

(14) 猪苗代湖の水質に及ぼす酸性河川長瀬川の水質および底質特性

THE EFFECT OF THE NAGASE RIVER ON LAKE INAWASHIRO

黒澤幸二*・中村玄正**・高橋幸彦**・松本順一郎***

Kouji Kurosawa*, Michimasa Nakamura**, Yukihiko Takahashi**, Jun'ichiro Matsumoto***

Abstract; From the view point of water supply stability, lakes and reservoirs are expected to be important water resources. Lake Inawashiro is the most important water resource not only for the Aizu districts but also for Koriyama city and the surrounding area. Lake Inawashiro has 104 km² of surface area, 3,859,000,000m³ of volume and is classified as an oligotrophic but acid-eutrophic lake. The water quality of Lake Inawashiro has been at very high level. We consider that the water quality of lake Inawashiro should be effected by the Nagase river.

Water quality was investigated at fifteen points of the Sukawa river and Nagase river. The pH value of the water is about 2~5 because of sulfuric acid flow out from out abandoned mind. As ferric, aluminium and phosphorus concentration decrease with flow down travel, it had been concluded that the river had been undergoing selfpurification concerning to phosphorus. Sulfuric acid water, which flows into Lake Inawashiro from the Nagase River has possibility of dissolving ferric and aluminium which have the ability of the flocculating and sedimenting of phosphorus.

Thus, in the Nagase river, phosphorus concentration which causes eutrophication is very low, comparing to the other rivers which flow into Lake Inawashiro.

Keywords; acid river, Lake Inawashiro, The Sukawa river and Nagase river, Ferric, Aluminium

1. はじめに

猪苗代湖は、我が国では最大の酸栄養湖であり、面積108.0km²、総貯水量386万m³、最大水深102.0m、水理学的滞留時間(HRT)3.5年である。湖内においては栄養塩である窒素は0.2mg/l前後であるが、リン酸(以下リンとする)は0.004mg/l前後と非常に低いので、藻類による内部生産は抑制され富栄養化は進行していないものと考えられる¹⁾。猪苗代湖に流入する唯一の酸性河川である長瀬川は、総流入河川水量の50%程度を占めることから、長瀬川の水質が猪苗代湖に及ぼす影響は極めて大きいものと推測される。

長瀬川の支川である酸川は鉱山排水による強酸性の影響により、pHは2~3程度と低いため、鉄、アルミニウムなどの金属イオンが砂礫から溶出し、旧硫黄鉱山廃坑においてFe、Alイオンはそれぞれ1200mg/l、800mg/l程度¹⁾河川水中に含まれている。また、酸川、長瀬川において流下に伴い鉄、アルミニウムおよびリンは急激に低下する傾向が見られているが、これは流下に伴う支川流入による希釈効果やpHの変化、金属イオンとリンとの凝集沈澱作用などによるものと推測される。またpHが3~5程度の流れの緩やかなよみ部河床上において、数μm程度の赤褐色のフロックが形成されており、このフロックは3価の水酸化鉄であると推測される。

本研究では、酸性河川である長瀬川を調査対象とし、酸性河川固有の自浄作用の一つである金属イオンによるリン除去機構を把握することを目的とし、流下に伴う金属イオンとリンの水質特性とともに、フロックの形成過程について検討した結果を報告するものである。

2 酸川および長瀬川の水質特性

2.1 調査地点の状況

*(株)西原環境衛生研究所 Inc. Nishihara Environmental Sanitation Research

**日本大学工学部 College of Engineering, Nihon University

***元日本大学教授、東北大学名誉教授、東京大学名誉教授

調査地点はFig. 1に示すように旧硫黄鉱山廃坑から3.4kmに位置する地点1(st. 1)より長瀬川河口までの15地点(st. 15)で調査を行った。長瀬川は裏磐梯湖沼群より源を発し、上流部においてはpHは7程度であるが、強酸性河川である酸川および多くの中小河川と合流した時点でpHは5程度となり、水稻地帯を流下した後、猪苗代湖に流入する総河川延長25.5km、流域面積291km²の一般河川である。酸川は沼尻硫黄鉱山廃坑に源を発する硫黄川と沼尻温泉に源を発するpHが2～3程度の天沢川、小塚沢川および中ノ沢川の支川を合流し、その後流下に伴いながら高森川、梵天川、赤留川および達沢川の中性支川を合流する総河川延長11km、流域面積77km²の河川である。ことに裏磐梯湖沼群の秋元湖水を利用する沼尻発電所の放流量により長瀬川の水質特性は大きく変動する傾向が見られるため、調査は1996年6月および10月に行った。なお、長瀬川の流量は春、夏季と冬季において、約20倍程度の変動が見られるとともにその放流量によって酸川との合流後におけるpHの変動は3～5程度とかなり大きい。

