

千曲川中流部での人工付着板による付着藻類群集の発達過程

中本信忠¹・桜井恭士¹・山本満寿夫¹・阿部信一郎²

¹信州大学繊維学部応用生物科学科, 〒386 上田市常田3-15-1

²水産庁中央水産研究所内水面利用部, 〒386 上田市小牧1088

DEVELOPMENTAL PATTERN OF PERIPHYTON ON THE ARTIFICIAL SUBSTRATUM IN THE CHIKUMA RIVER

Nobutada NAKAMOTO¹, Kiyoshi SAKURAI¹, Masuo YAMAMOTO¹ and Shinichiro ABE²

¹*Department of Applied Biology, Faculty of Textile Science and Technology,
Shinshu University, Tokita, Ueda, 386*

²*Ueda Station, National Research Institute of Fisheries Science, Komaki, Ueda, 386*

Abstract : Developmental patterns of periphyton on the artificial substrata in summer, fall and winter were measured in the Chikuma River. The artificial substrata were submerged in the artificial stream which water was derived from the Chikuma River. The developmental pattern of periphyton expressed by chlorophyll amount was divided into two stages. A biomass change in an initial stage within two weeks was fitted with an exponential growth and then the biomass became almost constant like a batch culture except in winter. The doubling time of biomass in the initial logarithmic stage was ranged from 1.17 days to 3.27 days. The biomass in the stationary stage was about 50 chl.a mg/m² in summer and fall. The developmental pattern of the biomass in winter was not seen the stationary phase. The biomass in winter reached 200 chl.a mg/m² on 20 days after setting the substrata. It increased lineary until the end of observation of 20 days. The biomass of periphyton was determined with the balance of the growth of periphyton and the grazing pressure by aquatic animals.

Key words : 付着藻類, 成長速度, 千曲川, periphyton, growth rate, Chikuma River

1. はじめに

富栄養化した河川の河床の礫面には付着藻類が発達する。この付着藻は水生昆虫の餌, アユなどの餌としても重要である。ある程度付着藻類が発達し, 藻類被膜が厚くなると自然と剝離することが知られている。しかし長野県の河川のように流速が早い河川では, 降雨などの増水により藻類被膜も剝離する。剝離した礫面には新たに付着藻類が繁殖しだす。河床の礫面の付着藻類群集は剝離面からの発達と動物による被食, 増水による剝離を繰り返し, それらとの平衡関係によって現存量は決定していると考えられる。

調査対象の千曲川中流部の河床には直径20~30cmの礫が多く, この礫の表面には付着藻類が発達している。この原因は集水域での農耕地からの肥料成分が河川に

流出し, 河川が富栄養化しているために付着藻類群集が発達しやすいとされている(桜井1973, 1975)。日本では近年になり1970年代には文部省の科学研究費による特定研究「陸水富栄養化の基礎的研究」および「陸水富栄養化とその対策」として, 千曲川および多摩川で河床での付着藻類群集の発達過程, 生産速度に関して研究が行われた(相崎・手塚1973, 1974, 1975, 手塚1972, 大橋・桜井1974, 桜井1972, 1973a, b, 桜井・大橋1973, 桜井ほか1973a, b, 1976)。その結果付着物現存量や光合成活性, 発達速度は富栄養化し汚濁した多摩川と同じ程度であるとされた(Aizaki 1979, 1978, 1985, 相崎1980ab, Tezuka et al. 1974, 渡辺ほか1975)。また千曲川中流域はアユ, オイカワ, ウグイなどの釣り場としても注目されている。近年は河川の富栄養化, 水質汚濁と関連し, 指標生物による

研究も盛んになり、河川環境を各種生物の生息の場としても認識されだした。

そこで本研究では、千曲川中流部での河床での一次生産者の付着藻類群集に注目し、その発達過程を調べ直してみた。増水後の新たな礫面での発達および付着藻類が発達した後の現存量はどのようなものか実験的に調べてみた。千曲川中流部の河床での発達過程を調査することを目的としたが、実際の河床は釣り人により荒らされて継続調査しにくい事がわかった。そこで、千曲川の河川水を取水している中央水産研究所内水面利用部の水路を使って付着板を使っての付着藻類群集の発達過程の調査をし、実際の河床での発達過程を推測した。

