

ダム下流の河川生態系への有機物供給に関する研究

STUDY ON THE PARTICULATE ORGANIC MATTER SUPPLY TO RIVER ECOSYSTEM IN THE DOWNSTREAM OF A DAM

対馬孝治¹・天野邦彦²・傳田正利³・時岡利和³

Kouji TSUSHIMA, Kunihiko AMANO, Masatoshi DENDA, and Toshikazu TOKIOKA

¹正会員 博(農) 独立行政法人土木研究所(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
(現所属 独立行政法人産業技術総合研究所(〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1))

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

The purpose of this study is to estimate the influence of Kawamata Dam on river ecosystem in the downstream sites. Stable isotope ratios of carbon and nitrogen were determined for nitrate, particulate organic matter (POM), periphyton, aquatic insects and fishes in research rivers and Kawamata Dam of our study area.

Survey results showed that organic matter discharged from the dam influenced food web at the downstream site. It was suggested that POM produced in the dam reservoir attached on the riverbed of the dam downstream. Therefore, POM that originated in the dam reservoir supplied nitrogen to the aquatic insects and fishes in the downstream sites. The influence of nitrogen supply on the river ecosystem continued to 2 km downstream.

Key Words : River ecosystem, Stable isotope ratio, Kawamata Dam, The river continuum concept

1. はじめに

河川は流域の物質を集めながら下流に運ぶため、河川の生態系や物質循環は連続性を有することが大きな特徴である。河川連続体仮説¹⁾は河川の連続性を説明する概念として広く知られている。河川連続体仮説によると、河川においては源流から河口までの物理条件の連続的变化に対応して生物群集が分布し、有機物の供給・利用・貯蔵・運搬が行われる²⁾。

陸上植物の落葉落枝などは生産性の低い上流の河川生態系にとって重要な有機物源である。このような上流域に建設されたダムは河川の連続性を遮断し、陸域から流入する陸上植物由来の有機物を捕捉するため、生態系に大きな影響を及ぼすと指摘されている³⁾。しかし植生の豊富な上流においては、ダムによって有機物の運搬が止められたとしてもダムのすぐ下流で落葉落枝の河川への供給が盛んであることで、その影響は比較的小さくなることも予想されることからその影響は単純に評価できない。

有機物の運搬について見た場合、ダムはこのように落葉落枝などの輸送に影響を与えう一方、ダム湖で増殖

したプランクトンによって生産された有機物を下流河川に供給するという形での影響も持ちうる。ダム湖由来のプランクトンは落葉落枝と質的に異なることが予測され、ダム下流の生物相を大きく変化させうることも指摘されている^{4), 5)}。ただし上流域では一般的に栄養塩濃度が低くダム湖の生産性が低いいため、ダム下流への有機物の供給は少ないとも予測される。

以上のような想定から、上流域において陸上植物由来の有機物とダム湖のプランクトン由来の有機物によるダム下流の河川生態系への寄与を比較することは、ダムが河川生態系に与える影響を解明するための重要な知見を与えるだろう。

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、生態系を循環する物質の起源を推定する手段として近年盛んに研究が進められている。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^{6), 7), 8)}、生物の安定同位体比を知ることで、生育場の特性や餌の起源を解明することが期待できる。

本研究では鬼怒川の上流域に位置する川俣ダムにおい

て、安定同位体分析を通してダムが下流の河川生態系の物質循環に与えている影響を解明することを目的とした。

2. 研究方法

(1) 調査地の概要

川俣ダムは日光国立公園内の栃木県塩谷郡栗山村に位置する鬼怒川上流域のダムの一つで、上流に貯水を目的としたダムを持たない。1966年3月竣工、流域面積179.4 km²を持ち、湛水面積2.6 km²、有効貯水容量 7.3×10^7 m³、堤高117 mのダムである。調査は川俣ダムの上下流の河川7地点とダム湖で行った(図-1,2)。調査地点St.1はダム湖の2 km上流でダム湖の水位に影響されない流入河川の地点である。St.2,3,5,6,7はダム下流の河川に位置し、ダム放流口からそれぞれ0.4, 1.4, 1.8, 1.9, 4.9 km離れている。St.4はSt.3とSt.5の間で合流する支流(大事沢)に位置した。ダム湖ではダム堤体付近の湖水を採取した。