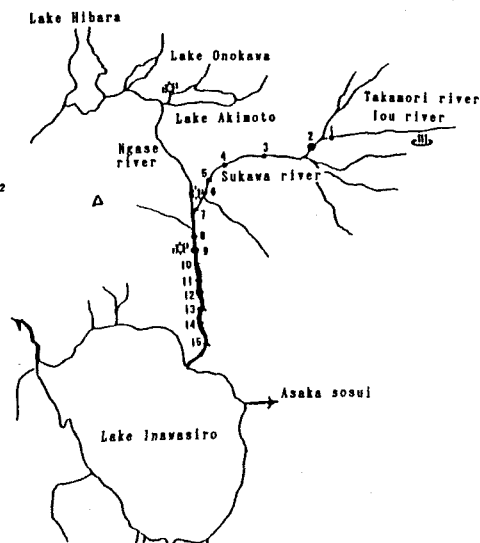


Fig. 1 Observation Points

2.2 試料および実験方法

採水試料は、対象地点の河川流心表層水を採集した。同地点で河床の砂礫も採集した。調査項目及び分析方法はpH（ガラス電極法）、アンモニア性窒素（インドフェノール法）、リン酸イオン（モリブデン青法）、全鉄、Fe²⁺イオン（1, 10-フェナトロリン法）、SS（ガラスフィルター過法）について上水試験法³⁾に準じて分析した。またアルミニウム（クロムアズロール比色法）の分析は、衛生試験法・注解⁴⁾に準じて行った。また無機態リンの分画は、関谷・江川らの方法⁵⁾に準じて行った。

2.3 主要水質の流程変化

(1) pH、流量

Fig. 2にpH、流量の流程変化を示す。高水時においては、酸川は旧硫黄鉱山の排水により酸川上流地点の(st. 2)ではpHは2程度と低いが、長瀬川と合流した地点より流量の増加とともにpHも上昇し長瀬川合流地点(st. 9)でpHは3～4、長瀬川下流地点(st. 15)でpHは4～5程度となっていることがわかる。本調査は6月に行ったものであり、この時期は長瀬川流域に位置する水田及び水力発電のために長瀬川上流の秋元湖放流水は増加する傾向が見られ（平成7年5月秋元湖平均放流量30.18m³/s）、st. 1では1.22m³/s、st. 6では11.08m³/s、st. 9以降では58.61m³/sとなっている。

低水時においては、酸川上流地点ではpHは2程度と低く、秋元湖放流水の流入がほとんどないために長瀬川合流地点ではpHは3程度となり、長瀬川下流地点ではpHは3.2であった。流量については、st. 1では0.38m³/s、st. 6では2.91m³/s、st. 9以降では3.88m³/sであった。

(2) アンモニア性窒素、リン酸イオン

Fig. 3にアンモニア性窒素、リン酸イオン（以下リンとする）の流程変化を示す。高水時においては、アンモニア性窒素は酸川上流地点では0.07mg/l、流下するに伴い支川の希釈作用により、長瀬川合流地点では0.05mg/l、長瀬川下流地点では0.07mg/lであった。負荷量（＝濃度×流量）に換算すると、酸川上流地点では7.55kg/day、秋元湖放流水と合流する長瀬川合流地点では112.97kg/day、長瀬川下流地点では374.73kg/dayと長瀬川と合流する地点より急激に高くなっていることから、アンモニア性窒素は秋元湖放流水の影響が大きいことが示唆された。一方、リンは酸川上流地点では0.36mg/lと高い傾向が見られたが、これは硫黄川上流で人為的汚濁が認められないことから自然汚濁に起因するものと考えられる。流下するに伴いリンは低下し、長瀬川上流地点では0.03mg/l、長瀬川下流地点では0.02mg/lであった。

低水時においては、アンモニア性窒素は酸川上流地点では0.05mg/l、長瀬川合流地点では0.03mg/l、長瀬川下流地点では0.03mg/lであった。一方、リンは酸川上流地点では0.37mg/l程度であり高水時と同様に高い傾向が認められた。流下するに伴いリンは低下し、長瀬川合流地点では0.05mg/l、長瀬川下流地点では0.04mg/lであった。

(3) 全鉄、 Fe^{2+} および Al^{3+}

Fig. 4に全鉄(T-Fe)、 Fe^{2+} および Al^{3+} 濃度の流程変化を示す。高水時においては、旧硫黄鉱山排水により酸川上流地点で全鉄濃度は128.91mg/lと高く、流下するに伴い全鉄濃度は減少し長瀬川合流地点では5.99mg/l、長瀬川下流地点では4.48mg/lであった。 Fe^{2+} は酸川上流地点で4.52mg/l程度である。硫黄川の源である旧硫黄鉱山の廃坑内地下水の時点で全鉄は全て Fe^{2+} であると考えられることから、硫黄川を流下するに伴って源流から3.39km地点で、 Fe^{2+} は95%程度 Fe^{3+} に酸化されたものと推測される。また Fe^{2+} は長瀬川合流地点では0.78mg/l、長瀬川下流地点では0.18mg/lであった。一方、 Al^{3+} については酸川上流地点で66.04mg/l、長瀬川合流地点では3.54mg/l、長瀬川下流地点では1.54mg/lであった。

