

大和川の BOD, アンモニア態窒素, 陰イオン 界面活性剤濃度の季節変動とその原因 について

SEASONAL CHANGE AND ITS MECHANISM OF BOD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ AND
ANION SURFACTANT CONCENTRATION IN THE YAMATO RIVER

井伊博行¹・谷口正伸²・平田健正³・石塚正秀⁴・窪原拓馬²・伊勢達男⁵・宮川勇二⁶

Hiroyuki II, Masanobu TANIGUCHI, Tatemasa HIRATA, Masahide ISHIZUKA, Takuma KUBOHARA,
Tatsuo ISE and Yuji MIYAGAWA

¹正会員 博(理) 和歌山大学教授 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930)

²学生会員 和歌山大学大学院 システム工学研究科 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930)

³正会員 工博 和歌山大学教授 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930)

⁴正会員 博(工) 和歌山大学助手 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930)

⁵国土交通省近畿地方整備局兵庫国道工事事務所 (〒650-0042 神戸市中央区波止場町 3 番 11 号)

⁶国土交通省近畿地方整備局大和川工事事務所 (〒582-0009 柏原市大正 2-10-8)

BOD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and anion surfactant concentration in the Yamato River indicated seasonal change curves with maximum values in winter and minimum values in summer. As these seasonal changes depended on water temperature, and BOD/Cl⁻ ratios also indicated seasonal changes and Cl⁻ is not decomposed in natural condition, decomposition of organic compounds was thought to cause seasonal changes. Degree of decomposition varies seasonally was thought to occur in private sewerage systems because wastewater from sewerage disposal plants and stream purification indicated no seasonal changes and BOD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and anion surfactant was mainly derived from household wastewater. On the other hand, Cl⁻ was inversely proportional to flow rate and did not depend on temperature.

Key Words: BOD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, anion surfactant, sewer system

1. はじめに

大和川は、流域の急激な都市化に伴い、水質汚濁が発生している流域で、昭和 57 年以降は BOD75%値において、水質が常に全国一級河川の中で、ワースト 1 位か 2 位を記録している。そのため、水質改善対策として、近年、大和川では大和川クリーンキャンペーンや大和川清流ルネッサンス 21¹⁾などの水質改善活動がなされているが、2000 年度には再びワースト 1 位を記録しており、その効果はまだ現れていない。また、1999 年に奈良県で 57.8%、大阪府は 55%と²⁾、下水道普及率が低いことも、水質悪化の要因となっている。本研究以前にも、大和川の支流である石川流域における土地利用特性³⁾や大和川

流域における水質特性⁴⁾について研究がなされているが、水質は常に変化しており、短い調査期間の観測では、流量と濃度の関係を明らかにし、平均的な物質量を算出することが困難であった。そこで、本研究では 1995 年から 1999 年までの過去 5 年間のデータを用いて、河川中の物質濃度が流量や水温とどのような関係にあるのかを調べ、それらの有機物質の汚染源を解明することを目的とする。

2. 研究方法及び研究対象地の概要

図-1 は調査対象流域図を示す。観測地点を■で示し、主な山地は▲で示す。大和川は奈良県、南大阪地域の主要河川である。流域面積は 1070 km²あり、人口は約 200