調査地点

調査は農林水産省中央水産研究所内水面利用部の水路で行った。この水路は上田市の小牧橋上流約500m地点で、灌漑、上水道用、淡水魚養殖用の水として千曲川の表流水を取水している。研究所内の水路は研究用養魚池の用水としてあるもので、本川の流量変動に影響されず、いつも一定の流量で、流速約0.4m/sで、水深約40cmである。また研究所内であるので、釣り人などによる実験への妨害がない場所でもある。

一方、取水している千曲川中流部上田市付近の河床には礫の大きさが10~30cmのが目立つ。この礫の大きさから推定すると、最大流速は3 m/s以上である。しかし、平水時は0.4~0.5m/s程度であるが、礫の大きさから判断すると台風などの増水時には10倍以上の流速になる環境である。

河川水量は冬期は少なく、流量は安定し、河川水は清澄である。しかし3月中旬から山間部での降雪が降雨になることがり、融雪が促進され、増水する。4月中旬頃から融雪による濁水が少なくなり、河川水温も上昇しだす。6月中旬頃から7月上旬、および9月頃には梅雨および秋雨時期には集水域のどこかで降雨があるのが普通である。また夏期は山間部などで夕立があり、ときどき増水し、河川水が濁る。また小諸市には千曲川本流に東京電力西浦ダムがあり、その他支流にも小さなダムがあり、人為的にも10cm程度の水位変動がほぼ毎日繰り返されている。

この付近は付着藻類の繁殖が良く、これらを捕食する水生昆虫も多く、またアユ、オイカワやウグイの釣り場として有名で、6月のアユの解禁日には非常に多くの釣り人が各地から集まる。釣り人が多数くる6月から9月末までは河床の礫が釣り人により踏み荒らさ

れ、調査がしにくい場所でもある。そのため実際の河床での付着板などを設置しての詳細な付着過程を調査しにくい場所である。しかし1996年9月20日から22日にかけて台風17号が長野県を通過し、その影響による増水があり河床の礫面の付着藻類がほとんど剥離したので、実際の河床での付着藻類被膜の発達過程を調査した。

付着藻類群集の発達過程調査

人工付着板による付着藻類群集の発達過程調査を農林水産省中央水研内水面利用部の水深約40cm、流速約0.4m/sの水路で1996年7月1日より12月まで行った。実験は水路で、7月1日から9月2日までは7cm×7cmの素焼き磁性タイルで、また9月20日から10月13日および12月9日から12月27日は厚さ0.5mmの透明塩化ビニール板7cm×7cmを用いて付着過程を調べた。網戸に付着板を約100枚を設置し、水深約30cmに沈め、一度に数枚の付着板を採取し、付着物中のクロロフィル量を分析し単位面積当たりの現存量を計算した。なお12月は水路の取水堰工事のため流速は0.15m/sと遅かった。分析は上水試験方法によった。

千曲川中流部の上田市泉町の河床の水深約30cmで、長径約20~30cmの礫を数個採取し、各礫の表面約5cm×5cmに付着している付着物をブラシで削り取りクロロフィル量の分析をした。

結果および考察

付着藻類群集の人工付着板への発達過程は初期は対数増殖すると考えられる。ある程度藻類被膜が発達すると被膜が剥離したり、動物などにより捕食され、付着量は平衡状態になると考えられる。そこで、付着過程を分かりやすく、付着現存量を普通目盛りと対数目盛で表した(図-1)。

夏期の7月1日から9月2日にかけての結果では、付着板設置後、2週間でクロロフィル量で示した現存量は100chl.a mg/m²以上のピークになり、その後急激に減少し30~50chl.a mg/m²(11日以降の平均値±標準偏差は54.4±27.1)となった。付着板設置後16日までを対数増殖をしているとすると、この期間の現存量の増加は倍加日数では3.27日であった。この一時的に現存量は増えた後に急激に減少したのは、付着板上の付着藻類を水生昆虫の幼虫が盛んに被食してしまうことが観察により確かめられた。また、被食は、水生昆虫だけでなく、魚による被食もあることが観察された。付着板設置後2週間以降の値は、付着藻類の繁殖量と

