

# 広島大学学術情報リポジトリ

## Hiroshima University Institutional Repository

|            |   |
|------------|---|
| Title      | 人口増加地域における河川の有機汚濁の経年変化とその原因 : 東広島市黒瀬川におけるケーススタディ  |
| Author(s)  | 小倉, 亜紗美; 中坪, 孝之   |
| Citation   | 自然環境科学研究, 17 : 29 - 36  |
| Issue Date | 2004  |
| DOI        |   |
| Self DOI   |   |
| URL        | <a href="http://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00039751">http://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00039751</a> |
| Right      | Copyright (c) 公益財団法人平岡環境科学研究所   |
| Relation   |   |



## 人口増加地域における河川の有機汚濁の経年変化とその原因： 東広島市黒瀬川におけるケーススタディー

小倉亜紗美\*, 中坪孝之\*

Causes of long-term changes in organic pollution of a river system with increasing population: a case study in the Kurosegawa River, Higashi-Hiroshima, Hiroshima. OGURA Asami\* & NAKATSUBO Takayuki\* (\*Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, Kagamiyama 1-7-1 Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8521, Japan)

The Kurosegawa River, a polluted small river, flows through Higashi-Hiroshima, Hiroshima, where the population has increased steadily within the last decade. In order to clarify the impact of urbanization on the quality of the river water, changes in the state of organic pollution were studied in relation to population, construction of sewers and septic tanks in a recent 13-year period (1989-2001). Improvement in water quality (as indicated by BOD) was observed in the central area of the city, possibly as a result of the construction of sewers and septic tanks. In contrast, the BOD tended to increase in the lower reaches of the river. The pollutant flow analysis indicated that inflow of pollutant from a sewage treatment plant contributed to a significant proportion of the load. A simulation suggested that, with increasing population and sewage water, the BOD in the lower reaches of the river would be higher in the future because of the increase in the load from the plant. Based on the pollutant flow analysis, some solutions for reducing organic pollution are suggested.

### Keywords

BOD, organic pollution, population, river, sewage, urbanization

### 1 はじめに

河川の有機汚濁とその流入による沿岸の富栄養化は、下水道の普及や排水規制などにより近年改善傾向にあるが、依然として深刻な問題である<sup>1-5)</sup>。2001年度の時点で、全国の主要河川のうち約2割が水質汚濁防止法による環境基準を達成できておらず、さらなる改善の努力が必要な状況にある<sup>1)</sup>。都市河川など流域内に人口や産業が密集している地域を流れる河川の水質汚濁は、特に深刻である<sup>1-3, 6-12)</sup>。

河川の有機汚濁は、その排出負荷量のうち生活排水の占める割合が大きい<sup>1, 4, 5, 8, 10, 13)</sup>。汚染を引き起こしている原因は様々ではない。東京をはじめとする大都市では下水道は古くから普及してきたが、汚水と雨水を同一の管路で処理する合流式下水道を採用してきたため、大雨の時に雨水と汚水の混合したものが未処理のまま河川に放流されることが問題となっている<sup>1, 3, 14)</sup>。一方、スプロール化による宅地造成や工場誘致などの結果、急速に人口が増えている地域では、人

口増加に生活排水処理施設の普及が追いつかない場合がある<sup>1, 4, 8)</sup>。近年になって人口が増加している地域は、古くからの大都市が大河川下流部に位置しているため、必然的に河川の上流側や中小河川の流域に開発されることになる。このため、処理水を放流する河川の流量が少なく、その結果大都市を流れる河川の汚濁とは別の問題が起こる可能性がある。しかし、近年の人口増加地域における有機汚濁の現状と原因、対策に関する情報は、大都市のそれにくらべ非常に少ない。

東広島市は広島県のほぼ中央に位置し、2003年の人口が約12万人の中規模都市である。1984年の広島中央テクノポリスの建設をはじめとする公的工業団地の開発や、広島大学の統合移転と、それらにともなう宅地開発により、近年人口が急速に増加している(約3,000人/年)<sup>15)</sup>。市の中央を流れる黒瀬川は水道水の水源としても利用されている二級河川であるが、急激な開発や人口増加にともなって水質が急激に悪化した。このため、広島県は1992年に黒瀬川流域を生活排水対策重点地域に指定し、各種の施策を行っているが、いまだに環境基準(類型指定A類型 BOD 2 mg L<sup>-1</sup>以下)を達成できていない<sup>9, 15, 16)</sup>。

このように黒瀬川は流域内に人口や産業が密集しているため排水量が多いが、大都市を流れる主要な都市

\* 〒739-8521 広島県東広島市鏡山1-7-1 広島大学大学院生物圏科学研究科, E-mail: asaminn@hiroshima-u.ac.jp

河川に比べると河川流量は著しく少ない。たとえば、1999年度の年平均流量で比較すると、多摩川（東京都）、淀川（大阪市）、太田川（広島市）が、それぞれ 39, 250, 79 m<sup>3</sup> sec<sup>-1</sup> であるのに対し<sup>17)</sup>、黒瀬川の東広島市最下流部における流量は 2.4 m<sup>3</sup> sec<sup>-1</sup> にすぎない（公共用水域水質測定結果による）。このため、黒瀬川には人口密集地を通る間に急速に汚濁が進むという特徴があり、この点で人口増加地域を流れる河川の汚濁のモデルとして適している。有機汚濁の程度は下水道や合併処理浄化槽の普及率だけで決まるのではなく、流域人口、河川流量や河川の自然浄化能力などにも影響を受ける<sup>18-20)</sup>。さらに、いずれの生活排水処理施設も完全に有機物を除去できるわけではないので、生活排水処理施設からの有機物負荷も考慮に入れる必要がある。本研究では、公共用水域水質測定結果、人口推移、下水道や合併処理浄化槽の普及状況、下水処理場の処理量等のデータをもとに、黒瀬川の有機物負荷量の経年変化とその原因の解析を行った。

