

千曲川中流部における流量変化と水質の動向

渡辺義人・大久保嘉洋・谷川るみ・土屋伸雄・武田昌昭・中本信忠
信州大学繊維学部

Variation of Chemical Components with Discharge in Midstream of River Chikuma

Yoshito WATANABE, Yoshihiro OHKUBO, Rumi TANIGAWA, Nobuo TSUCHIYA,
Masaaki TAKEDA and Nobutada NAKAMOTO

Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University

Key words: River Chikuma, water discharge, suspended and dissolved component,
change of concentration.

千曲川, 流量, 懸濁態および溶存態成分, 濃度変化

1 はじめに

河川における流量と水質濃度の変動との関係を明らかにすることは、水質変化を予測したり、種々の成分負荷量を把握する上で重要であり、物質収支研究の観点からも基本的な知見となる。河川における水質と流量の関係に関する調査研究は、これまでかなり多く報告されているが、ピーク時の流量が $10\text{m}^3/\text{s}$ 以内、あるいは洪水時の流量がせいぜい $200\text{m}^3/\text{s}$ 程度の規模の河川を対象にしたものが多く、千曲川中流部のように、 35mm 前後の降雨で流量が $300\text{m}^3/\text{s}$ におよぶような大きな河川を対象にした例はほとんどない。

本報告は千曲川中流部に設けた定点において懸濁物質(SS)を始め、懸濁態及び溶存態成分を含む計28項目の水質について、降雨時における48時間及び1カ月間連続調査を行い、流量の変動に伴い、各成分がどのように挙動し、各濃度がどの程度影響をうけるのかを検討したものである。

今回は、2回とも降雨後、流量のピークの後半、すなわち流量の減衰期間を中心に調査を行った。

2 調査の概要

48時間連続水質調査は1996年8月1日の13時から3日の13時にかけて図-1に示した上田橋および鼠橋において6時間間隔で行った。

1カ月間連続水質調査は1996年10月9日から11月9日までの1カ月間、10時から11時までの時間帯に1日

1回を原則として調査を継続した。調査地点は当初上田橋であったが、すぐ上流で橋の工事が始まったため、10月24日から2 km程上流の小牧橋地点に変更した(図-1)。

流量は小牧橋より2.5km上流にある建設省生田流量観測所のデータを利用して頂いた。図-3、図-4はそれぞれ48時間連続調査と1カ月連続調査の調査期間前後における生田地点の流量変化である。これらの図からわかるように、2回の調査期間はいずれも、流量変動における流量のピーク後半の減衰過程に当たる。

対象とした水質は次の17成分、計28項目である。なお、Tは全量を、Dは溶存態を表す。

pH, EC, SS, Na, K, Ca, Mg, SO_4 , Cl, Si, アルカリ度, TN, DTN, $\text{NO}_3\text{-N}$, TP, DTP, $\text{PO}_4\text{-P}$, T-COD, D-COD, T-Fe, D-Fe, T-Al, D-Al, T-Mn, D-Mn, T-Cu, T-Zn, D-Zn。

分析は下記の方法によった。

Na, K: 原子吸光法

Cl, SO_4 , $\text{NO}_3\text{-N}$: イオンクロマトグラフィー法
N: アルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム加圧分解,
紫外外部吸光度法