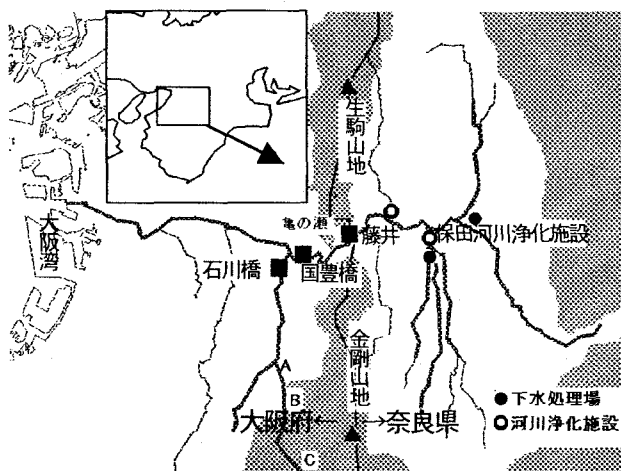


図-1 調査対象流域図

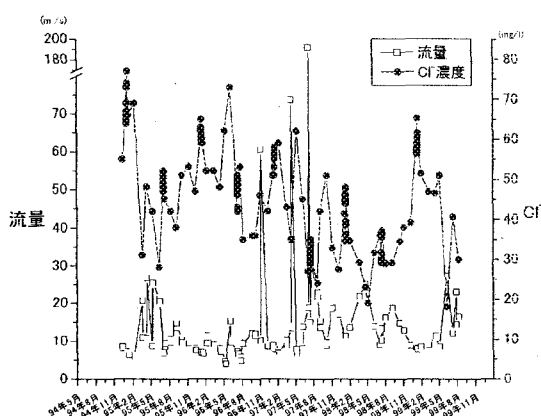


図-2 藤井の塩素イオン濃度と流量の経時変化

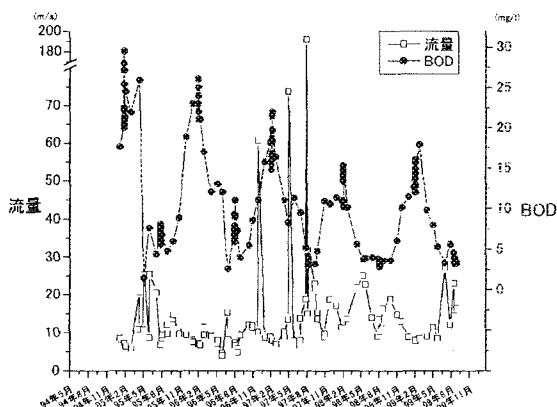


図-3 藤井 BOD 濃度と流量の経時変化

万人である。大和川流域における水質特性を把握するため、1995年から1999年までの国土交通省の水質、流量データ、及び和歌山大学で1999年10月、2000年1月、8月、10月に実施した調査データにより考察を行った。考察地点は大和川本流の藤井、大和川支流である石川の石川橋を選んだ。BOD、アンモニア態窒素、陰イオン界面活性剤、塩素イオンの4項目について考察を行った。BOD、アンモニア態窒素、陰イオン界面活性剤、塩素イオンは主に生活排水に起因する物質である。

