

樺野川水系3河川における水質調査について

伊原 靖二・山本 剛士・西川 真代・大深 智美・道場 朋子

Water Analysis of Three River Areas in the Fushino and Its Tributaries

Yasuji IHARA・Takeshi YAMAMOTO・Mayo NISHIKAWA・
Satomi OHFUKA・Tomoko MICHIBA

Summary

Analytical studies in natural waters of Fushino river and its tributaries, Niho and Ichinosaka, at May, August, and November periods in 2001 have been reported. The analytical items in fresh water were mainly pH, conductivity, turbidity, dissolved oxygen, temperature, uv absorbance, total organic carbon, surfactant, and dissolved ions, respectively. The behavior of these analytical values and compounds in the natural environment is briefly discussed. Some environmental problems in three river streams are also discussed.

1. 緒言

我々の生活を取りまく環境汚染は年々その激しさを増し、地球規模の環境保護が強く叫ばれている。我々の生活と密接な関係をもっている河川においても、汚染は進み深刻な状況にあるといえる。本来河川は溶存物質や懸濁物質を上流から下流へ輸送する場であり、また、懸濁物質を分解・除去する場でもある。しかし、人間活動の増大とともに、多くの都市河川ではその自浄能力を上回る汚濁物質の流入があるため水質が悪化している。河川が汚染されれば、景観が損なわれるのはいうまでもないが、悪臭が発生したり、水生生物が死んだりする。さらに、我々はその河川水を水道源として利用しており、河川水の汚染が進行すると、現在の浄水施設では十分に浄化できず、水道水のかび臭さや、濁りが発生することが考えられる。水道から流れ出る水は、飲料水という生理学的な役割だけでなく、炊事・洗濯・入浴を初めとして清掃、消火、工場用水などの形で日常生活のあらゆる場で使用されている。このように、水は人間の生命と健康を保持、増進するための基本的なものであり、我々の生活に必要不可欠なものであるといえる。

現在、河川を汚染する原因の3/4が家庭から排出される生活排水であるといわれている。これに対処するために下水道の普及や、活性汚泥処理を中心とした下水処理場の建設が進められているが、まだ十分であるとはいえず、生活排水が直接河川などに排出されることも多い。また、家庭用洗剤の流入も河川の汚染の重要な問題となってきたり、一般に排水中に各種の界面活性剤が含まれていると、その排水の性状を複雑なものにし、処理を難しくしている。さらに気泡性、生分解性、生物への毒性などの点で

問題となり、活性汚泥法による処理の効率を低下させる¹⁾。特に、合成洗剤の生分解性は石鹼に比べ悪く、今後その影響の調査も必要である²⁻¹⁰⁾。これらの事実を踏まえ、河川の水質を調査することにより、我々の生活がどれくらい河川に負荷を与えているか検討する必要がある。

山口市及びその周辺地域の水道源として利用されている樺野川の水質調査については、筆者らは1994年3月から1995年2月までの1年間、及び1999-2000年の2年間の水質調査を試みその結果を報告したが¹¹⁻¹²⁾、さらに、今回は2001年の5月、8月及び11月に試みた樺野川及びその支流である仁保川、一の坂川の3河川の主としてpH、導電率、濁度、溶存酸素、水温、全有機炭素、界面活性剤、及びイオンクロマト分析による溶存イオンの水質調査の測定結果を報告すると共に、3河川の水質及びその環境変化を比較検討した。

2. 実験

2-1 試薬

水質チェッカー、全有機炭素、界面活性剤、及びイオンクロマト分析に必要な、標準物質や溶離液等の試薬はすべて特級試薬を使用した。多項目迅速水質分析計による測定では分析専用の測定試薬を使用した。

2-2 試水

測定は3ヶ月に一回の間隔で、樺野川の採水は、2001年5月7日、8月10日、11月11日、仁保川の採水は5月11日、8月3日、11月8日に行った。又、一の坂川の採水は、5月9日、8月5日、11月5日に行った。3河川の河川水を図1に示すように、樺野川はその上流から山口市内を中心に小郡町上郷付

