

短 報 [Note]

矢作川の生態系を支える付着藻類の栄養状態

内田朝子¹⁾・大八木麻希²⁾・加藤元海³⁾・中西正己⁴⁾

Nutritional status of the sessile algal community as a primary producer in the Yahagi River ecosystem, central Japan

Asako UCHIDA¹⁾, Maki OYAGI²⁾, Motomi GENKAI-KATO³⁾ and Masami NAKANISHI⁴⁾

Abstract

The nutritional status of the sessile algal community in the Yahagi River located in central Japan was examined based on the ratios between particulate carbon (PC), nitrogen (PN) and phosphorus (PP) proposed by Hillebrand and Sommer (1999). The survey was conducted at five stations from August 2008 to September 2009. The concentration of Chlorophyll *a* of the sessile algal community ranged from 5.0 to 193.7 mg m⁻². The composition of the community changed seasonally from blue-green algae dominated by *Homoeothrix janthina* in May–November to diatoms dominated by *Cymbella* and *Gomphonema* in December–April. The PC:PN and PN:PP ratios were 7.2 and 22.3, respectively, which were close to the reference ratios. Our results indicate that the sessile algal community in the Yahagi River was not exposed to severe deficiency in nitrogen or phosphorus.

Key words: nutritional status, sessile algal community, PC:PN:PP, Yahagi River

摘 要

本研究は矢作川に生育する付着藻類群落の栄養状態を Hillebrand and Sommer (1999) が提唱する比 (懸濁態の炭素 (PC), 窒素 (PN), リン (PP) 比がモル比で 119:17:1) を用いて評価することを目的とした。

調査は矢作川の 5 カ所で 2008 年 8 月から 2009 年 9 月に行った。矢作川の付着藻類群落の現存量の指標としたクロロフィル *a* 量は、5.0–193.7 mg m⁻² の範囲で季節変動を示した。付着藻類群落は、5 月から 11 月にかけて *Homoeothrix janthina* を優占種とする藍藻群落から 12 月から 4 月に *Cymbella* spp., *Gomphonema* spp. を主とする珪藻群落へと遷移する季節パターンを示した。

群落の PC:PN 比および PN:PP 比の値を、河川付着藻類の最大成長速度の指標として Hillebrand and Sommer (1999) が提唱する比を尺度として付着藻類群落の栄養状態を評価した。調査期間を通して全地点から得られた付着藻類群落の PC と PN 比および PN と PP 比はそれぞれ、7–8 と 10–20 の範囲に分

¹⁾ 豊田市矢作川研究所 〒471-0025 豊田市西町 2-19 Toyota Yahagi River Institute, 2-19 Nishi-machi, Toyota, Aichi 471-0025, Japan

²⁾ 愛知工業大学 〒470-0392 豊田市八草町八千草 1247 Department of Civil Engineering, Aichi Institute of Technology, 1247 Yachigusa, Yakusa-cho, Toyota, Aichi 470-0392, Japan

³⁾ 高知大学 黒潮圏科学部門 〒780-8520 高知市曙町 2-5-1 Graduate School of Kuroshio Science, Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho, Kochi, Kochi 780-8520, Japan

⁴⁾ 〒520-0528 大津市和邇高城 426-23 426-23 Wani Takashiro, Otsu, Shiga 520-0528, Japan

布のピークがあり、平均値は 7.2 と 22.3 であった。これらの結果は、矢作川の付着藻類群落は窒素とリンのいずれに関しても強い欠乏状態ではないことを示唆している。

キーワード：栄養状態、付着藻類群落、懸濁態炭素：窒素：リン、矢作川

はじめに

河川生態系の多くは、陸上起源の外来性有機物質に依存した腐食連鎖によって機能している (Horne and Goldman, 1994)。日本の河川生態系では、河畔が開け、河床にまで十分な光が届く河川環境である瀬が多い。そのような瀬が多い河川では、付着藻類群落が発達し、その光合成によって生産された有機物質を基盤とした生食連鎖の存在も無視できない (中西, 2011)。付着藻類群落は、トビケラ、カワゲラ、カゲロウなどの水生昆虫の直接・間接的な餌資源として重要な役割を担っているだけでなく、ユスリカの幼虫などの生息環境としても機能している (Horne and Goldman, 1994)。日本の多くの河川では、付着藻類は、内水面漁業の重要な水産資源であるアユにとっての餌資源でもある (川那部ほか, 1959; 石田, 1964)。

本研究の対象水域である矢作川は、愛知県豊田市を主流域とし、古くからアユ漁で有名な河川である。矢作川における付着藻類群落は、珪藻と藍藻に代表される数十 μm ほどの小さいサイズの藻類 (microphytes) から数百 μm の細胞が連なって藻体長が数 cm にも達するカワシオグサ (*Cladophora glomerata*) などの糸状藻類 (mesophytes) からなる多様な構造を有している (野崎・内田, 2000; 内田ほか, 2002)。

瀬の発達した日本の河川生態系を支える付着藻類群落に関する研究の多くは、河川の水温、流速、日射量など物理的環境との関連を視野に入れ、種組成、現存量および増殖速度の季節変化を論じている (Kobayashi, 1972; Nakanishi and Yamamura, 1984; 植木・草加, 1990; 西村・安藤, 1991; 深見ほか, 1994; 野崎・内田, 2000)。河川水の化学環境、特に栄養塩と付着藻類の動態に関する研究は殆どなされていないのが現状である。

Horne and Goldman (1994) によれば、付着藻類の生育と密接に関係する河川水の化学的環境の一つである多量栄養素である窒素とリンの濃度および存在比は、湖沼と同様に河川流域の地質や地形によって大きく異なる。

海洋の植物プランクトンの成長速度は、その細胞の炭素：窒素：リン比がモル比で 106:16:1 となる Redfield 比と呼ばれるとき最大となる (Redfield, 1958)。培養実