調査は2005年7月5~7日, 8月16~17日, 9月13~14日, 10月19~20日, 2006年9月9日の日程で5回行われた。2005年の4回の調査ではダム湖を除くSt.1~7で, 2006年9月はダム湖とSt.1~5で調査を行った。

(2) 試料採取と測定方法

河川水の採取は河川の流心部で行った。採水後は冷蔵で速やかに実験室に運搬した。試料水は400 mlで2時間加熱して有機物を除去したガラス繊維フィルター(Whatman, GF/C; 平均孔径1.2 μm)でろ過し, 試料は30 mlで保存した。

硝酸態窒素の濃度はろ過した試料水について比色法⁹⁾による計測を行うBran Luebbe社のAACS-IIIを用いて測定した。また硝酸態窒素の安定同位体比測定のため, ろ過試料水について硝酸態窒素を精製した¹⁰⁾。

懸濁物特性は, 河川水のろ過によって得られたフィルター上の残渣を試料として計測した。懸濁物濃度はフィルター上の懸濁物を110 mlで2日間乾燥させ, ろ過試料水あたりの乾燥重量として求めた。乾燥後のフィルター上の懸濁物は無機態炭素を除去するために塩酸処理し, フィルターごと粉砕して安定同位体比測定の試料とした。

付着物は河床の平らな礫面からブラシを用いて5 cm四方を捕集した。捕集した付着物は, 予め400 mlで2時間加熱したガラス繊維フィルター(Whatman, GF/C)を用いて捕捉した。フィルター上の付着物は60 mlで2日以上乾燥させ, 面積あたりの乾重量を測定した。乾重量測定後の付着物は, フィルターごと粉砕して安定同位体比測定の試料とした。

水生昆虫はエレクトリックフィッシャー(スミスルート, Model LR-24; 出力電圧500~900 V, 標準出力電流約4A)を用いて, 河床から流下した個体を捕集した。

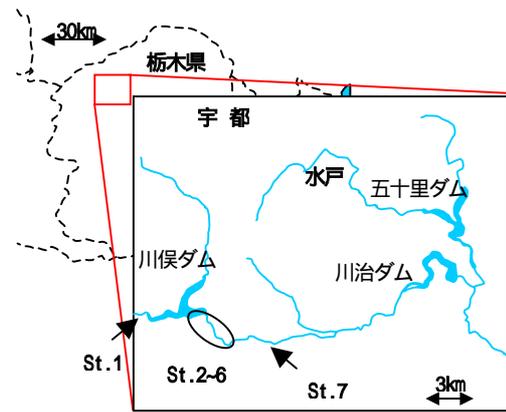


図-1 川俣ダムの位置と調査区間

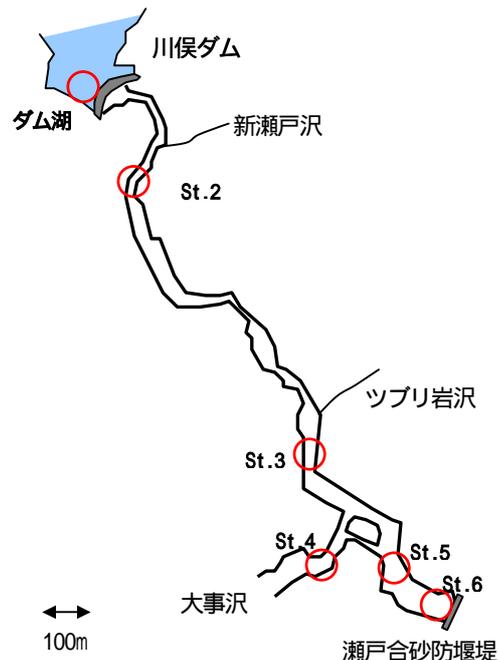


図-2 調査区間(St.2~6)の拡大図

2006年9月の調査では河床の礫から直接捕集した。採取した水生昆虫は冷蔵で持ち帰り, 実験室では冷凍(-30℃)で保存した。解凍後に水生昆虫の消化管を含まない部位について, 各調査回別に種ごと数匹ずつ集めた。作成した試料は60 mlで一晩乾燥後に粉砕し, 安定同位体比の測定に用いた。水生昆虫の安定同位体比は, 比較的多く採取されて測定に必要な量が得られたエルモンヒラタカゲロウ(*Epeorus latifolium*)を対象とした。

