

水源の異なる緩速ろ過池での春から秋の期間における藻類被膜の発達の違いについて

中本信忠・池田大介・田口香代・山本満寿夫・松田卓也
信州大学繊維学部応用生物科学科

ON THE DEVELOPMENTAL PATTERN OF ALGAL MAT FROM LATE SPRING TO AUTUMN ON SLOW SAND FILTERS OF DIFFERENT TYPES OF WATER SOURCES

Nobutada NAKAMOTO, Daisuke IKEDA, Kayo TAGUCHI, Masuo YAMAMOTO and Takuya MATSUDA
Department of Applied Biology, Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University

Abstract: In the cases of slow sand filters which water sources were stream water, an algal mat grew well due to high nutrient concentration. It was remarkable in summer when there was high nutrient concentration. However in the case of a slow sand filter which water source was a reservoir water, the developmental rate of algal mat was extremely slow. It was due to lack of available phosphorus.

Key words: slow sand filter, algal mat, nutrient, reservoir,
緩速ろ過池, 藻類被膜, 栄養, 貯水池

1. はじめに

緩速ろ過処理法は、河川水、湖沼水、地下水などを水源として水深80~120cmの緩速ろ過池へ水を取り入れろ過する方法である（日本水道協会1982）。河川表流水を水源とする浄水場の緩速ろ過池の床の砂層表面には糸状藻類が繁殖し藻類被膜を形成するのが普通である（中本1986）。しかし河川表流水を水源とした浄水場の藻類被膜と貯水池を水源とした浄水場の藻類

被膜では種組成が異なっていた（野崎ら1993）。この原因は貯水池で植物プランクトンが流入してくる栄養を使い繁殖するが、貯水池から放流されるろ過池流入水中の栄養が少なくなり、特にリン酸態リンが少なくなるのでろ過池ではさらに藻類が繁殖しにくいと考えられた。本研究では上記の結果を再確認するために、河川表流水、ダム湖の影響を受ける河川表流水および貯水池を水源とした緩速ろ過池における藻類被膜の発達の違いについて調査した。

