

信濃川水系における水質および流下藻類の 流下に伴う変化の研究

1. 緒論
2. 千曲川上流から信濃川河口までの流下藻類の変遷
 - 2.1. はじめに
 - 2.2. 調査地点の概要
 - 2.3. 調査方法
 - 2.3.1 河川水質
 - 2.3.2 流下藻類
 - 2.4. 結果および考察
 - 2.4.1 水温
 - 2.4.2 電気伝導度
 - 2.4.3 リン
 - 2.4.4 無機態窒素
 - 2.4.5 硅酸
 - 2.4.6 藻類現存量
 - 2.4.7 流下珪藻類
3. 千曲川中流域における流下藻類の季節変化
 - 3.1. はじめに
 - 3.2. 調査地点の概要
 - 3.3. 調査方法
 - 3.3.1 水質
 - 3.3.2 流下藻類量
 - 3.4. 結果及び考察
 - 3.4.1 水質の季節変化
 - 3.4.2 硅藻類の季節変化
 - 3.4.3 異なる環境下における珪藻類の変化
4. 総合考察
5. 摘要

1. 緒 論

陸水生態学という観点で、河川研究は湖沼研究に比べて著しく立ち後れている。湖沼は閉鎖的でまとまっているのに、河川は開放的な水域であること、ひとたび増水すれば何日間も手が付けられないといった調査の困難さなどが研究成果の差を広めたと考えられる。水域内の一次生産者である藻類の生態についての研究も湖沼に比べると格段に少ない。

河川環境中の藻類は、従来は河床礫面の付着藻類に主に注目されて研究されてきた。それは、河床礫面での付着藻類の繁殖が著しく、水生昆虫および魚類の餌としても重要であるからである。しかし、歐米の大陸河川では流速がゆったりとして、河川水中でも湖沼で繁殖するような浮遊性プランクトンに注目して研究がある。日本でも、近年になり、河口域での浮遊性プランクトンについて研究がなされた。

水域の一次生産を担う藻類には二つのタイプがある。その一つは浮遊性藻類であり、もう一つは付着藻類である。流れがほとんど無い環境である湖沼では前者が、また、流れのある河川では後者が重要であることは良く知られている。しかし、河川にも浮遊生活をする藻類が全くいないわけではない。大陸の多くの河川で *potamoplankton* (*river phytoplankton*) 流水性プランクトン（流水性植物プランクトン）と呼ばれ、流水中で増殖する浮遊生物の生息が確認されている。湖沼で繁殖するような植物プランクトンや動物プランクトンと同じような種類の繁殖が確認されている。

一方、日本の河川は山地の多い国土の関係から、どの河川も長さは短く、しかも傾斜が急であるのが特徴である。従って、河川長が短い河川では、地表面にでた水は、その水源を出た水はその日のうちに、長い河川でも2~3日中には河口へ到達しまう。そのため、流水性プランクトン*potamoplankton*の繁殖のための時間的余裕はないといわれている。つまり、河川水中にみられる藻類は、付着藻類の剥離したものが、流域内の止水域（湖沼、ダム湖、水田など）で発生した浮遊藻類が河川に流入したものとされている。

しかし、村上（1996）は勾配の急な日本の河川においても、渴水期や構築物の影響のため、長期にわたり河川水が滞留するならば、浮遊藻類が発生し、繁殖する可能性があることを指摘しており、実際に長良川、信濃川の河口域において、浮遊藻類の発生が報告されている（Murakami et al.,1992）。

最近では、本邦の河川は前述のように治水、利水目的の堰が建設され、また民家や工場からの下水や排水、または処理水の捨て場になるなど、人間活動の影響を強く受けて環境そのものも極めて多様化しているため、河川の上中流部においても流速の遅い環境などで、付着性以外の藻類の繁殖が考えられる。

筆者は、流速が時速10から20 cmと非常にゆっくりとした流水環境である緩速ろ過池での藻類繁殖を研究してきた。その環境では糸状珪藻メロシラが優先して繁殖することがわかった。緩速ろ過池の藻類がどこからきたかを調べたところ、流入する河川からである。そこで、河床の付着藻類を調べたところ、僅かであるが、糸状珪藻の存在が確認された。また千曲川の河川水中を調べると河床の礫面で大量には繁殖していない糸状珪藻メロシラの現存量が比較的多く、その存在が無視できることに気がついた。そ

こで、この点に注目して研究を行った。

そこで、河川水中の一次生産者としての藻類について考える場合、礫面で繁殖する付着藻類以外の藻類にも目を向ける必要があった。また、付着、浮遊を含めた流下藻類として環境に与える影響を考える必要がある。流下藻類は懸濁物食の水生昆虫であるトビケラやブユなどの餌となるなど、他の生物とのかかわり合いは少なくないといえる。村上（1996）は諏訪湖から流れ出す天竜川において、トビケラの高い密度での生息を可能にするのは、藻類が大繁殖する諏訪湖で繁殖した浮遊藻類の供給が関係していることを指摘している。

日本最長の河川である信濃川（千曲川）は水質、付着藻類については良く研究されているものの、流下藻類については、殆ど研究されていない。そこで河川における流下藻類の現状を把握するために、信濃川（千曲川）において、1995年12月に上流部から下流部までの流下藻類の予備調査を行った。調査の結果、殆どの調査地点において、少量ではあるが、浮遊藻類が確認された。また上田盆地の調査地点では、川岸近くの流速の極めて遅い環境で糸状藻類の繁殖が認められた。

この予備調査からさらに、河川水中の流下藻類の現状を解析する基礎として、信濃川の最上流部から新潟の河口部までの流下藻類量と藻類種の変遷、季節変化、環境変動と藻類の関係について研究を行った。

本研究を遂行するにあたり、多くの方々から多大な協力を得た。とくに、信州大学繊維学部大学院応用生物科学専攻の高橋正海君には、この研究の最初から最後までの大部分に協力してもらった。また名古屋市の村上哲生氏には文献などでお世話になった。調査研究には、高橋君だけでなく、池田大介君の協力もなくてはなせなかったことを記し感謝する次第である。

2. 千曲川上流から信濃川河口までの流下藻類の変遷

2.1. はじめに

千曲川は長野、埼玉、山梨の県境にある秩父山地甲武信岳に源を発し、佐久平、上田盆地を経て長野盆地で最大の支流犀川と合流する。新潟県境から信濃川と名を改め、途中谷川岳を源とする清流魚野川と合流し、越後平野を潤しつつ、大河津分水路並びに堰屋分水路を分派して日本海に注いでいる。また信濃川（千曲川）は日本最長の河川であり、流域面積も利根川、石狩川に次ぐ広さである（表2・1）。

表2・1 信濃川（千曲川）について

川の長さ km	流域面積 km ²	年間総流量 億m ³
信濃川 367	利根川 16840	信濃川 156
利根川 322	石狩川 14330	阿賀野川 130
石狩川 268	信濃川 11900	最上川 113

河川調査において、水質や流下藻類の変遷を知る上で上流から河口までの河川全体を大まかにでも把握することは重要であり、1995年12月に予備調査を行った。調査の結果、流下藻類の大部分が付着性藻類であるが、殆どの調査地点において、割合としては少ないが浮遊性藻類を確認した。また、川岸近くの流速の極めて遅い環境で、糸状藻類の繁殖がみられた。しかし、予備調査では定性的な調査であったため、各調査地点での流下藻類の量的な比較が不可能であった。大橋（1974）は千曲川源流付近から上田市下流までの付着藻類と水質について調査を行っており、その結果河床の付着藻類量は河川中の窒素及びリンの濃度と顕著な相関をもって変化することを指摘している。これらの結果より、付着藻類の変化が流下藻類の変化に大きな影響を与えていることは確実であり、流下藻類の現状を把握する上で定量的調査を行う必要がある。そのため1996年に、改めて千曲川源流部から信濃川河口部までの水質の変化と流下藻類の定量調査を行った。

2.2. 調査地点の概要

千曲川全体を見ると上流部、長野・新潟県境部では傾斜が急であり、中流部の上田・長野盆地、下流部の越後平野では緩やかというように環境の変化に富んだ河川であるといえる。調査地点を上流から河口までの間に20ヶ所設け（表2・2、図2・1）、1996年9月28、29日の2日間調査を行った。

上流部の川上村から調査を始め、28日に鼠までの8地点、29日には古舟から新潟までの14地点でおこなった。調査日の違いによる差を把握するために古舟と鼠両日とも調査を行った。

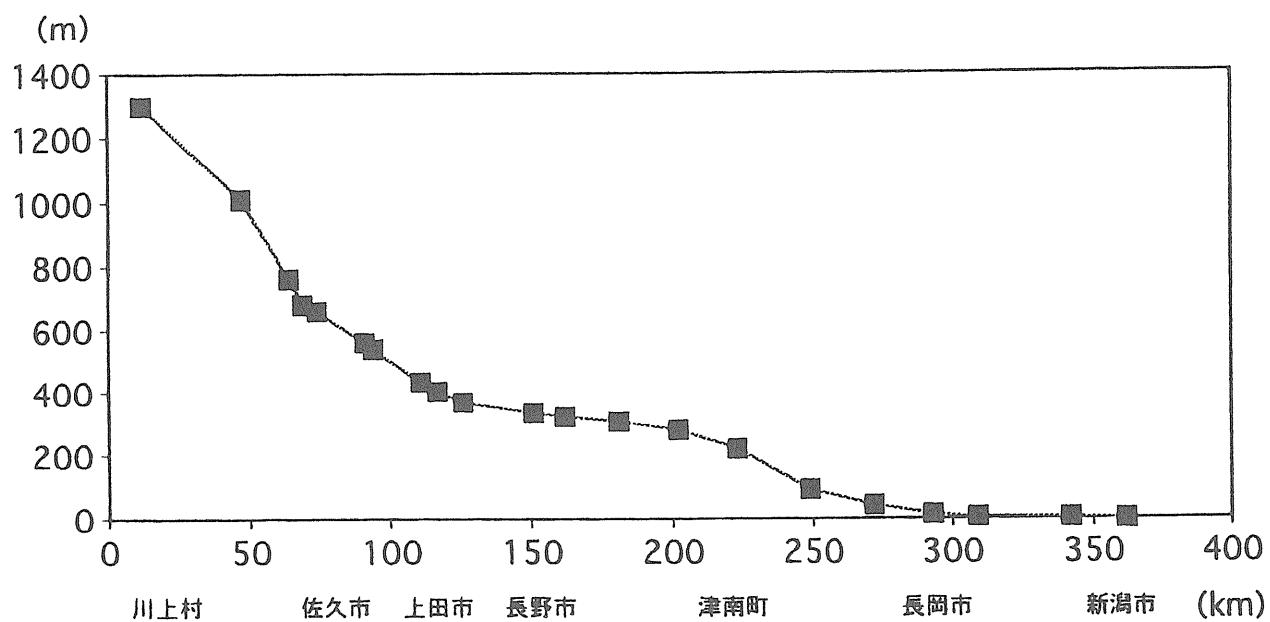


図2・1 信濃川水系(信濃川・千曲川)の源流から河口までの調査地点の距離と標高の関係

表2・2 調査地点について

調査地点	源流からの 距離(km)	標高 (m)	備考
川上	12	1300	川上村 日本基橋付近 これより上流に人家、耕地なし
海ノ口	47	1010	南牧村 小海線佐久海ノ口駅付近
八千穂	64	760	八千穂村 村役場付近
佐久	74	660	佐久市 佐久大橋下
西浦ダム	91	560	小諸市 西浦ダム下 ダム放流水採水
布引	94	540	小諸市 布引観音下 ダムによる取水のため流量小
古舟	111	435	上田市 古舟橋下
鼠	117	405	坂城町 鼠橋付近 上田市の排水流入
戸倉	126	370	戸倉町 大西緑地公園前
合流下	151	335	長野市 犀川合流点より1.5km下流 長野市の排水流入
小布施	162	322	中野市 立ヶ花橋上流
飯山	181	306	飯山市 中央橋下
西大滝	202	280	野沢温泉村 西大滝ダム下 放流水採水
津南	223	220	津南町 信濃川橋下
十日町	249	92	十日町市 十日町橋下 発電用水取水後 流量小
小千谷	272	42	小千谷市 旭橋付近 魚野川合流後 発電用水放流直後
長岡	293	13	長岡市 蔵王橋下
分水	309	6	分水町 大川津分水路下 水量の殆どが分水路へ
白根	342	3	白根市 眚井橋下
新潟	362	0	新潟市 万代橋付近 汽水域

