

河川における糸状緑藻の大発生

Blooms of filamentous green algae in river ecosystem

野崎健太郎¹⁾・内田朝子²⁾

Kentaro NOZAKI¹⁾, Asako S. UCHIDA²⁾

1. はじめに

愛知県中部を流れる矢作川では、近年、大型糸状緑藻 *Cladophora glomerata* (カワシオグサ) の大増殖が頻繁に観察されるようになった(新見, 1997; 内田, 1997, 1998, 1999)。日本の陸水域における藻類の大発生に関する研究は、淡水赤潮・アオコのような、湖沼の浮遊藻群落に関するものが大部分であり、河川および湖沼沿岸帯で卓越する付着藻群落の報告は限られている(野崎ほか, 1998; 三橋・野崎, 1998; Nozaki, 1999; Nozaki and Mitsunashi, 2000)。従って、河川における糸状緑藻の大発生に関しても、出現要因の解析および駆除対策のための基礎資料の収集が極めて困難である。そこで、本報告では、日本国内・国外を問わず、近年発表された河川における糸状緑藻の大発生をまとめ、その河川生態系に及ぼす影響、大発生の要因について解説した。尚、駆除対策・大発生の管理方法については、未だ明確な結論が無いため (Painter and Kamaitis, 1987; Dodds and Gudder, 1992; 田中, 1997 a, 1998, 1999)、詳しく触れることは出来なかった。

2. 河川における糸状緑藻の大発生と生態系への影響

表1は、近年発表された河川における糸状緑藻の大発生をまとめたものである。ただし、日本では研究例が極めて限られているため、古い文献も含めた。また比較として湖沼沿岸帯における大発生を3例載せた。良く出現する種類は *Cladophora glomerata* であり、発生時期は、種類を問わず春～秋であった。例外として、内田 (1997) は、矢作川で1995年11月から1996年2月の冬期に *Spirogyra* sp. が優占し、クロロフィル *a* 量が200~400 mg/m² に達したことを報告している。良く発達した糸状緑藻群落は数メートルにもなり (Power, 1990a; Loman and Priscu, 1992; 三重県宮川村役場私信)、河床を覆い尽くす (Biggs, 1996)。そのような状態になるとクロロフィル *a* 量は500~1000 mg/m² に達する。日本の河川で、糸状緑藻の大発生が観察されない場合、クロロフィル *a* 量の最大値は、上流域で400 mg/m² (荒川, Kobayashi, 1961), 500 (荒川, Tominaga and Ichimura, 1966), 40 (稚児の沢, 長野県木曾福島町, Kobayashi, 1972), 550 (稚児の沢, Nakanishi and Yamamura, 1984)。中流域で340 (千曲川, 桜井, 1985), 450 (多摩川, 森川, 1993), 350 (潤沼川, 茨城県, 井上・海老瀬, 1993) が報告されている。これらの値と比較すると、500~1000 mg/m² の高いクロロフィル *a* 量は、糸状緑藻の大増殖により引き起こされていると見なせる。珪藻