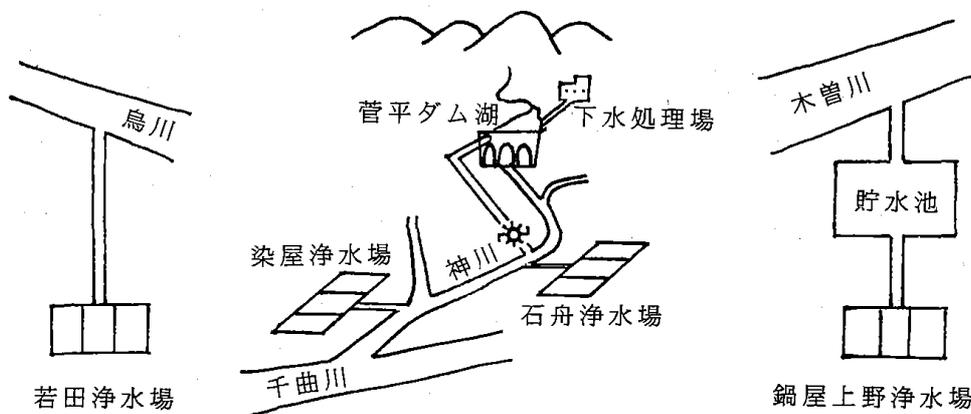


図 - 1 水源の特徴と浄水場の関係についての概念図

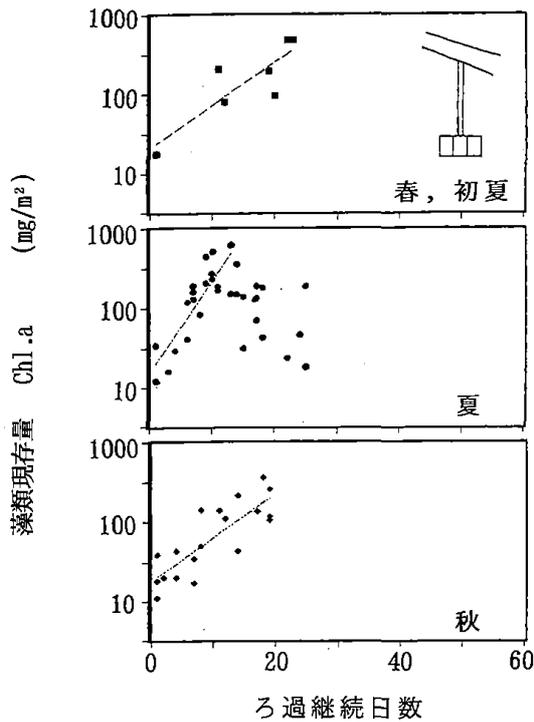


図 - 2 A 若田浄水場における各期間でのろ過継続日数と藻類現存量の関係

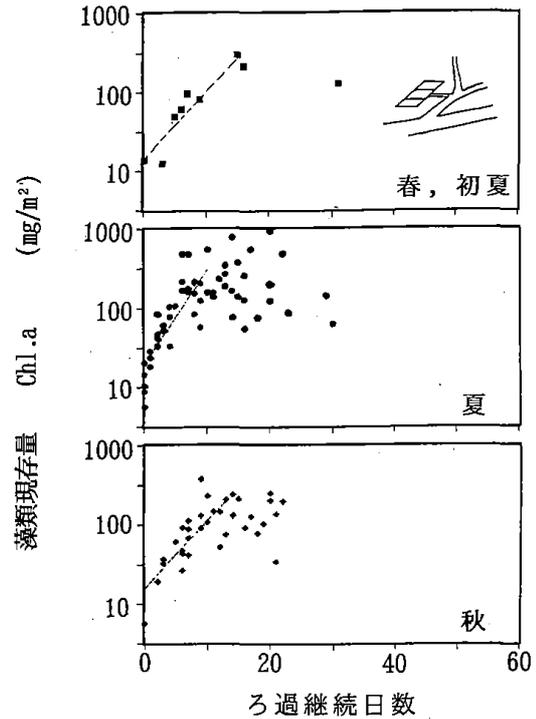


図 - 2 B 染屋浄水場における各期間でのろ過継続日数と藻類現存量の関係

表 - 1 浄水場と水源

浄水場	所在地	標高	水 源
若 田	高 崎 市	150m	烏 川
染 屋	上 田 市	500m	神川・千曲川
石 舟	真 田 町	720m	神川(ダム湖・下水廃水)
鍋屋上野	名古屋市	20m	木曾川(貯水池)

2. 調査対象浄水場およびその水源

調査は、高崎市水道局の若田浄水場、上田市水道局の染屋浄水場および石舟浄水場、名古屋市水道局の鍋屋上野浄水場で行った。各浄水場の概要を図-1と表-1に示した。

若田浄水場は利根川水系の烏川の表流水を榛名町で取水している。この浄水場のろ過池は10池で、1991年当時は全ての池の水深が約170cmと深かったが、毎年2池を浅くする工事が行われ、1994年には5池が浅くなった。本調査では標準的な水深の約100cmの浅いろ過池のみを調査対象とした。

石舟浄水場のろ過池は5池で、千曲川支流の神川の表流水を水源としている。神川の上流には菅平高原を集水域とする菅平ダム湖がある。菅平高原は高原野菜の生産活動が盛んで、夏はテニスやラグビー、冬はスキーが盛んな観光地でもある。夏と冬の観光客の増加

にともなう宿泊施設から出される廃水を処理するため下水処理場がダム湖の直上に建設された。この下水処理場廃水はダム堰堤に流入している。ダム湖の表層水は導水管で発電所に送られ石舟浄水場の取水地点のすぐ上流に放流される。そのため石舟浄水場の水源は河川表流水であるが、ダム湖水と下水処理廃水の両者の影響を強く受けている。