P: 酸性ペルオキシ二硫酸カリウム加圧分解, モリブデンブルー・吸光度法

COD: 0.025N過マンガン酸カリウム・硫酸酸性法

Ca, Mg, Si: ICP発光分光法

Fe, Al, Cu, Zn, Mn: 試水を40倍に濃縮, 硝酸分解

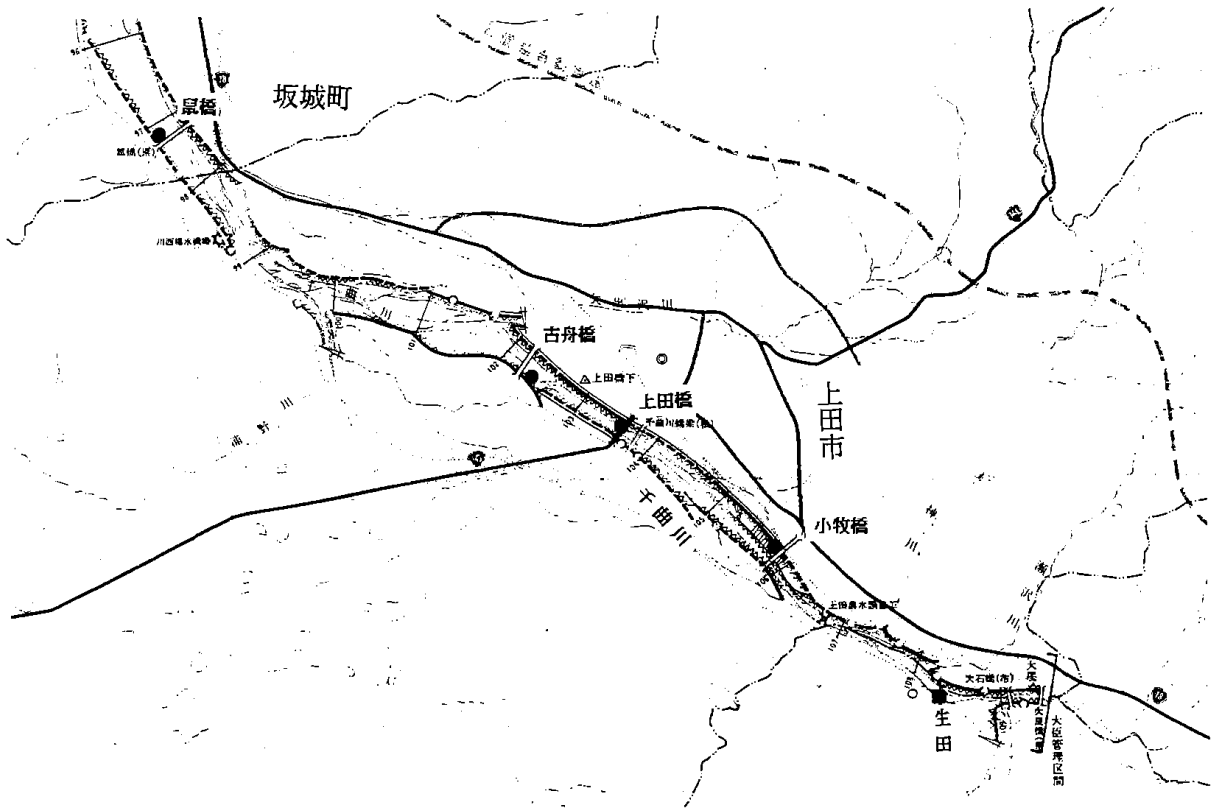


図-1 調査地点

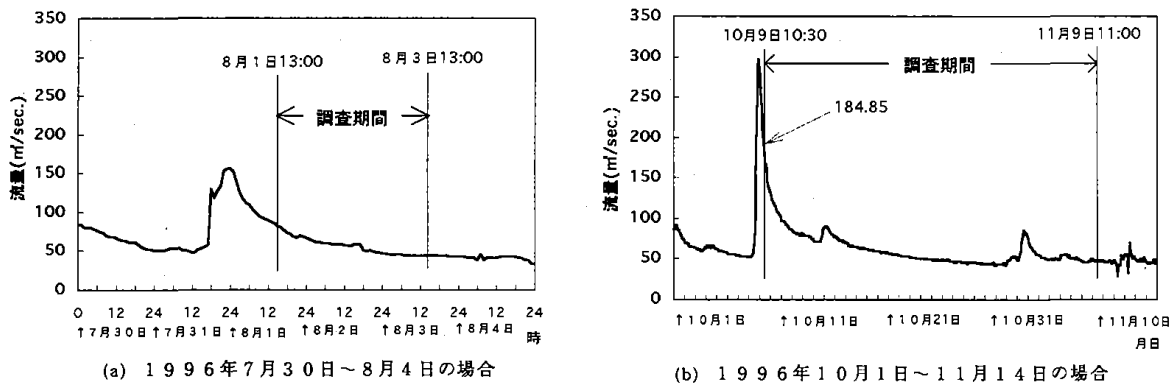


図-2 各調査期間の流量変化 (生田水位流量観測所)

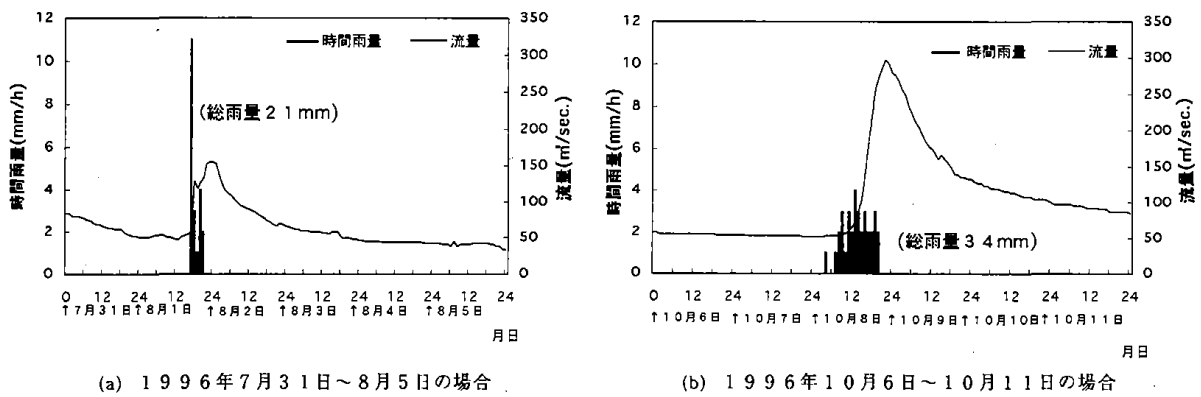


図-3 各調査における時間雨量と流量変化 (生田水位流量観測所)

