自然環境下で繁殖する糸状珪藻 *Melosira* と緩速ろ過池環境

Dominant Growth of Filamentous Diatom *Melosira* under Natural Environment in Comparison with a Slow Sand Filter

中本信忠、池田大介¹、星野知子²、山本満寿夫

信州大学繊維学部応用生物科学科／〒386-8567 長野県上田市常田3-15-1

現所属 1. 日本ヘルス工業(株)、2. (財)新潟県環境衛生研究所

NOBUTADA NAKAMOTO, DAISUKE IKEDA¹, TOMOKO HOSHINO², and MASUO YAMAMOTO

Department of Applied Biology, Faculty of Textile Science and Technology,

Shinshu University / Ueda, Nagano 386-8567

Present Address 1. Nippon Health Co. Ltd., 2. Niigata Environment & Hygiene Res. Inst.

Abstract

Natural field survey was done to clarify the characteristic environment for a filamentous diatom *Melosira* to dominate in a slow sand filter. Four natural fields where *Melosira* was dominated in early spring were observed periodically. There were the basin of Shiraito waterfall at the foot of Mt. Asama, a natural pond of Sato Ike at the foot of Mt. Asama, pools in a dry river bed of River Chikuma where is a lower reach of sewerage plant and a hydroelectric power plant, a small downstream of Karasawa fall, and Soehi stream of a mountain small stream with slow water current as a contrast place where was not observed *Melosira*. The places where *Melosira* was observed at always in a year were a basin of Shiraito fall and pools in a dry river bed of River Chikuma. The basin was periodically cleaned to keep a clean basin. The pools were flushed out after the heavy rain and irregularly water discharge from the power plant. Both place are similar to a slow sand filter basin where the surface mud is scraped periodically. Small stream of Karasawa fall was hidden in the grass in summer. There was sometimes a evening shower in the mountain area and there was a sudden high water after a shower. In the pond Sato Ike, filamentous diatom was observed during the low water temperature period from fall to spring. However a filamentous green alga was dominated in summer. Filamentous diatom was a pioneer plant in a stable environment with a slow water current and it was replaced to filamentous green algae in warm period. The cause of this succession was discussed with the grazing activity of aquatic insect larvae.

1. はじめに

河川表流水を取水する緩速ろ過池のろ床に糸状珪藻 *Melosira varians* が繁殖し藻類被膜を形成することが一般的である¹⁾。この藻類被膜は光合成による酸素を水中に

付与し、砂層表層および砂層中の従属栄養生物の好気的分解を促進させたり、藻類被膜の発達に伴い原水中の栄養物質の吸収など、水の浄化に役立つとされている²⁻⁵⁾。また、この藻類被膜の発達はろ過閉塞防止にも有効である⁶⁾。

長野県上田市水道局染屋浄水場および石舟浄水場では、水温が低い1月から4月上旬までは過閉塞が生じやすい時期であり、この時期は、*Melosira*の発達が悪い時期と一致していた¹⁾。この時期は流入原水中の栄養塩濃度が低い時期とも一致し、ろ過池での糸状珪藻の繁殖の制限要因は低温および低い栄養塩濃度に起因すると考えられた^{1,4)}。一方、テムズ水道の緩速ろ過池では低温時期の2月頃に*Melosira*の発達が良く⁷⁾、必ずしも低い水温が制限要因とは考えられなかった。日本でも、染屋浄水場のろ過池で糸状藻類の繁殖しない冬でも、長野県小諸市布引観音前の千曲川の河原や軽井沢町の白糸の滝の滝壺では、*Melosira*が繁茂していた。

また緩速ろ過池は上から下方への垂直的な流れが常にある環境であり、河川の河床は上流から下流への水平的な流れがある環境である。両者とも流れの方向の違いがあるが、共に流水環境で完全に浮遊して生活し繁殖するプランクトンは生息しにくい。一方糸状藻類は礫面や砂面上に繁殖する水生植物などに付着するかひっかかって

