

榎野川及びその周辺河川の水質調査と環境モニタリング

Water Analysis and Environmental Monitoring of the Fushino and Other Related Rivers

伊原靖二*
Yasuji IHARA

Summary

Analytical studies in natural waters of Fushino and other related rivers for about twelve years in March, 2005 from April, 1994 have been reported. Analytical items in fresh water were mainly pH, conductivity, dissolved oxygen, temperature, uv absorbance, total organic carbon, surfactant, and dissolved ions, respectively. At the nine points of river valley, fluctuation of river constituents was analyzed in terms of statistical methods. The data of fifteen years from white paper on environment published by Yamaguchi Prefecture was also summarized and was compared with our analytical data. The behavior of these analytical values and compounds in the natural environment was briefly discussed.

1. 緒言

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，私達の生活に不可欠なものである。私たちが日常使用している水道水は河川水を主な起源としている。河川は人々が水道源として利用するばかりではなく，様々な植物や動物が生息し，生態系を作り出す重要な要素である。

河川の汚染の主要原因は，戦後，高度経済成長に伴い工場排水であったが，現在では，家庭からの生活排水が河川の汚染要因の4分の3を占め¹⁾，移り変わっている。しかし最近では，生活排水に加え，河川への農薬や化学肥料の流入，トリハロメタンなどの消毒副生成物による汚染など，新たな問題が出てきている²⁻¹⁰⁾。

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に使

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，我々の生活に必要な不可欠なものであるといえる。

本報告では榎野川の水質調査の結果から環境モニタリングを行うことを目的として，図1に示すように，約12年間の流域別の水質調査から年度別の結果を比較検討した。榎野川は山口県の中央部に位置し，県内の2級河川では4番目の広さの流域面積であり，中国山系を水源とし，中流の農地や市街地を貫流し，河口域に大きな干潟を形成している山口湾に至っている。宮野盆地，山口盆地を貫流し，吉敷郡小郡町で南流に転じて山口湾にそそぐ流路延長30.3kmの2級河川である¹¹⁾。仁保川や一の坂川などの24の支流を含めた榎野川水系は，流路延長133.2km，流域面積332.4km²になる。県都を流れ，山口市のほぼ全域に水系が分布する重要な河川で，山口盆地一円の流域は山口ゲンジボタルの発祥地として，国の天然記念物に指定されている。初夏にはホテル鑑賞に訪れる人が多い。流域内の人口は約15万人であり，生活排水などによる人為的汚染が心配されている。流域に多くの人口を有し，生活排水による汚染も心配されている。また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。榎野川の水質調査については，筆者らは平成6(1994)年3月から平成7(1995)年2月までの1年間¹²⁾，及び平成11-12年度の2年間の水質調査を試み¹³⁾，その結果を報告した。さらに，平成13年には榎野川水系3河川における水質調査を試み，榎野川の現段階の水環境について，一の坂及び仁保川の結果と比較しながら主として生活排水か

*山口県立大学大学院 健康福祉学研究所生活健康科学専攻

らと考えられる問題点のある項目に着目しその測定結果を報告した¹⁴⁾。また、過去3年間の流域別の結果より榎野川の水環境の変化を考察した¹⁵⁾。さらに平成15から16年度に榎野川及び山口県内周辺4河川の水質調査を試み、河川成分の比較検討を行った¹⁶⁾。本報告においては平成6(1994)年の4月から平成17(2005)年3月までの約12年間の主としてpH、導電率、濁度、溶存酸素、水温、全有機炭素、界面活性剤、及び溶存イオン等の河川成分の水質調査の測定結果を、各流域別(ポイント別)の変動から考察し、経年変化に伴う水環境の変化を比較検討することにした。また、併せて山口県環境白書の参考資料集から榎野川及びその主要河川の平成3年から平成17年までの15年間の経年変化の比較から榎野川の水環境の推移を報告する。

2. 実験

2-1 試水

榎野川の河川成分の測定は平成6(1994)年の4月から平成17(2006)年3月までの約12年間、毎月1回の間隔で行った。榎野川の河川水は上流の入野橋から大学付近、山口市内、湯田温泉を中心に流域別に9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, 9:昭和橋)を選び、川の流れのほぼ中央に橋上から綱につるした採水器をおろして実施した。上流の入野橋及び宮野新橋は平成12年度から平成17年度の6年間、また、最下流の昭和橋は平成17年度の1年間の採水である。[図1]

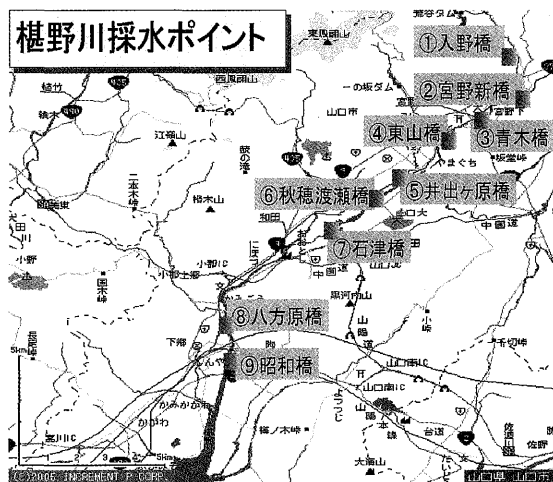


図1 榎野川の河川成分の水質調査ポイント

2-2 測定

採水した試料はその場で直ちに水質チェッカー又はセンサプローブ W-23XD (HORIBA 製) を用いてpH、水温、導電率、濁度、溶存酸素量を測定した。全有機炭素 (TOC)、界面活性剤濃度、紫外吸光度、全窒素、全リン、及びイオンアナライザーによる溶存イオンについては、その後出来る限り速やかに実験に供し、前報と同様な測定方法¹¹⁻¹⁶⁾にて各河川成分を測定した。

3. 結果及び考察

3-1 榎野川及び周辺河川の水質比較

本報告ではまず榎野川と他の河川との水環境の変化を把握するため、周辺5河川(図2)の主要水質項目(水温、pH、DO、BOD、全窒素、及び全リン)を、山口県環境白書の参考資料集¹⁷⁾から抜粋した結果を用いて比較検討することにした。以前、平成15-16年度の2年間にわたり水質調査を行った¹⁰⁾、榎野川と佐波川、粟野川、厚狭川、及び厚東川の各河川の水質変動の経年変化の結果をまとめた。佐波川は佐波郡徳地町に発し、島地川など31の支流を集めて防府市で周防灘に注ぐ、流域面積446km²、流路延長56.5kmの県内最大級の1級河川である。佐波川ダムの人造湖は大原湖と呼ばれ、滑国有林や長者ヶ原と共に、長門峡県立自然公園の一部をなしている。山口県の北部を流れる粟野川は豊浦郡豊田町に発し、同郡豊北町を北流して響灘の油谷湾に注ぐ2級河川である。10の支流を持ち、流域面積186.0km²、流路延長29.8kmの農地を流れる河川である。厚狭川は美祢市於福町に発し、小野田市と厚狭郡山陽町の境で周防灘に注ぐ、流域面積248.9km²、流路延長43.9kmの2級河川である。伊佐川など14の支流を持ち、上流は農地、下流は住宅地を流れている。河口一帯はシロウオやアオノリの産地として知られている。厚東川は秋芳町桂木山に発して、秋吉台を二分して南流し、石灰岩地域に形成された平野を流れるため、炭酸カルシウムの含有量の多い河川である。流路延長59.9kmの2級河川で、大田川など37の支流を含めた厚東川水系は流路延長235.2km、流域面積405.3km²になる。途中に小野湖があり、工業用水の供給源にもなっている。これらの河川は山口県内の主要河川であり、榎野川と比較することによりその現状を把握することが出来る。用いた結果の各測定点は榎野川:百間橋、佐波川:佐波川大橋、粟野川:郷の橋、厚狭川:渡場大橋、厚東川:厚東川大橋である。

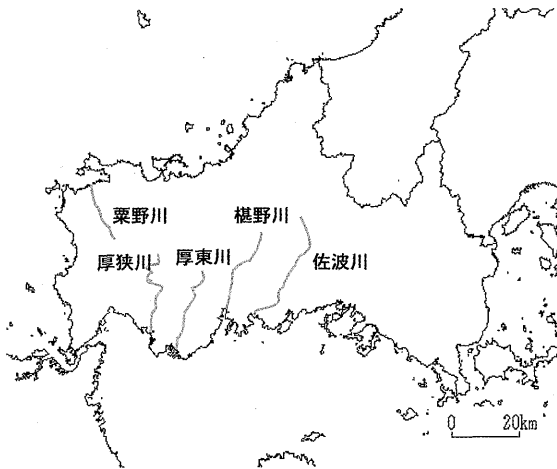


図2 山口県内周辺5河川

3-1-1 pH, 溶存酸素(DO)及び生物化学的酸素要求量(BOD)

図3に5河川のpHの各月の年度平均値の経年変化の結果を示した。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。その他土壌中の二酸化炭素の溶解による影響や植物の炭酸同化作用およびバクテリアによる

