

水質及び汚濁負荷量調査に基づく 河川の汚濁原因特定に関する研究 — 熊本県木山川水系の事例 —

村田 重之¹・吉田 烈²・岩原 正宜³・田代 敬大⁴・上野 賢仁⁴

¹正会員 崇城大学教授 工学部エコデザイン学科 (〒860-0082 熊本市池田四丁目22-1)

E-mail: murata@eco.sojo-u.ac.jp

²非会員 崇城大学名誉教授 (元工学部ナノサイエンス学科) (〒860-0082 熊本市池田四丁目22-1)

³非会員 崇城大学名誉教授 (元工学部応用微生物工学科) (〒860-0082 熊本市池田四丁目22-1)

⁴正会員 崇城大学准教授 工学部エコデザイン学科 (〒860-0082 熊本市池田四丁目22-1)

熊本県上益城郡益城町との協力協定を契機として、木山川水系の汚濁原因特定を目的とした調査を計画実施した。2008年1月から12月まで毎月1回の水質調査と隔月1回の流量調査を実施し、同水系の汚濁原因は主として上流布田川からの汚濁水流入によるものであり、汚濁は年間を通じて発生していることがわかった。布田川の汚濁原因は畜産排泄物によることが示唆された。中流域では汚濁の低い支川からの流入や湧水等による希釈により汚濁は低く、水質は比較的良好であった。下流域では再び汚濁が増加し、何らかの原因が存在することがわかった。また、流量と汚濁負荷量について解析し、合流点での上流側からの汚濁流入量の割合を検討するとともに、流下距離当たりの汚濁負荷量の変化について検討した。

Key Words : water pollution, investigation, water quality, quantity of flow, pollutant load

1. はじめに

熊本県上益城郡益城町と崇城大学との協力協定をきっかけとして、2007年8月から木山川水系河川浄化の取り組みが行われた。益城町を流れる木山川では、その上流支川の布田川で長年にわたって汚濁が激しく、夏場は異臭が漂うこともしばしばで、住民から苦情が寄せられていた。河川浄化のためにはまず流域全体の汚濁の状況を把握する必要があるため、汚濁原因の特定を目的とした調査を実施した。本論文では、この調査結果を基にして汚濁原因特定について得られた知見を報告する。

調査の計画段階では、ある程度汚濁原因が予想される場所だけでなく、上流下流に調査範囲を広げ、流域全体で比較できるようにした。まず、予備調査の段階で現地に行き、実際に採水や水量測定が可能であるか等を確認し、流域に30箇所の観測点を設定した。これらの観測点において、2008年1月から12月までに毎月1回、合計12回の水質調査を実施した。また、汚濁負荷量を把握するための流量調査を2月に1回、汚濁が著しい布田川流域は毎月実施した。水質分析は河川環境基準の項目と、その他に化学的・生物学的観点から数項目を追加して行った。

2. 調査概要

(1) 調査対象流域

調査対象流域を図-1に示す。木山川は熊本の主要河川の一つである緑川水系支川の全長約20kmの河川である。阿蘇外輪山を源として、布田川等の諸支派川を併合しながら熊本平野南部を西走し、熊本市南部の江津湖からの加勢川と合流し、緑川に併合されて有明海に注ぐ。上流は山地丘陵地帯で主に山林や畑地、畜産等の農業的土地利用がなされ、中下流域の平野部では水田地帯となる。木山川から分流する秋津川の北側には益城町、熊本市の住宅地が広がる。木山川には、上流から布田川、金山川、赤井川、藻川、岩戸川、矢形川、秋津川の7支川が合流している。布田川には玉田川と長田川が合流している。

(2) 観測点、調査日、水質分析項目

観測点30ヶ所を図-1に示す。基本的に合流前2ヶ所と合流後1ヶ所の計3ヶ所とした。また、自治体による観測点があるところは同一地点を選定した。調査日と水質分析項目を表-1と表-2に示す。水質分析は、河川環境基準のうちからBOD、SS、大腸菌、pHの項目について行い、この他にも、化学的観点から数項目を追加して行った。また、生物学的観点からATP（アデノシン三リン酸）量

