数のワンド・タマリに由来する個体を検査した。検査個体はすべて標準体長 3 cm 以上の個体であった。これらの胃もしくは消化管の第一屈曲までの内容物を格子の付いたシャーレに拡げ、実体顕微鏡を用いてその組成を調べた。内容物はユスリカ科、環形動物貧毛類、カゲロウ目、トビケラ目、ガガンボ科、動物プランクトン、デトリタス（半分解植物片）、藻類、陸生昆虫に分類し、その割合を格子の数を数える

ことによって求めた。ある魚種の食性を求める場合には、個体ごとに算出した餌項目の割合（体積 %）を空胃個体を除く全検査個体間で平均化した。

統計解析にあたっては、StatView, V. 5.0 (Abacus Concepts Inc., Berkeley, California, USA) を用いた。環境要因の魚類への影響を解析するために、重回帰分析を行い、その説明変数の選択にあたっては、ステップワイズ法の変数増減法を用いた。採用・除外にあたっては F 値を用い、採用 F 値は 4.000, 除外 F 値は 3.996 とした。魚類群集の種数、個体密度のほか、5 箇所以上のワンド・タマリで採集された魚種（6 月：ドジョウ、オイカワ *Zacco platypus*, シマドジョウ *Cobitis biwae*, 9 月：ドジョウ、モツゴ、アブラハヤ *Phoxinus lagowskii steindachneri*）の個体密度について、溶存酸素飽和度、水温、ワンド・タマリの面積、平均水深、平均流速、本流までの距離の影響を同時に解析した。ただし、9 月にはすべてのワンド・タマリで流速が 0 であったので、流速については解析に含めなかった。また 9 月には水温を同時に計測しなかったため、水温も解析から除外した。環境要因間の単相関係数はすべての組み合わせで 0.8 未満であり、多重共線性の影響は認められなかった。

溶存酸素飽和度と溶存酸素飽和量は、6 月にも 9 月にも高い相関関係にあったので、（6 月：Pearson's $r = 0.997$, $p < 0.0001$; 9 月： $r = 0.997$, $p < 0.0001$ ），両者を重回帰解析に含めることは適当でないと考えて、溶存酸素飽和度のみを解析対象とした。

底質が主に泥と砂から成るワンド・タマリは 6 月にも 9 月にも 9 個あったのに対して、石から成るワンド・タマリは 6 月には 7 個、9 月には 5 個であった。2 種類の底質間で魚種の種数、全個体数、主要な 3 魚種の個体密度に違いがあるか否かを解析するにあたっては、必ずしも正規性が認められなかったため、ノンパラメトリック検定である Mann-Whitney の U 検定を用いた。

重回帰解析および Pearson の相関係数においては、変数を正規分布化するために、水温、面積、水深、流速、本流までの距離及び魚種の種数と個体密度は $\log(x+1)$ による対数変換を行ってから解析した。溶存酸素飽和度については、 $\arcsin\text{-}\sqrt{x}$ による角変換を行った。ワンド・タマリの 6 月と 9 月の間、及び 6 月のワンド・タマリと本流との間で魚類組成を比較するにあたっては、カイ二乗検定を行った。ただし、個体数が少ない種については、解析のために 1 つにまとめて行った。すべての統計検定の有意水準は 5% とした。

