

## 久慈湾の水質改善に向けた河川および 主要負荷源における水質の評価

辻 盛生\*・重 浩一郎\*\*・松本 泰斗\*\*\*・折居 成人\*\*\*・五日市 千秋\*\*\*・立花 一\*\*\*

**要 旨** COD 値の環境基準超過が目立つ久慈湾において、流入する河川および主要負荷源からの負荷量を調査した。主要負荷源となるし尿処理施設および下水処理施設からの放流水と、久慈湾へ流入する各河川の BOD 値は、環境基準や水質汚濁防止法の水質基準と比べ低く安定しており、有機物の直接流入から久慈湾の COD 環境基準超過の原因を推定することはできなかった。一方、窒素、リンに着目すると、し尿処理施設では窒素の、下水処理施設ではリンの排出負荷量が多いことが明らかになった。さらに、玉の脇川においてリンの値が極端に高い傾向が見られ、特に 2 月には平常時の 10 倍の値を記録し、上流域に何らかの負荷源の存在が示唆された。久慈湾の COD 値の環境基準超過は、陸域からの有機汚濁の直接流入ではなく、陸域からもたらされる窒素やリンに基づく海域での植物プランクトンによる有機物の内部生産によると考えられた。湾口防波堤建設によって閉塞性が高まることから、改善効果が高いと考えられる点源負荷の対策を行うと共に、特に窒素、リンの負荷量を継続的に把握する必要があるといえる。

**キーワード** 久慈湾、流入負荷、点源、窒素、リン

### 1. はじめに

国内における公共用水域の環境基準達成率は、河川の有機汚濁指標 (BOD (生物化学的酸素供給量)) において改善傾向が見られ、9 割を越える。これは、下水道の普及や事業所排水の規制強化、地域住民の環境意識の向上などの効果が現れたものと考えられる。一方、海域の有機汚濁指標 (COD (化学的酸素要求量)) における環境基準達成率は河川に比べ若干低く、8 割前後で推移している。特に、閉鎖性の高い海域で達成率が低い傾向が見られることから、国内の 88 箇所の閉鎖性海域を指定し、流域事業所の全窒素、全リンに関する排水基準を設けると同時に、海域の全窒素、全リンの環境基準を設け、有機物だけではなく栄養塩の面からも水質改善を図っている。

久慈湾は湾口水深 26m、面積 17.4km<sup>2</sup>の海域であり、平庭高原を始めとする山々や三陸海岸など自



図1 久慈湾の形状と湾口防波堤建設予定位置  
福田・桜庭 (2009) より加筆引用

然豊かな地域に位置している。しかしながら、久慈湾では COD に係る環境基準超過が過去 11 年

\* 岩手県立大学総合政策学部 〒020-0693 岩手県滝沢市菓子 152-52

\*\* 久慈市総合政策部政策推進課 〒028-8030 岩手県久慈市川崎町 1-1

\*\*\* 岩手県北広域振興局保健福祉環境部 〒028-8042 岩手県久慈市八日町 1-1

間で7回記録された。岩手県内における環境基準達成状況では大船渡湾に次いで悪く、改善の兆しが見えない状況である。平成23年度においては、県内で海域環境基準が未達成であったのは久慈湾のみであった。久慈湾は比較的開放的な形状をしており、沿岸南部の宮古湾や大船渡湾のような閉鎖性海域には該当しないとされている(図1)。そのため、窒素・リンについての排水基準や環境基準が適用されていない。

閉鎖性水域である大船渡湾におけるCODの基準超過の背景について、岩淵(2011)は事業所や家庭の排水による有機物の直接的な影響に加え、山林や水田、畑などの面源からの窒素、リン等の栄養塩の流入に伴う内部生産を挙げている。久慈湾においても、湾口防波堤(図1)の整備が進められる中で閉鎖性が高まり、外洋との水の交換が阻害される(宮沢・早川, 1994)ことによって、湾内の植物プランクトンによる有機物の内部生産が活発になることが予想される。さらに、湾口防波堤整備後にこのような状態が続けば、湾内に有機物が堆積し、貧酸素水塊の発生(長坂ほか, 1997、藤井ほか, 2010)など、湾内の生物や漁業資源に影響を与える結果も考えられる。したがって、久慈湾においても陸域からもたらされる栄養塩対策は、より重要性を増すと見える。栄養塩の負荷源としては、田畑や山林等の面源に加え、事業所や排水処理施設などの点源の課題が残されていることも考えられ、海域の水質改善に際しては、広域的な負荷源の把握とその結果を受けた改善が必要と考えられる。

ここでは、久慈湾に注ぐ河川下流や主な点源負荷の水質および水量から、有機物や栄養塩をはじめとする各水質項目の久慈湾への流入負荷量の把握を試み、水質改善に向けた対策の一助とすることを目的として調査を実施した。

## 2. 調査地および方法

2013年5月27日に予備調査を行い、6月から水質および水量について1回/月の頻度で調査を実施した。調査実施日は、6月24日、7月22



図2 調査地点位置図

日、8月20日、9月15日、10月20日、11月15日、12月13日、1月17日、2月27日、3月28日、4月23日、5月9日である。極力増水の影響を受けていない日を調査日として設定したが、10月20日は同月16日から17日にかけて連続雨量111.5mm(久慈アメダス)の降雨があった影響が残り、また3月28日は雪融けによる増水の影響を受けた。調査時の流量と水質から、1日あたりの負荷量を算出し、久慈湾への流入負荷の傾向を把握した。なお、久慈湾内の水質は、岩手県の公共用水域水質測定結果に基づいた。

### 2.1. 調査地点

久慈湾への主な流入河川として久慈川、長内川、夏井川が挙げられる。流入負荷を算出するために、以下の調査ポイントを抽出した(図2)。久慈川と長内川の合流後は水深が深くなり、潮位の影響を受けることから、久慈川は八日町、長内川は長内橋を調査地点とした。さらに、久慈市の下水処理施設である浄化センター(オキシデーションディッチ法処理)の処理水が久慈川、長内川の合流点より下流側に流入することから、別途浄化センター処理水を測点とした。なお、浄化センター処理水は8月からの測定である。夏井川は、下流

表 1 水質測定法

項目	測定方法	使用機器
水温	サーミスタ	CM-21P
EC	電極法	CM-21P
pH	電極法	TPX-999Si
DO	隔膜電極法	DO-24P
Chl-a	蛍光法 (In-Vivo クロロフィル測定)	Aquafluor
濁度	散乱光法 (ホルマジン標準)	Aquafluor
BOD	5日間培養法	DO-24P
COD	過マンガン酸カリウム法	TNP-10
T-N	ペルオキシ二硫酸カリウム分解 亜鉛還元ナフチルエチレンジアミン吸光光度法	TNP-10
T-P	ペルオキシ二硫酸カリウム分解 モリブデン青吸光光度法	TNP-10
各種イオン	イオンクロマトグラフィー法	IC761