低水時においては、全鉄濃度は酸川上流地点で112.08mg/lと高く、流下するに伴い濃度は減少し長瀬川合流地点では13.91mg/l、長瀬川下流地点では7.97mg/lであった。 Fe^{2+} は酸川上流地点で12.09mg/l、長瀬川合流地点では1.09mg/l、長瀬川下流地点では1.02mg/lであった。一方、 Al^{3+} については酸川上流地点で57.42mg/l、長瀬川合流地点では8.22mg/l、長瀬川下流地点では2.74mg/lであった。

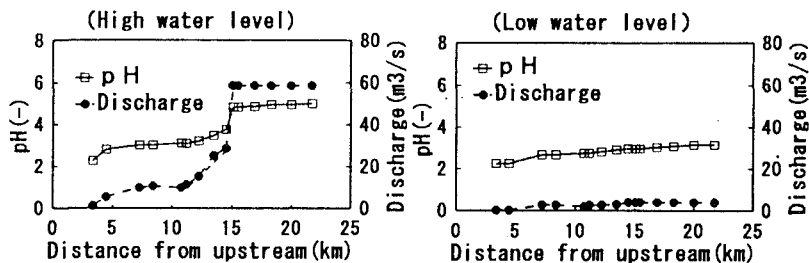


Fig. 2 Change of the concentrations of pH, discharge in the upstream of Sukawa river and Nagase river.

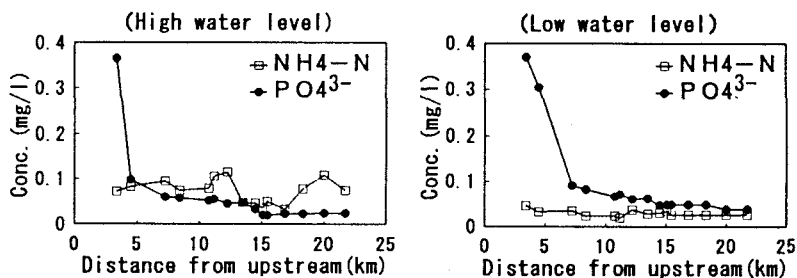


Fig. 3 Change of the concentrations of $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ in the upstream of Sukawa river and Nagase river.

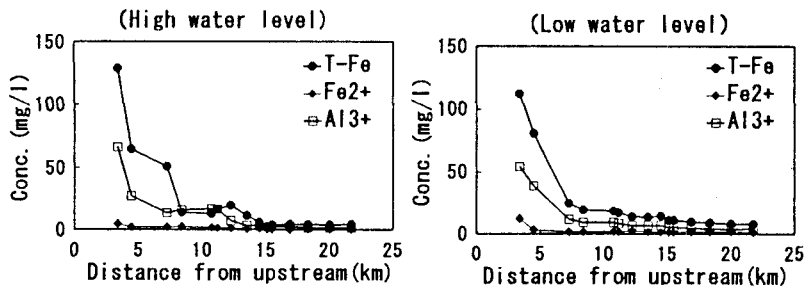


Fig. 4 Change of the concentrations of T-Fe, Fe^{2+} , Al^{3+} in the upstream of Sukawa river and Nagase river.

Fig. 5 にリン負荷量の流程変化（高水時，低水時）を示す。高水時では流下するにともない負荷量は増加し、長瀬川下流地点で最大値121kg/dayを示した。それに対して低水時では地点3で最大値22kg/dayを示してから、流下するにともない緩やかに低下し長瀬川下流地点では12.8kg/dayとなった。

Fig. 6 に全鉄負荷量の流程変化（高水時，低水時）を示す。高水時では流下するに伴い濃度は増加し、長瀬川下流地点で最大値22.69ton/dayを示した。それに対して低水時では地点3で最大値5.8ton/dayを示してから、流下するに伴い緩やかに低下し長瀬川下流地点では2.7ton/dayとリンの流程変化の傾向と同様の結果が得られた。

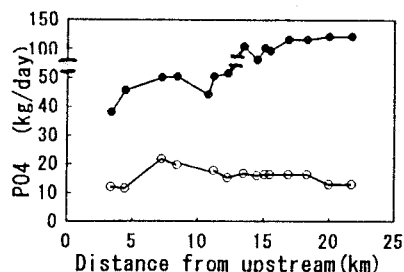


Fig. 5 Change of P04 loading in the upstream of Sukawa river and Nagase river.

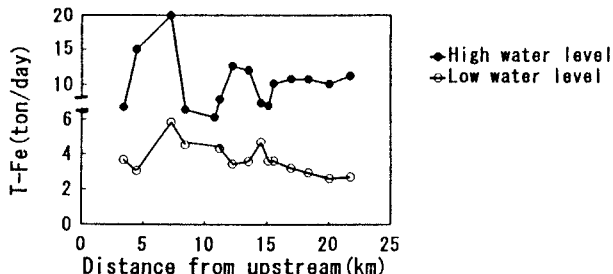


Fig. 6 Change of T-Fe loading in the upstream of Sukawa river and Nagase river.