表1 河川および湖沼沿岸帯における糸状緑藻の大発生

場 所	国	種 類	季 節	水 温 (°C)	クロロフィルa量 (mg/m ²)	乾燥重量 (g/m ²)	強熱減量 (g/m ²)	被 度 (%)	長 さ (m)	文 献
河川										
Brier Creek, Oklahoma	USA	<i>Spirogyra</i> sp.	6月	23~36					0.06	Power and Stewart (1987)
South Fork Eel River, California	USA	<i>Cladophora glomerata</i>	夏中旬						8	Power (1990)
Necker	Switzerland	<i>Cladophora</i> sp.	5~6月	5~12	500		100			Uehlinger (1991)
Rattlesnake creek, California	USA	<i>Cladophora glomerata</i>	5月	10~18					1	Dudley (1992)
Clark Fork, Montana	USA	<i>Cladophora glomerata</i>	8~9月					50~75		Lohman & Priscu (1992)
Ilm, Thuringia	Germany	<i>Cladophora glomerata</i>	5~7月			70~350				Schonborn (1996)
Stream A	NewZealand	<i>Cladophora, Oedogonium</i>			80		25	20		Biggs (1996)
Stream B	NewZealand	<i>Cladophora, Oedogonium</i>			120		35	30		Biggs (1996)
Stream C	NewZealand	<i>Cladophora, Oedogonium</i>			160		40	40		Biggs (1996)
Stream D	NewZealand	<i>Cladophora, Oedogonium</i>			300		50	55		Biggs (1996)
Stream E	NewZealand	<i>Cladophora, Oedogonium</i>			900		200	70		Biggs (1996)
Stream F	NewZealand	<i>Cladophora, Oedogonium</i>			640		90	95		Biggs (1996)
A river, Colorado	USA	<i>Cladophora glomerata</i>								Stevens et al. (1997)
多摩川, 東京	日本	<i>Cladophora glomerata</i>	3~4月							小島・小林 (1976)
多摩川下流, 東京	日本	<i>Spirogyra, Stigeoclonium</i>	春~秋	10~30	100~700	50~300				Aizaki (1978)
用水路, 天竜川下流, 静岡	日本	<i>Oedogonium</i> sp.	夏期							石川ほか (1997)
矢作川, 愛知	日本	<i>Cladophora glomerata</i>	春・秋							内田 (1997, 1998, 1999)
矢作川, 愛知	日本	<i>Spirogyra</i> sp.	11~2月		200~400					内田 (1997)
宮川上流域, 三重	日本	<i>Spirogyra</i> sp.	5月	18	692					三橋・野崎 (1999)
紀ノ川, 和歌山	日本	<i>Cladophora glomerata</i>	夏期							仲摩 (私信)
湖沼沿岸帯										
Erie	USA	<i>Cladophora glomerata</i>	5~6月	10~20		200	100			Lorenz & Herdendorf (1982)
Huron	USA	<i>Cladophora glomerata</i>	5~7月	10~16		300~600				Jackson (1988)
琵琶湖北湖	日本	<i>Spirogyra</i> sp.	6~7月	20~30	200~1000					野崎ほか (1998), Nozaki (1999) Nozaki & Mitsuhashi (2000)

やらん藻で形成された河川の付着藻群落は、普通、数 mm の極めて狭い空間に細胞が密集しているため、群落上部に位置する細胞が、より下部に位置する細胞を大きく遮光している(相崎, 1980; Boston and Hill, 1991; Hill and Boston, 1991; Vincent et al., 1993). この遮光効果を考慮すると、付着藻群落内の現存量は、クロロフィル *a* 量で 200~250 mg/m² 程度が最大であると推定され (Tominaga and Ichimura, 1966; 相崎, 1980; Nakanishi and Yamamura, 1984), それ以上になると石面から剝離して群落が更新されると考えられる. しかしながら、糸状緑藻が大発生した付着藻群落は 1000 mg/m² にも達するクロロフィル *a* 量を示している. この原因は糸状緑藻群落内の光の減衰が、微小な珪藻・らん藻で形成される群落に比べて著しく小さく、現存量が増加しても遮光の影響が少ないことに起因する (Nozaki, 1999).

河川生態系における糸状緑藻の大発生は、物質代謝(循環)と河床の物理形状に大きな変化をもたらす. 糸状緑藻の大発生による藻類現存量の増加は、系の基礎生産力を高める (Nozaki, 投稿中). しかしながら、珪藻やらん藻に比べ、藻体が長くなり、細胞が大きく頑丈な糸状緑藻は、水生昆虫を中心とする底生無脊椎動物の餌資源として価値が低いとされている (Allan, 1995). また日本の河川には、糸状緑藻を好んで摂食する魚類 (Power et al., 1985) は確認されていない. 従って、生食食物連鎖に関係しない有機物が大量に蓄積されることになる (Nozaki and Mitsunashi, 2000). 結果として腐食食物連鎖が卓越することになると予測されるが、糸状緑藻の基礎生産の行方は、まだ解明されていない.

