

筑後川上流(大山川)における維持流量変化が 河川環境に与える影響に関する現地観測

FIELD SURVEYS OF EFFECTS OF THE MAINTENANCE FLOW DISCHARGE
CHANGE ON RIVER ENVIRONMENT IN THE OHYAMA RIVER

矢野真一郎¹・齋藤正徳²・井芹寧³・河口洋一⁴

島谷幸宏⁵・緒方健⁶・山崎正敏⁶・清野聡子⁷

Shinichiro YANO, Masanori SAITO, Yasushi ISERI, Youichi KAWAGUCHI
Yukihiro SIMATANI, Takeshi OGATA, Masatoshi YAMAZAKI, Satoko SEINO

¹正会員 工博 九州大学大学院助教授 工学研究院環境都市部門(〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

²学生会員 工修 九州大学大学院 工学府海洋システム工学専攻(同上)

³正会員 工博 西日本技術開発株式会社 環境部(〒810-0004 福岡市中央区渡辺通1-1-1)

⁴正会員 工博 九州大学大学院助手 工学研究院環境都市部門(〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

⁵フェロー 工博 九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門(同上)

⁶福岡県保健環境研究所 環境科学部(〒818-0135 太宰府市向佐野39)

⁷正会員 工博 東京大学大学院 総合文化研究科助手 (〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1)

The maintenance flow discharge of the Ohyama River, which is located in the upper Chikugo River, had been restricted to 1.5m³/s by a hydroelectric dam. To improve the river environment, the river administrator has changed the maintenance flow discharge to 4.5m³/s in summer and to 1.8m³/s in winter. In this study, we aim at proposing an optimal control of the maintenance flow discharge for the river environment. Firstly, we carried out field surveys before and after reducing the river discharge in order to figure out effects on hydraulic conditions and attached algae. The results of the surveys show that hydraulic conditions become worse for ayu (*plecoglossus altivelis*) and attached algae. Also, there is a tendency to stagnate at the pool when the maintenance flow discharge decreases. Secondly, because it was reported that the length of ayu became larger than before changing the maintenance flow discharge, we attempted to analyze carbon and nitrogen stable isotope ratio of ayu and attached algae. We confirmed an obvious difference in food web structure between natural and cultured ayu.

Key words : maintenance flow discharge, hydraulic condition, attached algae, ayu, stable isotope ratio

1. 序論

ダム直下の河川上流域では一般的に河床構成材料の粗粒化¹⁾が見られる。また、流量の減少や安定化による底生動物や魚類などの生物生息場への影響^{2), 3)}が懸念されている。このような状況を踏まえ、河川維持流量の増量やフラッシュ放流の試行が幾つかのダムで行われ、フラッシュ放流が付着藻類や底生動物へ与える影響の評価⁴⁾や魚類の生息に適したダム放流量の検討⁵⁾などの研究や調査が実施されてきた。

本研究の対象領域である九州北部地方を流域に持つ筑後川上流の通称大山川(図-1)では、ダム下流の流況改善を目的として、維持流量の増量が行われている。かつての大山川では、体長30cm超のいわゆる尺アユが多数生息しており、「ひびきアユ」と呼ばれ大

山川のシンボルとなっていた。また、山間の渓谷を流れ、平常流量が20m³/s程度の、水量豊かな溪流河川を形作っていた。しかし、1973年に洪水調節と発電を目的とした松原ダムが完成し、松原ダムならびに大山川ダム直下の維持流量は0m³/sとなった。その後、ダム下流における流水の正常な機能の維持を目的として、1983年に松原・下釜ダムの発電専用容量の運用を変更することによって、松原ダム直下で0.5m³/s、大山川ダム直下で1.5m³/sの維持流量が確保されてきた。

その一方で、「尺アユが捕れない」、「水音が聞こえない」という声が地元住民から上がり、「豊かできれいな水をよび戻そう」を標語として掲げて、市民アンケートや市民決起集会など、維持流量増加に関する様々な市民運動が大山川流域の市町村で展開された⁶⁾。