魚類の採捕は2005年9月と10月の調査で行い, エレクトリックフィッシャー(スミスルート社製, Model LR-24, 出力電圧500~900 V, 標準出力電流約4A)で10分通電して行った。捕獲した魚類は冷蔵で持ち帰り, 実験室では冷凍(-30℃)で保存した。種同定と標準体長, 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, 直ちに各個体の筋肉組織を切り出して60 mlで2日間以上乾燥し, 一個体を一試料として粉砕した試料を安定同位体比の測定に用いた。ただし, 湿重量5g以下の小さい個体は頭部と消化管を含む腹部を除いて試料

表-1 硝酸態窒素，懸濁物，付着物の測定結果（平均値±標準偏差）

	ダム上流	ダム湖	ダム直下流	ダム下流	支流	ダム下流		
	St.1		St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
NO ₃ -N								
濃度 (mgN/L)	0.21 ± 0.03	0.14	0.20 ± 0.03	0.23 ± 0.03	0.38 ± 0.07	0.32 ± 0.04	0.31 ± 0.03	0.34 ± 0.04
δ ¹⁵ N (‰)	-0.8 ± 1.7	-0.8	-1.9 ± 0.3	-1.6 ± 0.6	-1.9 ± 0.2	-1.7 ± 0.5	-1.7 ± 0.7	-2.1 ± 0.8
懸濁物								
濃度 (mg/L)	1.3 ± 0.5	1.6	2.1 ± 1.4	0.8 ± 0.6	2.1 ± 1.6	1.6 ± 0.7	1.8 ± 1.7	1.2 ± 0.5
δ ¹⁵ N (‰)	+0.9 ± 0.9	+1.0	+2.6 ± 1.6	+1.4 ± 1.3	+0.6 ± 2.9	-0.0 ± 1.8	+2.2 ± 2.5	+1.7 ± 2.2
δ ¹³ C (‰)	-25.5 ± 1.2	-25.8	-28.1 ± 1.9	-26.1 ± 1.7	-26.6 ± 3.3	-26.4 ± 2.2	-24.9 ± 0.6	-24.3 ± 0.4
C/N (mole)	12.2 ± 1.5	8.8	8.5 ± 1.3	8.4 ± 4.1	10.8 ± 3.0	10.2 ± 2.8	8.3 ± 0.9	8.9 ± 0.7
付着物								
乾重 (mg/cm ²)	1.0 ± 0.6	-	3.7 ± 3.0	1.5 ± 1.4	1.1 ± 0.8	0.9 ± 0.6	0.5 ± 0.1	2.2 ± 3.0
δ ¹⁵ N (‰)	-1.3 ± 0.8	-	+1.7 ± 1.3	-2.7 ± 1.0	-2.0 ± 0.6	-1.8 ± 1.5	-1.9 ± 1.0	-1.2 ± 2.5
δ ¹³ C (‰)	-20.2 ± 4.3	-	-22.0 ± 1.9	-25.2 ± 2.3	-26.7 ± 1.1	-27.2 ± 0.6	-26.6 ± 0.3	-24.0 ± 5.1
C/N (mole)	5.8 ± 0.5	-	7.4 ± 0.8	6.7 ± 0.9	6.7 ± 1.3	5.9 ± 1.0	6.1 ± 0.2	6.0 ± 0.5

とした。魚類の安定同位体比は各地点の魚種（ニッコウイワナ：*Salvelinus leucomaenis f. pluvius*，ヤマメ：*Salmo (Oncorhynchus) masou masou*，カジカ（大卵型）：*Cottus pollux*）について，7尾以上捕獲された場合は体長の大きい1個体3尾と小さい1個体3尾を選んで測定を行った。

炭素及び窒素の安定同位体比（¹³C，¹⁵N）は元素分析計（Thermo Electoron 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 Electoron 社製，Delta Plus XL）を用いて測定した。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（‰）で示し，測定誤差は0.2‰であった。安定同位体比の測定と並行して前処理装置の元素分析計によって炭素と窒素の含量とそれらの比（C/N比）も測定した。

3. 結果

(1) 硝酸態窒素，懸濁物，付着物の濃度と安定同位体比

硝酸態窒素，懸濁物，付着物について，ほとんどの地点で調査ごとの各測定値に差は小さく，それぞれの標準偏差は小さかった（表-1）。調査時期が限定されていることも踏まえ，特に差が見られた場合などを除き，調査時期の差は考慮しなかった。