千曲川中流部での人工付着板による付着藻類群集の発達過程

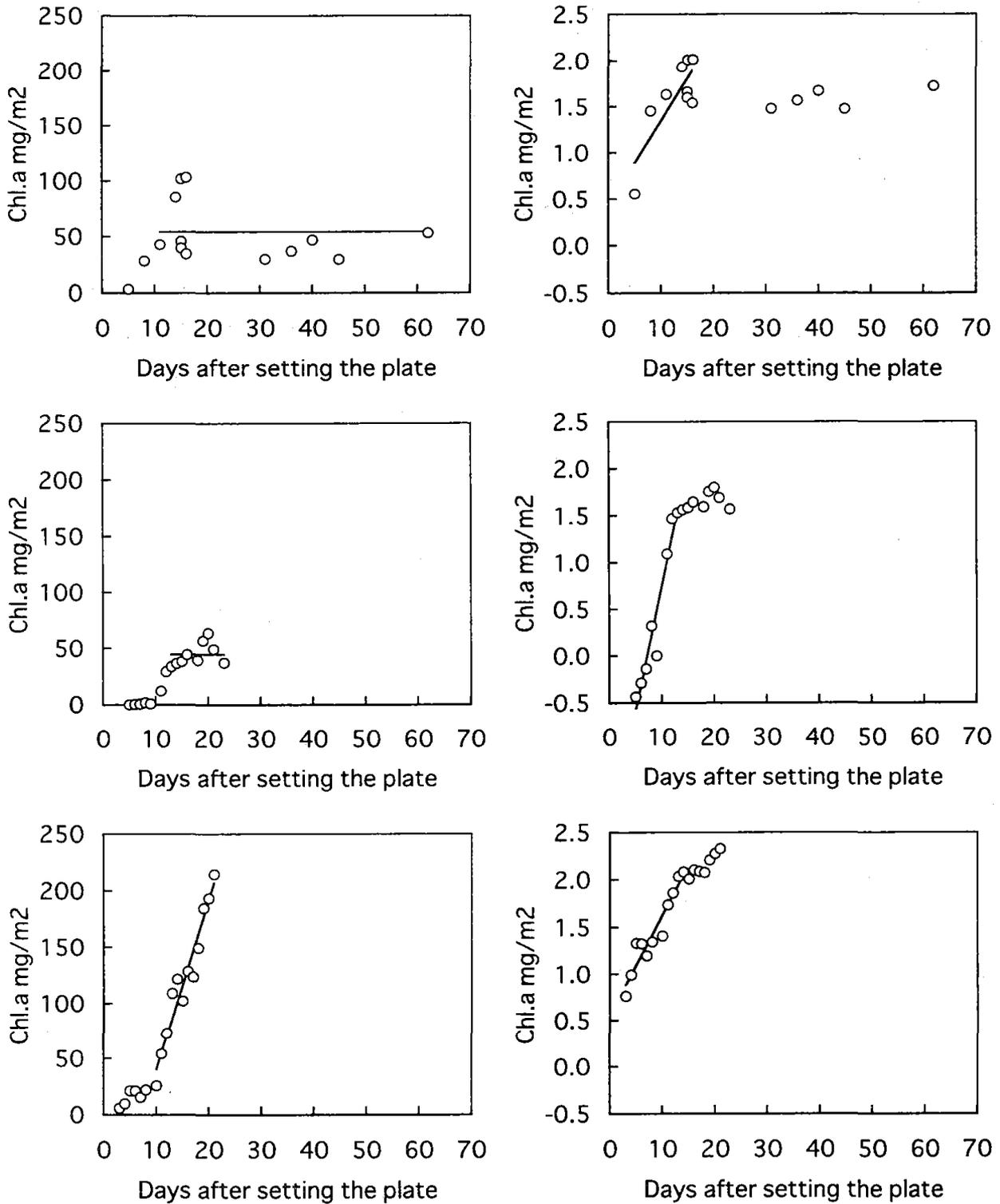


図-1 中央水産研究所内水路（千曲川中流部）における付着板上での付着藻類の発達過程の季節による変化。夏（7月1日～9月2日，上），秋（9月20日～10月13日，下），冬（12月9日～27日，下）の藻類被膜のクロロフィル量で表した藻類現存量変化を普通目盛（左）と対数目盛（右）で表した。図中の直線はそれぞれの部分の直線回帰させたものである。

