

安定同位体比を用いた河道周囲の止水水域が魚類 に提供する生態的機能の評価

EVALUATION OF ECOLOGICAL FUNCTIONS WHICH TEMPORAL WATER AREAS AROUND RIVER CHANNEL PROVIDES TO FISHES USING STABLE ISOTOPE RATIO ANALYSIS

対馬孝治¹・傳田正利²・時岡利和²・天野邦彦³

Kouji TSUSHIMA, Masatoshi DENDA, Toshikazu TOKIOKA and Kunihiko AMANO

¹正会員 農博 独立行政法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

²正会員 独立行政法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

³正会員 工博 独立行政法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

This study aimed to estimate the ecological functions of temporal water area around river channel by fishes. Fish samples were collected from the Shinano River channel and four temporal water areas around the channel in the Nezumi district. Connection frequency of those water areas with the river channel was estimated by hydraulic analysis. Stable isotope ratios of carbon and nitrogen were determined for fishes. It is suggested that the difference of carbon sources in habitats had been reflected in carbon stable isotope ratio of family Cobitididae fishes (*Misgurnus anguillicaudatus* and *Cobitis biwae*) that were major benthic fishes with low migration ability. Carbon stable isotope ratio of family Cobitididae fishes can be considered to be a tracer of connection frequency of river channel and water areas around the river channel. Carbon stable isotope ratio of genus *Carassius* fishes (*Carassius spp.*) was confirmed that the fishes that were growing on those water areas had been moving to the river channel. Carbon isotope ratio of Oikawa fishes (*Zacco platypus*) has shown that some fish which had lived in the river channel moved to the water areas during a flood event.

Key Words : Temporal water area, Ecological function, River ecosystem, Stable isotope ratio

1. はじめに

河川はその水理作用によって河道周囲に複雑な地形を形成する。河道には流水環境を好む生物が生息する一方で、河道周囲の複雑な地形によって形成された水域は止水環境を好む水生生物の良好な生息場である。このような河道周囲の止水水域における魚類による利用は多様で、採餌や休息だけでなく産卵場や稚仔魚の養育場に加えて出水時の避難場など、その生活史のある期間において決定的な役割を果たしうる可能性が考えられる¹⁾。

生物体を構成する炭素や窒素などの元素の多くは質量数の異なる複数の安定同位体を持つ。これら安定同位体の割合は、物質の起源を推定する研究に利用されている。生物の炭素と窒素の安定同位体比はその餌の値を一定の関係を持って反映することが経験的に知られており^{2), 3), 4)}、生物の安定同位体比は生育した場所の特性を反映することが期待できる。本研究では特定の魚種について炭

素と窒素の安定同位体比を測定し、その値が河道周囲の止水水域において本川との接続頻度を反映して異なっていることを検証する。その結果を基に、魚類の安定同位体比が生息場に特有の値を保存しており、任意の場所で捕獲された魚類に対してもその過去の生育場を特定できることを利用し、水理計算に基づく本川と各止水水域の接続頻度の推定も加え、魚類の水域間の移動を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

(1) 調査対象地の概要

千曲川は信濃川の長野県内での名称で、埼玉県、山梨県との境の甲武信ヶ岳(標高2475 m)を源流として、佐久、小諸、上田、長野の各盆地と山間部を交互に流下している。本研究ではこの長野県東部を北流する千曲川の典型的な中流河川形態とされる⁵⁾長野県埴科郡坂城町の



図-1 千曲川鼠橋地区と調査地点 (黄色部)

鼠橋地区において、本川右岸 (以下、本川) 及び左岸の高水敷と低水敷における4ヶ所の止水域 (ワンド1 - 4) の5ヶ所で調査を行った (図-1)。ワンド1は高水敷上に位置する水域で平水時は河川の本流 (本川) から隔離されていた。ワンド2は低水敷に位置するが平水時には本川や他の止水域から孤立していた。ワンド3は豊富な湧水によって涵養され、その湧水は水深10cm程度の小流を形成してワンド4へと流入していた。ワンド4は本川と常時接続し、河川水が停滞している止水域である。魚類の採捕調査は各水域において、その沿岸のほぼ全域について行った。

