短 報 SHORT COMMUNICATION**長良川河口堰における河川棲植物プランクトンの増殖と
流量の関係について**

西條 八束

〒465-0063 名古屋市名東区新宿2-247

Yatsuka SAIJO¹⁾: Relation between flow rate and algal growth above the rivermouth barrage in the Nagara River. *Ecol. Civil Eng.* 1(1), 33-36, 1998.

1) 2-247 Shinjuku, Meito-ku, Nagoya 465-0063, Japan

Abstract: Occurrence of high algal growth above the rivermouth barrage in the Nagara River was examined during the high flow rate in the river was decreasing, by using the data of the Japanese Ministry of Construction River Bureau and the Water Resource Development Public Corporation. Recent researches in the Nagara River showed that after closing the gate the high algal growth was generally observed above the rivermouth barrage when a low flow rate continued having enough solar radiation, because the river water contains enough nitrogen and phosphorus as the nutrients.

However, Murakami et al.(1998) found that when the low flow rate continued a rather long time, the amount of algae decreased probably because of the sedimentation of algae near the gate and the feeding by rotifer. Results of this study based on the continuously recorded data at a station above the barrage showed that high algal growth could be found when the flow rate decreased to the level ranging from 100 to 60 m³ sec⁻¹. This range of flow rate almost agree with those suggested by Murakami et al.(1998) to maintain a high algal growth.

Key words: Nagara River, rivermouth barrage, flow rate, algal growth, chlorophyll-a

はじめに

「急流として知られる日本の河川に生育しているのは付着藻類だけで、大陸の河川で広く知られている河川棲植物プランクトン(浮遊藻類)は生育していない」というのが日本の河川についての陸水学的な常識で、教科書(例えば小泉 1971)にも記述されていた。しかし 日本自然保護協会の長良川河口堰調査の中で、「日本の河川においても大陸で見られるのと同様な河川棲植物プランクトンが生育している」という事実が Murakami et al.(1992, 1994) によって見いだされ、各地の河口堰ならびに一部の河川において確認された。

この浮遊藻類の長良川における顕著な増殖は、堰が完成する以前でも 1990 年以降、ほぼ毎年、梅雨の後 8 月に流量の低下(40 m³ sec⁻¹以下)が続いた後に短期間の顕著な発生(クロロフィル a 量として 30~60 μg ℓ⁻¹)として観測された。

しかし、堰が完成し、1995 年 7 月に全ゲートが閉鎖されて以降は、一般的傾向として初夏から初秋にかけて、流量が 50 m³ sec⁻¹より低い状態が続いたとき、相当量の日照時間があれば、藻類はある期間継続して、クロロフィル a 量として 30 μg ℓ⁻¹以上、しばしば 60 μg ℓ⁻¹を越える顕著な発生をしている。その一方で、Murakami et al.(1998) は、長良川で流量 50 m³ sec⁻¹以下の低い流量が続くと、堰直上流付近における藻類の沈積、動物プラ

ンクトンのワムシによる捕食等のため、逆に藻類の発生が減少することを報告している。

ここでは、建設省・水資源開発公団の長良川調査資料（建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支社、1995, 1996, 1998）を検討し、高い流量が次第に低下してきたとき、 $100\sim60\text{ m}^3\text{ sec}^{-1}$ というとくに低い流量とは言えない状態においても、藻類の活発な増殖が認められた結果について報告する。

調査水域・方法

長良川河口堰は河口から5.4 kmの地点に建設され、1994年に完成した。ここで議論の対象としたデータは、建設省・水資源開発公団が1994年4月から長良川の6地点に設置した自動記録観測点のうち、堰直上流、河口から6.4 kmにある伊勢大橋付近の観測点（愛称：イセくん）で測定されたデータである。

観測項目は、水温、DO、クロロフィルa（直接蛍光法）、総窒素、総リンその他10項目に及び、1時間ごとに記録される。2割水深と8割水深で観測されているが、ここでは2割水深のデータを表層の値として論議した。河口堰直上部の水深は約6 mである。