験により淡水の湖沼に生育する植物プランクトンに関しても同様の結果が得られている (Healey and Hendzel, 1979)。植物プランクトンの成長速度の指標である Redfield 比を尺度とし、湖沼に生育する植物プランクトンの栄養状態の診断に加え、湖沼の化学的環境の評価がなされてきた (Healey and Hendzel, 1980; Tezuka, 1985; Aizaki and Otsuki, 1987; Nakanishi et al., 1990; Genkai-Kato et al., 2002)。

付着藻類は、植物プランクトンと生活様式を異にするが、光合成や栄養塩代謝過程は同じであることから、同様に細胞の炭素：窒素：リン比が栄養診断の指標として有効であることを検証、提言している (Hillebrand and Sommer, 1999)。Hillebrand and Sommer (1999) は、付着藻類に適用する場合は Redfield 比より若干高い 119:17:1 の比率を提唱している。Redfield 比を付着藻類の栄養診断の指標とした研究は、ニューヨーク州の郊外から都市を流域とする川において付着藻類群落の栄養状態を評価した報告 (O'Brien and Wehr, 2010) があるが、海洋や湖沼の植物プランクトンに比べ極めて少ない。本研究の目的は、矢作川に生育する付着藻類群落を対象とし、石上に付着する藻類群落中の懸濁態炭素 (PC)：懸濁態窒素 (PN)：懸濁態リン (PP) 比を分析することにより、付着藻類の栄養状態を診断することにある。

材料と方法

調査を行った矢作川は、長野県の大川入山を源流とし、岐阜県から愛知県中央部を経て三河湾に注ぐ全長 118 km の一級河川である。矢作川は、その本流に利水・治水を目的として建設された七つのダム・堰を配する複雑な環境構造の河川である。

付着藻類群落の調査は、人為的活動による影響の少ない矢作ダムの上流に位置する地点 (Stn. 1) と矢作ダムの下流に位置する 4 地点 (Stn. 2：ダムによる減水域で水量の殆どは支流からの流入水により維持されている水域*, Stn. 3：矢作ダムの貯留水が放流水路を經由して流入する水域, Stn. 4：支流の犬伏川合流点より約 200 m 上流に位置する水域, Stn. 5：支流の犬伏川からの流入水と混合する水域) で行った (Fig. 1, Fig. 2)。

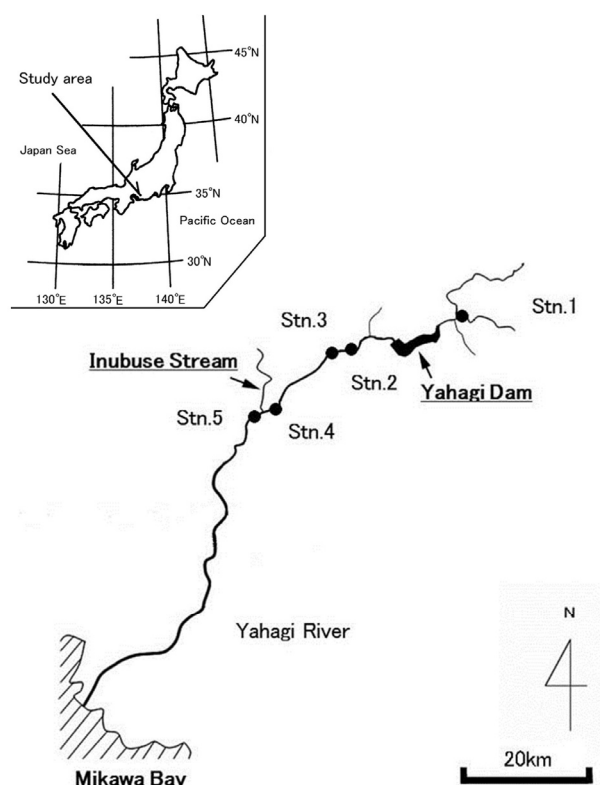


Fig. 1. Sampling stations.

図 1. 調査地点.

調査は、Stn. 1 を除き、月 1 回の頻度を原則として 2008 年 8 月から 2009 年 9 月にかけて実施した (Stn. 1 における調査は、2009 年 5・6・7 月および 9 月の 4 回である)。

各調査地点の河川形態型 (可児, 1944; 水野・御勢, 1972) は、Stns. 1, 2 は Aa-Bb 移行型, Stns. 3-5 は Bb 型を示した。付着藻類は、各調査地点の白波の立つ瀬 (水野・御勢, 1972) で潜水により水深 30-80 cm に分布する石をランダムに 3 個 (直径 10 cm 程度, 50-100 cm² 程度) 採取し、それぞれの石の表面から 5 cm × 5 cm の付着物をナイロンブラシで剥ぎ取ることににより採集した。採集した付着藻類試料は、メスシリンダーでその容量を測定後、1) 藻類の同定、細胞数の計数および細胞体積測定用試料、2) 懸濁態炭素 (PC)・窒素 (PN)・リン (PP) 分析用試料、3) クロロフィル *a* (Chl.*a*) の測定用試料の 3 つに定量的に分画した。藻類の同定、細胞数・細胞体積計数用試料は、10% ホルマリンで固定した後、濃縮し、罫線入りのスライドガラス (MATSUNAMI, S6117) に封入し、光学顕微鏡下で同定、細胞数の計数および細胞体積の計測を行った。付着藻類の生物量は、計数した種ごとの細胞数に細胞あたりの体積を乗じて求めた。種ごと

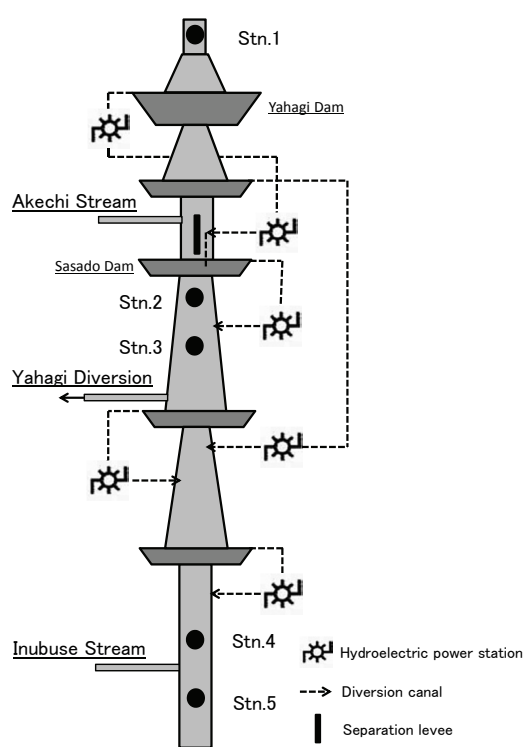


Fig. 2. Schematic diagram of hydroelectric power stations in the Yahagi River.