生活し繁殖する。媒体である水はこの糸状藻類の群体の中を通り抜けることはでき、ゆっくりとした流水環境でも流されることはない。

そこで、自然環境中で*Melosira*がどのような条件下で生息しているか調査し、緩速ろ過池で冬期に*Melosira*が繁殖しない要因を探った。その結果栄養塩がある程度の濃度以上あるか、栄養塩濃度が低くても水中の懸濁物質が少なければ、流速が緩い環境では冬期でも*Melosira*が繁殖しうる事がわかった。

2. 調査期間および調査地

調査期間 1996年5月から1997年1月。

調査地 5月の調査時に*Melosira*の繁殖を確認できた下記の長野県内の4カ所と、6月の調査時に確認できなかった1カ所を継続調査した (Fig. 1)。

Location of study sites

Figure 1. The location of study sites. A basin of Shiraito Waterfalls (Altitude 1300m) a natural pond of Sato Ike (1080m) in Karuizawa town. Pools (550m) in the dry river bed at the front of Nunobiki-Kannon in Komoro city. Karasawa falls (1120m) and Soehi river (780m) in Sanada town.

2. 1 軽井沢町白糸の滝・滝壺 (Fig. 2)

滝壺は長野県軽井沢町にある浅間山の北東の海拔1,300mに位置し、千曲川の支流の湯川の水源の一つである。浅間山の中腹から湧水が直接に滝壺に落下している。湧水であるので1年を通じて水温の変化は小さく、

湧水場所の上部には集落はなく、人為影響がない。ただし、観光地であるため、月に1度、景観美化のために滝壺の清掃を行い繁殖した藻類を洗い流すことをしていた。水深は約50cmと浅かったが定期的に藻類を除去するという点で緩速ろ過池とよく似た環境である。

Figure 2. Basin of Shiraito water fall. Floating algal mat of filamentous diatom *Melosira varians* was always observed in a year.

2. 2 軽井沢町里池 (Fig. 3)

浅間山の南東の海拔1,080mに位置し白糸の滝同様に

湧水が供給源であるが、水は底から湧き出ている。人為的な清掃は行われず、自然な環境である。

Figure 3. A natural pond of Sato Ike at the foot of Mt. Asama. Floating algal mat of filamentous diatom *Melosira varians* was observed in spring. Filamentous green alga dominated in summer

2. 3 小諸市布引観音前の千曲川 (Fig. 4)

千曲川本流の河原で普段は流れの緩やかな淵で海拔550mであるが、上流にある東京電力西浦ダムの放流時

や大雨の時には増水し水没する。その増水後、川岸に水たまりができ、その水たまりに*Melosira*が繁殖する。上流約1 kmに小諸市の下水処理場があり、処理水が千曲川に放水され、その影響がある。

Figure 4. Pools in dry river bed of River Chikuma in the front of Nunobiki-Kannon where is a lower reach of a sewerage plant and a hydroelectric power plant. Filamentous diatom *Melosira varians* bloom was always observed.

2. 4 菅平高原唐沢の滝 滝下の小川 (Fig. 5)

千曲川の支流神川の上流の支流で唐沢（海拔1,120 m）である。この集水域は農耕地や牧場がある菅平高原

で、降雨時などは肥料成分が多量に流出し人為的な影響を受ける。*Melosira*が確認できたのは、唐沢の滝の下流の小川であった。

Figure 5. A small downstream of Karasawa fall. Filamentous diatom *Melosira varians* was observed in early spring. However it disappeared in summer.

2. 5 傍陽川 (Fig. 6)

傍陽川 (神川の支流、真田町入軽井沢) は山間地を流れる河川であり、人為の影響をほとんど受けていないと

考えられた。調査地点は海拔780mで傍陽川でも比較的上流部であり、*Melosira*が確認できなかった場所とした。この場所は他の調査地との比較対象として*Melosira*の繁殖を確認できなかった場所として調査を行った。

Figure 6. Soehi stream of a mountain small stream in autumn.

