

河川におけるダムの有無と石面付着物の強熱減量との関係 ——矢作川，豊川，宇連川での事例研究——

Relationship between presence of dam and Ash Free Dry Weight (AFDW) content of epilithic materials in rivers: Case studies carried out in Yahagigawa, Toyogawa and Uregawa Rivers in Mikawa region of Aichi Prefecture, Japan

野崎健太郎

Kentaro NOZAKI

要 約

洪水調節ダムが設置された矢作川の中流部，および隣接する水系でダムの無い豊川上流部，ダムのある宇連川上流部において河床の石面付着物の乾燥重量と強熱減量の季節変化を調べた。矢作川の乾燥重量(平均値±標準偏差)は $56.4 \pm 44.1 \text{ g m}^{-2}$ ，豊川は $22.6 \pm 14.0 \text{ g m}^{-2}$ ，宇連川は $33.0 \pm 23.3 \text{ g m}^{-2}$ であった。矢作川の強熱減量(平均値±標準偏差)は $28.0 \pm 20.5 \text{ g m}^{-2}$ ，豊川は $13.5 \pm 8.4 \text{ g m}^{-2}$ ，宇連川は $16.3 \pm 10.2 \text{ g m}^{-2}$ であった。矢作川の強熱減量の割合(平均値)は53%，豊川は60%，宇連川は51%であった。乾燥重量と強熱減量の季節変化は，夏期に低下し，冬期に高くなる傾向を示した。強熱減量の割合は，矢作川では，夏期に緩やかに上昇する傾向が見られるが，豊川と宇連川は，変動が大きく明確な季節変化を確認できなかった。乾燥重量と強熱減量との関係を直線近似すると，それぞれの傾きが，矢作川で0.441，豊川で0.568，宇連川で0.384となった。これは，洪水調節ダムの無い豊川では，ダムのある矢作川と宇連川に比べて，乾燥重量に占める有機物の割合が高いことを示唆している。付着物を従属栄養生物の資源として見た場合，有機物含量，すなわち強熱減量の高い付着物は，質が高いと評価できる。したがって，今回の結果は，洪水調節ダムの無い豊川の付着物は，ダムのある矢作川と宇連川のそれらに比べ，質が高い可能性を示している。

キーワード：矢作川，豊川，宇連川，ダム，石面付着物，乾燥重量，強熱減量

背景と目的

河床の石面付着物 (epilithic materials) は，細菌や付着藻を中心に，微細な無機物，有機物，原生動物を含んだ膜状 (bio-film) あるいは層状 (bio-mat) の構造物である。その現存量は，乾燥重量 (Dry Weight)，強熱減量 (Ash Free Dry Weight)，クロロフィル a 量 (Chlorophyll a)，粒状炭素量 (Particulate Carbon) 等で示され，基礎生産者の付着藻を多く含むことから，その現存量は，河川の栄養度の指標になり得る。これらの中で，強熱減量は，分析操作が簡便な上，付着藻に留まらず，有機物量全体の指標となるため，現在でも広く用いられている (例えば Peric et al., 2015)。さらに，強熱減量とクロロフィル a 量を組み合わせた AI (Autotrophic Index : $AI = AFDW \text{ mg m}^{-2} \div \text{Chlorophyll } a \text{ mg m}^{-2}$) は，付着物の質を検討する指標として用いられている (Yamada and Nakamura, 2002 ; Steinman et al., 2006)。

付着物は，厚みが増すと，その内部が自己遮光による

光不足 (Nozaki, 1999)，そして嫌気的な環境になり，分解が進むために自然に剥離し更新される (相崎, 1980)。実験的な検討の結果では，付着物は，微小な単細胞の藻類で形成された群落の場合，クロロフィル a 量が $150 \sim 200 \text{ mg Chl. } a \text{ m}^{-2}$ に達すると (相崎, 1980 ; Nozaki, 1999)，群落下部の光強度は，表面の1%になり，光合成の補償点以下になり剥離しやすくなると考えられる。ただし，一般的には，ここまで付着物が蓄積する前に，出水による物理的かく乱で付着物は剥離，更新される。しかしながら洪水調節ダムが設置された河川では，出水が減少するため，付着物の現存量が増加しやすくなり，河川景観の悪化が引き起こされる。そこでフラッシュ放流といった人為的な出水を行い，付着物現存量を制御する試みが実践されている (浅見ほか, 2017)。

これまでに，洪水調節ダムが設置された河川と設置されていない河川とを比べ，付着物の質が，どのように異なるかを，季節的に検討した事例は見当たらない。そこで，本研究は，洪水調節ダムが設置された矢作川と，そ

れに隣接した水系でダムが設置されていない豊川、そして豊川水系でダムが設置された宇連川において、強熱減量を指標として、洪水調節ダムの設置の有無が、石面付着物の質に及ぼす影響を検討した。

方 法

調査地

調査地の位置関係とそれぞれの河川形状は、図1に、地理情報は表1に示した。矢作川と豊川(宇連川を含む)は、愛知県三河地方を代表する2つの1級河川であり、三河高原をはさみ隣接した水系となっている(図1A)。豊川は地質帯の境界である中央構造線に沿っているが(町田・大倉, 1960; 堀, 1998; 小林ほか, 2010)、豊川本流と宇連川は中央構造線の西側から流れ出ており、地質的には、矢作川と同じ基盤を持つと判断できる。矢作川と宇連川にはダムがあり、豊川は宇連川との合流点より上流にはダムは設置されていない。