図 2. 矢作川における水力発電所の模式図.

に得られた生物量は、藍藻綱 (Cyanophyceae), 紅藻綱 (Rhodophyceae), 珪藻綱 (Bacillariophyceae) および緑藻綱 (Chlorophyceae) の 4 綱にまとめ整理した。付着藻類群落の PC, PN および PP は、450℃ で 3 時間処理したガラス繊維濾紙 (Whatman GF/C) 上に分析試料を濾過・捕集し、約 60℃ で 48 時間乾燥後、PC と PN は有機微量元素分析装置 (Perkin Elmer, CHNS/O Analyzer 2400II) で、PP はアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解法 (オートクレーブで 121℃, 1 時間加圧分解) で酸化分解した後、モリブデン酸青法により測定した (日本分析化学会, 2005)。Chl.*a* 量 (mg m⁻²) は、ガラス繊維濾紙 (Whatman GF/C) 上に濾過・捕集した試料を 90% エタノール中で抽出し、分光光度計 (HITACHI U-1500) を用い、Lorenzen 法により分析した (Lorenzen, 1967)。

* Stn. 2 の上流に位置する笹戸ダムは貯水機能がなく下流の発電所への取水施設である。笹戸ダム上流では発電に利用された矢作ダムからの水が放流されている (Fig. 2)。ここでは規模の大きな出水の後には濁度の高い水が長期にわたり放流されるため、矢作川漁業協同組合の要望により、中部電力株式会社と愛知県豊田土木事務所 (現愛知県豊田加茂建設事務所) は 2001 年 7 月、2001 年 12 月 - 2002 年 1 月に背割堤を築造した。この背割堤によって笹戸ダム下流の Stn. 2 は原則、出水後の濁りが長期化しない支流河川水で維持されている (新見, 2002)。

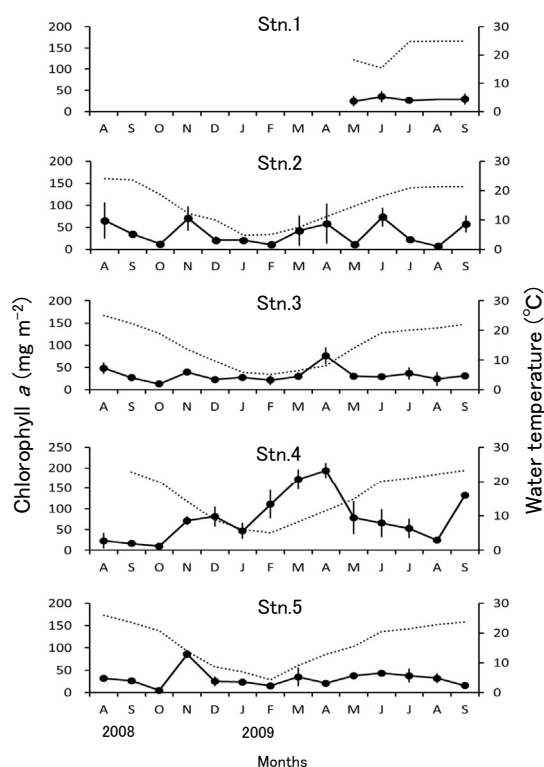


Fig. 3. Seasonal changes in chlorophyll *a* concentration (solid lines) and water temperature (dotted lines) at Stations 1-5. Chlorophyll *a* concentrations are the mean \pm SE.

図3. 地点1-5におけるクロロフィル*a*量(実線)と水温(点線)の季節変化. クロロフィル*a*量は, 平均値 \pm 標準誤差.

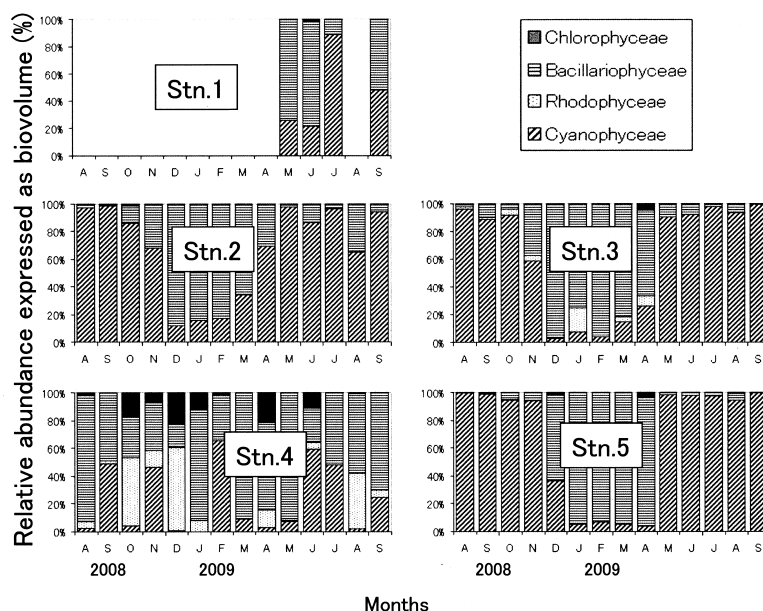


Fig. 4. Seasonal changes in the composition of the sessile algal community at sampling stations. Data are expressed as a percentage of Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Rhodophyceae and Cynaophyceae to the total biovolume.