調査地の硝酸態窒素濃度は低かった（表-1）。調査期間で明確な変化は認められず，ダム下流では僅かに高濃度で，ダム湖では最も低い濃度だった。硝酸態窒素は安定同位体比も低く，調査期間では変化が小さかった。ダム上流のSt.1で2回やや高いことがあったが，-2‰程度に保たれて調査地の差も小さかった。

懸濁物濃度は4 mg/L程度が3回測定されたが，ほとんどの試料で2 mg/L以下と低かった（表-1）。懸濁物の窒素安定同位体比はダム直下流のSt.2で高かった。ダム湖の試料が得られた2006年9月ではダム湖とダム直下流のSt.2は共に+1.0‰で一致していた。ダム湖とSt.2では懸濁物の窒素安定同位体比が一致し，両地点の間に窒素の

負荷が考えにくいことから，両地点の懸濁物の窒素源はほぼ一致していると考えられる。ダム下流のSt.5~7と支流のSt.4で2005年9月に高い値（+2.8~+5.6‰）が見られたが，その他の時期ではダム下流のSt.5~7ではダム湖やSt.2よりも低く，流下距離に伴って低下していた。懸濁物の炭素安定同位体比はダム湖とSt.2で比較的 low，ダム上流のSt.1やダム下流（St.5~7）では高い傾向が見られた。懸濁物のC/N比はダム上流のSt.1及びSt.4で比較的高く，ダム湖とSt.2では低かった。

付着物の乾重量はSt.2では高かったが，その他ではほとんどが2 mg/cm²未満と低かった（表-1）。付着物の窒素安定同位体比はSt.2で高かった。St.4~7では-1‰以下と低く，St.1はそれよりもやや高かった。付着物の窒素安定同位体比も懸濁物と似て2005年9月にダム下流で比較的高い値（-0.8~+2.5‰）が見られた。付着物の炭素安定同位体比は，ダム湖上流のSt.1で-25‰から-16‰と大きく変化していたが他では変化が小さく，ダム直下流のSt.2で高く，St.4~7では低かった。

(2) 水生昆虫の安定同位体比

エルモンヒラタカゲロウの窒素安定同位体比はダム直下流のSt.2で最も高い値を示し，ダムから遠ざかるにつれて，St.3，5，6，7の順に低くなっていた。支流のSt.4では最も低い値を示した。炭素安定同位体比は，ダム上流のSt.1で最も高く，St.2では低く変動が小さかった。St.3以降のSt.5~7は下流ほど高い値を示した。

(3) 魚類の安定同位体比

魚類の総捕獲数は2005年9月で58尾（イワナ20尾，カジカ38尾），2005年10月で120尾（イワナ52尾，ヤマメ6尾，ウグイ*Leuciscus (Tribolodon) hakonensis*5尾，カジカ57尾）で，安定同位体比を測定した魚類試料数はイワナ52尾，ヤマメ6尾，カジカ48尾だった。イワナとヤマメの主な餌は流下する水生や陸生の昆虫類等であり，カジカは底生の水生昆虫や甲殻類等とされている¹¹⁾。イワナとヤマメの安定同位体比の値に差は見られなかったためイワナとヤマメは区別せず考察に用いた。

表-2 水生昆虫の測定結果 (平均値±標準偏差)

	ダム上流	ダム直下流	ダム下流	支流	ダム下流		
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
エルモンヒラタカゲロウ (<i>Epeorus latifolium</i>)							
試料数 (n)	19	9	10	17	18	20	11
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	-0.6 ± 0.7	+5.1 ± 1.4	-1.4 ± 1.3	-4.7 ± 1.1	-2.0 ± 1.1	-2.7 ± 0.7	-3.3 ± 0.7
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	-17.9 ± 1.7	-26.9 ± 1.9	-27.8 ± 1.1	-29.4 ± 4.1	-26.6 ± 2.0	-25.7 ± 2.2	-23.0 ± 2.8
C/N (mole)	4.8 ± 0.3	5.2 ± 0.8	4.8 ± 0.4	5.0 ± 0.5	5.1 ± 0.7	5.2 ± 0.8	5.3 ± 1.2

表-3 魚類の測定結果 (平均値±標準偏差)