藤井、石川橋より上流にはともに住宅地が多く存在す

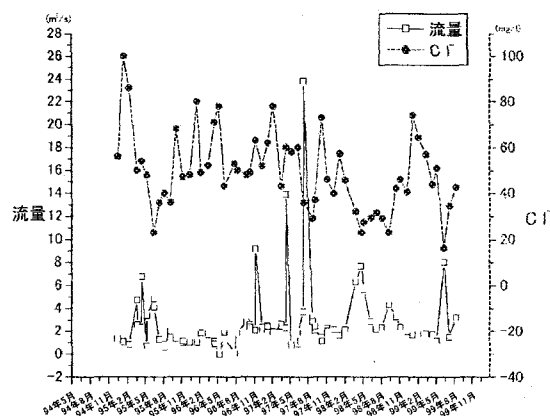


図-4 石川橋の塩素イオン濃度と流量の経時変化

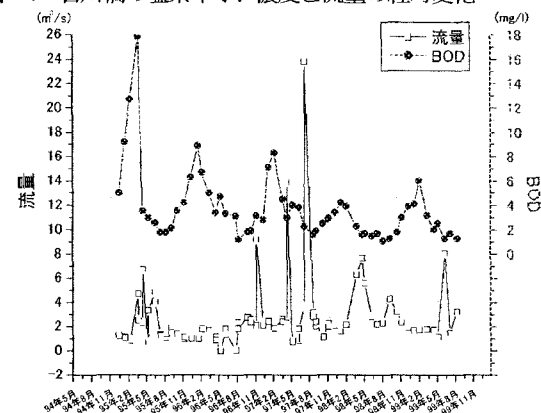


図-5 石川橋のBODと流量の経時変化

る。また、大和川本流の藤井の上流には●印で示すように、2カ所に下水処理場があり、○印で示すように、河川で水質を改善するための河川浄化施設がある。一方、支川である石川では下水処理場や河川浄化施設はない。また、石川流域では山地や農地が多い。以上のように、地域特性が異なる2地点の水質特性を比較することで、水質汚濁物質の汚染源の推定を行った。

3. 結果と考察

(1) 物質濃度と流量の経時変化

大和川の2地点の水質と流量の変化の違いを比較するために、水質と流量の経時変化について調べた。その一例として、図-2に藤井における塩素イオン濃度、図-3にBODと流量の5年間の経時変化を示す。

流量は年間を通じて見ると、夏に多く、低くなる傾向があるが、明確な変化ではない。一方、塩素イオン濃度を見ると、流量の変化とよく一致し、流量が増加すると、塩素イオン濃度は減少し、流量が減少すると、塩素イオン濃度は増加する傾向がある。

BODは、冬に高く、夏に低い傾向が見られる。塩素イオン濃度の変化とは異なり、BODの変化は流量の変化とはあまり一致しないため、BODは流量に依存せず、季節

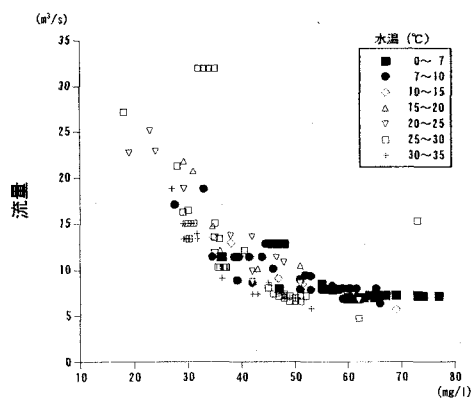


図-6 藤井の塩素イオン濃度と流量、水温の関係

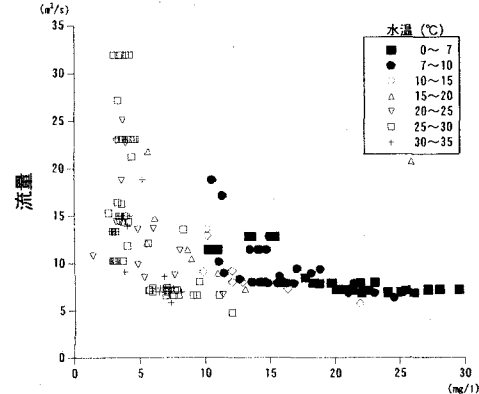


図-7 藤井のBODと流量、水温の関係

表-1 藤井における相関係数一覧

	水温	流量
BOD	-0.85	-0.46
塩素イオン	-0.60	-0.73
アンモニア態窒素	-0.93	-0.45
陰イオン界面活性剤	-0.88	-0.50

変化による濃度の変化と考えられる。

図-4 に石川地点における塩素イオン濃度と流量、図-5 にBODと流量の経時変化を示す。流量は藤井と同様に、年間を通じて見ると、夏に多く、冬に低くなる傾向が見られる。塩素イオン濃度の経時変化は藤井と同様の傾向を示し、流量の変化とよく一致する。しかし、BODの経時変化は藤井と同様に、流量変化と一致せず、冬に濃度が高く、夏には濃度が低くなる。

以上の結果から、大和川本流の藤井、支流の石川橋では、(I) BOD が夏に低くなり、冬に高くなる季節変化により濃度が変化する、(II) 流量が増加すると塩素イオン濃度が減少し、流量が減少すると塩素イオン濃度が増加する2つのパターンが見られた。