図4. 調査地点における付着藻類組成の季節変化. 総体積に占める藍藻類, 珪藻類, 紅藻類および緑藻類の割合を示す.

付着藻類群落の調査時に, 物理・化学環境評価の一つとして水温および電気伝導度を多項目水質計(東亜デイーケーケー, WQC-24)により測定した。

付着藻類群落の PC, PN, PP および Chl.*a* 量に関しては, 3 個採集した石の平均値を用いた。

結果

水温は, 4°C (1 月 - 2 月) から 26°C (8 月) の範囲で季節的に変動し, 調査地点間での水温に差はなかった (Fig. 3)。矢作川の水に溶存するイオンの伝導率を示す電気伝導度は, 2.7–6.7 mS m⁻¹ の範囲で変動した。電気伝導度は, 12 月 - 2 月にかけて高い値を示した Stn. 5 (5.0–6.7 mS m⁻¹) を除き, 季節的に大きな変動を示さなかった。電気伝導度は, 地点間で異なり, 特に Stn. 2 の値は高かった (平均値 \pm SE, *n* はサンプル数; Stn. 1: 3.1 \pm 0.129, *n* = 4; Stn. 2: 5.1 \pm 0.132, *n* = 14; Stn. 3: 3.4 \pm 0.148, *n* = 13; Stn. 4: 3.8 \pm 0.111, *n* = 13; Stn. 5: 4.1 \pm 0.281, *n* = 13)。

付着藻類の現存量および藻類相

付着藻類の現存量の指標として測定された Chl.*a* 量は, 全調査地点を合わせると 5.0–193.7 mg m⁻² (平均値: 43.2 mg m⁻²) の範囲で変動した (Fig. 3)。Stns. 2, 3 およ

び5におけるChl.*a*量は、5.0–86.2 mg m⁻²の範囲で変動を示した。Stn. 4においては、10.0–193.7 mg m⁻²の範囲で変動し、4月に大きなピークをもつ季節変動パターンを示した。クロロフィル*a*量から付着藻類の現存量(炭素量)を推定するために、クロロフィル*a* (Chl.*a*)と懸濁態炭素(PC)の比をとったところ、PC:Chl.*a*比は 215.1 ± 29.1 (平均値 \pm SE)であった。

藍藻、紅藻、珪藻および緑藻の全生物量に対する各網の生物量の割合の季節変動をFig. 4に示した。付着

藻類相は、Stns. 2, 3および5においてほぼ同じパターンで季節的に変動した。水温が10℃を超える5月から11月にかけて*Homoeothrix janthina*を優占種とする藍藻群落が発達した。水温の低下とともに12月–4月には、*Cymbella* spp., *Gomphonema* spp., および*Melosira varians*からなる珪藻群落が形成された。一方、Stn. 4の付着藻類相は他の地点とは異なり、*Cocconeis placentula*を優占種とする珪藻群落が年間を通して見られ、5月–7月に*H. janthina*を優占種とする藍藻群落が出現し