	ダム上流	ダム直下流	ダム下流	支流	ダム下流		
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
イワナ・ヤマメ (<i>Salvelinus leucomaenis f. pluvius</i> , <i>Salmo (Oncorhynchus) masou masou</i>)							
試料数 (n)	6	5	11	12	9	7	8
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	+5.4 ± 1.8	+7.1 ± 0.8	+4.1 ± 1.3	+2.2 ± 1.2	+2.8 ± 0.9	+2.1 ± 0.5	+2.0 ± 0.7
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	-20.0 ± 4.1	-23.7 ± 0.7	-20.4 ± 0.8	-22.3 ± 1.0	-22.8 ± 0.9	-22.7 ± 1.0	-19.0 ± 1.1
C/N (mole)	3.8 ± 0.1	3.8 ± 0.4	3.8 ± 0.2	4.2 ± 0.5	4.5 ± 0.7	4.1 ± 0.3	4.2 ± 0.4
カジカ (<i>Cottus pollux</i>)							
試料数 (n)	14	0	8	0	9	4	13
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	+3.7 ± 0.9		+4.0 ± 0.3		+1.7 ± 0.5	+1.5 ± 0.9	+1.0 ± 0.6
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	-15.9 ± 1.0		-20.2 ± 1.1		-23.6 ± 1.0	-23.1 ± 2.7	-19.8 ± 1.3
C/N (mole)	4.2 ± 0.5		4.3 ± 0.6		5.0 ± 0.7	5.0 ± 0.4	4.6 ± 0.7

ダム直下流のSt.2ではイワナ・ヤマメの窒素安定同位体比は最も高かった。St.2から下流でダムから遠ざかるほどイワナ・ヤマメの窒素安定同位体比は低下していた。支流のSt.4では低い値を示した。炭素安定同位体比はSt.2で最も低い範囲を示した。St.4~6では値の範囲に大きな違いは見られず、ほぼ-24~-21‰の範囲だった。

ダム上流のSt.1では炭素と窒素の安定同位体比の組み合わせにより2つのグループに分類できた。すなわち窒素安定同位体比が低く(+4.0~+4.7‰)、炭素安定同位体比が高い(-18.1~-16.8‰)個体群と、窒素安定同位体比が高く(+6.7‰と+8.4‰)、炭素安定同位体比が低い(-25.0‰, -25.6‰)個体群である。前者はSt.1のカジカの安定同位体比とほぼ一致し、後者はSt.2のイワナ・ヤマメとほぼ一致していた。

平均値から見るとカジカの炭素と窒素の安定同位体比はイワナ・ヤマメの値より1‰低いか一致した範囲だった。また、カジカとイワナ・ヤマメは体長の増加に伴って窒素安定同位体比が増加する傾向が見られた。その傾向は魚種で差が見られず、線形回帰によって近似でき、調査地点ごとの相関係数(r)はSt.6を除き0.80-0.94と高かった。これらの魚種は調査地で得られた有機物を摂取して成長したことを示している。なお、本研究の調査地では漁協等による成魚放流は行われていないことが確認されている。

4. 考察

(1) ダム下流の付着物の窒素源

St.2とSt.3では流況に大きな違いがない上にSt.2とSt.3を含む区間は河床材料が粗粒化し、材料の移動がほとんどない¹²⁾と考えられるため、両地点における付着物

の剥離についてはほぼ同様の条件と考えられる。それにも関わらず、St.2はSt.3よりも付着物の乾重量が多く、窒素安定同位体比は高い。このことはSt.2の付着物の生成過程や構成要素がSt.3と異なることを示唆している。他のダム下流(St.5~7)の付着物の値はSt.3と類似していた(図-3)。

付着物は河床で生育した付着藻類と流下懸濁物が付着したもの等からなると考えられる。ダム下流における付着物は、大きく分けて河床で生育している付着藻類、ダム湖から流下する有機物(植物プランクトン)、陸上植物から供給される有機物の3種類からなると考えられる。河床の付着藻類は硝酸態窒素を窒素源として一次生産を行うため、その生育期間に取り込んだ硝酸態窒素の窒素安定同位体比の平均的な値を示すことが知られている¹³⁾。硝酸態窒素は全調査地点で-2‰前後と低かった。しかしSt.2の付着物の窒素安定同位体比は硝酸態窒素よりも高い値を示しており、これらの知見と一致しない。St.2はダム直下流の渓谷で付着藻類にとって光条件が劣っており、St.2では付着藻類は付着物の主要な窒素の構成要素ではなかったと考えられる。