石面上を覆うように繁茂した糸状緑藻群落は、河床の表面積を広げ物理的構造を複雑にする. この群落は、微小な付着藻、底生無脊椎動物、稚魚に新たな生息場所を提供する (Power, 1991; Hart, 1992; Lowe, 1996, Schönborn, 1996). 特に河床から剝離し水面に浮上した糸状緑藻は、水生昆虫の隠れ場として有効に作用することが示されている (Power, 1990b). その一方で、淵など流れの緩い場所に蓄積した糸状緑藻群落内では、夜間に呼吸により溶存酸素濃度が低下し、多くの生物の生息に不適である貧酸素水域を出現させている可能性がある (Dodds and Gudder, 1992; 三橋・野崎, 1999). 湖沼沿岸帯の糸状緑藻群落内では、夜間に溶存酸素濃度が低下することが観察されている (Turner et al., 1995; 野崎ほか, 1998). 河川の生物にとって、糸状緑藻の繁茂は、正負両面の価値を持つと思われる.

糸状緑藻の大発生は、人間活動への障害も生ずる. 例えば 1) 河川を水源とする浄水場に流れ込みろ過池の目詰まりを引き起こす. 2) 堆積した糸状緑藻が腐敗し水に異臭味を付ける. 3) 農業用水を詰まらせる. 4) 釣り、水泳など河川での楽しみを物理的に阻害する. 特に子供の足に絡みつき溺れる原因となる (Whitton, 1970; 小島・小林, 1976; Dodds and Gudder, 1992; 新見, 1997). 日本ではこれらの障害に加え、内水面漁業で最も価値の高いアユ (宮地, 1960) の生産に対する被害が懸念されている (三重県宮川; 愛知県矢作川; 愛知県豊川). アユは、水あかと呼ばれる主に珪藻・らん藻で形成された付着藻群落を主食にしている. この水あかが繁茂すべき石面を糸状緑藻が覆い尽くすため、アユの餌場が著しく狭められていると考えられている. 矢作川をそ上中の稚アユは、糸状緑藻 *Cladophora* を多く捕食していることが、胃内容物の調査から判明した (高橋・新見, 1999). 捕食された *Cladophora* が同化され成長に使われていれば、糸状緑藻の大発生は、アユの漁獲量に影響を与えないはずであるが、実際には、糸状緑藻の大発生とアユ漁獲量の間には負の関係が見られるようで

ある（新見，1999）．この点を深めるためには，水あかと *Cladophora* の主要栄養素の分析を行い（坂井ほか，1992），アユに対する栄養源としての価値を比較する必要がある．

3. 糸状緑藻が大発生する要因

河川付着藻群落の現存量は，一般的に図1に示した機構により決定される（Biggs, 1996）．すなわち，蓄積と消失の結果である．蓄積には移入と成長があるが，糸状緑藻現存量の著しい増加を導くのは成長であるため，ここでは成長要因に内容を絞った．

藻類の成長に影響を及ぼす要因は，栄養塩（窒素・リンなど），光，水温である．この内，光・水温は主に地理的に決定される要因であるため，糸状緑藻の大発生は，富栄養化にともなう栄養塩濃度の変化に起因すると考えられる．Biggs and Price (1987) は，ニュージーランドの400以上の河川を調べ，富栄養化の指標となる電気伝導度と付着藻群落の現存量（強熱減量）との間に正の関係があることを見出した（図2）．群落を構成する主な種について見ると，世界的に大発生が良く観察される糸状緑藻 *Cladophora glomerata* は，ニュージーランドでは富栄養化が進んだ河川で優占することが明らかになった．ただし，藻類の栄養塩濃度に対する適性は未解明な部分が多く，この結果を一般則として見なすには無理がある．日本では *Cladophora glomerata* が清水の指標と見る研究者もいる（小島・小林，1976）．また，図2では *Cladophora glomerata* 同様に，各地で大発生を引き起こす糸状緑藻 *Cladophora* sp., *Oedogonium* spp., *Spirogyra* sp. は，比較的，低い電気伝導度を持つ河川で優占している．栄養塩濃度が糸状緑藻の大発生に必ずしも関係していない1例として，多摩川下流域と