矢作川の調査地は、豊田市扶桑町で、発電ダムである越戸ダム堰堤から2 km、越戸水力発電所の放水口から1.3 km 下流に設定した(図1B)。越戸ダムから調査地の間には、本流に影響を及ぼす流量を持つ支流の流入は見られない。越戸ダムの上流には、洪水調整機能を持つ矢作ダムから、それを持たない矢作第二、笹戸、百月、阿摺と5つのダムが連続している。豊川の調査地は、設楽町清崎(田内)の清嶺小学校付近に設置した(図1C)。現在は、上流部にダムは設置されていないが、設楽ダムが完成した際には、ここが堰堤の直下となる。宇連川の調査地は、洪水調整機能を持つ宇連ダム堰堤から5 km 下流の新城市川合の知蔵院と諏訪神社付近である(図1D)。宇連ダムから調査地の間には、支流の乳岩川(ちいわがわ)が流入しているが、2010年8月17日の観測では、調査地の川幅が22 mであるのに対し、乳岩川の川幅は1 mであり、両者の流量の差は70倍にも達し(野崎, 未発表)、大きな影響は無いと判断した。

各調査地の選定にあたっては、本研究の中心となる矢作川の調査地点の環境を基準とし、河床が石礫で覆われた緩やかな瀬であり、河畔林によって遮光されることはない開放的な場所を選択した。付着物は細菌や付着藻の成長によって形成されるため、環境要因となる水温、栄養塩濃度を先行調査の結果から比較した。水温は矢作川(扶桑町)で4~24℃(2002年1月~12月, 野崎, 2014)、豊川(田内)で4~22℃(2010年1月~12月, 設楽ダム工事事務所 web site)、宇連川(宇連ダム下流)

で5~23℃(2010年1月~12月, 水資源機構 web site)となり、標高が高くダムの無い豊川の水温が、矢作川、宇連川と比べて低い傾向にあった。全窒素および全リン濃度は矢作川で0.4~1.0 mgN L⁻¹, 0.01~0.08 mgP L⁻¹(1999年4月~2002年3月, Shiragane and Nozaki, 2005, 2000年9月の大出水時の値は除いている)、豊川で0.28~0.34 mgN L⁻¹, 0.008~0.017 mgP L⁻¹(2010年4月~12月, 設楽ダム工事事務所 web site)、宇連川で0.1~0.81 mgN L⁻¹, <0.003~0.03 mgP L⁻¹(2010年1月~12月, 水資源機構 web site)であり、人口が多い地域を流れる矢作川の栄養塩濃度が豊川と宇連川に比べやや高い傾向にある。

付着物調査は、原則として月1回の頻度で実施し、矢作川では2004年5月から2007年12月にかけて50回、豊川と宇連川では2009年3月から2011年4月にかけて、それぞれ26回実施した。なお、本研究では、異なる調査期間の値を比較していることになるが、矢作川では3.5年間の、豊川と宇連川では2年間の季節変化の値を用いており、繰り返しがあることから、年較差の影響を軽減し、それぞれの河川の特性を示すことができていると判断した。

野外調査

石面付着物の採取は、野崎・加藤(2014)の手順で行った。まず調査地流心に立ち入り、河床を観察し、代表的な大きさの石3個を静かに拾い上げた。それぞれの石の表面は適当な図形、あるいはその組み合わせとして近似し、面積算出に必要な寸法を記録した。付着物は金属ブラシで剥ぎ落とし、バット上で蒸留水を用いて洗い流しながら採取した。カワシオグサ(*Cladophora*属)やヒビミドロ(*Ulothrix*属)などの大型糸状藻類が繁茂している場合は、先に糸状藻類を摘み取り、その後、残った付着物をブラシで剥ぎ取った。バット上に捕集された付着物は、2Lの手つきポリビーカーに移し、水量を記録した後、その一部を100 mLポリ瓶に入れ氷冷しながら持ち帰った。

物理環境として、調査地の川幅、流心の水深、流心の1/2水深の流速を測定した。流速は、プロペラ式の流速計(コスモ理研, CR-7)で測定した。

石面付着物の乾燥重量と強熱減量の測定

石面付着物の乾燥重量と強熱減量は、Steinman et al., (2006)、松本・野崎(2014)の手順で定量した。100 mLポリ瓶に採取した付着物は、あらかじめ乾燥重