調査は2005年5月27日、6月29日、7月27日、8月4日の4回行った。7月27日の調査では千曲川の水位が高かったため、本川の調査地点では実施しなかった。

(2) 調査項目

魚類の採捕は5月27日調査では手網にて45分・人、その他の調査日にはエレクトリックフィッシャー (スミルート社製, Model LR-24, 出力電圧500V~900V, 出力電流最大40A) 10分と手網 (目合3 mm) 30分・人の労力で行った。捕獲した魚類は冷蔵で持ち帰り、冷凍 (-30℃) して保存した。種同定や標準体長、湿重量の測定は解凍後速やかに行った。

標準体長や湿重量の測定後は直ちに60℃で2日間以上乾燥し、一個体を一試料として、粉碎して均一化したものを安定同位体比の測定に呈した。ただし、湿重量でおよそ30gを超える個体は筋肉組織を切り出して安定同位体比の試料とした。炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$, ‰) 及び窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$, ‰) については元素分析計 (Thermo Electron 社製, Flash EA) を前処理装置として接続した安定同位体比測定用質量分析装置 (Thermo Electron 社製, Delta Plus XL) を用いて測定を行った。安定同位体比の表記は一般的な方法に基づき、炭素及び窒素それぞれの国際標準物質からの千分偏差 (‰) として示し、測定誤差は0.2 ‰であった。

安定同位体比の測定結果に対して、調査地点や調査時

期、採捕種ごとの値が有意に分類できるかを検定し、その境界値を得るための統計的な手法として判別分析 (線形判別関数, 有意水準5%) を行った (SPSS社, SPSS Base System Ver. 13)。

(3) 水理計算による止水域の接続状況の推定

調査地の流量を算定するため、最寄の流量観測所である生田流量観測所の水位データ (h) から調査地の流量 (Q') の $h-Q'$ 曲線を以下の手順で作成した。①2000年~2003年までの生田流量観測所の $h-Q$ (但し Q は生田流量観測所の流量) 曲線を作成した。②GISにより生田流量観測所と調査地の流域面積を算出し流域面積比を算出した。③生田流量観測所の Q に流域面積比を乗じ調査地の流量 Q' とし $h-Q'$ 曲線を作成した。その後、2005年1月1日から8月4日までの流量の発生頻度を集計し後述する水理計算結果を合わせ本流との接続頻度を算出した。

調査地における止水域と本川の接続頻度の推定を行う目的で調査地内の水理計算を行った。平水時から出水時までの幅広い流量を条件として計算を行うことから、一般座標系の使用が可能で、水際部の境界条件の自由度が高く一般座標系を用いた平面2次元流解析プログラム⁶⁾を用いて定常計算を行った。

河床形状データはレーザープロファイラによる測量による水域内の河床高測量データを基に内挿し流下・横断方向ともに6mピッチの河床高データを整備した。

これらの結果をGIS (ESRI社, ArcGIS Ver. 9) を用いて図化し、空間分析ツール (ESRI社, Spatial Analyst) を用いて10mグリッドの水深を算出した。同時に各調査地点の位置もGIS上に図化し、各調査地点が出水時の水域に完全に水没した状態を本川との接続状態とし流量発生頻度と合わせ本川との接続頻度を算出した。

3. 結果

(1) 魚類の採捕数と体長

4回の調査での総捕獲個体数は5月の調査で69尾、6月は563尾、7月は171尾、8月は146尾であった。本調査において最も採捕数の多い種はオイカワ (*Zacco platypus*) で4回の調査の総数は316尾だった。オイカワは流水性水域を好む遊泳魚であるため、オイカワを流水性遊泳魚の代表種として考察の対象種とした。オイカワはワンド1では採捕されなかったが、ワンド2とワンド3で多数 (それぞれ153尾と154尾) 確認された。ワンド4と本川ではこれらより少なく、それぞれ2尾と7尾だった (表-1)。

比較的流速の遅い止水性水域を好む遊泳魚としてフナ属 (*Carassius* sp) 68尾、モツゴ (*Pseudorasbora parva*) 44尾、アブラハヤ (*Phoxinus lagowski*) 14尾、が確認された。止水性遊泳魚としては優占種であるフナ