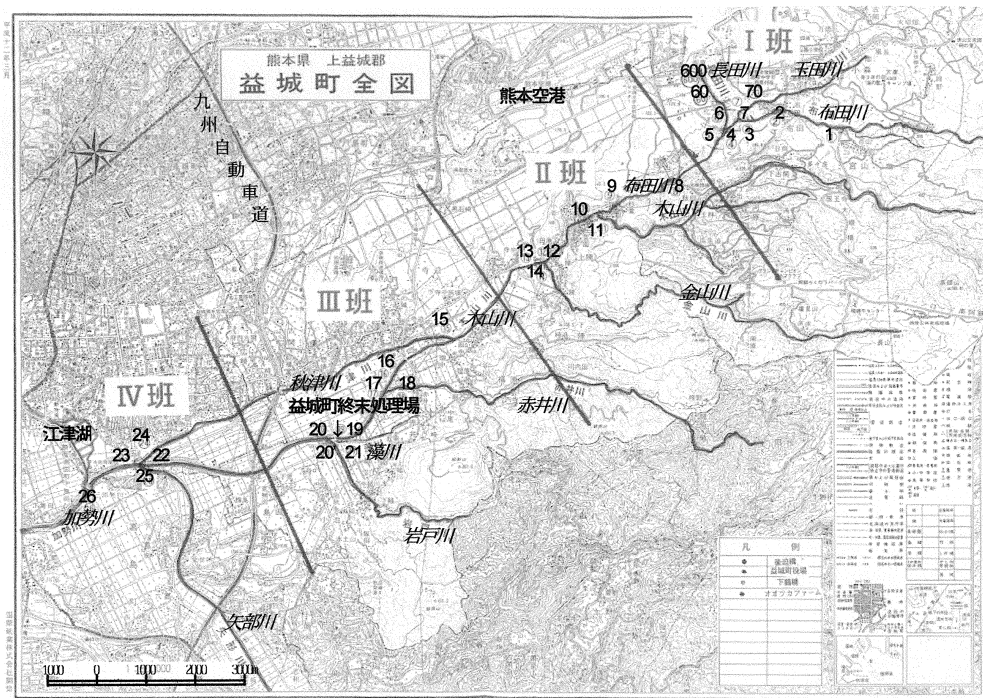


図-1 木山川水系の流域と観測点（国土地理院5万分の1地形図使用）

を測定した。このATP法は全微生物量の指標で、微生物をはじめとする生細胞にエネルギー物質として含まれている細胞内ATP量を測定することにより微生物量を測定する方法である。

表-1 調査日

回	調査日	備考	回	調査日	調査内容
1	2008/2/9	水質のみ*	7	7/26	水質、流量
2	3/1	水質、流量	8	8/28	水質のみ*
3	3/24	水質のみ*	9	9/27	水質、流量
4	4/26	水質、流量	10	10/25	水質のみ*
5	5/24	水質のみ*	11	11/29	水質、流量
6	6/28	水質、流量	12	12/20	水質のみ*

※布田川は毎回流量を調査した。

表-2 水質分析項目

分類	項目
環境基準の指標	BOD, SS, 大腸菌群数, pH
化学的指標	TOC, COD, アンモニウムイオン, 硝酸イオン, 亜硝酸イオン, 導電率, 紫外吸光度 (A_{254}), Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^{+}
生物学的指標	ATP*

※波長201nmにおける紫外吸光度。*4月以降分析。

(3) 採水方法と流量調査方法

採水は各場所に適した方法を選び、年間を通して同一

地点では同一手法を原則とした。河川水の採水位置は流心とし、採水深さは水面から2割の水深とした。ただし、低水位と増水時期で極めて流量が異なる上流溪流では状況に応じた採水手法とした。流量の少ない時期の上流溪流や小河川では河川に入って直接採水した。流量の増大時と中下流の観測点では橋からバケツにより採水した。

本調査は溪流を含む小、中河川という対象河川の性格上、同時多数の観測点、調査員、測定機器等々の制約から、「建設省河川防砂技術基準（案）」方式¹⁾と、JIS方式²⁾を踏まえながらも、その他の文献^{3)~7)}も参照しつつ、予備調査結果を踏まえて状況に応じて両者をかなり簡略化した調査方式で実施した。流量計算は「簡便法」とJIS法の2種類で行った。流量観測は流速計測法を基本とし、状況に応じて浮子測法、堰測法を用いることとした。観測点は、年間を通して同一地点では同一手法が望ましいが、最終的には現地での判断によることとした。

3. 水質分析結果

(1) BOD測定結果

生物化学的酸素要求量（BOD）の測定結果を図-2～図-7に示す（奇数月のみ）。第1～6回は概ね類似しており、上流部の長田川と玉田川で高い値を示した。この河

川の「生活環境の保全に関する環境基準」は類型A（BOD基準値 2mg/l 以下）であり上流部の汚濁が大きいことがわかる。中下流部は、第2回の観測点26，第4回の観測点13，15，第5回の観測点14で時折高い値が認められた。下流部では観測点24が全般的に高い値であった。第7回は他と異なり全般的に高い値であった。第8～11回では中流域の汚濁は落ち着いたが下流域は依然として高い値であった。