染屋浄水場にはろ過池が13池あるが、本調査では10池を研究対象とした。染屋浄水場も石舟浄水場と同じ神川の表流水を主水源とするが、石舟浄水場より下流に位置し汚濁廃水の影響の少ない河川水により希釈されるため菅平ダム湖の影響が小さくなっている。平時は神川の表流水を水源とするが、1994年夏の渇水時には千曲川の表流水を揚水し、その割合の方が多くなっていた。

鍋屋上野浄水場にはろ過池が14池あり、浄水量は日本で2番目の浄水場である。木曾川の表流水を犬山市で取水しているが、春日井市にある鳥居松沈澱池を経由した水が水源となっている。鳥居松沈澱池は水深3.6mで貯留容量が185,811m³と大きく、滞留時間が約2日で沈澱池では植物プランクトンが増殖すると報告されている(武田1989)。したがって鍋屋上野浄水場の原水は河川表流水でなく鳥居松沈澱池という貯水池を水源としていたと考えた方がよい。

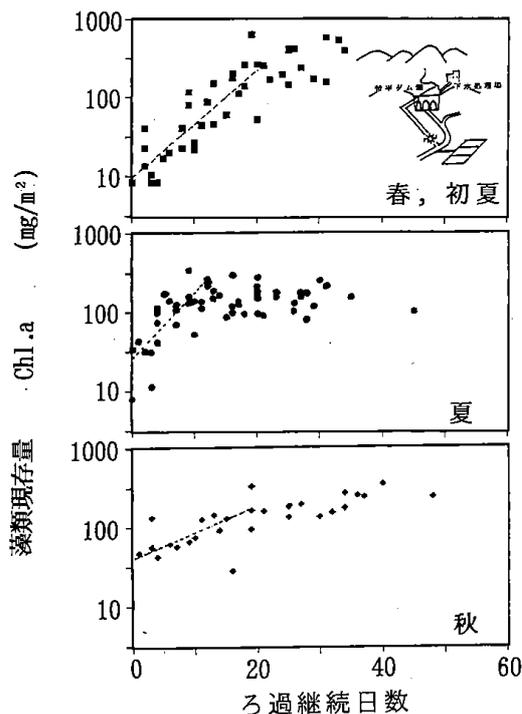


図-2C 石舟浄水場における各期間でのろ過継続日数と藻類現存量の関係

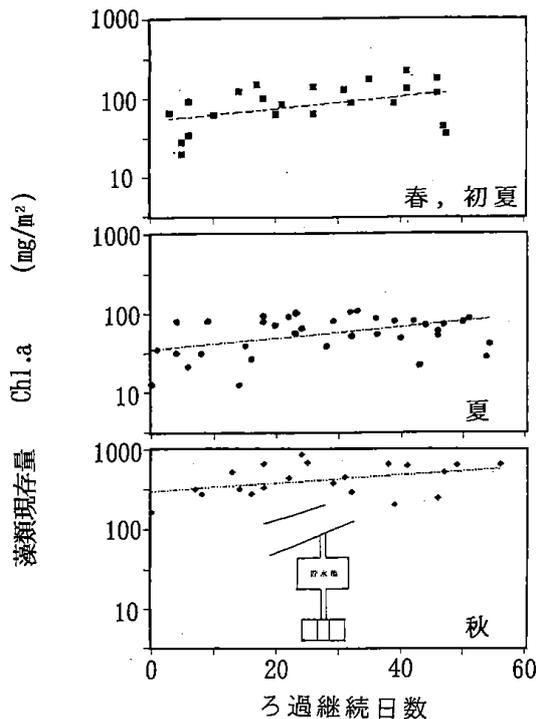


図-2D 鍋屋上野浄水場における各期間でのろ過継続日数と藻類現存量の関係

表-2 期間分けと調査期間と調査回数

	春～初夏	夏	秋
若田	5.18.-6.28.(2)	7.4.-8.30.(7)	9.9.-10.25.(3)
染屋	6.24(1)	7.11.-8.31.(6)	9.2.-10.13.(4)
石舟	4.2.-5.30.(9)	6.9.-8.29.(12)	9.7.-10.31.(6)
鍋屋	4.26.-6.6.(2)	7.6.-8.26.(3)	10.5.-11.7.(2)