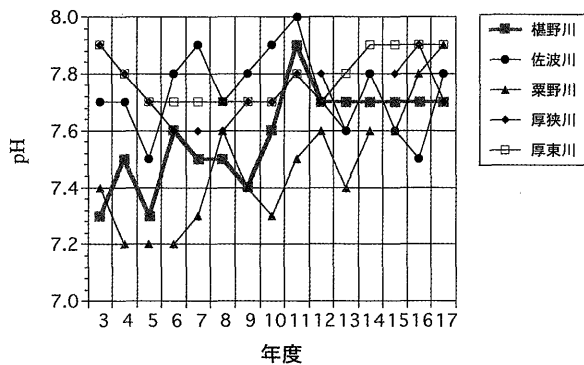
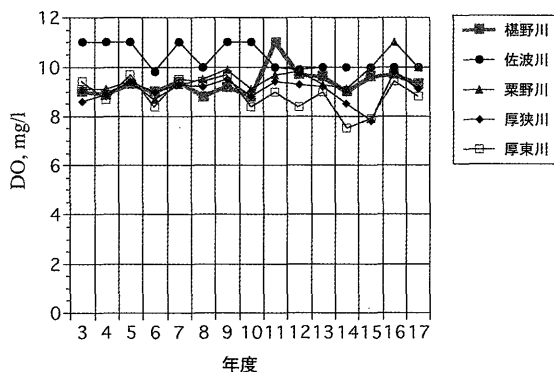


図3 pHの経年変化の結果



生物体の分解が考えられる¹⁰⁾。図3において、榎野川、佐波川、粟野川、厚狭川、厚東川の平均pH値はそれぞれ7.6, 7.7, 7.5, 7.7, 7.8でほとんど同じであり、中性もしくは弱アルカリ性を示した。一般に、地下水のpHが酸性を示すことが多いが、5河川とも地下水の影響をあまり受けていない様である。特に、厚東川は中流域の小野湖の影響により他河川より若干高い値を示した。また、榎野川、佐波川、及び粟野川の経年pHの変化がそれぞれ7.3-7.9, 7.5-8.0, 及び7.2-7.9と大きく、また榎野川と粟野川は近年上昇傾向を示していることは興味深い。

図4にDO及びBODの経年変化の結果を示した。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。水中での酸素消費の原因は酸素の水中の無機化合物との反応、バクテリアによる有機物の分解や動植物の呼吸作用によると考えられる。図4に示すように、DOは各河川とも各年度にかけてほぼ一定値を示した。しかし厚狭川と厚東川の各ポイント間で差が認められた。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、5河川の平均値はそれぞれ9.4, 10.4, 9.5, 9.1, 8.9 mg/lであり、佐波川が一番高く、厚東川が一番低い値を示した。

BODは水質汚染の指標の1つであり、試料水中に含まれる有機物が、微生物によって好気的な条件下で分解・安定化される間に消費する酸素の量のことであり¹⁰⁾。これは一定期間試料水を一定温度で密閉容器中に保った場合の溶存酸素の減少量で表される。河川中の生物分性有機物の量に対応する。有機物の種類によっては微生物分解を受けないものもあり、必ずしもBOD

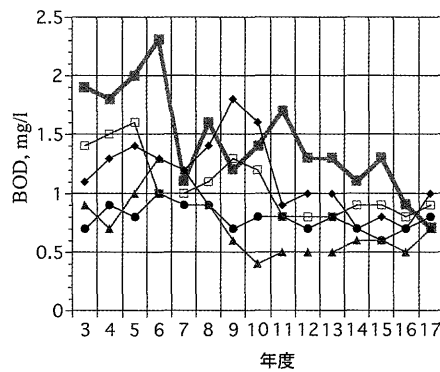


図4 溶存酸素(DO)及び生物化学的酸素要求量(BOD)の経年変化の結果

値に反映しないが、汚染の実態を表す量としてCOD(化学的酸素要求量)とともに、河川水、排水などの検査ならびに基準作成に広く用いられている²⁰⁾。図4に示すように、榎野川のBODは他の河川より若干高いが平成6年をピークに減少傾向にある。5河川の平均値は1.4, 0.8, 0.7, 1.1, 1.1 mg/lであり、榎野川が1番高く、粟野川が1番低い値を示した。榎野川の平成17年度の平均値は0.8mg/lであり、汚染度が大きいと言われている友田川、武久川や綾羅川の4.2, 2.7, 2.2 mg/lに比べた場合はかなり低い値を示した。

3-1-2 全窒素及び全リン

水中の窒素は種々の形態で存在する。また、リンはリン酸塩または有機リンとして含まれる。生活排水の影響を受けた河川的全窒素及び全リンの濃度は、大きく生活排水による汚染の指標としてよく用いられる。山口県内主要5河川的全窒素及び全リンの経年変化を図5に示した。榎野川のこの15年間の平均値は1.54mg/lであり、他の河川である佐波川、粟野川、厚狭川、厚東川の0.55, 0.47, 0.76, 0.77 mg/lと比べても、その濃度は2倍以上大きく、生活排水対策の遅れによる富栄養化等により、汚染の程度は大きいと考えられる。榎野川の水量は平成元年3月の荒谷ダムの建設により平成3年以降流量は減少傾向であり、年間の総窒素量及び総リン量は減少しているとの報告¹¹⁾もあるが、やはり上記結果でもわかるように、他の主要河川の中でも著しく高いといえる。また、例えば、榎野川の平成17年度的全窒素の平均値は2.0 mg/lであり、BODの減少傾向の結果と異なり、汚染度の大きいと言われている友田川、武久川や綾羅川の2.4, 2.1, 2.0 mg/lと比べた場合でもほぼ同程度の値を示した。

次に、図5の全リンの経年変化を見てみると、全リンの各河川の15年間の平均値はそれぞれ、0.125, 0.028, 0.026, 0.051, 0.043 mg/lと、この場合も榎野川は他の

4河川と比べても約3倍程度大きく、全窒素と同様に大きな値を示した。さらに、榎野川の平成17年度の平均値は0.12 mg/lであり、汚染度の大きいと言われている友田川、武久川や綾羅川の0.22, 0.22, 0.23 mg/lと比べた場合は低い値を示したが、図5のように、他の4河川では、ほぼこの15年間の変化状況は横這い状態で推移しているが、榎野川は全窒素と同様に明らかに上昇傾向にあることがわかる。

窒素及びリンはし尿処理水やタンパク態物質の供給からの富栄養化によると考えられ、榎野川河口部では、ヘドロやカキ殻の堆積、アマモ場の減少がみられるなど、干潟生態系の改変・改質が生じて問題となっている¹¹⁾。

3-2 榎野川の河川成分の流域別及び経年変化

榎野川の河川成分の測定は平成6(1994)年の4月から平成17(2006)年3月までの約12年間、毎月1回の間隔で行った。榎野川の河川水は流域別に9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, 9:昭和橋)を選び、上流の入野橋及び宮野新橋は平成12年から平成17年の6年間、また、最下流の昭和橋は平成17年度の1年間の採水である。さらに、榎野川に流入する支流4河川の水質を把握するために、平成17年度に、流域別に各3ポイント、仁保川(1:一渡瀬橋, 2:下市橋, 3:平川大橋)、一の坂川(1:天花橋, 2:亀山橋, 3:三旭橋)、吉敷川(1:おおつぼはし, 2:湯田大橋, 3:和田橋)、及び四十八瀬川(1:かつら橋, 2:長谷橋, 3:柳井田橋)にて2ヶ月間隔で5回採水し、その平均値を求めた。また、榎野川及び周辺河川(佐波川、粟野川、厚狭川、及び厚東川)の水質比較には、すでに報告済の平成15-16年度のデータ¹⁰⁾を用いた。榎野川の約12年間に測定した各データは1から9の流域別(ポイント別)に月1回測定した結果を年度

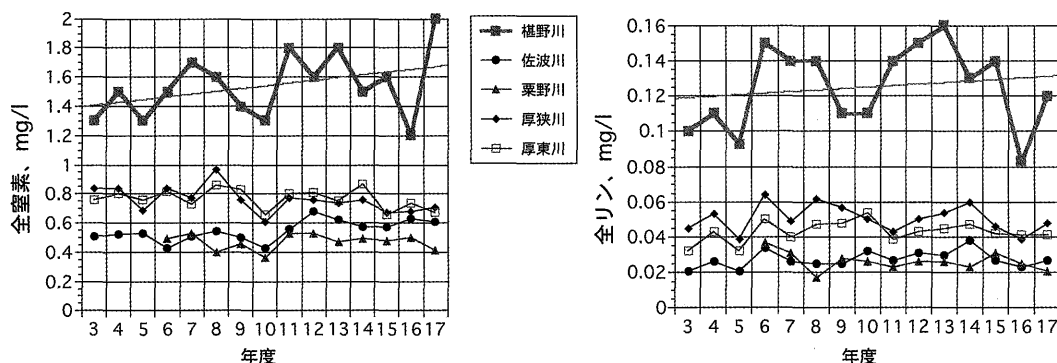


図5 全窒素及び全リンの経年変化の結果

毎に平均値を算出した。各項目について、流域別及び年度別の平均値、最小値、最大値、及び標準偏差値を求めたが、本報告では主として平均値の流域別変動及び経年変化を図で示しその結果を考察することにした。