2.3. 調査方法

2.3.1 河川水質

河川表流水について調査を行った。採水後凍結保存しまとめて分析を行った。

水温・電気伝導度(EC) : パーソナルSCメータ(横河MODEL SC82)を使用。

全リン(TP) : 過硫酸カリウム分解法

リン酸態リン(PO₄-P) : アスコルビン酸還元法

硝酸態窒素(NO₃-N) : 紫外部吸光法

アンモニア態窒素(NH₄-N) : インドフェノール法

亜硝酸態窒素(NO₂-N) : スルファニルアミド・ナフチルエチレンジアミン法

珪酸(SiO₂) : モリブデン黄法

水質分析の各方法は上水試験法（日本水道協会1978）、水の分析（日本分析化学会北海道支部1981）を参考にした。

2.3.2 流下藻類

試水中の藻類現存量を明らかにするためクロロフィルa量を測定した。クロロフィルaの定量には試水1～2ℓをガラス纖維ろ紙(Whatman GF/C)でろ過し、UNESCO法で測定した。またフェオフィチン(クロロフィル分解物)の割合を求めるためにLorenzen法でも測定を行った。クロロフィル測定方法は西條(1972)、水の分析(日本分析化学会北海道支部1981)を参考にした。

また、流下藻類の殆どを占める珪藻については、試水1ℓをホルマリンで固定し、自然沈降法で濃縮したサンプルをプランクトン格子線枠付きスライドグラスにとり、微分干渉位相差顕微鏡を用いて属もしくは種ごとに計数した。これに、濃縮係数を乗じ、河川水1mℓあたりに現存する細胞数を算出した。

また、計数する際に珪藻の生死を分け算出した。細胞の生死の判定にはエバンスブルーによる染色(佐藤・山口1988)や酢酸カーミンを用いた染色(後藤1978)が報告されているが、今回の研究では細胞の原形質等の確認が容易である微分干渉位相差顕微鏡を用いたため、前述の染色法を用いなくても生死の判断は可能とした。

2.4. 結果および考察

2.4.1 水温

水温変化を図2・2に示した。河川の水温には日変化がある。一般に河川の水温の最高最低は気温のそれより約2時間ほど遅れ、午後2～3時頃最高、日の出直後に最低、午前午後の10時頃に平均を示すといわれている(半谷・小倉1985)。また、少し大きな河川になると、水温は支流の合流、河床からの湧水などにより河川の各部で異なる。また、水力発電その他のダムの放流水は、天然河川に比べて温度の低下を伴う場合もある(半谷・小倉1985)。これらのことから、任意の時刻の測定値で水温の意味を解釈することは難しい。

今回の調査では、上流から河口まで水温は緩やかに上昇している。調査は2日にわたって早朝から夕刻まで行っているため、日変化の影響も大きいと考えられるが、それ以上に調査地点の標高、気温に影響を受けたと考えられる。また、ダム放流水による水温の低下は特にみられなかった。

2.4.2 電気伝導度

電気伝導度の変化を図2・2に水温の変化と合わせて示した。これによると、佐久市付近までは水温同様上昇し、その後多少の増減はあるものの、120～160μS/cmほどで一定であるといえる。河川は流下に従い、様々な電解質が流入するため増加すると考えられる。しかし今回の調査では、そのような傾向は上流部でのみみられたにすぎなかった。中下流部での電気伝導度の変動のみられない理由としては、電気伝導度の希薄な支流からの流入により、上昇が抑えられていると考えられる。

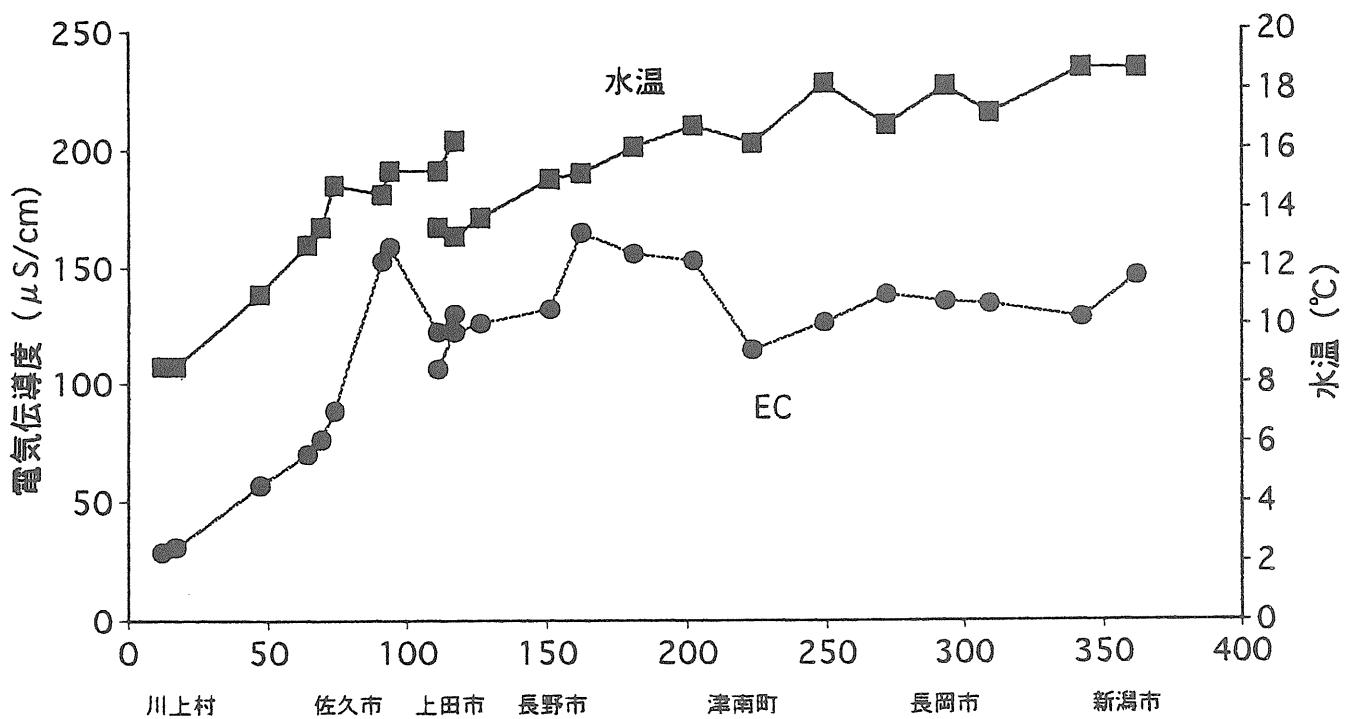


図2・2 信濃川水系(信濃川・千曲川)の源流から河口までの調査地点での水温と電気伝導度(EC)の変化

2.4.3 リン

リンの変化を図2・3に示した。リンは植物の成長にとって重要な栄養塩類であるにもかかわらず、自然界に存在する量は微量であるため、生物群集の維持にとってもすれば不足しがちになる。信濃川河川水中の全リンは、その殆どがリン酸態リンであった。リンは佐久市をこえるまで緩やかに増加し、上田市以降、多少の増減はあるものの $100 \mu\text{gP/l}$ 前後で安定している。湖沼におけるリン濃度は典型的な富栄養湖である諏訪湖で平均 $100 \mu\text{gP/l}$ （沖野1990）、貧栄養湖である洞爺湖では最大で $4 \mu\text{gP/l}$ 、同じく貧栄養湖である芦ノ湖では、リン酸態リンではあるが最大で $10 \mu\text{gP/l}$ という値が報告されている（大竹1978）。信濃川の中下流部のリン濃度は、常に水と共に供給され続けるという特徴と併せて考えると、河川の藻類にとって制限要素とはなり得ないと思われる。リンの増加は、電気伝導度と同じ傾向を示しており、人間活動の影響を受けているものと考えられた。

2.4.4 無機態窒素

窒素の変化を図2・3にリンの変化と合わせて示した。窒素はアンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素の和である全無機態窒素(TIN)で表した。窒素の変化は電気伝導度やリンの変化と異なり、源流付近の川上村の調査地点以降、急激に値が上昇し 2mgN/l 前後となる。長野新潟県境以降低下し、 1.5mgN/l 付近を推移する。