3. 調査方法と調査期間

ろ過池ろ床の藻類被膜の採取はろ過膜採取器（中本1988）を用いた。ろ過池流入水中の藻類現存量は流入水をそのまま試料とした。それぞれの藻類現存量はChl.a量を指標とし求めた。Chl.aの分析は試料をガラス繊維ろ紙（東洋GA100）でろ過しUNESCO法で分析した。

また、流入水について硝酸態窒素を紫外吸光法、全リンを過硫酸カリウム分解法、リン酸態リンをアスコルビン酸還元法で分析した（日本水道協会1978、日本分析化学会北海道支部1981）。

1994年4月から10月までの調査結果について水温などを考慮し期間を表-2のように分けて整理した。なお、調査回数を括弧に示した。

表-3 ろ過継続初期の藻類現存量および増加速度

浄水期	期間	切片 mg/m ²	傾き log ₁₀ day	倍加時間 day
若田	春～初夏	20.84	0.054	5.58
	夏	15.42	0.116	2.60
	秋	17.86	0.055	5.47
染屋	春～初夏	14.39	0.084	3.58
	夏	20.23	0.117	2.57
	秋	15.96	0.085	3.56
石舟	春～初夏	9.71	0.069	4.38
	夏	29.51	0.086	3.48
	秋	48.53	0.026	11.53
鍋屋上野	春～初夏	59.16	0.008	37.63
	夏	34.91	0.007	43.00
	秋	298.54	0.005	60.20

4. 結果

各浄水場におけるろ過継続日数と藻類現存量の関係について春から初夏、夏、秋の3期間に分けて図示した（図-2A～D）。ろ過継続日数は鍋屋上野浄水場は約55日、石舟浄水場は約40日、若田浄水場および染屋浄水場は20～25日と違いがあった。また、各浄水場のろ過継続初期の藻類現存量の増加速度について回帰

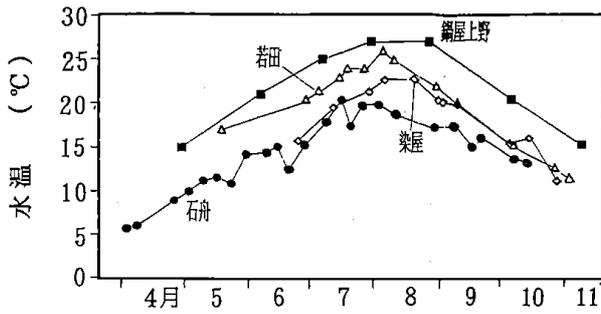


図-3 浄水場における水温の季節変化

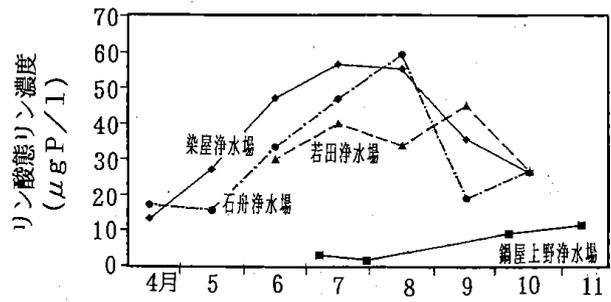


図-4 流入水中のリン酸態リン月平均値の変化

分析した結果を表-3に示した。

河川表流水を水源とする若田浄水場および染屋浄水場では、いずれの季節もろ過継続初期に藻類現存量の著しい対数増加が見られた。夏の増加速度は他の季節に比べ速く、藻類現存量が最大になった後に減少する傾向が見られた。