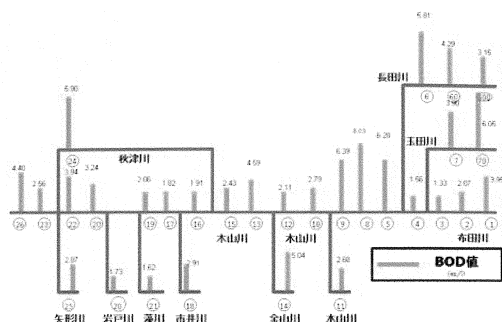


図5 採水地点別BOD値（第7回：2008.7.26）

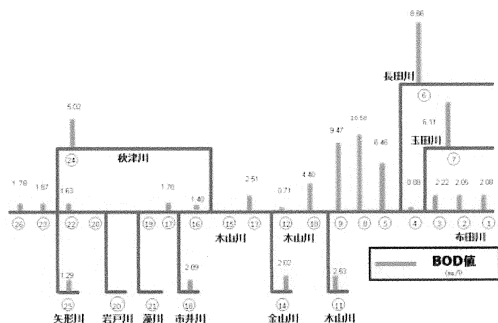


図2 採水地点別BOD値（第1回：2008.2.9）

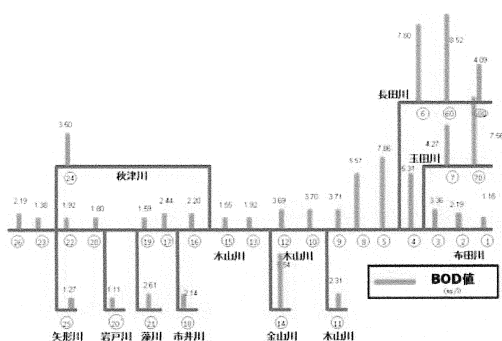


図6 採水地点別BOD値（第9回：2008.9.27）

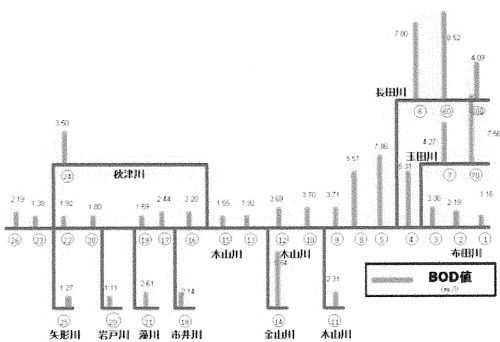


図3 採水地点別BOD値（第3回：2008.3.22）

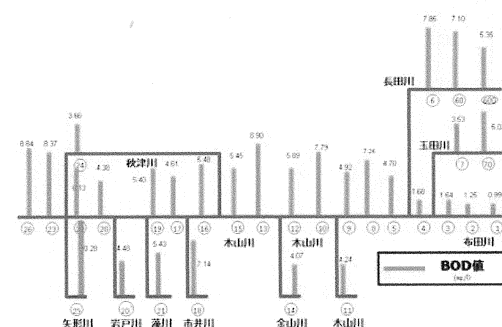


図7 採水地点別BOD値（第11回：2008.11.29）

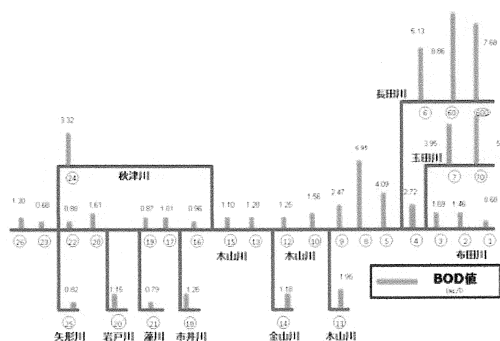


図4 採水地点別BOD値（第5回：2008.5.24）

(2) TOC測定結果

TOCの測定結果を図8～図13に示す（奇数月のみ）。木山川水系は観測点6，8，9付近で年間を通して汚濁が激しく，次いで下流域の汚濁が大きい。観測点12から20付近の中流域は清浄に近い。他の水質項目も同様の傾向を示しており，木山川水系の水環境悪化は生活或いは農業，畜産関係に起因する水質汚濁であり，主な汚濁源は観測点6，60，600，9付近にあることが結論付けられる。