Fig. 7 に流下に伴う底質 1 g 当たりの全鉄、Al 濃度を示す。流下するに伴い全鉄、Al は顕著な変化は見られなかったが、全鉄濃度は0.53~0.64mg/gの範囲と高い傾向が見られた。一方、Al は0.00~0.05の範囲であった。

Fig. 8 に流下に伴う形態別無機りん濃度を示す。鉄型りん (Fe-P) は0.1mg/g程度と高い傾向が見られた。津田¹⁾は、酸性の場合には鉄塩になる傾向があり、りん酸第二鉄が形成されると報告しており、本実験で同様な結果が確認された。長瀬川ではpHが3~5程度の流れの緩やかな流れの河床部においてフロックが形成されており、このフロックは3価の水酸化鉄であると推測されることから、全鉄は流下するに伴いフロックを形成して沈殿し、それとともにリンもまた沈殿しているものと推測される。このことから、長瀬川において流下に伴いりんが減少しているのは、鉄が関与しているものと推測される。

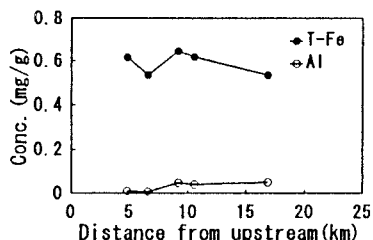


Fig. 7 Change of concentrations T-Fe, Al in the upstream of Sukawa river and Nagase river.

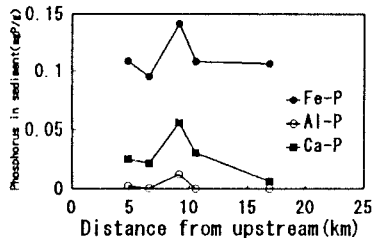


Fig. 8 Change of phosphorus fractionation in the upstream of Su kawa river and Nagase river.

3. 長瀬川におけるりん除去機構

3.1 実験目的

長瀬川は上述したように、流下するに伴って金属イオンとリン濃度が顕著に減少していることから、本項では酸性河川固有の自浄作用の一つである金属イオンとリンの凝集沈殿作用を把握することを目的とし、主に河床の砂礫によるリンの吸着量及びフロックの形成過程について検討した。なお、pHが3~4程度の酸川下流地点のよどみ部においてフロックが多く確認され、また一般に鉄塩は3~4程度において加水分解が進行し、3価水酸化鉄を形成すると考えられている⁶⁾。このことを考慮し、酸川上流地点 (st. 2) と下流地点 (st. 9) の2地点で検討を行った。

3.2 実験方法

(1) リン、全鉄濃度の測定

酸川、長瀬川表流水および流れの緩やかな河床より砂礫を採取し実験室に持ち帰り、河川水500ml、1~2mm程度の砂礫30gを1000mlのビーカーに入れ、リン濃度が8, 16, 32, 40, 80mg/lとなるように K_2HPO_4 を添加した。またpHが2および4になるように H_2SO_4 、NaOHで調整し、空気による曝気攪拌を行い、リン、全鉄濃度の時間的変化を調べた。また砂礫の粒径の相違によるリンの吸着量の特性を検討するために、1~2mm程度の砂礫をそれぞれ1g, 5g, 10g, 20gおよび30gを段階的に分け、蒸留水をpHを7に調整し実験を行った。水温は20℃に制御した。なお、分析に使用した試料は1μmのフィルターでろ過し、リン、全鉄濃度を測定した。

(2) フロックの測定

長瀬川合流地点でのよどみ部において砂礫と砂礫の間に赤褐色のフロックを確認した。酸性河川水を実験室に持ち帰りそのまま放置しておくと、河川水中にはフロックが見られ、フロックの存在量を検討したところ、1日程度で急激に増加し、その後一定であることがわかった。このことから本実験では、各地点の流下に伴うフロック量を1日放置後の値を用いて算出した。

また、長瀬川に流入する秋元湖放流水は、夏季において農業利水や水力電力の需要により放流水が増加するために、長瀬川の流量は夏季と冬季において20倍程度と変動が大きいため、実験は1996年6月（高水時）と10月（低水時）の二回行い、孔径1μmのフィルターでろ過した酸性河川水500mlを1000mlビーカーに入れ、静止状態を保ちながら1日後のフロック量を測定した。この時水温は20℃に制御した。青井は ^{59}Fe 鉄フロックの孔径について検討を行い、フロック数の90%以上が1μmよりも大きくなると報告している。ここではフロックの粒子は目視することができることから、粒子径は概ね1μm程度よりも大きいものと考えられ、フロックをSSとして測定した。