(2) 藤井における濃度と流量の関係及び水温との関係

BOD、塩素イオン濃度の流量との関係に2つのパターンが見られたので、塩素イオン、BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤の流量と濃度について調べた。図-6 から図-9 に藤井の結果を示す。

塩素イオン濃度は流量が増加すると濃度が減少し、流量が減少すると濃度が増加する傾向がある。しかし、

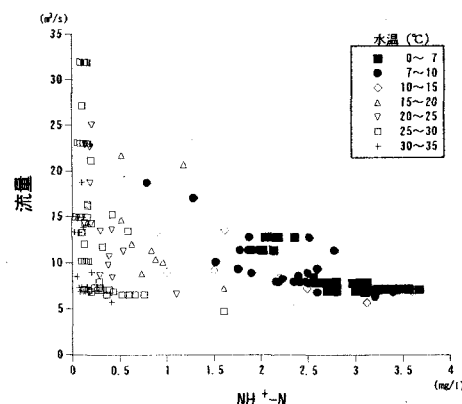


図-8 藤井のアンモニア態窒素濃度と流量、水温の関係

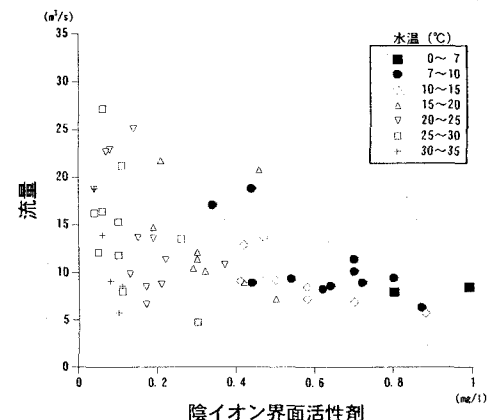


図-9 藤井の陰イオン界面活性剤濃度と流量、水温の関係

BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤濃度は、流量が増加すると濃度は減少する傾向が見られるが、塩素イオン濃度と異なり、流量が小さくなると、濃度の変動幅が大きくなり、必ずしも流量に依存していないことが判る。また、水温が低いほど濃度は増加する傾向にあり、水温が高い場合は、流量が変化しても濃度は変化しておらず、BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤は、流量の変化による影響よりも、水温変化による影響が大きいと考えられる。そこで、表-1 に相関係数を示す。BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤濃度は水温との相関が-0.85以下を示し、流量との相関は-0.5以上で水温との相関が高いことが判る。しかし、塩素イオン濃度は水温よりも流量との相関が高い。

したがって、塩素イオン濃度は水温依存性よりも流量依存性が高く、BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤濃度は水温に依存することが判った。

(3) 石川橋における濃度と流量の関係及び水温との関係

次に、大和川本流の藤井との違いを比較するため、石川橋についても、物質濃度と流量、水温との関係を調べた。図-10 から図-13 に石川橋地点における塩素イオン濃度、BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤濃度の流量と濃度とを水温別に分けて示す。