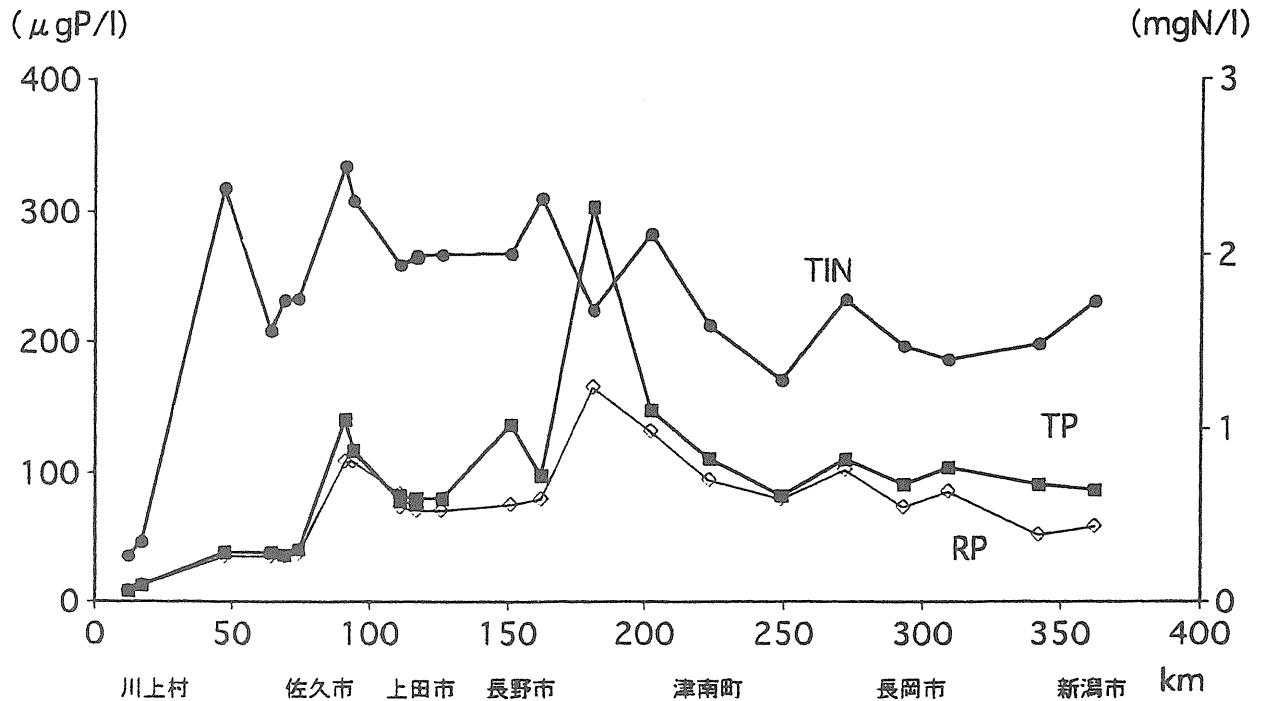


図 2・3 信濃川水系(信濃川・千曲川)の源流から河口までの調査地点での河川水中の無機態窒素(TIN)濃度と
リン(TP, RP)濃度の変化

窒素の河川水中の供給源としては、人間の生活排水の流入、水田や耕地など土壌からの流出が大きいと考えられる。変化の形から考えて、電気伝導度やリンは前者、窒素は後者の影響を強く受けていると考えられる。源流付近を除いた、上中流部の窒素の高い値は、数多く存在する耕地からの流出によるものと考えられる。また長野県以降の窒素の減少は、流入水の増加によるものと考えられる。

2.4.5 硅酸

珪酸の変化を図 2・4 に示した。本邦の河川は珪酸の量が著しく多いといわれている。世界平均の 13.1mg/lに対し、日本の河川の平均は 19.0 mg/lといわれている(大竹1978)。これは日本の地質の特性を反映しており、火山岩類を水源としているため、珪酸が多くなるといわれている(小泉1971)。珪酸は他の栄養塩とは異なり原形質の重要な成分ではない。しかし、珪酸は珪藻の被殻の主成分であり、*Asterionella*, *Tabellaria*などの個体群としての発達には珪酸は少なくとも 0.5~0.8mg/l以上を要するといわれている(小泉1971)。

信濃川の珪酸濃度は窒素同様、源流付近を除いて、18 mg/l前後と安定している。これは土壌から供給されるためと考えられる。また、長野県以降の調査地点においてあまり値が減少しない理由は、窒素のように、耕地由来の成分ではなく、地質由来であるためと考えられた。

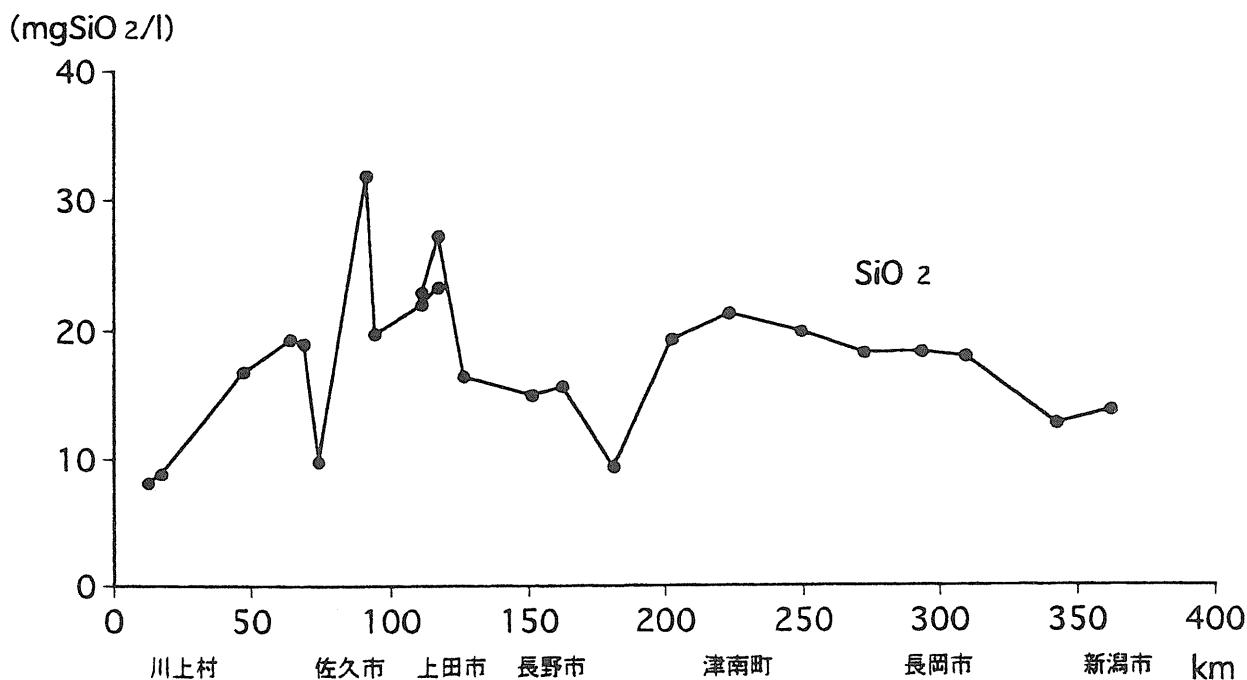


図 2・4 信濃川水系（信濃川・千曲川）の源流から河口までの調査地点での河川水中の珪酸（ SiO_2 ）濃度の変化

2.4.6 藻類現存量

河川水中の藻類現存量の指標としてクロロフィルa濃度を測定でその変化を図2・5に示した。クロロフィルaは源流部から上田市付近まで増加しその後 $1.5 \mu\text{g/l}$ 前後で安定し、下流の2調査地点で値が上昇する。大橋（1974）は千曲川源流付近から上田市下流の間で河床の付着藻類量は河川中の窒素及びリンの濃度と顕著な相関をもって変化することを指摘している。上流部での流下藻類の増加は、リン変化と同じ傾向を示すため付着藻類の増加が影響していると考えられた。中流部ではリン濃度同様クロロフィルa量は安定していたが、これがリン濃度に制限されているとしたならば、下流部での藻類増加は他の水源からの流入によると考えられるが、リン濃度ではなく流速が制限要因であるとしたら、下流部では流速が遅くなることによる藻類の増加が考えられる。

2.4.7 流下珪藻類

顕微鏡観察の結果、流下藻類の殆どが珪藻類であったため、珪藻に着目して細胞数の変化を示し、珪藻の生細胞と死細胞の変化を図2・6に示した。珪藻の細胞数の変化はクロロフィルa量の変化と同じ傾向がみられた。流下する珪藻の8割近くが死細胞であった（図2・7）。しかし、クロロフィルa量とその分解物であるフェオフィチンa量の割合（図2・8）を調べてみると、クロロフィルa量が7割前後という

高い値を占めていた。このことから、流下珪藻の死細胞は、色素が完全に分解し、完全に殻だけになつていてる流下している付着珪藻類であるとも考えられる。また流下珪藻の中で、生きの悪い珪藻があり、