結 果

ワンド・タマリで確認された魚類

ワンド・タマリにおける電気ショッカー調査では 6 月に 9 種 302 個体、9 月に 10 種 410 個体が確認された (Table 1, 2)。最小個体はオイカワの 2.1 cm, 最大個体はドジョウの 13.4 cm であった。いずれの時期にもドジョウが最も多く採集され、ついでオイカワ、フナ類、モツゴ、シマドジョウが多かった。6 月と 9 月に採集された魚類をすべてのワンド・タマリの資料を入れて解析すると、その組成に季節間で有意差が認められた（カイ二乗検定, $df = 8$, $\chi^2 = 136.0$, $p < 0.0001$, ニゴイ *Hemibarbus barbus*, カマツカ *Pseudogobio esocinus*, オオクチバス *Micropterus salmoides* をその他としてまとめた場合）。6 月には 9 月に比べて、シマドジョウとトウヨシノボリ *Rhinogobius* sp. OR が多く、ドジョウ、フナ類は少なかった。しかし、6 月に確認されたワンドのうち 9 月にも残存した 6 箇所のみを対象にすると、組成に有意差は認められなかった ($df = 2$, $\chi^2 = 5.5$, $p = 0.0640$, ドジョウ、フナ類、その他の 3 群に分けた場合)。スウィーピング調査では合計で 8 種 103 個体の魚類が採集された (Table 3)。このうち個体数が多かったのはオイカワとドジョウであり、ついでモツゴ、アブラハヤ、トウヨシノボリが続いた。電気ショッカーでは採集されなかったメダカ *Oryzias latipes* も 3 個体採集された。電気ショッカー調査とスウィーピング調査の結果を合わせると、合計で 12 種の魚類が確認された。

ワンド・タマリと本流の魚類相の比較

6 月に浦野川本流では、合計 12 種 262 個体の魚類が採捕された (Fig. 2)。このうち約半数の 143 個体をオイカワが占め、ついでワンド・タマリで 1 個体も採捕されなかったウグイ *Tribolodon hakonensis* が 25 個体 (9.5%), フナ類が 23 個体 (8.8%), ドジョウが 15 個体 (5.7%) 確認された。ワンド・タマリでは採捕されなかったが、本流で確認された魚類としてはウグイのほかにアカザ *Liobagrus reini* (5 個体, 1.9%) がいた。一方、6 月に本流では採捕されずワンド・タマリだけで採捕された魚種はいなかった。ワンド・タマリと本流の魚類組成には有意差が認められ（カイ二乗検定, $df = 9$, $\chi^2 = 165.2$, $p < 0.0001$, アカザ, ニゴイ, カマツカはその他魚類としてまとめた), ワンド・タマリでは本流に比べてドジョウとシマドジョウが多く、オイカワとウグイは少ない傾向が認められた。

Table 1. Number of fish caught by electrofishing in the riverside pools in June

表 1. 6月にワンド・タマリで電気ショッカーによって採捕された魚類の個体数.

Fish	Code number of riverside pools																Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	21 (0.6)	5 (1.3)	2 (0.1)	6 (0.3)	0	2 (0.2)	0	0	3 (0.3)	0	0	0	18 (2.2)	0	16 (0.2)	8 (0.5)	81
<i>Zacco platypus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	50 (17.1)	0	5 (0.1)	0	1 (0.2)	1 (0.0)	5 (0.1)	1 (0.1)	63
<i>Carassius</i> spp.	9 (0.3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6 (0.2)	0	0	0	0	0	15
<i>Pseudorasbora parva</i>	20 (0.5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3 (0.1)	23
<i>Cobitis biwae</i>	0	0	1 (0.0)	5 (0.3)	0	0	0	0	5 (0.8)	0	0	0	5 (0.4)	23 (1.2)	0	12 (1.8)	51
<i>Rhinogobius</i> sp. OR	1 (0.1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24 (2.9)	0	1 (0.0)	5 (0.3)	31
<i>Phoxinus lagowskii steindachneri</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2 (0.2)	0	0	0	0	0	4 (0.1)	12 (0.8)	18
<i>Gnathopogon elongatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	9 (1.2)	0	0	0	1 (0.2)	0	0	9 (0.5)	19
<i>Hemibarbus barbus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (0.0)	0	0	0	0	0	1
<i>Pseudogobio esocinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Micropterus salmoides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oryzias latipes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	51 (1.4)	5 (1.3)	3 (0.1)	11 (0.6)	0 (0.0)	2 (0.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	69 (20.0)	0 (0.0)	12 (0.3)	0 (0.0)	49 (5.8)	24 (1.3)	26 (0.4)	50 (4.1)	302

Figures in parentheses indicate the estimated population density/(fish/m²).