後 ICP 発光分光法により測定。

3 結果と考察

(1) 48時間連続調査

図-5, 図-6 は古舟橋地点の48時間連続調査における各成分濃度の変動傾向を流量変化とともに示したものである。この濃度変化は調査開始時の流量 $87\text{m}^3/\text{s}$ から調査終了時の $40\text{m}^3/\text{s}$ と約半分の流量まで減少する過程の推移をみたものである。ちなみにピーク時の流量は $153\text{m}^3/\text{s}$ であり、この半分近くまで減少した時点からこの調査を開始したことになる。従って、比較的低いレベルの流量の変化過程における濃度変化である。

SS 濃度は1日で $1/3$ になり、流量の減少に伴って急速に懸濁物が沈澱している。この傾向は懸濁態の金属、P, N, COD も同様である。EC は SS とは逆に流量の減少とともに明らかに増加傾向が認められ、イオン成分のほとんどは、ほぼ同じ変化傾向である。Ca のみは調査初期に濃度の増加が見られたが、その後は減少した。この傾向は鼠橋地点の場合でも見られた。後に述べる1ヵ月連続調査ではこの調査結果とは異なり、Ca も他のイオン成分と同様に明らかに流量の変動と逆の関係が確認されており、この48時間調査での Ca の挙動の原因は不明である。

このように、流量が減少すると濃度が増加する、言い換えれば流量が増加すると、イオン成分濃度が低下する原因として、濃度の低い降水による河川水の希釈効果が挙げられる。主に溶存態の SiO_2 として存在する Si もイオン主成分と同様の变化傾向を示す。同じ溶存態でも、COD はその変化傾向から、流量が増加すると濃度の上昇が認められた。溶存態の N と P はこの48時間調査では明らかな変化傾向はみられなかった。

鼠橋地点での各成分の変化傾向は基本的には古舟橋地点と同じであるが、図-4にみるように、調査開始

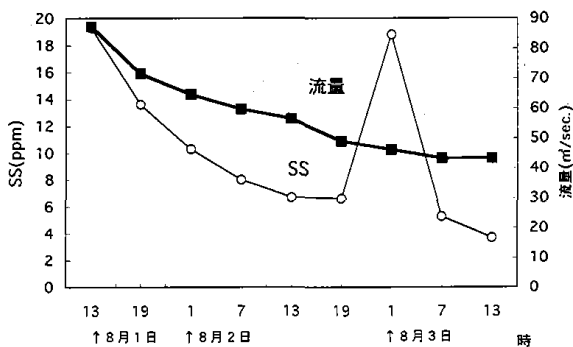


図-4 鼠橋地点における SS と流量の変化

後36時間目に突発的に SS 濃度が上昇し、これに伴ってほかの懸濁態成分もすべて同様の変動を示した。これは明らかに降雨以外の要因によるもので、鼠橋地点とその上流の古舟橋地点の間の流路ないし流域から工事などによる土砂の流入があったものと推定される。

(2) 1ヵ月間連続調査

図-7, 図-8 は調査概要のところでも述べた理由から、前半上田橋、後半小牧橋地点で行った1ヵ月間連続調査による各成分濃度の変化過程である。図-5, 6と同様流量変化も示されている。この濃度変化は調査期間における流量変化、すなわち開始時の流量 $185\text{m}^3/\text{s}$ の約 $1/4$ の最小値流量 $44\text{m}^3/\text{s}$ までの減少過程における変化である。ちなみにこの調査直前のピーク時の流量は約 $300\text{m}^3/\text{s}$ であり、流量のレベルは48時間連続調査の場合の2倍である。

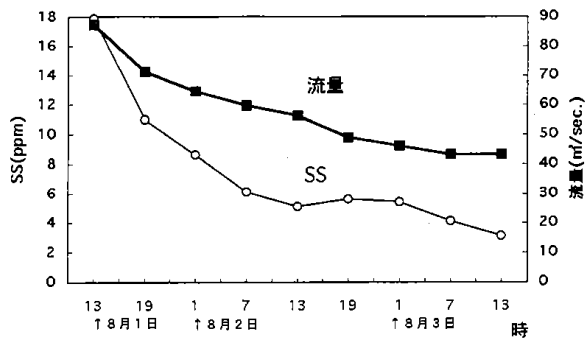
SS, EC ともに48時間調査の場合と同様の傾向を示し、EC がピークに達するのに3週間ほど要するのに対して、SS は調査開始後3日目には早くもほぼ最小値に近い濃度まで低下している。

SS はその後、10月13日と11月1日の小雨による流量の増加に連動して小さな変動があり、そのほかにも降雨以外の要因による微少なピークが見られる。こうした SS の変動パターンは、懸濁態成分においても同様であり、図-8にみるように重金属成分に特に顕著である。