藻類量は明け方に低く、午から夕方にかけて高い傾向があるので、建設省・水資源開発公団が発表している毎日午前9時のデータを用いて、流量（1日の平均値）の変化との関係を見た。ただし、建設省・公団によれば、1995年のデータは補正の済んだ確定値であり、1997年のデータはまだ補正が済んでいない観測値である。しかし、この違いは論議を本質にかかわるようなものではない。

その他、同じ水域で調査船からセンサーを降ろして深度別に測定された水温、DO、クロロフィルa量のデータも引用した。流量は堰上流30数kmの墨俣における測定値が公式の値として使用されている。

フラッシュの問題

とくに藻類の発生が顕著な傾向がある7,8月の状況を考察するのに大きな問題となったのは、1995年8月1日から開始されたフラッシュ（泊ほか、1996）と呼ばれるゲート操作である。これは堰上流水域で藻類が多量に発生したときは、上のゲートを少しあげて水位を高め、その後、ゲートを一挙に下げて、表層付近の藻類を流出させ、除去する。また、同じく堰上流で底層の貧酸素化が進行すると、同様に水位を上げた後、下のゲートを少し上げて貧酸素水を除去するという操作である。この操作が実施されたのは、各年次の期間である。

1995年 8月1日～9月7日

1996年 7月1日～8月31日

1997年 7月16日～8月31日

このフラッシュ操作が藻類の発生量を減らす方向に働いているか、増やす方向に働いているかは明らかでなく、今後の検討を必要とする。いずれにせよ、この期間の藻類発生量（クロロフィルa量）はフラッシュの影響を受けているため、ここでの考察の対象から除外した。

結果と考察

1995年度は、7月3日に流量が $800\text{ m}^3\text{ sec}^{-1}$ を越えて $1400\text{ m}^3\text{ sec}^{-1}$ に達したため、その減水の過程で初めてゲートを閉鎖した。堰上流に塩水を一切残さずに全ゲートを閉めたわけである。しかし、7月22日に再び $910\text{ m}^3\text{ sec}^{-1}$ に達したのでゲートを一たん全開し、翌23日再び全ゲートを閉じた。その後流量はFig. 2(上)のように次第に低下して31日には $60\text{ m}^3\text{ sec}^{-1}$ となった。

水温、DO、クロロフィルa量の鉛直分布

Fig. 1は7月30日17時に、河口堰直上流の伊勢大橋付近において観測船から測定した、水温、DOおよびクロロフィルa量の鉛直分布である。Fig. 2(上)に示すように、まだ $70\text{ m}^3\text{ sec}^{-1}$ の流量があったのに、表層 28.8°C 、底層 26.0°C という水温差が観察された。また、表層付近（深度0.1 m）では $57.4\text{ }\mu\text{g l}^{-1}$ というクロロフィルa量が測定された。長良川の平常のクロロフィルa量は $2\sim3\text{ }\mu\text{g l}^{-1}$ 、せいぜい数 $\mu\text{g l}^{-1}$ 程度（Murakami et al. 1992, 1994）であることを考えればきわめて高い値である。

浮遊藻類の大部分は代表的な河川棲植物プランクトンである珪藻類の*Cyclotella atomus*と同定され、細胞数で $22,000/\text{ml}$ に達していた。このときの表層のDOは藻類の増殖を反映して 12.6 mg l^{-1} （飽和度として166%）というきわめて高い値を示し、一方底層では 5.1 mg l^{-1} （64%）であった。ただし、表層付近の水温、DO、クロロフィルa量は、いずれも午後から夕方にかけて高くなる傾向があるから、この時のクロロフィルa量もFig. 2の値よりも高くなっていたと考えられる。

流量とクロロフィルa量の関係

前述の1995年7月末ならびに1997年7月はじめにおける、流量（墨俣における日平均値）と、堰直上の伊勢大橋付近の自動観測点で測定された、表層（2割水深）のクロロフィルa量（午前9時の値）の関係をFig. 2に示す。

前者の場合はこの間、快晴が続き、7月24日～31日は

Fig. 1. Vertical distribution of water temperature, DO and chlorophyll-a at 17:00, observed just above the rivermouth barrage on the Nagara River on 30 July, 1995, one week after the gate closing. This figure shows that the distinct algal blooming and decreasing of DO in bottom layer can occur within several days even with the gates closed at a high flow rate exceeding 800 m³ sec⁻¹.