3.3 実験結果および考察

橋本ら⁹⁾はリン吸着量と吸着時間の関係についてBangham and Sever式を用いて整理しており、また大久保ら⁹⁾は土粒子へのリンの吸着量をLangmuirによる吸着等温線式より求めている。本実験においても、Bangham and Sever式およびLangmuirによる吸着等温線式を用いて河床砂礫によるリンの吸着量を算出した。

リンの吸着量と吸着時間の関係は、Bangham and Sever式により式(1)、(2)のように表すことができる。

$$V = kt^{1/m} \quad \text{--- (1)}$$

式-(1)の対数をとると、次式のようなになる。

$$\log V = \log k + \frac{1}{m} \log t \quad \text{--- (2)}$$

ここに、V: 時間tにおける砂礫単位量当たりのリン酸吸着量 (mgP/g)、k, mは定数

また河床砂礫へのリン酸の吸着現象についてはLangmuirによる吸着等温線式により式(3)のように表すことができる。

$$q = \frac{a q_s C_s}{1 + a C_s} \quad \text{--- (3)}$$

ここに、q: 河床砂礫単位量当たりのリン酸吸着量 (mgP/g)、 C_s : リン濃度 (mgP/l)、 q_s : 飽和吸着量 (mgP/g)、a: 定数

Fig. 9に酸川上流におけるリン濃度の経過時間を示す。なお、酸川上流河川水中に含まれる全鉄濃度は80mg/l、酸川下流河川水中には8mg/l含まれているので、これを初期値とする。リン濃度は1時間で急激に低下し、その後緩やかに減少する傾向が見られた。pHは2より4のほうが1時間後におけるリン除去速度が大き

いことがわかる。pHが4におけるビーカー内ではフロックが形成され、リンはフロックにより除去されているものと推測される。一方、酸川下流においてはリン濃度の経時変化は上流とほぼ同様な傾向が見られたが、1時間後におけるりん除去速度は小さかった。これは河川水中に含有している金属イオンが上流よりも少ないために、フロックがあまり形成されなかったためであると考えられる。

Fig. 10に全鉄濃度の経過時間を示す。酸川上流ではpHが2の時、全鉄濃度はあまり変動せず24時間後64.46mg/lであったのに対し、pHが4の時、全鉄濃度は1時間で急激に低下し概ね0mg/lになった。これは溶解していた鉄がpHが4の時に加水分解しフロックとなったためであると推測される。また河川水中のアルミニウムはpHが4より大きいときに加水分解すると考えられるので、今回のフロックは鉄フロックであると推測される。酸川下流においては、全鉄濃度は酸川上流と同様な傾向が得られた。

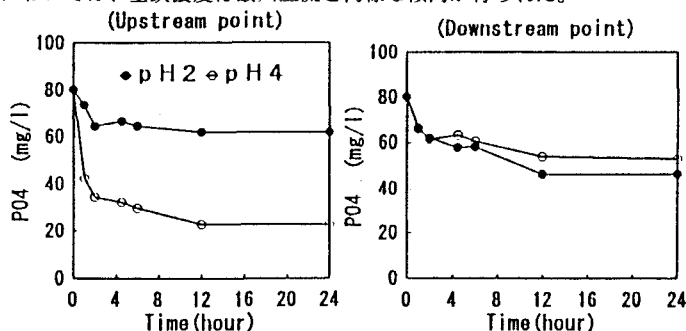


Fig. 9 Change of the concentration of P04 with time.

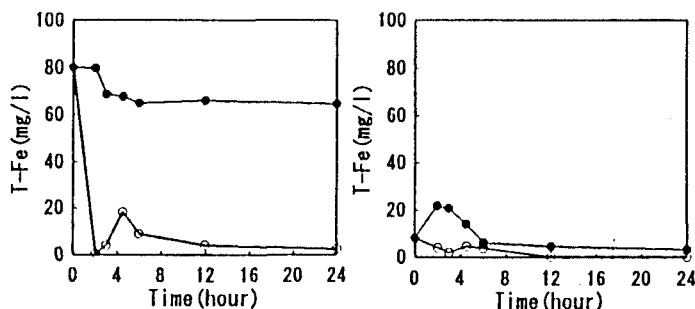


Fig. 10 Change of the concentration of T-Fe with time.

Fig. 11にpHとリン除去量の関係を示す。またリン除去量は時間的に最大のリン除去がみられた0~1時間におけるリン除去量をmg/dayに換算した値である。酸川上流地点、酸川下流地点はともにpHが5~6付近で最も除去量が多く、リン除去量は700kg/dayであった。酸川上流ではpHが4より低い時にはりん除去量は減少している。これはフロック形成はpHが3~4に境界線があり、3より高くなるとフロックは形成されるものと考えられる。従って、酸川上流ではフロックがりん除去に影響していることが推測される。酸川下流に

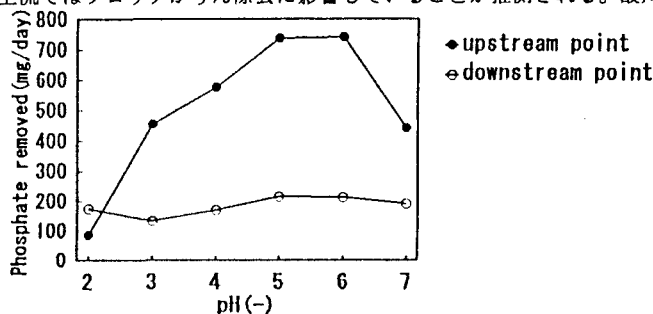


Fig.12 Phosphate removal as a function of pH.