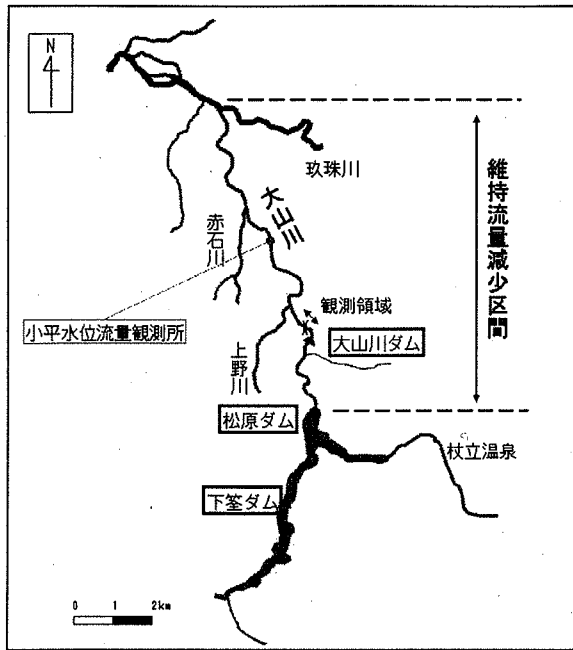


図-1 大山川と観測領域

このような経過を経て、河川環境の改善を目的として、2002年度より大山川ダムの発電用取水量を調整することで、大山川への維持流量を通年 $1.5\text{m}^3/\text{s}$ から夏季(3月下旬～9月) $4.5\text{m}^3/\text{s}$ 、冬季(10月～3月中旬) $1.8\text{m}^3/\text{s}$ に増加させることになった。

維持流量の増加や、夏季と冬季の維持流量変動が河川環境に及ぼす影響を評価・検討することを目的として、筑後川上流河川環境特性検討会が組織され、2002年から2003年にかけて大山川の総合的な調査研究が行われた。得られた知見⁷⁾の一つとして、生態系の下位に位置する付着藻類・底生動物等の生息・生育場、ならびに景観、流水音等の地域環境については、流量増加による改善効果があることが分かった。また、大山川のシンボルである「ひびきアユ」を代表とする魚類の生態系については、明確な結論は得られなかった。一方で、「流量増加により、アユの体長が著しく大きくなった」という報告が地元漁協などからあり、魚類に対する維持流量増加の効果は不明確なままである。

本研究グループでは、上述の調査結果を踏まえ、物理調査、藻類調査、生物調査、ならびに地域環境調査を行うことで、維持流量の増量や変動が当該水域の物理的状況や生態系に及ぼす影響などを時空間的に評価し、大山川流域の地域環境やアユをはじめとする生物の生息環境に対して最適な維持流量を設定することを目的とした総合的調査を2005年に開始した。

まず、流量変動が河川環境に与える影響を把握するために2005年10月初旬(10月3日)の維持流量減量の前後で物理調査および藻類調査を実施した。

また、前述の通り流量増加によりアユの体長が増大し、尺アユが増えたという報告があるが、大山川では

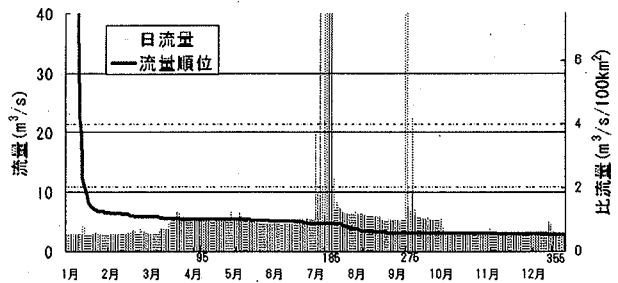


図-2 2005年の小平地点における流況

養殖アユが放流された可能性もあることから、流量増加による生息環境の変化と天然アユの体長変化との関連性は実証されていなかった。そこで、養殖と天然のアユや餌となる付着藻類について炭素・窒素安定同位体比を調べ、アユの生息環境による違いや食物網についての把握を試みた。

2. 維持流量変化が河川環境に与える影響

(1) 調査対象領域について

本研究で対象としている大山川は、図-1に示す松原ダムから玖珠川に合流するまでの流路延長15kmの区間であり、上野川や赤石川などの支川が合流している。小平水位観測所における2005年の流況(図-2)より、大山川ダムの放流量調整により3月10日から20日にかけて徐々に流量が上昇し、9月末まで維持流量は $4.5\text{m}^3/\text{s}$ (比流量： $0.88\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$)に保たれていた。また、梅雨と台風による出水時以外は上流のダム群により流量が制御され、自然流況とは異なる流況パターンを示している。