表-1 魚類の各調査地点による採捕個体数

場所	ワンド1				ワンド2				ワンド3				ワンド4				本川		
	5月	6月	7月	8月	5月	6月	7月	8月	5月	6月	7月	8月	5月	6月	7月	8月	5月	6月	8月
フナ属	-	-	-	-	-	-	5	16	-	-	4	-	-	7	3	7	5	15	6
オイカワ	-	-	-	-	4	121	6	22	17	130	5	2	-	-	2	-	-	-	7
ドジョウ科	-	1	3	5	-	6	10	1	7	11	2	1	-	4	-	-	-	-	1

表-2 採捕魚類の標準体長の範囲 (全調査日)

(mm)	ワンド1	ワンド2	ワンド3	ワンド4	本川
フナ属	-	12-29	27-39	11-136	15-198
オイカワ	-	19-75	21-128	32-35	18-58
ドジョウ科	14-27	11-75	46-94	69-159	31

属魚類を代表魚種として考察の対象とした。本川及び本川と常時接続している調査地点のワンド4では、フナ属魚類はほぼ毎回の調査で採捕され、その総数はワンド4で17尾、本川で26尾であった(表-1)。一方、ワンド2とワンド3においては5、6月の調査では採捕されなかったが7、8月には採捕され、ワンド2とワンド3でそれぞれ21尾と4尾だった。本調査ではフナ属魚類の内、種同定のできた個体は全てギンブナ (*Carassius auratus langsdorffii*) であった。

底生魚類はニゴイ (*Hemibarbus labeo*) 67尾、ドジョウ (*Misgurnus anguillicaudatus*) 35尾、シマドジョウ (*Cobitis biwae*) 17尾、カマツカ (*Pseudogobio (Pseudogobio) esocinus*) 11尾、トウヨシノボリ (*Rhinogobius* sp. OR) 9尾、それぞれ確認された。ニゴイはワンド4と本川のみで確認されたため、各調査地で採捕されたドジョウに、ドジョウと同じく堆積物中の有機物を摂取し⁷⁾、比較的近縁種のシマドジョウを加えてドジョウ科魚類としてまとめて考察の対象とした。ドジョウ科魚類の4回の調査での採捕数は、ワンド1で9尾、ワンド2で17尾、ワンド3で21尾、ワンド4で4尾、本川で1尾であり(表-1)、止水域で多く見られた。

標準体長の結果によると、ドジョウ科魚類はワンド3、4で比較的大きな個体が採捕された(表-2)。一方フナ属魚類はワンド2とワンド3では小さく、ワンド4と本川では大きい個体が確認された。オイカワの比較的小さい個体は全調査地点で確認されたがワンド3で大きい個体が採捕されていた。

(2) 魚類の安定同位体比

ドジョウ科魚類の炭素安定同位体比は、調査地によって大きく異なっていた(表-3)。ワンド1は非常に低い値で全ての個体が-28 ‰より低かった。ワンド2は概ねワンド1よりも高い値に分布していた。ワンド3は最も幅広く値が分布していた。ワンド4はワンド3と測定値の分布がほぼ一致していた。それぞれの調査地の平均値をみると本川から最も遠い場所に位置するワンド1からワンド4へと順に値が変化していた。ドジョウ科魚類の炭素安定同位体比は判別分析の結果、ワンド1とワンド2の間で-28.6 ‰を境に有意に分けることができた。同様にワンド2に対してワンド3、ワンド4、本川の間でそれぞれ

表-3 ドジョウ科魚類の炭素安定同位体比 (全調査日)

(‰)	ワンド1	ワンド2	ワンド3	ワンド4	本川
最大	-28.1	-21.2	-17.6	-19.1	-18.4
最小	-34.6	-29.3	-25.7	-23.9	-
平均	-30.6	-26.6	-22.5	-21.5	-18.4
標準偏差	1.9	2.5	2.1	2.0	-
試料数	9	17	21	4	1

表-4 フナ属魚類の炭素安定同位体比 (全調査日)

(‰)	ワンド1	ワンド2	ワンド3	ワンド4	本川
最大	-	-28.6	-22.5	-17.6	-15.3
最小	-	-31.8	-24.2	-25.2	-24.7
平均	-	-30.4	-23.7	-21.5	-20.2
標準偏差	-	0.9	0.8	2.9	2.2
試料数	0	21	4	17	26