3. 調査項目および方法

3. 1 優占藻類の確認

各調査地点で見られた糸状藻類の現存量を正確に定量評価することが困難であった。そこで、外観を観察し、数カ所から試料を採取し、顕微鏡観察により半定量的に属毎に現存量の優占性を評価し整理をした。

3. 2 水質

- ・水温および電気伝導度 調査時に現場で測定
 - ・リン酸態リン アスכולビン酸還元法
 - ・硝酸態窒素 紫外外部吸光法
 - ・アンモニア態窒素 インドフェノール法
 - ・亜硝酸態窒素 スルファニルアミド・ナフチルエチレンジアミン法
 - ・珪酸：モリブデン黄法
- 水質分析は上水試験方法⁸⁾、水の分析⁹⁾を参考にした。

4. 結果

4. 1 優占藻類の変化

4. 1. 1 軽井沢町白糸の滝・滝壺 (Table 1)

滝壺に藻が繁殖し外観が悪くなり、清澄な滝壺というイメージが損なわれると考えられていた。景観美化のため、月に一回程度の頻度で不定期であるが、観光客が少ない平日や降雨日に、観光茶店の店員が滝壺の水を抜き清掃を行っていた。清掃後、調査期間中、常に優占的に繁殖していたのは糸状珪藻*Melosira*であった。藻類群集の大部分を*Melosira*が占めていたが、糸状珪藻*Fragilaria*も混在し、冬になると糸状の黄緑藻の*Vaucheria*も混在した。

4. 1. 2 軽井沢町里池 (Table 1)

里池では調査開始時の5月に見られた*Melosira*は次第に減少し8月には全く見られなくなった。*Fragilaria*は6月に現れ一時的に優占種になり、夏の間消失しその後、秋から晩秋にかけて水温が低くなる時期にまた確認された。*Melosira*が消失しだすと*Fragilaria*が増えだした。さらに同時期から糸状緑藻の*Spirogyra*や*Ulothrix*が見られるようになり、*Spirogyra*が優占種になり、*Ulothrix*が優

占種になった。また、9月以降には藻類が見られず池の底がむき出しになった状態にもなる事が確認された。

4. 1. 3 小諸市布引観音前の千曲川 (Table 2)

この地点では、9月初旬から10月中旬にかけて頻繁に降雨による増水が起り、調査対象としていた河川敷内の緩速流域および水溜まりが増水の度に水没した。その期間を除くと *Melosira* が優占的に繁殖していた。夏に増水が起り既存の生息環境が洗われた後に最初に *Melosira* が繁殖してきた。その後、水溜まりなどでは糸状緑藻の *Stigeoclonium*、*Spirogyra*、*Ulothrix* へと遷移していた。この過程は緩速流域よりも水溜まりの方が早く珪藻から緑藻へ遷移していた。

4. 1. 4 菅平高原唐沢の滝 滝下の小川 (Table 3)

ここでは5月および6月に見られた *Melosira* が7月から10月末まではほとんど見られなかったが、11月になると再び現れた。*Melosira* が確認できなかった7月から11月までの期間の河川敷は、雑草が茂り小川を覆い水面に到達する日射量が極端に少なくなる時期であった。11月になると糸状珪藻 *Melosira* や *Cladophora* 等の糸状緑藻も確認できた。

4. 1. 5 傍陽川 (真田町入軽井沢) (Table 3)

Melosira が確認できなかった場所として調査を続けていたが、11月になると *Melosira*、*Cladophora* が確認された。しかし、これらの藻類現存量は、厳寒期の1月には減少した。

4. 2 水質

各調査地の水温と電気伝導度、リン酸態リン濃度および無機態窒素濃度の季節変化をFig. 7~11に示した。

各調査地の水温は、湧水である白糸の滝と里池で変動が小さかった。唐沢の滝も水温変動が小さいことから湧水の占める割合が高いと思われる。布引観音前の千曲川と傍陽川は季節による変動が大きかった。電気伝導度は里池や白糸の滝で高かった。布引観音前の千曲川では夏の渇水時に高く、増水時に減少し、生活排水の影響を受けて変化したと考えられる。唐沢の滝と傍陽川の電気伝導度は他の調査地より低く、変動が小さく安定していた。