3-2-1 水温、pH 及び溶存酸素(DO)

図6に平成6年度から平成17年度に測定された、榎野川の水温、pH 及び DO の流域別及び経年変化の結果を示した。水温は水の素性を示す一つの重要な因子である。水温は気温に影響を受けやすく、水温が上がると、水中の溶存酸素濃度が低くなり、河川中の生物や自浄作用に影響を与える¹⁵⁾。榎野川の流域別(ポイント別)の年間平均水温は当然ながら下流に向かうにつれて、若干上昇する傾向が見られた。5ポイントの井出ヶ原は仁保川からの流入により、水温が上昇したものと考えられる。また、12年間の経年変化では明らかに水温が低下傾向にあることがわかる。しかし、榎野川の12年間の平均水温は20.9℃であり、また平成15-16年度の2年間の同期間に測定した結果では榎野川、佐波川、栗野川、厚狭川、厚東川の平均水温はそれぞれ19.0、17.2、16.9、16.6、17.5℃で榎野川の水温が若干高い値を示した。また、平成17年度の榎野川及びその支流4河川の測定値平均は、榎野川18.9℃、仁保川19.8℃、一の坂川19.4℃、吉敷川18.5℃、四十八瀬川16.8℃となり、仁保川と一の坂川が榎野川より高かった。

pH は水素イオン濃度の逆数の常用対数として定義される。日本の河川のpHは、通常7前後である¹⁹⁾。pHは主に流域の地質に起因する。また、水温の上昇による水素イオンの解離の増加や植物プランクトンの光合成による二酸化炭素の減少、バクテリアによる動植物の遺骸の分解などによっても変動するとされている¹⁸⁾。

図6のpHの流域別変化の結果は下流に行くにつれて上昇傾向を示した。8及び9ポイントでのpHの上昇は支流の吉敷川、四十八瀬川の影響によるものと考えられる。ちなみに、平成17年度の榎野川及びその支流4河川の測定値平均は、榎野川6.88、仁保川6.93、一の坂川7.53、吉敷川7.19、四十八瀬川7.30であった。pHの経年変化については平成9年度に低い値を示したが、その後回復している。本データは各流域間の平均値であり、環境白書の結果と少し異なっているが、同様に若干上昇傾向にあることがわかる。また全平均値は7.1であり、環境白書の7.6と比べて低い値であったが、これは上流の低い値によりその平均値が影響を受けたものと考えられる。

溶存酸素(DO)は水中に溶解している酸素の量のことであり、水温が上昇すると酸素の溶解量が減少するため値が小さくなる。また、水草や植物性プランクトンの光合成によって発生する酸素にも左右される。一般に溶存酸素が多ければ水中の微生物の活動が活発になり、河川の自浄作用が高まるとされている¹⁸⁾。図6のDOの流域別変化の結果では、その変化状況は下流に向かうにつれ若干の減少がみられた。微生物などが水中の酸素を消費していることが主な原因として考えられる。また経年変化では平成9年度と14年度に低い値、平成11年度に高い値を示したが、流域間での大きな変化はみられなかった。全平均値は9.4であり、環境白書のデータと同じ値であった。

3-2-2 全有機炭素(TOC)、導電率、紫外吸光度、及び界面活性剤濃度

図7に榎野川のTOC及びの導電率の流域別及び経年変化の結果を示した。TOCは有機物の存在を、また導電率は無機イオンの存在を表している。TOCは水中

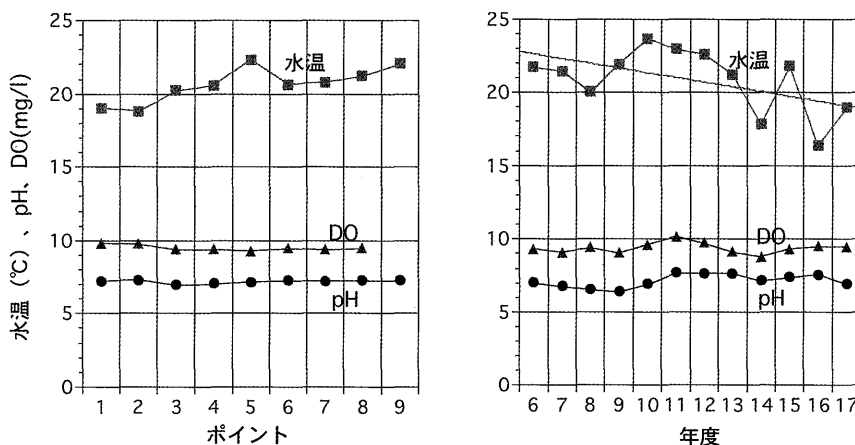


図6 水温、溶存酸素、及びpHの流域別及び経年変化の結果

に存在する有機物中の炭素全量のことである。有機物にのみ含まれる炭素の量を測定できるため試料中の有機物の全量を知ることができ、河川の有機物による汚濁の程度を表す一つの指標として用いられている¹⁸⁾。今までは有機物の量を測定する方法として、BOD（生物化学的酸素要求量）やCOD（化学的酸素要求量）が用いられてきたが、有機物であっても、バクテリアが捕食しにくいものや薬品が酸化しにくいものは、BODやCODでは十分に測定できない²⁰⁾。有機物をより正確に示す指標にTOCがあり、水道法の基準として採用されている。このように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も測定のため、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。TOCの流域別グラフでは、樫野川の3ポイント目で上昇し、その後ほぼ一定の値を示した。支流である仁保川、一の坂川、吉敷川、四十八瀬川が樫野川に流入すると、支流の値が樫野川より高い場合は、樫野川の値が上昇し、低い場合が流入後、樫野川の値が減少しており、支流と本流に連動性がみられる。また、平成17年度の5河川の測定値の平均は、樫野川 3.53 mg/l、仁保川 3.47 mg/l、一の坂川 3.22 mg/l、吉敷川 3.31 mg/l、四十八瀬川 3.34 mg/l となり、ほぼ同じ値を示した。水道法による基準ではTOCは5 mg/l以下であることとされているが²¹⁾、全ての測定値でこの基準を満たしている。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、今回の結果では樫野川はやはり中流域で大きな値を示した。経年変化の結果では平成8-10年度で上昇したが、その後減少傾向を示した。

導電率は電気の流れやすさを示す数値で水中に含まれる無機イオンである陽イオン、陰イオンの合計量の目安になる。導電率が高いほど溶存イオンの量も多く、水中に様々な物質が混入して汚れていると考えることができる。河川での平均的な値は0.10 mS/cm程度である¹⁷⁾。また、生活排水や工場排水などに多く含まれるため、汚染の指標として使われてい。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²¹⁾。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7の導電率の流域別グラフをみると、ポイント2で減少し、さらに3、4ポイント目で増加し、6、7ポイントでは、若干の減少がみられた。樫野川より導電率が低い仁保川や一の坂川が流入したことや下水道設置率などが、原因の一つとして考えられる。9ポイント目で、測定値が急上昇（0.211 mS/cm）しているが、9ポイント目は海に近いため、海水が混入し、電解質の量が増加し、測定値が上昇したものと考えられる。また平成17年度の5河川の各測定値の平均は、樫野川 0.151 mS/cm、仁保川 0.153 mS/cm、一の坂 0.098 mS/cm、吉敷川 0.125 mS/cm、四十八瀬川 0.0987 mS/cm となった。導電率だけをみると、一の坂川、四十八瀬川が低い値を示した。経年変化の結果は平成9年度及び17年度に高い値を示しているが、ほぼ横這い状況である。後に示す溶存イオンの結果のグラフを見ると、一部の結果を除き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。下流では各支流からの各イオン性物質が流入しているものと考えられるが、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。