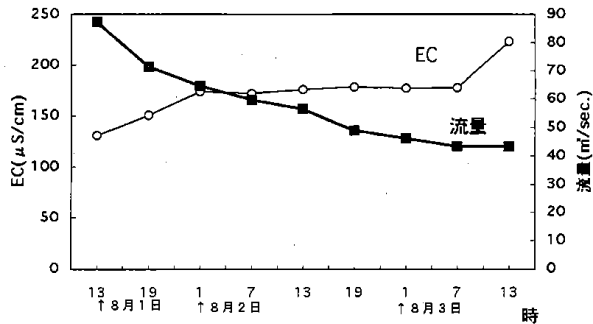
イオン成分と Si はいずれも EC とほぼ同じパターンで変動している。Cl は全体として増加傾向にあるが、その間に降雨以外の要因によりいくつかの不規則な小さい変動をみせている。これに対して溶存態の COD と DTN の濃度は逆に流量の減少に伴って明らかな減少傾向にあり、流量との正の相関がみられる。これは降水が地中に浸透して、農地など上流域から溶存態の N や COD 原物質が高濃度に溶出してくるためと思われ、イオン成分が希釈型とすれば、これらの成分はいわば溶出型といえる。溶存態の P は48時間調査の場合と同様、全体としてははっきりとした変動傾向は見られず、調査の初期と最後に濃度にそれほどの違いはない。

(3) 流量および各成分濃度の最小値と最大値の比からみた流出特性

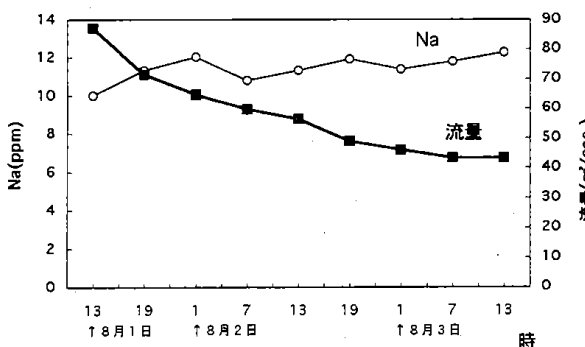
図-9と図-10は48時間連続調査と1ヵ月連続調査における流量と各成分濃度の最小値と最大値の比を比較したものである。図-9は EC, Si およびイオン成分について、図-10は SS, COD, N, P, 金属類である。