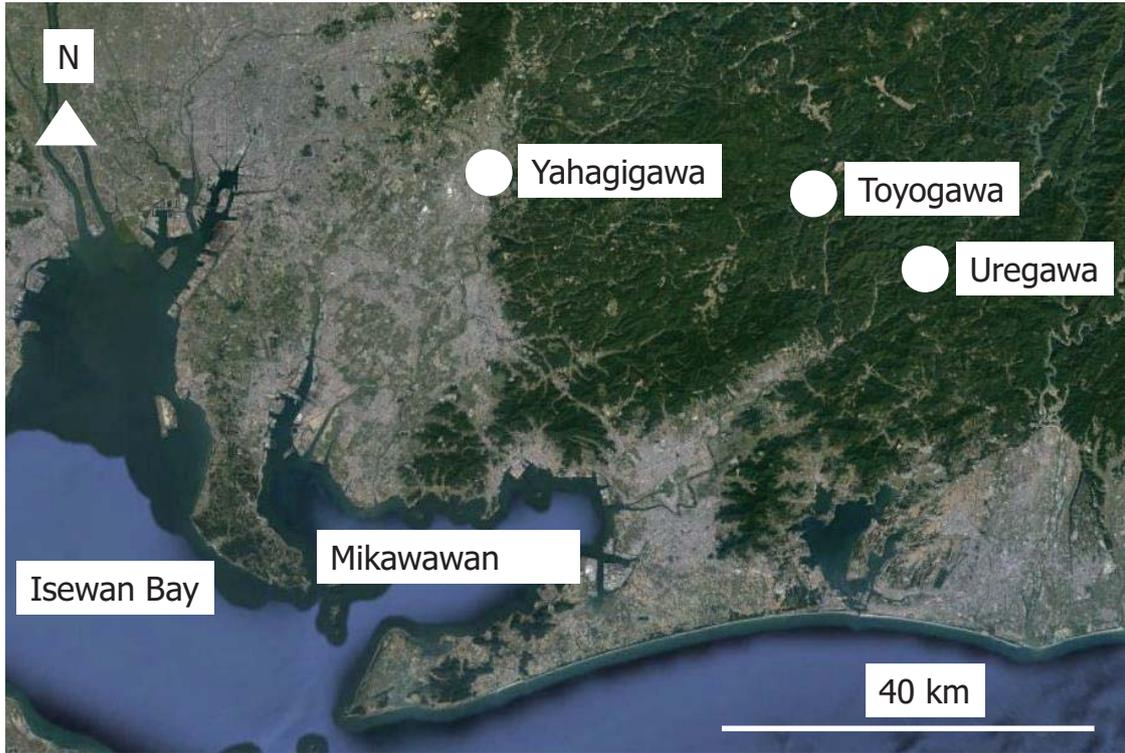


図 1A 調査地



図 1B 矢作川



図 1C 豊川



図 1D 宇連川

図 1 調査地の位置と河川形状. 1A 調査地の位置関係 (画像は Google Earth より取得), 1B 矢作川 (2005 年 5 月 12 日), 1C 豊川 (2009 年 6 月 1 日), 1D 宇連川 (2009 年 6 月 1 日).

Fig. 1 Location and landscape of study sites. 1A Map of location (Photos cited from Google Earth), 1B The Yahagigawa River in May 12, 2005, 1C the Toyogawa River in June 1, 2009 and 1D the Uregawa River in June 1, 2009.

表 1 調査地の地理的情報.

Table 1 Geographic information of study sites.

River	Site	Location	Reach	Elevation m	Latitude	Longitude
Yahagigawa	Fuso	Toyota City	Middle	35	N35° 06.37	E137° 11.34
Toyogawa	Kiyosaki	Shitara Town	Upper	260	N35° 03.59	E137° 33.06
Uregawa	Kawai	Shinshiro City	Upper	150	N35° 00.10	E137° 39.59

表 2 各調査地における調査期間, 調査回数, 水深, 川幅, 1/2 流速および石の面積.

Table 2 Period of survey, numbers of surveys, water depth, river width, 1/2 flow velocity and stone area at each survey site.

River	Period of Survey	Numbers of Survey	Depth cm	Width m	Flow Speed cm s ⁻¹	Size of Stones Mean ± SD cm ²
Yahagigawa	May, 2004–December, 2007	50	60–120	30 –35	40–110	505 ± 180(n=150)
Toyogawa	March, 2009–April, 2011	26	60–100	14 –16	20– 80	373 ± 127(n=78)
Uregawa	March, 2009–April, 2011	26	20– 80	1.2–21	40– 80	365 ± 118(n=78)

量を測定しておいた直径 47 mm ガラス繊維ろ紙 (ADVANTEC, GF-75) 上に捕集した。ろ紙は, 50°C に設定した乾燥器 (SANYO, MIR-153) に入れ, 重量が一定になるまで乾燥させた。重量は電子天秤 (A & D, GX-200) で測定した。付着物を捕集したろ紙の乾燥重量から, ろ紙自体の乾燥重量を差し引き, 付着物の乾燥重量を算出した。乾燥重量を測定した後, ろ紙は, 550°C に設定した電気炉 (SHIROTA, Super 300S) で 3 時間熱し, 110°C で冷却後, 電子天秤で灰分重量を測定した。乾燥重量から灰分重量を差し引き, 強熱減量を算出した。

結果と考察

各調査地点の調査期間, 調査回数, 流心の水深, 川幅, 1/2 水深の流速および付着物を採取した石面の面積は, 表 2 にまとめた。河川の規模は, 矢作川が豊川と宇連川に比べて大きく, 石の面積も有意に大きい傾向にあった (Student's *t*-test, $p < 0.01$)。豊川と宇連川は, ほぼ同じ規模で石の面積にも有意な差は見られなかったが, 宇連川は, 2010 年 9 月および 10 月に濁水となり, 川幅が 1 ~ 4 m にまで縮小した。

付着物の単位面積あたりの乾燥重量と強熱減量の値は, 文末に掲載した付表 1 ~ 3 にまとめ, 季節変化は図 2 に示した。矢作川の乾燥重量 (平均値 ± 標準偏差) は, 8.7 ± 3.4 (2004 年 10 月 15 日) ~ 132.5 ± 51.0 (2005 年 5 月 20 日) g m^{-2} の幅で推移し, 調査期間を通じての平均値は, 56.4 ± 44.1 g m^{-2} であった。豊川は, 8.9 ± 4.3 (2009 年 7 月 14 日) ~ 51.0 ± 9.0 (2010 年 1 月 21 日),

平均 22.6 ± 14.0 g m^{-2} , 宇連川は, 7.3 ± 3.2 (2009 年 4 月 9 日) ~ 87.9 ± 23.4 (2010 年 2 月 10 日), 平均 33.0 ± 23.3 g m^{-2} であった。矢作川の強熱減量 (平均値 ± 標準偏差) は, 3.8 ± 2.1 (2004 年 10 月 15 日) ~ 66.4 ± 29.1 (2005 年 5 月 20 日) g m^{-2} の幅で推移し, 調査期間を通じての平均値は, 28.0 ± 20.5 g m^{-2} であった。豊川は, 3.5 ± 2.3 (2010 年 7 月 22 日) ~ 31.4 ± 3.3 (2010 年 1 月 21 日), 平均 13.5 ± 8.4 g m^{-2} , 宇連川は, 2.3 ± 0.7 (2009 年 4 月 9 日) ~ 32.8 ± 10.1 (2010 年 1 月 21 日), 平均 16.3 ± 10.2 g m^{-2} であった。強熱減量の割合は, 矢作川で 28 (2004 年 12 月 17 日) ~ 83 (2007 年 7 月 6 日) % の幅で推移し, 平均 53 % であった。豊川は, 35 (2010 年 7 月 22 日) ~ 81 (2011 年 3 月 17 日) %, 平均 60 %, 宇連川は, 29 (2010 年 7 月 22 日) ~ 75 (2009 年 9 月 7 日) %, 平均 51 % であった。