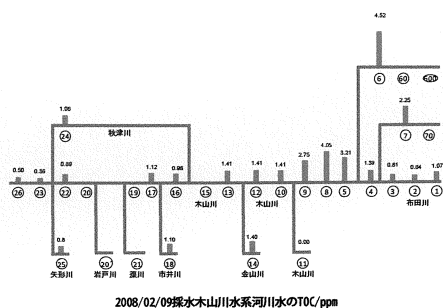


図-8 採水地点別TOC (第1回: 2008.2.9)

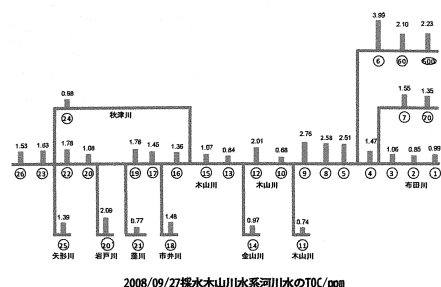


図-12 採水地点別TOC (第9回: 2008.9.27)

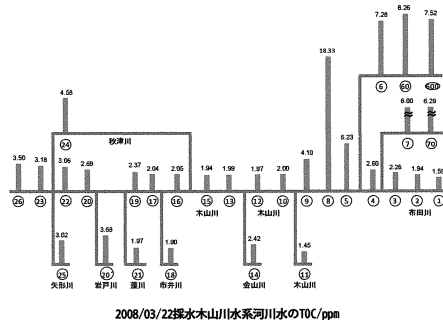


図-9 採水地点別TOC (第3回: 2008.3.24)

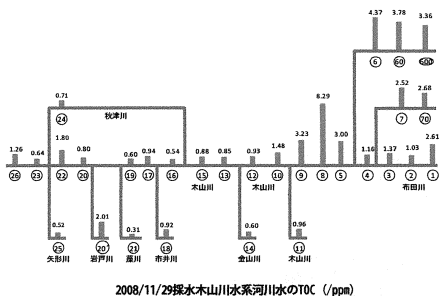


図-13 採水地点別TOC (第11回: 2008.11.29)

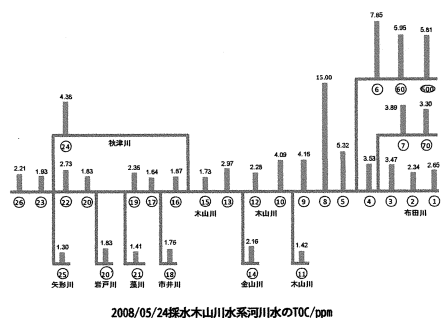


図-10 採水地点別TOC (第5回: 2008.5.24)

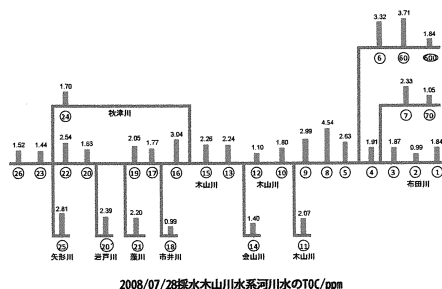


図-11 採水地点別 TOC (第7回: 2008.7.26)

(3) 大腸菌群数とATP量の測定結果

大腸菌群数とATP法による分析結果を図-14～図-16に示す(第5, 8, 11回調査のみ)。観測点6, 60, 600で比較的高いATP値が認められた。この周囲に民家はあまり見られないため、畜産農家、耕作農家、工場排水からの流入の可能性があると考えられる。一方、観測点7と70の間は上流に集落が見られたことから、主に浄化設備等が整っていない生活排水が流入したのではないかと考えられる。観測点8は観測点1～7の合流点であり、その河川沿いに畜産農家からの排水の流入が認められ、このため大きな値になったのではないかと考えられる。観測点9はATP量と大腸菌群数の値が著しく低下しているが、観測点8と9の間に湧水が確認されており、この湧水によって希釈されているものと考えられる。観測点12で値の上昇が見られたが、布田川と木山川の合流点の観測点10では、あまり大きな値は出ていない。観測点10から12の間に多くの集落が存在しており、生活排水が主な原因だと考えられる。岩戸川下流の観測点20は、上流に多くの集落が存在しているので生活排水が主な原因だと考えられる。

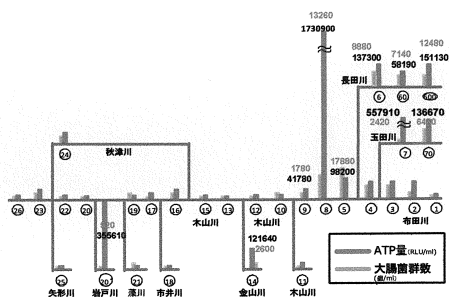


図-14 採水地点別ATP量及び大腸菌群数
(第5回：2008.5.24)