表-5 オイカワの炭素安定同位体比 (全調査日)

(‰)	ワンド1	ワンド2	ワンド3	ワンド4	本川
最大	-	-22.9	-14.8	-19.0	-16.5
最小	-	-31.0	-24.7	-20.2	-18.3
平均	-	-26.9	-21.2	-19.6	-17.6
標準偏差	-	2.5	2.2	0.9	0.6
試料数	0	24	35	2	7

24.3, -24.1, -23.9 ‰を境に有意に分けられた。窒素安定同位体比は概ね+9から+11 ‰の狭い範囲だった。

止水性の遊泳魚としてフナ属魚類の炭素安定同位体比を採捕場所ごとに比較した(表-4)。ワンド2は低い狭い範囲に値が集まっていた。ワンド4と本川は幅広く測定値が分散していた。すなわち6、7月では-20.6 から-17.6 ‰であり、8月には-25.2 から-23.6 ‰と異なる範囲の値を示した。各調査地の平均値はドジョウ科魚類と同様に本川に近い調査地ほど本川の値に近づいている傾向を示した。全地点の炭素安定同位体比において40 mm以下と70 mm以上のフナ属魚類の間には判別分析による境界値(-21.5 ‰)が得られた。窒素安定同位体比はワンド2では低い値を示した(+6.6 - +8.1 ‰)が、ワンド3とワンド4ではやや高い値だった(それぞれ+11.4 - +11.8, +10.0 - +12.2 ‰)。本川では幅広く値が分散した(+8.3 - +12.5 ‰)。

さらに、流水性の遊泳魚であるオイカワの炭素安定同位体比も採捕場所ごとに示した(表-5)。オイカワは採捕個体数が多かったため、20尾を超える場合には全ての個体について測定を行わず、調査地点と調査時期ごとに十個体程度について測定した。ワンド2とワンド3では測定値の範囲は大きく異なったが、非常に幅広く分散していた。ワンド2とワンド3のそれぞれで5、6月と7、8月で判別分析による境界値が得られ、それぞれ-26.9 ‰、-21.2 ‰だった。また、本川では高い値を示していた。窒素安定同位体比は、ワンド2では比較的低い値(+7.8 - +10.3 ‰)を示した。ワンド3、ワンド4、本川では比較的狭い範囲(+9.2 - +12.6 ‰)に集中していた。

(3) 水域の接続

魚類の移動と安定同位体比との比較のため、水域の接続状況を知る必要がある。ただし魚類の安定同位体比は数日から数十日で入れ替わることが知られている^{8), 9)}。そのため、本研究では水域の接続頻度について2004年冬季から調査最終日までの期間に着目することにした。

水理計算の結果、高水敷に位置するワンド1が本川と接続する流量条件はおよそ1500 m³/secと算出された。上記の期間中にこの流量を超えることは無かったのでワンド1は本川から孤立した状況が継続したと考えられた。

平水状態では孤立しているワンド2は、本川の流量がおよそ200 m³/secを超える時に本川と接続することが分かった。2005年1月から8月4日の期間では7月4日正午から5日午前2:00にかけて、及び7月26日夜21:00から7月27日午前3:00において、ワンド2と本川が接続する流量条件を満たしていた。実際に7月27日の魚類調査においてワンド2周辺の植生や礫に灌水直後の痕跡が見られ、本研究の水理的な検討が妥当であったことが示唆された。

ワンド3は湧水の小流によってワンド4及び本川と接続しているが、平水時に本川の河川水がワンド3へ流入することはなかった。ワンド3には本川の流量がおよそ40 m³/secを超える条件で河川水が流入することが分かった。2005年1月から8月4日までの期間においてこのようなワンド3へ本川の河川水が流入する流量条件が1時間でも得られた日数は30日であり、ワンド2の4日より7.5倍ほど接続頻度が高かった。