乾燥重量と強熱減量の季節変化は, 夏期に低下し, 冬期に高くなる傾向を示した (図 2A, B)。河川付着物の現存量は, 出水による物理的攪乱によって大きく減ずる (Uehlinger, 1991 ; Biggs, 1996 ; Biggs, 2000)。日本では雨の多い夏期に低くなるのがいくつかの河川で報告されており (森川, 1984 ; 安田ほか, 1989 ; 堀・森川, 2000 ; 野崎, 2005 ; 野崎, 2013), これはダムの有無とは関係なく一般的な現象といえる。ただし, 栄養塩濃度が高い河川中流部では, 夏期に乾燥重量と強熱減量が高くなる傾向が見られる (Aizaki, 1978 ; Biggs and Close, 1989 ; 森川, 1993)。これは付着物を形成する細菌や付着藻の成長速度が高水温と豊富な栄養塩によって高くなり (Aizaki, 1979), 出水による現存量の流失よりも成長による増加がそれを上回るためである。強熱減量の割

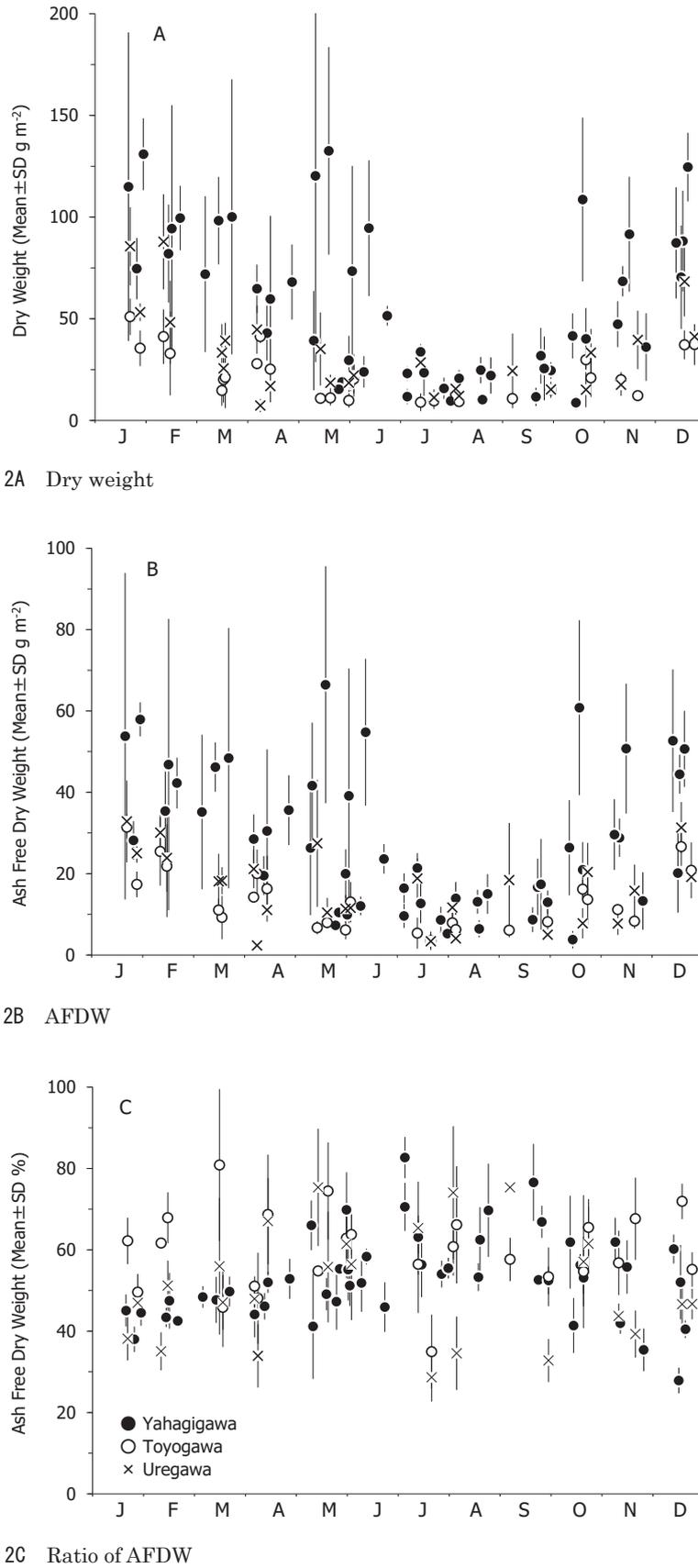


図2 矢作川中流部 (●), 豊川上流部 (○), 宇連川上流部 (×) における石面付着物の乾燥重量 (2A), 強熱減量 (2B) および強熱減量の割合 (2C) の季節変化.

Fig. 2 Seasonal changes in dry weight (2A), AFDW (2B), and ratio of AFDW (2C) of epilithic materials in the middle part of the Yahagigawa (●), upper part of the Toyogawa (○) and the Uregawa (×).