部にし尿処理施設である清掃センター（嫌気・好気分解後凝集沈殿処理）処理水が流入することから、流入前の夏井川（夏井上）、流入後の夏井川（夏井下）の双方と、清掃センター処理水の測定を行った。なお、夏井下の測点は、潮位の影響を受けない最下流部として、清掃センター処理水流入部の約 50 m 下流側の洋々橋直下とした。なお、夏井上の 9 月は欠測である。さらに、久慈湾南側に流入する玉の脇川\*とその西隣の小河川\*を対象とした。

なお、調査地点のある各河川下流部には、生活環境の保全に関する環境基準の河川 A 類型が該当する。今回測定した水質項目の中では pH（6.5 以上 8.5 以下）、BOD（2mg/L 以下）、DO（7.5mg/L 以上）が河川 A 類型の環境基準である。

## 2.2. 水質調査

水質は、表 1 に示した方法により、現地において、水温、EC（電気伝導率）、pH、DO（溶存酸素量）を、サンプル瓶に採水後持ち帰り、Chl-a（クロロフィル-a）、濁度、BOD、COD（Mn）、T-N（全窒素）、NO<sub>3</sub>-N（硝酸態窒素）、NO<sub>2</sub>-N（亜硝酸態窒素）、NH<sub>4</sub>-N（アンモニア態窒素）、T-P（全リン）、PO<sub>4</sub>-P（リン酸態リン）、Cl<sup>-</sup>（塩化物イオン）、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>（硫酸イオン）、Na<sup>+</sup>（ナトリウムイオン）、K<sup>+</sup>（カリウムイオン）、Mg<sup>2+</sup>（マグネシウムイオン）、Ca<sup>2+</sup>（カルシウムイオン）の分析を行った。DO および水温、飽和溶存酸素量から酸素飽和度（DO-SAT）を求めた。測定方法は国土交

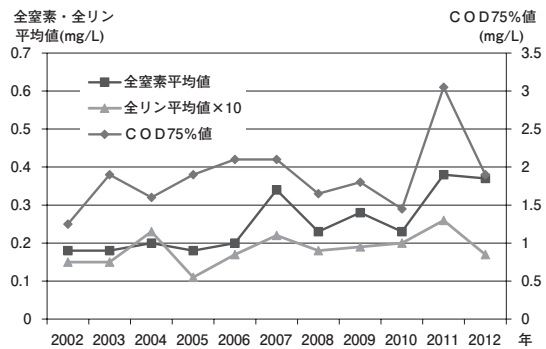


図 3 久慈湾内 S-1 における水質の推移

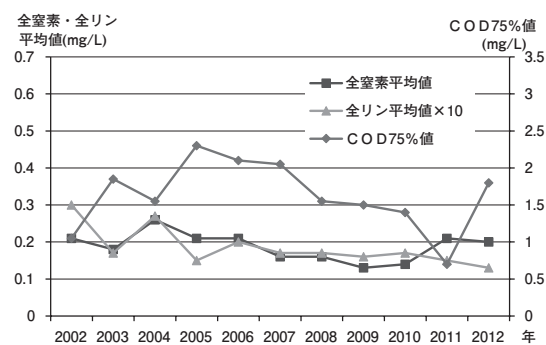


図 4 久慈湾内 S-2 における水質の推移

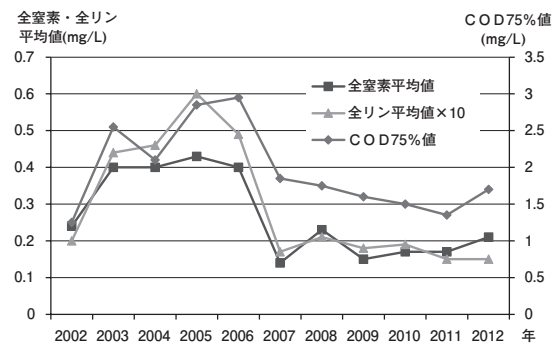


図 5 久慈湾内 S-3 における水質の推移

通省（2008）河川水質試験法（案）に準じた。

## 2.3. 流量、負荷量調査

久慈川、長内川、夏井下、玉の脇川、小河川について、流量を測定した。流量は、流下断面を分割し、各断面積と流速（断面の横断中央部 6 割水深の流速）の積の総和によって求めた。長内川については、岩手県県土整備部の水位データと、同

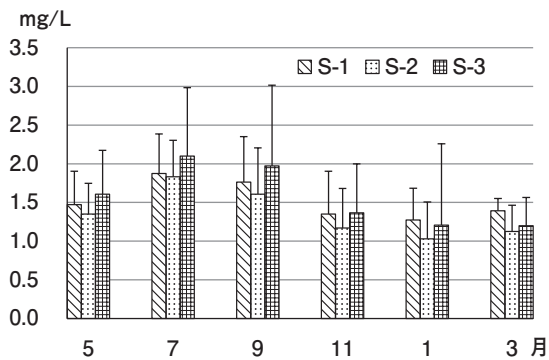


図6 湾内各測点のCOD平均値の季節変化  
(エラーバーは標準偏差を示す)

地点のHQカーブから調査時の流量を求めた。負荷量は、測定時の日流量に各測定項目の濃度を乗じ、1日当たりとして示した。なお、10月20日において河川流量測定は行えたものの、降雨の影響が明らかであることから、水質および負荷量の推移の参考値として日平均流量および日平均負荷量の算出から除外した。また、3月28日の測定時には、雪融けによる増水が見られ、一部の流量測定が行えなかったことから、水質の参考値として負荷量からは除外した。浄化センター、清掃センターの排水量については、岩手県北広域振興局把握の排水量を用いた。なお、夏井川の負荷量は、夏井下の測定値が清掃センター処理水の混合不足の影響で値が不安定であったことから、夏井上の負荷量と清掃センターからの負荷量の和を値とした。

### 3. 結果

#### 3.1. 久慈湾の水質の傾向

公共用水域水質測定結果から、久慈湾の水質の傾向を示す。測定は図2に示すS-1からS-3の3地点において、岩手県によって年に6回を標準として継続的に実施されたものである。CODはA類型(2mg/L以下)である。なお、久慈湾は閉鎖性水域とされていないことから海域の窒素、リンの環境基準の適用はないが、ここでは大船渡湾などで適用されている基準を当てはめ、判断基準とした。T-N、T-Pの環境基準はII類型(それ

ぞれ0.3mg/L以下、0.03mg/L以下)である。

久慈湾内の各調査地点の2002年～2012年にかけてのCOD、T-N、T-P濃度の推移を見たものが図3～5である。なお、値は各年に複数回(通常6回)行われる測定値に基づき、CODは75%値、T-N、T-Pは平均値を用いた。T-Pの値は、軸の桁をT-Nと揃える目的で、10倍した値でプロットした。

S-1(久慈川河口沖)においては改善傾向が見られず、むしろ上昇傾向が見られた(図3)。特に2007年以降のT-Nにその傾向が見られた。2007年、2011年、2012年はT-Nの基準値を超えた。CODは、2006年、2007年、2011年に75%値で基準を上回った。なお、2011年の値は、震災の影響で測定回数が3回と少なく、その内の1回が基準値を超えたことで75%値としてカウントされたものである。