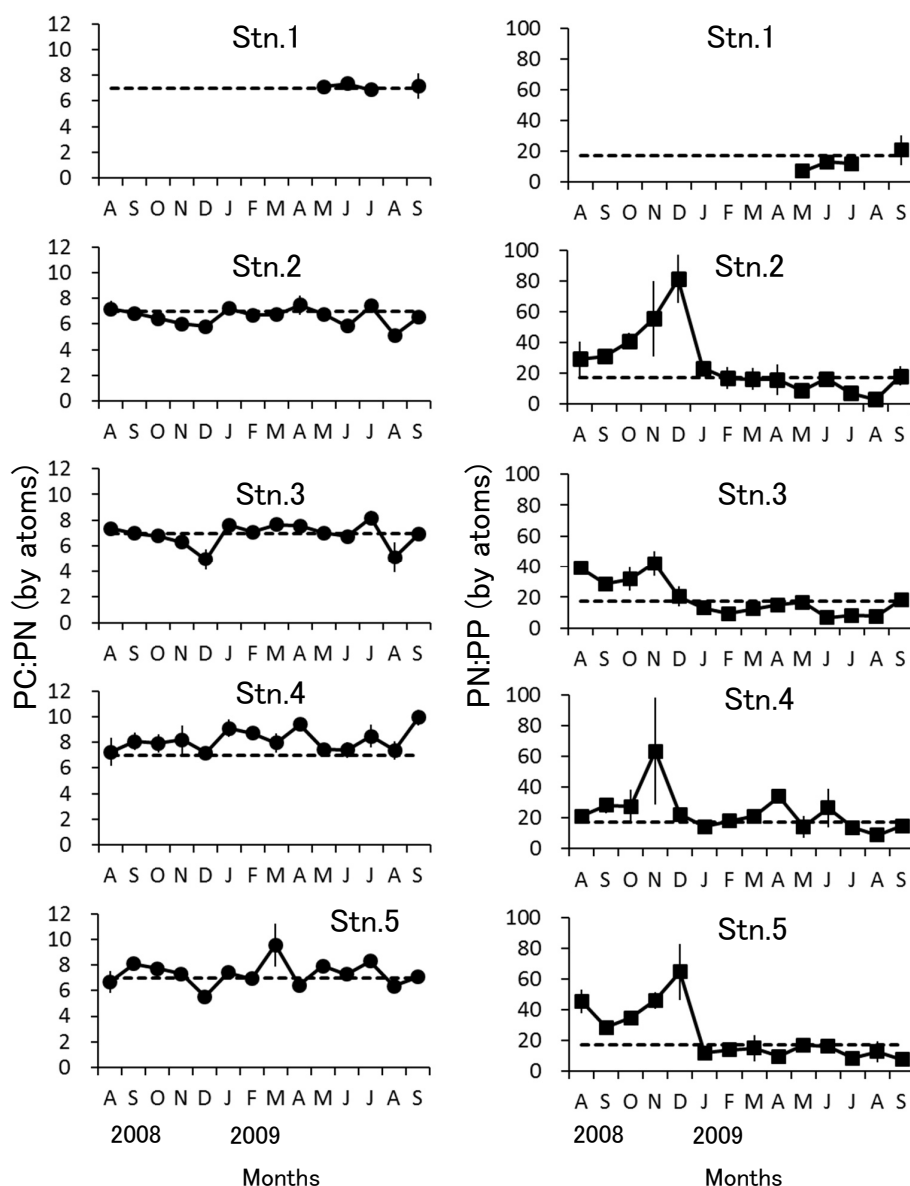


Fig. 5. Seasonal changes in PC:PN and PN:PP ratios of the sessile algal community. The ratios reported by Hillebrand and Sommer (1999) are indicated by broken lines (PC:PN = 7, PN:PP = 17). Values are the mean \pm SE.

図5. 付着藻類群落におけるPC:PN比とPN:PP比の季節変化. 破線はHillebrand and Sommer比(PC:PN = 7, PN:PP = 17). 値は、平均値 \pm 標準誤差.

た。Stn. 4 における付着藻類相の大きな特徴として、藍藻と珪藻に加えて紅藻のカワモズク (*Batrachospermum* sp.), 緑藻のサヤミドロ (*Oedogonium* sp.), カワシオグサ (*Cladophora glomerata*) の群落は 10 月 – 5 月にかけて見られたことと、溪流の濡れた岩上や水中で見られる蘚類のアオハイゴケ (*Rhynchostegium riparioides*) およびニブハタケナガゴケ (*Ectropothecium obtusulum*) の群落の形成が挙げられる。矢作ダムの上流と下流の間でも、夏期において、異なる付着藻類相の傾向が見られた。ダム上流にある Stn. 1 では *Cymbella* spp. や *C. placentura* を優占種とする珪藻群落が発達した一方、ダム下流にある Stn. 2, 3 および 5 では *H. janthina* を優占種とする藍藻群落が発達した。

付着藻類群落の PC:PN 比および PN:PP 比

矢作川に生育する付着藻類群落の栄養状態を評価するため PC:PN 比および PN:PP 比の季節変動と Hillebrand and Sommer (1999) が提唱する比 (以下、Hillebrand and Sommer 比とする) とを比較した (Fig. 5)。調査期間を通して得られた全調査地点での PC:PN 比は、4.9 – 9.9 の範囲で変動した (Fig. 5)。PN:PP 比は、3.0 – 81.3 の範囲で季節的に変動し、11 月 – 12 月にかけて 20.3 – 81.3 と高い値を示した (Fig. 5)。2009 年 1 月から 9 月にかけては、いずれの地点でも Hillebrand and Sommer 比 (17) に近い値で推移した。

調査期間を通して得られた全調査地点における付着藻類群落の PC:PN 比および PN:PP 比の頻度分布を Fig. 6 に示した。PC:PN 比は 7 から 8 の間に高い頻度が見られ、PN:PP 比は 10 から 20 の間が最も頻度が高かった。PC:PN 比の平均値と平均誤差は 7.2 ± 0.1 であり、Hillebrand and Sommer 比 (7) とほぼ同じ値となった。PN:PP 比の平均値と平均誤差は 22.3 ± 2.0 であり、Hillebrand and Sommer 比 (17) に比べやや高い値となった。

考 察

矢作川に発達する付着藻類群落は、水温が 10°C を超える 5 月から 11 月にかけて *Homoeothrix janthina* を優占種とする藍藻群落が発達した。水温の低下する 12 月から 4 月頃には、*Cymbella* spp. や *Gomphonema* spp.などを優占種とする珪藻群落へと季節的に遷移した。この藻類相の遷移は、日本の河川において見られる典型的なパターンである (Kobayashi, 1972)。一方、Stn. 4 では異なった藻類相の季節遷移の見られたことから、矢作川の付着

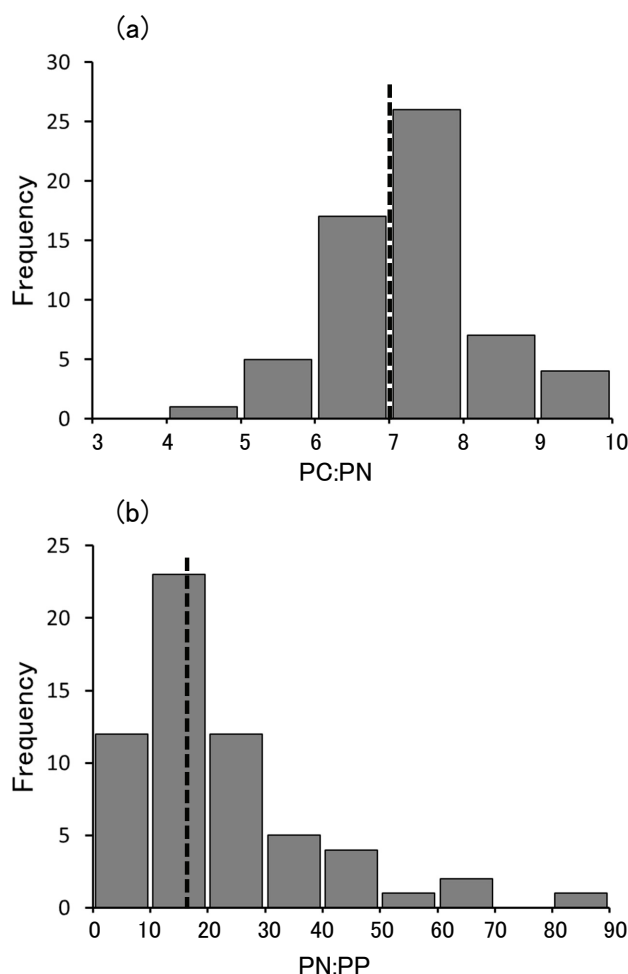


Fig. 6. Frequency of PC:PN (a) and PN:PP (b) ratios of the sessile algal community. Broken lines are the ratios reported by Hillebrand and Sommer (1999) (i.e., PC:PN = 7, PN:PP = 17). $n = 60$.