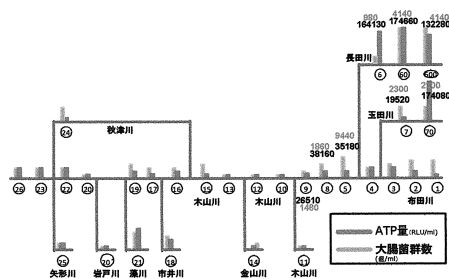


図-15 採水地点別ATP量及び大腸菌群数
(第8回：2008.8.28)

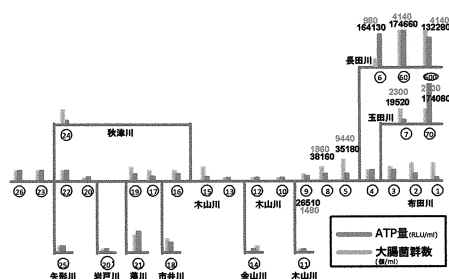


図-16 採水地点別ATP量及び大腸菌群数
(第11回：2008.11.29)

4. 流量と水質汚濁負荷量

木山川水系の水質汚濁状況の全体像を把握して水質汚濁流域と汚濁源を解明するため汚濁負荷量について検討した。主要な水質指標による汚濁負荷量を算出し、これを基に木山川諸支派川の合流点での流域別汚濁負荷割合等を試算、汚濁の流域別汚濁流入の割合を検討した。

(1) 流量計算結果

最終的に決定した流量 $[\text{m}^3/\text{s}]$ を、横軸に観測点をと

り、調査回別に示したものが図-17である。降水状況によりやや相違をみせるものの、各回調査とも類似した地点別流量形態を示している。従って、流量の空間的分布からは、木山川水系流量の全般的状況を概ね表現できたものと考えられる。

布田川観測点3から木山川観測点11の上流域の流量状況等を拡大したものを図-18に示す。布田川観測点3から布田川と木山川の合流点までの観測点は毎回調査を原則としたので比較的詳細な流量変動状況が示されている。なお、観測点8と9の間には岳ヶ湖水源の湧水があり、11月18日の調査によれば $0.148\text{m}^3/\text{s}$ の湧水量であった。比較的地表に近い湧水なので先行降水の影響を受けやすいものとみられるが、河川表流水の変動に比すれば安定的であると思われる。一般的に地下水の水質は相対的に良好なので、観測点8と9の間では汚濁はこの湧水で希釈されることになる。

主要支川の合流点における布田川と木山川の流量変化を図-19に示す。上流から下流へ向けて木山川の流量は増大していることがわかる。流量の大きさからは、観測点1～9の布田川流域、観測点11～19及び20の木山川中流域、木山川観測点22、秋津川観測点24、矢形川観測点25の合流、さらに江津湖からの加勢川が合流する観測点26までの下流域に大別される。

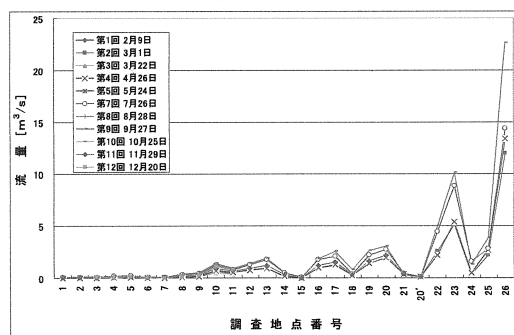


図-17 調査回別観測点流量（全観測点）

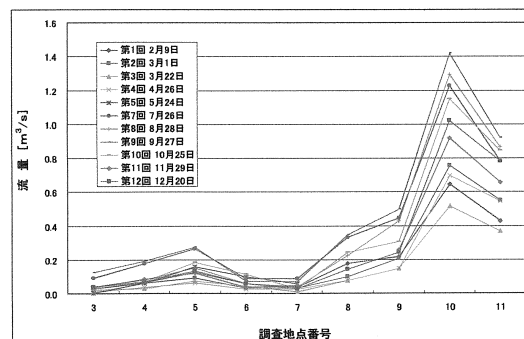


図-18 調査回別布田川観測点3～木山川観測点11の流量

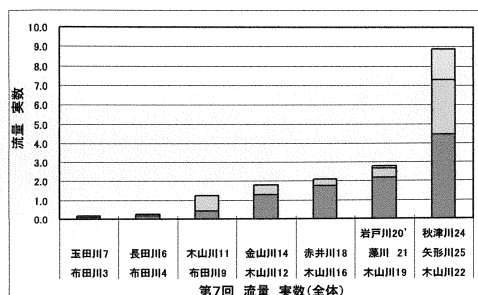


図-19 支川合流点での木山川水系流量 (第7回: 2008.7.26)