2 調査地と方法

黒瀬川は広島県東広島市北部の並滝寺池（水面標高約 400 m）に水源を発生し、東広島市、黒瀬町、呉市を通過して、瀬戸内海の広湾へ注ぐ、流路延長 50.6 km、流域面積 238.8 km<sup>2</sup> の河川である（図 1）。本研究では、源流から約 21 km までの東広島市内の区間のみを解析の対象とし、公共用水域水質測定結果の採水地点のうち本流 8 地点、支流 5 地点のデータを使用した。本稿では、本流の採水地点は上流から順にアルファベットの大文字 A-H で表し、支流の採水地点は本流に合流する地点の上流側の地点に対応したアル

ファベットの小文字 a-c, f, g で表すこととした（表 1, 図 1）。この他に黒瀬川には、測定されていない小さな支流が流入している。

解析には、水質汚濁防止法（第 15 条）に基づき測定された黒瀬川の公共用水域水質測定結果（1989-2001 年度）の BOD（Biochemical Oxygen Demand, 生物化学的酸素要求量）と流量の年平均値を使用した（表 1）。BOD 負荷量は BOD と流量の積から求めた（表 1）。なお、測定結果には極端な外れ値があったため、スミルノフの棄却検定にかけ、外れ値は解析からはず

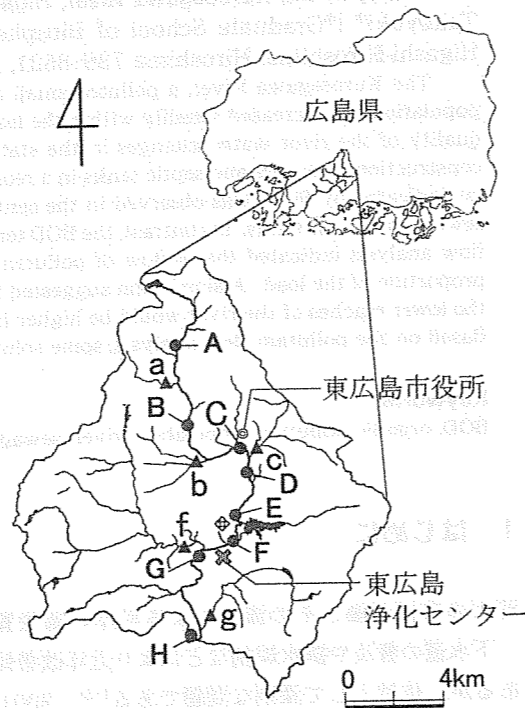


図 1 黒瀬川水系図と調査地点  
(本流 ●, 支流 ▲, 吾妻子浄水場 ◆)

表 1 各調査地点の名称、源流からの距離、流量と BOD.

| 記号 | 地点名     | 源流からの距離 (km) | 流量*1 (×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> day <sup>-1</sup> ) | BOD*1 (mg L <sup>-1</sup> ) | BOD 負荷量*2 (kg day <sup>-1</sup> ) |
|----|---------|--------------|---|-----------------------------|-----------------------------------|
| A  | 米満川上流   | 4.3          | 19.8  | 1.4                         | 28                                |
| B  | 切川      | 6.7          | 36.6  | 3.4                         | 124                               |
| C  | 石ヶ瀬橋上流  | 10.1         | 62.3  | 3.8                         | 237                               |
| D  | 和泉橋上流   | 11.2         | 81.8  | 2.8                         | 229                               |
| E  | 三永貯水池入口 | 13.1         | 78.5  | 2.5                         | 196                               |
| F  | 貯水池下流   | 14.9         | 79.2  | 2.6                         | 206                               |
| G  | 黒瀬川下流   | 16.2         | 146.7   | 3.1                         | 455                               |
| H  | 樋ノ詰橋    | 21.2         | 227.8   | 2.9                         | 661                               |
| a  | 深堂川     | —            | 11.7  | 7.1                         | 83                                |
| b  | 番蔵川     | —            | 15.0  | 3.3                         | 50                                |
| c  | 中川      | —            | 19.4  | 4.1                         | 80                                |
| f  | 古河川     | —            | 59.4  | 1.8                         | 107                               |
| g  | 松板川     | —            | 21.7  | 1.1                         | 24                                |

\*1 1997-2001 年の平均値.

\*2 平均流量×平均 BOD.