Table 2. Number of fish caught by electrofishing in the riverside pools in September

表 2. 9月にワンド・タマリで電気ショッカーによって採捕された魚類の個体数.

Fish	Code number of riverside pools															Total
	3	4	6	7	8	11	17	18	19	20	21	22	23	24		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	5 (0.5)	56 (6.1)	3 (0.2)	17 (1.3)	12 (3.2)	17 (0.3)	11 (0.6)	28 (0.2)	5 (0.1)	16 (0.3)	16 (0.5)	2 (0.5)	2 (0.9)	7 (2.4)	197	
<i>Zacco platypus</i>	0	0	0	12 (1.0)	0	6 (0.2)	0	20 (0.1)	0	26 (0.2)	0	0	0	0	64	
<i>Carassius</i> spp.	0	0	0	34 (2.0)	6 (2.1)	18 (0.4)	0	0	0	9 (0.1)	0	0	0	0	67	
<i>Pseudorasbora parva</i>	1 (0.1)	8 (0.7)	1 (0.1)	6 (1.2)	0	1 (0.0)	0	3 (0.0)	0	23 (0.3)	1 (0.0)	0	0	0	44	
<i>Cobitis biwae</i>	0	0	0	0	0	2 (0.0)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
<i>Rhinogobius</i> sp. OR	0	1 (0.1)	0	0	0	2 (0.0)	0	1 (0.0)	0	9 (0.1)	0	0	0	0	13	
<i>Phoxinus lagowskii steindachneri</i>	0	1 (0.1)	0	6 (0.8)	1 (0.2)	0	0	1 (0.0)	0	5 (0.0)	2 (0.0)	0	0	0	16	
<i>Gnathopogon elongatus</i>	0	0	0	1 (0.1)	0	0	0	0	0	4 (0.1)	0	0	0	0	5	
<i>Hemibarbus barbus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Pseudogobio esocinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (0.0)	0	0	0	0	1	
<i>Micropterus salmoides</i>	0	0	0	0	0	0	0	1 (0.0)	0	0	0	0	0	0	1	
<i>Oryzias latipes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total	6 (0.6)	66 (7.0)	4 (0.3)	76 (6.4)	19 (5.4)	46 (1.1)	11 (0.6)	54 (0.3)	5 (0.1)	93 (1.1)	19 (0.5)	2 (0.5)	2 (0.5)	7 (4.1)	410	

Figures in parentheses indicate the estimated population density/(fish/m²).

Table 3. Number of fish caught in the riverside pools in the sweeping investigation

表 3. スウィーピング調査で採捕された魚類の個体数.

Fish	Code number of riverside pools																								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	0	0	2	8	6	4	5	1	0	0	0	0	2	0	1	3	0	0	0	1	1	0	0	0	34
<i>Zacco platypus</i>	0	0	0	0	0	3	0	0	9	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	40
<i>Carassius</i> spp.	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Pseudorasbora parva</i>	1	0	0	2	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
<i>Cobitis biwae</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Rhinogobius</i> sp. OR	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Phoxinus lagowskii steindachneri</i>	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
<i>Gnathopogon elongatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hemibarbus barbus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudogobio esocinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Micropterus salmoides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oryzias latipes</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Total	2	0	2	11	8	20	8	1	9	14	8	2	2	1	1	3	0	0	0	10	1	0	0	0	103

小河川におけるワンド・タマリの魚類群集

Fig. 2. Comparison of fish composition between the riverside pools and the main stream of the Urano River in June.

図 2. 6 月の浦野川におけるワンド・タマリと本流の魚類組成の比較.