(2) 物理調査

a) 物理調査概要

流量変化による流況等の変化を把握するために、2005年10月3日の放流量減少の前後で流動観測を行った。大山川ダムとの間に他の支川からの流入がないことから流量変化の影響を評価しやすいと思われるため、大山川ダム下流約700mに位置している金掘橋付近の早瀬、淵、平瀬(図-3)を観測地点として選んだ。これらの観測地点において、 $4.5\text{m}^3/\text{s}$ 放流時(2005年9月15, 27, 28日)、および $1.8\text{m}^3/\text{s}$ 放流時(2005年10月19, 20日, 11月24日)に流動観測を行い、同時に水深や水面幅も測定した。

図-3に示す早瀬の測線、および平瀬最下流の一測線では電磁流速計(㈱東邦電探TK-105DH型、ならびにアレック電子㈱ACM100-D)を用い、横断方向に1m間隔で、水深60cm未満の地点では6割水深(1点法)、水深60cm以上の地点では2割、8割水深(2点法)で、断面直交成分の流速を計測した。

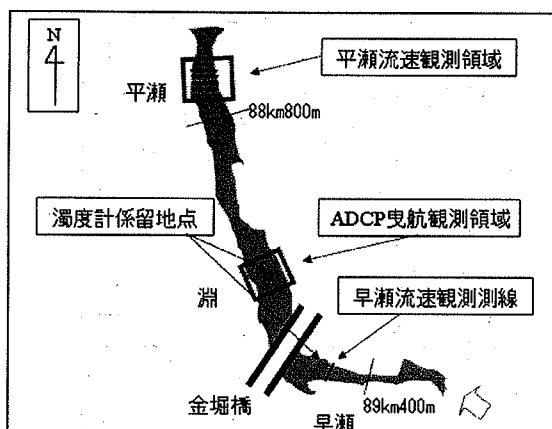


図-3 各観測の観測地点

また、平瀬においては、石礫等の頂部から約2cmの位置で主流方向成分の流速(以下、底層流速とする)も計測した。淵では超音波ドップラー流速計(以下、ADCP)(WorkhorseADCP 1200kHz, RD-Instruments社製)を小型アルミボートの船首に取り付け、流軸方向に5m間隔で設定した6本の測線について曳航観測を行った。

さらに、2005年9月27日～10月20日の期間に、図-3に示す淵(全水深7m)の中央付近の表層(水面下約0.3m)と底層(水面下約6m)、さらに早瀬(全水深0.7m)の右岸側(水面下約0.3m)に、クロロフィル濁度計(COMPACT-CLW, アレック電子社製)を係留し、水温、濁度、クロロフィルaの連続測定を行った。

b) 物理調査結果

流量変化前後でのそれぞれの観測場所における水面幅B、断面平均水深H、断面平均流速Vとそれらの減少率($\Delta V/V$, $\Delta B/B$, $\Delta H/H$)を表-1に示す。水深と水面幅の減少率に関しては、淵<平瀬<早瀬の順に大きくなった。一方、流速の減少率に関してはすべての場所で水深と水面幅の減少率よりも大きく、早瀬<平瀬<淵の順に大きくなった。これより、淵においては流量減少の影響が水面幅や水深よりも流速に対して非常に敏感に現れることが分かる。

次に、早瀬、淵、平瀬の流動構造に関する検討結果を以下に示す。まず、早瀬に関して、流動観測測線の横断面図、ならびに流量4.5m³/s時と1.8m³/s時の水深平均流速の横断分布を図-4に示す。流心部(右岸から7m～15m)と比較して左岸側(右岸から17m～37m)の水深が浅い領域では流速が大きく減少していることがわかる。現地の状況は、左岸側でヨシが生茂っており、体長が小さい稚魚にとって重要なハビタットとなる。この領域は流心部と比較して、流量減少の影響を受けやすい構造があった。

淵に関して、流量4.5m³/s時と1.8m³/s時のADCP観測により得られた代表的な横断面における断面直交成分の流速分布を図-5に示す。放流量4.5m³/sの場合では反時計回りの水平渦構造が明確に見られる。一方、