図8に紫外吸光度の流域別及び経年変化の結果を示した。紫外吸光度は有機物質による紫外線吸収を利用したものである。ある種の有機物（主に検出されるの

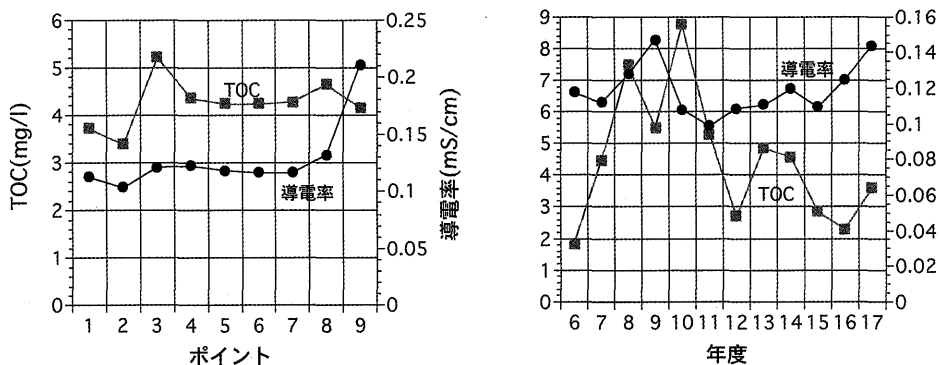


図7 導電率及び TOCの流域別及び経年変化の結果

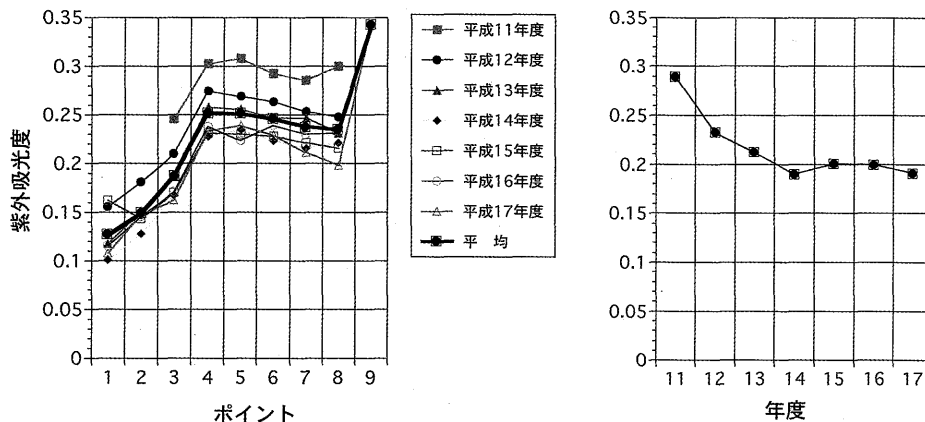


図8 紫外吸光度の流域別及び経年変化の結果

は、硝酸や亜硝酸であり、これらの主に人的汚染と考えられている。)は紫外領域に吸収を持つことから有機物の含有する試料水に紫外光を照射させると吸収が起こり、試料水を透過する紫外光が減少する。この吸光度を計測することによって試料水中の有機物を計測することができ、有機物汚染の程度を推定することができる¹⁹⁾。図8の紫外吸光度の流域別変化では各年度及びその平均値を示した。明らかに樺野川では4、5ポイントまで上昇した後、8ポイント目にかけて若干減少し、9ポイント目で急上昇した。中流域では、4つの支流と合流しており、このことが8ポイント目までの若干の減少との関係があると思われる。平成17年度の5河川の測定値平均では、樺野川 0.207、仁保川 0.194、一の坂川 0.138、吉敷川 0.205、四十八瀬川 0.132 となった。平均値では、樺野川と仁保川及び吉敷川で高い傾向がみられ、一の坂川や四十八瀬川は低い値となった。上記したように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。またCODやTOCとよい相関があり、水中の有機物含量の指標として有用であると考えられている。平成11年からの紫外吸光の経年変化の結果では図8の右図のようにその変化状況は漸次減少しその後横這い状態を示した。

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。陰イオン界面活性剤は合成洗剤の主成分である。生活排水や工場排水などの混入に由来し、高濃度に含まれていると泡立ちの原因になり、生態系に悪影響を及ぼす。人為的汚染の代表的な物質である。自然界では、分解されにくいものが多

い。従来使われていた側鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム (ABS) に変わって、より微生物に分解されやすい直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム (LAS) を始め、多様化してきている。LASは生物に対する毒性が強く、多量の流入は、魚の窒息死などの原因になっている。従来の合成洗剤には助剤としてリン酸塩が使われていたが、無リン化によって現在の合成洗剤にはほとんどリン酸塩は含まれていない。しかし最近では界面活性剤の中に素素やリンなどを含むものが増えてきており、富栄養化の原因の一つとして考えられている¹⁸⁾。近年の水質汚濁の大切な指標である。しかし、今回の定量方法では陰イオン性界面活性剤の量のみであり、近年洗剤に含まれている非イオン性界面活性剤等の定量は出来ない。

図9に界面活性剤濃度の各年度別平均値及び12年間平均値を示した。図より明らかなように、各年度により若干パターンが異なるが、樺野川では3、4ポイント目まで測定値は上昇した後、減少し下流でまた上昇傾向を示した。いわゆる山形の曲線が見られた。すなわち樺野川の界面活性剤洗剤のポイント別では、上流のポイント3、4で最大値を示し、下流よりも中流の方が高い値を示した。この流域別の特徴は下流で仁保川と一の坂川の支流が合流して希釈されるからと考えられるが、樺野川を取りまく環境を考えてみると、中流域では、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、中流域のほうが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、家庭排水が直接樺野川に流入することも多く、これに対し、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。しかしながら、界面活性剤濃度の経年変化の状況を見ると平成6年以降、変動はあるものの、減少傾向を示した。平成17年度の5河川の測定値の平均は、榎野川 0.0058 mg/l、仁保川 0.0031 mg/l、一の坂川 0.0024 mg/l、吉敷川 0.0062 mg/l、四十八瀬川 0.0018 mg/l となった。陰イオン界面活性剤の平均値では、吉敷川が一番高い値を示した。これは、この川の近辺より流入する家庭排水に加え、工場排水等が影響しているものと考えられる。水道法による水質基準項目では、陰イオン界面活性剤 0.2 mg/l 以下であることとされているが²¹⁾、全ての測定値でこの基準を超える値は検出されなかった。しかし、現在使用されている合成洗剤は、非イオン性界面活性剤が増えつつある。今後は陰イオン性界面活性剤の量とともに、非イオン性の界面活性剤も監視していく必要がある。

3-2-3 全窒素及び全リン

全窒素とは水中に含まれるアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素の無機性窒素及びタンパク質、アミノ酸、ポリペプチド、尿素等有機性窒素の総量のことである²²⁾。水中の窒素化合物は好気的環境下では好気性微生物の働きにより溶存酸素を消費しながら、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素に酸化され、最終的には硝酸態窒素の形で安定する。しかし多量の窒素化合物が流入すると溶存酸素の消費に大気等からの酸素供給が追いつかず、溶存酸素不足の状態となる。溶存酸素が欠乏すると嫌気性微生物が活動するようになりアンモニアなどに分解される。また嫌気性環境下では脱窒菌によって一部の硝酸態窒素が窒素に還元され、窒素は大気中に回帰することが知られている。動植物の成長に欠かせない窒素は、動物の死骸または土壌から

の溶出などによって河川水中に供給される。また近年では生活排水、工場排水、肥料などの人為的原因で河川に流入してくるものも多く、富栄養化の直接的な原因となっている¹⁸⁾。全リンはリン化合物の総称である。水中のリン化合物には、地質由来のものや動植物等の生物由来のものがあるが、その形態は微生物の活動や化学的作用を受けて変化しやすい。化学形には正リン酸、メタリン酸、ピロリン酸等の無機リン酸、農薬、リン酸エステル、リン脂質等の有機態リン化合物があり、溶存または懸濁状態で水中に存在している²²⁾。自然水中に含まれるリン化合物の供給源としては岩石や土壌からの溶出、動植物の死骸または排出物中の有機態リンの分解などがあるがそれらは少量であり、多くは生活排水や肥料などの人為的原因で河川に流入してくると考えられる。リン化合物は、動植物の成長に欠かせないものであるが、過多すぎると富栄養化につながる¹⁸⁾。現在、深刻な問題になっているところもある。また、全窒素及び全リンは下水処理では約40%の除去率²⁰⁾で、残りは排出されてしまうため、新たな処理方法が求められている。

図10は、榎野川的全窒素及び全リン濃度の流域別変化を表している。平成16-17年度の2年間の平均値である。これらの項目は上記したように生活排水等の人為的な要素が大きい。全窒素は、明らかに4ポイントまで急激に増加し、その後その値は若干上昇しほぼ横這い状態を示した。また図には示していないが、9ポイント目の昭和橋の平成17年度の平均値は 1.41 mg/l と急激に上昇した。この値は環境白書の百間橋のデータとほぼ同じである。また平成17年度の5河川の各測定値の平均は、榎野川 0.44 mg/l、仁保川 0.32 mg/l、一の坂川 0.22 mg/l、吉敷川 0.32 mg/l、四十八瀬川 0.22 mg/l となった。一の坂川、四十八瀬川の値より、榎野川の