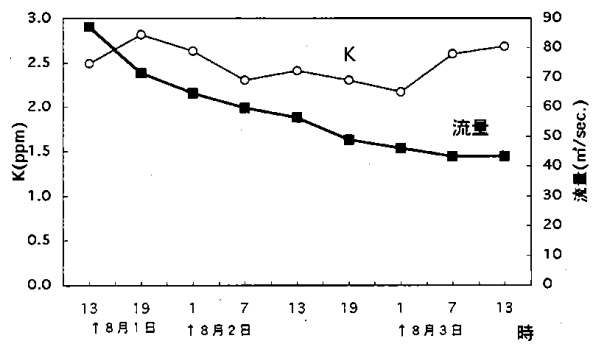
(a) SSと流量



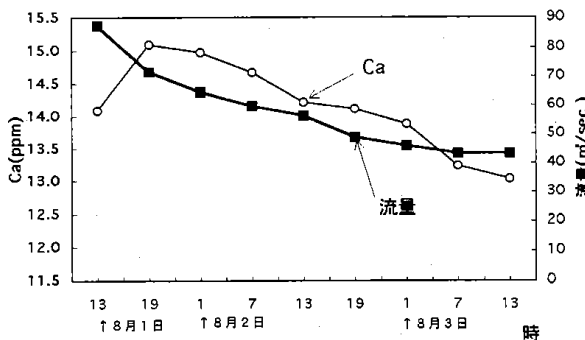
(b) ECと流量



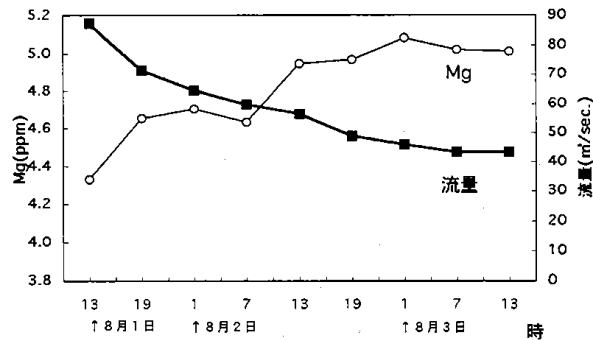
(c) Naと流量



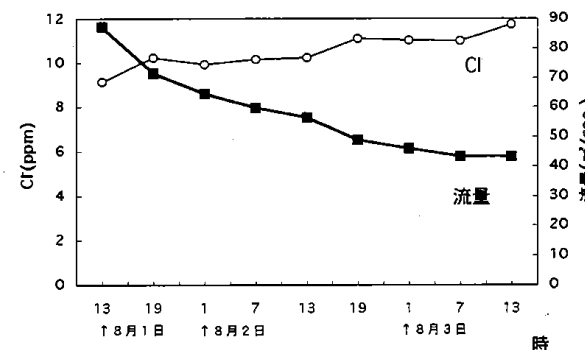
(d) Kと流量



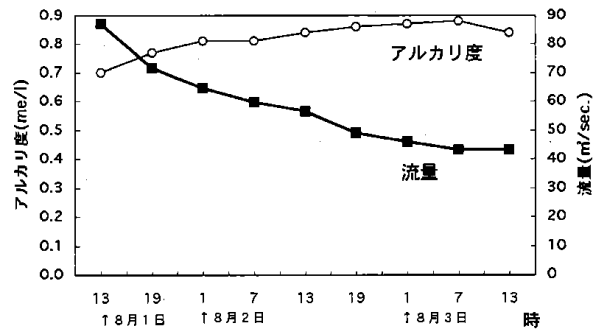
(e) Caと流量



(f) Mgと流量



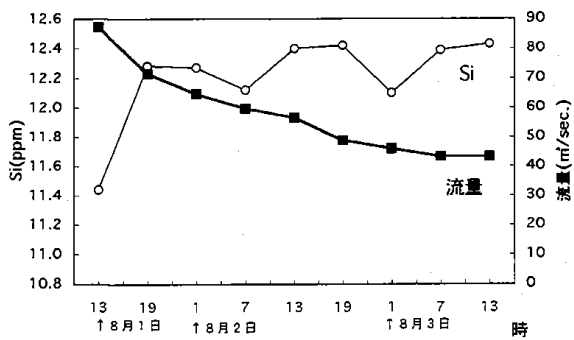
(g) Clと流量



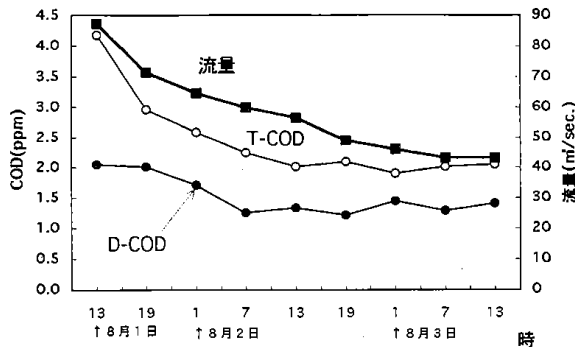
(h) アルカリ度と流量

図-5 48時間連続調査における古舟橋地点の流量と水質の変化傾向(1)
(SS, ES, Na, K, Ca, Mg, Cl, アルカリ度)