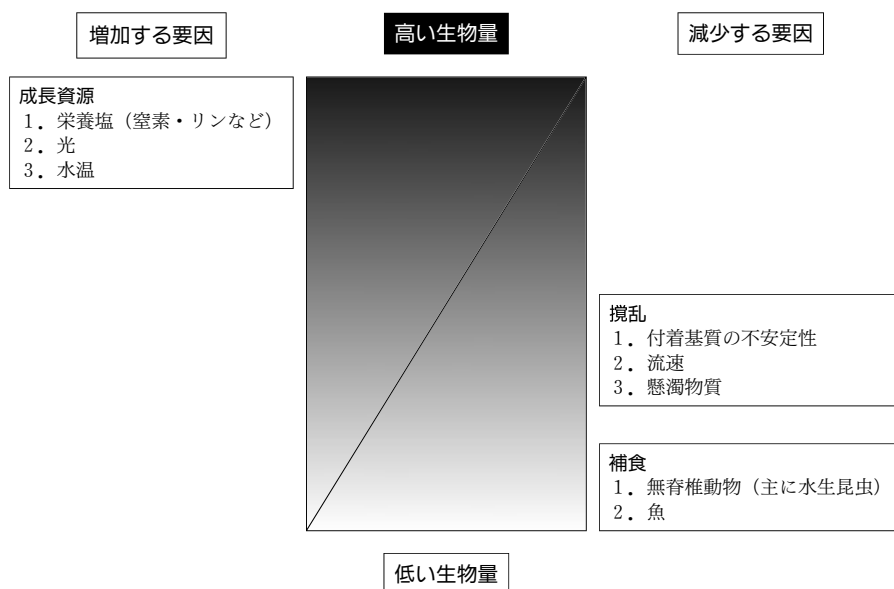


図1 河川の付着藻現存量を決定する要因（Biggs, 1996）．

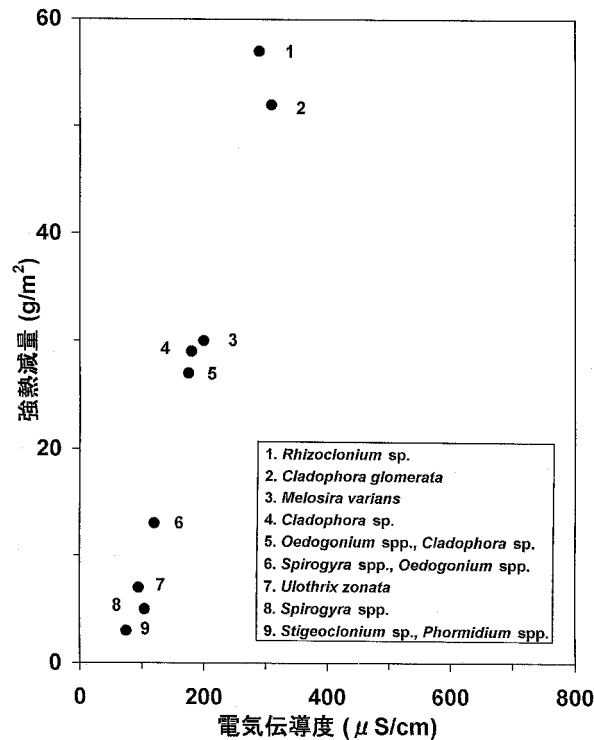


図2 ニュージーランドの400以上の河川調査結果から得られた電気伝導度と強熱減量の関係。電気伝導度は富栄養化、強熱減量は付着藻現存量の指標である (Biggs and Price, 1987 を改変)。

三重県宮川上流部の調査結果 (Aizaki, 1978 ; 三橋・野崎, 1998) を解説する。両河川は同じ5月に、糸状緑藻が大発生し、クロロフィル *a* 量が 700 mg/m^2 に達した。ところが栄養塩濃度は、多摩川で、アンモニア態窒素 2.80 mg/l 、亜硝酸態窒素 0.34 mg/l 、硝酸態窒素 2.42 mg/l 、リン酸態リン 0.61 mg/l を示したのに対し、宮川では、アンモニア態窒素 0.02 mg/l 、亜硝酸態窒素 0.001 mg/l 、硝酸態窒素 0.15 mg/l 、リン酸態リン 0.008 mg/l の極めて低い濃度を示した。この事実は、栄養塩濃度から見ると、日本の河川は上流から下流まで潜在的に糸状緑藻が繁茂できる環境にあることを示唆している。河川は上流から下流に向かい常に栄養塩が供給される系である (Vannote et al, 1980)。栄養塩は、瞬間的な濃度ではなく供給量という視点で捉えなおす必要があるだろう。