表-1 流量変化前後でのB, H, Vと減少率

		早瀬	平瀬	淵
放流量 (4.5m ³ /s)	断面平均流速V ₁ (m/s)	0.56	0.23	0.035
	断面平均水深H ₁ (m)	0.28	0.63	4.94
	水面幅B ₁ (m)	31	36	27
放流量 (1.8m ³ /s)	断面平均流速V ₂ (m/s)	0.31	0.11	0.014
	断面平均水深H ₂ (m)	0.22	0.49	4.72
	水面幅B ₂ (m)	23	29	26
減少率	$\Delta V/V_1$	0.45	0.52	0.60
	$\Delta H/H_1$	0.26	0.22	0.04
	$\Delta B/B_1$	0.22	0.19	0.05

(Δ :放流量4.5m³/s時と放流量1.8m³/s時の差)

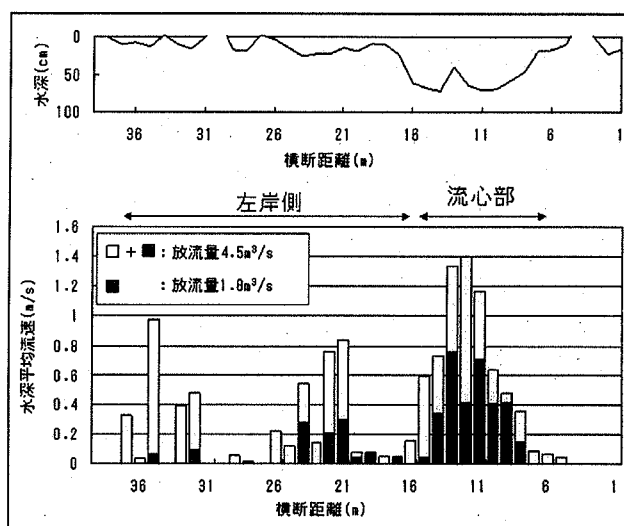


図-4 早瀬における水深平均流速の横断分布
(上:断面形状、下:水深平均流速の横断分布)

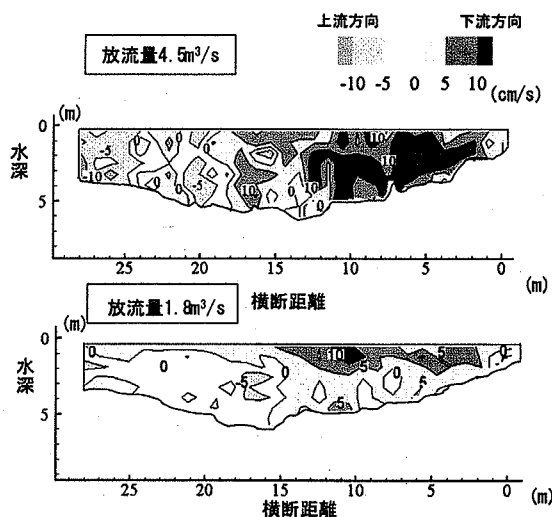


図-5 淵における断面直交成分の流速分布
(上:放流量4.5m³/s、下:放流量1.8m³/s)

流量が1.8m³/sに減少すると渦構造は弱まり、流速も全体的に低下し、さらに下流方向の流れが表層に偏っていることがわかる。

次に、流量4.5 m³/s時(10月1日)と1.8 m³/s時(10月9日)について淵中央の表層と底層、ならびに上流の早瀬における水温日変化を図-6に示す。なお、他の日においても流量に対する変動は同様の変化を示して

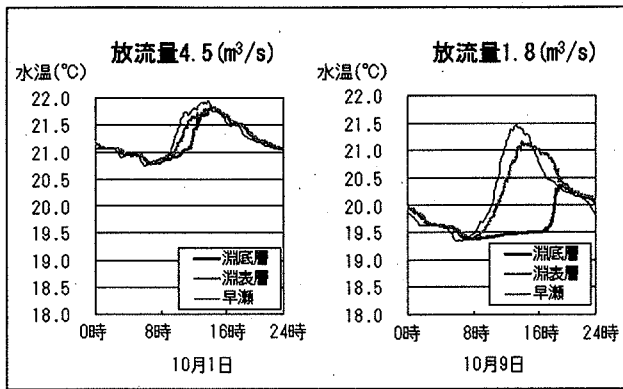


図-6 淵の表層と底層および早瀬における水温の日変化

いた。4.5 m³/s時は一日を通して淵の表層と底層で水温差がほとんど生じていないのに対し、1.8 m³/s時は日中に淵の表層と底層で水温差が生じていた。4.5 m³/s時は表層と底層の水が混合しやすいが、1.8 m³/s時の日中は混合が弱く二層化が生じ、淵の底層において停滞傾向が強くなると思われる。