(2) 水質汚濁負荷量

a) TOC負荷量状況

第7回調査を例として木山川水系のTOC負荷量〔g/s〕の状況を見る。木山川水系の主要支川合流点でのTOC負荷量の実数を図-20に示す。合流前の各河川のTOC負荷量を積み上げて示している。また、その構成比を図-21に示す。ただし、上流側各河川の負荷量の和を100%としている。TOC負荷の量の面からはやや変動はあるものの、流量の場合と同様、観測点1～9の布田川流域、観測点11～19及び20の木山川中流域、木山川観測点22、秋津川観測点24、矢形川観測点25の合流、さらに江津湖からの加勢川が合流する観測点26までの下流域に大別される。

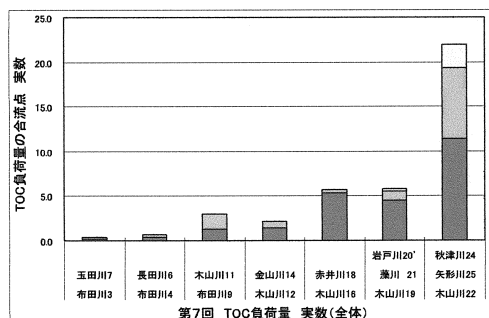


図-20 木山川水系合流点でのTOC負荷量 実数
(第7回: 2008.7.26)

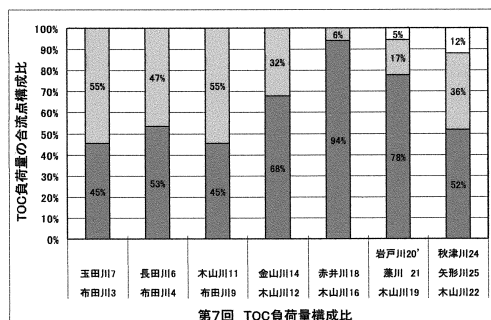


図-21 木山川水系合流点でのTOC負荷量 構成比
(第7回: 2008.7.26)

b) 合流点におけるTOC負荷量の流域別構成 (全調査)

ある調査地点の調査回(月)別のTOC負荷量は大きく変動し、TOC負荷量の流域別構成比も実数ほどではないがやや変動する。そこで、各合流点での全調査構成比を図-22に示す。この構成比が流域別負荷量構成比の包括的指標となる。

玉田川観測点7と布田川観測点3の合流点4での負荷量の水準は小さいが、変動は大きい。流域別構成比は、玉田川が45～92%で変動しており、全調査(調査回数11回)構成比は玉田川が64%である。

長田川観測点6と布田川観測点4の合流点である観測点5での長田川のTOC負荷量構成比は47～80%で変動しているが、変動は比較的安定的で、全調査構成比の67%前後で変動している。

各種水質指標で汚濁度が非常に高いと指摘される布田川と、良好な水質を示す木山川は観測点10で合流する。布田川、木山川ともに上流域には平坦部も存在するものの、総体的にはこの合流点までは山地河川の特徴を示し、狹隘な扇状地帯を経て、金山川の合流点付近から平地部河川へと遷移する。布田川観測点9と木山川観測点11の合流点での負荷量実数の変動は大きい、とりわけ布田川の変動が著しく、第2回、第7回、第9回、第12回の各調査ではきわめて高い数値を示している。特に、第12回調査では流量が小さい季節にも関わらず、布田川のTOC負荷量の大きさは際立っている。この調査回ではCOD負荷量も非常に高く、BOD負荷量も高いので、何らかの特殊要因が作用している可能性が高い。TOC負荷量の流域別構成比においても、全般的には布田川の汚濁の高さが特徴的である。合流点では布田川流量は木山川流量の約1/2～1/4にもかかわらず、布田川のTOC負荷量構成比は3～100%で変動し、全調査構成比は62%にのぼっている。布田川の汚濁の大きさは、中下流域へも少なからぬ影響を及ぼしているものと推測される。

木山川中流域では、金山川観測点14と木山川観測点12の合流点では、金山川から流入するTOC負荷量の構成比は7～32%、全調査(調査回数5回)構成比は18%である。