4. 考察

(1) 止水域の接続頻度と魚類の安定同位体比の関係

ドジョウ及びシマドジョウは底泥の有機物を摂取し、遊泳力が比較的小さいため、ドジョウ科魚類の安定同位体比は捕獲された場所の有機物を反映していると考えられる。

河川の水生藻類によって生産される有機物の持つ炭素安定同位体比は陸上植物よりも高いことが知られ、本調査地の既往の研究では、本川の付着藻類¹⁰⁾の-17.2 ‰と造網性水生昆虫のヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata*) 5齢幼虫¹¹⁾の-15.7 ± 0.7 ‰ (平均値 ± 標準偏差) が得られている。水理計算の結果からワンド1が本川と接続することができる頻度は極めて少ないことが明らかであるため、このような-17から-15 ‰付近の高い炭素安定同位体比を持つ河川由来の有機物がワンド1に供給されることはほとんどない。一方、一般的な陸上植物の持つ炭素安定同位体比は-27 ‰程度として知られている¹²⁾。魚類の炭素安定同位体比が河川由来の有機物とほぼ等しい値 (-17 - -15 ‰) だった場合、その魚類は河川由来の有機物を利用して生育したと考えられる。

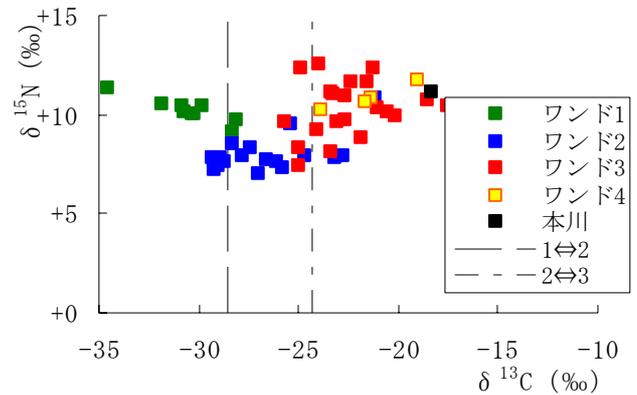


図-2 ドジョウ科魚類の炭素と窒素の安定同位体比

“1⇔2”は判別分析によるワンド1とワンド2の境界値 (-28.6 ‰) を示し、“2⇔3”は判別分析によるワンド2とワンド3の境界値 (-24.3 ‰) を示す。

一方、魚類の安定同位体比が陸上植物の値 (-27 ‰) と一致する場合、その魚類は陸上植物由来の有機物を餌とし、河川から離れた陸上植物のリターの影響を強く受けて生育したと考えられる。魚類の炭素安定同位体比が、河川由来と陸上植物由来の中間的な値を示した場合、両者の寄与率の推定が可能である⁴⁾。

ワンド1におけるドジョウ科魚類の炭素安定同位体比は陸上植物と同程度かそれよりも低く、河川由来の有機物と大きく異なる炭素安定同位体比を示した。ワンド1は水理計算から本川とほとんど接続する事のない水域であるが、ドジョウ科魚類の炭素安定同位体比からもワンド1が本川から独立した生態系だったと考えられた。

ワンド3とワンド4ではドジョウ科魚類の炭素安定同位体比の値に有意な違いは検出されなかった。ワンド3, 4での値は、河川由来の有機物に近い-19 ‰付近から陸上植物と河川由来の有機物の寄与が同程度と考えられる-22 ‰程度まで幅広く分布していた。これはワンド3とワンド4は湧水の小流で常に接続されており、本川との接続が保たれて魚類の移動が可能であったためと考えられた。

ワンド2のドジョウ科魚類の炭素安定同位体比の範囲 (-29.3 - -21.2 ‰) は主要な有機物源が陸上植物であり河川由来の寄与を僅かに受けていたことを示す。これはワンド2が平水時では孤立しているが、本川と年数回程度の接続があるとする水理計算と一致する。

このようにドジョウ科魚類の炭素安定同位体比は水域の本川からの孤立性を反映し、水域の接続頻度を示すトレーサーとして有効であることが示された。

(2) 止水域の産卵・生育場としての機能の検討

フナ属魚類は出水時に氾濫原など一時的に形成される水域において水面付近の植物に産卵を行うことが知られ⁷⁾、7月上旬の出水時にはワンド2とワンド3がフナ属魚類の産卵場となっていた可能性がある。ワンド2の7月と8月のフナ属魚類の炭素安定同位体比はその他の調査地の値と大きく異なり、非常に低く狭い範囲に集まっていた