ワンド・タマリの魚類と環境要因との関係

6 月には、ワンド・タマリの魚類の種数、全個体密度、ドジョウ、シマドジョウ、オイカワの各個体密度の 5 変数がそれぞれ 1 つの環境要因とだけ有意な相関関係を示した (Table 4)。魚類の種数及びドジョウとシマドジョウの個体密度は、ワンド・タマリの溶存酸素飽和度と正の相関を示した。一方、魚類の個体密度及びオイカワの個体密度はワンド・タマリの流速と正の相関を示した。

9 月には、魚類の種数は、ワンド・タマリの水深及び面積と正の相関を示し、この 2 変数による重回帰式は種数の変異量の 71% を説明した。一方、全個体密度及びドジョウ、モツゴ、アブラハヤの各個体密度はどの環境要因とも相関を示さなかった。

6 月においても 9 月においても、底質が主に泥のワンド・タマリと石のワンド・タマリの間で魚類の種数と全個体密度に有意差は認められなかった (Mann-Whitney

Table 4. Results of stepwise multiple regression analysis between fish variables and environmental factors

表 4. 魚類と環境要因の間のステップワイズ重回帰解析の結果.

Month	Fish (Y) ^a	Environmental variable (X) ^b	Regression coefficient	Standardized regression coefficient	F-to-remove	Cumulative			
						Intercept	R ²	Total F	p-level
June	Number of species	Oxygen	0.719	0.718	14.92	-0.149	0.516	14.92	0.0017
	Total fish density	Current velocity	0.562	0.633	9.38	0.171	0.401	9.38	0.0084
	Density of <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	Oxygen	0.280	0.620	8.76	-0.110	0.385	8.76	0.0103
	Density of <i>Cobitis biwae</i>	Oxygen	0.273	0.619	8.71	-0.130	0.384	8.71	0.0105
	Density of <i>Zacco platypus</i>	Current velocity	0.441	0.599	7.85	0.004	0.359	7.85	0.0141
Sept.	Number of species	Water depth	0.519	0.574	12.30	-0.296	0.711	13.54	0.0011
		Area	0.219	0.542	10.96				

a: Fish variables that had no significant correlation with the environmental variables are not shown.

b: In May, water temperature, water depth, area, current velocity, distance to the main stream and degree of saturated dissolved oxygen were analyzed. Water temperature and current velocity were not analyzed in September because water temperature was not measured at the same time and current velocity was not detected in any pools. Only significant variables are shown.

の U 検定, $p > 0.05$)。また, 各魚種の個体密度を個別に検討しても, 6 月のドジョウ, オイカワ, シマドジョウ及び 9 月のドジョウ, モツゴ, アブラハヤのいずれについても有意な違いは認められなかった (Mann-Whitney の U 検定, $p > 0.05$)。

ワンド・タマリの魚類の種数及び全個体密度と, ワン

ド・タマリのベントスの 1 コドラートあたりの個体数及び湿重量との相関は, いずれの組み合わせにおいても有意でなかった ($p > 0.05$)。同様に, 6 月のドジョウ, シマドジョウ, オイカワ, 9 月のドジョウ, モツゴ, アブラハヤの個体密度も, 底生動物の個体数及び湿重量と相関しなかった。

Fig. 3. Diet of eight fish species in the riverside pools and main stream of the Urano River in June. The relative contribution of food items to the diet of a given species is represented by the thickness of the line. Figures in parentheses indicate the number of fish examined; mean values are used.

図 3. 6 月の浦野川のワンド・タマリと本流における 8 魚種の食性。各魚種の食性に対する相対的寄与度が線の太さによって示されている。括弧の中の数字は検査した魚の個体数を示し, その平均値を用いた。

ワンド・タマリ及び本流における魚類の食物関係

ワンド・タマリと本流において6月に採捕された魚類の食物関係を図示した (Fig. 3)。ワンド・タマリにおいてはユスリカ科及びカゲロウ目の幼虫、底生藻類及びデトリタスが主要な餌生物となっていた。一方、本流では、ユスリカ科の幼虫及び底生藻類が主要な餌生物であり、ついでカゲロウ目、トビケラ目、ガガンボ科の水生昆虫も多く利用されていた。本流ではデトリタスの利用は少なかった。魚類ごとに検討すると、ドジョウ、シマドジョウ、オイカワ、タモロコ *Gnathopogon elongatus* の食性にはワンド・タマリと本流で大きな違いは認められなかった。一方、フナはワンドではデトリタスを、本流では底生藻類とユスリカ科の幼虫を主に摂食していた。モツゴ及びトウヨシノボリは本流ではもっぱらユスリカ科の幼虫を利用していたが、ワンドではそれぞれ底生藻類とカゲロウ科の幼虫を主に摂食していた。アブラハヤは本流では底生藻類、デトリタス、トビケラ目の幼虫など様々な餌を摂食していたが、ワンドでは主にデトリタスを利用していた。