石川橋の塩素イオン濃度は、藤井と同様に、流量が増

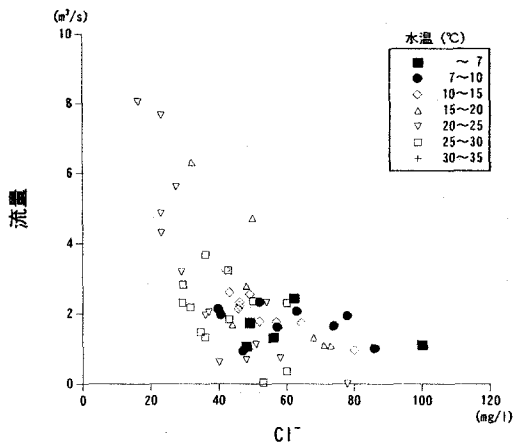


図-10 石川橋の塩素イオン濃度と流量、水温の関係

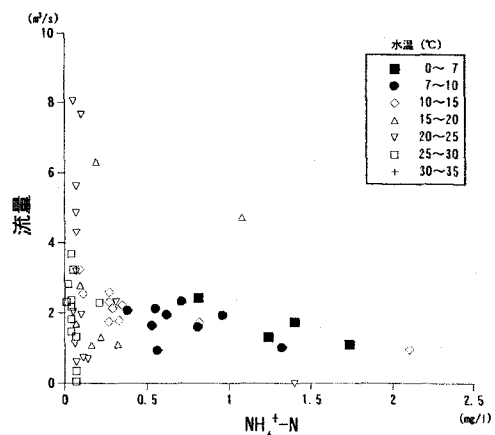


図-12 石川橋のアンモニア態窒素濃度と流量、水温の関係

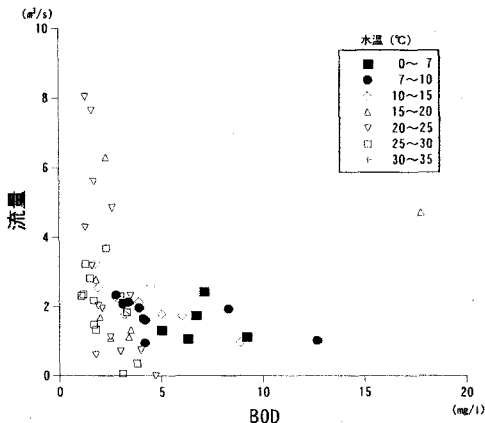


図-11 石川橋のBODと流量、水温の関係

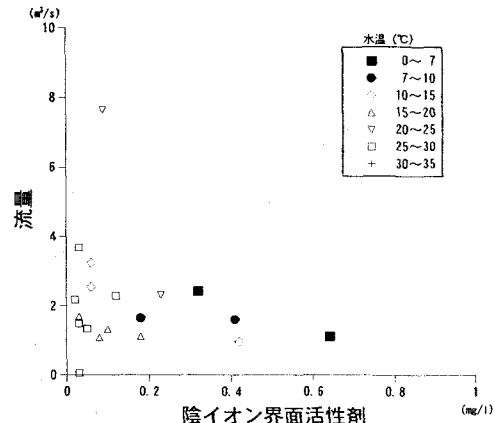


図-13 石川橋の陰イオン界面活性剤濃度と流量、水温の関係

表-2 石川橋における相関係数一覧

	水温	流量
BOD	-0.50	-0.16
塩素イオン	-0.50	-0.62
アンモニア態窒素	-0.41	-0.18
陰イオン界面活性剤	-0.74	-0.21

加すると濃度が減少し、流量が減少すると、濃度が増加する傾向がある。また、塩素イオン濃度は、水温の違いにより濃度が変化しておらず、濃度は水温に依存しないと考えられる。

石川橋のBOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤は、藤井と同様の傾向を示し、流量が増加すると、塩素イオン濃度と同様に、濃度は減少する傾向があるが、流量が減少すると濃度の変動幅が大きくなり、必ずしも流量のみに依存しないことが判る。また、水温が低いほど濃度が増加し、水温が高い場合は、濃度が変化していないため、必ずしも流量に応じて、濃度が変化するわけではない。このことから、藤井と同様に、BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤濃度は水温依存性があると考えられる。

(4) 濃度と流量及び水温との関係に関するまとめ

以上の結果から、大和川本流にある藤井と支川にある石川橋ともに、BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤濃度の変化は流量依存性よりも水温依存性が

あることが判った。また、表-2 に示す相関係数から、塩素イオン濃度は流量、水温との相関係数はほぼ同じで、流量の方が少し高く、BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤濃度は、水温との相関係数が高く、流量との相関係数は低い。

したがって、塩素イオン濃度は大和川本流にある藤井と支川にある石川橋の両方で、水温よりも流量に依存することが推察された。BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤濃度が冬に高く、夏に低い変化を示すのは、水温の変化によることが推定された。