各調査地のリン酸態リン濃度および無機態窒素濃度の変化は、リン酸態リンについては傍陽川が特に低く、無機態窒素は布引観音前千曲川および唐沢の滝で高かった。

5. 考察

本調査で常に糸状珪藻 *Melosira* が確認できた場所は、白糸の滝と布引観音前の千曲川であった。これらの場所は流れが緩やかな浅瀬で、障害物や水中の懸濁物質などによって日光が遮られることがなく、また栄養物質濃度も比較的高い場所であった。また、この2カ所は人為作業や自然現象による増水によって既存の生息環境が洗い流され、繁殖した藻類群集が除去されるという特徴があった。*Melosira* はこのような環境にまず最初に出現し優占的に繁殖していた。この現象は緩速ろ過池で削り取り後、ろ床で *Melosira* が繁殖するのと同じである^{1,4)}。しかし、緩速ろ過池でも、水温が高い季節は里池のように環境の攪乱が起らず安定した環境が長く続くと、糸状珪藻から糸状緑藻類へと藻類相が遷移していくと考えられた。このような現象はテムズ水道での緩速ろ過池でも夏期に観察される^{7,10-12)}。この遷移は糸状珪藻を捕食する水生昆虫の幼虫による捕食圧が高くなると考えられる^{10,13-15)}。

遷移の初期に糸状藻類が優占的に繁殖するのは、緩やかな流れのある環境では完全に浮遊して繁殖する藻類は流されてしまい、底に沈んで繁殖し、水は藻類体の間を通過できるような形態の糸状藻類が適していると考えられる。しかし、糸状藻類の中で、糸状珪藻 *Melosira* が最初に優先して繁殖する理由をはっきり説明できない。今回、観察した結果から、上流の緩速流域で繁殖し、流下してきた *Melosira* やその環境に残っていた *Melosira* が礫面などで繁殖する付着藻類とともに石面に付着したり、群落を形成するようになったと考えられる。また *Melosira* の細胞は糸状緑藻 *Spirogyra*、*Ulothrix* などの細胞の大きさと比べると小さいため体積当たりの細胞表面の割合が大きく活性が高いと推定され¹⁶⁾、成長速度も早いと考えられる。そのため細胞サイズが大きい糸状緑藻類よりも先に優先して繁殖したとも考えられる。しかしながら細胞が小さく壊れやすいために魚類や昆虫の幼虫に被食されやすい。そのため安定した生息環境が続くと細胞が大きく細胞壁が頑強そうな緑藻類に遷移した。

Melosira があまり見られなかった傍陽川は栄養物質濃度が低かったために生長が制限されたと考えられるが確かではない。菅平高原唐沢の滝下の小川で夏期に *Melosira* が見られなくなったのは河床が草に覆われ光条件が悪くなると考えられた。菅平高原の降雨状況を長野県気象月報で調べたところ¹⁷⁾、夏期は夕立がかなりの頻度であることがわかった。調査は午前中であり、この夕

Table 1 Seasonal change of dominant algae at Shiraito fall and Sato Ike pond.

Shiraito fall	(7/8 Cleaning)							(9/9 Cleaning)							(10/9 Cleaning)						
	5/20	6/13	7/1	7/9	7/16	7/31	8/12	8/19	9/3	9/10	9/17	9/24	10/1	10/8	10/14	10/21	11/12	11/19	12/4	13/16	1/20
<i>Melosira</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Fragilaria</i>		+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+	+					+
<i>Ulothrix</i>																			+		
<i>Phormidium</i>																					
<i>Vaucheria</i>																			+	+	+
<i>Chlamydomonas</i>											+	+									