合は、矢作川では、夏期に緩やかに上昇する傾向が見られるが、豊川と宇連川は、変動が大きく明確な季節変化を確認できなかった (図 2C)。

表 3 は、日本の河川の中で研究の蓄積が多い多摩川の事例と本研究の結果を比較したものである。多摩川は、上流に利水ダムの小河内ダム (奥多摩湖) が設置され、河口から 30 km 地点では、下水処理水の流入によって、溶存無機態窒素濃度が 1 mg L^{-1} 以下から $4 \sim 6 \text{ mg L}^{-1}$ に急上昇する現象が見られ (野崎, 2005), 人間活動の影響を大きく受けている河川である。矢作川の乾燥重量と強熱減量は、多摩川中流部 (Aizaki, 1978; 森川, 1993), 豊川と宇連川は、小河内ダムから 6 km 下流の多摩川上流部 (森川, 1984), そしてダムが設置されていない支流の上流部 (安田ほか, 1989; 堀・森川, 2000) の値と同程度であった。つまり、ダム設置の有無にかかわらず、上流部では、付着物の現存量は概ね等しくなると考えられる。中流部の値が上流部と比べて高くなる原因は、多摩川では大型糸状緑藻の優占 (Aizaki, 1978), 矢作川では、大型糸状緑藻カワシオグサ (*Cladophora glomerata*) の繁茂である (野崎, 2004)。大型糸状藻は、群落内の自己遮光の影響が微細藻のそれと比べて小さく、大きな現存量を維持できるため (Nozaki, 1999; 野崎, 2013), それが付着物の乾燥重量と強熱減量の増加に反映されていると説明できる。この大型糸状藻の繁茂には、湖沼では栄養塩の供給増加が (Nozaki, 2004; 山室, 2019), 河川では栄養塩に加えて洪水調節ダムの設置による物理的攪乱の減少が理由として挙げられている (Biggs, 1996; 田代・辻本, 2004)。したがって、洪水調節ダムが設置された河川の中流部で

は、栄養塩の負荷が無くても大型糸状藻が繁茂し、乾燥重量と強熱減量が増加している可能性がある。

図 3 は、乾燥重量と強熱減量との関係である。各調査地における関係を直線近似すると、それぞれの傾きが、矢作川で 0.441, 豊川で 0.568, 宇連川で 0.384 となった。これは、ダムの無い豊川では、ダムのある矢作川と宇連川に比べて、乾燥重量に占める有機物の割合が高いことを示唆している。決定係数 (r^2 値) は矢作川で 0.898, 豊川で 0.906, 宇連川で 0.795 となり、傾きの高い順に両者の関係が強いことがわかる。付着物を従属栄養生物の資源として見た場合、有機物含量、すなわち強熱減量の高い付着物は、質が高いと評価できる。したがって、今回の結果は、ダムの無い豊川の付着物は、ダムのある矢作川と宇連川のそれらに比べ、質が高かったことを示している可能性がある。矢作川の調査地点は、豊川と宇連川の調査地点に比べ人間活動の影響が大きい。例えば、周囲の宅地や道路等の用地造成や陶土採取に起因する無機物の流入が多く、それが付着物中の有機物含量の低下を導いた可能性が考えられる。しかしながら、豊川水系では、ダム以外に人為的な影響がほぼ皆無である宇連川の付着物がダムの無い豊川の付着物より、有機物の含有量が低く、これは、ダムがある河川では、自然の出水が制御されるために河床の物理的かく乱頻度が低下、付着物の現存量が増加し、細菌や付着藻が分泌する粘質 (Aizaki, 1985) あるいは大型糸状藻の立体構造 (野崎, 2011) によって河川水中の微細砂等の無機物が捕集され強熱減量が低下する (相崎, 1980) という仕組みが考えられる。

表 3 多摩川と本研究で得られた石面付着物の乾燥重量と強熱減量。

Table 3 Dry weight and AFDW of epilithic materials obtained in the Tamagawa River and this study.

River	Site	Reach	Period of Survey	Dry Weight g m^{-2}	Ash Free Dry Weight g m^{-2}	Reference
Tamagawa						
Main channel	Unazawa	Upper	May, 1981-May, 1982	1 - 50		Morikawa (1984)
Main channel	Koremasa	Upper Middle	February, 1985-January, 1987	22 -400	7 -106	Morikawa (1993)
Main channel	Maruko	Lower Middle	January, 1973-May, 1974	15 -234		Aizaki (1978)
Tributary	Kogesawa	Headwater	July, 1984-December, 1985		0.7- 7.5	Yasuda et al. (1989)
Tributary	Akigawa	Upper	October, 1997-December, 1998	1.5- 48.5	0.9- 30.5	Hori and Morikawa (2000)
Yahagigawa						
Main channel	Fuso	Middle	May, 2004-December, 2007	8.7-132.5	3.8- 66.4	This Study
Toyogawa						
Main channel	Kiyosaki	Upper	March, 2009-April, 2011	8.9- 51.0	3.5- 31.4	This Study
Uregawa						
Main channel	Kawai	Upper	March, 2009-April, 2011	7.3- 87.9	2.3- 32.8	This Study

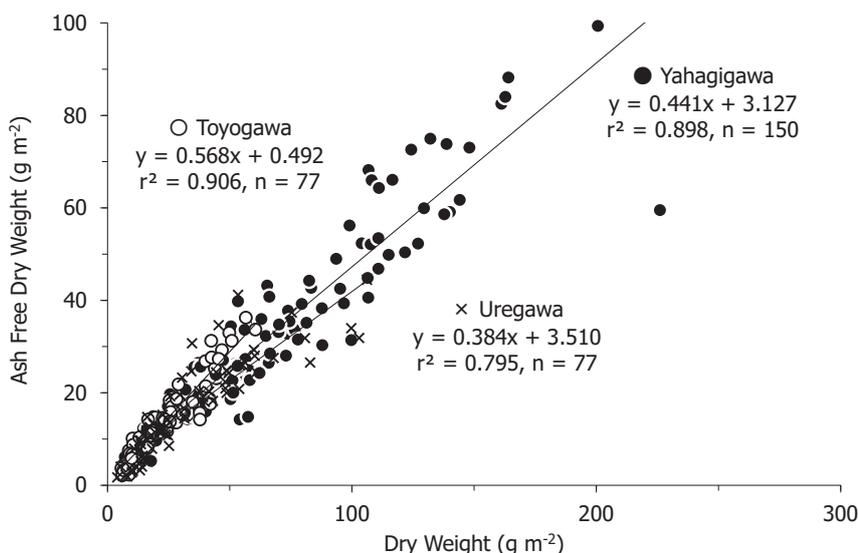


図3 矢作川中流部 (●), 豊川上流部 (○), 宇連川上流部 (×) における石面付着物の乾燥重量と強熱減量との関係。

Fig. 3 Relationship between dry weight and AFDW of epilithic materials in the middle part of the Yahagigawa (●), upper part of the Toyogawa (○) and the Uregawa (×).