St.2の懸濁物の窒素安定同位体比は高く、付着物と窒素安定同位体比の分布が近かった(図-4)。懸濁物は付着物の上に堆積・吸着されることで、高い窒素安定同位体比の窒素分を付着物の表面に供給することが可能である。2006年9月の調査では懸濁物の窒素安定同位体比は他の4回の調査よりも全体的に2‰程度低かったが、ダム湖とSt.2の懸濁物の窒素安定同位体比は最も高い値の+1.0‰で一致していた。St.2の懸濁物の窒素はダム湖由来の有機物を起源とすることが示唆される。ダム直下流のSt.2への有機物の供給では、付着藻類由来と陸上植物由来が少なく、ダム湖由来が多いと考えられ、そのためSt.2の付着物の主要な窒素源はダム湖由来の有機物であ

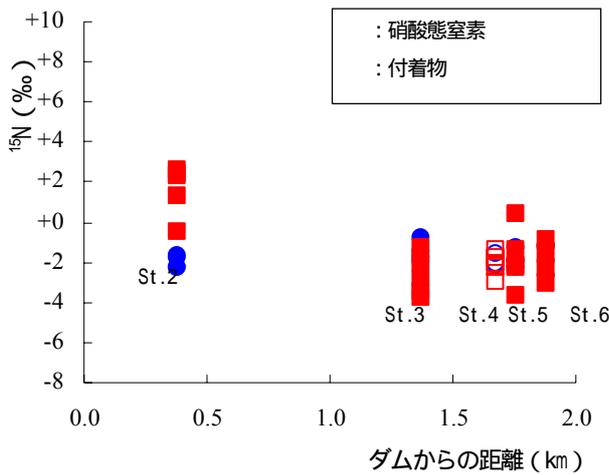


図-3 硝酸態窒素と付着物の窒素安定同位体比のダムから下流2kmの変化（支流のSt.4は白抜きで表示した）

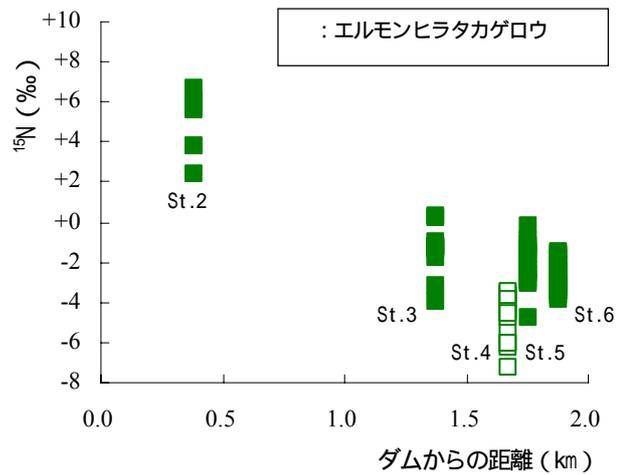


図-5 水生昆虫の窒素安定同位体比のダムから下流2kmの変化（支流のSt.4は白抜きで表示した）

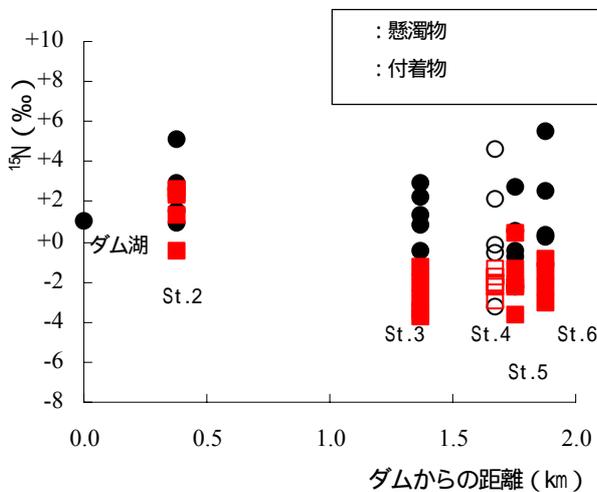


図-4 懸濁物と付着物の窒素安定同位体比のダムから下流2kmの変化（支流のSt.4は白抜きで表示した）

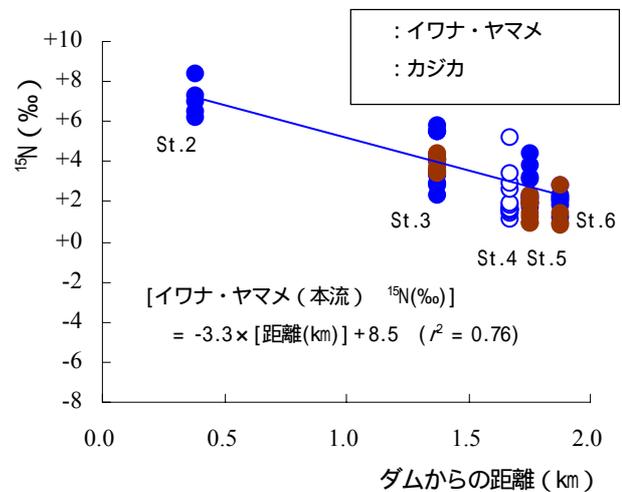


図-6 魚類の窒素安定同位体比のダムから下流2kmの変化（支流のSt.4は白抜きで表示した）

と考えられた。St.2で付着物の窒素源の多くがダム湖由来の有機物であるとすると、St.2からおよそ1 km下流のSt.3ではダム湖由来の有機物の供給量が少なくなっていたと考えられる。実際にSt.3では懸濁物濃度はSt.2の約半分であり、窒素安定同位体比も1‰程度低減していた。St.2の付着物にダム湖由来の有機物が窒素源として寄与していることは、硝酸態窒素が低濃度で窒素源として貧弱であるにもかかわらずSt.2だけで付着物の乾重量が多いことを支持する。

他にダム直下流の付着物の窒素安定同位体比が高い原因として、付着物が厚く堆積していたため付着物内部で脱窒が起こり、脱窒によって付着物の窒素安定同位体比が高くなったことも考えられる。しかし脱窒は窒素安定同位体比を高めると同時に硝酸態窒素を消費するため、付着物の窒素量が減少するはずであるが、St.2の付着物のC/N比は脱窒が盛んに起こっていたことを支持するほど高くなかったため、この仮説は棄却される。