近までの8ポイント(1:入野橋、2:宮野新橋、3:青木橋、4:東山橋、5:井手ヶ原橋、6:秋穂渡瀬橋、7:石津橋、8:八方原橋)を選び、川のほぼ中央で橋上から採水器を下ろして採水を実施した。仁保川は榎野川の合流地点まで6ポイント(1:魚切橋、2:城山橋、3:仁保新橋、4:一渡瀬橋、5:下市橋、6:平川大橋)、一の坂川は5ポイント(1:ダム発電所、2:天花3丁目16、3:天花橋付近、4:亀山橋、5:三旭橋)を選び、同様に採水を実施した。採水した水はその場で水質チェッカーにて、水温、pH、導電率、濁度、溶存酸素を測定するとともに、pHメーターにてpHを測定した。全有機体炭素(TOC)、界面活性剤濃度、紫外吸光度、溶存イオン及び多項目迅速水質分析計による硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素、及びリン酸については、その後出来る限り速やかに実験に供し、各成分を測定した。

2-3 測定方法

2-3-1 水質チェッカーによる測定

堀場製作所製水質チェッカーU-10を用い、各ポイントにて試料を採取後直接 pH、導電率、濁度、溶存酸素、及び水温を測定した。

2-3-2 全有機炭素(TOC)測定

被検液を0.45 μ mのミリポアフィルターで濾過後、島津TOC-500型全有機炭素分析計を使用し、全炭素(TC)と無機性炭素(IC)を測定し、その差をTOCとした。

2-3-3 界面活性剤の定量

水中の陰イオン界面活性剤の濃度は同仁化学社製のポナルキット-ABSを用い、陰イオン界面活性剤とCo-5-Cl-PADAPが作る複合体をベンゼン層に移し、島津分光光度計(UV-160A)により560nmで吸光度を測定することにより求めた。

2-3-4 紫外吸光度の測定

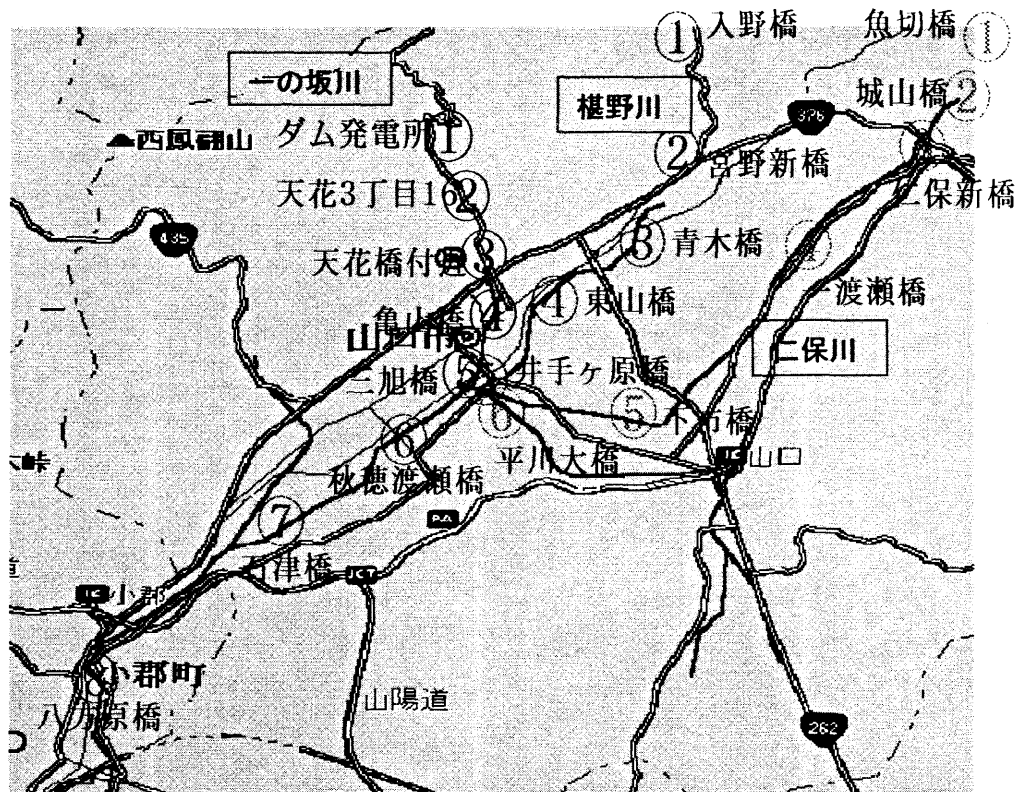
検水を濾紙にてろ過後、島津分光光度計により220nmでの吸光度を測定した。

2-3-5 イオンクロマトグラフ分析

被検液を0.45 μ mのミリポアフィルターで濾過後、日立L-3720型電導度検出器を有するイオンクロマトグラフを使用し、陽イオン及び陰イオンをそれぞれの溶離液で分離した。各溶存イオンの濃度はクロマトグラフよりピーク面積を算出し、あらかじめ標準液で検量線を作成して定量した。