一方、S-2(赤浜付近)の平均水質の推移は、横ばい、もしくは若干の改善傾向が見られた(図4)。2002～2007年においては、COD75%値が基準を超えたが、以降は下回った。

S-3(諏訪下外防波堤内)においては、COD、T-N、T-P共に、2007年を境に改善傾向が見られた(図5)。

2ヶ月に1回実施された湾内のCOD値について、2002～2012年の測定月毎の平均値における年内の推移を見たものが図6である。ばらつきは見られるものの、各測点とも夏期に高く、冬期に低くなる傾向が見られた。なお、T-N、T-Pにおいては、CODのように各測点で同様な季節変動は見られなかった。

#### 3.2. 久慈湾流入河川の各水質項目の濃度

久慈湾に直接流入する久慈川、長内川、夏井川、玉の脇川、小河川について、本調査期間である2013年に測定した各水質項目の平均値を図7に示した。なお、夏井川は、夏井上、夏井下の2地点とした。また、主要水質項目として、BOD、COD、T-N、T-P濃度の推移を図8～11に示した。なお、濃度推移のグラフでは、夏井上を省略した。

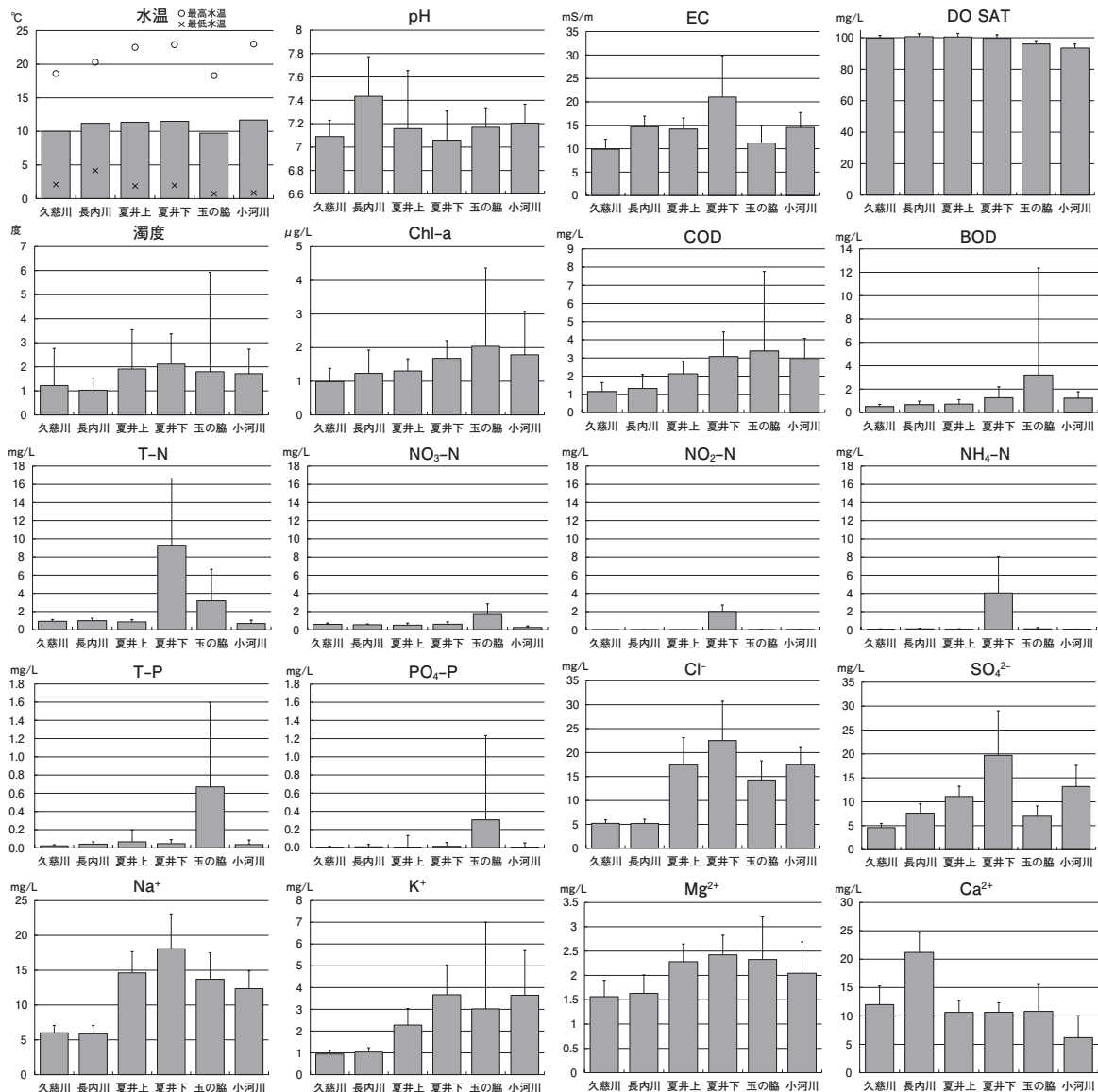


図7 各河川における水質項目の平均値（エラーバーは標準偏差を示す）

日平均流量（増水が見られた10月20日の値は除く）を図12に、流量の推移を図13に示した。ここでは、採水地点毎の水質の特徴について示す。

### 1) 久慈川

測定期間の平均日流量は54.2万t/日であり、久慈湾への総流入量の約58%を占めた。水中の無機イオン量の指標であるECの平均値は9.9mS/m、pHの平均値は7.1であり、ばらつきは少な

かった。有機汚濁の指標であるBODの平均値は0.5mg/Lであり、環境基準（河川）のA類型2mg/Lを全年で下回った。なお、BOD最大値は6月の0.93mg/Lであり、河川AA類型の基準である1mg/Lを上回ることなく安定した（図9）。CODもここで比較した5地点の中では最も低く、平均で1.1mg/Lであった。DOはほぼ飽和状態で推移した。なお、DOの最低値は7月の9.34mg/

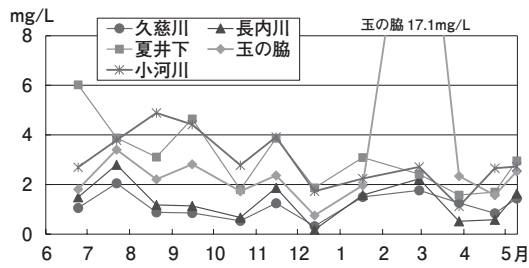


図8 各河川のCOD値の推移

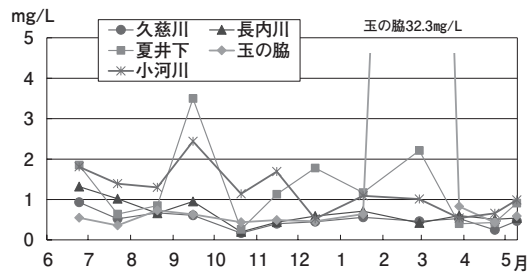


図9 各河川のBOD値の推移

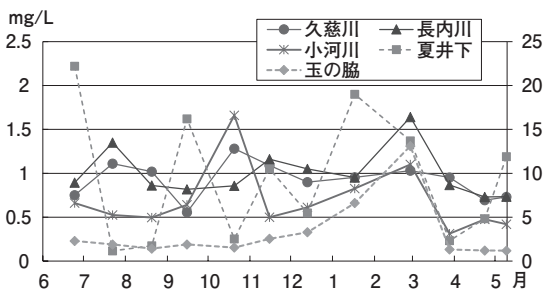


図10 各河川のT-N値の推移  
(夏井下、玉の脇川は第2軸として点線で示した。)