ダムから離れた地点（St.5,6）では付着物量は少なく、窒素安定同位体比は低下していた。これらの地点の懸濁

物濃度が低いことから、陸上植物由来の有機物の供給は僅かには増加していたと考えられるが、ダム湖由来の有機物の供給が大きく減少していたことが示唆される。付着藻類の生産性は硝酸態窒素が低濃度で貧栄養であるため小さいと考えられるが、これらダムから離れた地点では付着物と硝酸態窒素の窒素安定同位体比が近いこと、付着藻類の窒素安定同位体比が付着物のそれに反映していたと考えられる。

(2) ダム下流の水生昆虫の窒素源

エルモンヒラタカゲロウの窒素安定同位体比はダムに近い地点ほど高かった（図-5）。エルモンヒラタカゲロウの窒素安定同位体比は付着物よりも高く、その差はダムに近い地点ほど高くなっていた。

エルモンヒラタカゲロウは一般的には付着藻類を摂食する（グレイザー）水生昆虫とされている¹⁴⁾。生物の窒素安定同位体比は餌の値よりも3～4‰高いことが経験的に知られているため、エルモンヒラタカゲロウの窒素安定同位体比は付着物の値を反映すると考えられる。しか

し前節で論じたように、本研究で試料とした付着物は付着藻類の他に、陸上植物由来とダム湖由来の有機物の供給を受けている生物群集の総体である。

エルモンヒラタカゲロウが付着物の中でその窒素源として利用した有機物は、ダム直下流では窒素安定同位体比が高かったと考えられる。前節で議論したようにその高い窒素安定同位体比の窒素源はダム湖由来の有機物であった。St.2の付着物の窒素はダム湖由来の有機物の寄与が大きく、一次消費者への餌資源としての利用性が高かったと考えられた。そのためSt.2の付着物とエルモンヒラタカゲロウの窒素安定同位体比の差は、経験的な捕食-被捕食の差と一致する3.6‰だったと考えられる。

St.5,6のエルモンヒラタカゲロウの窒素安定同位体比は、対照地点である支流のSt.4や下流のSt.7(-3.3±0.7‰)と近い値に低下していた。ダム下流2 kmの範囲(St.2~6)ではエルモンヒラタカゲロウの窒素安定同位体比は採取地点のダムからの距離(km)に対して速やかに低下していた(図-4)。エルモンヒラタカゲロウの窒素安定同位体比は主に付着物の構成要素の変化によって低下したと考えられ、ダム湖由来の有機物による影響はSt.5,6では大きく減少していたと考えられる。