木山川下流域では川幅も広く、矢形川の観測点25と秋津川の観測点22、木山川の観測点22の合流点である観測点23付近はかつての低湿地地帯であるが、水質指標及び汚濁負荷量は3河川の流域状況を反映している。各河川とも合流点より上流側の非常に広範な流域からの集水のため、負荷量実数の汚濁水準はきわめて高く変動幅も非常に大きい、流域別構成比は安定している。木山川観測点22の構成比の変動が47～57%、全調査(調査回数4回)構成比が52%であるのに対し、矢形川観測点25の構成比変動は35～39%、全調査構成比37%、秋津川観測点22の構成比変動は8～14%、全調査構成比11%となって

いる。この合流点の水域ではTOC負荷量、構成比ともに木山川に次いで矢形川の汚濁が著しく、秋津川の負荷量実数も高い汚濁を示している。

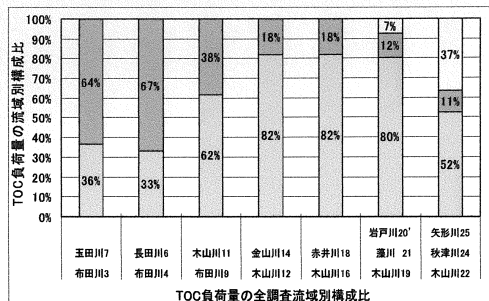


図-22 木山川水系合流点でのTOC負荷量の全調査構成比

(3) 河川流下による汚濁負荷量の変化

実測の調査結果を確証的に裏付けるためには、流域の土地利用状況等を基に汚濁発生源側の負荷量を推計し、河川までの流出率、河川中での希釈分解を考慮した上で関係付けるのが望ましいが、この点は今後の課題である。今回は、流下区間における負荷量の要因分解と、流下距離当たりの濃度変化と負荷量の変化を見ることにした。

a) 河川流下区間におけるTOC負荷量倍率の要因分解

第7回調査を例にとり流下区間のTOC負荷量の要因を分解した結果を図-23に示す。ここで、指標倍率1は流下区間で負荷量の増加、1以下は減少を意味する。濃度と流量はメカニズムが異なり、倍率も水準に依存するため上流部と下流部の単純比較はできないが、各流下区間における特性を検討することは今後の水質浄化方法のための基礎的検討となると思われる。

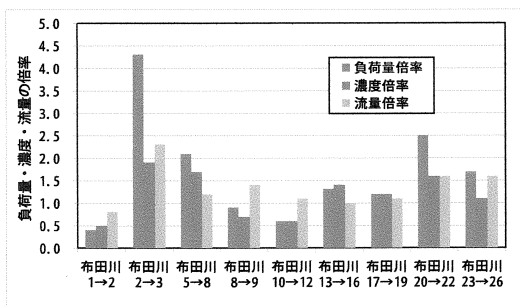


図-23 流下区間のTOC負荷量の要因分解 (第7回：2008.7.26)

b) 流下距離当たりのTOC濃度と負荷量の変化

観測点間のTOC濃度及び負荷量の変化を、地形図から求めた距離で除したものを図-24と図-25に示す。これは自然の浄化作用の他、汚濁の流入や湧水による希釈等、

河川的作用を含んだ見かけ上の値であるが、流域の汚濁原因を特定するのに有用であると思われる。これを河川の後背地の土地利用等と比較すると、観測点5から8間の負荷量増大が異常に高いことがわかる。なお、益城町の下水終末処理場は観測点19、20、20'、21付近に位置し、益城町の資料⁹⁾によれば、平成20年度の放流量は年平均2,483,947m³、放流水質は年平均でSSが1.0mg/l、BODが3.1mg/l、全窒素が25mg/l、全リンが1.4mg/lであるが、放流水は秋津川に放流されている。

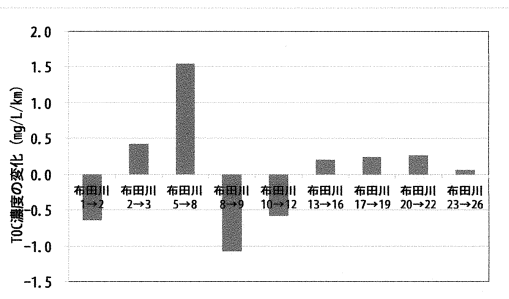


図-24 流下距離当たりのTOC濃度の変化
(第7回：2008.7.26)

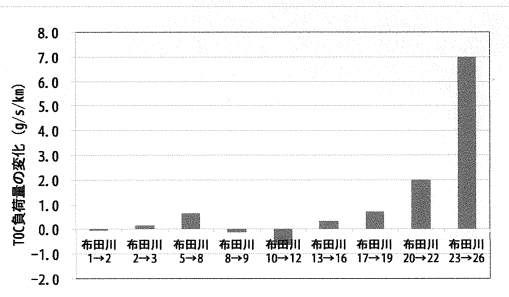


図-25 流下距離当たりのTOC負荷量の変化
(第7回：2008.7.26)