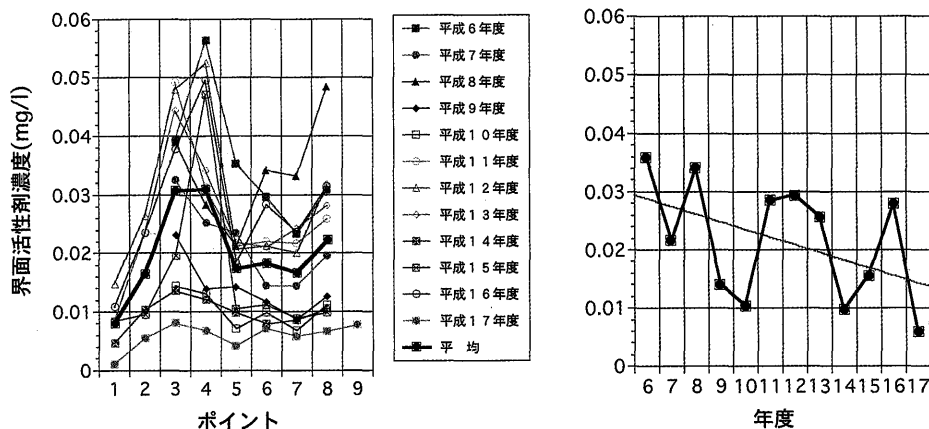


図9 界面活性剤濃度の流域別及び経年変化の結果

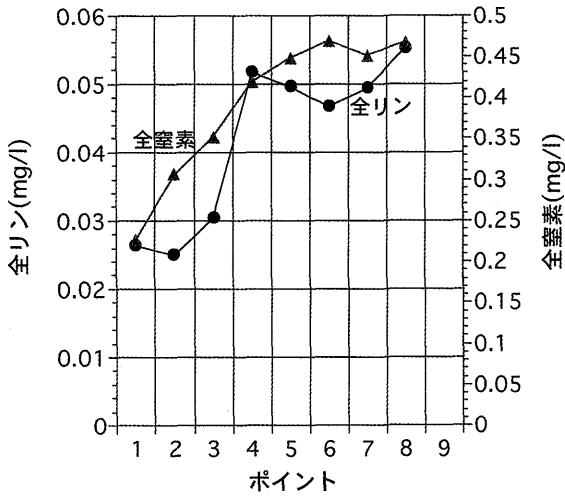


図10 全窒素及び全リン濃度の流域別変化の結果

ほうが高い傾向がみられた。全体的に他の4河川と比べて榎野川が高い値を示し、環境白書の結果からも汚染が進行しているものと思われる。

また全リンは全窒素とよく似たパターンを示し、やはり4ポイントまで吸上昇してその後若干減少し、また増加する傾向を示した。9ポイント目の平成17年度の平均値は0.20 mg/lで、全窒素と同様に急上昇した。また平成17年度の5河川の全リンの各測定値の平均は、榎野川 0.055 mg/l、仁保川 0.051 mg/l、一の坂川 0.031 mg/l、吉敷川 0.064 mg/l、四十八瀬川 0.012 mg/lとなった。全リンの平均値だけみると、一の坂川、四十八瀬川が低く、特に四十八瀬川が低いという結果になった。

図10の全窒素及び全リンの流域間でのパターンは界面活性剤、紫外吸収度、硝酸イオンでも認められ、両者の相関性は高いと思われる。榎野川は流下する過程で非常に多くの窒素流入を受け、自浄機能が他の河川より小さいと考えられる。

3-2-4 溶存イオン濃度

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11はイオンアナライザーにて測定した榎野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12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)、カルシウムイオン(Ca)、及びマグネシウム(Mg)、の項目毎に流域別の平均値をグラフに表したものである。

自然水は常に多少の塩化物イオンを含んでいるが、

これは地質に由来するもので、特に海岸地帯では海水や送風塩の影響によることが大きい²³⁾。しかし、塩化物イオンは下水、家庭排水、工場排水およびし尿などやこれらが処理された水の混入によっても増加する。一般家庭で食塩(NaCl)は調味料などとして必要以上に使用され、食塩に含まれている塩素が水に溶解し塩素イオンとなり、洗浄する台所などから排出されたり、し尿や汗にも含まれる。また、化学工場では、多量の食塩を用いて種々の化学薬品を作る等、種々の産業で使用され、工業廃水となって排出される。これらが地下水や河川に溶け込み、塩素イオン濃度が上昇したりもする。

図11の結果から明らかなように、榎野川の塩化物イオンの流域別平均値は7.25から10.68 mg/lであり、上流から下流に行くにつれて8ポイント目までは直線的に上昇した。また図には示していないが9ポイント目では47.68 mg/lと急激に増加した。後述するように、ナトリウムイオン、カリウムイオン、マグネシウムイオンも同様の傾向を示した。これは中流域に住宅地が集中しているため、そこから流れ込む生活排水などが原因であると考えられる。また、中流域から下流域にかけて仁保川、一の坂川、吉敷川、四十八瀬川などが合流しているため、これら支流との関連性も考えられる。9ポイント目の急上昇は海が近いこと、海水も影響していると考えられる。平成17年度の榎野川及び仁保川、一の坂川、吉敷川、四十八瀬川の塩化物イオン濃度の平均値はそれぞれ、12.9、10.9、6.83、8.13、7.90 mg/lであり、榎野川が1番高く、一の坂川が1番低い結果となった。経年変化の結果は平成10年に最大値を示したが、その後減少し、平成17年度に他の陰イオンと同様に若干上昇した。

前述したように塩化物イオンは、人為汚染による影響を最もよく表している。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。その他温泉及び火山からの供給も考えられるが、人為汚染による影響も大きく、我々人間は食塩としてかなりの量を摂取しており、特に人口の多い都会の井戸水や河川などに塩化物イオンは多く検出される。しかし5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。また榎野川の上昇率が一番高い値を示しているのが興味深い。

硝酸性窒素は水中では硝酸イオンとして存在してい

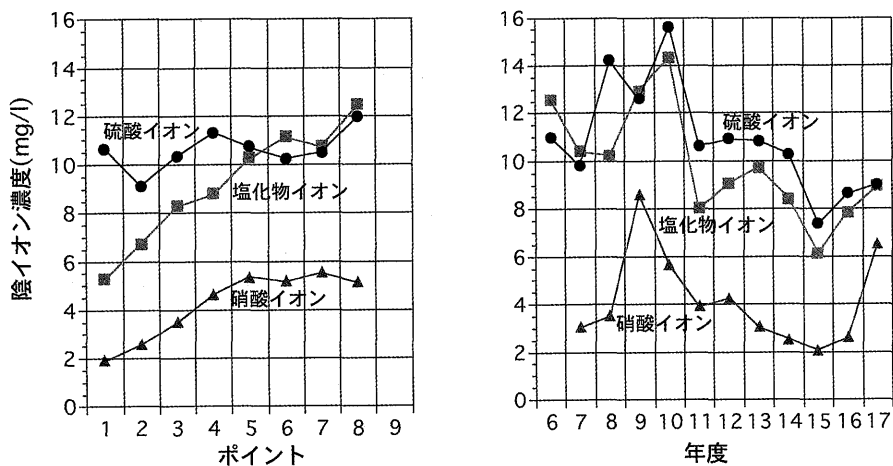


図11 陰イオン濃度の流域別及び経年変化の結果

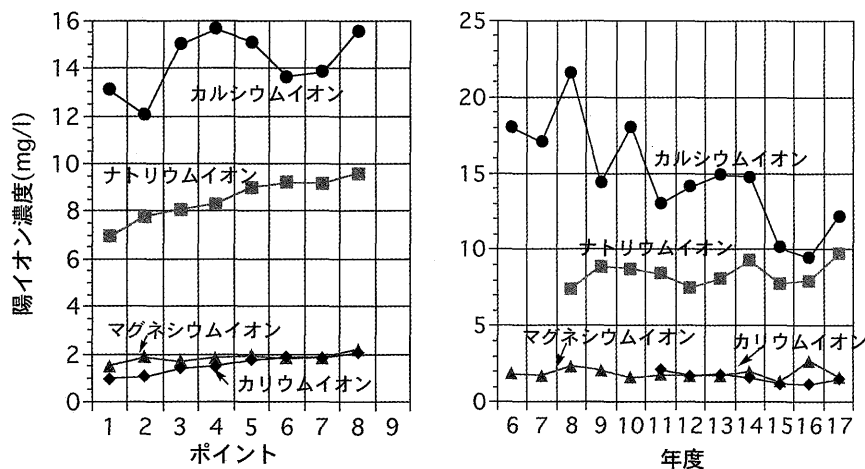


図12 陽イオン濃度の流域別及び経年変化の結果

る。硝酸イオンは有機および無機の窒素化合物の最終的酸化形で富栄養化の原因となり、あらゆる場所の土壌、水、野菜を含む植物中に広く、かつ相当量存在する。硝酸性窒素自身はそれほど有害なものではないが、水中に硝酸性窒素が多量に存在することは、その水が過去において窒素系物質による汚染を受けたことを示すもので、水の履歴を示す指標として重要である。主な汚染源としては、肥料の使用、腐敗した動植物、生活排水、陸上処分された下水汚泥、工場排水、ごみの残りかす、すすなどの微粒子を含んだ空気の水浄水などである。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と思われる。一般的には、全窒素や、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素として測定されている。溶存イオン中の硝酸イ