また、1.8 m³/s時に17時以降に生じる淵底層の水温上昇については、以下の現象が推定される。日中は、淵の表層よりその上流の早瀬において水温が高いことから、淵に流入する河川水は密度差から淵の表層部分を通過する。気温が低下する時間帯になると、水深による熱容量の違いから淵に比べて早瀬で冷却が早く起こり、早瀬から流下してきた河川水が淵の中間層(水面下約4m)に流入し、それによって二層化が弱まり鉛直混合が促進され、最終的に均一化していると考えられる。

最後に、平瀬における底層流速の観測結果について説明する。流量変化前後における底層流速の頻度分布を百分率で表示したものを表-2に示す。流量4.5 m³/sの場合は0～0.5 m/sの幅で流速が確認されたのに対し、1.8 m³/sの場合は0～0.25 m/sと流速帯が狭くなっており、半分以上で底層流速は0.1 m/sを下回った。大山川において2003年9月から10月に行われた調査では、アユのみ跡は底層流速0.1～0.7 m/sの場所で多く確認されたとの報告がなされている⁷⁾。これと照らし合わせると、流量が1.8 m³/sに減少すると、この平瀬ではアユの餌場としては好ましくない状況になることが予想される。

以上をまとめると、流量が減少した場合には、アユの餌場として重要な早瀬や平瀬では水面積が減少し、早瀬の水際部や淵では流速が大きく減少する。さらに、淵の底層においては水温成層により河川水の停滞傾向が強まり、底質環境の悪化を招くことも危惧される。よって、流量減少が各河川構造に対して生物生息場として好ましくない状況を生み出したことから、今回実施された維持流量増加は生物生息場に対して改善効果をもたらしていることが期待される。

表-2 平瀬における底層流速の頻度分布

底層流速(m/s)	放流量	
	4.5(m ³ /s)	1.8(m ³ /s)
0～0.05	9	33
0.05～0.10	4	21
0.10～0.15	15	13
0.15～0.20	13	25
0.20～0.25	15	8
0.25～0.30	11	
0.30～0.35	7	
0.35～0.40	17	
0.40～0.45	2	
0.45～0.50	7	

(%)

(3) 付着藻類調査

石礫上の一次生産の大部分を占める珪藻類は、生態系食物連鎖網の上位群であるアユなどの藻食性の魚類や、水生昆虫などに影響を及ぼしていると考えられる。これを踏まえ、維持流量変化が付着藻類に与える影響を把握するために、流量4.5 m³/s(2005年9月28日)と1.8 m³/s時(2005年11月24日)に藻類調査を行った。

調査地点は図-3に示す平瀬の流心部分とした。調査地点で石礫を1つ取り、上面に5cm×5cmのコドラートを設置し、付着物をナイロンブラシと蒸留水を用いてこすり取り、直ちにホルマリンで固定した。その後、試験室に持ち帰り、試料を250mLの蒸留水で希釈・攪拌を行った後、そのうちの0.1mLを罫線入り計数板に分取し、位相差顕微鏡を用いて付着藻類の計数と同定を行った。なお、それぞれの藻類調査日から前2週間、出水はなく流況は安定していた(図-2)。

河川付着藻類の主要出現種と属レベルの組成、ならびに多様度指数を表-3に示す。なお、多様度指数の算出にはShannon Wiener Indexの式⁸⁾を使用した。この多様度指数は種類数と固体数の両方を加味して算出しており、環境評価指標の一つとして一般的に用いられている。まず、流量が4.5 m³/sから1.8 m³/sに減少するに伴い総細胞数は2690→3504 cells/mm²となり増加し、現存量は流量減少により増加が認められた。一方、日本の代表的藍藻類である*Homoeothrix janthina*は流量4.5 m³/s時には出現が確認されたが、1.8 m³/s時には認められなかった。また、ダム貯水池を起源とした*Aulacoseira*属、*Fragilaria*属が多く出現していた。これは、大山川ダムには上流の松原ダムの維持・発電放流水が流入していることから、松原ダム湖中で増殖した浮遊性藻類の影響を受けていると考えられる。多様度指数に関しては、流量が減少するに伴い2.51→2.18と減少していた。