2-3-6 多項目迅速水質分析計による測定

多項目迅速水質分析計(HACH DR/2010)のマニュアルに従って、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素、及びリン酸の測定を行った。



●: 榎野川 ◐: 仁保川 ○: 一の坂川

図1 榎野川水系3河川の水質調査ポイント

3. 結果及び考察

本調査では3河川の水質を比較するため、榎野川、仁保川、及び一の坂川の3河川のポイント別変化の結果をまとめた。また、各データは5月、8月、及び11月に測定した3回の平均値であり、各図は仁保川、一の坂川の最後のポイントを合流付近である榎野川のポイント5に合わせ、ポイントをずらして作成した。

3-1 水温、濁度、pH及び溶存酸素 (DO)

図2は、三河川の水温、濁度、pH及びDOのポイント別変化を示している。水温は当然ながら三河川とも下流に向かうにつれて、若干上昇する傾向が見られた。また、榎野川、仁保川、一の坂川の平均水温はそれぞれ24.3、26.6、26.6℃で仁保川、一の坂川の水温が榎野川より若干高い値を示した。

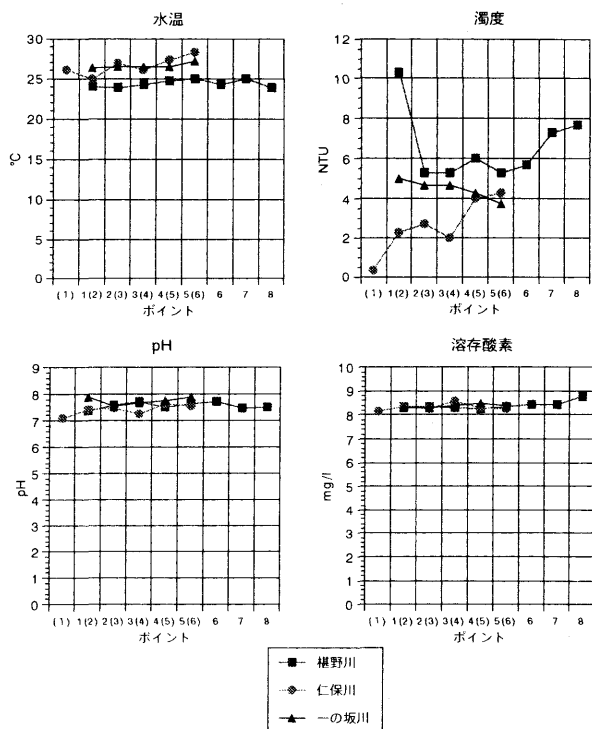


図2 3河川の水温、濁度、pH、及びの溶存酸素 (DO) のポイント別変化の結果

濁度は水の濁り具合を透過散乱方式を用いて定量化したものである。水の濁りの起源は、地表に存在する粘土性物質、地表に存在する有機性物質、プランクトンおよび微生物、種々の廃水成分、異種の水の混合により生ずる沈殿、河床沈殿物の舞い上がり、付着物質のはく離などがあげられる。図2では、榎野川の濁度はポイント1で最高値を示し、その後減少し下流に向かうにつれて徐々に上昇している。仁保川も榎野川と似たような傾向を示しているが、これは、濁りの原因である懸濁物の濃度が上流域より、中下流域で高いことを表している。しかし、一の坂

川は下流に向かうにつれて徐々に減少している。これは、一の坂川のポイント1がダム真下であり、かなり汚染されているためだと思われる。

pHは3河川ともほぼ一定の値を示した。pHは天然水の最も根本的な性質であり、普通、淡水はpHが7付近である。pHを支配する因子は主に地質因子である。すなわち、水が通ってくる地質の化学組成の示すpHと同じ傾向を示すということである。図2において、各ポイントでの3河川の平均値はそれぞれ7.56、7.41、7.76でありほとんど中性を示した。一般に、地下水のpHが酸性を示すことが多いが、3河川とも地下水の影響をあまり受けていない様である。