図 6. 付着藻類群落における PC:PN 比 (a) と PN:PP 比 (b) の頻度分布。破線は Hillebrand and Sommer 比 (PC:PN = 7, PN:PP = 17)。 $n = 60$ 。

藻類群落は一樣でないことを示している。

これまでに報告されてきた河川の付着藻類群落の Chl. *a* 量は、埼玉県荒川上流域で $2 - 414 \text{ mg m}^{-2}$ (Kobayashi, 1961), 長野県の千曲川中流域で $30 - 350 \text{ mg m}^{-2}$ (沖野, 2002), 長野県木曽福島の山間溪流である児野沢 $5 - 550 \text{ mg m}^{-2}$ (Nakanishi and Yamamura, 1984), ネパールの山間溪流で $1.3 - 190 \text{ mg m}^{-2}$ (Terashima and Nakanishi, 1982) といずれの河川においても年間を通して大きく変動している。本調査で得られた矢作川の Chl. *a* 量は、他の河川と同様に、 $5.0 - 193.7 \text{ mg m}^{-2}$ の範囲で大きく変動した (Fig. 3)。各調査地点の水深が $30 - 80 \text{ cm}$ と幅があったことから、各調査地点で採取した 3 個の石のあった物理環境は異なる。付着藻類の現存量

は流速や水深、石の大きさの影響を受ける（沖野・池田，1997；小林，1986）ため，これらが矢作川の Chl.*a* 量に影響を与えた可能性がある。2 月－4 月にかけて $111.1 - 193.7 \text{ mg m}^{-2}$ に達した Stn. 4 の Chl.*a* 量の季節変動は，溪流で見られるパターンと類似するが，この高い Chl.*a* 量は，付着藻類だけでなく Stn. 4 に繁茂していた蘚類（アオハイゴケおよびニブハタケナガゴケ）の混入（内田，未発表）によってもたらされた可能性がある。

本研究で得られた全調査期間の PC:Chl.*a* 比の値 215.1 ± 29.1 （平均値 \pm SE）は，ネパールの山間溪流で得られた 56.5（Terashima and Nakanishi, 1982），琵琶湖の植物プランクトン群集の 23.3－33.4（Nakanishi, 1976；Nakanishi et al., 1992），諏訪湖・湯の湖の 42.4（Nakanishi, 1975）および Parsons et al. (1961) により報告された海洋の植物プランクトンの変動範囲（15－96）よりも高い。PC:Chl.*a* 比は，水中に存在する藻類以外の懸濁態炭素の量や藻類の生理活性によって変化する Chl.*a* 量によって大きく変動すると考えられる。

付着藻類の光合成および栄養塩代謝過程は植物プランクトンと同じであることから，付着藻類の成長は Redfield 比（PC:PN:PP = 106:16:1；Redfield, 1958）に近

いほど良いという考えに基づき，Hillebrand and Sommer (1999) は，河川付着藻類に適用する場合の比として 119:17:1 を提唱している。矢作川の付着藻類群落の PC:PN 比は比較的安定した季節変動を示し（Fig. 5），全調査期間の PC:PN 比の頻度分布は，Hillebrand and Sommer 比の 7 付近にピークが見られた（Fig. 6）。このことから，矢作川は付着藻類の成長にとって窒素制限の河川ではないといえる。PN:PP 比は，2009 年 1 月－9 月にかけては，Hillebrand and Sommer 比（17）に近い値で推移したが，2008 年の 8 月－12 月に高く，11 月－12 月には著しく高い値（20.3－81.3）を示し，リン制限の状態にあった（Fig. 5）。PN:PP 比は，季節的に大きく変動したが，年間を通してみると Hillebrand and Sommer 比（17）付近に頻度分布のピークがあった。年間という尺度で見ると，矢作川は，付着藻類にとってリン制限の栄養環境ではないといえる。矢作ダムの上流に位置する Stn. 1 では PC:PN および PN:PP 比はいずれも Hillebrand and Sommer 比に近い値を示した（Fig. 5）。Stns. 2, 4 および 5 で PN:PP 比の値が高くなった 11 月－12 月は，3 つのデータのうちのひとつが高い値を示したことによる。矢作川における付着藻類の PN:PP 比が 11 月－12 月に本