以上より、調査結果には季節的な影響が含まれているが、流量減少により多様度指数の低下や付着藻類相の変化が確認された。

表-3 河川付着藻類調査結果

流心部	(cells/mm ²)	
	9月28日	11月25日
放流量(m ³ /s)	4.5	1.8
採取地点の底層流速(cm/s)	126	59
採取地点の水深(cm)	85	61
出現藻類と細胞数(N _i)		
<i>Homoethrix janthina</i> (f)	40	
<i>Oscillatoria</i> spp.(f)	20	
<i>Achnanthes crenulata</i>	6	4
<i>Achnanthes</i> spp.	123	880
<i>Aulacoseira granulata</i>	80	180
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	220	300
<i>Aulacoseira japonica</i>	180	60
<i>Aulacoseira</i> spp.	20	20
<i>Cocconeis placentula</i>	440	160
<i>Cymatopleura solea</i>	8	5
<i>Cymbella turgidula</i>	380	50
<i>Cymbella</i> sp.(大型大量発生 <i>tumida</i>)		60
<i>Cymbella</i> spp.	40	30
<i>Diatoma vulgare</i>		20
<i>Eunotia</i> spp.	15	
<i>Fragilaria crotonensis</i>	25	
<i>Fragilaria construens</i>	5	5
<i>Gamphonema parvulum</i>	105	85
<i>Gamphonema sphaeropharum</i>	15	15
<i>Gyrosigma</i> sp. + <i>Freurosigma</i> sp.		5
<i>Navicula</i> spp. + <i>Neidium</i> spp.	443	1000
<i>Nitzschia</i> spp.	229	267
<i>Melosira varians</i>	220	200
<i>Rhacisphenia curvata</i>	10	20
<i>Suriella robusta</i>	1	
<i>Suriella</i> spp.	2	
<i>Synedra acus</i>	2	
<i>Synedra ulna</i>	4	5
<i>Synedra</i> spp.	57	133
総細胞数(N)	2690	3504
種数	26	22
多様度指数 ($H' = -\sum \frac{N_i}{N} \ln \frac{N_i}{N}$)	2.51	2.18

* f: フィラメント

表-4 測定に用いたアユの体長と湿重量

平均値	Fork length(cm)	Total length(cm)	weight(g)
天然アユ	24.2	25.3	175.9
養殖アユ	21.1	22.3	104.9