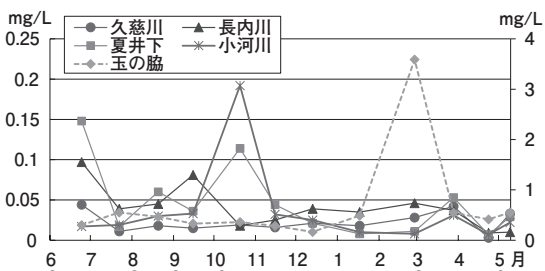


図11 各河川のT-P値の推移  
(玉の脇川は第2軸として点線で示した。)

Lであった。濁度は平均で1.2度であり増水の影響が残った10月の測定で2.0度、雪融けによる増水が見られた3月では5.8度を記録したものの、それ以外は1.5度未満の低い数値を示した。窒素について見てみると、T-Nの平均は0.92mg/Lで

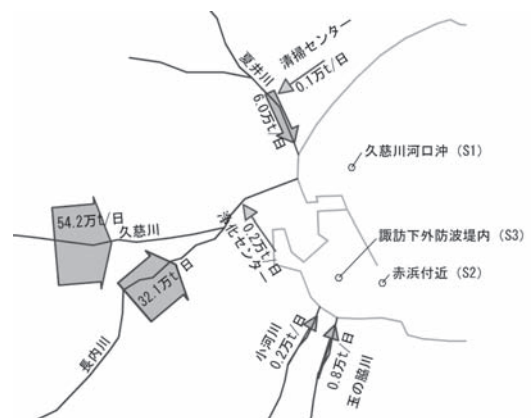


図12 各測点の平均日流量 (増水時は除く)

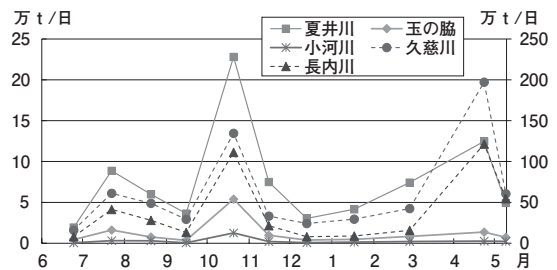


図13 各河川の流量の推移  
(久慈川、長内川は第2軸として点線で示した。)

あり、小河川に次いで低い値となった。NO<sub>3</sub>-Nの平均値は0.60mg/Lであり、比較的低い値で安定した。NH<sub>4</sub>-Nの平均値は測定した5河川の中で最も低い0.05mg/Lであった。T-Pの平均値も5河川の中で最も低く、0.02mg/Lであった。人間活動の影響を受けて増加する傾向があると考えられるCl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>の平均値も低い傾向が見られた。上記の結果から、久慈川の水質は5河川の中で最も良好といえる。水量が豊富であり、下水道整備率が比較的高い地域を流下することで生活排水等の影響を受けにくかったことが要因と考えられる。

なお、公共用水域測定結果(久慈市, 2012、久慈市, 2013)からは、湊橋下流排水口(本調査における久慈川の調査地点より下流側)において、平成23年8月、平成23年11月に水質汚濁防止法の排水基準であるBOD160mg/Lを越える値が記録された。他にも上記資料中において、基準を

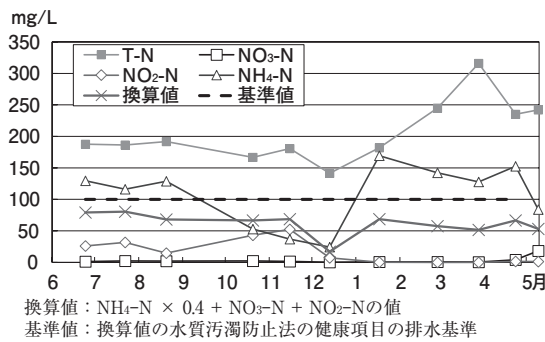


図 14 清掃センター処理水の窒素成分の推移

上回らなくとも高い値が散見されたことから、久慈川は良好な水質ではあるものの、最下流部において点源負荷が残存する状態といえる。

## 2) 長内川

測定期間の平均日流量は 32.1 万 t/日であり、久慈湾への流入水量の約 34%であった。したがって、久慈川とその支流の長内川で、久慈湾への流入水量の約 92%を占める。EC の平均値は 14.7mS/m であり、久慈川よりも高い値となった。pH の平均値は 7.4 であり、測定した 5 河川で最も高かった。BOD の平均値は、久慈川に比べると若干高いものの、平均では 0.7mg/L であり A 類型の環境基準を満たした。濁度は比較的低位安定しており、平均で 1.0 度であった。長内川上流に滝ダムが存在するが、Chl-a の上昇傾向は見られなかった。窒素については、T-N、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N 共に久慈川と同様低い値であった。T-P の平均値は 0.04mg/L と数値としては低いものの、久慈川の約 2 倍の値となった。その他イオン濃度も久慈川の傾向に近かった。上流にダムが存在する長内川であるが、その影響は少なく水質は比較的良好といえる。イオンでは Ca<sup>2+</sup> の含有率と pH が本調査における測定河川の中では比較的高く、総硬度の平均値は 64.3mg/L であることから、中程度の軟水（中硬水）に分類される。

## 3) 夏井川

清掃センター処理水流入部上流側の測定ポイント「夏井上」と流入部下流側の「夏井下」について示す。測定期間の平均流量は 6.0 万 t/日であっ

た。pH の平均値は、夏井上、夏井下それぞれ 7.1、7.2 であった。EC の平均値は、夏井上が 14.2mS/m、夏井下が 21.0mS/m であり、清掃センター処理水の合流によって上昇し、ばらつきが大きくなった。夏井上の BOD 平均値は 0.7mg/L であり、A 類型の環境基準である 2mg/L を超過した値は記録されなかった。夏井下の平均値は 1.3mg/L であり、75% 値において A 類型の環境基準は越えなかったものの、9 月に 3.5mg/L、2 月に 2.2mg/L の値を記録した。COD については、夏井上の平均値は 2.1mg/L、夏井下の平均値は 3.1mg/L であった。夏井上の T-N は平均で 0.86mg/L であり、久慈川や長内川とほぼ同じであった。しかしながら、濁度は久慈川の 1.5 倍以上あり、人間活動の指標とされる Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> の値も高い傾向が見られたことから、夏井川の上流、あるいは支流の鳥谷川に、何らかの汚染源が存在する可能性が示唆された。一方、夏井下では、T-N の平均値が 9.3mg/L、最大で 6 月に 22.2mg/L を記録した。NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N 共に夏井上においてはほとんど検出されなかったが、夏井下においてはそれぞれ平均値で 2.0mg/L、4.0mg/L であった。後述の清掃センター処理水（図 14）の無機態窒素の内、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N がほとんどを占めることから、夏井下の T-N の値は清掃センター処理水の影響を強く受けているといえる。なお、夏井下の T-N にばらつきが発生した。採水は、清掃センター処理水合流点から 50m 程度下流の流心付近で行ったが、流量と清掃センター処理水の濃度の関係だけではなく、放流地点から採水地点までの流下距離が短く、混合が不十分であったことも一要因と考えられる。