オンと亜硝酸イオンはイオンアナライザーで精度良く測定できる。しかし今回の測定では亜硝酸イオンはほとんど検出されなかった。

図11に示されたように、榎野川の硝酸イオンの流域別平均値は1.91 から 5.53 mg/lであった。5ポイント目まで上昇した後、8ポイント目にかけてほぼ横這い状況であった。塩化物イオンと同様に9ポイント目で急上昇した。この傾向は全窒素や紫外線吸収の結果とよく似ており、両者の相関性は高いと思われる。榎野川は流下する過程で非常に多くの窒素流入を受け、自浄機能が他の河川より小さいと考えられる。平成17年度の榎野川及び仁保川、一の坂川、吉敷川、四十八瀬川の硝酸イオン濃度の平均値はそれぞれ、6.91、6.96、5.39、6.88、4.25 mg/lであり、榎野川、仁保川及び吉敷川でほぼ同程度の値を示した。経年変化の結果では、その変化状況は塩化物イオンと同様に平成9年にピー

クを示しその後減少しているが、平成17年度にまた上昇した。

硫酸塩は地殻中に広く分布しており、これが溶けて硫酸イオンとなるため、自然水中には常に多少の硫酸イオンが含まれている。これは主に地質に起因するが、化学肥料、硫黄泉、鉱山排水、工場排水、し尿を含む下水排水および海水などの混入により増加することもある。また、浄水処理において凝集剤に硫酸アルミニウムを使用すると若干増加する。海水は多量の硫酸イオンを含むので、河川の干潮域では濃度が高くなる。また、大気中でも石炭や石油などの化学燃料の燃焼により生じる硫黄酸化物や窒素酸化物が硫酸塩や硝酸塩に変化し、雨水に溶け込んでいるため、河川水の硫酸イオンや硝酸イオンに影響を与えているとも考えられる。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おり、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。

樺野川の硫酸イオンの流域別平均値は9.0から11.7 mg/lであり、他の河川より高い値で推移しているが、その上昇傾向は低く、人工的な影響はあまり受けておらず、自然界からの流入であると考えられる。また、経年変化では平成10年にピークを示したが、その後減少傾向である。平成17年度の各5河川の測定値の平均では、仁保川が最も高く、11.5 mg/lであった。樺野川も9.03 mg/lで同じくらい高い値となった。最も低かったのは四十八瀬川で5.47 mg/lであった。

陽イオンのうち、ナトリウムイオンは淡水の主成分で、岩石や土壌からの溶出、大気中の海塩粒子およびそれを核とする雨水などに起因して、一般の河川水中に1-10 mg/l²⁴⁾程度含まれている。海水、工場排水の混入、温泉水、生活排水の流入、水処理時の苛性ソーダによるpH調整などに由来することもある。ナトリウムイオンは土壌への吸着力が弱いので、地下水と土壌粒子とのイオン交換によって放出されやすく、地下水は流れるにしたがってナトリウム分が増加する傾向がある。ナトリウムイオンは海からの風送塩と雨水、岩石・土壌の溶出、及び海水・温泉からの流入が考えられる。また塩素イオンと同様に生活排水に起因する人為汚染による影響も大きいと考えられる。

図12の樺野川のナトリウムイオンの流域別平均値は7.54から9.61 mg/lであり、上流から下流にいくにつれ

て上昇した。平成17年度の仁保川、一の坂川、吉敷川、四十八瀬川においても上流から下流にいくにつれて上昇した。各平均値はそれぞれ、13.1、13.2、6.88、9.03、6.77 mg/lであった。また、経年変化のグラフでは、年度であまり変化がなく、ほぼ横這い状況を示した。

図11、図12より、経年変化、ポイント別変化ともに、ナトリウムイオンは塩化物イオンと同じ傾向を示していることがわかる。よって、これは生活排水や工場排水に含まれる塩化ナトリウムによる人為汚染の可能性が高いといえる。

カリウムイオンは淡水中にごく普通にみられる成分であるが、比較的微量で一般の河川では0.5~3 mg/l²⁴⁾、海水で391 mg/l²⁵⁾程度といわれている。カリウムイオンは岩石や土壌に強く吸着されるので、ナトリウムイオンよりはるかに溶出しにくいといわれている。人為的な汚染源としては工場排水や肥料などが考えられる。カリウムイオンは河川水にはわずかしこ含まれておらず、その主な起源は岩石・土壌にあるものと思われる。しかし、カリウムは3代栄養素でもあり、肥料中にも多く含まれている。図11に示しているように樺野川の流域別平均値は0.98から2.05 mg/lであり、その濃度は低いが上流から下流にいくにつれて増加することがわかった。平成17年度の各5河川の測定値の平均は、樺野川で1.75 mg/lであり、仁保川が1.85 mg/lで最も高かった。最も低かったのは四十八瀬川で0.716 mg/lであった。また、経年変化の結果では、年度間であまり変化がなく、ほぼ横這い状況を示した。

カルシウムイオンは淡水のもっとも重要な主成分であるが、日本では一般に含有量が少なく、通常5~20 mg/l²⁴⁾程度である。カルシウムイオンを支配する最大の因子は地質であって、石灰岩を含む地層あるいは鍾乳洞からの水は多くのカルシウムを含むのに対して、火成岩地域からの水はカルシウムが少ないのが普通である。

日本ではカルシウムの起源としてはケイ酸塩が最も多く、炭酸塩がそれにつぎ、硫酸塩に由来するものは少ないと考えられている。炭酸カルシウムは二酸化炭素を含む水には容易に溶けるのに対し、ケイ酸は溶けにくいので、一般に多くのカルシウムが淡水中に見出される場合は、炭酸塩の存在あるいは温泉・鉱泉の混入を推定することができる。また、石灰は水処理剤などとして用いられることが多いので、人為的な負荷による場合もある。

図12に示すように、樺野川のカルシウムイオンの流域別平均値は12.6から15.6 mg/lであった。中流の4ポイント目と下流の8ポイント目で高い値を得たが、全

体的にその上昇傾向は低い。榎野川は支流4河川よりも高い値で推移した。支流4河川は上流から下流にいくにつれて値が増加した。17年度の各5河川の測定値の平均では、榎野川が12.7 mg/lで最も高く、次いで仁保川の9.70 mg/lであり、一の坂川が6.48 mg/lで最も低かった。経年変化の結果ではその変化状況は唯一減少傾向が見られた。

ほとんどの陰イオン、陽イオンで上流から下流に向かうにつれて、増加もしくは一定値を保つ傾向がみられた。溶存イオンは、有機物と違って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したものと考えられる。

水中のマグネシウムイオンは主として岩石土壌の風化に起因し、淡水では一般に1~5 mg/l²⁰⁾程度含まれている。しかし海水中には多量に含まれているので、海水の影響の大きいところでは、塩化物イオンとともにマグネシウムイオンが多量に混入する可能性がある。また、鉱山排水、工場排水、温泉などに由来することもある。

図12の榎野川のマグネシウムイオンの流域別平均値は1.59から2.12 mg/lであった。上流から下流にいくにつれてわずかに上昇した。平成17年度の支流4河川も上流から下流にいくにつれてわずかに上昇した。平成17年度の各5河川の測定値の平均では、榎野川が1.88 mg/lで最も高く、仁保川が1.48 mg/lで最も低かった。各河川で平均値に大きな違いはみられなかった。経年変化の結果においても各年度であまり変化なく、ほぼ一定値を示した。マグネシウムイオンは人工的な影響は少なく、自然界からの流入であると考えられる。

図11と図12の結果から、若干のばらつきがあるが、かなりの溶存イオンが下流に向かうに従いほぼ一定か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。

表2 榎野川及び支流4河川の水質^{a)}

	水温 (°C)	pH	導電率 (mS/cm)	DO (mg/l)	紫外吸光度	TOC (mg/l)	界面活性剤 (mg/l)	全リン (mg/l)	全窒素 (mg/l)
榎野川	18.9	6.88	0.151	12.5	0.207	3.53	0.0058	0.055	0.44
仁保川	19.8	6.93	0.153	13.8	0.194	3.47	0.0031	0.051	0.32
一の坂川	19.4	7.53	0.098	13.8	0.138	3.22	0.0024	0.031	0.22
吉敷川	18.5	7.19	0.125	10.8	0.205	3.31	0.0062	0.064	0.32
四十八瀬川	16.8	7.30	0.099	11.3	0.132	3.34	0.0018	0.012	0.22

a) 平成17年度平均値

3-2-5 榎野川及び周辺河川の河川成分の比較

表1に山口県内周辺河川及び榎野川水系5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。日本の平均河川では陽イオンについてはカルシウムイオンが最も多く、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。榎野川、仁保川、一の坂川、四十八瀬川、及び吉敷川の5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化物イオン及び硫酸イオンが日本の平均値より高い値を示した。5河川の比較では、全体的に榎野川と二保川の値が大きく、特にナトリウムイオン、カルシウムイオンは仁保川、榎野川、一の坂川の順であった。さらに、榎野川及び仁保川のカルシウムイオンが多く、一の坂川と四十八瀬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。また、各河川はそれぞれ特徴があるが、厚狭川と厚東川のカルシウムイオンは他の河川と比べても大きく、これは秋吉台周辺を水源としているためである。