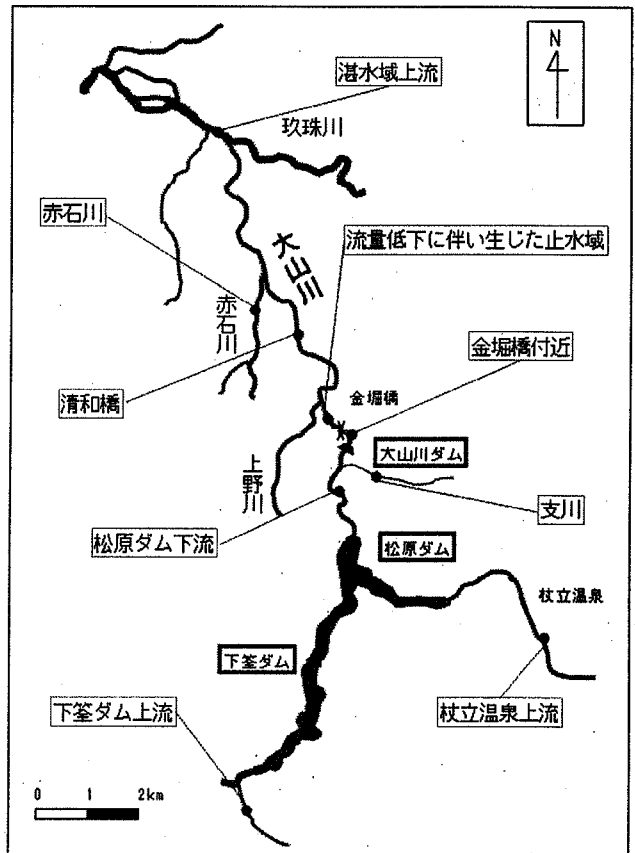


図-7 測定に用いた付着藻類の調査地点

3. 天然と養殖のアユの生息環境による違いや

アユと付着藻類の食物網について

(1) 概要

元来、大山川では体長の大きな尺アユが数多く生息していたが、発電用取水に伴う維持流量の減少以降、アユの体長の縮小や数の減少等が確認されていた。一方、2002年の維持流量増加によりアユの体長が一挙に増大し、尺アユが急増したと報告されている。しかしながら、維持流量増加により大山川の付着藻類量の増加や流速と水表面積の増大は確認されているが、生息環境の変化と天然アユの体長変化との関連性は実証されていない。

その関連性を検証するための手始めとして、養殖アユ、天然アユ、ならびに大山川の付着藻類について炭素・窒素安定同位体比を調べた。生物の炭素・窒素安定同位体比は、濃縮などにより餌の値に対して一定の関係を持つことが経験的に知られている⁹⁾。すなわち、生物の安定同位体比は食物連鎖により生育場の特性を反映することから、餌の起源や食物網を推定する研究に利用されている¹⁰⁾。本研究では、炭素・窒素安定同位体比を測定し、天然アユと養殖アユの生息環境による違いやアユと付着藻類の食物網についての把握を試

みた。

(2) 測定試料

測定試料としたアユについては、2005年10月25日に現地漁協より購入した大山川産天然アユ4尾、養殖アユ4尾の胸ビレの筋肉を切り取り、60℃で2日間以上乾燥させたものをサンプルとした。測定に用いたアユの体長と湿重量を表-4に示す。

次に、付着藻類については、図-7に示す地点において、採取された。金堀橋付近では、2005年10月25日に早瀬、平瀬、淵においてランダムに石礫上の付着物を計9サンプル採取し、それ以外の地点では2005年11月25日～27日にかけて流心部の石礫上の付着物を計9サンプル採取し、それぞれのサンプルをソーティングした後に60℃で2日間以上乾燥させた。そして、安定同位体比質量分析計(ANCA-SL, PDZ Europa社製)を使用し、各サンプルの炭素・窒素安定同位体比を測定した。なお、安定同位体比の表記は一般的な方法に基づき、国際標準物質(炭素:PDB, 窒素:大気中の窒素ガス)からの千分偏差(‰)とした。

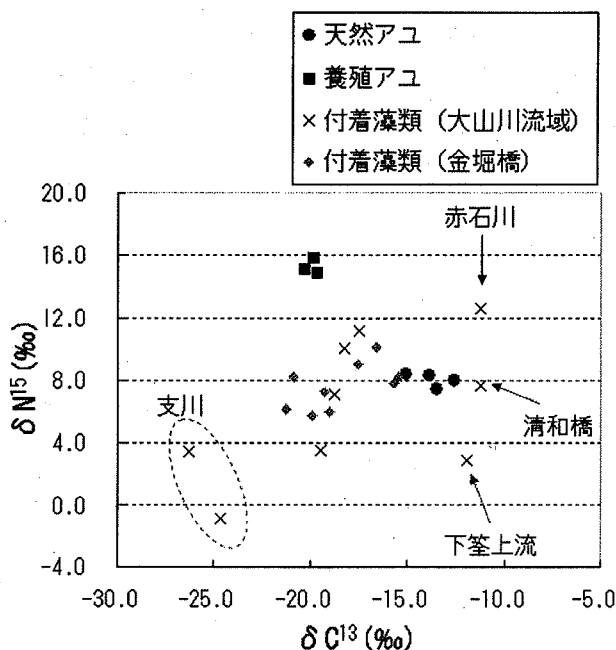


図-8 アユと付着藻類の炭素・窒素安定同位体比

(3) 測定結果

アユと付着藻類の炭素・窒素安定同位体比を図-8に示す。まず、アユに関しては天然アユと養殖アユとの間に有意な差があり、生息環境による違いを確認できた。次に、付着藻類についてはサンプル間にかなりばらつきがあった。また、金堀橋付近のサンプルから分かるように、同じ地点においても多少のばらつきがある。さらに、支川、下笠ダム上流、ならびに赤石川については、金堀橋付近と安定同位体比が異なる傾向を示していた。これは同時期に行われた水質調査結果¹¹⁾から各水域の水質の違いによるものと考えられるが、今後調査を重ねることで詳細を把握する必要がある。