## 4) 玉の脇川

測定期間の平均流量は 0.8 万 t/日であった。pH の平均値は 7.2、EC の平均値は 11.2mS/m であり、2 月に 21.5mS/m の最大値を記録した。BOD 平均値は 3.2mg/L と若干高い値となったが、これは 2 月の測定において 32.3mg/L と極端に高い値を示したためである（図 9）。それを除く平均は 0.6mg/L であった。この河川で特徴

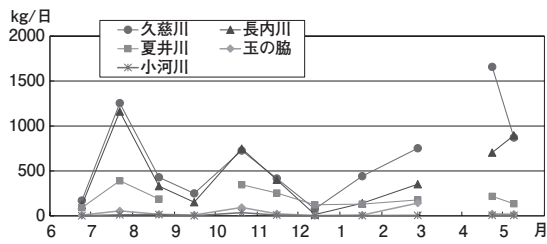


図15 各河川のCOD負荷量の推移

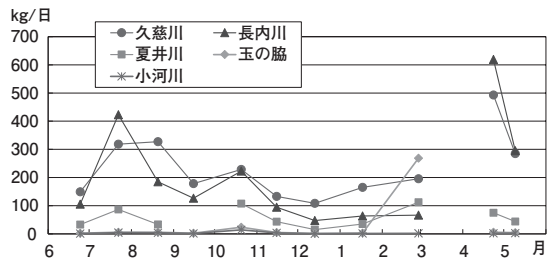


図16 各河川のBOD負荷量の推移

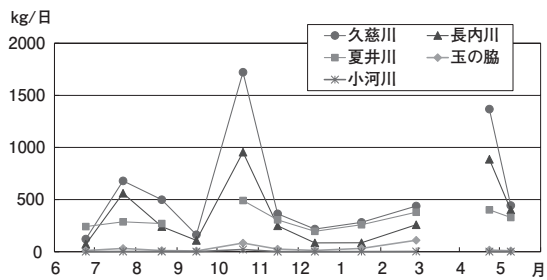


図17 各河川のT-N負荷量の推移

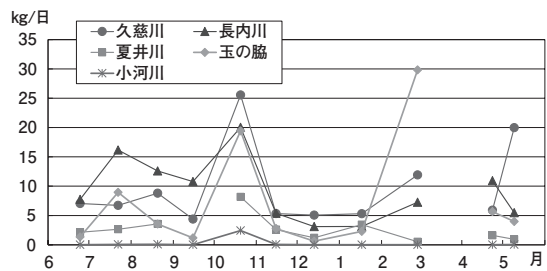


図18 各河川のT-P負荷量の推移

的なのはT-P、 $PO_4$ -Pの濃度がそれぞれ平均で0.67mg/L、0.31mg/Lと高いことである。T-Pでは2月に3.59mg/L ( $PO_4$ -Pにおいても2.65mg/L)という極端に高い値を記録した(図11)。玉の脇川以外の $PO_4$ -P濃度の平均値は低く、比較的高い値を示した夏井下の平均値が0.013mg/L

であり、玉の脇川はその約24倍の濃度であった。久慈川の平均値と比較すると100倍を越える濃度となる。なお、T-Nの濃度も2月が最も高く13.1mg/Lを記録した(図10)。玉の脇川のT-Nは平均値も3.2mg/Lと高く、久慈川の0.60mg/Lの5倍近い数値となった。なお、 $NO_3$ -Nは、1月に4.4mg/Lの最大値を示し、2月は3.5mg/Lに留まった。 $NO_3$ -Nの平均値は1.7mg/Lであった。2月はBOD値の上昇が見られたことから、2月のリン、窒素の負荷は主に有機態由来であると考えられる。Cl<sup>-</sup>やNa<sup>+</sup>の値も比較的高く、何らかの人為的な影響を受けていると考えられる。また、K<sup>+</sup>の平均値は3.0mg/Lであったが、3月のみが15.0mg/Lと極端に高い値を示した。

### 5) 小河川

測定期間の平均流量は0.2万t/日であった。玉の脇川の西隣を流れる小河川であり、生活雑排水流入の痕跡と思われる臭気と河床への付着微生物群や一部汚泥の堆積が見られた。BOD平均値は1.4mg/Lであり、河川環境基準のA類型に分類されるが、久慈湾に流入する河川としては高目である。しかしながら、T-N、 $NO_3$ -N、T-P、 $PO_4$ -Pの値は低く安定しており、生活雑排水の流入は見られるものの、その影響は少ないか、採水時に排水量が少なかったことが影響しているものと考えられる。

### 6) 清掃センター処理水

処理水の排水量は、平成22、24、25年の3年間の値を平均すると、約1200t/日であった(岩手県)。原水の平成24、25年の平均水質(n=6)は、BODが3800mg/L、CODが4200mg/L、T-Nが1900mg/L、T-Pが250mg/Lであった(久慈広域連合)。

処理水は、pHの平均値が6.9、ECの平均値が193mS/mであった。BOD平均値は7.9mg/L、COD平均値は、43.0mg/Lであった。BODは、植種測定、ATU添加測定共に未実施であるため、BOD測定時に消毒用塩素の影響による過少評価や、アンモニアの硝化によるBOD上昇が懸念されることから、ここでは参考値として示した。ま