日照時間が連日 9.7 時間を超えていた。それに伴って、表層水温も 7 月 23 日の 19.4°C から 31 日の 27.1°C (10 年間の平均水温より 1.1°C 高い程度) と上昇した。

1997 年 6 月 30 日には 200 m³ sec⁻¹ の流量があり、7 月 1 日には 120 m³ sec⁻¹ まで低下したが、4 日まで 100 m³ sec⁻¹ の流量があった。この間、クロロフィル a 量は 4~9 μg l⁻¹ の範囲であったが、5 日に流量が 95 m³ sec⁻¹ のときクロロフィル a 量が 18.6 μg l⁻¹、6 日と 7 日に流量が 80 m³ sec⁻¹ まで低下したらクロロフィル a 量がそれぞれ 42.2 および 55.2 μg l⁻¹ と急増した。この間はほぼ晴天が続ぎ、日照時間は 7 月 4 日~7 日までは 9.2~10.9 時間、7 日は 6.3 時間、水温は 21.3~23.2°C であった。

湛水域の通過時間

河口堰上流域における藻類発生は流量と密接に関係しており、流量の減少は水塊の湛水域の通過時間を増加させ、それだけ水中の浮遊藻類の増殖を促すと考えられる。

Fig. 2. Changes in flow rate and chlorophyll-a contents of surface water above the rivermouth barrage on the Nagara River from 23 to 31 July, 1995 (above) and from 30 June to 8 July, 1997 (below). Algal growth is very rapid even when the flow rate is not so low, ranging from 100 to 60 m³ sec⁻¹.

Saijo (1991) によると、長良川河口堰上流において、湛水域の容積を流量で除したものの(交換速度)を仮に水塊の通過日数とすれば、流量 200 m³ sec⁻¹ のときが 2.2 日、100 m³ sec⁻¹ のとき 4.4 日、80 m³ sec⁻¹ のとき 5.4 日、60 m³ sec⁻¹ のとき 7.3 日となる。

河川棲植物プランクトンの場合、水温、栄養塩などの条件に大きな違いがなければ、流量により藻類量が支配されることは Lack (1971), Murakami et al. (1994) などが述べている。しかし、流量が 100~80 m³ sec⁻¹ 程度のときでも浮遊藻類が湛水域を通過するのに 4~5 日かかるということは、水温が 20°C を越え、十分な日射があり、栄養塩が制限因子になっていない場合、その期間に藻類の相当量まで増殖を可能にしていると考えられる。

栄養塩

栄養塩に関して言えば、長良川河口堰上流水域の表層水の総窒素量は、冬季に $1.4 \sim 1.6 \text{ mg } \ell^{-1}$ 、春から夏季に $0.9 \sim 1.3 \text{ mg } \ell^{-1}$ 程度であり、総リンがほぼ1年を通じて $0.06 \sim 0.09 \text{ mg } \ell^{-1}$ という相当高いレベルである。ここで問題にした1995年7月末に近い7月28日の表層水中の無機栄養塩の濃度を見ると、通常、窒素の栄養塩の中で優先的に消費されるアンモニア態窒素 $\text{NH}_4\text{-N}$ は $0.01 \text{ mg } \ell^{-1}$ 以下になっていたが、硝酸態窒素 $\text{NO}_3\text{-N}$ は $0.68 \text{ mg } \ell^{-1}$ 、リン酸態リン $\text{PO}_4\text{-P}$ は $0.023 \text{ mg } \ell^{-1}$ と、いずれもかなりの量が測定され、窒素、リンが枯渇した状態ではなかった。

後の例の1997年7月6～7日に近い無機栄養塩のデータはないが、総窒素が $0.80 \text{ mg } \ell^{-1}$ 、総リンが $0.06 \text{ mg } \ell^{-1}$ 程度あり、これまでのデータから考えて、栄養塩が生産の制限因子になることはないと考えられる。