考 察

浦野川のワンド・タマリは大河川のワンド・タマリ (冷水, 1980; 矢田・加藤, 1987; 萱場ら, 1997; 傳田ら, 2002) と比べてはるかに小規模であり、しかも増水に対して不安定であった (黒川ら, 2009)。浦野川のワンド・タマリでは、とくに5~6月において本流と比べて水温が低い傾向が認められた (黒川ら, 2009)。16個のワンド・タマリでそれぞれ5月と6月に計測した32回の計測のうち28回において、ワンド・タマリの水温は隣接する本流の水温に比べて低く、その差は5月には平均して4.7℃、最大で8.1℃、6月には平均して3.9℃、最大で11.5℃もあった。溶存酸素飽和度についても、5月、6月、9月に行った合計46回の計測のうち43回において、ワンド・タマリでの計測値は本流での値より低かった。溶存酸素飽和度は、本流ではすべての計測で80%以上であったのに対して、ワンド・タマリでは平均して5月には42.3%、6月には48.3%、9月には48.2%であり、もっとも低いワンド・タマリでは0.6%にすぎなかった (黒川ら, 2009)。また、9月に調査したオルトリン酸と硝酸性窒素の現存量は、ワンド・タマリにおいて隣接する本流に比べて25%以下であった (黒川ら, 2009)。このように、とくに5~6月において本流と比べて水温が低く、伏流水を水源とするために溶存酸素飽和度が低く、

かつ貧栄養であることが浦野川のワンド・タマリの特徴であった (黒川ら, 2009)。

このような環境下において、浦野川のワンド・タマリの魚類群集は、構成種において本流のそれと大きく異なるわけではなかった。また、ワンド・タマリに生息する魚類については希少種は確認されなかったが、これは浦野川自体にアカザを除くと希少種が生息していないこと (片野ら, 2004; Katano et al., 2005) に起因すると言えよう。しかし魚類の組成を比べると、本流ではオイカワとウグイ、フナ類が多かったのに対して、ワンド・タマリではウグイは採捕されず、オイカワのほかにドジョウ類が多かった。ドジョウは腸呼吸をするために低酸素に強いことが知られている (片野, 1998a, b)。またシマドジョウは、5~6月に湧水の生じる場所に移動して産卵すると考えられている (君塚, 1989)。これらの理由によってドジョウとシマドジョウはワンド・タマリで多く採捕されたと推測される。一方、ウグイやオイカワは流水環境下で流下する水生昆虫類や石に付着する底生藻類を摂食する雑食性であり (片野ら, 2004)、しかも低酸素環境に弱いためにワンド・タマリでは比較的少なかったと考えられる。実際、本研究において6月には、ワンド・タマリの魚類の種数は溶存酸素飽和度が高いほど多い傾向が認められ、多くの魚種にとって低い溶存酸素がワンド・タマリに生息する上での制限要因となっていたと推測される。また6月のワンドでは魚類全体及びオイカワの個体密度は、溶存酸素よりも流速と高い相関を示した。この結果は、湧水量が多く流速が生じることによって、溶存酸素だけでなく餌条件など他の環境条件も改善されたことを示唆する。