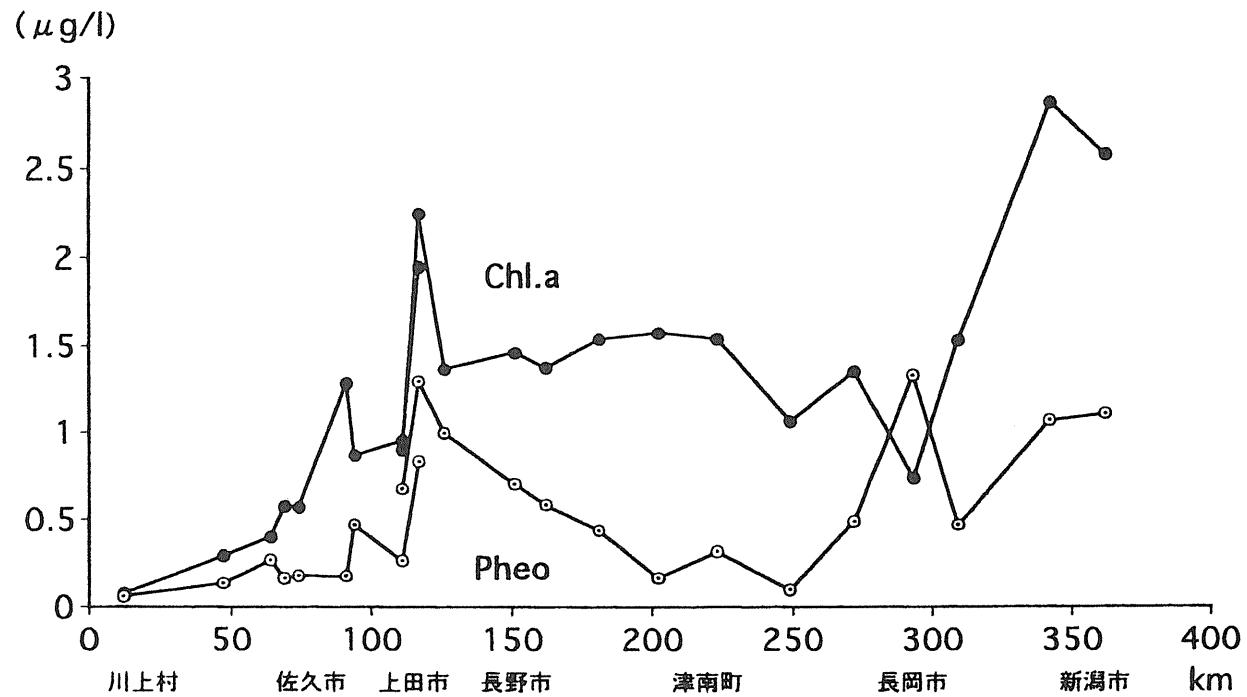


図 2・5 信濃川水系（信濃川・千曲川）の源流から河口までの調査地点での河川水中のクロロフィルa(Chl.a)量とフェオフィチンa(Pheo)量の変化

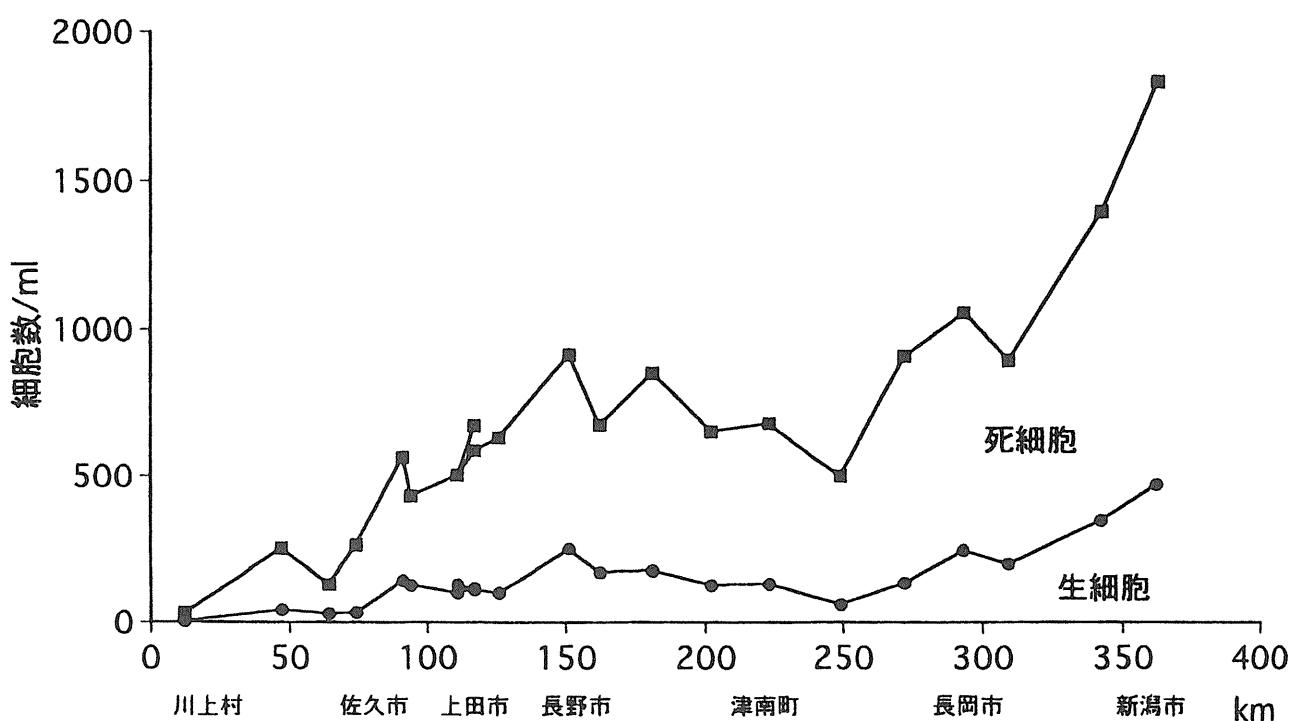


図 2・6 信濃川水系（信濃川・千曲川）の源流から河口までの調査地点での河川水中の流下藻類中の珪藻の生細胞数と死細胞数の変化

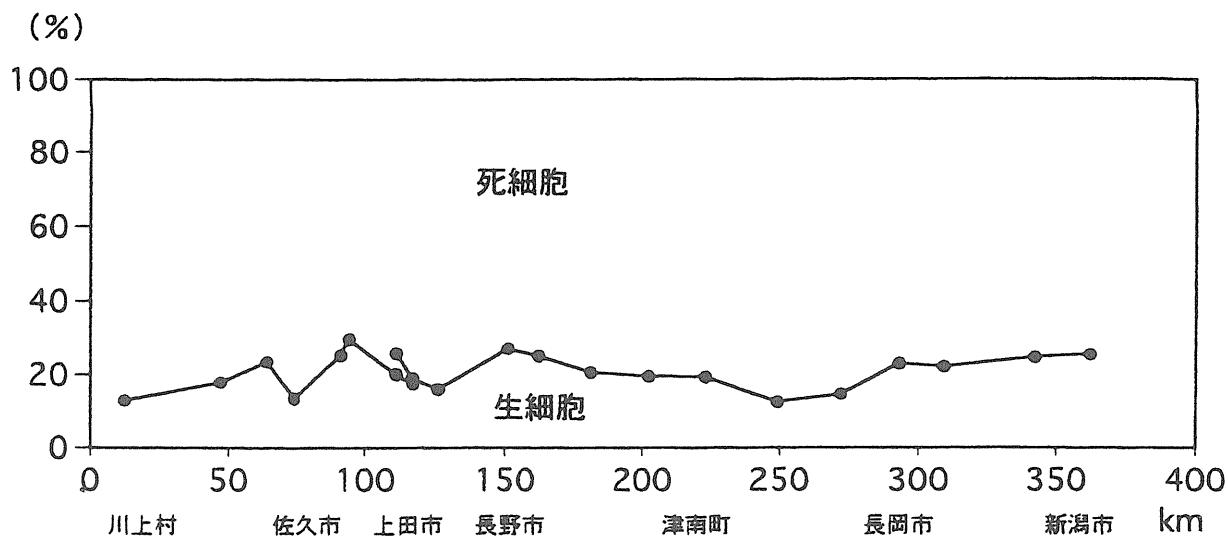


図2・7 信濃川水系（信濃川・千曲川）の源流から河口までの調査地点での河川水中の流下藻類中の珪藻の生細胞数と死細胞数の割合の変化

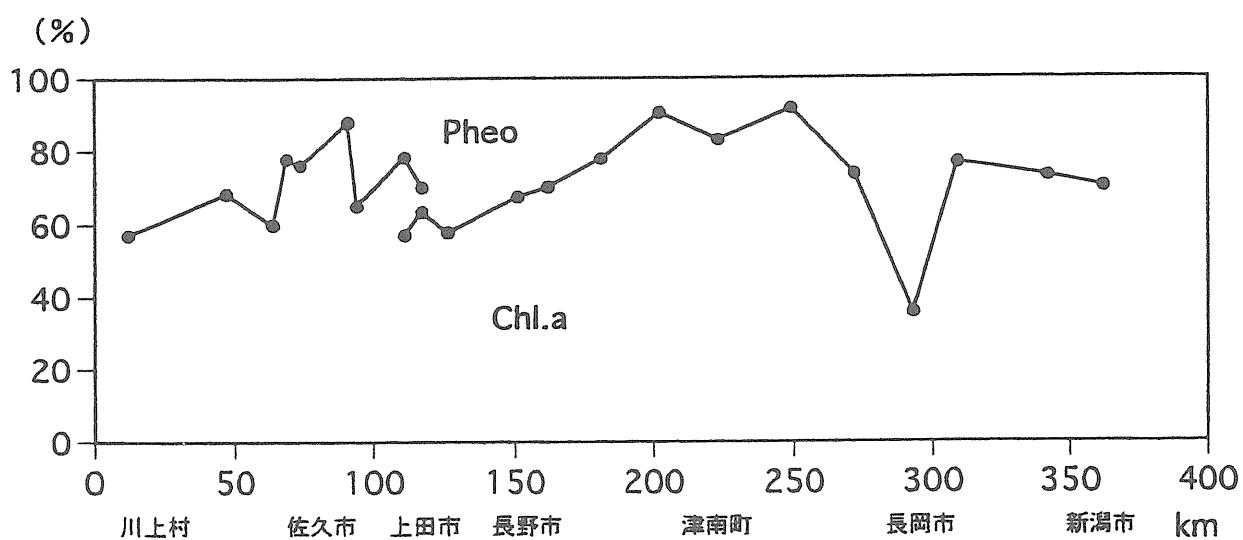


図2・8 信濃川水系（信濃川・千曲川）の源流から河口までの調査地点での河川水中のクロロフィルa(Chl.a)量とフェオフィチンa(Pheo)量の割合の変化

その内に多くのクロロフィルaを含み、死後そう長くは経っていない流下珪藻類が存在していることが考えられた。

流下藻類が下流でさらに繁殖するためには生細胞であることが必要である。そのため流下珪藻の生細胞に着目し、浮遊性、付着性に大別して（表2・3）変化を示した（図2・9）。

厳密にいうと、*Melosira*は浮遊珪藻ではないが、引っかかって繁殖している状態が多く、いつでも流れしていくことができるため、浮遊性に含めた。

表2・3 出現した珪藻属

付着性	浮遊性
<i>Navicula</i>	<i>Melosira</i>
<i>Nitzschia</i>	<i>Synedra</i>
<i>Diatoma</i>	<i>Fragilaria</i>
<i>Gomphonema</i>	<i>Asterionella</i>
<i>Cymbella</i>	<i>Aulacoseira</i>
<i>Achnanthes</i>	<i>Cyclotella</i>
<i>Rhoicosphenia</i>	
<i>Cocconeis</i>	

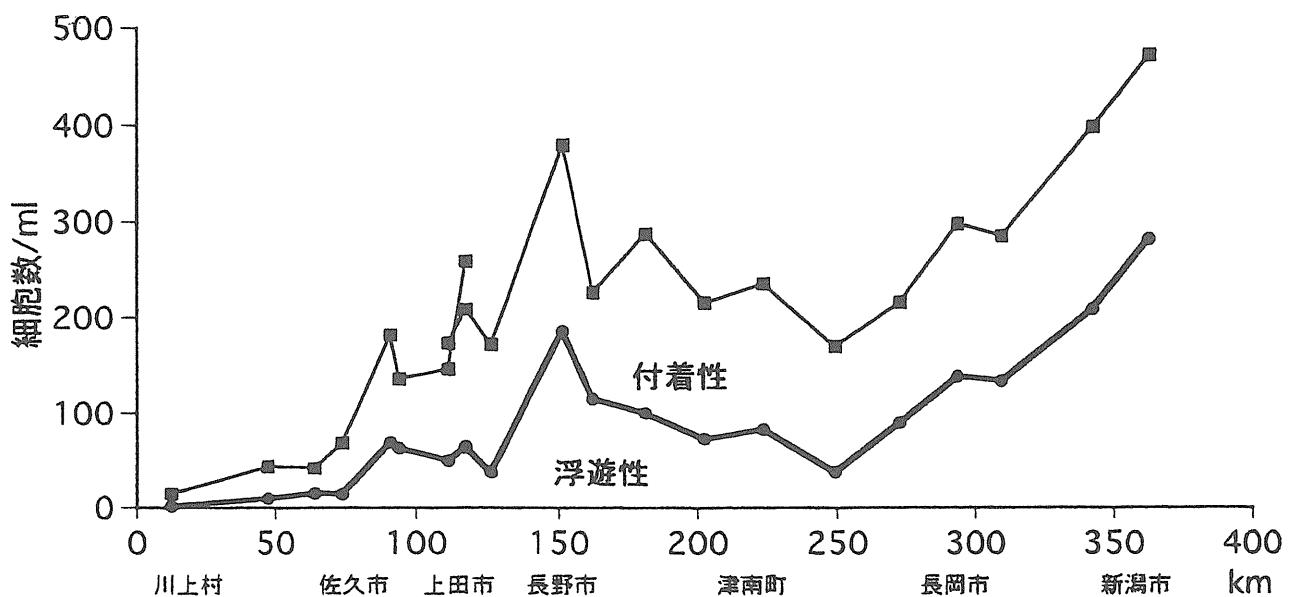


図2・9 信濃川水系（信濃川・千曲川）の源流から河口までの調査地点での河川水中の流下藻類中の珪藻の生細胞数の中での浮遊性珪藻と付着性珪藻の細胞数の変化

珪藻生細胞中では、付着性珪藻は上流部では増加するものの、中下流部ではほぼ一定である（図2・10）。一方、浮遊性珪藻は信濃川の勾配（図2・1、前出）の変化と同様に、勾配の急な地点では減少し、緩やかな地点では増加するという傾向がみられた。