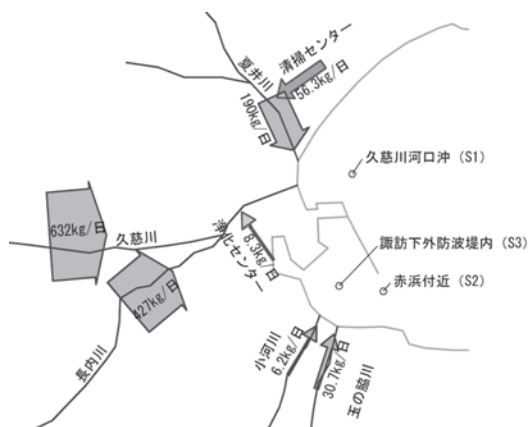


図 19 各地点の COD 日平均負荷量

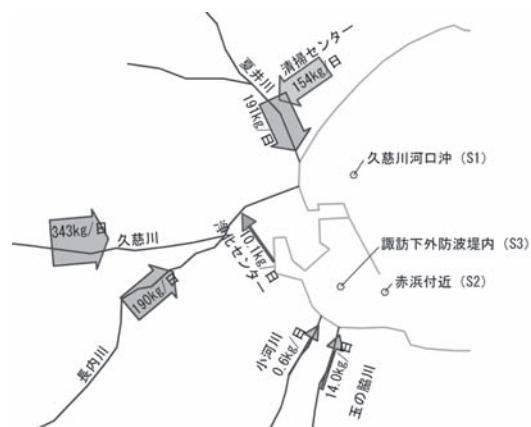


図 22 各測点の D-N 日平均負荷量

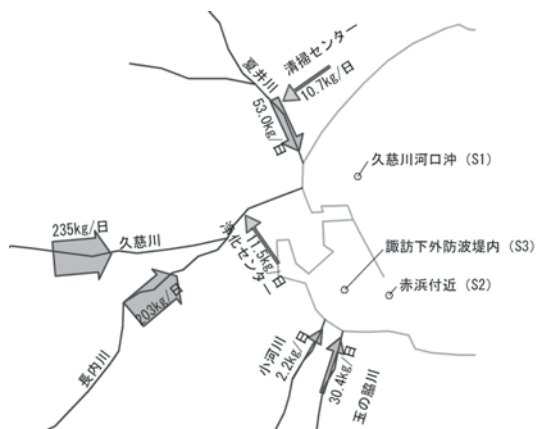


図 20 各測点の BOD 日平均負荷量

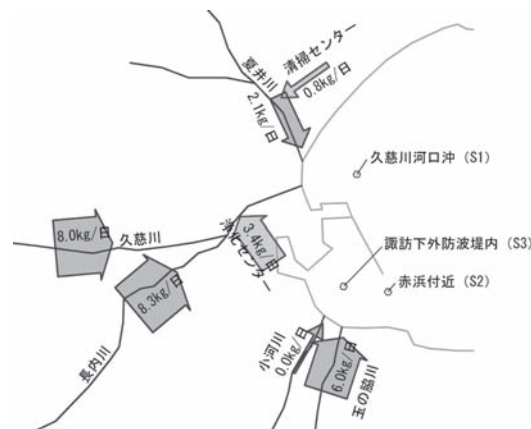


図 23 各測点の T-P 日平均負荷量

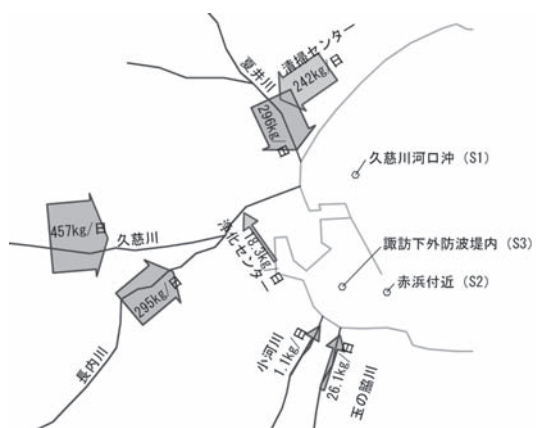


図 21 各測点の T-N 日平均負荷量



図 24 各測点の PO<sub>4</sub>-P 日平均負荷量

た、COD 値は高濃度有機物を含んだ原水の処理水であることから、難分解性有機物を捉えたとも考えられる。窒素については、T-N の平均値が

207mg/L であった。無機成分では NH<sub>4</sub>-N 濃度が高く、平均で 106mg/L であった。また NO<sub>2</sub>-N 濃度が平均で 26.2mg/L と高いが、1 月以降は低

く推移した(図14)。リンは、T-Pが0.62mg/L、PO<sub>4</sub>-Pが0.28mg/Lであったことから、処理水としてのリンの濃度は低く、清掃センターにおけるリン除去率は高いといえる。

#### 7) 浄化センター処理水

処理水の排水量は、平成22、24、25年の3年間の値を平均すると、約2100t/日であった(岩手県)。原水の平成24、25年の平均水質(n=4)は、CODが164mg/L、T-Nが57mg/L、T-Pが6.0mg/Lであった(久慈市)。

処理水の水質は、pHの平均値が7.3、ECの平均値が55.9mS/mであった。BODの平均値は5.3mg/L、COD平均値は6.5mg/Lであり、有機汚濁の除去は十分行われていた。T-Nの平均値は10.4mg/Lであり、若干高いものの処理された数値といえる。無機態窒素はNO<sub>3</sub>-Nが主であり5.1mg/Lであった。NO<sub>2</sub>-NやNH<sub>4</sub>-Nはほとんど検出されなかった。T-P、PO<sub>4</sub>-P濃度はどちらも1mg/Lを越え、T-Pは平均で1.69mg/Lであり、比較的高い値となった。

### 3.3. 久慈湾への流入負荷量

久慈湾への主な流入負荷源と考えられる1)久慈川、2)長内川、3)夏井川(夏井上+清掃センター処理水)、4)玉の脇川、5)小河川について、BOD、COD、T-N、T-Pの測定期間の負荷量の推移を図15～18に示した。また、BOD、COD、T-N、D-N(無機態窒素、NO<sub>3</sub>-N + NO<sub>2</sub>-N + NH<sub>4</sub>-N)、T-P、PO<sub>4</sub>-Pについて、1日あたりの日流入負荷量の平均値を用いて図19～24に示した。なお、図19～24の矢印の太さは相対的な負荷量(BODとCOD、T-NとD-N、T-PとPO<sub>4</sub>-Pは同じ尺度)を示す。また、夏井川は夏井上の負荷量と清掃センター処理水の負荷量の和を示すが、清掃センターの影響を明確にする目的で清掃センターの負荷量も表記した。

ここでは、水質項目毎に久慈湾への流入負荷量の実態を示す。

#### 1) 有機汚濁(BOD、COD)

久慈川のBOD、CODの日平均負荷量はそれぞ

れ約235kg/日、632kg/日であった。BODの測定期間内における負荷量の推移(図16)を見ると、日流量の推移(図13)に近い傾向を示した。濃度の年間平均値が低かった久慈川と高かった夏井下で比較すると、BOD濃度で約2倍、COD濃度で約3倍であった。しかしながら、流入量の差は約8倍と、濃度の差よりも大きかったことから、濃度による影響を受けるものの、有機汚濁負荷量の年間平均値はおおむね流量に比例した。

浄化センター処理水の負荷量は、BOD、CODそれぞれ約12kg/日、8kg/日、清掃センター処理水は約11kg/日、56kg/日であった。濃度は比較的高めであるが、流量が少ないことから負荷量としては抑えられた。しかしながら、COD濃度は夏井上の2.1mg/Lから合流後の夏井下で3.1mg/L(図7)に上昇しており、夏井川の日平均負荷量は、清掃センター処理水の影響を受けた値といえる。