謝 辞

現地調査を支援して下さった野崎妙子氏に深く感謝いたします。本研究のとりまとめには、科学研究費補助金(基盤研究C, 18K02944, 研究代表者:野崎健太郎)の支援を受けた。

Summary

Seasonal changes in dry weight and Ash Free Dry Weight (AFDW) of epilithic materials at river bed were investigated in the middle part of the Yahagigawa River where dams were installed, the upstream part of the Toyogawa River without the dam, and the upstream part of the Uregawa River where the dam was located. The dry weight (mean \pm SD) of the Yahagigawa was $56.4 \pm 44.1 \text{ g m}^{-2}$, the Toyogawa was $22.6 \pm 14.0 \text{ g m}^{-2}$, and the Uregawa was $33.0 \pm 23.3 \text{ g m}^{-2}$. The AFDW (mean \pm SD) of the Yahagigawa was $28.0 \pm 20.5 \text{ g m}^{-2}$, the Toyogawa $13.5 \pm 8.4 \text{ g m}^{-2}$, and the Uregawa $16.3 \pm 10.2 \text{ g m}^{-2}$. The ratio of AFDW (mean) in the Yahagigawa was 53%, the Toyogawa 60%, and the Uregawa 51%. Seasonal changes in dry weight and AFDW tended to decrease in summer and increase in winter. The ratio of AFDM tends to increase gradually in the summer in the Yahagigawa, but the Toyogawa and Uregawa

ivers have large fluctuations and no clear seasonal changes have been confirmed. When the relationship between dry weight and AFDW was linearly approximated, the slopes were 0.441 for Yahagigawa, 0.568 for Toyogawa, and 0.384 for Uregawa. This suggests that the ratio of organic matter in dry weight is higher in Toyogawa without dam than in the Yahagigawa and Uregawa with dams. When the epilithic materials were viewed as a heterotrophic resource, the epilithic materials with high organic content can be evaluated as high quality. Therefore, the result of this study shows that the epilithic materials of the Toyogawa without dams may be of higher quality than those of the Yahagigawa and Uregawa. Key words: Yahagigawa River, Toyogawa River, Uregawa River, dam, epilithic materials, dry weight, Ash Free Dry Weight (AFDW)

Key words: Yahagigawa River, Toyogawa River, Uregawa River, dam, epilithic material, dry weight, ash free dry weight

引用文献

Aizaki, M. (1978) Seasonal changes in standing crop and production of periphyton in the Tamagawa River. Japanese Journal of Ecology, 28: 123-134.

- Aizaki, M. (1979) Growth rates of microorganisms in a periphyton community. *Japanese Journal of Limnology*, 40: 10-19.
- 相崎守弘 (1980) 富栄養化河川における付着微生物群集の発達にもなう現存量および光合成量の変化. *陸水学雑誌*, 41: 225-234.
- Aizaki, M. (1985) Removal and excretion of dissolved organic matter by periphyton community grown in eutrophic river water. *Japanese Journal of Limnology*, 46: 159-168.
- 浅見和弘・影山奈美子・山内尚也・米内祐史・沖津二郎・小山幸男 (2017) 三春ダムにおける付着藻類の剥離に効果的なフラッシュ放流のタイミングの検討事例. *応用生態工学*, 19: 203-210.
- Biggs, B. J. F. (1996) Patterns in benthic algae of streams. In: *Algal Ecology-Freshwater Benthic Ecosystems* (Eds. Stevenson, J., Bothwell, M. L. and R. L. Lowe), pp. 31-56. Academic Press, San Diego.
- Biggs, B. J. F. (2000) Eutrophication of streams and rivers: dissolved nutrient-chlorophyll relationships for benthic algae. *Journal of North American Benthological Society*, 19:17-31.
- Biggs, B. J. F. and M. E. Close (1989) Periphyton biomass dynamics in gravel bed rivers: the relative effects of flow and nutrients. *Freshwater Biology*, 22: 209-231.
- 堀和明 (1998) 豊川中・下流域における後期更新世以降の地形発達史. *地理学評論 A*, 71: 254-271.
- 堀麻衣子・森川和子 (2000) 秋川西青木平における河床石面付着層の原生動物の季節変動. *陸水学雑誌*, 61: 223-231.
- 小林草平・中西哲・尾嶋百合香・天野邦彦 (2010) 愛知県豊川における瀬の物理特性と底生動物現存量. *陸水学雑誌*, 71: 147-164.
- 町田貞・大倉陽子 (1960) 豊川中・下流域の段丘地形. *地理学評論*, 33: 551-563.
- 松本嘉孝・野崎健太郎 (2014) 3.8 強熱減量. 身近な水の環境科学実習・測定編, 日本陸水学会東海支部会 (編集): 105-107, 朝倉書店, 東京.
- 森川和子 (1984) 多摩川上流域における好気性従属栄養細菌数の季節変動とそれの環境要因との関係について. *陸水学雑誌*, 45: 69-78.
- 森川和子 (1993) 多摩川中流域における細菌数の季節変動とそれの環境要因との関係について. *陸水学雑誌*, 54: 317-327.
- Nozaki, K. (1999) Algal community structure in a littoral zone in the north basin of Lake Biwa. *Japanese Journal of Limnology*, 60: 139-157.
- Nozaki, K. (2004) Development of a filamentous green algal community in the littoral zone of Lake Biwa: a mini review. *Korean Journal of Limnology*, 37: 368-372.
- 野崎健太郎 (2004) 矢作川中流域における大型糸状緑藻群落の発達. *河川技術論文集*, 10: 49-52.
- 野崎健太郎 (2005) 6. 自然的攪乱・人為的インパクトに対する河川水質と基礎生産者の応答. 自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系, 小倉紀雄・山本晃一 (編著): 231-257, 技報堂出版, 東京.
- 野崎健太郎 (2011) 河川に繁茂した糸状緑藻シオグサ (*Cladophora crispata* KUTZING) 群落内の溶存酸素濃度の日変化: 犬上川河口域 (滋賀県彦根市) の事例. *陸の水*, 48, 1-8.
- 野崎健太郎 (2013) 3.1 付着藻類. *河川生態学*, 中村太士 (編): 72-88, 講談社, 東京.
- 野崎健太郎 (2014) 2.4 水温. 身近な水の環境科学実習・測定編, 日本陸水学会東海支部会 (編集): 42-43, 朝倉書店, 東京.
- 野崎健太郎・加藤元海 (2014) 2.9.2 藻類. 身近な水の環境科学実習・測定編, 日本陸水学会東海支部会 (編集): 51-53, 朝倉書店, 東京.
- Peric, M. S., Jolidon, C., Uehlinger, U. and C. T. Robinson (2015) Long-term ecological patterns of alpine streams: An imprint of glacial legacies. *Limnology and Oceanography*, 60: 992-1007.
- Shiragane, A. and Nozaki, K. (2005) Long-term changes of the nutrients in the middle-reach of the Yahagi River, central Japan. *Korean Journal of Limnology*, 38: 439-444.
- Steinman, A. D., Lamberti, G. A. and P. R. Leavitt (2006) Biomass and Pigments of benthic algae. In *Methods in Stream Ecology* (2nd edition), F. Richard Hauer and Gary A. Lamberti (eds.): 357-379. Academic Press, Elsevier, Croydon, United Kingdom.
- 田代番・辻本哲郎 (2004) 低かく乱礫床における付着藻剥離効果の評価とそれに基づく繁茂動態モデルの構築. *水工学論文集*, 48: 1537-1542.
- Uehlinger, U. (1991) Spatial and temporal variability of the periphyton biomass in a prealpine river (Necker, Switzerland). *Archive für Hydrobiologie*, 123: 219-237.
- Yamada, H. and F. Nakamura (2002) Effect of fine sediment deposition and channel works on periphyton biomass in the Makomanai River, northern Japan. *River Research and Applications* 18: 481-493.
- 山室真澄 (2019) 湖沼における大型植物の異常繁茂に関する国内外の状況. *応用生態工学*, 22: 51-60.
- 安田卓哉・市川秀夫・小倉紀雄 (1989) 裏高尾の山地溪流における有機物収支. *陸水学雑誌*, 50: 227-234.