一般に、湖のような止水から流れ出した浮遊藻類は、河川の流水中ではその密度は速やかに減少する。諏訪湖から流出する天竜川では30km及び60kmの流下で、湖由来の浮遊藻類のそれぞれ50%及び90%が消失することが報告されている（Murakami et al., 1994）。このことから、勾配の緩い地点では、絶えず浮遊性珪藻が供給される環境にあると考えられる。

付着性藻類、浮遊性珪藻それぞれの生細胞の割合の変化を図2・11に示した。これによると、殆どの調査地点において浮遊性珪藻の生細胞の割合は50%を越えており、下流に移るに従って割合が上昇する傾向がみられた。一方、付着性珪藻は生細胞の割合は殆どの調査地点で30%以下であり、下流に移る

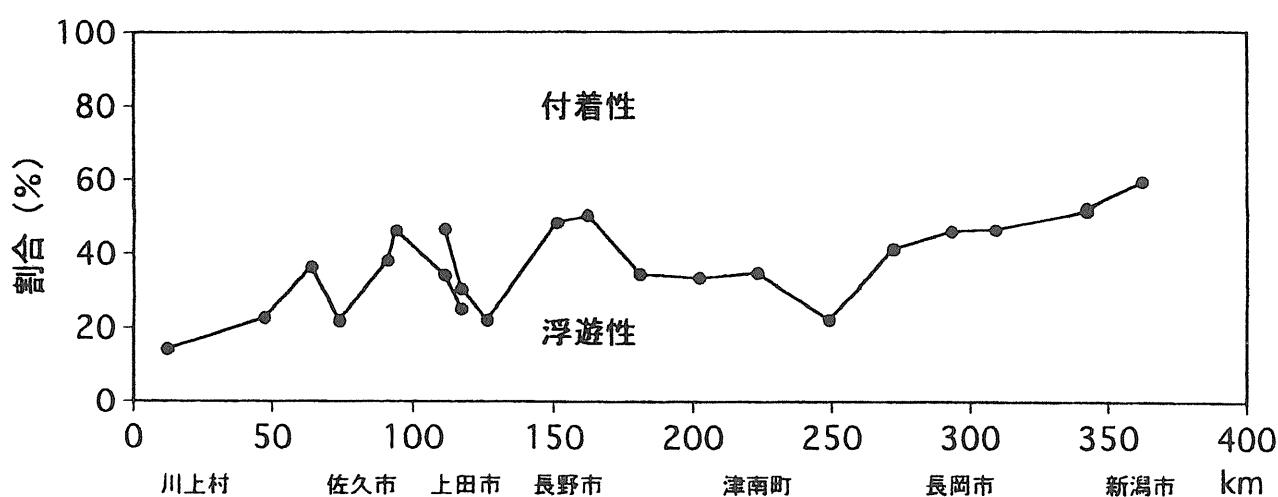


図 2・10 信濃川水系（信濃川・千曲川）の源流から河口までの調査地点での河川水中の流下藻類中の珪藻の生細胞数の中での浮遊性珪藻と付着性珪藻の細胞数の割合の変化

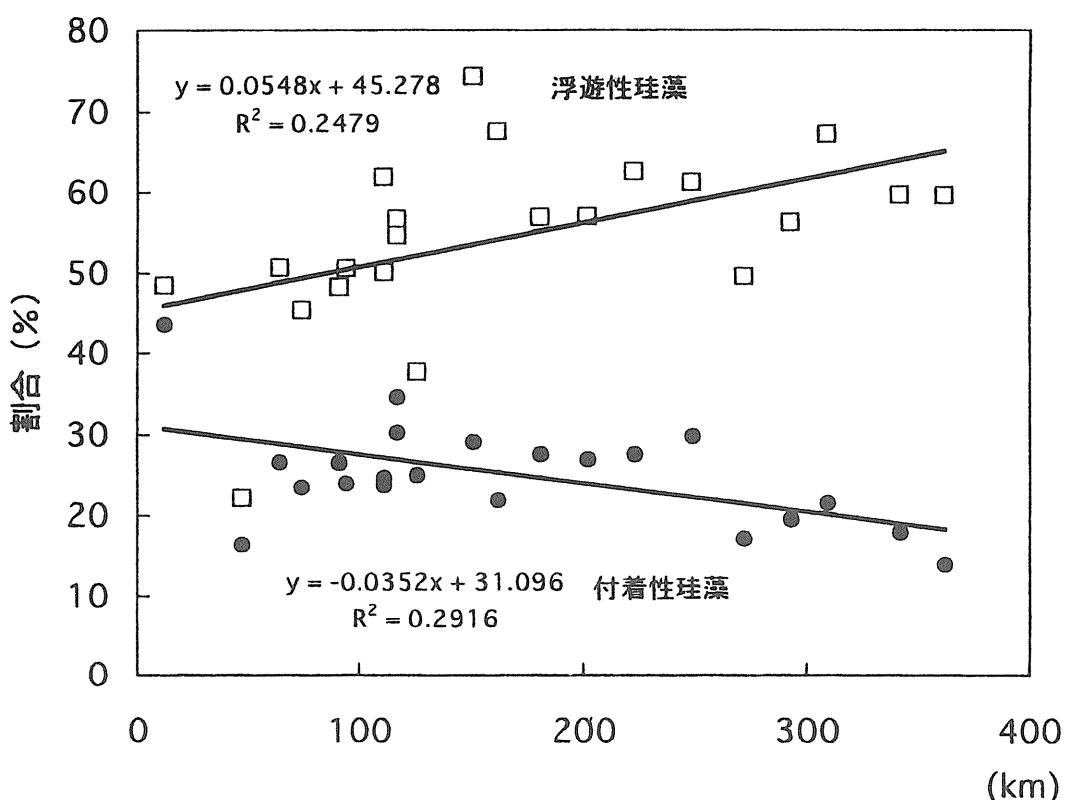


図 2・11 信濃川水系（信濃川・千曲川）の源流から河口までの調査地点での河川水中の流下藻類中の付着珪藻および浮遊珪藻それぞれの生細胞数の割合の変化とその傾向

に従って、減少した。これより、河川における浮遊性藻類の繁殖の存在は明らかにできなかったが、栄養塩濃度の高さ、生きた浮遊性藻類の存在より、緩流域での浮遊性藻類の繁殖の可能性が考えられた。

本邦の河川は上流部にはダム、中下流部には堰、と多くの構造物が存在し、これが緩流域を作り出しているといえる。今回の調査において下流部での浮遊性珪藻の増加が認められたが、下流部で繁殖したものかは明らかではない。また季節による変化も未確認のままである。今後信濃川（千曲川）を継続的に調査をする必要があると思われる。

3. 千曲川中流域における流下藻類の季節変化

3.1. はじめに

千曲川中流域は渓流河川でありながら、栄養塩類量は大河川の下流部に匹敵し、一次生産力は富栄養湖である諏訪湖のレベルに匹敵すると報告されている（大橋1974）。このような河川においては一次生産者である藻類の河床からの剥離、支流からの流入などで流下藻類が数多く存在すると考えられる。実際、大橋（1974）により、河床の付着藻類は冬期に増加し夏期に減少することが確認され、またその減少は増水などの洗い流しによると報告されている。また、千曲川の支流に位置する菅平ダム湖では、夏期に浮遊藻類の増殖が報告されており（中本1989）、千曲川流域に存在する他のダムにおいても、同様の現象が考えられる。さらに千曲川集水域には数多くの水田があり、そこにおいても多数の藻類の存在が考えられる。

現在の千曲川中流域においては、水力発電用ダムの存在、生活排水の流入、耕地からの栄養塩の流出、など環境変化が著しい。また季節によって、日射量の変化、融雪、梅雨などによる長期の増水、にわか雨などによる短期の増水など水量の変化もみられる。

のことから、流下藻類についても季節、環境変化により量、種構成ともに変化が生じることが考えられる。河川の流下藻類を調べる上で、このような変化を把握することは重要である。そのため、千曲川中流域で環境の異なると思われた調査地点において、藻類と水質の変化を調査した。

3.2. 調査地点の概要

千曲川中流域に環境の異なると思われた調査地点を8ヶ所設置し、1996年3月から12月までの間に原則として月1回調査をおこなった。

西浦：発電用の小規模なダムである西浦ダムの下に位置する。ダムからの放流水を採水した。小諸市を貫流しているため、同市の下水排水の影響があると考えられた。また、東京電力西浦ダムという人工的につくられた緩流域の真下であるため、浮遊性藻類の繁殖の可能性が考えられた。

布引：西浦ダムより3km下流に位置する。ダムの影響で、流量はわずかで流速も緩やかである。しかし、ダム放流時には水量は著しく増大する。河岸は岩場で、時折糸状珪藻 *Melosira varians* の繁殖が見受けられる。

古舟：上田市の中心部にある古舟橋の下に位置する。調査地点の直前に堰などではなく、多量の排水の流入もないため、典型的な中流部の河川環境と考えられた。

鼠：坂城町の鼠橋付近に位置する。調査地点の上部で上田市の下水処理水が流入してあるため、その影響が考えられた。

戸倉：戸倉町の大西緑地公園前に位置する。上部には戸倉上山田温泉があり、多量の生活排水が流入し水質を変化させていると考えられた。

犀川：長野市の長野日赤病院裏に位置する。千曲川最大の支流である犀川の影響を調べるために調査地点を設定した。犀川は北アルプスの槍ヶ岳(標高3,180m)を源とした流程160.7kmの千曲川最大の支流である。上流部は梓川と呼ばれ、松本平で奈良井川と合流した後犀川となり、安曇野を南流してきた高瀬川を合流し、その後峡谷を抜け、善光寺平で千曲川と合流する。犀川は合流上部の峡谷に数多くの堰が設けられ、そこで浮遊性藻類の繁殖が考えられた。

合流下：長野市の犀川合流地点より1.5km下流に位置する。上部で長野市の下水処理水が流入している。犀川と合流下後のため、水量がそれまでの調査地点よりも多い。計画流量としては千曲川は5,500m³/s、犀川は4,000m³/sである(建設省1995)。