した（有意水準 P<0.05）。なお、BOD には有機物の分解に由来するものだけでなく、硝化に由来する N-BOD も含まれるが<sup>20-23)</sup>、本稿ではひとまとめに BOD として扱った。

人口動態と合併処理浄化槽の普及率は、東広島市より提供された字・町などの行政区分ごとの統計データを用いた。合併処理浄化槽の普及率の指標として、新設された合併処理浄化槽の人槽（浄化槽の処理可能人数）の合計を用いた。下水道の普及率は、市より提供された供用開始年月日ごとに色分けされた地図をスキャナー（CanoScan D2400U, Canon, Tokyo）で読み取り、画像解析ソフト（Scion Image, Scion, Washington, D.C., USA）で面積を測定して求めた。また、下水処理場からの有機物負荷の影響を検討するため、東広島浄化センターの 1989-2001 年度の流入水・放流水のデータ（下水処理量, BOD）を使用した。また、黒瀬川からの取水の影響を検討するため、1997-2001 年度の吾妻子浄水場（図 1）の取水量のデータを使用した。

なお、東広島市は 2005 年に周辺の町と合併し範囲が拡大するが、本文で用いる名称はすべて合併以前のものである。

4 結果と考察

4.1 BOD 負荷量の経年変化とその要因

図 2 に黒瀬川上流部の A 地点、市街地内の D 地点、東広島市の最下流部 H 地点における BOD と BOD 負荷量の過去 13 年（1989-2001 年度）にわたる経年変化を示す。A 地点と H 地点の間は流路長で 17 km 程度であるが、経年変化の傾向は全く異なっていた。A 地点の BOD 負荷量には、明瞭な経年変化は認められず、1989-2001 年度の平均は 29 kg day<sup>-1</sup> であった（図 2）。また、BOD についても環境基準の 2 mg L<sup>-1</sup> 以下を満たしていた（図 2）。

一方、市街地内の D 地点の BOD 負荷量については、年変動が激しいが、1989-1992 年度の平均が 392 kg day<sup>-1</sup> であったのに対し、1997-2001 年度の平均は 229 kg day<sup>-1</sup> となり、全体として減少する傾向が認められた（図 2）。

これに対し、H 地点の BOD 負荷量は増加傾向にあり、1989-1992 年度の平均は 375 kg day<sup>-1</sup> であったが、1997-2001 年度の平均は 661 kg day<sup>-1</sup> になり、約 1.8 倍の増加が認められた（図 2）。

これらの経年変化の原因をさぐるため、A 地点、D 地点、H 地点周辺と支流 c 流域の人口と生活排水処理

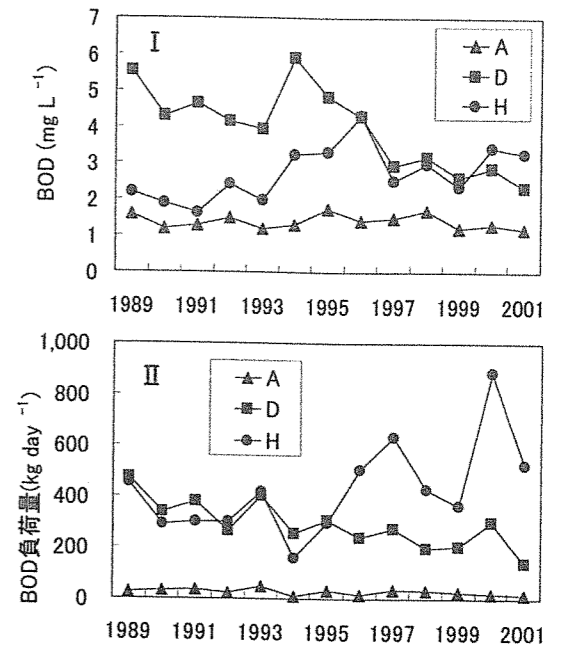


図 2 A, D, H 地点における BOD (I) と BOD 負荷量 (II) の経年変化.

施設（下水道、合併処理浄化槽）の普及状況について検討した。上流部の A 地点周辺では、この期間に流域人口はほとんど変化していなかった（図 3）。このことが、A 地点の BOD 負荷量が変化しなかった理由と考えられる。合併処理浄化槽の普及率は 1999 年以降増加しているが（図 3）、BOD 負荷量には明瞭な改善傾向は認められなかった。これは A 地点の BOD が以前から低いためだと考えられる。

D 地点周辺は住宅・工場地帯で、周辺に工場や店、住宅が密集して建設されたため、1990-2001 年度の 12 年間で人口が約 3 倍に増加した（図 3）。それにもかかわらず BOD 負荷量が減少したのは、D 地点周辺の合併処理浄化槽と下水道の普及が進んだことと（図 3）、D 地点の約 0.3 km 上流で合流する支流 c からの有機物負荷量が減少したことによると考えられる。c 地点の BOD 負荷量は、1989-2001 年度の 13 年間で約 1/10 に減少した（図 4）が、これは、支流 c は市街地の中心部を流れているため、c 地点周辺の下水道及び合併処理浄化槽の普及が着実に進んだためと考えられる（図 3）。

興味深いことに、ほとんどの年で、D 地点における BOD 負荷量が、C 地点とその間に合流する支流 c の BOD 負荷量の和より小さいという傾向が認められた（図 4）。この区間では取水等は行っていないので、この事実はこの区間で自然浄化により有機物が除去されたことを示唆している。有機汚濁の自然浄化には色々なメカニズムが知られているが<sup>7, 18, 19, 24-31)</sup>、黒瀬川に