利用したデータベース

水資源機構環境への取り組み水質年報: <https://www.water.go.jp/honsya/honsya/torikumi/kankyosuisitu/index.html> (2019年8月29日時点).

設楽ダム工事事務所設楽ダム図書館水質: http://www.cbr.mlit.go.jp/shitara/08damu_library/04suishitu/index.html (2019年8月29日時点).

梶山女学園大学教育学部:
〒464-8662 愛知県名古屋市中種区ヶ丘元町17-3
School of Education, Sugiyama Jogakuen University,
Hoshigaoka Moto-machi 17-3, Chikusa-ku, Nagoya,
464-8662, Japan
(E-mail: ken@sugiyama-u.ac.jp)

付表 1 矢作川中流部における石面付着物中の乾燥重量, 強熱減量および強熱減量の割合.

Appendix 1 Dry weight and AFDW of epilithic materials in the middle part of the Yahagigawa River.

Date	Dry Weight g m ⁻²	SD	Ash Free Dry Weight g m ⁻²	SD	Ash Free Dry Weight %	SD
28 May 2004	18.9	3.0	10.5	1.7	55.3	1.0
24 Jun.	51.5	4.9	23.6	3.6	45.9	6.1
16 Jul.	23.4	11.4	12.7	4.8	56.4	8.0
20 Aug.	10.2	2.8	6.4	2.1	62.5	8.0
24 Sep.	31.8	13.7	16.7	7.0	52.6	1.4
15 Oct.	8.7	3.4	3.8	2.1	41.4	6.7
26 Nov.	36.1	16.6	13.3	7.1	35.4	5.2
17 Dec.	70.4	25.4	20.2	9.7	27.9	3.1
25 Jan. 2005	74.7	15.1	28.2	4.7	38.0	3.1
18 Feb.	82.0	24.1	35.4	9.7	43.4	2.3
7 Mar.	71.9	38.3	35.2	19.0	48.4	2.7
15 Apr.	59.7	40.9	30.5	20.1	52.0	2.6
12 May	120.3	91.6	41.7	15.5	41.2	12.9
20 May	132.5	51.0	66.4	29.1	49.1	4.0
3 Jun.	73.4	51.7	39.1	31.3	51.2	5.0
29 Jul.	15.8	5.2	8.6	3.2	54.1	3.3
19 Aug.	24.7	6.5	13.1	2.9	53.3	3.4
30 Sep.	24.5	4.1	13.0	2.9	52.5	3.4
21 Oct.	40.1	15.2	20.9	6.8	53.1	4.0
11 Nov.	68.4	7.4	28.8	4.7	42.0	2.6
20 Dec.	124.6	16.9	50.7	9.4	40.5	2.1
20 Jan. 2006	114.9	75.9	53.8	40.1	45.1	3.9
15 Feb.	94.4	60.6	46.8	35.8	47.5	6.9
15 Mar.	98.3	21.5	46.2	6.1	47.7	5.7
7 Apr.	64.8	11.9	28.5	6.1	44.1	5.6
28 Apr.	68.1	18.5	35.6	8.6	52.9	4.9
26 May	15.4	1.1	7.3	1.5	47.3	6.9
2 Jun.	18.3	3.8	9.9	0.9	55.2	7.6
10 Jun.	23.9	7.7	12.1	2.3	51.9	7.1
6 Jul.	23.1	3.5	16.4	3.6	70.6	5.9
14 Jul.	33.7	3.8	21.4	3.7	63.1	4.1
1 Aug.	9.6	2.7	5.3	1.3	55.5	2.5
25 Aug.	22.1	8.9	15.0	4.9	69.7	11.5
26 Sep.	25.6	15.7	17.4	11.1	66.9	4.0
13 Oct.	41.6	11.1	26.4	11.7	61.9	11.4
16 Nov.	91.6	28.3	50.8	16.0	55.8	6.6
18 Dec.	88.2	24.8	44.4	4.8	52.1	9.1
29 Jan. 2007	130.9	17.7	57.9	4.2	44.5	3.2
20 Feb.	99.6	15.9	42.3	6.2	42.5	0.6
23 Mar.	100.1	67.6	48.4	32.0	49.7	3.7
13 Apr.	42.9	13.5	19.5	4.8	46.1	3.3
11 May	39.3	24.4	26.3	16.5	66.0	6.1
1 Jun.	29.6	12.0	20.0	6.0	69.8	9.2
13 Jun.	94.6	33.4	54.8	18.1	58.4	1.9
6 Jul.	11.7	3.8	9.6	3.0	82.7	5.1
6 Aug.	20.7	4.1	13.9	4.0	66.3	6.3
21 Sep.	11.6	4.5	8.7	3.1	76.6	9.5
19 Oct.	108.6	40.2	60.8	21.5	56.3	2.7
9 Nov.	47.3	11.3	29.6	8.7	61.9	5.9
14 Dec.	87.3	27.3	52.7	17.5	60.2	3.6