小布施：中野市の立ヶ花橋上流に位置する。長野盆地の端であり、様々な人間活動の影響を受けていると思われる。

3.3. 調査方法

3.3.1 水質

河川表流水について調査を行った。採水後凍結保存しまして分析を行った。

水温・電気伝導度(EC)：パーソナルSCメータ(横河MODEL SC82)を使用。

全リン(TP)：過硫酸カリウム分解法

リン酸態リン(PO₄-P)：アスコルビン酸還元法

硝酸態窒素(NO₃-N)：紫外外部吸光法

アンモニア態窒素(NH₄-N)：インドフェノール法

亜硝酸態窒素(NO₂-N)：スルファニルアミド・ナフチルエチレンジアミン法

珪酸(SiO₂)：モリブデン黄法

水質分析の各方法は上水試験法(日本水道協会1978)、水の分析(日本分析化学会北海道支部1981)を参考にした。

3.3.2 流下藻類量

流下藻類の殆どを占める珪藻について計数をおこなった。試水1ℓをホルマリンで固定し、自然沈降法で濃縮したサンプルをプランクトン格子線枠付きスライドグラスにとり、位相差顕微鏡を用いて属もしくは種ごとに計数した。これに、濃縮計数を乗じ、河川水1mlあたりに現存する細胞数を計数した。

珪藻については細胞の生死とを分け、また付着性珪藻と浮遊性珪藻とに大別して算出した。藻類は同じ環境に生息していても体積には大きな差があるため、細胞数だけで現存量を把握するのは困難である。そのため、珪藻を簡単な立体に置き換え、属、種ごとに体積換算して表した(表3・1)。

表3・1 出現珪藻と体積量

付着性珪藻	体積(μm ³ /cell)	浮遊性珪藻	体積(μm ³ /cell)
<i>Navicula</i> spp.	1361	<i>Melosira varians</i>	3385
<i>Nitzschia</i> spp.	726	<i>Synedra ulna</i>	8192
<i>Diatoma</i> spp.	6160	<i>Cyclotella</i> spp.	553
<i>Gomphonema</i> spp.	540	<i>Synedra acus</i>	5500
<i>Cymbella</i> spp.	3780	<i>Asterionella</i> spp.	1216
<i>Achnanthes</i> spp.	320	<i>Fragilaria</i> spp.	980
<i>Rhoicosphenia</i> sp.	988	<i>Nitzschia</i> spp.	368
<i>Cocconeis</i> spp.	1407	<i>Aulacoseira</i> spp	304
<i>Synedra inaequalis</i>	4480	<i>Surirella</i> spp.	17634

3.4. 結果及び考察

3.4.1 水質の季節変化

各調査地点における無機態窒素の変化を調べた。調べた結果のうち、鼠（橋）地点での変化のみを図3・1に示した。多少のばらつきはあるが、調べたどの調査地点においても春先である3月に最高の値となった。これは融雪により、多量の硝酸態窒素が河川に流入したと考えられる。また犀川とその合流下にある2調査地点を除くと硝酸態窒素は1～3mg/lの範囲にある。多摩川の中流部における硝酸態窒素の濃度が0.55mg/lという値である（手塚1972）ことから考えると千曲川の値は河川中流域としては高い値であるといえる。

亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素の濃度は殆どの調査地点で0.2mg/l以下という低い値となった。下水の影響があると考えられた、鼠、合流下の両調査地点では多少高かったものの、0.7mg/lを越えることはなかった。硝酸態窒素同様多摩川と比較すると、多摩川は亜硝酸態窒素0.55mg/l、アンモニア態窒素2.85mg/lと千曲川よりはるかに高い値となっている。

これらの結果より千曲川の無機態窒素は、耕地からの肥料などの土壌流出によるもので、多摩川でみられるような下水流入によるものはまだ少ないと考えられた。

全リンの変化を図3・2に示した。かなりのばらつきはあるが、6～8月に増加する傾向がみられた。リンの増加が、人間活動に起因するものとするなら、水使用の増加する夏期に濃度が上昇する可能性は大であるといえる。ただ、千曲川における水質調査で、リン酸態リンについてではあるがその変動に季節的な変化はみられないとした報告（桜井・大橋1974）もあり、リンの変動については今後継続的な調査が必要であると考えられる。

珪酸の変化を図3・2に合わせて示した。珪酸は地質由来の物質であり、前章で信濃川の上流から下流までにおいて、珪藻類が発達するには十分量存在することがいえた。千曲川中流部においても季節変化はみられず、20mg/l前後を推移していた。

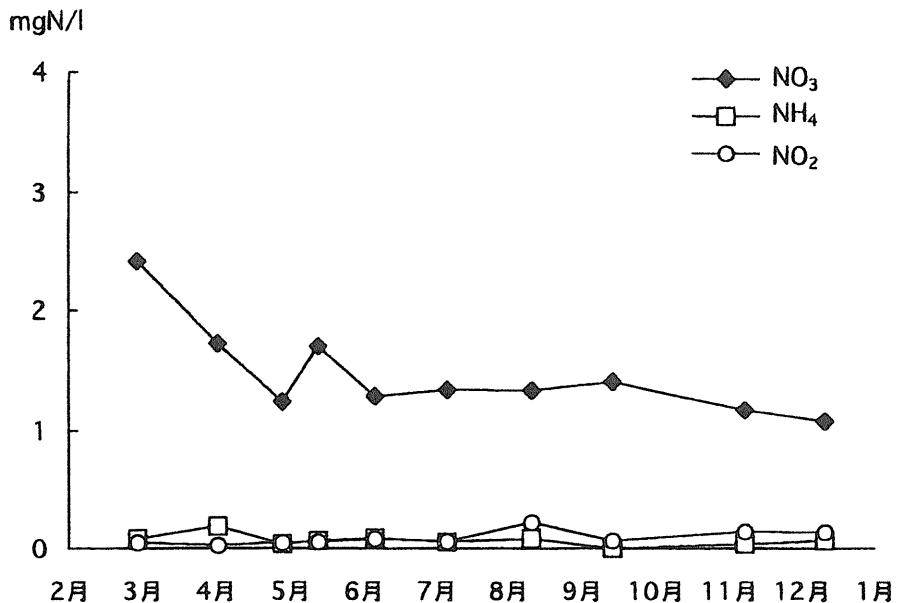


図3・1 千曲川水系鼠（橋）地点における無機態窒素濃度の季節変化

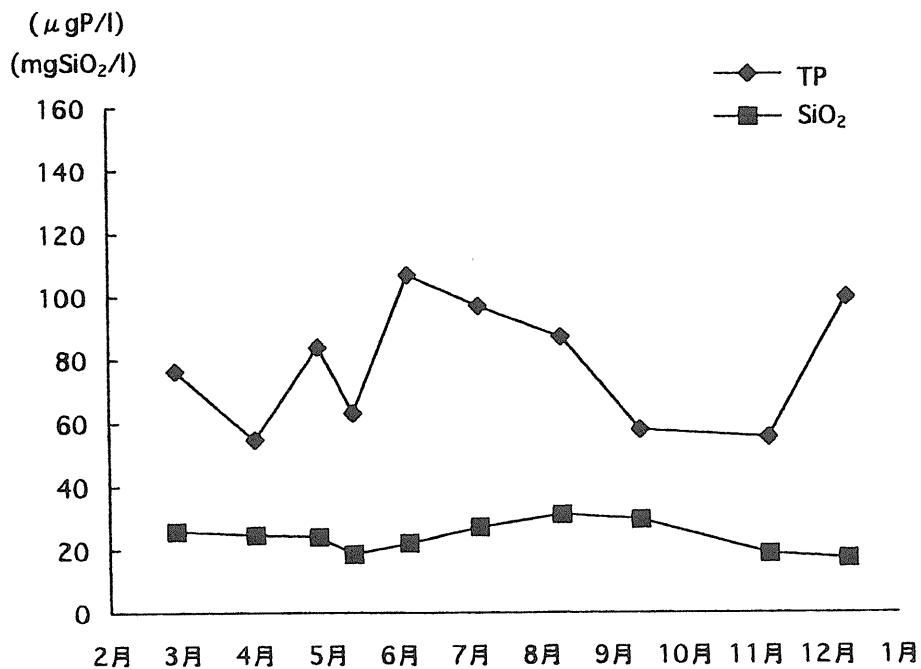


図3・2 千曲川水系鼠（橋）地点における全リン（TP）および珪酸（ SiO_2 ）濃度の季節変化

3.4.2 珪藻類の季節変化

出現珪藻の生細胞と死細胞の季節変化を図3・3に、その割合を図3・4に示した。また、付着性珪藻と浮遊性珪藻の季節変化を図3・5に、その割合を図3・6に示した。殆どの調査地点において同様の傾向がみられた。細胞数は3月は比較的高い値を示すが、4月には急激に減少し5、6月に急激に増加する。その後夏期には減少するものの、冬期にかけて再び増加する。

流下藻類の増減は付着藻類の量と密接な関係があることは前章で述べたが、どの時期においても付着性珪藻が7割以上を占めており、季節変化においても同様の関係が考えられた（図3・7）。大橋（1974）は冬期に河床のクロロフィルa量が増加することを報告しているが、このことから考えると12月～3月までの流下珪藻の増加は付着藻類の増加によるものと考えられる。