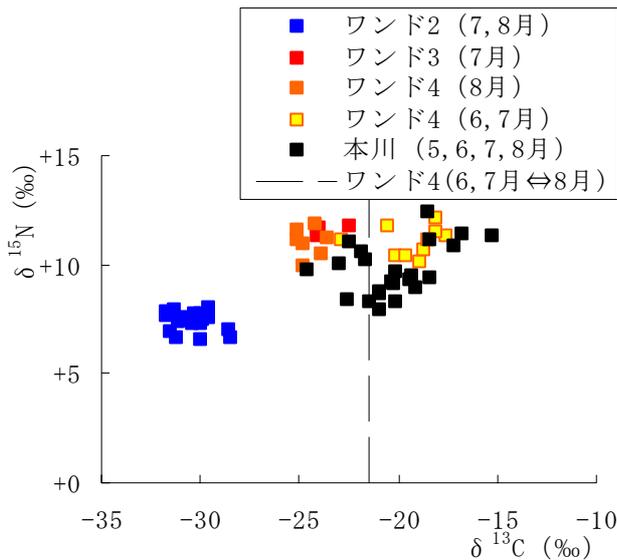


図-3 フナ属魚類の炭素と窒素の安定同位体比
“ワンド4 (6, 7月↔8月)” は判別分析によるワンド4の6, 7月とワンド4の8月との境界値 (-21.5 ‰) を示す。

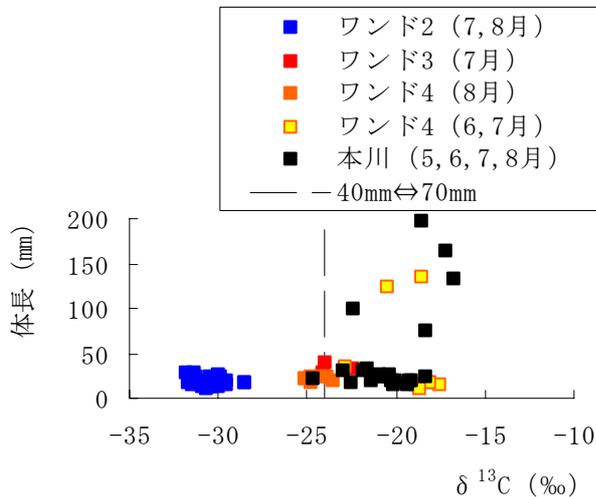


図-4 フナ属魚類の体長と炭素安定同位体比の関係
“40mm↔70mm” は判別分析による本川の体長が40mm以下の個体と70mm以上の個体の境界値 (-24.0 ‰) を示す。

(-30.4 ± 0.9 ‰, $n=21$) (図-3) . これは、出水後 (7, 8月) に採捕されたワンド2のフナ属魚類が非常に均一な炭素安定同位体比をもつ有機物を餌としていたことを示し、その餌がワンド3, 4, 本川と全く異なっていたことも示している。これらのフナ属魚類の体長が12-29 mmと小さいこと、ワンド2においてフナ属魚類は出水前 (5, 6月) に採捕されなかったこと、7月上旬の出水でワンド2は本川と接続したと考えられることから、出水時にワンド2で産卵されたフナ属魚類が他の水域から隔離されたまま生長していたと考えられた。

ワンド4におけるフナ属魚類の炭素安定同位体比の判別分析によって、6, 7月と8月ではワンド4に生息していたフナ属魚類は過去の餌が異なっていたことが示された (図-3) . ワンド3の7月とワンド4の8月のフナ属魚類の