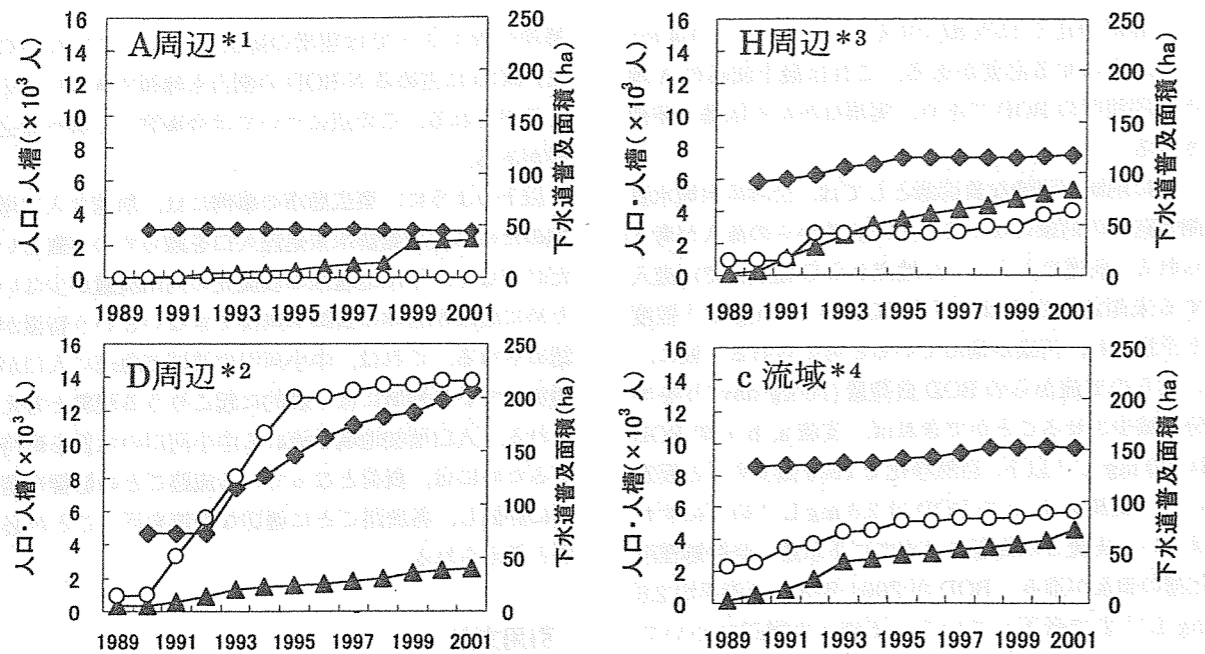


図3 A, D, H 地点周辺と支流 c 流域における人口推移 (◆) と新設された合併処理浄化槽の人槽の合計 (▲), 下水道普及面積 (○) の経年変化。  
 \*1 行政区分: 八本松町大字篠, 八本松町大字正力。  
 \*2 行政区分: 西条栄町, 西条岡町, 西条御条町, 西条昭和町, 西条西本町, 西条中央一丁目-八丁目, 西条町大字西条東, 西条東北町。  
 \*3 行政区分: 西条町大字郷曾, 西条町大字大沢, 西条町大字田口, 西条町大字馬木, 西大沢一丁目-二丁目。  
 \*4 行政区分: 西条上市町, 西条大坪町, 西条朝日町, 西条町大字吉行, 西条町大字助実, 西条町大字土与丸, 西条本町, 西条末広町, 土与丸一丁目-二丁目。

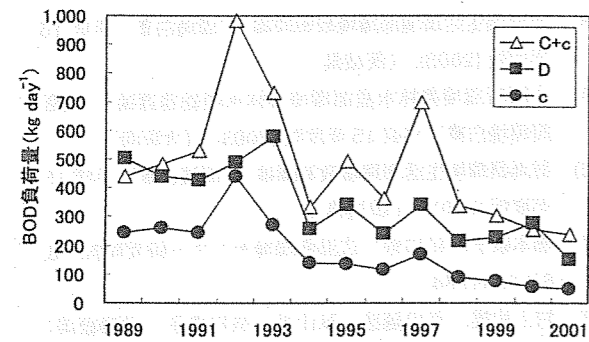


図4 本流の C 地点と支流 c の BOD 負荷量の合計 (C+c) と支流 c, D 地点の BOD 負荷量の経年変化。C 地点は D 地点の約 1 km 上流にあり, 支流 c は C 地点と D 地点の間に流れ込む。