Satoike	5/20	5/27	6/13	7/1	7/9	7/16	7/31	8/5	8/12	8/19	9/3	9/10	9/17	9/24	10/1	10/14	10/21	11/12	11/19	12/4	12/16	1/20
	5/20	5/27	6/13	7/1	7/9	7/16	7/31	8/5	8/12	8/19	9/3	9/10	9/17	9/24	10/1	10/14	10/21	11/12	11/19	12/4	12/16	1/20
<i>Melosira</i>	+++	++	+	+	+	+	+	+							+	+		+	++	++	++	+
<i>Fragilaria</i>			+++	++	+	+	+	+	+						+	+	+	+	++	++	++	+
<i>Spirogyra</i>		++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++			+	+	+	++	++	++	+
<i>Ulothrix</i>			+++	++	+	+	+	+	+	+	+	++	++	+++	++	++	++	+	++	++	++	++
Clear Space											+	++	+	+	++	++	+	+++	++	++	++	+++

+++ : Abundant
++ : Major
+ : Minor

Table 2 Seasonal change of dominant algae at the place with slow water current and pools in dry river bed in front of Nunobiki-Kannon of River Chikuma. The observation places was flooded from September 10 to October 14.

River Chikuma in front of Nunobiki kan-non (Slow current)																														
	6/24	7/1	7/16	7/31	8/5	8/12	8/19	9/3	9/10	9/17	9/24	10/1	10/8	10/14	10/21	10/25	10/28	11/12	11/19	12/4	12/16	1/20								
<i>Melosira</i>	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++		High water level												+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
<i>Fragilaria</i>						+																								+++
<i>Spirogyra</i>				++		+	+																							+
<i>Ulothrix</i>	++																													
<i>Stigeoclonium</i>						+	+																							
<i>Cladophora</i>																										++	++	++	++	++
River Chikuma in front of Nunobiki kan-non (pool in dry rier bed)																														
	6/24	7/1	7/16	7/31	8/5	8/12	8/19	9/3	9/10	9/17	9/24	10/1	10/8	10/14	10/21	10/25	10/28	11/12	11/19	12/4	12/16	1/20								
<i>Melosira</i>		+++	+++	+++	+++	+++	++	+++		High water level												+	+	+	+	+	++	+++	+++	+++
<i>Fragilaria</i>																														+++
<i>Spirogyra</i>				++			++																							+
<i>Ulothrix</i>	++							++																						
<i>Stigeoclonium</i>																														
<i>Cladophora</i>	++																													

Table 3 Seasonal change of dominant algae at downstream of Karasawa fall and at the river bed of Soehi stream.

Karasawa Fall																						
	5/7	5/13	6/17	7/9	7/16	7/31	8/6	8/12	8/19	9/3	9/10	9/17	9/24	10/1	10/8	10/14	10/21	11/12	11/19	12/4	12/16	1/20
<i>Melosira</i>	+++	+++	+++									+		+				++	++	++	+++	+++
<i>Stigeoclonium</i>				+																		
<i>Vaucheria</i>																					+	+
<i>Closterium</i>																					+	+
<i>Cladophora</i>														+				+	+	+	+	++
Soehi stream																						
	8/2	9/3	9/10	9/17	9/24	10/1	10/8	10/14	10/21	11/12	11/19	12/4	1/16	1/20								
<i>Merosira</i>										++	++	++	+	+								
<i>Cladophora</i>						+				++	+	+	+	+								
<i>Spirogyra</i>											+											
<i>Closterium</i>												+										
<i>Tetraspora</i>												+										

+++ : Abundant
++ : Major
+ : Minor

Figure 7. Seasonal changes of electro conductivity (EC), water temperature, reactive phosphorus and inorganic nitrogen in the water of Shiraito fall.

Figure 8. Seasonal changes of electro conductivity (EC), water temperature, reactive phosphorus and inorganic nitrogen in the water of Sato Ike pond.

Figure 9. Seasonal changes of electro conductivity (EC), water temperature, reactive phosphorus and inorganic nitrogen in the water of River Chikuma in the front of Nunobiki Kannon.

Figure 10. Seasonal changes of electro conductivity (EC), water temperature, reactive phosphorus and inorganic nitrogen in the water of Karasawa fall.

Figure 11. Seasonal changes of electro conductivity (EC), water temperature, reactive phosphorus and inorganic nitrogen in the water of Soehi stream.