DOは河川や海域の自浄作用や魚類などの水生生物にとって不可欠である。河川の水質面から考えるとDOが高ければ、河川水中の微生物が十分に呼吸でき、自然浄化作用も促進される。従って、DOは、TOCやBODとの関連が深いといえる。図2に示すように、DOは3河川とも各ポイントにかけてほぼ一定値を示した。DOの季節変化では、季節を通して夏は数値が低く冬は高い。これは酸素の水に対する溶解度との関連が有ることを示している。また、榎野川、仁保川、一の坂川の平均値はそれぞれ8.40、8.32、8.37mg/lを示した。

3-2 全有機炭素 (TOC)、紫外吸光度、導電率、及び界面活性剤濃度

図3は、3河川のTOC、紫外吸光度、導電率及び界面活性剤濃度のポイント別変化を示している。TOCは測定水中の有機物に含まれる炭素の量を表すものであるが、環境白書の項目には含まれておらず、これまであまり研究されてこなかったため、くわしいことは分からない。しかし、BOD測定が有機物の量を測定できないのに対して、TOC測定は有機物のみに含まれている炭素量を測定するため、有機物の量を正確に測定できる。そのため、BODの測定結果と比較検討することで、実際の有機物汚染の状況を知ることができる。一般に、下流域では上流域に比べ有機物による汚染があると思われるが、今回の結果ではTOCは3河川ともポイント1で高い値を示している。有機汚染物が下流よりも上流でかなり多いことがわかった。

紫外吸光度は3河川とも合流付近に向かうにつれて徐々に上昇している。紫外吸光度は分光光度計により220nmの吸光度を測定したものであり、各紫外部に吸収のある有機物、硝酸イオン、亜硝酸イオン等が存在すると高い値を示すので、これらの物質が下流に行くにつれて増加していることを示している。

水溶液の導電率は水中に溶けているイオン量と各イオンの電気を運ぶ速さによって支配される。したがって、導電率によりおおまかに水中の溶存イオン量を比較することができる。

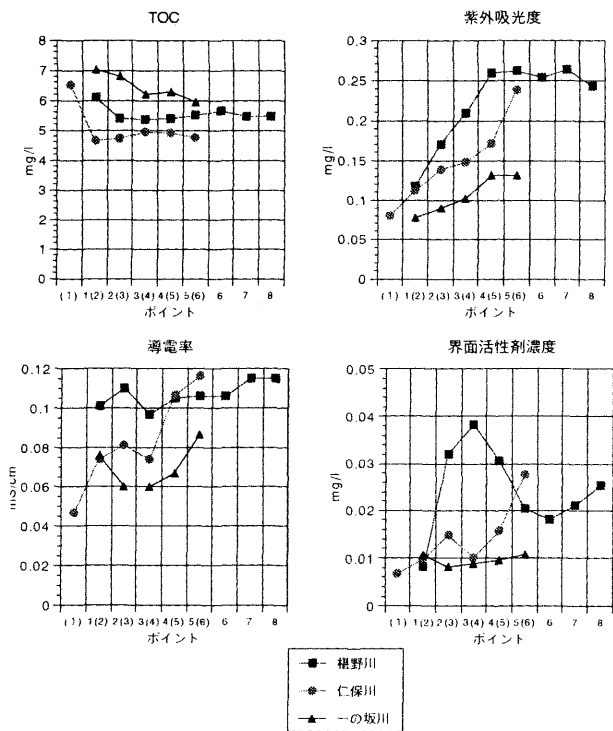


図3 3河川の全有機炭素 (TOC)、紫外吸光度、導電率及び界面活性剤濃度のポイント別変化の結果

導電率は3河川とも下流に行くほど高い値を示した。後に示す溶存イオンのグラフを見ると、導電率とほぼ同じ傾向を示しており、下流域にイオン性物質が多いため導電率が高い値になったのだと考えられる。下流では各イオン性物質が流入しているものと考えられる。上述したように、導電率はイオン濃度に関係するため後述の各種イオン測定の結果と比較検討することにする。

合成洗剤の普及により、洗剤成分の1つである陰イオン界面活性剤が多量に使用され、その結果各地の河川で水質汚染を生じ、飲料水源や環境生物に影響を及ぼす心配が指摘されている。近年の水質汚濁の大切な指標である。界面活性剤濃度は、全体的に一の坂川が一番低く、榎野川が高い値を示している。これは下水道の普及率と関係があるためだと思われる。

榎野川の界面活性剤のポイント別では、上流のポイント3で最大値を示した。下流よりも上流の方が高い値を示している。榎野川を取りまく環境を考えると、上流域では、中下流域に比べ、民家数も少なく、その分農作地が多い。河川の性質からして、上流域のほうが中下流域に比べ水質も良好であるように思われる。しかし、実際には違っており、これには、下水道の普及が関係していると考えられる。ポイント2、3、4である山口市宮野地区には、まだ下水道が普及しておらず、家庭排水が直接榎野川