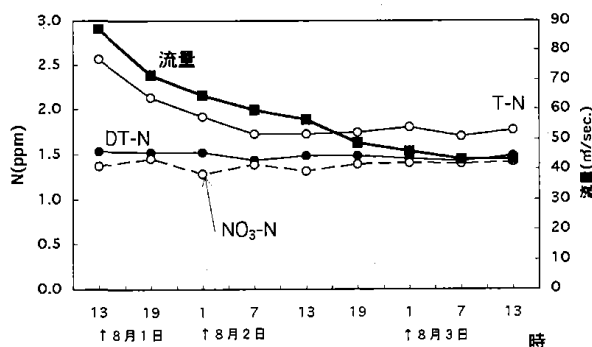
千曲川中流部における流量変化と水質の動向



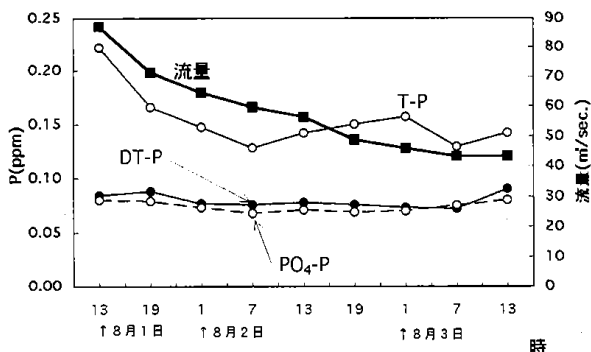
(a) Siと流量



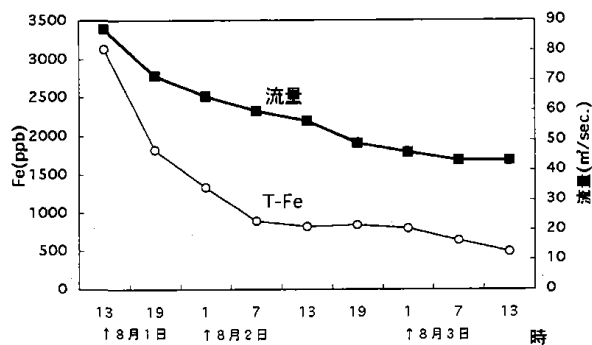
(b) CODと流量



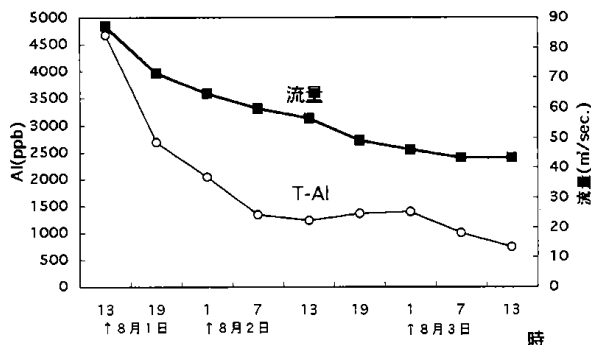
(c) Nと流量



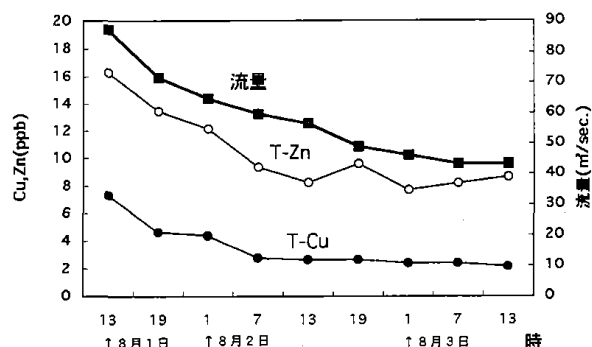
(d) Pと流量



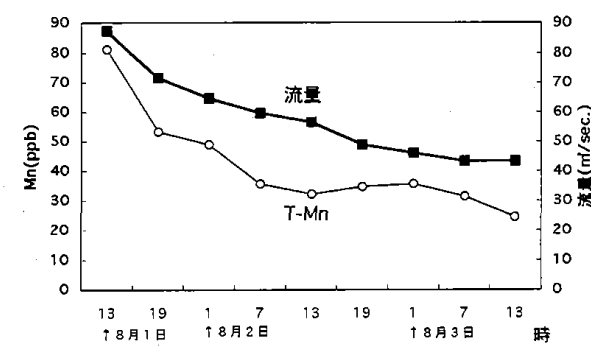
(e) T-Feと流量



(f) T-Alと流量



(g) T-Zn, T-Cuと流量



(h) T-Mnと流量

図-6 48時間連続調査における古舟橋地点の流量と水質の変化傾向(2)

(Si, COD, N, P, Al, Cu, Zn, Mn)

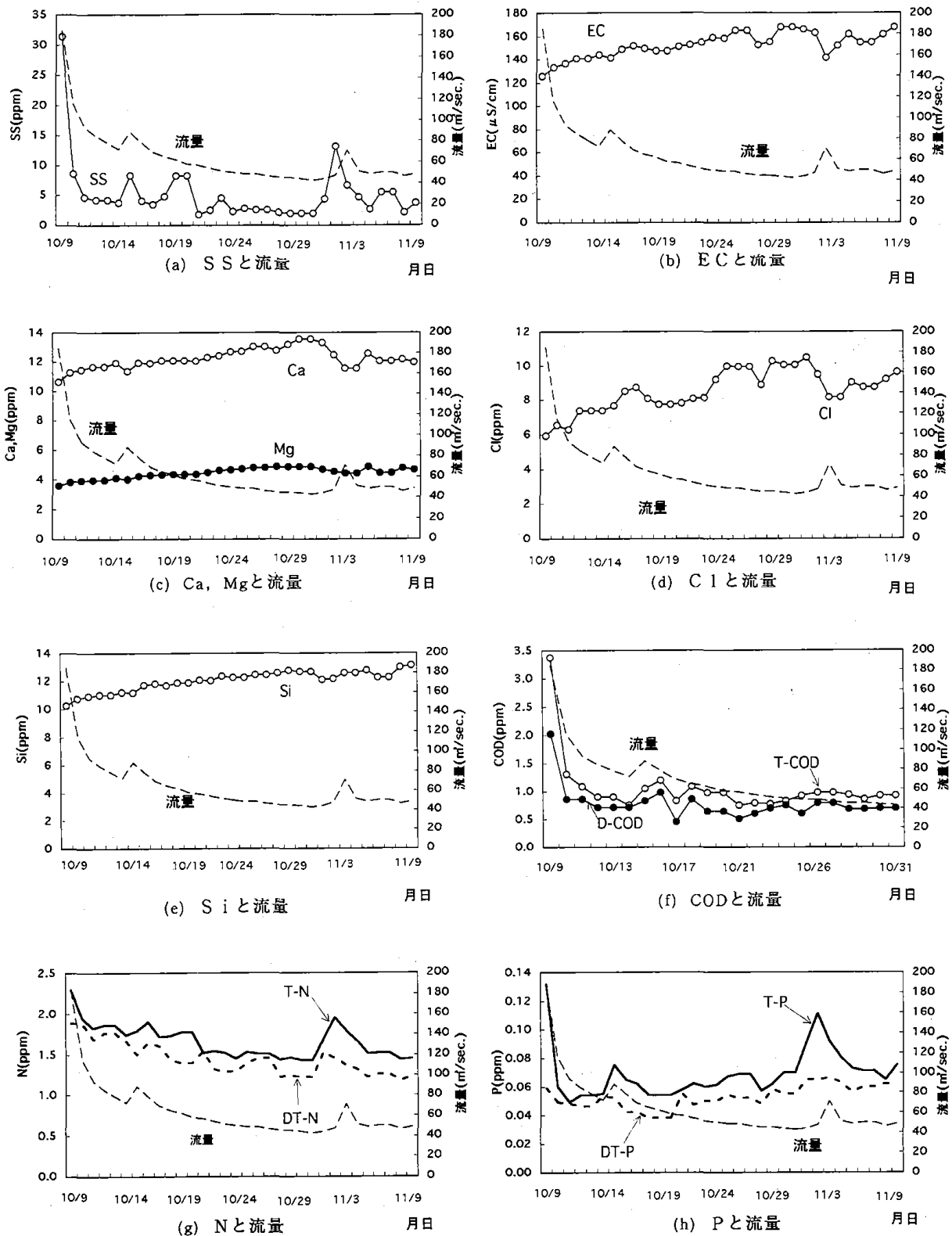


図-7 1ヵ月連続調査における流量と水質の変化傾向(1)
(SS, EC, Na, K, Ca, Mg, Cl, Si, COC, N, P)