(5) 物質の濃度の水温依存性に関する考察

BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤に水温依存性が見られたことから、その原因について考察する。藤井、石川橋の流域には、ともに上流に住宅地が存在することから、生活排水が流入している。また、石川流域には山地や農地が多く、その流入水の河川の水質への影響について調べる必要がある。そこで、次に示すように、

- 自然水の影響
- 河川内での有機物の分解、合成の影響
- 農地の影響
- 下水処理水、河川浄化処理水の影響
- 生活排水の影響

表-3 和歌山大調査における石川流域のBODの比較(mg/l)

	石川橋付近	A	B	C
1999/10/26	2.7	1.7	1.6	0.8
2000/1/24	3.1	1.4	1.2	0.7
2000/8/3	2.4	1.4		
2000/10/3	3.1	2.2	1.8	2.6
平均	2.8	1.7	1.5	1.4

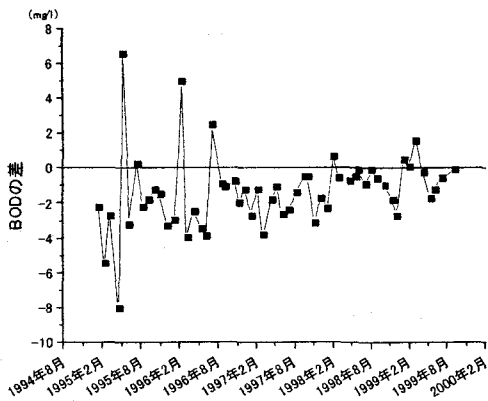


図-14 藤井から国豊橋のBODの差の変化

の5つの原因について考察する。

a) 自然水の影響について

自然水の影響を調べるため、住宅地がなく、生活排水の流入の少ない上流と生活排水の流入のある下流でのBODを比較することにより、考察を行った。表-3に和歌山大学で測定した石川の上流から下流のBOD値を示す。また、考察した地点は図-1に示すように、下流から石川橋付近、A、B、Cの順に示す。Bより上流には住宅地が少ない。BODの平均値を比較すると、上流では下流に比べ低い値を示している。また、石川橋付近のBODは冬に高く、夏に低い、パターン(I)を示し、石川橋での濃度の経時変化と一致するが、自然水の影響のある上流のB、Cでは、濃度の変化は必ずしも冬に高く、夏に低くなっていない。また、上流ではBODが低いため、自然水の影響により、河川のBODが影響されるとは考えにくい。したがって、自然水の影響により、河川のBODが冬に高くなるとは考えられない。

b) 河川内での有機物の分解、合成による影響

図-1に示すように、採水地点の藤井と国豊橋の間は、奈良県から大阪府にまたがる亀の瀬と呼ばれる山地を流下しており、山地からの流入する支川もなく、生活排水の影響がないため、河川内で有機物の分解、合成を調べるのに最適な区間である。そこで、図-14に藤井と国豊橋の間におけるBODの差の経時変化を示す。ここで、両地点の採水時間は必ずしも一致せず、流下時間も考慮していないので、上流で採水した水と下流で採水した水は必ずしも一致しないので、細かい議論はできないが、年間を通して、BODの差に季節的な変化はなく、夏に区間での分解が高くなったために、BODの差が大きくなり、区間での冬に分解が少ないために、BODの差が小さくなる傾向は見られない。したがって、河川中での有機物の分解が原因でBODが冬に高く、夏に低くなるわけでは