全ゲート閉鎖後の藻類発生条件

長良川の堰直上流域においては、夏期に十分な日射量があるかぎり、低い流量（一応 $50 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ より低い期間と考えた）が続けば、多量の藻類が発生することは既に認められている。しかし、上述の例から考えて、渇水状態とは言えない、 $60 \sim 100 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ 程度の流量が数日続けば、藻類がクロロフィルa量として少なくとも $30 \sim 60 \mu\text{g } \ell^{-1}$ 程度まで増加する可能性は高い。この結果は Murakami et al. (1998) が、藻類の沈降、ワムシによる捕食等を考えて示唆している条件に近い。

墨俣観測所の流況表によると、1987年から1996年の10年間の平均値（とその変動範囲）で見ると、

豊水流量	122.21 (166.02～66.58) $\text{m}^3 \text{ sec}^{-1}$
平水流量	70.55 (94.43～47.80)
低水流量	46.42 (58.60～35.37)
渇水流量	29.15 (39.91～15.68)

であり、この平均値で言えば、全ゲートが閉鎖しているかぎり、6月から10月ころにかけて、渇水流量まで低下しなくても、低水流量以下になると藻類の発生が顕著であり、平水流量でも相当量の藻類が発生するような状態にあると考えてよいであろう。

摘 要

長良川河口堰の全ゲート閉鎖後の堰直上域における浮遊藻類の発生に関して、流量が $200 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ （墨俣）を越す高い状態から次第に低下していくとき、どの程度の流量で藻類の顕著な発生が見られるか、という見地から

考察した。資料としては、建設省・水資源開発公団の発表している、データを用いた。

今回の資料解析の結果、顕著な藻類の発生がとくに低流量が続いているときのみでなく、流量が $100 \sim 60 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ 程度の時でも見られることが明らかになった。河口堰の全ゲートを閉鎖すると、堰直上流では水がある程度停滞しやすい条件ができる。栄養塩は不足していないので、6月から10月ころにかけ、十分な日射があれば、著しい渇水期でなくても、少なくともクロロフィルa量として $30 \sim 60 \mu\text{g } \ell^{-1}$ 程度の藻類が発生する可能性が高いことを示していると考ええる。

謝 辞

この研究は建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支部の長良川河口堰関係の調査資料を解析したものである。資料を公開し、また関係資料提供の便宜をはかってくださったことに深く感謝したい。また、論文作成に助言をいただいた村上哲生氏に感謝する。

引用文献

- 建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支社 (1995) 長良川河口堰調査報告書、第2巻。
- 建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支社 (1996) 平成7年度、長良川河口堰モニタリング年報、第1巻。
- 建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支社 (1997) 平成8年度、長良川河口堰モニタリング年報、第1巻。
- 建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支社 (1998) 平成9年度、長良川河口堰モニタリング年報。
- 小泉清明 (1971) 川と湖の生態、共立出版、東京。
- Lack T. J. (1971) Quantitative studies on the phytoplankton of the River Thames and Kennet at Reading. *Freshwater Biology* 1: 213-224.
- Murakami T., Isaji C. & Kuroda N. (1992) Potamoplanktonic diatoms in the Nagara River; Flora, population dynamics and influence on water quality. *Japanese Journal of Limnology* 53: 1-12.
- Murakami T., Isaji C. & Kuroda N. (1994) Development of potamoplanktonic diatoms in downreaches of Japanese rivers. *Japanese Journal of Limnology* 55: 13-22.
- Murakami T., Kuroda N. & Tanaka T. (1998) Effects of a rivermouth barrage on planktonic algal development in the lower Nagara River, central Japan. *Japanese Journal of Limnology* 59: 251-262.
- Saijo Y. (1991) Problems of water pollution after the water gate construction at the mouth of the Nagara River. *Report of Suwa Hydrobiological Station* 7: 121-128.
- 泊 宏・西川友幸・柳川晃 (1996) 長良川河口堰のフラッシュ操作に伴う水理現象と水質改善効果. *水工学論文集* 40: 31-38.