立の影響がなくなった時に行っていた。菅平では河川の増水は夕方から夜半に生じ、翌朝には増水の影響はほとんど無くなってしまう。調査した小川は光条件も悪いが、安定した生息環境ではないと考えられた。

今回の調査において確認できたことは、糸状珪藻 *Melosira* は既存の生息環境が洗い流された後に、緩やかな流れと、光条件の良く、栄養物質の不足にならないと思われる場所に優先して繁殖し、糸状緑藻などへ遷移するまでの初期段階であった。冬期には、今回調査を行っていない場所でも所々で *Melosira* の群落が確認できた。冬は大雨による増水がほとんど起こらないために、安定した状態が長く続く。水温は低く、日射量も少ないといった悪条件のため成長速度は遅いが、被食の影響もなくゆっくりと生長していると考えられた。

一方、上田市の緩速ろ過池の原水は河川表流水のため、河川から流入してくる懸濁物質が多いのでろ床に発達する糸状藻類被膜でも捕捉が不十分で、定期的にろ過池の水を抜き、砂層表面の汚泥を取り除いている。このような人為的操作は軽井沢の白糸の滝の滝壺での清掃作業と同じである。また、小諸市の布引観音下の河川敷き内の一時的に生ずる水溜まりで増水により洗い流される現象とも同じである。上田市の緩速ろ過池では1月から3月には *Melosira* の繁殖はほとんどなく、河床の礫面で繁殖した単細胞で糸状群体をつくらない付着珪藻の藻類被膜ができるが、これは流下してきた藻類が単にろ過池の砂層表面に堆積していると考えられる^{1,18)}。しかし、水温の低い冬期でも布引観音下の千曲川でも *Melosira* の優先繁殖があった。ろ過池では栄養塩が少なく、ろ床は水深も約1mで光が十分でないでろ過池での糸状藻類の繁殖速度が遅い。厳寒期は河床の礫面で繁殖し剥離してろ過池へ流入してきた付着藻類により砂層表面が覆い被さってしまったと考えられる。今回の調査から、流入懸濁物質がないような伏流水を取水している緩速ろ過池や水深が浅いろ過池では冬期でも *Melosira* の優先繁殖がある可能性が考えられる。事実、貯水池で河川からの流入懸濁物質を落とす名古屋市鍋屋上野浄水場では冬期に *Melosira* の優先繁殖があり¹⁸⁾、ロンドンのテムズ水道の緩速ろ過池でも冬期に *Melosira* の大繁殖が観察されている^{7,11)}。多摩川の河床から伏流水を取水している東京都水道局の砧（上・下）浄水場では冬期ばかりでなく、一年中、*Melosira* の優先繁殖が観察されている¹⁰⁾。しかし繁殖し浮遊してきた *Melosira* の藻類被膜を越流させない場合は、糸状緑藻に遷移するのが東京都水道局砧（上・下）浄水場で観察されている¹⁰⁾。

今回の調査で、糸状珪藻 *Melosira* は非常に緩い流れのある環境で繁殖する先駆糸状藻類であることがわかった。

6. まとめ

糸状珪藻 *Melosira* が優先的に繁殖するにはどのような環境かを探るために自然環境の調査を行った。春先に *Melosira* が繁殖している軽井沢の浅間山の山麓の白糸の滝の滝壺、里池、小諸市下水処理水の影響がある千曲川の河床の水溜まり、菅平高原の唐沢の滝下の小川および、同じような環境で *Melosira* が繁殖していない傍陽川の河床を定期的に調べた。その結果、滝壺ではときどき掃除をし、千曲川の河床の水溜まりではときどき増水により洗われる環境で、緩速ろ過池で定期的にろ床の削り取りが行われるのと同じような環境であった。唐沢の滝下の小川は夏期は光条件が悪くなることと夕立などにより洗われ、糸状珪藻が繁殖しにくいと考えられた。里池では秋から春には糸状珪藻が優先するが、夏は糸状緑藻に遷移し、捕食動物の活性が低い時期の水温が低いときに優先していた。栄養塩があり安定した緩速流域環境では糸状珪藻は先駆植物で、夏期は糸状緑藻に遷移するが、時々繁殖した藻類群集が洗われる環境では常に *Melosira* の優先繁殖が維持されることがわかった。