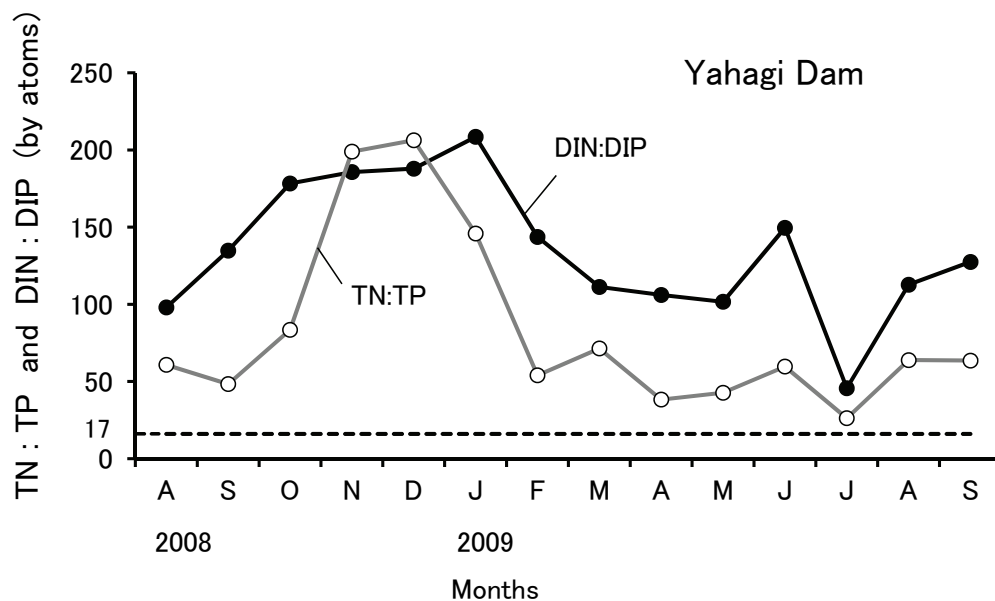


Fig. 7. Seasonal changes in the ratios of total nitrogen to phosphorus (TN:TP) and dissolved inorganic nitrogen to phosphorus (DIN:DIP). Data were obtained from the Water Information System (2011). TN: total nitrogen, TP: total phosphorus, DIN: dissolved inorganic nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$), DIP: dissolved inorganic phosphorus ($\text{PO}_4\text{-P}$). Broken lines are the ratios reported by Hillebrand and Sommer (1999).

図 7. 全窒素：全リン比（TN:TP）および溶存無機窒素：溶存無機リン比（DIN:DIP）の季節変化（水文水質データベース，国土交通省 2011）。TN：全窒素，TP：全リン，DIN：溶存無機窒素（ $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ ），DIP：溶存無機リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）。破線は Hillebrand and Sommer 比。

当に高くなるのかどうか、サンプル数を増やして検証することが今後の研究課題である。貧栄養湖のバイカル湖では、溶存態の窒素とリンの比が Redfield 比 (16) にほぼ等しい値を示し、植物プランクトンを主成分とする浮遊懸濁態有機物質の PN:PP 比は Redfield 比に近い値 13 を示す (Genkai-Kato et al., 2002)。中栄養湖の琵琶湖北湖盆では、溶存態の窒素とリンの比が 33、植物プランクトンを主成分とする浮遊懸濁態有機物質の PN:PP 比は 35 でいずれも Redfield 比よりも高い (中西, 2007)。調査期間を通して、矢作ダム水の TN:TP 比と DIN:DIP 比は、いずれも Hillebrand and Sommer 比 (17) より高く (Fig.7)、リン制限型の琵琶湖よりも高い値であった。それにもかかわらず、2008 年 8 月 - 12 月を除く 2009 年 1 月 - 9 月における矢作川下流の地点での PN:PP 比は、Hillebrand and Sommer 比 (17) に近い値を維持していた (Fig. 5)。

矢作ダム水の TN:TP 比と DIN:DIP 比が高いにもかかわらず、付着藻類群落の PN:PP 比が Hillebrand and Sommer 比に近い値をとる要因として、藻類がもつリンの余剰蓄積機能が働いていることが考えられる。Lund (1965) は、植物プランクトンが水中の無機化合物のリンを細胞内に迅速に取り込み、余剰に蓄える機能を持つことを報告している。Miyachi and Tamiya (1961) は、クロレラを用いて細胞内に取り込まれたリンは無機態のポリリン酸であることを見だし、このポリリン酸が細胞内リンの蓄積に重要な役割を果たしていることを報告した。付着藻類は、浮遊生活をする植物プランクトンと生活形式を異にするが、栄養塩代謝課程は同じであると仮定すれば、矢作川の付着藻類群落においてもリンを蓄積する機能が働き、PN:PP 比は、河川水の栄養塩濃度が著しく変動しても比較的一定に保たれているのかもしれない。

付着藻類群落の PC:PN 比および PN:PP 比が Hillebrand and Sommer 比に近い値であったことから、年間を通して見ると、矢作川では窒素およびリンのいずれも付着藻類の成長に対して強い制限とはなっていないと考えられる。しかし、河川水の TN:TP 比と DIN:DIP 比が Hillebrand and Sommer 比より高いことと、2008 年 11 月 - 12 月に見られたように付着藻類群落の PN:PP 比が Hillebrand and Sommer 比より著しく高い値を示したことから判断すると、一時的にリン制限の環境に転じ易い化学的環境でもある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、現地調査において矢作川天然アユ調査会の中根耕造氏、西口千尋氏、豊田市矢作川研究所の山本敏哉博士、白金晶子研究員に多大な協力をいただいた。特に、中根耕造氏には、各調査日ともドライスーツを着用し付着藻類用の石の採取にご尽力をいただいた。矢作川で採取した蘚類に関しては兵庫県立人と自然の博物館の三橋弘宗研究員に便宜を図っていただき、秋山弘之博士に同定をお願いした。藻類の同定には洲澤多美枝氏にご協力をいただいた。炭素、窒素、リンの分析に関しては愛知工業大学の八木昭彦教授に多くの助言をいただいた。たかはし河川生物調査事務所の高橋勇夫博士には文献の紹介をいただいた。論文の作成にあたっては矢作川研究所の所員の皆さまにご助言をいただいた。ここにお世話になった全ての方に心より感謝いたします。

文 献

- Aizaki, M. and A. Otsuki (1987): Characteristics of variations of C: N: P: Chl Ratios of seston in eutrophic shallow lake, Kasumigaura. *Japanese Journal of Limnology*, 48: 99-106.
- 深見公雄・水成隆之・久保田浩・西島敏隆 (1994): 高知県下の二河川における付着藻類の増殖速度およびアユによる藻類消費速度の見積もり. *水産増殖*, 42: 199-206.
- Genkai-Kato, M., T. Sekino, T. Yoshida, H. Miyasaka, T. V. Khodzher, O. H. Belykh, N. G. Melnik, Z. Kawabata, M. Higashi and M. Nakanishi (2002): Nutritional diagnosis of phytoplankton in Lake Baikal. *Ecological Research*, 17: 135-142.
- Healey, F. P. and L. L. Hendzel (1979): Indicators of phosphorus and nitrogen deficiency in five algae in culture. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 36: 1364-1368.
- Healey, F. P. and L. L. Hendzel (1980): Physiological indicators of nutrient deficiency in lake phytoplankton. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 442-453.
- Hillebrand, H. and U. Sommer (1999): The nutrient stoichiometry of benthic microalgal growth: Redfield proportions are optimal. *Limnology and Oceanography*, 44: 440-446.