に流入することも多く、これに対し、中、下流域では下水道も普及しており、家庭排水が直接榎野川に流入することも少ないはずである。

3-3 硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素およびリン酸

図4は、3河川の硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素及びリン酸のポイント別変化を表している。これらの項目は生活排水等の人為的な要素が大きい。硝酸性窒素は3河川とも合流付近に向かうにつれて上昇している。硝酸イオンのような窒素化合物は天然では細菌の作用により、その形態は様々に変化する。そのため、その起源はわかりにくい、種としてタンパク態物質の分解により生じているのではないかとと思われる。

全体的にどの項目でも仁保川、一の坂川に比べて榎野川が高い値を示している。前者の2河川と比較して汚染が進行しているものと思われる。

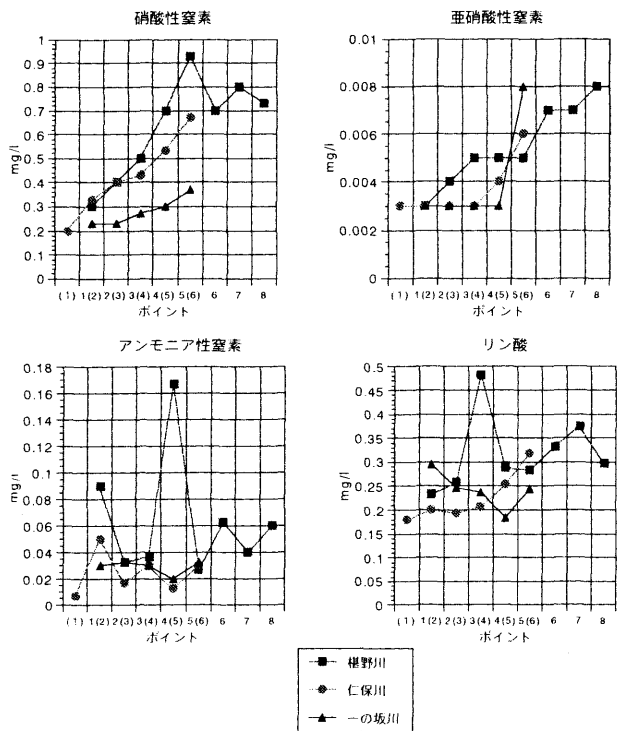


図4 3河川の硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素、及びリン酸濃度のポイント別変化の結果

3-4 溶存イオン

図5はイオンクロマトグラフ分析にて測定した3河川の陰イオンである塩化物イオン (Cl)、硝酸イオン (NO₃)、及び硫酸イオン (SO₄) の、又図6は陽イオンであるナトリウムイオン (Na)、カリウムイオン (K)、マグネシウム (Mg)、及びカルシウムイオン (Ca) の項目毎にポイント別にグラフに表した

ものである。河川水中に含まれる溶存イオンの起源は大別して、雨水に含まれる成分、地表で雨水に取り込まれる成分、地中で水にとけ込む成分、及び人間活動により供給される成分に分けることができる。