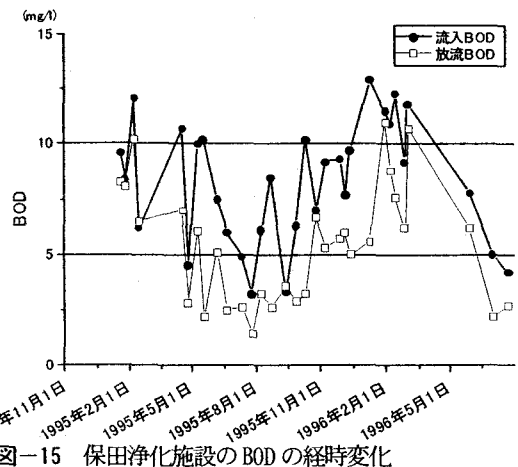


図-15 保田浄化施設のBODの経時変化

ないと考えられる。

c) 農地の影響

大和川流域には農地が存在し、農地からの流入が考えられる。アンモニア態窒素濃度は冬に高く、夏に低い傾向がある。しかし、窒素肥料は、冬には蒔かれていないので、冬には農地からのアンモニア態窒素は減少すると考えられる。また、蒔かれた窒素は、アンモニウムイオンとして農地から流出するが、河川へ直接流入することはない。BODや生活排水に由来する陰イオン界面活性剤濃度も、アンモニア態窒素濃度と同じ傾向にあるので、農地の影響よりも、生活排水の影響が強いと考えられる。したがって、アンモニア態窒素濃度は冬に高く、夏に低くなり、窒素肥料の蒔かれた時期が濃度の変化と一致しないため、農地が原因とは考えられない。

d) 下水処理水、河川浄化処理水の影響

図-15に河川浄化施設である保田浄化施設における流入BODと処理後の放流BODの変化を示す。この浄化施設の上流には下水処理施設がある³⁾。また、浄化施設のない河川の流入があるため、生活排水も流入している。流入BODの変化を見ると、すでに夏にBODが低く、冬にBODが高い傾向が見られる。また、放流BODも同様の傾向にある。流入BODと放流BODを比較すると、処理後のBODが減少しているが、季節変化によりBODの減少幅は変化していない。一般に下水処理においてBOD除去率は水温が低くなると低下するが、大型の施設では水温の影響は少ない^{6), 7), 8)}と考えられる。したがって、冬に処理能力が低下することで、河川中のBODが冬に高くなったとは考えられない。また、藤井には下水処理場や河川浄化施設の処理水の流入があるが、石川橋には下水処理場や河川浄化施設が存在しないため、処理水の影響はないと考えられる石川のBOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤濃度も冬に高く、夏に濃度が低くなる傾向が見られるので、下水処理水が原因ではないと考えられる。

e) 生活排水の影響

生活排水のみに由来する水質項目に、陰イオン界面活

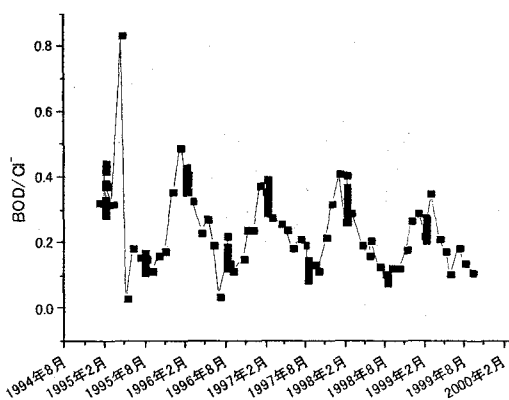


図-16 藤井における BOD/Cl⁻比の変化

性剤がある。また、有機物の指標の BOD もまた生活排水による影響が大きい。一般に、有機物は分解され、アンモニウムイオンに変化する。このことから考えると、BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤濃度が冬に濃度が高く、夏に低いという同様の傾向を示すことから、これらの水質項目は、生活排水に起因すると考えられる。この結果から、河川内の濃度が冬に高くなる原因は、生活排水に原因があることが判る。