千曲川中流部における流量変化と水質の動向

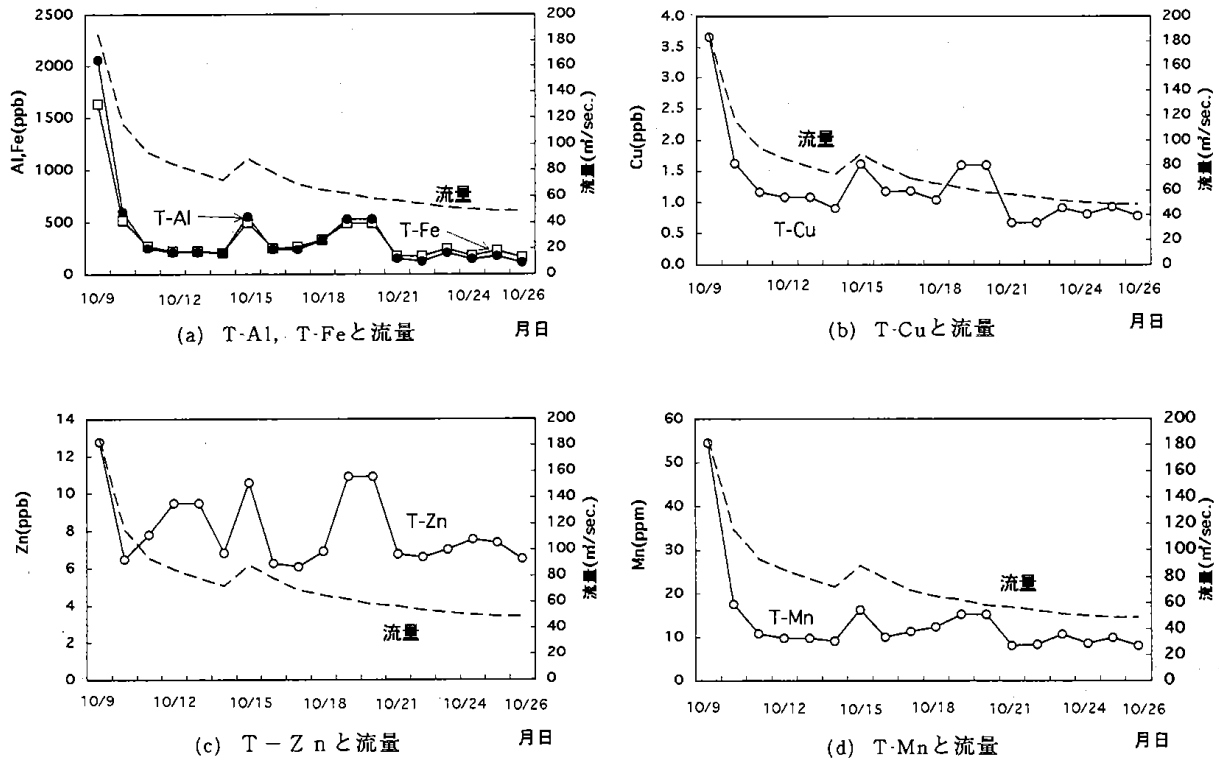
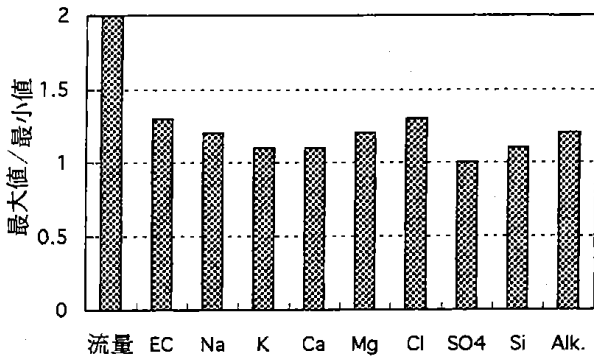
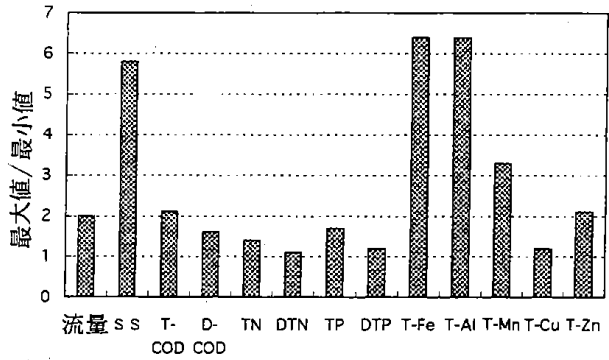