一方、9月にはワンド・タマリの溶存酸素飽和度は魚類群集に大きな影響を与えず、ワンド・タマリの水深や面積が魚類の種数と正の相関を示した。浦野川では7月に降雨にともなう大増水があり、多くのワンド・タマリが消失したり変形したりした。また、増水後に新たに生じたワンド・タマリもあった (黒川ら, 2009)。したがって5~6月と9月ではワンド・タマリの環境や湧水の動態が大きく異なっていたと考えられる。浦野川のある上田市における気象庁の統計記録によると、上田市では10月から5月までの秋から春にかけて降水量が少なく、7~9月に多い傾向が認められた。調査を行った時期についても、2005年の10月から2006年の6月まで月降水量は4~69 mmで推移していたのに対して、2006年の7月には294 mm、9月には130 mmと比較的多量の降水が観測されている。したがって、主として冬期に降

水量が少ないことによって、少なからぬワンド・タマリにおいて低酸素の状態が続き、それが6月の魚類の少なさに影響したと推測される。一方、7月の増水期にワンド・タマリに侵入した魚類は、降水量の多いことによる伏流水の増加や水面からの酸素の供給によって死滅を免れ、そのために9月にはワンド・タマリの溶存酸素は魚類群集に著しい影響を与えなかったと考えられる。ワンド・タマリでは、オオクチバスが1個体確認されたことを除けば、魚類を捕食する肉食魚はいなかったが、深く広いワンド・タマリは魚類が鳥類等の他の捕食者を避ける上では有利であり、さらに様々なハビタットを魚類に提供したと推測される。

ワンド・タマリの魚類にとって、ユスリカ科やカゲロウ目の幼虫は、底生藻類やデトリタスと同様に餌資源として重要であった。一方、ワンド・タマリの底生動物の中でユスリカ科の幼虫と並んでもっとも多かった貧毛類（黒川ら，2009）は、魚類の餌生物としてはあまり利用されていなかった。貧毛類は泥中にすむために小型の魚類にとっては利用しにくかったと考えられる。一方、ユスリカ科やカゲロウ目の幼虫は石の上下面にも分布し（Giller and Malmqvist, 1998; Katano et al., 2008）、またそれらが流下することによって魚類に利用されやすくなったと推測される。底生動物のうち、トビケラ目やガガンボ科の幼虫はワンド・タマリの魚類にほとんど利用されていなかったが、これらの水生昆虫がワンド・タマリで少なかったこと（黒川ら，2009）を考慮すると、当然の結果と言えよう。魚種によって、本流とワンド・タマリで利用する餌生物が異なる場合があった。その理由としては、ワンド・タマリの魚類のサンプル数が少なく、特定のワンド・タマリの魚種しか調べられなかったことが影響した可能性がある。しかし、フナ類とアブラハヤが本流で藻類を多く摂食し、ワンド・タマリでデトリタスを摂食していたことについては、それぞれの環境で豊富に存在した食物を利用していたと推測される。

浦野川のワンド・タマリの魚類群集が溶存酸素、流速の大きさ、ワンドの面積や水深等の環境要因に影響されていたことは、その干出や酸素欠乏などの環境変化によって魚類の生残率が脅かされていたことを示唆する。ワンド・タマリにおける魚類の局所的絶滅がその種数に強く影響することは、他国でも報告されている（Halyk and Balon, 1983; Williams, 2006）。本研究において浦野川で調査したような小規模なワンド・タマリはどの河川にも生じるものであり、主としてドジョウ類を中心とした小型魚類によるワンド・タマリの利用も日本では一般的

であると考えられる。

浦野川が合流する千曲川では面積が500～4000 m²の大型のワンド・タマリが形成されている（傳田ら，2002）。生息する魚類は15種ほどであり、浦野川の魚類と比べると、コイ、ナマズ、ニゴイ、ウナギ *Anguilla japonica* などの大型魚やアユ *Plecoglossus altivelis altivelis* などの放流魚が生息している点が異なっている。千曲川のワンド・タマリでは、増水によって本流と接続する回数が多いほど魚類の種数が多く、そのようなワンド・タマリでは本流にも多いウグイやオイカワの個体数が多い傾向が認められた。一方、本流と接続しないワンド・タマリでは魚類は少なく、ドジョウ、モツゴ、トウヨシノボリなど冬季に水位が減少した際にも低酸素条件下で生存できる魚種に限られていた。しかし、このようなワンド・タマリでも、一度本流と接続するとウグイ・オイカワの個体数が増えることがあった。これらの点は、小河川である浦野川のワンド・タマリの魚類群集が溶存酸素飽和度やその面積・水深に影響されていたことと類似している。ただし、浦野川のワンド・タマリはあまりに小規模であるために、たとえ本流と接続することがあっても、ウグイやその他の大型魚類が生存し続けるのは難しかったと推測される。