(6) 河川内の濃度が冬に高くなる原因について

生活排水が河川に流入する場合は、冬に河川水の物質濃度が冬に高くなる原因について考察する必要がある。塩素イオンは、主に生活排水に起因する。また、BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤も生活排水に起因する。塩素イオンは、下水処理場や河川浄化処理場、河川中においても分解されない。また、BODや陰イオン界面活性剤は分解されることで減少する。そこで、BOD/Cl⁻をとることで有機物が分解しているかどうか調べた。図-16 に藤井での BOD/Cl⁻比を示す。BOD/Cl⁻は冬に高く、夏に低くなる。生活排水は人が生活する上で毎日排出されるため、生活排水量が冬に多く、夏に低くなることは考えられない。また、藤井と国豊橋の間における BOD の差は、季節的な変化がなく、河川内での有機物分解は、ほぼ一定であるという結果が得られたため、河川流入前の分解が夏に高く、冬に低いために、BOD が冬に高くなり、夏に低くなると考えられる。下水処理場の普及していない場所では、小型の浄化槽により、生活排水中の有機物が分解され、排出される。また、浄化槽などで下水処理される場合は、微生物分解のために、BOD 除去率は水温に依存すること^{7), 8) 9), 10)}が知られている。このことから冬の水温の低い時期には、微生物は活発でないため、処理能力の低下が、BOD を高にしたのではないかと考えられた。大和川流域は下水道普及率が低く、このため、多くの排水は家庭の小型浄化槽で処理されているため、冬に処理能力が落ち、また、流量が低いと、BOD が高くなったと考えられる。そこで、下水処理場や河川浄化施設を増設することで、冬に BOD が高くなる現象を軽減できると考えられる。

4. おわりに

大和川流域では、本流、支流ともに BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤濃度は、水温依存性により、冬に濃度が高くなり、水温が高い夏には濃度が低くなった。BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤濃度が、夏に低く、冬に高くなる傾向を示すのは、水温の影響があると考えられ、家庭の浄化槽が有機物を冬に分解しきれず、河川に高濃度の有機物が流入していると考えられた。

したがって、大和川の水質が悪化しているのは、下水道普及率が奈良県 57.8%、大阪府 55%と低く、生活排水の約半分が河川に流入しているため、河川内の BOD、アンモニア態窒素濃度、陰イオン界面活性剤濃度が冬に高くなり、その結果、大和川における冬の物質濃度が年間の平均値を上げていると考えられた。これを改善するためには、家庭から出る生活排水の水質を変えるために、食生活の改善、洗剤の使用の削減、浄化槽の能力アップ、大型の浄化施設や下水処理施設の早急な設置が必要である。

参考文献

- 1) 大和川清流ルネッサンス 21 協議会：水環境改善緊急行動計画 大和川清流ルネッサンス 21.
- 2) 応用地質株式会社：大和川流域水質保全検討（その 2）業務報告書，2001.
- 3) 平田健正・井伊博行・長谷部正彦・江種伸之・坂本康・糸川高德・西山幸治・酒井信行・岩崎宏和：土地利用特性の河川水質に及ぼす影響—大阪府石川流域—，土木学会論文集，No. 614/II-46，pp. 97-107，1999.
- 4) 窪原拓馬・井伊博・平田健正・江種伸之・石塚正秀・伊勢達男・宮川勇二：大和川における河川水の水質特性について，水工学論文集 45 巻，pp. 985-990，2001.
- 5) 土屋悦輝，中室克彦，酒井康行：水のリスクマネジメント実務指針，サイエンスフォーラム，1998.
- 6) 山崎眞司：微生物のおはなし，日本規格協会，1996.
- 7) 石井勲，山田國廣：浄化槽革命 生活排水の再生システムをめざして，合同出版，1994.
- 8) 井出哲夫：水処理工学，理論と応用，技報堂出版，1990.
- 9) 児玉徹，大竹久夫，矢木修身：地球をまもる小さな生き物たち 環境微生物とバイオレメディエーション，技報堂出版，1995.
- 10) 亀田泰武，渡部春樹，金井重夫，野村充伸：下水処理と水環境 ミクロの世界から地球環境まで，山海堂，2000.

(2001. 10. 1 受付)