においては、フロックが確認されたが、河川水中に含有している金属イオンが上流よりも少ない（全鉄濃度は酸川上流地点80mg/l、酸川下流地点8mg/l）。このためフロックによる影響は顕著に見られなかったが、リンが除去されていることから、酸川下流ではpHによる河床砂礫による影響があるものと推測される。

Fig. 1 2に酸川上流河床砂礫のりん酸吸着と曝気時間の関係を示す。リン濃度は1時間後に急激に吸着が進むが、その後、徐々に吸着速度が減少する傾向が見られた。また河床砂礫の添加量が増加するにしたがい、1時間後における吸着量が増加していることが分かる。酸川下流河床砂礫においても同様な傾向が得られた。

Fig. 1 3は、Bangham and Severの吸着式を用いて河床砂礫のりん酸吸着と吸着時間の関係を示す。回帰分析の結果、吸着平衡時間と吸着量の間には0.970~0.989と高い相関係数が得られた。また河床砂礫の添加量の少ないものほど傾きの急な直線が得られ、河床砂礫によるりん酸吸着量は、曝気時間と河床砂礫添加量の影響を大きく受けるものと考えられる。

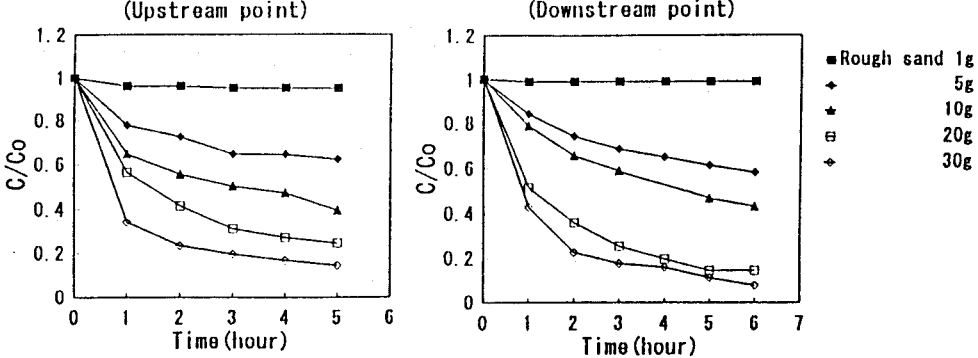


Fig. 12 Relationship between time and amount of phosphate. (I)

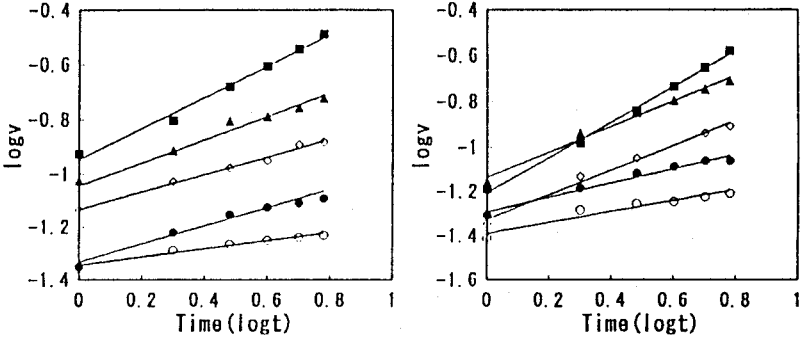


Fig. 13 Relationship between time and amount of phosphate. (II)

(Upstream point)	(Downstream point)
Rough sand	Rough sand
1 g : $\log v = 0.569 \log t - 0.947$ ($r = 0.989$)	1 g : $\log v = 0.783 \log t - 1.204$ ($r = 0.997$)
5 g : $\log v = 0.428 \log t - 1.045$ ($r = 0.979$)	5 g : $\log v = 0.563 \log t - 1.135$ ($r = 0.988$)
10 g : $\log v = 0.329 \log t - 1.134$ ($r = 0.979$)	10 g : $\log v = 0.554 \log t - 1.325$ ($r = 0.988$)
20 g : $\log v = 0.330 \log t - 1.333$ ($r = 0.970$)	20 g : $\log v = 0.324 \log t - 1.291$ ($r = 0.973$)
30 g : $\log v = 0.156 \log t - 1.345$ ($r = 0.977$)	30 g : $\log v = 0.248 \log t - 1.389$ ($r = 0.923$)