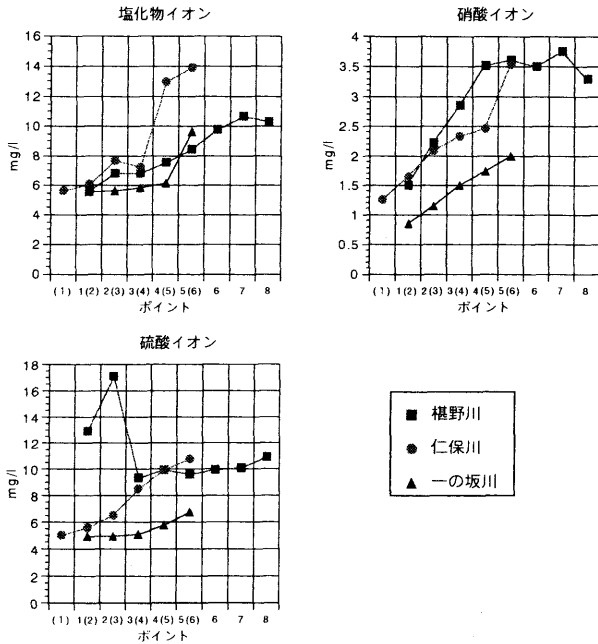


図5 3河川の各種溶存陰イオン濃度のポイント別変化の結果

図5を見ると、塩化物イオン、硝酸イオン、及び硫酸イオンの一部を除き、3河川とも、合流付近に近づくにつれ上昇している。人為汚染による影響を最もよく表しているのは、塩化物イオン (Cl) である。塩化物イオンは、すべての天然水に含まれているが、天然では岩石からの供給は少ない。天然での供給源は主に大気中に巻き上げられた海水が雨や風により、下降するものである。しかし3河川とも、下流域から中流域の上昇は海水の影響は考えられないため、人間が生活に用いている塩化ナトリウム (NaCl) による人為汚染だと判断できる。また仁保川が一番高い値を示しているのが興味深い。図5において、榎野川の硫酸イオンはポイント2で最大値を示し、その後減少しまた少しずつ増加している。硫酸イオンはその行動が複雑であり、しかもこれまであまり研究が行われてこなかったため、その起源を推測することは困難である。しかし、家庭排水や化学肥料に含まれており、また、大気中にも石油や石炭の燃焼で生じる硫酸塩が浮遊していることがわかっているため、雨水と共に地上に降り注ぎ、河川水中の硫酸イオンの原因となっているとも考えられる。

図6の陽イオンの中で、生活排水に起因するナト

リウムイオンは、全ての河川について下流にいくにつれやや減少傾向がみられ、これは下流域の方が下水道の普及率が高いからだと思われる。カリウムイオン、マグネシウムイオンは値が小さいが下流にいくにつれて若干増加している。カルシウムイオンについては図4の硝酸性窒素、リン酸と同様に全体的に榎野川が高い値を示している。マグネシウムイオン、カルシウムイオンは岩石土壌に起因するところが大きい、カルシウムイオンは淡水のもっとも重要な主成分であり、わが国では一般に他国に比べ含量が少ない。仁保川、一の坂川の図3の紫外吸光度、図4の硝酸性窒素、図5の硝酸イオンは、下流にいくにつれて徐々に上昇しており、似た傾向を示していることから、これらの項目に関連性があると思われる。また、どの溶存イオンについても、合流地点後は流量の多い仁保川の影響を受けていると考えられる。合流後、榎野川の各項目で変動があったが、規則性は見られなかった。

図5、図6から、若干のばらつきがあるが、ほとんどすべての溶存イオンが下流に向かうに従い増加しているのが分かった。溶存イオンは有機物と違い、分解されることはなく、むしろ、いろいろな物質の分解や電解により生じることが多いため、下流に向かうに従い徐々にその濃度が上昇するのであろう。