表1 県内主要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	SO ₄
榎野川 ^{a)}	8.7	1.6	1.9	13.9	9.9	10.9
仁保川 ^{b)}	11.0	1.9	1.5	10.3	9.9	11.4
一の坂川 ^{b)}	7.6	1.2	1.6	6.9	6.7	5.6
四十八瀬川 ^{c)}	6.8	0.7	1.6	6.8	7.9	5.5
吉敷川 ^{c)}	9.0	1.3	1.7	9.5	8.1	5.7
粟野川 ^{d)}	9.4	1.0	2.4	12.5	8.9	5.7
厚狭川 ^{d)}	9.4	1.1	2.7	23.1	8.9	10.3
厚東川 ^{d)}	6.7	1.0	1.8	22.9	7.2	5.7
佐波川 ^{d)}	6.4	1.0	0.9	5.9	6.4	5.0
日本平均河川 ¹⁸⁾	6.6	2.0	3.6	10.4	7.1	12.0
²³⁾	6.7	1.2	1.9	8.8	5.8	10.6

a) 平成6~17年度平均値

b) 平成13年度及び平成17年度の平均値

c) 平成17年度平均値

d) 平成15~16年度平均値

3-3 樺野川の流域別特徴と環境モニタリング

表2に平成17年度の水質調査で得られた樺野川及び支流4河川の各水質項目の平均値をまとめた。河川の特徴としては、樺野川の流域別では、ほとんどの項目で測定値が右肩上がりで上昇するのではなく、4・5ポイント目まで上昇した後、7・8ポイント目まで高い値を保ち、9ポイント目で急上昇するという特徴がみられた。これは中流域に住宅地が集中していることや下水道の普及など様々な影響が関係しているためと考える。また中流域から下流域にかけて仁保川、一の坂川、吉敷川、四十八瀬川などの支流が合流しているため、これら支流との関連性も考えられる。

支流の特徴として、データには示していないが、仁保川は1ポイント目から3ポイント目にかけて上昇する傾向がみられた。吉敷川はすべての項目ではないが、2・3ポイント目で値の急上昇がみられた。一の坂川、四十八瀬川では、測定値はほぼ横ばいになり、大きな変動はみられなかった。各5河川間を比較すると、樺野川、仁保川、吉敷川は全体的に高い値を示し、一の坂川、四十八瀬川は全体的に低い値を示した。また、樺野川、支流ともに上流から下流に向かうにつれて値が上昇している項目が多くみられた。

仁保川では導電率、ナトリウムイオン、カリウムイオン、硝酸イオン、硫酸イオンなどが高かった。これは仁保川の上流域には田畑が多くみられ、中流域、下流域には住宅地や商業施設が密集しているため、そこから流れ込む化学肥料や生活排水、工場排水が原因であると考えられる。また、仁保川は測定値のほかに、流量が一の坂川、吉敷川、四十八瀬川より多いことから、仁保川の流入は他の支流よりも影響力が大きいといえる。

吉敷川では界面活性剤、全リン、全窒素の値が高かった。これらは富栄養化の原因となる物質である。吉敷川沿いには住宅地が多いことや3ポイント目付近に工場があるため、そこから流れ込む生活排水や工場排水が影響していると考えられる。

樺野川では紫外吸光、TOC、全窒素、マグネシウムイオン、塩化物イオンなど多くの項目で高い値を示した。樺野川は中流域から下流域にかけて高い値を保つ傾向がみられた。その要因として支流の流入、人口の集積、下水道整備の遅れなどが考えられる。

仁保川、吉敷川の測定結果や周辺環境の様子から、樺野川は支流の合流により汚染が進みやすい状況にあるといえる。一の坂川、四十八瀬川はそれぞれ上流から下流にかけて測定値がほぼ横ばいであり、他の河川

と比べて低い値で推移していたことなどから本流に対する影響は仁保川、吉敷川より小さいと考えられる。

下水道整備の遅れも人為的汚染の大きな要因である。山口市（旧山口市）の下水道の普及率は53.8%²⁶⁾であり、家庭排水が直接流入している地域もまだ多いといえる。このため、下水道や合併浄化槽の普及率を高め、水質の向上をはかることが今後必要である。また、下水処理では除去が難しいとされているリンや窒素についても新たな処理方法の開発が求められる。

さらに、上述したように樺野川の中流域での水質の変化状況をさらに詳細に検討するため、平成6年度から平成17年度の上流域の入野橋（ポイント1）、中流域の東山橋（ポイント4）、及び下流域の八方ヶ原橋（ポイント8）での界面活性剤濃度、紫外吸光度、及び塩化物イオン濃度の経年変化の結果を比較検討した。

図13に各流域間での界面活性剤濃度の経年変化の結果を示した。各年で測定値が上下して逆転しているところがあるが、その変化状況は上流のポイント1や下流域のポイント8に比べ中流域のポイント4が高い値を示していることは明らかである。ポイント1とポイント4の平均値はそれぞれ、0.0080 mg/lと0.0308 mg/lであり、約4倍近い差が認められた。樺野川を取りまく環境を考えると、上中流域では、下流域に比べ、民家数も少なく、その分農作地が多い。河川成分の性質からして、上中流域のほうが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3、4である山口市宮野地区には、まだ下水道が完全に普及しておらず、家庭排水が直接樺野川に流入することも多く、これに対し、下流域では下水道も普及しており、家庭排水が直接樺野川に流入することも少ないはずである。

図14に紫外吸光度の経年変化の結果を示した。上流のポイント1や下流域のポイント8に比べ中流域のポイント4がかなり高い値を示していることは明らかで

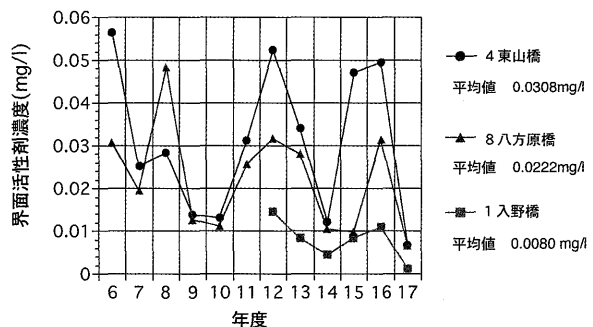


図13 界面活性剤濃度の流域別経年変化の結果

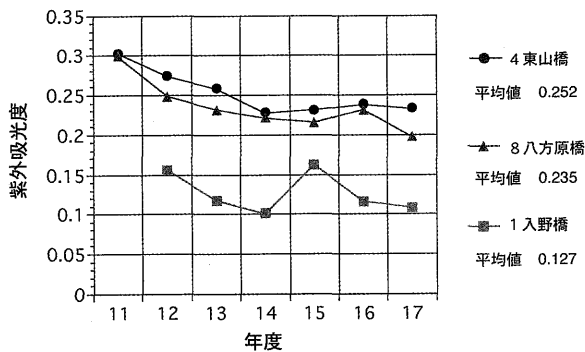


図14 紫外吸光度の流域別経年変化の結果

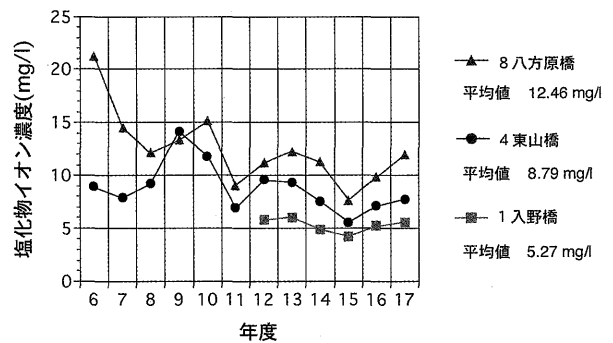


図15 塩化物イオン濃度の流域別経年変化の結果

ある。ポイント1とポイント4の平均値はそれぞれ、0.127と0.252であり、この場合は約2倍の差が認められた。界面活性剤の濃度変化の結果と併せて、3-5の中流域の汚染が進んでいるものと思われる。また、図11に示した、硝酸イオンの流域別変化もポイント4で急激に上昇しており、よく似た傾向を示した。

図15に塩化物イオン濃度の経年変化の結果を示した。各年で測定値が上下しているところもあるが、上流のポイント1や中流域のポイント4に比べ下流域のポイント8がかなり高い値を示していることは明らかである。ポイント1とポイント8の平均値はそれぞれ、5.27 mg/lと12.5 mg/lであり、約2.4倍程度の差が認められた。ナトリウムイオンも塩化物イオンほど急激ではないが下流に行くにつれて上昇する傾向を示しており、上述したように人間が生活に用いている塩化ナトリウム (NaCl) による人為汚染の可能性が高いと考えられる。

榎野川を取りまく環境を考えてみると、上中流域では、下流域に比べ、民家数も少なく、その分農作地が多い。河川成分の性質からして、上中流域のほうが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、上中流域での水質への負荷が大きい可能性が示唆された。これには、住宅の密集や下水道の未普及、及び調査河川に流入する小さな支流が農業用水としての役割を果たすと同時に生活に根付いた利用をされている場合が多いと考えられる。ポイント4である山口市宮野地区には、まだ下水道が完全に普及しておらず、また住宅も増加しており、家庭排水が直接榎野川に流入することも多い。