謝辞：本研究は河川生態学術研究の一環で行われ、また、本調査には財団法人河川環境管理財団からの助成金を受けたことに感謝します。

【引用文献】

- 1) 中本信忠・江連小百合：緩速ろ過池ろ床藻類の繁殖過程及び季節変化、水道協会雑誌、59(659)：17-21(1989)
- 2) Sakai, M. and N. Nakamoto : Role of filamentous algae in a slow sand filter. Verh. Internat. Verein. Limnol. 25 : 1993-1995(1994)
- 3) Nakamoto, N. : Schmutzdecke sampler reduces filter bed damage. Opflow (Amer. Wat. Wks. Ass.) 19(7) : 1-4(1993)
- 4) Nakamoto, N., M. Yamamoto, M. Sakai, K. Nozaki, N. Iwase, M. Yasuda and K. Hirabayashi : Role of filamentous diatom as an automatic purifier in a slow sand filter. 139-148. In N. Graham and R. Collins (eds.) : Advances in slow sand and alternative biological filtration. 461p. John Wiley & Sons. Chichester. UK. (1996)
- 5) 中本信忠・坂井正：緩速ろ過池における糸状珪藻と

- その連続培養の重要性、日本水処理生物学会誌、27 (1) : 33-38 (1991)
- 6) 中本信忠・坂井正：緩速ろ過池のろ過閉塞指標としての標準化損失水道と藻類、日本水処理生物学会誌、28 (1)、7-16 (1992)
- 7) 中本信忠・山本満寿夫・N. Graham・P. Renton：テムズ水道Ashford Common浄水場における糸状藻類被膜の発達、日本水処理生物学会誌、別巻15、20 (1995)
- 8) 日本水道協会：上水試験方法 (1978)
- 9) 日本分析化学会北海道支部：水の分析、化学同人 (1981)
- 10) 中本信忠：生物処理の緩速砂ろ過処理について、水、37 (3)、20-29 (1995)
- 11) 中本信忠：続・テムズ水道緩速ろ過池見聞記－テムズ水道の緩速ろ過から学んだもの、水、37 (15)、26-37 (1995)
- 12) 中本信忠：テムズ川の河口から源流まで一水質汚濁と水質浄化の検証、水、38 (7)、65-77 (1996)
- 13) 伊師直之・野崎健太郎・坂井正・中本信忠：緩速ろ過池ろ床のユスリカ幼虫の個体数変動について、日本陸水学会甲信越支部会報、18、5 (1992)
- 14) 田川衛・野崎健太郎・坂井正・中本信忠・平林公男：緩速ろ過池の藻類現存量変化とユスリカ幼虫量の変化、日本陸水学会甲信越支部会報、19、4-5 (1993)
- 15) Wotton, R. S., D. T. Chaloner and P. D. Armitage : The colonisation, role in filtration and potential nuisance value of midges in slow sand filter beds. 149-157. In N. Graham and R. Collins (eds.) : Advances in slow sand and alternative biological filtration. 461p. John Wiley & Sons. Chichester. UK. (1996)
- 16) Reynolds, C. S. : The ecology of freshwater phytoplankton. 384p. Cambridge Univ. Press. UK. (1984)
- 17) 日本気象協会長野支部：長野県気象月報
- 18) 中本信忠・池田大介・田口香代・山本満寿夫・野崎健太郎：河川を水源とする緩速ろ過池と貯水池を水源とする緩速ろ過池の藻類被膜の発達の違い、日本水処理生物学会誌、33 (2)、81-90 (1997)
- 19) 小島貞男：清澄ろ過方式、34-93、用廃水管理叢書編、ろ過〔I〕清澄ろ過、392 P、工学図書 (1968)
(受付 1997. 7. 22)
(受理 1997. 10. 8)