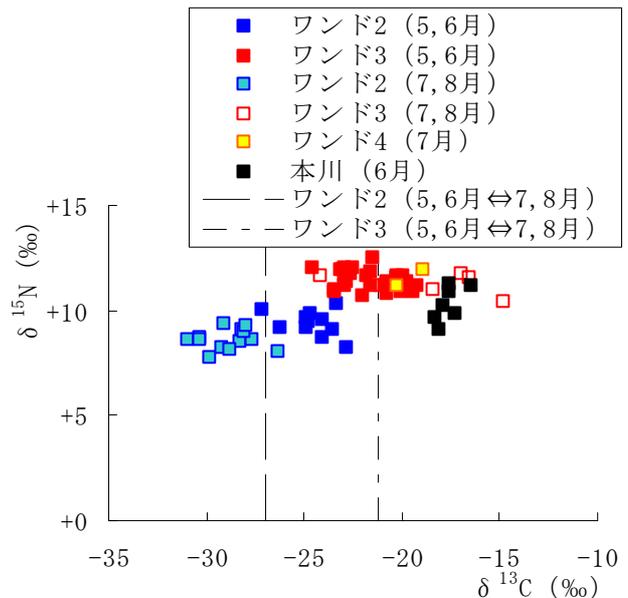


図-5 オイカワの炭素と窒素の安定同位体比
“ワンド2 (5, 6月↔7, 8月)” は判別分析によるワンド2の5, 6月と7, 8月の個体の境界値 (-26.9 ‰) を示し, “ワンド3 (5, 6月↔7, 8月)” は判別分析によるワンド2の5, 6月と7, 8月の個体の境界値 (-21.2 ‰) を示す。

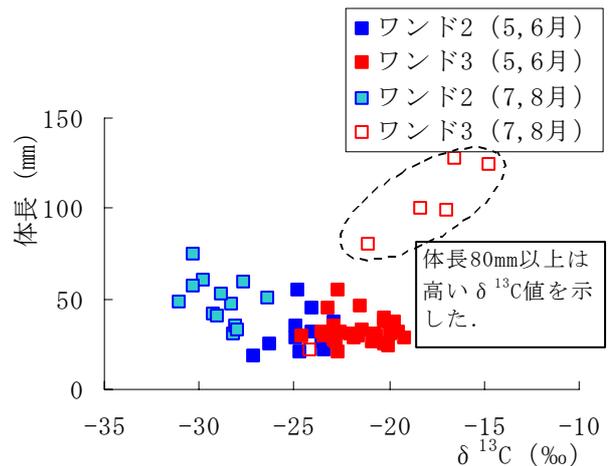


図-6 オイカワの体長と炭素安定同位体比の関係

炭素安定同位体比は概ね一致していた (ワンド3の7月; -23.7 ± 0.7 ‰, $n=4$, ワンド4の8月; -24.5 ± 0.4 ‰, $n=7$) . 出水の無い比較的短期間においてワンド3とワンド4の間を小型のフナ属魚類が移動した可能性を示唆し、小さな湧水の流れでも小型の魚類の移動には有効であったと考えられた。これはドジョウ科魚類においてワンド3とワンド4の値が分類できなかったこととも一致していた。

フナ属魚類を体長で40 mm以下と70 mm以上で分けて炭素安定同位体比を比較した (図-4) . 70 mm以上のフナ属魚類は本川とワンド4で採捕されているが、比較的高い値を示した ($-22.5 - -16.8$ ‰) . 70mm以上の大型のフナ属魚類は本川や本川と常に接続している水域に生息していたと考えられた。一方、本川で採捕された40mm以

下のフナ属魚類の炭素安定同位体比は幅広く分布していた (-24.7 - -18.4 ‰) ことから、多様な生息環境で生育した小型のフナ属魚類が本川に集まっていたと考えられた。

(3) 止水域の避難場としての機能の検討

7月上旬の出水の前後でワンド2とワンド3の2ヶ所におけるオイカワの炭素安定同位体比を比較した。出水前の5, 6月に比べて出水後の7, 8月は、ワンド2のオイカワの炭素安定同位体比が低下していた (図-5)。しかしワンド2において、出水前 (5, 6月) のオイカワとドジョウ科魚類の炭素安定同位体比はほぼ一致し (オイカワ, -24.6 ± 1.2 ‰, $n=11$; ドジョウ, -24.1 ± 2.1 ‰, $n=6$)、出水後 (7, 8月) もオイカワとドジョウ科魚類の値はほぼ一致していた (オイカワ, -28.9 ± 1.3 ‰, $n=13$; ドジョウ, -27.9 ± 1.4 ‰, $n=11$)。そのため、ワンド2には出水によって本川と接続しても新たなオイカワの個体が本川などから供給されず、オイカワは遊泳力の低いドジョウ科魚類と共に孤立し続けたと考えられた。