Fig. 1 4にりん酸吸着平衡時間とりん酸吸着量の関係を示す。河床砂礫添加量にかかわらずリン吸着量はリン平衡濃度の増加に伴い増加することがわかる。上式より河床砂礫の吸着飽和量は酸川上流、下流砂礫でそれぞれ0.28、0.27mgP/gであった。

Fig. 1 5にpHとりん酸吸着量の関係を示す。酸川上流、下流砂礫はともにpHが4程度で最も吸着量が多かった。一方、pHが4より低い時にはりん吸着量は減少している。これは河床砂礫からの鉄の溶出により、リンが吸着することができなかったためであると考えられる。

Fig. 16に河床砂礫の粒径とリン酸吸着量の関係を示す。図に示されるように、酸川上流、下流砂礫ともに粒径が小さいほどリンの吸着量が大きいことがわかる。これは粒径の表面積の相違によるものと考えられる。このことからリン酸吸着量は粒径の大小に影響されるものと推測される。

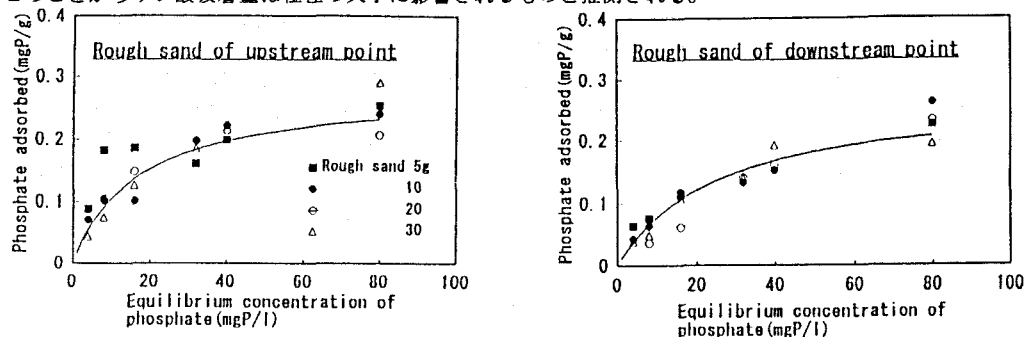


Fig. 14 Relationship between equilibrium concentration of phosphate and adsorption amount of phosphate.

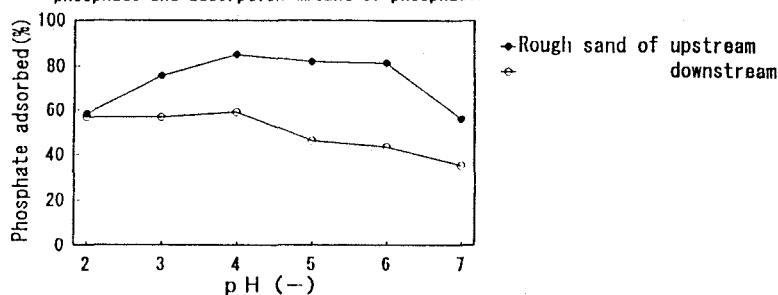


Fig. 15 Phosphate adsorbed as a function of pH.

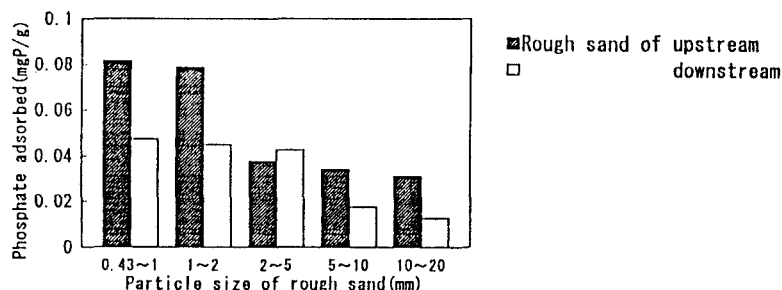


Fig. 16 Amount of phosphate adsorbed on adsorbents with different particle size in river rough sand.

Fig. 17に高水時における各地点の流下に伴う1日後のSS濃度、負荷量を示す。また負荷量は、(負荷量) = (1日後のSS濃度) × (流量)とする。酸川上流地点ではSS濃度2.3mg/lと低いが、pHの上昇とともに高くなり長瀬川と合流する直前で最大値14.7mg/lを示したが、長瀬川合流希釈によりSS濃度は減少し、長瀬川下流地点では10.2mg/lであった。SS負荷量でも同様に上流地点では0.24ton/dayであるが、流下するに伴い負荷量は増加し、長瀬川下流地点で最高値51.65ton/dayであった。

Fig. 18に低水時における各地点の流下に伴う1日後のSS濃度、負荷量を示す。酸川上流地点ではSS濃度1.8mg/lと低いが、pHの上昇とともに高くなりst.13で最大値14.9mg/lを示したが、支川の流入により希