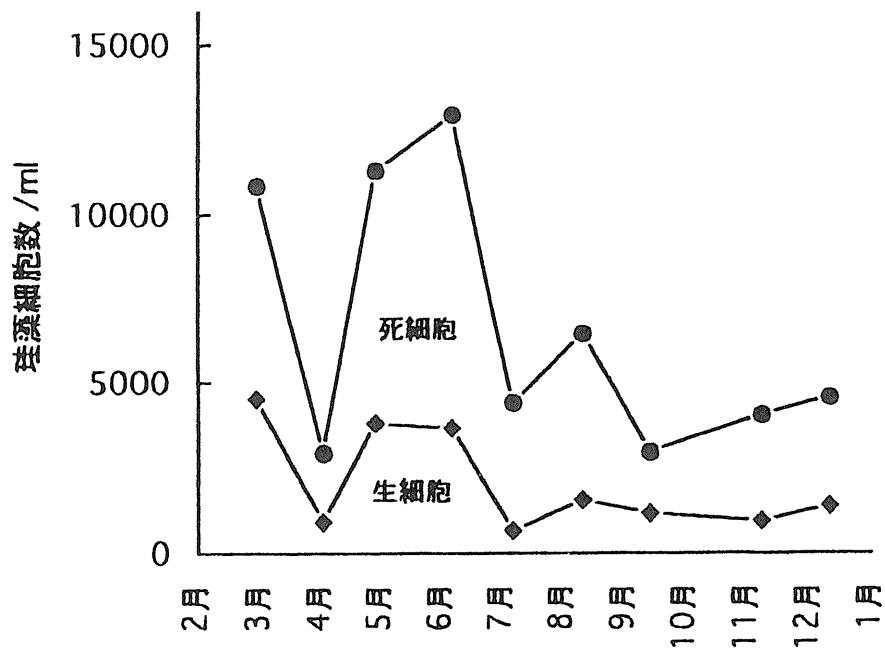


図3・3 千曲川水系鼠（橋）地点における河川水中の流下藻類中の出現珪藻の生細胞数および死細胞数の季節変化

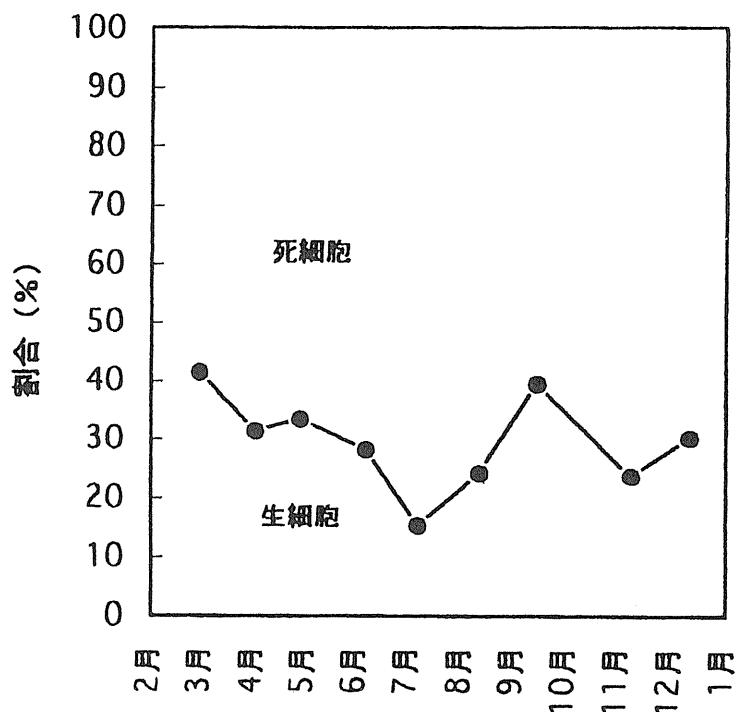


図3・4 千曲川水系鼠（橋）地点における河川水中の流下藻類中の出現珪藻の生細胞数および死細胞数の割合の季節変化

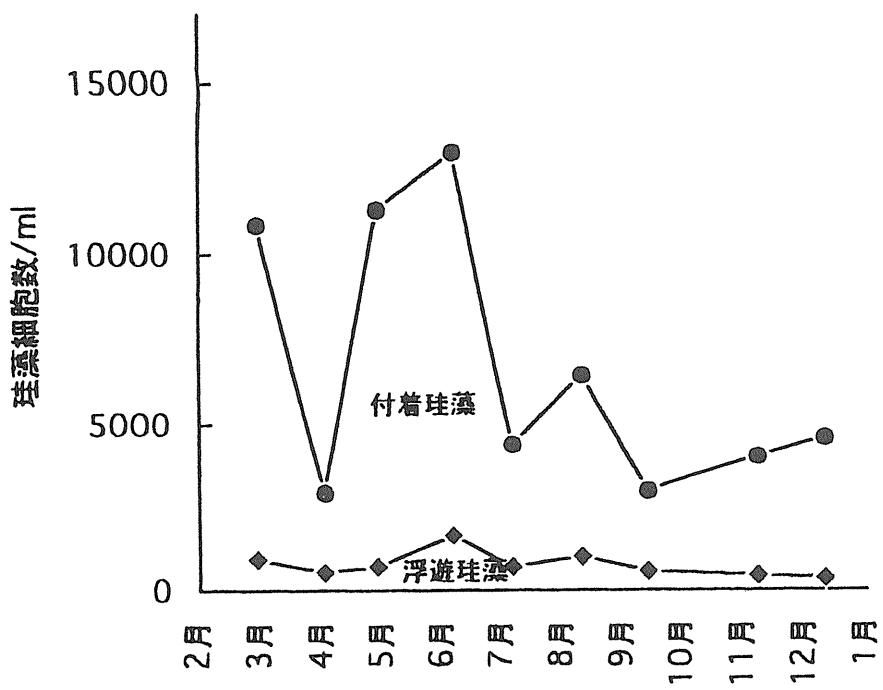


図3・5 千曲川水系鼠（橋）地点における河川水中の流下藻類中の付着珪藻数と浮遊珪藻数の季節変化

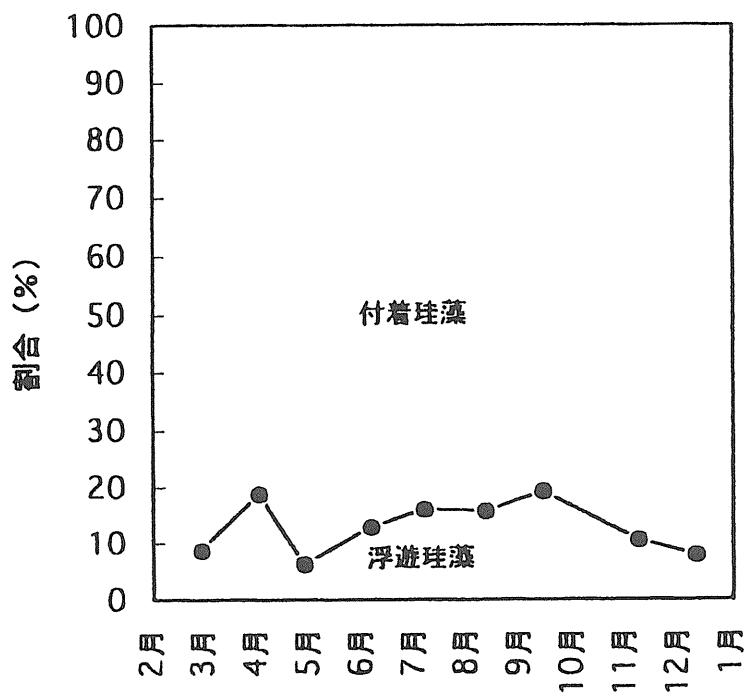


図3・6 千曲川水系鼠（橋）地点における河川水中の流下藻類中の付着珪藻数と浮遊珪藻数の出現割合の季節変化

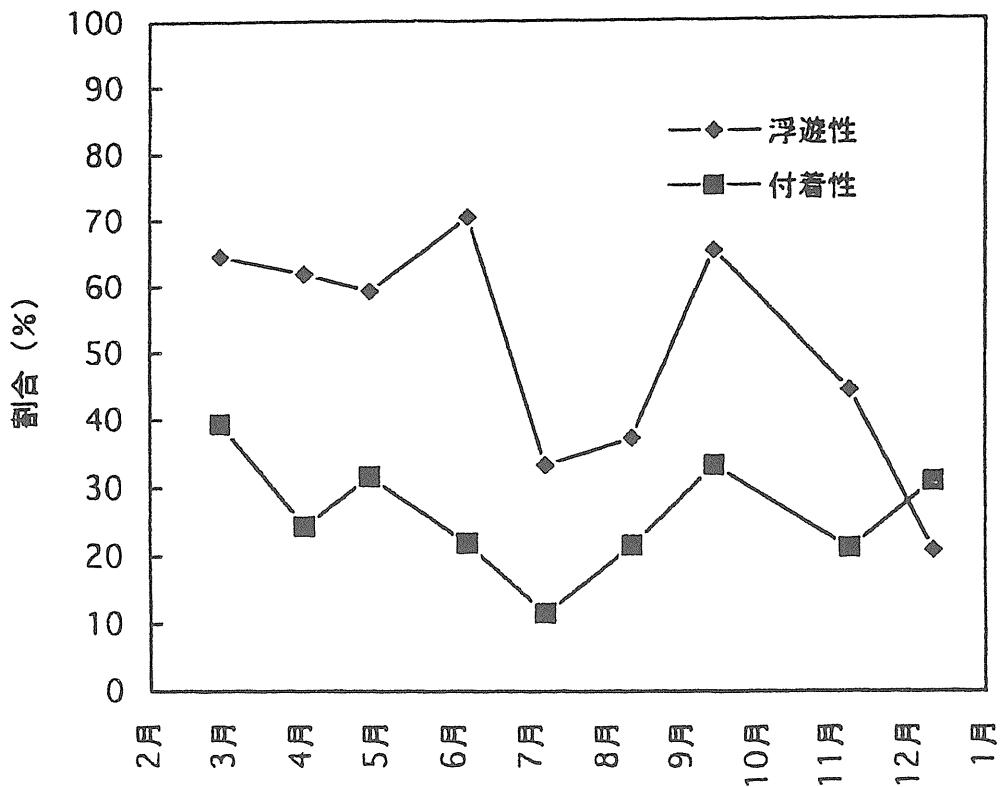


図3・7 千曲川水系鼠（橋）地点における河川水中の流下藻類中の付着珪藻数と浮遊珪藻数の生細胞の割合の季節変化

河川の増水による影響は流下藻類、付着藻類とともに重大な影響を与えると考えられる。短時間の増水であれば、付着藻類の剥離、ダムなど止水域からの流入によって流下藻類は増加すると思われる。しかし、春の融雪などによる長期の増水では逆に減少すると考えられる。今回の調査でみられた4月の珪藻細胞数の減少は増水の影響と考えられた。

5、6月における細胞数の増加は日射量の増加、水温の上昇などにより、珪藻類が著しく増殖したためと考えられる。夏期においても同様の増殖が考えられるが、同時に昆虫、魚の被食も活発となり、流下藻類量は減少すると考えられる。夏期の中でも7月9月の減少の大きい理由としては、6月下旬～7月中旬にかけての梅雨による、9月には台風による長期の増水が原因と考えられる。

各調査地点における付着性、浮遊性それぞれの属種の構成割合を図3・8に示した。付着性については、*Navicula*, *Nitzschia*がどの調査地点においても季節を通してよくみられた（図3・9）。また夏期を除けば*Synedra inaequalis*が優先となることもみられた。浮遊性藻類については付着性のように、季節を通じた変化や他の調査地点と同様の傾向などはみられなかった（図3・10）。これはそれぞれの調査地点で異なる場所から浮遊性藻類が流入しているのではと考えられた。また、浮遊性藻類の供給源が季節によって、水田や、ダムと様々に異なることも原因の一つと考えられる。