最後に、付着藻類とアユの関連性については、断定はできないものの、清和橋や金堀橋付近のいくつかのサンプルが天然アユと近い値を示したことから、天然アユは大山川の付着藻類と同じ食物網に含まれていると考えられる。

4. 結論

筑後川上流の大山川における維持流量変化による河川環境の変化、ならびにアユと付着藻類の食物網について以下のような知見が得られた。

(1) 流量が減少した場合に、早瀬や平瀬では水面積が減少し、早瀬の水際部や淵では流速が大きく減少したことから、流量減少は生物生息場に好ましくない状況を与える。よって、維持流量増加は生物生息場の改善効果をもたらしたと期待される。

(2) 藻類調査により、流量が減少した場合に、多様性指数の低下や付着藻類相の変化が確認された。

(3) 炭素・窒素安定同位体比測定により、天然アユ

と養殖アユとの間に有意な差があり、天然アユは大山川の付着藻類と同じ食物網に含まれていた。

これまで、ダム直下の流量が減少した河川において、流量増加による河川環境の改善効果についての調査事例があるが、流量増加に対して、物理環境や、生態系の下位に位置している藻類から上位に位置している魚類を含む生態系に与える影響や、その相互作用を評価している研究事例は少なかった。本研究では、今後も、調査地点や調査項目を増やしていき、維持流量変化が付着藻類やアユの生育に与える影響を時空間的に評価し、大山川の河川環境に対して適切な維持流量の設定基準を提案していく予定である。

謝辞：本研究は(財)河川環境管理財団のH17年度河川整備基金助成事業「維持流量の弾力的運用による河川環境の保全・改善効果(研究代表者：矢野真一郎)」により実施された。国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所には、本研究の参考資料を頂戴した。安定同位体比測定については、愛媛大学沿岸環境科学研究センター環境影響評価予測分野COE研究員の宮坂仁先生や同研究室の皆様にも多大なる協力を頂いた。アユの入手にあたっては、日田漁業協同組合の江藤英二専務理事にご協力いただいた。また、九州大学工学府環境流体力学研究室の修士2年石川泰助君をはじめ学生諸氏にも観測作業にご協力いただいた。ここに記し謝意を表する。

参考文献

- 1) 辻本哲郎：ダムが河川の物理的環境に与える影響-河川工学及び水理学的視点から-、応用生態工学, Vol. 2, No. 2, pp. 103-112, 1999.
- 2) 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.
- 3) 森誠一：ダム構造物と魚類の生活, 応用生態工学, Vol. 2, No. 2, pp. 165-177, 1999.
- 4) 皆川朋子, 清水高男, 島谷幸宏：流量変動が生物に及ぼす影響に関する実験的検討, 河川技術に関する論文集, 第6巻, pp. 191-196, 2000.
- 5) 両角和重, 三野直人, 赤石沢則男：魚(特にアユ)の生息にとって好ましいダム放流変動に関する調査, ダム技術, No. 154, pp. 44-52, 1999.
- 6) 清野聡子, 小松利光, 足利由紀子, 安倍元子：筑後川上流大山川ダムの流量増加にいたる地域住民の自然認識の変遷, 第32回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 331-336, 2004.
- 7) 国土交通省筑後川河川事務所：筑後川上流河川環境特性検討会報告書, 2004.
- 8) 伊藤嘉昭, 佐藤一憲：種の多様性比較のための指数の問題点, 生物科学, 第53巻, 第4号, pp. 204-220, 2002.
- 9) 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. 17, No. 2, pp. 201-213, 2005.
- 10) 山田佳裕, 吉岡崇仁：水域生態系における安定同位体解析, 日本生態学会誌, 49, pp. 39-45, 1999.
- 11) 齋藤正徳, 矢野真一郎ら：筑後川上流大山川における維持流量減少区間の水質構造に関する現地観測, 平成17年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, II-53, pp. 289-290, 2006.

(2006. 4. 6受付)