一方、消失要因であるが、攪乱については、付着基質の不安定性と流速に絞って解説した。懸濁物質は付着藻群落の表面に沈積し、光の有効利用を妨げるが (Burkholder and Cuker, 1991)、日本の河川では激しい濁りが長期間継続することは無いため、取り上げなかった。糸状緑藻は付着藻群落の形成過程において最後に定着する (Peterson and Stevenson, 1992)。従って、糸状緑藻が大発生するには、河床が長期間安定する必要がある。河床の石れきは、降雨・雪解けによる増水で転がり、付着している藻類群落が剥ぎ取られる (Aizaki, 1978 ; Biggs and Close, 1989 ; 井上・海老瀬, 1993 ; Biggs, 1996)。特にその効果は、群落が長い

糸状緑藻に大きく影響する（Power and Stewart, 1987；Uehlinger, 1991）。増水による攪乱に対して、付着基質（主に石れき）の不安定性は群落の形成に極めて大きな意味を持つ。例えば Power (1992) は、*Cladophora glomerata* が中央直径 256 mm 以上の石れきには 3 月から群落を形成するのにに対し、16~256 mm の石れきには、河床が安定する 6 月以降にならないと群落を形成しないことを報告した。近年は多くの河川にダムが建設され、河川の水量が管理されるようになってきた。その結果、ダム建設以前に比べて攪乱の頻度が減り、河床が長期間安定するようになったと思われる。これは糸状緑藻の繁殖にとって好都合である（Biggs, 1996）。しかしながら具体的な研究報告は存在しない。

攪乱の頻度と関係する要因として、突発的な異常気候も挙げられる。三橋・野崎（1999）は、三重県宮川で突如として観察された *Spirogyra* sp. の大発生の原因として、記録的な渇水による河床攪乱の低下を考え、18 年間の水文資料を検討した。その結果、大発生が見られた 1996 年は、現場の上流に位置する宮川ダムに流入する水量が 18 年間で最も少ない年であることが判明し、渇水が有力な要因であることを示唆した。

動物による捕食は、付着藻類の現存量を減らす要因であるが、先にも述べたように、糸状緑藻は餌資源として価値が低いと考えられるため、大きな影響は無いと考えられる。むしろ動物の捕食は糸状緑藻の増殖を促進することもある。大型糸状緑藻である *Cladophora glomerata* の表面には微小な珪藻・らん藻が付着する。これら微小な藻類があまりに多く付着すると *Cladophora glomerata* 自体を遮光し、その成長を抑制する。Dudley (1992) は、水生昆虫が *Cladophora glomerata* に付着する藻類を捕食・除去し、その成長を高めていることを明らかにした。また Power (1991) は、ユスリカ幼虫が *Cladophora glomerata* 群落の形成初期には、捕食して阻害するが、後期には群落内に住み、その排泄物で栄養塩を供給していることを報告した。

藻類の大発生の要因を解析する場合、多くは、藻類と栄養塩、攪乱、捕食など、それぞれ 1:1 の関係を考察する。しかしながら、複数の要因が働く場合がある。攪乱と捕食が複合的に働く例を紹介する。米国北カリフォルニア州の多くの河川は、冬期に増水による攪乱が起こり、生態系構造が破壊される。Power (1992) は、この地域の攪乱が起こる河川とダムにより管理され攪乱が起きない河川で *Cladophora glomerata* の発生状況を比較した。その結果、攪乱の起きない河川では、冬期に捕食者が一掃されないために、*Cladophora glomerata* の現存量が、攪乱の起きる河川に比べて、捕食により低く抑えられていることを明らかにした。