大河川である淀川のワンド・タマリでは、伏流水が豊富で、しかも河川本流の水位の大きな変動によってワンドが冠水することが多くの魚類にとって重要であった（矢田・加藤，1987; 松波ら，1999）。淀川のワンド・タマリでは、かつては40種以上の淡水魚が確認されており、アユモドキ *Leptobotia curta* やイタセンパラなどの希少種も多かった。しかし、河川改修や水位変動の減少によって本来のワンド・タマリは消失し、現在では外来魚は増加したものの、在来の淡水魚は減少している（平松・内藤，2009）。このことから大河川のワンド・タマリにおいても伏流水等の環境とその変化が魚類にとって重要であることは確かであろう。その上で、面積が広大で本流とも自由に往来でき、しかも魚類相が豊富な大河川のワンド・タマリでは、小規模なワンド・タマリと比べて、捕食者や競争者さらには餌資源の豊富さが魚類群集により大きな影響を及ぼしていると推察される。とくに近年では、大河川のワンド・タマリにおいてオオクチバス、コクチバス *Micropterus dolomieu*、ブルーギル *Lepomis macrochirus* 等の外来魚が増加しており、それらが在来魚の減少に拍車をかけている（君塚，1998; 平松・内藤，2009; 都築ら，2010）。生物多様性の高いワンド・タマリでの外来魚対策と希少魚の保全は今後の重要な課

題である。また、本研究ではワンド・タマリが魚類の繁殖場所としてどう利用されていたかについては調査を行わなかった。この点についても今後の課題としたい。

謝 辞

魚類の採捕にあたっては、上小漁業協同組合の許可を頂いた。標本の整理、解析については、尾沼深志、石原あゆ美の両氏に協力頂いた。また、信州大学教育学部の皆様には様々な形で御協力を頂いた。これらの方々に厚く御礼する。論文作成にあたっては、文部科学省の2010年度科学研究費補助金（基盤研究C）、No. 20570028 及び No. 22570018 の助成を受けた。

文 献

- Abe, T., I. Kobayashi, M. Kon and T. Sakamoto (2007): Spawning behavior of kissing loach (*Leptobotia curta*) in temporary waters. *Zoological Science*, 24: 850-853.
- 傳田正利 (2001): ワンド・タマリの分布とその成因。千曲川の総合研究—鼠橋地区を中心として—, 河川生態学術研究会千曲川研究グループ (編): 256-261.
- 傳田正利・山下慎吾・尾澤卓思・島谷幸宏 (2002): ワンドと魚類群集—ワンドの魚類群集を特徴づける現象の考察—。日本生態学会誌, 52: 287-294.
- Giller, P. S. and B. Malmqvist (1998): *The Biology of Streams and Rivers*. Oxford University Press, Oxford.
- Halyk, L. C. and E. K. Balon (1983): Structure and ecological production of the fish taxocene of a small floodplain system. *Canadian Journal of Zoology*, 61: 2446-2464.
- 平松和也・内藤 馨 (2009): 淀川城北ワンド群の魚類群集の変遷。関西自然保護機構会報, 31: 57-70.
- 冷水俊郎 (1980): 淀川の“わんど”。*淡水魚*, 6: 104-109.
- 可児藤吉 (1944): 溪流性昆虫の生態。可児藤吉全集 1957: 3-91。思索社, 東京。
- 片野 修・斉藤憲治・小泉顕雄 (1988): ナマズ *Silurus asotus* のばらまき型産卵行動。魚類学雑誌, 35: 203-211.
- 片野 修 (1998a): ナマズはどこで卵を産むのか。創樹社, 東京。
- 片野 修 (1998b): 水田・農業水路の魚類群集。水辺環境の保全—生物群集の視点から—, 江崎保男・田中哲夫 (編): 67-79。朝倉書店, 東京。