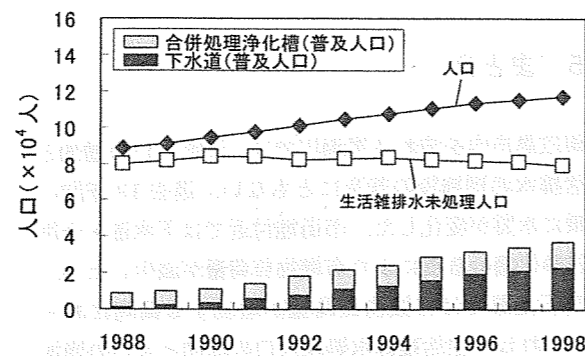


図5 東広島市の人口と生活雑排水処理人口の経年変化。黒瀬川生活排水対策推進計画<sup>15)</sup>による。

については、信宗<sup>23)</sup>や波谷<sup>24)</sup>によって、生物学的浄化や河床への沈殿、吸着などが報告されている。

東広島市の最下流部の H 地点周辺は水田地帯であり、人口はやや増加傾向にあるが、下水道と合併処理浄化槽は急速に普及した (図 3)。それにもかかわらず BOD が増加しているのは、H 地点が東広島市の最下流部にあるため、東広島市内で黒瀬川に流入するすべての排水・処理水の影響を受けているためだと考えられる。そこで、東広島市全体の人口、下水道・合併処理浄化槽の普及率との関連を検討した (図 5)。その結

果、1988-1998 年の東広島市の生活雑排水処理人口 (下水道または合併処理浄化槽が整備されている人口) は毎年約 3,000 人増加し、普及率も増加傾向にあったが、人口が毎年約 3,000 人増加しているため、生活雑排水未処理人口はほとんど変わっていない (図 5)。このことは、未処理の生活雑排水の総量は変化していないことを示唆している。また、合併処理浄化槽を使用しても有機物を完全に除去できるわけではないので、未処理の場合よりはるかに少ないとしても、人口の増加は、ある程度 BOD 負荷量の増加をもたらしたと推測される。

4.2 BOD 負荷量の上流から下流の変化

上記のように、黒瀬川の有機汚濁の経年変化は人口と生活排水処理施設の普及状況によって説明可能であるが、汚濁の低減のための方策をたてるためには、負荷源をさらに詳細に特定する必要がある。また、これに際し、公共用水域水質測定結果はすべての支流についての測定を行っているわけではないため、未測定の支流からの負荷の影響についても検討する必要がある。

そこで、最上流の A 地点の BOD 負荷量に、各支流の BOD 負荷量を足していったものを積算値として、実測値と積算値の比較をした。積算値より実測値が高い場合、公共用水域水質測定結果の対象となっていない支流等からの流入が考えられる。また逆に、積算値より実測値が少ない場合、自然浄化や取水などで有機物が除去されたことを示している。以後、特に測定年度を示さない限り、各地点の値は 1997-2001 年度の平均値を用いた。流量についても、同様に実測値と積算値の比較を行った (図 6)。

上流の A 地点から C 地点までの区間では、流量も BOD 負荷量も実測値の方が積算値より高かったが、これは公共用水域水質測定結果の対象となっていない支流等から有機物が流入したためと考えられる。C 地点における実測値と積算値の差は流量で約  $16 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ 、BOD 負荷量で  $76 \text{ kg day}^{-1}$  であった。こ

れらの値から C 地点までに流れ込む支流等の平均 BOD を推定すると  $4.8 \text{ mg L}^{-1}$  で、かなり汚染の進んだ水が流入していると推測された。

一方、市の中心地に位置する D, E, F の 3 地点では、BOD 負荷量の積算値より実測値の方が低いという傾向が認められ (図 6)、F 地点における BOD 負荷量の実測値は同地点における積算値より約 15% 低かった。これは、前述のようにこの区間で自然浄化が起きているためと考えられる。なお、E 地点の少し下流側で吾妻子浄水場が取水をしているが、その割合は本流の流量の 0.7% 程度であり、BOD 負荷量にはほとんど影響していないと推測された。また、流量についても同様に、実測値と積算値の比較を行ったが、流量については実測値が積算値を下回る事はなかった (図 6)。

さらに下流の F-G 間では、積算値と実測値の関係が逆転し、BOD 負荷量についても実測値が積算値より高くなった。F 地点における BOD 負荷量は  $206 \text{ kg day}^{-1}$  であるのに対し、G 地点の BOD 負荷量は  $455 \text{ kg day}^{-1}$  なので、わずか約 1.3 km の間で負荷量が  $249 \text{ kg day}^{-1}$  も増加したことになる。F-G 間に合流する主な支流は f で、流量は約  $59 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$  と豊富であるが、BOD が  $1.8 \text{ mg L}^{-1}$  と低いため、BOD 負荷量は  $107 \text{ kg day}^{-1}$  程度で、支流 f からの BOD 負荷だけでは F-G 間の急激な増加を説明することができない。

F-G 間に流入している大きな支流は f 以外にはないが、生活排水を含む小流がいくつか流れ込んでいるため、それらの負荷が影響している可能性がある。また、この間に東広島浄化センター (下水処理場) の処理水の放流地点があるので、その影響も無視できない。そこで東広島浄化センターからの負荷量の影響について検討を行った。

東広島浄化センターは市内のすべての下水を処理し、処理水を黒瀬川に放流している。東広島浄化センターに流入する下水の BOD は  $120-143 \text{ mg L}^{-1}$  と高いが、活性汚泥法により BOD を平均  $4.6 \text{ mg L}^{-1}$  に処理して黒瀬川に放流している (図 7)。処理水の量は近年増加傾向にあるが、1997-2001 年の平均は約  $13 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$  で、このことから BOD 負荷量は約  $60 \text{ kg day}^{-1}$  と推定された。