積されSS濃度は減少し、長瀬川下流地点では4.9mg/lであった。一方、SS負荷量は上流地点では0.06ton/dayであるが、流下するに伴い負荷量は増加し、下流地点で最高値1.64ton/dayであった。以上より、pHの変動(季節)により各地点のよどみ部におけるフロックの存在量に相違がみられ、秋元湖放流量が多い5~9月ではst. 8付近でSS濃度は最大となり、10月以降になるとst. 13でSS濃度は最大となることが考えられる。またよどみ部のフロックの存在量は流量の変動により変化し、流量の多い夏季ではよどみが少ないためにフロックの存在量は減少し、流量の少ない冬季にはかなりのフロックが存在しているものと推測される。

High water level

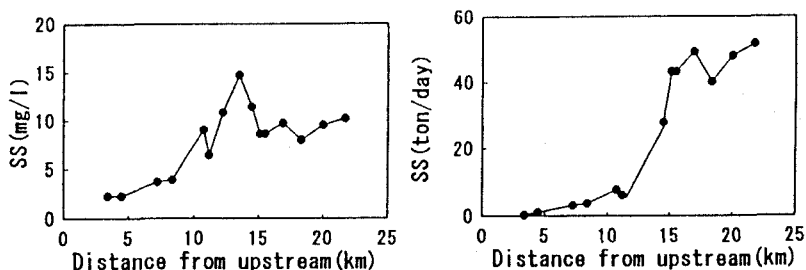


Fig. 17 Change of SS concentration and SS loading in the upstream of Su kawa river and Nagase river.

Low water level

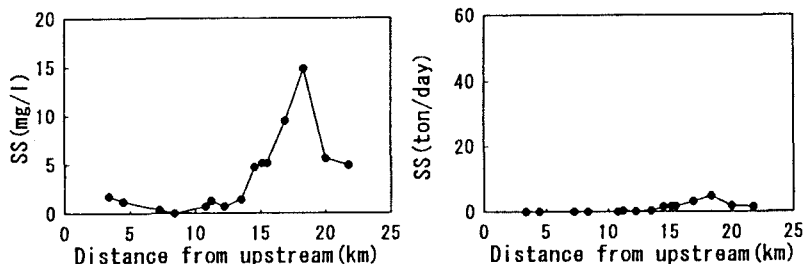


Fig. 18 Change of SS concentration and SS loading in the upstream of Su kawa river and Nagase river.

4. おわりに

本研究では、酸性河川である長瀬川を調査対象とし、酸性河川固有の自浄作用の一つである金属付着によるりん除去機構を把握する一連の研究として、流下に伴う金属付着とりのんの水質特性とともに、フロックの形成過程について検討を行った。その結果、次のようなことが明らかになった。

- (1) 長瀬川では、流下するに伴って鉄濃度とリン濃度が顕著に減少している。
- (2) りんはフロックにより除去されているものと推測される。またフロックは1日程度で形成され、鉄とリンとの化学的反応による生成物であることが確認された。
- (3) フロックはpHが3~4に境界線があり、3より高くなるとフロックは形成されるものと考えられる。
- (4) 吸着平衡時間と吸着量の間には0.970~0.989と高い相関係数が得られた。また河床砂礫の吸着飽和量は上流、下流砂礫でそれぞれ0.28、0.27mgP/gであった。
- (5) フロックはpHが3より高い時に見られ、りんの凝集最適pHは5から6程度であり、700mg/dayの除去量が得られた。

[謝辞]

本研究をまとめるにあたりご協力頂いた阿部まき子氏（オオバ工務店）、鈴木正志氏（東北建設協会）、鈴木良典氏（郡山市役所）、卒業研究生、兼松秀貴氏、佐藤靖敏氏、横田勲氏、渡辺真義氏に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 津田松苗：日本湖沼診断－富栄養化の現状－、共立出版、(1975)
- 2) 小山：長瀬川における酸性水の供給経路とその起源及び成因、福島大学特定研究猪苗代湖の自然研究報告No. 2、(1979)
- 3) 日本水道協会：上水試験方法、日本水道協会、pp. 205～532、(1985)
- 4) 日本薬学会：衛生試験法・注解、金原出版、pp. 1150～1151、(1990)
- 5) 関谷宏三、江川友治：土壌養分分析法、pp. 235、養賢堂、東京、(1980)
- 6) 丹保憲仁：凝集とフロック形成（3）、水処理技術、Vol. 13、NO. 3、pp. 57～63、(1972)
- 7) 青井透：鉄フロックを用いたMF膜の非抵抗測定試験による閉塞特性の検討、土木学会第51回年次学術講演会、pp. 188～189、(1996)
- 8) 橋本奨、尾崎保夫：鹿沼土によるリン除去とその動力学解析、下水道協会誌、Vol. 22、NO. 257、pp. 18～24、(1985)
- 9) 大久保俊治、松本順一郎：土への栄養塩類の吸着特性、工業用水、NO. 275、pp. 16～22、(1981)