菅平ダム湖の影響を受ける石舟浄水場でも季節の違いによる増加速度の違いはあったが、いずれの季節においてもろ過継続初期に藻類現存量の著しい対数増加が見られた。この浄水場でも夏の増加速度は他の季節に比べ速かったが、長期間ろ過継続しても若田浄水場や染屋浄水場のように藻類現存量が減少する様子は見られなかった。

貯水池を水源とする鍋屋上野浄水場では藻類現存量の著しい増加現象は見られなかったが、ろ過継続にともない緩やかに増加した。藻類現存量は秋に極端に多く夏に少なかった。また、ろ過開始時から高い現存量を示し、特に春から初夏および秋の値は他の浄水場に比べ高い値を示した。

ろ過池の水温は標高の低い鍋屋上野浄水場が高く、標高の高い浄水場ほど低かった(図-3)。鍋屋上野浄水場と石舟浄水場の水温差は5~10°Cであった。染屋浄水場では8月の湯水時に千曲川からポンプで揚水していたので水温が高くなっていた。

各浄水場における流入水中の硝酸態窒素、全リン、リン酸態リンの各期間の平均濃度を表-4に示した。藻類の成長に必要な窒素とリンの重量比(N/P比)は約15であるが(中本1978)、硝酸態窒素濃度とリン酸態リン濃度の比は25以上と高く、調査した浄水場のろ過池ではリンが藻類成長の制限要因であると言えた。各浄水場のリン酸態リン濃度の月平均値の変化を図-4に示した。河川表流水を水源とする浄水場のリン酸態リン濃度は、貯水池を水源とする鍋屋上野浄水場に比べ高かった。石舟浄水場は上流に菅平ダム湖がある

表-4 各浄水場における流入水中の硝酸態窒素、全リン、リン酸態リンの濃度および栄養塩のN/P比

浄水場	期 間	Total P μg/l	NO ₃ -N mg/l	PO ₄ -P μg/l	N/P
若 田	春~初夏	48.21	1.44	30.06	47.90
	夏	61.41	1.36	37.02	36.74
	秋	98.10	1.80	35.87	50.18
染 屋	春~初夏	52.26	1.73	47.26	36.61
	夏	64.75	1.49	55.92	26.65
	秋	35.12	1.36	30.29	44.90
石 舟	春~初夏	24.58	1.76	16.23	108.44
	夏	62.74	1.54	46.50	33.12
	秋	37.20	0.95	22.89	41.50
鍋 屋 上 野	春~初夏	-	-	-	-
	夏	22.32	0.63	2.37	265.82
	秋	26.92	0.68	10.16	66.93

が下水処理廃水の影響が大きくリン酸態リン濃度が高かった。若田浄水場では9月のリン酸態リン濃度が少し高かった。河川表流水の水質は農耕活動の活発な夏にリン酸態リン濃度が高かった。しかし、鍋屋上野浄水場の流入水中のリン酸態リン濃度は夏に極端に低かったが秋に少し高くなった。

各浄水場の流入水中の藻類現存量の月平均値の変化を図-5に示した。河川表流水を水源とする若田浄水場は流入水中の藻類量は常に少なかった。染屋浄水場での流入藻類量はダム湖水を盛んに灌漑放水する時期であり、また湯水で千曲川の表流水を揚水した8月を除けば少なかった。石舟浄水場の場合も夏は菅平ダム湖の盛んに灌漑放流する影響が大きく、ダム湖で繁殖した藻類による流入藻類量が多くなっていた。また鍋屋上野浄水場の流入水中の藻類現存量は、春から初夏と秋に他の浄水場より高かった。この変化は鍋屋上野浄水場のろ過池の藻類現存量の季節変化とも一致して