4. おわりに

Stevenson (1997) は、ある河川で付着藻群落の構造（例えば *Cladophora* の大発生）を制限している要因が、他の河川では同じように作用しないことを解析するために、付着藻群落の制限要因を階層的に見ることを提案している。例えば、図 1 に示した付着藻群落の現存量に直接影響する要因は、より上位の階層である、その流域の気候、地質、土地利用の枠組みの中で作用している（Biggs, 1995；Leland, 1995）。矢作川における *Cladophora glomerata*

の大発生の要因は、田中(1997b)が指摘しているように、流域全体を視野に入れ、解析を進めていく必要がある。

5. 謝 辞

糸状緑藻の発生事例収集にあたり、情報を快く提供して下さった、(株)関西総合環境センター、仲摩博康氏、青山短期大学、熊野茂教授、静岡県企業局、石川裕之氏、(株)日水コン、小島貞男博士に感謝いたします。

6. 要 約

河川における *Cladophora*, *Oedogonium*, *Spirogyra* など大型糸状緑藻の大発生をまとめ、河川生態系に及ぼす影響、大発生の要因について解説した。糸状緑藻の大発生は、基礎生産、物質代謝過程、他の生物の生息場所を大きく変化させると考えられた。更に、日本では、大発生がアユの漁獲量に悪影響を及ぼすことが懸念されている。大発生の要因として、富栄養化、攪乱、捕食が検討された。有力な要因は、ダム建設や渇水による攪乱頻度の低下が導く、河床安定化であると思われた。今後、糸状緑藻の大発生を抑制していくためには、調査・研究の視点が、河川から流域全体に広がっていくべきである。

Summary

Ecological effects of blooms of filamentous green algae such as *Cladophora*, *Oedogonium* and *Spirogyra* on river ecosystems, and its regulating factors were reviewed in this report. Primary production, matter metabolism and habitat of other organisms seemed to be changed drastically by the blooms. Furthermore, in Japan, there is fear among the fishermen living nearby that the bloom may bring about the fishery reducing "Ayu" (*Plecoglossus altivelis*), an algae-grazer. Eutrophication, disturbance and grazing were discussed as factors affecting the blooms of filamentous green algae. An influential factor seemed that the disturbance frequency was decreased by dam construction and unusual drought condition. In order to establish the management of the filamentous green algae, we suggest that the viewpoint of the research should be broadened from river to basin.

文 献

Aizaki, M. (1978) Seasonal changes in standing crop and production of periphyton in the Tamagawa