図 8 は G 地点までに流入する有機物負荷の中で各支流および東広島浄化センターからの負荷の占める割合を表したものである。支流と東広島浄化センターからの負荷量の合計と G 地点における負荷量との差は、推定上の誤差のほかに、公共用水域水質測定結果の対象となっていない支流等からの流入による負荷量

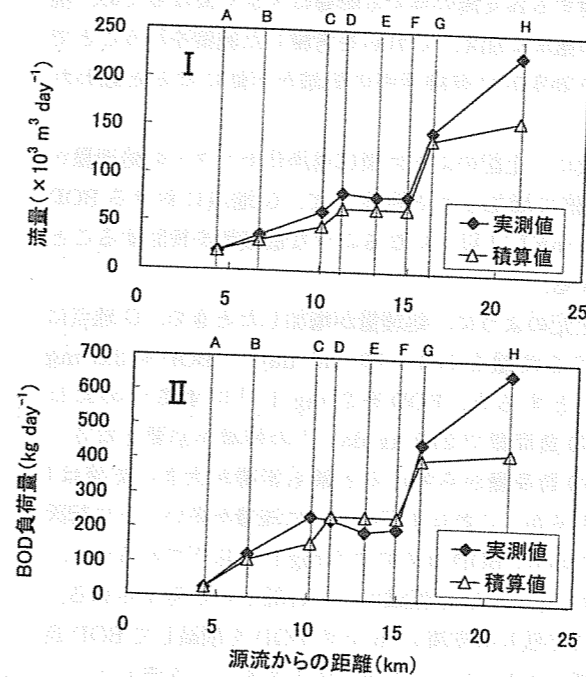


図6 黒瀬川の流量 (I) と BOD 負荷量 (II)。実測値は公共用水域水質測定結果による。積算値は A 地点の実測値に、支流の実測値を足していったもの。1997-2001 年度の平均値。



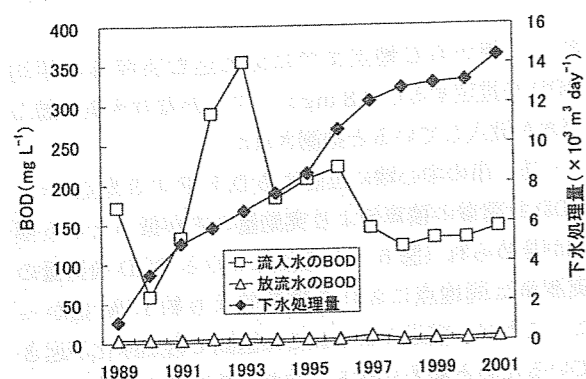


図7 東広島浄化センターの下水処理量及び流入水と放流水のBOD.

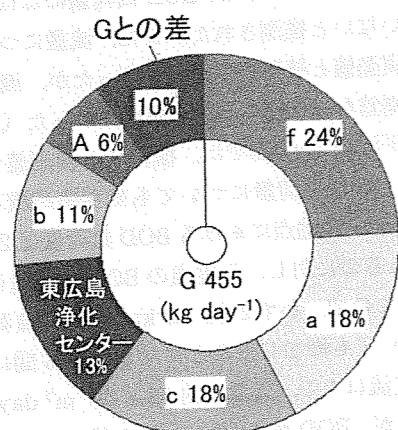


図8 本流のG地点におけるBOD負荷量に占める各支流及び東広島浄化センターからの負荷の割合。1997-2001年度の平均値。

と自然浄化により除去される量が含まれている。最も大きな負荷を与えている支流はfであった。これはf地点のBODは $1.8 \text{ mg L}^{-1}$ と低いが、流量が多いためである。次いで影響が大きいのは支流のaとcであった。東広島浄化センターからの放流水の与える影響は約13%で、主要な支流と同程度の負荷源となっていることが推定された(図8)。

#### 4.3 将来予測と負荷の低減策

市内の中心部Dにおける近年の水質改善傾向からもわかるように東広島浄化センターは黒瀬川の有機汚濁の低減にきわめて大きな役割を果たしてきた。しかし、急速に人口が増えてきたことに加え、放流先である黒瀬川の流量が少ないため、近年では浄化センターからの負荷が無視できなくなっているものと思われる。

東広島浄化センターの一日処理可能水量は、現在 $22 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ であるが、今後の人口増加を見込んで拡張工事が行われており、今後 $33 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ に増加する予定である。現在の下水処理量は平

均 $13 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ であるが、これが $30 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ (約2.3倍)まで増加すると仮定すると、放流水のBOD負荷量は現在より $78 \text{ kg day}^{-1}$ 多くなると予想される。もし生活雑排水未処理人口が変化しないとすれば、このBOD負荷量の増加によって東広島浄化センターより約0.6 km下流のG地点におけるBOD負荷量は現在の $455 \text{ kg day}^{-1}$ から17%、約5.6 km下流のH地点では現在の $661 \text{ kg day}^{-1}$ から12%増加すると予想される。東広島市の上水のほとんどは広島県を流れる太田川から供給されているため、上水の使用量が増加すると、それだけ黒瀬川の流量は増加する。東広島浄化センターの放流水の増加分約 $17 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ だけ河川流量が増加すると仮定すると、G地点における平均流量は $164 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ となり、BODは現在の $3.1 \text{ mg L}^{-1}$ から $3.3 \text{ mg L}^{-1}$ へ、H地点は $2.9 \text{ mg L}^{-1}$ から $3.0 \text{ mg L}^{-1}$ へ増加すると予想される。