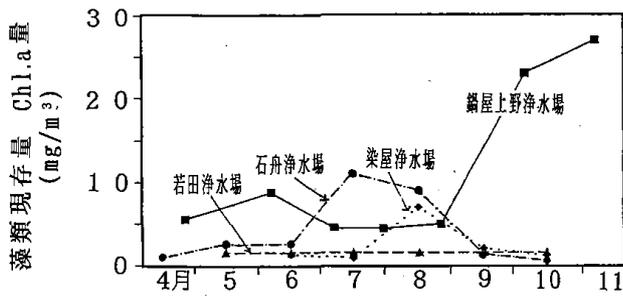


図-5 流入水中のクロロフィル濃度の季節変化

いる。

5. 考 察

河川表流水を水源とする場合は緩速ろ過池内で藻類の著しい増加が見られ、貯水池を水源とする場合は緩やかな増加しか見られなかった。野崎ら(1992)が報告しているように、ろ過池での藻類の増加速度の違いは藻類成長の制限要因となるリン酸態リン濃度に起因すると考えられた。

河川上流部や中流部では降雨などにより増水するため河床で付着藻類が繁殖しにくい、河川では有機汚濁物質は河床での微生物や微小動物による分解されやすい環境である。そのため河川水中には藻類繁殖に必要な栄養物質濃度が高くなる。このような河川水が流れが緩やかで安定した緩速ろ過池に流入すると栄養物質を使って藻類が繁殖する。貯水池は環境が安定し流入してくる栄養物質を使い植物プランクトンが繁殖する。しかし、水中の N/P 比は生物の必要とする比と極端に異なるためリンが不足する(表-4)。そのため貯水池で植物プランクトンが増殖すると貯水池流出水中のリン酸態リン濃度が極端に低くなりろ過池で藻類が繁殖できない。伊佐治(1989)および武田(1989)は鳥居松沈澱池では盛んに植物プランクトンが繁殖すると報告している。鍋屋上野浄水場のろ過池では藻類現存量の緩やかな増加が見られたが、この増加は鳥居松沈澱池で繁殖した植物プランクトンがろ過池へ流入しろ過池の砂層表面に堆積したためと考えられる。また、春や秋にろ過開始時から藻類現存量が多いのは、流入してきた植物プランクトンはろ過池で繁殖するような糸状藻類でなく、単細胞の単体で生活する藻類が多く、砂層内に浸入しやすいために砂層表面の汚泥取り除き作業でも完全に取り除けないためと考えられる。一方、水温が高い夏は田川ら(1993)が石舟浄水場でのユスリカによる藻類被膜の捕食を報告し

ているように、鍋屋上野浄水場でも流入してきた植物プランクトンやろ過池で繁殖する藻類もユスリカなどの幼虫が捕食するために砂層表面での藻類現存量が低くなっていると考えられる。

また、鍋屋上野浄水場でリン酸態リン濃度が夏に少なく秋に増加し、流入藻類量も多くなっていた。この原因は水温の高い夏は鳥居松沈澱池での水は成層し、植物プランクトンが繁殖しても動物プランクトンなどにより捕食されやすく、秋は水の垂直混合が生じやすく、植物プランクトンが栄養を完全には利用できないと考えられる。また秋はダム湖などで循環的に繁殖するような珪藻が繁殖しろ過池まで流入してきたものと考えられる。

石舟浄水場は、菅平ダム湖の影響から貯水池を水源とする場合とよく似た緩やかな増加を示すと考えられたが、河川表流水を水源とする場合と近似した著しい増加を示した。これは菅平ダム湖の放流口付近に下水処理廃水が流れ込み、藻類成長の制限要因となるリン酸態リンを豊富に含む水が石舟浄水場まで流入するのでろ過池で藻類繁殖が可能となったと考えられた。