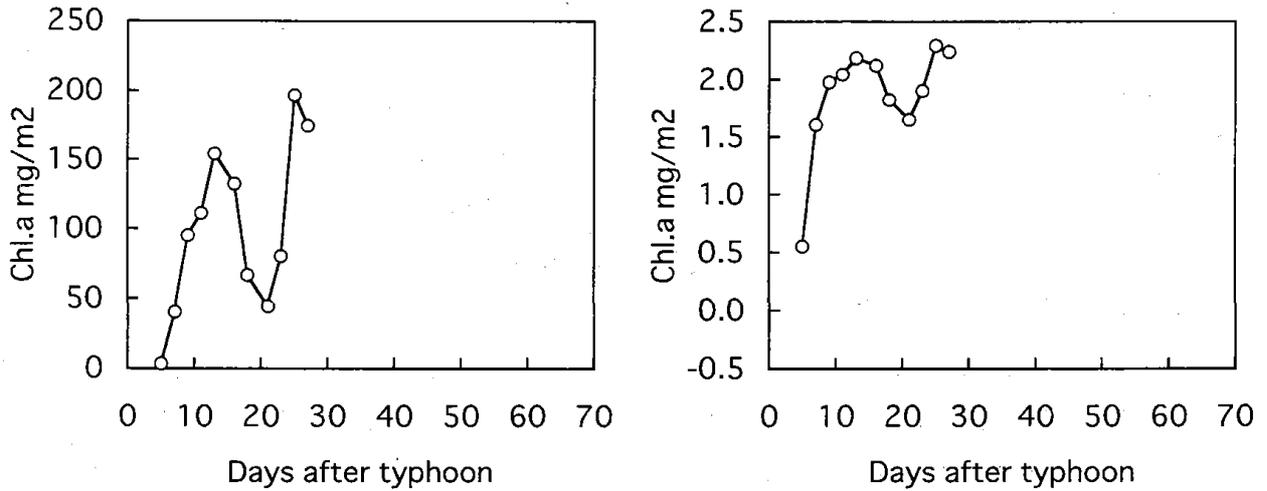


図 - 2 台風通過後の千曲川中流部（上田市泉町）での河床での付着藻類の回復過程とその後の変化
1996年9月20日～10月16日を普通目盛（左）と対数目盛（右）で示した。

表 - 1 千曲川における付着藻類量の変化 (chl.a mg/m²)

期間	付着初期	中期以降
夏期 7月1日～9月2日 中央水研水路	16日まで対数回帰 $y=0.0919x+0.4261$ $R^2=0.665$ $y=\log_{10}(\text{chl.a}) \quad x=\text{days}$ 倍加日数：3.27	11日以降の値 平均値±標準偏差 54.4±27.1
秋期 9月20日～10月13日 中央水研水路	13日まで対数回帰 $y=0.267x+1.9233$ $R^2=0.9305$ $y=\log_{10}(\text{chl.a}) \quad x=\text{days}$ 倍加日数：1.17	13日以降の値 平均値±標準偏差 44.6±10.1
冬期 12月9日～12月27日 中央水研水路	14日まで対数回帰 $\hat{y}=0.1066x+0.5625$ $R^2=0.9108$ $y=\log_{10}(\text{chl.a}) \quad x=\text{days}$ 倍加日数：2.82	10日以降の直線回帰 $y=15.166x-111.55$ $R^2=0.9386$ $y=\text{chl.a} \quad x=\text{days}$
秋期 9月20日～10月16日 千曲川上田市泉町河床 台風通過後	11日まで対数回帰 $y=0.2429x+0.3968$ $R^2=0.8247$ $y=\log_{10}(\text{chl.a}) \quad x=\text{days}$ 倍加日数：1.24	11日以降の値 平均値±標準偏差 117.5±51.1

水生昆虫や魚による被食される量との釣り合いで決まるようであった。

秋期の9月20日から10月13日までの調査では、付着板設置後13日までを対数増殖するとみなすと、この期間の倍加日数は1.17日であった。13日以降は定常状態

とすると平均値±標準偏差は44.6±10.1chl.a mg/m²であった。

水温の低くなる冬期の12月9日から12月27日は、前2回の結果と異なり、付着現存量は一定の値にならず、11日以降でも直線的に増加し20日で200chl.a mg/m²に

なった。11日までを対数増殖期間とするとこのときの倍加速度は1.24日であった。冬期の水路での付着過程は現存量がほぼ直線的に増加し、夏期や秋の値よりも大きな値になった。この現存量が直線的に増加する原因は冬期は水温が低下し、水生昆虫や魚の被食圧が極端に少なくなるのと、河川水中の流下懸濁物質が少なく、流速も0.15m/s小さく安定し、付着藻類の剝離がしにくくなるためと考えられた。そのため、単位面積当たりの成長は対数増加を示さず、単位面積当たりの1日当たりの増加が一定になり、この直線増加速度は15chl.a mg/m²/dであった。