(3) ダム下流の魚類の窒素源

イワナ・ヤマメの窒素安定同位体比は採取地点の距離(km)に対して直線的に低下していた(図-6)。St.6ではSt.4やSt.7と同程度(およそ+2‰)に低下していた。エルモンヒラタカゲロウとイワナ・ヤマメの窒素安定同位体比の差は、ダム直下流で小さかった。イワナとヤマメは水生昆虫が主要な餌であるが、窒素安定同位体比はエルモンヒラタカゲロウより一律3~4‰高くならなかった。ダム直下流では付着物量と懸濁物濃度が高いため、イワナやヤマメに捕食されるエルモンヒラタカゲロウ以外の水生生物も豊富だったと考えられる。またこれらの魚種は水生昆虫より行動範囲が広く、広範囲で獲得した多用な餌資源の平均値を示すと考えられる。そのためダムからの距離に伴うイワナ・ヤマメの窒素安定同位体比の低下はエルモンヒラタカゲロウよりも緩やかだったと考えられた。

5. 結論

鬼怒川上流部の川俣ダムにおいて、ダム湖由来の有機物によってダムが下流の河川生態系に与える影響を検討した。川俣ダムの流域では硝酸態窒素と懸濁物の濃度が低いこと水系の一次生産が低かったと考えられる。このためダム湖由来の有機物が直下流の河川生態系の窒素源として特に大きな影響を与え、水生昆虫はダム湖由来の有機物に窒素源として依存していたと考えられた。魚類の餌もダム直下流では変化していた。ダム湖由来の有機

物によって、ダム下流の河川の窒素循環は変化していたことが明らかになった。

謝辞：国土交通省関東地方整備局鬼怒川ダム統合管理事務所川俣ダム管理支所の皆様には調査の際に便宜を図っていただいた。復建調査設計の竹下邦明氏と環境研究センターの一宮孝博氏には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) Vannote, R. L., Minshall G. W., Cummins K. W., Sedell J. R. and Cushing C. E.: The river continuum concept, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, Vol.37, pp.130-137, 1980.
- 2) 香川尚徳：河川連続体で不連続の原因となるダム貯水による水質変化, 応用生態工学, Vol.2, No.2, pp.141-151, 1999.
- 3) 谷田一三・竹門康弘：ダムが河川の底生動物に与える影響, 応用生態工学, Vol.2, No.2, pp.153-164, 1999.
- 4) 古谷八重子：吉野川における造網性トビケラ流程分布と密度の年次変化, 特にオオシマトビケラ(昆虫, 毛翅目)の生息域拡大と密度増加について, 陸水学雑誌, Vol.59, pp.429-441, 1998.
- 5) Akopian, M., Garnier, J. and Pourriot, R.: A large reservoir as a source of zooplankton for the river: structure of the populations and influence of fish predation, *Journal of Plankton Research*, Vol.21, pp.285-297, 1999.
- 6) 和田英太郎：安定同位体は何を語るか, 遺伝, Vol.47, pp.10-14, 1993.
- 7) 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, pp.201-213, 2005.
- 8) 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, pp.296-300, 1997.
- 9) Wood, E.D., Armstrong, F.A. and Richards, F.A.: Determination of nitrite in seawater by cadmium-copper reduction to nitrate, *Journal of Marine Biology Association U.K.*, Vol.47, pp.23-31, 1967.
- 10) Sakata, M.: A Simple and rapid method for ¹⁵N determination of ammonium and nitrate in water samples, *Geochemical Journal*, Vol.35, pp.271-275, 2001.
- 11) 川那部浩哉・水野信彦：日本の淡水魚, 山と溪谷社, 1982.
- 12) 時岡利和・傳田正利・天野邦彦：過去の空中写真を利用したダム下流河床変動および粗粒化の把握, 河川技術論文集, No.12, pp.235-240, 2006.
- 13) 戸田任重：付着藻類の窒素安定同位体比から河川の汚染源を探る, 水, Vol.45, pp.1-6, 2000.
- 14) Toda, H., Uemura, Y., Okino, T., Kawanishi, T. and Kawashima, H.: Use of nitrogen stable isotope ratio of periphyton for monitoring nitrogen sources in a river system, *Water Science and Technology*, Vol.46, pp.431-435, 2002.
- 15) リバーフロント整備センター：川の生物, 山海堂, 1996.

(2006.9.30受付)