ワンド3では出水後に体長80 mmを越える大きなオイカワが採捕され、その炭素安定同位体比は出水前とは異なっていた (図-6)。これら出水後にワンド3に出現した80 mm以上のオイカワは本川のオイカワの値と一致し、出水時に本川から移入してきたと考えられた。

オイカワは7月上旬の出水によってワンド2には移入しなかったがワンド3には移入していたことが明らかになった。オイカワはフナ属魚類と異なり、出水時に産卵行動をとる性質は知られておらず、出水時の行動は避難のみと考えられ、ワンド3はこれら大型のオイカワによって出水時の避難場として利用されていたと考えられた。

5. 結論

本研究による魚類の炭素安定同位体比を用いた解析によって以下のことが明らかになった。

移動能力の低い底生魚であるドジョウ科魚類の炭素安定同位体比は、その生息場の有機物源の違いを反映していた。その結果、河道周囲の止水域と本川の接続頻度を反映するトレーサーとして用いることができることが示された。水域の孤立性が水生生物に反映される事は、その生息場を特定するだけでなく、水域が変動する河川において水生生物による水域の利用行動を明らかにする研究につながり、河川周囲の止水域の持つ生態的機能について考察することができた。

フナ属魚類について着目した結果、河道周囲の止水域がフナ属魚類の産卵場として利用されている事を確認し、水深10cm程度の湧水の小流でも止水域が接続していたこ

とによって小型魚類の移動が可能だったことが示唆された。河道周囲の止水域はフナ属魚類の再生産と多様性に重要な役割を果たしていることが証明された。

出水前後の止水域におけるオイカワの比較から、このような止水域が本川に生息する魚類の出水時における避難場として利用されていたことが明らかになった。

謝辞：国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所の職員及び更埴漁業共同組合の組合員の皆様には調査の際に様々な面で便宜を図っていただいた。 (株)建設環境研究所の山下慎吾氏には魚類の生態について、(株)復建調査設計の竹下邦明氏には魚類の同定について、(株)環境研究センターの一宮孝博氏には炭素安定同位体比の測定において多大なご尽力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Halyk, L.C., and Balon, E.K.; Structure and ecological production of the fish taxocene of a small floodplain system, *Canadian Journal of Zoology*, Vol.61, pp.2446-2464, 1983.
- 2) 和田英太郎：安定同位体は何を語るか、遺伝, Vol. 47, pp10-14, 1993.
- 3) 高津文人・河口洋一・布川雅典・中村太士：炭素、窒素安定同位体自然存在比による河川環境の評価, 応用生態工学, Vol. 7, pp201-213, 2005.
- 4) 南川政男：安定同位体比による水圏生態系構造の解明, 水環境学会誌, Vol. 20, pp296-300, 1997.
- 5) 沖野外輝夫：千曲川集水域および水域の概要, 千曲川の総合研究-鼠橋地区を中心として-, pp5-13, 2001.
- 6) 土木学会水理委員会編：水理公式集, 河川編, 丸善, 1999.
- 7) 川那部浩哉・水野信彦：日本の淡水魚, 山と溪谷社, 1982.
- 8) Bosley, K.L., Witting, D.A., Chambers, R.C., and Wainright, S.C.: Estimating turnover rates of carbon and nitrogen in recently metamorphosed winter flounder *Pseudopleuronectes americanus* with stable isotopes, *Marine ecology progress series*, Vol.236, pp.233-240, 2002.
- 9) 坂野博之：淡水魚2種における安定同位体回転率と濃縮係数, 日本魚類学会年会講演要旨, pp79, 2005.
- 10) Akamatsu, F., Toda, H. and Okino, T.: Food source of riparian spiders analyzed by using stable isotope ratios, *Ecological Research*, Vol.19, pp.655-662, 2004.
- 11) 対馬孝治・天野邦彦・傳田正利・時岡利和・福永八千代・平林公男：安定同位体比を用いた千曲川における流域土地利用特性と河川生態系の変化, 日本陸水学会第70回大会講演要旨集, pp79, 2005.
- 12) Boutton T.W.: Stable carbon isotope ratios of natural materials: II. Atmospheric, terrestrial, marine, and freshwater environments. In: *Carbon Isotope Techniques*, Coleman D.C. and Fry, B. eds., Academic Press, San Diego, California, pp.173-186, 1991.