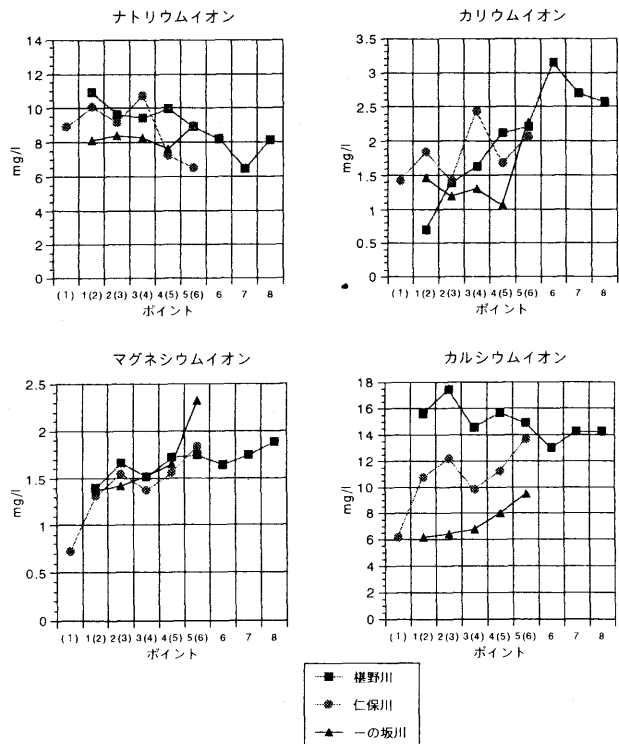


図6 3河川の各種溶存陽イオン濃度のポイント別変化の結果

3-5 3河川の水質比較

表1に今回測定した3河川の代表的な溶存イオンの平均値及び日本の河川の平均化学組成を示した¹³⁾。日本の河川では陽イオンについてはカルシウムイオン (Ca) が最も多く、次いでナトリウムイオン、マグネシウムイオン、カリウムイオンの順である。陰イオンについては硫酸イオン、塩化物イオンの順である。3河川の場合は日本の平均値とそれほど大きく異なっていないが、マグネシウムイオンとカリウムイオンがほぼ同値又は逆転する傾向が認められた。また、ナトリウムイオンと塩素イオンが日本の平均値より高い値を示した。3河川の比較では、全体的に榎野川の値が大きく、特にナトリウムイオン、カルシウムイオン、硫酸イオンは榎野川、仁保川、一の坂川の順であった。さらに、榎野川のカルシウムイオンが多く、一の坂川のカルシウムイオンと硫酸イオンが少ないのが特徴的である。

表1 榎野川水系3河川の平均水質と日本の河川の平均水質 (mg/l)

河川	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO4
榎野川	9.0	2.1	1.7	14.9	8.2	11.2
仁保川	8.8	1.8	1.4	10.6	8.9	7.7
一の坂川	8.3	1.5	1.7	7.3	6.5	5.5
日本平均河川 ¹⁴⁾	6.6	2.0	3.6	10.4	7.1	12.0
¹⁵⁾	6.7	1.2	1.9	8.8	5.8	10.6

図7に3河川のマグネシウムイオンとカルシウムイオンの関係を示した。図から明らかなように、3河川ともそれぞれ特色のある良好な相関関係が認められた。この関係はこれらのイオンは自然界の各流下層からの組成であり、河川水質の地域的特色を示している。表1の結果と併せてみると、榎野川のカルシウムイオンが最も多く、次いで仁保川、一の坂川の順で少なくなっている。特に、一の坂川のカル

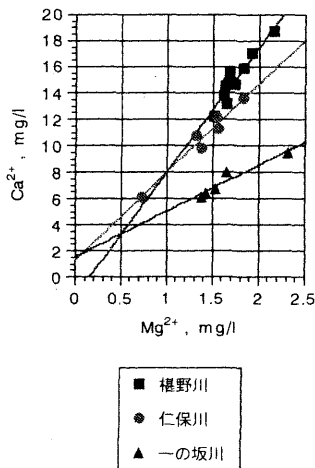


図7 マグネシウムイオンとカルシウムイオンの関係

シウムイオンがマグネシウムイオンに比べて少ないのが特徴的である。

図8は溶存酸素と水温との関係をプロットしたものである。この図においては3河川のポイント別の全測定結果よりDOと水温の関係を求めた。DOと水温は当然ではあるが比較的よい負の相関が認められ、水温が高くなるにつれてDOは減少する傾向を示した。しかし仁保川、一の坂川はほぼ同じ傾斜を示しているが、榎野川は少しその傾斜の傾きが減少しており、前者の2河川に比べ、若干汚染が進行しているものと考えられる。この結果が単年度のみであるかどうかは今度さらに追跡調査を必要とするが、榎野川においても家庭排水の問題が深刻化するのではないだろうか。

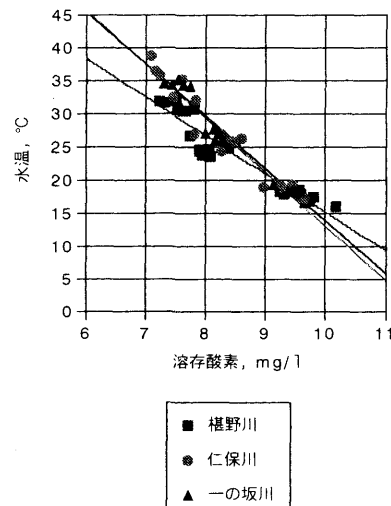


図8 溶存酸素 (DO) と水温の関係

3-6 結果のまとめ

榎野川水系3河川の2001年5月から11月の3回にわたる水質調査を試みたところ、次のような結果が得られた。

- 1) 水温、濁度、pH及び溶存酸素のポイント変化の結果、水温は3河川とも下流に向かうにつれて、若干上昇する傾向が見られ、榎野川、仁保川、一の坂川の平均水温はそれぞれ24.3、26.6、26.6℃であった。榎野川の濁度はポイント1で最高値を示し、その後減少し、下流に向かうにつれて徐々に上昇した。仁保川も榎野川と似たような傾向を示しているが、一の坂川は下流に向かうにつれて徐々に減少した。榎野川、仁保川、一の坂川のpHの平均値はそれぞれ7.56、7.41、7.76でありほとんど中性を示した。榎野川、仁保川、一の坂川のDOの平均値はそれぞれ8.40、8.32、8.37mg/lを示した。
- 2) 全有機炭素 (TOC)、紫外吸光度、導電率、及