5. 総括

熊本県下益城郡益城町から熊本市内へと流れる木山川水系を対象として、汚濁原因の特定を目的とした水質と流量の調査を実施し、検討した。その結果得られた主な知見を以下にまとめる。

〔全般〕

- (1) 水質及び汚濁負荷量の特徴は「布田川流域」（後背地は主に緑地）、「木山川中流域」（後背地は主に水田）、「木山川下流域」（後背地は熊本市市街地及び江津湖）に大別される。
- (2) 主な汚濁原因は上流布田川からの汚濁水流入で、年間を通じて発生している。

〔布田川流域〕

- (3) 3箇所の観測点で年間を通して汚濁が激しい。
- (4) 水質分析の結果から、大腸菌群数とアンモニウムイオン、硝酸イオン等が非常に高く、水質悪化の原因は生活或いは農業、畜産関係に起因する汚濁であることがわかった。また、汚濁の激しい地点の上流を追加観測した結果、主な汚濁源を特定することができた。
- (5) 流量は少なく最上流2地点の汚濁負荷量は極めて小さい。これが流下するにつれて増大し、箇所によってはTOC、COD、BOD負荷量が共にかなり大きい。
- (6) 測定結果から流下距離当たりの汚濁変化を見ると、比較的狭隘な流域に於いて、流量が小さい布田川諸川への汚濁物質の大量流入が水質汚濁の主要因であることがわかった。

〔木山川中流域〕

- (7) この区間は汚濁の低い支川からの流入水や湧水等による希釈で汚濁は低く、概ね清浄に近い水質である。

〔木山川下流域〕

- (8) 下流域は年間を通して「布田川流域」付近に次いで汚濁が激しい。
- (9) 複数の支川が合流していくことにより流量が顕著的に増大するとともに、汚濁負荷量が大い木山川と矢形川、秋津川、及び汚濁負荷量が大いといと推測される加勢川も合流し、非常に大きい汚濁負荷量を示している。

謝辞

本調査は益城町から資金援助を受けて実施した。調査ではエコデザイン学科とナノサイエンス学科の教職員と学生諸君に多大なご協力を頂いた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 建設省河川局監修：二訂建設省河川防汚技術基準（案）・調査編，山海堂，1996。
- 2) 日本規格協会：JIS K 0094，工業用水・工場排水の試料採取方法，1994。
- 3) 土木学会：水理公式集，2000。
- 4) 中島重旗，加納正道，小島義博，金子好雄：水環境工学の基礎，森北出版，1994。
- 5) 新井正：水環境調査の基礎，古今書院，1994。
- 6) 武田郁郎：水と水質環境の基礎知識，オーム社，2001。
- 7) 國松孝男，村岡浩爾編著：河川汚濁のモデル解析，技法堂出版，1989。
- 8) 益城町提供資料（平成 20 年度法流量及び水質について）。
- 9) 崇城大学エコデザイン学科：木山川水系水質調査報告書，2009。
- 10) 村田重之，吉田烈，岩原正宜，田代敬大，上野賢仁：木山川水系河川浄化プロジェクト，崇城大学研究報告，第 35 巻，第 1 号，2010。

DETECTION OF POLLUTION SOURCES BASED ON WATER QUALITY AND POLLUTANT LOAD INVESTIGATION — A CASE OF KIYAMA RIVER IN KUMAMOTO PREFECTURE —

Shigeyuki MURATA, Isao YOSHIDA, Masayoshi IWAHARA, Takahiro TASHIRO and Takahito UENO

The investigations of water pollution of Kiyama river was instituted to detect pollution sources with the agreement of cooperation between Mashiki town in Kumamoto prefecture and Sojo university. The water quality of Kiyama river had been analyzed every month since January to December in 2008. Also the volume of the river had been measured every other month. The results of these investigations shows the main cause of the pollutions was the inflow of polluted water from Futa river which is in the upper reaches, and the pollutions occurred through the year. Furthermore, the values of the number of colon bacillus groups, the ammonium ion and the nutritive acid ion, etc., were very high. So the pollutions were suggested to be caused by the stock raising excrement. At the middle reaches, the water qualities were fairly good because the effects of dilution with inflow of low-polluted water of the branches and with spring water. At the lower reaches, the pollution were increased again, and it means that the some pollution sources are exist there. As analyzing these results, it was discussed about the share of pollutant load of upper branches at the confluences of rivers.