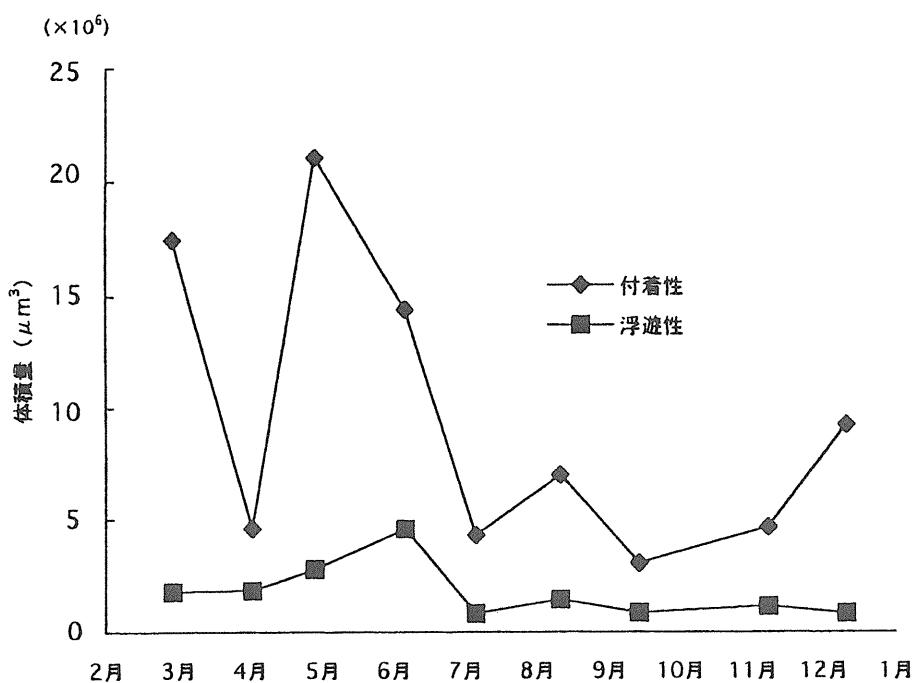


図3・8 千曲川水系鼠(橋)地点における河川水中の流下藻類中の付着珪藻数と浮遊珪藻数の生細胞の割合の季節変化

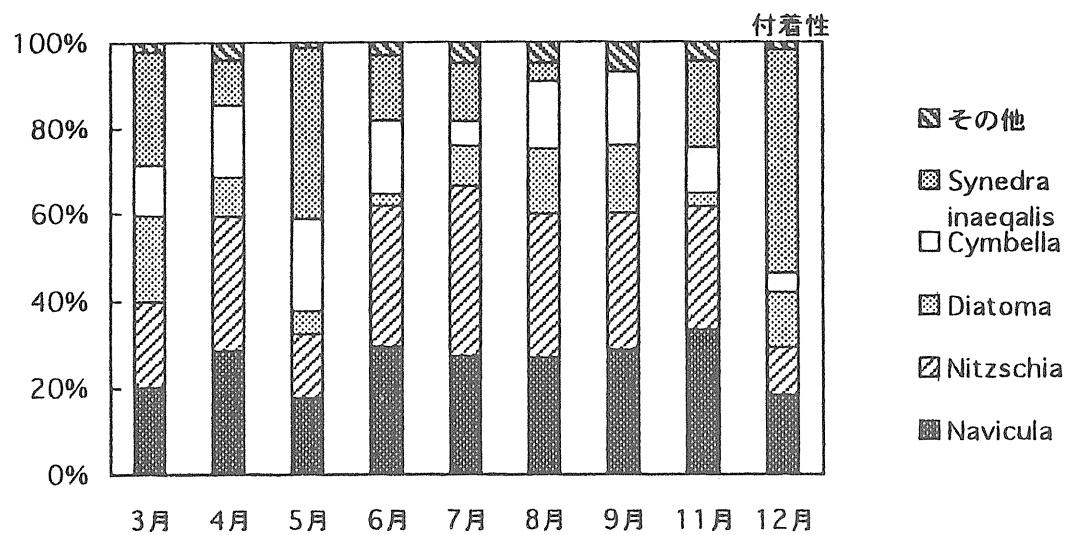


図3・9 千曲川水系鼠(橋)地点における河川水中の流下藻類中の付着珪藻数と優先属の構成割合の季節変化

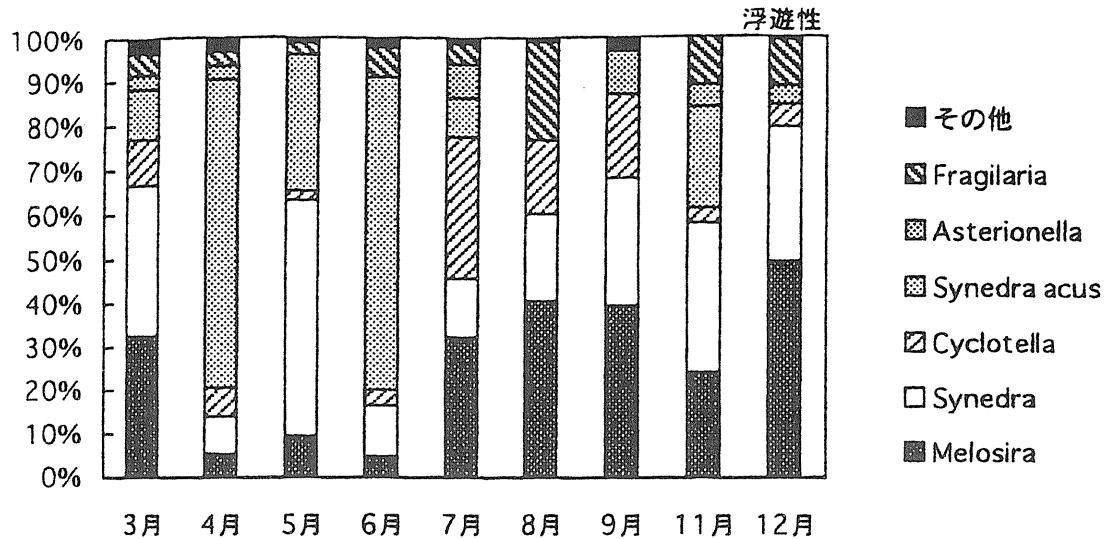


図3・10 千曲川水系鼠(橋)地点における河川水中の流下藻類中の浮遊性珪藻と優先属の構成割合の季節変化

3.4.3 異なる環境下における珪藻類の変化

調査地点を設定するにあたって、ダムなどにより流速が緩慢な地点、排水の流入により富栄養な地点、中流域として代表的な地点という観点から調査地点を設定した。

流速の遅い地域として西浦、布引、犀川と3地点設定した。しかし西浦や布引での浮遊性珪藻の量は、中流域の代表とした古舟の量と殆ど変わらなかった。また、西浦や布引での付着性珪藻と浮遊性珪藻の割合も他の調査地点と変わらず付着藻類が7割以上を占めていた。

しかし調査の際、布引では河岸に糸状珪藻が引っかかって増殖していることが何度も確認された。浮遊性珪藻の繁殖は存在しないのではなく、今回の調査では検出できなかつたと考えられる。この原因としては、河川環境が変動の非常に大きい環境であるためといえる。

本流に多くのダムが存在する犀川では、8月に浮遊性藻類の細胞数の増加と割合の増加が確認された。他の調査地点と比べて、量的には少ないものの浮遊性の割合としては3割ほどと調査地点中で最高となつた。しかし、これが浮遊性藻類の繁殖によるものかどうかは確認できなかつた。

排水の流入による富栄養な地点として鼠、合流下の2地点を設定した。しかしアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素の少量の増加のみで、排水の流入により際だつて富栄養化したとはいえないなかつた。これは排水の流入量に対して、流量が大きいため栄養塩の増加が少なかつたと考えられる。

4. 総合考察

本研究は河川生態系を解析する基礎として、河川内の一次生産者である流下藻類の動態に注目して調査をした。流下藻類は河川に存在することから、止まることなく供給され、流下し続けている。しかし、流下藻類量は下流に行くに従つて、単純に増加するわけではないことが確認された。これは藻類が流下の過程で河床に沈殿し、水生生物の餌となるなど、河川生態系の中で重要な役割を占めていると考えられる。

河川には集水域から様々な物質が流入してくる。落ち葉や枯れ枝、下水や耕地からの栄養塩、ダム湖や水田で繁殖した藻類、人間によって排出された空き缶やビニール袋など多種多様である。藻類の増殖のためには十分な栄養塩の供給が不可欠であり、湖沼においてはリンや窒素の欠乏が、藻類増殖の制限要因となることがある。河川において、栄養塩の濃度は富栄養湖である諏訪湖と同程度であり、水と共に供給され続けることからも藻類発達には十分に存在し、制限要素とはなりえないといえる。

増水は河川環境中で最も大きな変動の一つである。増水などの水量の変動が河川調査を困難なものにしている一因である。一口に増水といっても、融雪、梅雨の増水とにわか雨による増水では河川環境に与える影響は異なる。流下藻類は長期の増水では減少し、短期の増水では増加する。短期間の増水では平時の数倍もの量の藻類が流下していた。日本は山地の多い国土であり、まとまった雨が短期間に降ることは頻繁に起こる。このような頻繁に起こる藻類の流下量増大は下流の生態系に大きく関わっていると考えられる。

今まで河川における藻類としては、河床の付着藻類が代表であり、またよく研究されている。しかし、今回の調査で、流下藻類もクロロフィルa量で約120g/日の流下を記録するなど、河川生態系を考える上で無視できない量であることが確認された。河川にはたくさんの生物が棲息する。河川の一次生産者である藻類、藻類を食べる水生昆虫、水生昆虫を食べる魚、とそれぞれの生物が密接に関わっている。水生昆虫の中でも石の間に網を張り、流下藻類を捕食するトビケラなど多数存在し、流下藻類は河川生態系の中で大きな役割を担っているといえる。また、長野県伊那谷の名物であるザザムシは流下藻類を食べる水生昆虫であることから、流下藻類は間接的に人間にも関わっているといえる。

このように河川内の生態系で重要な位置を占める流下藻類が、河川環境の変化により付着性から浮遊性の藻類に変わっていく可能性があることは注目すべき点である。今回の調査では日数も短く、調査方法も確立していなかったため明らかにできなかつたが、今後、このような変化が河川生態系にどのような影響を及ぼすのかは河川生態系を解析する上で重要と考えられる。また、川岸近くのたまり水に藻類が大増殖し、これが増水時に一新される現象がみられた。このことからもこれからは本流だけの、平水時の調査ではなく、河川全体を考慮に入れた調査解析が必要と思われる。

5. 摘 要

信濃川（千曲川）において水質と流下藻類の変動について調査し、下記の結果を得た。

- ・千曲川上流部から信濃川河口部までの水質と流下藻類について調査した。源流付近を除き、リンは $100 \mu\text{gP/l}$ 、無機態窒素は 1.5mgN/l と藻類繁殖に十分な値となった。流下藻類の現存量としては上流部と下流部で増加がみられた。流下藻類のその殆どが珪藻であり、付着性珪藻が大部分であった。下流部では浮遊性珪藻の生細胞の数が増加した。
- ・千曲川中流域において、季節変化と環境変化が水質と流下藻類に与える影響を調査した。季節を通して栄養塩濃度は藻類繁殖に十分な値となった。流下珪藻類の現存量は4月、7月、9月、に減少

した。また5月、6月に最大となった。この変動は水量の変化によるものと考えられた。

河川における緩流域の増加により流下藻類中の浮遊性藻類の増加が考えられた。流下藻類は水生昆虫の餌となるため、流下藻類の増加が河川生態系に与える影響も大であると考察した。