び界面活性剤濃度の測定の結果、TOCは3河川ともポイント1で高い値を示し、上流で有機物が比較的多いことがわかった。紫外吸光度は3河川とも合流付近に向かうにつれて徐々に上昇した。導電率は3河川とも下流にいくほど高い値を示した。下流域ではイオン性物質が多く流れ込み導電率が高い値になったのだと考えられる。界面活性剤濃度は、全体的に一の坂川が一番低く、樺野川が高い値を示した。樺野川の界面活性剤のポイント別では、上流のポイント3で最大値を示した。上流域ではまだ下水道が普及しておらず、直接生活排水が流入したことも考えられる。

- 3) 3河川の硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素及びリン酸のポイント別変化の結果、これらの項目は生活排水等の人為的な要素が大きい。硝酸性窒素は3河川とも合流付近に向かうにつれて上昇した。全体的にどの項目でも仁保川、一の坂川に比べて樺野川が高い値を示しており、前者の2河川と比べて汚染が進行しているものと思われる。
- 4) 塩化物イオン、硝酸イオン、及び硫酸イオンの一部を除き、3河川とも、合流付近に近づくにつれ上昇した。カリウムイオン、マグネシウムイオンは値が小さいが下流にいくにつれて若干増加した。カルシウムイオンについては硝酸生窒素、リン酸と同様に全体的に樺野川が高い値を示した。又、若干のばらつきがあるが、ほとんどすべての溶存イオンが下流に向かうに従い増加しているのがわかった。溶存イオンは有機物と違い、いろいろな物質の分解や電解により生じることが多いため、下流に向かうに従い徐々にその濃度が上昇すると考えられる。
- 5) 3河川の溶存イオン濃度は日本の河川の平均水質とそれほど大きく異なっていないが、ナトリウムイオンと塩素イオンは日本の平均値より高い値を示した。3河川の比較では、全体的に樺野川の値が大きく、特にナトリウムイオン、カルシウムイオン、硫酸イオンは樺野川、仁保川、一の坂川の順であった。さらに、樺野川のカルシウムイオンが多く、一の坂川のカルシウムイオンと硫酸イオンが少ないのが特徴的である。3河川のマグネシウムイオンとカルシウムイオンの関係を図示したところ、3河川とも良好な相関関係が認められた。また溶存酸素と水温との関係をプロットしたところ、比較的よい負の相関が認められたが、仁保川、一の坂川はほぼ同じ傾斜であるが、樺野川は少しその傾斜の傾きが減少しており、前者の2河川に比べ、若干汚染が進行しているものと考えられる。

以上のような結果であるが、今回の調査でその結果のすべてを考察することは一般に困難であり、さら

に調査を継続し、今後3河川の水質の経年変化も調査検討する必要がある。

参考文献

- 1) 用水廃水便覧、用水廃水便覧編集委員会、丸善(1973)
- 2) Y. Ihara, J. Appl. Polym. Sci., **32**, 5665(1986).
- 3) Y. Ihara, J. Appl. Polym. Sci., **33**, 3087(1987).
- 4) Y. Ihara, J. Appl. Polym. Sci., **36**, 891(1988).
- 5) Y. Ihara, J. Appl. Polym. Sci., **44**, 1837(1992).
- 6) 伊原靖二、文部省科学研究費補助金研究成果報告書(1985).
- 7) 伊原靖二、斎藤真澄、山口女子大学特別研究費補助金研究成果報告書(1987).
- 8) 伊原靖二、山口女子大学研究報告 家政学部、**17**, 1(1991).
- 9) 伊原靖二、山口女子大学研究報告 家政学部、**18**, 57(1992).
- 10) 伊原靖二、山口女子大学研究報告 家政学部、**19**, 35(1993).
- 11) 伊原靖二、山口女子大学家政学部研究報告、**21**, 77-81(1995).
- 12) 伊原靖二、大学院共同研究プロジェクト研究成果報告、平成11・12年度、9-22(2001).
- 13) 日本化学会編、陸水の化学、化学総説 No.14、学会出版センター(1992).
- 14) 三宅泰雄、気象集誌、II、**22**, 47(1944).
- 15) 小林純、農学研究、**48**, 63(1958).