玉の脇川は、2月の値を除くとBOD、COD共に濃度が低く、負荷量に影響を与えることはなかった。しかしながら、2月の調査において生じた濁りが有機物を多く含み、BOD、CODの濃度はそれぞれ32.3mg/L、17.1mg/Lを記録した。その結果、平均負荷量は30kg/日、31kg/日と2月の値が平均値を押し上げ、流量の割には高い傾向となった。なお、2月の値を除いた日平均負荷量は、BOD、CODそれぞれ4kg/日、18kg/日であった。

小河川においては流量が少なかったことから、BOD、COD共に負荷量は2kg/日、6kg/日に留まった。

#### 2) 窒素(T-N、D-N)

久慈川のT-N日平均負荷量は457kg/日であり、有機汚濁と同様最も多かった。その内の343kg/日はD-Nであった。D-Nの内301kg/日はNO<sub>3</sub>-Nであった。

長内川のT-N日平均負荷量は295kg/日であった。その内の190kg/日はD-Nであり、152kg/日はNO<sub>3</sub>-Nであった。

夏井川のT-N日平均負荷量は296kg/日であ

り、長内川とほぼ同じであった。D-Nは191kg/日であり、はその内NO<sub>3</sub>-Nが33kg/日、NO<sub>2</sub>-Nが19kg/日、NH<sub>4</sub>-Nが139kg/日と、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-Nの負荷量が多かった。

浄化センター処理水は、T-N濃度が低く抑えられていたことから、T-N負荷量は18kg/日であった。D-Nは10kg/日であり、内NO<sub>3</sub>-Nが9kg/日、NO<sub>2</sub>-Nは0.1kg/日、NH<sub>4</sub>-Nは0.8kg/日であった。

清掃センター処理水は、T-N負荷量が242kg/日であった。内、D-N負荷量は154kg/日であり、その内NO<sub>3</sub>-Nが4kg/日、NO<sub>2</sub>-Nは21kg/日、NH<sub>4</sub>-Nは128kg/日であった。

玉の脇川のT-N日平均負荷量は26kg/日であった。その内D-Nが14kg/日であった。

小河川は、濃度、流量共に低かったことから、T-N日平均負荷量は1kg/日であった。D-Nの日平均負荷量は0.6kg/日であった。

### 3) リン (T-P、PO<sub>4</sub>-P)

久慈川のT-Pの日平均負荷量は8.0kg/日であった。無機態のPO<sub>4</sub>-Pは1.2kg/日であり、久慈川からのリン流入負荷の多くは有機態であった。

長内川のT-P日平均負荷量は8.3kg/日であった。濃度が高かったことから負荷量は久慈川を上回った。PO<sub>4</sub>-P負荷量は2.2kg/日であり、久慈川と同様無機態が占める割合は少なかった。

夏井川のT-P日平均負荷量は、2.1kg/日であった。無機態のPO<sub>4</sub>-Pは0.4kg/日であった。

浄化センター処理水のT-P日平均負荷量は3.4kg/日、PO<sub>4</sub>-Pは2.5kg/日であり、特に無機態のPO<sub>4</sub>-Pが高い値となった。

清掃センター処理水のT-P日平均負荷量は、0.8kg/日、PO<sub>4</sub>-Pは0.3kg/日と少ない値であった。

玉の脇川のT-P日平均負荷量は6.0kg/日、PO<sub>4</sub>-Pは4.7kg/日であった。濃度が高かったことから流量に対し負荷量が高い結果となった。特にPO<sub>4</sub>-Pの負荷量が高く、通常の河川と異なる傾向が見られた。流入水量は少ないが、PO<sub>4</sub>-Pの濃度が高かったことから、夏井川のT-P負荷

量を上回った。

小河川のT-P、PO<sub>4</sub>-Pの日平均負荷量はどちらも≒0であった。

## 4. 考察

久慈湾内S-1(久慈川河口沖)の水質(図3)を見ると、T-N濃度、COD濃度共に上昇する傾向が見られた。S-1は、久慈川河口沖の防波堤がない位置であり、湾内ではあるものの比較的外洋との水の交換は行われやすい条件といえる。その地点でT-N、COD濃度の上昇傾向が見られたことは、今後の久慈湾の水質の動向を考える上で、後述するように多くの示唆を含むと考える。

S-1に流入する河川のCOD濃度を見ると、久慈川の平均が1.1mg/L、長内川の平均が1.3mg/L、清掃センター処理水を含む夏井川の平均が3.1mg/Lであった。海域の環境基準A類型である2mg/Lを上回るのは比較的負荷量の少ない夏井川のみであり、S-1地点におけるCOD濃度の上昇は、久慈湾への河川由来による有機汚濁の直接流入が原因とは考えにくい。さらに、河川の環境基準における有機汚濁はBODによって評価される。しかしながら、各河川のBOD濃度差は2倍程度であり、濃度も低く比較的安定していた。また水質汚濁防止法の排水基準もBODであることから、同法の特定施設に該当する大規模な事業所の排水はBOD対策が進んでいるものと考えられる。すなわち、現在久慈湾流入河川の流域で行われている有機汚濁(BOD)中心の水質把握では、湾内のCOD基準超過の原因の特定は困難である。一方、閉鎖性水域における窒素、リン対策の重要性は明らか(環境省, 2007)であり、S-1地点のCOD値の上昇は、河川からの有機物の直接流入ではなく、栄養塩である窒素やリンの流入による植物プランクトンの内部生産によると考えた方が妥当である。図6から、海域のS-1~S-3の各地点において水温が高く植物プランクトンの増殖が活発になりやすい夏期にCOD濃度が上昇する傾向が見られた。辻本(2012)は、富山湾奥部において同様の傾向を指摘しており、陸域からの窒

素、リンの負荷量削減の必要性を示した。このことから、久慈湾内で植物プランクトンが窒素、リンなどの栄養塩を基に内部生産されていることが示唆された。したがって、湾口防波堤の建設が進む久慈湾の水質は、陸域からの有機汚濁負荷の把握では捉えることができず、窒素、リンの負荷量を把握する必要性を強く示唆するといえる。

水質が悪化する傾向が見られるS-1地点への流入河川である久慈川、長内川、夏井川の3川における窒素の傾向を見た場合、久慈川、長内川においては、久慈湾への総窒素負荷量のそれぞれ41%、26%と高い割合を占めるものの、負荷源が特定しにくい面源負荷の影響が大きいと考えられる。一方、夏井川においては、放流される清掃センターの処理水のT-Nが夏井川の総負荷量の82%、久慈湾への総流入負荷量の22%を占めた。すなわち、夏井川への負荷だけではなく久慈湾へ影響を与える点源負荷として無視できないといえる。さらに、環境毒性が懸念される亜硝酸やアンモニアが多く含まれる点も問題といえる。水質汚濁防止法においては、環境毒性ではなく人体への毒性の観点から、窒素について $\text{NH}_4\text{-N} \times 0.4 + \text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ の値が100mg/Lを越えないことを健康項目の排水基準としている。清掃センター処理水の測定値を換算すると、値は高いものの基準を上回ることはなかった(図14)。また、同じく水質汚濁防止法の生活環境項目において、T-Nについて120mg/Lと定めている。しかしながら、閉鎖性の高い海域を対象とするものであるため、清掃センターのT-N平均値は207mg/Lであったものの、現在の久慈湾流入河川への排水基準としては非対象である。T-N負荷量の推移を見ると、流量の少ない時期に、夏井川(夏井下)は久慈川や長内川と同等かあるいは上回る負荷量を示し(図17)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ や $\text{NH}_4\text{-N}$ では特異的に高い値を示した。清掃センターの排水処理において、技術的にも対策可能である窒素除去をさらに進めることで、久慈湾への窒素流入負荷低減に貢献できると考える。湾口防波堤の整備を踏まえ、閉鎖性水域の環境基準を前提に早急の対策が望ま