- 片野 修・中村智幸・山本祥一郎・阿部信一郎 (2004): 長野県浦野川における魚類の種組成と食物関係。日本水産学会誌, 70: 902-909.
- Katano, O., T. Nakamura, S. Yamamoto and S. Abe (2005): Summer daytime habitat and population density of the torrent catfish, *Liobagrus reini*, in the Urano River. *Ichthyological Research*, 52: 50-56.
- Katano, O., T. Nakamura and S. Abe (2008): Indirect effects of the algivorous fish *Plecoglossus altivelis altivelis* on the growth of two insectivorous benthic fish. *Freshwater Biology*, 53: 1345-1358.
- 萱場祐一・傳田正利・島谷幸宏 (1997): 千曲川におけるワンドの実態とその特徴に関する基礎的研究。土木学会環境システム論文集, 25: 611-614.
- 君塚芳輝 (1989): シマドジョウ。日本の淡水魚 改訂版, 川那部浩哉・水野信彦・細谷和海 (編・監修): 392-393。山と溪谷社, 東京。
- 君塚芳輝 (1998): 多摩川中流域人工造成ワンドの推移と魚類相。環境工学研究論文集, 35: 285-293.
- 黒川マリア・片野 修・東城幸治・北野 聡 (2009): 小河川におけるワンド・タマリの環境要因と水生無脊椎動物の分布。陸水学雑誌, 70: 67-85.
- 松波由佳・綾 史郎・矢田敏晃 (1999): 淀川ワンド群の形成・衰退とその生態学的意義。河川技術に関する論文集 5: 93-98.
- 中島 淳・江口勝久・乾 隆帝・西田高志・中谷裕也・鬼倉徳雄・及川 信 (2008): 宮崎県北川の感潮域に造成した人工ワンドにおける魚類, カニ類, 甲虫類の定着状況。応用生態工学, 11: 183-193.
- 小川力也・長田芳和 (1999): イタセンパラの生息環境から見た淀川水系の変遷とその保全・復元に向けて。淡水生物の保全生態学—復元生態学に向けて—, 森 誠一 (編著): 224-239。信山社サイテック, 東京。
- 大家正太郎・宮下敏夫・川村厚生 (1975): 淀川の魚類及び環境と改修工事による影響について。大阪府淡水魚試験場研究報告, 3: 1-111.
- Pollock, K. H. and M. C. Otto (1983): Robust estimation of population size in closed animal populations from capture-recapture experiments. *Biometrics*, 39: 1035-1049.
- 斉藤憲治・片野 修・小泉顕雄 (1988): 淡水魚の水田周辺における一時的な水域への侵入と産卵。日本生態学会誌, 38: 35-47.
- 島谷幸宏 (2000): 河川環境の保全と復元。鹿島出版会, 東京。

- 田中正治・平松和也(2004): 淀川の生息魚類の分布およびその生態. 大阪府立食と緑の総合技術センター, 水生生物センター研究報告(旧淡水魚試験場研究報告), 12: 1-64.
- 都築隆禎・坂之井和之・柏木才助・石井正人・三橋弘宗(2010): 高水敷掘削によるワンド造成の成果と本川への接続形状が生物群集に及ぼす影響(モデル河川での試験結果: 円山川)リバーフロント研究所報告, 21: 1-8.
- Williams, D. D. (2006): The Biology of Temporary Waters. Oxford University Press, Oxford.
- 矢田敏晃・加藤喜久他(1987): 淀川の魚類相と生息状況. 大阪府淡水魚試験場研究報告, 9: 1-125.