- Horne, A.J. and C.R. Goldman (1994): Limnology. McGraw-Hill, New York.
- 石田力三 (1964): アユの摂餌率 消化率および摂餌行動に関する実験. 生理生態, 12: 99-105.
- 可児藤吉 (1944): 溪流棲昆虫の生態. 日本生物誌 (昆虫上巻), 古川晴男 (編): 171-317. 研究社, 東京.
- 川那部浩哉・森主一・水野信彦 (1959): アユの成長と藻類量, そのほか. 生理生態, 8: 117-123.
- Kobayashi, H. (1961): Chlorophyll content in sessile algal community in Japanese mountain river. Botanical Society of Japan, 74: 228-235.
- Kobayashi, H. (1972): Chlorophyll content and primary production of the sessile algal community in the mountain stream, Chigonosawa running close to the Kiso Biological Station of the Kyoto University. Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University, Series of Biology, 5: 41-55.
- 小林弘 (1986) 河川底生藻類の生態. 藻類の生態, 秋山優・有賀祐勝・坂本充・横浜康継 (編): 309-346. 内田老鶴圃, 東京
- Lorenzen, C. J. (1967): A note on the estimation of chlorophyll *a* in freshwater algal communities. Limnology and Oceanography, 12: 340-346.
- Lund, J. W. G. (1965): The ecology of freshwater phytoplankton. Biological Reviews, 40: 231-293.
- Miyachi, S. and H. Tamiya (1961): Distribution and turnover of phosphate compounds in growing *Chlorella* cells. Plant and Cell Physiology, 2: 405-414.
- 水野信彦・御勢久右衛門 (1972): 河川環境とその調査法. 河川の生態学: 4-22. 築地書館, 東京.
- Nakanishi, M. (1975): Primary production by phytoplankton. In Productivity of communities in Japanese Inland Waters, Mori, S.; Yamamoto, G. (ed.): 381- 389. University of Tokyo Press, Tokyo.
- Nakanishi, M. (1976): Seasonal variations of chlorophyll *a* amounts, photosynthesis and respiration rates of macro- and microphytoplankton in Shiozu Bay. Lake Biwa Physiology and Ecology Japan, 17: 535-549.
- Nakanishi, M. and N. Yamamura (1984): Seasonal changes in the primary production and chlorophyll *a* amount of sessile algal community in a small mountain stream, Chigonosawa. Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University, Series of Biology, 9: 41-55.
- Nakanishi, M., O. Mitamura and T. Matsubara (1990): Sestonic C: N: P ratios in the south basin of Lake Biwa with special attention to nutritional state of phytoplankton. Japanese Journal of Limnology, 51: 185-189.
- Nakanishi, M., Y. Tezuka, T. Narita, O. Mitamura, K. Kawabata and S. Nakano (1992): Phytoplankton Primary production and its fate in a pelagic area of Lake Biwa. Archiv für Hydrobiologie Beihefte Ergebnisse der Limnologie, 35: 47-76.
- 中西正己 (2007): 琵琶湖のフィールド研究からみた流域政策の課題. 流域ガバナンスとは何か 流域政策研究フォーラム報告書 2006, 滋賀大学総合研究センター・滋賀県立大学環境科学部・財団法人 国際湖沼環境委員会 (ILEC): 49-64.
- 中西正己 (2011): 川: 複雑な環境. 豊田市矢作川研究所月報 Rio, 151: 1.
- 日本分析化学会 (2005): 水の分析. 第5版. 化学同人, 京都.
- 新見幾男 (2002): 笹戸ダム湖内の背割堤工事. 豊田市矢作川研究所月報 Rio, 46: 2.
- 西村和紀・安藤生雄 (1991): 付着藻類の増殖量測定方法とアユによる摂餌状況. Nippon Suisan Gakkaishi, 57: 391-396.
- 野崎健太郎・内田朝子 (2000): 河川における糸状藻類の大発生. 矢作川研究, 4: 159-168.
- O'Brien, P. J. and J. D. Wehr (2010): Periphyton biomass and ecological stoichiometry in streams within an urban to rural land-use gradient. Hydrobiologia, 657: 89-105.
- 沖野外輝夫 (2002): 河川の生物群集, 新・河川生態学への招待 河川の生態学: 27-90. 共立出版, 東京.
- 沖野外輝夫・池田淑恵 (1997) 千曲川における付着生物量の変動に関する研究. 信州大学環境科学年報, 19: 83-88.
- Parsons, T. R., K. Stephens and J. D. H. Strickland (1961): On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankton. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 18: 1001-1006.
- Redfield, A. (1958): The biological control of chemical factors in the environment. American Scientist, 46: 205-221.
- Terashima, A. and M. Nakanishi (1982): Chlorophyll *a*, particulate organic carbon, particulate organic nitrogen in sessile algal communities of Nepalese mountain rivers. Japanese Journal of Limnology, 43: 208-214.
- Tezuka, Y. (1985): C: N: P ratios of seston in Lake Biwa as indicators of nutritional deficiency in phytoplankton and decomposition process of hypolimnetic particulate matter.

Japanese Journal of Limnology, 46: 239-246.

植木範行・草加耕司（1990）：旭川と吉井川中流域の付着藻類の増殖とアユの生息量について．岡山水産誌報，5: 62-66.

内田朝子・藤井勇・山戸孝浩（2002）：矢作川における大型糸状緑藻の時空間変動．矢作川研究，6: 113-124.

Water Information System（2011）：Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan. <http://www1.river.go.jp/>.