以上から、人口増加に追いつく程度に生活排水処理施設を増加しただけでは、BODの低減は期待できないことがわかる。黒瀬川のBODを環境基準値( $2 \text{ mg L}^{-1}$ )以下に低減しようとするれば、人口増加以上のペースで生活排水処理施設を増設・普及させる必要がある。東広島市は、2005年度までに年間300基の合併処理浄化槽の設置と30%の生活雑排水中の汚濁物質削減をめざし、黒瀬川生活排水対策推進計画を進めているが<sup>15)</sup>、図8に示したように黒瀬川の有機物負荷に対する各支流の与える影響は大きく異なるため、現在の施策に加え、これらを考慮した施策を行うことでより効率的に有機汚濁の低減が可能になるとと思われる。

次に、上記のように東広島浄化センターの処理量が2.3倍に増加したと仮定して、G地点におけるBODが $2 \text{ mg L}^{-1}$ 以下になるような低減策を検討することにする。

上記のように、処理量が増加したときの、G地点における流量を $164 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ 、BODを $3.3 \text{ mg L}^{-1}$ とすると、BODを $2 \text{ mg L}^{-1}$ にするためにはBOD負荷量を $213 \text{ kg day}^{-1}$ の削減が必要となる。BOD負荷量から考えると最も影響が大きい支流はfであるが、これは上記のように流量が多いことに起因しており、BODはすでに $2 \text{ mg L}^{-1}$ 以下であるため、これ以上BODを低減するのは難しいと考えられる。そこで残りの支流a, b, cのBODを削減してBOD負荷量 $213 \text{ kg day}^{-1}$ を減らすとすると、支流a, b, cの流量の和が約 $46 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ であることから、支流a, b, cのBODは $1.2 \text{ mg L}^{-1}$ 以下とする必要があ

る。自然浄化で15%減少すると仮定しても、 $1.4 \text{ mg L}^{-1}$ 以下にする必要がある。これは最上流部のA地点と同程度のBODであり、実現はかなり困難と予想される。

他に削減が可能な負荷源としては、公共用水域水質測定結果の対象になっていない支流からの流入が考えられる。前述のように、A地点からC地点までに流入する未測定の支流は、平均BODが $4.8 \text{ mg L}^{-1}$ 程度と予想され、汚染が進んでいると考えられる。仮に、これらの支流からのBOD負荷量( $76 \text{ kg day}^{-1}$ )を半分に減少させることができれば、支流a, b, cのBODは $2.0 \text{ mg L}^{-1}$ 以下、自然浄化で15%減少すると仮定して、支流a, b, cのBODは $2.3 \text{ mg L}^{-1}$ 以下になればよい。支流cの周辺にはすでに下水道・合併処理浄化槽の普及が進み、BODが2001年度には年平均 $2.6 \text{ mg L}^{-1}$ まで低下している。支流aの周辺についても、下水道工事に着手しており、今後支流a, cからの有機物負荷の流入は減少していくものと予測される。支流bの周辺については現時点で下水道の計画が無いので、ここに集中的に生活排水処理施設を普及させるとともに、未測定の支流からの流入を減らすことが、早期に黒瀬川の有機汚濁を改善するのに役立つと考えられる。

## 5 まとめ

東広島市内を流れる黒瀬川では、流域人口の増加と生活排水処理施設の普及にともない、過去13年間に急激に水質が変化した。市街地付近では下水道・合併処理浄化槽の普及により有機物負荷量が減少したが、市の下流部では有機物負荷量が増加する傾向にあった。これは、生活雑排水処理人口の増加と人口の増加が同程度であるために、生活雑排水未処理人口が減少しなかったことに加え、下水処理場からの放流水が負荷源となっていることによると考えられた。今後、下水処理場からの有機物負荷量が増加すると、有機汚濁はさらに進行するものと予測された。本稿では、BODを有機汚濁の指標とし、BOD負荷量を有機物負荷量として用いたが、BODには硝化に由来するN-BODも含まれている<sup>20-23, 32)</sup>。たとえば、横浜市の柏尾川・いたち川では、下水処理水の放流に伴って有機物と共に流出したアンモニア態窒素が硝化菌によって硝化され、それがBODに影響しているという報告がある<sup>20)</sup>。大阪府の大和川でも、アンモニア態窒素の酸化に起因するN-BODが、BOD全体の25-60%を占めているという報告がある<sup>33)</sup>。黒瀬川の場合についても、東広

島浄化センターでは窒素の除去は行っていないので、BODに占めるN-BODの割合も無視できないものと予想される。この点については今後詳しく調べる必要がある。

以上のように、東広島市の事例には、急速な人口増加のために生活雑排水未処理人口を減らすのが難しいだけでなく、下水処理水の放流先の河川流量が少ないために処理水自体の負荷も無視できないという特徴が認められる。これは、中小河川の流域で急速に人口が増加している地域には一般的に起こりうる現象と考えられる。人口増加地域を流れる中小河川の水質を維持するためには、負荷となっている流路ごとの影響を適切に評価し、各流路ごとに適切な施策を行うことが必要と考えられる。