9月20日に長野県を通過した台風17号による河床の洗い流し後の実際の千曲川での河床での自然の礫上での付着過程を約1ヶ月間調査した(図-2)。台風通過後11日までを対数増殖とみなすと、この期間の倍加日数は約1.24日で、水路での発達過程とほとんど変わらなかった。しかし、台風通過後20日目にも降雨があり礫表面の付着物が濁流で洗い流され、一時的に現存量が減少したがその後、付着物量が再び多くなった。

この調査での付着過程を付着初期と中期以降に分け、付着速度および付着量を計算し表-1にまとめた。夏の付着板には付着初期から小さな水生昆虫が見られたので付着初期から被食による影響が考えられた。この付着速度は秋が一番早く、夏や冬の方が遅かった。秋は台風通過後の付着過程であり、被食する水生昆虫などもほとんど流失したために付着藻類を被食する動物群集が少なくなったためと考えられるが、良く分からない。夏の水温は約20度であるが、冬期の水温は約5度で、冬期は変温動物の水生昆虫や魚の活動が鈍くなる。日射量も少なくなるが、被食の影響が少ないので初期の発達速度に大きな違いがなかったものと考えられる。

夏と秋は、付着板設置後、2週間以降は付着物現存量はほぼ一定になったが、水路では現存量は45~55 chl.a mg/m²で比較的少なかった。しかし、台風通過後の千曲川本流での定常状態と思われる値は117.5±51.1chl.a mg/m²で約倍であった。この原因は水路は安定し、水生昆虫が流されにくく、また人が入らず保護されている環境であるので、魚などの被食動物の生息環境としても良い河川環境で、千曲川本流より被食動物の現存量が多いとも考えられる。また千曲川本流は上流の水力発電ダムの放流の影響のため毎日約10cmの水位変動があり、集水域内でどこかで降った降雨などによっても水位変動の影響がある。そのため、本流の礫面には流下懸濁物質が付着しやすい可能性がある。

これらの定常状態の値は1975年の付着板による実験結果でも(桜井ら1976)夏は少なく、冬は多くなることを報告しているが、その値は約倍量である。しかし、1971年に行った夏期の千曲川の河床の値では今回の実験の少ない値とほぼ同じであった。

一方同じような実験を1973年に水質汚濁の進んだ多摩川で行われ、河床での定常状態での値は夏期は200~500chl.a mg/m²で、千曲川での値の数倍から10倍であった。一方冬期は約100chl.a mg/m²で(Aizaki 1978)、千曲川での値とあまり違いがない。また、多摩川での付着板を使つての付着過程を調査し、その倍加日数は水温が高い7月8月は0.5日、1月は1.2日と報告された。千曲川の倍加日数と比較すると非常に短い、多摩川では千曲川と比べると栄養塩も多く、流速も遅く、付着藻類が発達しやすい環境と考えられる。

この調査および過去の千曲川での調査、多くの河川での現存量の季節変化(Aizaki 1978)から、夏期の付着物現存量は冬期よりも小さい事は明確に言えようである。

礫面での藻類が新たに繁殖し、十分発達してからの現存量は、藻類の成長および、河川水中の流下藻類の沈澱付着による増加と水生昆虫の幼虫や魚による被食、流下懸濁物質による削り取りによる剝離などの減少との平衡関係の結果である。水温の高い時期は水生昆虫の幼虫や魚による被食が大きく、また夕立などによる増水による剝離現象も頻繁で、付着物現存量は冬期よりも小さくなると思われる。

また年による付着物量の違いがありそうで、これは増水による剝離頻度、被食動物の現存量の違いに関係しているかと思われるが、これまでの結果からはっきりとは言えない。今後付着初期の発達過程をもっと詳細に測定し、実際の潜在的発達速度を推定できれば、河床での潜在的な一次生産速度が推定できそうである。

なお、本研究は、千曲川における河川生態学術研究会の総合的な調査研究の一環として実施されたものである。また、本研究には河川環境管理財団の研究助成も受けたことを記し感謝する。

参考文献

多摩川の付着生物群集に関するもの：

- Aizaki, M. 1978: Seasonal changes in standing crop and production of periphyton in the Tamagawa River. *Jap. J. Ecol.* 28: 123-134.
 Aizaki, M. 1979: Growth rates of microorganisms in a periphyton community. *Jap. J. Limnol.* 40: 10-19.