付表2 豊川上流部における石面付着物中の乾燥重量, 強熱減量および強熱減量の割合.

Appendix 2 Dry weight and AFDW of epilithic materials in the upper part of the Toyogawa River.

Date	Dry Weight g m ⁻²	SD	Ash Free Dry Weight g m ⁻²	SD	Ash Free Dry Weight %	SD
18 Mar. 2009	20.1	11.3	no data		no data	
9 Apr.	41.2	3.1	20.0	5.9	48.1	11.2
21 May	11.1	3.7	8.0	1.4	74.5	11.9
1 Jun.	9.8	3.6	6.1	2.3	62.8	8.5
14 Jul.	8.9	4.3	5.4	3.8	56.5	12.0
4 Aug.	12.9	5.5	7.9	3.5	60.8	7.1
7 Sep.	10.7	3.0	6.1	1.3	57.6	5.3
23 Oct.	20.9	9.4	13.6	6.2	65.5	7.0
20 Nov.	12.2	0.9	8.3	1.8	67.6	10.1
18 Dec.	37.2	7.1	26.6	4.7	71.9	4.4
21 Jan. 2010	51.0	9.0	31.4	3.3	62.2	5.7
10 Feb.	41.2	13.4	25.4	8.4	61.7	0.6
19 Mar.	21.2	15.2	9.2	5.3	45.8	9.7
15 Apr.	25.2	16.3	16.3	8.1	68.7	14.7
15 May	10.8	2.4	6.7	1.6	54.8	no data
4 Jun.	20.4	7.1	13.0	4.9	63.8	5.1
22 Jul.	9.6	4.0	3.5	2.3	35.0	9.1
6 Aug.	9.2	1.7	6.2	2.3	66.2	14.4
30 Sep.	15.1	4.0	8.2	3.0	53.4	7.2
21 Oct.	29.8	4.5	16.2	2.3	54.7	8.6
11 Nov.	20.0	3.8	11.2	0.6	56.8	7.9
25 Dec.	37.3	10.0	20.8	6.9	55.2	4.2
27 Jan. 2011	35.5	8.8	17.4	3.1	49.6	4.5
14 Feb.	32.9	20.6	21.8	12.5	67.9	6.3
17 Mar.	14.7	7.5	11.0	2.9	80.9	18.7
7 Apr.	27.9	2.6	14.2	0.9	51.1	2.4

付表3 宇連川上流部における石面付着物中の乾燥重量, 強熱減量および強熱減量の割合.

Appendix 3 Dry weight and AFDW of epilithic materials in the upper part of the Uregawa River.

Date	Dry Weight g m ⁻²	SD	Ash Free Dry Weight g m ⁻²	SD	Ash Free Dry Weight %	SD
18 Mar. 2009	25.6	4.8	no data		no data	
9 Apr.	7.3	3.2	2.3	0.7	34.0	7.8
21 May	18.5	4.0	10.4	3.6	55.8	13.6
1 Jun.	18.5	4.5	11.4	3.4	61.4	8.4
14 Jul.	28.5	2.8	18.8	4.9	65.3	11.4
4 Aug.	15.5	2.2	11.7	3.7	74.0	16.4
7 Sep.	24.3	18.3	18.4	14.1	75.3	1.3
23 Oct.	33.3	11.7	20.4	7.2	61.5	9.1
20 Nov.	39.6	14.3	15.8	6.5	39.3	5.8
18 Dec.	68.3	17.1	31.3	6.3	46.6	6.3
21 Jan. 2010	85.6	19.2	32.8	10.1	38.2	5.4
10 Feb.	87.9	23.4	30.1	5.0	35.0	4.7
19 Mar.	39.2	8.8	18.3	3.3	47.1	6.7
15 Apr.	16.9	3.9	11.1	1.2	67.0	10.6
15 May	35.1	18.0	27.5	15.6	75.3	14.4
4 Jun.	22.1	10.4	11.6	3.6	56.4	13.7
22 Jul.	11.2	4.0	3.4	1.9	28.7	6.0
6 Aug.	12.1	2.5	4.1	1.0	34.6	9.0
30 Sep.	15.2	1.2	5.0	0.9	32.8	5.3
21 Oct.	15.1	8.6	7.8	3.7	57.1	16.3
11 Nov.	17.5	5.4	7.7	2.8	43.7	3.1
25 Dec.	41.2	2.0	19.2	1.0	46.7	3.7
27 Jan. 2011	53.2	4.3	25.0	2.3	47.0	0.6
14 Feb.	48.2	20.5	23.9	8.3	51.2	6.1
17 Mar.	33.3	14.1	18.1	6.8	56.0	16.8
7 Apr.	44.7	11.9	21.2	4.7	47.9	4.6