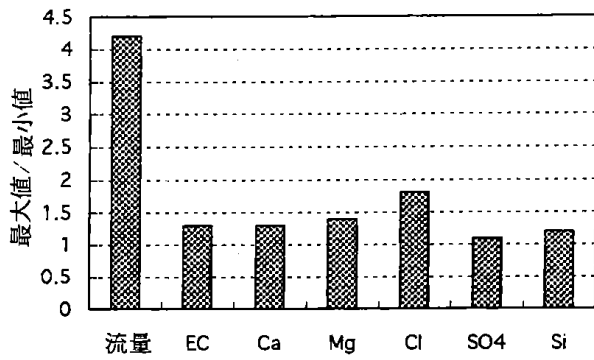
図-8 1ヵ月連続調査における流量と水質の変化傾向(2)
(Fe, Al, Cu, Zn, , Mn)



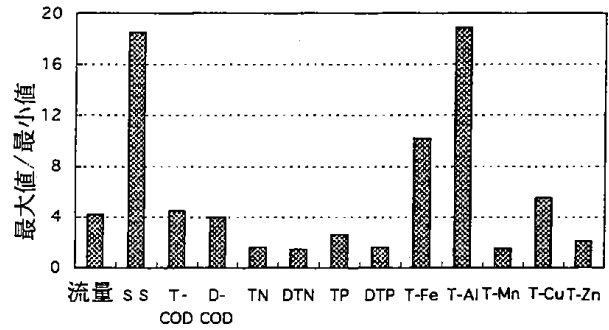
a) 48時間連続調査の場合



a) 48時間連続調査の場合



b) 1ヵ月連続調査の場合



b) 1ヵ月連続調査の場合

図-9 流量および各成分濃度の最小値と最大値の比(1)

図-10 流量および各成分濃度の最小値と最大値の比(2)

図-9をみると、48時間調査では流量の2倍の変化に対して、 SO_4 は1で変化なく、その他は1.1~1.3程度である。1ヵ月調査では流量は4.2倍ほどの変化に対して、 SO_4 は1.1程度でやはり変動は極めて小さく、その他はClが1.8と若干高くなったが、その他は1.3前後であり、48時間調査の流量変化2倍の時と同じ程度である。

図-10の48時間調査では流量の2倍の変化に対して、SS濃度は約6と変化度は大きく、Fe, Alも約6でありSSと同じ挙動をしていることがわかる。その他の金属はCuが1.3, Zn, Mnも2ないし3程度でFe, Alよりかなり小さい。T-CODは2倍と若干高いが、N, Pは全量も溶存態もイオン成分と大差はない。1ヵ月調査の場合は流量変化4.2倍に対してSSとAlは18倍となり、流量の変化率からみると48時間調査より2倍強に対して、SS, Alは48時間調査の場合より3倍変化したことになり、同じ程度の流量変化でも降雨の強さや流量の変化過程のどの時点で比較するかによって、SSや懸濁態成分濃度の変化量はかなり異なることを示唆している。CODは48時間調査と同様、流量の変化比4.2に近い比であるが、N, Pは2前後である。

このように同じ流量変化があっても、成分によって、その濃度の変化の度合は違い、それぞれ異なった流出特性を有することが示された。

4 おわりに

水質と流量の関係は一般に次の式で表される。

$$C = a \cdot Q^n$$

ここではCは濃度、Qは流量、a, nは係数である。

同一地点で同じ流量の変化があっても前述したように成分によって流出特性が違うので、各成分の濃度変化は異なる。また流量の増加過程と減少過程では濃度の変化傾向は異なり、流量の増加過程つまり流量のピーク前半の方が変化の度合いが大きいといわれている。さらに雨の強弱など雨の降り方や先行晴天日数、水路

の状態などの条件によって物質の流出過程はかなり異なるので、両者の関係は単純ではない。今後こうしたことを考慮し、条件を類型化するなど条件を整理した上で調査を行い、その上で上記関係式の表示の適否および表示可能な場合のaとnの値と初期条件との関連を検討する必要がある。

本研究は千曲川生態学術研究の一環として実施したものである。

参考文献

1. Durum, Walton H. (1953) : Relationship of The Mineral Constituents in Solution to Stream Flow, Saline River Near Russell Kansas. Transaction, American Geophysical Union, 34, 435~442.
2. 海老瀬潜一・宗宮 功・大楽尚史 (1979) : 市街地河川における降雨時流出負荷量の変化特性. 水質汚濁研究, 2, 33~44.
3. Edwards A.M.C. (1973) : The Variation of Dissolved Constituents with Discharge in Some Rivers. Journal of Hydrology, 18, 219~242.
4. 後藤達夫 (1957) : 河川の化学的研究・特に河川の溶存化学成分と流量との関係について. 日本化学雑誌, 78, 1241~1246.
5. 後藤達夫 (1961) : 猿ヶ石川における出水時の水質変化. 日本化学雑誌, 82, 987~993
6. 小林正雄 (1979) : 猪名川流域の流量変化による溶存成分の変化について. 用水と廃水, 21, 1331~1337.
7. 新田 正 (1961) : 河川の変動に関する研究. 東京工業大学報, No.20, 195
8. 瀬野錦蔵・後藤達夫 (1962) : 北上川水系の増水時における水質の変化機構. 陸水学雑誌, 23, 36~44
9. 瀬野錦蔵 (1963) : 河川の流量と水質の変化について. 用水と廃水, 5, 439~447.

(受付 1997年2月3日)