れる。

リンの流入負荷は、長内川のT-P濃度が比較的高いことから、流量の多い久慈川より負荷量が多くなった。面源負荷が占める割合が高いと考えられることから、汚染源の特定は難しい。点源としては浄化センター処理水が久慈湾への総流入負荷量の12%を占め、影響が大きい結果となった。下水処理場排水のリンの負荷が高い傾向は他の地域でも報告されており(山田・松下, 2006)、さらなる高度処理が望まれる。一方、玉の脇川のリン負荷量が多いことも懸念材料である。T-Pは久慈湾への総流入負荷の22%を占めた。 $\text{PO}_4\text{-P}$ では42%に至り、流量の多い久慈川の負荷量を上回る。無機態のリン( $\text{PO}_4\text{-P}$ )は土壌成分に吸着されやすく、一般的な河川では濃度が高くなる傾向は見られない。さらに、T-P濃度の推移を見ると2月に通常の10倍近い値を記録した(図11)。濁りのある状況であり、BOD、COD濃度も高かったことから、汚染源からリンを含む有機性の汚水が流下したものと考えられる。融雪による増水前であり、自然状態ではこのような状況は考えにくいことから、上流部に点源負荷の存在が示唆された。原因の究明が求められる。

## 5. おわりに

湾口防波堤が建設されれば、湾内の水の交換が行われにくくなることは明確である。陸域からの栄養塩は湾内に滞り、植物プランクトンによる有機物の内部生産はより活発になるものと考えられる。湾口防波堤を外洋との水の交換が行いやすい形状に工夫する(阿部ほか, 2013)ことに加え、陸域からの負荷をいかに減らすかが湾内の水質維持において重要な課題となる。面源負荷の対策と異なり、対象が明確な点源負荷は対策の効果が大きいことから、本調査で明らかになった点源負荷に対する対策と、今後の窒素、リンに関するモニタリングの継続を求めたい。さらに、今回の調査では実施できなかった面源や土地利用区分別の面源負荷の発生状況を把握し、森・川・海の一体的な取り組みによる久慈湾の環境改善につなげる

必要があろう。

\* 国土地理院の2万5千分の1地形図に基づく。「小河川」は、河川名が未記載であったことから仮に設定した。ゼンリンの住宅地図では、国土地理院の「玉の脇川」が「双子川」、「小河川」が「玉の脇川」と記載されているが、ここでは国土地理院の記載に統一した。

## 謝辞

岩手県県土整備部河川課から久慈湾流域河川の水位、水量観測データを、また、久慈市から河川水質調査結果および浄化センター原水の水質データ、処理法に関する資料を、久慈広域連合から清掃センター原水の水質データおよび処理法に関する資料をご提供いただいた。記して感謝申し上げます。

## 【引用文献】

阿部弘太郎, 白木喜章, 柴木秀之, 村上和男 (2013) 防波堤の津波防護能力と海水交換能力に関する解析, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) 69 (2), 299-304.  
藤井智康, 駒井幸雄, 藤原建紀, 横井貴範 (2010) 湾口等の強閉鎖性海域の貧酸素水塊の発生機構と動態, 土木学会論文集 B2 (海岸工学) 66 (1), 1046-1050.

福田良介, 桜庭貞昭 (2009) 久慈港湾口防波堤建設に伴う海域環境について, <http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/b00097/k00360/happyoukai/H21/ronbun/2-20.pdf>, 2013.6.18 閲覧.

岩淵勝巳 (2011) 大船渡湾に流入する汚濁負荷に関するインベントリー作成, 環境情報科学 39 (4), 58-67.

環境省 (2007) 今後の閉鎖性水域を検討する上での論点整理, 今後の閉鎖性海域対策に関する懇談会, [http://www.env.go.jp/water/heisa/pdf/ronten\\_seiri-full.pdf](http://www.env.go.jp/water/heisa/pdf/ronten_seiri-full.pdf), 2014.3.18 閲覧.

国土交通省 (2008) 河川水質試験方法 (案) [2008年版] 河川管理者のために

久慈市 (2012) 公共用水域等水質測定業務測定結果報告書.  
久慈市 (2013) 平成 23 年度久慈市水質調査まとめ.

宮沢公明, 早川康博 (1994) 大規模構造物と環境収容力—人口構造物 (大船渡湾湾口防波堤) が湾内に及ぼす影響—, 沿岸海洋研究ノート 32 (1), 29-38.

長坂猛, 鶴谷広一, 村上和男, 浅井正, 西村男雄 (1997) 大船渡湾の成層と貧酸素水塊に関する現地観測, 海岸工学論文集 44, 1066-1070.

辻本良 (2012) 富山湾奥部における表層水中の栄養塩と植物プランクトン現存量の季節変動, 沿岸海洋研究 49 (2), 127-137.

山田佳昭, 松下訓 (2006) 河川水質測定データから推定した相模湾への窒素、リン、COD の流入負荷, 神奈川県水産技術センター研究報告 1, 43-49.

(2014 年 10 月 31 日原稿提出)

(2015 年 1 月 13 日受理)

## Evaluation of River Water Quality and Main Pollutant Load Sources for Kuji Bay Water Quality Improvement

Morio Tsuji, Koichiro Shige, Taito Matsumoto, Narihito Orii, Chiaki Itsukaichi and Hajime Tachibana

**Abstract** Pollutant loads in Kuji Bay are conspicuously in excess of COD concentrations according to environmental standards. We investigated pollutants from rivers and their main sources. Inflow BOD concentrations from rivers, a septage treatment facility, and a sewage treatment facility were stable and lower than water quality standards under the Water Pollution Prevention Law and environmental quality standards. Therefore, the high COD concentration in Kuji Bay was not explained by the direct inflow of organic matter. However, results revealed a high load of nitrogen from a septage treatment facility, and phosphorus from a sewage treatment facility. Phosphorus concentration was extremely high in the Tamanowaki River: the concentration recorded in February was 10 times higher than that during normal periods, indicating an upstream source. The COD concentration of Kuji Bay, which was in excess of environmental standards, was suggested to the reproduction of organic matter by phytoplankton in the water using terrigenous nitrogen and phosphorus, rather than the direct inflow of terrestrial organic pollutants. The rate of water flow blockage is expected to increase because of breakwater construction at the bay mouth. Point source measurements are expected to show great improvement, but nitrogen and phosphorus loads should be continuously studied.

**Key words** Kuji Bay, inflow pollutant load, point source, nitrogen, phosphorus