## 引用文献

- 1) 環境省総合環境政策局環境計画課編: "環境白書" 平成15年版(2003), (株式会社ぎょうせい).
- 2) 兵庫県健康生活部環境局編: "環境白書" 平成15年度版(2004), (ひょうご環境創造協会).
- 3) 東京都環境局総務部企画調整課編: "東京都環境白書2000" (2000), (東京都).
- 4) 茨城県生活環境部環境政策課編: "環境白書" 平成15年度版(2003), (茨城県).
- 5) 大阪府環境農林水産部環境農林水産総務課編: "大阪府環境白書" 平成15年度版(2003), (大阪府).
- 6) 群馬県環境生活部環境政策課編: "環境白書" 平成15年度版(2003), (群馬県).
- 7) 橋本敏子, 田口哲: 広島県環境センター研究報告, 6, 65-68 (1984).
- 8) 村上和雄, 奈良禎徳, 秋山堯, 成田素子, 須藤絵美: 東京家政大学研究紀要, 44, 127-131 (2004), (東京家政大学).
- 9) 広島県環境生活部環境局編: "環境白書(環境に関する年次報告)" 平成14年度版(2002), (広島県).
- 10) 神奈川県環境農政部環境計画課編: "かながわ環境白書" 平成14年度版(2003), (神奈川県).
- 11) 高知県文化環境部循環型社会推進課編: "高知県環境白書2003" 平成15年度版(2004), (高知県).
- 12) 長野県生活環境部地球環境課編: "環境白書" 平成15年度版(2003), (長野県).
- 13) 埼玉県環境防災部環境政策課編: "さいたまの環境" 平成15年度版(2002), (埼玉県).
- 14) 横浜市環境保全局環境にやさしいまちづくり課編: "横浜環境白書~横浜市環境管理計画年次報告書~" 平成15年度版(2004), (横浜市).
- 15) 東広島市市民部環境衛生課編: "黒瀬川生活排水対策

- 推進計画”改訂版(2000), (東広島市).
- 16) 東広島市市民部環境衛生課編: “東広島市の環境”平成14年度版(2003), (東広島市).
- 17) 文部科学省国立天文台編: “理科年表”平成14年(2001), (丸善).
- 18) 田口哲: 広島県環境センター研究報告, 6, 57-60 (1984).
- 19) 渡辺吉男: 用水と廃水, 40, 906-911 (1998).
- 20) 小市佳延, 福島悟: 横浜市環境科学研究所報, 28, 11-19 (2004).
- 21) Stamer, J.K., McKenzie, S.W., Cherry, R.N. & Scott, C.T.: J. WPCF, 51, 918-925 (1979).
- 22) Young, C.J.: J. WPCF, 45, 637-646 (1973).
- 23) Polak, J.: Pol. J. Environ. Stud., 13, 415-424 (2004).
- 24) 波谷一宏, 小田新一郎, 村上和正: 広島県保健環境センター研究報告, 4, 19-23 (1996).
- 25) Ha, S. & Bae, M.: Water Air Soil Pollut., 70, 135-151 (2001).
- 26) 稲森悠平, 西村浩, 須藤隆一: 用水と廃水, 40, 855-866 (1998).
- 27) 楠田哲也: “水質環境保全にはたす付着微生物の浄化能力の再評価とその効率化に関する総合研究—土木学会衛生工学委員会付着微生物研究分科会報告書—”(土木学会編), 95-115 (1986), (土木学会).
- 28) 信宗正男, 妹尾正登, 橋本敏子, 中井美代子, 松永昭二: 広島県環境センター研究報告, 1, 38-43 (1980).
- 29) 尾崎保夫: 用水と廃水, 40, 912-918 (1998).
- 30) Shon, H.K., Vigneswaran, S., Kim, I.S., Cho, J. & Ngo, H.H.: J. Membr. Sci., 234, 111-120 (2004).
- 31) 田口哲: 広島県環境センター研究報告, 6, 61-64 (1984).
- 32) Tanaka, Y.: Nippon Suisan Gakkaishi, 59, 1023-1027 (1993).
- 33) 国土交通省: “流域の水環境改善プログラム評価—都市内河川等の環境悪化と汚濁物質への対応—”(2004), (国土交通省).

本研究を通じて、東広島市役所市民部環境衛生課からは、人口や水質に関する資料の提供をはじめ、さまざまなご協力、ご助言を頂いた。また、東広島浄化センターからは、処理量とBODのデータを提供して頂いた。東広島市水道局工務課からは、吾妻子浄水場の取水量、(財)広島県環境保健協会からは河川流量測定方法についての情報を頂いた。以上の各機関の皆様には厚く御礼申し上げます。研究をまとめるにあたりご助言をいただいた広島大学大学院生物圏科学研究科の竹田一彦助教授にも深く感謝したい。

本研究の一部は学園都市づくり交流会議の地域課題研究事業の補助を受けて行われた。

(2004年5月27日受理)