- river. *Jpn. J. Ecol.*, 28 : 123-134.
- 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ともなう現存量および光合成量の変化. 陸水学雑誌, 41 : 225-234.
- Allan, J. D. (1995) *Stream Ecology*. Chapman and Hall, New York.
- Biggs, B. J. F. (1995) The contribution of flood disturbance, catchment geology and land use to the habitat template of periphyton in stream ecosystems. *Freshwat. Biol.*, 33 : 419-438.
- Biggs, B. J. F. (1996) Patterns in benthic algae of streams. *Algal Ecology-Freshwater Benthic Ecosystems* (Eds. J. Stevenson, M. L. Bothwell and R. Lowe), pp. 31-56. Academic Press, San Diego.
- Biggs, B. J. F. and Price, G. M. (1987) A survey of filamentous algal proliferations in New Zealand rivers. *N. Z. J. Mar. Freshwater Res.*, 21 : 175-191.
- Biggs, B. J. F. and Close, M. E. (1989) Periphyton biomass dynamics in gravel bed rivers : The relative effects of flows and nutrients. *Freshwat. Biol.*, 22 : 209-231.
- Boston, H. L. and Hill, W. R. (1991) Photosynthesis-light relations of stream periphyton communities. *Limnol. Oceanogr.*, 36 : 644-656.
- Burkholder, J. M. and Cuker, B. E. (1991) Response of periphyton communities to clay and phosphate loading in a shallow reservoir. *J. Phycol.*, 27 : 373-384.
- Dodds, W. K. and Gudder, D. A. (1992) The ecology of *Cladophora*. *J. Phycol.*, 28 : 415-427.
- Dudley, T. L. (1992) Beneficial effects of herbivores on stream macroalgae via epiphyte removal. *Oikos*, 65 : 121-127.
- Hart, D. D. (1992) Community organization in stream : the importance of species interactions, physical factors, and chance. *Oecologia*, 91 : 220-228.
- Hill, W. R. and Boston, H. L. (1991) Community development alters photosynthesis-irradiance relations in stream periphyton. *Limnol. Oceanogr.*, 36 : 1375-1389.
- 井上隆信・海老瀬潜一 (1993) 河床付着生物膜現存量の周年変化と降雨に伴う剥離量の評価. 水環境学会誌, 16 : 507-515.
- 石川裕之・秋山修・伊達由紀子・多米和彦・山内謙吾・神谷英志・塚本真大・長島康男・小池哲也 (1997) 幹線用水路における水藻繁殖の抑制工法について. 農業土木学会関東支部大会講演旨
- Kobayashi, H. (1961) Chlorophyll content in sessile algal community of Japanese mountain river. *Bot. Mag. Tokyo*, 74 : 228-235.
- Kogayashi, 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. *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ. Ser. B.*, 5 : 89-107.
- 小島貞男・小林弘 (1976) 素顔の水処理微生物 (総集版 I). 月間「水」臨時増刊号.
- Leland, H. V. (1995) Distribution of phytobenthos in the Yakima river basin, Washington, in relation to geology, land use, and other environmental factors. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52 : 1108-1129.
- Lohman, K. and Priscu, J. C. (1992) Physiological indicators of nutrient deficiency in *Cladophora* (CHLOROPHYTA) in the Clear Fork of the Columbia river, Montana. *J. Phycol.*, 28 : 443-448.
- Lowe, R. L. (1996) Periphyton patterns in lakes. *Algal Ecology-Freshwater Benthic Ecosystems* (Eds. J. Stevenson, M. L. Bothwell and R. L. Lowe), pp. 57-76. Academic Press, San Diego.
- 三橋弘宗・野崎健太郎 (1999) 三重県宮川における糸状藻類 *Spirogyra* sp. の大発生. 陸水生物学報, 14 : 9-15.
- 宮地伝三郎 (1960) アユの話. 岩波書店, 東京.