- 相崎守弘1980：富栄養河川における付着微生物群集の発達に伴う現存量および光合成量の変化，陸水学雑誌41(4)：225-234.
- 相崎守弘1980：多摩川中流域における一次生産の水温特性，水温の研究23(4)：30-36.
- Aizaki, M. 1985：Removal and excretion of dissolved organic matter by periphyton community grown in eutrophic river water. *Jap.J.Limnol.*46(3)：159-168.
- 相崎守弘・手塚泰彦1973：汚濁河川における付着微生物，陸水富栄養化の基礎的研究2：4-7.
- 相崎守弘・手塚泰彦1974：汚濁河川における付着微生物の研究，陸水富栄養化の基礎的研究3：54-59.
- 相崎守弘・手塚泰彦1975：有機性汚濁河川における付着微生物群集の研究：現存量および一次生産量の季節変化，陸水富栄養化とその対策1：35-36.
- Suehiro, S. and Y. Tezuka 1981：Seasonal changes in ciliate populations in the bottom sediment of a polluted river. *Jap. J. Limnol.* 42(1)：1-7.
- 手塚泰彦1972：都市廃水と微生物群集の動態—多摩川の汚濁化にともなう付着微生物量の変化，陸水富栄養化の基礎的研究1：1-4.
- Tezuka, Y., Y. Watanabe, H. Hayashi, S. Fukunaga and M. Aizaki 1974：Changes in the standing crop of sessile microbes caused by organic pollution of the Tamagawa River. *Jap. J. Ecol.*, 24：43-49.
- 千曲川の付着生物群集に関するもの：
渡辺義人・西江敬一・桜井正人1975：河川の付着微生物による有機物の生成，用水と廃水17：685-692.
- 大橋通成・桜井善雄1974：千曲川（上田市泉町地点）における水質および河床クロロフィル量の季節変動，陸水富栄養化の基礎的研究3：33-36.
- 桜井善雄1972：千曲川の有機汚染と富栄養化に関する研究，陸水富栄養化の基礎的研究1：25-28.
- 桜井善雄1973：近年における千曲川の水質の変化，陸水富栄養化の基礎的研究2：52-54.
- 桜井善雄1973：千曲川中流水域の富栄養化，下水道協会誌10(110)1-9,
- 桜井善雄1975：農地排水による河川および地下水の汚染，農土誌43(8)：518-524.
- 桜井善雄・堀幸代・天白精子1973：千曲川の珪藻，陸水富栄養化の基礎的研究2：43-48.
- 桜井善雄・天白精子・大橋通成1973：千曲川（源流—上田）の水質と藻類群集，陸水富栄養化の基礎的研究2：49-51.
- 桜井善雄・大橋通成1973：千曲川の富栄養化の背景と本流のN，P収支の推定，陸水富栄養化の基礎的研究2：55-57.
- 桜井善雄・高沢茂喜・楠木和之1976：千曲川の河床における有機物の蓄積速度，陸水富栄養化とその対策2：36-38.
- その他付着藻類群集に関するもの：
Kobayashi, H. 1961a：Chlorophyll content in sessile algal community of Japanese mountain river. *Bot. Mag. Tokyo* 74：228-235.
- Kobayashi, H. 1961b：Productivity in sessile algal community of Japanese mountain river. *Bot. Mag. Tokyo* 74：331-341.
- 沖野外輝夫1970：河川における付着藻類の生産力，資源科学研究所彙報74：72-79.
- Tominaga, H. and S. Ichimura 1966：Ecological studies of the organic matter production in a mountain river ecosystem. *Bot. Mag. Tokyo* 79：815-829.
- 河川の付着藻類に関する本：
Stevenson, R. J., M.L. Bothwell and R.L.Lowe(eds.) 1996：Algal Ecology, Freshwater Benthic Ecosystems, 753pp, Academic Press.
- Whitton, B. A.(ed.)1975：River Ecology. 725pp, Blackwell Scientific Publ.
- Wetzel, R. G. (ed.)1983：Periphyton of Freshwater Ecosystems. 346pp. Dr. W. Junk Publ.

(受付 1997年1月31日)