現在、水質汚染の原因として生活排水が4分の3の割合を占めている¹⁾。榎野川においても生活排水などによる長期的な人為汚染の結果、近年、山口湾（榎野川河口部）では、浮泥の流入、生活排水対策の遅れに

よる富栄養化等により、ヘドロやカキ殻の堆積、アマモ場の減少がみられるなど、干潟生態系の改変・改質が生じている¹¹⁾。この原因は長期的な複合汚染によるものと考えられるが、今後、今後さらに支流を含めた榎野川の水質調査を継続し、現状を把握することが生活環境の改善のために必要であると考えられる。今回の水質調査の比較検討から、榎野川は支流の他の4河川より汚染がかなり進行しているものと考えられる。特に榎野川の中流域（ポイント4）以降の成分濃度の上昇は、住宅の増加や下水道の普及と関連があると考えられることから、下水道の早期の整備、及び支流の水質も含めた河川の水質汚染の対策が必要である。

3-4 結果のまとめ

榎野川を中心としてその支流及び山口県内周辺5河川の水質調査から、次のような結果が得られた。

1) 山口県環境白書の15年間の経年変化の結果から、榎野川、佐波川、栗野川、厚狭川、厚東川の周辺5河川のpHの平均値はそれぞれ7.6、7.7、7.5、7.7、7.8でありほとんど中性もしくは弱アルカリ性を示した。また、溶存酸素の5河川の平均値はそれぞれ9.4、10.4、9.5、9.1、8.9 mg/lであり、佐波川が一番高く、厚東川が一番低い値を示した。榎野川のBODは変化状況は他の河川より若干高いが平成6年をピークに減少傾向にある。5河川の平均値は1.4、0.8、0.7、1.1、1.1 mg/lであり、榎野川が一番高く、栗野川が一番低い値を示した。榎野川の平成17年度の平均値は0.8 mg/lであり、汚染度が大きいと言われている友田川、武久川や綾羅川の4.2、2.7、2.2 mg/lに比べた場合はかなり低い値を示した。

2) 榎野川の全窒素のこの15年間の平均値は1.54 mg/lであり、周辺河川の佐波川、栗野川、厚狭川、厚東川の0.55、0.47、0.76、0.77 mg/lと比べても、その濃度は2倍以上大きい。全リンの平均値はそれぞれ、0.125、

0.028, 0.026, 0.051, 0.043 mg/l と、この場合も樺野川は他の4河川と比べても約3倍程度大きく、全窒素と同様に大きな値を示した。生活排水対策の遅れによる富栄養化等により、汚染の程度は大きいと考えられる。

3) 樺野川の約12年間の界面活性剤濃度と紫外吸光度の流域別変化の結果は、それぞれよく似た状態を示した。紫外吸光度の流域別変化では4, 5ポイントまで上昇した後、8ポイント目にかけて若干減少し、9ポイント目で急上昇した。界面活性剤濃度の各年度別平均値では3, 4ポイント目まで測定値は上昇した後、減少し下流でまた上昇傾向を示した。いわゆる山形の曲線が見られた。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。

4) 全窒素及び全リンの流域別変化の結果では全窒素は、明らかに4ポイントまで急激に増加し、その後その値は若干上昇しほぼ横這い状態を示した。また全リンは全窒素とよく似たパターンを示し、やはり4ポイントまで吸上昇してその後若干減少し、また増加する傾向を示した。全窒素及び全リンの流域間でのパターンは界面活性剤、紫外吸光度、硝酸イオンでも認められ、両者の相関性は高いと思われる。樺野川は流下する過程で非常に多くの窒素流入を受け、自浄機能が他の河川より小さいと考えられる。

5) 溶存イオンのうち、樺野川の塩化物イオンの流域別平均値は7.25から10.68 mg/l であり、上流から下流にいくにつれて8ポイント目までは直線的に上昇した。ナトリウムイオンは経年変化、ポイント別変化ともに塩化物イオンと同じ傾向を示した。よって、これは生活排水や工場排水に含まれる塩化ナトリウムによる人為汚染の可能性が高いといえる。また、硝酸イオンは中流のポイント4で急激に上昇し、その後ほぼ一定値を示した。この傾向は紫外線吸収の結果とよく似ており、両者の相関性は高いと思われる。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分かった。

6) 山口県内周辺河川及び水系5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。日本の河川では陽イオンについてはカルシウムイオンが最も多く、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。各河川はそれぞれ特徴があるが、厚狭川と厚東川のカルシウムイオンは他の河川と比べても大きく、これは秋吉台周辺を水源としているためである。

7) 樺野川の上・中・下流域の1, 4, 及び8ポイン

ト目の界面活性剤濃度、紫外吸光度、及び塩化物イオン濃度の約6—12年間の経年変化を比較したところ、界面活性剤濃度では、1ポイントと4ポイントの平均値はそれぞれ0.0080, 0.0308 mg/l であり、約4倍近い差が認められた。ポイント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、家庭排水が直接樺野川に流入することが考えられる。紫外吸光度の6年間の経年変化では1ポイントと4ポイントの平均値はそれぞれ0.127, 0.252 であり、約2倍の差が認められた。界面活性剤の濃度変化の結果と併せて、樺野川の中流域の汚染が進んでいることが示唆された。

以上のような結果であるが、今回の12年間の調査では主として一部の河川成分の変動の大きい項目から、5河川の水環境の変化を比較検討したが、その結果のすべてを考察することは一般に困難であり、今後さらに調査を継続して追跡調査を行い、河川成分の長期的な経年変化を調査検討する必要がある。

現在、樺野川流域の保全をめざす取組みとして、上流域では森の再生やホテルの保護・増殖や一の坂川の環境保全に係わる諸活動、中流域では一の坂川河川再生事業や集落の資源・環境を守るための新たな対策、山口浄水センターの水処理施設の改築等、また下流域では樺野川河口干潟の再生に向けた取組みが試みられている²⁷⁾。

本研究の遂行にあたり、約12年間の水質調査に協力して下さった多くの卒業研究生の諸氏に感謝致します。特に平成15—16年度の山口県内主要河川の水質調査に協力頂いた大学院生の竹本香奈氏、及び平成17年度の樺野川及び支流4河川の水質調査に協力頂いた、伊藤華奈、佐古奈保美両氏に、また、佐波川の採水に協力頂いた消費生活アドバイザーの島添美葉子氏及び防府市立右田中学校の皆様は深く感謝申し上げます。本研究は平成11—12年度の山口県立大学大学院共同研究プロジェクト助成事業費、平成14—15年度山口県立大学研究創作活動助成事業費及び平成14—16年度イオン環境財団助成事業費により行なわれた。

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) 榎野川河口域・干潟自然再生協議会, 榎野川河口域・干潟自然再生全体構想 (2005), 平成15年度榎野川河口干潟調査結果概要
- 12) 伊原靖二, 山口女子大学家政学部研究報告, **21**, 77-81 (1995).
- 13) 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).
- 14) 伊原靖二, 山本剛士, 西川真代, 大深智美, 道場朋子, 山口県立大学生生活科学部研究報告, **28**, 27-33 (2002).
- 15) 伊原靖二, 今村主税, 山口県立大学生生活科学部研究報告, **29**, 17-25 (2003).
- 16) 伊原靖二, 竹本香奈, 今村主税, 山口県立大学大学院論集, **6**, 55-63 (2005).
- 17) 平成4年ー平成18年版山口県環境白書資料集, 山口県
- 18) 半谷高久, 小倉紀雄, 水質調査法 改訂2版, 丸善 (1985).
化学物質特性データシート, <http://www.jpccn.org/studyroom/lib/spds/detergent/LAS.html>
合成界面活性剤, <http://www.miotsukushi.com/cleaner/kaimen-kasseizai.htm>
- 19) 溝呂木昇・若林明子, 「公害防止管理者国家試験エッセンシャル問題集 水質編」, 社団法人 産業環境管理協会 (2001).
- 20) 五百井正樹, 「水汚染の構造」, 北斗出版 (1991).
- 21) 広島市水道局ホームページ, <http://www.water.city.hiroshima.jp/quality/basis/basis01.html>
- 22) 笹原理化学工業株式会社ホームページ, <http://www.krkjpn.co.jp/glossary/10.html>
- 23) 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).
- 24) 水質調査項目, <http://www1.river.go.jp/100308.html> (2006.2.19 ダウンロード)
- 25) 技術の情報BOX, <http://www.hrr.mlit.go.jp/hokugi/04/river/yougo08.html>
- 26) 山口県のホームページ, <http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/gyosei/toshi/gesui/yamaguchi-fukyu.html>
- 27) 榎野川・水環境だより, 第4号, 2006. 榎野川河口域。干潟自然再生協議会ニュースレター, NO.2, 2006, 榎野川河口域, 干潟自然再生協議会