リン酸態リン濃度の月変化で若田浄水場の9月の値が比較的高かった。この原因は9月は降雨が多く、増水することが多く、濁水とともに農耕地からリンが流出したため河川水中のリン濃度が高くなったと考えられた。野崎ら(1993)も夏に河川表流水中のリン酸態リン濃度が高くなるのは、水温が高くなると微生物活性が高く分解が盛んになり集水域からのリンの流入量が増えるからであると報告している。石舟浄水場では夏の農耕作業活動が盛んなことに加え、菅平高原の観光客の増加にともなう下水処理廃水の増加の影響も大きいと考えられる。

河川表流水を水源とする場合の夏期の増加速度が他の季節に比べ速かった原因は、藻類成長の制限要因となるリン酸態リン濃度が高かったことに加え、水温、気温および日射量など藻類が成長するためのあらゆる環境条件が良かったためと考えられた。藻類現存量が増加の後に減少する傾向が見られた原因も田川ら(1993)が報告しているように藻類被膜を捕食するユスリカなどの捕食活動が盛んになったためと考えられる。

ろ過池での藻類繁殖は流入水中のリン酸態リン濃度に最も影響されていたが、水温の高い夏は藻類を捕食する動物の影響が大きいことが予想された。冬期は貯水池では植物プランクトンが繁殖しにくく、表層水中でも栄養塩が枯渇しないので、貯水池を水源とする場

合でもろ過池では藻類繁殖がある可能性があるので今後検討が必要である。

謝辞：最後に、日頃から筆者らの研究に理解を示し御協力を頂いている上田市水道局、高崎市水道局および名古屋市水道局の皆様感謝します。また、本研究は名古屋大学大気水圏科学研究所共同研究経費を当てることをできたことに感謝します。

摘 要

河川表流水および貯水池を水源とする場合の緩速ろ過池ろ床の藻類被膜の発達の違いについて比較した。

河川表流水を水源とする場合には、ろ過池流入水中の栄養塩類が豊富なため砂層表面で糸状藻類が繁殖する。一方、貯水池を水源とする場合には、ほとんどろ過池内で藻類は繁殖しないことがわかった。貯水池では植物プランクトンが繁殖し栄養塩類が消費される。しかし貯水池を水源とするろ過池では藻類が繁殖できず流入してくる植物プランクトンが堆積すると考えられた。

水温の高い夏は発達した藻類被膜は動物により捕食されるため現存量が小さくなることがあった。

引用文献

- 伊佐治知明(1989)：鳥居松沈澱池における藻類増殖のモデル計算，平成元年度水質調査報告（名古屋市水道局）：272-274
名古屋市水道局(1993)：鍋屋上野浄水場の概要（パン

フレット）

- 中本信忠(1978)：水中の生物利用可能栄養物質の新しい水質評価法，水道協会雑誌第52(12)：13-28
中本信忠(1986)：緩速ろ過池における糸状藻類の有用性，水道協会雑誌第55(3)：19-21
中本信忠(1988)：緩速ろ過池における藻類被膜の採取道具の試作，水道協会雑誌第57(10)：17-19
日本水道協会(1982)：水道維持管理指針，日本水道協会
日本水道協会(1987)：上水試験方法
日本分析化学会北海道支部(1981)：水の分析，第3版，化学同人
野崎健太郎・吉野登美・坂井正・中本信忠(1992)：貯水池を水源とする緩速ろ過池でみられる藻類，環境科学年報（信州大学）15：89-94
田川衛・野崎健太郎・坂井正・中本信忠・平林公男(1993)：緩速ろ過池における藻類現存量変化とユスリカ幼虫の変化，日本陸水学会甲信越支部会報19：4-5
武田篤(1989)：緩速ろ過池の生物相とその濾過に及ぼす影響，平成元年度水質調査報告（名古屋市水道局）：265-271
吉野登美・野崎健太郎・坂井正・中本信忠(1992)：貯水池を水源とした緩速ろ過池の藻類被膜について，日本陸水学会甲信越支部会報18：34
(受付 1995年2月10日)