- 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.
- Nakanishi, M. and Yamamura, N. (1984) Seasonal changes in the primary production and chlorophyll a amount of sessile algal community in a small mountain stream, Chigonosawa. Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ. Ser. B., 9 : 41-55.
- 新見幾男 (1997) 良く利用され, なお美しい矢作川の創造をめざして-矢作川の現況・課題・豊田市矢作川研究所の設立-. 矢作川研究, 1 : 1-6.
- 新見幾男 (1999) 続々・良く利用され, なお美しい矢作川の創造をめざして-美しい川の条件とは何か. 矢作川研究, 3 : 1-3.
- Nozaki, K. (1999) Algal community structure in a littoral zone in the north basin of Lake Biwa. Jpn. J. Limnol., 60 : 139-157.
- 野崎健太郎・三橋弘宗・辻彰洋 (1998) 琵琶湖北湖沿岸部における糸状緑藻群落内の溶存酸素濃度の日変化. 陸水学雑誌, 59 : 207-213.
- Nozaki, K. and Mitsunashi, H. (2000) Particulate carbon, nitrogen and phosphorus accumulation by propagation of *Spirogyra* sp. Verh. Internat. Verein. Limnol., 27 : (in press).
- Painter, D. S. and Kamaitis, G. (1987) Reduction of *Cladophora* biomass and tissue phosphorus in Lake Ontario, 1972-83. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44 : 2212-2215.
- Peterson, C. G. and Stevenson, J. (1992) Resistance and resilience of lotic algal communities : importance of disturbance timing and current. Ecology, 73 : 1445-1461.
- Power, M. E. (1990a) Benthic turfs vs. floating mats of algae in river food webs. Oikos, 58 : 67-79.
- Power, M. E. (1990b) Effects of fish in river food webs. Science, 250 : 411-415.
- Power, M. E. (1991) Shifts in the effects of turf-weaving midges on filamentous algae. Am. Midl. Nat., 125 : 275-285.
- Power, M. E. (1992) Hydrologic and trophic controls of seasonal algal blooms in northern California rivers. Arch. Hydrobiol., 125 : 385-410.
- Power, M. E., Matthews, W. J. and Stewart, A. J. (1985) Grazing minnows, piscivorous bass, and stream algae : dynamics of strong interaction. Ecology, 66 : 1448-1456.
- Power, M. E. and Stewart, A. J. (1987) Disturbance and recovery of an algal assemblage following flooding in an Oklahoma stream. Am. Midl. Nat., 117 : 333-345.
- 坂井正・中本信忠・星野光良・星野洋右 (1992) 緩速ろ過池で繁殖する藻類とその有効利用. 環境科学年報 (信州大学), 14 : 93-96.
- 桜井善雄 (1985) 千曲川中流域における periphyton による有機物生産とその河川水質への寄与. 環境科学研究報告集「河川における物質循環」, 35-48.
- Schönborn, W. (1996) Algal aufwuchs on stones, with particular reference to the *Cladophora*-dynamics in a small stream (Ilm, Thuringia, Germany) : production, decomposition and ecosystem reorganizer. Limnologica, 26 : 375-383.
- Stevens, L. E., Shannon, J. P. and Blinn, D. W. (1997) Colorado river benthic ecology in Grand Canyon, Arizona, USA : dam, tributary and geomorphological influences. Regul. Rivers : Res., 13 : 129-149.
- Stevenson, J. (1997) Scale-dependent determinants and consequences of benthic algal heterogeneity. J. N. Am. Benthol. Soc., 16 : 248-262.
- 田中蕃 (1997 a) 砂利投入による河床構造回復の試みとその効果. 矢作川研究, 1 : 175-202.
- 田中蕃 (1997 b) 矢作川流域の自然 (その概要). 矢作川研究, 1 : 7-44.

- 田中蕃 (1998) 砂利投入による河床構造回復の試みとその効果II. 矢作川研究, 2 : 191-223.
- 田中蕃 (1999) 砂利投入による河床構造回復の試みとその効果III. 矢作川研究, 3 : 203-243.
- 高橋勇夫・新見克也 (1999) 矢作川におけるアユの生活史—II. 矢作川研究, 3 : 247-267
- Tominaga, H. and Ichimura, S. (1966) Ecological studies on the organic matter production in a mountain river ecosystem. Bot. Mag. Tokyo, 79 : 815-829.
- Turner, M. A., Robinson, G. G. C., Townsend, B. E., Hann, B. J. and Amaral, J. M. (1995) Ecological effects of blooms of filamentous green algae in the littoral zone of an acid lake. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52 : 2264-2275.
- 内田朝子 (1997) 矢作川における付着藻類と底生動物の基礎調査報告. 矢作川研究, 1 : 59-80.
- 内田朝子 (1998) 矢作川における付着藻類と底生動物の基礎調査報告その2. 矢作川研究, 2 : 19-31.
- 内田朝子 (1999) 矢作川における付着藻類と底生動物の基礎調査報告その3. 矢作川研究, 3 : 19-33.
- Uehlinger, U. (1991) Spatial and temporal variability of the periphyton biomass in a prealpine river (Necker, Switzerland). Arch. Hydrobiol., 123 : 219-237.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. and Cushing, C. E. (1980) The river continue concept. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37 : 130-137.
- Vincent, W. F., Castenholz, R. W., Dowens, M. T. and Howard-Williams, C. (1993) Antarctic cyanobacteria : light, nutrients, and photosynthesis in the microbial mat environment. J. Phycol., 29 : 745-755.
- Whitton, B. A. (1970) Biology of *Cladophora* in freshwater. Wat. Res., 4 : 457-476.

- (1) 滋賀県立大学湖沼環境実験施設 : 〒 522-0057 彦根市八坂町 3165
(2) 豊田市矢作川研究所研究員 : 〒 471-0025 豊田市西町 2-19 豊田市職員会館 1 F)